

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE



SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGROUR KHENCHELA

## Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : *Ecologie et environnement*

Spécialité : *Ecologie Fondamentale et Appliquée*

## Thème

*Aptitude à l'irrigation des eaux souterraines  
de la commune d'El Mahmel  
(w.Khenchela)*

Présenter Par :

Alioui Chahla

Berrani Imane

Encadré par :

Mdme .Ouaness .M

Soutenu Le : Juillet 2019

Jury de soutenance :

*Président: Mr.Larbaa Rabeh*

*Encadreur : Mme.OUENES Miyada*

*Examinatrice: Mme.Mezhoud Amel*

*MCB Univ. Khenchela*

*MAA Univ. Khenchela*

*MAA Univ. Khenchela*

Promotion Juillet 2019



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ :

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلِّ شَيْءٍ حَيٍّ"





## REMERCIEMENTS

*Avant tout un très grand merci à ALLAH le tout puissant de nos avoir donnés le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.*

*Nous n'arrivons pas à trouver de mots suffisamment forts pour exprimer la reconnaissance que nous avons à l'égard de notre encadreur madame OUANES MIYADA, pour m'avoir encadré tout le long de ce travail, que ce soit sur le plan professionnel ou personnel. Elle a su nous donner confiance dans les moments difficiles. Nous sommes en sincèrement son très reconnaissants.*

*Nous souhaite remercier Mr. LERBAË RABAH pour avoir accepté de présider mon jury, et Mm. MAZHOUË AMEL d'avoir acceptés d'être membre de jury.*

*Nous remerciments sont aussi adressés à tout le personnel de laboratoire de l'ADE Khenchela et précisément Mme KOB AMEL qui est participée étroitement à l'avancée de nos recherches et à la réalisation des études expérimentales.*

*Nous remercions le personnel de la station météorologique d'El Hamma, d'avoir facilité l'accès aux données climatiques*

*Nous exprimons notre reconnaissance toute particulière et notre gratitude, qui ne seront jamais concrètement exprimées à l'égard de notre amie SOUMIA ARROUF, pour son aide précieuse et chaleureuse et son inestimable collaboration.*

*Un énorme merci également à WANIS HANNACHI, pour son soutien et son aide de tous les jours.*

*Nous plus tendres remerciments vont à nos familles pour les encouragements et la patience qu'ils nous avons témoignés durant cette tâche, à nos collègues de promotion surtout AMEL SAIDI et NADIA HARATH, et à tous nos amis surtout, AKILA SLIMANI et HANEN MAHDI.*

*En fin, j'exprime notre vifs remerciments à tous ceux qui sont contribués à la réalisation du ce mémoire de près ou de loin.*

CHAHLA ETIMANE

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont toujours tenu et Sacrifié leurs bons moments pour que je réussisse dans ma vie*

*A celle qui a sacrifié sa noble existence pour que je sois, ce que je Suis aujourd'hui, qui est la plus chère du monde*

*Ma mère.*

*A celui qui a sacrifié sa vie pour mon bonheur en mon bien  
Etre Mon père.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*Mon binôme : Imane*

*A Tous Mes collègues de la promotion 2018-2019 écologie  
fondamental et appliqué.*

*A ma petite belle Aridj.*

**Chahla A**





## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont toujours tenu et Sacrifié leurs bons moments pour que je réussisse dans ma vie*

*A celle qui a sacrifié sa noble existence pour que je sois, ce que je Suis aujourd'hui, qui est la plus chère du monde **Ma mère.***

*A celui qui a sacrifié sa vie pour mon bonheur en mon bien Etre **Mon père.***

*A mon frère **AYMEN.***

*Mon binôme : **CHAHLA***

*A tous ma familles surtout **WANIS***

*A Tous Mes collègues de la promotion 2018-2019 écologie fondamental et appliqué.*

*A mon amie l'intime*

***SOMIA ARROUF***

***IMANE B***



## *Table des matières*

---

Remerciments	
Listes des figures	
Listes des tableaux	
Introduction générale .....	01

### *I. Partie bibliographique*

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

1. Situation géographique administrative d'El Mahmel.....	03
2. Analyse du milieu .....	05
2.1. Reliefs .....	05
2.1.1. Les plaines .....	05
2.1.2. Les montagnes .....	06
2.1.3. Les pentes .....	06
2.1.3.1. Les pentes faibles (de 0 à 05%) .....	06
2.1.3.2. Les pentes moyennes (de 06 à 10%) .....	06
2.1.3.3. Les pentes fortes (de 11 à 16%) .....	06
2.1.3.4. Les pentes très fortes (17% et plus) .....	06
2.2. Pédologie .....	07
2.2.1. Les sols calciques (cq) .....	07
2.2.2. Les sols calcaires (c) .....	07
2.2.3. Les sols en carbonates de calcium .....	07
2.2.4. Les sols de type lithosols .....	07
2.2.5. Les sols de type régosols (rm) .....	08
2.2.6. Les Sols alluviaux basiques (ab) .....	08
2.2.7. Les sols peu évolués ou les sols non évolués ou sols minéraux brut .....	08
2.3. Climatologie .....	08
2.4. Ressources en eau .....	09
2.4.1. Les eaux superficielles .....	09
2.4.2. Les eaux souterraines .....	09
2.5. Le couvert végétal .....	10
2.6. L'agriculture .....	12
2.6.1. Répartition des terres de la commune .....	12
2.7. L'élevage .....	13

## *Table des matières*

---

2.8. La population .....	14
--------------------------	----

### ***Chapitre II : étude géologique***

Introduction.....	15
1. Aperçu géologique regional .....	15
1.1.Géomorphologie .....	15
2. La Stratigraphie .....	17
2.1.Les formations secondaires .....	19
2.1.1.Le Trias .....	19
2.1.1.1. Le premier (t) .....	19
2.1.1.2. Le second (dt) .....	19
2.1.2. Le Jurassique .....	19
2.1.3.Le Crétacé .....	20
2.1.3.1. Les terrains du Valanginien .....	20
2.1.3.2.L’hauteriviens (les terrains barrémiens et aptiens) .....	20
2.1.3.3.Les terrains de l’Albien .....	20
2.1.3.4.Le Cénomaniens des Aurès-Nemamcha .....	20
2.1.3.5. Turonien .....	20
2.1.3.6. Crétacésupérieur .....	21
2.2.Les terrains tertiaires .....	21
2.2.1.L’Éocène .....	21
2.2.2. Le Miocène .....	22
2.2.3Le Pliocène .....	22
2.3.Le Quaternaire .....	23
3.Tectonique .....	25
Conclusion .....	26

### **Chapitre III : Etude hydro-climatique**

Introduction	27
1. Caractéristiqueclimatologique	27
1. Caractéristique climatologique .....	27
1.1. Température .....	27
1.2. Précipitation .....	28
1.3. Vent .....	29

## *Table des matières*

---

1.4.Evaporation .....	29
1.5.Insolation .....	30
1.6.Humidité .....	31
1.7.Neige .....	32
1.8. Grêle .....	33
2 .Synthèse pluviométrique .....	34
2.1.Indiced'aridité .....	34
2.2.Diagramme pluviométrique de Gausson .....	35
2.3.Diagramme de Quotient pluviométrique d'Emberger .....	36
Conclusion .....	37

### *II. Partie pratique*

#### *CHAPITREIV: Etude hydro-chimique*

Introduction .....	38
1. Résultats des analyses de l'eau .....	38
1.1Les paramètres physiques .....	39
1.1.1.La temperature .....	39
1.1.2.Le Potentiel d'Hydrogène Le (pH) .....	40
1.1.3.Conductivité électrique (CE) .....	41
1.2. Etude analytique des éléments chimiques .....	43
1.2.1. Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) .....	43
1.2.2. Sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) .....	44
1.2.3. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	45
1.2.4. Les chlorures (Cl) .....	46
1.2.5. Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) .....	47
1.2.6. Carte de magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) .....	47
1.2.7. Carte de sodium ( $\text{Na}^+$ ) .....	48
1.3. Facièschimique des eaux .....	49
1.3.1. La répartition graphique .....	49
1.3.1.1. Diagramme de Piper .....	49
1.3.1.2. Diagramme Schoeler Berkaloff .....	50
2. Aptitude des eaux à l'irrigation .....	51
2.1. Classification des eaux par la méthode de Richards .....	52



## *Table des matières*

---

Conclusion générale .....	54
Références bibliographiques .....	55
Résumé	

## *Liste des figures*

<i>N° de figure</i>	<i>Titre de figure</i>	<i>Page</i>
<b><i>CHAPITRE I : Description de la zone d'étude</i></b>		
<b>Figure N°01</b>	La situation géographique de la commune d'El Mahmel	03
<b>Figure N°02</b>	Les limites de la commune d'El Mahmel	04
<b>Figure N°03</b>	Le sesteur de sebkha dans le cadre régional	05
<b>Figure N°04</b>	Profile topographique (N-S) à travers la commune d'El Mahmel	06
<b>Figure N°05</b>	Les pentes de la commune d'El Mahmel	07
<b>Figure N°06</b>	Les sols de la région d'El Mahmel	08
<b>Figure N°07</b>	Le couvert végétal de la commune d'El Mahmel (W. Khenchela )	12
<b><i>CHAPITREII : Etude géologique</i></b>		
<b>Figure N°08</b>	Schéma structural simplifié de la région de Khenchela – El Mahmel	16
<b>Figure N°09</b>	Carte géologique de la région de Khenchela El Mahmel	18
<b>Figure N°10</b>	La carte géologique d'El Mahmel	24
<b><i>CHAPITRE III : Etude hydro-climatique</i></b>		
<b>Figure N°11</b>	Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2018)	28
<b>Figure N°12</b>	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2018)	28
<b>Figure N°13</b>	Diagramme des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents de la période (2004-2018)	29
<b>Figure N°14</b>	Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2004-2018)	30
<b>Figure N°15</b>	Diagramme des moyennes des durées totales d'insolation de la période (2004-2018)	31
<b>Figure N°16</b>	Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2018)	32
<b>Figure N°17</b>	Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (2004-2018)	33

## *Liste des figures*

---

<b>Figure N°18</b>	Diagramme des moyennes des nombres de jours de grêle de la période (2004-2018)	33
<b>Figure N°19</b>	Indice d'aridité annuel de Martonne	35
<b>Figure N°20</b>	Diagramme ombrothermique de Gaussen et de Bagnoles (station d'El Hamma 2004-2018)	36
<b>Figure N°21</b>	Climagramme d'Embergie pour la zone d'étude	37
<b><i>CHAPITRE IV : Etude hydro-chimique</i></b>		
<b>Figure N°22</b>	Carte d'inventaire des points d'eau 2019	39
<b>Figure N°23</b>	Diagramme des températures moyennes mensuelles de la zone d'étude	40
<b>Figure N°24</b>	Diagramme de pH des eaux de la zone d'étude	41
<b>Figure N°25</b>	Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines d'El Mahmel	42
<b>Figure N°26</b>	Carte de concentration de bicarbonate dans les eaux souterraines d'El Mahmel	43
<b>Figure N°27</b>	Carte de la distribution des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines	44
<b>Figure N°28</b>	Carte de la distribution des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines	45
<b>Figure N°29</b>	Carte de la distribution des teneurs en chlorure dans les eaux souterraines	46
<b>Figure N°30</b>	Carte de la distribution des teneurs en calcium dans les eaux souterraines	
<b>Figure N°31</b>	Carte de la distribution des teneurs en magnésium dans les eaux souterraines	48
<b>Figure N°32</b>	Carte de la distribution des teneurs en sodium dans les eaux souterraines	49
<b>Figure N°33</b>	Diagramme de piper des analyses des eaux souterraines d'El Mahmel	50
<b>Figure N°34</b>	Diagramme De SchoelerBerkaloff	51
<b>Figure N°35</b>	Diagramme De Richards	53



## Liste des tableaux

---

<b>N°</b>	<b>Titres</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1.</b>	Etat du forage .....	10
<b>Tableau 2.</b>	Répartition du cheptel à travers la commune .....	13
<b>Tableau 3.</b>	Recensement totale de la commune d'El Mahmel .....	14
<b>Tableau 4.</b>	les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma .....	27

# *Introduction générale*

# Introduction générale

---

## Introduction générale

L'eau est l'un des éléments essentiels du développement durable à cause de son importance dans la vie et sans cet élément la vie serait impossible car est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, depuis l'aube de l'humanité.

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, l'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés et l'utilisation intensive des engrais chimiques en agriculture. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités. De nombreux travaux se sont aussi rapportés sur l'étude des différents effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité et la pollution des eaux.(Reggam et *al.* 2015). En Algérie, l'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en Irrigation et l'industrie. (Mohammedi.et *al.*2015).

L'eau est un corps simple de la nature, qui est en même temps une amie et une ennemie de l'homme. Partout dans le monde, une eau saine et propre est indispensable au confort, à la santé et à la survie de l'homme (Bouziani, 2000).

Les recherches scientifiques menées sur l'hydrochimie des eaux souterraines sont d'un grand intérêt. La région d'étude 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'objectif principal de notre étude est de connaître la qualité des eaux de la région d'étude et son aptitude à l'irrigation à partir des analyses physico chimique de quelques échantillons d'eau prélevés dans le site.

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 dans le temps et dans l'espace ?

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



# Introduction générale

---

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

- Le premier chapitre porte sur une présentation générale du site d'étude.
- Le deuxième chapitre comprend une étude géologique du site d'étude.

**La partie pratique** est réservée à une étude climatique de notre zone de travail. Et elle est réservée surtout à l'étude hydrochimique qui est basé sur les résultats des analyses de notre échantillonnage et les discutés après les représentées sous forme des cartes de concentrations.

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



**Description de la zone d'étude**

**1. Situation géographique et administrative**

La commune d'El Mahmel (**Tazouguert**) a été rattachée en 1985 à la Wilaya de Khenchela, située à l'ouest de la Wilaya, elle s'étend sur une superficie de 371Km<sup>2</sup>. Elle compte deux agglomérations secondaires (**Ouled Azzedine et Icherthithéne**).

La commune d'El Mahmel fait partie de la Daïra d'Ouled Rechache (Zoui), située à 9 km du chef-lieu de la Wilaya. Sur l'axe de la route nationale n°:32 qui traverse l'agglomération d'Est en Ouest la reliant au chef-lieu de Daïra d'Ouled Rechache. Elle occupe un site relativement plat en légère déclivité d'Ouest en Est. (Figure 01).

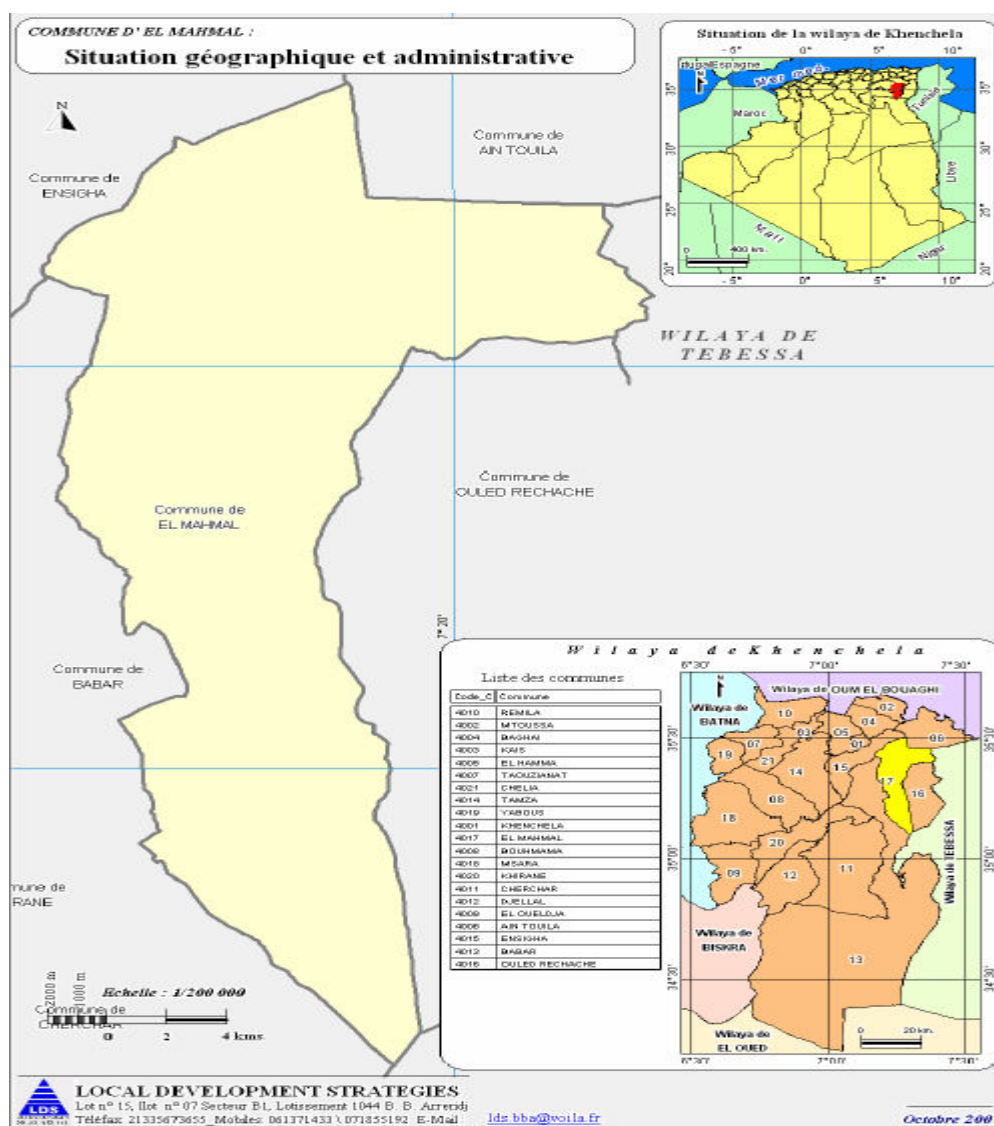
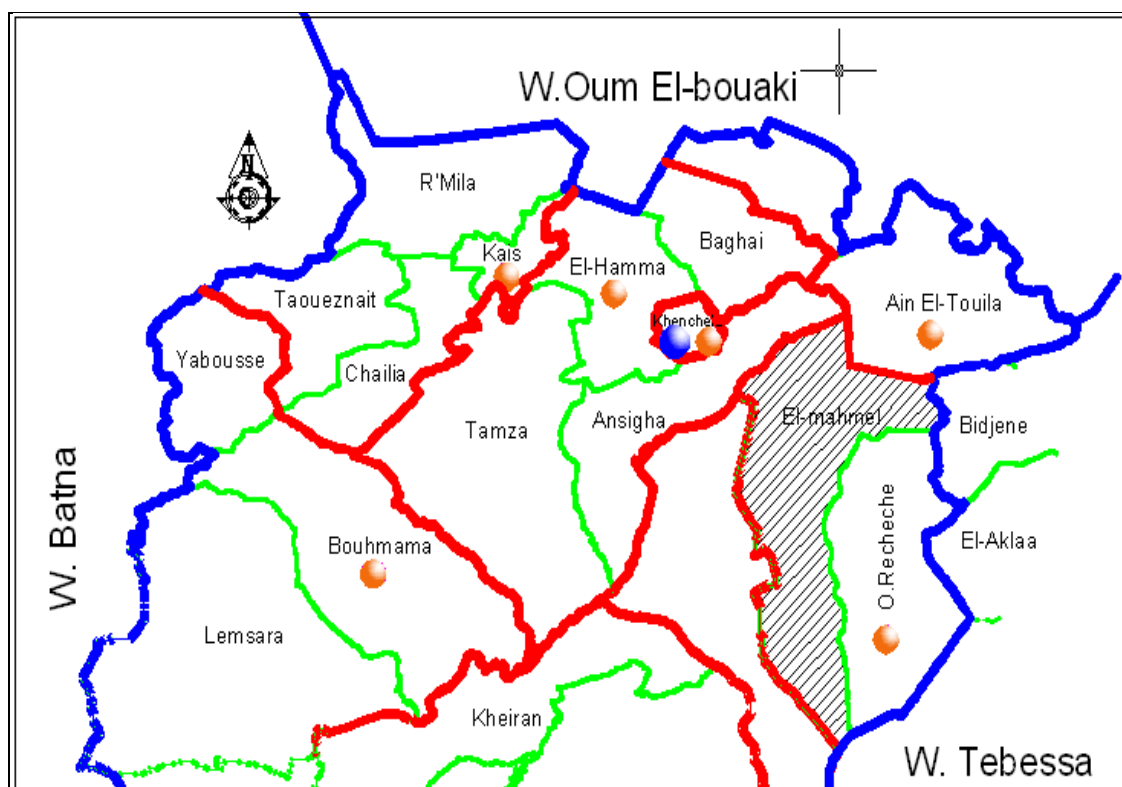


Figure 01 : La situation géographique de la commune d'El Mahmel.



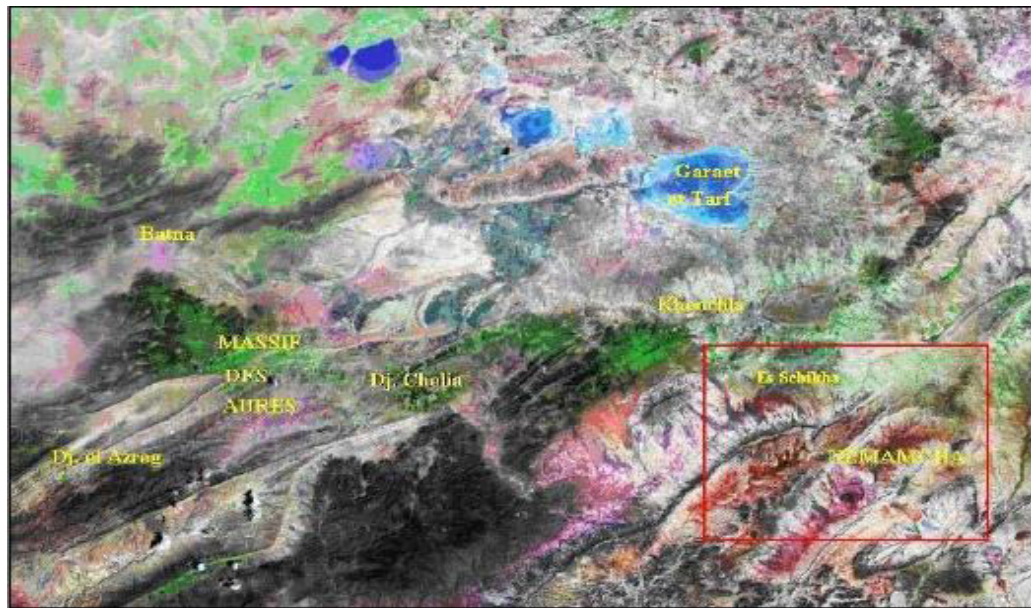
La commune était d'origine rurale, ensuite elle est passé au rang de semi-urbaine du fait de la concentration de sa population au chef-lieu, elle est limitée par :

- ❖ la commune d'AINTOUILA au Nord ;
- ❖ la commune de N'SIGHA au Nord-Ouest ;
- ❖ la commune de BABAR à l'Ouest et Sud-ouest ;
- ❖ la commune de BIDJEN et OULED RECHACHE à l'Est ;
- ❖ la wilaya de TEBESSA au Sud. (Figure 02).



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

La commune d'El Mahmel comporte le secteur de Sebka qui se localise dans le prolongement Est et Nord-Est des monts des Aurès-Nemamcha, à la limite Est de la Wilaya de Khenchela. Le secteur de Sebka est localisé dans les Hautes Plaines constantinoises, ces dernières se situées entre 750 et 1100 m d'altitude. (Figure 03).



**Figure 03 : Le secteur de sebkha dans le cadre régional.**

## 2. Analyse de milieu

### 2.1. Reliefs

De par sa position, la commune d'El Mahmel forme une cuvette où l'altitude passe de 1050m à 1200m pour les zones plates, et de 1524m à 1580m pour les zones hautes.

#### 2.1.1. Les plaines

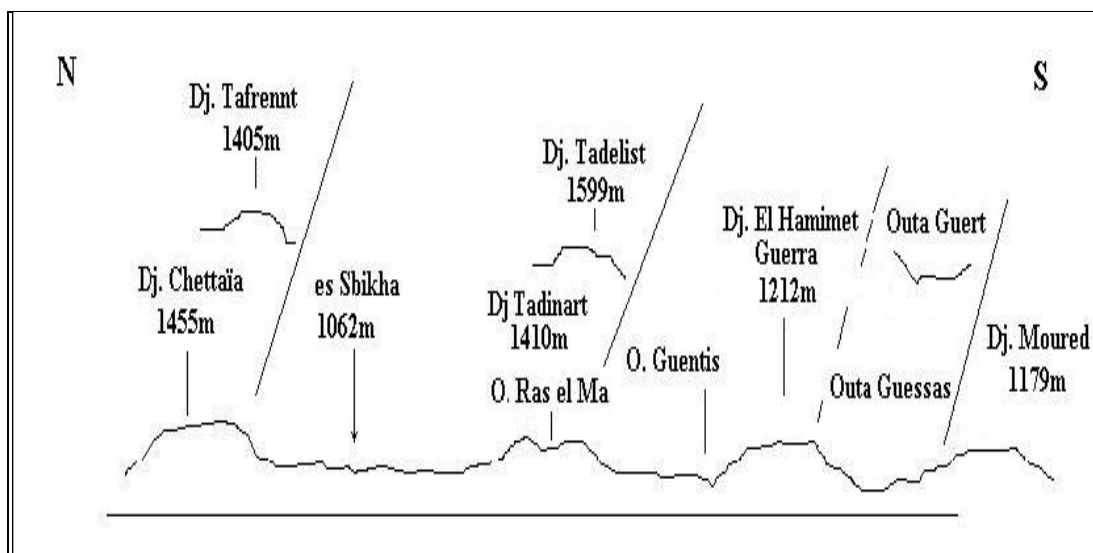
Le territoire de la commune est dominé, dans sa majeure partie, par la plaine atlasique intramontagnarde. Cette dernière est représentée par le bassin de Bahiret Sebkhah (1060m) qui correspond à un vaste couloir intra-montagneux orienté de l'ensemble des reliefs de cette région, qui sont séparés par 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 Sebkhah ; 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 Tazougouert, avec des Oueds orientés vers le NE, ex. de l'Oued Sebkhah et des Oueds dirigés vers le SW, ex. de l'Oued El Hatiba, principal affluent de l'oued El Abiod.

#### 2.1.2. Les montagnes :

La région montagneuse située au Nord, et au Sud de la zone de sebkha 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 Tokhma et Djebel FedjIdjet de 1291m sont situés au l'Est de la zone ;
- Djebel Tadinart de 1408 m et Djebel Tadelist de 1410 m qui sont situés au Sud de la zone. (Figure 04).



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

### 2.1.3. Les pentes :

#### 2.1.3.1. Les pentes faibles (de 0 à 05%) :

Elles concernent 75% des terrains de la commune soit 278km<sup>2</sup>, elles se situent dans la partie Nord et un couloir dans la partie centrale ainsi que toute la partie Sud.

#### 2.1.3.2. Les pentes moyennes (de 06 à 10%) :

Elles couvrent 05% du territoire communal et concernent les hauts glacis et les versants des différents reliefs.

#### 2.1.3.3. Les pentes fortes (de 11 à 16%) :

Elles concernent les versants assez raides, ces terrains sont caractérisés par la rareté de la construction et de l'habitat.

#### 2.1.3.4. Les pentes très fortes (17% et plus) :

Ce sont les hautes collines et les versants abrupts de l'ensemble montagneux de Tadelist. Ces terrains sont défavorables à la construction et à la culture. (POS, 2010). (Figure 05).



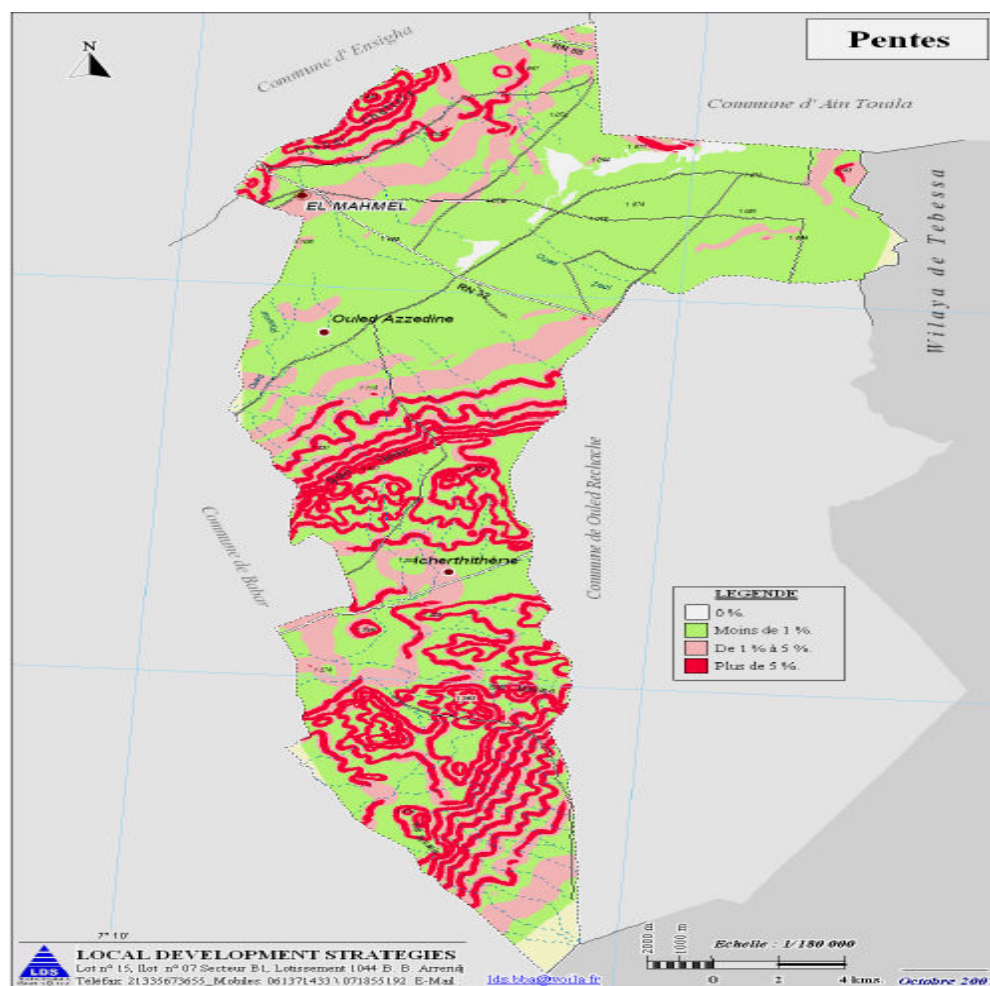


Figure 05 : Les pentes de la commune d'El Mahmel.

## 2.2. Pédologie

Les ressources en sols ont été évaluées sur la base de l'exploitation de la carte des sols de Tébéssa de 1938 au 1/500.000ème. Les types des sols identifiés sont :

**2.2.1. Les sols calciques (cq) :** Sont à l'origine des paysages pédologiques de la zone.

**2.2.2. Les sols calcaires (c) :** Sont souvent humifères viennent augmenter le dosage carbonaté des sols de la zone.

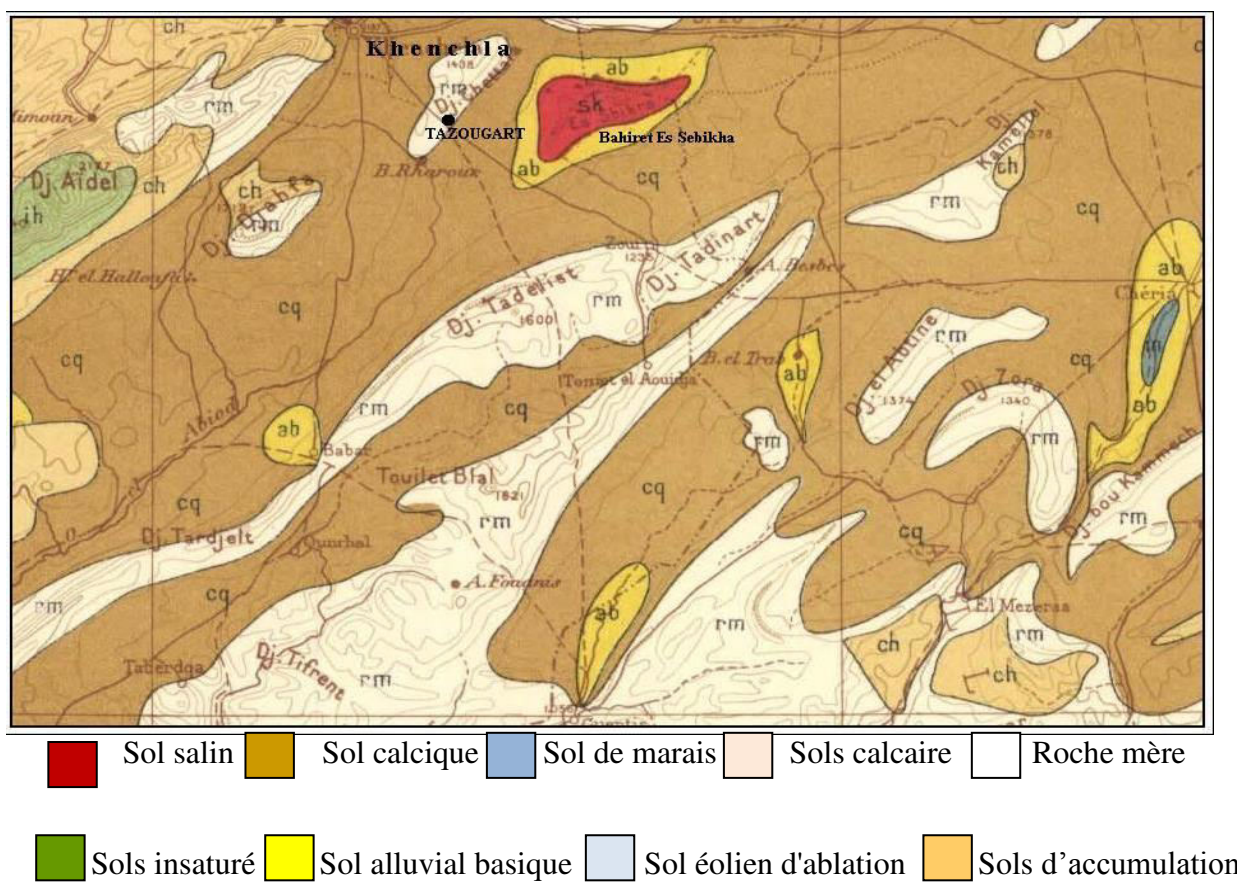
**2.2.3. Les sols en carbonates de calcium :** Sont présentés en grande partie dans le grand développement des croûtes et des encroûtements calcaires, ils sont des sols à caractère nuancé et blanchâtre.

**2.2.4. Les sols de type lithosols :** Composés de roche mère dure.

**2.2.5. Les sols de type régosols (rm) :** Ce sont des sols de montagnes sur substrats, soit de roches tendres plus ou moins altérées, soit de roches dures avec horizons humifères très minces.

**2.2.6. Les Sols alluviaux basiques (ab) :** Ces sols caractérisent au Centre Nord de la commune se sont des sols sales de type solontchak(sk) au cœur de la dépression « Sebka ».

**2.2.7. Les sols peu évolués ou les sols non évolués ou sols minéraux brut :** Caractérisent les fonds des Oueds et les terrasses. (Figure 06).



**Figure 06: Les sols de la région d'El Mahmel.**

**2.3. Climatologie :**

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. Le climat d'ElMahmelest rude en hiver et chaud en été. Les vents dominants sont ceux du Nord-ouest qui atteignent une fréquence de 26%. Le Sirocco enregistre une moyenne annuelle de 21 jours. La neige tombe environ 15 jours par année durant la saison hivernale.

**2.4. Ressources en eau****2.4.1. Les eaux superficielles**

Le régime hydrologique des Oueds présente deux saisons. Dès le mois de septembre le retour des pluies, après la saison sèche, n'est pas suffisant, car l'augmentation des débits des Oueds n'est pas sensible. C'est plutôt vers la fin de la période humide que les crues risquent de se produire avec une augmentation des débits des Oueds au mois de mars. La coïncidence entre cette période avec les effets du ruissellement entraîne alors une augmentation de l'efficacité de l'action érosive des Oueds aux débouchés des plaines, qui sont soumises à des inondations régulières.

Il faut retenir que le réseau hydrographique est particulièrement caractérisé par une fréquence des chevelus d'ordre primaire qui se déversent avec tous les Oueds dans les immenses dépressions endoréiques.

Les ressources en eaux superficielles, au niveau de sebkha sont totalement absentes car la commune ne dispose d'aucune infrastructure de mobilisation des eaux « barrages, retenues collinaire ou Sed de dissipation » de pluies ou celles du ruissellement des flancs des montagnes.

**2.4.2. Les eaux souterraines**

Le territoire de la commune d'El Mahmel est traversé par de nombreux Oueds qui convergent, pour la plupart d'entre eux, vers les zones basses notamment Sebkha située dans la partie Nord de la commune et qui par conséquent constituent une source d'alimentation des nappes. Les secteurs d'El Kraim, Sebkha et Taref constituent l'essentiel des secteurs qui alimentent la commune. Ceci dit, la commune dispose de trois nappes souterraines :

- La première appelée nappe de Kraim située au Nord de Tazougeurt dans le secteur de Kraim – Tebrouri ;
- La seconde est dite nappe de Taref, située au Sud de Tazougeurt ;
- La dernière est dite nappe de Sebkha, située au Nord-Est de Tazougeurt.

La localité d'El Mahmel est alimentée par des forages et par transfert à partir du barrage KoudiatMedaouar (Batna). Les forages pour l'alimentation d'El Mahmel centre sont TZ1, TR4 qui sera remis 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. La répartition des forages par nappe et les débits se présentent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 01 : État des forages

Source: subdivision hydraulique Zoui.

Commune	Nom du forage	Débit initial L/S	Débit exploité on actuel	Caractéristique du forage				Observation
				X	Y	Z (m)	Prof (m)	
MAHMEEL	TR2	30	18	907.5	239.2	1181	200	Fonctionnel
	TR4	12	9	891.2	251.0	980	200	Fonctionnel décembre 2012
	TZ5	12	07	918.7	239.7	1078	44	Fonctionnel
	TZ4	08	02	920.4	239.8	1079	50	A l'arrêt
	TZ3	06	02	917.0	238.3	1078	60	Fonctionnel
	TZ6	10	03	916.0	237	1075	45	Problème
	TZ1	02	1,50	913.0	237.2	1080	40	Fonctionnel
	TZ8	30	06	912.9	244.9	1165	120	Fonctionnel

## 2.5. Le couvert végétal

L'étude des sols et des conditions climatiques, particulièrement, celles des températures et des pluies, permet de relever la présence de certaines nuances qui s'ajoutent aux contrastes géomorphologiques et morphodynamiques, déjà démontrés. Ce sont des nuances et des contrastes qui vont être renforcés par la diversité et la répartition du couvert végétal naturel de notre zone.

Malheureusement, la végétation naturelle dans notre commune ne persiste que très localement, elle n'est présente que sur les reliefs bien arrosés et exposés face au Nord. Les meilleurs endroits ayant gardé un semblant de couverture naturelle sont les quelques îlots forestiers développés sur les hauteurs de Dj. Aïdel à l'Ouest de Khenchela et modestement sur le Dj. Djahefa à l'Ouest de Tazzouguert, le Dj. Chettaïa à la limite Nord de la commune et sur les massifs montagneux des Dj. Tadinart et Dj. Tadelist. Sur ces hauteurs sont développées des essences variées, allant du chêne vert au pin d'Alep et le lentisque.

Il existe également quelques témoins du cèdre, mais qui ne persistent que sur les reliefs les plus élevés des Aurès-Nemamcha en dehors de la commune d'El Mahmel. Ces essences, avec leurs cortèges floristiques, sont présentées sur la plupart des classes altitudinales et s'associent au niveau des piémonts avec l'étage des arbustes comme le lentisque et localement avec des essences steppiques.

Il ne faut pas perdre de vue l'existence, dans certains secteurs, de quelques forêts artificielles liées aux reboisements. En outre, il existe au niveau des couloirs steppiques intramontagneux au Sud de la commune d'El Mahmel certaines essences appartenant à la fois au domaine steppique et au domaine subsaharien avec l'Alfa, l'armoise, le jujubier, le Rétum, El Guettaf et Et-Taga. Mais ce qui se remarque le plus dans l'analyse des paysages de notre commune, c'est l'anthropisation quasi-générale des espaces ruraux, particulièrement ceux des piémonts, des plaines, des bassins et des Oueds où les terres sont occupées par des périmètres agraires (occupation arboricole et cultures maraîchères). Ceci en plus des paysages dénudés dans les plaines et dans les vallées et sur les bas versants exposés face au Sud.

Ces terrains sont généralement représentés par des terres nues et localement exploitées par l'agriculture où les conditions sont favorables ou alors les conditions d'irrigation sont propices. (Figure 07).



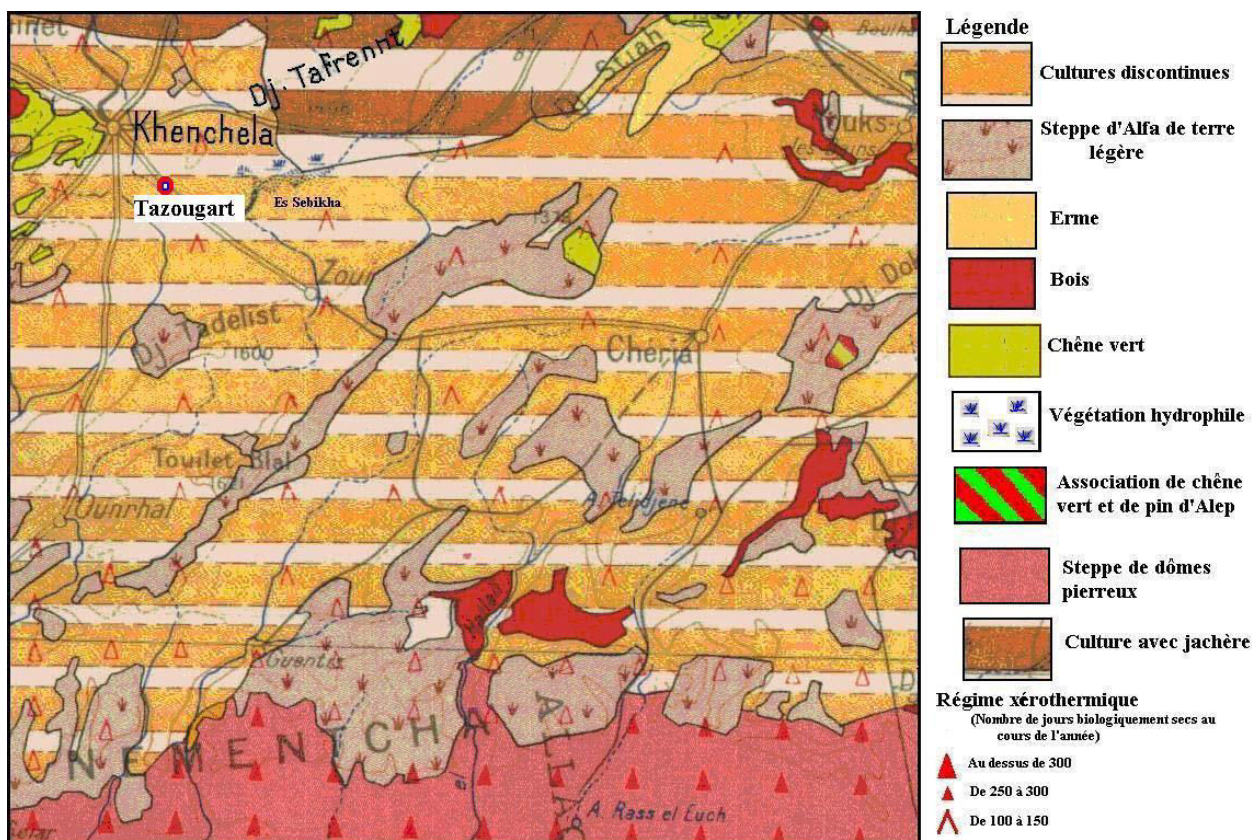


Figure 07 : Le couvert végétal de la commune d'El Mahmel (W. Khenchela).

## 2.6. L'agriculture :

### 2.6.1. Répartition des terres de la commune :

La commune d'El Mahmel qui s'étale sur une superficie totale de 37084 hectares. 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. (RGA, 2002).

Il faut noter, que la surface agricole utile au niveau de la commune d'El Mahmel est répartie entre les surfaces à sec, représentant 27213 ha soit 92.30 % de la (SAU) et seuls 2269 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. (D.C.A, 2006).

2.7. L'élevage

La pratique de l'élevage au niveau de la commune se base, essentiellement, sur l'élevage de l'espèce ovine qui représente 75505 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 %. Avec un bétail totalisant le nombre de 79324 têtes, il est évident que la région est à vocation pastorale. (D.C.A, 2015).

**Tableau 02: Répartition du cheptel à travers la commune**

Source : Délégation communale de l'agriculture (D.C.A)

cheptel	Femelles reproductives	Males Adultes	Petits		Total espèce
			Femelles	Males	
<b>Bovin importation</b>	260	38	170	88	556
<b>Bovin local</b>	170	18	90	66	344
<b>Ovin</b>	28 935	1250	18 120	27 200	75 505
<b>Caprin</b>	1400	130	800	430	2760
<b>Chevalin</b>	32	12	/	/	44
<b>Âne</b>	40	10	25	15	90
<b>Mulet</b>	15	10	/	/	25

## 2.8. La population :

La commune d'El Mahmel comprend trois agglomérations à savoir : centre de la commune ; Icherthithéne et Ouled Azzedine. Le nombre de la population tel que issue des recensements est donné dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 03 : Recensement totale de la commune d'El Mahmel**

(APC M, 2015)

	<b>Bâtiments</b>	<b>Les hommes</b>	<b>Les femmes</b>	<b>Total</b>	<b>Pourcentage</b>
<b>Agglomération urbaine au centre de la commune</b>	3999	14308	14529	28837	72.84
<b>Agglomération secondaire Icherthithéne</b>	161	423	453	876	02.25
<b>Agglomération urbaine Ouledf Azzedine</b>	208	622	617	1239	03.19
<b>zones dispersées</b>	2205	4480	3875	8355	21.72

La population de la commune approchait les 39307 habitants soit un accroissement de 2.5% entre 1998 et 2008 avec une densité de 104 h/km<sup>2</sup> (RGPH, 2015). 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 72.84%, et de 5.44% dans les deux agglomérations secondaires Ouled Azzedine et Icherthithéne.

En termes d'effectifs, il est incontestable que l'essor de l'agglomération chef lieu, s'est amorcé à partir des différents remodelages territoriaux qu'a connus la commune d'El Mahmel et la promotion en chef lieu de commune du centre de Tazougert. Néanmoins à partir de 1998 la concentration de la population au niveau du chef lieu semble accentuée de façon inquiétante vu le rythme de croissance enregistré ces dernières années. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par la situation qu'a connue le pays, ces dernières années. Cependant, d'autres facteurs relatifs aux conditions socio-économiques des populations dans les zones éparses, peuvent être à l'origine des déséquilibres, de plus en plus marqués, à l'intérieur du territoire communal où les disparités sont importantes en matière de satisfaction des besoins « logements, emplois, loisirs ».





**Etude géologique****Introduction**

La géologie est un moyen d'investigation, parce qu'elle permet la prévision des formations susceptibles d'être aquifère et de suivre leurs évolutions dans l'espace du terrain d'étude.

**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 08), 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.



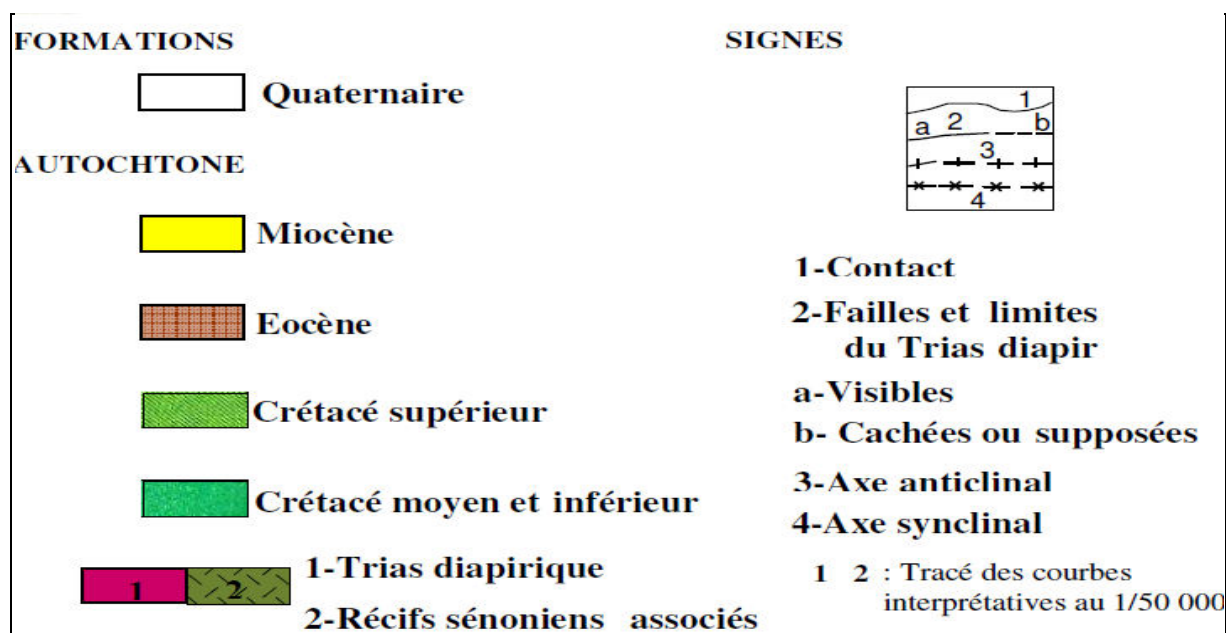
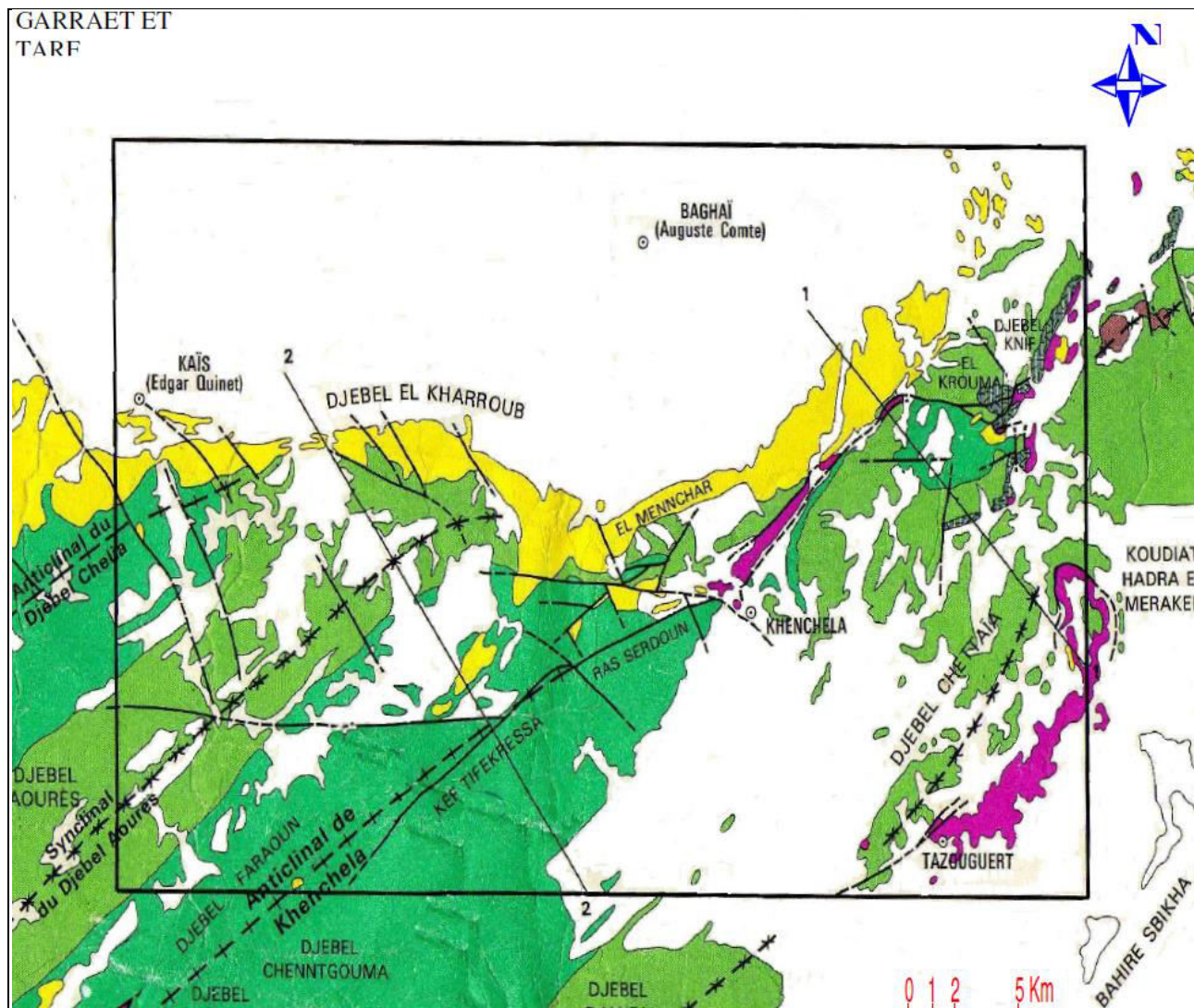


Figure 08 : Schéma structural simplifié de la région de Khenchela –El Mahmel.

Il faut rappeler aussi comme le montre la figure n°08, 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 toute fois 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.

La stratigraphie de cette région se caractérise par la prédominance des terrains secondaires créacés et partiellement jurassiques et des formations tertiaires, éocènes, oligocènes et miocènes. Les terrains néogènes et quaternaires ne sont dominants que dans les bassins et dans les couloirs intra montagneux et sur les bordures, particulièrement celles du Sud.

A noter que les plus anciens terrains signalés dans cette région sont les faciès triasiques qui, dans la plupart des cas, sont mis en place grâce au diapirisme. Ce sont des terrains résumés par l'extrait de la carte géologique de Constantine au 1/500.000ème (Figure 09). Dans le détail, tous ces terrains seront examinés sur la base d'un extrait de la carte géologique de Khenchela au 1/50.000ème (Figure 09).



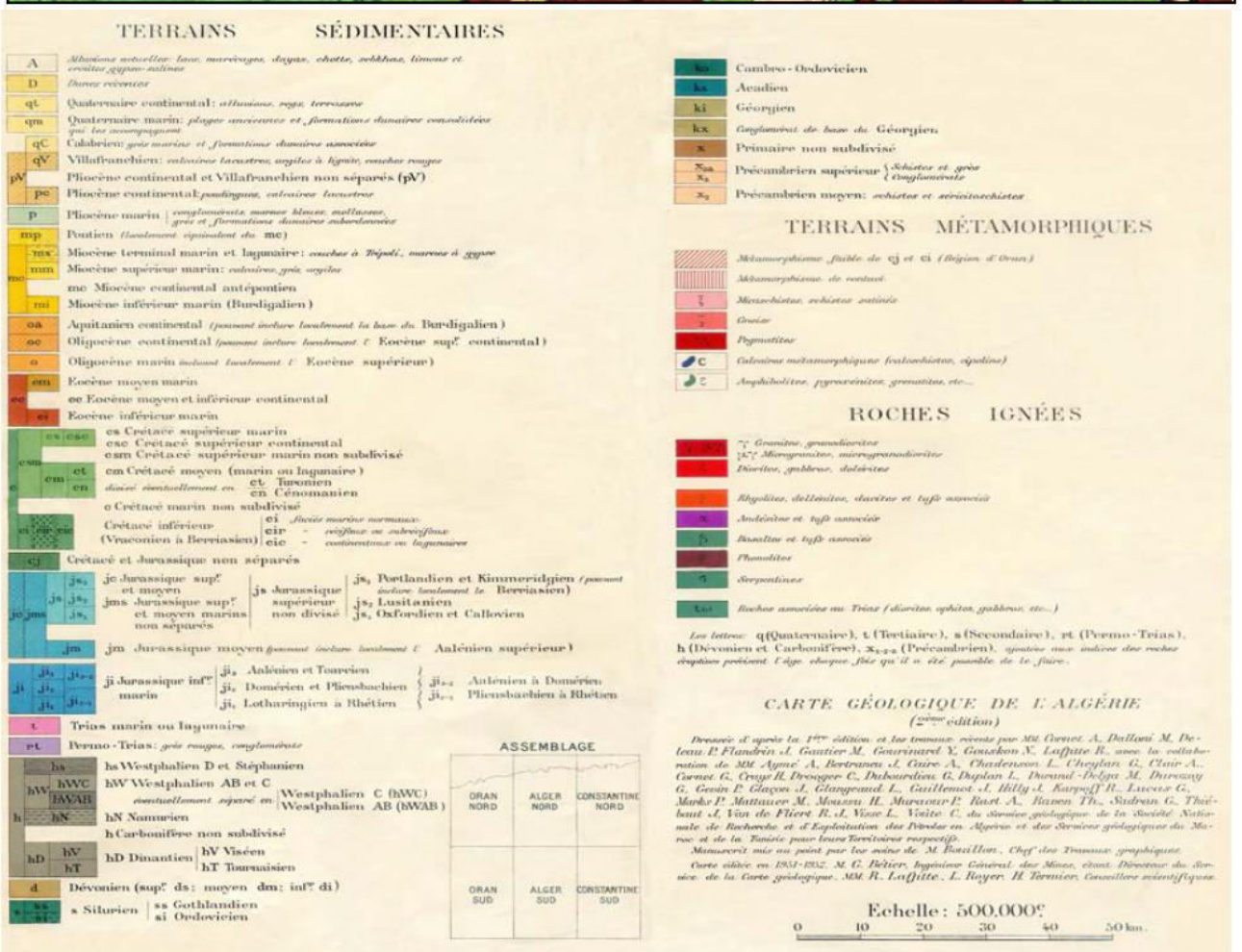
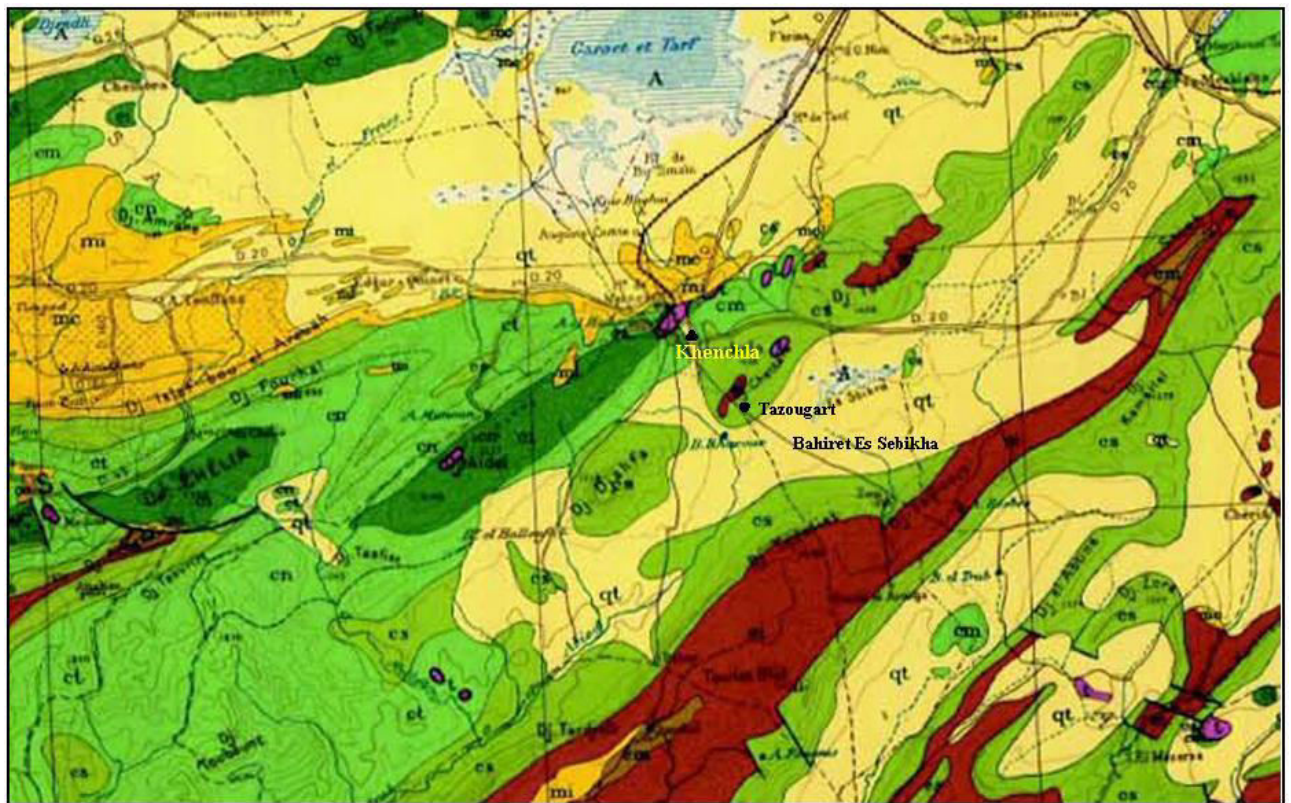


Figure 09 : Carte géologique de la région de Khenchela-El Mahmel.

**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 Tahament 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 et des sables dolomitiques qui affleurent autour de Khenchela et dans le Dj. Chettaïa au nord et à l'Est de Tazougert 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-couleurs et gypses chaotiques à glaçons.

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

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

**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 Tahament 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 crétacés 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 Maestrichtien 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 crétacés qui dominent les paysages de la commune d'El Mahmel, particulièrement ceux développés autour du bassin d'Es Sebikha et autour de Dj. Chettaïa.

## **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 Aïn Touta, 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 10), 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 FomToub.

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 Aïn 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.

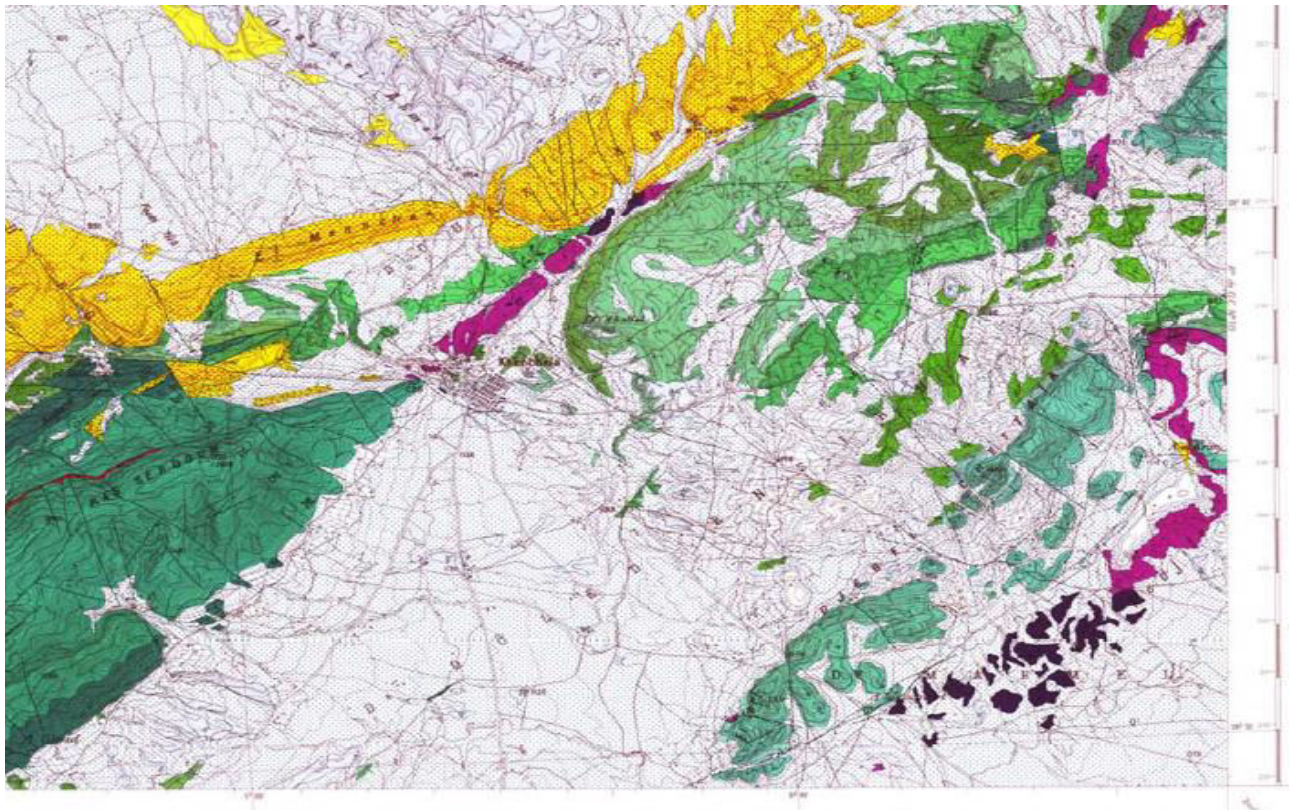
### **2.3.Le Quaternaire**

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 inférieure 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.



LEGENDE

<b>QUATERNAIRE</b>	
	Q <sup>d</sup> Glacis polygéniques nappant les reliefs
	Q <sup>c</sup> Villafranchien probable : croûtes calcaires.
<b>MIOCÈNE</b>	
	m <sup>3</sup> Tortonien supérieur continental : argiles silteuses beiges et rouges, grès.
	m <sup>2</sup> Tortonien gréseux blanc.
	m <sup>1</sup> Langhien-Serravalien : marnes, biomicrites, biomicrosparites et grès blancs.
	m <sup>1a</sup> Aquitano-Burdigalien : conglomérats rouges.
<b>CRÉTACÉ</b>	
	c <sup>6b</sup> Maestrichtien supérieur : calcaires à Inocérames.
	c <sup>6a</sup> Maestrichtien inférieur à dominante marneuse.
	c <sup>5</sup> Campanien : marnes et calcaires crayeux.
Santonien :	
	c <sup>4</sup> faciès marneux de la moitié Est de la feuille, marnes gris-bleu et calcaires marneux à Inocérames.
	c <sup>4r</sup> faciès récifal des Djebels el Krouma et Knif.
	c <sup>3</sup> Coniacien : marnes grises et marmo-calcaires.
	c <sup>2b</sup> Turonien "moyen et supérieur" : marnes beiges et calcaires noduleux.
	c <sup>2a</sup> Turonien basal : marmo-calcaires bitumineux en plaquettes, alternances de marnes et de petits bancs marmo-calcaires.
	c <sup>1c</sup> Cénomannien supérieur calcaire formant corniche.
	c <sup>1b</sup> Cénomannien moyen : marnes grises et biomicrites.
	c <sup>1a</sup> Cénomannien inférieur : marnes gris-bleuté à Rotalipores.
	n <sup>6</sup> Albien de l'anticlinal de Kenchela (marnes, dolomies et grès) et du Djebel el Krouma.
	n <sup>5bc</sup> Aptien calcaire à Orbitolines de l'anticlinal de Kenchela.
	n <sup>5a</sup> Aptien marneux gris.
<b>TRIAS</b>	
	T <sup>1</sup> Trias : argiles varicolores et gypses chaotiques à glaçons (dt) calcaro-dolomitiques et cargneules

Figure 10 : 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 cœur est fortement entamé par l'érosion, l'exemple du bassin occupé par l'oued Guenttis 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 cœur 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 Teni et Ressay, 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. Tafrennet 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.Ce.

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.

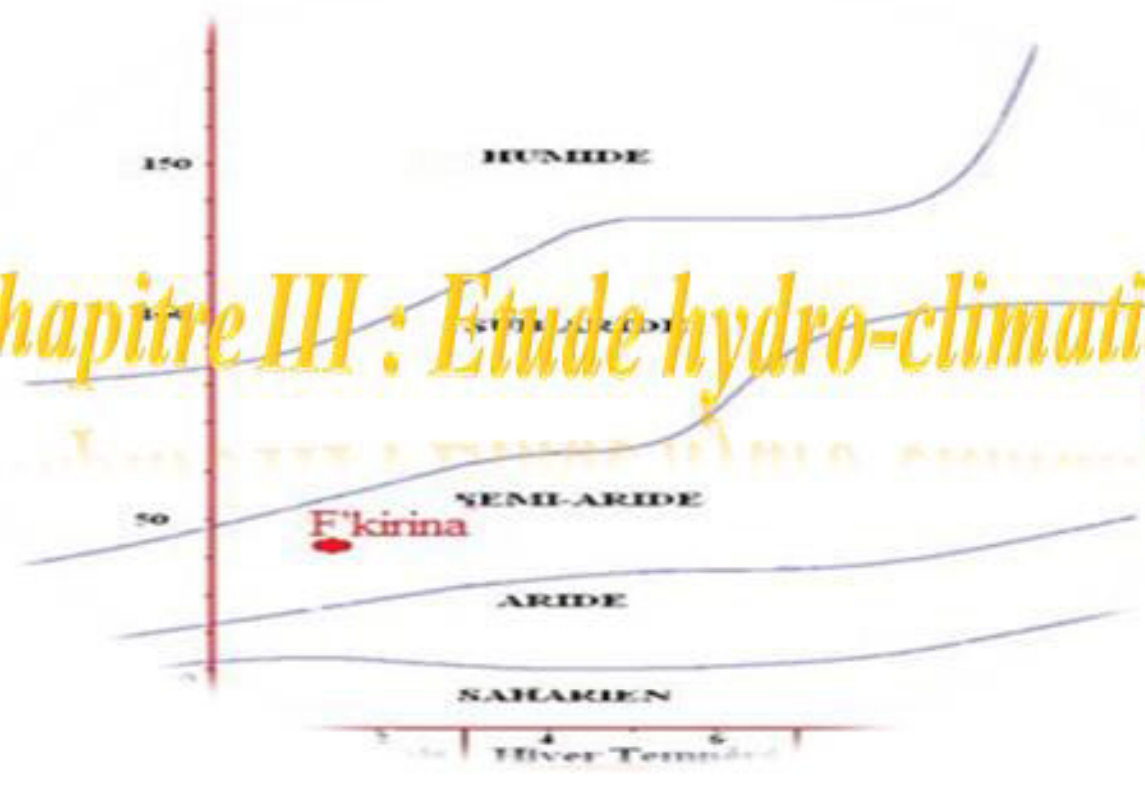
**Conclusion**

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.



# Chapitre III : Etude hydro-climatique



## Etude hydro-climatique

### Introduction

La climatologie est la science qui étudie le climat, son histoire, mais aussi son futur probable. Elle est une science récente qui s'est fortement développée au cours des vingt dernières années. Elle nécessite une approche interdisciplinaire, qui rassemble des physiciens, mathématiciens, chimistes, informaticiens, géologues...etc. (Benlatreche, 2006).

Le climat est l'une des principales données de la morphologie des systèmes Architecturaux et urbains. Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs, incluant la température, la vapeur d'eau, le vent, les radiations solaire et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps. Il est défini aussi comme une généralisation des conditions « temps » de jour en jour et à travers toute l'année. (Bellara, 2005).

Le climat est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrée dans le long terme ; la nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux. (Ramade,2003).

L'étude de ces paramètres est basée sur les données d'une période de (2004 2018) de la station pluviométrique d'El Hamma. Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau N° 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. Caractéristique climatologique

### 1.1.Température

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux elle joue un rôle très important dans la solubilité des minéraux.

La mesure de température est effectué sur terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètre. La lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (Rodier et al. 2009).

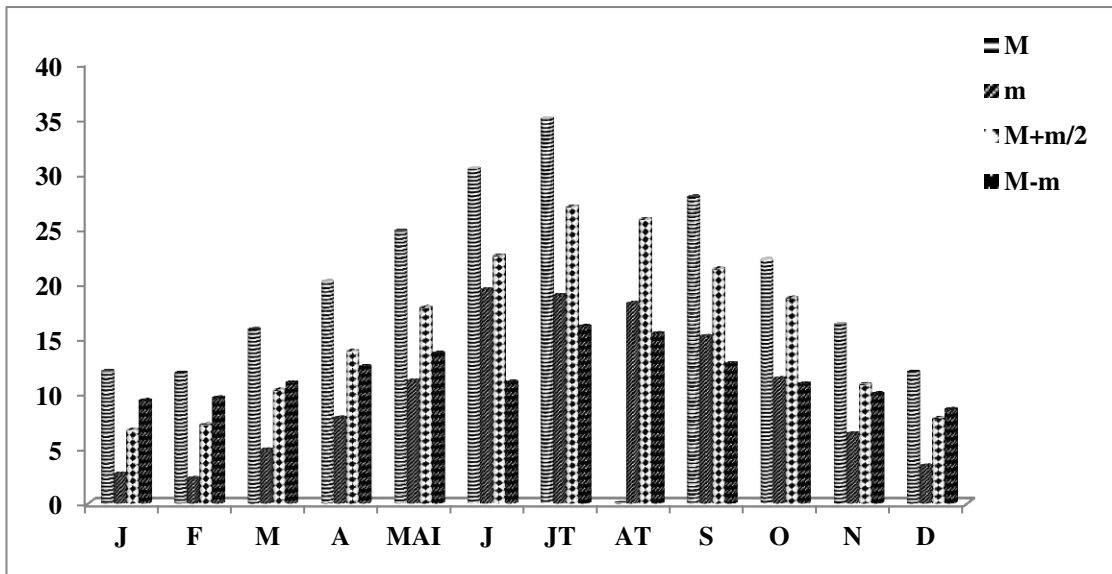


Figure 11 : Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2018).

En analysant les données de la période (2004-2018), nous constatons que janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne minimale de 2,25°C, alors que juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne maximale de 35,01°C.

### 1.2.La Précipitation

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance de la saison sèche, qui joue un rôle régulateur des activités biologiques. (Ramade, 1984).



Figure 12 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2018).

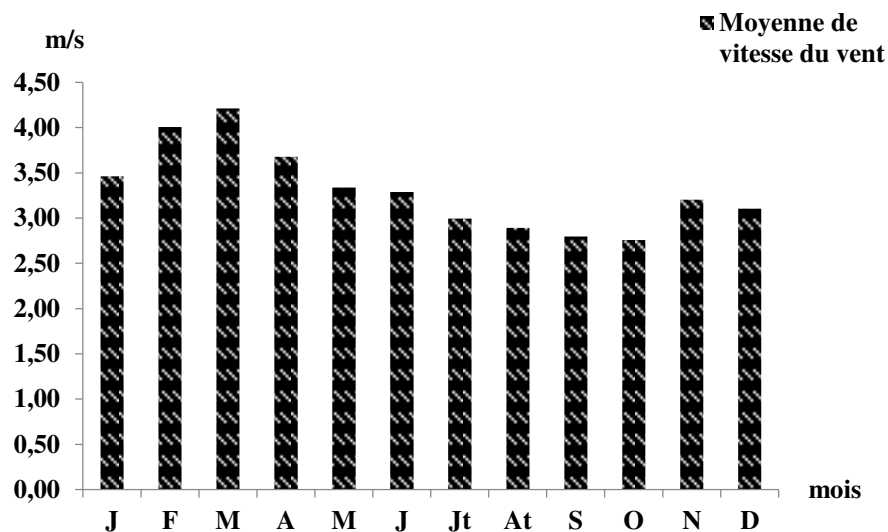
On remarque que la figure 13 montre que les précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2018) sont de 481,27 mm. Le mois le plus pluvieux est mai avec une moyenne

mensuelle de 67,43 mm, par contre le mois le plus sec est juillet avec une moyenne mensuelle de 16,76 mm.

La saison la plus pluvieuse est le printemps avec un pourcentage de 34,4%, alors que la saison la plus sèche est l'été avec un pourcentage de 16%. (Figure 12).

### 1.3 . Le vent

Le vent est un déplacement d'air horizontal dû à des différences de pression entre les points de la surface de la terre. (Jeane, 2009).



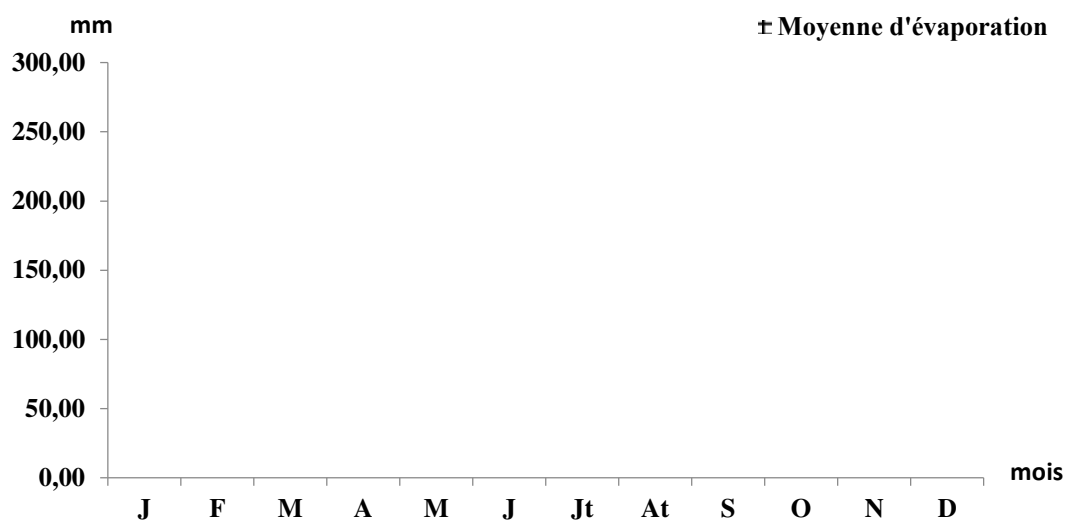
**Figure 13 : Diagramme des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents de la période (2004-2018).**

La vitesse moyenne annuelle de vents dans la région d'El Mahmel est de 3,31 m/s avec un maximum au mois de mars avec une moyenne de vitesse de 4,21 m/s, et un minimum au mois d'octobre avec une moyenne de vitesse de 2,76 m/s. (Figure 13).

Il est à craindre durant le mois de mai à juillet la manifestation du sirocco qui est un vent chaud et sec favorise l'évapotranspiration causant ainsi de sérieux dégâts aux végétaux et notamment les cultures.

### 1.4 Evaporation

C'est le passage de la phase liquide à la phase vapeur (Sublimation : passage direct de l'eau sous forme solide en vapeur). L'évaporation est une composante fondamentale du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. (Corentin, 2011).



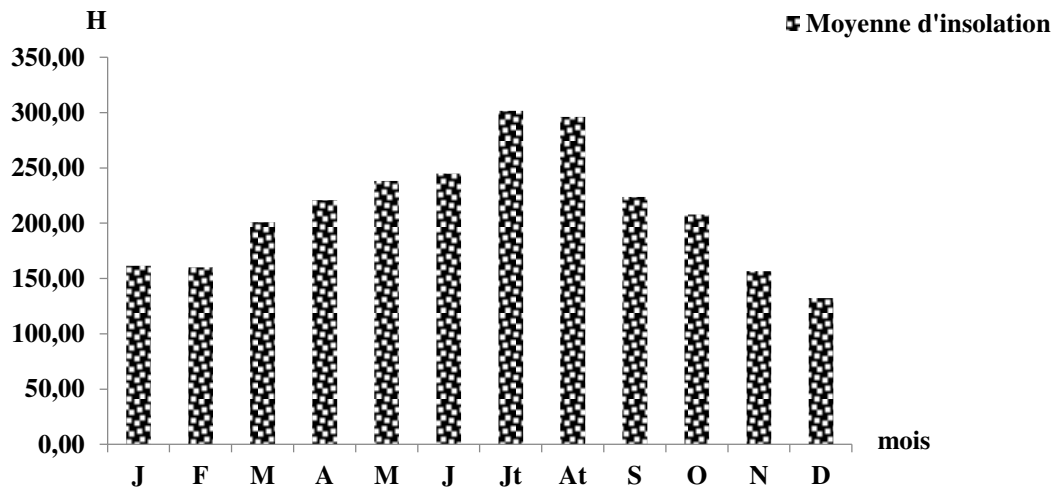
**Figure 14: Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2004-2018).**

L'évaporation moyenne variée d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de 254,41 mm et la valeur minimale est enregistrée en décembre avec une moyenne de 54,91 mm. L'évaporation moyenne annuelle est de 134,11 mm comme l'indique la figure 14.

### 1.5.L'insolation

L'insolation est, au sens météorologique distinct du sens médical, l'exposition d'un objet au rayonnement solaire direct ; cette exposition est correctement révélée, estime-t-on, par la présence d'ombres portées nettement dessinées : on considère alors que la production de telles ombres est possible lorsque l'éclairement de l'objet par le Soleil a une valeur au moins égale à 120 watts par mètre carré, ce qui permet de déterminer à chaque instant s'il y a ou non insolation





**Figure 15 : Diagramme des moyennes des durées totales d'insolation de la période (2004-2018).**

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois d'août avec une moyenne de 301,64 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 132,39 heures.

Le cumul moyen annuel est élevé soit 212,40 heures. Les durées d'insolation enregistrées sont plus longues en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Les allures moyennes mensuelles de la figure 15 présentent les mois de mai, juin, juillet et août comme étant les plus ensoleillés.

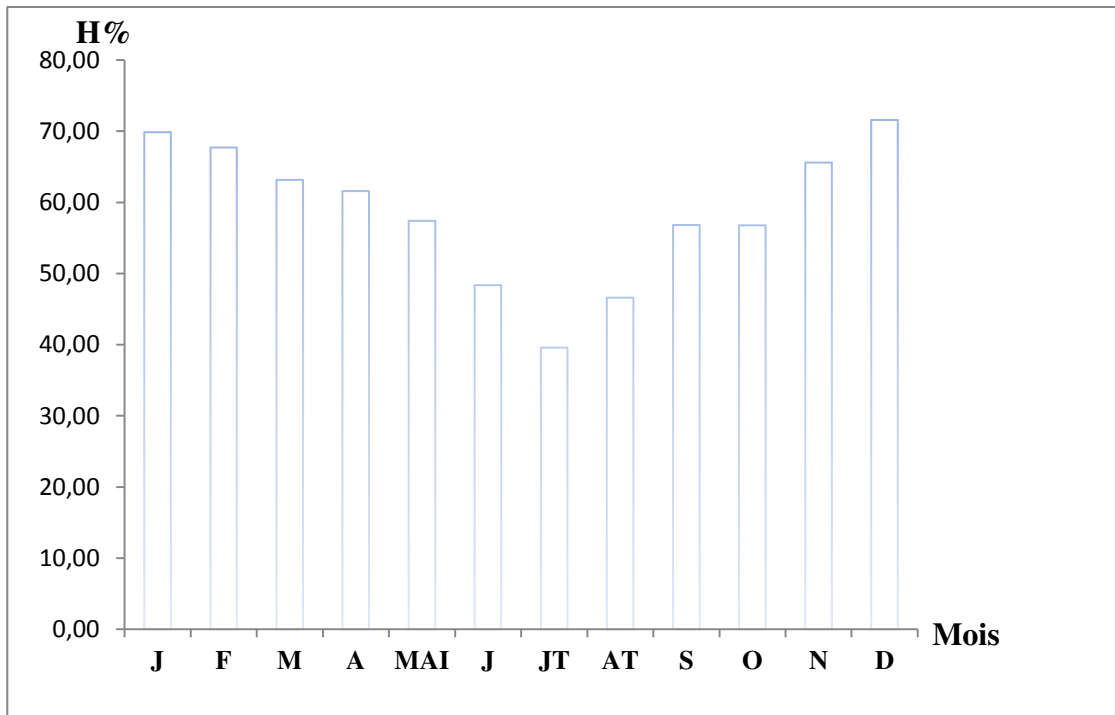
### 1.6.L'humidité

La quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans l'air dépend des conditions de température et de pression de ce dernier.

Plus la température de l'air est élevée et plus la quantité d'eau qui peut être dissoute est importante.

L'humidité relative est le rapport entre la masse d'eau dissoute dans l'air et la masse maximale d'eau que l'on peut y dissoudre. (Jeane, 2009).

Les valeurs d'hygrométrie de la période (2004-2018) sont indiquées dans la figure 16.



**Figure 16 : Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2018).**

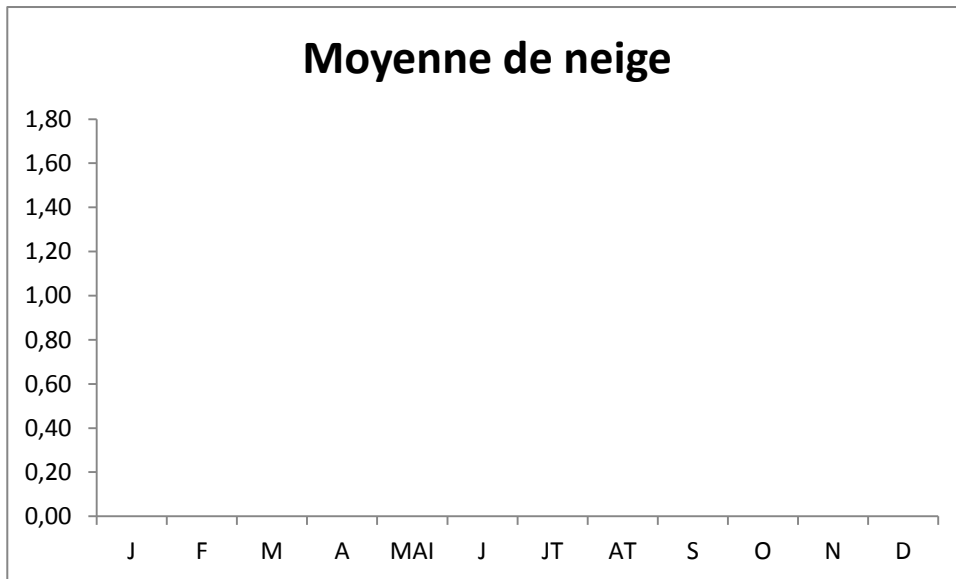
A partir de la figure on constate que les valeurs de l'humidité sont relativement homogènes.

Les données hygrométriques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de décembre avec 71,58% 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 39,59%.

L'humidité relative de la région d'étude est constamment élevée avec une moyenne mensuelle supérieure à 39,59 %. Son évolution saisonnière est étroitement liée aux précipitations et à l'évaporation. C'est surtout en saison humide que l'on observe les maxima les plus forts, 71,58 % en janvier et février.

### 1.7.La Neige

La neige aussi est un facteur écologique de toute première importance dans les milieux subpolaires et montagnards. Elle exerce des actions biologiques variées, de nature thermique et mécanique. La couverture neigeuse, par ses propriétés isolantes, protège efficacement du froid la végétation et les animaux (rongeurs par exemple), enfouis sous cette dernière. (Ramade, 2003).



**Figure 17 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (2004-2018).**

A partir de la figure on constate que l'enneigement s'étale sur une durée de 8 mois de novembre à mai donc la plus grande partie de la neige tombe durant la période hivernal, le maximum étant au mois de mars avec une moyenne de 17 jours de neige. L'enneigement consiste une réserve d'eau cédée progressivement du sol.

### 1.8.La Grêle

La grêle est un type de précipitation qui se compose de morceaux de glace de forme sphérique ou irrégulière. Elle se produit dans des nuages instables, avec fort développement vertical.



**Figure 18 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de Grêle de la période (2004-2018).**

La figure 18 montre que la grêle n'est pas fréquente dans la région, le maximum est enregistré au mois de mars avec une moyenne de 3 jours de grêle.

## 2. Synthèse climatique :

### 2.1. Indice d'aridité

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

$$I_a = P / T + 10$$

**Avec:**

$I_a$ : indice d'aridité

$P$ : précipitations moyennes annuelles (mm).

$T$ : températures moyennes annuelles (°C).

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

**Quand:**

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

Pour la station d'El Mahmel,  $P = 481.26$  mm et  $T = 15.85^\circ\text{C}$  donc cet indice est égale :

$$I_a = 481.27 / 15.85 + 10$$

$$I_a = 18.62$$

Ce qui permet de dire que le climat est semi-aride avec un écoulement temporaire.

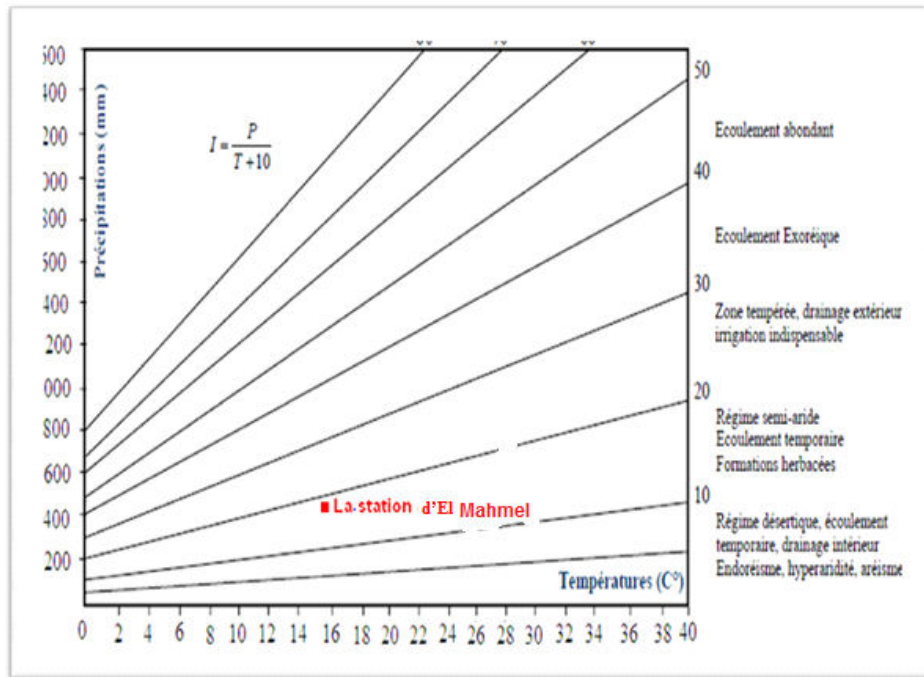


Figure 19 : L'indice d'aridité annuel de Martonne.

## 2.2. Diagramme pluviométrique de Gaussen

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs. Cette relation permet d'établir un graphe dit pluviométrique (Gaagai, 2009).

D'après Gaussen (1953), sur ce graphe les températures sont portées à l'échelle double des précipitations considère comme mois sec celui où le total mensuel des précipitations (P) exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle (T) exprimée en degrés Celsius.

### P < 2T (indice de Gaussen)

Les deux échelles (P) et (T) sont telles que : 1°C = 2 mm (Figure 20).



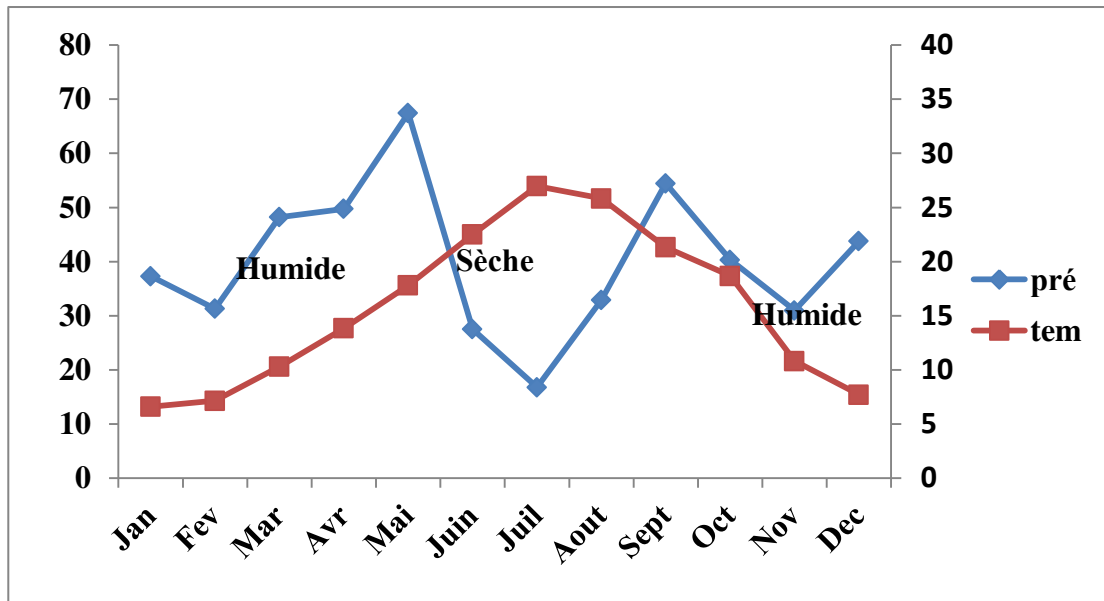


Figure 20 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et de Bagnouls (Station d’el Hamma 2004-2018).

D’après le diagramme Ombrothermique de Gaussen de la station d’El-Hamma nous constatons que la période sèche dure environ 107 jours de juin jusqu’à la mi-septembre. La détermination de cette période est d’une grande importance pour l’hydrologie à fin de pouvoir estimer les besoins en eau.

### 2.3.Le diagramme de Quotient pluviothermique d’Emberger

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L’Emberger (figure 20) sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station d’El Hamma où les valeurs de la moyenne de la température minimale (m) figurent en abscisse, et les valeurs  $Q_2$  en ordonnée selon la formule suivante:

$$Q_2 = 1000 P / [(M+m)/2(M+m)] \text{ soit : } Q_2 = 1000P / (M^2 - m^2)$$

$$= [1000 / (M+m)/2 * 273] * [P / (M+m)]$$

Ce quotient est par la suite simplifié par Stewart (1969) comme suit :

$$Q_2 = 3,42 [P / (M-m)]$$

Où :

$Q_2$  : quotient pluviothermique annuel en mm.

P : hauteur des précipitations moyennes annuelles en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (°C).

M-m : amplitude thermique extrême moyenne.

Dans notre zone d'étude :

$$P=481.26 ; M=34.9^{\circ}\text{C} ; m=1.85^{\circ}\text{C} \text{ Donc } Q_2=49.8$$

Utilisant ce climagramme avec la valeur obtenue ( $Q_2= 49.8$ ,  $m=1.85^{\circ}\text{C}$ ), on trouve que la commune d'EL Mahmel est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Figure21).

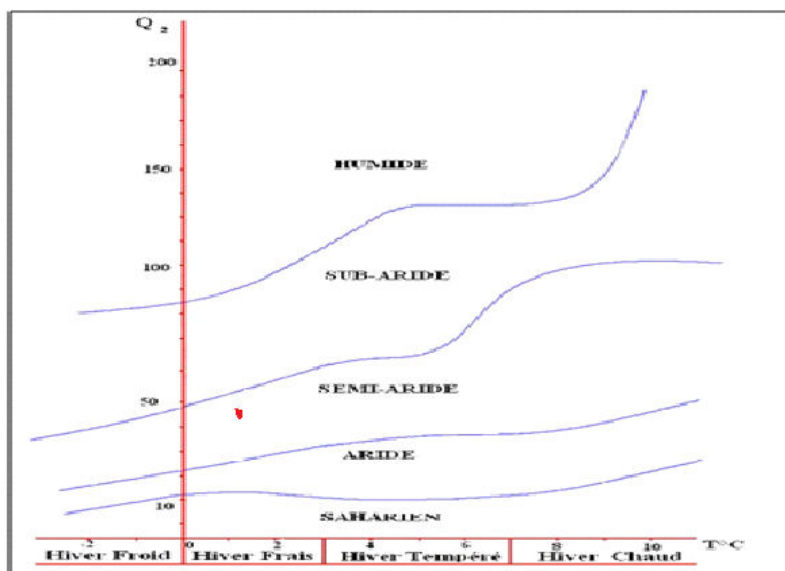


Figure 21 : Climagramme d'Embergie pour la zone d'étude.

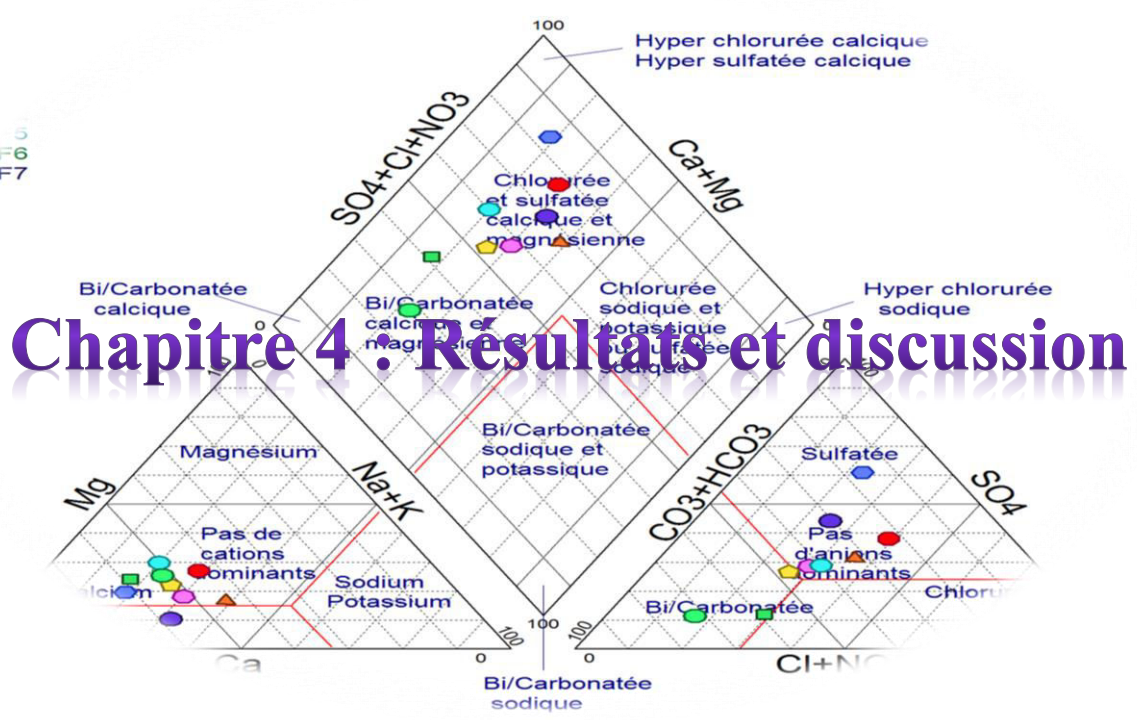
### Conclusion :

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de quatre mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec.

Cette zone est caractérisée par l'irrégularité et la forte de ses précipitations. Les précipitations moyennes annuelles pour la période 2004-2018 sont de 481.26 mm.

La température moyenne est de 15.85°C pour la période (2004-2018), avec un maximum de 26.98 °C au mois de juillet et un minimum au mois de janvier 6.66 C.

F5  
F6  
F7



# Chapitre 4 : Résultats et discussion

**Etude hydro chimique****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.

Pour étudier la qualité de l'eau souterraines d'EL Mahmel, nous avons effectué des sorties de reconnaissance du site. Cette étude est apportée sur l'analyse et l'interprétation de 09 échantillons d'eau prélevés comme suit 02 puits et 07 forages.

L'intérêt principal de cette étude est de mieux caractériser la qualité des eaux souterraines d'EL Mahmel, ces variations dans l'espace et dans le temps, afin de contribuer à la connaissance du système de point de vue pollution.

Des mesures physiques ont été effectuées in situ immédiatement après le prélèvement de l'échantillon par nous même au mois de mars 2019 à l'aide d'un multi paramètre de type HANNA HI 9025 comme la température, la conductivité électrique et le potentiel d'hydrogène.

Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire d'Algérienne des eaux Khenchela à l'aide d'un spectromètre de d'absorption atomique, et à l'aide d'un scanner pour les autres paramètres : les anions.

**1. Résultats des analyses de l'eau**

Les analyses physicochimique des eaux d'EL Mahmel pendant l'année 2019, indique une variation des concentrations des certains éléments chimiques. Ce qui explique la présence des variations dans les normes de potabilité dans certains points de mesures.

La carte suivante représente les différents points d'eaux prélevés dans cette étude.

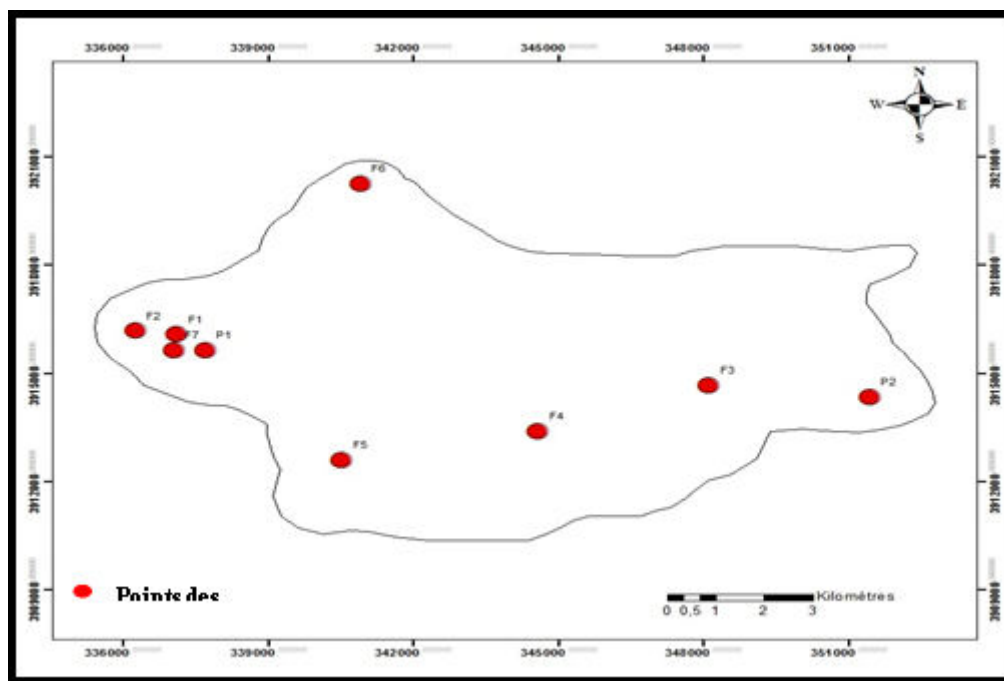


Figure 22: Carte d'inventaire des points d'eau 2019.

## 1.1. Les paramètres physiques

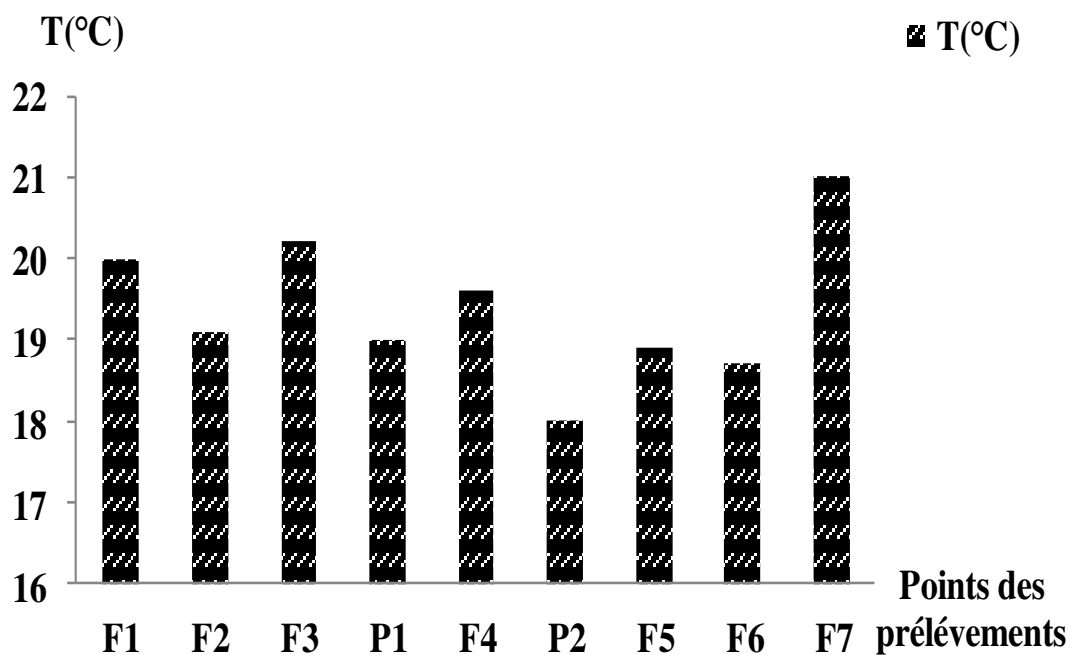
### 1.1.1. La température de l'eau

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux. La mesure de température est effectuée sur terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètre. La lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (Rodier et al, 2009).

La température est un facteur très important, car elle conditionne l'évaporation. La température des eaux est un paramètre physique utile dans la compréhension des sources d'alimentation qui ne doit pas dépasser 25°C.

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH.



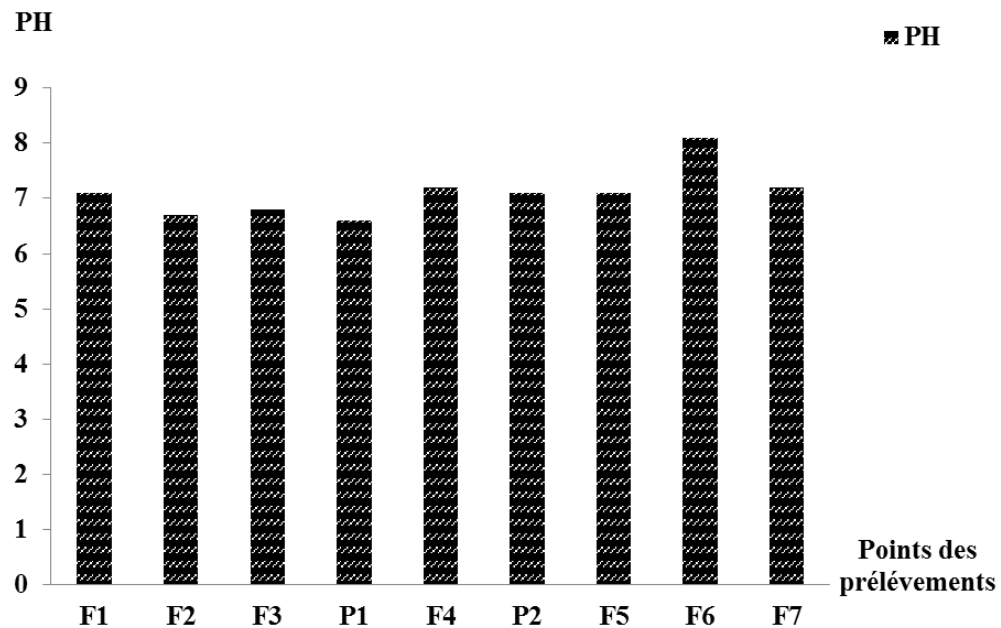


**Figure 23 : Diagramme de températures moyennes mensuelles de la zone d'étude.**

La figure montre que Les valeurs de température observées dans la zone d'étude sont différentes, la valeur maximale est enregistrée au niveau de forage 07 avec 21°C et la valeur minimale est enregistrée au puits 02 avec 18°C donc les mesures observés dans la commune d'El Mahmel sont inférieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS qui est de 25°C. Notons que la température moyenne annuelle de l'air est de 16.52°C. Ces valeurs traduisent la présence d'une nappe alluviale non profonde alimentée par les eaux météoriques.

### 1.1.2 Le Potentiel d'Hydrogène Le (pH)

Le pH mesure l'activité chimique des ions hydrogènes ( $H^+$ ) en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous la forme de l'ion oxonium  $H_3O^+$  (appelé aussi ion hydronium). Plus couramment, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Il est lié aux variations de la température, salinité, oxygène dissous, du taux de  $CO_2$  et des terrains traversés.



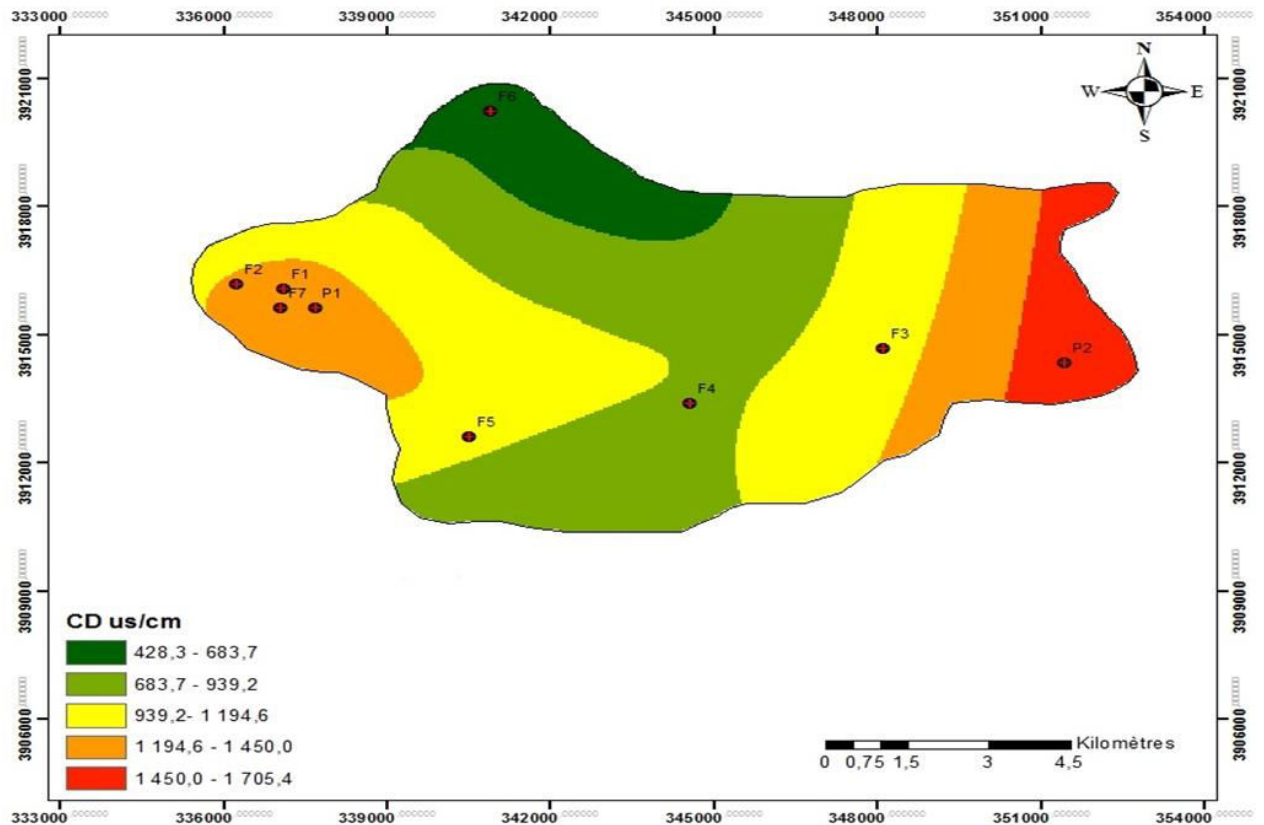
**Figure 24 : diagramme de pH des eaux de la zone d'étude.**

Le pH de la zone d'étude varie entre 6.5 et 9, généralement les eaux d'El Mahmel est en adéquation avec la norme OMS (6,5 et 9,5) pour une eau potable. Donc en générale les eaux de la région possèdent un caractère alcalin à l'exception des eaux des forages F2, F3 et de puits P1 ont un caractère acide comme la figure 24 indique.

### 1.1.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes. Par conséquent, elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau. (Derwich *et al*, 2010). Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. (Franck, 2002).

La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (ms/m) à 20°C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (IBGE, 2005).



**Figure 25: Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines d'El Mahmel.**

L'examen de la carte de conductivité électrique (figure 25) montre que les fortes concentrations s'observent à l'Est et à l'Ouest de la zone d'étude, alors qu'au Nord, au Centre et au Sud les concentrations ont été diminuées. Les valeurs sont comprises entre 460 et 2380  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne de mesure de 1108  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

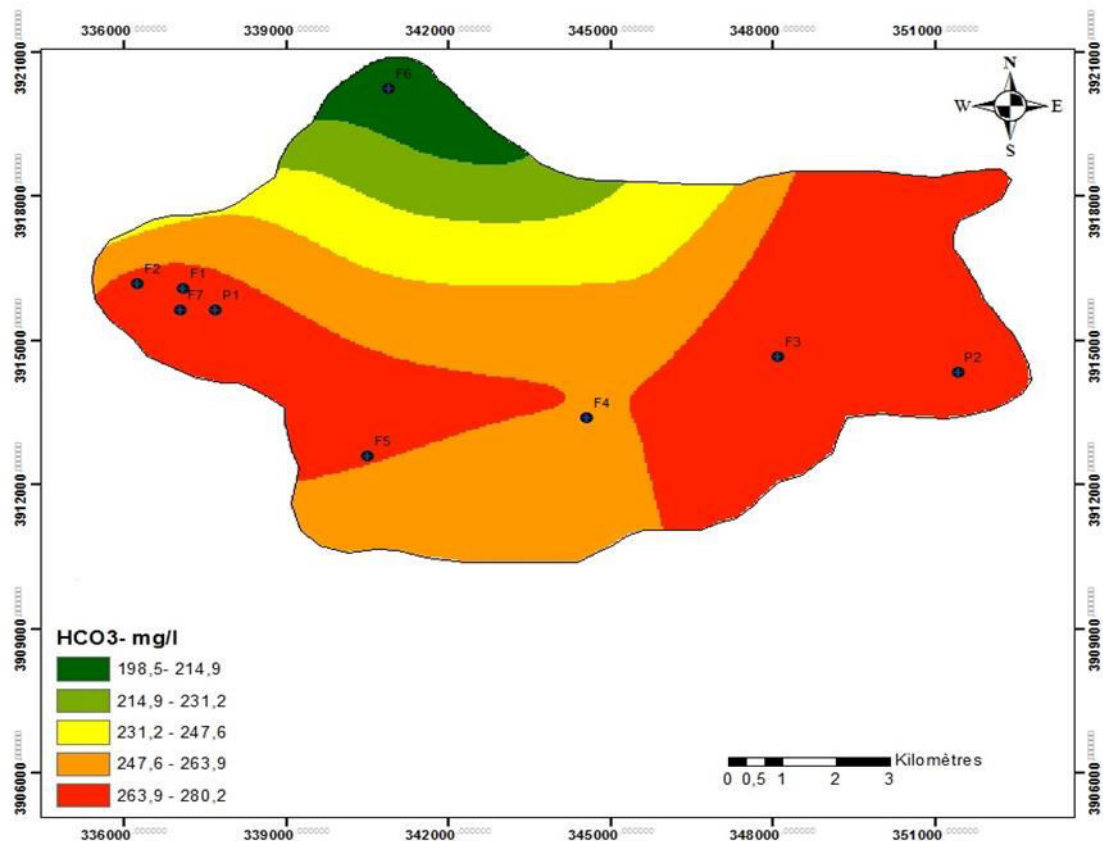
Les valeurs maximales de la conductivité électrique ont été enregistrées dans les forages P2, F1, F2, P1, F7, qui sont supérieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS ( $<1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette forte minéralisation traduit la nature des formations géologiques drainées, le temps de séjour dans le réservoir, la mobilité des ions et la température.

Tandis que les valeurs minimales de la conductivité électrique sont enregistrées dans F3, F4, F5, dont les valeurs respectivement (840, 870, 890  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), à cause des formations du Crétacé. La totalité des valeurs de la conductivité électrique ne dépassent pas la norme de l'OMS.

## 1.2. Etude analytique des éléments chimiques

### 1.2.1. Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

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



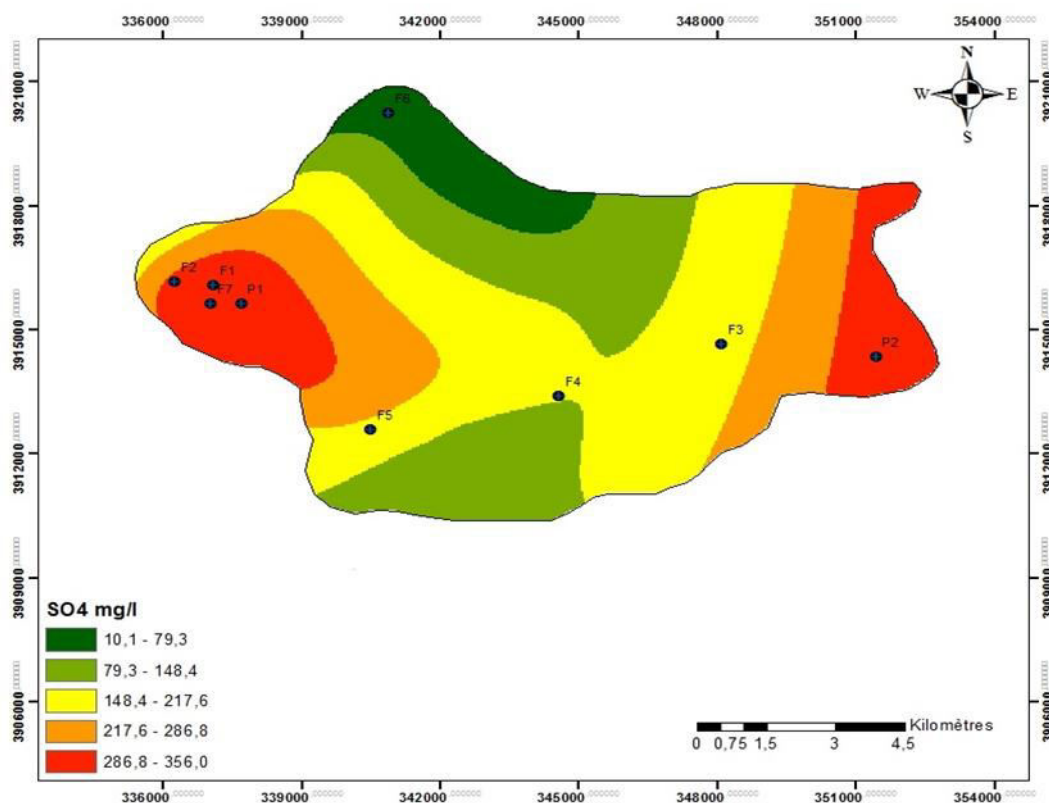
**Figure 26: Carte de concentration de bicarbonate dans les eaux souterraines d'El Mahmel.**

Les concentrations des bicarbonates dans les différents échantillons analysés de l'aquifère, varient entre un minimum de 201.3 mg/l (forage F6) et un maximum de 329.4 mg/l (forage F7),

L'évolution spatiale des bicarbonates (figure 26), montre une augmentation de concentrations de cet élément dans la partie Est et Ouest de la région d'étude au niveau des points d'eau p2, F3. Ces fortes teneurs sont dues probablement à l'influence des formations carbonatées d'âge maestrichtien, constituant le massif Djebel chattaya. En allant vers le Nord de la région d'étude où les concentrations de  $\text{HCO}_3^-$  diminuent pour atteindre la plus faible teneur au niveau des points d'eau F6.

### 1.2.2. Sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

Ils sont présents dans les eaux naturelles à des teneurs très variables et peuvent provenir de la dissolution du gypse. Ce dernier peut être triasique, comme il peut être associé à des formations plus récentes comme les argiles du Mio-Plio-Quaternaire. Ils dépendent aussi des rejets industriels.



**Figure27: Carte de la distribution des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines.**

La carte montre que les concentrations des sulfates sont élevées à Nord-ouest de la région d'étude au niveau des forages P1, P2, F1, F2, F7 avec une valeur maximale de 356 mg/l qui sont supérieurs à la norme des eaux souterraines. Alors que les faibles concentrations en sulfates se trouvent au centre de la région d'étude au niveau de puits F3, F4, F5,

Le lessivage de gypses qui se trouve dans le Trias est le responsable de l'augmentation de la teneur en sulfate.



1.2.3. Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique ou minéral, lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT) avec une autre composante, l'azote organique.

Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques

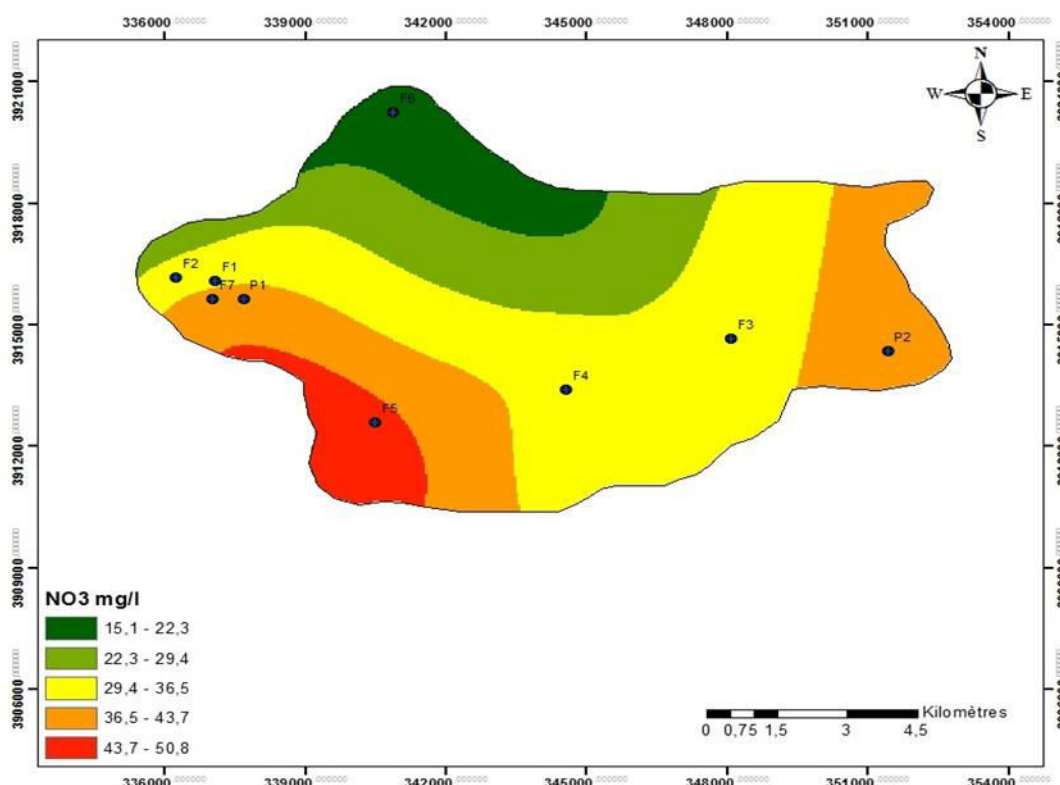


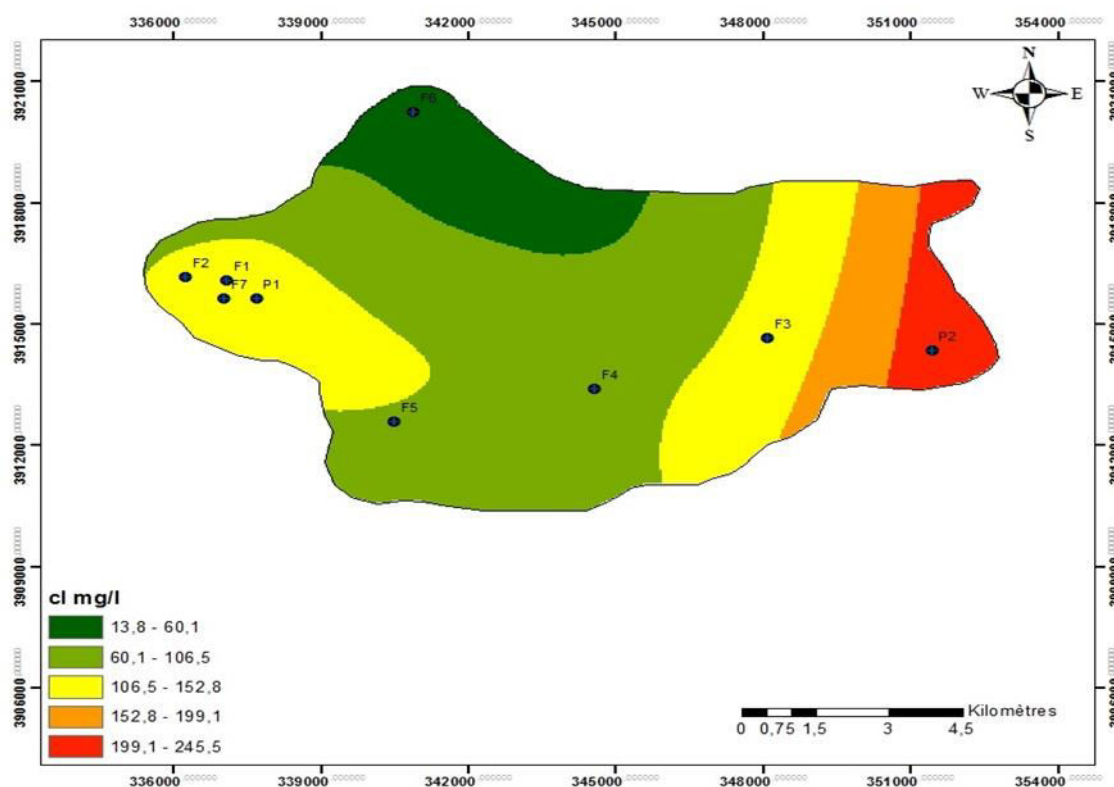
Figure 28: carte de la distribution des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines.

la carte de la distribution des teneurs en nitrate montre que les fortes concentrations s'observent dans la partie Sud-ouest de la zone d'étude au forage F5, à la suite des concentrations moyennes au niveau de puits P1,P2 qui varie entre 36.5mg/l et 43.7 mg/l.. l'origine de fortes concentrations est l'utilisation des engrais chimiques nitrés dans les champs agricoles et dans les cultures et l'élevage intensif.

### 1.2.4. Les chlorures (Cl)

L'eau l'en contient Presque toujours, mais en proportion très variables, la teneur en chlorures augment généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. Les chlorures rencontrés proviennent:

- des rejets d'origine industrielle telle que l'acide chlorhydrique (HCL).
- des rejets d'eau d'origine domestique.
- de la dissolution des sols naturels des terrains salifères.



**Figure 29: carte de la distribution des teneurs en chlorure dans les eaux Souterraines.**

La carte thématique 23, nous indique que les concentrations les plus élevées sont d'orientation Est de secteur d'étude

Dans cette zone on peut lier ces fortes concentrations élevées en chlorures au lessivage des formations triasique ainsi que la présence de sebkha qui est le responsable de pompage intensifs et de migration des eaux salées. Ces concentrations diminuent en allant vers l'Ouest à l'exception de quelques points où les concentrations varient entre 106.5 et 152.5 mg/l F1 F2 F3 F7 P1.

### 1.2.5. Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il existe dans de nombreux gisements de calcaire, de craie, de marbre, qui tous sont des variétés naturelles du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ . on trouve également de grandes quantités de gypse (pierre à plâtres) (Rodier et al. 2009).

Le calcium est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ).

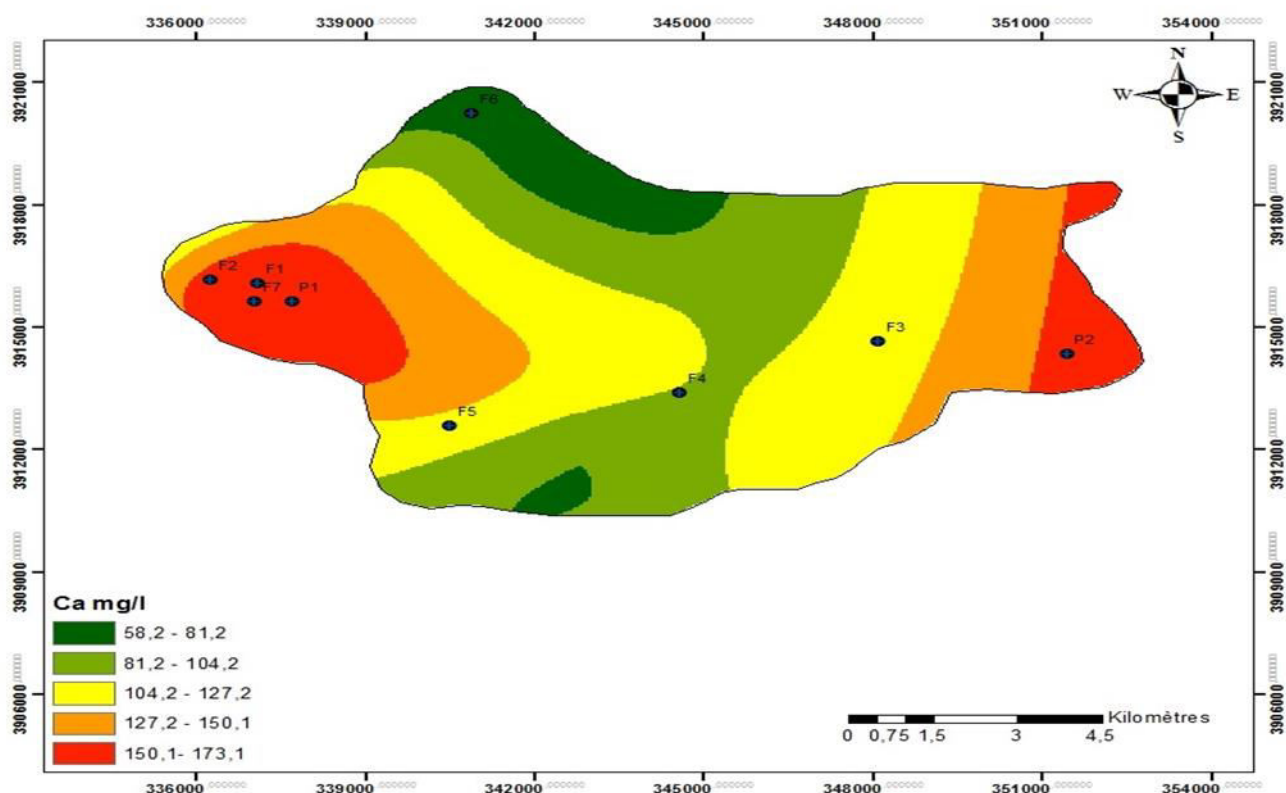


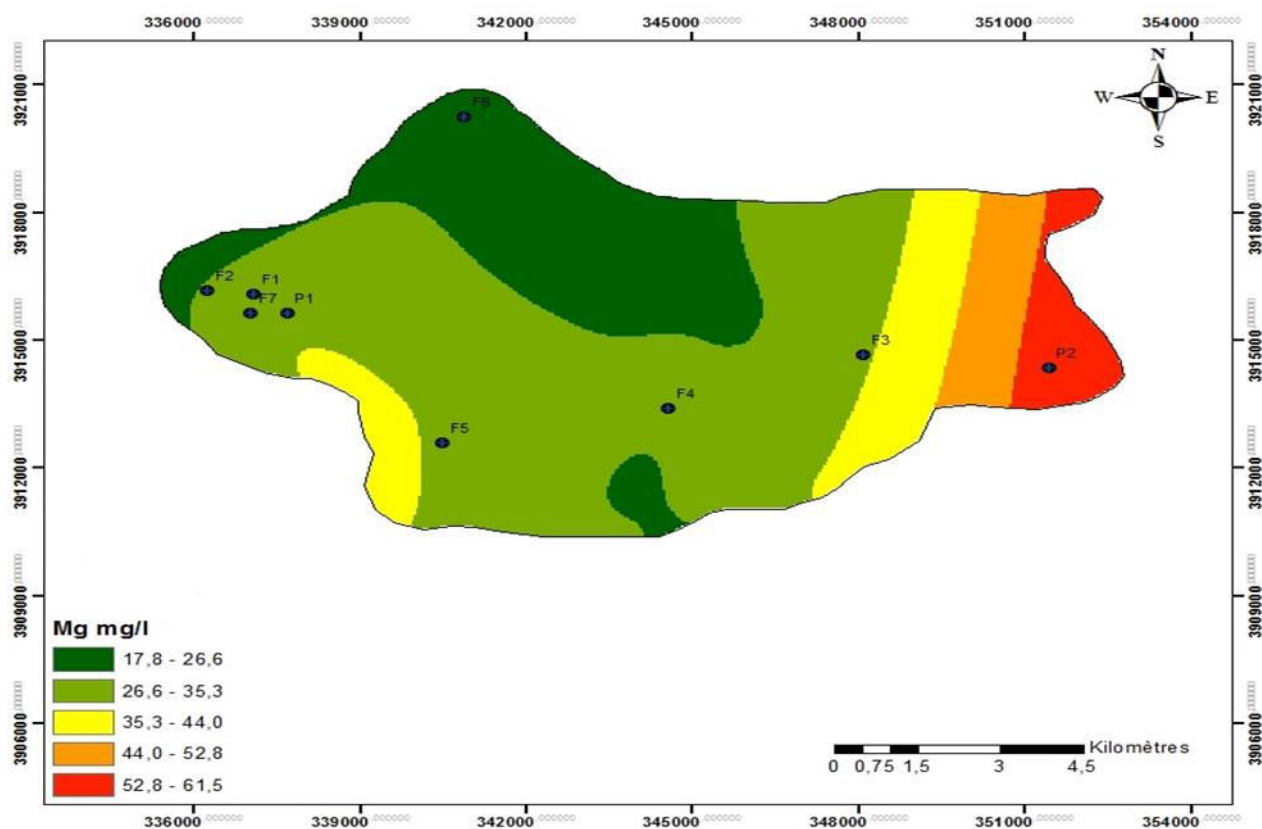
Figure 30: Carte de la distribution des teneurs en calcium dans les eaux souterraines.

Les résultats de mesure obtenus au laboratoire et la carte de distribution de calcium montrent que la concentration minimale est représentée au forage F6 avec une valeur de 64.13mg/l tandis que les concentrations maximales sont observées au niveau de puits P2 dans la proximité orientale de la zone d'étude et au niveau des forages F1 F2 F7 dans la proximité occidentale ce qui implique que les fortes concentrations sont à l'origine des formations carbonatées d'âge maestrichtien crétacé.

### 1.2.6. Carte de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Le magnésium à son origine dans les formations géologiques traversées par l'eau, soit par la dissolution des formations dolomitique qui n'est possible que grâce à la présence du gaz

carbonique, et aussi de la dissolution des sulfates de magnésium  $MgSO_4$  dans les terrains gypseux. On note enfin que la mise en solution de  $Mg^{2+}$  est très difficile et nécessite beaucoup de temps de contact.



**Figure 31: Carte de la distribution des teneurs en magnésium dans les eaux Souterraines.**

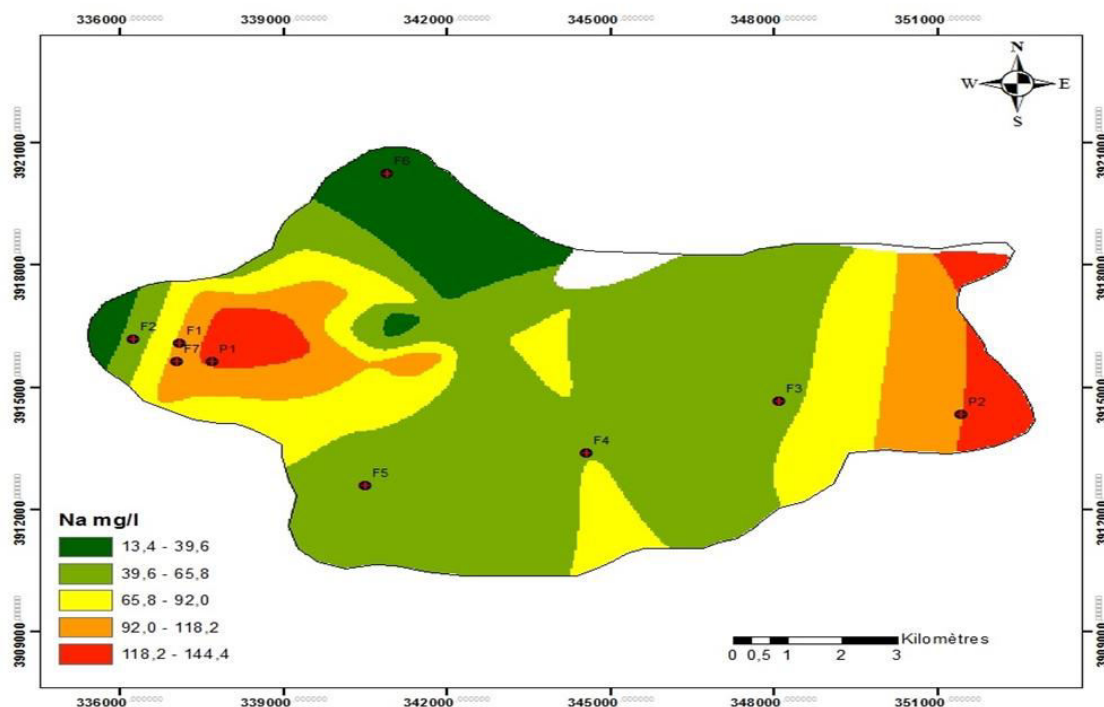
La carte de concentrations du magnésium nous montre que les fortes concentrations sont localisées à l'Est de la région d'étude, au niveau de point d'eau P2 (62.16mg/l) dépassant les normes de la potabilité.

On peut attribuer les fortes teneurs en magnésium à la dissolution des formations dolomitiques qui se trouve dans le trias à proximité de P2 des formations géologiques récentes (quaternaire cailloutis et alluvions).

### 1.2.7. Carte de sodium ( $Na^+$ )

C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité de ses sels est très élevée. Il provient du lessivage des formations géologique riche en NaCl.

La nature des terrains de cette région, même si cette concentration est au-dessus de la norme imposé par l'OMS.



**Figure 32: Carte de la distribution des teneurs en sodium dans les eaux souterraines.**

La représentation spatiale du sodium nous informe que la concentration minimale de ce dernier est de 90mg/l et la valeur maximale est de 144.4 mg/l. la valeur élevé est signalé au puits P2 où l'eau ici est attribué à la migration des eaux salées en provenance de la sebkha en réponse aux pompage intensif aussi au niveau de forages F1 F7 et le puits P1 qui sont liées à des rejets domestique(zone limitrophe à la décharge contrôlée de la commune ) et le lessivage des formations géologiques riches en NaCl.

### 1.3. Faciès chimique des eaux

#### 1.3.1. La répartition graphique

A partir les résultats des analyses chimiques des différents points d'eaux, les diagrammes de Piper (1944) et celle de SCHOELLER et BERKALOFF (1935-1938) permet d'avoir une approche globale de la composition spatio-temporelle de déterminer les Faciès chimiques des eaux.

##### 1.3.1.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des éléments majeurs.



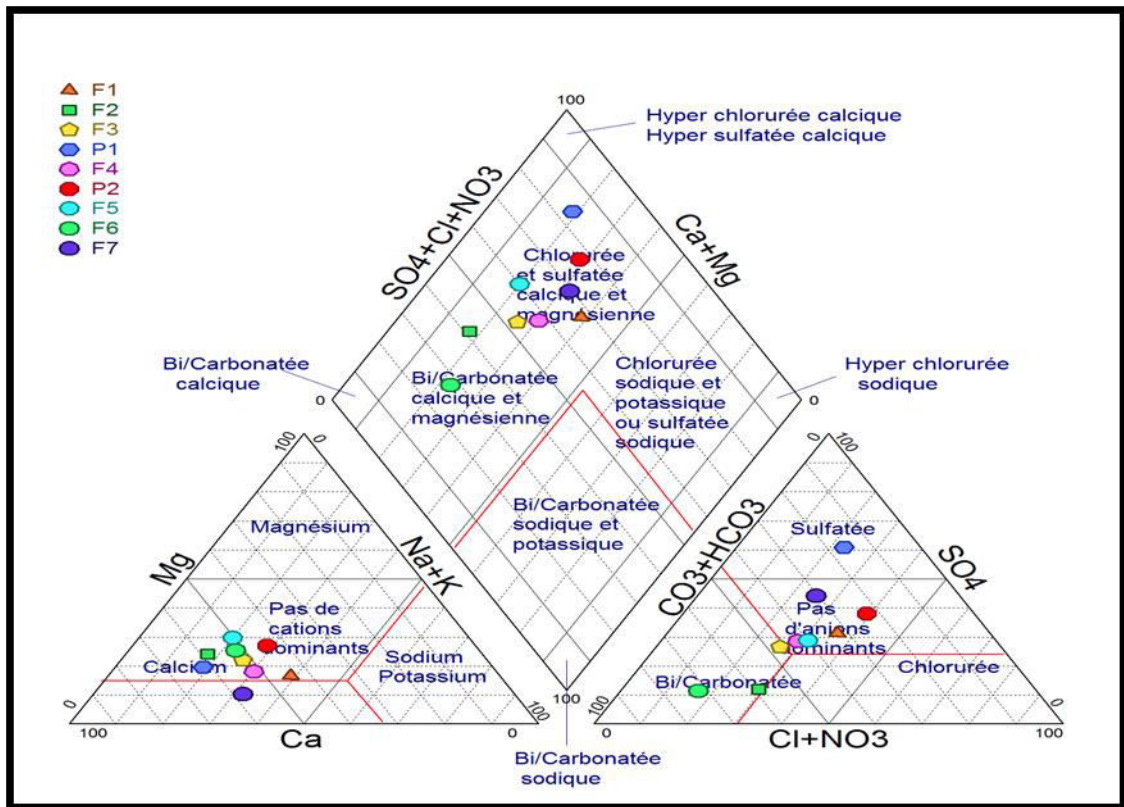


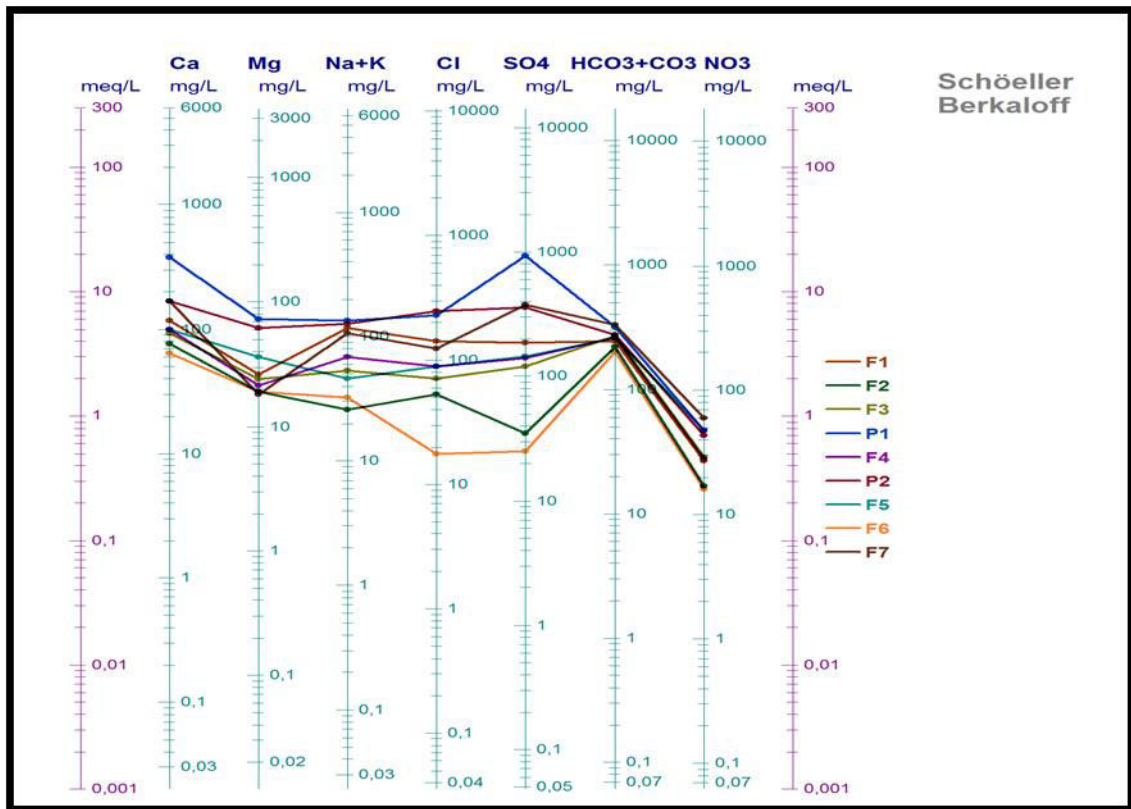
Figure 33: Diagramme de Piper des analyses des eaux souterraines d'El Mahmel.

Le diagramme de Piper montre une évolution du faciès chimique depuis des eaux bicarbonatées calciques riches en calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) près des affleurements carbonatés au l'Ouest de la région d'étude, vers un faciès intermédiaire sulfaté calcique au Nord de la plaine et l'Ouest dans le remplissage plio-quaternaires riche en gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). (Figure 33).

### 1.3.1.2. Diagramme Schoeller Berkloff

Le diagramme a été établi par H. SCHOELLER en 1932, et révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Le diagramme de Schoeller Berkloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Il y a superposition des droites obtenues si les concentrations sont identiques et décalage relatif des droites les unes au-dessus des autres dans le cas contraire.



**Figure 34: Diagramme de Schoeller Berkaloff.**

D'après les figures 34 il est noté qu'il existe une grande variation entre les teneurs des eaux issues des puits de la nappe phréatique, mais en général on a deux familles d'eau prédominantes, bicarbonaté calcique, Sulfaté calcique.

Selon le Schoeller Berkaloff on peut dire que les eaux de la région d'étude sont marquées par les calciums qui s'accompagnent tantôt de sulfate tantôt de bicarbonaté ; ceci est en liaison directe avec la présence dominante des calcites, et des formations carbonatées.

## 2. Aptitude des eaux à l'irrigation

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles et sur la préservation des sols. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que peut présenter certains éléments chimiques pour les plantes et pour les sols.

Afin d'apprécier la valeur agricole d'une solution, Wilcox (1948) a proposé le premier diagramme délimitant des classes basées sur la minéralisation totale et le pourcentage du sodium absorbé par l'eau; puis en 1954 le laboratoire de salinité du département de l'agriculture en

USA (Richards) a proposé un deuxième diagramme délimitant aussi des classes fondées sur la minéralisation totale et le sodium absorbé par le sol (S.A.R).

### 2.1. Classification des eaux par la méthode de Richards

Cette classification a été proposée par Richards. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Une eau chargée en sels peut provoquer un risque pour l'irrigation. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Ce paramètre comme étant une détermination du pouvoir d'échange des ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , par le  $\text{Na}^+$  dans les argiles et les colloïdes, Il est défini par l'expression suivante :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2)^{1/2}$$

Avec :

- Na : concentration de l'eau en ions sodium en méq/l
- Ca : concentration de l'eau en ions calcium en méq/l
- Mg : concentration de l'eau en ions magnésium en méq/l

Cette classification se fait donc, en reportant sur le diagramme les conductivités électriques en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) à 20 °C, en fonction du taux d'absorption du sodium (S.A.R).

La classification de Richards basée sur la conductivité et le S.A.R, permet de définir plusieurs classes d'eau, présentant chacune un danger de salinisation et d'alcalinisation variable, les plus caractéristiques sont quatre qui sont:

- **Classe S1C1** : Eau à salinité faible (C1) convenable pour l'irrigation de toutes les cultures avec faible risque (S1) d'accumulation des sels sauf pour les sols à faible perméabilité.
- **Classe S2C2** : Eau de salinité moyenne (C2), convenable pour l'irrigation avec précaution (S2) d'une dose de lessivage des cultures semi résistantes.
- **Classe S3C3** : Eau à salinité élevée (C3) ne convient pas aux sols à faible capacité de drainage (S3), les cultures doivent être résistantes.
- **Classe S4C4** : Eau à salinité très élevée (C4), ne convient pas à l'irrigation sous conditions ordinaires, pour quelles soit utilisée un drainage adéquat doit être mis en place pour des cultures résistantes.

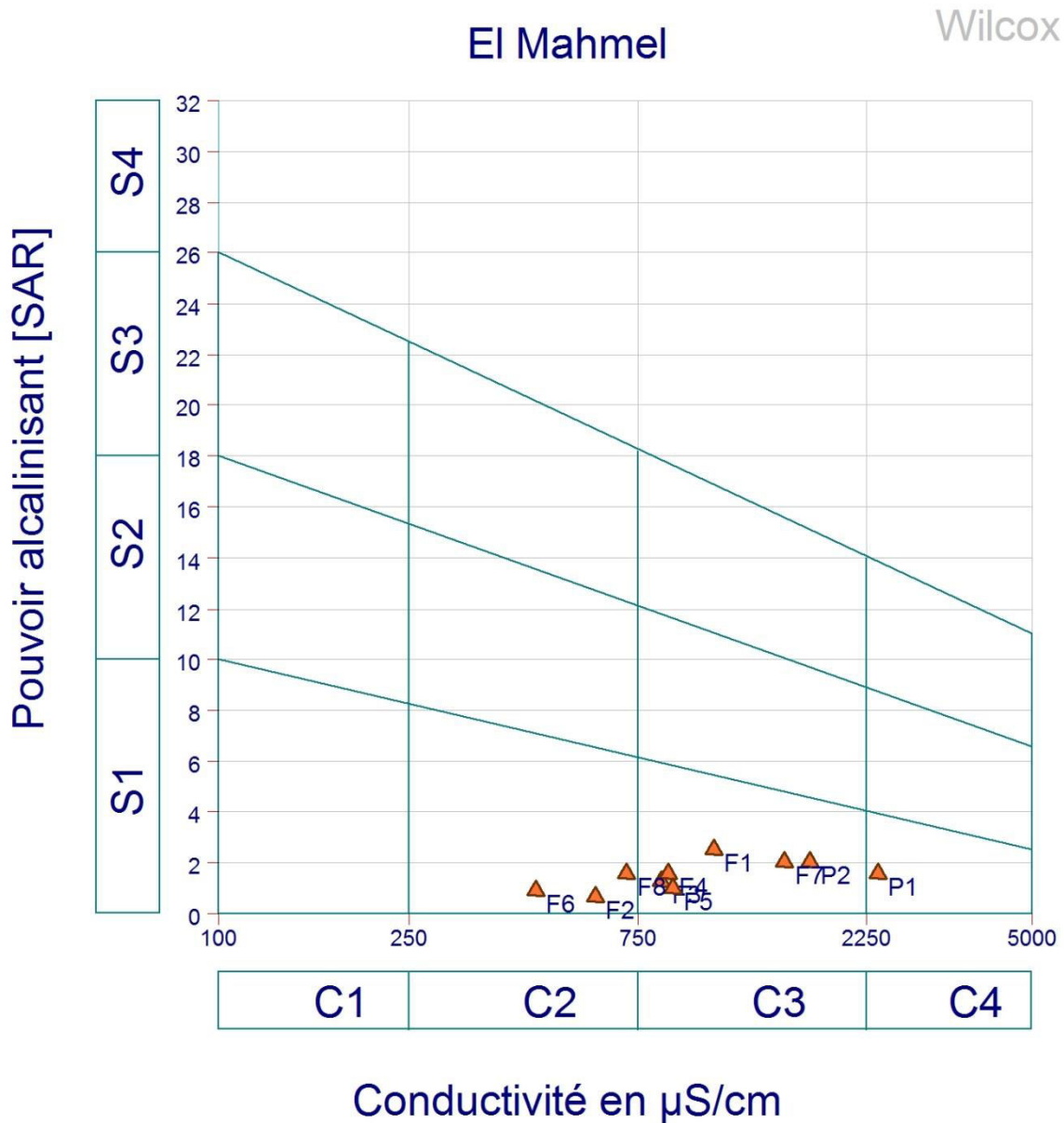


Figure 35 : Diagramme de Richards.

La représentation des échantillons analysés sur le diagramme de Richards (Fig35.), montre que les eaux de la nappe appartiennent aux deux classes : C2S1, C3S1, mais la plupart des points d'eaux 90% appartiennent au classe C3S1. Elles se manifestent par un faible danger d'alcalinisation et par une salinisation élevée. En général on constate que ces eaux ne convient pas à l'irrigation des cultures dans des conditions normales et peut êtres utilisées si les espèces tolérantes aux sels sur des sols particulièrement bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. La salinisation est causée par la dissolution des gypses et la forte évaporation des eaux, due au climat.

# *Conclusion générale*



## Conclusion

Les données de divers paramètres (géologiques, hydroclimatiques, et hydrochimiques), 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 oligoéocènes, 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 481.26 mm/an. L'observation de l'historique des précipitations sur 14 ans a montré une domination des années sèches, ce qui se répercute sur la recharge de la nappe

L'étude hydrochimique a permis de caractériser les principaux paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés au cours de la campagne de terrain du Avril 2019. On a pu distinguer une liaison de cause à effet entre la géologie et le chimisme des eaux souterraines.