



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



**UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA**

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département Ecologie et Environnement

**Mémoire**

De fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en Ecologie et  
Environnement

**Option : Ecologie Fondamentale et Appliquée**

**Thème**

***Caractérisation de la minéralisation des eaux  
souterraines de la commune d'el Mahmel par les  
méthodes géochimiques et statistiques***

Soutenue le 18 /07/20221

**Présenté par :**

M<sup>elle</sup> MARIR SARA

**Encadré par :**

M<sup>me</sup> OUANES MIYADA

**Devant le jury**

**Présidente :** Dr. BERKANI CHERIFA MCB Univ. ABBES Laghrour Khenchela

**Encadrante :** Dr. OUANES MIYADA MCB Univ. ABBES Laghrour Khenchela

**Examinatrice :** Dr. DIB DOUNIA MCB Univ. ABBES Laghrour Khenchela

**Promotion : 2020/2021**

# Remerciment

En tout premier lieu, je remercie le **bon Dieu**, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que le courage pour dépasser toutes les difficultés et d'achever ce modeste travail.

Je n'arrive pas à trouver de mots suffisamment forts pour exprimer la reconnaissance que j'ai à l'égard de ma promotrice madame **OUANES MIYADA**, pour m'avoir encadré tout au long de ce travail, que ce soit sur le plan professionnel ou personnel. Elle a su me donner confiance dans les moments difficiles. Je suis sincèrement son très reconnaissant.

Je tiens aussi à exprimer mes plus grands respects et mes vifs remerciements aux membres du jury madame **BERKANI CHERIFA** d'avoir accepté de présider mon jury et madame **DIB DOUNIA** d'avoir accepté d'être examinatrice de mon jury.

Mes remerciements sont aussi adressés à tout le personnel de laboratoire de l'**ADE**

**Zhenchela** et précisément madame **KOB AMEL** qui a participé étroitement à l'avancée de mes recherches et à la réalisation des études expérimentales.

J'exprime mes reconnaissances toute particulière et ma gratitude, qui ne seront jamais concrètement exprimées à l'égard de mes amies **CHEKHA ABIR** et

**MESSAOUDI NADJET**, pour leurs aide précieuse et chaleureuse et leurs inestimable collaboration.

Mes plus tendres remerciements vont à ma famille pour les encouragements et la patience qu'ils m'ont témoignés durant cette tâche.

En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de mon projet de fin d'étude et à l'élaboration de ce modeste travail.

## *Dédicace*

*Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH  
le tout puissant.*

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et de  
remerciement,*

*A mes chers **Parents**, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur  
tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A ma cher sœur **ROKIA** pour son encouragement permanent, et  
son soutien moral,*

*A mes chers frères **TAHA** et **AKRAM**, pour leurs appui et leurs  
encouragements,*

*A ma cher copine **SAFAA** pour son soutien tout au long de ce  
modeste travail,*

*A ma professeur **MIYADA** pour son encouragement et son soutien  
et surtout pour sa patience avec moi,*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon  
parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués,  
et le fruit de votre soutien infailible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

**SARA..**

# Table des matières

## *Table des matières*

<b>Remerciment</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Table des matières</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Introduction general</b>	
<b>I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>CHAPITRE I : Description de la zone d'étude</b>	
<b>1. Situation géographique et administrative</b>	<b>04</b>
<b>2. Situation démographique</b>	<b>05</b>
<b>3. Analyse du milieu</b>	<b>06</b>
<b>3.1. Reliefs</b>	<b>06</b>
<b>3.1.1. Montagnes</b>	<b>06</b>
<b>3.1.2. Plaines</b>	<b>07</b>
<b>3.1.3. Les pentes</b>	<b>07</b>
<b>4. Climatologie</b>	<b>08</b>
<b>5. Situation agricole</b>	<b>09</b>
<b>5.1. Répartition des terres de la commune</b>	<b>09</b>
<b>5.2. Répartition des exploitations agricoles et emploi généré</b>	<b>09</b>
<b>5.3. Production végétale</b>	<b>10</b>
<b>5.4. Elevage</b>	<b>10</b>
<b>6. Ressources en eau</b>	<b>11</b>
<b>CHAPITRE II : Etude géologique</b>	
<b>Introduction</b>	<b>12</b>
<b>1. Aperçu géologique régional</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Géomorphologie</b>	<b>12</b>
<b>2. La stratigraphie</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Les formations secondaires</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1.1. Le premier(t)</b>	<b>16</b>

## *Table des matières*

2.1.1.2. Le seconde (dt)	16
2.1.2. Le Jurassique	16
2.1.3. Le Crétacé	16
2.1.3.1. Les terrains du Valanginien	16
2.1.3.2. L'hauteriviens (les terrains barrémiens et aptiens)	16
2.1.3.3. Les terrains de l'Albien	17
2.1.3.4. Le Cénomaniens des Aurès-Nemamcha	17
2.1.3.5. Turonien	17
2.1.3.6. Crétacé supérieur	17
2.2. Les terrains tertiaires	19
2.2.1. L'Eocène	19
2.2.2. Le Miocène	20
2.2.3. Le Pliocène	20
2.3. Le Quaternaire	21
3. Tectonique	23
Conclusion	24
<b>II. PARTIE PRATIQUE</b>	
<b>CHAPITRE III : Etude hydro-climatologique</b>	
Introduction	25
1. Les facteurs climatiques	25
1.1. Précipitation	25
1.2. Température	26
1.3. Evaporation	28
1.4. Humidité	29
1.5. Vent	30
1.6. Neige	30
1.7. Grêle	31
1.8. Orage	32
1.9. Insolation	33
2. Synthèse climatique	34
2.1. Indice d'aridité DEMARTONNE 1926	35
2.2. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	36

## *Table des matières*

2.3. Climagramme d'Emberger	37
3. Bilan hydrique	39
3.1. L'évapotranspiration	39
3.2. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)	39
3.2.1. ETR selon la formule de turc	40
3.2.2. ETR selon la C.W Thornthwaite	40
3.3. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)	41
3.4. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)	42
3.5. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite	43
4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	44
4.1. Ruissellement	44
4.2. Infiltration	44
Conclusion	45
<b>CHAPITRE VI : Résultats et discussions</b>	
Introduction	46
1. Etude des paramètres physiques	46
1.1. La température de l'eau	46
1.2. La conductivité électrique (CE)	47
1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)	49
1.4. La turbidité	50
2. Etude des paramètres chimiques	51
2.1. La dureté	51
2.2. Les cations	52
2.2.1. Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	52
2.2.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	53
2.3. Les anions	54
2.3.1. Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )	54
2.3.2. Chlorure ( $\text{Cl}^-$ )	55
2.3.3. Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	56
2.3.4. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	57
3. Traitement statistique des données hydro chimiques	58
3.1. Etude statistique en composante principale	58

## *Table des matières*

---

<b>3.1.1. Statistiques élémentaires</b>	<b>58</b>
<b>3.1.2. Matrice de corrélation</b>	<b>58</b>
<b>3.2. Analyse en composante principale</b>	<b>60</b>
<b>3.2.1. Principe de l'ACP</b>	<b>60</b>
<b>3.2.2. Application de l'ACP</b>	<b>60</b>
<b>3.2.2.1. Etude des variables</b>	<b>60</b>
<b>3.2.2.2. La projection des individus</b>	<b>62</b>
<b>Conclusion</b>	<b>63</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>64</b>
<b>Références bibliographique</b>	

# Liste des figures

## *Liste des figures*

---

### **Chapitre I : Description de la zone d'étude**

<b>Figure n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page n°</b>
<b>1</b>	Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude	<b>4</b>
<b>2</b>	Les limites de la commune d'El Mahmel	<b>5</b>
<b>3</b>	Le secteur d'Esbikha dans le cadre régional	<b>6</b>
<b>4</b>	Profil topographique (N-S) à travers la commune d'El Mahmel	<b>7</b>
<b>5</b>	Carte des pentes de la commune d'El Mahmel	<b>8</b>

### **Chapitre II : Etude géologique**

<b>Figure n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page n°</b>
<b>6</b>	Schéma structural simplifié de la région d'El Mahmel	<b>13</b>
<b>7</b>	Carte géologique de la région de Khenchela-El Mahmel	<b>15</b>
<b>8</b>	Schéma structurale des coupes interprétatives de la région d'El Mahmel	<b>18</b>
<b>9</b>	Carte géologique de la commune d'El Mahmel.	<b>22</b>

### **Chapitre III: Etude hydro climatologique**

<b>Figure n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page n°</b>
<b>10</b>	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2020)	<b>26</b>
<b>11</b>	Courbe des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2014)	<b>27</b>
<b>12</b>	Courbe des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2020)	<b>27</b>
<b>13</b>	Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2004-2017)	<b>28</b>
<b>14</b>	Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2014)	<b>29</b>

## *Liste des figures*

<b>15</b>	Diagramme des moyennes des vitesses des vents de la période (2004-2014)	<b>30</b>
<b>16</b>	Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (2004-2014)	<b>31</b>
<b>17</b>	Diagramme des moyennes des nombres de jours de grêle de la période (2004-2014)	<b>32</b>
<b>18</b>	Diagramme des moyennes des nombres de jours d'orage de la période (2004-2014)	<b>33</b>
<b>19</b>	Diagramme des moyennes des nombres de jours d'insolation de la période (2004-2014)	<b>34</b>
<b>20</b>	L'indice d'aridité annuel de de Martonne	<b>36</b>
<b>21</b>	Diagramme Ombrothermique de Gaussen et de Bagnouls (2004-2020)	<b>37</b>
<b>22</b>	Climagramme d'Embergie pour la zone d'étude	<b>38</b>

### **Chapitre IV: Résultats et discussions**

<b>Figure n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page n°</b>
<b>23</b>	Histogramme de variation de la température des eaux de la zone d'étude.	<b>48</b>
<b>24</b>	Histogramme de variation de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude.	<b>49</b>
<b>25</b>	Histogramme de variation de pH des eaux de la zone d'étude.	<b>50</b>
<b>26</b>	Histogramme de variation de la turbidité des eaux de la zone d'étude	<b>51</b>
<b>27</b>	Histogramme de variation de la concentration de la dureté totale des eaux de la zone d'étude	<b>52</b>
<b>28</b>	Histogramme de variation de la concentration du calcium des eaux de la zone d'étude	<b>53</b>
<b>29</b>	Histogramme de variation de la concentration du magnésium des eaux de la zone d'étude	<b>54</b>
<b>30</b>	Histogramme de variation de la concentration des bicarbonates des eaux de la zone d'étude	<b>55</b>

## *Liste des figures*

---

<b>31</b>	Histogramme de variation de la concentration des chlorures des eaux de la zone d'étude	<b>56</b>
<b>32</b>	Histogramme de variation de la concentration des sulfates des eaux de la zone d'étude	<b>57</b>
<b>33</b>	Histogramme de variation de la concentration des nitrates des eaux de la zone d'étude	<b>58</b>
<b>34</b>	Cercle des corrélations (axes I et II)	<b>62</b>
<b>35</b>	Projection des variables et des individus sur le plan formé par les deux premiers axes.	<b>64</b>

# Liste des tableaux

## *Liste des tableaux*

---

### **Chapitre I : Description de la zone d'étude**

<b>Tableau n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page n°</b>
1	Répartition des exploitations agricoles dans le secteur d'étude	9
2	Estimation des rendements (2016- 2017)	10
3	Répartition du cheptel à travers la commune	11

### **Chapitre III: Etude hydro climatologique**

<b>Tableau n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page n°</b>
4	Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma	25
5	Type de climat selon l'indice d'aridité	35
6	ETR selon la formule de turc	40
7	ETR selon la C.W Thornthwaite	41
8	Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'El Hamma	43
9	La lame d'eau ruisselée pour la station d'El Hamma.	44
10	La lame d'eau infiltrée estimée a laide du bilan hydrologique	45

### **Chapitre IV : Résultats et discussions**

<b>Tableau n°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page n°</b>
11	Calcule des moyennes et des écarts-type de la série	59
12	Matrices de corrélation	60
13	Cosinus carré des variables	63

# Liste des abréviations

## *Liste des abréviations*

---

- **DRE** : Direction des ressources en eau ;
- **RN** : Route national ;
- **DPAT** : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire ;
- **DSA** : Direction des services agricole ;
- **DCA** : Délégation Communale de l'Agriculture ;
- **ADE** : Algérienne des eaux ;
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **OMM** : Organisation météorologique mondiale ;
- **Dj** : Djebel ;
- **N-S** : Nord-Sud ;
- **NE-SW** : Nord Est-Sud Ouest ;
- **SAU** : Surface agricole utile ;
- **P moy** : Précipitations moyennes ;
- **TH** : Titre hydrométrique
- **Pr** : Précipitations annuelles ;
- **T** : Température ;
- **M** : Maximal ;
- **m** : Minimal ;
- **ACP** : Analyse en composante principale ;
- **km<sup>2</sup>** : Kilomètre carré ;
- **%** : Pourcentage ;
- **Kms** : kilomètres ;
- **ha** : Hectares ;
- **mm** : Millimètre ;
- **°C** : Degré celcius ;
- **Nbr de jrs** : Nombre de jours ;
- **cm** : Centimètre
- **h** : Heure ;
- **μS** : Micro simense ;
- **°f** : Fahrenheit ;
- **mg/l** : Milligramme par litre.

# Introduction générale

## *Introduction générale*

---

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. L'eau peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou tout simplement d'une qualité médiocre à d'autres endroits.

L'eau contenue dans le sol et le sous-sol a pour origine quasi exclusive les précipitations du grand cycle de l'eau .

On peut y distinguer une eau « verte », qui est l'eau de pluie stockée temporairement en surface dans les premiers mètres du sol et qui est reprise par l'évaporation et (surtout) par la transpiration de la végétation (poste dominant dans le bilan hydrologique) et une eau « bleue », souterraine, qui s'infiltre plus profondément dans la terre, circule dans les pores, fissures et autres interstices et constitue les aquifères dont nous parlerons plus loin.

Cette eau s'écoule vers les sources, les fleuves ou directement dans la mer et elle peut être captée par l'homme grâce à des puits ou à des forages. Pour compléter cet inventaire, l'eau « bleue » superficielle est celle qui s'écoule dans les rivières.

L'eau constitue un aliment essentiel puisque indispensable à la vie. L'eau potable ordinaire est une eau possédant des qualités physico-chimiques, microbiologiques qui la rendent apte à la consommation humaine.

Aujourd'hui, la qualité de l'eau nous concerne tous. Cette dernière est prioritaire pour la santé, c'est pourquoi il est nécessaire de stocker l'eau et de la contrôler.

Les recherches scientifiques menées sur l'hydrochimie des eaux souterraines sont d'un grand intérêt. La région d'étude (la plaine d'El Mahmel) se situe à l'Est de la Wilaya de Khenchela à l'Est de l'Algérie. Cette plaine s'étale sur une superficie de 371 km<sup>2</sup>. L'étude proposée a pour but la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, climatique, avec une synthèse hydro chimique des ressources en eau de la région.

Le programme d'action pour la réalisation de ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques spatiotemporels ?

Afin de répondre à ces préoccupations, Notre démarche a été fondée sur deux principaux axes : axe théorique et axe pratique.

## *Introduction générale*

---

**La partie théorique;** est réservée à l'étude bibliographique comprenant deux chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré à cerner, la description générale de la commune d'El Mahmel wilaya de khenchela notre zone d'étude.
- Le deuxième chapitre traitera la géologie de la région.

**La partie pratique ;** est réservée à l'étude expérimentale comprenant deux chapitres :

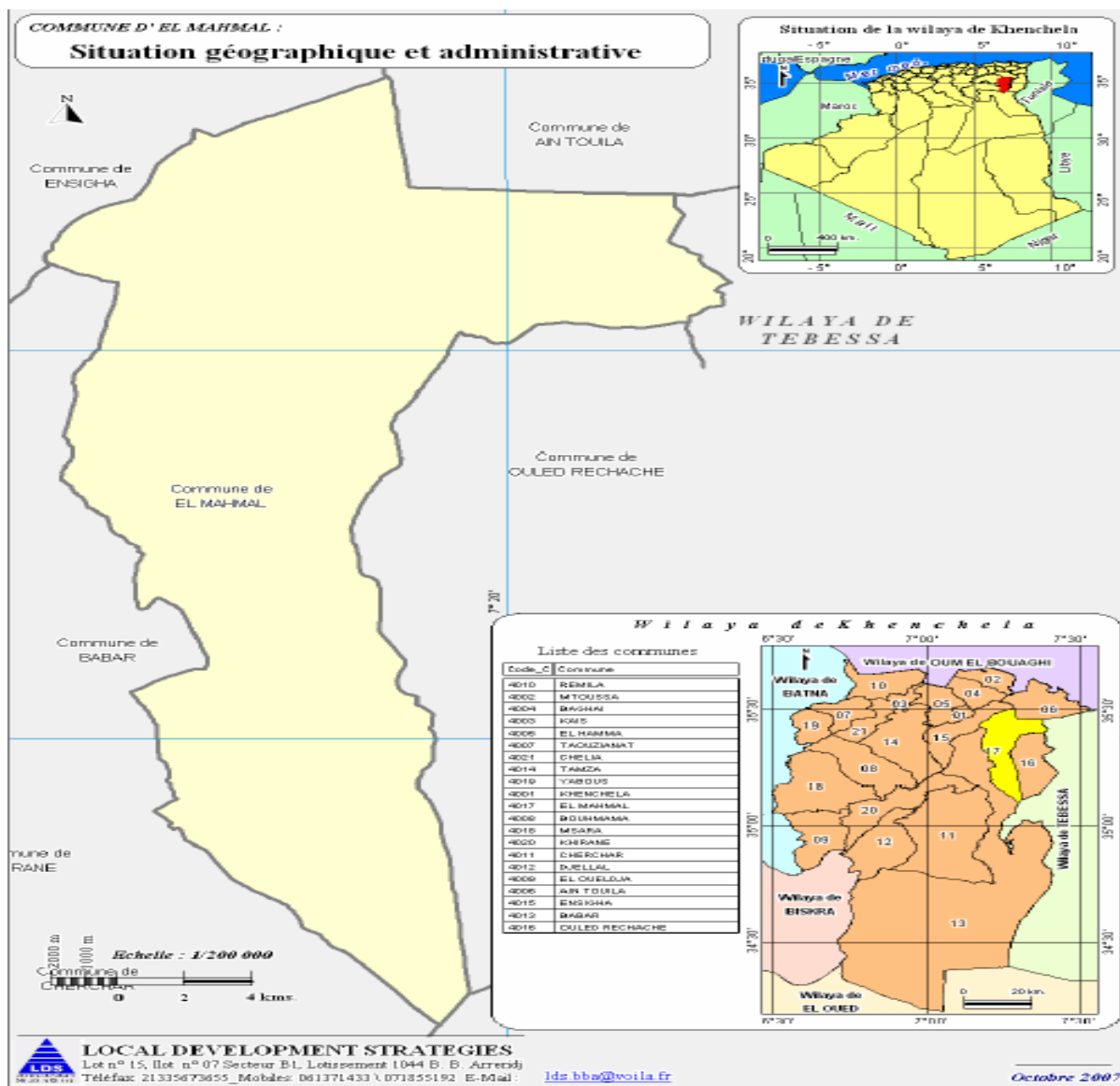
- L'étude hydro-climatologique qui a pour but de définir l'état climatique et hydrologique de la zone d'étude.
- L'étude hydro chimique qui a pour but de définir l'état chimique des eaux souterraines, de les comparer et de suivre l'évolution dans l'espace et dans le temps par les méthodes géochimique et statistiques.

Cette étude a été réalisée au laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) Khenchela.

# **Description de la zone d'étude**

### 1. Situation géographique et administrative

Avant le découpage administratif de février 1985, la commune d'El-Mahmel faisait partie du territoire de la Wilaya de Tébessa. Elle a été donc rattachée à la wilaya de Khenchela en 1985 faisant partie de la daïra de Ouled Rechache (Zoui)(BOUAKKAZ, 2017), elle s'étend sur une superficie de 371Km<sup>2</sup> et compte deux agglomérations secondaires (Ouled Azzedine et Icherthithéne) (Figure 01).

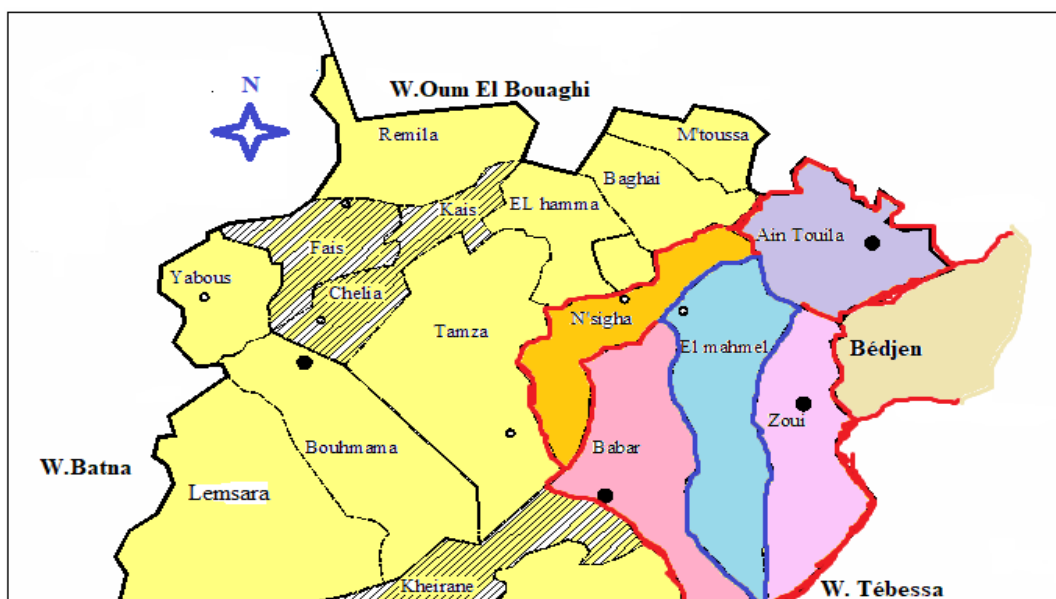


**Figure 01 : Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude (Source : DRE W. de Khenchela).**

La commune d'El Mahmel fait partie de la Daïra d'Ouled Rachache (Zoui), située à **9km** du chef lieu de la Wilaya. Sur l'axe de la RN 32 qui traverse l'agglomération d'Est en Ouest la reliant au chef lieu de la Daïra de Ouled Rachache (Zoui). Elle occupe un site relativement plat en légère déclivité d'Ouest en Est.

Elle est située dans la partie Nord-orientale de la wilaya de Khenchela entre :

- Les communes d'AIN TOUILA et N' SIGHA au Nord ;
- La commune de BABAR à l'Ouest ;
- Les communes de BEDJEN et OULED RECHACHE à l'Est ;
- La Wilaya de TEBESSA au Sud (Figure 02).



**Figure 02 : Les limites de la commune d'El Mahmel.**

## 2. Situation démographique

La commune d'El Mahmel comprend trois agglomérations à savoir : centre de la commune ; Ichertithéne et Ouled Azzedine. La population de la commune approchait les 48 280 habitants avec une densité de 130h/km<sup>2</sup>.

Dans l'ensemble les taux moyens annuels de la croissance démographique de la zone restent parmi les mêmes taux. La population inégalement répartie, elle distingue par une concentration de la population au centre de la commune plus du 72.88%, et 21.65% dans des zones éparses du 5.47% dans les agglomérations secondaires. (DPAT, 2019)

Au plan régional, le secteur d'Esbiqha se situe dans la commune d'El Mahmel qui se localise dans le prolongement Est et Nord-est des monts des Aurès-Nemamcha, à la limite Est de la Wilaya de Khenchela (Figure 03).

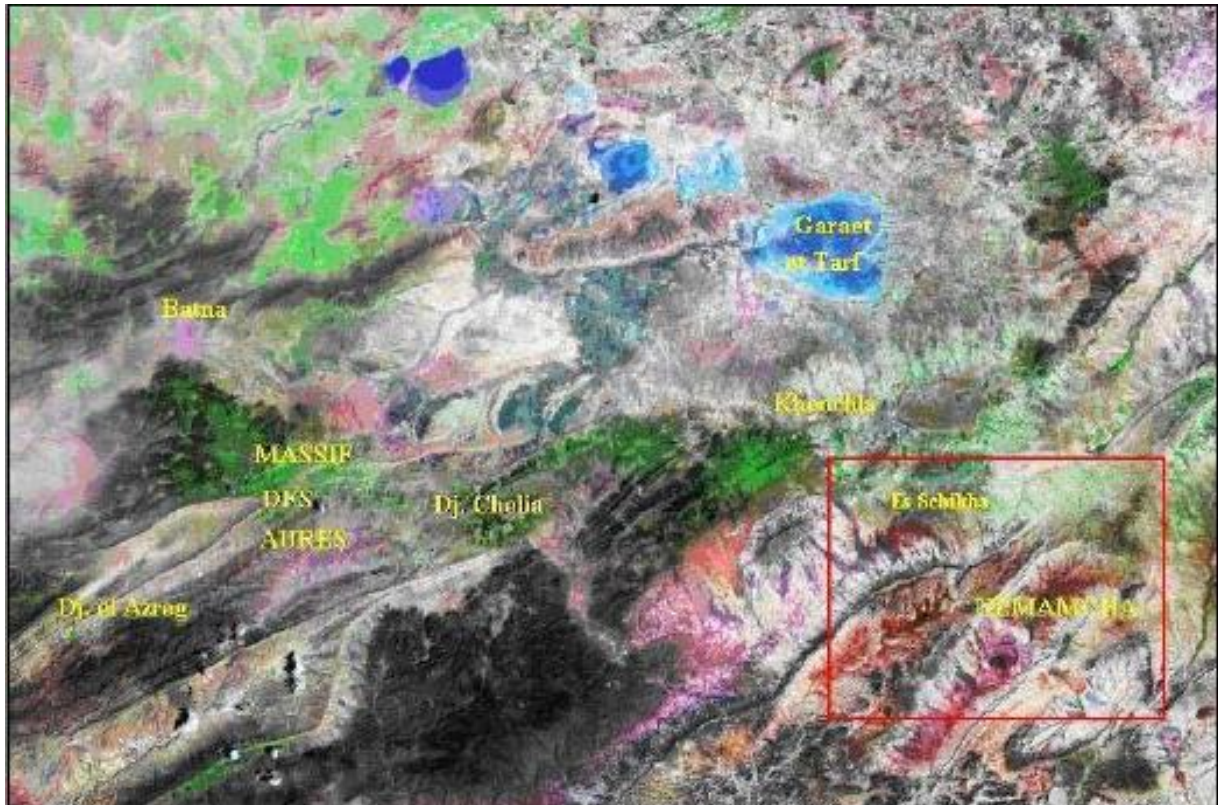


Figure 03 : Le secteur d'Esbiqha dans le cadre régional (Source : DRE W. Khenchela).

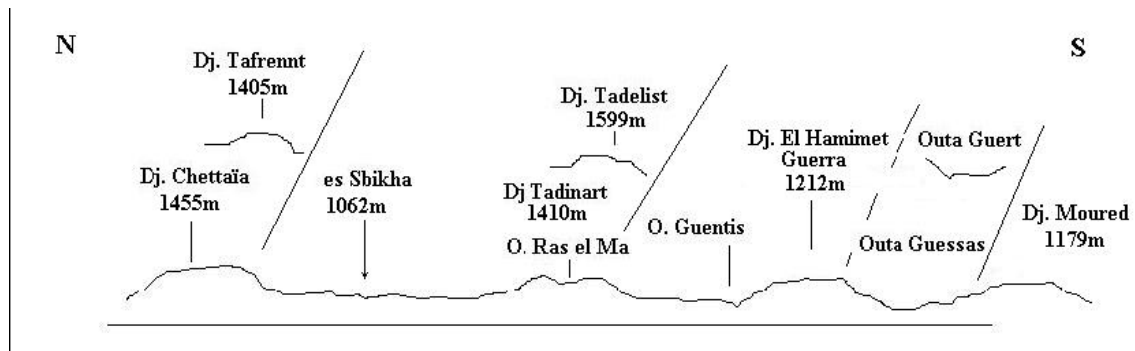
### 3. Analyse du milieu

#### 3.1. Reliefs

##### 3.1.1. Montagnes

La région montagneuse située au nord, et au sud de la zone est constituée par quelques djebels qui atteignent parfois 1650m, elles sont constituées par :

- ▶ Djebel Chattaia au nord de 1455m d'altitude ;
- ▶ Djebel Tafrennet au nord-est de 1406m ;
- ▶ Djebel Boutekhma et djebel Fedjidjet de 1291m sont situés à l'est de la zone ;
- ▶ Djebel Tadinart de 1408m et djebel Tadelist de 1410m qui sont situés au sud de la zone (Figure 04).



**Figure 04: Profil topographique (N-S) à travers la commune d'El Mahmel**

(Source : DRE W.Khenchela).

### 3.1.2. Plaines

Le territoire de la commune est dominé, dans sa majeure partie, par la plaine atlasique intramontagnarde. Cette dernière est représentée par le bassin de Behiret S'bikha (1060m) qui correspond à un vaste couloir intra-montagneux orienté suivant la direction de l'ensemble des reliefs de cette région, qui sont séparés par une succession des dépressions à savoir la direction NE-SW, Ce périmètre représente une vaste plaine dans laquelle se développent certains sols salés autour de la Sebka C'est une plaine intramontagnarde assez vaste, avec une largeur variable allant de 5 à 8 Kms, elle est empruntée par plusieurs oueds à direction divergente à partir du méridien de l'agglomération de Tazouguert, chef lieu de la commune, avec des oueds orientés vers le NE, ex de l'oued Esbikha et des oueds dirigés vers le SW, ex de l'oued El Hatiba, principal affluent de l'oued El Abiod.

### 3.1.3. Les pentes

Les pentes dans cette zone sont généralement faibles au niveau des bassins (< 2 %), moyennes au niveau des piémonts, entre 2 et 10 %, et fortes sur les versants à caractère montagneux avec des pentes supérieures à 10 % et pouvant atteindre des valeurs de plus de 30 % sur les versants escarpés des massifs de Dj. Chettaïa, Dj. Tafrennt, Dj. Tadelist, Dj. Aouinet en N'Sour (Figure 05).

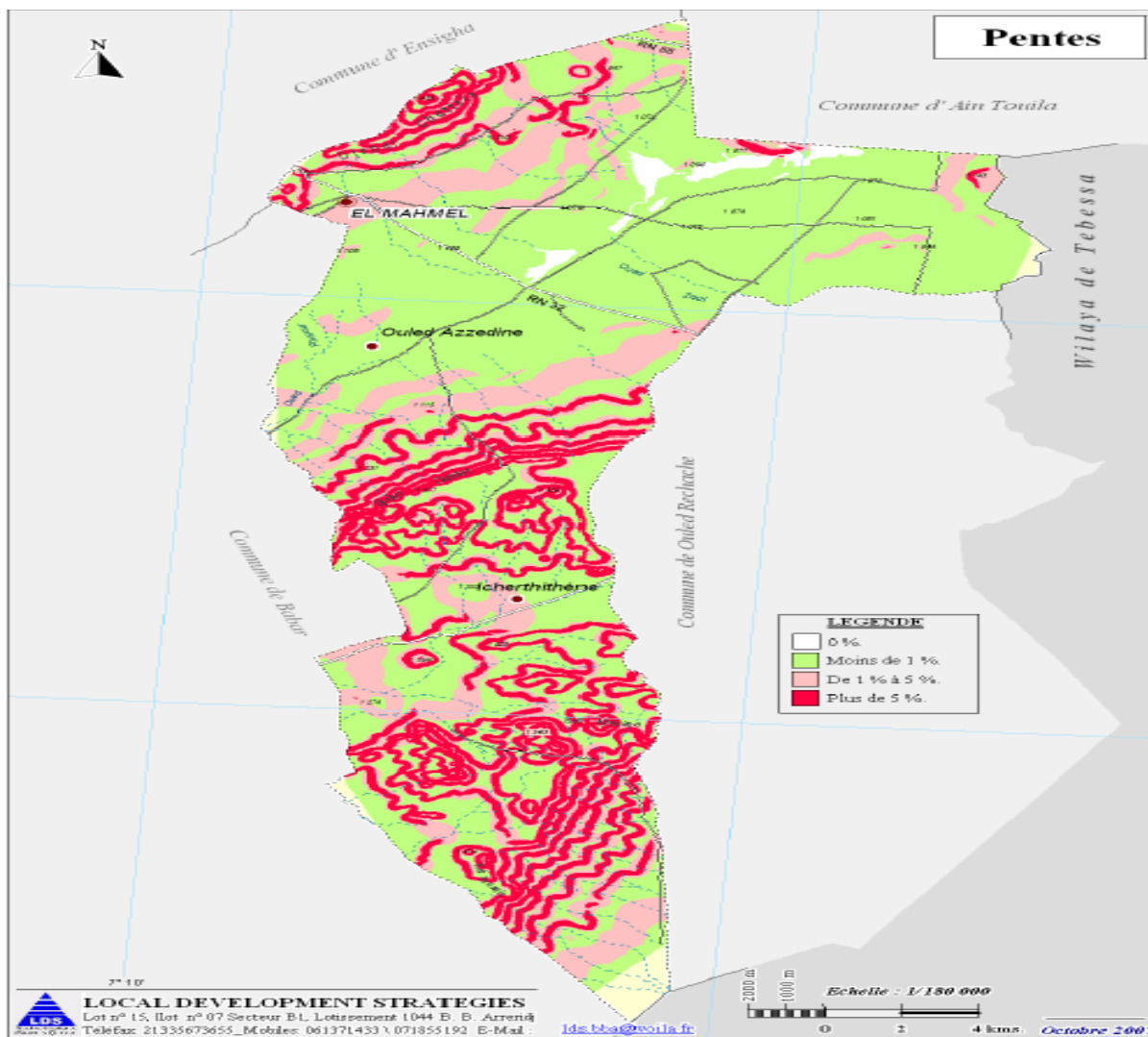


Figure 05 : Carte des pentes de la commune d'El Mahmel( Source : DRE W.Khenchela).

#### 4. Climatologie

De ce point de vue ; l'hétérogénéité du relief de la wilaya implique une extrême diversité des aspects climatiques. En général, le climat est de type continental au Nord et presque saharien au Sud, les hivers sont très rigoureux et les étés chauds et secs.

Les vents dominants sont ceux d'Ouest et du Nord-Ouest .Ces derniers amènent l'humidité de l'atlantique du Nord (en hiver). Outre ces vents fréquents, en hivers il y a aussi les vents du Nord qui sont souvent secs et froids. En été les vents du Sud sont chauds et secs parfois chargés de sable (vents de sable).

## 5. Situation agricole

### 5.1. Répartition des terres de la commune

La commune d'El Mahmel qui s'étale sur une superficie totale de 37084 Hectares a une vocation agropastorale. En effet, la surface agricole utile (SAU) est de 29.482 Ha, le reste de la surface est partagé entre les parcours et pacages 1.570 Ha, les forêts 5.056 Ha, les terres incultes 241 Ha et les terrains urbanisés 735 Ha. (DSA , 2017)

Il faut noter, que la surface agricole utile SAU au niveau de la commune d'El Mahmel est répartie entre les surfaces à sec, représentant 27.213 Ha soit 92.30 % de la SAU, et seuls 2 269 Ha sont irriguées. La surface agricole utile irriguée est partagée entre la céréaliculture qui occupe 272 Ha, les légumes 660 Ha et l'arboriculture 1.337 Ha. La faiblesse de la pluviométrie et son irrégularité le long du cycle annuel ont rendu l'exercice de l'activité agricole un peu difficile. L'analyse de la répartition générale des terres de la commune fait ressortir que celle-ci est constituée par une importante surface agricole utile (SAU) avec 92.30 % suivi de loin par les forêts et maquis avec 13,63 %. Les terres incultes et les terrains urbanisés représentent 2.63 %. Cette répartition des terres dénote la principale vocation de la commune qui est une vocation agro pastorale. (DSA , 2017)

### 5.2. Répartition des exploitations agricoles et emploi généré

Les exploitations agricoles au nombre de 141 sont réparties à travers le secteur d'étude et constituent les Mechtas d'Esbikha. L'emploi généré dans ce secteur est important, on observe que le nombre occupés est estimé à 458 personnes dont 229 sont occupés dans l'agriculture soit environ 50% du total des occupés (Tableau 01).

**Tableau 01 : Répartition des exploitations agricoles dans le secteur d'étude.**

Mechtass	Nombre d'exploitations	Population occupée	Population agricole occupée	SAU
Ouled M'barek	38	132	53	450
Ouled Amara	45	103	72	800
Ouled Slim	40	86	38	600
Ouled Merah	18	137	66	400
<b>Total</b>	141	458	229	2250

Source: D.S.A Khenchela,2017

### 5.3. Production végétale

D'une manière globale, les rendements des productions végétales sont faibles à l'exception du maraîchage, cette spéculatation enregistre des rendements relativement bons avec une production moyenne de 181,3 qx /Ha. La faiblesse des rendements est due principalement à la faiblesse de la pluviométrie et au faible niveau de la mobilisation des eaux souterraines pour l'irrigation qui caractérisent notre secteur. La superficie consacrée à l'arboriculture est faible vu le taux de sel élevé du secteur (Tableau 02)

**Tableau 02 : Estimation des rendements (2016- 2017).**

<b>Produit</b>	<b>Rendement (Qx / ha)</b>
Blé dur	40 800
Blé tendre	960
Orge	63750
Fourrages	82520
Légumes	40 700
Fruits	5520

**Source :D.S.A,2016**

### 5.4. Elevage

La pratique de l'élevage au niveau de la commune se base, essentiellement, sur l'élevage de l'espèce ovine qui représente 75 505 têtes, en deuxième position vient l'élevage caprin avec 2760 têtes entre chèvres et chevreaux et en troisième position se place l'espèce bovine avec 900 têtes dont 556 d'origine étrangère et 344 locales.

L'élevage des chevaux compte 44 têtes et enfin 25 mulets et 90 ânes. Le taux de mortalité et de réforme sont de l'ordre de 10 % et le taux de fécondité avoisine les 60%. Le secteur d'étude ne déroge pas à cet aspect de la spéculatation, à défaut de données concernant Esbikha nous utilisons les statistiques de toute la commune sa nous permet d'avoir une vision de la situation (Tableau 03).

**Tableau 03: Répartition du cheptel à travers la commune.**

Cheptel	Femelles productives	Males adultes	Petits		Total espèces
			Femelles	Males	
<b>Bovins importation</b>	260	38	170	88	556
<b>Bovins local</b>	170	18	90	66	344
<b>Ovins</b>	28 935	1250	18 120	27 200	75 505
<b>Caprins</b>	1400	130	800	430	2760
<b>Chevalins</b>	32	12	/	/	44
<b>Anes</b>	40	10	25	15	90
<b>Mulets</b>	15	10	/	/	25

Source : D.C.A,2016

## 6. Ressources en eau

La localité de la commune d'El Mahmel est alimentée par des forages et par transfert à partir du barrage Koudiat Medaouar.

Les forages pour l'alimentation d'El Mahmel centre sont TZ1, TR4 qui sera remi en service vers la fin du mois de décembre 2012 pour un temps de pompage de 20h/jour, TZ5, TZ4;La production du TZ8 est également répartie entre Ouled Merah et El-Mahmel. Le forage TZ4 a été abandonné depuis Février 2000.

# Etude géologique

## Introduction

La géologie est une discipline scientifique se focalisant sur les couches externes de la Terre, notamment sur leur structure, leur composition et leur évolution au cours des temps passés et à venir. De ce fait, la géologie se compose de nombreuses disciplines spécialisées, comme la minéralogie, la paléontologie, la pétrologie, la géodynamique, la géomorphologie(1)

### 1. Aperçu géologique régional

#### 1.1. Géomorphologie

Sur le plan géologique, malgré la diversité des structures et des paysages morphologiques dans cette zone entre montagnes, piémonts et plaines, le territoire de la commune d'El Mahmel appartient totalement au domaine atlasique. La structuration géologique de ce territoire est, comme pour l'ensemble des régions atlasiques très simple, elle se caractérise par :

- Pour les zones de montagnes et de piémonts, les structures se résument dans la succession d'une série d'anticlinaux et de synclinaux (Figure 06 ), souvent en position d'inversion de reliefs, tous organisés et orientés suivant une direction NE-SW.
- Pour les bassins et les plaines, ils sont orientés suivant la même direction et correspondent, parfois, soit à des anticlinaux évidés, soit à des synclinaux perchés ou à des systèmes structuraux complexes. L'essentiel ici est de souligner que ce domaine correspond à des plaines ou à des vallées évasées, élaborées par l'évolution géologique et par les phénomènes érosifs.

Quant aux terrains affleurant dans ces différents ensembles, ils appartiennent généralement au Secondaire, avec le Trias, le Jurassique et le Crétacé et au Tertiaire avec des formations oligoécènes, miocènes et pliocènes. Le Quaternaire, quant à lui reste limité aux dépôts de versants et aux formations alluviales des bassins et des principaux Oueds de la zone.

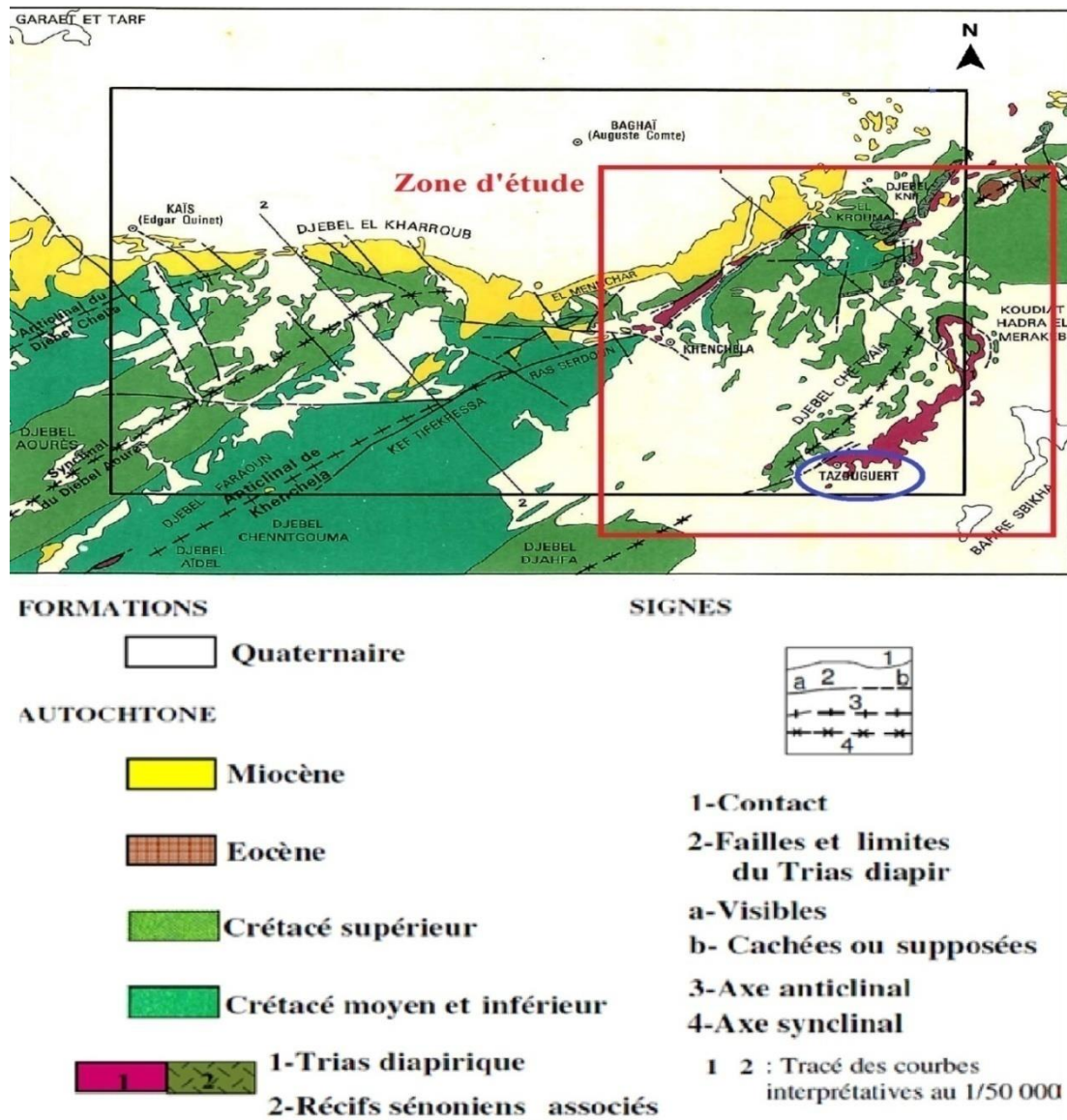


Figure 06 : Schéma structural simplifié de la région d’El Mahmel.

Il faut rappeler aussi comme le montre la figure 06, que la géologie de la commune se confond avec celle de l’ensemble de l’Atlas des Aurès-Nemamcha, c’est une région qui s’individualise toutefois du reste du domaine atlasique par des caractères stratigraphiques et morpho tectoniques spécifiques.

## 2. La Stratigraphie

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



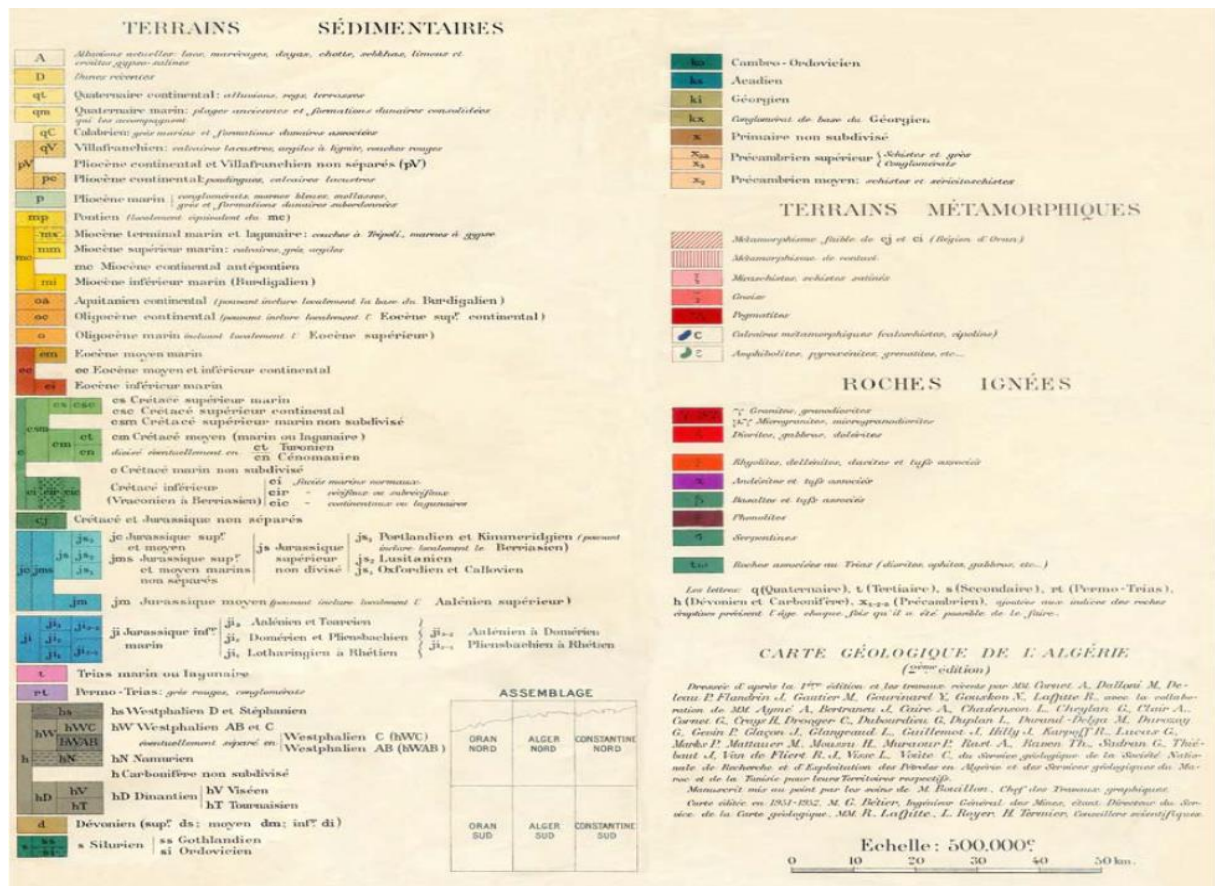


Figure 07 : Carte géologique de la région de Khenchela-El Mahmel.

## 2.1. Les formations secondaires

L'histoire géologique des terrains mésozoïques de cette région débute par les terrains triasiques et se termine par le Crétacé supérieur en passant par les formations jurassiques et celles du Crétacé inférieur et moyen.

### 2.1.1. Le Trias

Les principaux affleurements triasiques ayant emprunté des lignes de failles développées sur le flanc Nord de Dj. El Azreg et celles de Dj. Groun au Sud de Tahamest et sur l'extrémité Est de Dj. Aïdel à l'Ouest de la ville de Khenchela. Un autre affleurement particulier de sel gemme est signalé dans le Dj. El Melah dans la région d'El Outaya au Nord de Biskra. Mais les terrains triasiques les plus importants du secteur étudié sont ceux du gypse, des marnes, des cargneules, des calcaires et des sables dolomitiques qui affleurent autour de Khenchela et dans le Dj. Chettaïa au nord et à l'Est de Tazouguert et au cœur du synclinal perché de Dj. Zora au Sud de la commune. Le Trias affleure également dans deux points du versant Nord de Dj. Tafrennet à la limite de la commune d'El Mahmel.

En conclusion, le Trias de la commune affleure, selon la carte géologique de Khenchela, avec deux grands types de formations:

**2.1.1.1. Le premier (t) :** Celui des argiles vari-colores et gypses chaotiques à glaçons.

**2.1.1.2. Le second (dt) :** Celui des calcaires dolomitiques et de cargneules.

Ce sont des formations qu'on rencontre abondamment à Khenchela et également dans le bassin d'Esebikha autour de Tazzouguert.

### **2.1.2. Le Jurassique**

Les terrains jurassiques dans cette zone sont très limités et n'affleurent qu'en dehors de la commune d'El Mahmel. Ces terrains ne sont signalés ici qu'à titre indicatif pour retracer les grandes lignes de l'histoire géologique de la région d'El Mahmel. Ce sont des formations qui affleurent surtout dans le Dj. Groun au Sud de T'ahanent où se développent des faciès dolomitiques liasiques côte à côte avec les terrains triasiques. D'autres terrains jurassiques du Portlandien et du Berriasien affleurent au Dj. El Azreg au cœur des Aurès avec des faciès variés de calcaires, de calcaires marneux et de dolomies.

### **2.1.3. Le Crétacé**

Les terrains crétacés représentent l'essentiel des affleurements secondaires inventoriés et étudiés dans la commune d'El Mahmel et dans l'ensemble du massif des Aurès-Nemamcha, ils forment l'essentiel de ce secteur avec des faciès très variés allant du Crétacé basal au Crétacé supérieur.

#### **2.1.3.1. Les terrains du Valanginien**

Ils affleurent dans le Dj. El Azreg, en dehors du secteur étudié, avec des calcaires, des grès et des marnes à ammonites pyriteuses. Ils affleurent également avec des calcaires pisolithiques, de calcaires gréseux et de grès ;

#### **2.1.3.2. L'hauteriviens (les terrains barrémiens et aptiens)**

Ils affleurent dans les principaux reliefs de la région, et plus particulièrement à l'Ouest, dans les massifs de Dj. El Azreg, Dj. Chélia, Dj. Aïdel et Dj. Tichao. Ils sont matérialisés par des faciès variés, allant des grès et des marnes aux calcaires et calcaires gréseux.

### 2.1.3.3. Les terrains de l'Albien

Ils sont représentés par des grès et des marnes rouges et des calcaires, des marnes et des grès et flysch localement phosphatés. Ils surmontent généralement les terrains barrémiens et aptien et dans presque la totalité des massifs montagneux de cette zone.

### 2.1.3.4. Le Cénomaniens des Aurès-Nemamcha

Il est représenté par des dolomies, des calcaires et des marnes calcaires et localement de gypse. Il affleure entre Batna et Khenchela, au niveau de Dj. El Azreg, sur les bordures de Dj. Chélia et Dj. Aïdel autour de Khenchela et sur les reliefs développés autour d'El Mahmel.

### 2.1.3.5. Turonien

Il faut souligner que les terrains créacés les plus dominants dans les paysages de cette région restent ceux du Turonien, ils affleurent sous forme de faciès variés : le Turonien moyen et supérieur affleure avec des marnes beiges et des calcaires noduleux.

Quant au Turonien basal, il affleure avec des marno-calcaires en plaquettes et une alternance de marnes avec de petits bancs de marno-calcaires. Ce sont des terrains qu'on rencontre au Nord de notre secteur entre Khenchela et Tazzouguert.

### 2.1.3.6. Crétacé supérieur

Quant au Crétacé supérieur de notre région, nous relevons qu'il est représenté par des marnes noirs localement phosphatées et des calcaires crayeux allant du Campanien au Maëstrichtien et Danien. Ces terrains affleurent au Nord de Dj. Chettaïa à la limite nord de la commune d'El Mahmel. Le Maëstrichtien est représenté dans notre commune à la base par des marnes qui affleurent au niveau de Dj. Chettaïa et dans sa partie supérieure par des calcaires à Inocérames. Ce sont là, les principaux terrains créacés qui dominent les paysages de la commune d'El Mahmel, particulièrement ceux développés autour du bassin d'Sebikha et autour de Dj. Chettaïa (Figure08).

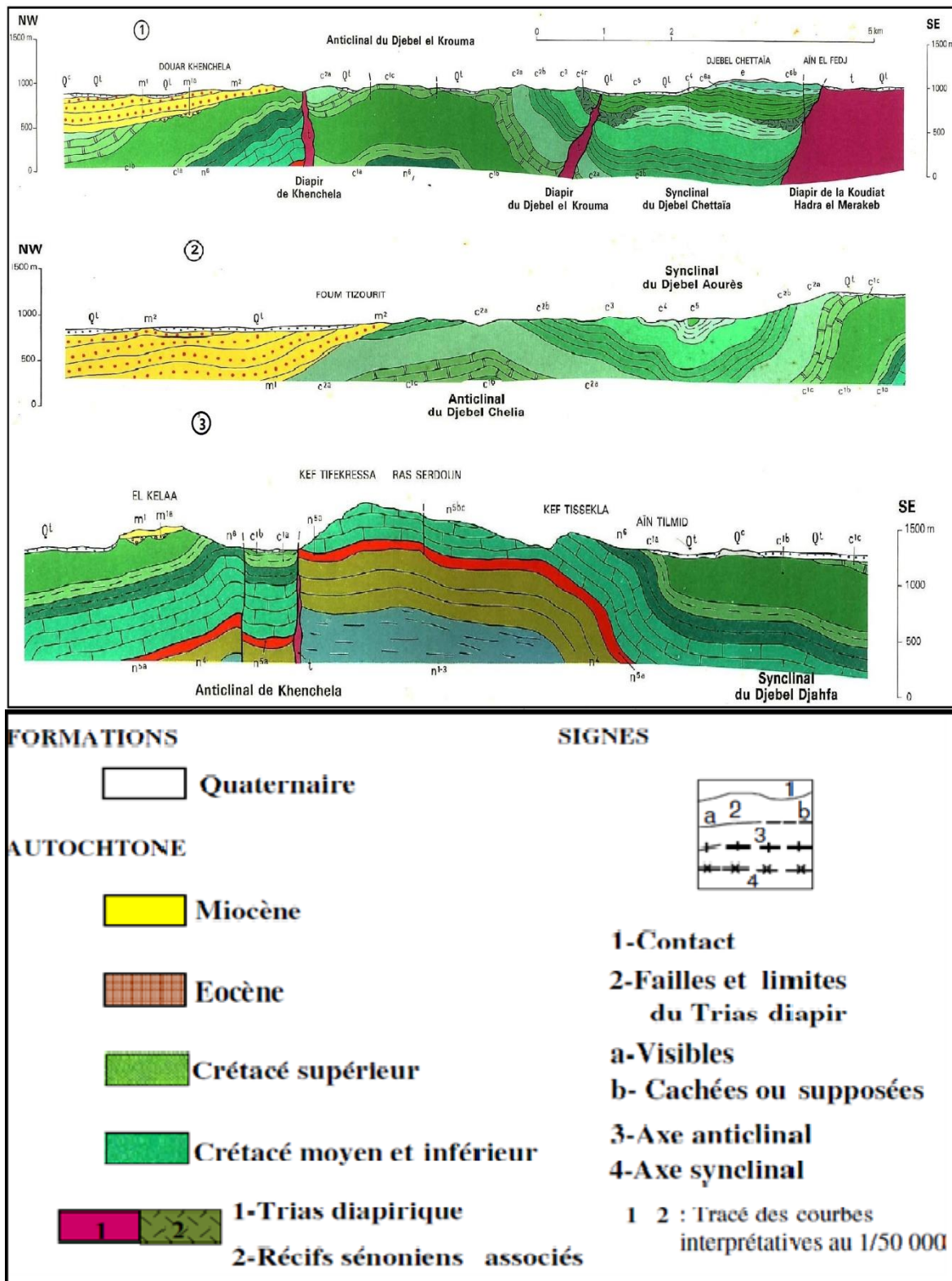


Figure 08 : Schéma structurale des coupes interprétatives de la région d'El Mahmel.

## 2.2. Les terrains tertiaires

### 2.2.1. L'Éocène

L'Éocène de cette zone concerne les terrains allant du Paléocène aux formations du Londinien et du Lutétien. Quant à l'Oligocène, il n'affleure qu'en dehors de notre commune. Notons que les formations oligocènes ne sont signalées ici qu'à titre indicatif.

Ces terrains se résument dans les marnes rouges à gypse, les grès, les conglomérats et les brèches. Ils affleurent dans la région d'El Kantara, dans plusieurs endroits du flanc Nord de Dj. Sebiba à l'Ouest de AïnTouta, dans les massifs de Dj. Bou Hel et Dj. Tissidelt et dans le massif de Dj. Charhou et Dj. El Gantra au Sud de Dj. El Azreg. Il arrive de les rencontrer dans plusieurs endroits des Nemamcha mais sans qu'ils forment d'entités bien individualisées dans les paysages de cette région.

Les terrains éocènes dans cette zone affleurent sous forme de marnes blanches et de calcaires paléocènes qu'on rencontre aussi à travers la majeure partie des Aurès-Nemamcha, particulièrement sur les reliefs de la rive gauche de l'Oued El Abiod au SW de la zone étudiée ainsi qu'au Nord de Dj. El Azreg, dans le Dj. Metlili et à l'Ouest des Aurès. Ils sont représentés dans cette région, par des calcaires massifs du Londinien qui affleurent dans plusieurs endroits des Nemamcha, mais en dehors de la commune d'El Mahmel.

Quant aux marnes blanches intercalées de bancs de calcaires et de gypses, localement phosphatés du Lutétien, ils affleurent presque côte à côte avec les terrains précédents, ceux du Londinien. Comme le montre l'esquisse géologique (figure 09), les terrains éocènes (du Paléocène, du Londinien et du Lutétien) affleurent dans plusieurs endroits de la commune. Ils affleurent au Nord de Dj. Chettaïa et dans une large partie de Dj. Tafrennet au Nord du bassin d'Es Sebikha.

Au Sud de la commune, les terrains éocènes constituent l'essentiel des reliefs développés autour de Dj. Tadelist, Dj. Tadinart et Dj. Aouin et En Nessour.

### 2.2.2. Le Miocène

Le Miocène dans notre commune est quasiment absent, il n'affleure qu'en dehors du territoire communal. Il n'est signalé ici qu'à titre indicatif pour retracer l'histoire géologique de cette région atlasique.

Le Miocène de cette région a été étudié sur la base d'une différenciation entre les types d'environnements, entre un Miocène marin et un Miocène continental, tous absents de la commune d'El Mahmel. Les seules traces du Miocène marin sont rencontrées au centre et sur la façade Nord des Aurès-Nemamcha. Elles sont principalement développées sur la façade Nord de ce massif autour de Batna et plus particulièrement à l'Ouest de AïnTouta et le long de Dj.Islaf Bou El Arouah aux environs de Kaïs à l'Ouest de Khenchela.

En outre, il est à remarquer que le Miocène marin est représenté dans cette région par des faciès variés, il s'agit de calcaires à lithothamniées, de marnes et d'une alternance de calcaires, de grès, de Mollasses, de sables marins, et de marnes rouges. Quant au Miocène continental, nous relevons qu'il est très développé dans cette région, particulièrement sur le flanc Sud des Aurès- Nemamcha, depuis Biskra jusqu'à la frontière tunisienne, il est également présent dans le bassin néogène développé au Nord des Aurès au Nord de Timgad et Khenchela et localement au centre des Aurès au Sud d'El Malou et dans les environs de FoumToub.

Parmi les principaux affleurements miocènes de cette région ceux rencontrés autour d'Aïn El Kraim au Nord Est de Tazzouguert et plus particulièrement au Nord et à l'Est de Khenchela. Le Miocène dans ces secteurs affleure avec des marnes bio micrites et des grès blancs du Serravallien à Ain El Kraim et avec des grès tortoniens au Nord et au NE de Khenchela.

### 2.2.3. Le Pliocène

Strictement d'origine continentale, les formations du Pliocène dans cette région sont généralement représentées par les poudingues. Ces terrains, selon l'esquisse géologique des Aurès au 1/200.000, ne sont développés que sur la bordure Sud de cette chaîne au contact du Bas Sahara et au Nord de Biskra et aux environs d'El Outaya. Cependant, il est fort probable que l'absence d'affleurements pliocènes dans le reste des Aurès-Nemamcha, et notamment dans le territoire de la commune d'El Mahmel, soit liée à l'absence d'études géologiques détaillées dans cette région. Nous relevons, en effet, l'absence totale du Pliocène dans le

secteur étudié, il est probable qu'il soit présent dans les bassins de cette commune, mais couvert par les formations quaternaires.

### 2.3. Le Quaternaire

Les marques du quaternaire dans cette région sont nombreux et de natures diverses, ils sont représentés par des dépôts colluvioalluvionnaires développés sur les versants des zones de reliefs, par des éboulis de gravité sur les terrains accidentés et en contrebas des escarpements et des corniches. Il existe aussi des dépôts grossiers à l'aval des cônes de déjection très développés dans cette zone, particulièrement à l'aval de certains Oueds lorsqu'ils débouchent dans les bassins ou dans les plaines intramontagnardes.

A noter l'importance des dépôts alluvionnaires des principaux bassins d'El Mahmel, particulièrement au niveau de la plaine de Bahir et Esebikha, où les sols rouges, souvent calcaires ou calci-magnésiques et localement salifères, recouvrent l'héritage quaternaire. A noter également, la présence d'importantes formations alluvionnaires argilo - limono-sablo - conglomératiques, anciennes et récentes, développées sur les terrasses des principaux Oueds de la région, particulièrement celles des Oueds Esebikha, El Hatiba-El Abiod au Sud-ouest d'El Mahmel.

Comme il arrive de rencontrer localement quelques traces d'héritages éoliens, sous forme de sables, sur certains secteurs piémontais d'exposition Sud à la limite Sud de cette commune. Ce sont des dépôts qui, sans doute, résulteraient de la dynamique éolienne et qui annoncent la proximité de l'influence du climat saharien, présent à quelques dizaines de kilomètres à vol d'oiseau de notre commune.

Notons enfin que la plupart des surfaces de notre commune, particulièrement des plaines et des vallées, sont couvertes et fossilisées par les croûtes et les encroûtements calcaires ou gypsifères localement. La présence des ces encroûtements témoignent de l'ambiance aride à semi-aride inférieur de cette commune et de la nature dégradée du couvert végétal naturel sur ces surfaces. Ce sont ces croûtes qui accordent à la topographie de cette zone, du moins localement, une morphologie de glacis ou alors elles viennent renforcer la classification des reliefs de notre commune élaborée par d'autres facteurs.

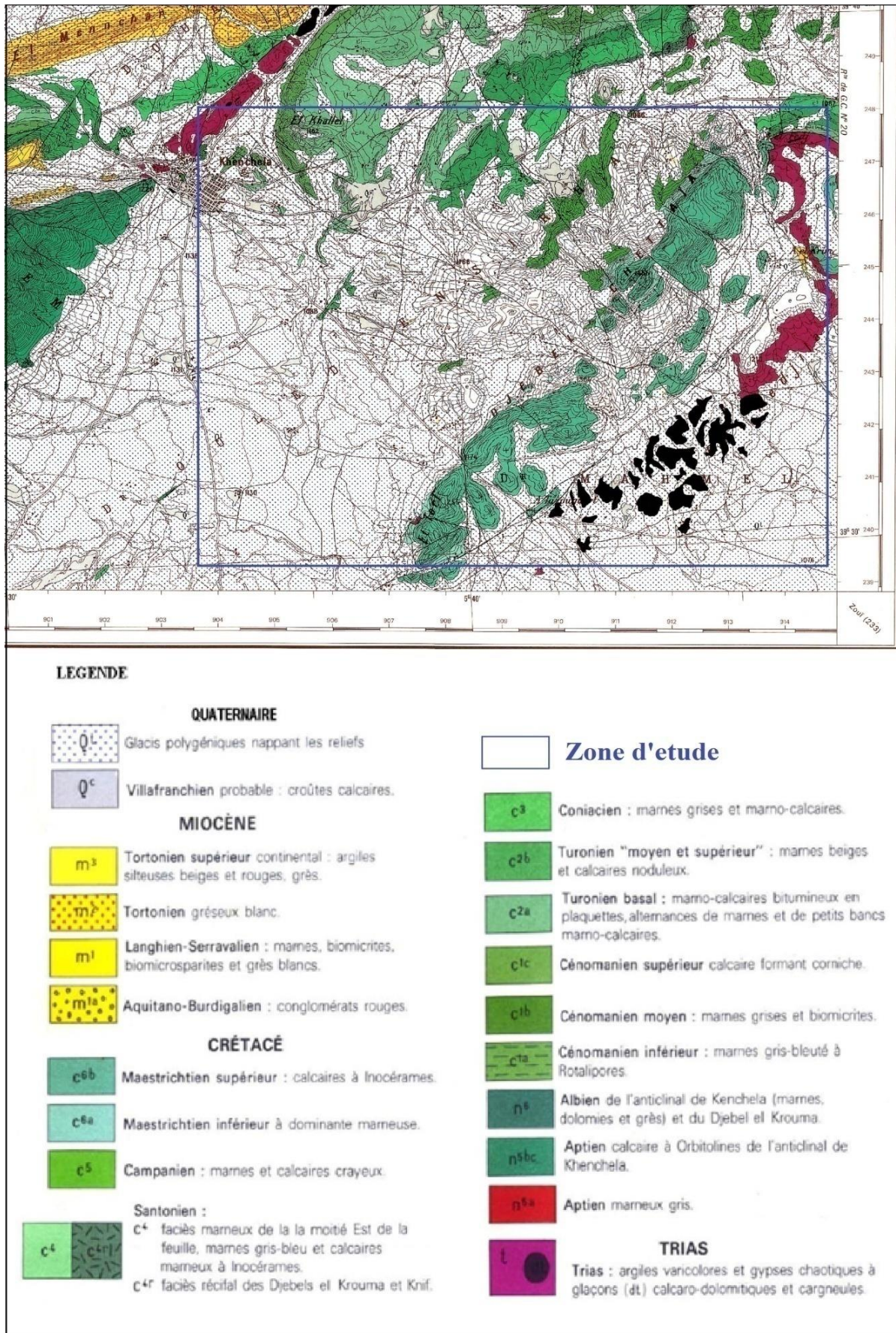


Figure 09 : la carte géologique de la commune d'El Mahmel.

### 3. Tectonique

Il faut souligner en premier lieu que le système de plis dans les principaux massifs de cette zone se raccorde à celui de l'ensemble des régions atlasiques. Il se caractérise en général par des ondulations simples et grandioses et ce malgré la complexité de certaines structures. Ce sont généralement des ondulations qui, localement, se compliquent en donnant des inversions de relief.

A cet effet, il faut bien noter la présence de nombreuses situations où se sont développés des anticlinaux évidés dont le coeur est fortement entamé par l'érosion, l'exemple du bassin occupé par l'oued Guenntis et appelé "OutaGuert" à l'Ouest ou "OutaGassès" à l'Est en est le meilleur témoin de cette situation. Il existe aussi d'autres formes d'inversion de relief liées à des ondulations synclinales ayant évolué en synclinaux perchés, exemple de la cuvette développée au coeur de Dj. Zora au Sud, à la limite de la commune d'El Mahmel. Ces structures, marquent bien les paysages de cette région, ceci est d'ailleurs valable à l'ensemble des régions atlasiques.

Pour le système de failles dans cette région, nous relevons qu'il se caractérise par sa conformité au style de la déformation cassante de l'ensemble du domaine atlasique et par sa direction constante suivant l'orientation générale de ce domaine à savoir NE-SW, sauf qu'il existe ici un grand nombre de failles transverses suivant la direction NWSE, ex de la faille qui délimite Dj. Ichmoul du côté Est (à l'Est d'Arris) et celle de TenietRessas, qui probablement se prolonge jusqu'à Batna vers le NW.

Il faut signaler aussi la faille transverse NW-SE suivie partiellement par l'Oued Mellagou, affluent de l'Oued El Abiod - El Arab. Sont signalées, dans la zone, plusieurs failles, la principale est celle qui traverse la ville de Khenchela et affecte le piémont Nord de Dj. Tafrennt suivant la direction NE-SW. Comme il est probable que la mise en place du Trias de cette zone soit liée à une activité tectonique ou au diapirisme.

Notons aussi que les effets de la tectonique sur ce secteur se font sentir jusqu'à présent à travers la sismicité qui affecte cette zone, comme pour l'ensemble du domaine tello-atlasique, bien qu'avec des effets et des dommages faibles par rapport aux régions telliennes, mais qui restent variables suivant les cas et les situations structurales de chaque ensemble.

**Conclusion**

En conclusion, il est à signaler que les structures plissées et faillées, nombreuses dans ce massif sont, en grande partie, responsables du guidage et de l'orientation du réseau hydrographique.

En effet, la plupart des Oueds développés dans cette zone ont une direction conforme aux grandes structures de ce secteur (NE-SW), les seules exceptions sont celles qui suivent la direction NW-SE suivant l'orientation des structures transversales.

**Etude**

**hydro-climatologique**

## Introduction

L'étude climatologique est très importante pour la connaissance des caractéristiques hydro climatologiques, qui est indispensable pour évaluer l'alimentation des ressources hydriques et des réserves souterraines. En effet, une grande partie de l'alimentation des réserves se fait par la remarquable contribution des précipitations, ou plus précisément les précipitations efficaces (PE), qui dépendent de plusieurs facteurs climatiques et hydrologiques. **(Djoudi, 2018)**

Les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large. **(HASSAD, 2018)**

La Climatologie repose sur l'interprétation de données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie, permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique. Ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement), qui conditionnent ce bilan. **(GUILAL, 2019)**

**Tableau 04: Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma.**

Station	Altitude	Latitude	longitude
El Hamma	982.5 m	35° 28° N	07° 05° E

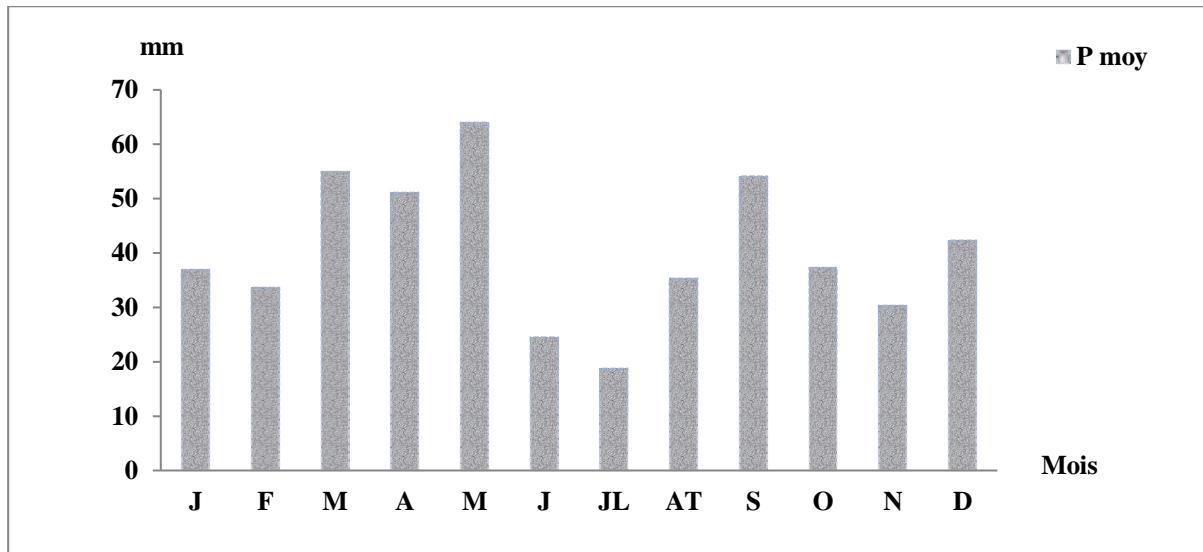
## 1. Les facteurs climatiques

### 1.1. Précipitation

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

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat **(BERKANI, 2016)**. Ce sont l'ensemble des eaux météorologiques recueillies par un bassin versant, sous différentes formes : liquide (pluie, bruine,..), solide (neige, grêle,..). C'est un facteur de base dans la détermination du régime

climatique, car il constitue la principale entrée des systèmes hydrologiques. (AMROUNE, 2018)



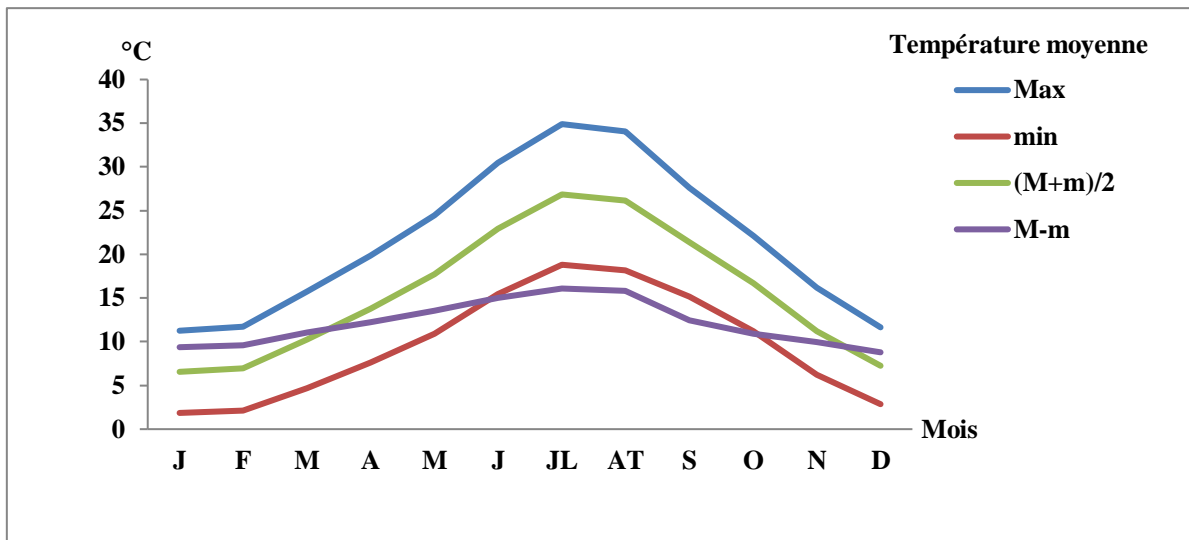
**Figure 10: Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2020).**

L'histogramme de précipitations mensuelles montre que le mois de mai est le plus pluvieux avec une moyenne mensuelle de 63.99 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec avec une moyenne mensuelle de 18.78 mm. Les précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2020) sont de 483.4 mm.

## 1.2. Température

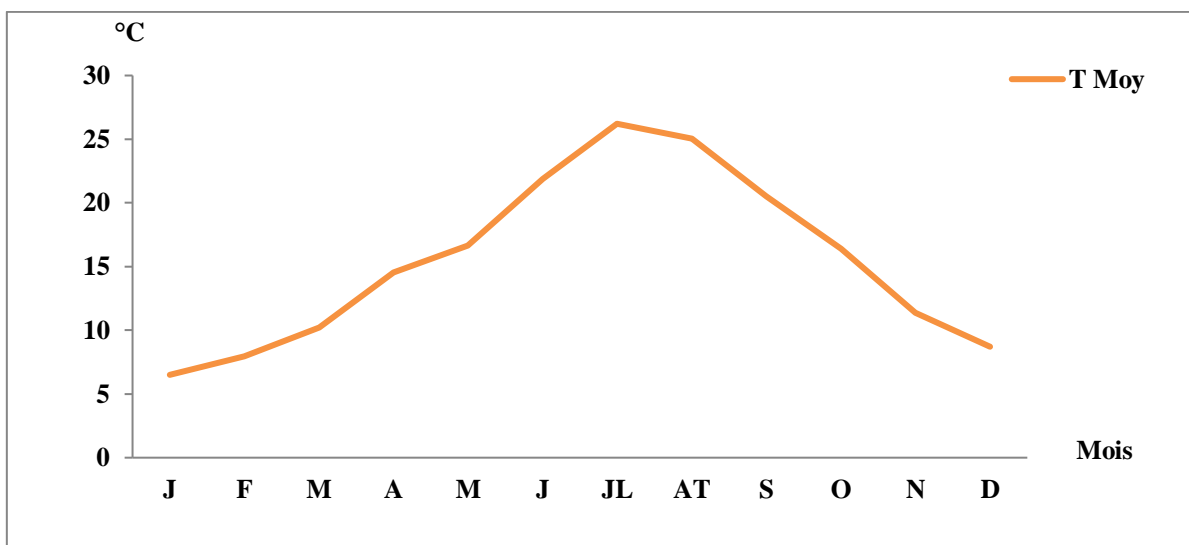
La température de l'air est un facteur météorologique très important qui influence sur tous les autres paramètres climatiques d'une manière directe ou indirecte. D'où l'importance de suivre son évolution (BADAoui, 2014), car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère. (KHABTANE, 2015)

C'est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique. (DJOUdi, 2018)



**Figure 11: Courbe des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2014).**

D'après l'analyse de données de la période (2004-2014), nous observons que janvier est le mois le plus froid avec une température moyennes minimale de 1.85°C, alors que juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne maximale de 34.9°C.



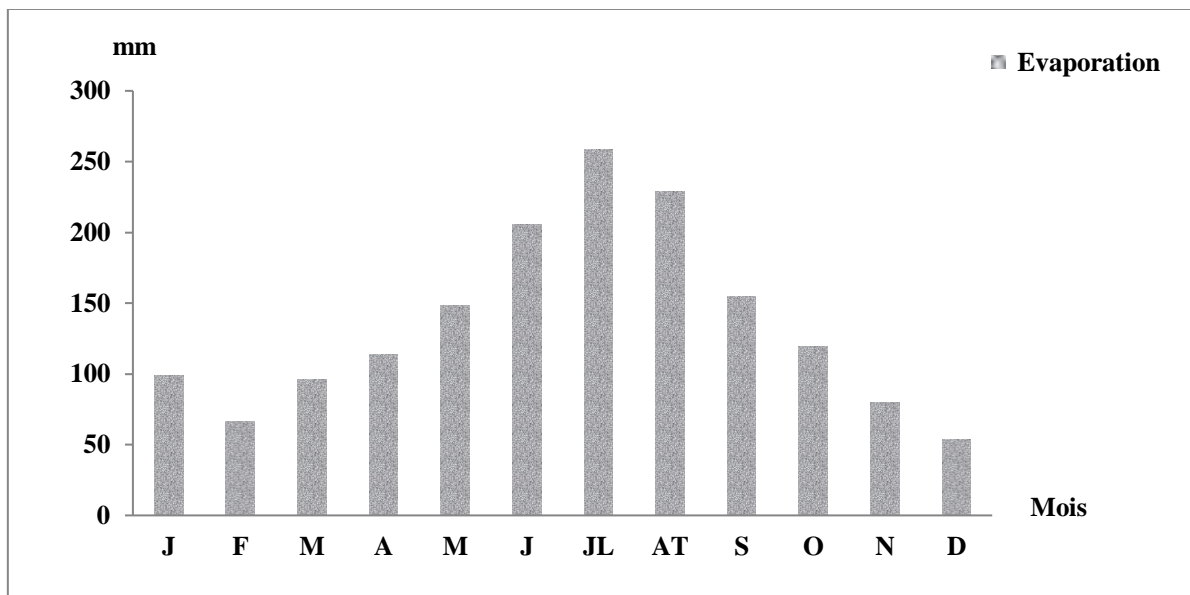
**Figure 12: Courbe des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2020).**

L'analyses de données de la période (2004-2020), nous montre que le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne mensuelle minimale de 6.50°C et le mois de juillet est le plus chaud avec une température moyenne mensuelle maximale de 26.21°C.

### 1.3. Evaporation

Selon (OMM, 2008) l'évaporation est le processus par lequel de l'eau passe de l'état liquide ou solide à l'état gazeux par un transfert d'énergie thermique, que ce soit dans les phénomènes naturels ou dans les systèmes industriels. Ces transformations physiques sont provoquées par un déséquilibre thermodynamique, modélisé par un écart de potentiel de nature chimique entre les phases liquides et gazeuses d'un corps pur. Ces processus font intervenir des transferts à la fois de masse et de chaleur (MOURET, 2018). C'est une part importante du cycle hydrologique, au point que sur les continents, environ 70 à 75 % du total de la précipitation annuelle retourne à l'atmosphère par évaporation et transpiration. (OMM, 2008)

Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. (AOUIDANE, 2017)



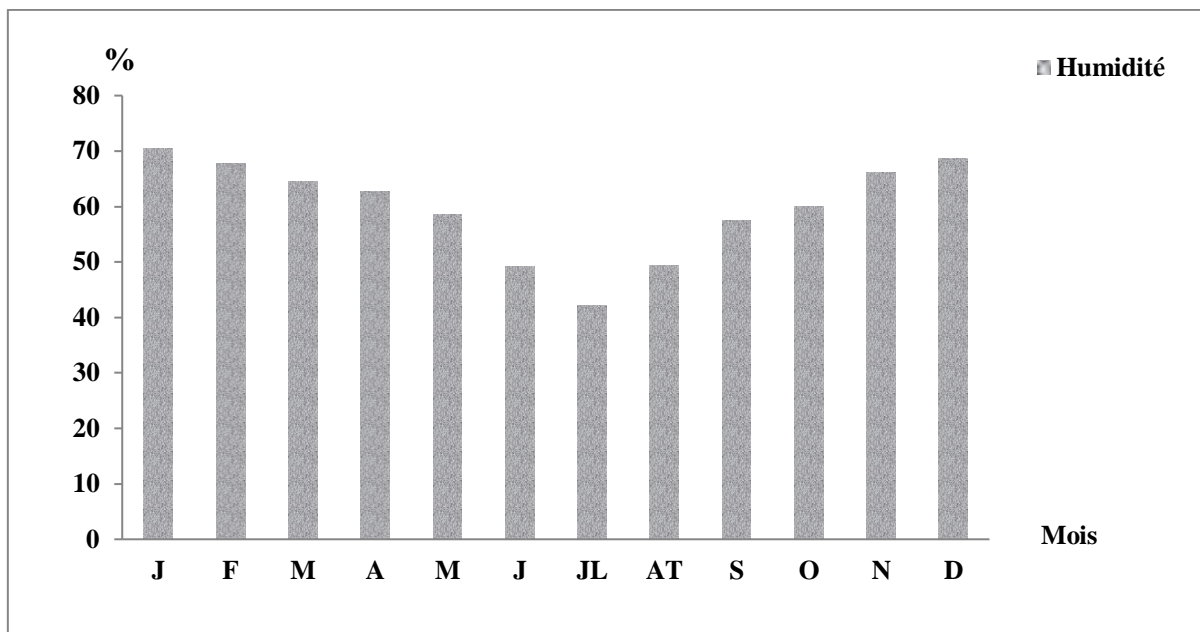
**Figure 13 : Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2004-2017).**

Nous observons sur le diagramme que l'évaporation moyenne variée selon la saison d'un mois à l'autre. La valeur la plus élevée (maximale) est enregistrée en juillet avec une moyenne de 258,62 mm et la valeur la plus faible (minimale) est enregistrée en décembre avec une moyenne de 53,87 mm, Sachant que l'évaporation moyenne annuelle est de 135,31 mm.

### 1.4. Humidité

L'humidité relative compare la quantité d'eau présente dans l'air à la quantité qu'il faudrait pour saturer cet air à une température donnée. (AMROUNE, 2018) , Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air ( $P_a$ ) à la pression de la vapeur saturante ( $P_r$ ) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression.

Au cours de l'année l'humidité relative de l'air connaît d'énormes fluctuations passant de 40% à plus de 80%. (HASSAD, 2018)



**Figure 14: Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2014).**

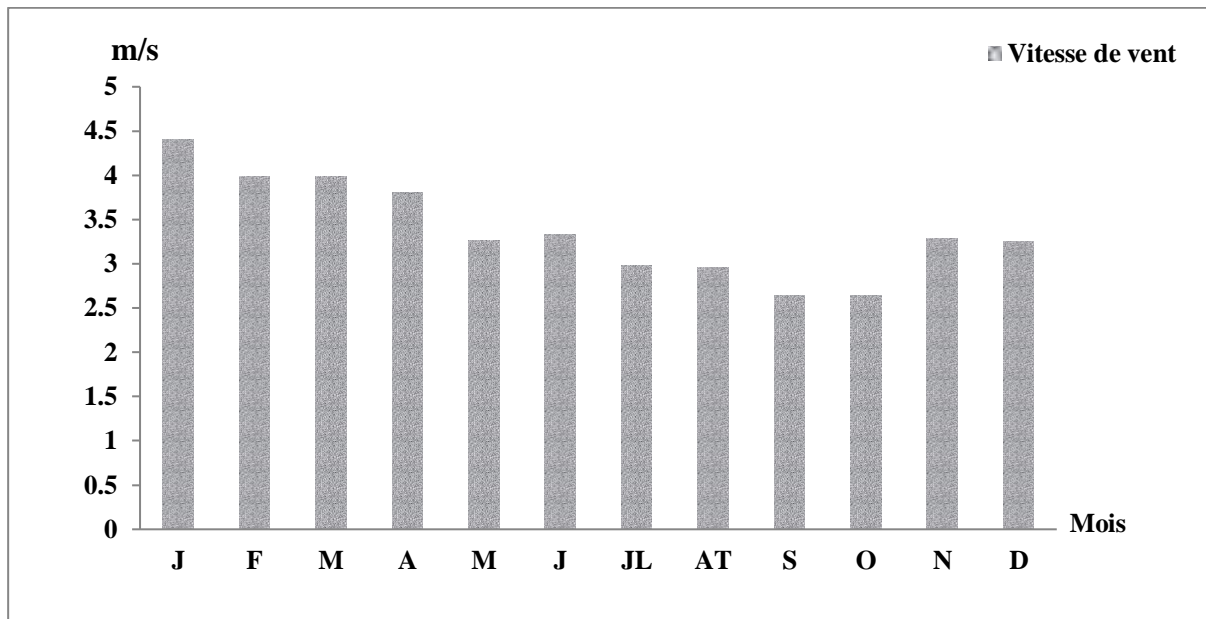
D'après la figure on remarque que les valeurs de l'humidité sont relativement homogènes.

Les données hygrométriques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de janvier avec 70,51% ce qui explique qu'il est le mois le plus humide, alors que le pourcentage le plus faible est enregistré durant le mois de juillet avec 42,13%.

L'humidité relative de la région d'étude est constamment élevée, Son évolution saisonnière est étroitement liée aux précipitations et à l'évaporation.

### 1.5. Vent

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluviaux de l'évapotranspiration et par conséquent le climat de la région. (FEKRACHE, 2015)

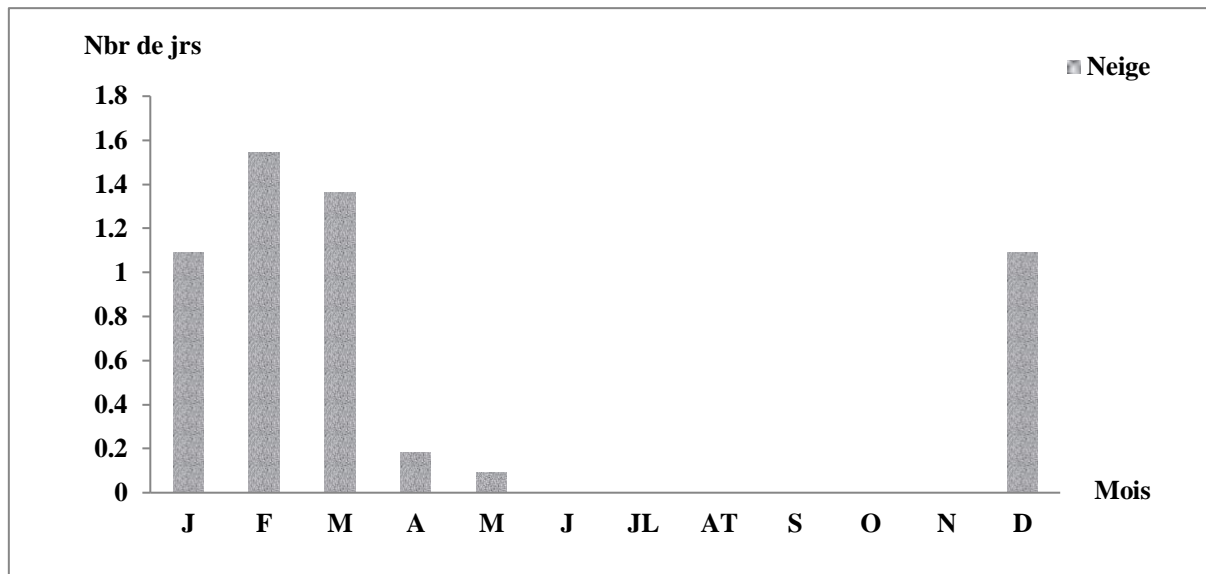


**Figure 15: Diagramme des moyennes des vitesses des vents de la période (2004-2014).**

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant le mois de janvier avec un maximum de (4.40 m/s), et les plus faibles sont enregistrés entre septembre et octobre avec un minimum de (2.63 m/s). On remarque aussi qu'il n'y a pas une variation importante entre un mois et l'autre.

### 1.6. Neige

Eau congelée qui tombe des nuages en flocons blancs et légers (2), est un élément important pour la zone d'étude, elle assure au sol de l'eau d'une façon régulière et profonde tout en limitant le phénomène d'érosion causé par les pluies intenses (LAKHDARI, 2012). Ce phénomène est peu fréquent, mais il reste tout de même bénéfique par son infiltration lente, ainsi que par son alimentation des sources en eau. (HASSAD, 2018)

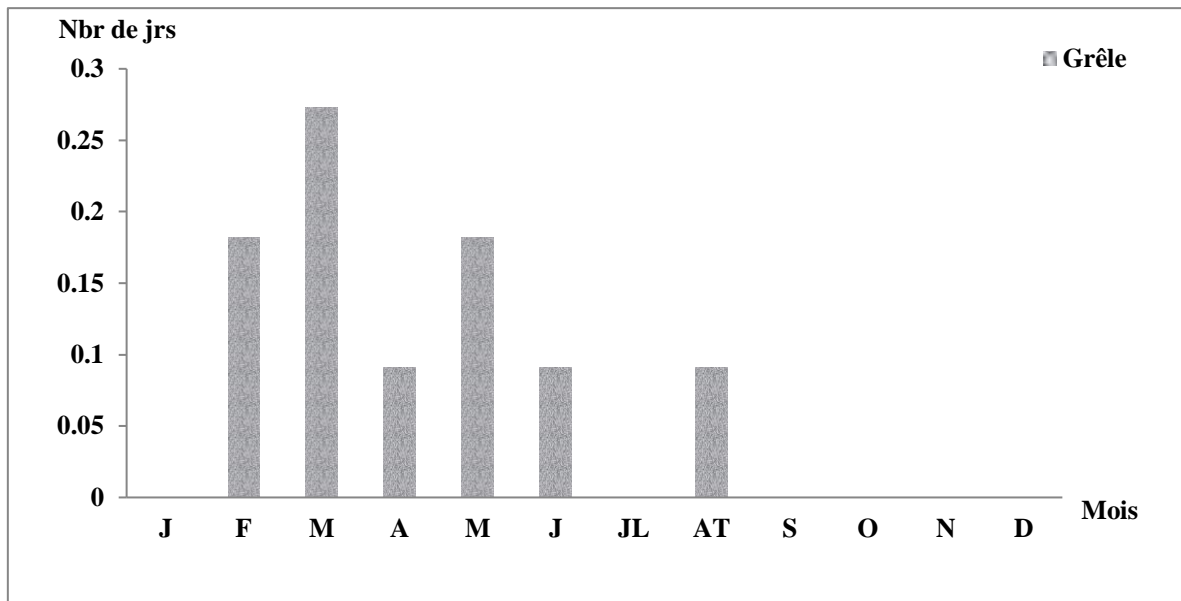


**Figure 16 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (2004-2014).**

A partir de la figure on constate que l'enneigement s'étale sur une durée de 6 mois du mois de décembre au mois de mai. Donc la plus grande partie de la neige tombe durant la période hivernal, le maximum étant au mois de février. L'enneigement consiste une réserve d'eau cédée progressivement du sol.

### 1.7. Grêle

C'est une Précipitation sous forme de grains de glace ou grêlons d'un diamètre moyen de 0,5 à 2 cm, accompagnant parfois les orages(2). C'est un phénomène très connu dans la région des Aurès surtout au début du printemps. La grêle contribue à la dégradation de la couverture végétale. Elle survient très souvent en printemps, ce qui coïncide avec la reprise végétative. (HASSAD, 2018)



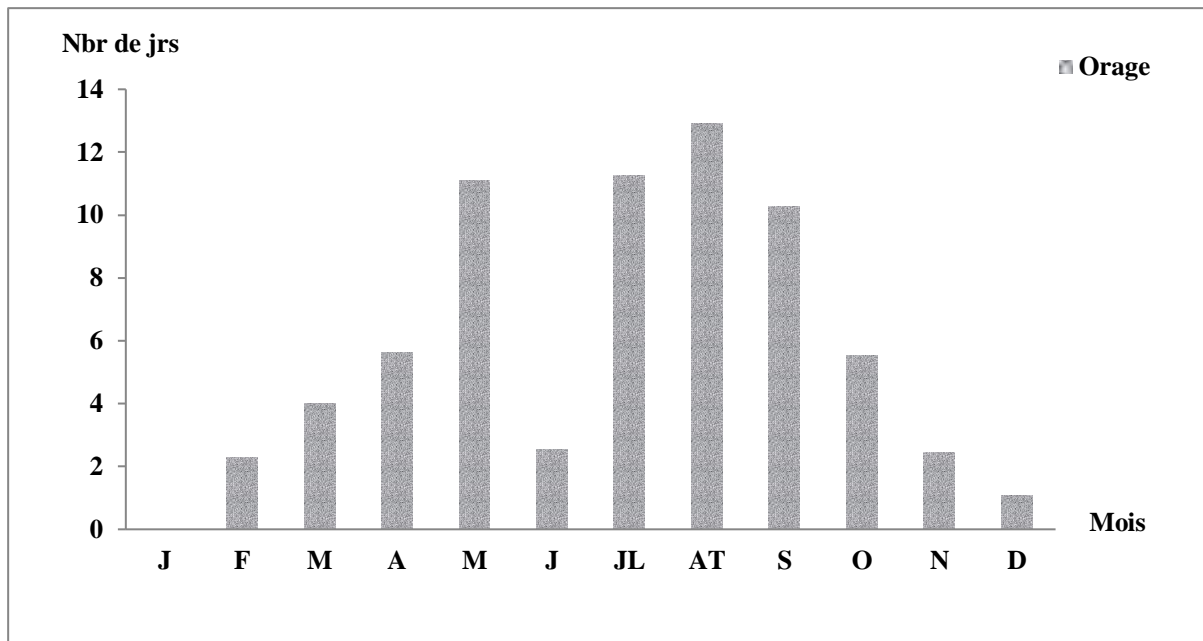
**Figure 17 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de grêle de la période (2004-2014).**

Le diagramme des moyennes de nombres de jours montre que la grêle est fréquente dans la région pendant la période de 6 mois (de février jusqu'au juin et aout), le maximum est enregistré au mois de mars alors que le minimum est enregistré au mois d'avril, juin et aout.

### 1.8. Orage

C'est un phénomène atmosphérique, caractérisé par une série d'éclairs et de coups de tonnerre. Un éclair peut se déclencher à l'intérieur du nuage, entre deux nuages, ou entre le nuage et le sol, toujours lié à la présence d'un nuage de cumulonimbus, dit aussi nuage d'orage.

Il est souvent accompagné par un ensemble de phénomènes violents : rafales de vent, précipitations intenses parfois sous forme de grêle et quelquefois vents rabattants ou bien trombe ou tornade. Les orages se forment lorsque l'atmosphère est instable, avec de l'air chaud près du sol et froid en altitude. (3)

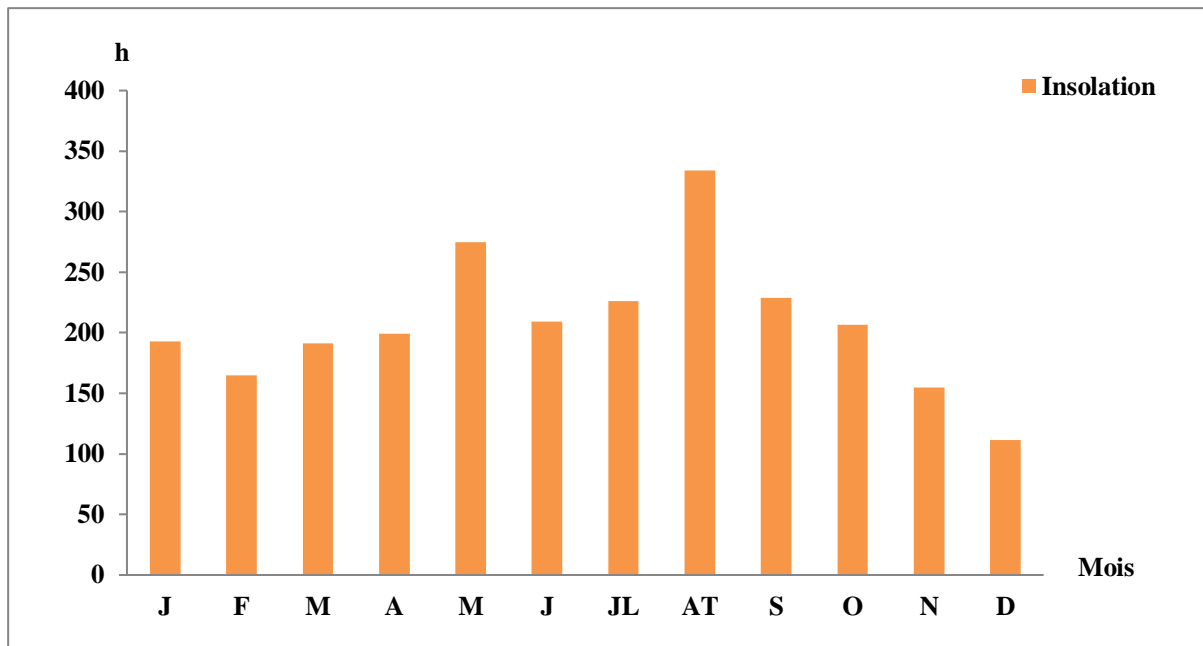


**Figure 18 : Diagramme des moyennes des nombres de jours d'orage de la période (2004-2014).**

A partir de la figure nous constatons que l'orage s'étale sur une durée de 11 mois de février jusqu'au décembre, le maximum étant au mois de aout avec une moyenne de 12.90 jours d'orage.

### 1.9. Insolation

L'insolation est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. L'ensoleillement effectif est en moyenne égal à 8 heures/jour, comparé à l'ensoleillement potentiel qui n'est rien d'autre que la durée du jour et qui est en moyenne de 12 heures/jour (très élevé). Sur le plan temporel, l'ensoleillement et l'évapotranspiration évoluent parallèlement, les maximas sont enregistrés en juillet et les minimas en décembre. (AMROUNE, 2018)



**Figure 19 : Diagramme des moyennes des nombres de jours d'insolation de la période (2004-2014).**

La durée d'insolation maximale est observée au mois d'aout avec 334 heures alors que la valeur minimale est enregistrée en période hivernale au mois de décembre avec une valeur de 111,5 heures.

## 2. Synthèse climatique

Le climat d'une station donnée résulte de l'interaction de nombreux facteurs. De nombreux indices et formules ont été élaborés pour le caractériser, mais quelle que soit la méthode adoptée, les températures et les précipitations constituent les éléments essentiels dans toute étude synthétique. (BELKOUM, 2017)

Il existe beaucoup de méthodes et de formules qui permettent d'évaluer les indices climatiques, nous citons celle de Martonne, de Gaussen et Bagnouls, d'Emberger, de Moral, de Stewart et celle d'Euverte.

Pour notre cas nous nous contenterons de calculer l'indice d'aridité annuel de Martonne et l'indice de Gaussen et Bagnouls, d'emberger.

### 2.1. Indice d'aridité DEMARTONNE 1926

Il est calculé à partir des moyennes des précipitations et des températures. Déterminer par l'équation suivante :

- Indice d'aridité annuelle :  $A = P/(T+10)$

Avec :

**A** : indice d'aridité

**P** : total des précipitations annuelles (mm)

**T** : température moyennes annuelles (°C)

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

**Tableau 05 : Type de climat selon l'indice d'aridité.**

Climat	Hyperaride	Désertique	Steppique	Semi-aride	Tempéré	Humide
Indice d'aridité	$A < 5$	$5 < A < 7,5$	$7,5 < A < 10$	$10 < A < 20$	$20 < A < 30$	$A > 30$

Pour la station de kenchela :

- **P** = 483,4 mm
- **T** = 15,5 °C

**Calcul de l'indice A :**

$$A = 483,4 \text{ mm} / (15,5 \text{ °C} + 10)$$

$$A = 18,95 \qquad 10 < A < 20$$

Cela signifie que le climat de cette région est semi-aride..

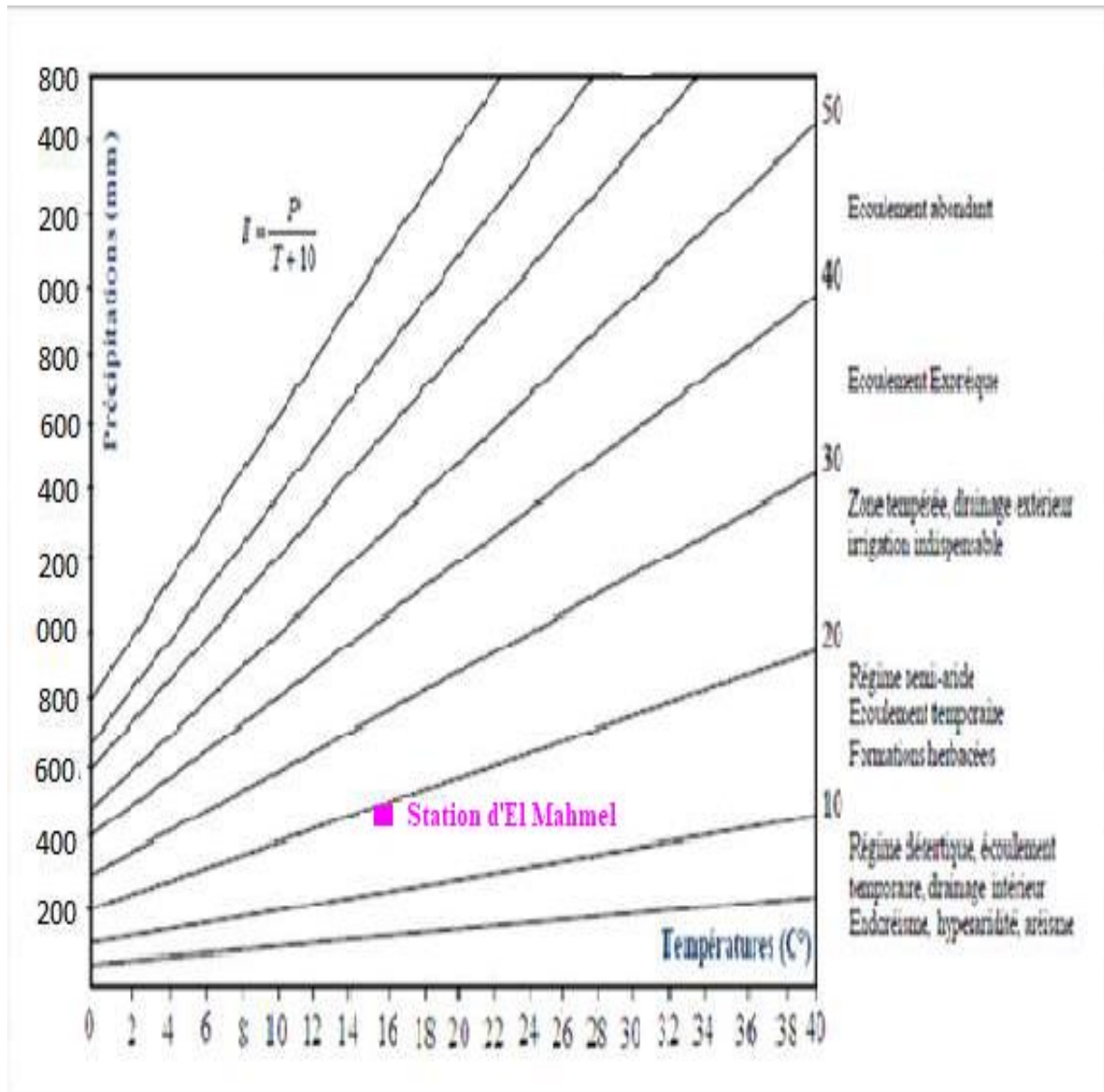
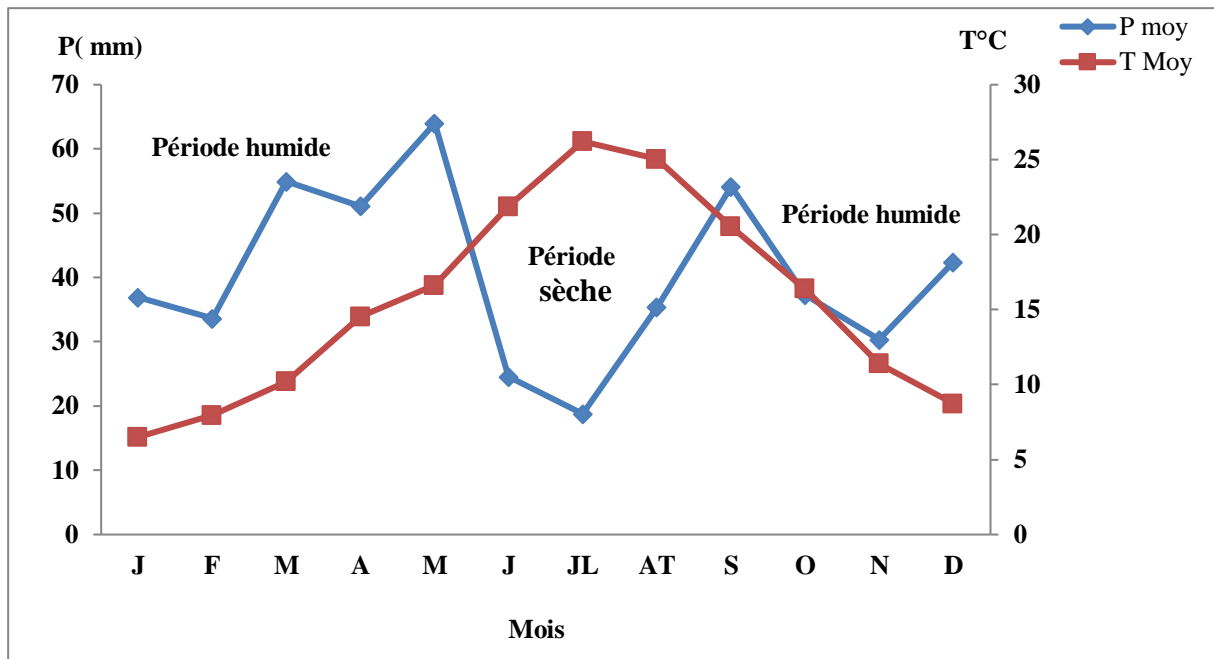


Figure 20: L'indice d'aridité annuel de de Martonne.

## 2.2. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls indique l'importance des saisons sèches en durée et en intensité en tenant compte de l'emplacement de la courbe des températures moyennes par rapport à celle des précipitations.

Un mois est dit biologiquement sec si, « le total mensuel des précipitations, exprimées en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne » ; cette formule ( $P \leq 2T$ ) permet de construire des diagrammes ombrothermiques traduisant la durée de la saison sèche.



**Figure 21: Diagramme Ombrothermique de Gausson et de Bagnouls (2004-2020).**

Le diagramme ombrothermique dans la zone d'étude montre que la période sèche s'étale du mois de mai jusqu'au mois d'octobre et dure environ 180 jours.

La superposition des deux courbes [P (mm) et T (°C)] permet ainsi de définir la période sèche.

### 2.3. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q) permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région méditerranéenne et de la situer dans le climagramme d'Emberger. Ainsi nous avons calculé le quotient pluviométrique d'Emberger à l'aide de la formule suivante (MESSAI, 2017) :

$$Q_2 = 3.43. P / (M - m)$$

Avec :

- **Q<sub>2</sub>**: quotient pluviométrique d'Emberger ;
- **P** : moyenne des précipitations annuelles en mm ;
- **M** : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Celsius ;
- **m** : moyenne des minima du mois le plus froid en degré Celsius ;
- **M-m** : amplitude thermique extrême moyenne.

Dans notre zone d'étude :

$$P = 483,4\text{mm} ; M = 34,9^{\circ}\text{C} ; m = 1,85^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Donc : } Q_2 = 50,16$$

La valeur calculée du quotient d'Emberger est de l'ordre de **50,16**. Cela signifie que la région d'El Mahmel est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

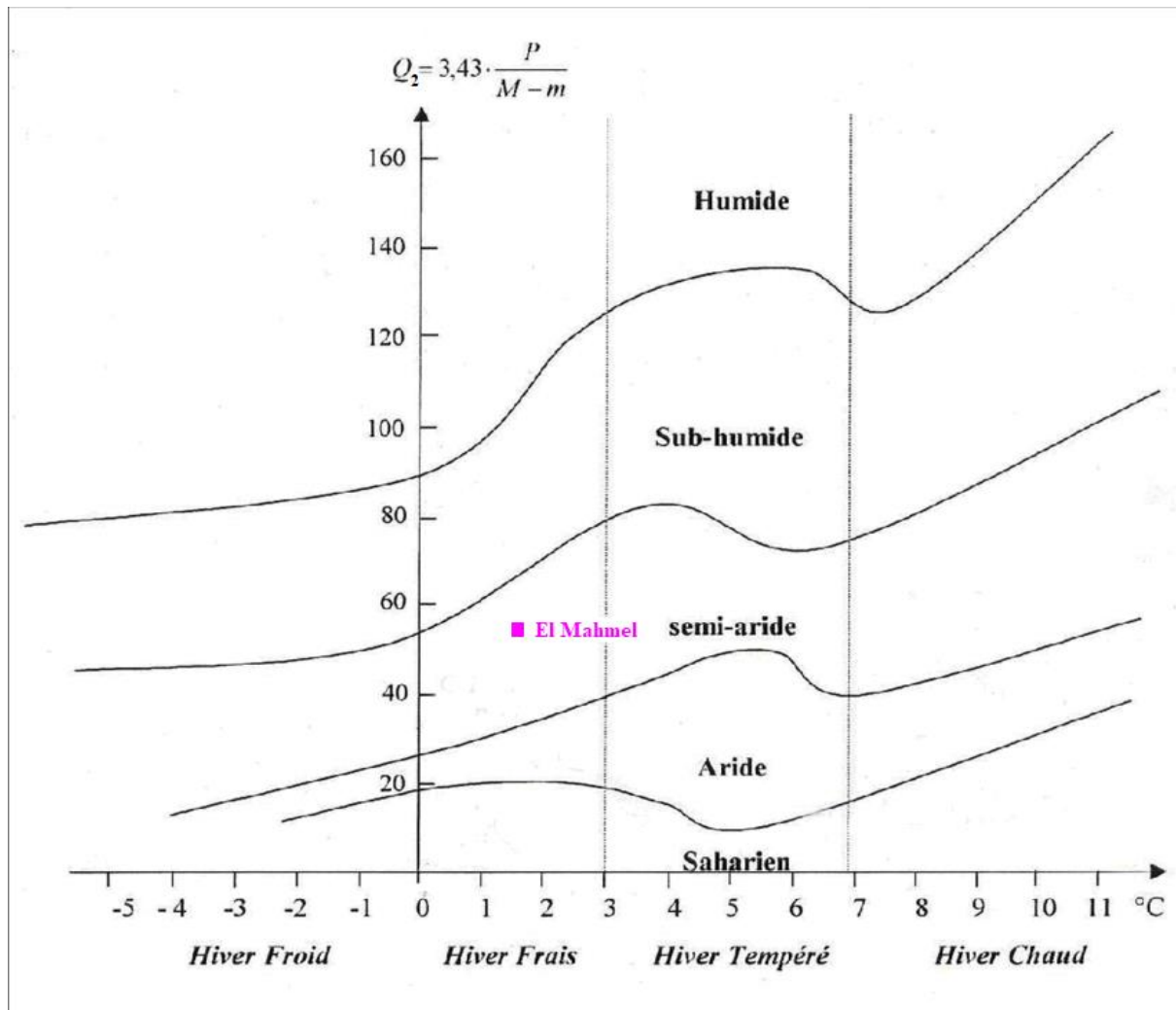


Figure 22 : Climagramme d'Emberger pour la zone d'étude.

### 3. Bilan hydrique

Le bilan de l'eau global correspondant à une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissèlement et évapotranspiration) (AOUIDANE, 2017) . Ce bilan est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + \Delta W$$

Où :

- **P** : La hauteur de la précipitation annuelle en (mm) ;
- **R** : Le ruissellement de surface annuel en (mm) ;
- **ETR** : L'évapotranspiration réelle annuelle en (mm) ;
- **I** : L'infiltration annuelle (mm) ;
- **$\Delta W$** : La variation de réserves en (mm), souvent négligeable. (MEKAOUSSI, 2014)

#### 3.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est définie, comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Elle représente une des composantes fondamentales du bilan hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrologique d'une région ou d'un bassin versant. Cependant, on distingue :

- **L'évapotranspiration réelle (ETR)**, qui correspond à la quantité d'eau effectivement (réellement) évaporée par le sol et transpirée par la végétation.
- **L'évapotranspiration potentielle ETP**, qui correspond à la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre, par un couvert végétal. (AMROUNE, 2018)

#### 3.2. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie. (SEDRATI, 2018)

### 3.2.1. ETR selon la formule de Turc

L. Turc a établi cette relation à partir des températures et des précipitations : cette formule est appliquée sur 254 bassins à travers le monde et donne des bons résultats (donc elle est applicable à toutes les régions) (HASSAD, 2018). Elle est calculée avec la méthode de Turc (1954) qui aboutit à la formule suivante :

$$\text{ETR} = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}. \quad \text{Où :} \quad L = 300 + 25 T + 0.05 T^3.$$

Avec:

- **ETR**: évapotranspiration réelle (mm/an);
- **P**: précipitation moyenne annuelle (mm);
- **L**: paramètre arbitraire lié à la température (pouvoir évaporant de l'atmosphère);
- **T**: température moyenne annuelle. (°C) (OUANES, 2020)

#### Application numérique:

**Tableau 06: ETR selon la formule de turc.**

Station	P (mm)	L	T (°C)	ETR (mm/an)
El Hamma	483,4	873,08	15,49	440,25

### 3.2.2. L'ETR selon la C.W.Thornthwaite

C'est une donnée impossible à mesurer à l'échelle d'une parcelle ou d'une région. La détermination de l'ETR est en fonction de l'ETP et la quantité d'eau disponible (Pluie+RFU).

- Si **ETP=P**, il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifié pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si **ETP>P**, On a  $\text{ETR} = \text{ETP} + \text{RFU}$ , un déficit apparaît, une partie de **RFU** sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'**ETP**. L'évapotranspiration agit donc sur le sol. Aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe. (RFU=0)
- Si **ETP<P**, on a **ETR= ETP** et **RFU=P-ETP** (excédent hydrique). (OUANES, 2020)

**Application numérique****Tableau 07: ETR selon la C.W Thornthwaite.**

<b>Station</b>	<b>ETR selon la formule de Turc (mm/an)</b>	<b>ETR selon la C.W Thornthwaite (mm/an)</b>
<b>El Hamma</b>	440,25	483,4

**3.3. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)**

Les études de Thornthwaite ont porté sur ce qu'il appelle l'évapotranspiration potentielle, définie comme l'évapotranspiration à partir d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour permettre l'évaporation de la quantité maximale d'eau permise par les conditions climatiques (HASSAD, 2018). Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle il existe plusieurs méthodes (méthode de Turc, méthode de Sarlin et méthode de Penman). Pour notre cas, nous allons utiliser la formule de Thornthwaite (SEDRATI, 2018) :

$$\mathbf{ETP = 16[10(t/I)]^a K} \qquad \mathbf{I = \sum i}$$

Avec :

- **ETP** : Evapotranspiration mensuelle (en mm) ;
- **T** : Température moyenne mensuelle, (en °C) ;
- **I** : Indice thermique annuel;
- **i** : Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression suivante :  $\mathbf{i = (t/5)^{1.514}}$  ;
- **a** : Coefficient en fonction de l'indice I calculé par la formule suivante :  

$$\mathbf{a = 1.6 (I/100) + 0.5}$$
- **K** : Coefficient de correction, qui dépend du temps et de l'altitude. (AMROUNE, 2018)

$$\mathbf{ETP = 832,4 \text{ mm}}$$

### 3.4. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)

Selon G. Gastany lorsque les quantités d'eau prévenant des pluies dépassent celles perdues par l'évapotranspiration, le surplus est stocké et constitue ce qu'on appelle réserve facilement utilisable (RFU).  $RFU = (P - ETP) + RFU$  (mois précédent) (BELKOUM, 2017). La RFU est la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique (GUILAL, 2019) ; elle est exprimée en mm. En général la RFU maximum généralement admise correspond à une hauteur de 100 mm d'eau dans les zones arides et semi arides cette valeur maximum peut être ramenée à 25mm du fait que le sol n'est pas toujours saturé. (BERKANI, 2016)

La RFU est encore la quantité d'eau comprise entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement :

- **Humidité a la capacité au champ** : il s'agit de du taux d'humidité d'un sol ressuyé dans des conditions où le drainage est assuré librement ;
- **Humidité au point de flétrissement** : elle correspond au taux d'humidité d'un sol pour lequel l'eau est retenue avec une intensité supérieure aux forces de succion des racines. (OUANES, 2020)

**Tableau 08: Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'El Hamma.**

Période	T <sub>p</sub> (°C)	i	K	ETP <sub>c</sub> (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	20,53	8,5	<b>1,04</b>	94,1	54,15	-40	0	54,1	40	0
O	16,4	6	<b>0,98</b>	61,9	37,28	-24,6	0	37,3	24,6	0
N	11,38	3,5	<b>0,85</b>	29,4	30,33	0,9	0,9	29,4	0	0
D	8,73	2,3	<b>0,84</b>	18,8	42,35	23,6	24,5	18,8	0	0
J	6,5	1,5	<b>0,86</b>	12	36,91	25	49,4	12	0	0
F	7,95	2	<b>0,85</b>	16,4	33,63	17,2	66,6	16,4	0	0
M	10,2	2,9	<b>1,03</b>	29,8	54,94	25,1	91,8	29,8	0	0
A	14,54	5	<b>1,09</b>	56,1	51,12	-5	86,8	56,1	0	0
M	16,63	6,2	<b>1,21</b>	78,1	63,99	-14,1	72,7	78,1	0	0
J	21,87	9,3	<b>1,21</b>	122,3	24,54	-97,8	0	97,2	25,1	0
J	26,21	12,3	<b>1,23</b>	167,2	18,78	-148,4	0	18,8	148,4	0
A	25,04	11,5	<b>1,16</b>	146,4	35,36	-111	0	35,4	111	0
Année	<b>15,5</b>	<b>71,1</b>	/	<b>832,4</b>	<b>483,4</b>	<b>-349</b>	<b>785,4</b>	<b>483,4</b>	<b>349</b>	<b>0,0</b>

- **DA** : le déficit agricole est le déficit entre ETP et ETR donc : **DA=ETP-ETR** ;
- **EXC** : l'excédent c'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaits donc : **EXC=P-ETR** ;
- **BH** : le bilan hydrique : **BH=RFU-DA**.

### 3.5. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite

- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations. Les précipitations dominent dans la région d'étude avec un total de 483.4 mm/an.
- A l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois d'avril les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois d'octobre par contre elles sont supérieures à l'ETP pendant les autres mois (janvier, février, mars, novembre et décembre).
- En générale, les précipitations ne couvrent pas les besoins de l'évapotranspiration potentielle et ne permettent pas la formation de la RFU.
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.

- La reconstitution du stock s'observe au mois de novembre avec une RFU=0,9mm.

La RFU atteint son maximum (91.8 mm) au mois de mars et diminue jusqu'à 72.7mm au mois de mai, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock .

#### 4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

##### 4.1. Ruissellement

Le ruissellement correspondant à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations (MEKAOUSSI, 2014). Lorsque le sol est saturé d'eau et qu'il ne peut pas en absorber plus, l'eau reste à la surface du sol et n'est pas filtrée. De même, lorsque le sol est imperméable, l'eau ne pourra pas pénétrer le sol. (AMROUNE, 2018)

Parmi les méthodes empiriques on peut citer celle de Tixeront et Berkaloff, Elle s'écrit de la manière suivante:

$$R = P^3 / 3. (ETP)^2$$

Où :

- **R** : Le ruissellement moyen annuel en (mm) ;
- **P** : La hauteur des précipitations annuelles en (mm) ;
- **ETP** : L'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

##### Application numérique

**Tableau 09 : La lame d'eau ruisselée pour la station d'El Hamma.**

<b>P (mm)</b>	483.4
<b>ETP (mm)</b>	832.4
<b>R (mm)</b>	54.34

##### 4.2. Infiltration

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et du sous-sol, sous l'action de la gravité et effets de la pression. La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir des autres paramètres à l'aide de la formule suivante:

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

Où :

- **I** : Infiltration en (mm) ;
- **P** : La hauteur des précipitations annuelles en (mm) ;
- **ETP** : L'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm) ;
- **R** : Le ruissellement moyen annuel en (mm).

### Application numérique

**Tableau 10: La lame d'eau infiltrée estimée a laide du bilan hydrologique.**

<b>P (mm)</b>	483.4
<b>ETR (mm)</b>	483.4
<b>R (mm)</b>	54.34
<b>I (mm)</b>	-54.34

### **Conclusion**

En définitive, l'analyse des données dans ce chapitre nous a permis d'obtenir des résultats sur les divers facteurs climatiques concernent la série de (2004-2020).

A partir des données climatiques on peut dire que la région d'étude est caractérisée par deux saisons :

- Une saison peut pluvieuse froide allant du mois d'octobre jusqu'au mois de mai.
- Une saison sèche chaude du mois de juin jusqu'au mois de septembre

D'une manière générale et d'après le climagramme d'emberger, le climat de la zone d'étude est situé dans l'étage semi aride avec :

- Une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 483.4 mm.
- Une température moyenne annuelle de l'ordre de 15,5°C.
- Une évapotranspiration potentielle de l'ordre de 832.4 mm
- Une évapotranspiration réelle de l'ordre de 483.4 mm.
- Un déficit agricole de l'ordre de 349.0 mm. Notons que le bilan hydrique est déficitaire, et l'alimentation se fait latéralement soit par les bassins voisins, soit par drainance.

# Résultats et discussions

## Introduction

L'étude de la chimie des eaux souterraines ou hydrochimie apporte son lot d'informations dans le traçage chimique pour la compréhension du fonctionnement des différents systèmes aquifères et des relations inter-nappes. Ainsi que pour déterminer les caractéristiques physicochimiques des eaux et des éléments dissous afin de déterminer leurs origines.

Afin de suivre la variation hydrogéochimique le long du chemin d'écoulement souterrain et de déterminer le chimisme et la qualité des eaux souterraines de la région d'El Mahmel, nous avons procédé à une approche portant sur :

- Caractérisation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines et leur variation spatiotemporelle.
- Etude des principaux processus chimiques dans l'aquifère et l'évolution spatio-temporelle de la composition de l'eau en comparant les campagnes des mesures et des analyses physico-chimiques par les méthodes de cartographie et l'analyse statistique, telles que l'analyse en composante principale (ACP).

Cette approche d'analyse et d'interprétation a été effectuée sur des analyses chimiques de 5 échantillons prélevés du forage TR04 et de la station Barimou de la région pendant trois périodes (2019, 2020, 2021). Nous nous sommes intéressés aux éléments chimiques fondamentaux ( $\text{SO}_4^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), et son analyse ont été effectuées au laboratoire de la société Algérienne Des Eaux (ADE) de la wilaya de Khenchela. à l'aide d'un spectrophotomètre ; et aux paramètres physiques qui sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi paramètre sont: la température, la conductivité électrique et le potentiel d'hydrogène et turbidité.

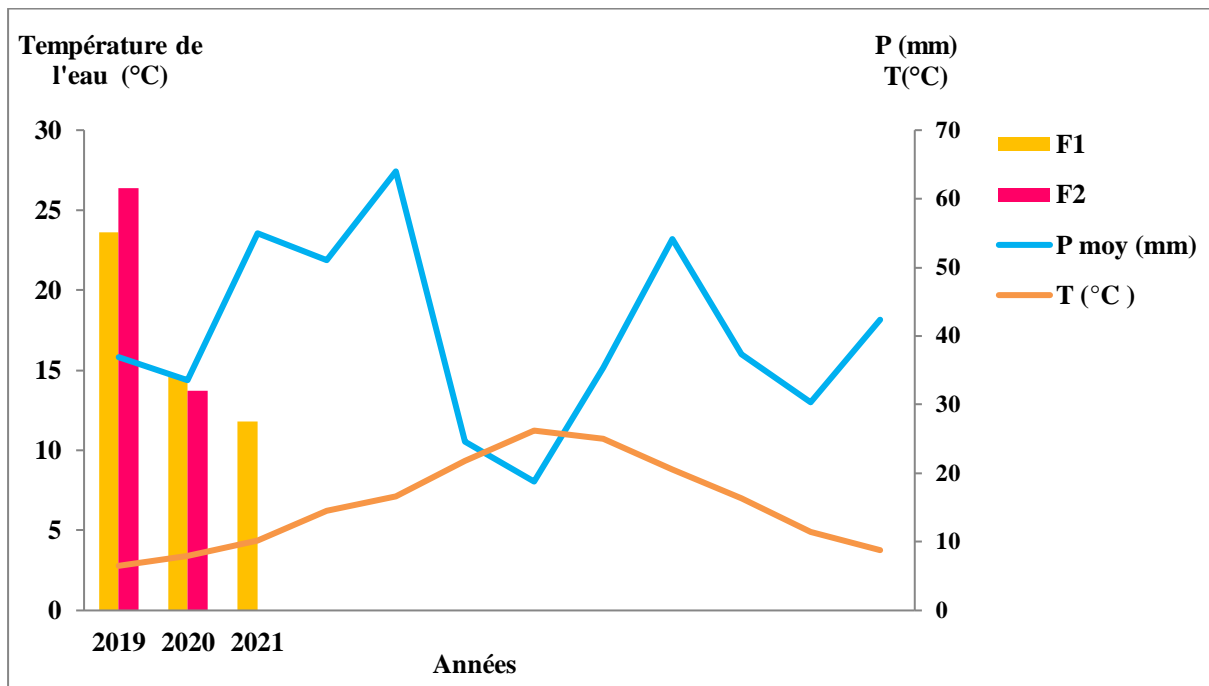
### 1. Etude des paramètres physique

#### 1.1. La température de l'eau

La température est un facteur important dans le contrôle des paramètres physico-chimiques, il intervient dans certaines réactions d'échange entre l'eau et les sédiments, ou des réactions biochimiques, une élévation de la température peut favoriser l'adsorption des micropolluants, notamment les métaux lourds. (ATHAMENA, 2018)

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le

développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes.



**Figure 23 : Histogramme de variation de la température des eaux de la zone d'étude.**

Dans la zone d'étude, la température a présenté une petite variation d'un point à un autre (Figure 23) avec un minimum de 11,8°C (Janvier) au niveau du forage F1 en 2021, et de 13,7°C (Janvier) au niveau du forage F2 pendant l'année 2020, et un maximum de 23,6°C (Aout) au niveau du forage F1, et de 26,4°C (Décembre) au niveau du forage F2 pendant l'année 2019.

Les mesures observées dans la région d'étude sont inférieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS qui est de 25°C. A l'exception de F2 en 2019 où la température de l'air est basse par rapport les autres années. Notons que la température moyenne annuelle de l'air est de 15,5°C. Ces valeurs traduisent la présence d'une nappe alluviale non profonde alimentée par les eaux météoriques, et on peut lier la diminution de la température des eaux des points prélevés par la diminution de la température de l'air.

## 1.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique traduit la capacité d'une eau (solution aqueuse) à conduire le courant électrique, elle est directement liée à la force ionique qui découle des formations traversées par cette eau dans le bassin hydrogéologique ainsi qu'à son temps de séjour dans le

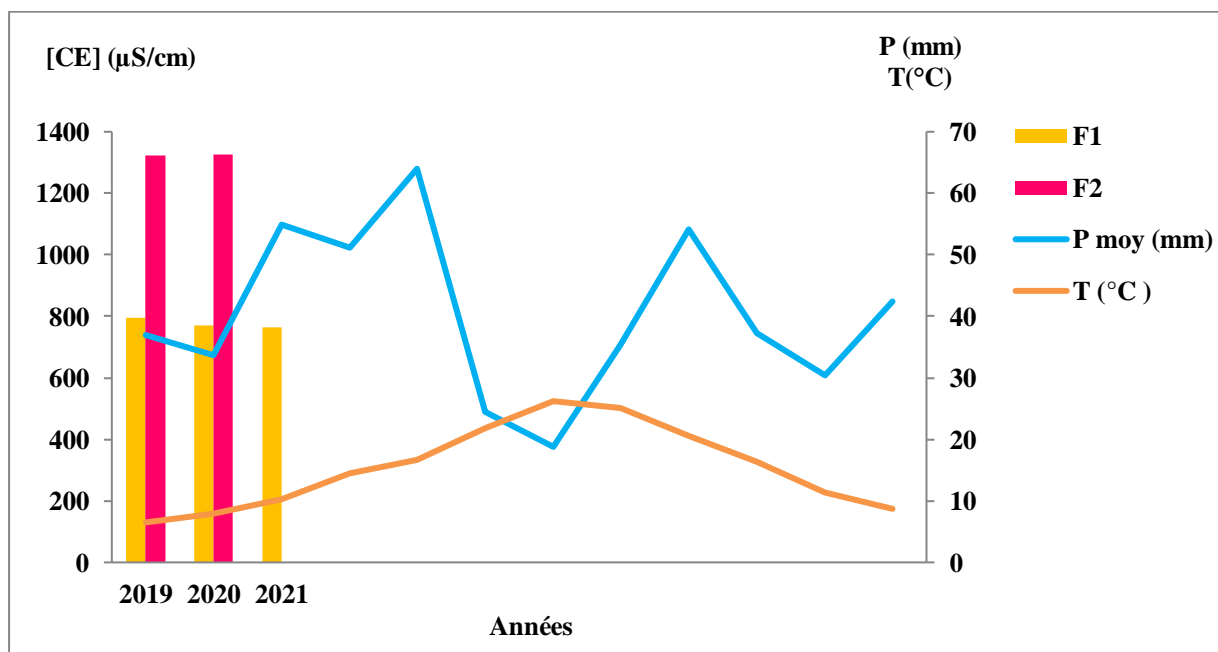
réservoir. Ce paramètre a été mesuré à l'aide d'un conductivité-mètre en plongeant les deux électrodes dans un récipient contenant de l'eau à examiner.

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. La conductivité varie proportionnellement avec les fluctuations de la température. Ce paramètre renseigne aussi sur les zones de mélange ou d'infiltration. Elle s'exprime en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (SEDRATI, 2018)

La conductivité varie proportionnellement avec les fluctuations de la température. Ce paramètre renseigne aussi sur les zones de mélange ou d'infiltration.

La classification des eaux en fonction de la conductivité se présente de la manière suivante :

- Conductivité égale à  $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$  : eau déminéralisée ;
- Conductivité de  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $80 \mu\text{S}/\text{cm}$  : eau de pluie ;
- Conductivité de  $80 \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  : eau peu minéralisée ;
- Conductivité de  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $500 \mu\text{S}/\text{cm}$  : eau moyennement minéralisée ;
- Conductivité de  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  : eau saline ;
- Conductivité supérieure à  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  : eau de mer.



**Figure 24 : Histogramme de variation de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude.**

La figure 24 montre que les concentrations de la CE des eaux des forages F1, F2 est différentes d'un point à un autre. La CE des eaux du forage F2 est très élevée avec des valeurs similaires 1323  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2019 et 1327  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2020 par rapport à la CE des eaux du forage F1 avec des valeurs de 796  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2019, 769  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 764  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021.

Les eaux du forage F1 sont des eaux moyennement minéralisées (supérieur à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), alors que les eaux du forage F2 sont des eaux salines (supérieur à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), ainsi que ses valeurs sont supérieur à la norme de potabilité fixé par l'OMS (<1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) cette forte minéralisation traduit la nature de formations géologiques drainées, le temps de séjours dans le réservoir, la mobilité des ions et la température qui on a déjà dit que cette dernière du forage F2 dépasse la norme en 2019.

### 1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est la mesure de l'acidité de l'eau. Il exprime la concentration en ions hydrogène  $\text{H}^+$  d'une eau. Ce paramètre joue un rôle très important dans le développement de la vie aquatique. De plus, le pH influe sur le comportement de certains éléments comme les métaux dont il peut diminuer ou augmenter la mise en solution et donc la toxicité en rendant les métaux bio disponibles. Généralement, les valeurs de pH des eaux naturelles sont comprises entre 6 et 8,5.(BENKADDOUR, 2018)

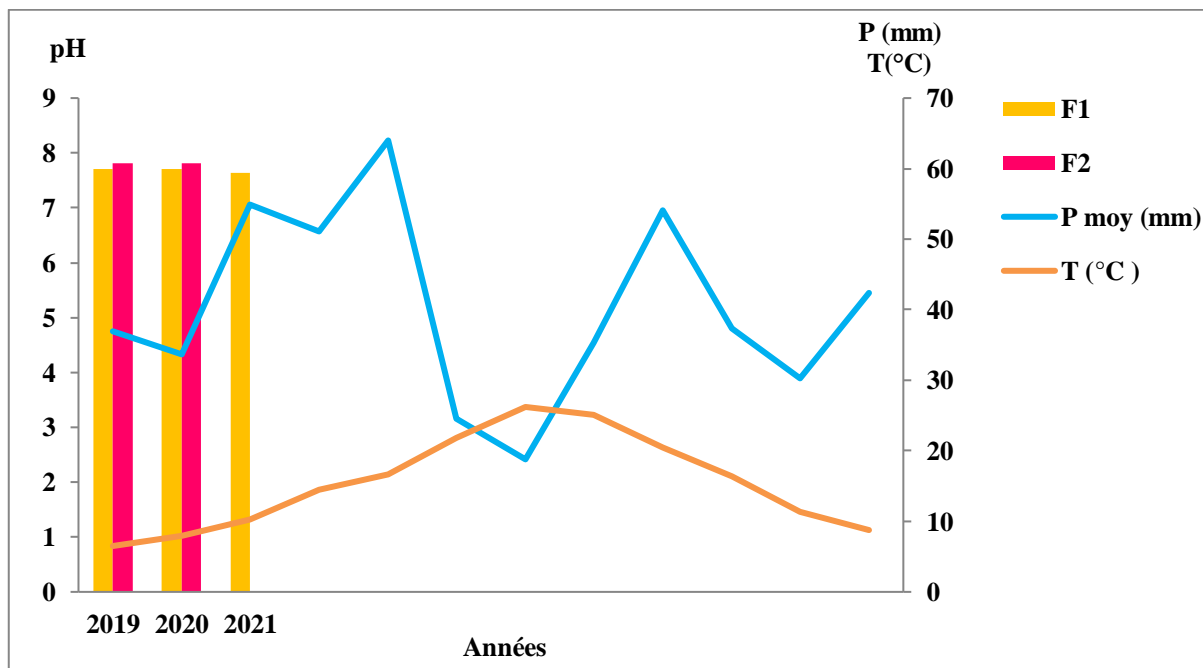
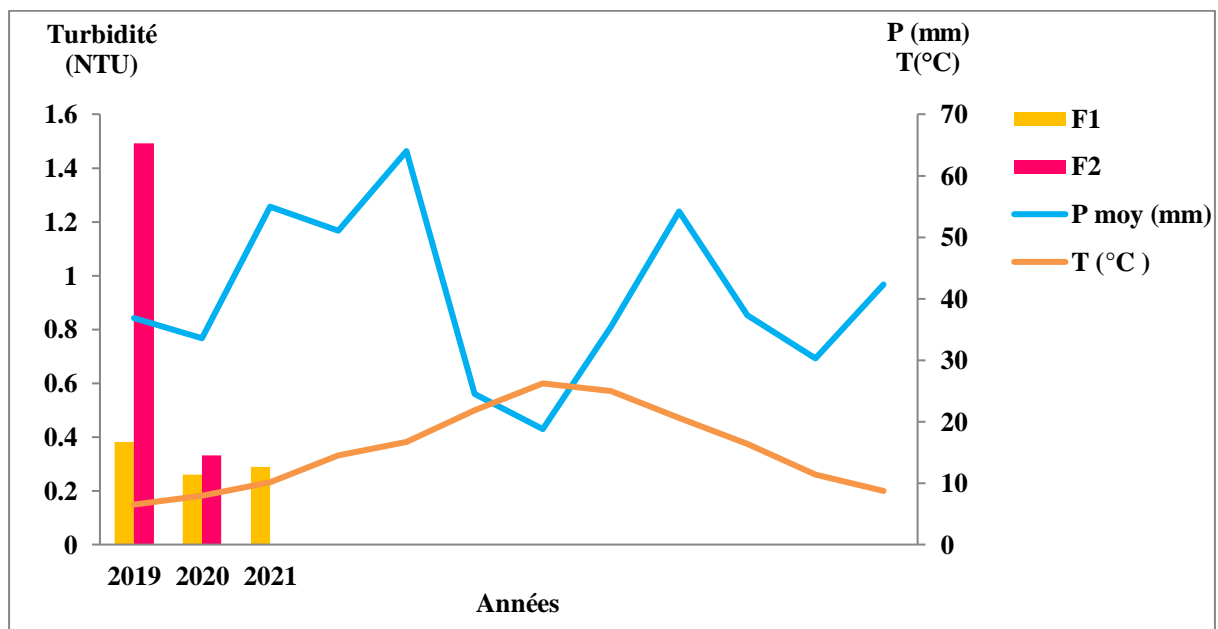


Figure 25 : Histogramme de variation de pH des eaux de la zone d'étude.

D'après la figure 25 nous observons que les valeurs des deux forages sont presque similaires pendant les trois périodes 2019, 2020 et 2021 (elles comprennent entre 7,6 et 7,8). Nous remarquons aussi que les eaux de ces forages sont des eaux neutres et conformes à la norme de potabilité préconisée par l'OMS.

#### 1.4. La turbidité

C'est un paramètre indiquant la réduction de la limpidité de l'eau. Cela est dû à la présence des matières en suspension non dissoutes (MES) provenant de l'érosion et du lessivage des sols, ou des matières particulaires issues de la dégradation de la matière animale et végétale. Elle est exprimée généralement en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ou FTU (Formazin Turbidity Unit), (BENKADDOUR, 2018). L'appareillage utilisé est un turbidimètre et une cuve stérile. (MERZOUG, 2009)



**Figure 26 : Histogramme de variation de la turbidité des eaux de la zone d'étude.**

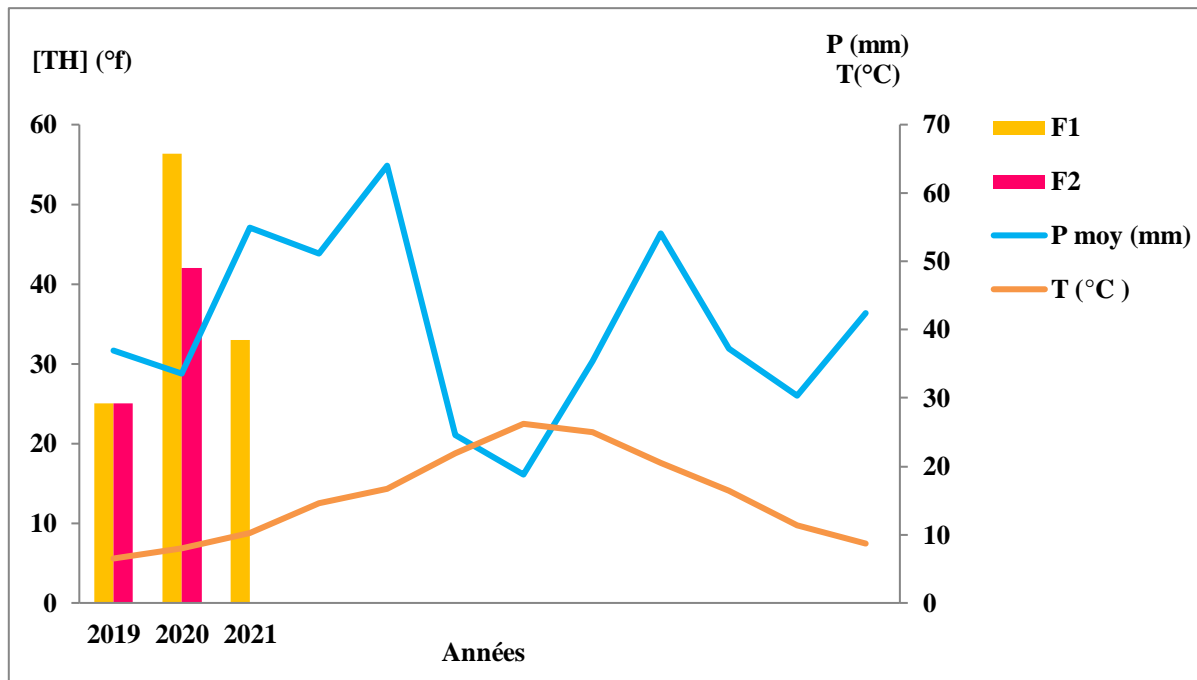
La figure 26 nous montre que la turbidité des eaux du forage F2 est très élevée par rapport aux autres prélèvements avec une valeur de 1,49 NTU en 2019 et de 0,33 NTU au niveau du forage F1 pendant la même période.

Les valeurs de la turbidité au niveau du forage F1 (0,26 NTU) et F2 (0,33 NTU) sont faibles pendant l'année 2020 et 2021 pour le forage F1 (0,29 NTU). Ces valeurs sont inférieures à la norme de potabilité préconisée par l'OMS.

## 2. Etude des paramètres chimiques

### 2.1. La dureté

La dureté totale ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et des ions hydrogènes. Dans la plupart des cas, la dureté est due aux ions calcium et magnésium. (KHALDOUN, 2015)



**Figure 27 : Histogramme de variation de la concentration de la dureté totale des eaux de la zone d'étude.**

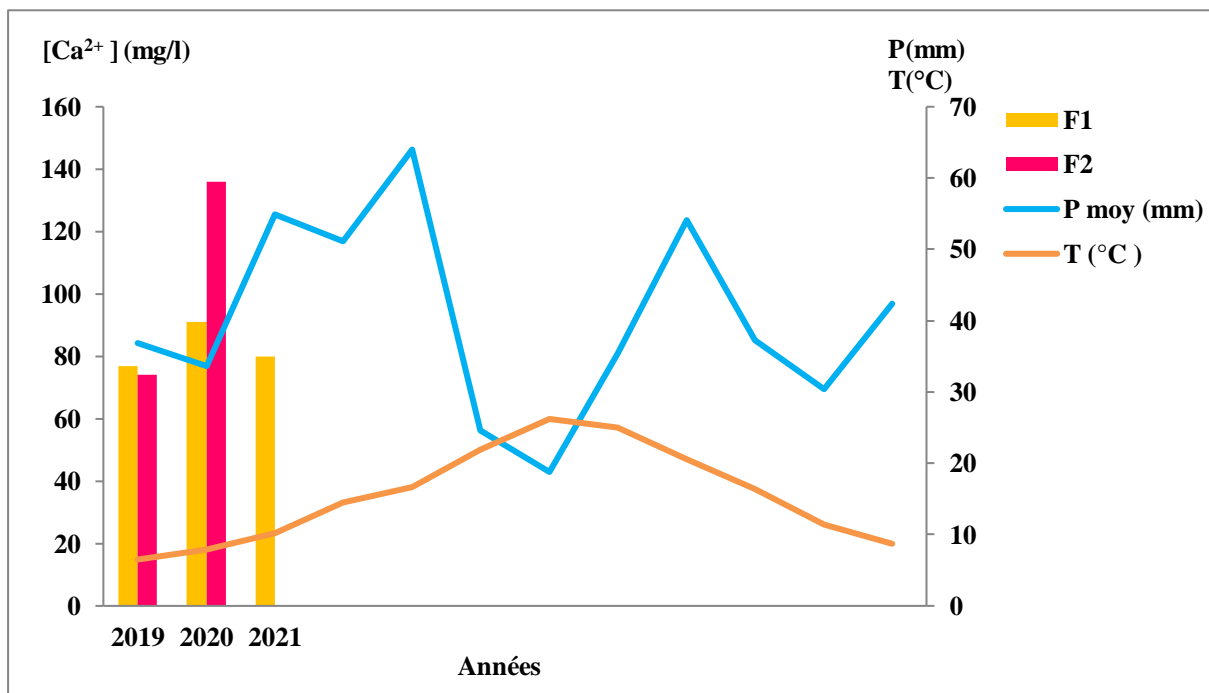
Selon la figure 27 nous constatons que la dureté totale des eaux du forage F1 est très élevée par rapport aux autres échantillons avec une valeur de 56,4°f en 2020 ; cette valeur supérieure à la norme préconisée par l'OMS (50°f). Ce qui explique que ces eaux sont influencées par la dissolution de formations gypsifères.

Les autres valeurs de la dureté totale des autres échantillons sont faibles et varient entre 25 et 42°f pendant les trois périodes.

## 2.2. Les cations

### 2.2.1. Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous formes de carbonates, (BOUGANDOURA, 2013). C'est un composant majeur de la dureté de l'eau, il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés.(BELMEKKI, 2013)



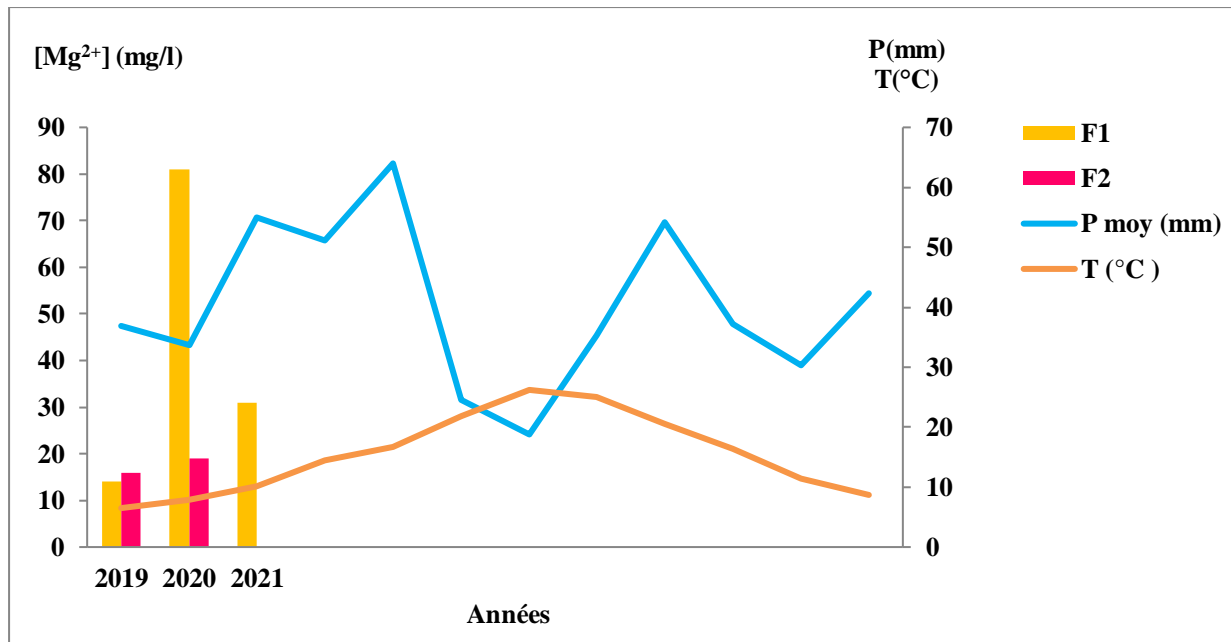
**Figure 28 : Histogramme de variation de la concentration du calcium des eaux de la zone d'étude.**

Selon l'histogramme de la figure 28 la concentration du calcium est très élevée au niveau des eaux du forage F2 (136 mg/l) en 2020 où elle a dépassé les seuils de potabilité préconisés par l'OMS (100 mg/l). Ce qui implique que cette forte concentration est due à l'origine de formations carbonatées d'âge maestrichtien crétacé.

Pour les autres échantillons, sont inférieures à la norme de l'OMS car la concentration du calcium se varie entre 74 et 91mg/l pendant les trois périodes 2019,2020, et 2021 au niveau des deux forages.

### 2.2.2. Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

L'existence du magnésium dans les eaux résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitiques, c'est-à-dire la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, ou bien par les formations salifères riches en magnésium « $MgSO_4$ ». La réaction chimique est accentuée par la présence de l'acide carbonique présente dans l'eau. (BELKOUM, 2017)



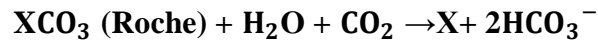
**Figure 29: Histogramme de variation de la concentration du magnésium des eaux de la zone d'étude.**

La concentration du magnésium est très élevée au niveau des eaux du forage F1 en 2020 avec une valeur de 81 mg/l, sachant que la norme de potabilité de l'OMS est de 50 mg/l. On peut attribuer teneur élevée en magnésium à la dissolution des formations dolomitiques qui se trouve dans le trias des formations géologiques récentes (quaternaire cailloutis et alluvions). Par contre le reste des concentrations se varie entre 14 et 31 mg/l des deux forages pendant les trois périodes 2019, 2020, 2021 (Figure 29).

## 2.3. Les anions

### 2.3.1. Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )

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

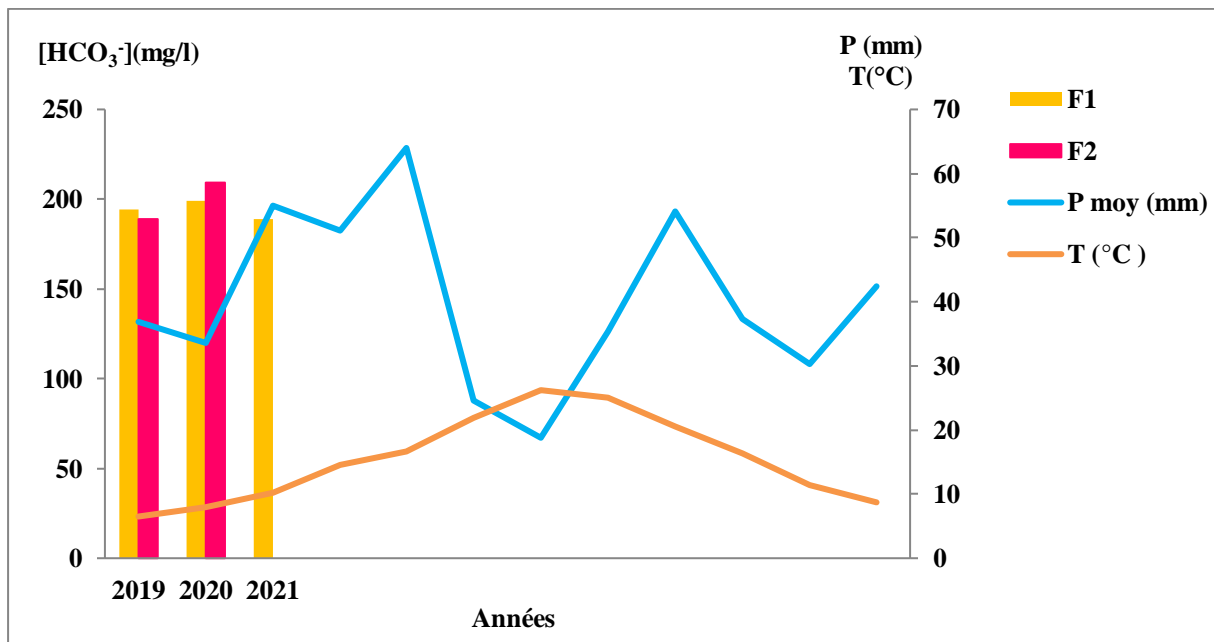


Avec :

➤ **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. (BELKOUM, 2017)



**Figure 30: Histogramme de variation de la concentration des bicarbonates des eaux de la zone d'étude.**

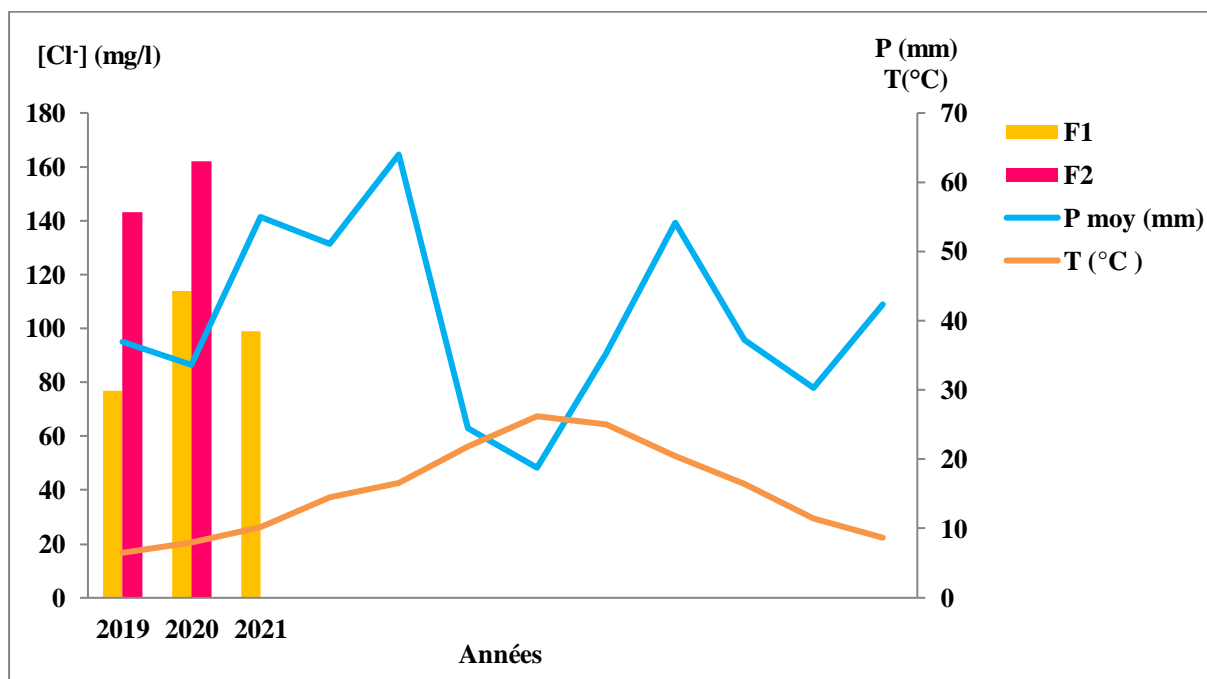
La concentration des bicarbonates des échantillons analysés est presque similaire, elle se varie entre 189 et 209 mg/l au niveau des deux forages pendant les trois périodes 2019, 2020, 2021. Ces concentrations sont conformes à la norme de potabilité de l'OMS. (Figure 30)

### 2.3.2. Chlorure ( $\text{Cl}^-$ )

Les chlorures sont des éléments conservés en solution. Il ne subit aucune interaction eau-roche et ne sont pas dégradés en solution. Ils ont pour origines :

- La dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères ;
- Les engrais chimiques et les pesticides utilisés en agriculture ;
- Les rejets des eaux usées d'origines domestique et industrielle. (BELKOUM, 2017)

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation qui est due à la dissolution des sels naturels, de l'industrie ou des rejets d'eau usée d'origine domestique en particulier l'urine qui est responsable d'un rapport d'environ 60 mg/l d'ion  $\text{Cl}^-$ /personne/ jour. (MEZHOUD, 2013)

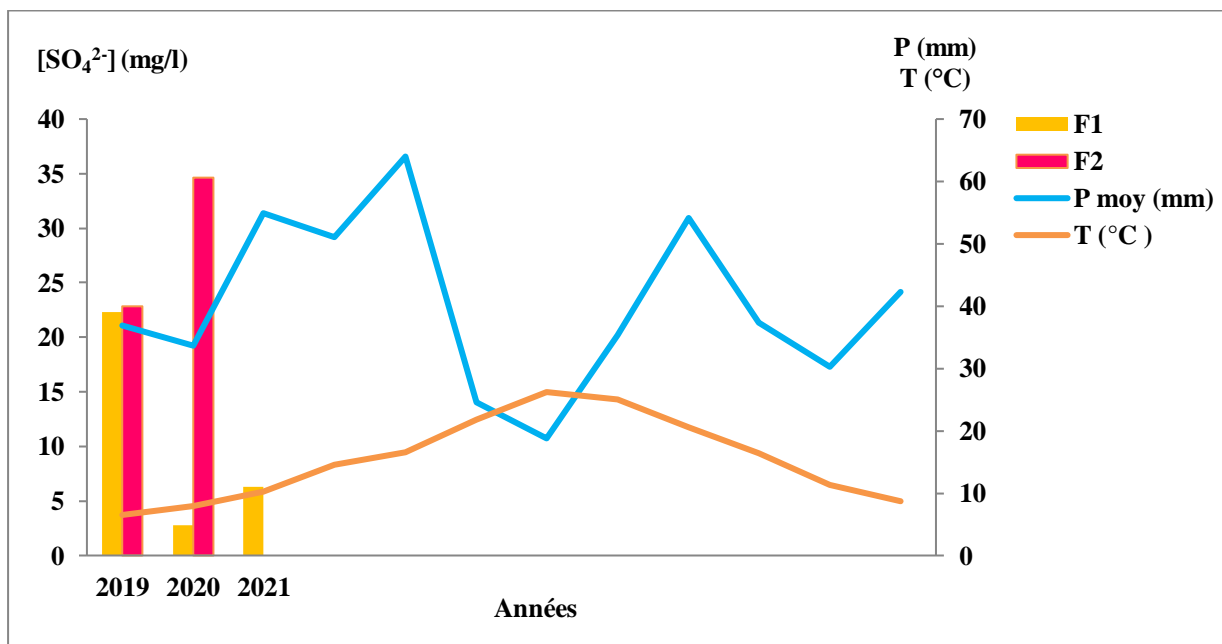


**Figure 31: Histogramme de variation de la concentration des chlorures des eaux de la zone d'étude.**

Les résultats de mesure obtenus au laboratoire des chlorures montrent que la concentration minimale est représentée au forage F1 en 2021 avec une valeur de 99mg/l tandis que les concentrations maximales sont observées au niveau de puits F2 en 2020 avec une valeur de 162mg/l. Ces teneurs en chlorures sont généralement inférieures à 250mg/l (norme d'OMS)

### 2.3.3. Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Les sulfates sont facilement solubles dans l'eau. La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, à la dégradation de la matière organique dans le sol ainsi qu'à l'apport anthropique (origine agricole). Dans les eaux de pluie les sulfates sont de l'ordre du mg/l, (ATHAMENA, 2018). A des concentrations supérieures à 250 mg/l, le sulfate peut modifier le goût de l'eau. À des concentrations supérieures à 1000 mg/L, le sulfate peut avoir un effet laxatif. En général cependant, l'eau potable ne contient pas de telles concentrations.

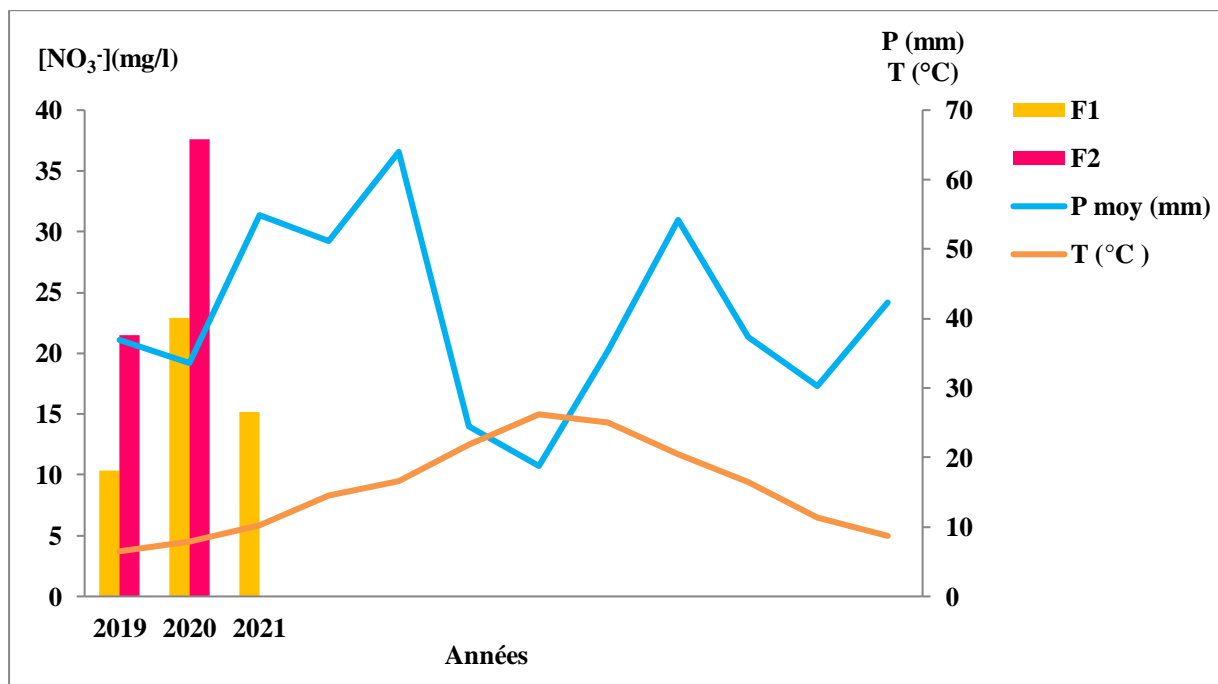


**Figure 32: Histogramme de variation de la concentration des sulfates des eaux de la zone d'étude.**

La teneur des sulfates des eaux de la zone d'étude se varie d'un échantillon à un autre avec un maximum de 34,64 mg/l (F2 en 2020) et un minimum de 2,73 mg/l (F1 en 2020). Ces sont favorables avec la norme de potabilité de l'OMS (250mg/l).

### 2.3.4. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les nitrates sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote (qui représente 78% de l'atmosphère) par les microorganismes dans les plantes. Le nitrate est la forme oxydée de l'azote qui est la plus stable, mais il peut être réduit en nitrite, modérément réactif, par action microbienne. Le nitrate étant un sel très soluble dans l'eau, très mobile dans le sol, pénètre dans la nappe phréatique lorsque sa quantité dépasse ce que les plantes peuvent utiliser. (MEKAOUSSI, 2014)



**Figure 33: Histogramme de variation de la concentration des nitrates des eaux de la zone d'étude.**

La teneur des nitrates atteinte un maximum de 37,63 mg/l (F2 en 2020) et un minimum de 10,38 mg/l (F1 en 2019). Ces valeurs sont conformes à la norme de l'OMS qui a été fixée à une valeur de 50 mg/l.

### 3. Traitement statistique des données hydro chimiques

#### 3.1. Etude statistique en composante principale

Pour toute étude hydrogéochimique, l'étude séparée de chacune des variables est une phase importante lors de l'analyse de comportement chimique, mais elle est souvent insuffisante. Il faut donc analyser les données en tenant compte leur caractère multi dimensionnel. Pour étudier les sources de pollution des eaux une méthode statistique a été utilisée : l'analyse en composante principale (ACP).

##### 3.1.1. Statistiques élémentaires

Dans le tableau n° 11 nous avons présenté les minimums, maximums, moyennes et les écarts-types de la série de différents éléments chimiques.

**Tableau 11: Calcul des moyennes et des écarts-type de la série.**

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
<b>T</b>	5,00	11,80	26,40	18,02	6,53
<b>pH</b>	5,00	7,63	7,82	7,73	0,08
<b>CE</b>	5,00	764,00	1327,00	995,80	300,77
<b>Turb</b>	5,00	0,26	1,49	0,55	0,53
<b>TH</b>	5,00	25,00	56,40	36,28	13,25
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	5,00	74,00	136,00	91,60	25,64
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	5,00	14,00	81,00	32,20	28,07
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	5,00	189,00	209,00	196,00	8,37
<b>Cl<sup>-</sup></b>	5,00	77,00	162,00	119,00	33,96
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	5,00	2,74	34,64	17,77	13,12
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	5,00	10,38	37,63	21,52	10,32

##### 3.1.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation exprime les différentes corrélations entre les variables analysées. Les corrélations observées sont totalement fortes. En effet, plus de 52,94 % des coefficients de corrélation sont supérieur à 0,70. Ces fortes corrélations constatées lient des variables de même classe (Tableau 12) à savoir :

Tableau 12: Matrice de corrélation.

Variables	T	pH	CE	Turb	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
T	<b>1,00</b>										
pH	0,42	<b>1,00</b>									
CE	0,31	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>								
Turb	<b>0,76</b>	<b>0,59</b>	<b>0,62</b>	<b>1,00</b>							
TH	<b>-0,67</b>	-0,10	-0,21	<b>-0,53</b>	<b>1,00</b>						
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0,52</b>	0,47	0,48	-0,38	0,47	<b>1,00</b>					
Mg <sup>2+</sup>	-0,46	-0,37	-0,50	-0,39	<b>0,87</b>	-0,02	<b>1,00</b>				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,42	0,43	0,33	-0,46	<b>0,58</b>	<b>0,94</b>	0,14	<b>1,00</b>			
Cl <sup>-</sup>	-0,09	<b>0,83</b>	<b>0,89</b>	0,38	0,23	<b>0,67</b>	-0,11	<b>0,53</b>	<b>1,00</b>		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,34	<b>0,78</b>	<b>0,79</b>	0,28	-0,40	<b>0,55</b>	<b>-0,75</b>	0,48	<b>0,54</b>	<b>1,00</b>	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,36	<b>0,69</b>	<b>0,70</b>	-0,02	0,49	<b>0,90</b>	0,06	<b>0,81</b>	<b>0,91</b>	0,50	<b>1,00</b>

- Les nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/l) montrent des corrélations positives avec des coefficients R significatifs respectivement avec Cl<sup>-</sup> (R=0,91), Ca<sup>2+</sup> (R=0,90), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (R=0,81) et CE(R=0,70), pH (R=0.69) ;
- Les chlorures Cl<sup>-</sup> (mg/l) sont corrélés positivement à la CE (R=0,89) et au pH (R=0,83), Ca<sup>2+</sup>(R=0.67), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (R=0.53) ;
- Les sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(mg/l) sont corrélés positivement avec la CE (R=0,79) et au pH (R=0,78), Ca<sup>2+</sup>(R=0.55),Cl<sup>-</sup>(R=0.54) ;et ils sont corrélées négativement avec le magnésium (R= -0.75) ;
- Les bicarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/l) sont corrélés positivement avec le calcium Ca<sup>2+</sup> (R=0,94), TH (R=0.58);
- Le magnésium Mg<sup>2+</sup> (mg/l) est positivement corrélé avec le titre hydrométrique (R=0,87) ;
- La turbidité (NTU) est corrélée positivement avec la température T(R=0,76) ;
- La conductivité électrique CE (μS/cm) montre une corrélation positive avec le pH(R=0,95).

Le reste des corrélations est relativement faible. Il correspond à 49,09% des coefficients de corrélation qui sont inférieurs à 0,5. Il s'en suit qu'il y a des variables analysées qui ne sont pas corrélées entre elles. Ce constat réduit significativement la redondance de l'information et justifie du même coup la pertinence dans le choix de ces variables pour mener l'étude.

### 3.2. Analyse en composante principale

L'ACP est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive, utilisable comme outil d'aide à l'interprétation d'une matrice de données. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances et la position graphique que présenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution. (Ahoussi et al., 2017)

#### 3.2.1. Principe de l'ACP

L'ACP consiste à déterminer la corrélation des variables et de regrouper ces variables en ensembles dans des familles de même origine. Ces ensembles des variables nouvelles, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution. (LEGHLAM, 2020)

#### 3.2.2. Application de l'ACP

##### 3.2.2.1. Etude des variables

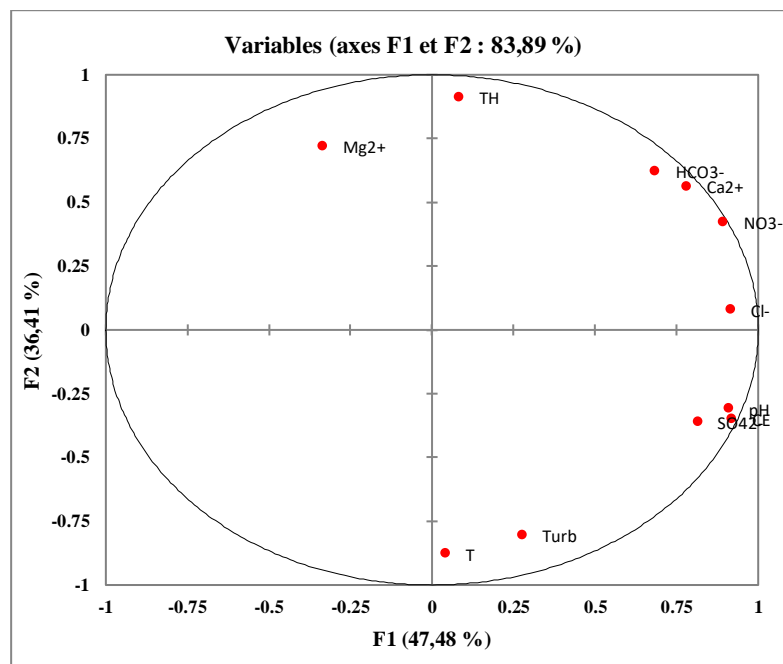
Dans notre cas le cercle des corrélations (Figure 34), nous permis de déduire que :

- Les éléments  $\text{HCO}_3$ , Ca, pH, Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$  sont significativement corrélées positivement à l'axe I. Ces éléments sont aussi corrélés entre eux ;
- La température et la turbidité sont significativement corrélées négativement à l'axe II; Le titre hydrométrique (dureté totale) est significativement corrélé positivement à l'axe II.

Le cercle des corrélations est aussi utile pour interpréter la signification des axes. Dans notre cas, l'axe I peut être lié au chlorure. L'axe II est lié à la dureté totale.

L'analyse des données est effectuée sur 11 variables, elle montre une variance de 83,89% sur le plan I-II, plusieurs relations entre les éléments chimiques ont été observées ;

- L'axe I (47,48 %), présente le pôle de la salinité avec une relation double de la dureté et des éléments chimiques, indiquant deux origines différentes : d'une part par une proportion avec  $\text{Cl}^-$  indiquant une origine naturelle de la salinité (Sebkha) et dissolution des roches salines et une pollution anthropique ; et d'autre part avec  $\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ , indiquant une origine continentale, et traduit par l'acquisition de la minéralisation par la dissolution de tous les minéraux des roches carbonatés; et concernant  $\text{NO}_3^-$  qui est associée à la pollution agricole par l'utilisation en excès des engrais chimiques
- l'axe II (36,41%), indique à la fois avec les forages.



**Figure 34 : Cercle des corrélations (axes I et II).**

Pour confirmer le fait qu'une variable est fortement liée à un facteur, il suffit de consulter le tableau 13 des cosinus : plus le cosinus est élevé (en valeur absolue) plus la variable est liée à l'axe. Plus le cosinus est proche de zéro, moins la variable est liée à l'axe. (BOUBEKRI, 2013)

Les résultats sont résumés dans le tableau 13. Ce tableau nous a permis de déduire que les éléments  $\text{Mg}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{pH}$ ,  $\text{CE}$ , contribuent à la formation de l'axe I. Le  $\text{Mg}$  est fortement lié à l'axe II.

Tableau 13 : Cosinus carré des variables

	F1	F2
T	0,0015	<b>0,7671</b>
pH	<b>0,8251</b>	0,0941
CE	<b>0,8388</b>	0,1219
Turb	0,0759	<b>0,6460</b>
TH	0,0065	<b>0,8343</b>
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,6048</b>	0,3180
Mg <sup>2+</sup>	0,1131	<b>0,5202</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,4663</b>	0,3894
Cl <sup>-</sup>	<b>0,8343</b>	0,0065
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0,6611</b>	0,1292
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,7955</b>	0,1784

### 3.2.2.2. La projection des individus

La projection des individus sur le plan nous renseigne sur les critères de ressemblance entre les différents points échantillonnés ceci est en rapport avec la distance de rapprochement entre ces points. par cette relation de distance on essaye de repérer d'éventuels groupements qui forment des unités homogène et cohérentes indiquant un même comportement. (HAFID, 2011 in OUANES, 2020)

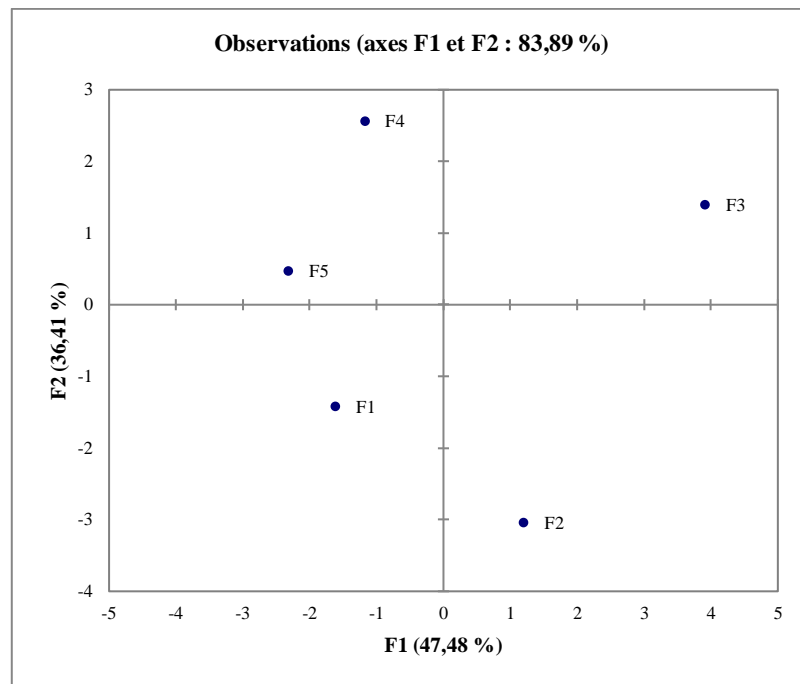
D'après la disposition des individus on peut avoir une distribution en trois différents groupes :

- Le premier groupe situé dans la partie positive de l'axe F1 marqué par une dominance des eaux riche en chlorure ;
- Un second groupe placé dans le coté positive de l'axe F2, caractérisés par une existence sérieuse des bicarbonates les ouvrages sont proches de Sebkhah, ce qui implique un risque probable par les eaux charriées par le pompage extensive de Sebkhah, ce qui exposerai ces ouvrages à d'éventuelles pollutions ;
- Le troisième groupe aligné à la partie négative de l'axe F2, caractérisés par une présence importantes de magnésium, cette dernière serait liée à l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitiques, et à la faible profondeur des ouvrages ;

Donc on conclure que la répartition des ouvrages se fait en général suivant deux paramètres :

- La géologie des formations captées ;

- L'utilisation des sols, en effet les nutriments sont des indicateurs de l'utilisation excessive d'intrants agricoles.



**Figure 35 : Projection des variables et des individus sur le plan formé par les deux premiers axes.**

### Conclusion

L'analyse en composante principale montre que : Les chlorures, les sulfates, présentent des concentrations importantes, Ceci peut être expliquées par le lessivage des sels et à l'évaporation.

Les bicarbonates présentent des teneurs importantes montrant ainsi l'effet des apports qui se font par les bordures calcaires. La présence importante des nutriments, cette dernière serait liée aux activités agricoles et à la faible profondeur des ouvrages.

# Conclusion générale

## *Conclusion générale*

---

Les données de divers paramètres (géologiques, hydro-climatologiques, et hydro-chimiques), nous a permis d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la zone d'étude.

L'étude géologique, basées sur les travaux de plusieurs auteurs ayant étudiés la région, a permis de distinguer les principales formations géologiques de cette région ; à savoir :

- Quant aux terrains affleurant dans ces différents ensembles, ils appartiennent généralement au secondaire, avec le trias, le jurassique et le crétacé et au tertiaire avec des formations oligocènes, miocènes et pliocènes.
- Le quaternaire, quant à lui reste limité aux dépôts de versants et aux formations alluviales des bassins et des principaux Oueds de la zone, avec des galets et une nappe de maestrichtien formé par des calcaires qui représente la nappe locale.

L'aperçu climatique de la région d'El Mahmel montre que le climat qui y règne est semi-aride (hiver froid et été chaud). La pluviométrie ne dépasse pas les 483,4mm /an et la température atteint les 15,5°C/an.

L'observation de l'historique des précipitations sur 17 ans de 2004 à 2020 a montré une domination des années sèches, ce qui se répercute sur la recharge de la nappe.

L'étude hydro-chimique a permis de caractériser les principaux paramètres physicochimiques des échantillons d'eau prélevés au cours des campagnes de terrain 2019,2020 et 2021.

On a pu distinguer une liaison de cause à effet entre la géologie de la zone d'étude et le chimisme des eaux souterraines.

L'analyse en composante principale montre que : Les chlorures, les sulfates, présentent des concentrations importantes, Ceci peut être expliquées par le lessivage des sels et à l'évaporation.

Les bicarbonates présentent des teneurs importantes montrant ainsi l'effet des apports qui se font par les bordures calcaires. La présence importante des nutriments, cette dernière serait liée aux activités agricoles et à la faible profondeur des ouvrages.

**Références**

**bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### THESES

1. **AMROUNE, A.** (2018). *Etude de l'apport hydro-chimique dans la connaissance du fonctionnement de la nappe alluviale de la région nord du Hodna (Sud-Est algérien)* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
2. **Aouidane, L.** (2017). *Origines de la salinisation des eaux et des sols d'une zone à climat semi-aride: Cas de Remila (W. Khenchela)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
3. **ATHAMENA, A.** (2018). *Flux azoté: Origine et devenir dans les eaux souterraines cas de la région de Zana, Est algérien* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
4. **BELKOUM, N.** (2017). *L'apport de l'hydrochimie et des isotopes de la molécule d'eau dans l'étude de l'impact des eaux de barrage sur la qualité des eaux souterraines dans les bassins endoréiques* (Doctoral dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
5. **BELMEKKI, M.** (2013). *Evaluation et caractérisation de quelques gisements hydrothermaux du Nord des Aurès* (Magestrium dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
6. **BENKADDOUR, B.** (2018). *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie)* (Doctoral dissertation, Perpignan).
7. **BERKANI, C.** (2016). *Apport du Traçage Chimique et Isotopique à Des Sources En Eaux Au Massif des Aurès* (Doctoral dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
8. **BOUAICHA, F.** (2009). *Etude géophysique et hydrogéologique dans la région de Khenchela , cas de Kheirane et Taouzient, impact socio-économique* (Magisterium dissertation, Université Mentouri Constantine ).
9. **BOUAKKAZ, A .** (2017). *Ecologie du peuplement avien de la sebkha De Ouled Amara (El-Mahmel, wilaya de Khenchela)* (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar Annaba).
10. **BOUBKERI, M.** (2013). *Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel* (Doctoral dissertation, Université d'Oran 2).
11. **BOUGANDOURA, A.** (2013). *Traçage chimique de quelques sources d'eaux du Nord-Est des Aures (W. khenchela)* (Magestrium dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
12. **DJOUDI, S.** (2018). *Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la plaine de F'kirina* (Doctoral dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).

## *Références bibliographiques*

---

13. **EL BADAOU, H.** (2014). *Simulation numérique par l'utilisation des techniques d'intelligences artificielles pour la modélisation des données météorologiques* (Doctoral dissertation, Université de Moulay Ismail Meknès).
14. **FEKRACHE, F.** (2015). *Contribution a l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac fetzara \_ annaba (algerie)* (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar).
15. **GUILAL, S.** (2019). *Caractérisation physico\_chimique et microbiologique des eaux de la vallée de el ouldja et leur impact sur l'environnement* (Doctoral dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
16. **Haidar, C. M.** (2014). *Evaluation de la qualite de l'eau du bassin superieur de la riviere du litani, liban: approche hydrogeochimique* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
17. **HASSAD, S.** (2018). *Caracterisation Geochimique et Isotopique des eaux souterraines du plateau de Mellagou Bouhmama* (Doctoral dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
18. **KHABTANE, A.** (2015). *Contribution a l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires pour l'évaluation du polymorphisme phénotypique et génétique des espèces du genre Tamarix dans différents écotopes de la zone steppique de KHENCHELA (EST ALGERIEN)* ( Doctoral dissertation, Université des Frères Mentouri Constantine).
19. **KHALDOUN, L .** (2015). *Recherches phréatobiologiques dans la région de Khenchela (Sud Est Algérien) : Qualité de l'eau des puits, Biodiversité, Écologie et Biogéographie des espèces stygobies* (Doctoral dissertation, Université d'Oum El Bouaghi – Larbi Ben Mhidi ).
20. **Lakhdari , S.** (2012). *Etudes de la qualité des eaux de l'aquifere du bassin versant foun el gueiss (W. khenchela )* ( Magisterium dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
21. **LEGLAM, S.** (2020). *Analyses statistiques multivariées de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Mitidja* (Mémoire de master, Université M'sila).
22. **MEKAOUSSI, N.** (2014). *Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de hammam Debagh ( Est Algérien )* (Magisterium dissertation, Université de Hadj Lakhdar Batna ).
23. **MERZOUG, S. E.** (2009). *Etude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher Benazzouz, wilaya de Skikda* (Doctoral dissertation, Université 8 mai 1945 de Guelma).

## Références bibliographiques

---

24. **Messai, N., & Berchi, S.** (2017). *Etude de la bioécologie et de la structure du peuplement des moustiques (diptera: culicidae) dans les zones humides des hautes plaines du sud constantinois* (Doctoral dissertation, Université des Frères Mentouri Constantine ).
25. **MEZHOUD, A.** (2013). *Fonctionnement géochimique et hydro chimique de la vallée d'Oued Meskiana* (Magestrium dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
26. **Mouret, Q.** (2018). *Etude expérimentale des mécanismes d'évaporation d'un film liquide combustible et de la stratification induite* (Doctoral dissertation, Université de Lyon).
27. **OUANES, M.** (2020). *Effets des changements climatiques sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de F'kirina de la W.D'oum El Bouaghi* (Doctoral dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
28. **SEDRATI, A.** (2018). *Caractérisation hydrogéologique, hydrochimique et isotopique des nappes du complexe terminal de la zone sud de Khenchela–Algérie* (Doctoral dissertation, Université de Khenchela-Abbas Laghrour).
29. **ATEHYD, Y.** (2012). Rapport Phase 01 El Mahmel, 15p.
30. **Guide des pratiques hydrologiques**, chapitre 04. (2008). de l'OMM .N°168
31. **Marsily, G. & Besbes, M.** (2017). Les eaux souterraines. *Annales des Mines- Responsabilité et environnement*, 86, 25-30. <https://doi.org/10.3917/re1.086.0025>
32. **MECHERI, M .** *Analyses microbiologiques et physico-chimiques de l'eau de la wilaya d'Oran : Rapport de stage [en ligne]*. Biotechnologie. Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf Oran USTO, 2013, 17p. Disponible sur : < <https://fr.slideshare.net/mejdida/rapport-de-stage-finaleau> > (Consulté le 14/07/2021).

### ARTICLES

33. **Ahoussi, E. K., Keumean, N. K., Kouassi, M. A., & Koffi, B. Y.** (2017). Etude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des eaux de consommation de la zone périurbaine de la ville de Man: cas du village de Kpangouin (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6), 3018-3033.
34. **CHEBBAH, L., & KABOUR, A.** (2020). Salinité et son origine dans les eaux souterraines des grés Carbonifères de Kenadsa dans le Sud-Ouest Algérien.
35. **Loukman, B., Nakolendousse, S., Nour, A. M., & Nguinambaye, M. M.** (2017). Caractérisation hydrochimique de la nappe de Yao et ses environs: relations entre eaux de surface (lac-Fitri) et eaux souterraines. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(3), 1336-1349.

## *Références bibliographiques*

---

36. Makhouk, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (9).

### **SITES WEB**

37. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/structure-terre-geologie-13943/> (1)
38. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/neige/54102> (2)
39. <https://meteofrance.com/comprendre-la-meteo/orages/quest-ce-quun-orage> (3)
40. <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2021/khenchella/valeurs/60476.html>
41. <https://q-eau-mali.net/a-propos-de/liste-des-parametres/>

### **DIRECTIONS**

- **Direction de l'Algérienne des eaux w.Khenchela**
- **Direction des Ressources en Eaux w. Khenchela**
- **Direction des Services Agricole w. Khenchela**
- **Laboratoire de l'Algérienne des Eaux w.Khenchela**
- **Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire**

# Résumé

## *Résumé*

---

A travers ce travail, on a entamé le cadre physique de la région d'étude incluant les contextes géographiques, géologiques, hydro-climatologiques et hydro-chimique de la zone semi-aride (plaine d'El Mahmel), qui est alimentée essentiellement par les eaux souterraines exploitées par plusieurs forages, dont l'objectif de cette étude est d'identifier la minéralisation des eaux souterraines, et leurs qualités basant sur des méthodes géochimiques et statistiques .

Nous avons fait des prélèvements d'échantillons sur un forage et une station, sur lesquelles des analyses physico-chimiques ont été effectuées dans le laboratoire de l'ADE Khenchela.

L'étude hydro-climatologique et hydro-chimique par les méthodes géochimique et statistiques (ACP) montrent que les chlorures et les sulfates, présentent des concentrations importantes, Ceci peut être expliquées par le lessivage des sels et à l'évaporation.

Les bicarbonates aussi présentent des teneurs importantes montrant ainsi l'effet des apports qui se font par les bordures calcaires. La présence importante des nutriments, cette dernière serait liée aux activités agricoles et à la faible profondeur des ouvrages.

**Mots clés :** eaux souterraines, qualité des eaux, paramètres physico-chimique, minéralisation, El Mahmel.

## *Abstract*

---

Through this work, we started the physical framework of the study area including the geographical, geological, hydro-climatological and hydro-chemical contexts of the semi-arid area (El Mahmel plain), which is fed mainly by groundwater exploited by several boreholes.

The objective of this study is to identify the mineralization of groundwater, and their qualities based on geochemical and statistical methods.

We have taken samples on a drilling and a station, on which physico-chemical analyses were carried out in the laboratory of the ADE Khenchela.

The hydro-climatological and hydro-chemical study by geochemical and statistical methods (PCA) show that Chlorides and Sulphates, present important concentrations, This can be explained by the leaching of salts and evaporation.

The Bicarbonates also present important contents showing the effect of the contributions which are made by the calcareous borders. The important presence of nutrients, the latter would be linked to agricultural activities and to the shallow depth of the works.

**Key words :** groundwater, water quality, physicochemical parameters, mineralization, El Mahmel.

## ملخص

من خلال هذا العمل ، بدأنا الإطار المادي لمنطقة الدراسة بما في ذلك السياقات الجغرافية والجيولوجية والمائية والمناخية والمائية الكيميائية للمنطقة شبه الجافة (سهل المحمل) ، والتي يتم توفيرها بشكل أساسي من المياه الجوفية التي تستغلها العديد من الآبار ، تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على نسبة تمعدن المياه الجوفية ، وخصائصها بالاعتماد على الأساليب الجيوكيميائية والإحصائية . أخذنا عينات من بئر ومحطة أجريت عليها التحليلات الفيزيائية والكيميائية في مخبر الوحدة الجزائرية للمياه.

تظهر الدراسة الهيدرو-مناخية والمائية الكيميائية بالطرق الجيوكيميائية والإحصائية أن الكلوريدات والكبريتات لها تركيزات عالية ، ويمكن تفسير ذلك من خلال ترشيح الأملاح والتبخر . بين لنا تطور العناصر الكيميائية أن المياه تحتوي على البيكاربونات بمستويات عالية ، مما يدل على تأثير المدخلات التي تصنعها حدود الحجر الجيري، وكذا وجود كميات كبيرة للمغذيات ، مرتبطة بالأنشطة الزراعية والعمق الضحل للهيكل .

**الكلمات المفتاحية :** المياه الجوفية ، جودة المياه ، العوامل الفيزيائية والكيميائية ، التمدن ، المحمل.