



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique**  
**Université abbés laghrou – Khenchela**  
**Faculté des sciences de la nature et de la vie**  
**DEPARTEMENT : Ecologie & Environnement**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**FILIERE : Ecologie et l'environnement OPTION : Ecologie Fondamentale et Appliquée**

**THEME**

**Etude géochimique des eaux souterraines de la région  
de Bouhmama (w. Khenchela)**

**Présenté par :**

Boudjellal Akram Abdelhafid

Gouasm Mohammed

Khemili Wail Abdelbasset

**Jury de soutenance :**

Président : Dr. TAKOUACHET Radoine	MCA	UNIV. Khenchela
Encadreur : Dr. BELKOUM Nouredine	MCB	UNIV. Khenchela
Examineur : Dr. BERAKNI Cherifa	MCB	UNIV. Khenchela

**Années universitaires : 2022/2023**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



جَعَلْنَا  
وَمِنْ  
السَّمَاءِ كُلِّهَا  
مِنْهُ هِيَ

[www.swishschool.com](http://www.swishschool.com)

## **Remerciement**

*Dieu merci pour la santé, la volonté, la passion et la détermination qui nous ont accompagnés durant la période de préparation de cette mémoire de Master et qui nous ont permis de mener à bien ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur, le **Dr. BELKOUM NOUREDDINE** pour sa présence, ses précieux conseils et orientations, son travail acharné, et sa grande contribution à l'aboutissement de ce travail. On*

*le remercie pour nous avoir donné la chance de vivre cette expérience.*

*Nous remercions également le **Dr. BOUCHEMAA NADIR, BELKACEM TELLIL** qui nous a dirigés durant cette période de recherche et pour ses conseils.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements aux honorables membres du jury **TAKOUACHET RADHWANE ET BERKANI CHERIFA** pour leur approbation d'examiner notre modeste travail.*

*Sans oublier de remercier tous les enseignants du primaire au stade universitaire qui ont contribué à nous fournir des fournitures scientifiques tout au long de la période de notre étude.*

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

*Enfin, nos remerciements sont dressés plus particulièrement à nos familles et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.*

## **DEDICASE**

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À  
MES CHERS PARENTS QUI M'ONT TOUT DONNÉ POUR QUE JE DEVIENNE CE  
QUE JE SUIS.

MON FRÈRE YUCEF ET SA FEMME RAWEN .

TOUS LES MEMBRES DE MA GRANDE FAMILLE

MES COLLÈGUES ET MES COPAINS

MES AMIS BIBOU ET YUCEF

TOUS CEUX QUI M'ONT ENCOURAGÉ,

SOUTENU ET AIDÉ DE PRÈS OU DE LOIN.

TOUS CEUX QUI CROIENT QU'

« IL N'EST JAMAIS TROP TARD POUR MIEUX FAIRE. »

**AKRAM**

## **DEDICASE**

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À  
MES CHERS PARENTS QUI M'ONT TOUT DONNÉ POUR QUE JE DEVIENNE CE  
QUE JE SUIS.

MES SŒURS ET MES FRÈRES.

TOUS LES MEMBRES DE MA GRANDE FAMILLE

MES COLLÈGUES ET MES COPAINS

MES AMIS RAFIK. KHIROU. AMINE. ZAKI ,DHAYÁ

TOUS CEUX QUI M'ONT ENCOURAGÉ,

SOUTENU ET AIDÉ DE PRÈS OU DE LOIN.

TOUS CEUX QUI CROIENT QU'

« IL N'EST JAMAIS TROP TARD POUR MIEUX FAIRE. »

**MAZIN**

## **DEDICASE**

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À

MES CHERS PARENTS QUI M'ONT TOUT DONNÉ POUR QUE JE DEVIENNE CE  
QUE JE SUIS.

MES SŒURS ET MES FRÈRES.

TOUS LES MEMBRES DE MA GRANDE FAMILLE

MES COLLÈGUES ET MES COPAINS

MES AMIS

TOUS CEUX QUI M'ONT ENCOURAGÉ,

SOUTENU ET AIDÉ DE PRÈS OU DE LOIN.

TOUS CEUX QUI CROIENT QU'

« IL N'EST JAMAIS TROP TARD POUR MIEUX FAIRE. »

**WAIL**

## Résumé :

Les eaux souterraines de Bouhmama présentent d'importantes variations chimiques induites par l'aridité du climat, la dissolution minérale et l'activité anthropique. L'utilisation hydro chimique a identifié que la majorité des points ont un faciès chimique chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne. Ces faciès chimiques sont déterminés par l'interaction eau-roches, la dissolution et les précipitations minérales, à travers les échanges cationiques tout au long de l'écoulement de l'eau vers son exutoire et l'infiltration des eaux d'irrigation chargées en sels et fertilisants dans les périmètres irrigués.

Mots-clés : Bouhmama, eaux souterraines, faciès chimique, irrigation, fertilisants.

## Abstract :

The groundwater of Bouhmama shows important chemical variations induced by the aridity of the climate, mineral dissolution and anthropic activity. arid climate, mineral dissolution and human activity. Hydrochemical use has identified that the majority of points have a chloride and sulphate calcic and magnesian chemical facies. magnesian facies. These chemical facies are determined by water-rock interaction, dissolution and mineral precipitation mineral precipitation, through cation exchange throughout the flow of water towards its outlet. to its outlet and the infiltration of irrigation water loaded with salts and fertilisers into the irrigated areas. irrigated areas.

Keywords: Bouhmama, groundwater, chemical facies, irrigation, fertilisers.

## ملخص :

تظهر المياه الجوفية في بوحمامة اختلافات كيميائية مهمة ناجمة عن جفاف المناخ ، وانحلال المعادن والنشاط البشري المناخ الجاف وانحلال المعادن والنشاط البشري. استخدام الهيدروكيميائية حددت أن غالبية النقاط تحتوي على سحنات كيميائية كلسية وكبريتية وكلوريد مغنيسيوم سحنات المغنيسيوم. يتم تحديد هذه السمات الكيميائية من خلال التفاعل بين الماء والصخور والذوبان وترسيب المعادن ترسيب المعادن ، من خلال التبادل الكاتيوني في جميع أنحاء تدفق المياه نحو مخرجها إلى مخرجه. وتسرب مياه الري المحملة بالأملاح والأسمدة إلى المناطق المروية. المناطق المروية.

كلمات مفتاحية: بوحمامة ، مياه جوفية ، سوائل كيميائية ، ري ، أسمدة

## Table des matières

REMERCIEMENTS

DEDICASE

RESUMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE

### I . Partie bibliographique

#### Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

Présentation générale.....	1
I. Présentation générale de la wilaya de Khenchela .....	1
I.1. Cadre Géographique.....	1
I.2. Cadre Administratif .....	2
I.3. Le milieu physique .....	6
3.1. Le relief.....	6
3.2.Les montagnes.....	6
3.3.Les plateaux.....	6
3.4.Les plaines.....	6
3.5.Les parcours steppiques et les dépressions.....	6
II. Description de la zone d'étude.....	8
II.1.Situation géographique.....	8
II.2. Le relief .....	10
II.2.1. Sur le plan altimétrique .....	10
II.2.2.Sur le plan orographique .....	11

- La classe des pentes supérieures à 25%.....12
- La classe des pentes comprises entre 12,5 et 25%.....12
- La classe des pentes comprises entre 03 et 12,5%.....12
- La classe des pentes comprises entre 0 et 3%.....12
- II.3. Réseau hydrographique.....13
- II.3.1. Les eaux superficielles.....13
- II.3.2. Estimation des apports annuels .....14
- II.3.3. Les eaux Souterraines .....14
- II.4. pédologique .....16
- II.5. Occupation du sol et pratiques agricoles .....16
- II.5.1. Occupation générale des sols .....16
- II.5.2. Utilisation de la SAU.....17
- II.6. La production animale.....18
- Conclusion.....19

**Chapitre 02: étude geologique**

- I.Introduction .....20
- II.Géologie générale .....20
- II.1. Lithostratigraphie .....20
- II.1.1. Le Mésozoïque .....20

<b>a. Trias</b> .....	20
<b>b. Jurassique</b> .....	21
<b>b.1.Lias</b> .....	21
<b>b.2. Dogger</b> .....	21
<b>b.3. Malm</b> .....	21
<b>c. Crétacé</b> .....	21
<b>c.1.Crétacé inférieur</b> .....	21
<b>c.2.Crétacé supérieur</b> .....	22
<b>c.2.1.cénomanién</b> .....	22
<b>c.2.2.Turonien</b> .....	22
<b>c.2.3.Sénonien</b> .....	23
<b>c.2.4.Coniacien</b> .....	23
<b>c.2.5.Santonien</b> .....	23
<b>c.2.5.1.Le Santonien C4</b> .....	23
<b>c.2.5.2.Le Santonien C4r</b> .....	23
<b>c.2.6.Campanien</b> .....	23
<b>c.2.7.Maestrichtien</b> .....	23
<b>II.1.2. Le Cénozoïque</b> .....	24
<b>a.Paléogène</b> .....	24
<b>a.1. Paléocène</b> .....	24
<b>a.2.Eocène inférieur (Yprésien)</b> .....	24
<b>b.Néogène</b> .....	24
<b>b.1. Miocène</b> .....	25
<b>b.1.1.Aquitano-burdigalien</b> .....	25

b.1.2- Langhien-serravalien .....	25
b.1.3.Tortorien .....	25
b.1.4.Tortorien supérieur .....	25
b.1.5. Le Quaternaire .....	25
III. Géologie locale.....	28
a.Trias (T) .....	28
b.Craie (c) .....	28
b.1.Craie moyenne (Cénomaniens 1a à c) .....	28
b.2.Craie supérieure (coniacien C <sub>3</sub> ) .....	28
c.Tertiaire .....	28
c.1. Eocène inférieur (ei) .....	28
c.2.Eocène moyenne (em) .....	28
c.3.Oligocène inférieur (lottorfien O <sup>3</sup> i).....	28
c.4.Oligocène moyen et supérieur (aquitaniens O <sub>3</sub> ) .....	28
d. Miocène (Mi) .....	28
e.Pliocène .....	28
f. Quaternaire .....	29
g.Holocène (Rharbien q <sup>6</sup> ) .....	29
IV . Les mouvements tectoniques dans la région d'étude.....	31
Conclusion.....	31

## Chapitre 3 : étude climatologique

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>32</b>
<b>I Les données climatiques disponibles.....</b>	<b>32</b>
<b>I.1Le réseau de mesure etorigine des données.....</b>	<b>32</b>
• Les facteurs climatiques.....	32
• La température.....	32
<b>II.2.La précipitation.....</b>	<b>34</b>
<b>II.2.1Répartition mensuelle des précipitations.....</b>	<b>34</b>
<b>II.2.2 Répartition annuelle des précipitations.....</b>	<b>36</b>
<b>III. Diagramme Ombrothémique de GAUSSEN.....</b>	<b>37</b>
<b>IV. Détermination de l'étage bioclimatique.....</b>	<b>39</b>
<b>V. Le bilan hydrique.....</b>	<b>40</b>
• L'évapotranspiration.....	40
• L'évaporation potentielle (ETP).....	40
• L'évapotranspiration réelle (ETR).....	41
• Ruissellement.....	41
L'infiltration (I).....	41
<b>VI. Calcul du bilan hydrique.....</b>	<b>42</b>
<b>VII. L'Humidité.....</b>	<b>42</b>
Interprétation du bilan hydrologique.....	44
<b>VIII . Le vent.....</b>	<b>45</b>

## ***II. Partie Expérimentales***

### ***Chapitre 4 : étude hydro chimique***

<b>I . Introduction.....</b>	<b>46</b>
------------------------------	-----------

<b>II. Méthodes et stratégie de travail.....</b>	<b>46</b>
<b>II.1. Échantillonnage.....</b>	<b>46</b>
<b>II.2. Analyse physico-chimique.....</b>	<b>47</b>
<b>II.2.1. Mesures in situ.....</b>	<b>47</b>
<b>II.2.2. Analyse des éléments chimiques.....</b>	<b>47</b>
<b>II.2.2.1. Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub>).....</b>	<b>47</b>
<b>II.2.2.2. La dureté totale TH (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>).....</b>	<b>47</b>
<b>II.2.2.3. Le sodium (Na<sup>+</sup>) et le potassium (K<sup>+</sup>).....</b>	<b>48</b>
<b>II.2.2.4. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>) .....</b>	<b>48</b>
<b>II.2.2.5. Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>).....</b>	<b>48</b>
<b>III. Interprétation des résultats .....</b>	<b>48</b>
<b>III.1. Paramètres physiques .....</b>	<b>48</b>
<b>III.1.1. La température .....</b>	<b>48</b>
<b>III.1.2. Le pH .....</b>	<b>49</b>
<b>III.1.3. Conductivité électrique.....</b>	<b>50</b>
<b>III.2. Paramètres chimiques .....</b>	<b>51</b>
<b>III.2.1. Les cations .....</b>	<b>51</b>
<b>III.2.1.1. Le calcium Ca<sup>+2</sup> .....</b>	<b>51</b>
<b>III.2.1.2. Le magnésium Mg<sup>+2</sup> .....</b>	<b>52</b>
<b>III.2.1.3. Sodium et Potassium (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>).....</b>	<b>53</b>
<b>III.2.2 Les anions.....</b>	<b>54</b>
<b>III.2.1.4. Bicarbonates (HCO<sub>3</sub>).....</b>	<b>54</b>
<b>III.2.2.1. Les chlorures .....</b>	<b>55</b>

<b>III.2.2.2. Les sulfates .....</b>	<b>56</b>
<b>IV . Détermination des faciès hydrochimiques.....</b>	<b>57</b>
<b>IV.1. Diagramme de piper.....</b>	<b>57</b>
<b>IV.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....</b>	<b>57</b>
<b>IV.3. Classification des eaux d'irrigation.....</b>	<b>59</b>
<b>VIII. Conclusion et recommandation.....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusion général .....</b>	<b>61</b>
<b>Les références bibliographies .....</b>	<b>62</b>

## Liste des figures :

<b>Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude</b>		
<b>Figure01</b>	<b>Situation géographique de la Wilaya de Khenchela</b>	<b>2</b>
<b>Figure02</b>	<b>Carte administrative de la Wilaya de Khenchela</b>	<b>5</b>
<b>Figure03</b>	<b>Les reliefs de la Wilaya de Khenchela</b>	<b>6</b>
<b>Figure04</b>	<b>Carte de relief de la Wilaya de Khenchela</b>	<b>7</b>
<b>Figure05</b>	<b>Localisation administrative de la commune de Bouhmama</b>	<b>9</b>
<b>Figure06</b>	<b>Carte des altitudes de la commune de Bouhmama</b>	<b>11</b>
<b>Figure07</b>	<b>carte des pentes de la commue de Bouhmama</b>	<b>13</b>
<b>Figure08</b>	<b>carte hydrographique de la commune de Bouhmama</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre 02 : étude géologique</b>		
<b>Figure09</b>	<b>Carte géologique de la Wilaya de Khenchela</b>	<b>26</b>
<b>Figure10</b>	<b>Schéma structural simplifié</b>	<b>27</b>
<b>Figure11</b>	<b>Carte géologique du bassin versant d'oued Mellagou</b>	<b>30</b>

<b>Chapitre 03 : étude climatologie</b>		
<b>Figure12</b>	<b>Histogramme de variation des températures moyennes (1997-2017)</b>	<b>34</b>
<b>Figure13</b>	<b>Histogramme de variation des Précipitation moyennes mensuelles (1997-2017).</b>	<b>35</b>
<b>Figure14</b>	<b>Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1997-2017).</b>	<b>37</b>
<b>Figure15</b>	<b>Diagramme Ombrothérmique de Gaussen</b>	<b>38</b>
<b>Figure16</b>	<b>Climagrammed'Emberger</b>	<b>39</b>
<b>Figure17</b>	<b>Représentation graphique du bilan d'eau de Thornthwaite de la station d'El Hamma</b>	<b>44</b>
<b>Chapitre 04 : étude hydrochimique</b>		
<b>Figure18</b>	<b>Les échantillons dans des flacons en plastique</b>	<b>46</b>
<b>Figure19</b>	<b>Carte d'inventaire des eaux de la zone d'étude</b>	<b>47</b>
<b>Figure20</b>	<b>Carte de répartition des températures (°C) des eaux de la zone d'étude</b>	<b>49</b>
<b>Figure21</b>	<b>Carte de répartition des Ph des eaux de la zone d'étude</b>	<b>50</b>
<b>Figure22</b>	<b>Carte de répartition des conductivités (c25°C).</b>	<b>51</b>
<b>Figure23</b>	<b>Carte de répartition des concentrations de Ca (mg/l).</b>	<b>52</b>
<b>Figure24</b>	<b>Carte de répartition des concentrations de Mg (mg/l).</b>	<b>53</b>
<b>Figure25</b>	<b>Carte de répartition des concentrations de Na<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> (mg/l).</b>	<b>54</b>
<b>Figure26</b>	<b>Carte de répartition des concentrations de Hco<sub>3</sub> (mg/l).</b>	<b>55</b>

<b>Figure27</b>	<b>Carte de répartition des concentrations de Cl (mg/l).</b>	<b>56</b>
<b>Figure28</b>	<b>Carte de répartition des concentrations de So<sub>4</sub> (mg/l)</b>	<b>57</b>
<b>Figure29</b>	<b>Diagramme de Piper des eaux souterraines de Bouhmama.</b>	<b>58</b>
<b>Figure30</b>	<b>Diagramme Schoeller–Berkaloff des eaux souterraines de Bouhmama</b>	<b>58</b>
<b>Figure31</b>	<b>Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Bouhmama</b>	<b>59</b>

## Liste des tableaux :

Les tableaux	Les titres	Les pages
<b>Chapitre I : présentation de la zone d'étude</b>		
<b>Tableau 01</b>	Découpage administrative de la wilaya de Khenchela	<b>3</b>
<b>Tableau 02</b>	Distribution des classes d'altitude	<b>10</b>
<b>Tableau 03</b>	Distribution des classes de pentes (superficies planimétries)	<b>12</b>
<b>Tableau 04</b>	Récapitulatif des bassins et sous bassins hydrographiques	<b>13</b>
<b>Tableau 05</b>	Hydrologie de la commune	<b>14</b>
<b>Tableau 06</b>	Aquifères de commune	<b>14</b>
<b>Tableau 07</b>	Répartition de la superficie totale de la commune de Bouhmama (ha)	<b>17</b>
<b>Tableau 08</b>	Utilisation de la SAU	<b>17</b>
<b>Tableau 09</b>	Répartition des effectifs par type d'élevage et par commune	<b>18</b>
<b>Chapitre III : étude climatologique</b>		
<b>Tableau 10</b>	Caractéristique de la station hydrométrique d'El Hamma	<b>32</b>
<b>Tableau 11</b>	Température moyenne mensuelle enregistrée à la station d'El Hamma (1997-2017)	<b>33</b>
<b>Tableau 12</b>	Précipitation mensuelle enregistrée à la station d'El Hamma (1997-2017)	<b>35</b>
<b>Tableau 13</b>	Précipitation moyenne annuelle d'El Hamma (1997-2017)	<b>36</b>
<b>Tableau 14</b>	Les valeurs de Q2	<b>39</b>
<b>Tableau 15</b>	L'Humidité enregistrée à la station la période (1997-2017)	<b>42</b>
<b>Tableau 16</b>	Bilan hydrique pour la station d'El Hamma Selon la méthode de Thornthwaite.	<b>43</b>
<b>Tableau 17</b>	La vitesse moyenne du vent (m/s) enregistrée à la station D'El Hamma (1997-2017).	<b>45</b>

## **LISTE DES ABREVIATIONS :**

<b>DPAT</b>	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
<b>CC</b>	chemin communal
<b>SAU</b>	Superficie Agricole Utile.
<b>DRE</b>	Direction des Ressources en Eau.
<b>ANAT</b>	Agence National d' Aménagement de Territoire
<b>ANDI</b>	Agence National de développement et de l'investissement
<b>A.N.R.H</b>	Agence Nationale des Ressources Hydriques
<b>ETP</b>	Evapo transpiration potentiel.
<b>RFU</b>	Réserve Facilement Utilisable
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la santé
<b>PAW</b>	Plan d'Aménagement de La Wilaya.
<b>DJ</b>	Djebel
<b>RGPH</b>	Recensement Générale de la Population et de l'Habitat.

# **Introduction Générale**

## **Introduction général :**

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

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

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

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

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

Dans ce travail nous allons étudier la variation des concentrations des éléments chimiques caractérisant la salinité pour avoir une aide sur la qualité des eaux dans cette région. Pour cela, nous avons adapté la méthodologie suivante :

- La première partie sera consacrée à une synthèse bibliographique, on tenant compte : présentation du milieu ; nous nous sommes donc attachés à définir le cadre général de la zone d'étude, dans le but d'en tirer une monographie géographique, géologique, géophysique, hydro climatologique et hydrogéologique.
- Deuxième partie : méthodes et analyse ; consiste à prélever des échantillons de l'eau couvrant la totalité de la plaine, les résultats obtenus seront présentés , interprétés et discutés .
- Enfin une conclusion générale du travail.

(Bahi. A ,2016)

# **Chapitre 1**

## **Présentation de la zone d'étude**

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

## Présentation générale :

### I. Présentation générale de la wilaya de Khenchela :

La Wilaya de Khenchela est située au Nord-est algérien dans la région des Aurès, elle occupe une position géographique entre la chaîne steppique et les hauts plateaux, ce qui lui donne un caractère forestier agro-pastoral et saharien.

La région se caractérise par trois climats :

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

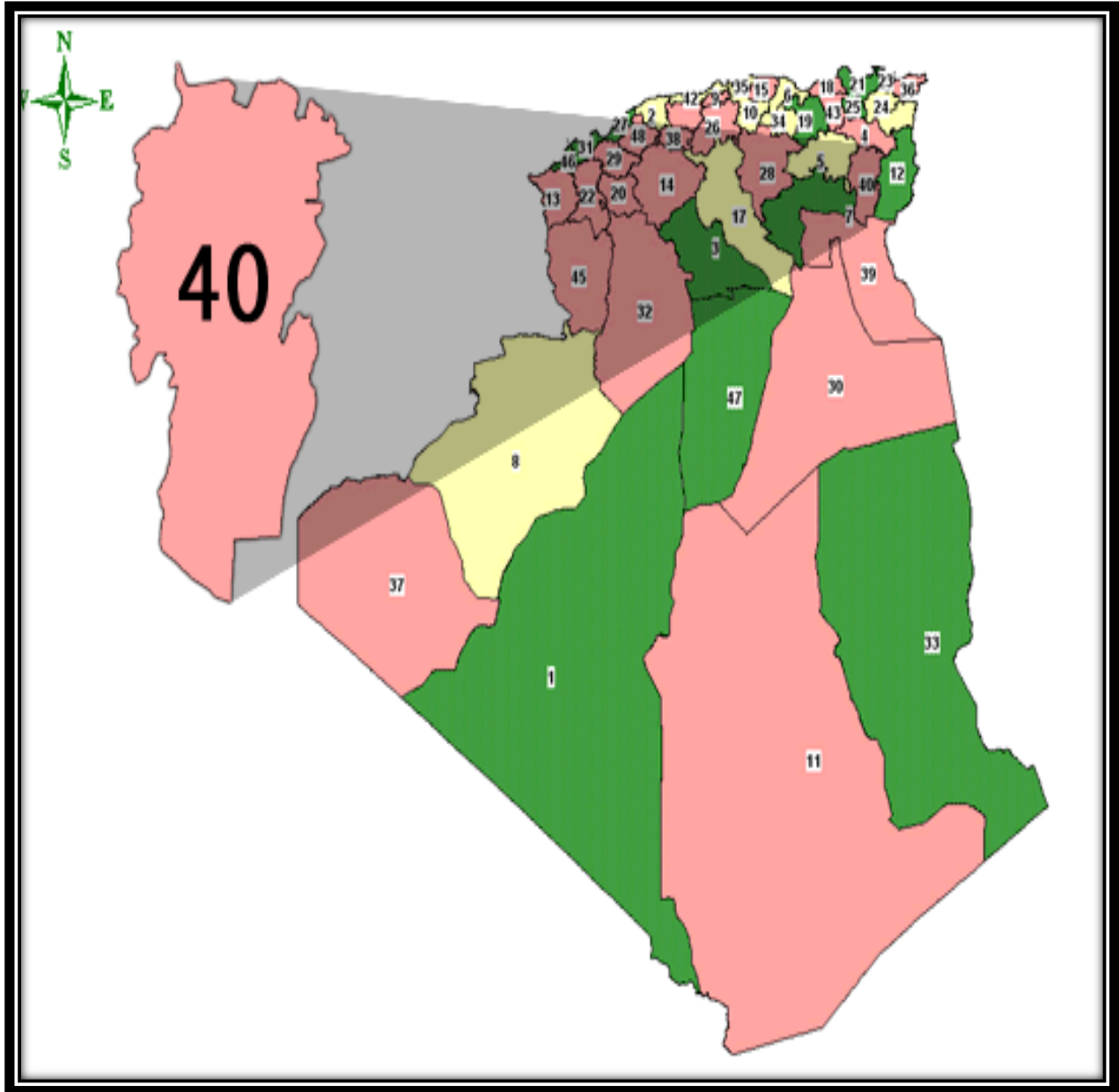
Cette diversité climatique a donné à la wilaya un penchant naturel multiple conférant des spécificités touristiques non négligeables. (Bouali H, Berkane W 2015)

### I.1. Cadre Géographique :

La wilaya de Khenchela, s'étend sur une superficie de 9715,6 Km<sup>2</sup>. Elle est composée de 21 communes et 08 daïras ; et confine avec les wilayas de :

- Oum El Bouaghi au Nord.
- El Oued au Sud.
- Tébessa à l'Est.
- Batna à l'ouest.

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude



Source : DPAT, 2011

**Figure N°01 : Situation géographique de la Wilaya de Khenchela**

## I.2. Cadre Administratif :

La wilaya de Khenchela est issue de refonte territoriale de 1984.

Elle était rattachée entre 1977et 1984 à trois Wilayas différentes :

- Oum El Bouaghi pour l'Ex Daïra de Khenchela.
- Tébessa pour Daïra de Chechar.
- Batna pour la Daïra de Kais.

## Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

Actuellement le territoire de la wilaya est composé de 21 communes et regroupées en 08 Daïras (dont 05 Daïras créées en 1990). ( Belkoum et Houha, 2017).

**Tableau N° 01 : Découpage administrative de la wilaya de Khenchela.**

### **Daïra de la wilaya de Khenchela et communes affectées**

<b>Commune</b>	<b>Superficie</b>	<b>Nombre habitant</b>	<b>Densité</b>
KHENCHELA	32	130580	4085
KHENCHELA	32	130580	4085
EL -HAMMA	852	37970	
EL-HAMMA	168	12370	74
N'SIGHA	163	9020	55
TAMZA	385	9470	25
BAGHAI	136	7110	52
AIN-TOUILA	420	23180	
AIN-TOUILA	302	16890	56
M'TOUSSA	118	6290	53
BOUHMAMA	1.288	30510	
BOUHMAMA	409	10900	27.3
CHELIA	152	5320	35
M'SARA	570	4550	08
YABOUS	157	9740	62
BABAR	3935	32690	
BABAR	3935	32690	08
CHECHAR	2066	38610	
CHECHAR	922	25040	27
DJELAL	378	3990	11
KHIREIN	400	5910	15
OULDJA	366	3610	10
O. RACHACH	656	61410	

## Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

O. RACHACH	285	25850	91
MAHMEL	371	35560	96
KAIS	466	52220	
KAIS	56	34560	617
TAOIZIANT	167	10950	27
REMILA	243	6710	28

Recensement 2007

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

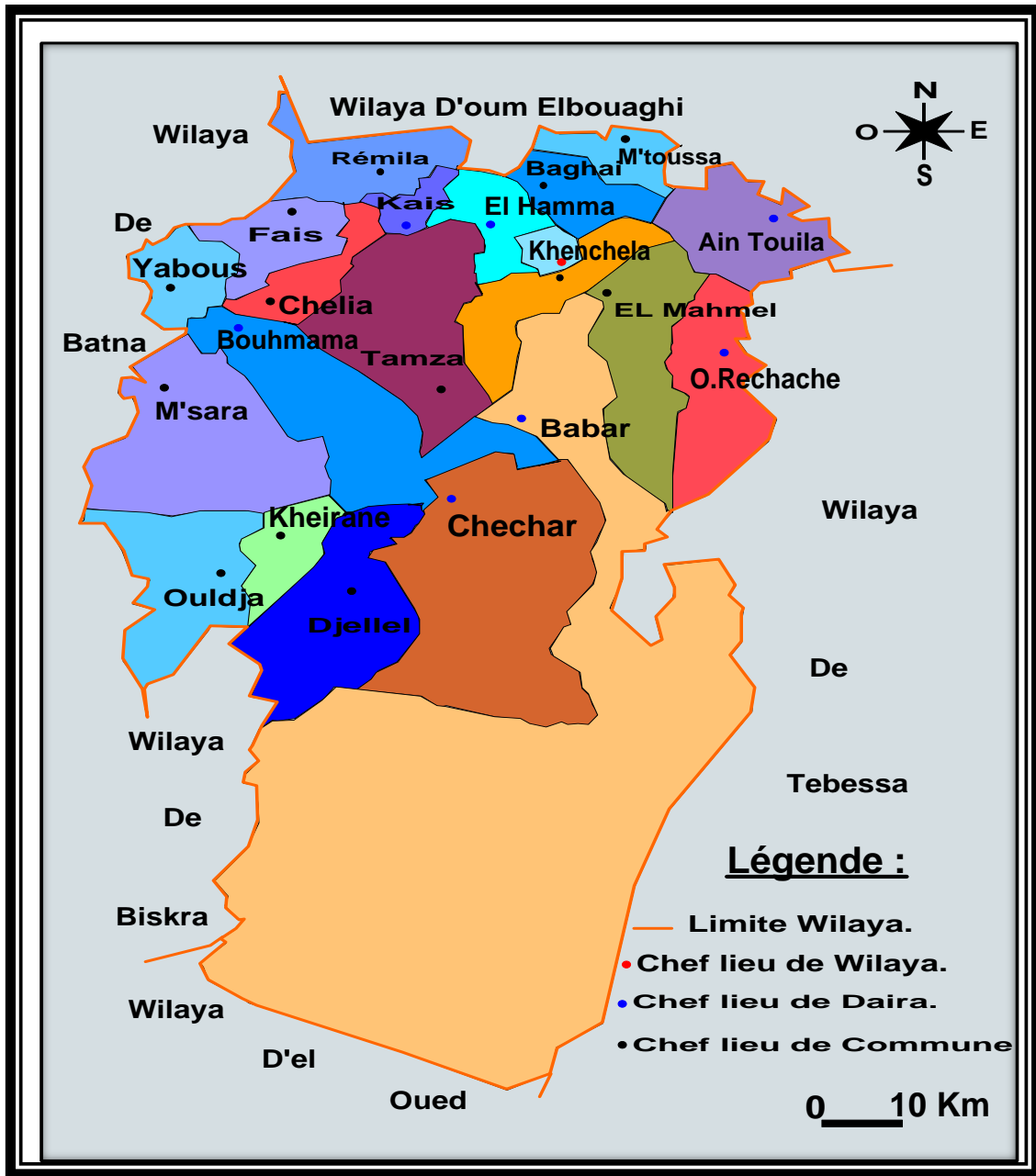


Figure N°02 : carte administrative de la Wilaya de Khenchela.

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

## I.3. Le milieu physique :

### 3.1. Le relief:

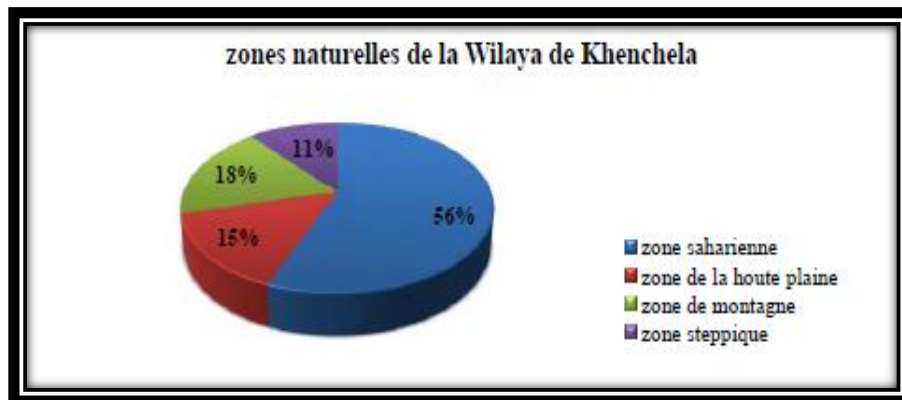
Le relief est la résultante de la combinaison entre deux facteurs: l'altitude et la pente. Le relief de la Wilaya de Khenchela est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques (Bouali H, Berkane W , 2015 ) (DPAT, 2012).

**Les montagnes:** Ces reliefs on les retrouve au Nord-Ouest sur le massif des Aurès représentés par : Djebel -Aidel (2092 m), Djebel -Chentgomma (2115 m), Djebel -Bezez (2141 m) et à l'Est dans les massifs de Nememcha représentés par Djebel -Bouzendag (1390 m), Djebel -Sguiguine (1453 m), Djebel -Tedliste (1507 m). On retrouve les massifs de Djebel -Djahfa (1707 m) (; Belkoum, 2012 ,Gaagai, 2009 ).

**Les plateaux :** Ils sont situés au Nord-Est (plateaux d'Ouled Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et d'Ouled Rachache.

**Les plaines Situées au Nord et Nord-Ouest de la Wilaya, elles comprennent Remila, Bouhmama et M'toussa.** Il a est noté que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.

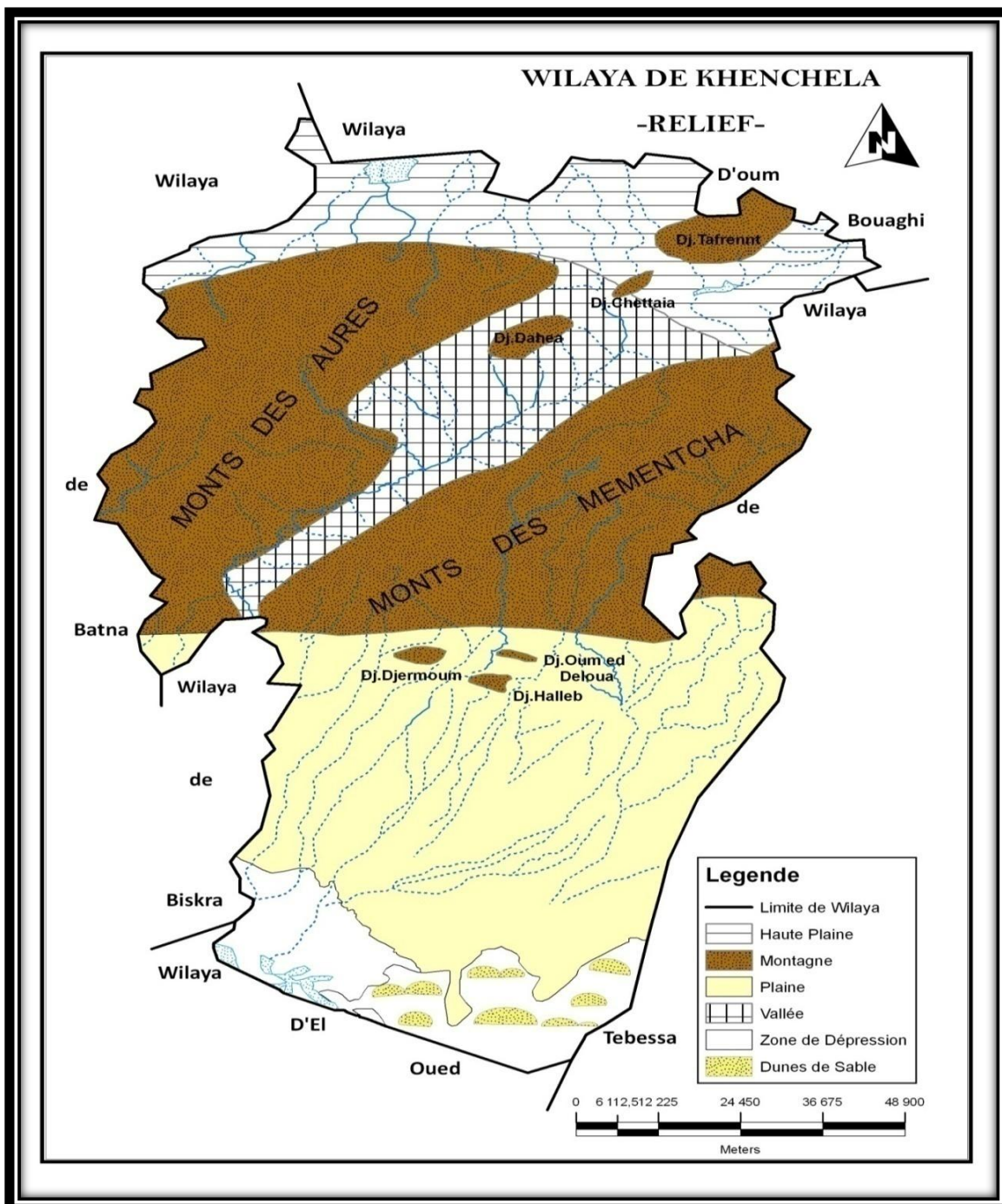
**Les parcours steppiques et les dépressions :** Ils sont situés dans la partie méridionale de la Wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts. Ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des Oueds drainant le Sud de la Wilaya .( Houha B 1996)



Source : DPAT(2012)

Figure N°03 : Les reliefs de la Wilaya de Khenchela

# Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude



Source : DPAT(2012)

Figure N°04 : Carte de relief de la Wilaya de Khenchela.

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

## II. Description de la zone d'étude :

### II.1.Situation géographique :

La daïra de BOUHMAMA est situé au Nord-Ouest de la Wilaya de Khenchela et dans la partie Est des Aurès est presque complètement entourée d'une chaîne de montagnes. Les limites géographiques de Bouhmama sont :

- **Nord-ouest** : Massif de CHELIA.
- **Nord** : Contreforts des massifs de CHELIA.
- **Est** : Massif de BENI MLOUL.
- **Sud-est** : Gorge de MELLAGOU

De point de vue administratif les principales localités de la daïra de Bouhmama sont :

- **Au Nord-est** : Kais.
- **A l'Ouest** : Medina.
- **Au Sud-ouest** : M'sara.
- **Au Nord-est** : Touffana.

Les coordonnées géographiques de la région de Bouhmama sont comme suit :

39°-06'-25",39°-30'-25" (latitude Nord).

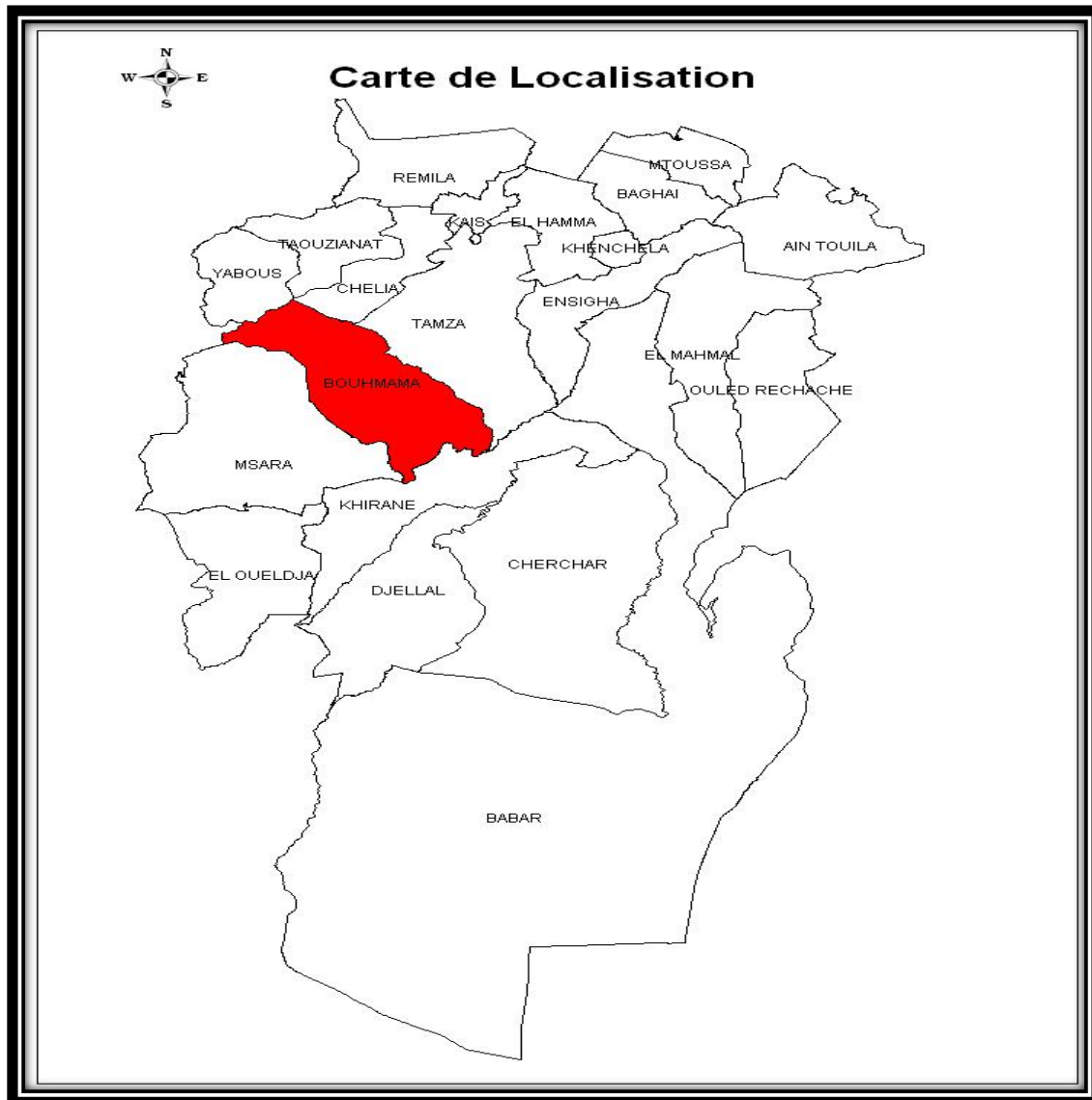
4°-86'-10",5°-1'-75" (longitude Est).

Elle regroupe quatre communes :

- La commune de BOUHMAMA.
- La commune de CHELIA : à 07 km Nord-est de la daïra.
- La commune de M'SARA : à 20 km Sud-ouest de la daïra.
- La commune de YABOUS : à 27 km Nord de la daïra.

La commune de bouhmama abrite une population totale de 10520 habitants sur un territoire couvrant une superficie de 409 km<sup>2</sup>, soit une densité de peuplement de 25,72 habitants au km<sup>2</sup>.

## Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude



Source : ANDI 2013 modifier par Bouali. H

**Figure N°05** : Localisation administrative de la commune de Bouhmama

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

## II.2. Le relief :

Le relief est le résultat de deux facteurs: la pente et l'altitude. D'une manière générale, la commune de Bouhmama se caractérise par un relief montagneux, caractérisé par :

### II.2.1. Sur le plan altimétrique : une altitude qui oscille entre 800 à 900 mètres

Dans les dépressions situées au sud de la commune et plus de 2000 mètres sur les reliefs du Djebel Chélia situées au nord de la commune.

Il est signalé que la commune de Bouhmama abrite dans la partie nord, le sommet le plus élevé des monts des Aurès correspondant au Djebel Chélia,

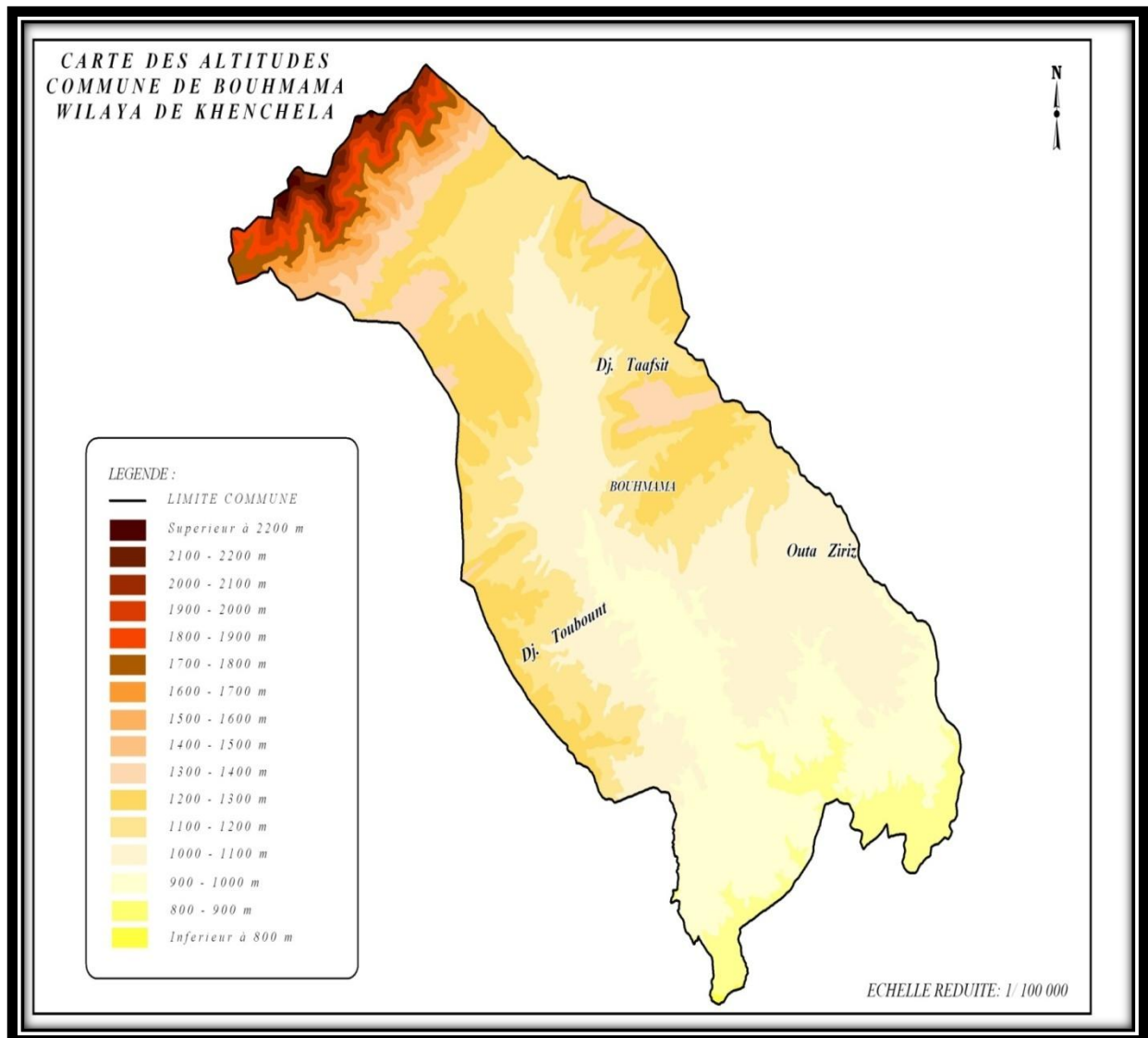
Ce dernier culmine à 2328 mètres d'altitude au lieu dit Ras Keltoum. Par ailleurs, la commune se distingue par plusieurs sommets dépassant les 1200 mètres, dont 03 supérieurs à 1400 mètres et un, situé dans le prolongement du premier cité, atteignant 2133 mètres. (DPSI 2010)

**Tableau N° 02 : Distribution des classes d'altitude :**

Superficie Planimétrie (ha)	0-400 m		400-800m		800-1200m		1200m +de	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
41010		-	10050	24.51	26920	65.64	4040	9.85

SELTZER (1946)

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude



**Figure N°06 : carte des altitudes de la commune de Bouhmama.**

## II.2.2.Sur le plan orographique :

la commune de Bouhmama se distingue par une topographie à pente variable, allant des terrains de plaine aux terrains excessivement accidentés. La carte des classes de pentes (dressée selon les classes habituellement utilisées en Algérie), réalisée par ordinateur à partir de la carte hypsométrique de la wilaya de Khenchela, montre que les pentes fortes (classe de pentes comprises entre 12,5 et 25%) et excessivement fortes (classe de pentes supérieures à 25%)

## Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

représentent 42,05% du territoire de la commune. Les terrains à topographie plane (pente comprise entre 0 et 3%) et modérée (classe de pentes comprises entre 3 et 12,5%) occupent un peu plus de la moitié du territoire de la commune (57,95%).

L'importance des différentes classes de pentes rencontrées sur la commune est présentée dans le tableau ci-après :

**Tableau N°03 : Distribution des classes de pentes (superficies planimétriques) :**

Superficie  Planimétrie (ha)	0-3%		3- 12,5%		12,5- 25%		+ de 25%	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
41 010	4236	10.33	19531	47.62	10310	25.14	6933	16.91

Dib (2009)

- **La classe des pentes supérieures à 25%.**

Cette classe correspond principalement aux reliefs les plus élevés de la moitié nord de la commune : Djebel Chélia, Djebel Taafist, Guern El Kebch et Kef M'daouer. Elle se distingue par une pente très excivement marquée et de ce fait elle constitue un facteur limitant pour la pratique des activités agricoles et un handicap pour la réalisation des infrastructures socio-économiques.

Cette classe de pente est généralement le domaine de la forêt :

- **La classe des pentes comprises entre 12,5 et 25%.**

Cette classe, que l'on rencontre principalement dans la moitié sud de la commune : sud du Djebel Taafist, Djebel Aoura, Draa el Afia, Djebel el Kanouf, Ras el Menchar, Kaf Idist, etc., se distingue par une pente forte, bien que moins marquée que dans la classe précédente.

- **La classe des pentes comprises entre 03 et 12,5%.**

Cette classe, que l'on rencontre dans la partie centrale de la commune, insérée entre les reliefs du nord, de l'est et de l'ouest, correspond aux bas piémonts et dépressions.

- **La classe des pentes comprises entre 0 et 3%.**

Cette classe, qui est la moins ré pondue sur le territoire de la commune, est rencontrée au sud-est, imbriquée entre le Djebel Taafist au nord et le Djebel El Kanouf au sud

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

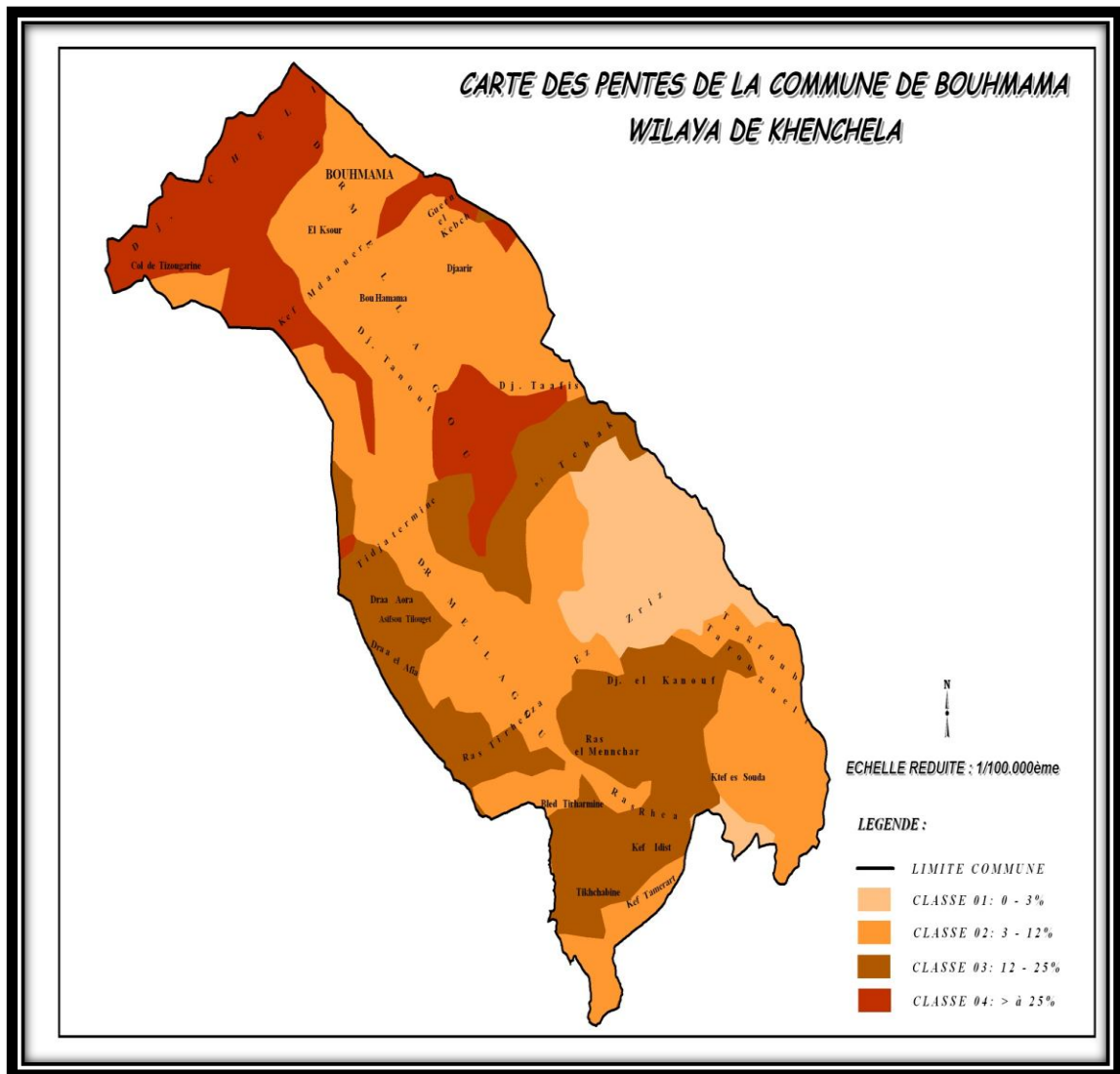


Figure N°07 : carte des pentes de la commue de Bouhmama.

## II.3. Réseau hydrographique :

### II.3.1. Les eaux superficielles :

Tableau N°04 : Récapitulatif des bassins et sous bassins hydrographiques :

Identification de l'agence	N° du bassin hydrographique	N° des sous bassins hydrographiques	Superficie Km <sup>2</sup>	Oueds drainants
ANRH	06		520	Oued Mellagou

El Achheb A(2002)

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

## II.3.2. Estimation des apports annuels :

**Tableau N°05 : Hydrologie de la commune :**

N° de bassins	Superficie (km <sup>2</sup> )	Ressources potentielles (Hm <sup>3</sup> /an)
B.V Oued Lazreg	75.2	37000
B.V Oued Adaffi	21.6	6000
B.V Oued Tamza	58.3	1000
B.V Oued Aiat	33.2	7600
B.V Oued Mellagou	520	200000
B.V Oued Djarir	12.8	4000

Gay D (2004)

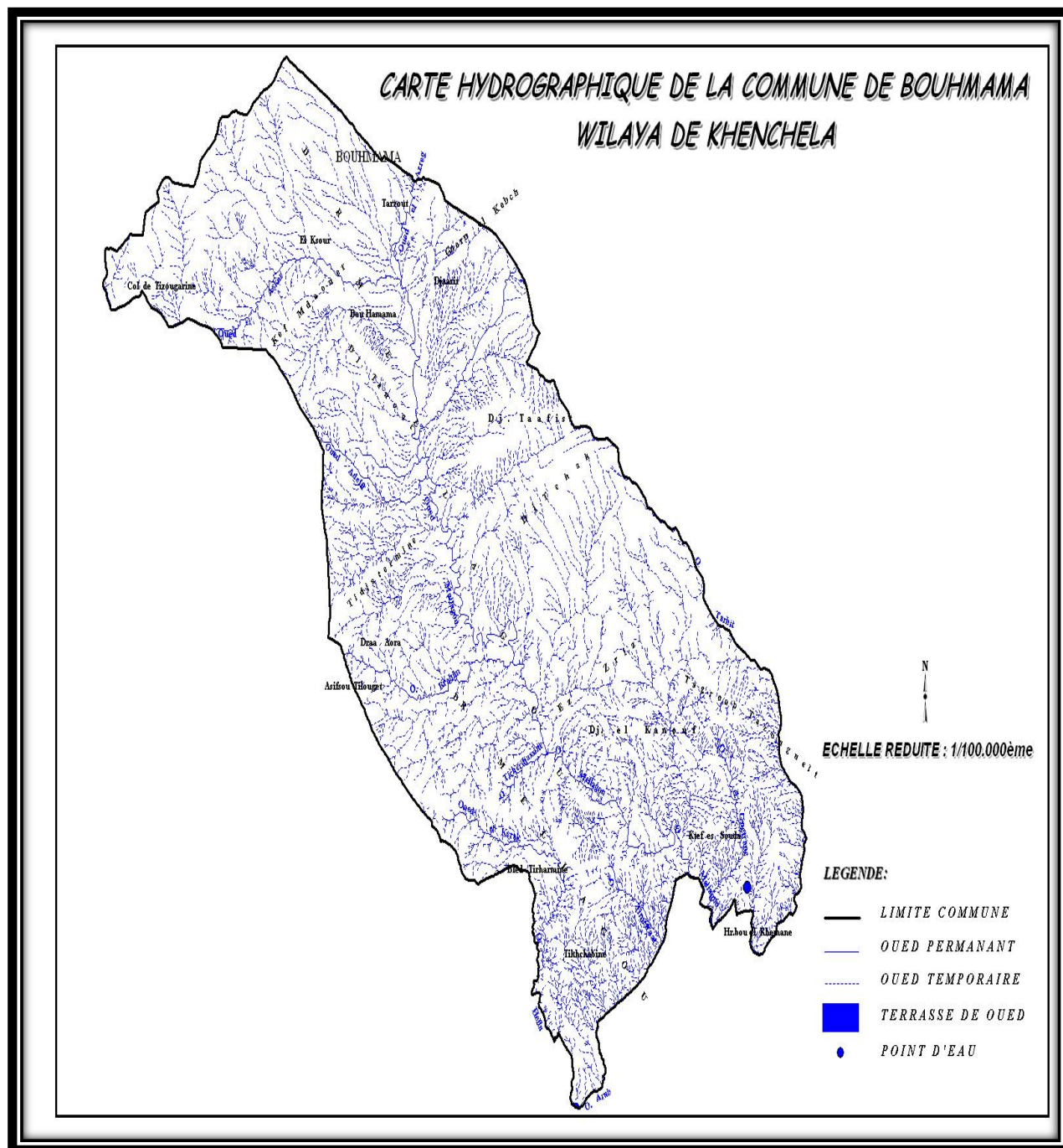
## II.3.3. Les eaux Souterraines :

**Tableau N°06 : Aquifères de commune.**

Code du Bassin Hydrographique	Identification de la nappe	Nbr. De forages captant la nappe
07	Nappe alluvionnaire, la profondeur varie entre 150 et 250m	125

El Achheb A(2002)

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude



**Figure N°08: carte hydrographique de la commune de Bouhmama.**

# Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

## II.4. pédologique :

Les zones montagneuses sont caractérisées par l'homogénéité des sols ; où on observe généralement une grande classe des sols calcimagnésiques.

Le sol le plus dominant est le brun calcaire qui domine généralement les zones de plaine (plaine de Mellagou) ; est caractérisé par :

- Une texture argileux-limoneux, le taux d'argile augmente avec la profondeur, le pH varie entre 7.4 à 7.5 (légèrement alcalin). L'infiltration est élevée dans les premiers 90cm, ce qui explique que le sol a tendance à être sujet à l'érosion s'il y a irrigation. Le sol est dépourvu des sels ; des teneurs élevées des carbonates causent des chloroses aux espèces sensibles.
- Une structure en générale granuleuse à prismatique.
- Le taux d'argile augmente avec la profondeur.
- La conductivité électrique varie entre 0.1 à 1.2 et qui augmente avec la profondeur, ce qui indique que les sols sont dépourvus de sel (il n'y a pas de contact avec la nappe).
- Riche en calcaire total avec un maximum en profondeur (jusqu'à 60%).
- La teneur en calcaire actif varie entre 9.5% à 16% qui constitue un seuil important ; ce qui provoque l'inhibition de l'absorption de fer et du Mg.
- Le rapport C/N varie entre 9 à 11% ; ce qui explique que la matière organique est bien décomposée ; c'est-à-dire que l'humus est stable (cette valeur indique que le sol est sain où la vie microbienne est active).
- Le taux de matière organique varie entre 0.25 à 1%.

La capacité d'échange cationique varie entre 8.3 à 14.8 méq/100g du sol.

## II.5. Occupation du sol et pratiques agricoles :

### II.5.1. Occupation générale des sols :

L'occupation du sol pour la campagne 2006/2007, telle que communiquée par les services agricoles de la wilaya est présentée dans les tableaux qui suivent :

## Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

**Tableau N° 07 : Rpartition de la superficie totale de la commune de Bouhmama (ha).**

S. T	Foret	Terres Improductif	S.A.T	Répartition de la SAT		
				SAU	Parcours	T.I
40 916	28 776	1 732	10 408	3 786	3 411	3 211
100%	70,33%	4,23%	25,44%	9,25%	8,34%	7,85%

GAAGAI. A., (2009)

S.T : Superficie totale de la commune

SAT : Superficie utilisée par le secteur agricole (non compris forêt)

S.A.U : Surface agricole utile

T.I : Terres incultes du secteur agricole

Le tableau met en exergue :

- Le caractère forestier de la commune : 70,33% de la surface totale ;
- La faible part que représente la SAU dans la superficie totale de la commune : 9,25% ;
- L'importance des surfaces occupées par les parcours : 8,34% de surface totale de la commune et 36,39% de la superficie totale utilisée par l'agriculture. (Anonyme, 2012)

### II.5.2. Utilisation de la SAU :

L'utilisation de la commune de Bouhmama est présentée dans le tableau ci-après

**Tableau N° 08 : Utilisation de la SAU :**

	SAU	Grandes cultures compris des jachères	Maraîchage	Arboriculture
Ha	3 786	2526	107	1153
%	100	66,72%	2,83%	30,45%

GAAGAI. A., (2009)

## Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude

L'utilisation de la surface agricole utile est dominée par la pratique des grandes cultures (céréales jachères), qui à elles seules occupent 66,72%. Les plantations arboricoles occupent toutefois une place importante, elles couvrent près du tiers de la SAU. Les cultures maraîchères quant ne représentent que 2,83% de la SAU.

Les cultures en irrigué, principalement l'arboriculture fruitière dont le pommier de Bouhmama, s'étendent sur 1272 ha.

Cette occupation du sol est d'une manière générale conforme aux du relief et du climat de la commune.

### II.6. La production animale :

Le but recherché à travers ce point de l'étude est de connaître les effectifs du cheptel,

**Tableau N° 09 : Répartition des effectifs par type d'élevage et par commune.**

Bovin	Ovin	Caprin	Apiculture
Effectifs	Effectifs	Effectifs	Ruches
443	7080	4145	1215

VILA J.M., (1977)

Le tableau présenté ci-dessus met en relief les aspects suivants :

- L'élevage occupe une place importante dans l'économie agricole de la commune ;
- Le cheptel, à prédominance ovin et caprin, est relativement important, par rapport à la surface occupée par les parcours (3411 ha) ;
- L'élevage apicole, comme en témoigne le nombre de ruches en place est relativement important, mais au vue des surfaces arboricoles et forestières de la commune, il reste insuffisant. (Subdivision agriculture Khenchela ,2014)

# **Chapitre1 : Présentation de la zone d'étude**

## **Conclusion :**

Le premier chapitre de l'étude géochimique des eaux souterraines de la région de Bouhmama, dans la Wilaya de Khenchela, donne un aperçu général de la zone d'étude et souligne l'importance de l'étude pour la gestion durable des ressources en eau de la région.

Ce chapitre se concentre ensuite sur la région de Bouhmama, située dans la partie occidentale de la Wilaya de Khenchela et caractérisée par un terrain accidenté, des vallées profondes et des sources et des puits en abondance. La région est connue pour ses activités agricoles, notamment la culture de fruits ainsi que l'élevage.

L'étude fournira également des informations précieuses pour le développement de stratégies de gestion efficaces afin d'assurer la durabilité à long terme des ressources en eau de la région.

# **Chapitre 2**

## **étude géologique**

# Chapitre 2 : étude géologique

## I. Introduction :

Le sol et le sous-sol sont constitués de matériaux (roches et sols) ayant la propriété, à des degrés divers, d'emmagasinier, de laisser s'écouler et de restituer l'eau souterraine en fonction de leurs caractéristiques physiques et hydrologiques. Ces matériaux constituent les formations lithologiques, éléments architecturaux des structures géologiques. Les sels solubles contribuent à la composition chimique des eaux (exemple: eaux minérales en général, eaux sulfatées sodiques des roches métamorphiques, sulfatées calciques des formations gypseuses). La prospection et l'exploitation rationnelles des eaux souterraines reposent donc sur une connaissance géologique précise de la région (Houha, 1996 et 2007; Laffitte, 1939)

## II. Géologie générale :

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et des études régionaux et des synthèses sur le massif des Aurès sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédiment logiques et structurales (Bouali H, Berkane W , 2015 ; R. Laffitte 1939, R. Guiraud 1973, J. M. Vila 1977,).

### II.1. Litho stratigraphie :

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

#### II.1.1. Le Mésozoïque :

##### a. Trias :

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

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas à un caractère original particulier au trias de cette région, mais

## Chapitre 2 : étude géologique

au fait que ce époinement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont Anté-miocènes, il a disparu depuis longtemps (R. Laffitte 1939).

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

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

### **b. Jurassique :**

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

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

#### **b.1.Lias :**

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

#### **b.2.Dogger :**

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

#### **b.3.Malm :**

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

### **c. Crétacé :**

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

#### **c.1.Crétacé inférieur :**

Il couvre une grande partie des Anticlinaux du Djebel Chelia, anticlinal de Khenchela, il affleure aussi au Kef Tifekressa, Ras Serdoun, Djebel Chenntgouma, Djebel Faraoun et Djebel

## Chapitre 2 : étude géologique

Aidel. R. Laffitte (1939) a soigneusement décrit la plupart des faciès et c'est à partir des ses descriptions, modifiés ou complétés en quelques points, que R. Guiraud (1973) a établi la.

Le Crétacé inférieur peut être subdivisé en quatre ensembles lithologiques :

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

### c.2.Crétacé supérieur :

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

#### c.2.1. cénomanien :

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

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

#### c.2.2.Turonien :

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

## Chapitre 2 : étude géologique

Dans le Djebel de Amrane, le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie moyenne, et marno-calcaire au sommet. L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 mètres dans les faciès marno-calcaires du cœur de l'Aurès, mais varie de 1000 à 3000 mètres dans les calcaires. (VILA J.M 1977)

### c.2.3. Sénonien :

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

### c.2.4. Coniacien :

Il présente un horizon de marne et de marno-calcaires. Le Coniacien est présent au niveau de Ras Tafer Kennfad et à l'entour du Djebel el Khroub. (VILA J.M 1977)

### c.2.5. Santonien :

#### c.2.5.1. Le Santonien C4 :

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

#### c.2.5.2- Le Santonien C4r :

Faciès récifal des Djebels El Krouma et Knif.

### c.2.6. Campanien :

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

### c.2.7. Maestrichtien :

Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé en :

- Maestrichtien inférieur à dominante marneuse.
- Maestrichtien supérieur constitué par des calcaires à Inocérames.
- Il affleure à El Tarf, Djebel Chettaia et Argoub Mennsa.

On se rapproche de la zone des hautes plaines constantinoises où le Maestrichtien semble ne pas exister, ce qui indique que, s'il est déposé dans cette région ce fut sous faible épaisseur et

## Chapitre 2 : étude géologique

qu'il a ainsi été facilement enlevé par l'érosion ; peut être même n'a-t-il jamais existé en certains points et sa position dans le schéma tectonique de l'Aurès.

### II.1.2. Le Cénozoïque :

#### a. Paléogène

##### a.1. Paléocène :

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

##### a.2. Eocène inférieur (Yprésien) :

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

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

#### b. Néogène :

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

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

A l'intérieur des zones synclinales, les conglomérats et les poudingues du Miocène sont concordants avec des roches sous-jacentes et marquent ainsi la fin de la sédimentation marine.

## Chapitre 2 : étude géologique

Dans les zones anticlinales, ces dépôts, dont l'épaisseur varie de 250 à 300mètres, reposent en discordance sur les formations sous-jacentes

### **b.1. Miocène :**

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

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

#### **b.1.1. Aquitano-burdigalien :**

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

#### **b.1.2. Langhien-serravalien :**

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

#### **b.1.3. Tortorien :**

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

#### **b.1.4. Tortorien supérieur :**

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

#### **b.1.5- Le Quaternaire :**

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

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

## Chapitre 2 : étude géologique

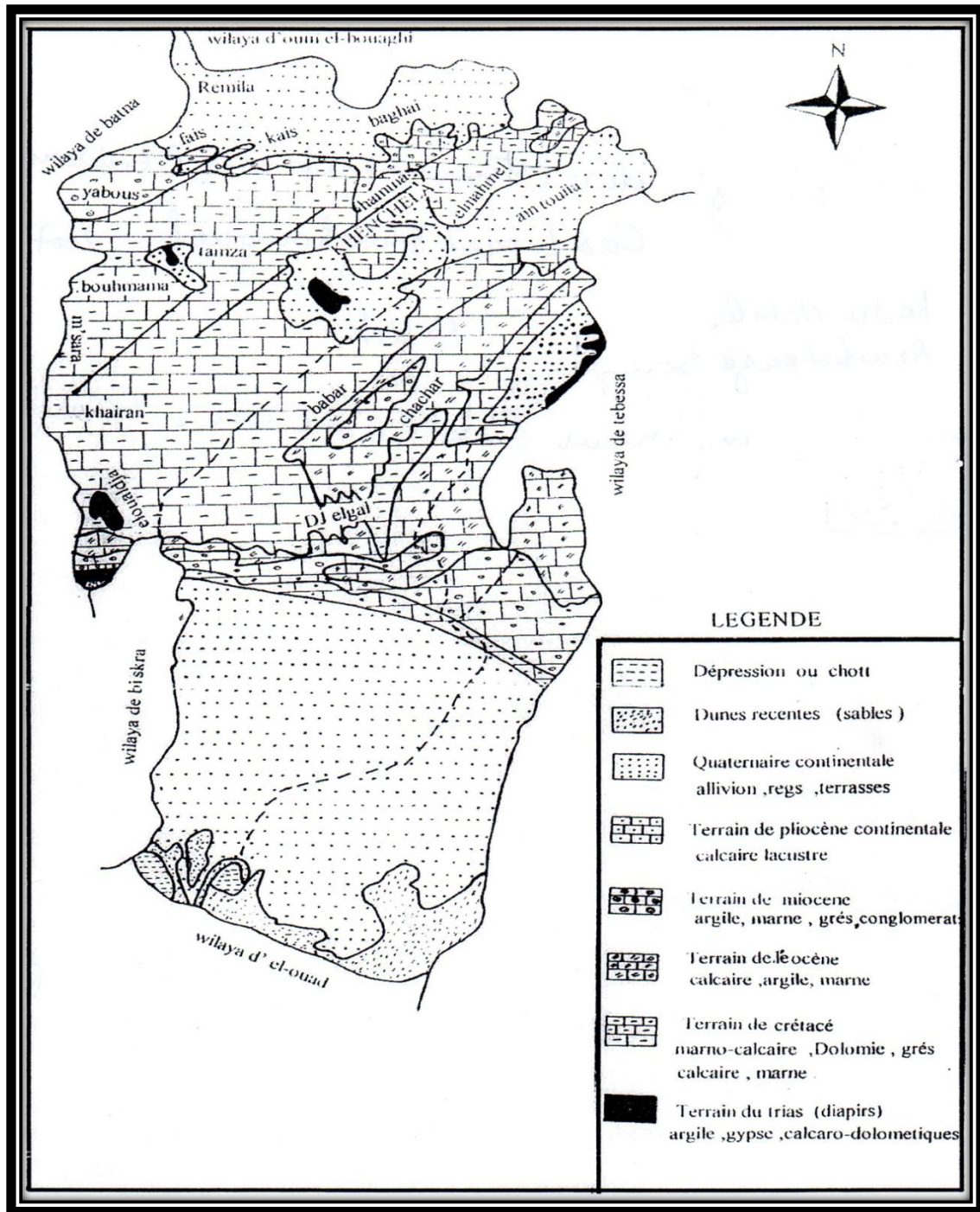
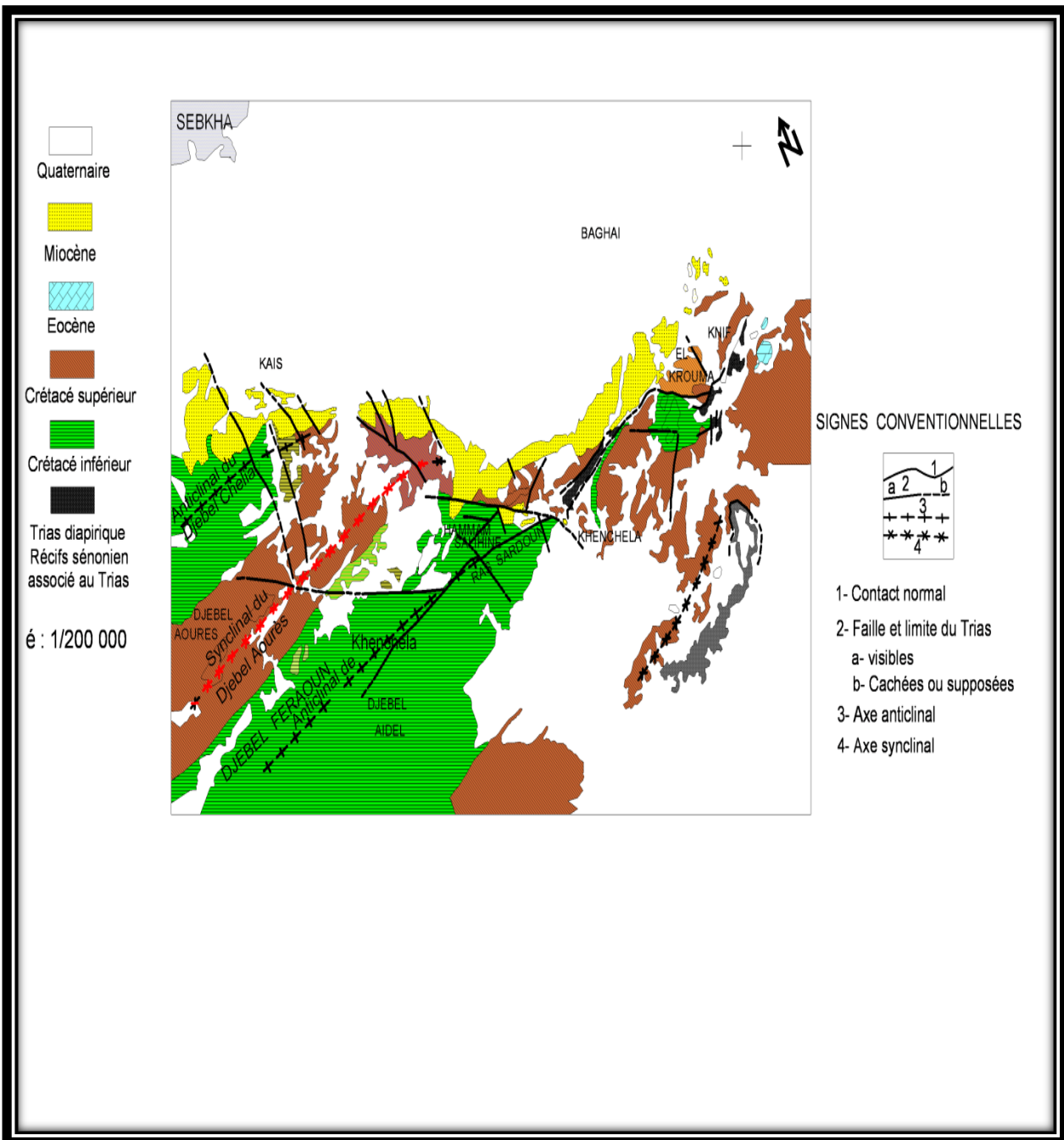


Figure N°09: Carte géologique de la Wilaya de Khenchela.

## Chapitre 2 : étude géologique



Source : ( D'après J.M.VILA)

Figure N°10: Schéma structural simplifié

## Chapitre 2 : étude géologique

### III. Géologie locale :

#### a. Trias (T) :

Le Trias se compose d'argiles varioles, gypse, calcaire rare et dolomie, souvent en position chaotique.

#### b. Craie (c) :

Craie inférieure (ici barrémien, Cu<sub>5</sub>) avec des argiles marins rouge-violet (jusqu'au marnes rares). Des grés siliceux en partie meuble et en partie compacte quelques bancs de dolomie (ex à Chelia) à environ 2000 m d'altitude.

#### b.1. Craie moyenne (Cénomaniens 1a à c) :

Avec en majorité des marnes blues-gris et quelques bancs de calcaire marneux.

#### b.2. Craie supérieure (coniacien C<sub>3</sub>) :

Avec position changeante des marnes et calcaires santanien, campanien et maestrichtien inférieur (c<sub>4</sub> à c<sup>6a</sup>) avec des marnes bleu-noires et quelques bancs calcaires c<sup>6a</sup> des marnes beiges à ocre. Maestrichtien supérieur (c<sup>6b</sup>) calcaire massif.

#### c. Tertiaire :

#### c.1. Eocène inférieur (ei) :

Qui commencent sur le c<sup>6b</sup> Maestrichtien supérieur avec des marnes presque noires qui passent au calcaire marneux gris bleuâtres et fin.

#### c.2. Eocène moyenne (em) : chaux.

#### c.3. Oligocène inférieur (lottorfien O<sup>3i</sup>) : argile et gris siliceux rougeâtre.

c.4. Oligocène moyen et supérieur (aquitaniens O<sub>3</sub>) : Des remblais ou sédimentation en éventail rougeâtre avec une granulation en bloc jusqu'à argileux, argile et gypse en dépression.

#### d. Miocène (Mi) :

Avec une grande variété en roche en majorité des grés (ex Chélia) partiellement des marnes, conglomérats, biomicrosparité et biomicrosparité.

e. Pliocène : est attribué ici au villafranchien de quaternaire.

## Chapitre 2 : étude géologique

### **f.Quaternaire :**

Villafranchien ( $q^6$ ) probablement avec des travertins calcaires riche en roche de 1 à 3 m, sous les sols moins puissants riche en roche rouge marron, sur des glacis rocheux qui continue en terrasses rocheuses.

Soltaniens  $q^5$ , transiftien,  $q^4$ , amérien  $q^3$ , saletien  $q^2$ , des terrasses non datées, avec une quantité en remblais, avec ou sans croute calcaire partiellement avec des croutes calcaires massifs accompagnant les rivières. Le sous-sol est formé de terrasses rocheuses.

### **g.Halocène (Rharbien $q^6$ ) :**

Caractérisé par des remblais au versant et 0 à 3m de sédiment puissant, marron rocheux, glaiseux, fluviatile sur des terres fossiles noires jusqu' aux glaises, formées de sédiments argileux fluviatile le cas de la plaine de Mellagou (Villa, 1977)

## Chapitre 2 : étude géologique

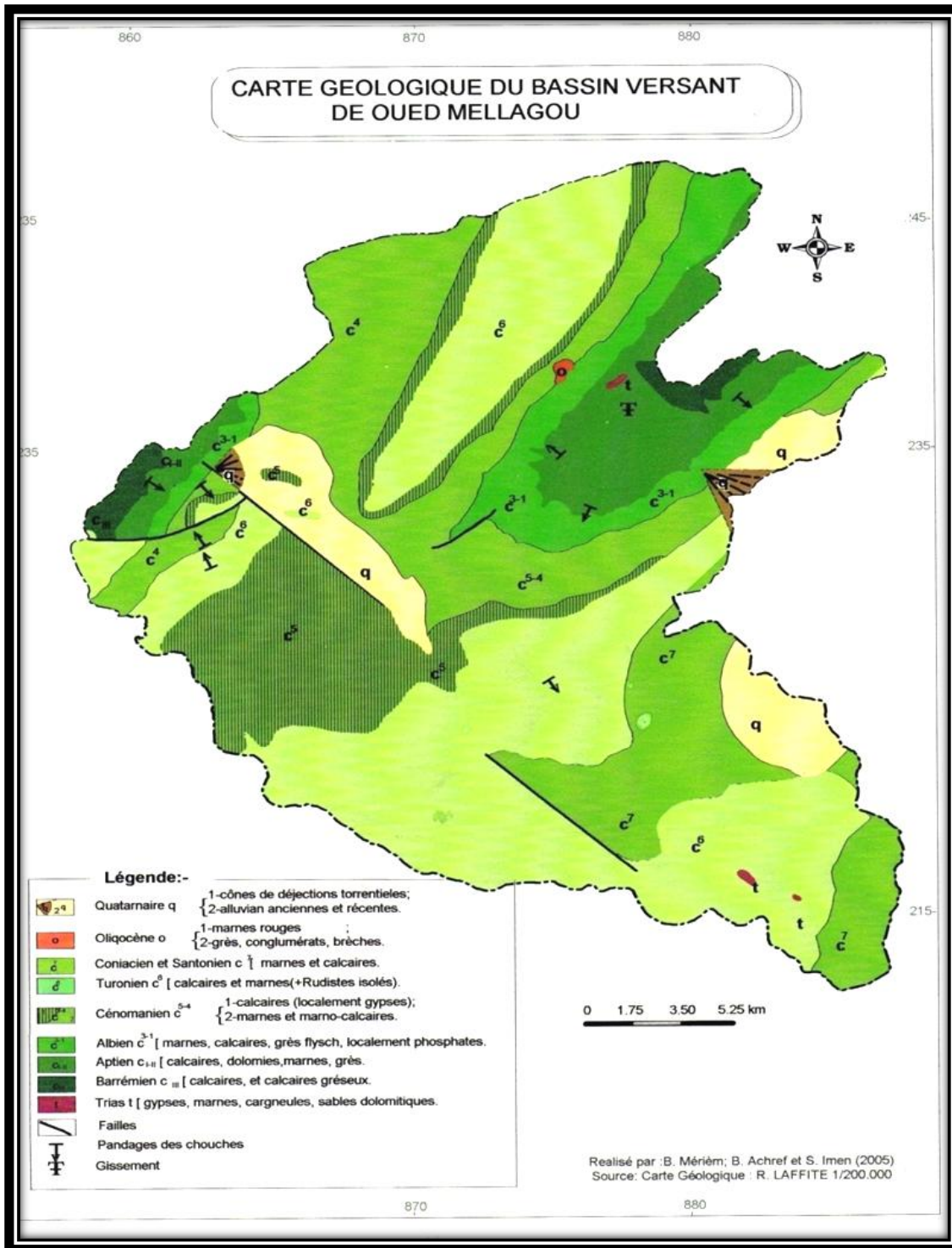


Figure N°11 : Carte géologique du bassin versant de ouad Mellagou.

## Chapitre 2 : étude géologique

### IV . Les mouvements tectoniques dans la région d'étude :

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

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

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

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

Notons aussi que l'anticlinal du Djebel Chélia dont la voute est visible à l'Est est affecté par des accidents cassants orientés NW-SE et qui probablement peuvent être rattachés à d'anciens coulissements alpins. ( Belkoun 2017 et ,GAAGAI. A., 2009)

### Conclusion :

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

# **Chapitre 3**

## **Étude climatologique**

# Chapitre 3 : étude climatologique

---

## INTRODUCTION

L'étude du climat joue un rôle crucial dans la compréhension des comportements des cours d'eau, des variations des réserves et des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Cela permet d'évaluer les différentes composantes du bilan hydrique, qui ont un impact direct ou à long terme sur les variations des nappes d'eau. Les conditions climatiques diverses dépendent principalement des caractéristiques morphologiques et biogéographiques du bassin versant. L'objectif principal de toute étude hydroclimatique est d'établir un bilan hydrique pour une période donnée, en se basant sur des paramètres clés tels que les précipitations et la température. (Babana Ch, Sebaa H 2018 )

I. Les données climatiques disponibles:

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

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

**Tableau n°10:** Caractéristique de la station hydrométrique d'El Hamma

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

### 1.1. Les facteurs climatiques:

#### La température:

La température mesurée et un indicateur de l'ensemble des échanges thermiques qui existent en un lieu et à un instant donné. Sa répartition spatiale est en grande partie tributaire des apports énergétiques et des transferts par les fluides, mais d'autres facteurs interviennent notamment la disposition des masses continentales et océaniques et bien évidemment l'altitude. (Colin. A, 2007)

## Chapitre 3 : étude climatologique

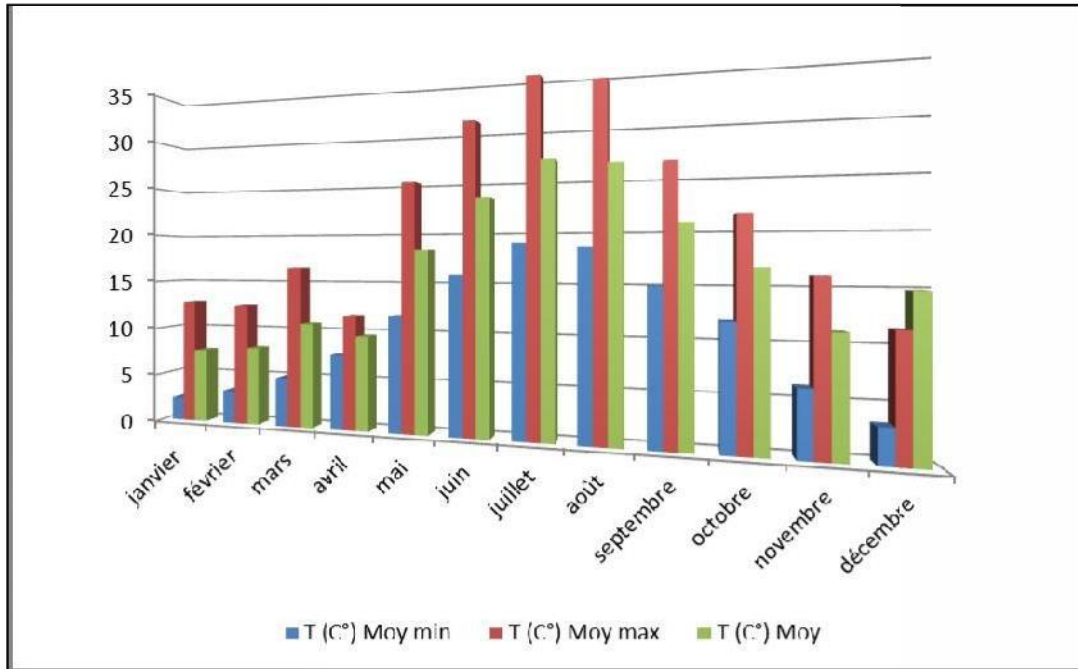
---

**Tableau n°11: Température moyenne mensuelle enregistrée à la station d'El Hamma(1997-2017)**

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

**Source (SMH, 2017)**

## Chapitre 3 : étude climatologique



FigureN°12:**Histogramme de variation des températures moyennes(1997-2017).**

### II.2.La précipitation:

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

Quelle que soit la forme de la précipitation, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement soit en millimètres (mm), soit en litres par mètre carré ( $l/m^2$ ). 1 mm de précipitations correspond à 1 l d'eau par  $m^2$ . L'intensité de la pluie est la hauteur d'eau précipitée par unité de temps (généralement en mm/h) (Luyet. V, Vogel. J, 2014).

#### II.2.2.Répartition mensuelle des précipitations:

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

Dans cette étude, nous avons utilisé les données de la station météorologique El

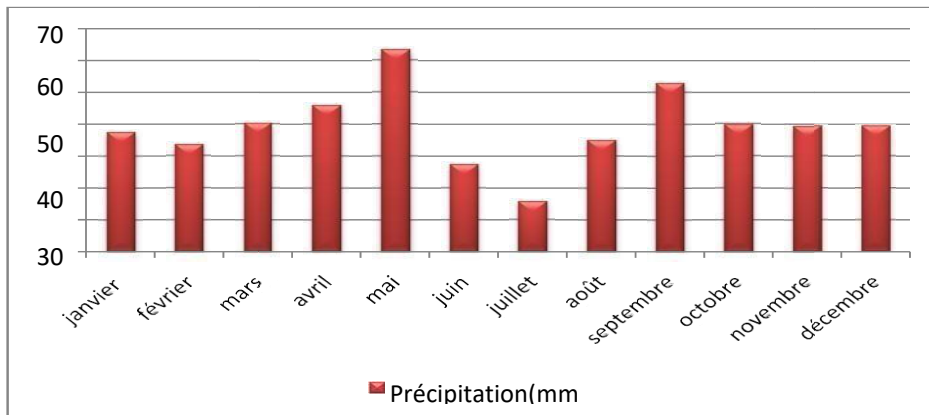
## Chapitre 3 : étude climatologique

---

Hammaentre1997 et 2017.

**Tableau n°12 : précipitation mensuelle enregistrée à la station d'ElHamma(1997-2017).**

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



**Figure N°13 : Histogramme de variation des Précipitation moyennes mensuelles (1997-2017).**

## Chapitre 3 : étude climatologique

---

Les données pluviométriques (Fig.13) montrent que la moyenne mensuelle est environ de 35 mm. Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec 15.7 mm, cependant, les quantités les plus élevées sont observées au mois de novembre avec 63.3 mm.

### II.2.2 Répartition annuelle des précipitations:

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

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

**Tableau n°13 :** Précipitation moyenne annuelle d'El Hamma (1997-2017).

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

Source (SMH, 2017)

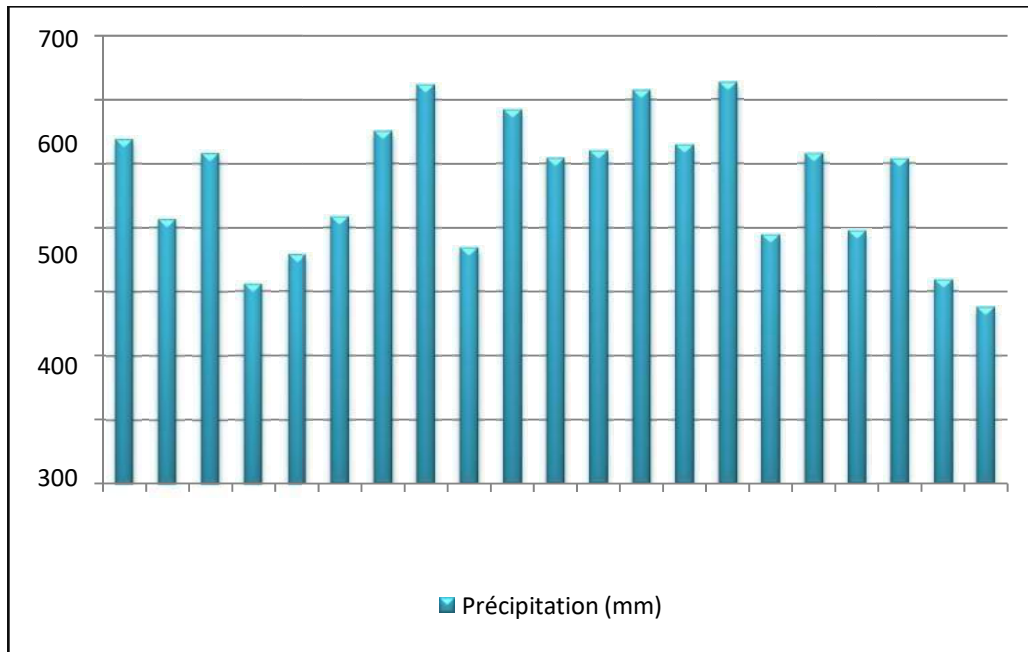


Figure N°14: **Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1997-2017).**

### III. Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN:

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

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

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

**Avec :**

$$P=2T$$

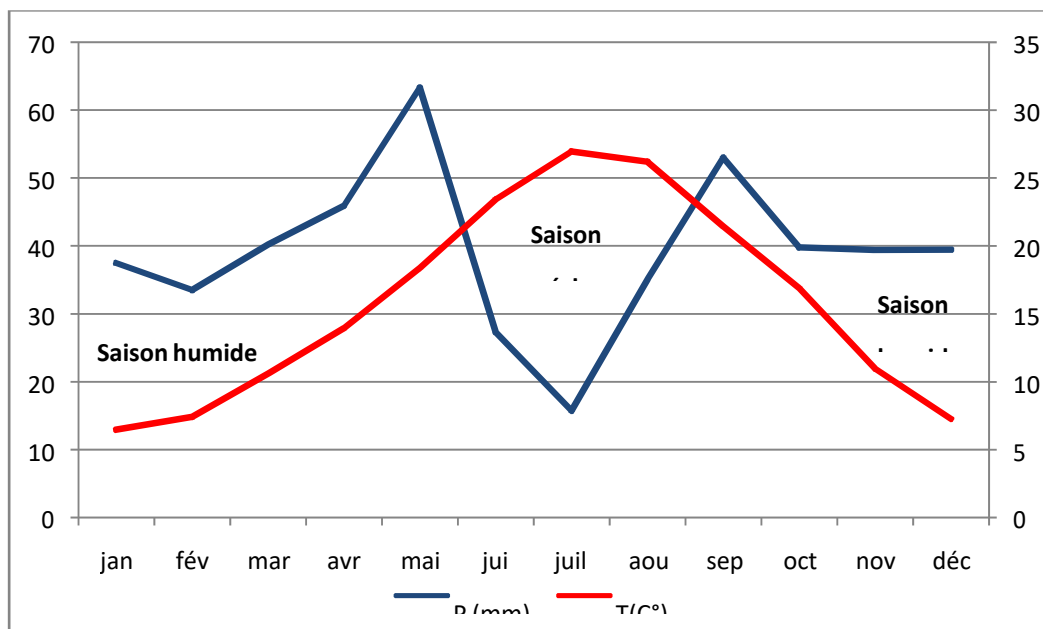
P : précipitations moyenne mensuelle en (mm).

T : température moyenne mensuelle en (C°).

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

## Chapitre 3 : étude climatologique

Mois	P	T(°C)
Jan	37.5	6.48
Fév	33.52	7.43
Mar	40.21	10.61
Avr	45.93	13.95
Mai	63.31	18.40
Jui	27.31	23.44
Juil	15.78	26.97
Août	35.04	26.21
Sep	52.98	21.46
Oct	39.82	16.90
Nov	39.41	10.99
Déc	39.46	7.29



Source (SMH, 2017)

Figure N°15: Diagramme Ombrothermique de Gaussen.

## Chapitre 3 : étude climatologique

➤ **L'analyse de la courbe de Gaussen donne les remarques suivantes:**

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

### IV . Détermination de l'étage bioclimatique :

Pour caractériser le climat de bassin versant étudiés on utilise le climagramme d'Emberger (Fig.14) qui permet de définir l'étage bioclimatique de la station.

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

Avec :

P : Précipitations annuelles en mm .

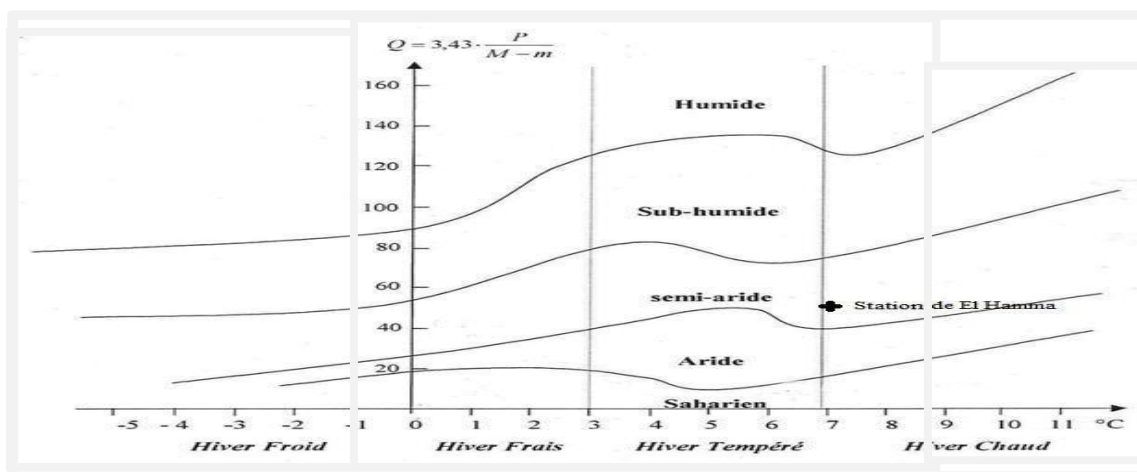
M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degré absolu (k°).

$$(T (K^{\circ}) = T (C^{\circ}) + 273.2).$$

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

**Tableau 14 : Les valeurs de Q2**

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



FigureN°16:Climagrammed'Emberger.

## Chapitre 3 : étude climatologique

---

### V .Le bilan hydrique:

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

$$P = ETR + I + R$$

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

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

- L'évapotranspiration :

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

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

- L'évaporation potentielle (ETP) :

Est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si ceux-ci contiennent en permanence la quantité d'eau suffisante. Elle est estimée par la formule de «

THORNTHWAITE » utilisable pour les climats subhumides et semi-arides, selon la formule suivante :

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

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm.

T : température moyenne mensuelle en °C.

I : somme des indices thermiques mensuels i.

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

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

## Chapitre 3 : étude climatologique

---

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

- **L'évapotranspiration réelle (ETR) :**

**Ruissellement:**

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

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

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

Formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk (1974) ;

$$R = P^3 / 3 \text{ si } P > 600 \text{ mm}$$

- **L'infiltration (I)**

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

On a :

$$P = ETR + R + I$$

Donc :

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

Avec :

I : L'infiltration en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

R : Ruissellement en mm.

## Chapitre 3 : étude climatologique

---

### VI .Calcul du bilan hydrique :

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

### VII .L'Humidité :

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

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

**Tableau 15 : L'Humidité enregistrée à la station la période (1997-2017)**

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

Source (SMH,2017)

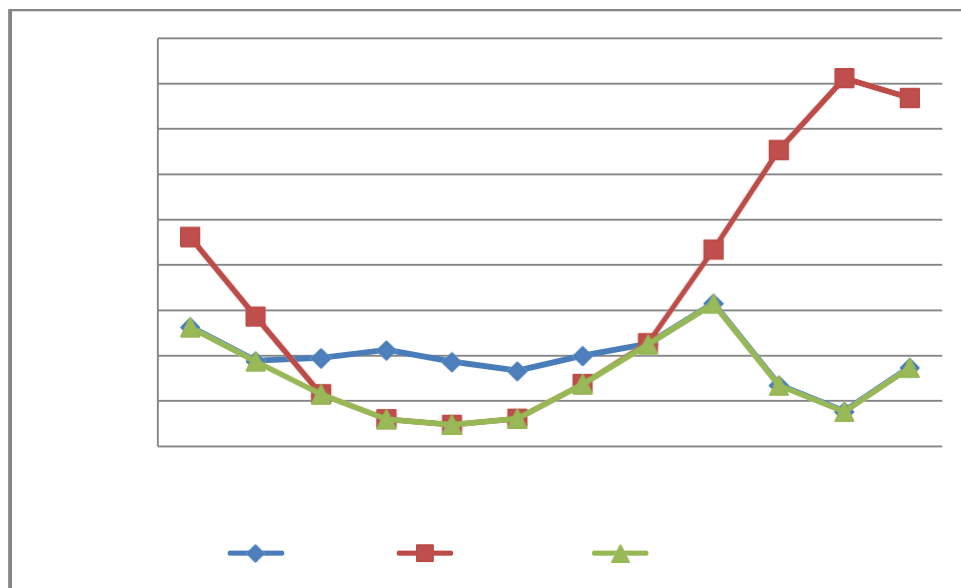
**Tableau 16 :** Bilan hydrique pour la station d'El Hamma Selon la méthode de Thornthwaite.

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

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

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

$EXC=P-ETR$
-------------



**Figure N°17: Représentation graphique du bilan d'eau de Thornthwaite de la Station d'El Hamma (1997/2017)**

➤ **Interprétation du bilan hydrologique :**

Après avoir calculé le bilan d'eau de la station d'El Hamma et d'après la représentation graphique du bilan selon la méthode de Thornthwaite (Fig.06), on constate que :

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

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

**VIII . Le vent :**

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat car la sensation de chaleur ou le transfert d'énergie dépend principalement dans une large mesure de sa force, lui confère un intérêt important en matière de connaissance des vitesses maximal dont la région est soumise. Les potentialités d'évapotranspiration sont également liées aux mouvements de l'air qui conditionnent les variations du bilan hydrique à l'échelle des valeurs moyennes mensuelles et annuelles. (Bahi. A ,2016)

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

**Tableau 17 : La vitesse moyenne du vent (m/s) enregistrée à la station de D'El Hamma (1997-2017).**

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

Source (SMH 1997-2017)



**Conclusion :**

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

saisons distinctes ont été obtenues :

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

Les précipitations sont assez rares voire absentes en été, mais faibles à moyennes en hiver.

Elles tendent à connaitre d'importantes fluctuations d'une année à l'autre, la somme des précipitations moyennes annuelles est de l'ordre de 354.79 mm.

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

# **Chapitre 4**

## **Etude hydrochimique**

# Chapitre 4 : étude hydrochimique

## I. Introduction :

Dans la région de Bouhmama la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée. Actuellement, les cours d'eau de la région étudiée reçoivent en permanence les rejets urbains et industriels chargés d'éléments chimiques et organiques, souvent toxiques. Ces substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuse la santé publique, si elle continue à être déversée dans la nature sans traitement préalable. Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable.

Parce que les eaux de surface participent à l'alimentation de la nappe, la qualité de l'eau souterraine est étroitement liée à celle des eaux de surface. Les activités humaines exercent de nombreuses pressions polluantes d'abord sur les eaux de surface, puis de manière différée sur la nappe.

L'intérêt principal de cette étude, est de mieux évaluer la qualité des eaux souterraines de la région de Bouhmama et de déterminer les principaux polluants qui altèrent leur qualité. (Gay D 2004)

## II. Méthodes et stratégie de travail :

### II.1. Échantillonnage :

Les 14 échantillons destinés aux analyses physico-chimiques sont prélevés dans des flacons en plastiques (fig 18), ces flacons sont rincés à l'eau distillée et égouttée avant d'être rincée plusieurs fois et remplie par l'eau à analyser.



Figure N° 18 : les échantillons dans des flacons en plastiques

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

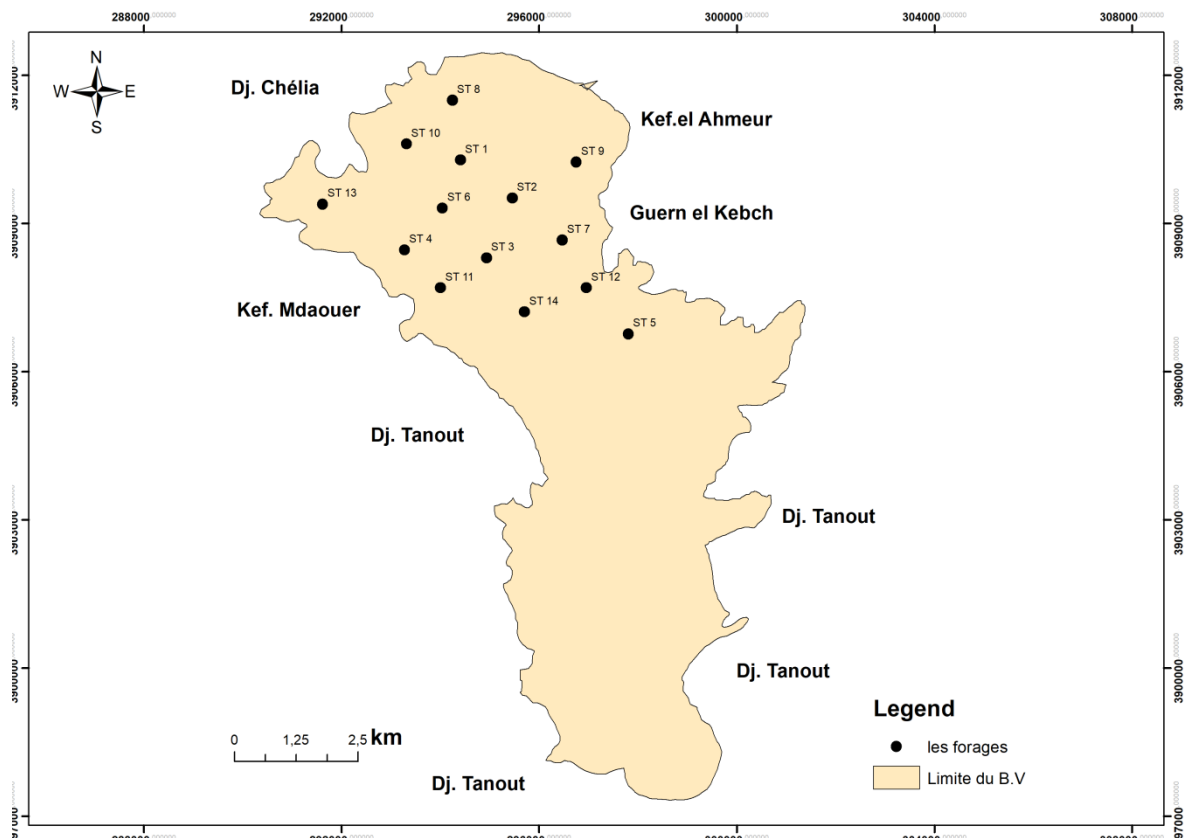


Figure N°19 : Carte d'inventaire des des eaux de la zone d'étude

### II.2. Analyse physico-chimique :

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'étude ont été effectuées au laboratoire d'Elhamma.

#### II.2.1. Mesures in situ :

Trois paramètres physico-chimiques sont mesurés in situ, immédiatement après prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multiparamètre de type CONSORT 926. Il s'agit pH, CE, T°.

#### II.2.2. Analyse des éléments chimiques :

##### II.2.2.1. Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub>)

Les dosages ont été effectués par potentiomètre et par volumétrie.

**Appareil** : appareil de titrage automatique

**Réactifs** : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0.02N, solution tampon.

**II.2.2.2. La dureté totale TH (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>)** La mesure a été effectuée par volumétrie complexométrique.

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

**Réactifs** : Sel disodique de l'acide Éthylène Diamino Tétra Acétique (EDTA) 0.02 N. noir d'Eriochrome T (indicateur coloré, solution tampon PH = 10)

### II.2.2.3. Le sodium (Na<sup>+</sup>) et le potassium (K<sup>+</sup>) :

Les paramètres ont été déterminés par spectrophotomètre à flamme

**Appareil** : un spectrophotomètre à flamme type (SPF CORNING)

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

### II.2.2.4. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>) : ont été déterminés par colorimétrie

**Appareil** : appareil de titrage (burette et bûcher graduée)

**Réactifs** : chromate de potassium, nitrates d'argent AgNO<sub>3</sub>, 0.02 N, Étalon : solution NaCl 0.1g/l.

### II.2.2.5. Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) : ont été déterminés par spectrométrie.

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

**Réactifs** : En gélule le NITRA VER5

## III. Interprétation des résultats :

### III.1. Paramètres physiques :

**III.1.1. La température** : La température est un paramètre important dans l'étude des eaux elle joue un rôle très important dans la solubilité des minéraux. Les températures les plus faibles sont celles des échantillons F9 (18 °C) et la plus élevée est celle qui correspond à l'échantillon F5 et F12 (22 °C). Les normes internationales de référence (AFNOR, OMS et l'UE), préconisent des valeurs seuils de température pour les eaux de boisson à 25 °C. L'examen de la carte d'évolution des températures des eaux (fig.20), montre que la température de ces eaux est en équilibre avec la température annuelle moyenne de l'air (17 à 23°C) qui reflètent les conditions thermiques locales. (Gouïadia L 2008)

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

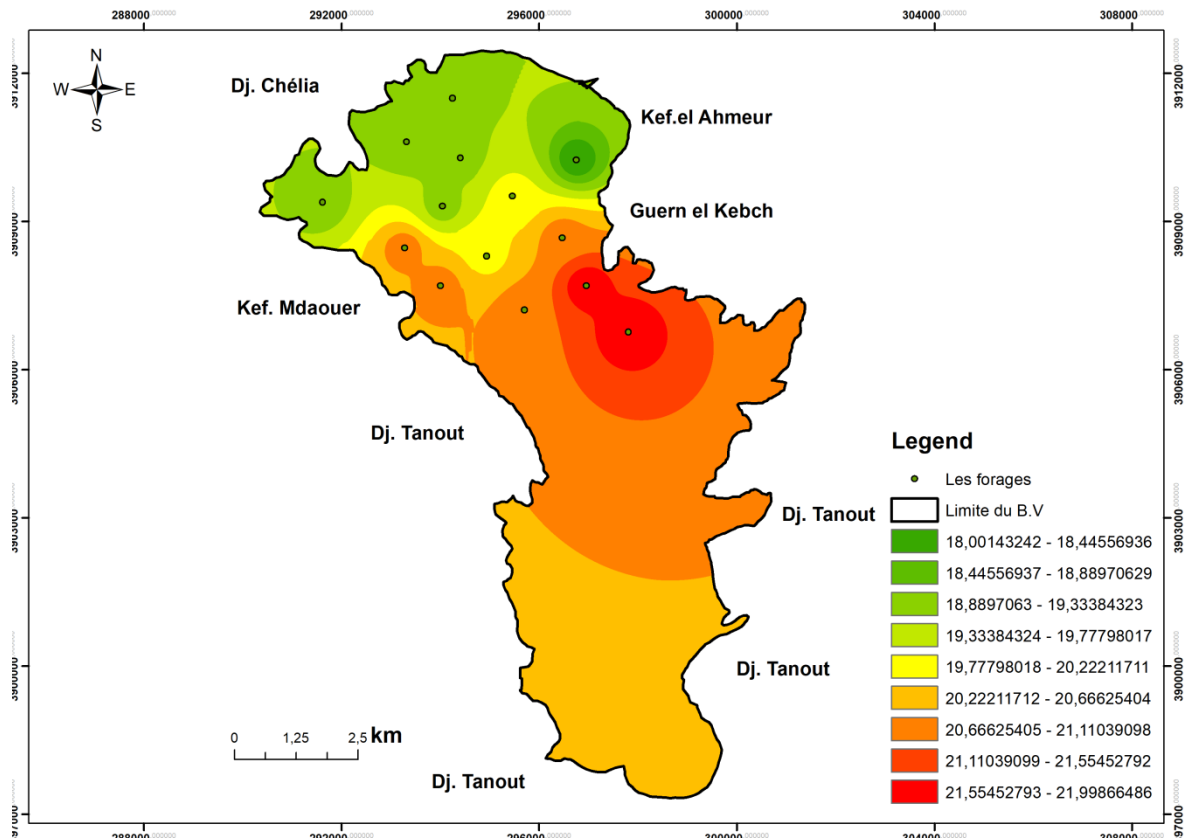


Figure N°20 : Carte de répartition des températures (°C) des eaux de la zone d'étude.

**III.1.2. Le pH :** Le pH est une mesure de la concentration en proton en solution. Les valeurs de pH ont été mesurées sur terrain. Les eaux de la région d'étude montrent que le pH est légèrement basique varie entre 7.2 (F10) et 8.55(F13).

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

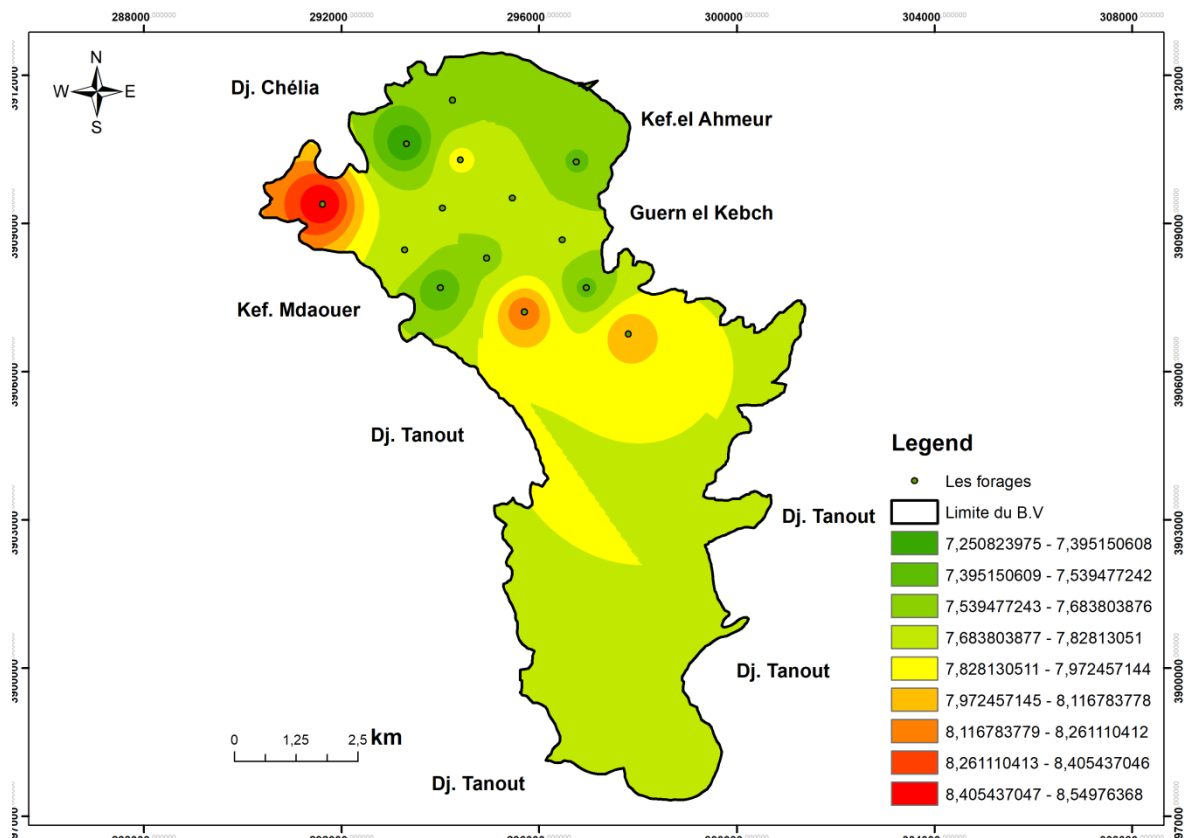
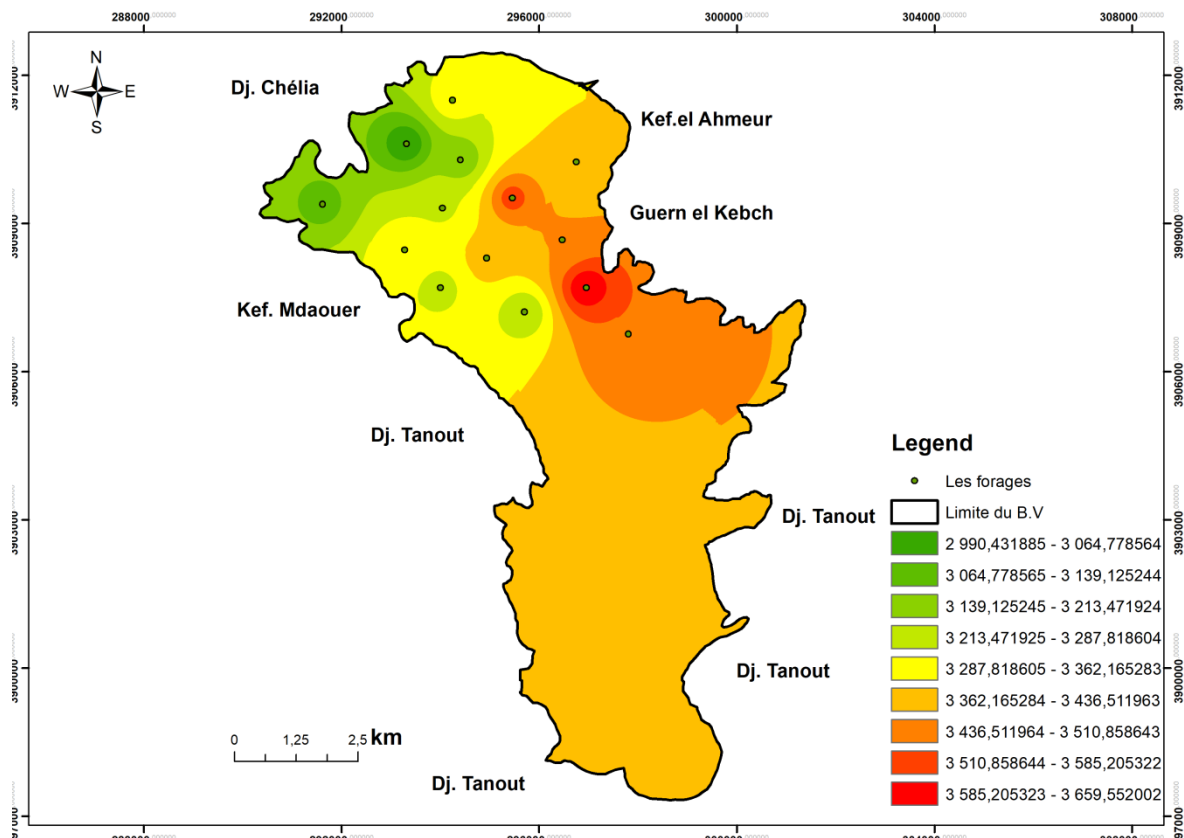


Figure N°21 : Carte de répartition des Ph des eaux de la zone d'étude.

**III.1.3. Conductivité électrique :** La conductivité de l'eau permet d'estimer sa charge en ions, elle s'exprime généralement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou en  $\text{mS}/\text{cm}$  pour des salinités plus élevées. La conductivité de l'eau est fonction de la concentration totale en sels dissous (essentiellement les chlorures), de la distribution des différents sels (composition chimique) et de la température. La valeur maximale de la conductivité est de  $(36,6\text{mS}/\text{cm})$  au point F12, et  $29,9\text{ mS}/\text{cm}$  au point F10 comme valeur minimum. La texture des dépôts détritiques et la vitesse d'écoulement des eaux seraient à l'origine de l'augmentation de la conductivité des eaux. (Cherchali M.E.H (2008))

## Chapitre 4 : étude hydrochimique



### III.2. Paramètres chimiques :

#### III.2.1. Les cations :

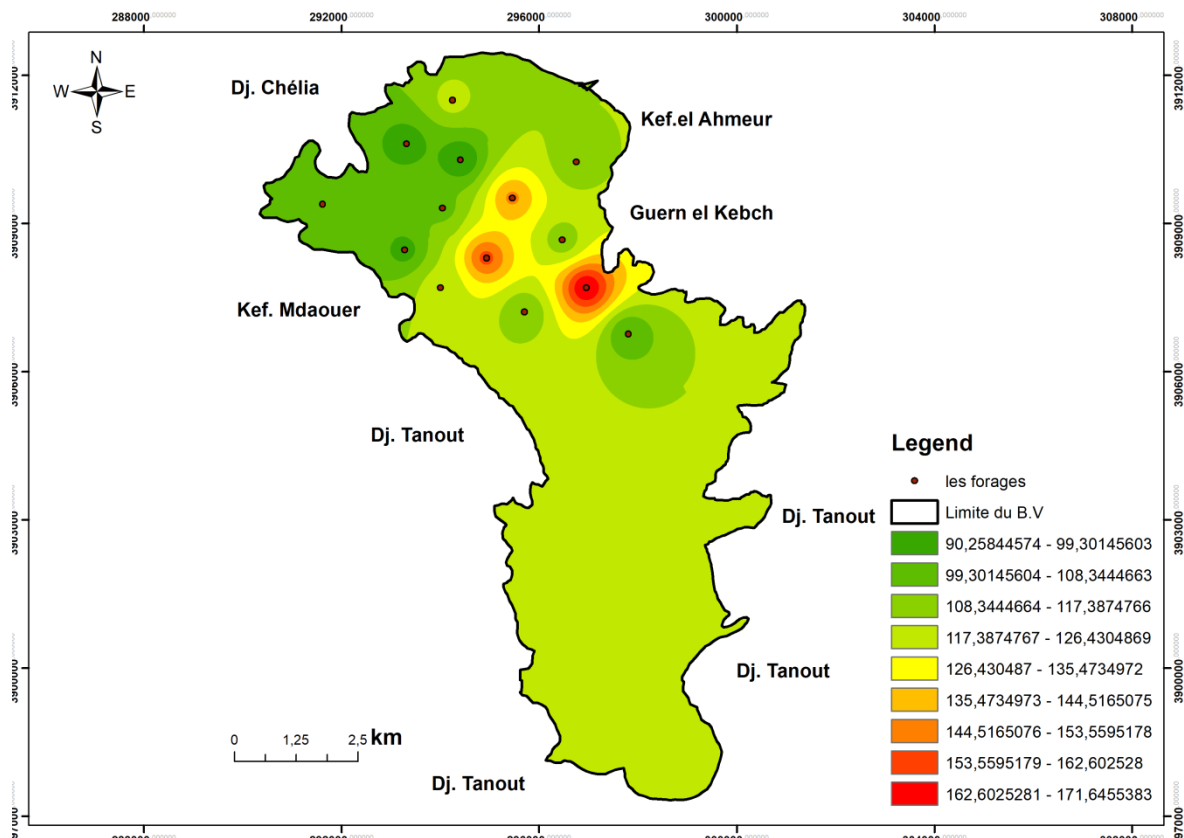
##### III.2.1.1. Le calcium Ca +2 :

Les ions de calcium existants dans l'eau proviennent de la dissolution des carbonates et de roches gypseuses. Pour les roches carbonatées, l'apparition du calcium résulte de la dissolution des formations (CaCO<sub>3</sub>) par l'attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)



La concentration de calcium dans les eaux souterraines de la région d'étude varie entre 90.21 mg/l au point F1 et 171.74 mg/l au point F12. Les fortes teneurs apparaissent au forage (F12) on pense qu'elles résultent de la dissolution des formations carbonatées (CaCO<sub>3</sub>) et les dépôts évaporitiques provenant de Guern el kabch. (El Achheb A 2002)

## Chapitre 4 : étude hydrochimique



### III.2.1.2. Le magnésium Mg+2 :

la concentration du magnésium des eaux souterraines variées entre 77.32 mg/l au point F1 et 160.48 mg/l au niveau du point F8. Il provient essentiellement de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique, ainsi nombreuses réactions d'échanges cationiques, d'adsorption et de désorption (sur des minéraux argileux et les formations carbonatées) influencent la mise en solution du magnésium dans le milieu souterrain.

L'examen de la carte (fig.24) montre que Les teneurs de magnésium provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) de Djebel Kef el ahmeur et Djebel Chelia. (Compagne générale de géophysique 1970)

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

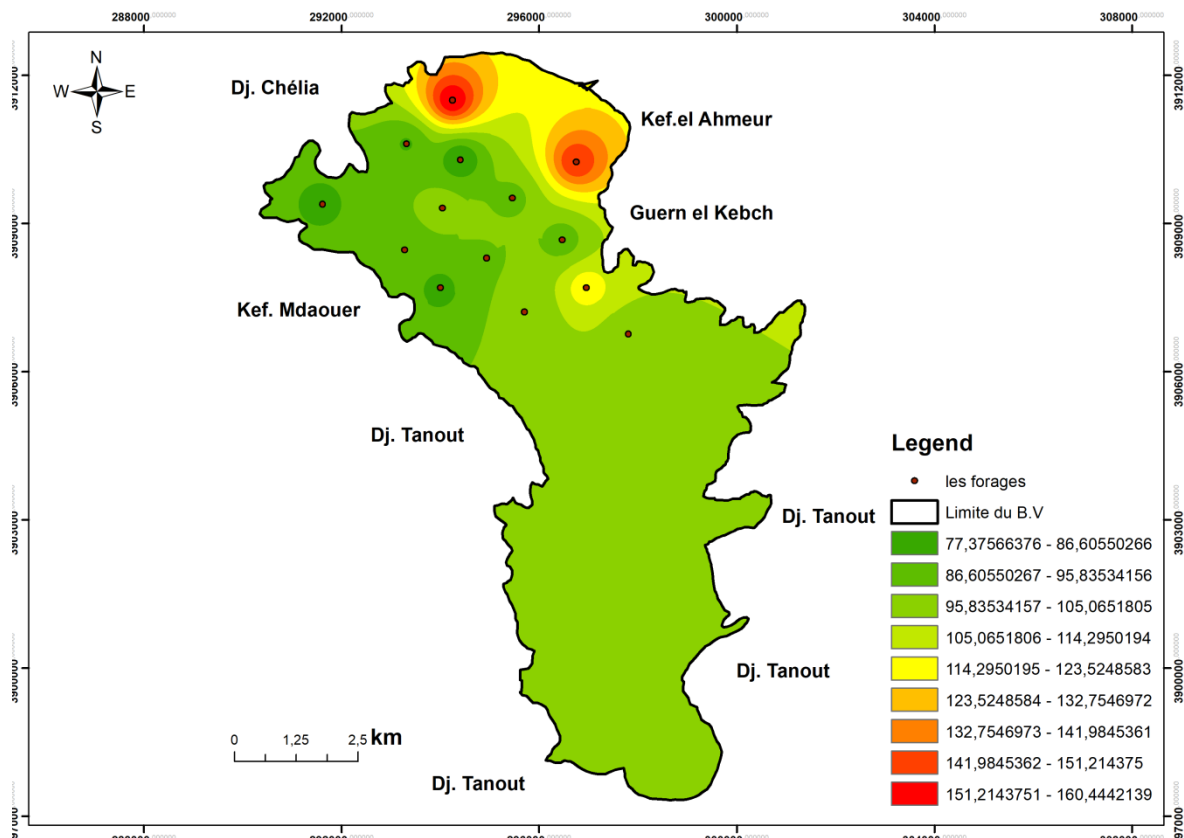


Figure N°24 : Carte de répartition des concentrations de Mg (mg/l).

**III.2.1.3. Sodium et Potassium (Na<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>) :** Le Sodium est beaucoup plus abondant que le Potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables. Il provient du lessivage des formations riche en NaCl (halite argile et marne) et des eaux usées d'origine industrielle et domestique. Les valeurs varient de 61 mg/l pour le point F9 a 194 mg/l pour les points F14.

L'observation de la carte (fig.25) montre que les concentrations sont importantes au centre de la zone d'étude, Les formations évaporitiques du Trias de Djebel Tnout et Djebel Guern el kabch constituent l'origine du sodium. ( Fontes J 1976)

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

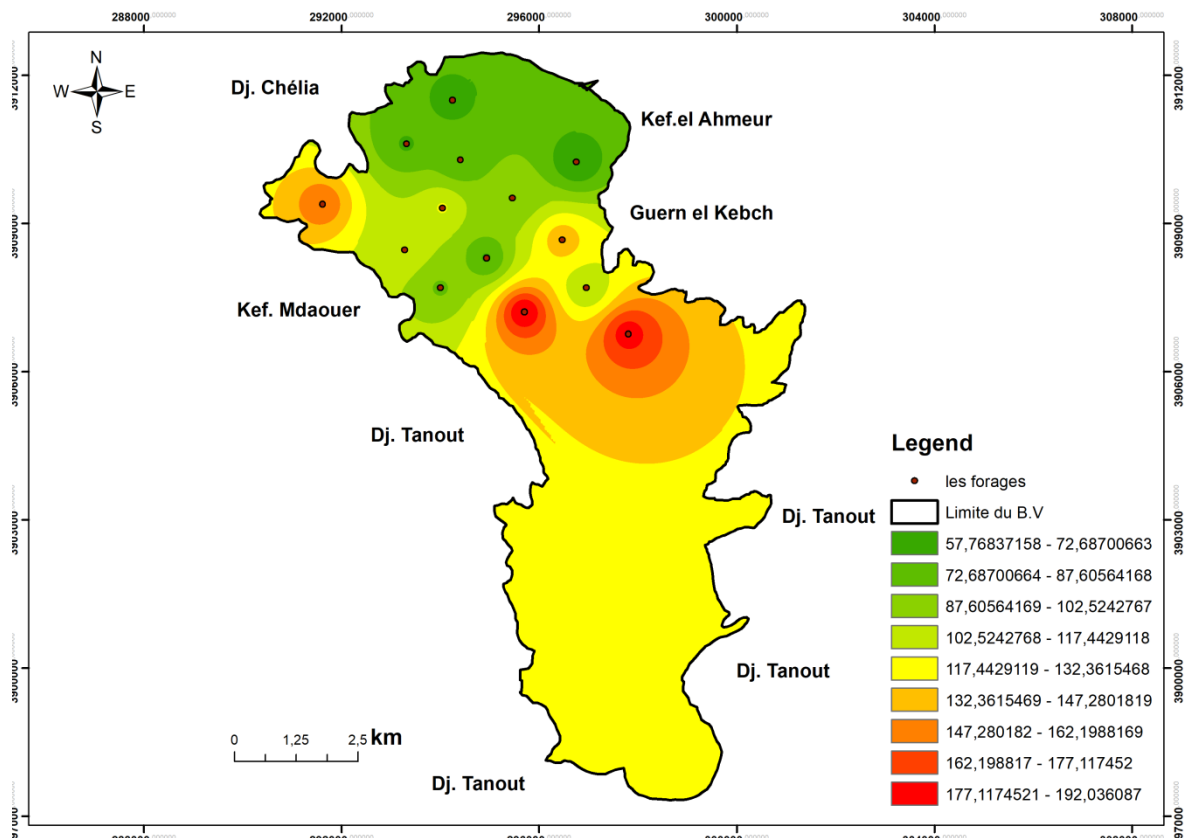
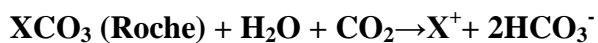


Figure N°25 : Carte de répartition des concentrations de Na (mg/l).

### III.2.2 Les anions :

#### III.2.1.4. Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

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



Avec :

X : désigne un élément chimique de la roche.

En d'autres termes, la teneur en ( $\text{HCO}_3^-$ ) dans l'eau dépend d'un certains nombres de paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l'eau.
- la concentration du ( $\text{CO}_2$ ) dissous.
- la concentration de l'eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

Les concentrations en ions bicarbonatés sont variées entre 77,61mg/l (F13) à 162 mg/l (F1). Les valeurs maximales sont rencontrées au niveau des bordures de Djebel Chelia et Djebel Guern el kabch, ce qui est dû à la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ), soit la à la dissolution des formations gypseuses  $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)$ . (Daoud D 1995)

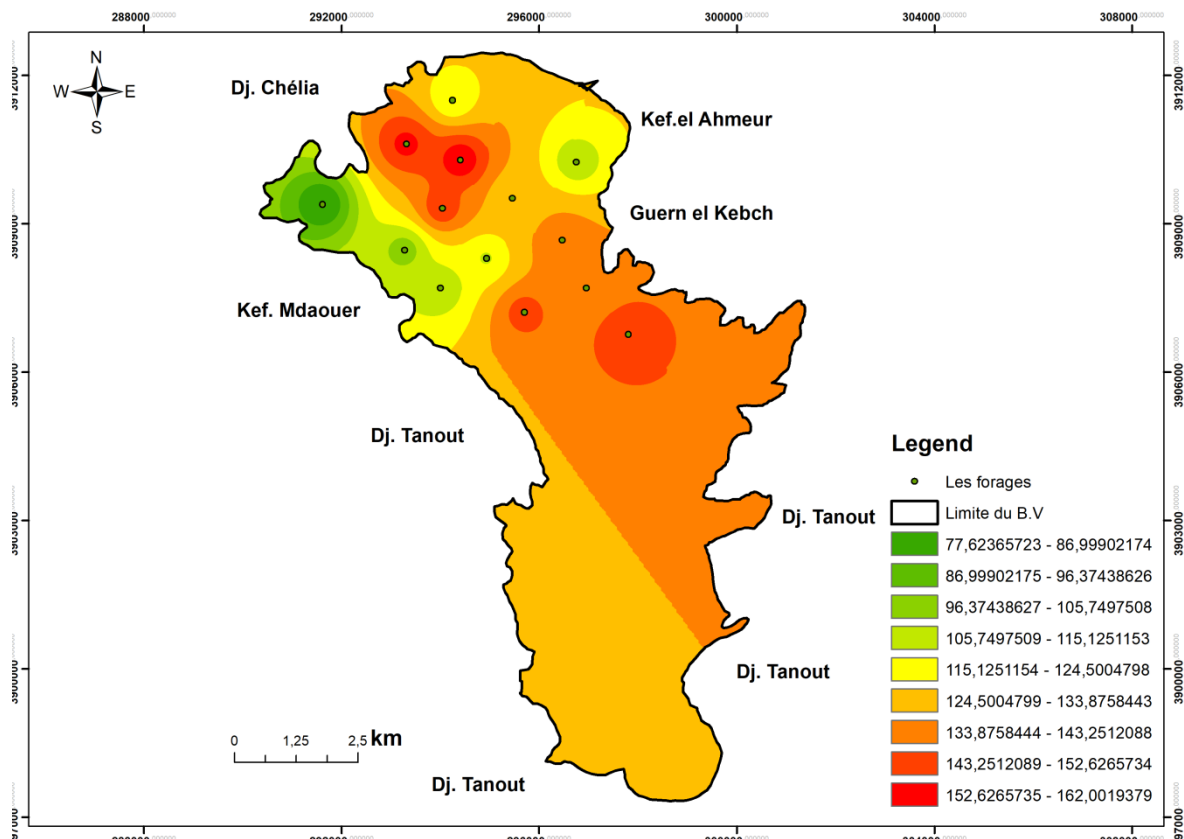


Figure N°26 : Carte de répartition des concentrations de  $\text{HCO}_3$  (mg/l).

**III.2.2.1. Les chlorures :** Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles, mais à des proportions variables. Ils proviennent essentiellement de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salifères; et des rejets des eaux usées d'origine domestique et industrielle.

La valeur minimale est de 355 mg/l pour les forages 2,4 et 7, et la valeur maximale est de 461,5mg/l pour le forage 12. Cette dernière teneur est mesurée au centre de la zone d'étude. Les argiles et les alluvions du dépôt de remplissage Mio-Plio-Quaternaire et les dépôts salifères, provenant de l'érosion des formations gypsifères de Djebel Guern el kabch constituent l'origine de ces chlorures. Une deuxième origine serait attachée à l'activité anthropique liée à l'agriculture utilisant dans la région. (Gouiadia, 2008)

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

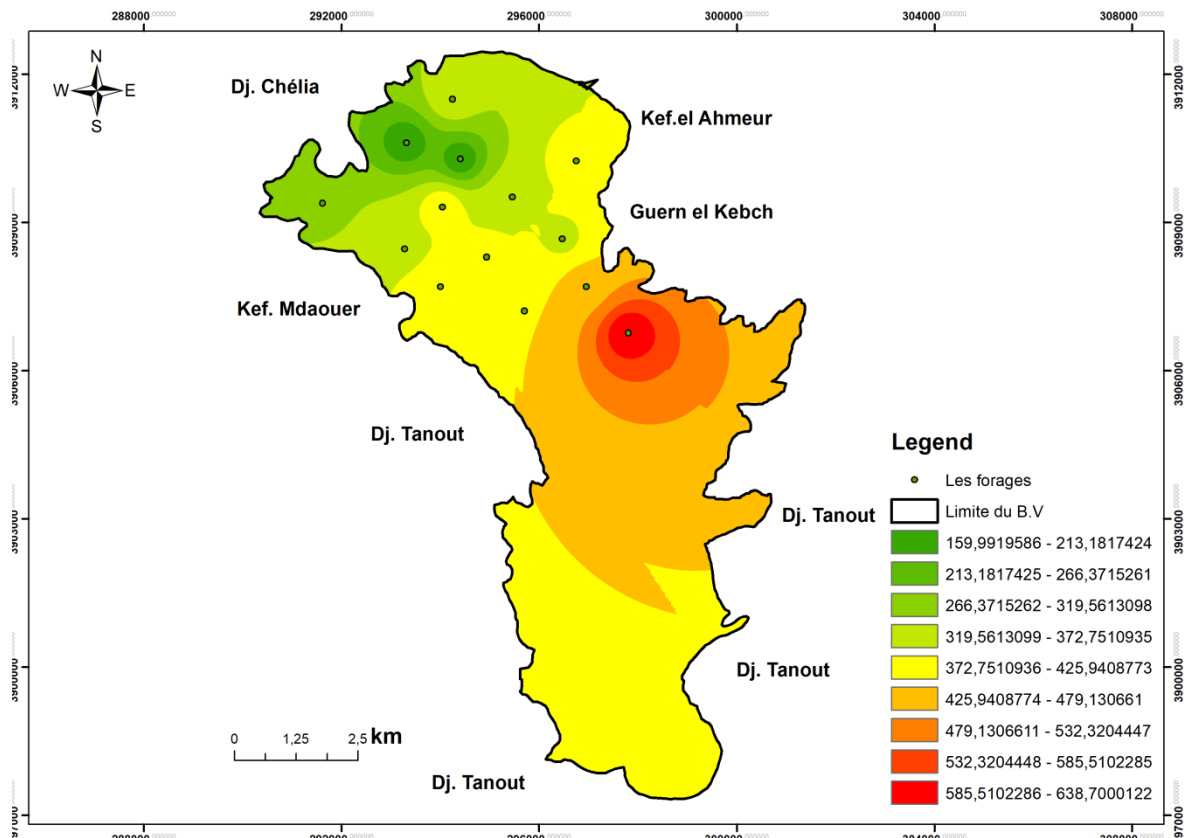


Figure N°27 : Carte de répartition des concentrations de Cl (mg/l).

**III.2.2.2. Les sulfates :** Les concentrations des sulfates varient entre 175 mg/l au point F14 et 485.78 mg/l enregistrés au point F7, la présence des sulfates dans les eaux est due à la solubilité des gypses ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), l'utilisation des engrais chimiques, et le lessivage des terrains argileux et marneux de Djebel Guern elkabch. ( Belkoum 2017)

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

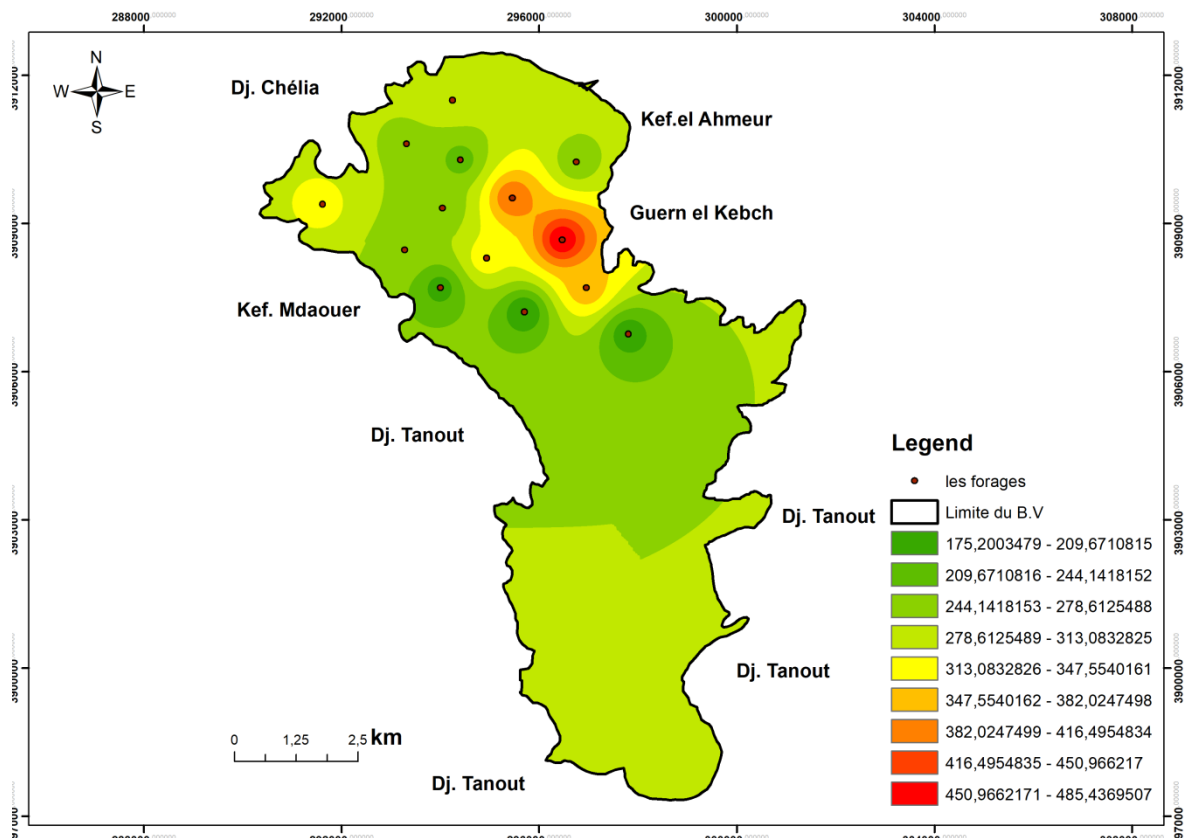


Figure N°28 : Carte de répartition des concentrations de  $\text{So}_4$  (mg/l).

### IV. Détermination des faciès hydrochimiques :

#### IV.1. Diagramme de piper :

Le diagramme de Piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations des échantillons analysés et de définir leur faciès grâce aux éléments majeurs, la représentation des concentrations et exprimée en pourcentage.

La représentation des données de l'analyse de l'eau sur le diagramme de Piper (fig29) a montre que la majorité des points ont un faciès chimique chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

#### IV.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Ce diagramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{++}\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}^{-4}$ ,  $\text{HCO}^{-3}$ ), les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons (fig 30) .( Houha B 2015)

# Chapitre 4 : étude hydrochimique

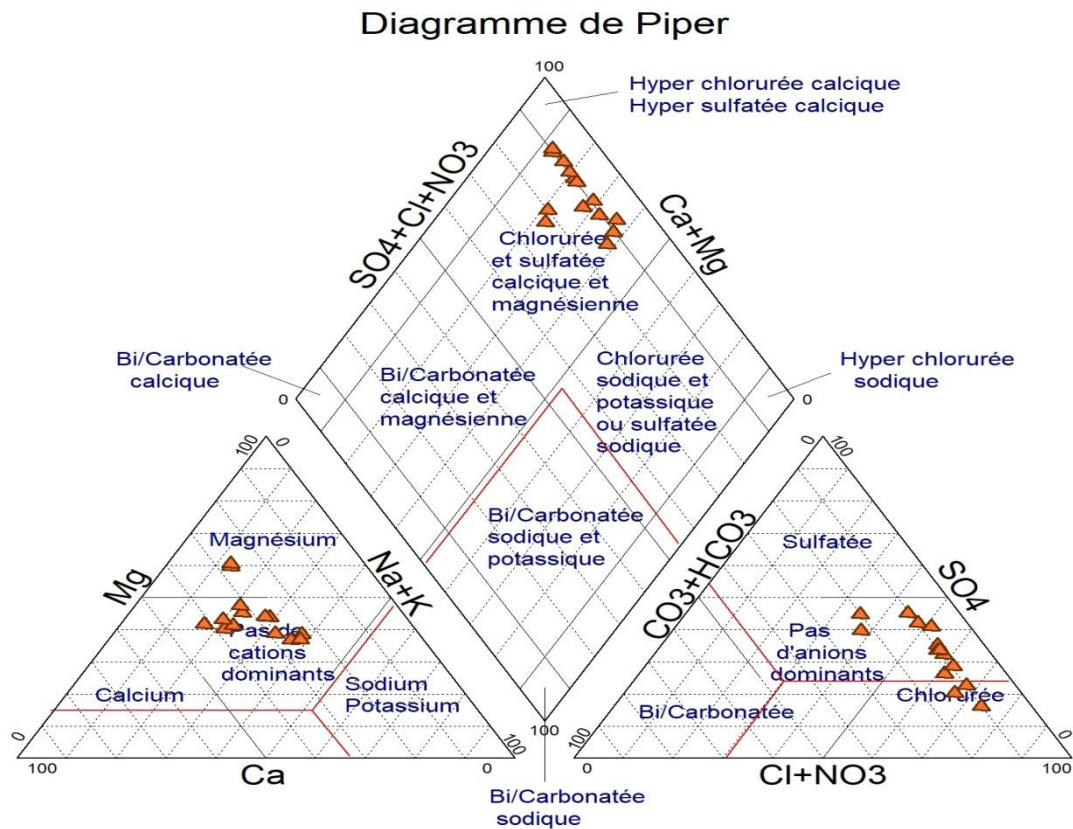


Figure N°29: Diagramme de Piper des eaux souterraines de Bouhmama .

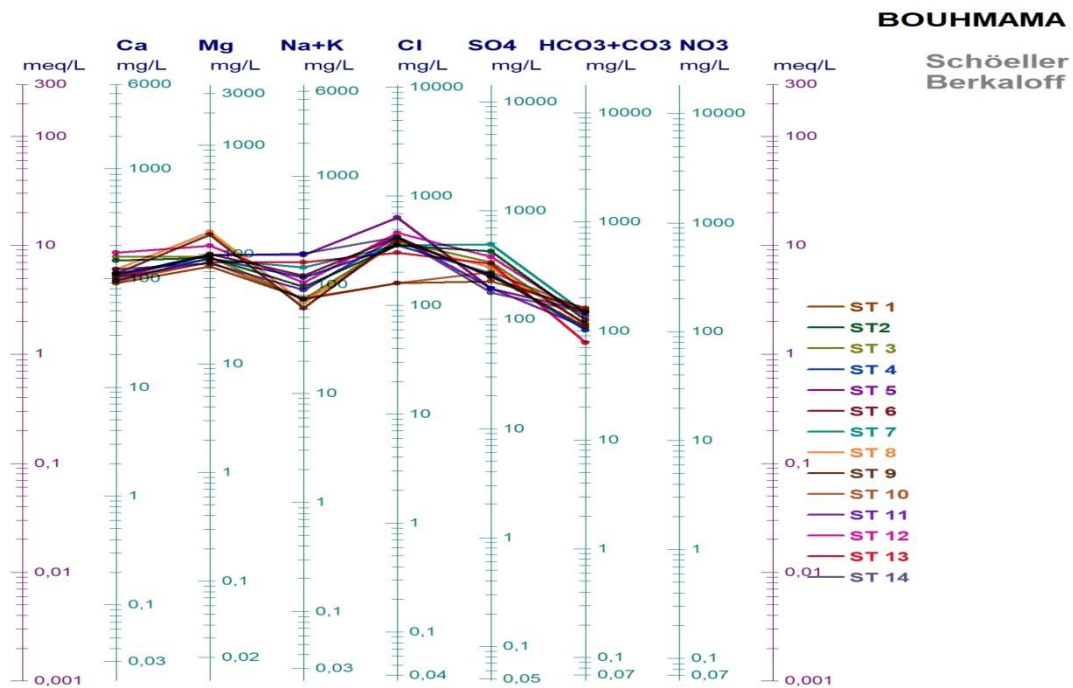
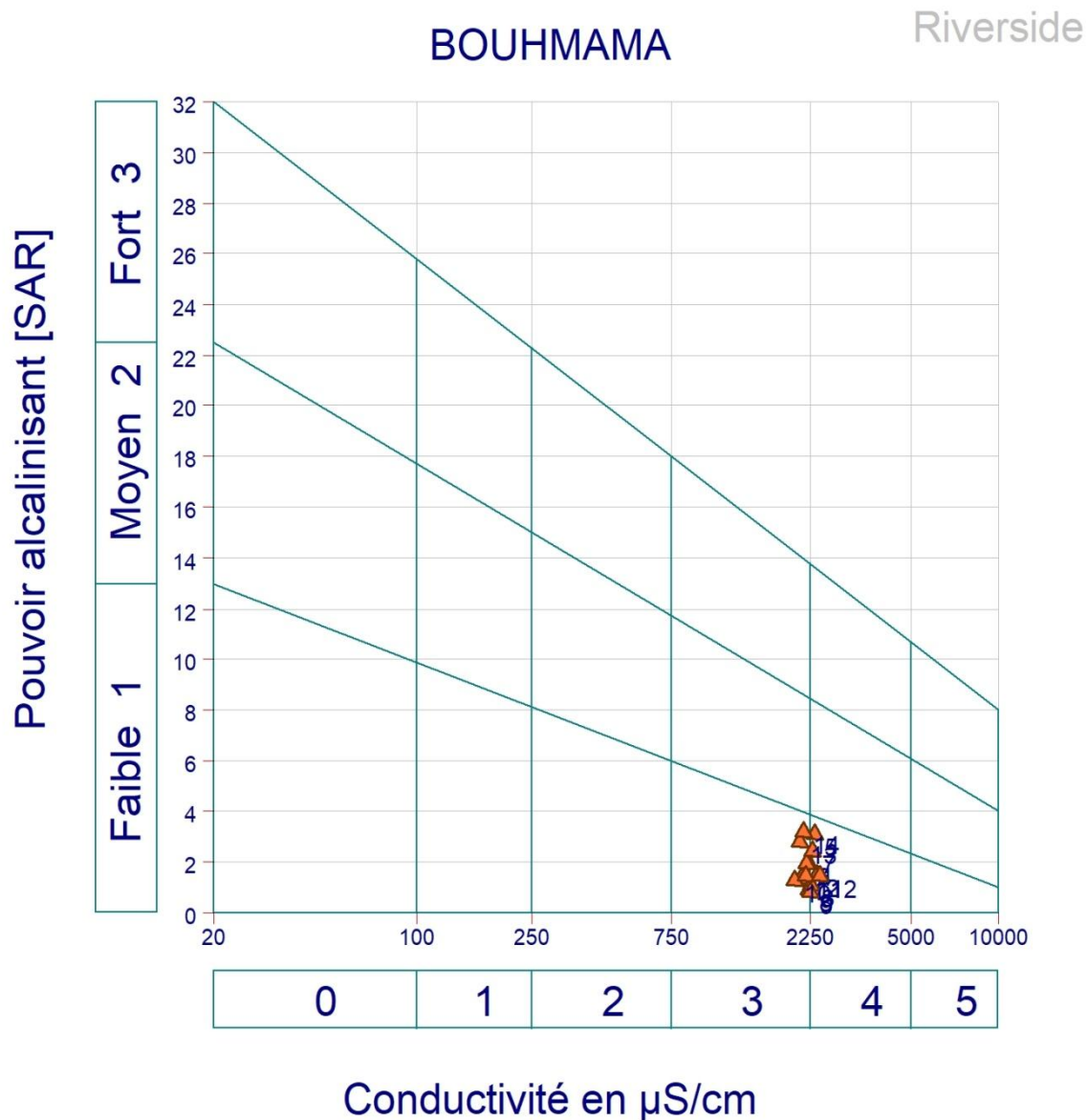


Figure N°30: Diagramme Schoeller–Berkaloff des eaux souterraines de Bouhmama

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

### IV.3. Classification des eaux d'irrigation:

Pour la classification des eaux d'irrigation, on a utilisé le diagramme de Wilcox, ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux souterraines sur leur aptitude à l'irrigation.



**Figure N°31: Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Bouhmama .**

Les échantillons sont regroupés entre **C3S1** et **C4S1** avec des risques de salinisation moyens et ceux d'alcalisation faibles.

## Chapitre 4 : étude hydrochimique

### VIII. Conclusion et recommandation :

Dans la région de Bouhmama, la pollution diffuse des ressources en eau souterraine par l'ion chlorure et sulfate, qui commence à devenir alarmante. Cette étude nous permis de connaitre l'origine de ces éléments qui sont due essentiellement à l'interaction eau-roches, la dissolution et les précipitations minérales, à travers les échanges cationiques tout au long de l'écoulement de l'eau vers son exutoire l'utilisation intensive des engrais chimiques.

Pour mieux protéger la nappe contre la pollution il est nécessaire :

- La fertilisation azotée devrait être adaptée aux besoins des cultures pour un niveau de rendement optimum et aux potentialités du milieu.
- Une surveillance et une étude à long terme des ressources en eaux.
- D'étudier les périmètres de protection de la nappe pour un éventuel développement socio économique dans la région.
- Réalisation d'une station d'épuration des eaux usées au lieu de le stocké dans des bassins ou de le rejeté dans l'environnement.

## **Conclusion général :**

Après avoir étudié les différentes composantes du milieu physique de la région de Bouhmama qui occupe une superficie de 577.8 Km<sup>2</sup>. Il ressort que la zone d'étude offre des caractéristiques spécifiques et particulières à la région montagneuse. On peut conclure les principales caractéristiques des composantes du milieu physique de la région de Bouhmama par une lithologie variée (marne – calcaire – Alluvion ancienne et récente).

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

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

Les précipitations sont assez rares voire absentes en été, mais faibles à moyennes en hiver. Elles tendent à connaître d'importantes fluctuations d'une année à l'autre, la somme des précipitations moyennes annuelles est de l'ordre de 354.79 mm. la température moyenne annuelle est de l'ordre de 15.8 °C.

L'étude hydrochimique permis de connaître l'origine des éléments chimiques qui sont due essentiellement à l'interaction eau-roches, la dissolution et les précipitations minérales, à travers les échanges cationiques tout au long de l'écoulement de l'eau vers son exutoire et l'utilisation intensive des engrais chimiques.

Pour mieux protéger la nappe contre la pollution il est nécessaire :

- La fertilisation azotée devrait être adaptée aux besoins des cultures pour un niveau de rendement optimum et aux potentialités du milieu.
- Une surveillance et une étude à long terme des ressources en eaux.
- D'étudier les périmètres de protection de la nappe pour un éventuel développement socio économique dans la région.
- Réalisation d'une station d'épuration des eaux usées au lieu de le stocké dans des bassins ou de le rejeté dans l'environnement.

# **LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIES**

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **A.I.E.A.(1992)** : Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation. Technical reports series n°331, Vienne.
- **Azzaz H, Cherchali M, Meddi M, Houha B Puig J. M, Achachi A(2008)** : The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Algeria. Hydrogeology Journal 16: 531–546
- **COLIN. A., (2007)**: les climats
- **LUYET. V , VOGEL . J.,(2014)**: Climat, météo et atmosphère.
- **Barbieri M, Boschetti T, Petitta M, Tallini M (2005)** : Stable isotope ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, central Italy). ApplGeochem 20:2063–2081
- **Benammar S, Zouari K, Leduc C, M'barek J (2006)** : Caractérisation isotopique de la relation barrage-nappe dans le bassin du Merguellil (Plaine de Kairouan, Tunisie centrale) Hydrological Sciences Journal 51:2, 272-284, doi:10.1623/hysj.51.2.272.
- **Blavoux B (1995)** : Apports des techniques isotopiques à la connaissance des gisements d'eau minérale Université d'Avignon. La Houille Blanche n° 2/3-1995, p. 51-58
- **DPAT** : Direction de planification et d'aménagement des territoires Avril, 2012 service desstatistique monographique de la wilaya de Khenchela.
- **ANDI, (2013)** : Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages.
- **GAAGAI. A., (2009)** : Etude hydrologique et hydrochimique du Bassin versant du barrage de Babar sur Oued El Arabe région Est de l'Algérie. Mémoire Magister, université de BatnaFaculté des sciences de l'Ingénieurs, Département d'Hydraulique.
- **TAHA-HOCINE. D., (2002)** : Evolution de la qualité des eaux (salinité, Azote et Métaux lourds).
- **Bouderbala A (2014)** : Ground water salinisation in semi-arid zones: an example from Nador plain (Tipaza, Algeria). Environ EarthSci (2015) 73:5479–5496
- **Carre J (1979)** : Variation des teneurs en strontium dans les eaux du bassin de Paris. C.R.Acad.Sc. Paris, série D-1115-1118
- **Celle H, Daniel M, Mudry J, Blavoux B (2000)** : Signal pluie et traçage par les isotopes stables en Méditerranée occidentale. Exemple de la région avignonnaise

(Sud-Est de la France). C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes. Earth and Planetary Sciences 331 (2000) 647–650

- **Cherchali M.E.H (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.
- **Compagne générale de géophysique(CGG) (1970)** : Etude géophysique de la plaine de Rémila.
- **Cosandey C(2003)** : Les eaux courantes. Géographieetenvironnement. Ed. Berlin
- **Craig H (1961)** : Standard for representing concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters.Science 133:1833–1834
- **Dansgaard W (1964)**: Stable isotopes in precipitations. Tellus 16:436–468
- **Daoud D (1995)** : Caractérisation géochimique et isotopique des eaux souterraines et estimation du taux d'évaporation dans le bassin du Chott Chergui (zone semi-aride), Algérie. Thèse de doctorat, université de Paris-Sud centre d'Orsay.
- **Dib (2009)** : Impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine, Ain Yaghout (Est Algérien), mémoire de magister en hydraulique, Batna.
- **Houha B (2007)** : Etude du fonctionnement hydrogéochimique et salin d'un bassin semi-aride. remila-khenchela. Doctorate thesis, university of Annaba, Algeria.
- **Houha B (2015)**: Using contribution of stable isotopes ( $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$ ) in the estimation of recharging altitudes of thermal sources in Aures massif. Algeria,Dissertation, university of Constantine.
- **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.
- **LAFFITTE. R., (1939)** : Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull Serv. Carte Géol. Algérie.
- **Durozoy G (1960)** : Les ressources en eau de masses calcaires crétaées de la région de Constantine. Etude Hydrogéologique Appliquée.
- **El Achheb A (2002)** : Contribution à l'étude de la minéralisation et identification des sources de contamination des eaux souterraines. Application au système aquifère du

bassin Sahel-Doukkala (Maroc). Doctoratethesis, university of Chouaïb Doukkali, Morocco.

- **Fontes J (1976)** : Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles. Quelques aspects, thèse de Doc. Des Sciences. Uni. De Paris VI.
- **Friedman L, Machta A, Soller (1962)** : Water vapour exchange between a water droplet and its environment. *J GeophysRes* 67:2761–2766
- **Gay D (2004)** : Fonctionnement et bilan de retenues artificielles en Tunisie: Approche hydrochimique et isotopique. Doctorate thesis, university of Paris XI, Paris, France.
- **Gonfiantini R, Zuppi GM (2003)** Carbon isotope exchange rate of DIC in karst groundwater. *ChemGeol* 197:319–336
- **Gouïadia L (2008)** : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien. Thèse de Doctorat. Départ. Géologie, Uni. Annaba.
- **Gourcy L, Giraud-Petelet E (2011)** : Utilisation des outils isotopiques pour la délimitation des aires d'alimentation des captages destinés à l'alimentation en eau potable. Report BRGM/RP-59729-FR, 62 p., 22 Ill.
- **S, Laouar R, Choura A (2014)**: Use of geochemical, isotopic, and age tracer data to develop models of groundwater flow: A case study of Gafsa mining basin-SouthernTunisia. *Journal of AfricanEarth Sciences* 100 (2014) 418–436
- **Hamed Y, Dassi L, Tarki M, Ahmadi R, Mehdi K, Ben Dhia H(2010)**: Groundwater origins and mixing pattern in the multilayer aquifer system of the Gafsa-south mining district: a chemical and isotopic approach. *Environ Earth Scidoi* :10.1007/s12665-010-0806-x
- **ANRH (2002)** : Synthèse hydrogéologique et actualisation des données relatives de la plaine Rémila-Khenchela.
- **Houha B (1996)** : Qualité des eaux de khenchela, étude hydro-chimique, mémoire de magistère, Univ. D'Annaba.
- **SELTZER (1946)** : Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physiquedu Globe, Carbonnel.
- **VILA J.M (1977)** : Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.

- **Sebaa Habiba et Babana Chahrazed (2018) :** Evaluation de la qualité des eaux (salinité éléments nutritifs et métaux lourds). Cas de la plaine de Mellagou. (Bouhmama-Khenchela-NE Algérien)

- **LES SITES INTERNET CONSULTES**

- <http://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/dioxyde-de-silicium/>
- <https://www.canada.ca/document-technique-sodium>
- <http://www.inrs.fr/htm/ft27.pdf>
- [https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico\\_chimie\\_PresGen.pdf](https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.pdf)