

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



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



N° d'ordre :

**THESE**

Présentée en vue de l'obtention de Diplôme de

**DOCTORAT L.M.D.**

**en Ecologie et Environnement**

Option : Eau, Environnement et Energies Renouvelables

Par

**Mlle. HASSAD SARA**

Intitulé

**CARACTERISATION GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES  
EAUX SOUTERRAINES DU PALTEAU DE MELLAGOU  
BOUHMAMA. KHENCHELA-ALGERIE.**

**Jury :**

**Présidente : KADI Kenza.**

**MCA, Université de Khenchela**

**Directeur de thèse : HOUHA Belgacem.**

**Professeur, Université de Khenchela**

**Examineurs : KACHI Slimane**

**Professeur, Université de Guelma**

**FAHDI Chemesddine**

**Professeur, Université de Tébessa**

**BAALI Fathi**

**Professeur, Université de Tébessa**

**HOUHAMDI Moussa**

**Professeur. Université de Guelma**

*Année universitaire 2017-2018*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Remerciement*

*Cette thèse est le fruit d'un travail de longue haleine dont le manuscrit final ne représente que la partie émergée de ces années. La réussite de cette expérience est liée, en partie, à un travail original mais aussi à la présence, à la sympathie et au soutien de grand nombre de personnes et des institutions que je tiens à remercier.*

*En premier lieu je m'adresse par mes sincères remerciements à Monsieur Belgacem HOUHA, professeur à la Faculté des Sciences de la nature et de la vie, université de Khenchela, qui a bien voulu assurer un encadrement continu et rigoureux de ce travail. Ses compétences scientifiques, ses conseils fructueux et son aide illimité ont amplement contribué à l'aboutissement de ce travail. Les mots ne pourront jamais parvenir à traduire mes plus vifs remerciements, pour sa bienveillance ainsi que sa patience durant la rédaction qui m'ont été très bénéfiques.*

*Je remercie vivement les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail malgré leurs nombreuses autres obligations.*

*Leur présence est un grand honneur et une bonne marque d'affection :*

*Madame Kenza KADI, MCA à l'université de Khenchela qui a accepté de présider ce jury.*

*Messieurs : Moussa HOUHAMEDI, professeur à l'université de Guelma. Slimane KACHI, professeur à l'université de Guelma. Fethi BAALI et Chemseddine FAHD professeur à l'université de Tébessa ; d'accepter examiner ce travail, leur présence est un très grand honneur pour moi.*

*Je tiens à remercier également mes collègues doctorants et docteurs de l'université de Khenchela pour leur sympathie.*

*Sans oublier toute personne à participer de près ou de loin à l'aboutissement de cette thèse.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail.*

*A Mon cher Papa, **ABDELMADJID** ; les mots me manquent pour exprimer toute l'affection et toute la reconnaissance que j'éprouve pour toi. Avec beaucoup d'amour et de sacrifices, tu as guidé mes pas. Tu n'as jamais cessé de me prodiguer des conseils et de prier pour moi. Ce travail est avant tout le tien. Que Dieu te garde longtemps en vie afin que tu puisses en bénéficier des fruits. Gros bisou à toi*

*A Ma mère **FOUZIA**, Tu as fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Sois comblée. Que Dieu te bénisse et t'accorde longévité afin que tu puisses jouir du fruit de tes sacrifices.*

*À mes sœurs : **Wafa, Rafia** À mes chers frères : **Sabri, Hatem** et **Amir**.*

*A mes chers neveux : **Midou, Massi** et **Naël**.*

*Ma profonde gratitude à mon meilleur enseignant **Pr. Belgacem Houha**.*

*À tous les membres de ma famille qui m'ont entouré de soins surtout mes très cher oncles **Azzedine** et **Samail**.*

*A l'ami de la famille **Ali Ounissi**.*

*Mes cher(e)s : **Mounia, Abela, Mayada, Lamia, Rima, Nounou, Nadir, Meriem, Nawel, Cherifa, Nor**.*

*À tous qui me connaissent de près ou de loin.*



## Résumé

La zone d'étude est un bassin sédimentaire comblé de dépôt quaternaire qui repose sur des formations carbonatées fissurées, Calcaires et Marno-calcaires, le substratum marneux est d'une épaisseur importante. La typologie des aquifères permet de distinguer deux nappes d'eaux ; l'une superficielle contenue dans le remplissage quaternaire et l'autre profonde dans les formations Calcaires fissurés du Crétacé. La salinité des eaux évolue progressivement et croit dans le sens d'écoulement, depuis les affleurements calcaires en amont, avec des conductivités de  $589\mu\text{S}/\text{cm}$ ., pour atteindre un pic de  $6440\mu\text{S}/\text{cm}$  dans les périmètres irrigués.

Les eaux qui émergent dans les formations carbonatées fissurées possèdent un faciès bicarbonaté calciques, dans le remplissage Mio-Plio-Quaternaire, les eaux évoluent du faciès sulfaté calcique vers des eaux chlorurées sodiques. L'analyse thermodynamique a montré une saturation des eaux en carbonates, Calcite et dolomite, suite au dégazage de  $\text{CO}_2$  et une dissolution des formations évaporitiques, gypse et halite

Les diagrammes binaires croisés laissent supposer que l'origine de la salinité des eaux serait attribuée à l'interaction eau-roche par des processus géochimique de dissolution-précipitation minérale, échange ionique. L'activité anthropique contribue à son tour à l'augmentation de la minéralisation des eaux par des infiltrations de surface.

La géochimie isotopique a permis d'apporter des informations capitales concernant l'origine de la recharge des eaux souterraines, à savoir, par des eaux météoriques qui se sont infiltrées rapidement à travers les grandes fractures et cassures des roches, sans effet évaporatoire.

**Mots clé : eaux souterraines, plateau de Mellagou, salinité, dissolution, précipitation, pollution, isotopes.**

## **ABSTRACT**

The study area is a sedimentary basin filled with Quaternary deposit lying on fissured carbonate, calcareous and Marlo-calcareous formations; the marly substratum is of important thickness. The aquifer typology allows the distinction of two water tables, one is superficial contained in the Quaternary filling, and the other is deep within the fissured carbonate formations. Water that appears within the fissured carbonate formations has bicarbonate-calcium facies in the Mio-Plio-Quaternary; water evolves from sulfate-calcium facies into chloride-sodium water. The thermodynamic analysis has revealed water saturation with carbonates, calcite and dolomite, because of CO<sub>2</sub> degassing and dissolution of the evaporitic formations, gypsum and halite. Water salinity develops progressively and increases in the flow direction, upstream from the calcareous outcrops, with a conductivity of 589 $\mu$ S/cm, to reach a peak of 6440 $\mu$ S/cm in the irrigated perimeters. The crossed binary diagrams suggest that the origin of water salinization would be attributing to water-rock interaction through the geochemical process of mineral dissolution-precipitation and ion exchange. The chemical tracing by trace elements and the heavy metals corroborate that the anthropogenic activity contributes, for its part, to increasing water mineralization.

The isotopic study gives capital information about the origin of this water in this region. It is meteoric water.

**Keywords:** underground water, plateau of Mellagou, salinity, dissolution, pollution and precipitation, isotopic.

## المخلص:

منطقة الدراسة هي حوض رسوبي من العصر الجيولوجي الرابع الذي يقوم على تشكيلات متصدعة للكربونات ، والحجر الجيري والحجر الجيري المارلي وقاعدة ذات سمك كبير متكونة من المارلي. ويتيح تصنيف طبقات المياه الجوفية التمييز بين طبقتين من المياه؛ واحدة سطحية تملأ الطبقة الجيولوجيا الرابعة والآخر العميق في تصدعات العصر الطباشيري. تتغير ملوحة المياه تدريجيا وتزداد في اتجاه التدفق المياه من نتوءات الحجر الجيري في القمة ب 589 ميكروسيمنيس/سم حتى تصل الى أقصى درجة في الأراضي الفلاحية المنخفضة.

المياه التي تخرج من التشكيلات المتصدعة للكربونات لها سحن بكاربونات كلسي، في خزان العصر الجيولوجي الرابع، تتطور المياه من سلفات الكالسيوم الكبريتي نحو كلور يري صودي. أظهر التحليل الديناميكي الحراري تشبع الماء من معادن الكربونات والكاسيت والدولوميت، بسبب افتقارها من ثاني أكسيد الكربون وذوبان التشكيلات التبخيرية مثل الجبس والهاليت.

وتشير المخططات الثنائية المتقاطعة إلى أن أصل ملوحة المياه يعزى إلى تفاعل المياه والصخور من خلال العمليات الجيوكيميائية من ذوبان وترسب للمعدن والتبادل الأيوني. النشاط البشري الفلاحي يساهم بدوره في زيادة تمعدن المياه.

وقد وفرت دراسة النظائر معلومات حاسمة عن مصدر تغذية المياه الجوفية، أي مياه الأمطار التي تسربت بسرعة من خلال كسور كبيرة وفواصل في الصخور، دون أي تأثير بالتبخر.

الكلمات الدلالية: المياه الجوفية، حوض ملاقو، الملوحة، ذوبان، ترسب، مياه الأمطار، تلوث، النظائر.

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	
<b>Chapitre I</b>	
<b>Présentation de la zone d'étude</b>	
I. Cadre général	1
I.1. Situation géographique.	1
I.1 .1Présentation générale et localisation de la Wilaya de Khenchela.	1
I.1.2 Présentation générale de la région de Bouhmama	2
I.1.3 Présentation générale de la zone d'étude.	3
I.1.3.1 Situation géographique.	3
I.1.3.2 Localisation de la zone d'étude.	3
a) Les coordonnées géographiques.	3
b) Les coordonnées Lambert suivantes	3
I.2.La population	5
I.2.1 Densité et répartition spatiale de la population	5
I.2.2 Évolution de la population.	7
I. 3. Géologie.	8
I.3.1. La Stratigraphie	9
I.3.2. La tectonique	12
I.3.3. La perméabilité	13
I.4. Géomorphologie	14
I.4.1 topographie	14
I.4.2 Pédologie.	17
I.5.couvert végétal	18
I.5. 1. Les cultures céréalières	19
I. 5. 2. Les cultures irriguées	19
I. 5. 3. Parcours, steppe, maquis et les prairies	19
I. 5. 4. Les forêts	20
I.6. Les caractéristiques géométriques et morpho métriques	21

I.6. 1. Paramètres géométriques	21
I. 6.1. 1. La superficie	21
I. 6.1. 2. Le périmètre	21
I.6. 1. 3. Indice de forme ou indice de compacité Gravelius	21
I. 6.1. 4. Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius	22
I. 6.1. 5. le relief	23
a. L'orographie.	23
I. 6.1. 6. Pente	26
a. Indice de pente	27
b. Indice de pente global (I g)	27
I. 6.1. 7. Dénivelée spécifique (DS)	28
I. 7. Le Réseau hydrographiques	29
Conclusion	33
<b>Chapitre II</b>	
<b>Etude climatique</b>	
Introduction	35
II. Les données climatiques disponibles	35
II. 1. Le réseau de mesure et origine des données	35
II. 1. 1. Etude de régime thermique	36
II. 1. 2. Précipitations	38
II. 1. 3. Les vents	39
II. 1.4. L'humidité relative de l'air	40
II. 1. 5. Les Gelées	41
II. 1. 6. Les Orages	42
II. 1.7. La Neige	43
II. 1. 8. Brouillard.	43
II. 1. 9. La grêle.	43
II. 1. 10. Calcule de l'évapotranspiration potentiel (ETP) et l'évapotranspiration réel ETR	44
II. 1. 10. 1. Formule de THORNETHWAITE pour l'ETP mensuelle	44
II. 1. 10. 2. Formule de SERRA : Calcule de ETP	46
II. 1. 10. 3. Formule de L. Turc	46

II. 2. Synthèse climatique	47
1.2.1. Indice de sécheresse de DEMARTONNE (1923)	47
I. 2. 2. Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN	48
I. 2. 3. Climagramme d'Emberger	49
Conclusion.	51
<b>Chapitre III</b>	
<b>Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du plateau de Mellagou</b>	
Introduction	52
II.1. Matériels et moyens d'analyse	52
III.2. Caractérisation physico-chimique des eaux	53
III.2.1. Paramètres physiques	54
III.2.2. Paramètres chimiques	57
III.2.3. Origine des éléments chimiques	66
III.2.4. Origine de la salinité	71
III.3. Faciès chimique des eaux	74
III.4. Indice de saturation (IS)	75
III.5. Etude statistique de la réponse chimique des eaux souterraines	77
III.6. Aptitude des eaux à l'irrigation.	80
III.7. Les éléments en traces	84
Conclusion	
<b>Chapitre IV</b>	
<b>Origine des eaux souterraines du plateau de Mellagou</b>	
Introduction	90
IV.1. Notions de base	90
IV.1.1. Isotopes de la molécule de l'eau	90
IV.1.2. Rapports isotopiques	91
IV.1.3. La notation delta pour mille	91
IV.1.4 Enrichissement / Appauvrissement de l'eau	91
IV.1.5. Droite Globale des Eaux Météoriques (DEMG)	91
IV.1.6. L'Excès en deutérium (d'excès)	92
IV.1.7. Droite Locale des Eaux Météoriques (DEML)	92

IV.1.8. Le fractionnement isotopique	93
IV.1.9. Variation de la composition isotopique des pluies	94
IV.2. Méthodes analytiques et précision des mesures	95
IV.2.1. Mesure isotopique de l'oxygène $^{18}\text{O}$ et le deutérium $^2\text{H}$	96
IV.2.1.1. Méthode de mesure	96
IV.2.1.2. Calibration	97
IV.3. Echantillonnage, présentation des données et interprétation des résultats	98
Conclusion	103
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</b>	104
Références bibliographiques	107
Annexe	112

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : situation géographique de la Wilaya de Khenchela.	<b>2</b>
<b>Figure 2</b> : Localisation administrative de la commune de Bouhmama et la zone d'étude.	<b>4</b>
<b>Figure 3</b> : carte des grands bassins versant du nord Algérien.	<b>4</b>
<b>Figure 4</b> : Représentation de la population de la commune de Bouhmama.	<b>6</b>
<b>Figure 5</b> : l'évolution de la population à travers les différents Recensement Générale de la Population et de l'Habitat.	<b>7</b>
<b>Figure 6</b> : Les altitudes du bassin versant de Oued Mellagou.	<b>12</b>
<b>Figure7</b> : la carte géologique de bassin versant de Oued Mellagou.	<b>15</b>
<b>Figure 8</b> : la répartition des unités des sols à travers le bassin versant d'Oued Mellagou.	<b>18</b>
<b>Figure 9</b> : le rectangle équivalent de bassin versant de Oued Mellagou.	<b>24</b>
<b>Figure 10</b> : Courbe hypsométrique du bassin versant Oued Mellagou.	<b>25</b>
<b>Figure 11</b> : Les pentes du bassin versant de Oued Mellagou.	<b>27</b>
<b>Figure 12</b> : Le réseau hydrographique du bassin versant de Oued Mellagou.	<b>30</b>
<b>Figure 13</b> : réparation mensuelle des températures minimales, maximales et moyennes.	<b>37</b>
<b>Figure 14</b> : amplitude thermique de la station.	<b>37</b>
<b>Figure 15</b> : évolution mensuelle des précipitations en (mm).	<b>38</b>
<b>Figure 16</b> : la vitesse moyenne de vent (m/s).	<b>39</b>
<b>Figure 17</b> : Le nombre des jours de sirocco.	<b>40</b>
<b>Figure18</b> : L'humidité relative de l'air.	<b>41</b>
<b>Figure19</b> : Nombres de jours de gelées.	<b>42</b>
<b>Figure20</b> : Nombres de jours de neige.	<b>43</b>
<b>Figure 21</b> : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Bouhmama (1991-2011)	<b>46</b>
<b>Figure 22</b> : Variations mensuelles des résultats du bilan hydrique.	<b>47</b>
<b>Figure 23</b> : Diagramme Ombrothermique.	<b>48</b>
<b>Figure 24</b> : L'étage bioclimatique de la station de Bouhmama selon le Climagramme d'Emberger.	<b>50</b>
<b>Figure25</b> : Carte d'inventaire des points d'eau analysés.	<b>54</b>
<b>Figure26</b> : Cartes de variation spatiale du Potentiel hydrogène (pH).	<b>55</b>
<b>Figure27</b> : Carte de variation spatiale de la conductivité électrique (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ).	<b>56</b>
<b>Figure28</b> : Cartes de variation spatiale de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ en mg/l).	<b>58</b>

<b>Figure29</b> : Cartes de variation spatiale du magnésium ( $Mg^{2+}$ en mg/l).	<b>59</b>
<b>Figure30</b> : Cartes de variation spatiale du sodium ( $Na^{+}$ en mg/l).	<b>60</b>
<b>Figure31</b> : Carte de variation spatiale du potassium ( $K^{+}$ en mg/l).	<b>61</b>
<b>Figure32</b> : Carte de variation spatiale de chlorure ( $Cl^{-}$ en mg/l).	<b>62</b>
<b>Figure33</b> : Carte de variation spatiale de sulfate ( $So4$ en mg/l).	<b>63</b>
<b>Figure 34</b> : Carte de variation spatiale de bicarbonate ( $HCO_3^{-}$ en mg/l).	<b>64</b>
<b>Figure 35</b> : Carte de variation spatiale de nitrate ( $NO_3^{-}$ en mg/l).	<b>66</b>
<b>Figure 36</b> : Détermination de l'origine du calcium.	<b>67</b>
<b>Figure 37</b> : Relation sodium-chlorures ( $Na^{+}-Cl^{-}$ ).	<b>68</b>
<b>Figure 38</b> : Détermination de l'origine du sodium.	<b>69</b>
<b>Figure 39</b> : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique	<b>70</b>
<b>Figure 40</b> : Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité.	<b>71</b>
<b>Figure 41</b> : Diagramme de durov.	<b>72</b>
<b>Figure 42</b> : Relation entre Ca, Mg, Na, K, $So4$ et le Cl des eaux souterraines et l'eau de pluie-eau de mer.	<b>73</b>
<b>Figure 43</b> : Diagramme de Piper	<b>75</b>
<b>Figure 44</b> : Variation de l'indice de saturation des minéraux.	<b>76</b>
<b>Figure 45</b> : projection de variable $F1/F2$ et $F1/F3$ .	<b>80</b>
<b>Figure 46</b> : projection des individus.	<b>80</b>
<b>Figure 47</b> : Classification des eaux d'irrigation d'après le diagramme de Richards (1954).	<b>83</b>
<b>Figure 48</b> : phénomène du fractionnement isotopique.	<b>93</b>
<b>Figure 49</b> : Schéma de principe du GasBench.	<b>95</b>
<b>Figure50</b> : Schéma de la fiole et du transfert du gaz.	<b>96</b>
<b>Figure 51</b> : Schéma de principe du piège à eau.	<b>97</b>
<b>Figure 52</b> : Chromatogramme type Delta-V Visualisation du bruit de fond avant analyse.	<b>98</b>
<b>Figure 53</b> : Relation $^2H$ vs $^{18}O$ des eaux des souterraines du plateau de Mellagou par rapport à la droite de Craig (1961).	<b>100</b>
<b>Figure 54</b> : Relation oxygene-18 et l'altitude.	<b>101</b>
<b>Figure 55</b> : Relation oxygène-18/chlorures.	<b>102</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Répartition de la population par dispersion	<b>5</b>
<b>Tableau 2</b> : Répartition de la population par dispersion en Avril 2008	<b>6</b>
<b>Tableau 3</b> : Tableau de l'évolution de la population à travers les différents RGPH	<b>7</b>
<b>Tableau 4</b> : Les caractéristiques de matériaux de bassin versant de point de vue perméabilité.	<b>13</b>
<b>Tableau 5</b> : Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mellagou par tranche d'altitude.	<b>25</b>
<b>Tableau 6</b> : Classification du relief en fonction de « <b>Ds</b> » d'après L'O.R.S.T.O.M.	<b>28</b>
<b>Tableau 7</b> : les ouvrages de retenues collinaires.	<b>31</b>
<b>Tableau 8</b> : Répartition des puits et leurs natures.	<b>32</b>
<b>Tableau 9</b> : Caractéristique de la station de Bouhmama.	<b>36</b>
<b>Tableau 10</b> : Répartition mensuelle des températures de la Station de Bouhmama.	<b>36</b>
<b>Tableau 11</b> : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en (mm).	<b>38</b>
<b>Tableau 12</b> : la vitesse moyenne de vent	<b>39</b>
<b>Tableau 13</b> : Le nombre des jours de sirocco	<b>40</b>
<b>Tableau 14</b> : l'humidité relative de L'air de la station étudiée	<b>41</b>
<b>Tableau 15</b> : Nombres de jours de gelées	<b>42</b>
<b>Tableau 16</b> : Nombre de jours de neige.	<b>43</b>
<b>Tableau 17</b> : La méthode de THORNETHWAITE pour l'ETP mensuelle.	<b>44</b>
<b>Tableau 18</b> : la méthode de SERRA.	<b>46</b>
<b>Tableau 19</b> : Classement de l'Indice de sécheresse de DEMARTONNE (1923).	<b>47</b>
<b>Tableau20</b> : L'étage bioclimatiques de la station de Bouhmama.	<b>49</b>
<b>Tableau21</b> : Résultats des analyses.	<b>53</b>
<b>Tableau 22</b> : Valeurs propres des trios premiers axes de l'ACP.	<b>78</b>
<b>Tableau 23</b> : Matrices de corrélation.	<b>79</b>
<b>Tableau 24</b> : Résultats de calculs sur ce type de diagramme, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR.	<b>83</b>
<b>Tableau 25</b> : Teneurs en isotopes stables des eaux souterraines échantillonnées.	<b>99</b>

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



---

## INTRODUCTION GENERALE

Le plateau de Mellagou d'une superficie de 577 Km<sup>2</sup>, se présente comme une large vallée, orientée du Nord au Sud, et parsemée sur les bords par une succession de reliefs formée de Kef El Ahmeur-Kef Meda, Djebel Tarzout, Djebel Taâfist, orientés Nord-Est et Sud-Ouest.

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

La géologie est celle d'un bassin sédimentaire avec un remplissage Quaternaire multicouche à texture variable, au sommet qui repose sur des formations carbonatées fissurées et karstifiées en profondeur pour se terminer par des marnes cénomaniennes comme substratum.

Deux grands aquifères sont mis en évidence : l'aquifère superficiel Mio-Plio-Quaternaire et l'aquifère profond carbonaté. La typologie des nappes est décrite dans l'aquifère superficiel en nappe alluviale multicouche peu profonde et la nappe profonde des formations calcaires.

La composition chimique des eaux du plateau de Mellagou est majoritairement acquise par l'interaction eau-roche auxquelles lui y associée des phénomènes secondaires telles que dissolution et précipitation minérale, échanges cationiques et pollution anthropique.

La contamination des eaux par l'infiltration de polluants chimiques dans les périmètres irrigués, serait le résultat de l'action du gouvernement initiée dans le cadre de l'agriculture soutenue par l'arboriculture, notamment le pommier qui foisonne dans la région de Bouhmama qui est devenu un label national, voire maghrébin.

Le travail que nous présentons ici se rapporte à la caractérisation hydrochimique, hydrogéologique, et isotopique des eaux souterraines du bassin versant d'Oued Mellagou.

Pour réaliser notre objectif, une approche multidisciplinaire axée sur la géologie, la, l'hydrogéologie, l'hydrochimie et l'isotopie, a été menée afin de mieux appréhender le comportement hydrogéochimique de ces eaux.

Cette thèse vise à valoriser l'ensemble des résultats obtenus dans la zone d'étude afin d'acquérir des connaissances détaillées.

---

---

## **Objectif de la thèse et intérêt scientifique du sujet**

La présente thèse se situe dans le cadre de l'amélioration des connaissances sur la caractérisation hydrogéochimique et isotopique des eaux souterraines du plateau de Mellagou.

Pratiquement, elle aidera à comprendre le mécanisme de la minéralisation des eaux et de leur origine. Elle s'appuie sur la synthèse des caractéristiques hydrogéologiques, hydrogéochimiques et isotopiques.

## **Approche méthodologique**

La méthodologie utilisée dans le développement de cette thèse consiste au couplage des approches hydrogéologiques, hydrogéochimiques et isotopiques pour :

1. Déterminer les caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines dans le bassin versant d'oued Mellagou.
2. Caractériser de manière globale la géochimie (minéralisation, faciès chimiques des eaux et origine de la minéralisation).
3. Caractériser le signal isotopique (Oxygène 18 et le deutérium) des eaux afin de définir leurs origines.

## **Structure de la thèse**

La thèse est structurée autour de trois parties précédées par une introduction qui décrit l'origine du sujet, les objectifs visés et l'approche méthodologique utilisée pour atteindre les objectifs.

La première partie s'appuie sur la caractérisation des grands traits de la zone d'étude.

La seconde partie s'appuie sur la caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines de la zone d'étude.

Le milieu d'étude a d'abord été décrit dans la première partie avant d'aborder l'étude du contexte hydrogéologique et hydrogéochimique afin de déterminer les caractéristiques physicochimiques de ces eaux et l'origine de la minéralisation.

La troisième partie se rapporte à la contribution des isotopes stables de la molécule d'eau pour déterminer l'origine de ces eaux.

---

Une conclusion synthétise les principaux résultats obtenus en rapport avec les développements méthodologiques utilisés et la gestion de la ressource en eau dans la zone d'étude. Les perspectives scientifiques offertes par cette étude clôturent ce travail.



**Chapitre I**  
**Présentation de la zone d'étude**

---

## I. CADRE GENERAL

### I.1. Situation géographique

#### I.1 .1Présentation 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 des hauts plateaux Constantinois ; et au contrefort du mont des Aurès entre 34°06'36" et 35°4'21" latitudes Nord ; et entre 06°34'12"et 07°35'56" de longitudes Est, la Wilaya de Khenchela s'étend sur une superficie de 9.715 Km<sup>2</sup>.

Elle est limitée géographiquement par :

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

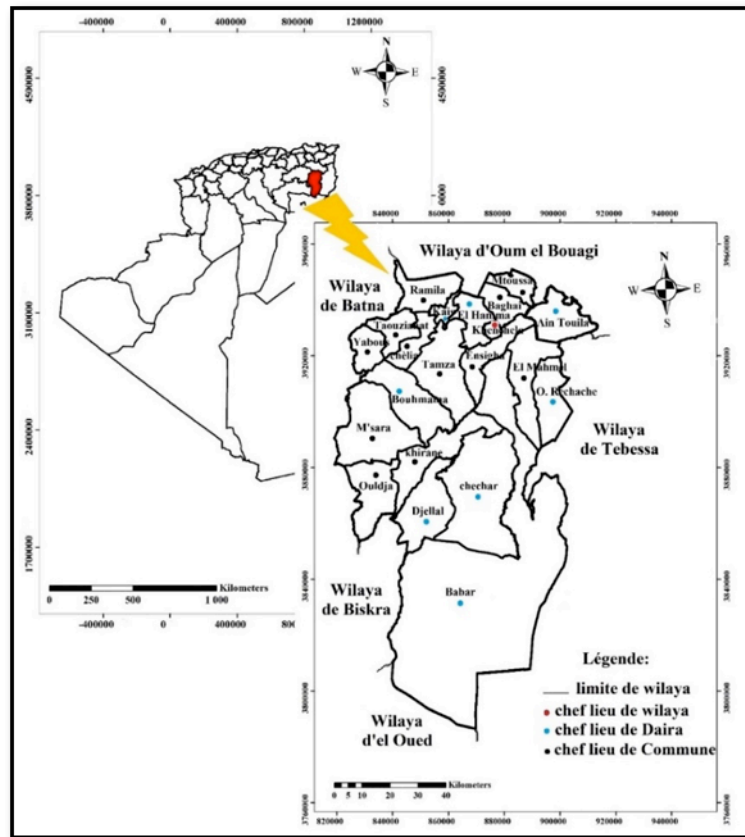
Au Sud : par la wilaya d'El Oued.

De l'Est : par la wilaya de Tébessa.

De l'Ouest : par la wilaya de Batna.

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

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



**Figure 1** : situation géographique de la Wilaya de Khenchela.

### **I.1.2 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 (**Fig.2**) :

Au Nord-Ouest : Massif de Chélia.

Au Nord : Contreforts du massif de Chélia.

De l'Est : Massif de Beni-Melloul.

Du Sud-Est : Gorges de Mellagou.

La commune de Bouhmama s'étale sur une superficie totale de 409 km<sup>2</sup>, soit 4,20 % du territoire de la Wilaya de Khenchela. Au plan spatial, Bouhmama, présente une configuration territoire allongé du Nord-Ouest vers le Sud-Est et limitée :

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

---

## **I.1.3 Présentation générale de la zone d'étude**

### **I.1.3.1 Situation géographique**

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

Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le sous bassin versant de

Oued Mellagou appartient à l'ensemble de Haute plateaux constantinoise – Chott Melghir.

### **I.1.3.2 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 (Bassin versant numéro 06).

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

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

#### **a) Les coordonnées géographiques**

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

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

#### **b) Les coordonnées Lambert suivantes**

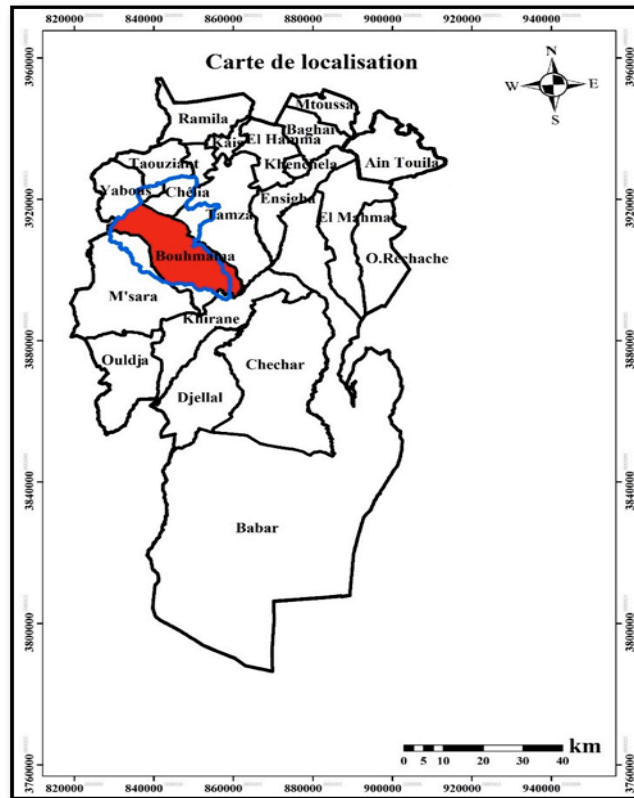
- La longitude : 885.609 Km et 855.040 Km.
- La latitude : 242.881 Km et 208.636 Km.

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

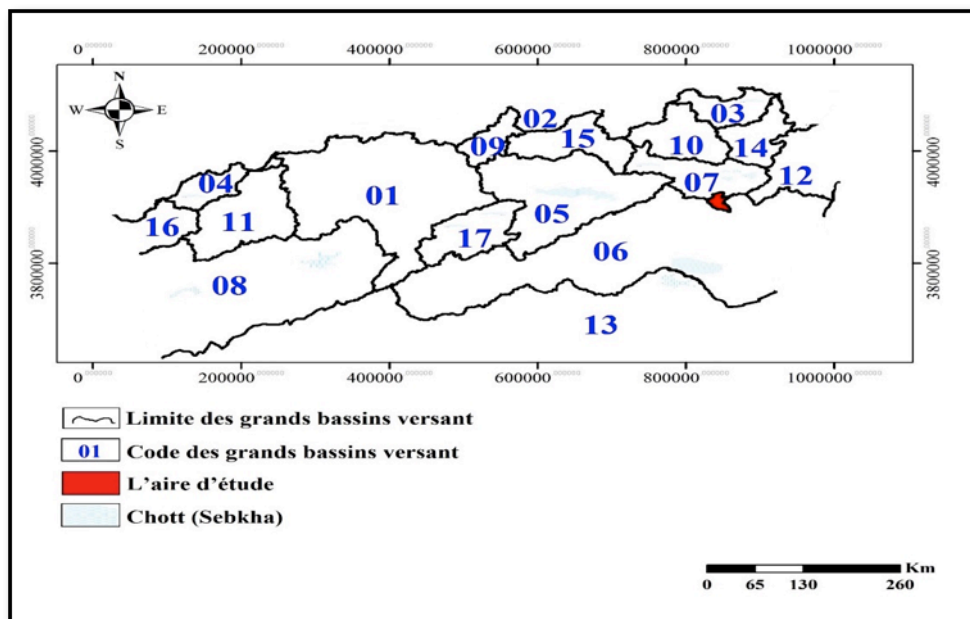
- Au Nord par la commune de Touffana.
- A l'Est par la commune de Tamza.
- A l'Ouest par la commune de Lemsara.

Notre sous bassin versant fait partie du grand bassin versant de Chott Melghir (Bassin versant numéro 06). Il s'insère dans le centre de la région montagneuse de l'Aurès, dominée

au Nord-Ouest par le massif de Beni Imloul – Chelia qui culmine le plus haut sommet de l'Algérie de Nord « Ras Kelthoum ». Avec une altitude de 2326 m, et le massif de Ouled Yagoub – Beni Oudjana au Nord – Est de sous bassin versant qui culmine à 2143 m au Djebel Bazez.



**Figure 2 :** Localisation administrative de la commune de Bouhmama et la zone d'étude.



**Figure 3 :** carte des grands bassins versant du nord Algérien.

---

## I.2. La population

### I.2.1 Densité et répartition spatiale de la population

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

Rapportée à la superficie communale qui est de 409 Km<sup>2</sup>, la densité moyenne serait de l'ordre de 27,43 personnes au Km<sup>2</sup>, ce qui est inférieur à la densité moyenne de la Wilaya qui est d'environ 42 personnes au Km<sup>2</sup> en 2010 (**DPSI ,2010**).

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

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

**Tableau 1** : Répartition de la population par dispersion

Population totale	ACL		Zone éparsée	
	Nombre	%	Nombre	%
<b>11220</b>	8010	71,39	3210	28,61

(Source : DPSI 2010)

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

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

1. Le hameau d'Ouled Ali Benflous qui se représente sous forme d'extensions désordonnées limitant l'agglomération chef-lieu de Bouhmama à l'Ouest et au Nord, ce hameau est structuré par le CC 38. Il comptait 536 habitants au (**RGPH, 2008**).

2. Hameau d'Ouled Si Moussa situé à l'Ouest de l'agglomération chef-lieu de Bouhmama structuré par le chemin communal CC38. Ce hameau comptait 507 habitants au (RGPH, 2008).

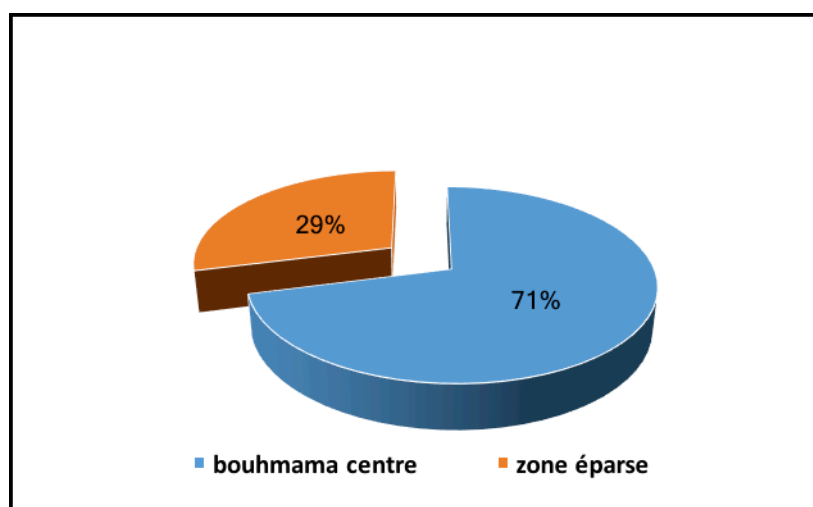
3. Hameau de Bouzouamel situé au Sud-Est de l'agglomération chef-lieu de Bouhmama relié et structuré par le chemin communal CC21. Ce hameau comptait 528 habitants au (RGPH, 2008).

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 étude.

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

Dispersion	Population		Total	Nombre de logements
	Masculin	Féminin		
Bouhmama centre	5086	5527	7582	1661
Zone éparse			3031	894
<b>Total commun</b>	<b>5086</b>	<b>5527</b>	<b>10613</b>	<b>2555</b>

Source : Etat civil TRC 2008



Source : RGPH 2008

**Figure 4** : Représentation de la population de la commune de Bouhmama.

## I.2.2 Évolution de la population

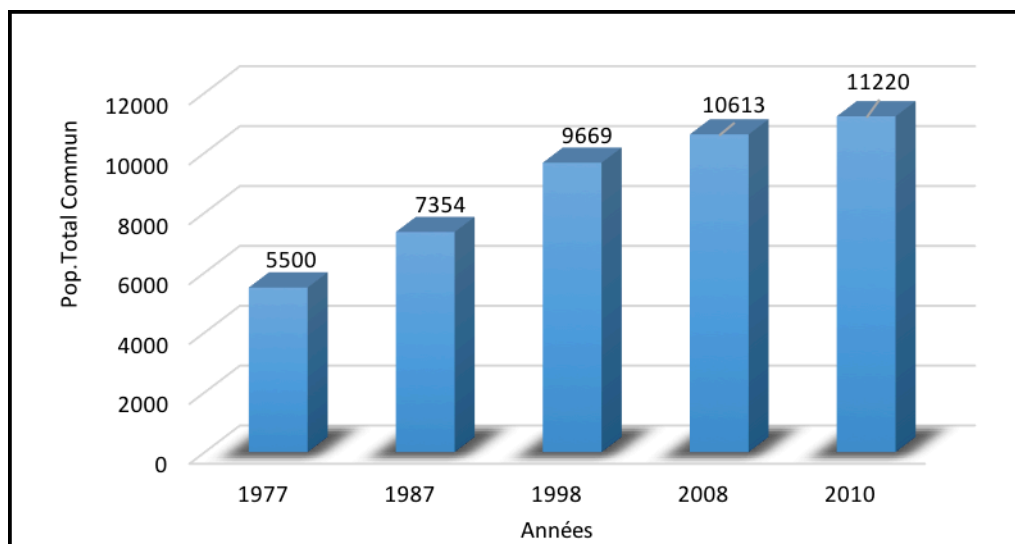
La population de la commune da Bouhmama a connue, de manière générale, une faible évolution par rapport au croisement général de la population de la Wilaya.

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.

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

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



**Figure 5** : l'évolution de la population à travers les différents Recensement Générale de la Population et de l'Habitat.

---

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

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

### **I.3. GEOLOGIE**

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

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

La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédiment-logiques et structuraux (**Houha, 1996 et 2007**).

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, sédimen-tologiques et structuraux (**Laffitte, 1939**).

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 Nord-Est-Sud-Ouest.

- 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.

---

## **I.1.2. La Stratigraphie**

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

### **1.1 Le Quaternaire**

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

### **1.2 Les formations secondaires**

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

#### **1.2.1 Tertiaire**

##### **a) - Eocène inférieure**

Qui commence sur le M.strichtien supérieure avec des marnes presque noires qui passe au calcaire marneux gris bleuâtre et fin.

##### **b) - Eocène moyenne**

- **Oligocène inférieure** (lottorfien o3) avec des argiles et gris siliceux rougeâtre.

- **Oligocène moyen et supérieur** (aquitaniens 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.

##### **c)- Miocène (mi)**

Il se trouve en roche la majorité des grés (Chélias) ; partiellement des marnes, conglomérats bio micrite et bio micro parité.

---

## **1.2.2 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.

### **a) -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.

#### **-Campanien, Santanien et Coniacien (c8a, c7)**

Avec des marnes bleues, noires et quelques blocs calcaires, des marnes beiges à ocre. Située dans la partie sud du sous bassin et la synclinale d'Oued Azreg.

### **b) -Le Crétacé moyen**

#### **- Le Turonien**

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

### **a)- Le Cénomaniens supérieur**

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

### **b)- Le Cénomaniens moyen**

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

### **c)-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**

### **a) L'Albien**

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

### **b) L'Aptien**

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

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

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

### **c)Le Barrémien**

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

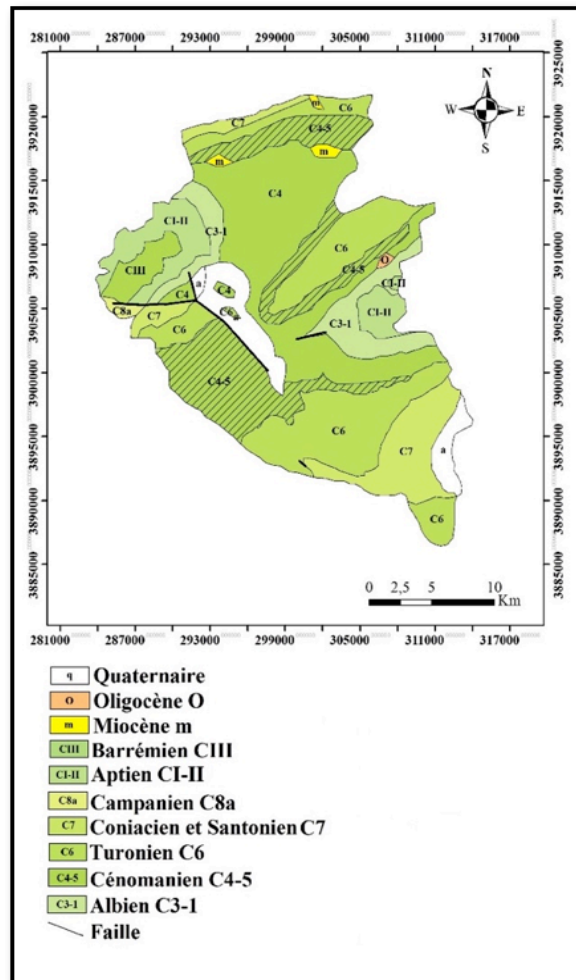
## **1.2.2. Le Trias**

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

Les seuls épitements triasiques du territoire communal de Bouhmama se localisent au

Djebel El Kanouf plus précisément à 02 km à l'Est du Marabout de Sidi Mohamed et dans la partie sommitale de Ktef Es Souda soit à 4,5 km à l'Est-Sud-Est du lieu-dit Marabout.

**Les Failles** : elles se trouvent à Oued Mellagou, région Djaarir et les versant sud-est de Djebel Chélia.



**Figure 6** : la carte géologique de bassin versant de Oued Mellagou.

### I.3.2. La tectoniques

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 Nord –Est -Sud-Ouest. Toutefois on dénombre l'existence des failles transverses suivant la direction Nord-Ouest-Sud

Est. C'est le cas de la faille délimitant le Djebel Ichemoul du côté oriental (à l'Est d'Arris) et celle de Théniet Ressas.

Dans la commune de Bouhmama, il existe aussi la faille d'orientation Nord-Ouest-Sud-Est 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 Nord-Ouest-Sud -Est et qui probablement peuvent être rattachés à d'anciens coulissements alpins.

### **I.3.3. La perméabilité**

Les types des formations géologiques qui affleurent dans les bassins versants à une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

Le sous bassin est formés essentiellement par des formations perméables à semi perméables qui occupent presque la totalité de la superficie du bassin, ce qui favorise l'infiltration des eaux de surface.

Toutefois, Les formations perméables sont les alluvions quaternaires surtout les marnes et grés miocènes qui affleurent au niveau de la plaine de Mellagou.

**Tableau 4 :** Les caractéristiques de matériaux de bassin versant de point de vue perméabilité.

<b>Formation géologique</b>	<b>Formation lithologique</b>	<b>La perméabilité</b>
<b>Campanien</b>	Marnes noires.	Faible.
<b>Maestrichtien</b>	Marnes crayeuses.	Faible.
<b>Oligocène</b>	Marnes rouges à gypse.	Faible.
<b>Coniacien</b>	Marnes et calcaires.	Semi-perméable.
<b>Quaternaire</b>	Alluvion ancienne et	Perméable.

	récente.	
<b>Cénomanién</b>	Marno-calcaire.	Semi-perméable.
<b>Turonien</b>	Calcaires et marnes.	Imperméable.
<b>Miocène</b>	Calcaire, grés.	Imperméable.
<b>Albien</b>	Calcaire massif.	Imperméable.
<b>Aptien</b>	Dolomie.	Imperméable.
<b>Barrémien</b>	Grés.	Semi-perméable.

#### **I.4. Géomorphologie**

##### **I.4.1 topographie**

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

##### **A/ 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.

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

-Au Nord : Se présent par, Dj.Foural à 1698 m.

-Au Nord-Est : Se présent par Dj.Aures à une altitude de 1548 m.

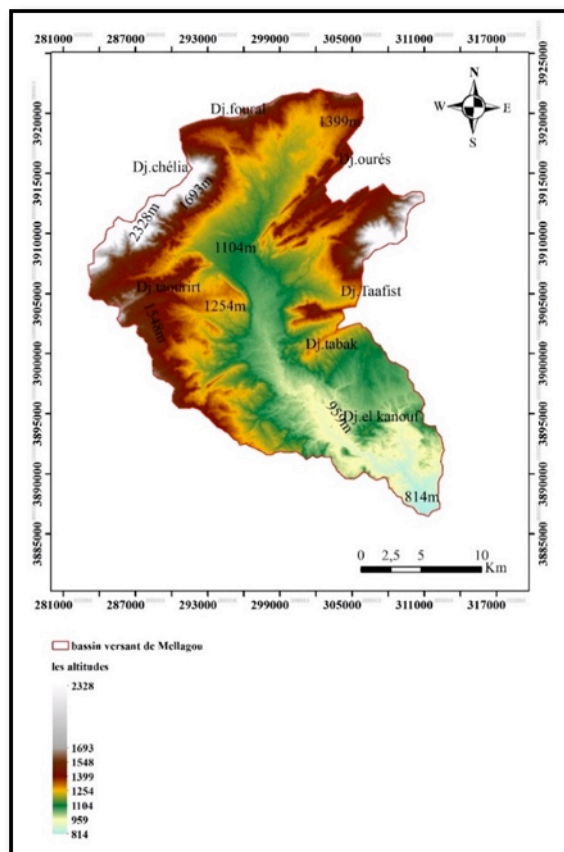
-A l'Est : Dj.Taafist est à 1399 m avec une exposition Ouest.

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

-Au Nord-Ouest Notons bien que Dj.Chélia qui culmine 2328 m exposition Sud-Est.

-A l'Ouest : Dj.Taourirt est à de 1734 m d'altitude avec exposition Sud-Est.

-Au Sud-Est : Nous remarquons ainsi Dj. El Kanouf avec une altitude de 1104 m exposé Sud-Ouest.



**Figure 7 :** Les altitudes du bassin versant de Oued Mellagou.

## **B/ La zone des piémonts**

C'est une surface d'accumulation à pente douce, étalée au pied d'un ensemble montagneux.

Ils sont situés à l'interface de deux modes opposés qui sont les plaines et les montagnes.

Dans les bas piémont ou l'agriculture est possible et l'écoulement des eaux ou de ruissellement est important, et les hauts piémonts à utilisation sylvo-pastoral. Le ruissellement diffus y est important et cause de nombreux dégâts au sol cultivés.

### **- Les glacis**

C'est la forme de relief la plus caractéristique des hautes plaines et la plus représentée dans notre zone d'étude. Ce sont des superficies en long correspondant de très faible pente liée au massif des Aurès, près de la plaine et dont la pente augmente progressivement vers la montagne, ils sont recouverts par un matériel clastique faiblement calibre et très fragmentés vers le bas, ils sont parcourus de ravineaux divergents, ces glacis sont localement le siège d'un écoulement en nappe avec recuisse en mouvement de nombreux galets et de limon

---

superficiel dont la conséquences peuvent être catastrophiques pour les cultures , les zones basses et les routes.

Il s'agit donc d'une évolution étalée dans le temps et contenu épisodiquement quand les terrassements préliminaires du reboisement n'arrêtent plus les écoulements en nappe. Ce le cas pour : la région de Djaarir, Tarzout, Oued Mellagou et Oued El Askar.

#### **- Les terrasses**

Les terrasses se disposent en plane étagée ; plus au moins symétriques, de part ou d'autre part de cours d'eau, elles représentent les positions successives des lits fluviaux pour chaque lit.

On les remarque sur les deux piémonts dans les principales vallées.

#### **- Les formations alluviales et colluviales**

Qui sont repérées les vallées des Oued, sont des zones d'épandage ou l'érosion se manifeste sur les lits et sur les berges des écoulements soit par creusement soit par sapement latérales.

#### **C/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).

#### **-Les cultures**

Lorsque le terrain y' prêt, ce sont principalement des céréales (blé et orge) qui sont cultivé en plaine et sur les piémonts.

L'arboriculture et les cultures maraîchères n'occupent que des surfaces très restreintes et sont concentrées autour des habitations.

Les sols cultivables représentent 36,12 Km<sup>2</sup> (3612 Ha) soit 47% de la surface totale.

---

### **-La steppe**

Constitué soit d'Alfa soit d'Armoise. Elle se trouve principalement sur les piémonts et occupent 36,13 Km<sup>2</sup> (3613 Hectare) soit 6,25 % de la surface totale.

### **-Le Maquis**

Constitué de Genévriers oxycèdre et de chêne vert dégradés. Il se trouve sur les piémonts et les bas versant et représente : 3,67 Km<sup>2</sup> (367 Hectare) soit 4,87% de la surface totale.

### **-Les garrigues**

Ce sont des maquis très dégradés due à une exploitation destructive. Elles sont constituées de végétation ligneuse naine et localisées sur les basses collines calcaires, elles représentent :

0,84 Km<sup>2</sup> (84 Hectare) soit 1,01 % de la surface totale.

## **I.4. 2.Pédologie**

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

L'examen de la carte des sols (**Fig.8**) met en évidence trois grandes catégories de sols qui caractérisent l'espace communal de Bouhmama et qui sont :

-Les sols calcaires humifères.

-Les sols calciques.

-Les sols insaturés humifères.

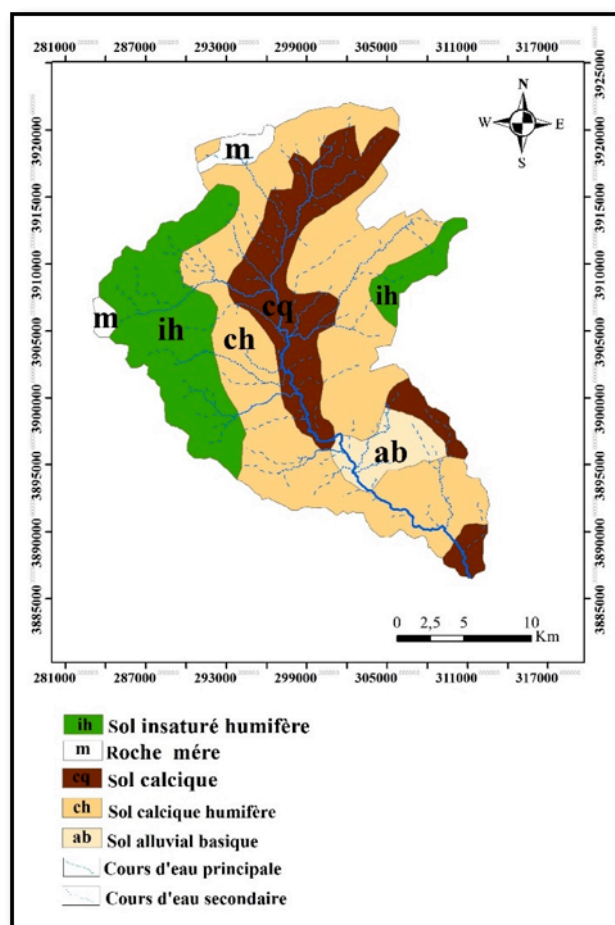
-Les sols alluviaux basiques.

**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, pêcher).



**Figure 8** : la répartition des unités des sols à travers le bassin versant d'Oued Mellagou.

### I.5. Couvert végétal

La couverture végétale de sous bassin versant de Oued Mellagou est la majeure partie formée de forêt occupant environ de deux tiers de la superficie. La partie Ouest de sous bassin versant est couverte par la forêt de Beni-Meloul. La partie Est par la forêt de Beni-Oudjana (Ouled Yagoub).

On assiste également par fois de haut vers le bas à un changement radical du climat, et au même temps à une régression des groupements végétaux. On observe un remplacement des étages à climat ligneux par des étages à végétation herbacée caractérisé par la présence d'une strate dont la hauteur et le degré de recouvrement sont pour le moins qu'on puisse dire « faible ». Ce changement remarquable de couvert végétal d'une altitude à une autre et d'un versant à un autre ; ne peut traduire que par une pédogenèse liée essentiellement à la nature et la qualité de la matière organique arrivant et disparaissant annuellement au contact de sol et pratiquement le changement climatique.

---

### **I. 5. 1. Les cultures céréalières (orge et blé)**

Ce sont des terres riches et fertiles, que l'on trouve sur les pentes légères (0 – 3 %) au niveau de la plaine de Mellagou et les petites enclaves qui se trouvent en forêt. Ces terres couvrent une superficie totale 8500 Hectare ; (6600 Hectare de blé dur et 1900 Hectare d'orge).

### **I.5. 2. Les cultures irriguées**

#### **a). L'arboriculture**

Au niveau de la zone d'étude les arbres fruitiers à pépins sont les plus dominants surtout les pommiers qui occupent la première place, la superficie de ce dernier augmente de plus en plus à cause de sa valeur économique et l'existence des conditions favorables (eau, altitude, température, sol.....).

On trouve des vergers surtout au niveau de la plaine où le nombre des forages et des puits est élevé. La superficie totale de l'arboriculture est 2130 Hectare. Dont la superficie de pommier est dominante (1400 Hectare) ; tandis que les autres espèces telles que l'amandier, l'abricotier et le pêche n'occupent qu'une superficie limitée.

#### **b). Les cultures fourragères**

Les fourrages pratiqués sont des fourrages consommés en vert avec deux types ; Maïsorgo et Orge – avoine. Ces cultures sont pratiquées en irrigue et se trouvent au centre de la plaine de Mellagou (au sud de la commune de Bouhmama) avec une superficie totale de 170 Hectare.

#### **c). Les cultures maraîchères**

Ces cultures sont marquées dans notre zone d'étude par une superficie réduite 134 Hectare par rapport à la grande culture et l'arboriculture ; elle est présentée par : l'ognon, pommes de terre, et l'ail qui occupent la première place pour la production qui est autoconsommée localement.

### **I.5. 3. Parcours, steppe, maquis et les prairies**

Les terres de parcours ne conviennent pas au labour, elles peuvent être réservées à un pâturage organisé, occupent une superficie totale de 10163 Hectare.

Les parcours de plateau d'Eziriz qui couvrent par une forte densité d'Alfa bordés de tous les côtés par des forêts dégradées de pin d'Alep. Parmi les espèces fourragères qu'on trouve dans les parcours steppiques.

---

Nous avons :

- *Steppe ténacissima.*
- *Artimisia herba alba.*
- *Rosmarinus tornocfort.*
- *Artimisia compistris.*
- *Thymus ciliantis.*
- *Ginsta cinita.*

Le reste des parcours se trouve dans la clairière au niveau de forêt de pin d'Alep. Alors que ; dans la partie sud de la plaine de Mellagou on trouve la steppe Alfatière (steppe Ténacissima) avec une superficie de 3213 Hé dont la superficie totale est de 4566 Hé. Il y a une grande répartition de la steppe de Artimisia soit 6,56 % de la superficie totale de sous bassin versant.

#### **Les maquis soient des forêts dégradées**

S'appellent maquis de Chaîne vert occupent la partie Nord-Ouest de sous bassin versant.

Les prairies se sont des terres humides réservées aux pâturages et qu'on trouve dans des dépressions souvent inondables et qui se situent au niveau de la plaine de Mellagou.

Les terres improductives : en générales sont des terres ou aucune culture ne peut être pratiquée à cause de leur :

- infertilité.
- situation (Route, zone dégradée, zone de conservation contre l'érosion).
- Relief : forte pente.

#### **I. 5. 4. Les forêts**

Le bassin versant de Oued Mellagou englobant un cortège floristique diversifié composé d'essences précieuses telles que : le cèdre, le pin d'Alep, le genévrier de Phénicie, le chêne vert, genévrier oxycèdre, genévrier thurifère.

La forêt occupe la première place ; car elle représente 61,37% de la surface totale du bassin dont 17% des maquis.

---

Ce patrimoine forestier, à l'égard des formations forestières de la wilaya, n'échappe guère aux différents phénomènes destructifs auquel est exposé. Cette dégradation de la concomitance de plusieurs facteurs.

Les terres forestières occupent la majorité de superficie totale de bassin versant. Ces forêts sont administrées par trois circonscriptions forestières :

- Celle de Kais qui gère la partie Est de sous bassin versant formes les forêts dominées de Beni-Oudjana avec une superficie totale de 12105 Hé elle gère également dans la commune de Chélia, une superficie de 2134 Hé et dans Bouhmama une superficie de 977 Hé.

La partie Ouest de sous bassin versant est géré par la circonscription de Bouhmama elle couvre le massif de Chélia et les forêts de Beni-Imlouil avec une superficie de 15119 Hé.

- une partie des forêts de Ouled Yagoub est gérée par la circonscription d'El Hamma, elle occupe une superficie de 9983.08 Hé.

## **I.6. Les caractéristiques géométriques et morpho métriques.**

### **I.6.1. Paramètres géométriques**

#### **I.6.1.1. La superficie**

La superficie d'un bassin versant est une dimension importante à connaître, car elle est à la base de tous les calculs hydrologiques et les projets d'aménagement. La mesure de cette surface suppose d'abord la délimitation du bassin par la ligne de partage des eaux qui est matérialisée par la ligne des crêtes.

Les limites du sous bassin de l'Oued Mellagou sont très nettes en zones montagneuses où les reliefs sont très apparents, ils ne sont pas de même pour les plaines à topographie plane et aux formations superficielles perméables. Par l'outil de ArcGis 10.1 la superficie de sous bassin est de l'ordre de 577,8 km<sup>2</sup>.

**I.6.1.2. Le périmètre = 127,2 km.**

#### **I.6.1.3. Indice de forme ou indice de compacité Gravelius**

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, et de comparer les bassins versants entre eux. L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard C'est ainsi que Gravelius (1861-1938), professeur à l'Université de Dresde (Allemagne), a proposé en 1914 le coefficient de compacité. L'indice de compacité de Gravelius ( $K_G$ ), est en fait le rapport du périmètre du bassin à la circonférence du cercle

ayant la même surface. Si le périmètre du bassin est noté **P** et sa surface (superficie) **A**, le coefficient de compacité s'exprime par :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Cet indice est déterminé à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et donc compact ; mais supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

$$Kc = 0,28 \frac{127,2}{\sqrt{577,8}} = 1,48$$

$$Kc = 1,48$$

Ce bassin est donc de forme relativement allongée. Comme nous l'avons dit plus haut, une forme allongée d'un bassin versant favorise des faibles débits de pointes en raison du temps de concentration élevé.

#### II.6.1.4. Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius

Pour pouvoir comparer des bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement, on introduit la notion du rectangle équivalent. On suppose que, sur un bassin donné, l'écoulement est approximativement le même que sur un rectangle de même superficie, ayant un même coefficient de Gravelius, une même répartition hypsométrique à conditions climatiques similaires, une même distribution des sols, de la végétation et même densité de drainage. C'est une transformation purement géométrique dans laquelle les droites parallèles aux largeurs du rectangle et l'exutoire sont le petit côté ou largeur du rectangle (Eskenazi, 1991).

En considérant la longueur **L** et la largeur **l** du rectangle, connaissant le périmètre **P**, l'indice de compacité de Gravelius **K<sub>G</sub>** et la superficie **A** du bassin versant, on peut déduire **l** et **L** :

**-La longueur :**

$$L = \frac{Kc \sqrt{S}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

$$L = 52,57 \text{ Km.}$$

---

## **- La largeur**

$$I = \frac{Kc \sqrt{S}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

$$I = 10,99 \text{ Km.}$$

### **I.6.1.5. Le relief**

#### **a) . L'orographie**

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin.

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont en fonction de l'altitude, car l'altitude d'un relief dépend le gradient pluviométrique et thermique, ainsi que la vitesse d'écoulement qui sera en principe plus importante en montagne qu'en plaine.

La répartition du bassin versant (en km<sup>2</sup> et en % de la superficie totale) par tranches d'altitude est consignée dans le tableau 5.

D'après l'assemblage des cartes topographiques 1/50 000 de Toufana, Chélia, Dj Djahfa, Dj Toubount et Taberdga on constate que la zone d'étude représentée par deux parties :

#### **- La partie Nord**

Caractérisée par deux massifs montagnards (massif de Chélia et massif de Ouled Yagoub). Où les altitudes varient entre 1000 m et 2326m.

#### **- La partie Sud**

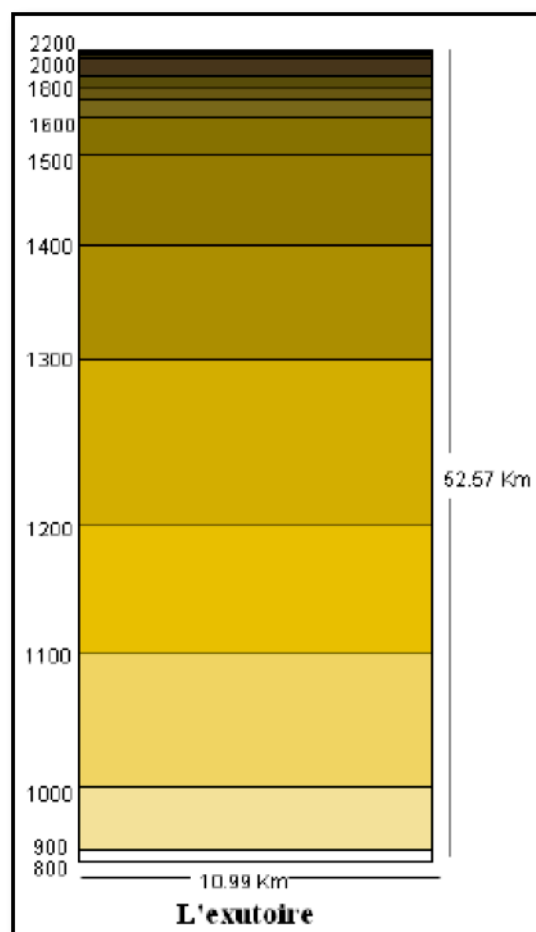
Elle est caractérisée par les collines et les Djebels dont l'altitude varie entre 800m et 1365m.

#### **- l'altitude maximale**

Le sous bassin de l'Oued Mellagou atteint 2326 m à son point culminant au sommet de Ras Kelthoum.

#### **- L'altitude minimale**

Le point le plus bas correspond à 800 m au niveau de la plaine près de l'exutoire. Donc une dénivelée totale de 1526 m.



**Figure 9 :** le rectangle équivalent de bassin versant de Oued Mellagou.

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, c'est un capital dans le comportement hydrologique d'un bassin, ces caractéristiques hypsométriques permettent d'aboutir à la classification du relief.

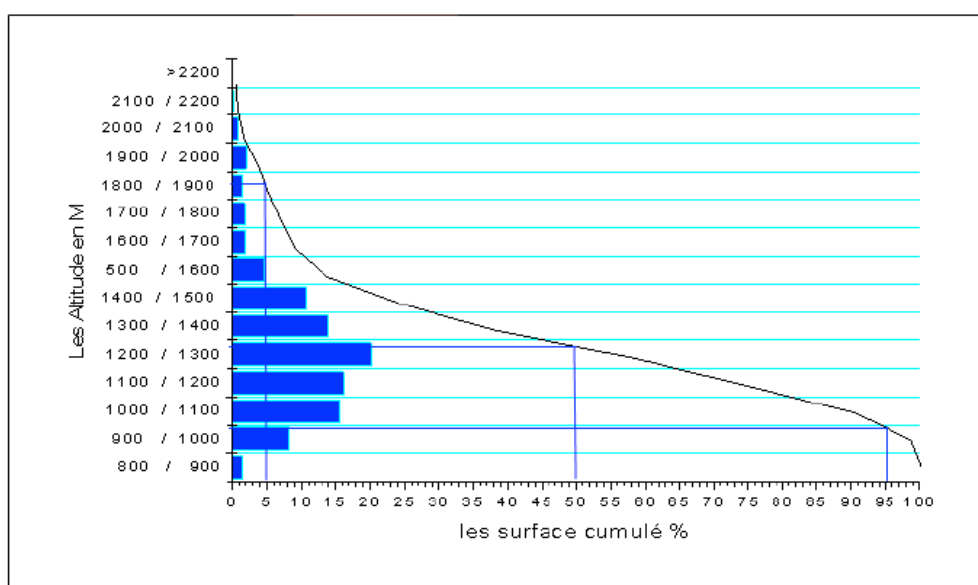
**Courbe hypsométrique : (Fig. 10)**

Le relief est caractérisé par sa courbe hypsométrique, celle-ci nous renseigne sur la répartition de la surface en fonction de tranche d'altitude en portant ordonnée les tranches données et en abscisse la surface du bassin pour laque chaque point est une cote au moins égale à cette altitude, les surfaces en abscisse sont exprimées en pourcentage de la surface totale du bassin, la répartition altimétrique du bassin versant d'Oued Chéria est représenté sur le tableau 5.

La courbe hypsométrique du bassin versant d'oued Mellagou montre une allure généralement irrégulière.

**Tableau 5 : Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mellagou par tranche d'altitude.**

Altitudes en (m)	Surfaces (Km)	Surfaces cumulées (Km)	Surfaces (%)	Surfaces cumulées (%)	Largeur de l'intervalle
>2200	0,19	0,19	0,03	0,03	0,02
2100-2200	1,97	2,16	0,34	0,37	0,18
2000-2100	5,13	7,29	0,89	1,26	0,47
1900-2100	12,1	19,39	2,09	3,36	1,10
1800-1900	8,25	27,64	1,43	4,78	0,75
1700-1800	10,5	38,14	1,82	6,60	0,96
1600-1700	11,6	49,74	2,01	8,61	1,06
1500-1600	27	76,74	4,67	13,26	2,46
1400-1500	61,3	138,04	10,61	23,89	5,58
1300-1400	81,5	219,54	14,11	38,00	7,42
1200-1300	117	336,54	20,25	58,25	10,65
1100-1200	93,8	430,34	16,23	74,48	8,54
1000-1100	91	521,34	15,75	90,23	8,28
900-1000	47,5	568,84	8,22	98,45	4,32
900-800	9,05	577,8	1,57	100,00	0,82
	$\Sigma$ 577,8		$\Sigma$ 100		$\Sigma$ 52,57



**Figure 10 : Courbe hypsométrique du bassin versant Oued Mellagou.**

---

## Les altitudes caractéristiques

A partir de cette courbe, les altitudes suivantes ont été déterminées :

Les altitudes caractéristiques nécessaires pour les calculs hydrologiques sont :

- L'altitude médiane : L'altitude médiane correspond à une surface cumulée de 50% est égale à  $(H_{50\%}) = 1340$  m

- L'altitude à 95 % de la surface,  $(H_{95\%}) = 1040$  m.

- L'altitude à 5 % de la surface,  $(H_{5\%}) = 1380$  m.

$$\bar{H} = \frac{\sum Si \times Hi}{S}$$

Si : aire comprise entre deux courbes de niveau (km).

Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

S : superficie totale du bassin versant (km).

L'altitude moyenne est ainsi définie :  $\bar{H} = 1271,72$  m.

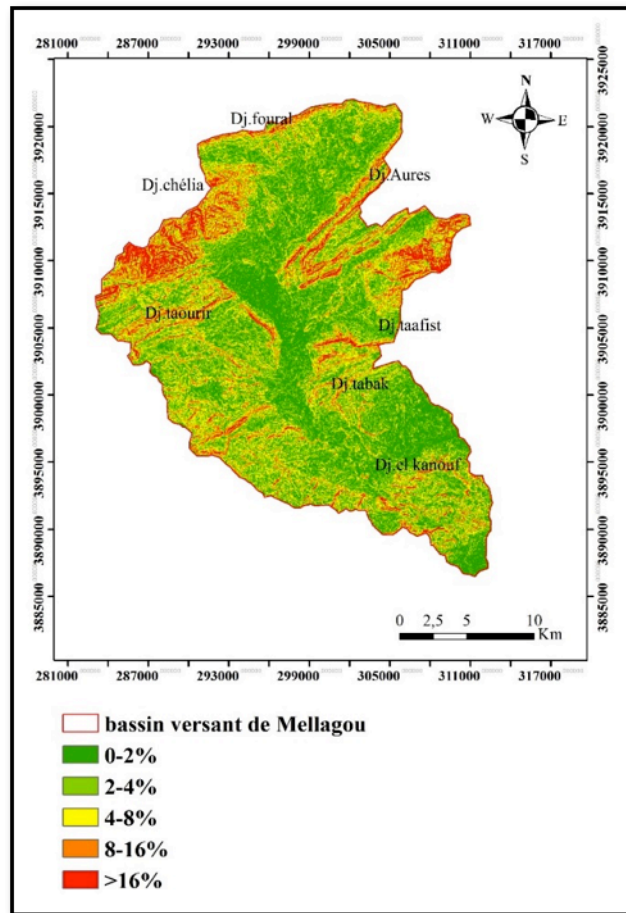
### I.6.1.6. Les pentes

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

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

**-La deuxième classe (4-8%)** : correspond aux zones de piémont des reliefs montagneux concernant la vallée d'Oued Mellagou (Chélia au Nord, Djebel Taafist à l'Est, Ras Tirhezza à l'Ouest).

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



**Figure 11** : Les pentes du bassin versant de Oued Mellagou.

**a). Les indice de pente**

Le relief par sa configuration joue un rôle important vis-à-vis de l'aptitude des différents terrains au ruissellement, elle exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue.

**b).Indice de pente global**

Cet indice sert à classer le relief du bassin, il décroît lorsque la surface augmente, et il présente l'avantage d'être très simple. Cet indice est très facile a calculé et très utilisé, il sert de base à une classification d'O.R.S.T.O.N. (Office des Recherches Scientifiques dans les Territoires Outre-Mer). Pour les bassins versant dont la superficie est supérieure à 25 Km<sup>2</sup>.

Sur la courbe hypsométrique on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface, on aura les altitudes H5% et H95% entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin et la dénivelée D= H5% - H95%, L est la longueur de rectangle équivalent en Km.

$$I g = \frac{D}{L} \text{ (m /Km).}$$

---

---

$$I_g = 15,98 \text{ (m / Km)}$$

### II.6.1.7. Dénivelée spécifique (DS)

La dénivelée spécifique permet de définir les différents types de relief des bassins versants  
Elle est exprimée par la relation suivante :

$$D_s = \sqrt{S} \times I_g$$

On a:

$$I_g = 15,98 \text{ m/Km}$$

$$S = 577,8 \text{ Km}^2$$

$$\sqrt{S} = 24,03 \text{ Km}$$

$$D_s = 384,12 \text{ m}$$

Le dénivelé spécifique permet d'utiliser la classification de L'O.R.S.T.O.M  
(Office des Recherches Scientifiques dans les Territoires Outre-Mer) qui permet définir les différents types de relief des bassins versant quelque soient leurs superficies.

D'après la classification de L'O.R.S.T.O.M. (Office des Recherches Scientifiques dans les Territoires Outre-Mer.

**Tableau 6 :** Classification du relief en fonction de « **Ds** » d'après L'O.R.S.T.O.M.

<b>R1</b>	Relief très faible.	<b>Ds</b> <10m
<b>R2</b>	Relief faible.	10< <b>Ds</b> <25m
<b>R3</b>	Relief assez faible.	25< <b>Ds</b> <50m
<b>R4</b>	Relief modéré.	50< <b>Ds</b> <100m
<b>R5</b>	Relief assez fort.	100< <b>Ds</b> <250m
<b>R6</b>	Relief fort.	250< <b>Ds</b> <500m
<b>R8</b>	Relief très fort	Ds>500m

---

Les valeurs de Ds, traduisent bien l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief. Notre bassin versant présente un relief fort (R6) car :  $250 \text{ m} < Ds < 500 \text{ m}$ .

### **I.7. Le Réseau hydrographiques**

#### **-Oued Mellagou**

Est formé de la réunion de deux bras, celui qui 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

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 jette dans Al Abiod puis Oued El Arab.

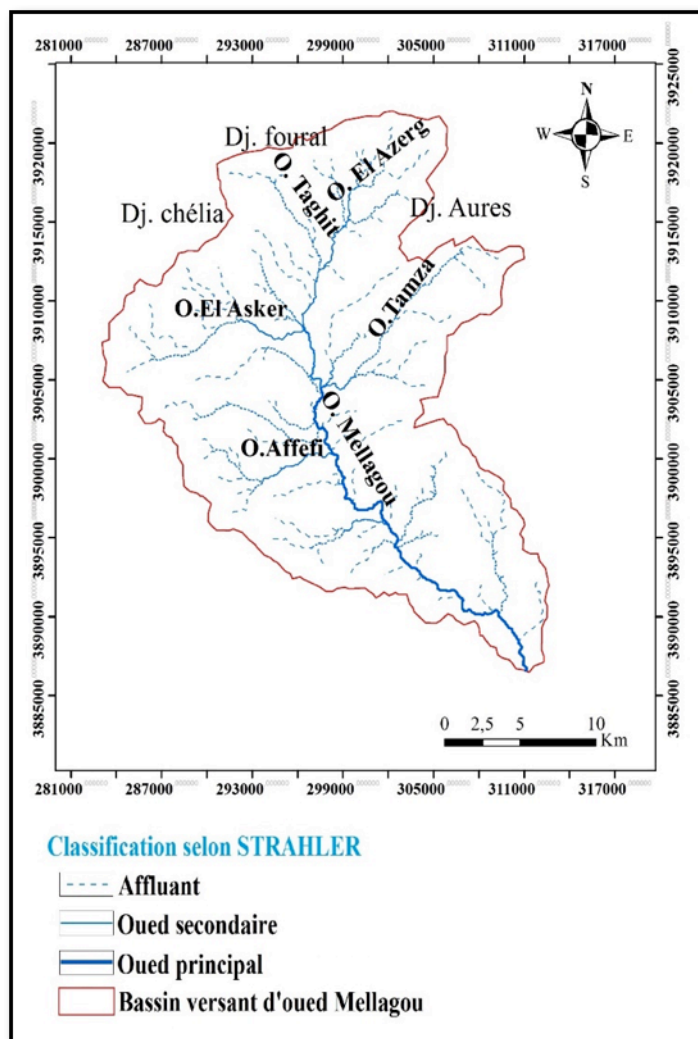
La plupart des Oueds de sous bassin versant de Oued Mellagou ne sont pas permanents se sont tous des affluents du grand Oued appelé Oued Mellagou.

Les importants affluents qui viennent du Nord sont : Oued Taghite, Oued Azreg. Ces deux Oueds naissent au bord de la plaine 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 naît le grand Oued Mellagou qui forme en jonction avec l'Oued El Abiod et Oued El Arab.



**Figure 12 :** Le réseau hydrographique du bassin versant de Oued Mellagou.

### **-Les ressources hydriques**

La zone montagneuse de Mellagou dispose d'un potentiel hydrique important que ce soit en eau superficielle et souterraine ; Les eaux superficielles sont les eaux de ruissellement superficiel de pluie qui sont caractérisée par l'écoulement en hiver et assèchement en été. La zone est dominée par un réseau hydrographique très dense d'un régime d'écoulement irrégulier.

En dehors des eaux superficielles ; l'eau souterraine constitue un réservoir d'eau d'une importance primordiale, et offre souvent l'unique source d'approvisionnement en eau.

L'exploitation des nappes aquifères rempli d'eau pendant les périodes pluviales nécessitent la réalisation d'ouvrage tel que puits, forages et sources.

---

---

## **-Les eaux superficielles**

### **Les Oueds et Leurs exploitation**

**Tableau 7** : les ouvrages de retenues collinaires.

Nom de l'ouvrage	Bouyelfene	Djaarir	Talaoufounes
Capacité m <sup>3</sup>	20000	15000	10000
Année de réalisation	1987	1987	1987
Superficies irriguées	15	10	10
Etat de l'ouvrage	Bon	Envasé	Envasé
Observation	Réhabilité 2001	/	/

**Source** : DAC 2007.

La plupart des retenues collinaires sont inexploitées à cause de :

- Problème d'envasement sauf la retenue de Bouyelfène qui a été aménagée dans le cadre de programme de concession en 2001.
- Aménagement hydraulique pour l'irrigation inexistant
- Problème d'infiltration au niveau de la digue.
- Evacuateurs des crues endommagées.

## **-Les eaux souterraines**

### **Les forages**

La profondeur de la nappe alluvionnaire de la zone d'étude varie entre 70 à 150 m, dont le nombre de forages captant la nappe est de 125 leur débit varient de 3 à 35 L/S. la date de réalisation est 1987 / 2007, leur destination est l'irrigation et l'AEP. Dont la superficie irriguée est 794 Ha. (Les statistiques de la DAC 2007).

### **-Répartition des puits et leurs natures**

---

**Tableau8** : Répartition des puits et leurs natures.

La zone	Bassin versant de Mellagou
Nombre de puits	-Total : 143 -Fonctionnels : 130
Profondeur en M	6 / 22
Débit (L/S)	0.2 / 1
Superficie (Hé)	52

---

## **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 grès, 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 principales 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 variée (marne – calcaire – Alluvion ancienne et récente) donc ces formations présente perméabilité élevé.

La végétation dans la zone d'étude se devise 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.

---

## **Chapitre II**

### **Etude climatique**

---

## **INTRODUCTION**

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (**Roche 1963, Cosande, 2001**).

Les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

C'est pourquoi nous consacrerons, à travers ce chapitre, un développement particulier au climat du bassin de Mellagou.

L'équipement climatologique du bassin est cependant loin d'être satisfaisant. Le manque de documentation est flagrant, les longues séries d'observation sont rares.

Les séries pluviométriques qui présentaient des lacunes ont été largement homogénéisées avant leur utilisation ; cela est essentiel pour arriver à une série longue et continue.

Malgré le caractère fragmentaire des mesures, les températures atmosphériques du bassin seront esquissées en soulignant plus particulièrement l'importance de la saison sèche et donc l'effet déterminant de l'évapotranspiration, paramètre essentiel du déficit d'écoulement.

### **II. Les données climatiques disponibles**

#### **II.1. Le réseau de mesure et origine des données.**

Pour effectuer l'étude des précipitations et des autres facteurs du climat, nous avons exploité des données recueillies et archivées par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H).

Il convient de signaler l'existence d'une 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 20 ans (**1991/2011**), Cette période est suffisante pour définir les caractéristiques essentielles du climat.

**Tableau 9** : Caractéristique de la station de Bouhmama.

La station	Altitude(m)	Code de station	Coordonnés	Duré d'observation
Bouhmama	1140m	061803	6°73`N 35°28`E	1991/2011

Source de données : l'A.N.R.H. de Constantine.

### II.1. 1. Etude de régime thermique :

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 (Ramade, 1984).

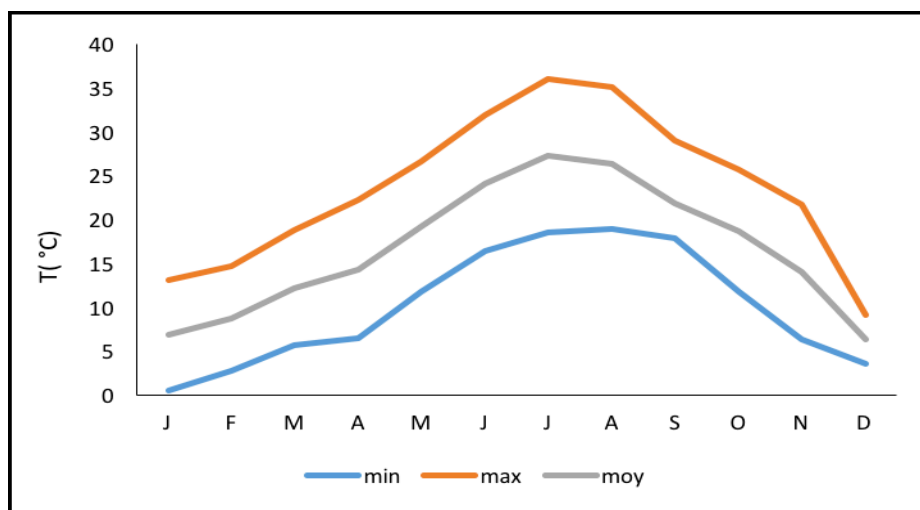
Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation...) et biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Selon Seltzer (1946), l'amplitude annuelle de la température de l'air est définie par la différence entre les températures moyennes du mois le plus chaud et du mois le plus froid. Elle caractérise le degré de continentalité d'un climat.

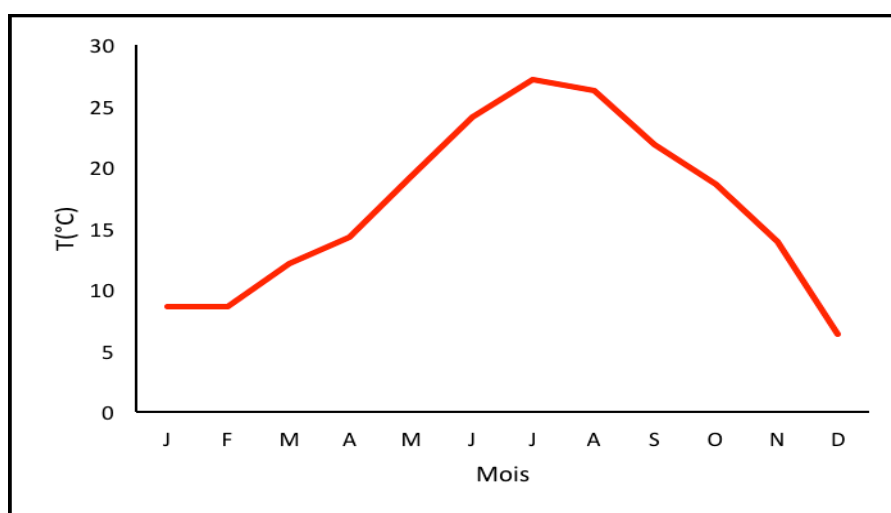
On dispose des données de températures moyennes mensuelles et annuelles de la station de Bouhmama représentative du bassin, avec les minima et les maxima et les amplitudes thermiques mensuelles (Tableau 10).

**Tableau 10** : Répartition mensuelle des températures de la Station de Bouhmama.

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	juill	Aout	Sept	oct	nov	dec	An
T°(min)	0.5	2.66	5.57	6.37	11.76	16.37	18.47	18.82	17.79	11.7	6.29	3.56	9.99
T°(max)	13.0	14.6	18.7	22.19	26.63	31.86	35.95	35.10	28.92	25.58	21.61	9.1	23.6
Amplitude Thermique	12.5	12	13.13	15.82	14.87	15.49	17.48	16.28	11.13	13.88	15.32	5.52	24.4
T°(moy)	6.8	8.65	12.13	14.28	19.21	24.11	27.21	26.29	21.85	18.64	13.95	6.33	16.6



**Figure 13 :** répartition mensuelle des températures minimales, maximales et moyennes. (1991/2011)



**Figure 14 :** amplitude thermique de la station. (1991/2011)

Contrairement aux précipitations, les saisons thermiques semblent bien tranchées (fig.12) 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 27°C, alors que le minimum d'environ 6,8°C se situe en Janvier.

Cette division de l'année en deux saisons thermiques, qui est mise en évidence par une détermination des mois biologiquement humides et secs, n'est pas sans conséquence sur le comportement hydrologique et hydrogéologique des bassins, En effet, les grandes oscillations

mensuelles durant les mois les plus froids s'accompagnent d'importants phénomènes tels que les baisses brutales de températures, entraînant des épisodes pluvieux générateurs de crues qui agissent directement sur l'écoulement fluvial, l'érosion et le transport solide dans les bassins, De même, les effets de la saison chaude ne sont pas sans conséquences, ainsi la stagnation des masses d'air anticycloniques provoque souvent un déficit pluviométrique et une forte évapotranspiration, Les périodes d'étiages sont longues et souvent on arrive au tarissement des oueds, Le sol des versants et pratiquement dénudé, asséché et fragilisée pour subir l'action des premières pluies qui surviennent en septembre, octobre ou parfois jusqu'à novembre .

## **II. 1. 2. Les précipitations**

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (**Le Houérou et al., 1977**).

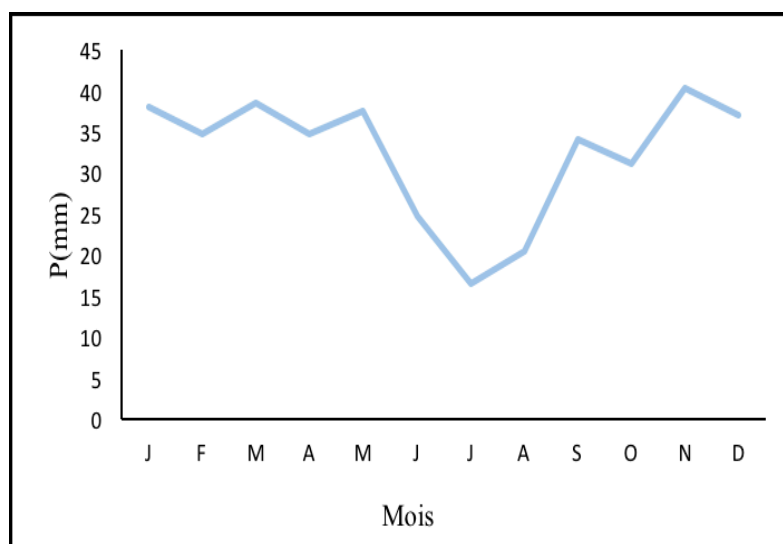
Selon Seltzer (1946), l'origine des pluies en Algérie est plutôt orographique. En effet, les précipitations varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagne et de l'exposition. De ce fait, les versants Nord et Nord-Ouest reçoivent plus de précipitations que les autres expositions. Ainsi les quantités de pluies augmentent de bas en haut, selon un gradient pluviométrique altitudinal.

### **-Précipitations mensuelles moyennes**

Comme pour les températures, on se concentre sur les données de précipitations récentes enregistrées d'une façon continue dans la station Bouhmama (1991-2011), soit une période de 20 ans (**Tab.10**).

**Tableau 11** : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en (mm).

<b>Mois</b>	<b>Jan</b>	<b>Fév</b>	<b>Mars</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jui</b>	<b>Juill</b>	<b>Aout</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>	<b>Tot</b>
<b>P(mm)</b>	38,1	34,8	38,5	34,7	37,6	24,7	16,6	20,5	34,1	31,2	40,4	37,1	388,3



**Figure 15 :** Evolution mensuelle des précipitations en (mm). (1991/2011)

L'examen de la figure 15, montre que la station reçoit les précipitations les plus abondantes pendant les 9 mois : de septembre jusqu'au mois de Mai. Les pics les plus faibles caractérisent les deux mois de l'été à savoir : juin, juillet. Par contre, la station reçoit des précipitations plus ou moins élevées (38,1 mm) en mois Janvier. Ce dernier est généralement caractérisé par des pluies fortes. La moyenne annuelle est de 388,3 mm.

### II. 1. 3. Les vents

Généralement les vents chargés de pluies viennent de Nord-Ouest après avoir perdu une grande partie de l'humidité sur l'atlas tellien, il souffle pendant l'Automne et l'hiver et une partie de printemps.

**Tableau 12 :** la vitesse moyenne de vent

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
Vitesse (m /s)	2.7	1.7	1.2	1.4	1.8	1.1	1.2	1.2	1.8	1.8	1.7	1.8	1.7



**Figure 16 :** la vitesse moyenne de vent (m/s). (1991/2011)

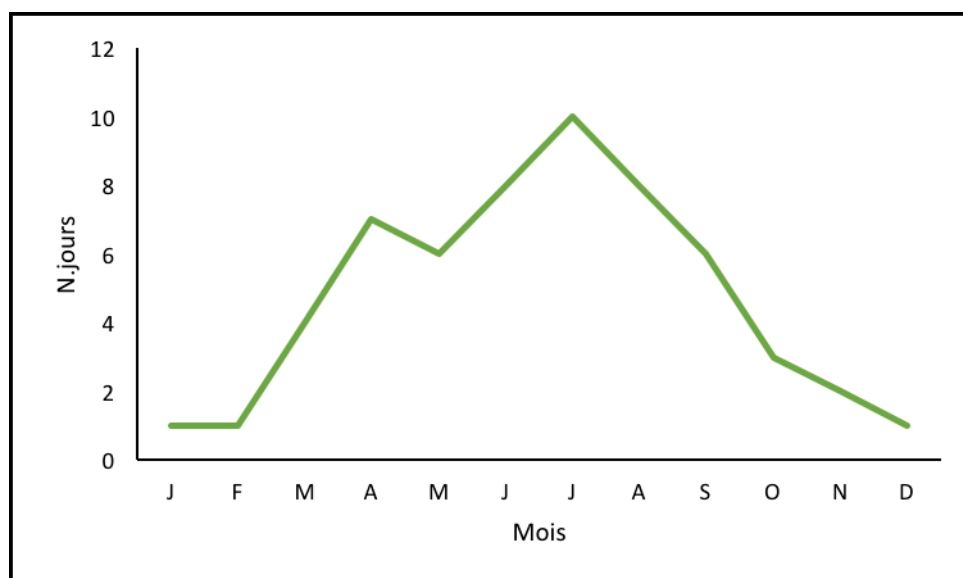
#### II. 1. 4. Le sirocco

C'est un vent sec et chaud provoquant une augmentation notable de la température et une chute brutale de l'humidité atmosphérique, Il peut s'observer à toutes les époques de l'année cependant son maximum de fréquence se situe en Juillet et son minimum en Décembre et Janvier, il survient assez tôt au printemps à la reprise de la végétation et surtout après une période de sécheresse assez marquée.

**Tableau 13 :** Le nombre des jours de sirocco.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
<b>N. jours</b>	1	1	4	7	6	8	10	8	6	3	2	1	57

L'examen de la figure 14, montre que la station reçoit les précipitations les plus abondantes pendant les 9 mois : de Septembre jusqu'au mois de Mai. Les pics les plus faibles caractérisent les deux mois de l'été à savoir : Juin, Juillet. Par contre, la station reçoit des précipitations plus ou moins élevées (38,1 mm) en mois Janvier. Ce dernier est généralement caractérisé par des pluies fortes. La moyenne annuelle est de 388,3 mm.



**Figure 17 : Le nombre des jours de sirocco. (1991/2011)**

Selon les données de la station, on peut extraire les remarques suivantes

**-Les vents Sud- Ouest**

Sont sec et chaud (sirocco) survient fréquemment au mois de Juillet qui atteint 10 jours de moyenne, et parfois même assez tôt au printemps causant des dommages sur la végétation avec une vitesse moyenne de 1,71 m/s.

**-Les vents Nord-Ouest**

Sont fréquents au cours de l'Automne, de l'hiver et une partie de printemps, avec une vitesse qui peut atteindre jusqu'à 7,5m/s.

**III. 1. 5. L'humidité relative de l'air**

Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) à la pression de la vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression

Au cours de l'année l'humidité relative de l'air connaît d'énormes fluctuations passant de 40% à plus de 80%, (tableau 11).

**Tableau 14 : l'humidité relative de L'air de la station étudiée.**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
H%	64.1	65	63.4	58.1	47.6	46	44	43.8	49.2	63.2	62	66	56



**Figure18 : L'humidité relative de l'air. (1991/2011)**

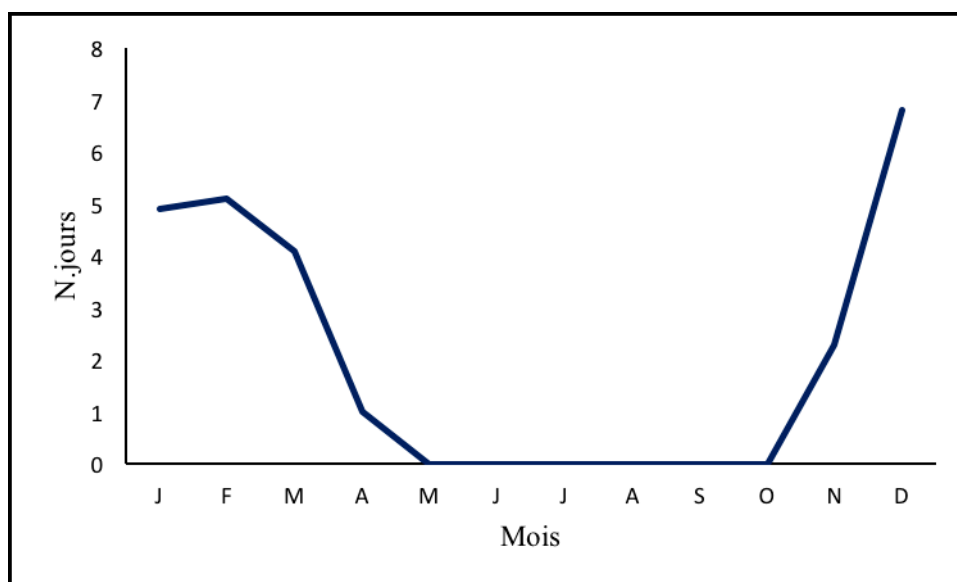
Les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la période hivernale, correspondant aux mois de décembre, Janvier et Février, La sécheresse de l'aire en été, en particulier au cours des mois de Juillet et Août.

### II. 1. 6. Les Gelées

Selon Halimi (1984), les gelées sont fortement influencées par l'altitude et engendrées par les basses températures.

**Tableau 15 : Nombres de jours de gelées.**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
N° jours	4.9	5.1	4.1	1	0	0	0	0	0	0	2.3	6.8	28.7



**Figure19** : Nombres de jours de gelées. (1991/2011)

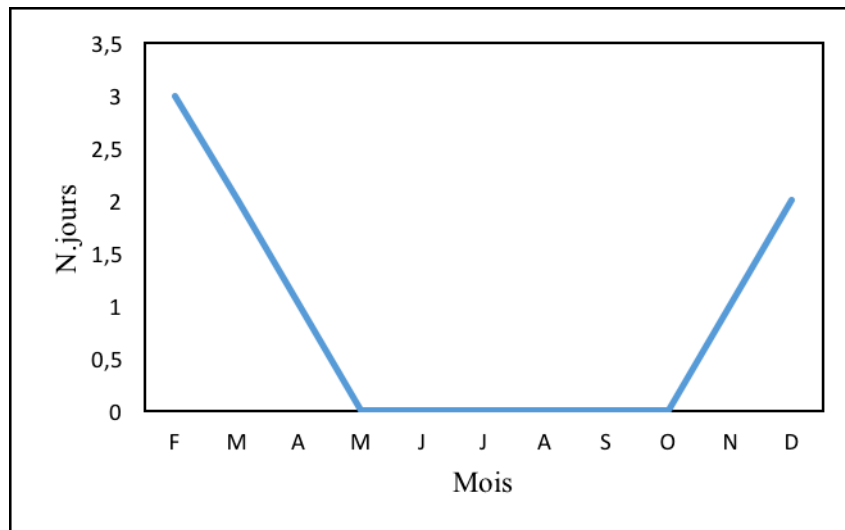
Avec 28,7 jours de gelées s'étalant sur 6 mois de l'année, de l'hiver au début du printemps, avec une fréquence importante de Décembre à Février.

### II. 1. 7. La Neige

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

**Tableau 16** : Nombre de jours de neige.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	An
<b>N.jours</b>	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	1	2	12



**Figure20** : Nombres de jours de neige. (1991/2011)

### **II. 1. 8. Brouillard**

Il se manifeste de l'automne et au printemps. Il persiste des jours entiers sur les crêtes et en forêts. Il est relativement fréquent dans les parties hautes de massif de Chélia.

### **II. 1. 9. La grêle**

C'est un phénomène très connu dans la région des Aurès surtout au début du printemps. La grêle contribue à la dégradation de la couverture végétale. Elle survient très souvent en printemps, ce qui coïncide avec la reprise végétative.

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

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

- Seltzer (1945), donne pour la région de Khenchela une moyenne de 3.4 jours/an avec un maximum de 0.6 jours/an en Janvier.

### **II. 1. 10. Calcule de l'évapotranspiration potentiel (ETP) et l'évapotranspiration réel (ETR)**

#### **III. 1. 10.1. Formule de THORNETHWAITE pour l'ETP mensuelle**

Les études de THORNETHWAITE ont porté sur ce qu'il appelle l'évapotranspiration potentielle, définie comme l'évapotranspiration à partir d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour permettre l'évaporation de la quantité maximale d'eau permise par les condition climatiques.

$$ETP=1.6(10t /I)^a. k$$

mm : mensuelle évapotranspiration ETP .

t : température moyenne mensuelle C°.

I : Indice thermique annuel soit la somme des indices de chaleur mensuels.

**Tableau 17** : La méthode de THORNETHWAITE pour l'ETP mensuelle.

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

$$\text{Avec } i = (t/5)^{1.514} \quad I = \sum_1^{12} i$$

$$a = (1.6 / 100) I + 0.5 \quad (a = 1.75).$$

**K** : coefficient d'ajustement mensuel

**ETP c** : évapotranspiration potentiel corrigé.

**RFU** : la réserve facilement utilisable.

**De** : le déficit d'écoulement.

**Exd** : excédent.

Le bilan hydrique de THORNETHWAITE fait intervenir l'ETP et les précipitations, pour le calcul de L'ETP ; deux cas se représentent :

$$*ETP = ETR \quad P > ETP$$

$$*P < ETP \text{ et } P + RFU > ETP \text{ donc : } ETP = ETR.$$

$$\text{Ou } P + RFU < ETP \quad ETR = P + RFU.$$

Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite :

- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations. Ce dernier, dominant dans la région d'étude avec un total de 354,8 mm/an.

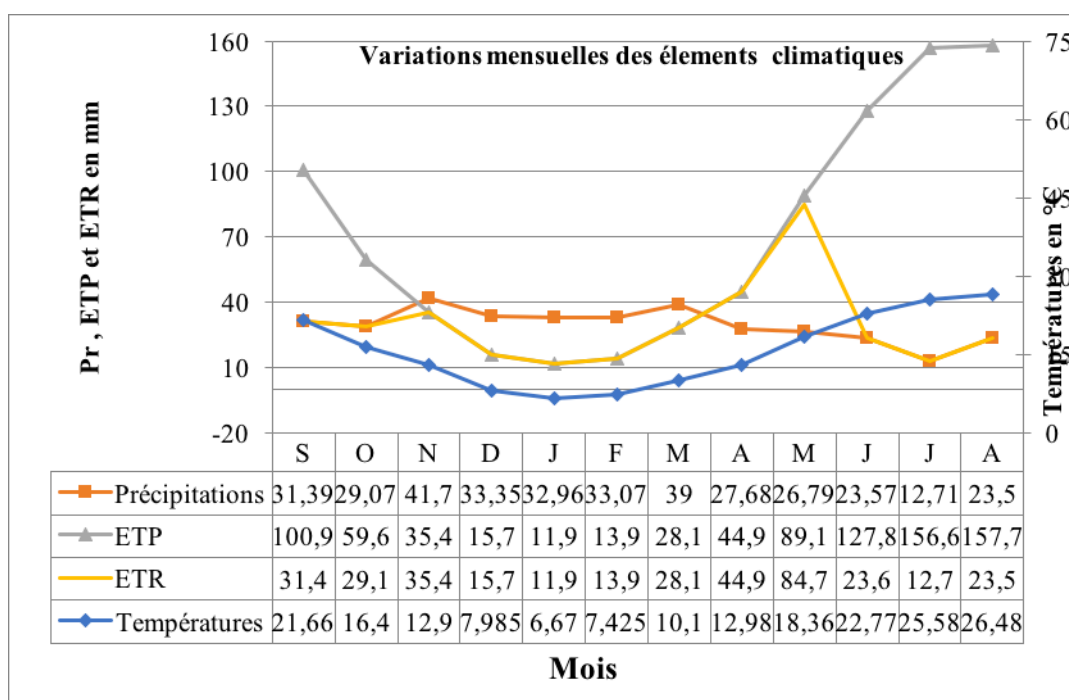
- A l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois d'Avril les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois d'Octobre. Les autres mois (Novembre jusqu'à Mars) où les précipitations sont supérieures à l'ETP.

- En générale Les précipitations ne couvrent pas les besoins de l'évapotranspiration potentielle et ne permettent pas la formation de la RFU.

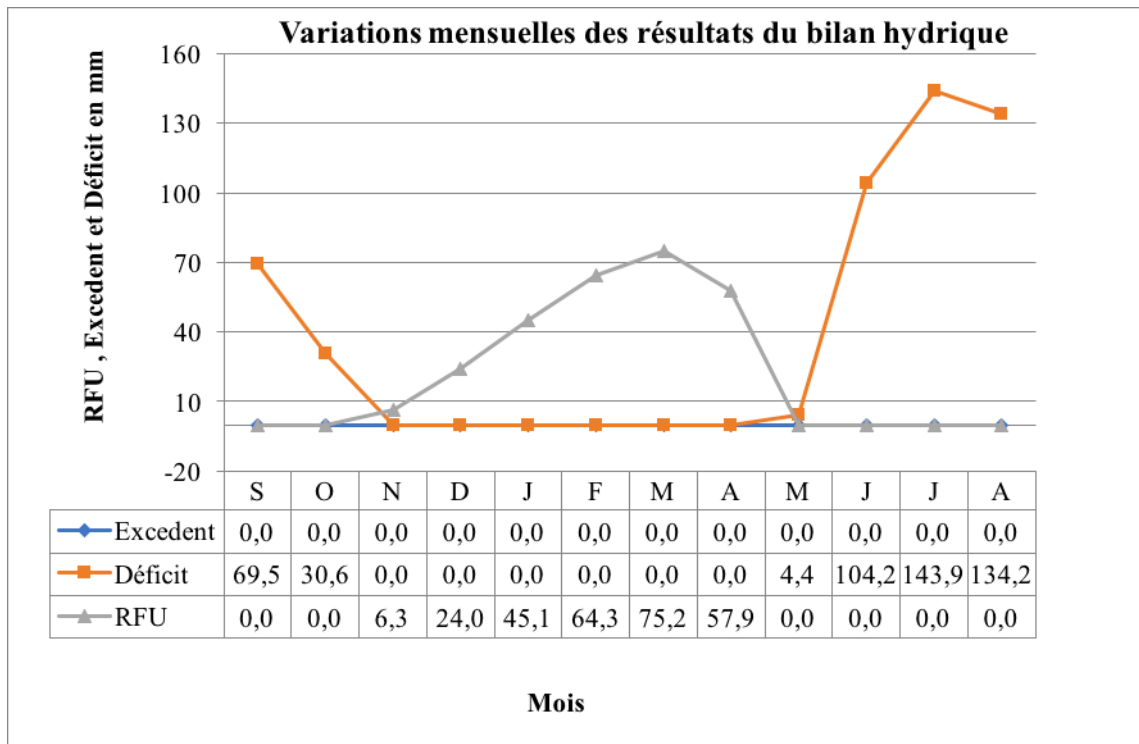
- D'après le bilan hydrique les précipitations (P) est supérieur à l'ETR. Donc, présence d'excédant.

- Le déficit agricole (DA) débute au mois de Novembre et se poursuit jusqu'au mois d'Avril.

- La RFU atteint son maximum (75,2mm) au mois de Mars et diminue jusqu'à (6,3mm) au mois de Novembre, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.



**Figure 21 :** Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Bouhmama (1991-2011)



**Figure 22 :** Variations mensuelles des résultats du bilan hydrique. (1991/2011)

L'analyse des deux figures **fig.21,22**, On remarque qu'au mois de Novembre la précipitation commence à se diminuer jusqu'à l'obtention de sa plus petite valeur au mois de juillet (12.71 mm). En même temps l'ETP augmente et atteint son maximum toujours au mois d'Aout (157,7 mm). Dans cette période qui s'étale entre Novembre et mai l'ETR continue son augmentation qui débute au mois de février jusqu'au mois de mai et c'est à cause le RFU qui n'a pas encore épuisé. Dès que le RFU diminue à partir de mai, l'ETR diminue aussi et atteint son minimum avec la précipitation au mois de juillet, et c'est la période d'épuisement des réserves.

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

## II.1. 10.2. Formule de SERRA

### Calcul de ETP

$$ETP = 16 (10T / I)^a$$

Avec

$$i = 0.09 T^{3/2} \quad I = \sum_1^{12} i$$

**T** : température moyenne mensuelle.

$$a = 0.016T + 0.5$$

T : la température moyenne annuelle.

**Tableau 18** : la méthode de SERRA.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Tot
<b>T moy</b>	18,9	18,6	13,9	6,33	6,8	8,65	12,2	14,3	19,2	24,1	27,2	27	
<b>i</b>	2,22	2,17	1,41	0,43	0,48	0,69	1,14	1,46	2,4	3,2	3,83	3,8	23,2
<b>a</b>													0,77
<b>ETP</b>	80,3	79,8	63,3	34,7	36,6	44,1	57,2	64,8	81,5	91	106,1	105,8	845,9

### II.1. 10.3. Formule de L. Turc

#### Calcul de ETR

L. Turc a établi cette relation à partir des températures et des précipitations : cette formule est appliquée sur 254 bassins à travers le monde et donne des bons résultats (donc elle est applicable à toutes les régions).

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

Où

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

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

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

Station	T °C	P mm	ETR mm	ETR=P %
<b>Bouhmama</b>	16,62	409,9	376,7	91,90

#### Comparaison des résultats

Bassin versant	Station	ETR (mm) THORNETHWAITE	ETR (mm) L.Turc
Mellagou	Bouhmama	354,8	376,7

Les résultats sont comparables et les deux méthodes sont applicables sur la région de Bouhmama car  $ETR < P$ .

## II.2. Synthèse climatique

### II.1.2. 1. Indice de sécheresse de DEMARTONNE (1923)

C'est un indice climatique qui définit l'aridité  $A$  par le régime pluviométrique et thermique.

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

$P$  : précipitation moyenne annuel mm

$T$  : Température moyenne annuelle  $C^\circ$ .

L'application numérique des valeurs de la station représentative de sous bassin versant de Oued Mellagou (la station de Bouhmama) donne :

$$A = \frac{409,9}{16,62+10}$$

$$A=15,40$$

Selon le classement de la valeur d' $A$  ; en retire le type de climat :

**Tableau 19** : Classement de l'Indice de sécheresse de DEMARTONNE (1923).

La valeur de $A$	Le type de climat
$5 < A < 7,5$	Climat hyperaride
$7,5 < A < 10$	Climat désertique
$10 < A < 20$	Climat semi-aride
$20 < A < 30$	Climat tempéré

$A = 15.40$  qui se classe dans l'étage semi-aride. Car il est compris entre 10 et 20.

### II.1.2.2. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

De nombreux auteurs ont proposé diverses formules pour caractériser la saison sèche. Selon Bagnouls Et Gaussen (1953), un mois est dit biologiquement sec si, « le total mensuel des précipitations, exprimées en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimé en degrés centigrades » ; cette formule ( $P$  inférieur ou égal  $2T$ ) permet de construire des diagrammes ombrothermiques traduisant la durée de la saison sèche.

Pour localiser les périodes humides et sèches de la région

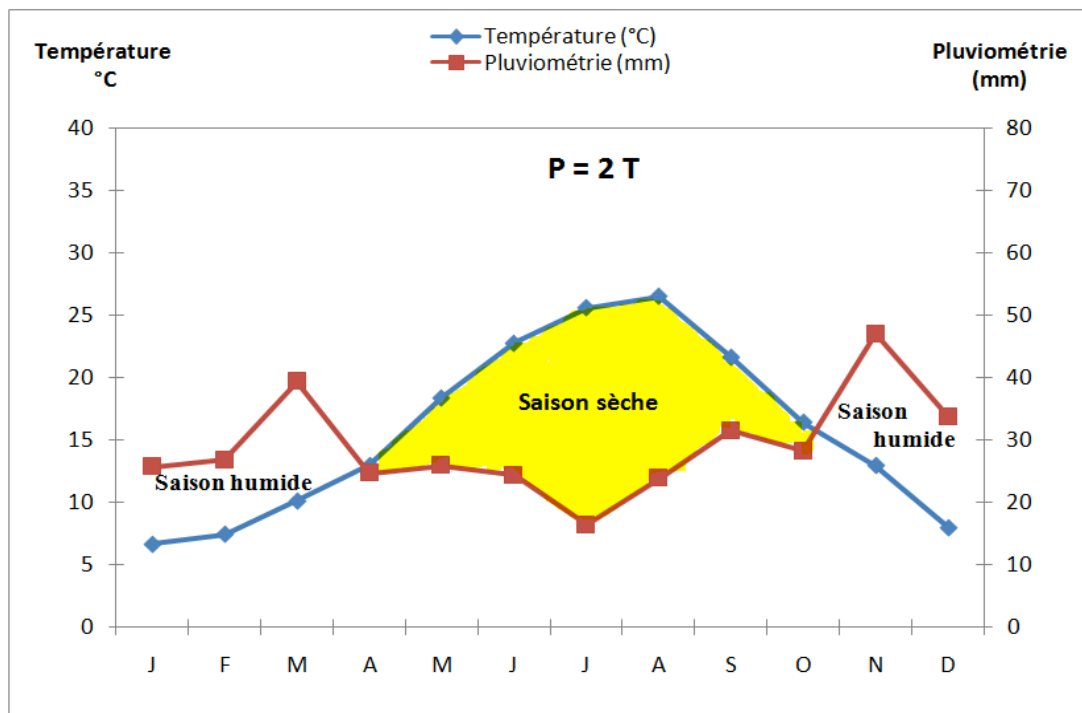


Figure 23 : Diagramme Ombrothermique.

L'analyse de la (Fig. 21) donne les remarques suivantes :

\* Lorsque  $T$  passe au-dessus de  $P$ , la période correspondante est déficitaire (sèche). C'est ce qui se produit de juin à septembre.

\* Lorsque  $P$  passe au-dessus de  $T$ , la période correspondante est excédentaire. Cela se produit d'octobre à fin mai.

### II.1.2.3. Climagramme d'Emberger :

Le système d'Emberger permet la classification des différents climats méditerranéens (Dajoz, 1985-2003). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels, d'une part la

sécheresse représentée par le quotient pluviothermique  $Q_2$  en ordonnées et d'autre part la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en abscisses. Il est défini par la formule simplifiée suivante (Stewart, 1969) :  $Q_2 = 3,43 \frac{P}{M-m}$

**P** : pluviométrie annuelle en mm.

**M** : température moyenne maximale du mois le plus chaud en °C.

**m** : température moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

Le quotient pluviothermique est d'autant plus élevé que le climat est plus humide (Dajoz, 1985). Le quotient pluviothermique ( $Q_2$ ) d'Emberger (1955) correspond à une expression synthétique du climat méditerranéen tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations (**P** en mm) et, pour les températures, d'une part de la « moyenne des minima au mois le plus froid » (m), d'autre part de la « moyenne des maxima du mois le plus chaud » (M).

Ce quotient ne tenant pas compte de la valeur absolue de m, variable discriminante dans les régions concernées puisqu'elle conditionne la durée et le degré de la période des gelées, Emberger (1971) propose, alors l'établissement d'un « Climagramme » comportant m en abscisse et  $Q_2$  en ordonnée. Dans un deuxième temps, le Climagramme est subdivisé en zone correspondant à divers étages bioclimatiques selon un gradient d'aridité.

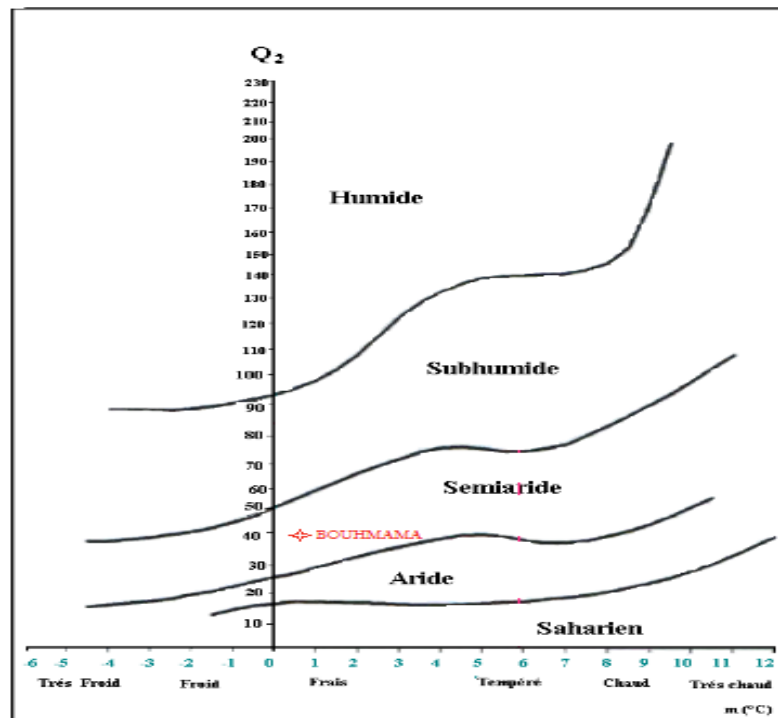
Dans certains travaux relatifs aux hautes plaines steppiques d'Algérie, les limites des étages bioclimatiques sont établies en fonction de la pluviosité moyenne annuelle (**P** mm) alors que les valeurs de m déterminent des variantes thermiques (Le Houerou et al., 1977).

La localisation de la station dans le climagramme d'Emberger et étage bioclimatique :

Pour caractériser le climat de bassin versant étudiés on utilise le climagramme d'Emberger (Fig.22) qui permet de définir l'étage bioclimatique de la station.

**Tableau 20** : L'étage bioclimatiques de la station de Bouhmama.

Station	P (mm)	M°C	M°C	Q	Etage bioclimatique
Bouhmama	409,9	35,95	0,5	39,66	Semi-aride a hiver frais



**Figure 24 :** L'étage bioclimatique de la station de Bouhmama selon le Climagramme d'Emberger.

## Conclusion

L'étude climatique est basée sur le traitement des données, mettra en lumière les aspects fondamentaux de climat qui se caractérise par des saisons thermiques semblent bien tranchées, la saison chaude de Mai à Octobre et la saison froide de Novembre à Avril. Le vent souffle pendant l'Automne et l'Hiver.

29 jours de gelé et des averses a Août, 0.6 jours / an de grêle s'enregistre dans le mois de

Janvier. D'après ces données la synthèse climatique montre que le climat de bassin versant de Oued Mellagou c'est un climat de type semi-aride a Hiver frais.



## **Chapitre III**

# **Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du plateau de Mellagou**

---

## INTRODUCTION

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de l'interaction eau-roche, de la lithologie, de la surface de contact et de la durée de contact dans les terrains traversés. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ...). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines.

L'étude du chimisme des eaux a pour but de caractériser les aquifères par l'identification des faciès chimiques des eaux souterraines, leur degré de salinité, leur qualité et leur aptitude à l'irrigation. Elle permet de suivre aussi l'évolution et la variation spatiale des paramètres physico-chimiques et d'identifier leur origine et de discriminer les phénomènes modificateurs possibles dans les nappes.

L'étude se base principalement sur les investigations et campagne de terrain, à savoir, échantillonnage, mesures in-situ, examen de carte géologiques et topographiques et collecte d'informations sur la zone d'étude.

39 points d'eau sélectionnés dans notre vallée d'étude, ont l'objet d'inventaire et d'échantillonnage et de mesure de paramètres physico-chimiques (**Fig.25**).

### III.1. Matériels et moyens d'analyse

#### -Mesures in situ

La température, pH et conductivité électrique ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon. La mesure du pH et de conductivité électrique des 39 échantillons à l'aide d'un pH-mètre et conductimètre de terrain WTW330i.

#### - Analyses aux laboratoires

Les méthodes analytiques utilisées sont :

La destination de l'alcalinité totale TAC (carbonates et bicarbonates) sur les échantillons bruts par titration acide (méthode de Gran) à l'aide d'un tritrateur automatique Methrom. Ensuite la filtration à l'aide de seringues en PE et des membranes Durapore ( $0.22\mu\text{m}$ ) les échantillons restants pour la détermination des anions (chlorures, nitrates, magnésium et calcium) ainsi que les éléments en traces. Les aliquotes pour le dosage des cations et des

éléments en trace ont été acidifiés avec HNO<sub>3</sub> ultra-pur à 1‰(v/v) et conserver à 4°C jusqu'à l'analyse.

Préparer les échantillons pour le dosage des anions et cations en effectuant les dilutions nécessaires pour que les concentrations quantifiées soient dans le gamme d'échantillonnage (0.5 à 10 mg/l). Les échantillons ont été analysés par chromatographie ionique ICS1000 Dionex.

La salle blanche, en atmosphère contrôlée, pour la préparation des échantillons destinés à la détermination des éléments en trace (Li, B, Al, Si, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Pb et U). Les échantillons ont été analysés par ICP-MS quadripolaire X série 2 thermo scientifique. L'analyse multi-élémentaire des 39 échantillons par spectromètre de masse à induction plasma.

### III.2. Caractérisation physico-chimique des eaux

L'hydrogéochimie permettra d'essayer L'explication du comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour expliquer le fonctionnement hydraulique du système aquifère. L'étude se base principalement sur les informations des prélèvements à partir de 39 forages, répartis sur le terrain. Il s'agit des forages de particuliers, l'échantillonnage a été effectué au mois de Mai 2016. Les résultats préliminaires des paramètres dosés sont présentés dans le (Tableau 20).

**Tableau20** : Résultats des analyses.

Variable	C25c μS.cm <sup>-1</sup>	pH	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	Sio2 mg/l
<b>Minimum</b>	589,00	6,92	Non détectée	15,20	9,37	66,34	101,36	Non détectée	25,32	26,56	0,14
<b>Maximum</b>	6440,00	7,54	11,26	1029,26	183,63	451,19	390,85	79,91	1764,87	1165,38	30,03
<b>Moyennes</b>	2001,90	7,16	4,33	178,93	61,16	198,11	264,81	21,48	295,12	417,85	6,05
<b>Ecart- type</b>	1563,46	0,15	3,14	246,05	43,44	87,09	75,40	17,97	465,90	241,46	5,55

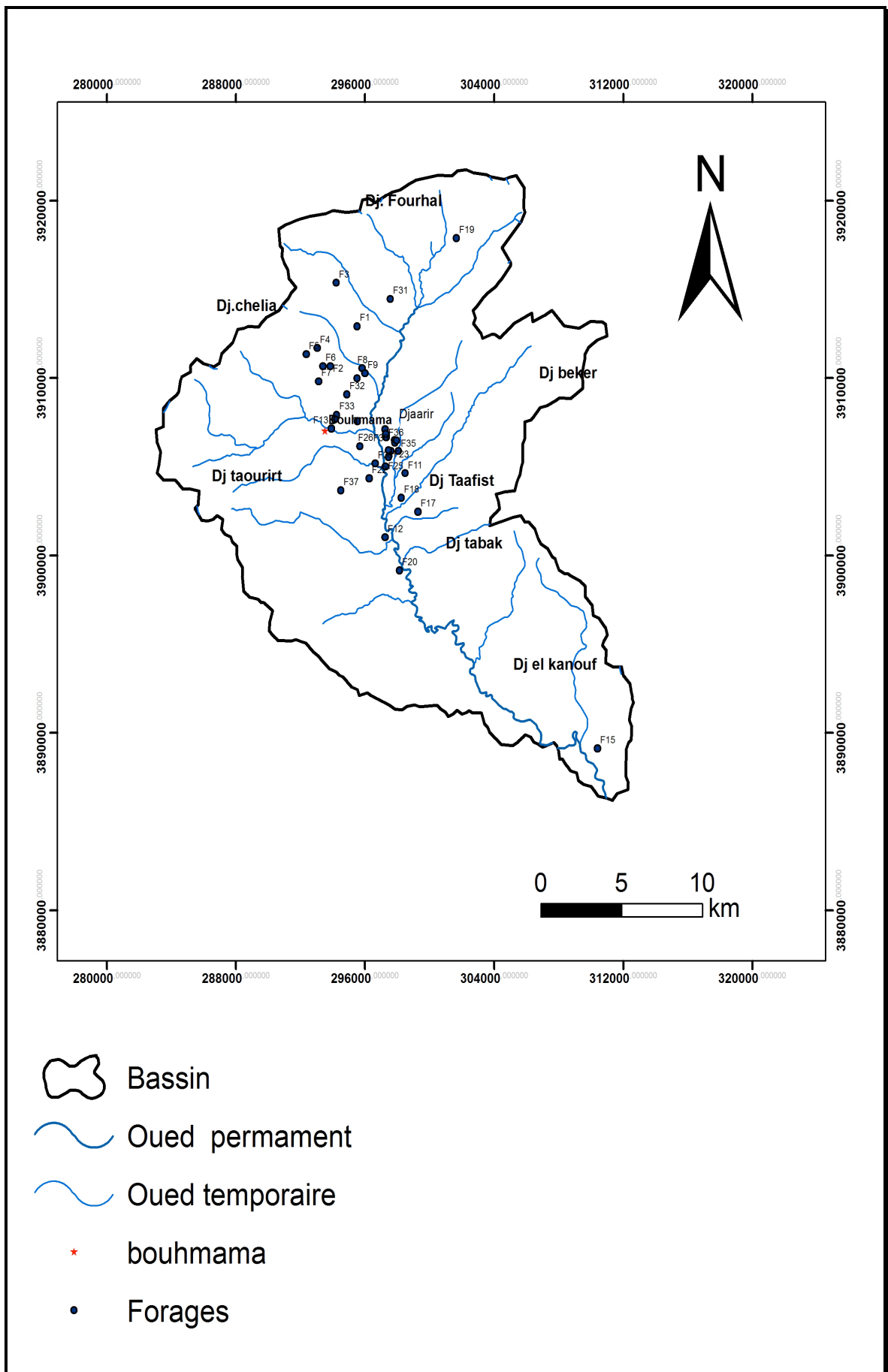


Figure 25 : Carte d'inventaire des points d'eau analysés.

---

### **III.2.1. Paramètres physiques**

#### **III.2.1.1. La température (T °C)**

La température des eaux souterraines est un paramètre très important, elle régit les équilibres des réactions chimiques et des activités bactériologiques, elle joue un rôle important dans la vaporisation des masses d'eau libres et de sub-surface. Elle varie en fonction de la saison et la profondeur. Elle est fortement influencée par la température de l'air. La température des eaux prélevées varie entre 16°C et 23°C avec une moyenne de 21°C.

Cette variation thermique des eaux souterraines peut être en fonction de la profondeur de l'aquifère :

- Si l'aquifère est très profond, les eaux sont influencées par le gradient géothermique, par la désintégration radioactive et par la chaleur libérée lors de l'activité sismique.
- Si l'aquifère est peu ou pas profond, la température des eaux sera en équilibre thermique avec la température de l'air.

#### **III.2.1.2. Potentiel hydrogène (pH)**

Le pH de l'eau est défini par l'activité des ions  $H^+$  dans une solution. Il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu, aussi c'est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant de l'eau.

- Alcalinité ou acidité des eaux :

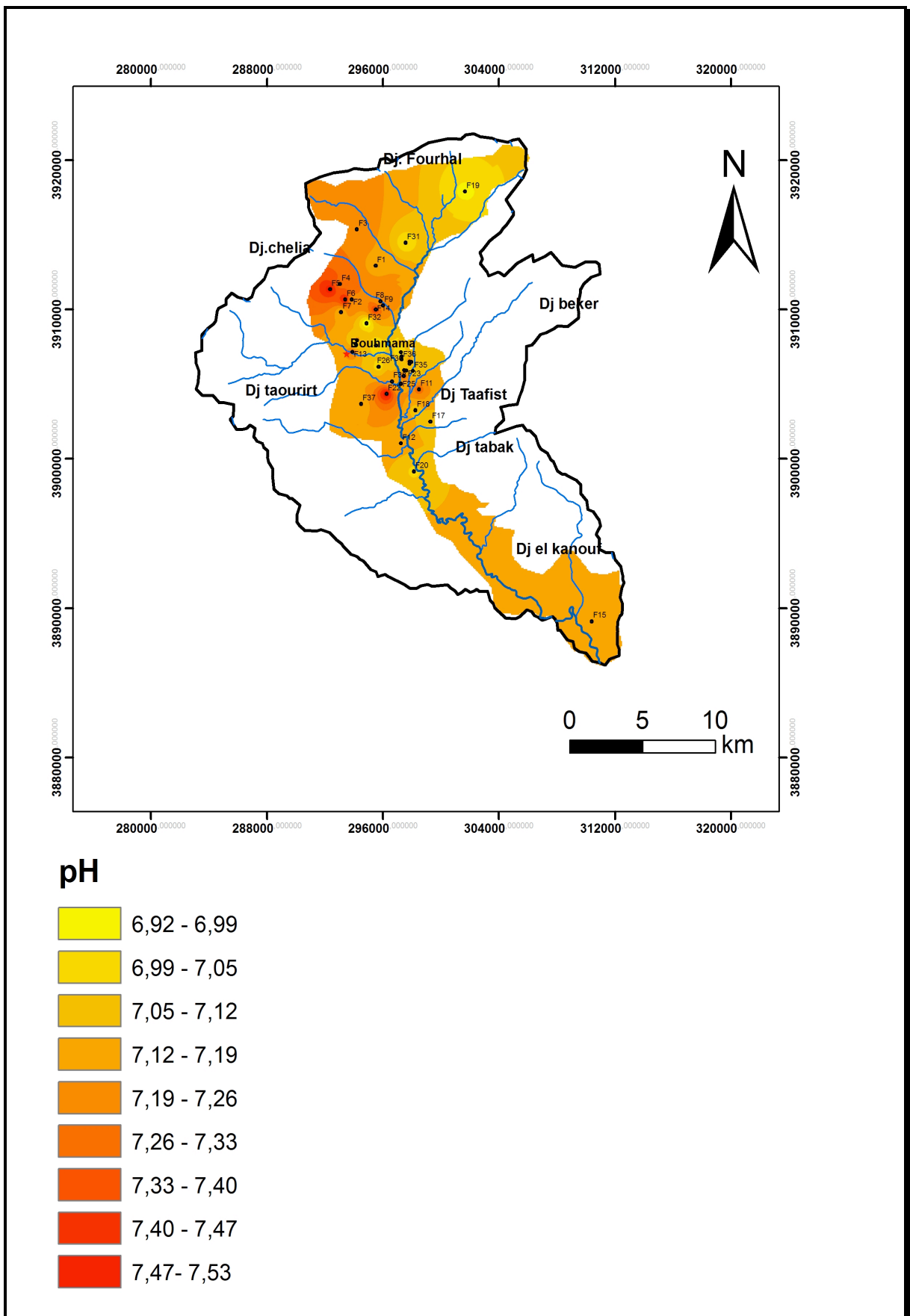
La concentration des ions ( $H^+$ ) est exprimée par le logarithme décimal de l'inverse de cette Concentration :  $pH = \text{Log} [1/H^+]$

L'échelle du pH varie de 0 à 14 :

- Pour un milieu neutre ( $H^+$ ) = ( $OH^-$ ) ou  $pH = 7$ .
- Pour un milieu acide ( $H^+$ ) > ( $OH^-$ ) ou  $pH < 7$ .
- Pour un milieu basique ( $H^+$ ) < ( $OH^-$ ) ou  $7 < pH < 14$ .

Les valeurs du pH sont comprises entre 6.92 et 7.54 avec une moyenne de l'ordre de 7.15., avec une tendance vers un pH neutre.

Elles se trouvent dans l'intervalle des normes de potabilité (6.5-8.5). L'examen de la carte de variation spatiale du pH permet de tirer des informations au sujet de la distribution du pH neutre dans toute la vallée, hormis, quelques points du côté ouest, où le pH évolue vers l'alcalinité.



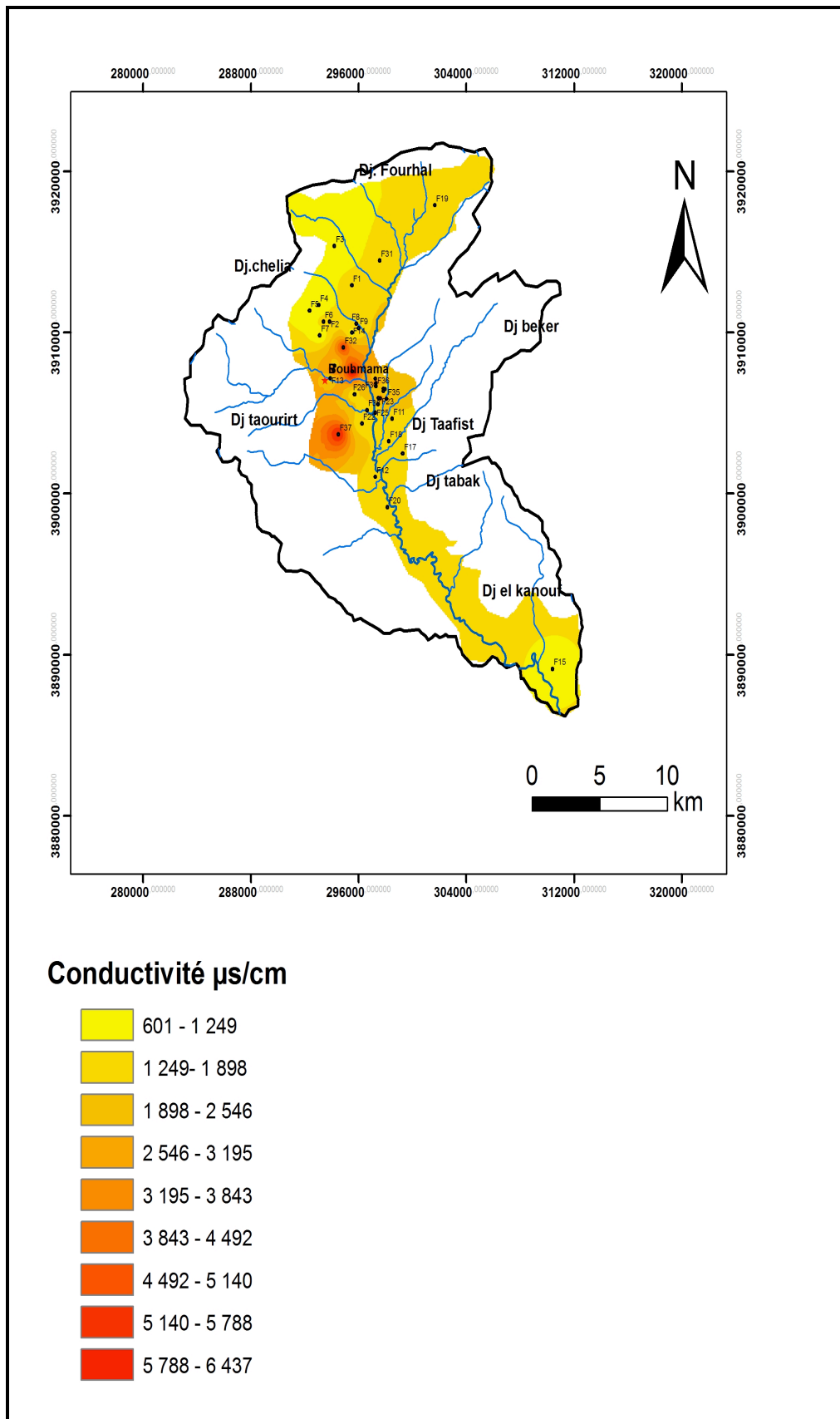
**Figure 26 :** Cartes de variation spatiale du Potentiel hydrogène (pH).

---

### III.2.1.3. Conductivité électrique (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ )

La conductivité électrique est un excellent indicateur de la minéralisation, il reflète la concentration de l'ensemble des minéraux dissous. Pour cela, nous avons dressé une carte de variation spatiale de la conductivité électrique afin de distinguer les zones à faibles conductivités des zones à forte conductivité.

La conductivité électrique est comprise entre 589 et 6440  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ , avec une moyenne autour de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ , traduisant des eaux de faible salinité, notamment au nord et au sud de la vallée, où les eaux circulent dans des formations carbonatées fissurées. En s'approchant des berges de l'Oued, au centre de la vallée, la lithologie du sol change et devient détritique et coïncide avec des terrains agricoles. Les vergers qui foisonnent, pommier, abricotier et grenadier, sont irrigués par l'épandage des eaux de crue en période humides et par les eaux de forage en période d'été. Le retour des eaux d'irrigation et l'infiltration des intrants chimiques conduit à l'augmentation de conductivité électrique et peut atteindre un maximum de 6440  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ .



**Figure 27 :** Carte de variation spatiale de la conductivité électrique (CE en  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ).

---

### III.2.2. Paramètres chimiques

#### -Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ en mg/l)

Le calcium, élément principal de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Ils s'y dissolvent en majorité lors de l'attaque des roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous ( $\text{CO}_2$ ). Il est essentiel pour les plantes et les animaux.

La concentration du  $\text{Ca}^{2+}$  dans toutes les eaux est contrôlée par le système d'équilibre

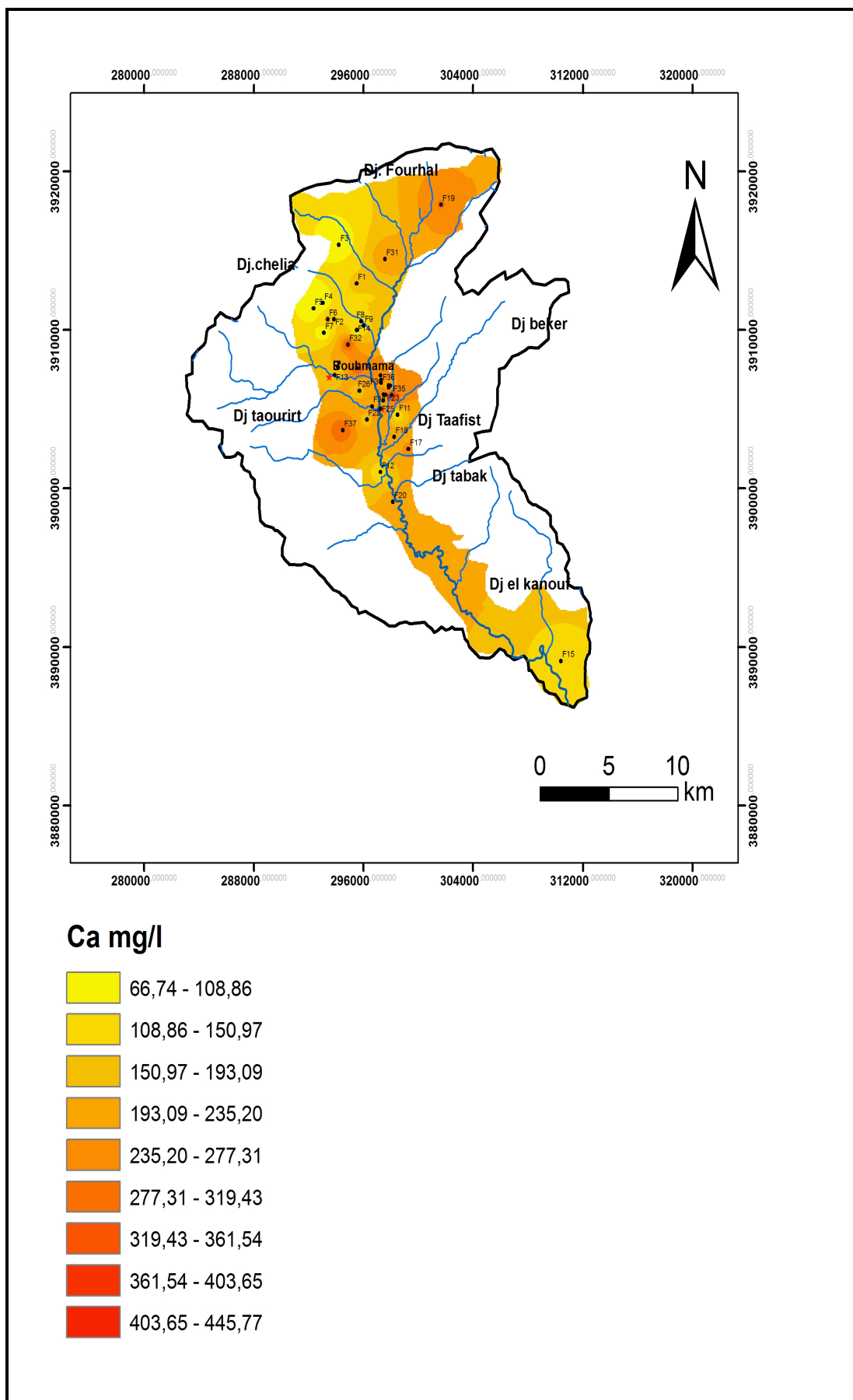
$\text{CaCO}_3$ -  $\text{CO}_2$ -  $\text{H}_2\text{CO}_3$ - $\text{HCO}_3^-$  (**Matthess, 1990**).

Le calcium est un élément essentiel des minéraux constituant les roches ignées, spécialement les silicates (pyroxène, amphibole et feldspaths). Dans les roches sédimentaires il se présente sous forme de carbonates (calcite, dolomite et aragonite), comme il fait partie de quelques minéraux évaporitiques à savoir le gypse et l'anhydrite et aussi dans les minéraux argileux sous forme de Ca-montmorillonite (**Hem,1985**).

Dans la région d'étude, Les concentrations de calcium varient respectivement entre un minimum de 66.34 mg/l et un maximum de 451.19 mg/l et une valeur moyenne de 198.10 mg/l

L'examen de la carte de variation de calcium (**Fig. 28**), montre que les teneurs les plus élevées ont été enregistrés dans la partie centrale, la partie est et au nord de la région d'étude, tandis que les faibles teneurs ont été observés au nord- ouest de la zone d'étude.

Ce qui indique que ces eaux sont probablement influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses. (Présence des dépôts du sulfate- $\text{Ca}^{2+}$  sous forme d'anhydrite et de gypse).



**Figure 28** : Cartes de variation spatiale de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$  en mg/l).

---

### **-Magnésium ( $Mg^{2+}$ en mg/l)**

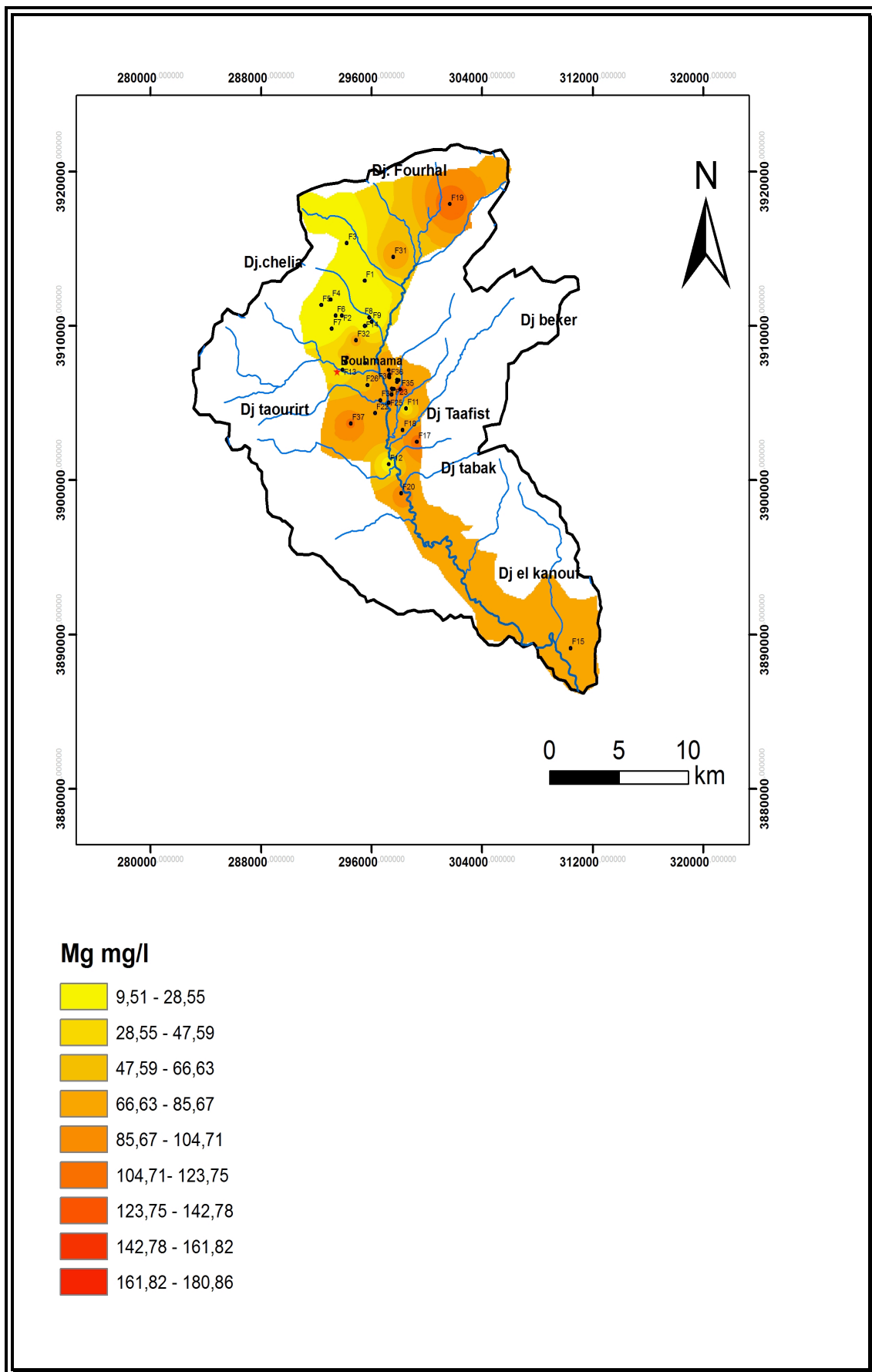
Le magnésium est un élément très répandu dans la nature (2.1% de l'écorce terrestre). C'est un constituant essentiel de différentes roches ignées noires ferromagnésiennes. Dans les roches sédimentaires ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium comme la magnésite et la dolomite

**(Merkel and Sperling, 1996).**



Dans la région d'étude les concentrations en magnésium varient entre 9.37 et 183.63 mg/l avec une moyenne de 61.16 mg/l, elles sont supérieures à la limite admise par l'OMS (50 mg/l). Les teneurs les plus élevées (50 à 183.63 mg/l) sont observées dans la majorité des puits situés dans la partie Nord -Est, Sud -Est et Sud-Ouest, avec un pic de 183.6 mg/l enregistré au niveau du forage F37 (**Fig.29**) ces fortes concentrations peuvent être attribuées au contact direct de ces eaux avec le substratum marneux riche en gypse et halite.

Les faibles teneurs (< 50 mg/l) apparaissent dans quelques échantillons surtout Nord-Ouest de la zone d'étude.



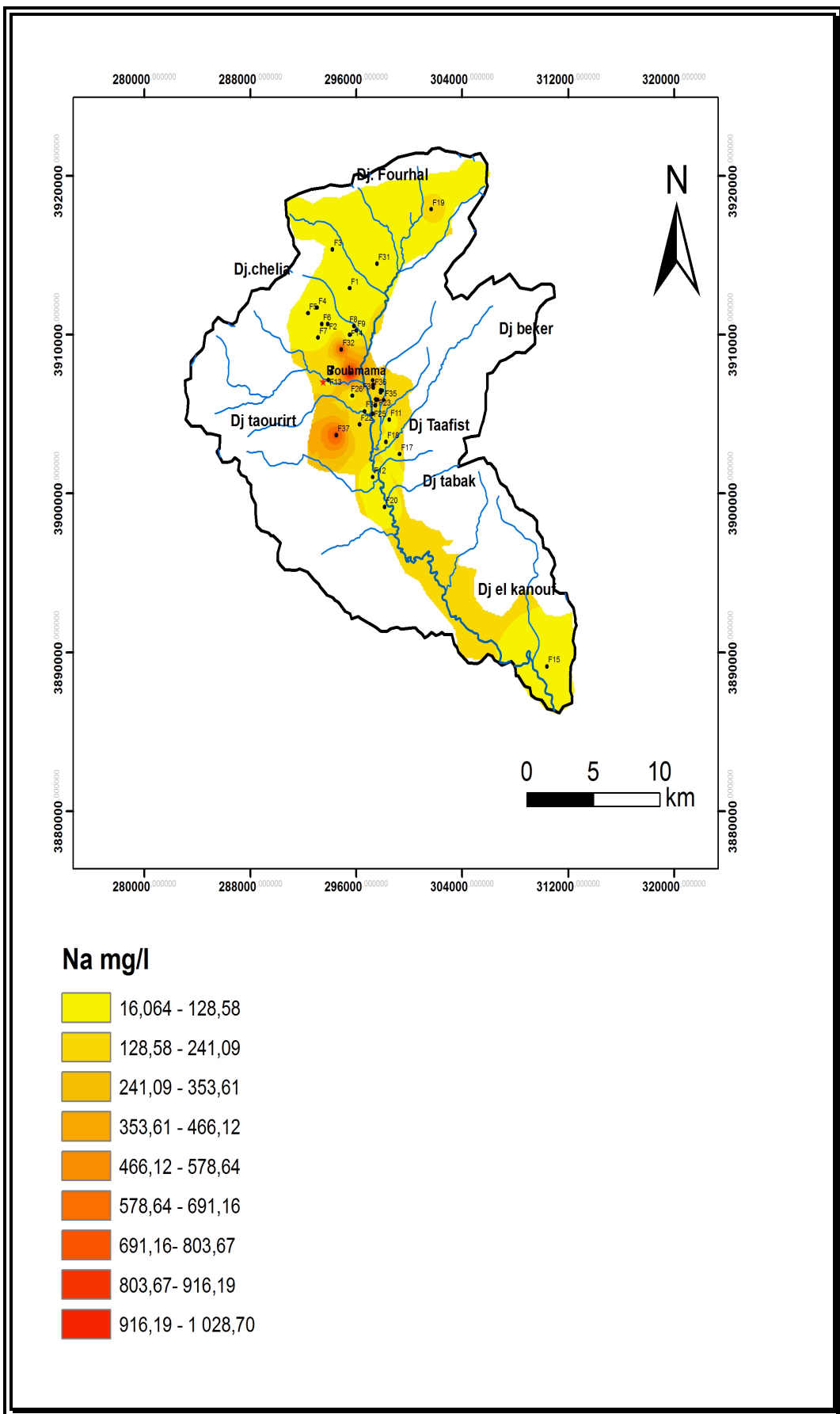
**Figure 29** : Cartes de variation spatiale du magnésium ( $Mg^{2+}$  en mg/l).

---

### **-Sodium (Na<sup>+</sup> en mg/l)**

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 :  $\text{NaCl} \leftrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

Les teneurs en sodium varient entre 15.2 et 1029,25 mg/l avec une moyenne de 178,92 mg/l, Les fortes concentrations dans la plupart des forages du centre de la vallée d'Oued Mellagou avec des teneurs fluctuant entre 200 et 1029,25 mg/l au niveau des forages (F23,32,34,35,36,37) avec un pic de 1029,25 mg/l au niveau du forage F39 (**Fig.30**) indiquant l'existence de forts apports salifères à partir des formations évaporitiques. Par contre, le reste de la vallée parties Nord et Sud présente des faibles concentrations inférieures à 200 mg/l.



**Figure30** : Cartes de variation spatiale du sodium (Na<sup>+</sup> en mg/l).

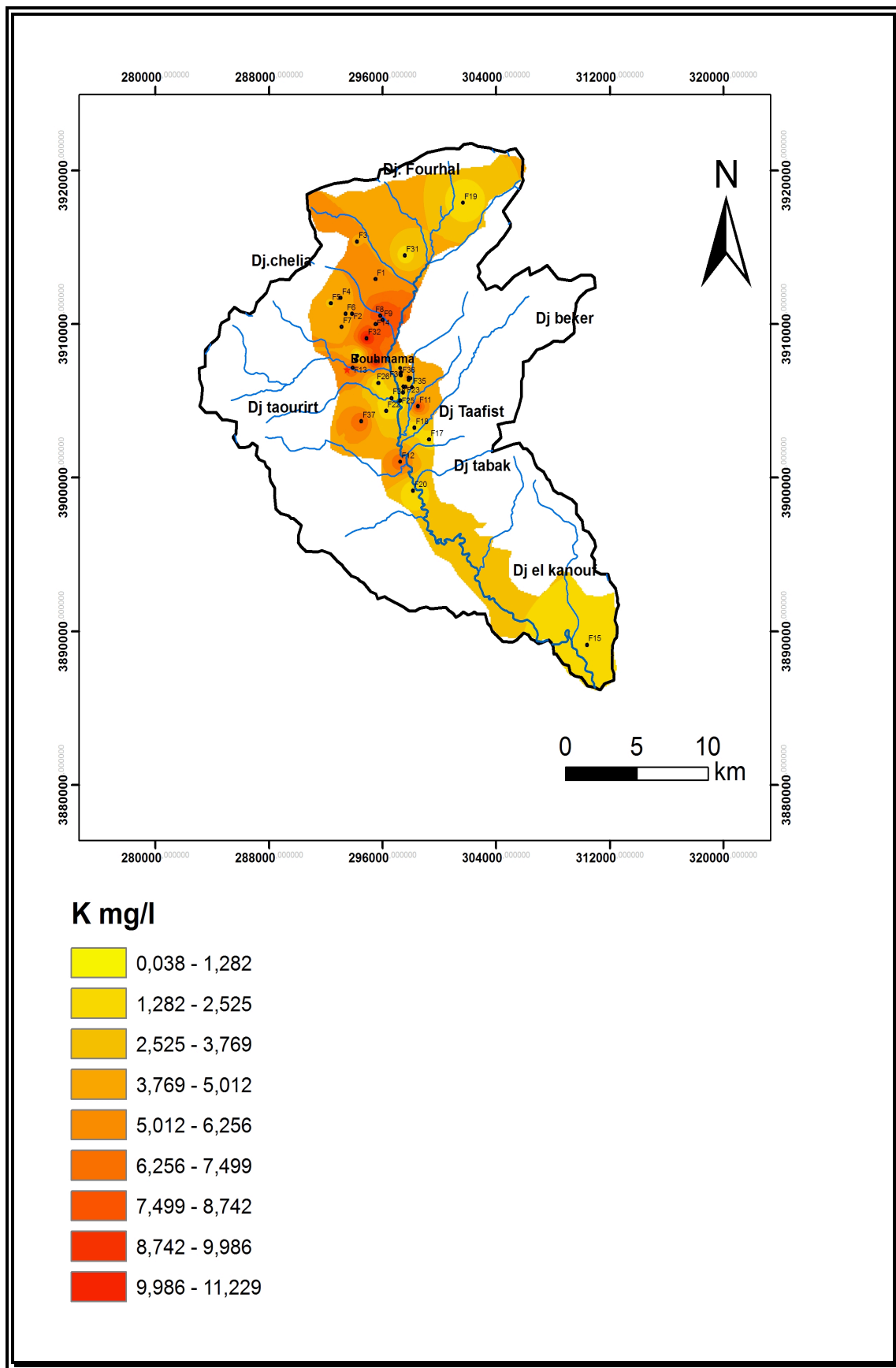
---

### **-Potassium ( $K^+$ en mg/l)**

Le potassium est un élément naturel des eaux où sa concentration, à peu près constante, ne dépasse habituellement pas 10 à 15 mg/l, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25 mg/l.

Le potassium provient de l'altération directe des roches silicatées (feldspaths, orthoclase, microcline et mica). Dans les sédiments, le potassium se trouve essentiellement dans les feldspaths altérés, dans les particules des micas ou dans les minéraux argileux sous forme de cation d'inter couches, comme c'est le cas pour l'illite, la vermiculite, le chlorite, le mica hydraté et la montmorillonite.

Grossièrement, les teneurs en potassium varient entre 0 et 11,25 mg/l avec une moyenne de 4,32 mg/l (**Fig.31**) Toutes Les concentration sont inférieures à 12 mg/l dans la totalité des forages.



**Figure31** : Carte de variation spatiale du potassium ( $K^+$  en mg/l).

---

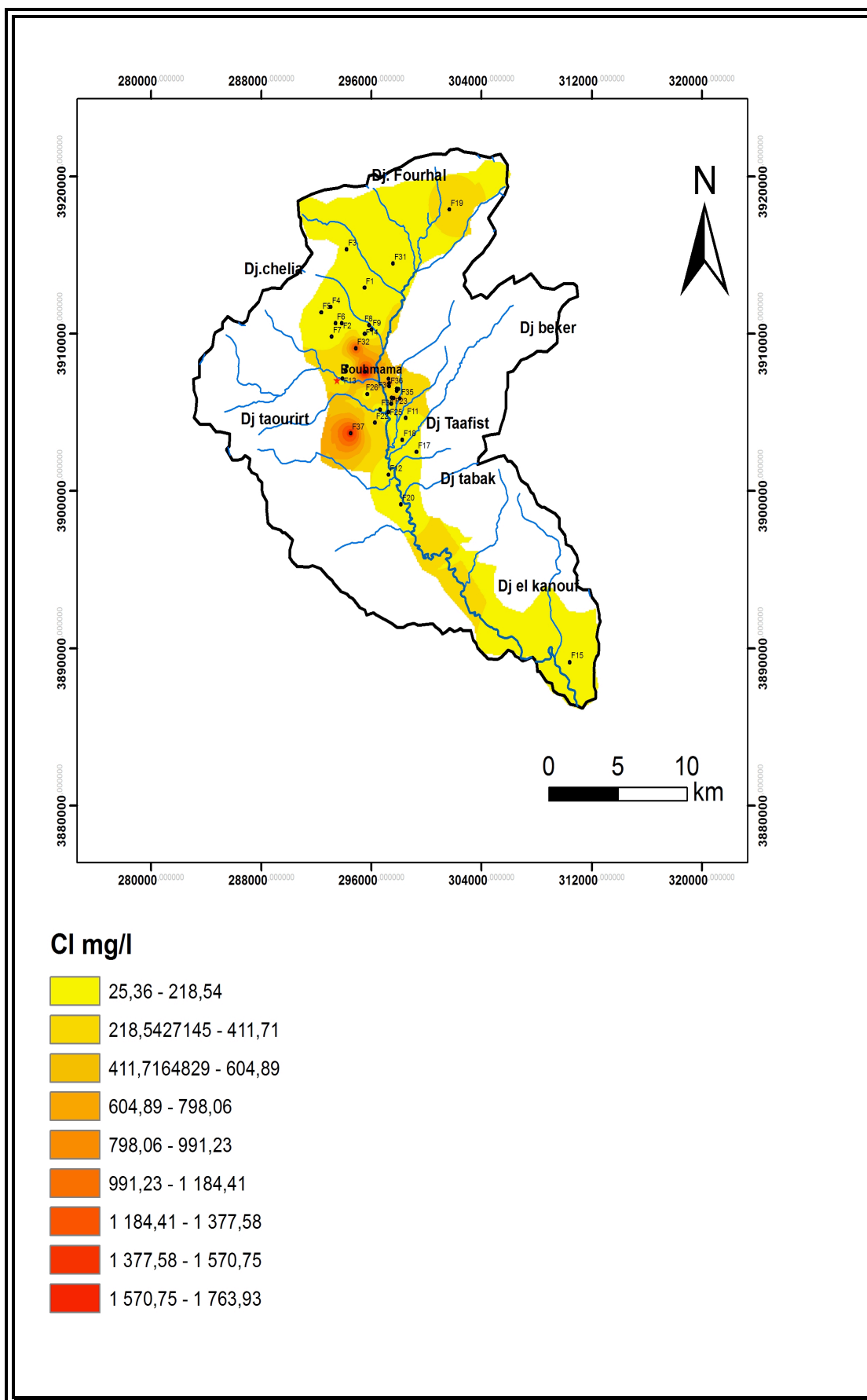
### -Chlorure ( $\text{Cl}^-$ en mg/l)

Très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium ( $\text{NaCl}$ ), de potassium ( $\text{KCl}$ ) et de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ), les ions chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), dans la grande partie se trouve dans les océans, constituent environ 0.05 % de la lithosphère. De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux à des concentrations différentes. Dans les eaux souterraines, les teneurs en ions chlorures peuvent atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques.

Les chlorures peuvent avoir une origine multiple, soit l'intrusion des eaux marines, ou la contamination par des eaux usées, soit 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 traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses.

La plupart des concentrations en chlorures oscillent entre 25,32 et 1764,86 mg/l avec une moyenne de 295,12 mg/l. La carte des chlorures (**Fig.32**) montre que les fortes teneurs ( $> 500$  mg/l) sont enregistrées dans forages (F23,32,34,35,36,37) avec un pic de 1764 mg/l au niveau du forage (F39) dans le centre et le Nord -Est. Par contre des concentrations relativement faibles ( $< 200$  mg/l) caractérisent le reste des forages. Ces teneurs dépassent largement les normes de potabilité (250 mg/l).

Cette importante variation des teneurs, à cause des caractéristiques spéciales de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimique, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui reste très mobile (**Debieche, 2002**).



**Figure 32 :** Carte de variation spatiale de chlorure ( $\text{Cl}^-$  en mg/l).

---

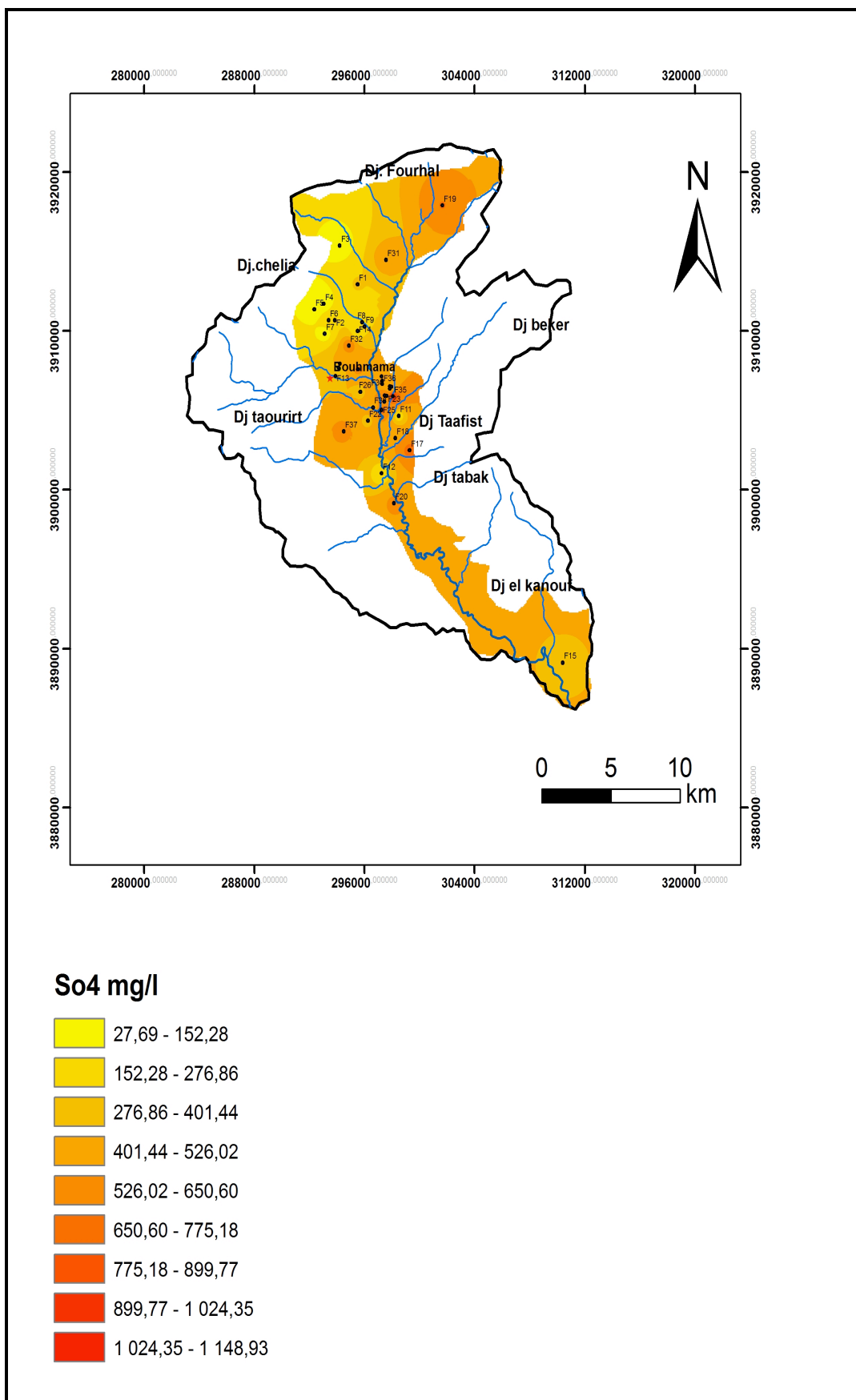
### **-Sulfate (So<sub>4</sub> en mg/l)**

Certains sols et certaines roches contiennent des minéraux de sulfate. Comme l'eau souterraines se déplacent à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau.

Parmi les minéraux qui contient du sulfate on peut citer les sulfates de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse). Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7g/l dans les conditions normales). Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30à200mg/l), parfois supérieurs à 250mg/l. (250mg/l) valeur limite admissible.

Les concentrations en sulfates varient entre 26.56 et 1165.37 mg/l avec une moyenne de 417.85 mg/l, dont les fortes teneurs (> 200 mg/l) se manifestent presque dans la totalité des puits (31 /39) avec un pic de 1165.37 mg /l au niveau du forage (F35).

En général, les concentrations des sulfates dans les eaux naturelles sont variables et ne dépassent généralement le gramme par litre. Dans les échantillons d'eaux analysées, les valeurs élevées de SO<sub>4</sub> sont d'origine géologique (dissolution de gypse et d'anhydrite). Une autre source de sulfates peut être attribuée à l'infiltration de sulfure utilisé comme fertilisant ou comme pesticide par les agriculteurs de la région.



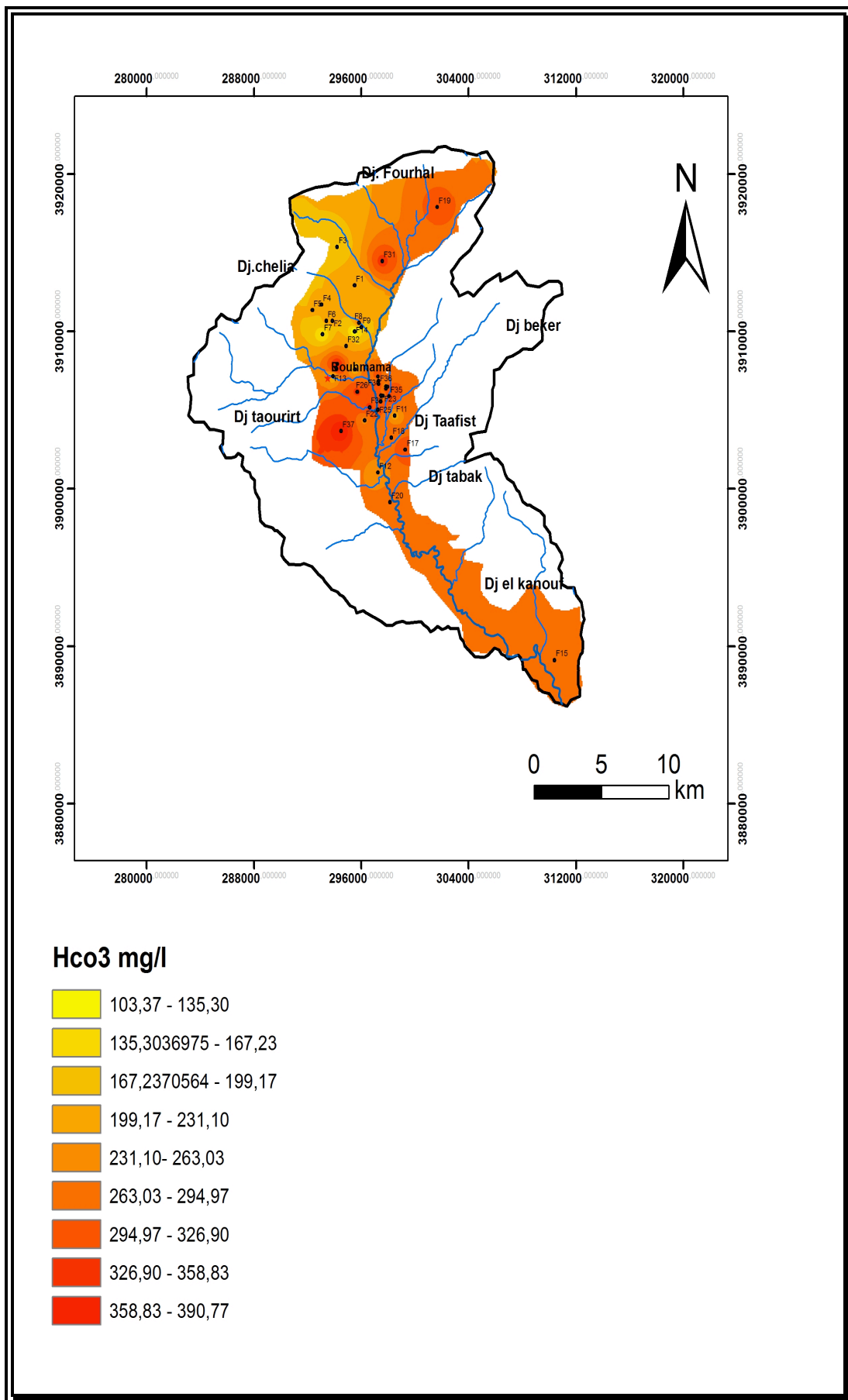
**Figure 33 :** Carte de variation spatiale de sulfate (So4 en mg/l).

---

### **-Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ en mg/l)**

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique. Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées et gypsifères selon l'équation suivante :  $(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) \text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2\text{HCO}_3^- + (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+})$ .

Les teneurs en bicarbonates varient entre 101.36 et 390.84 mg/l avec une moyenne de 264.81 mg/l. Elles sont supérieures à 220 mg/l dans la majorité des forages (**Fig.34**), ceci est dû au lessivage des roches calcaires d'une part et des formations salifères d'autre part. Par contre, elles ne dépassent pas les 200 mg/l dans le reste des forages.



**Figure 34 :** Carte de variation spatiale de bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$  en mg/l).

---

### -Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :

L'azote est présent en abondance dans la nature sous forme gazeuse, organique ou minérale.

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates sont abondamment répandus dans le sol, dans la plupart des eaux et des plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et les eaux de surface. Sans apport artificiel, les eaux ne contiennent pas plus de 10 mg/l de nitrates.

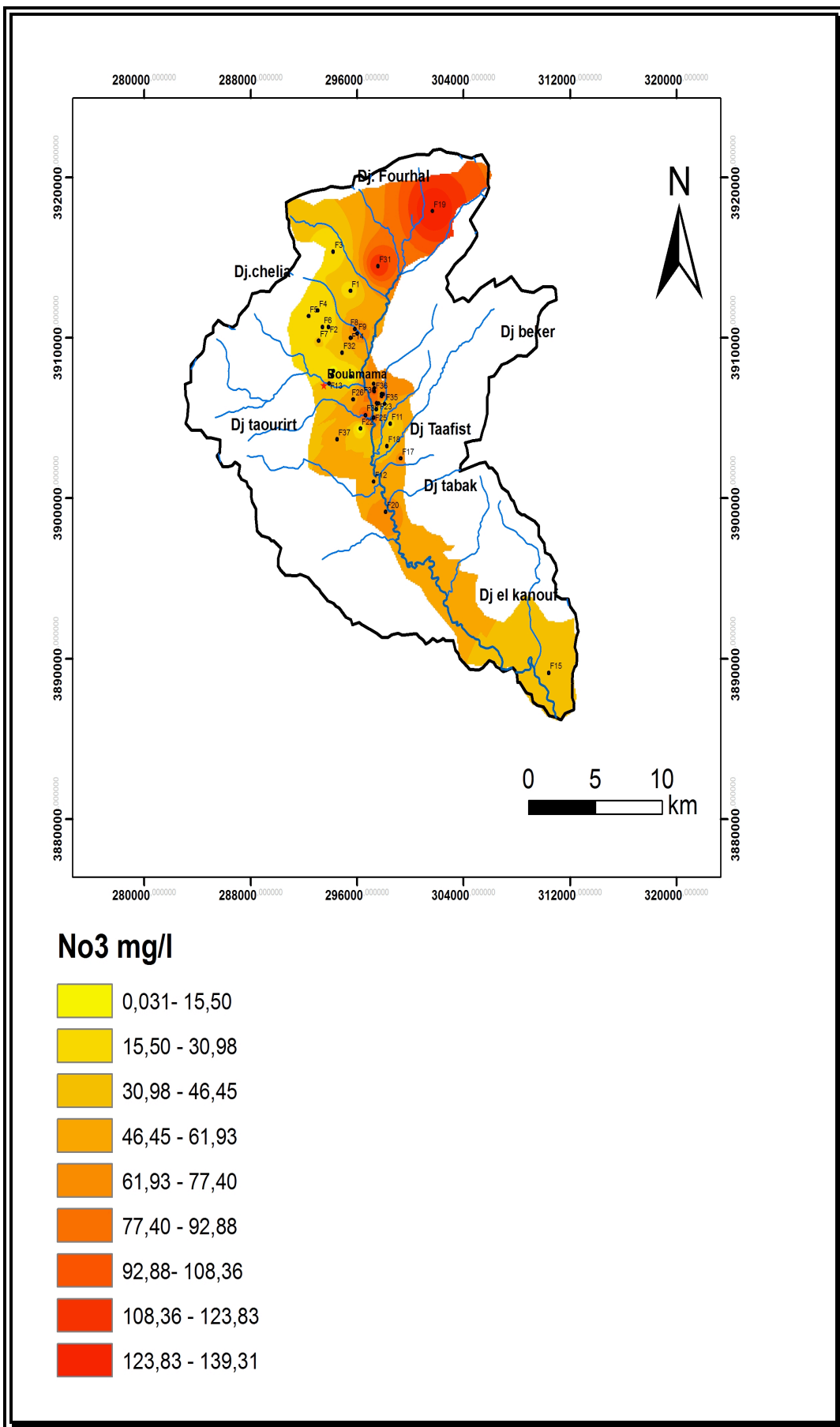
L'azote dans les sols provient principalement de la fixation de l'azote atmosphérique, du dépôt de l'azote contenu dans les précipitations, des amendements organiques et des apports d'engrais de synthèse. La fixation libre par des bactéries aérobies ou anaérobies contribue à maintenir un stock d'azote de 10 à 30 kg. ha<sup>-1</sup>, l'apport d'azote par la fixation symbiotique des espèces légumineuses variant entre quelques dizaines à plusieurs centaines de kg.ha<sup>-1</sup>, (**Recous et al., 1990**). Les apports d'azote sous forme organique dans les sols se font par amendements anthropiques (fumier, etc...), restitution au sol des résidus de culture et/ou restitution des déjections animales. La constitution du stock d'azote minéral dans le sol est issue des apports d'engrais de synthèse, sous forme d'ammonium, de nitrates et d'urée.

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.

C'est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme minérale ( $\text{N}_2$ ) ou ionisée : Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée) abondant dans la matière organique.

Les teneurs en nitrates varient entre 0 et 139,32mg/l avec une moyenne de 51,93 mg/l.

les fortes teneurs (> 50 mg/l) se manifestent presque dans la majorité des forages (20forages sur 39) avec un pic de 139,32 mg /l au niveau du forage (F19) ceci est dû à l'utilisation excessive des engrais azoté par les agriculteurs. A noter que le plateau de Mellagou en particulier et la région de Bouhmama en générale est connue par l'arboriculture et notamment le pommier, c'est un verger d'extension illimitée.



**Figure 35 :** Carte de variation spatiale de nitrate ( $\text{NO}_3^-$  en mg/l).

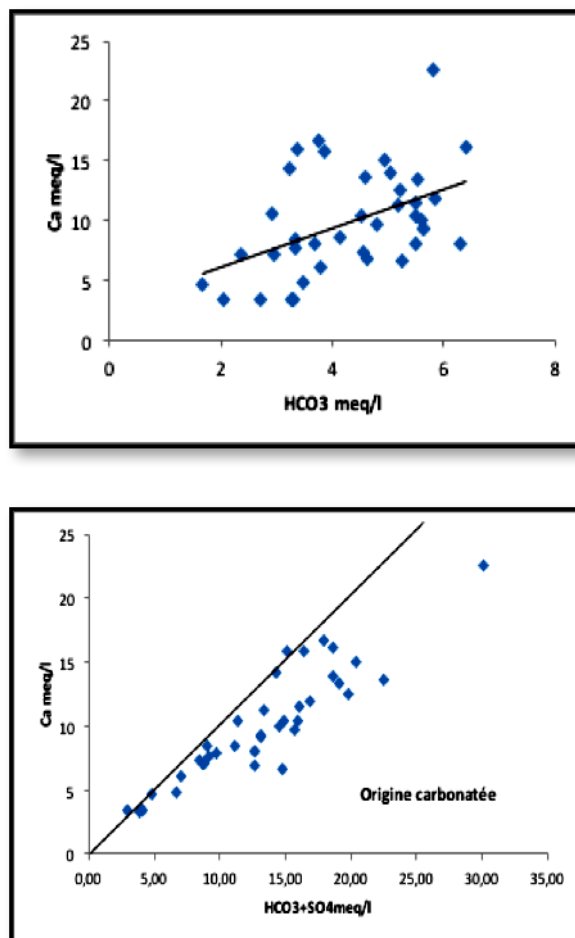
### III.2.3. Origine des éléments chimiques

En se basant sur les mesures et les analyses chimiques, on va essayer de déterminer l'origine probable de tous les ions en couplant des paramètres entre eux.

#### Le Diagramme $\text{Ca}^{2+}$ vs $\text{HCO}_3^-$ et $\text{Ca}$ vs $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ :

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

Nous avons établi un graphe où nous avons représenté le calcium en fonction des bicarbonates et des sulfates (**Fig.34**). Ce diagramme montre une corrélation important entre ces deux paramètres, Ca- $\text{HCO}_3$ , et traduit une origine commune, à savoir la dissolution des formations carbonatées, notamment la calcite. Le second diagramme (Ca vs  $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ ) définit l'origine du calcium par une dissolution concomitante de la calcite et du gypse.



**Figure 36 :** Détermination de l'origine du calcium.

### Le Diagramme $\text{Na}^+$ vs $\text{Cl}^-$

Ces deux éléments chimiques dans les eaux naturelles sont souvent liés à la dissolution de l'halite ( $\text{Na Cl}$ ) (Maouni, 2007). L'évolution de  $\text{Na}^+$  est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydo-réduction et peu influencé par l'intervention des bactéries (Debièche, 2002).

En analysant la relation entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , Le sodium et les chlorures présentent un coefficient de corrélation élevé de l'ordre de 0,98, il apparaît que certains points d'eau se trouvent sur la droite indiquant un simple processus de dissolution de l'halite sans réaction d'échanges ioniques. Ceci implique la même origine des deux éléments chimiques qui est la dissolution de l'halite. Cette relation se confirme par l'existence du faciès chloruré-sodique.

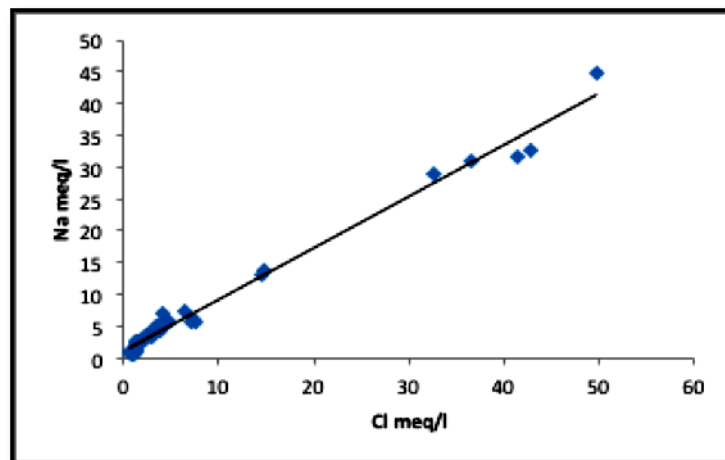


Figure 37 : Relation sodium-chlorures ( $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$ ).

### Le Diagramme $\text{Ca}^{+2}/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2+})$ vs $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$

La projection des différents points sur le diagramme  $\text{Ca}^{+2}/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2+})$  vs  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  montre que 61 % des points d'eau subissent un échange de base au profit du sodium, 34 % des points présentent l'état naturel, et 5 % traduisent un appauvrissement en  $\text{Ca}^{2+}$ , élément fixé par la capacité d'échange cationique avec libération de  $\text{Na}^+$ .

On observe un excès des teneurs en sodium, cela s'explique par une autre origine pour les alcalins qui a fait accroître la concentration du sodium par rapport à celle des chlorures. Cet

apport supplémentaire pourrait provenir de l'altération des silicates sodiques. Mais, vu que cet excès en  $\text{Na}^+$  est accompagné par un déficit en  $\text{Ca}^{++}$ , l'augmentation des teneurs en  $\text{Na}^+$  peut s'expliquer par un échange de base lié aux minéraux argileux qui fixent l'ion  $\text{Ca}^{++}$  après libération de deux ions  $\text{Na}^+$ .

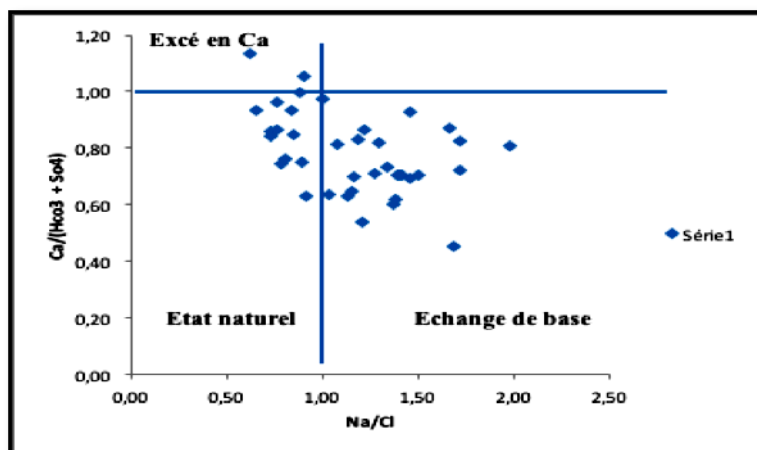
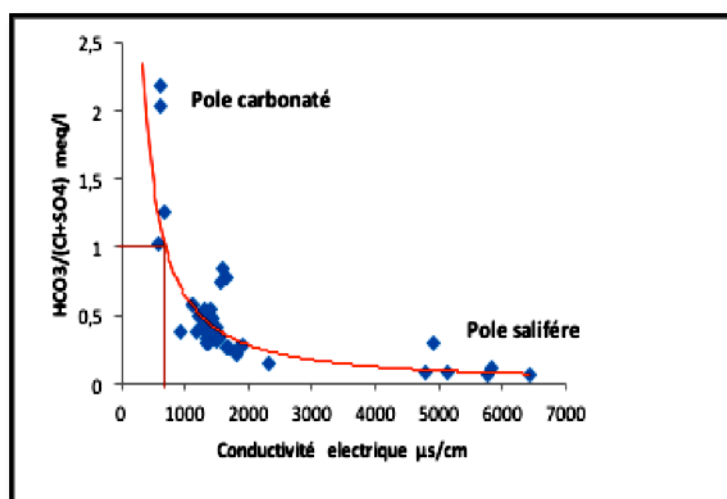


Figure 38 : Détermination de l'origine du sodium.

- **Diagramme  $\text{HCO}_3^- / \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  vs la conductivité électrique**

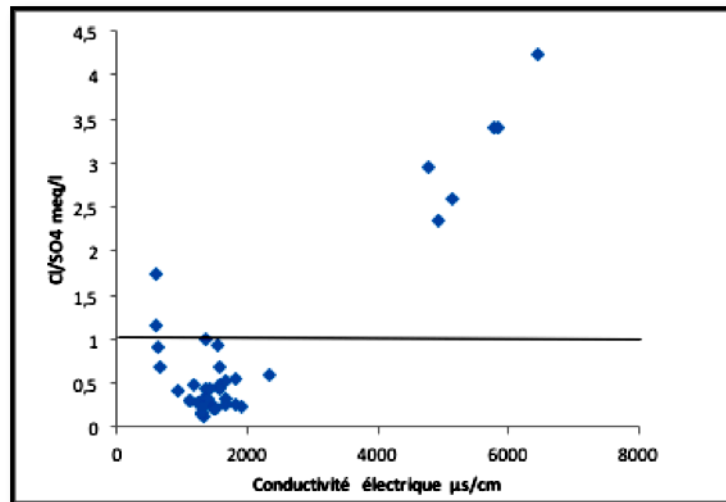
- La réalisation d'un diagramme  $\text{HCO}_3^- / \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  vs la conductivité électrique a montré la présence de deux pôles : le premier est carbonaté et représente 10% des eaux de la vallée. Il s'agit d'eau douce de faible conductivité électrique,  $600 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , et un faciès bicarbonaté calcique
- Le second est salin, caractérisé par l'association,  $\text{SO}_4\text{-Cl}$  et la C.E., représente la majorité des points d'eau (83.2%), les ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  y dominent. 15% des eaux du dernier pôle présentent une salinité sévère avec des conductivités de l'ordre de  $6440 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . (Fig.37)



**Figure 39** : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique.

**-Les éléments  $Cl^-SO_4^{2-}$**

La présente figure permet de distinguer les paramètres chimiques qui sont à l'origine de l'augmentation de la conductivité électrique. Le croisement du rapport  $Cl^-/SO_4^{2-}$  avec la CE, laisse supposer que les chlorures sont responsables de la salinité des eaux, notamment au centre de la vallée, talonnées par les sulfates. L'origine probable des chlorures serait probablement la dissolution de l'halite associée à une pollution anthropique, alors que les sulfates proviendraient de la dissolution du gypse et d'un retour des eaux d'irrigations.

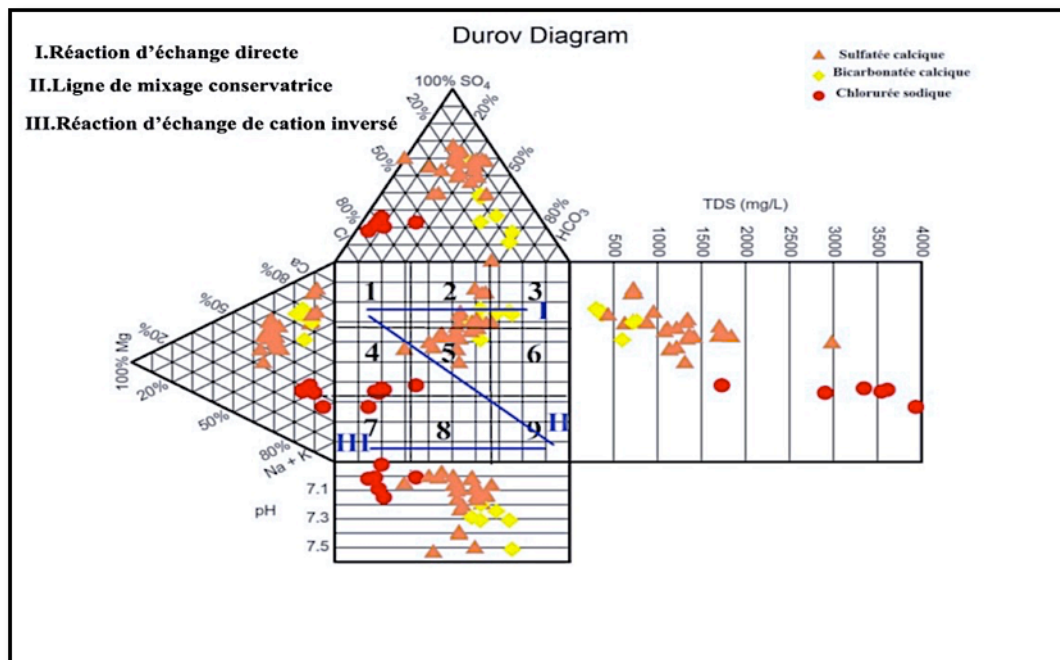


**Figure 40** : Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité.

### III.2.4. Identification de l'origine de la minéralisation des eaux

#### 1. Diagramme de Durov

Cette origine est vérifiée en utilisant le diagramme de Durov étendu par le logiciel RockWare AqQA program (Fig.41). Ce dernier a pour axes de coordonnées deux diagrammes de Piper, respectivement des anions et des cations. Ainsi pour chaque échantillon, on représente sa composition en cations et en anions sur l'axe correspondant. L'intersection de la projection des deux coordonnées ainsi obtenues donne le point représentatif de l'échantillon sur le diagramme de DUROV. La position des échantillons dans les casiers de 1 à 9 du diagramme de Durov (Fig.38) est utilisée pour l'identification des processus et des réactions chimiques qui règnent dans l'aquifère.



**Figure41:** Diagramme de durov.

Les échantillons du casier 1 sont des eaux de faible salinité et correspondent à des eaux d'infiltration récentes de type HCO<sub>3</sub>-Ca (**Petelas C.P, et all., 1999**).

Les casiers 2 et 3 représentent normalement une progression des eaux vers la minéralisation par enrichissement en Na<sup>+</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> aux dépens du Ca<sup>+</sup>, en raison de réactions d'échange ionique et de la dissolution des carbonates (**Trabelsi R, et all.,2005**). Dans ce cas d'étude, quelques échantillons figurent au niveau des casiers 2 et 3.

Dans le casier 4, on assiste à une dissolution des minéraux riches en calcium (calcite et gypse) ; dans ce casier quelques échantillons sont présents.

- Dans le casier 5, la composition des eaux résulte des réactions de mélange des eaux de différentes origines (**TRABELSI R, et all.2005**). La majorité des échantillons se trouvent dans ce casier.

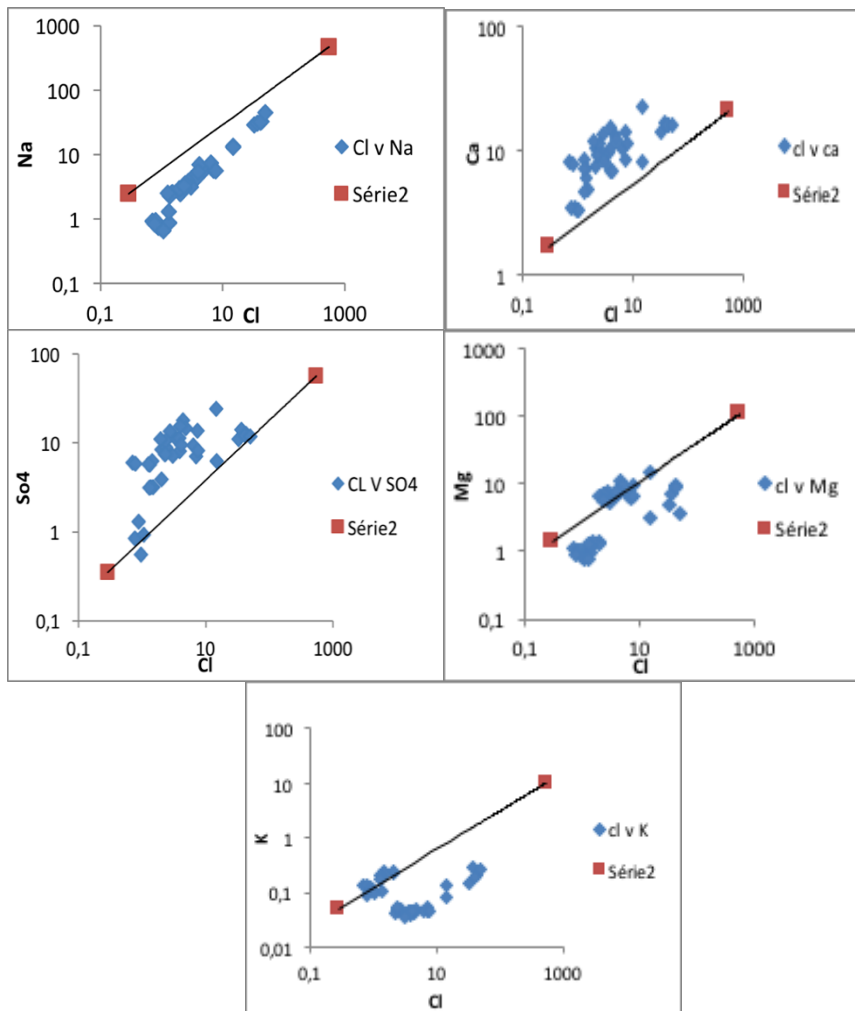
-Le casier 6 correspond aux deux processus de mélange et d'échange ionique. Un seul échantillon se trouve dans ce casier.

-Dans le casier 9, on assiste à un mélange avec les eaux de mer. Dans ce cas d'étude, aucun échantillon ne se trouve dans les casiers 8 et 9.

Donc, dans ce cas, la salinité enregistrée est probablement liée aux réactions de mélange des eaux de différentes origines (la droite I réaction d'échange directe) et la nature lithologique du réservoir.

## 2. Les diagrammes croisés

Le deuxième moyen d'interprétation utilisé dans cette étude est constitué par les diagrammes croisés des concentrations des éléments majeurs avec l'ion chlore (**Fig.42**). Ce dernier, comme élément conservé, ne participe pas aux interactions eau-roche et caractérise l'origine de la salinité des eaux constituant un traceur de mélange (**TELLAM J.H, 1995**). La figure 39 montre la relation entre les chlorures et les éléments majeurs ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) des points d'eau prélevés dans les différentes zones de la région d'étude. La disposition des différents points par rapport à la ligne de mélange eau douce-eau salée peut être de grande utilité pour identifier d'autres phénomènes qui sont annexes au processus de mélange.



**Figure 42 :** Relation entre Ca, Mg, Na, K,  $\text{SO}_4$  et le Cl des eaux souterraines et l'eau de pluie-eau de mer.

---

Le graphe  $\text{Cl}^-$  contre  $\text{Na}^+$  montre que tous les points se trouvent en dessous de la droite de mélange. Etant donné que la teneur en  $\text{Na}^+$  devrait équilibrer la teneur en  $\text{Cl}^-$ , le déficit en  $\text{Na}^+$  est expliqué par le phénomène d'échange de base ionique entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de  $\text{Na}^+$  par la matrice argileuse pour désorber des alcalino-terreux. Ainsi, la figure du Ca vs Cl, confirme l'enrichissement en calcium. Cet apport est dû à la dissolution simultanée des carbonates et du gypse, auxquels s'associe un apport en Ca par échange cationique, qui fait que le calcium est libéré au détriment d'une rétention du sodium.

Le graphique  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$  montre que tous les points se trouvent au-dessus de la droite de mélange eau douce - eau salée. L'enrichissement en sulfates serait apporté par la dissolution du gypse, le lessivage d'évaporites et par l'infiltration des eaux d'irrigation, chargées en sels et en fertilisants ; facilitée par la faible profondeur de la nappe et la bonne perméabilité des terrains aquifères (El Achheb et al. 2003).

La relation entre  $\text{Mg}^+$  et  $\text{Cl}^-$  montre que la majorité des points se trouvent en dessous de la droite de mélange eau douce-eau salée à l'exception de quelques points qui se trouvent sur cette droite. L'enrichissement des points en Mg est lié à la dissolution de la dolomite.

La relation entre  $\text{K}^+$  et  $\text{Cl}^-$  souligne que la majorité des points se trouve au-dessous de la droite de mélange à l'exception de quelques points qui se rapprochent de cette droite montrant que l'origine la plus probable serait la pollution.

### III.3. Faciès chimique des eaux

Le faciès chimique des eaux a été déterminé classiquement à l'aide du diagramme de Piper, en ayant recours au logiciel Diagramme du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (Simler, 2007). Il est utile pour représenter toutes sortes de groupes d'analyses. Il permet également de visualiser l'évolution du chimisme d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps et dans l'espace.

Le diagramme de Piper présente les minéraux (Anions et Cations) les plus abondants dans l'eau. Donc il renseigne sur la tendance minéralogique. Il est composé de deux triangles équilatéraux à la base (un pour les anions et l'autre pour les cations), avec un losange au milieu. Les côtés des triangles sont divisés en 100 parties égales. Chaque élément est représenté sur le triangle par rapport à ses paires de même nature. La projection des points sur le losange par deux droites menées depuis les triangles correspond au faciès chimique. Cette représentation graphique est utilisée pour déterminer le faciès chimique des eaux et suivre ses variations dans l'espace et dans le temps.

La représentation graphique a permis de définir le faciès chimique et son évolution dans l'espace de la zone d'étude.

Les eaux souterraines de la vallée d'Oued Mellagou évoluent d'un faciès à l'autre dans le sens d'écoulement : les eaux qui émergent dans les formations carbonatées fissurées possèdent un faciès bicarbonaté calcique, arrivée au remplissage Mio-Plio-Quaternaire, les eaux sont de type sulfaté calcique, enfin vers les limites du terrain, le faciès est chloruré sodique.

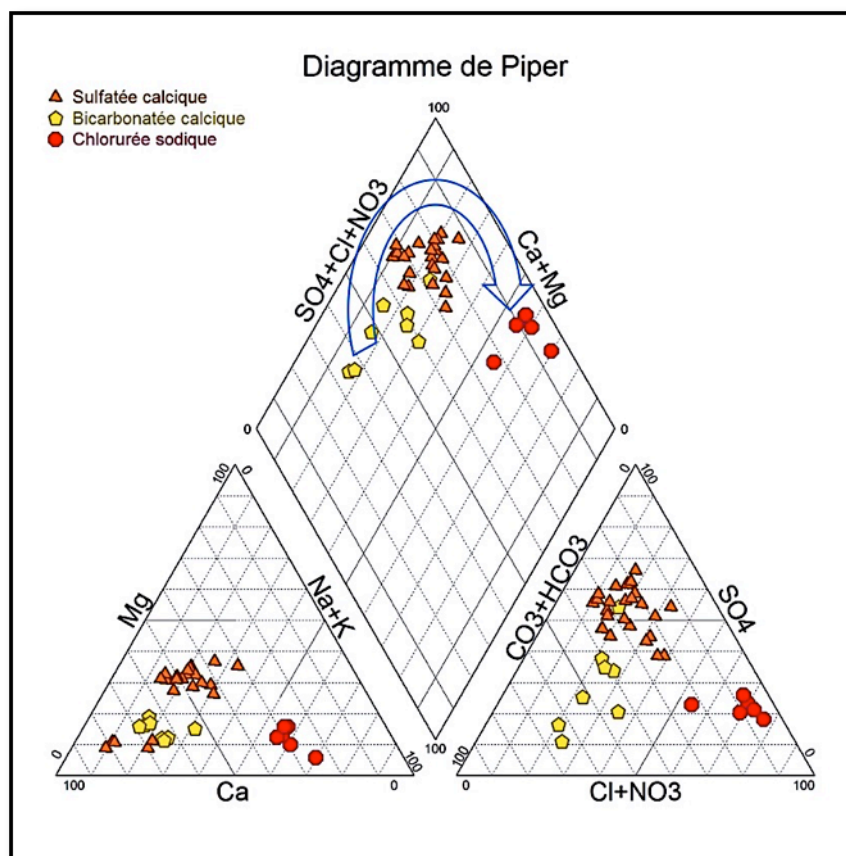


Figure 43 : Diagramme de Piper.

### III.4. Indice de saturation (IS)

La dissolution d'un minéral dans l'eau peut être décrite par un état d'équilibre : quand l'eau est en contact avec un minéral, la concentration de la solution augmente pour atteindre un maximum pour des conditions physico-chimiques données. On dit alors que la solution est saturée en ce minéral. L'état de saturation est exprimé par l'indice de saturation ; il utilise l'équation définie par (Garrel et mackenzie, 1976) :

$$Is = \log (K) - \log (PI)$$

Avec :

K la constante d'équilibre et PI le produit ionique.

---

Le degré de saturation, de sous-saturation ou l'état d'équilibre d'une solution vis-à-vis d'un minéral n'est apprécié que si l'on peut comparer le produit de solubilité au produit d'activité ionique des ions de référence dans la solution (**Droubi, 1976 ; Droubi et al, 1978**).

Trois cas sont possibles :

$I_s < 0$  signifie une sous-saturation d'une solution par rapport à un minéral (dissolution du minéral) ;

$I_s = 0$  indique un état de saturation ; l'eau est en équilibre avec le minéral

$I_s > 0$  démontre une sursaturation, (Précipitation du minéral)

L'étude thermodynamique est réalisée à l'aide du logiciel Diagramme pour calculer l'indice de saturation (SI) de l'anhydrite, l'aragonite, la calcite, la dolomite, le gypse et l'halite, qui sert à évaluer les processus géochimiques qui sont à l'origine de la minéralisation

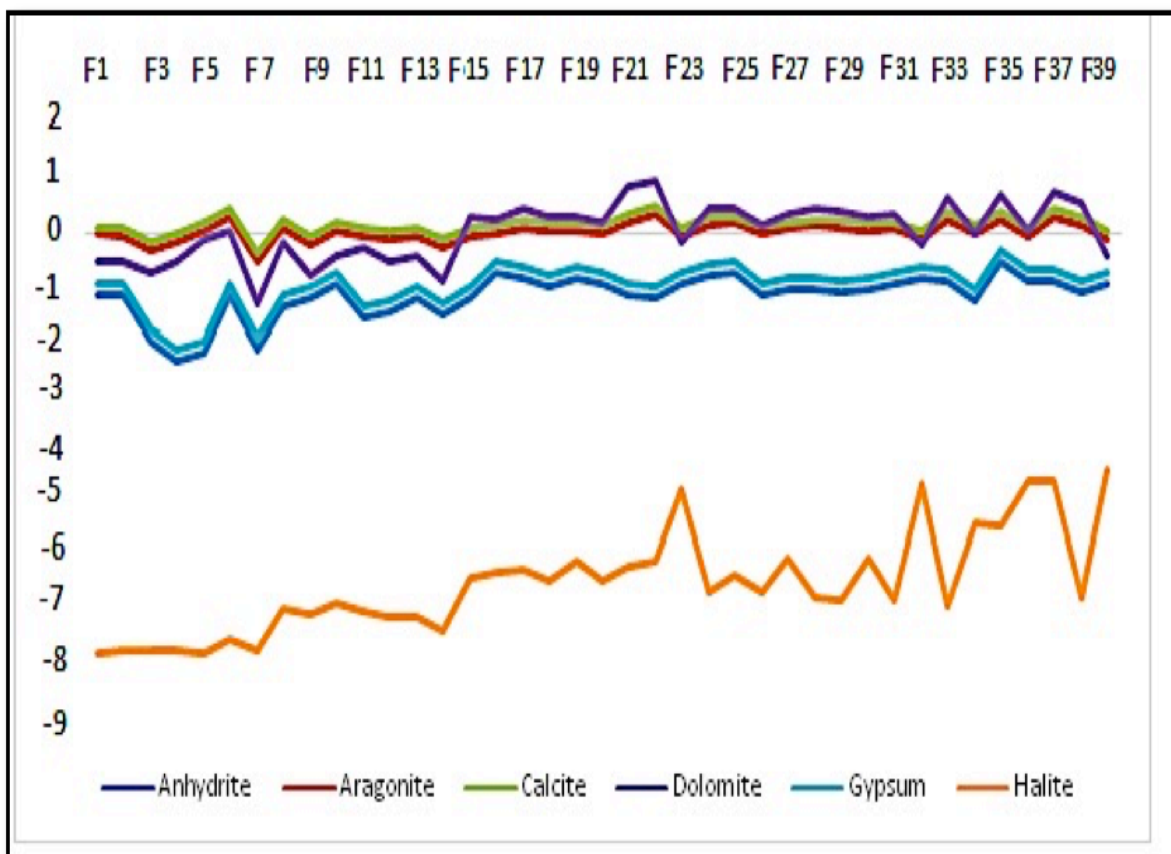
Les indices de saturation sont utilisés pour évaluer le degré d'équilibre entre l'eau et le minéral afin de mettre en évidence les différents stades de l'évolution géochimique des eaux qui se traduisent par une variation de ces indices.

La connaissance des saturations des eaux vis-à-vis de certains minéraux permet de dire sous quelles formes chimiques certains éléments sont transportés dans les solutions.

L'utilisation de ces indices (précipitation/dissolution) est utile pour déterminer l'environnement géologique dans lequel percolent des eaux. Les IS sont définies par (**Chapelle, 1993**)

Les résultats significatifs de tous les échantillons d'eau souterraine analysées(**Fig.42**), montrent que ces derniers sont saturés par rapport aux formations carbonatées, tels que : la calcite, la dolomite et l'aragonite et sous-saturés par rapport aux formations évaporitiques, à savoir : l'halite, le gypse et l'anhydrite.

L'indice de saturation des minéraux dans l'eau indique que seuls les minéraux carbonatés tendent à précipiter surtout sous la forme de dolomite. Par contre les minéraux évaporitiques sont en dissolution, ce qui permet aux éléments évaporitiques de se présenter dans l'eau à des concentrations relativement élevées et explique la dominance du faciès chloruré calcique et chloruré sodique par dissolution de l'halite.



**Figure 44** : Variation de l'indice de saturation des minéraux.

---

### **III.5. Etude statistique de la réponse chimique des eaux souterraines**

La composition chimique des eaux souterraines est en fonction de plusieurs facteurs notamment la nature géologique des formations à travers lesquelles l'eau a circulée et a séjournée, les variations saisonnières du climat et les éventuelles actions anthropiques.

Dans le but de déceler l'influence respective des différents facteurs sur le comportement chimique des eaux de l'aquifère, on a fait recours à la méthode de l'analyse en composantes principales en l'appliquant à nos résultats d'analyses chimiques des eaux du plateau afin de déceler les variations non aléatoires de cette réponse chimique.

#### **-Principes théoriques des analyses multi variées**

Dans le cadre de l'étude de la chimie des eaux souterraines on observe non pas un seul paramètre (variable), mais un nombre souvent élevé de paramètres à la fois. L'étude séparée de chacun ces variables est une phase importante mais elle est souvent insuffisante. En effet, l'étude séparée de chaque variable laisse de côté les liaisons qui peuvent exister entre elles et qui ont souvent un aspect très important. Il faut donc analyser les données en tenant compte de leur caractère multidimensionnel.

#### **-Analyse Statistique multivariée**

##### **Analyses des composantes principales.**

Analyse des composantes principales (ACP) est employée pour étudier le comportement chimique des eaux. Elle permet, à partir d'une matrice à  $n$  échantillons (les individus) et  $p$  variables, la description du nuage dans un espace à  $p$  dimensions. On projette le nuage de points dans un espace à deux dimensions, déterminé à partir des axes principaux ou factoriels. Cette projection permet de minimiser l'erreur de la représentation des données.

Dans l'espace des unités statistiques, ACP permettra de regrouper selon des facteurs identiques les échantillons présentant des caractères d'origine ou d'évolution similaire. L'interprétation de l'ACP consiste ensuite à déterminer les facteurs responsables (composantes principales) de la structure observée.

Avec les observations des  $N$  variables, on construit la matrice de corrélation ( $N \times N$ ) des coefficients de corrélations linéaire entre les couples des variables (**Tab.19**). L'analyse en composantes principales se propose de trouver les vecteurs propres de cette matrice ainsi que leurs valeurs propres (une matrice  $N \times N$  valeurs et vecteurs propres).

Les vecteurs propres sont les « facteurs » ou « composantes principales » de l'ACP. La valeur propre, relative à chaque vecteur propre, représente la variance de l'ensemble des observations expliquée par ce vecteur propre, relatif à la valeur propre la plus importante, est celui qui exprime le plus fort pourcentage de la variance totale du nuage de points. Le second, indépendant du premier (donc perpendiculaire dans l'espace à N dimensions) et relatif à la deuxième valeur propre la plus importante, exprime la plus grande partie de la variance résiduelle, et ainsi de suite.

A partir des vecteurs propres de la matrice de corrélation on calcule les coordonnées des observations dures les axe factoriels (composantes principales)

Dans le cadre de notre étude 15 variables ont été pris en compte représentés par les paramètres physico-chimiques suivants :  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SiO}_2$  et la conductivité électrique (c25°C) la projection des variables et des individus a été effectuée sur 3axes qui représente 84,06% de la variance totale

**Tableau 21** : Valeurs propres des trios premiers axes de l'ACP.

Axe de composante	F1	F2	F3
Valeurs propres	5,4501	2,7292	1,0676
Variabilité (%)	49,5460	24,8107	9,7052
(%) Cumulés	49,5460	74,3567	84,0618

#### Matrice de corrélation

L'apport de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche. Elle permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. On admet qu'une corrélation est significative, si la valeur du coefficient de corrélation « r » est comprise entre + 0,5 et 1 (relation positive) et -0.5 et -1 (relation négative). Dans notre cas plusieurs liaisons sont significatives mais à des degrés variables. Ainsi la matrice de corrélation (**Tab.22**) montre que les concentrations en Na cl sont très fortement corrélées avec  $r=0.993$ . Le calcium Ca est fortement corrélé avec  $\text{SO}_4^{2-}$   $r=0.926$ . La conductivité est liée aux éléments Cl, Na, Ca et K. nous pouvons dire que la dissolution des évaporites contribue pour beaucoup à la chimie de l'eau du plateau de Mellagou

**Tableau 22:** Matrices de corrélation.

Variables	C25c	Ph	K	Na	Mg	Ca	HCO3	NO3	Cl	SO4	Sio2
<b>C25c</b>	<b>1</b>										
<b>Ph</b>	-0,421	<b>1</b>									
<b>K</b>	<b>0,514</b>	0,071	<b>1</b>								
<b>Na</b>	<b>0,953</b>	-0,402	0,446	<b>1</b>							
<b>Mg</b>	0,256	<b>-0,546</b>	<b>-0,458</b>	0,329	<b>1</b>						
<b>Ca</b>	<b>0,604</b>	<b>-0,619</b>	-0,019	<b>0,638</b>	<b>0,795</b>	<b>1</b>					
<b>HCO3</b>	0,128	<b>-0,452</b>	<b>-0,553</b>	0,086	<b>0,689</b>	<b>0,469</b>	<b>1</b>				
<b>NO3</b>	-0,306	0,150	0,345	-0,367	<b>-0,477</b>	-0,381	-0,418	<b>1</b>			
<b>Cl</b>	<b>0,954</b>	-0,385	<b>0,459</b>	<b>0,993</b>	0,318	<b>0,627</b>	0,072	-0,352	<b>1</b>		
<b>SO4</b>	0,386	<b>-0,587</b>	-0,235	<b>0,429</b>	<b>0,901</b>	<b>0,926</b>	<b>0,528</b>	-0,408	0,399	<b>1</b>	
<b>Sio2</b>	<b>0,434</b>	-0,361	-0,105	<b>0,574</b>	0,394	<b>0,439</b>	0,382	<b>-0,475</b>	<b>0,514</b>	0,387	<b>1</b>

Les trois principaux axes expliquant 84,36% de la variance totale. L'axe I exprime 49,55 % de la variance totale, l'axe II exprime 24,81 % et l'axe III exprime 10 % de la variance totale. L'axe F1 est corrélé négativement au pH et NO<sub>3</sub>. Il est corrélé positivement aux éléments CE, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> SiO<sub>2</sub> et Na<sup>+</sup>. L'axe F2 est corrélé positivement aux CE, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> négativement avec Mg<sup>+</sup> et HCO<sub>3</sub>. L'axe F3 est corrélé seulement avec NO<sub>3</sub>.

**Le facteur F1 exprime 49,55%** regroupe tous les éléments chimiques dans le pôle positif à l'exception de K<sup>+</sup>, pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Le facteur F1 caractérise donc la minéralisation (par l'interaction eau roches et dissolution des minéraux avec un temps de séjour élevé). Dans sa partie positive et les eaux moins minéralisées dans le pôle négatif.

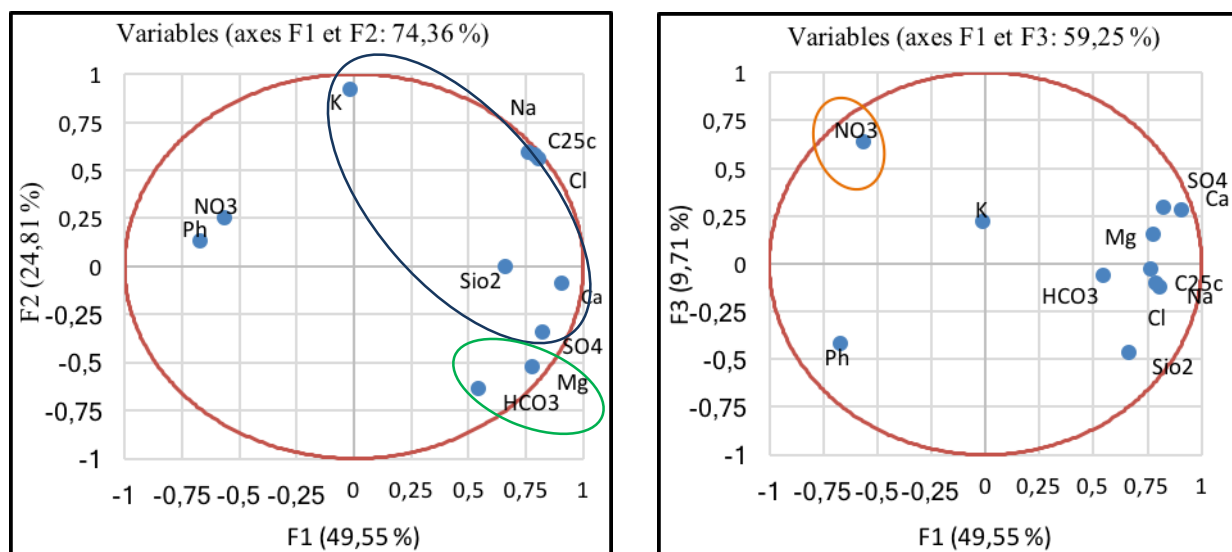
-Dans le plan des individus (**Fig. 46**) l'axe F1 distingue les eaux faiblement à moyennement chargées et les eaux fortement minéralisées.

**L'axe F2 exprime 24,81%** de la variance expliquée, il oppose HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Mg<sup>+</sup> aux éléments de la salinité. Donc c'est une opposition entre les eaux douces à des eaux salées.

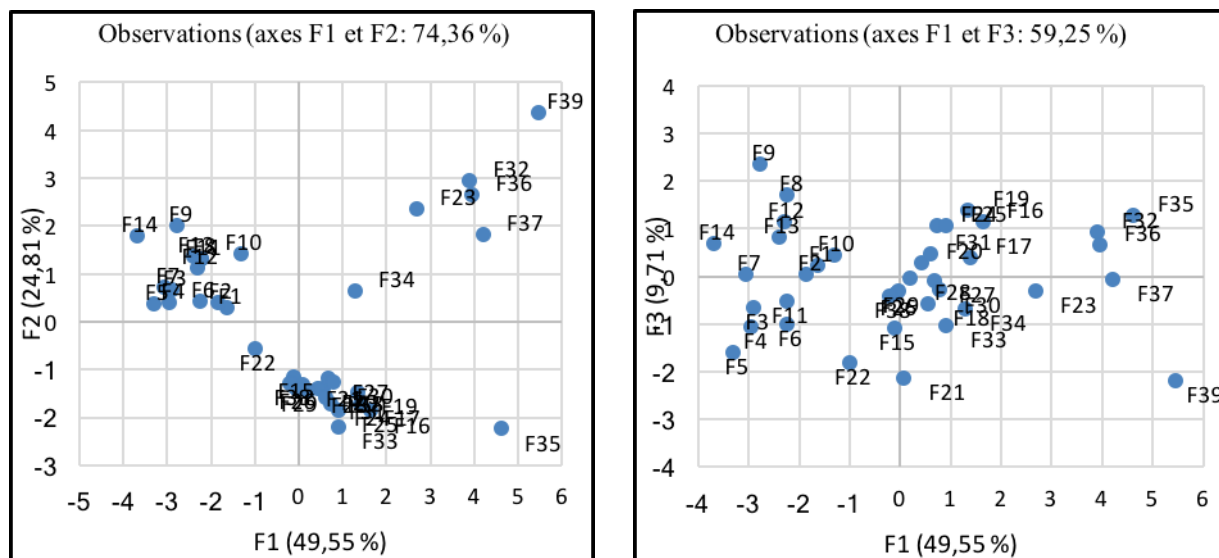
-Dans le plan des individus (**Fig. 46**), l'axe F2 sépare les eaux salées des eaux douces.

**L'axe F3 définit 10%** de l'inertie totale, cet axe est piloté par les nitrates, il traduit la pollution des eaux.

-Dans le plan des individus (**Fig. 44**) l'axe F3 distingue les eaux polluées des eaux non polluées.



**Figure 45** : projection de variable F1/F2 et F1/F3.



**Figure 46** : projection des individus.

### III.6. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'évaluation de la qualité des eaux utilisées pour l'irrigation à l'échelle proposée par Durand, (1950) et FAO (1971) pour les sols irrigués en Algérie, montre que la plupart des eaux sont très salées. Pour que cette eau soit utilisable, il faut que le taux de Na<sup>+</sup> soit inférieur à 60%.

---

Cette valeur représente le seuil maximum admissible pour l'usage agricole (**Benziane et al, 2012**).

Les eaux souterraines du bassin versant de Oued Mellagou représentent l'une des principales ressources pour l'irrigation des terres agricoles.

L'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques tolérables par 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,

(**Person j, 1978**) les sels causent des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante.

Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles de sol et provoque la dispersion des particules dans le sol, c'est-à-dire si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, ce dernier tend à être facilement cultivé et avec une structure perméable et granulaire. Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air,

Affectant ainsi sa structure. Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple, les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux sols lourds quand ils sont irrigués avec une eau à SAR élevé. L'index utilisé est le rapport de sodium adsorbé (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et magnésium. La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium 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 (**Tood D.K, 1980**).

Lorsque la concentration des ions  $\text{Na}^+$  à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent fréquemment les cations  $\text{Ca}^{2+}$  dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer 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.

Dans le but d'étudier la qualité des eaux pour l'irrigation, nous avons fait recours à la méthode de Richards (1954). Il met en évidence différentes classes d'eaux définies sur la base du taux de sodium adsorbé (S.A.R) et sur la concentration en sels solubles de l'eau représentée par la conductivité électrique (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou  $\text{mS}/\text{cm}$  à  $25^\circ\text{C}$ ). Le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR qui est défini par la relation :

$$SAR = \frac{Na^{++}}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Le sodium, calcium et le magnésium sont exprimés en  $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q}/\text{L}$ .

Ces éléments chimiques sont utilisés en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau.

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards (**Fig.46**), selon la conductivité électrique et la valeur du SAR, on a pu dégager la présence des six classes d'eaux qui sont les suivantes :

- **C2S1** : Elle caractérise une eau bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour les plantes moyennement tolérantes aux sels. Cette classe représente les eaux de faible minéralisation que l'on rencontre au Nord-Ouest du bassin.

- **C3S1, C3S2** : En général, eaux convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. La majorité des puits appartenant à la classe C3S1 se situent dans la majeure partie du bassin.

- **C4S1, C4S2** : Représentent des eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

- **C4S3, C4S4** : Eau de qualité mauvaise, ne convient généralement pas à l'irrigation, mais peut être utilisée sous certaines conditions pour des sols très perméables avec un bon lessivage et aux plantes très tolérantes aux sels (choux, betterave...).

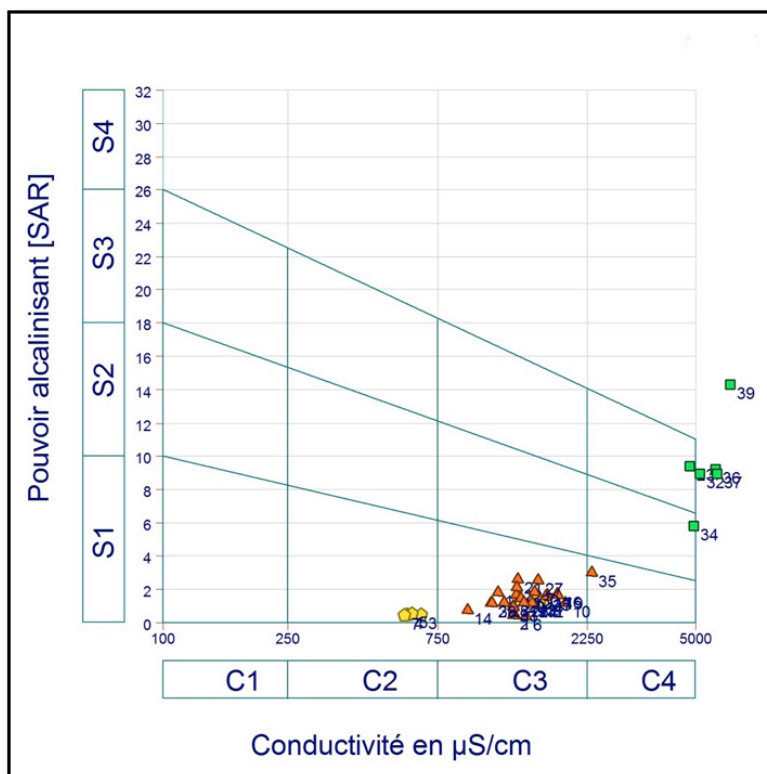
L'utilisation de ces eaux pour l'irrigation sur de longues périodes peut avoir des conséquences négatives non seulement sur les sols et leur productivité, mais aussi sur la qualité de l'eau de la nappe suite au recyclage des sels accumulés dans les sols sous l'effet de forte

évaporation par les eaux d'irrigation et par les eaux pluviales s'infiltrant pendant les grands événements pluvieux.

On remarque que l'ensemble des points d'eau se situe dans les trois dernières classes dont le risque de salinisation est moyen à fort.

**Tableau 23** : Résultats de calculs sur ce type de diagramme, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR.

Classe	Forages
Excellente	
Bonne	C2S1(F3, F4, F5, F7).
Admissible	C3S1(F6, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F21, F22, F24, F25, F26, F27, F28, F29, F30, F31, F33, F38).
Médiocre	C4S1-C4S2(F35, F34).
Mauvaise	C4S3-C4S4(F23, F32, F36, F37, F39).
Caractéristiques	
C2S1	Eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation.
C3S1-C3S2	Eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur sol ayant une bonne perméabilité.
C3S3- C3S4- C4S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation.



**Figure 47** : Classification des eaux d'irrigation d'après le diagramme de Richards (1954).

---

### III.7. Les éléments en traces

Ils ont des teneurs extrêmement faibles dans les eaux souterraines. Elles ne sont pas actuellement utilisées en hydrogéologie. Nous avons réalisé les analyses des teneurs en éléments traces puisque on est dans un cas de potabilité, toutes les sources froides étudiées sont des eaux potables. On distingue :

**Les métaux :** ce sont les plus employés, ils se regroupent dans trois familles :

**Les alcalins et alcalino-terreux :** Rb, Sr, Li, Ba ;

**Les métaux de transition :** Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, As, Sb

**Les métaux lourds :** Zn, Cd, Pb, U.

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse  $5\text{g/cm}^3$ . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse...etc. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure. (**Lenntech, 2006**)

Les métaux lourds analysés au niveau des 39 forages sont :

#### - Le Plomb (Pb) :

La forme la plus fréquente dans les milieux naturels est  $\text{Pb}^{2+}$ , ses caractéristiques physico-chimiques le rapprochent des alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Ba}^{2+}$ ). Cet élément peut être associé aux sulfates et aux carbonates mais aussi aux argiles et à la matière organique suivant le pH. Cet élément a beaucoup d'affinités avec le cadmium Cd et le zinc Zn. Lors de l'altération de minéraux primaires, le Pb peut être fixé par des argiles comme la kaolinite (**Mosser Ch,1980**).

Les teneurs en plomb dans les 39 forages sont très faibles, le forage F21 représente la valeur maximale avec ( $15,033 \cdot 10^{-3} \text{ mg/l}$ ), mais reste une concentration négligeable. Selon les recommandations de la qualité de l'eau potable la concentration maximale acceptable pour le plomb est de 0,05 milligramme par litre (mg/L) ou 50  $\mu\text{g/L}$ .

#### Le chrome (Cr)

Il provient généralement des résidus de galvanoplastie, des tanneries, des raffineries et de l'industrie de textile (**Kemmer N.F,1984**). Il est toxique surtout sous forme de Cr VI (chromate), il passe sous forme de Cr III (sels chromiques) en milieu naturel. Le Cr VI est

---

mutagène et cancérogène (**Gaujous D,1995**). En milieu alcalin, on estime que la stabilité des chromates peut atteindre 50 ans, et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même à travers de sols cohérent.

La variation de la teneur en chrome dans les différents puits (39 puits). Présentent une forte teneur au niveau du puits forage 36. Malgré cela, la teneur maximale en Cr enregistrée pendant cette période ( $0.487 \cdot 10^{-3}$  mg/l) n'atteint pas la valeur maximale admissible par l'OMS qui est fixée à 0,05 mg/l.

### **Cadmium (Cd)**

Le cadmium est un élément chalcophile, ce qui favorise son association avec Zn et Hg et dans une moindre mesure avec Pb et Cu (**Deneux-Mustin S., Roussel-Debet et all,2003**). L'abondance naturelle de Cd dans l'écorce terrestre est de 0.11 mg/kg (**Taylor S.R., McLennan S.M, 1985**). Le cadmium naturel est présent à l'état de traces, il provient aussi des résidus de placage électronique et des engrais chimiques (**Fawell J.K. and Hunt S,1988**).

Selon les recommandations pour la qualité de l'eau potable la concentration maximale acceptable pour le cadmium est de 0,005 milligramme par litre (mg/L) ou 5 µg/L.

Les concentrations du cadmium mesurées dans les eaux de la vallée d'Oued Mellagou sont en général très faibles. La concentration maximale est de l'ordre de  $0.151 \cdot 10^{-3}$  mg/l pour le métal total. Cette valeur est enregistrée au niveau du forage F 23 très inférieur à la norme de Cadmium dans les eaux naturelles qui est fixé à 0,005 mg/l.

### **Le cuivre (Cu)**

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

La teneur en cuivre dans les 39 forages analysé dans la région d'étude, sont très faible varie entre  $0,08 \cdot 10^{-3}$  et  $0,79 \cdot 10^{-3}$  mg/l, comme il y a une concentration légèrement élève dans les deux forages F21, et F27 avec  $3,45 \cdot 10^{-3}$  mg/l. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande une valeur guide provisoire de 2 mg/L compte tenu des incertitudes de la toxicité du cuivre pour l'homme. Donc, avec ces résultats l'eau est de bonnes qualités.

---

## **Aluminium (Al)**

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

L'OMS a adopté une valeur guide pour l'aluminium dans l'eau de boisson égale à 0,2 mg/l ou 200 µg/l. on remarque que dans tous les forages les valeurs de cet élément ne dépassent pas la norme recommandée. La concentration maximale est  $2.97 \times 10^{-3}$  mg/l F33, tandis que le minimum est de  $0.003 \times 10^{-3}$  mg/l au du forage F19.

## **Le Fer (Fe)**

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

Les résultats obtenus montrent que tous les forages présentent des concentrations inférieures à 100 mg/l, elles varient de  $0.644 \times 10^{-3}$  et  $40.125 \times 10^{-3}$  mg/l. La concentration minimale enregistrée au niveau du forage F34, par contre la concentration maximale enregistrée au forage F21.

## **L'arsenic (Ar)**

L'arsenic est un élément naturel très répandu dans la croûte terrestre. Il est présent dans certaines réserves d'eau potable, y compris les puits. Les aliments sont la principale source d'exposition à l'arsenic, suivis de l'eau potable, du sol et de l'air. L'arsenic peut aussi s'infiltrer dans l'eau lors du déversement de déchets industriels ou lorsque des particules se mêlent à la poussière ou sont dissoutes dans la pluie ou la neige.

Les données indiquent que les concentrations d'arsenic dans l'eau potable sont généralement inférieures à 0,05 milligrammes par litre (50 µg/L). Les résultats obtenus montrent une faible concentration avec un maximum de  $1.544 \times 10^{-3}$  mg/l enregistré au forage F39, et un minimum de  $0.040 \times 10^{-3}$  mg/l enregistré au forage F18.

---

### **Le zinc(Zn)**

Le zinc se retrouve dans les roches généralement sous forme de sulfure. Le minerai le plus répandu est le sulfure de zinc (blende) qui contient également du fer, du cadmium, du manganèse et de l'arsenic.

L'OMS recommande comme valeur limite pour le zinc 3 mg/L. Et dans ce cas le zinc est presque nul (la concentration est très faible) , il apparait seulement dans les trois forages : F16, F17, et F23 ce dernier inscrit la valeur maximale avec  $1355.64 \times 10^{-3}$  mg/l, mais toujours reste inférieurs à la valeur limite de la potabilité.

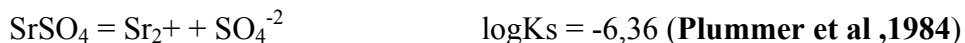
### **Le nickel(Ni)**

Le nickel est considéré comme un métal légèrement noble. Le nickel se trouve dans les sols pauvres en silice, associé aux silicates hydratés. La concentration en nickel ne dépasse pas 1mg/l.il se présente sous la forme Ni<sup>++</sup> et NiSO<sub>4</sub>. (**Khemmoudj. K ,2009**)

Les concentrations du Nickel varient entre  $3.823 \times 10^{-3}$ mg/l au niveau du forage F 25 et  $0.014 \times 10^{-3}$ mg/l au forage F30.

### **Le strontium (Sr)**

Le strontium est un métal alcalino-terreux. Dans la nature, on le trouve sous forme de strontianite SrCO<sub>3</sub> et de célestite SrSO<sub>4</sub>. La célestite accompagne généralement les formations évaporitiques et se dissout selon la relation suivante :



Les teneurs en Strontium en mg/l dans les eaux souterraines de la région d'étude La valeur maximale est enregistrée au forage F37 avec  $10115.8 \times 10^{-3}$  mg/l, et la Valeur minimal enregistrée au forage F22 avec  $1751.3 \times 10^{-3}$  mg/l.

### **Le silicium (Si)**

La silice dans la nature se trouve sous forme SiO<sub>2</sub>, d'origine essentiellement naturelle, liée aux formations silicatées (sable, argiles, formations métamorphiques) ou à l'origine industrielle liée à l'industrie du verre, du mica, de la porcelaine et du ciment. Dans les eaux, on retrouve la silice sous une forme soluble (ionique) et colloïdale (**Taha-Hocine, 2002**).

Les concentrations observées au niveau de la région d'étude, montre des concentrations qui varient entre un minimum de 0,14 mg/l et un maximum de 30,03 mg/l, la moyenne est d l'ordre de 6,04mg/l

---

Les teneurs les plus élevées sont observés au niveau des forages situés près des grès siliceux, est de la région d'étude. Ainsi, on a enregistré un maximum de 30,03 mg/l au niveau au forage F39.

### **Le Baryum (Ba), le lithium(Li), le Bore(B) et l'Antimoine(Sb)**

Le Baryum (Ba ) et lithium (Li ) sont les plus fréquent, ils appartiennent avec des valeurs comprises entre  $116.94 \times 10^{-3}$  mg/l au forage F34, et  $10.20 \times 10^{-3}$  mg/l au forage F28 pour le lithium. Et concernant le Baryum les valeurs oscillent entre  $43.89 \times 10^{-3}$  mg/l au forage F22, et  $12.33 \times 10^{-3}$  mg/l au forage F15. Par contre les autres éléments (B et Sb ) montrent les valeurs suivantes :

La valeur maximum pour le Bore est enregistrée au forage F34 avec  $271.80 \times 10^{-3}$  mg/l, et la valeur minimum est enregistré au forage F28 avec  $64.73 \times 10^{-3}$  mg/l.

La valeur maximum pour l'Antimoine est enregistrée au forage F32 avec  $8154.6 \times 10^{-3}$  mg/l, et la valeur minimum est enregistrée au forage F18 avec  $3522.4 \times 10^{-3}$  mg/l.

### **Le (Cs) l'uranium(U), le vanadium(V), le cobalt(Co), le Rubidium(Rb) et le molybdène(Mo)**

Les éléments de trace qui ne sont pas beaucoup ré pondus dans les eaux (Cs, U, V, Co, Rb et Mo). Les concentrations sont très faibles, seulement le Rubidium qui apparaît avec des concentrations assez élève par une valeur maximal  $18.190 \times 10^{-3}$  mg/l au forage F32, par contre les autres éléments ont des valeurs très faibles qui ne sont pas représentative.



**Chapitre IV**

**Apports des isotopes stables dans la caractérisation**

**hydrogéochimique**

---

---

## Introduction

En complément aux études précédentes, nous avons entrepris d'étudier les eaux souterraines du plateau de Mellagou par les méthodes isotopiques.

Les isotopes stables de la molécule d'eau  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  sont utilisés en hydrogéologie comme traceurs du milieu. Ils permettent d'apporter des renseignements sur l'origine de l'eau.

Ce chapitre rappellera tout d'abord, de manière synthétique, les notions de base indispensables à la compréhension de l'utilisation de l'outil isotopique, notamment des isotopes stables de la molécule d'eau pour la caractérisation des éléments du cycle hydrologique.

L'objectif de ce chapitre est de caractériser les isotopes stables de la molécule de l'eau

Afin de formuler des stratégies de gestion et améliorer l'accès de la population à l'eau potable, tout en protégeant la ressource de la pollution.

### Notions de base

#### IV.1.1. Isotopes de la molécule de l'eau

L'eau est une molécule composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. L'hydrogène possède deux isotopes stables :  $^1\text{H}$  et D (espèce rare généralement appelée deutérium) et le protium  $^1\text{H}$  (espèce abondante) et aussi un isotope radioactif  $^3\text{H}$  (tritium).

L'oxygène possède deux isotopes stables  $^{16}\text{O}$ , le plus abondant et  $^{18}\text{O}$ , qui est rare. Ces

isotopes se combinent pour former quatre types d'eau :  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  (le plus abondant),  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}_2^{16}\text{O}$  et  $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$  qui sont plus rares.

Le trajet effectué par chaque goutte d'eau au niveau du cycle hydrologique lui fait subir des changements mesurables au niveau de l'abondance relative des différents isotopes. En conséquence, l'eau qui évolue dans des environnements différents développe des marquages isotopiques différents ou des empreintes qui lui permettent d'être clairement identifiée dans

---

d'autres environnements. (Friedman et al, 1962),

Ainsi, les isotopes de la molécule d'eau (oxygène-18, deutérium et tritium), peu soumis aux échanges isotopiques avec l'encaissant, sont utilisés couramment en hydrologie et en hydrogéologie en tant que traceurs intrinsèques de l'écoulement de l'eau souterraine, pour retracer l'origine de l'eau ou estimer le temps de résidence d'une masse d'eau dans un système hydrologique.

#### IV.1.2. Rapports isotopiques

La composition de l'eau en ses isotopes s'exprime par le rapport de l'isotope lourd sur l'isotope léger ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^2\text{H}/\text{H}$ ). Ce rapport est très petit dans la mesure où l'isotope lourd est très rare. Ces fractions ne sont pas utilisables pour des opérations mathématiques simples.

#### IV.1.3. La notation delta pour mille

Les rapports isotopiques de la molécule d'eau sont généralement comparés au rapport isotopique d'une eau standard de rapport isotopique connu « Standard Mean Ocean Water » (Vienna-SMOW, VSMOW) est le standard le plus largement utilisé. Ainsi, les abondances en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  s'expriment comme un rapport en notation delta pour mille (parts pour mille), différence relative au standard. Les nombres obtenus sont entiers et utilisables avec des opérations mathématiques simples. La teneur isotopique de l'eau est mesurée à l'aide d'un spectromètre de masse. (Rozanski et al. 1993, Gonfiantini, 1996).

$$\delta^{18}\text{O} = \left[ \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{échantillon}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} - 1 \right] * 1000 \quad \text{et} \quad \delta^2\text{H} = \left[ \frac{(^2\text{H}/\text{H})_{\text{échantillon}}}{(^2\text{H}/\text{H})_{\text{SMOW}}} - 1 \right] * 1000$$

#### IV.1.4. Enrichissement / Appauvrissement de l'eau

Cette terminologie est utilisée pour comparer les compositions en  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  de différents types d'eaux météoriques dans une région donnée. Ainsi, les volumes d'eau évaporée sont enrichis en isotopes lourds du fait de l'évaporation, ou les eaux souterraines sont souvent appauvries par rapport à la pluie locale du fait d'une recharge sélective. (Rozanski et al. 1993, Gonfiantini, 1996).

#### IV.1.5. Droite Globale des Eaux Météoriques (DEMG)

Sur un diagramme  $\delta^{18}\text{O}$  -  $\delta^2\text{H}$ , la vapeur qui se forme à partir de l'évaporation des océans, les eaux qui se forment par condensation de la vapeur océanique, se regroupent sur une droite de

---

pende 8 et de décalage à l'origine de 10, caractéristiques des masses d'air d'origine océanique. Cette droite s'appelle la Droite des Eaux Météoriques Globale ou droite de Craig (1961), de forme

$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ . Elle a été confirmée statistiquement (Craig, 1961; Rozanski et al., 1993).

#### IV.1.6. L'Excès en deutérium (d-excess)

L'excès en deutérium est équivalent à  $\delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O}$  d'une eau météorique donnée. L'excès en deutérium moyen de l'ensemble des précipitations à l'échelle globale est de 10. L'excès en deutérium initial dans les pluies s'écarte de 10 en relation avec les conditions d'évaporation à l'origine de la vapeur et de l'influence de la vapeur continentale. Ainsi, l'Excès en deutérium est souvent utilisé comme marqueur d'origine de la vapeur dans une région donnée. En général, d-excess augmente avec le déficit d'humidité des masses d'air océaniques (Rozanski et al., 1993, Gonfiantini, 1996).

Ainsi, d, prend la valeur de +10 lorsque les précipitations sont d'origine océanique (Craig, 1961), mais peut avoir aussi des valeurs supérieures ou inférieures à 10, notamment.

Ou +22, pour les précipitations du bassin oriental de la méditerranée (Nir, 1967) - ou +6, pour les précipitations des stations continentales d'Amérique du Nord.

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 13,7 \text{ (H. Celle, 2000)}.$$

#### Droite Locale des Eaux Météoriques (DEML)

Les eaux météoriques ne se situent pas toujours sur la Droite Météorique Mondiale. En effet, en fonction des conditions évaporatoires sur la surface de l'Océan et des sources d'humidité, il peut exister localement une déviation (variation de d) par rapport à cette droite. Par ailleurs, à cause d'un fractionnement cinétique lié à la diffusion moléculaire résultant de l'évaporation des gouttes de pluie au cours de leur chute (Friedman et al., 1962). La pente de la droite météorique mondiale (8), caractérise le phénomène de condensation produit à l'équilibre ; et, d (10), l'ordonnée à l'origine ou excès en deutérium ; L'excès en deutérium est variable en fonction de l'humidité relative et de la température de l'interface océan-atmosphère, lors de la formation des masses de vapeur atmosphérique. (Jouzel et Merlivat, 1979).

Ainsi, d, prend la valeur de +10 lorsque les précipitations sont d'origine océanique (Craig, 1961), mais peut avoir aussi des valeurs supérieures ou inférieures à 10, notamment :

- Ou +22, pour les précipitations du bassin oriental de la méditerranée (Nir, 1967) - ou +6, pour les précipitations des stations continentales d'Amérique du Nord.

-  $\delta H_2 = 8\delta^{18}O + 13,7$  (H. Celle.2000).

Les eaux se plaçant sur la ligne des eaux météoriques sont ainsi supposées avoir pour origine les précipitations et n'avoir pas subi aucun processus isotopique.

Les eaux situées au-dessus ou en dessous de cette ligne reflètent respectivement l'appauvrissement ou l'enrichissement en l'un ou l'autre des isotopes sous l'effet de différents processus. (Craig, 1961).

#### IV.1.7. Le fractionnement isotopique

Lors des processus météorologiques impliquant des changements d'état, à savoir : évaporation, condensation, sublimation de l'eau, les isotopes lourds de l'eau ( $^2H$  et  $^{18}O$ ) vont avoir un comportement différent des isotopes légers à cause de leur masse différente. En effet, les tensions de vapeur saturante de deux isotopes d'une même molécule sont légèrement différentes. En particulier, la phase évaporée n'aura pas la même composition isotopique que la phase liquide qui lui a donné naissance et avec laquelle elle se trouve en équilibre thermodynamique. C'est ce qu'on appelle le fractionnement isotopique. Ainsi, si la même vapeur d'eau subit des refroidissements et des condensations successives, elle s'appauvrit en isotopes lourds. Ce phénomène est généralement assimilé à une « distillation de Rayleigh » (Dansgaard, 1961 ; Craig, 1961 ; Friedman, 1953 ; Clark et Fritz, 1997).

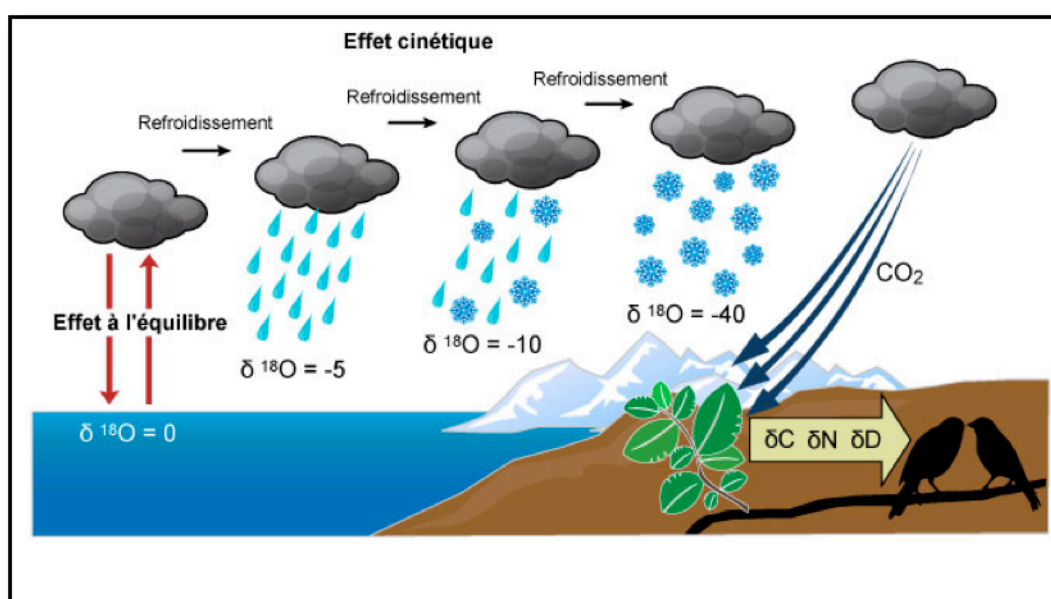


Figure 48 : phénomène du fractionnement isotopique.

---

Le phénomène inverse se produit quand la vapeur d'eau d'un air saturé se condense : la pluie résultante est enrichie en isotopes lourds aux dépend de la vapeur d'eau résiduelle qui elle, s'appauvrit. Le facteur de fractionnement  $\alpha$  entre les phases liquides et vapeur est défini par les relations suivantes :

$$\alpha_{(L-V)} = R_L / R_V = (1000 + \delta_L) / (1000 + \delta_V) \text{ ou } \alpha_{(L-V)} - 1 \approx \ln \alpha_{(L-V)}$$

On définit alors un facteur d'enrichissement  $\varepsilon_{(L-V)}$  (en ‰) de la phase liquide par rapport à la phase vapeur qui vaut :

$$\varepsilon_{(L-V)} = (\alpha_{(L-V)} - 1) * 1000 \approx 1000 \ln \alpha_{(L-V)} \approx \delta_L - \delta_V$$

Le fractionnement est un phénomène thermodynamique qui décroît généralement avec la température. La relation est de la forme :

$$1000 \ln \alpha_{(L-V)} = aT^2 + bT^{-1} + c.$$

Avec a, b, c constantes dépendant de l'isotope et de sa phase et T la température en degré Kelvin.

En hydrologie, puisque le degré de condensation de la masse nuageuse et le taux de fractionnement isotopique dépendent tous deux de la température, une relation existe entre la teneur isotopique de la pluie et la température de condensation. On peut généralement et surtout à l'échelle des moyennes, établir une relation de simple proportionnalité entre la température de condensation à la base du nuage et la température au sol. Cette double dépendance est le fondement du traçage avec l'oxygène 18 et le deutérium, car elle permet de relier la composition isotopique de la pluie à la température au sol. Il y a donc un marquage naturel des précipitations.

#### **IV.1.8. Variation de la composition isotopique des pluies**

La composition isotopique des pluies dépend de l'histoire des masses d'air, des conditions météorologiques à l'origine, des contraintes météorologiques qu'elles subissent durant leur trajet et des conditions météorologiques locales qui déterminent la condensation, la ré-évaporation et la participation de la vapeur recyclée (**Gat et Gonfiantini, 1981**). On distingue ainsi :

-l'effet d'humidité qui se manifeste, selon (**Gonfiantini, 1986**) par le fait que si l'humidité de l'air diminue la pente de la droite isotopique diminue.

-L'effet de la température qui s'établit à la suite de la relation globale qui existe entre la composition isotopique des eaux de pluie et la température de l'air au sol (**Dansgaard, 1964**), et la continentalité. L'évolution de cette dernière est cependant complexe car plusieurs études montrent que pour les stations continentales, la relation entre la température et la teneur

isotopique est variable (Pearson et al. 1991 ; Rozanski et al. 1993).

-L'effet d'altitude se manifeste au moment du refroidissement adiabatique d'une masse d'air et conduit à l'appauvrissement en isotope lourd. Cet effet dépend également de l'origine des masses et de la teneur en eau des couches nuageuses (Gonfiantini, 1998).

-Le pseudo effet d'altitude ou effet d'ombre, qui est souvent confondu avec l'effet d'altitude, est provoqué par un enrichissement par évaporation des gouttes de pluie au cours de leur chute sous le nuage.

-L'effet de la latitude qui conduit à ce que les précipitations de hautes latitudes sont les plus pauvres en isotopes lourds.

-L'effet de masse correspond à un appauvrissement en isotopes lourds lié à l'augmentation de la quantité de pluie précipitée et une vidange du nuage (Celle, 2000). Il est souvent peu visible à l'échelle de l'événement. Par exemple, en pays méditerranéens, la corrélation entre la quantité précipitée et la composition isotopique est faible. Elle est meilleure à l'échelle mensuelle (Gourcy et al., 2004). L'effet de masse est souvent bien mieux marqué en pays tropical.

#### IV.2. Méthodes analytiques et précision des mesures

Les données traitées dans ce travail sur l'Oxygène-18 et le deutérium correspondent à un échantillonnage des eaux souterraines du plateau de Mellagou.

Au préalable, on procède à une équilibration au niveau du GasBench (auto échantillonneur), entre l'eau de l'échantillon et le CO<sub>2</sub> ou l'eau et le <sup>2</sup>H en fonction de ce que l'on voudra mesurer, à savoir <sup>18</sup>O (phase CO<sub>2</sub>) ou D (Deutérium) en phase <sup>2</sup>H.

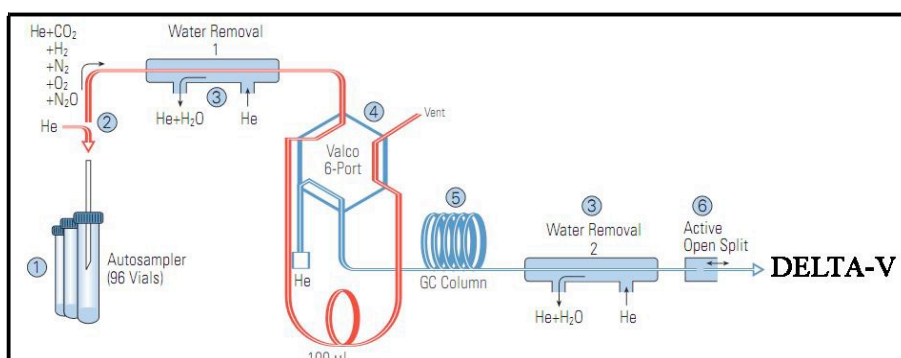


Figure 49 : Schéma de principe du GasBench. (Cherchali, 2008).

- On prend 200 µl d'eau introduite dans une fiole (Labco Exaitener) de 12.5ml que l'on place dans un banc thermostaté dont la température est maintenue à 25°C. Une fois

toutes les fioles remplies d'eau (selon la séquence adoptée 40 ou 96)

- On fait venir au-dessus de l'eau, par le biais d'une seringue qui pénètre dans le bouchon (en silicone) de la fiole, un gaz de mélange He-CO<sub>2</sub> ou He-H<sub>2</sub>, dont les proportions de mélange sont définies par le constructeur C'est l'opération de flushing (lavage) qui dure 10mn. Celle-ci consiste à « évacuer » de la fiole toutes les impuretés existantes sur la paroi et au-dessus de l'eau.

Ceci est fait à un débit constant (170ml/mn), afin d'évacuer tout l'air existant dans la fiole et ne laisser que le CO<sub>2</sub>, k

- Puis on procède à une équilibration du gaz avec l'eau. De cette manière l'on va accélérer le transfert de l'O<sub>2</sub> (ou de le H<sub>2</sub>) de l'eau dans la phase gazeuse.

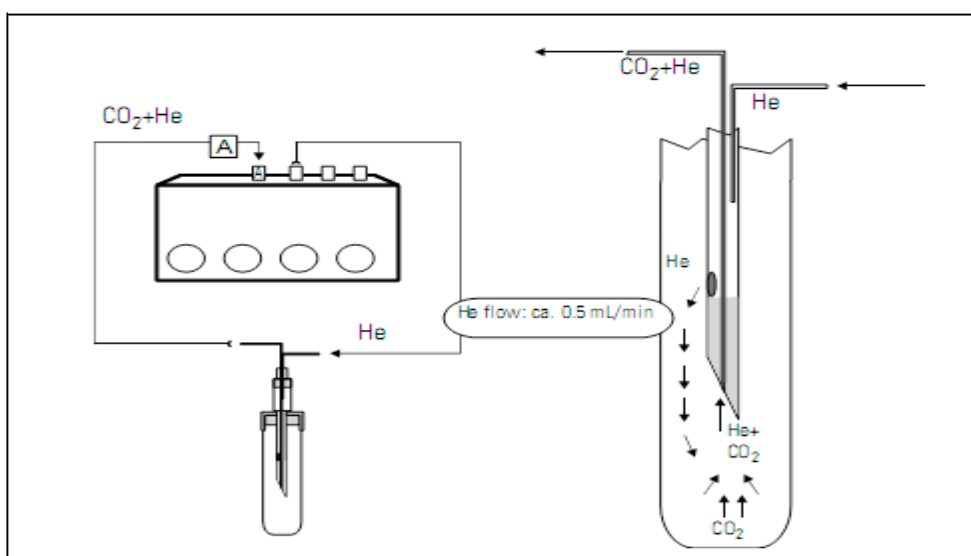
- L'équilibration avec la phase CO<sub>2</sub> est la plus longue car elle prend plus de 24h, alors que pour la phase Deutérium HD celle-ci ne prend qu'une heure en présence d'un catalyseur en platine (Pt).

Au bout de cette période, le transfert isotopique est réalisé selon la réaction suivante :



Pour réaliser l'analyse du CO<sub>2</sub> ainsi obtenu après la phase d'équilibration,

- On introduit automatiquement une autre seringue (destinée à l'acquisition) dans le bouchon de la fiole. On introduit de l'He pur par le trou de l'aiguille (voir schéma) et on véhicule le gaz de mélange He-CO<sub>2</sub>.

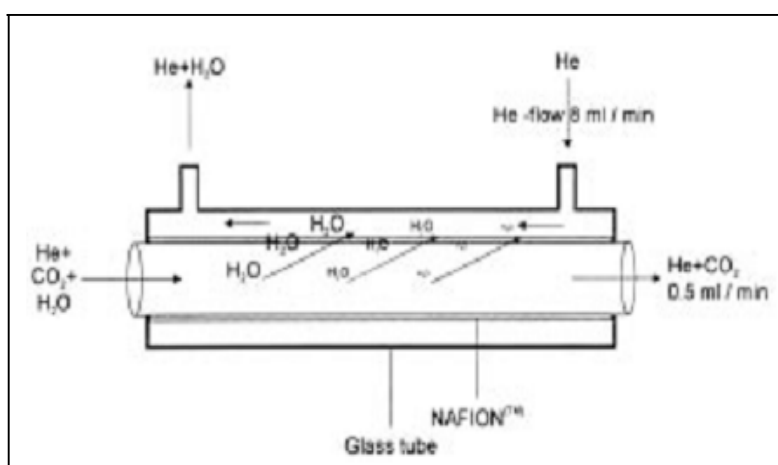


**Figure 50 : Schéma de la fiole et du transfert du gaz. (Cherchali, 2008).**

- Ce mélange va passer, à l'entrée du système GasBench, par un piège à eau (Water removal) en Nafion, qui joue le rôle d'une membrane échangeuse d'ions et va permettre aux molécules de gaz entrantes dans le capillaire d'être déshumidifiées.

- Le gaz CO<sub>2</sub> va entrer par la suite dans une vanne Valco à 8 ports pour faire passer le gaz directement dans la boucle d'échantillonnage (mode load) En mode « inject », l'échantillon est envoyé sous flux d'hélium directement dans la colonne chromatographique. Durant l'analyse, la colonne est maintenue à une température de 70°C afin de bien séparer les gaz, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>. (Vandegans et Hoenig, 2000).

- A la sortie de la colonne chromatographique, les gaz passent par un deuxième piège à eau qui va retenir l'eau résiduelle.



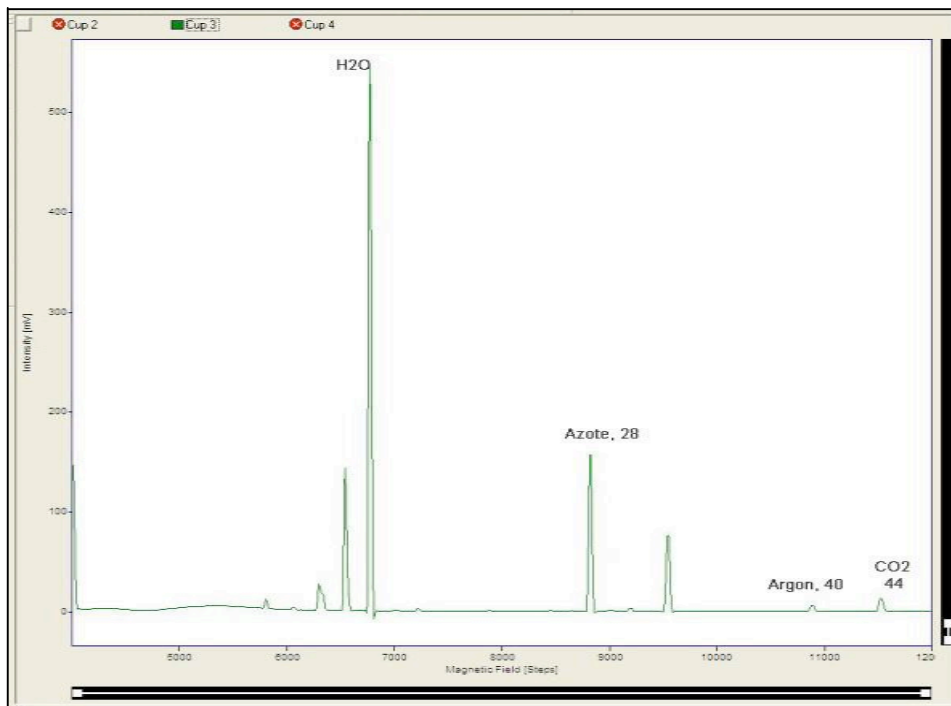
**Figure 51** : Schéma de principe du piège à eau (Cherchali, 2008).

Une fois l'eau résiduelle retenue, puis envoyé vers le spectromètre. Et arrivés dans la source ionique, l'intensité des gaz ( $m/z$ ) est constamment analysée. L'analyse d'un échantillon, standard ou autre se fait par la mesure de 04 pics (CO<sub>2</sub>) et 5 (Deutérium, HD) ou D). Ils correspondent respectivement au gaz de référence utilisé pour l'une et l'autre phase et dont la valeur est connue. Ces pics servent à calibrer les mesures de l'échantillon par rapport au gaz de référence, et éventuellement à détecter une dérive de la valeur du gaz de référence. En général une séquence de 10 pics est analysée et se sera la moyenne de ces pics qui sera prise en considération, avec une valeur moyenne calculée en  $\delta^{18}\text{O}$  ou en  $\delta^2\text{H}$ .

#### IV.2.1.1. Calibration

Celle-ci se fait par l'utilisation de standards internationaux de référence destinés à ce que tous les laboratoires utilisant les techniques de mesures des rapports isotopiques dans les études d'eaux naturelles de surface ou souterraine le fassent par rapport à une même référence. Au total, 6 échantillons d'eau ont été analysés en  $^{18}\text{O}$  et D, selon différentes géométries (volume

utilisé) en retenant cependant celle de 200 $\mu$ l, car impérativement préconisée pour l'analyse en  $\delta^{18}\text{O}$ . Au préalable et avant toute analyse que ce soit pour une calibration ou une analyse de routine on fera un 'Scan' de l'appareil afin d'analyser le bruit de fond et détecter s'il y a lieu toute anomalie qui pourrait perturber par la suite l'analyse. On précisera cependant que l'obtention du résultat final, à savoir la valeur réelle en  $\delta^{18}\text{O}$  ou  $\delta\text{D}$  est tributaire de la normalisation par rapport aux standards de travail utilisés. (Cherchali, 2008).



**Figure 52 :** Chromatogramme type Delta-V Visualisation du bruit de fond avant analyse. (Cherchali, 2008).

### IV.3. Echantillonnage, présentation des données et interprétations des résultats

Nous disposons essentiellement des données isotopiques de dix échantillons effectués en Mai 2016 sur dix forages (**Fig.**), les analyses sont faites au niveau Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (**CRNA**).

Dans le but d'avoir plus de précision la zone d'étude, où le fonctionnement hydrodynamique des systèmes aquifères karstiques est fortement influencé par sa structure relativement complexe qui contrôle les écoulements et détermine les émergences, les isotopes stables, en particulier l'oxygène 18 et le deutérium, constituent un outil pour déterminer l'origine et l'histoire des eaux, les impluviums et les conditions de recharges des aquifères.

Nous allons tenter d'étudier la relation oxygène 18/deutérium, afin de mettre en évidence le climat sous lequel s'est effectuée la recharge des différents systèmes aquifères et les éventuels

phénomènes d'évaporation.

L'étude de la corrélation en  $^2\text{H}$  et  $^{18}\text{O}$  est réalisée par un graphique de  $\delta^2\text{H}$  en fonction de  $\delta^{18}\text{O}$ . A l'échelle du globe, les teneurs en oxygène-18 et en deutérium des précipitations mondiales qui n'ont pas subi d'évaporation sont corrélées entre elles par une droite d'équation des eaux météoriques (DMM) :  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$  de la forme  $^2\text{H} = \delta^{18}\text{O} + d$  (Craig, 1961).

Afin de caractériser l'origine de la recharge des eaux souterraines, 10 points d'eaux (fig. et tableau) ont été échantillonnés dans la zone d'étude pour des analyses isotopiques en mois de Mai 2016. Les teneurs en isotopes stables ont été mesurées au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA). La composition isotopique des eaux varie entre -9.18 et -6.66 ‰ V-SMOW pour  $\delta^{18}\text{O}$ , avec une moyenne de -7.90 ‰ et -59.1 et -43.1 ‰ V-SMOW pour  $\delta^2\text{H}$ , avec une moyenne de -51.1 ‰.

L'étude de la relation entre  $^2\text{H}$  et  $^{18}\text{O}$  est réalisée par un graphique de  $\delta^2\text{H}$  en fonction de  $\delta^{18}\text{O}$  pour lequel la fonction de corrélation mondiale définit la ligne des eaux météoriques (Craig, 1961) :  $\delta\text{H}_2 = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ .

**Tableau 24** : Teneurs en isotopes stables des eaux souterraines échantillonnées.

Forages	Z(m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
F1	1287	-8,31	-54,6
F2	1283	-9,18	-59,1
F3	1199	-8,51	-54,8
F4	1136	-7,77	-51,7
F5	1127	-7,92	-52,1
F6	1083	-7,32	-48,4
F7	1060	-7,35	-48,2
F8	1038	-7,12	-45,7
F9	1147	-6,66	-43,1
F10	1135	-8,39	-53,3

### Relation oxygene18 et deuterium

---

L'étude de la relation entre  $^2\text{H}$  et  $^{18}\text{O}$  est réalisée par un graphique de  $\delta^2\text{H}$  en fonction de  $\delta^{18}\text{O}$ , pour lequel la fonction de corrélation mondiale définit :

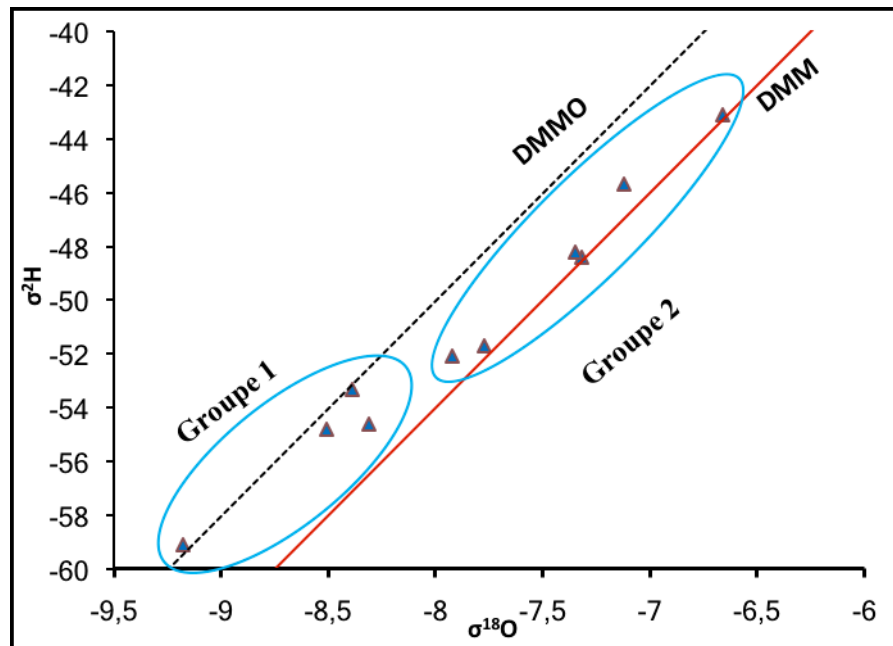
- La droite météorique des eaux météoriques (Craig, 1961) :  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ .
- La droite météorique pour la méditerranée occidentale (H. celle,2000) :  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 13,7$ .

L'examen de la relation  $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$  montre l'existence de deux groupes d'eau isotopiquement distincts ont été mise en valeur (**Fig.52**)

**Groupe 1** : ces eaux sont très appauvries en isotopes la valeur moyenne en  $\delta^{18}\text{O} = -8,59\%$  V-SMOW, les eaux qui s'alignent bien sur la droite météorique de la méditerranée occidentale (DMMO) représentent des pluies d'origine méditerranéennes d'où la recharge des eaux de notre zone se fait dans les hautes altitudes, le caractère appauvri des eaux signifie que la composition isotopique des précipitations évolue avec l'altitude. Les points très appauvris traduisent l'effet d'altitude (orographie) **D=13,81**.

**Groupe 2** : ces eaux possèdent une valeur moyenne en  $\delta^{18}\text{O} = -7,35\%$  V-SMOW. Les eaux s'alignent bien sur une droite météorique mondiale (DMM) il s'agit d'eau météorique récente d'origine océanique qui s'est infiltrée rapidement sous climat actuel, traduisent des pluies d'origine océaniques **D=10,83**. qui sont infiltrées rapidement sous climat actuel. L'infiltration rapide, sans évaporation.

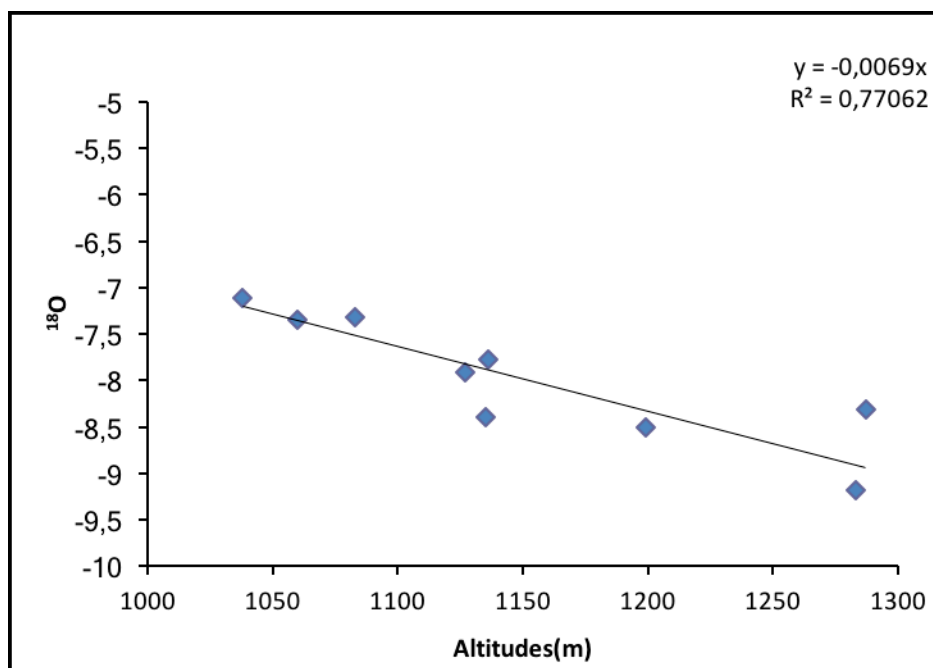
La signature isotopique appauvrie de quelques points d'eaux suggère des eaux venant de reliefs générés par des masses d'air humides et froides responsables de la recharge de la nappe aquifère, possédant des températures faibles et par conséquent des altitudes de recharge relativement élevées. Il s'agit ici de l'effet d'altitude (**Houha, 2016**) ; il est à signaler que le massif des Aurès, constitue la partie orientale de la chaîne atlasique dont l'altitude moyenne est de 1500 m et atteint son point culminant au Dj. Chelia à 2328m, concorde assez bien à une zone de l'Atlas dont le relief est le plus marqué en Algérie.



**Figure 53 :** Relation  $^2\text{H}$  vs  $^{18}\text{O}$  des eaux des souterraines du plateau de Mellagou par rapport à la droite de Craig (1961).

### Relation oxygene-18 et l'altitude

La figure Montre la variation des teneurs en oxygène 18 suivant les altitudes des points de prélèvements. On constate une tendance à l'appauvrissement en oxygène 18 pour les altitudes élevées ce qui est en accord avec la signature isotopique des zones de recharges situées en altitude.



**Figure 54 :** Relation oxygene-18 et l'altitude.

## Relation oxygène-18 et chlorure

Sur le graphe de la figure on note la présence de deux phénomènes la première montre des eaux très appauvries en oxygène 18 avec des concentrations faibles en Chlorure, ceci peut s'expliquer par l'altitude élevée ainsi qu'une infiltration rapide des eaux de précipitation dans la nappe donc les eaux n'ont pas eu le temps de s'évaporer. Par contre dans le deuxième on remarque qu'il y a une évaporation ou les deux points représentent les teneurs les plus élevées en chlorure.

L'une interaction eau-roche par le phénomène de dissolution et entraîne donc une augmentation de la minéralisation des eaux.

Donc on constate que l'origine de la minéralisation est due au contact eau-roche (dissolution et lessivage des dépôts évaporitiques) ce qui confirme les résultats obtenus en hydrochimie.

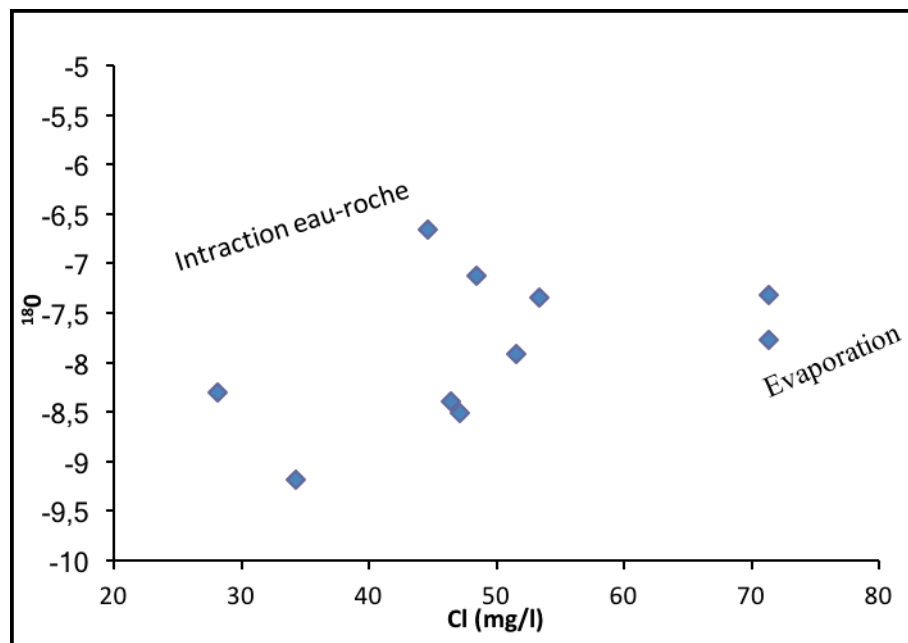


Figure 55 : Relation oxygène-18/chlorures.

### III-5-1- Gradient isotopique altitudinal

Le gradient de variation des teneurs en isotopes stables doit être établi à partir des mesures sur les échantillons de précipitations collectées à différentes altitudes et réparties sur plusieurs années dans la région supposée de la recharge. En l'absence de telles données, on a utilisé le gradient en  $^{18}\text{O}$  établi à partir de l'étude des précipitations à différentes altitudes Aurès. Le

---

gradient altitudinal en  $^{18}\text{O}$  est estimé à 0,3 ‰ par 100 m.(Houha,2016).

### **Conclusion**

L'application de la géochimie isotopique (les isotopes stables de la molécule d'eau) sur les eaux des eaux souterraines du plateau de Mellagou ; nous a permis de connaître l'origine de ces eaux, deux origines différentes

Les points qui s'alignent sur la DMM traduisent des pluies d'origines océaniques tandis que les points qui s'alignent sur la DMMO représentent des pluies d'origine méditerranéennes

---

## **Conclusion générale et perspectives**

---

## CONCLUSION GENERALE

Les eaux souterraines du plateau de Mellagou présentent d'importantes variations de la minéralisation qui s'accroît du Nord vers le Sud dans le sens de l'écoulement. La conductivité est généralement élevée et oscille entre  $589 \mu\text{S cm}^{-1}$  et  $6440 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Les zones les plus chargées sont en liaison directe avec le Trias salifère. Cette salinité est surtout contrôlée par la dissolution de l'halite associée à une pollution anthropique.

Le climat de cette région est méditerranéen, semi-aride, avec deux saisons différentes, l'une peut-être pluvieuse froide allant du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars, et l'autre sèche chaude qui va du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre. Les précipitations sont assez rares, voire absentes en été, et faibles à moyennes en hiver. La moyenne annuelle est de l'ordre de  $354.79 \text{ mm}$ , qui est égale à l'évapotranspiration réelle (ETR). Ce dernier traduit d'un côté l'absence de réserve facilement utilisable (RFU) durant toute l'année, et d'un autre côté le déficit agricole (DEF) durant 06 mois.

L'outil statistique a confirmé que l'interaction eau-roche est responsable de la minéralisation des eaux, les échanges chimiques, les phénomènes de dissolution et précipitation minérale sont les principaux facteurs dans l'acquisition de la minéralisation des eaux. La contribution de la pollution dans la chimie des eaux reste un facteur secondaire.

À la lumière des résultats obtenus il apparaît que les ressources hydriques de la région face à deux défis : le premier est le « stress hydrique » à cause du manque des précipitations, et le second

La géochimie isotopique a permis d'apporter des informations capitales concernant l'origine des eaux dans cette zone d'étude, qu'elles s'agissent d'eau d'origine météorologique.

En matière de potabilité, toutes les eaux potables analysées peuvent être consommées sans risque de pollution par les éléments métalliques traces.

La conservation de ces ressources, pour cela un ensemble de recommandations seront proposées :

- La sensibilisation des populations sur l'importance de ce patrimoine et l'obligation de le conserver.

---

---

- Vue au caractère agricole, il convient de sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation rationnelle des produits phytosanitaires et le danger qui peuvent provoquer sur les eaux souterraines.

- Chercher des nouvelles méthodes d'irrigation ou de conduite de drainage, pour diminuer le gaspillage d'eau.

- Crée un réseau de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux

- Pour une exploitation durable des eaux souterraines, il faut réaliser des retenues collinaires et des bassins de stockage, des eaux de pluie.

- Enfin, les eaux usées et les décharges domestique ou industrielle, restent le problème majeur et constitue un risque important de la pollution, pour cela une réflexion pour le traité sera indispensable.

---

## **Bibliographie**

- 
- A.N.R.H:** Agence Nationale des Ressources Hydriques de Constantine.
- ANDI. (2013) :** Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages 06, 10.
- BAGNOULS F & GAUSSEN H. (1953) :** Saison sèche et indice xérothermique. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 88, pp 193-240.
- BALLAIS J, L. (1981) :** Recherche géomorphologique dans les Aurès –Algérie- page 572.
- BENDADA. K et BOULAKRADECHE. M. (2011) :** Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds.
- BOUCHAOU L, MICHELOT J.C., CHAUVE P., MANIA J. et MUDRY J. (1995) :** Apports des isotopes stables à l'étude des modalités d'alimentation des aquifères du Tadla(Maroc) sous climat semi-aride, C.R. Acad.Sci. Paris ; t.320, série II a :95- 101.
- BOUHLASSA S., ALECHEIKH C., KABIRI L. (2008) :** Origine de la minéralisation et détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du quaternaire du bassin-versant de Rheris (Errachidia, Maroc). Sécheresse ; 19 ; 67-75.
- CELLE, H. (2000) :** Caractérisation des précipitations sur le pourtour de la Méditerranée Occidentale. Approche isotopique et chimique. Thèse, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 222 p.
- CHAPELLE F. H. (1993):** Ground-water microbiology and geochemistry, John Wiley &
- CHERCHALI, M. (2008) :** Caractérisation hydrogéochimique et isotopique des eaux souterraine des nappes d'infero-flux et du socle fissure du Hoggar central (Sahara Central), Mémoire de Magister, en science de la terre Uni. Houari Boumediene, Alger, 131p.
- CLARK ET FRITZ, (1997):** Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers, New -York, 328pp.
- COTE, M. (2008) :** Pays, paysages, paysans d'Algérie Média – plus, 282 pages 6.
- CRAIG. H. (1961):** Standard for representing concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Science. 133 : 1833-1834.
- D.H.W.K:** direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela, service des statistiques Mai 2012.

- 
- DAJOZ R. (1985)** : Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris, 505 p.
- DAJOZ R. (2003)** : Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 615 p.
- DANSGAARD W., (1964)**: Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16(4) : 436-468.
- DANSGAARD, W. (1964)** : Stables isotopes in precipitation. *Tellus*, 16(4) : 436-468.
- DANSGAARD, W. (1964)** : Stables isotopes in precipitation. *Tellus*, 16(4) : 436-468.
- DEBIECHE T H. (2002)** : Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse, Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat, Université Franche-Comté, France, 235 p.
- DROUBI A. (1976)** : Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. Thèse Doc., Univ. Strasbourg; 177 p.
- DROUBI A., FRITZ B., GAC J., TARDY Y. (1978)**: Generalized residual alkalinity concept, application to prediction of the chemical evolution of natural waters by evaporation. *American Journal of Science* ; 280 : 560-572.
- EL ACHHEB A, MANIA J, MUDRY J, CHAUVE P (2001)** : Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel-Doukkala (Maroc occidental). *Proceedings First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers Monitoring and Management*, Essaouira, Morocco.
- EMBERGER L. (1971)** : Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatiques et phytogéographiques - écologiques. In « Travaux de botanique et d'écologie de Louis Emberger » ; 291-301 ; Masson, Paris.
- FEHDI CH., BOUDOUKHA A., ROUABHIA A & SALAMEH E. (2009)** : Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien). *Afrique Science* 05(2), pp 217- 231.
- FEKRACHE FADILA, 2015** Contribution à l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac fetzara Annaba (Algérie). Thèse doctorat. Univ. Annaba ; 112p.
- GAUJOUS. D. (1995)** : La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Paris, 40-183.

---

**GONFIANTINI, (1996):** On the isotopic composition of precipitation. Jean Charles Fontes (1936-1994). Un souvenir, Proceedings International Symposium, décembre 1995. European Geologist, 2 : 5-8.

**GONFIANTINI, (1998) :** On the isotopic composition of precipitation, in Hydrologie et géochimie isotopique, Orstom éditions, collection colloques et séminaire, pp 3-22.

**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.

**HALIMI A. (1980) :** l'Atlas Blideen. Climat & Etages Végétaux. Ed. O.P.U Alger. P 523.

**HEM J. D. (1985):** Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water. US Geological Survey. Water-Supply. Paper 2254, 263 pp ; Weinheim.

**HOUHA, B. (1996) :** Qualité des eaux de Khenchela, étude hydro-chimique, mémoire de magistère, Uni. D'Annaba.120p.115.

**HOUHA, B. (2007) :** Etude de fonctionnement hydrogéochimique et isotopique des eaux de Khenchela, thèse doc. En hydrogéologie, Uni. D'Avignon, France, 140p.

**HOUBIB, H. (2013) :** Analyse Multicritères des composantes du Milieu à l'aide des techniques de la géomatique pour un aménagement intégré de la vallée de Oued Mellagou-Bouhmama W. KHENCHELA. Université El Hadj Lakhdar-Batna-210p.

**KEMMER N.F. (1984) :** Manuel de l'eau Technique et Documentation (Lavoisier).

**LAFFITE, R. (1939) :** Etude géologique de l'Aurès (Algérie). Propositions données par la Faculté des sciences d'Alger. 484p.

**LAFITTE, R. (1939) :** Etude géologique de l'Aurès. Thèse sciences, bulletin service. Carte géologique Alg., Alger, 2<sup>o</sup> série : stratigraphie – description régionales, n° 15 ; 484p. 26 pages.

**LE HOUEROU H-N, CLAUDIN J, ET POUGET M. (1977) :** Etude bioclimatique des steppes Algériennes (Avec une carte bioclimatique à 1/1.000.000ème). Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord Alger, t.68, fasc. 3 et 4, 33-75.

**MEBARKI AZZEDINE. (2005) :** Hydrologie de bassin versant de l'Est Algérien, ressource en eau, Aménagement et Environnement. Université Mentouri - Constantine- P 360.

---

**PEARSON, F.J, BALDERER, W; LOOSLI, H.H., LEHMANN, B.E., MATTER, A. (1991):** Applied isotope hydrology. A case Study in Northern Switzerland. Studies in Environmental Science 43, Elsevier, Amsterdam.

Permo-Triassic sandstone aquifer, UK. Journal of Hydrology. 45-84. [29]

**PETELAS C.P, DIAMANTIS I.B. (1999):** Origin and distribution of saline groundwater in the Upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, northern Greece, Hydrogeol. 7, 3 : 305-316.

**PETER-BORIE M., LUCASSOU F., AUBIE S. (2009) :** Contexte hydrogéologique et hydraulique du littoral basique français, observation de la côte Aquitaine, BRGM, France ; 31 p.

**PETERS, T.J., SCHMASSMANN, H AND GAUTSCHI, A., (1991):** Applied isotope hydrology. A case Study in Northern Switzerland. Studies in Environmental Science 43, Elsevier, Amsterdam.

**PICHARD. A. (2003) :** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, cuivre et ses dérivés. INERIS.11avril2003. [Page consultée le 06/05/2011]. 66p. <[www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/2751](http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/2751) >.

**PIPER A. M. (1944):** A graphic procedure in geochemical interpretation of water analysis.

**PIPER A. M. (1944):** A graphic procedure in geochemical interpretation of water analysis. Trans. Amer. Geophys. Union, Vol 25 (6): pp. 914-928; Richmond, Va.

**PLUMMER L.N, JONES B.F and TRUSEDALL A.H (1976):** WATEQ-A fortran IV version of WATEQ, A computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters Revised 1978, 1984 Washington D.C. U.S Geol-Surv. -Water Res ,76 :13-61.

**RAMADE F. (1984) :** Eléments d'écologie, écologie fondamentale. Auckland, McGraw-Hill, Paris, 397 p.

**RODIER J. (1996) :** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8e édition.

**ROZANSKI et al. (1993):** Isotopic patterns in Modern Global Precipitation, in Climate Change in Continental Isotopic Records. P. Swart, K. Lohmann, J. McKenzie, and S. Savin, Eds. American Geophysical Union Monograph, 78, Washington, DC

---

**SELTZER P. (1946)** : Climats de l'Algérie. Trav. Inst-Mét. Phys. Glo. Algérie. Carbonnel.

**SIMLER, R. (2007)** : Diagrammes. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, Université d'Avignon, Logiciel d'hydrochimie multilingage en distribution libre.

Sons, Inc. NY ; 93 p.

**STATION METEOROLOGIQUE DE BOUHMAMA WILAYA DE KHENCHELA (1992-2010).**

**TAHA-HOCINE. D. (2002)** : Evolution de la qualité des eaux (salinité, Azote et Métaux lourds).

**TELLAM J, H. (1995):** Hydrochemistry of the saline groundwaters of the lower Mersey Basin

**THORNTHWAITE, C.W. (1948):** An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review 38, pp 55-94.

**TRABELSI R., ZAÏRI M., SMIDA H. & BEN DHIA H. (2005)** : Salinisation des nappes côtières : cas de la nappe nord du Sahel de Sfax, Tunisie. C. R. Acad. Sci. Paris, 337: 515-524.

**VILA J.M. (1980)** : La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat- es -sciences, Université Pierre et Marie curie, Paris VI.

**WILCOX L (1948):** The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech Bull 962, Washington DC.

<b>Elément/substance</b>	<b>Symbole/formule</b>	<b>Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface</b>	<b>Lignes directrices fixées par l'OMS</b>
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlorure	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr+3, Cr+6	< 2 µg/l	Chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
	Cu <sup>2+</sup>		2 mg/l
Cyanure	CN <sup>-</sup>		0,07 mg/l
Oxygène dissous	O <sub>2</sub>		Pas de valeur guide
Fluorure	F <sup>-</sup>	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	CaCO <sub>3</sub>		200 ppm
Sulfure D'hydrogène	H <sub>2</sub> S		0.05 à 1 mg/L

Fer	Fe 0,5	- 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	Inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nikel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrates et nitrites	NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO <sub>4</sub>		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Tableau1 : Norme de potabilité de l'eau (OMS).

# Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences

## Hydrogeochemical Characterization of Groundwater in The Plateau of Mellagou (Western Area of Khenchela, East of Algeria).

Hassad Sara\*, Ouldjaoui Mounia, and Houha Belgacem.

Department of Ecology and Environment University Abbas Laghrour Khenchela, Algeria.

### ABSTRACT

The study area is a sedimentary basin filled with Quaternary deposit lying on fissured carbonate, calcareous and Marlo-calcareous formations; the marly substratum is of important thickness. The aquifer typology allows the distinction of two water tables, one is superficial contained in the Quaternary filling, and the other is deep within the fissured carbonate formations. Water that appears within the fissured carbonate formations has a bicarbonate-calcium facies in the Mio-Plio-Quaternary; water evolves from sulfate-calcium facies into chloride-sodium water. The thermodynamic analysis has revealed waters saturation with carbonates, calcite and dolomite, because of CO<sub>2</sub> degassing and dissolution of the evaporitic formations, gypsum and halite. Water salinity develops progressively and increases in the flow direction, upstream from the calcareous outcrops, with a conductivity of 589 $\mu$ S/cm, to reach a peak of 6440 $\mu$ S/cm in the irrigated perimeters. The crossed binary diagrams suggest that the origin of water salinization would be attributing to water-rock interaction through the geochemical process of mineral dissolution-precipitation and ion exchange. The chemical tracing by trace elements and the heavy metals corroborate that the anthropogenic activity contributes, for its part, to increasing water mineralization.

**Keywords:** hydrochemistry, plateau of Mellagou, salinity, dissolution, pollution and precipitation

*\*Corresponding author*

**INTRODUCTION**

The plateau of Mellagou, with an area of 577 Km<sup>2</sup> presents itself as a large valley, oriented north-east, and is scattered on the edges with a succession of relief consisting of Kef El Ahmeur-Kef Meda, Djebel Tazrout and Djebel Taafist, oriented north-east and south-ouest. The valley morphology of wadi Mellagou has characterized by two domains: one is of mountainous character, consisting of secondary chains represented by carbonate formations of Cretaceous age, and the other is hilly, developed on Quaternary terrains, in particular. Geology is marked by a sedimentary basin, with a variable texture multi-layer Quaternary filling, and by a summit lying on fissured carbonate formations, and karstified in depth to end with Cenomanian marls as a substratum. Two large aquifers are highlighte: the Mio-Plio-Quaternary superficial aquifer and the deep carbonate aquifer. Water tables typology is describe in the superficial aquifer as a less deep multi-layer alluvial water table and the deep water table of calcareous formations. The chemical composition of Mellagou plateau water is mostly acquire by interaction water-rock, associated with secondary phenomena such as dissolution and mineral precipitation, cation exchanges and anthropogenic pollution. Water contamination by infiltration of chemical pollutants in the irrigated perimeters would be induced by the government action aiming at supporting arboriculture, particularly, the apple tree in the region of Bouhmama, that has become a national and even a Maghreb label.

**MATERIALS AND METHODS**

Our study area is only located North-East of the department of Khenchela, at the piemont of Djebel Chelia. In fact, the structured models connected to the folds and facies variations system dominate the mountainous domain. It is, mainly, a matter of crests, chevrons and rocky ledges developed in calcareous and calcareous sandstone formations of Djebel Chélia, Djebel Tanout and Kef El Ahmeur. Geology is that of a sedimentary basin represented by a stratigraphic series extending from Trias to Quaternary, characterized, essentially, by the predominance of the secondary terrains, following an anticlinal oriented South West-North East, with, in the center, a Jurassic core topped with Turonienlimstone, characterized by a direction that bends at its northern end to form the axis of Chelia domes. The Quaternary terrains are only present in the valley of wadi Mellagou and in the depressed area of Ziriz. The lithological formations encountered are, in general, silt, pebbles, crusts, calcareous encrustment and landslides of slope bottom in the contacts areas constituting the Mio-Plio-Quaternary filling. The foldings of structures and the structural accidents tend to guide the feeding orientation of the basin. This explains the North East-South East of a large part of the flows. It should also be note that the oldest terrains reported in this area are the Trias facies that, in most cases, are set up thanks to diapirism. Climate is marked by the alternation of hot and dry season and cold and humid season. The mean annual rainfall is weak (400 mm), the mean annual temperature is (+ 15 °C), with a minimum of (- 5 °C) in winter and a maximum reaching (+ 28 °C) in summer. The presence of superficial flows materialized by wadi Mellagou and its different secondary and tertiary tributaries could suggest the existence of groundwater within the underground of the municipality, at least under the form of Quaternary aquifer.

Hydrochemistry will allow an attempt to explain the behavior, the origin and the evolution of the depicted chemical elements to explain the hydraulic functioning of the aquifer system. The study is mainly base on the data of samples taken from 39 boreholes distributed over the terrain. They are private boreholes. The sampling has been performing in Mai 2016. The preliminary findings of the dosed parameters are report in (table 1).

**Table 1: Findings of chemical analyses**

Variable	C25c	Ph	K	Na	Mg	Ca	HCO3	NO3	Cl	SO4	SiO2
Minimum	589,00	6,92	0,00	15,20	9,37	66,34	101,36	0,00	25,32	26,56	0,14
Maximum	6440,00	7,54	11,26	1029,26	183,63	451,19	390,85	79,91	1764,87	1165,38	30,03
Mean	2001,90	7,16	4,33	178,93	61,16	198,11	264,81	21,48	295,12	417,85	6,05
Std. Deviation	1563,46	0,15	3,14	246,05	43,44	87,09	75,40	17,97	465,90	241,46	5,55

All the analyses have been performed within the laboratories of the University of Montpellier 2 (HSM). Ionic chromatography ICS 1000 Dionex, and trace elements and heavy metals have analyzed major ions

by ICS-MS quadrupole X series 2 thermo-scientific, the multi-elementary analysis of the 39 samples by inductively coupled plasma mass spectrometry, and transient parameters are measure in situ by means of multiparameter type WTW330I.

### RESULTS AND DISCUSSION

The study of water chemistry aims to identify the chemical facies of water, their quality of potability, as well as their suitability for irrigation. It also allows for monitoring the spatial evolution of the physico-chemical parameters, and for evaluating their origin by correlating them with geology [1]. The quasi-totality of water points of the aquifer is intended to water supply for drinking and irrigation. To be use, water should meet certain norms that vary in function of the type of use. For this purpose, a sampling on thirty-nine water points capturing the Quaternary aquifer, and regularly distributed over the overall studied area, has been carry out during the period.

The Piper diagram is particularly adapted to the study of facies evolution or is use for comparing groups of samples with each other, and for indicating the dominant cations and anions. The interpretation of the hydrochemical analyses findings has allowed having an idea about the chemical facies of water of our study area. The representation of the physico-chemical data of groundwater of Mellagou plain (39 samples) on Piper diagram has shown the existence of three chemical facies: chloride-sodium, sulfate-calcium and bicarbonate- calcium.

#### Statistical analysis

Within the framework of our study, 15 variables have been taking into account, represented by the following physico-chemical parameters:  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Ca, Mg, Na, K,  $\text{SiO}_2$  and the electrical conductivity (c25°C).

#### Correlation matrix

The contribution of correlation between the physico-chemical parameters in groundwater helps comprehend certain phenomena originating from the interaction water-rock. It allows for providing an approach on the common origin of certain parameters. It is accepted that a correlation is significant, if the correlation coefficient value « r » is comprised between + 0, 5 and 1 (positive relationship) and -0.5 and -1 (negative relationship) [2]. In our case, many links are significant, but at variable degrees. So, the correlation matrix (table 2) demonstrates that  $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$  concentrations are very strongly correlated with  $r=0.993$ .  $\text{Ca}^+$  calcium is strongly correlated with  $\text{SO}_4$   $r= 0.926$ .The conductivity is related to elements Cl, Na, Ca and K. We can say that the dissolution of the evaporites greatly contributes to water chemistry of Mellagou plateau.

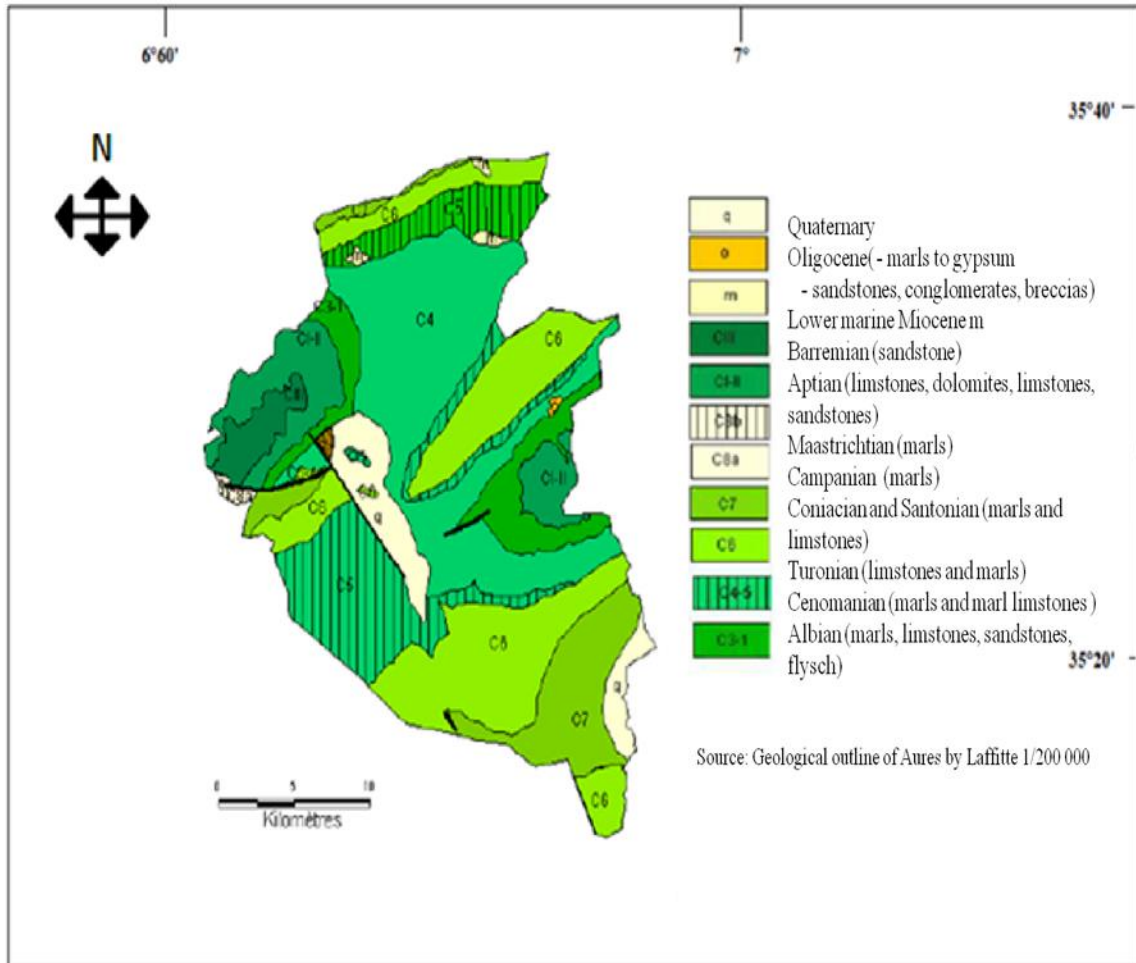
Table 2: Correlation matrix

Variables	C25c	Ph	K	Na	Mg	Ca	HCO3	NO3	Cl	SO4	Sio2
C25c	1										
Ph	-0,4210	1									
K	0,5143	0,0718	1								
Na	0,9538	-0,4026	0,4467	1							
Mg	0,2564	-0,5461	-0,4586	0,3294	1						
Ca	0,6044	-0,6191	-0,0198	0,6387	0,7956	1					
HCO3	0,1289	-0,4528	-0,5536	0,0865	0,6899	0,4694	1				
NO3	-0,3062	0,1506	0,3457	-0,3676	-0,4770	0,3811	-0,4181	1			
Cl	0,9548	-0,3853	0,4591	0,9932	0,3186	0,6270	0,0726	0,3525	1		
SO4	0,3860	-0,5872	-0,2352	0,4294	0,9010	0,9269	0,5281	0,4082	0,3994	1	
Sio2	0,4345	-0,3619	-0,1052	0,5740	0,3948	0,4397	0,3821	0,4753	0,5146	0,3876	1

**Table3: factorial axes selected**

	F1	F2	F3
Eigenvalue	5,4501	2,7292	1,0676
Variability (%)	49,5460	24,8107	9,7052
Cumulative %	49,5460	74,3567	84,0618

The variables and individuals projection have been performed upon three axes representing 84, 06% of the total variance (**table 3**).



**Figure 1: Geology of the study area**

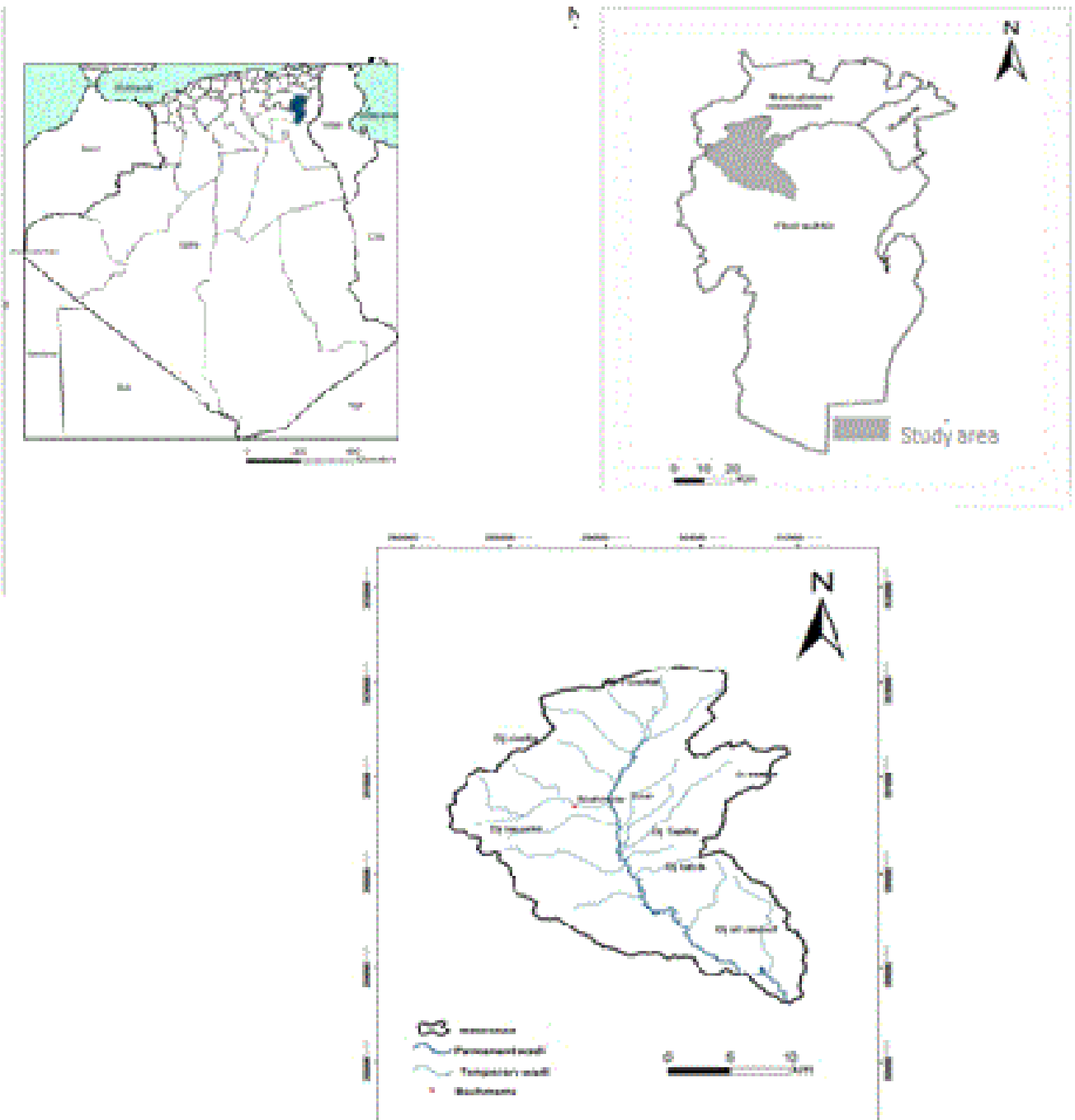


Figure 2: Geographical location of the study area

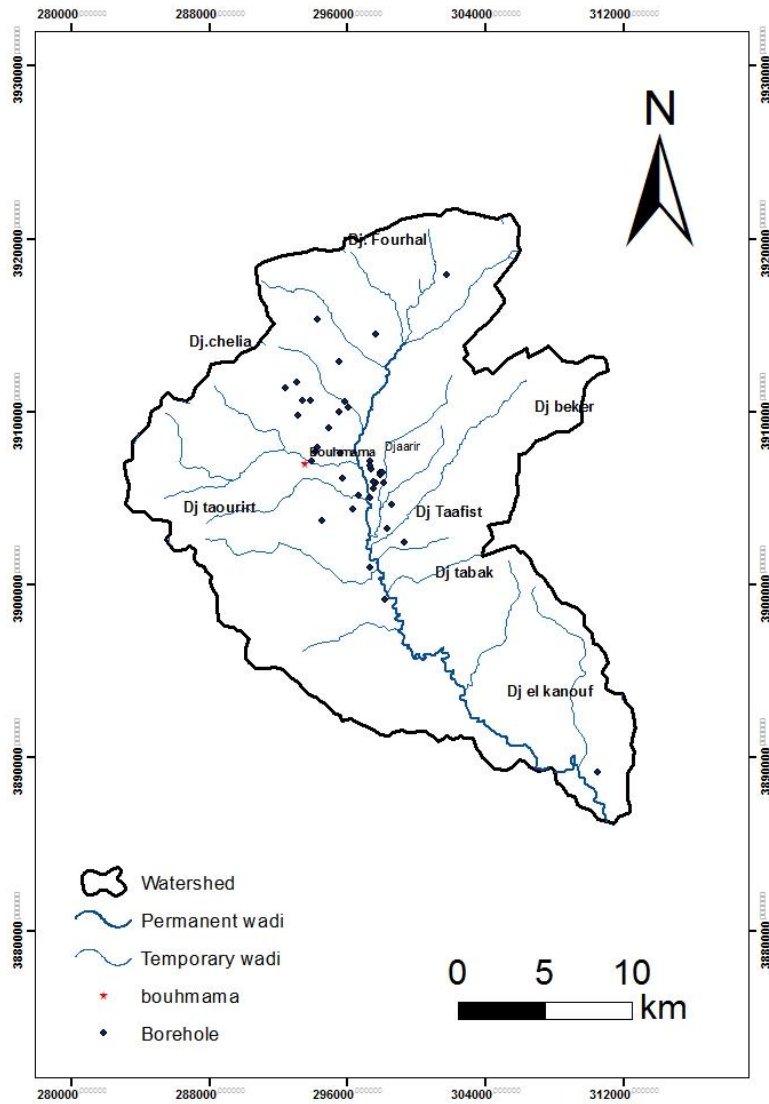


Figure 3: Inventory map

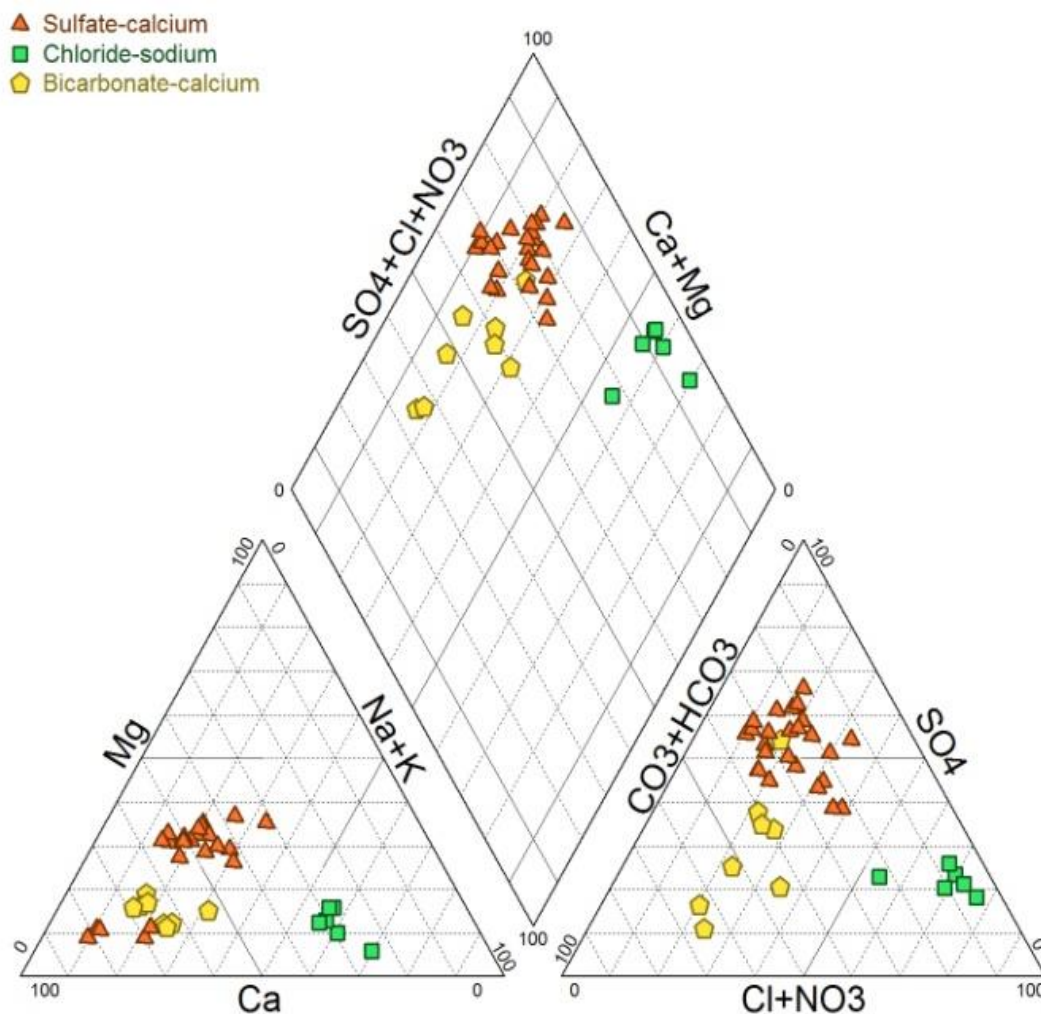


Figure 4: Projection of the samples on Piper diagram

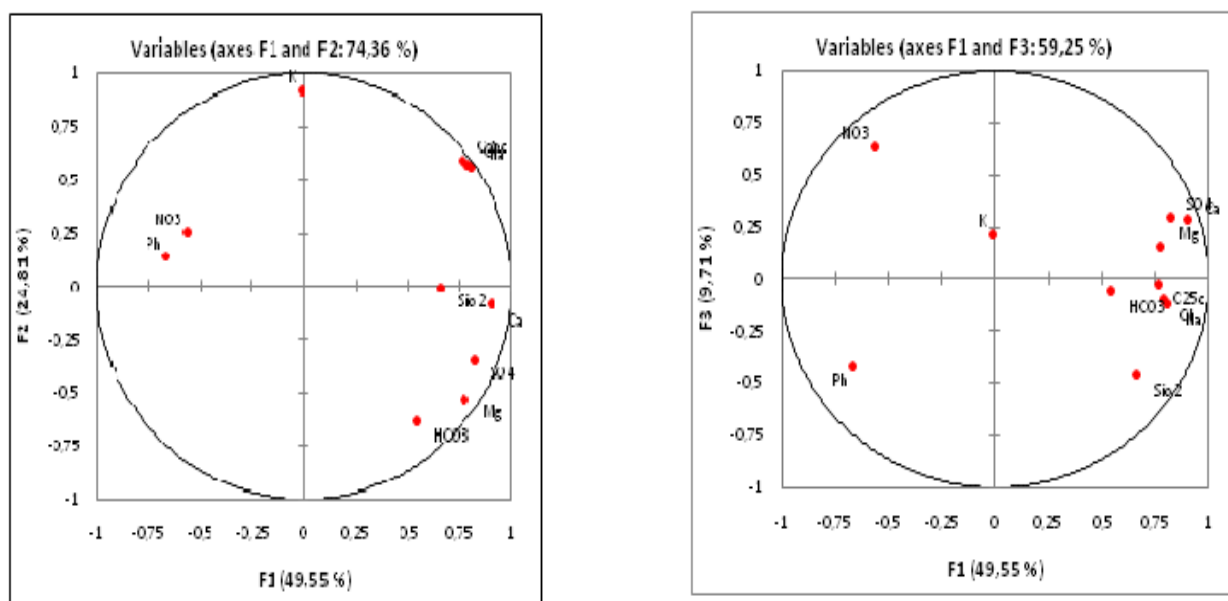


Figure 5: Analysis within the variables space (factorial design F1-F2 and F1-F3)

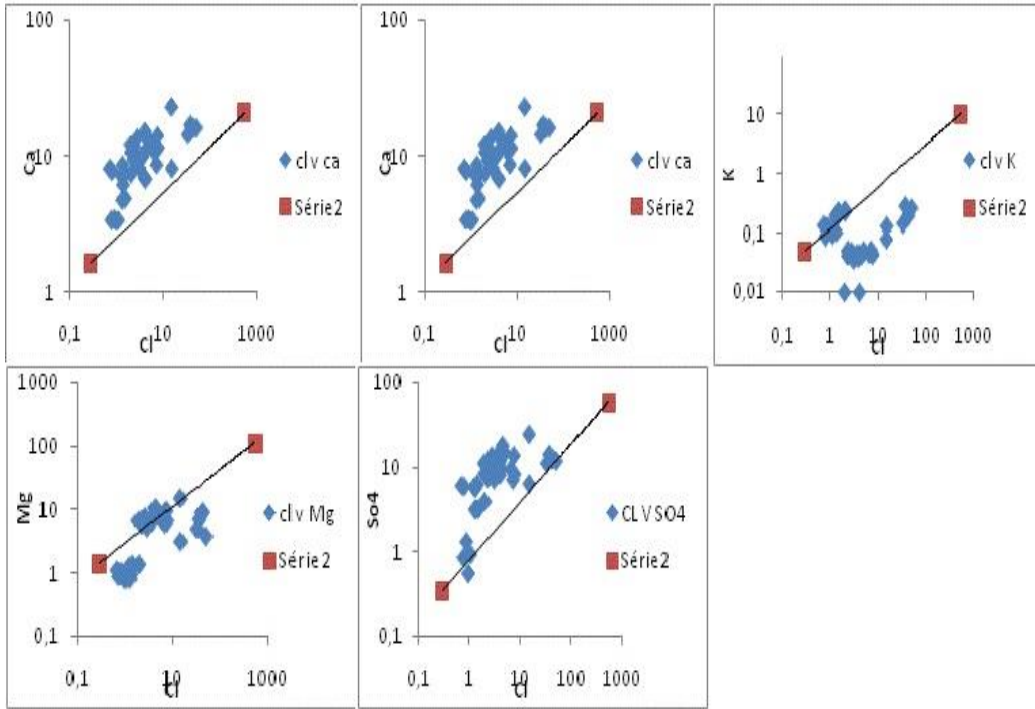


Figure 6: Relationship between Ca, Mg, Na, K, SO4 and Cl of groundwater and rainwater-seawater

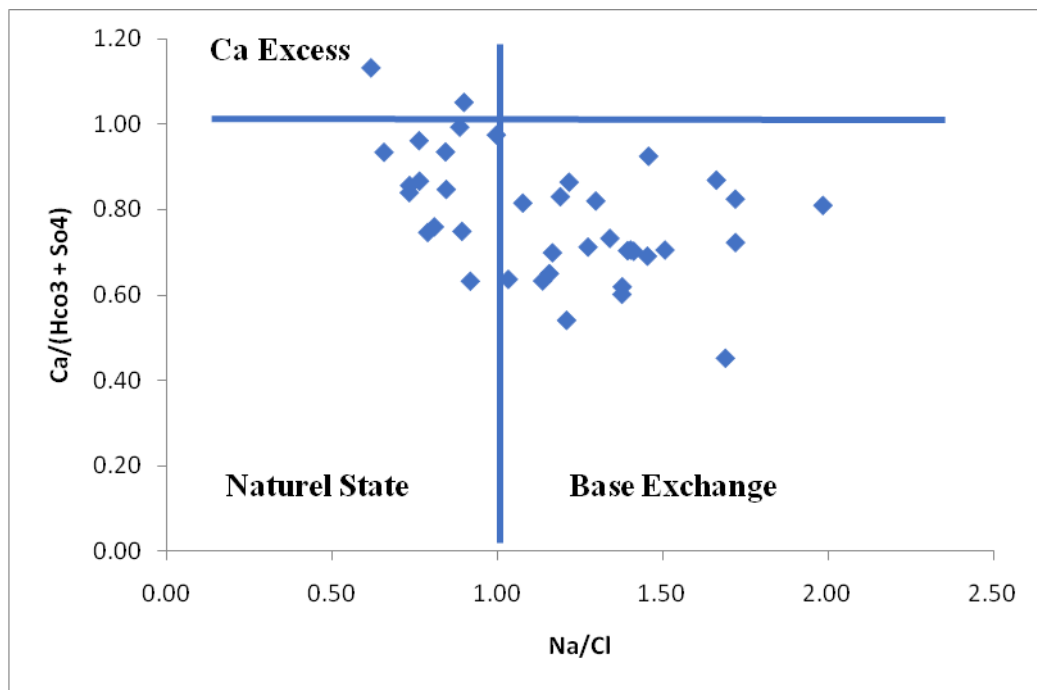
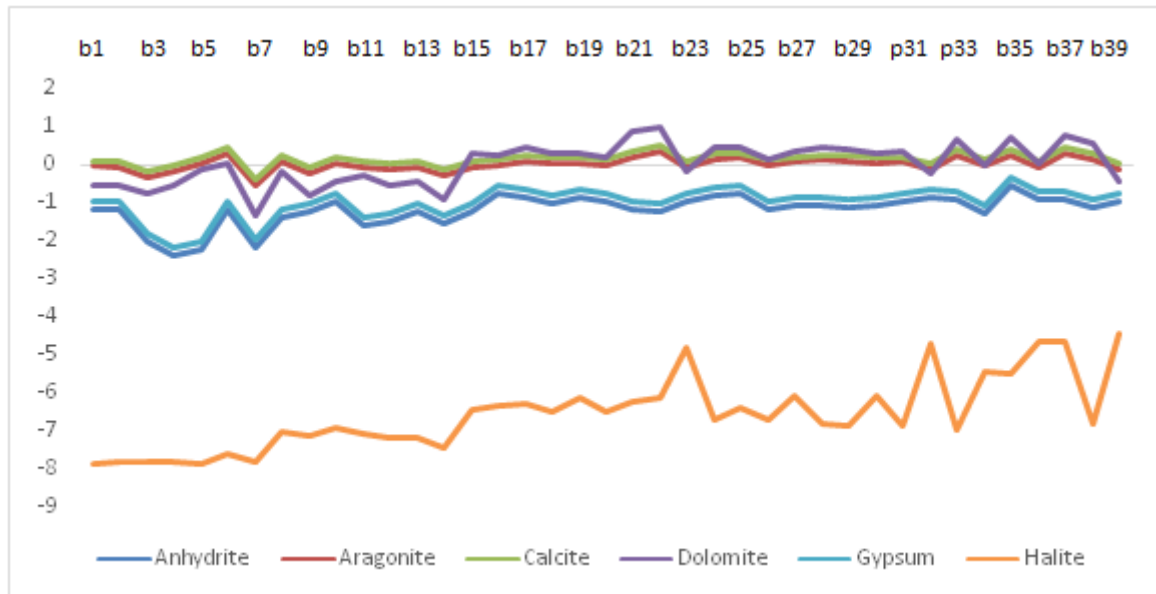


Figure 7: Base Exchange



**Figure 8: Saturation indice variation of minerals**

The variables projection on design F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> (**fig5**) highlights two groups:

The axis F<sub>1</sub> expresses 49.55% of the variance. The positive part of this axis is related to the groups of variables Cl, SO<sub>4</sub>, Mg, Na, SiO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca and to the conductivity, which globally explains waters evaporitic mineralization, with a deep waters circulation and a heavy interaction water-rock. The F<sub>2</sub> axis represents 24.81 % of the explained variance. It is determined by potassium that reflects polluted waters, with the presence of clay fraction.

The axis F<sub>3</sub> defines 10% of the total inertia, and confirms the anthropogenic pollution by nitrates presence.

**Salinity origin**

To better understanding the mineralization process of groundwater, we have represented the major elements in function of ion chlorides. This latter is a conserved element, does not contribute to interaction water-rock, characterizes the origin of water salinity and constitutes a mixing tracer [3].

The graph Cl<sup>-</sup> against Na<sup>+</sup> shows that all the points are situated bellow the mixing line. Considering that Na<sup>+</sup> content should balance Cl<sup>-</sup> content, Na<sup>+</sup> deficit is explained by the phenomenon of ionic base exchange between water and the aquifer, and is reflected by the absorption of Na<sup>+</sup> by the clay matrix to desorbs alkaline-earths. So, the figure, of Ca vs. Cl corroborates the enrichment in calcium. This contribution is due to simultaneous dissolution of carbonates and gypsum, associated with Ca contribution through cation exchange that causes calcium to be released to the detriment of sodium and magnesium retention. This latter, after a rapid dissolution, attains the balance with the solution to precipitate under the form of dolomite. The graph of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and Cl<sup>-</sup> shows that all the points are situating above the mixing line freshwater-saltwater. Sulfates enrichment would be due to contribution through gypsum dissolution, leaching of evaporates and infiltration of irrigation water, loaded with salt and fertilizers, facilitated by the weak depth of the water table and the good permeability of the aquifers terrains [3]. The relationship between K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> underlines the fact that most of the points are bellow the mixing line, except for some points that get close to this line, showing that the most likely origin would be pollution.

The projection of the different points on diagram Ca<sup>2+</sup>/ (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2+</sup>)-Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> shows that 59 % of the water points undergo a base exchange, 35 % of the points exhibit the natural state, and 05 % (F7 and F9) exhibit Ca<sup>2+</sup> excess with respect to ions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, surely due to gypseous formations that provide more ions Ca<sup>2+</sup>.

### Saturation Indice (IS)

The water balance with the matrix is often expressed by the saturation indice [ $IS = \log (PAI/K_s)$ ], where PAI is the activity product of the concerned ions, and  $K_s$  is the product of dissolubility of the considered mineral [4]. The degree of saturation, subsaturation, where the balance state of a solution toward a mineral is only appreciate, if the solubility product can be compare with the product of the ionic activity of the referential ions within the solution [5]. A zero saturation indice does not signify that water is in balance with the studied mineral. Water will be undersaturated if  $IS < 0$  (mineral dissolution), and oversaturated if  $IS > 0$  (mineral precipitation)[6]. The significant findings of all the analyzed groundwater samples (fig8) demonstrate that these latter are saturated with respect to the carbonate formations such as calcite, dolomite and aragonite, and are undersaturated with respect to the evaporitic formations that are halite, gypsum and anhydrite. The minerals saturation indice within water points out that only carbonate minerals tend to precipitate, especially under the form of dolomite. Unlike, the evaporitic minerals are in dissolution, which allows the evaporitic elements to appear within water at relatively high concentrations, and explains the dominance of chloride-calcium facies through halite dissolution.

### CONCLUSION

Groundwater of Mellagou plateau has significant variations of mineralization that increased from North to South in the direction of flow. The conductivity is generally high, ranging between  $589 \mu\text{S cm}^{-1}$  and  $6440 \mu\text{S cm}^{-1}$ . The most loaded areas are directly connected with salifere Trias. This salinity is, especially controlled by the dissolution of halite, coupled with an anthropogenic pollution. The statistical tool has corroborated that interaction water-rock is responsible for the mineralization of Mellagou basin waters. The thermodynamic analysis confirms that waters geochemistry is determined by mineral dissolution-precipitations phenomena and by ion exchanges. Pollution, for its part, contributes to water mineralization, and remains a secondary factor.

### REFERENCES

- [1] Khemmoudj K, Bendadouche H, Merabet S 2016 ; les ressources en eau dans une région semi-aride et développement durable, cas de la région de Djemila Nord-est Algérien .Larhyss Journal 26, pp. 249-258.
- [2] Brinis N. Brinis N, Boudoukha A, Ahmed Hamel A 2015 ; Analyse statistique et géochimique de la dynamique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de Ghassira Algérie orientale. Larhyss Journal 22, pp. 123-137.
- [3] El Achheb J. Mania et J. Mudry 2003 ; Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel- Doukkala (Maroc occidental).
- [4] Bouhlassa S, Alecheikh C, Kabiri L 2008 ; Origine de la minéralisation et détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du quaternaire du bassin-versant de Rheris (Er-Rachidia, Maroc). Sécheresse; 19; 67-75.
- [5] Droubi A, Fritz B, Gac J, Tardy Y 1978; Generalized residual alkalinity concept, application to prediction of the chemical evolution of natural waters by evaporation. American Journal of Science; 280: 560-572.
- [6] Fekrache Fadila 2015 ;Contribution à l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac Fetzara-Annaba (Algérie).Thèse doctorat. Université. Annaba; 112p.