

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université Abbès Laghrour Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'étude
Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité : Ecologie et environnement

Thème :

**ETUDE HYDROCHIMIQUE DES
EAUX SOUTERRAINES DE LA
ZONE DE FKIRINA**

Présenté par : - BADAOUI Amel
- BENKELIFA Sebti

Soutenu publiquement le : 05/06/2016

Devant le jury composé de :

Président : **BENHIZIA Toufik** M.A.A (Université Abbès Laghrour Khenchela)
Promoteur : **CHELIH Fatha** M.A.A (Université Abbès Laghrour Khenchela)
Examineur : **DELLAA Yasmina** M.A.A (Université Abbès Laghrour Khenchela)

Promotion : 2015-2016

Sommaire

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

I. Partie bibliographique

INTRODUCTION01

Chapitre 01 :Description de la zone d'étude

1. Situation géographique et administrative04	
1.1. Situation administratif.....04	
1.2. Situation géographique.....04	
2. Milieu physique.....06	
2.1. Le relief06	
2.2. Le climat06	
2.3. La lithologie06	
3. Description stratigraphique et lithologique.....07	
3.1. Le Secondaire07	
3.1.1. Le Trias07	
3.1.2. Le Jurassique08	
3.1.3. Le Crétacé Basal (Berriasien à Hauterivien)08	
3.1.4. Le Barrémien et L'Aptien08	
3.1.5. L'Albien09	
3.1.5.1. L'Albien sup. à Cénomaniens inf.09	
3.1.6. Cénomaniens sup09	
3.1.7. Turonien09	

3.1.8. Sénonien	09
3.1.8.1. Coniacien	09
3.1.8.2. Santonien.....	09
3.1.8.3. Campanien	09
3.1.8.4. Maestrichtien	09
3.2. Le Tertiaire	10
3.2.1. L'Eocène	10
3.2.2. Le Miocène	10
3.3. Le Quaternaire.....	11

Chapitre 02 :Etude climatologique

1) Les facteurs climatiques	14
➤ La température	14
➤ Les précipitations	15
➤ L'humidité	15
➤ Le vent	16
2) Détermination de la période sèche, et humide (diagramme Ombro-thermique)	17
3) Détermination de l'étage climatique	19
3.1) Indice de Martonne (1923).....	19
3.2) Le diagramme de L. Emberger.....	20
4) Bilan hydrique	22
5) Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite.....	25
6) Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite.....	27

II. Partie pratique

Chapitre 03 : Matériels et Méthodes

1. Méthodes d'échantillonnages.....	30
2. Principaux paramètres physico-chimiques mesurables.....	30
2.1. Les paramètres physiques	30
2.1.1. Température.....	30
2.1.2. pH.....	30
2.1.3. Conductivité.....	31
2.2. Les paramètres chimiques	31

2.2.1. Les cations	31
2.2.2. Les anions	33
Résultats et discussions.....	34
2.3. Les paramètres physiques	34
2.3.1. Temperature.....	34
2.3.2. pH.....	34
2.3.3. Conductivité électrique.....	35
2.4. Paramètres chimiques.....	36
2.4.1. Les cations.....	36
1) Le Calcium.....	36
2) Le Magnésium.....	37
3) Sodium et Potassium.....	38
2.4.2. Les anions.....	40
1) Les Chlorures.....	40
2) Les Sulfates.....	41
3) Les Bicarbonates	42
4) Les Nitrates	43
3. Signification des facies chimique dans la région.....	44
3.1. Diagramme de piper.....	44
3.2. Diagramme de Scholler-Berkaloff.....	45
CONCLUSION.....	47

Liste des figures

N° de figure	Titre de figure	Page
CHAPITRE 01		
Figure n°01	Situation géographique et administrative de F'kirina	05
Figure n°02	Situation Géographique de F'kirina	05
Figure n°03	Carte géologique de la zone d'étude	08
CHAPITRE 02		
Figure n°04	La répartition de la température moyenne mensuelle de F'kirina	14
Figure n°05	Précipitation moyenne mensuelle de F'kirina	15
Figure n°06	Humidité relative mensuelle moyenne de F'kirina	16
Figure n°07	La répartition moyenne du vent de F'kirina	17
Figure n°08	Diagramme Ombro-thermique	18
Figure n°09	Abaque de l'indice d'aridité annuel de De. Martonne	20
Figure n°10	Climagramme d'Emberger	21
CHAPITRE 03		
Figure n°11	Carte d'inventaire	30
Figure n°12	Variations spatiales des valeurs moyennes de pH	34
Figure n°13	La carte de Variations spatiales des valeurs moyennes de pH	35
Figure n°14	Les valeurs de conductivité électrique dans la région d'étude	35
Figure n°15	La carte des valeurs de conductivité électrique dans la région d'étude	36

Figure n°16	La concentration de calcium	36
Figure n°17	La carte de concentration de calcium	37
Figure n°18	La concentration de magnésium	37
Figure n°19	La carte de concentration de magnésium	38
Figure n°20	La concentration de sodium et de potassium	38
Figure n°21	La carte de concentration de sodium	39
Figure n°22	La carte de concentration de potassium	39
Figure n°23	La concentration de chlorure	40
Figure n°24	La carte de concentration de chlorure	40
Figure n°25	La concentration de sulfate	41
Figure n°26	La carte de concentration de sulfate	41
Figure n°27	La concentration de bicarbonate	42
Figure n°28	La carte de concentration de bicarbonate	42
Figure n°29	La concentration de nitrate	43
Figure n°30	La carte de concentration de nitrate	43
Figure n°31	Représentation de Piper des eaux souterraines de F'kirina	44
Figure n°32	Représentation de Schöeller-Berkaloff des eaux souterraines de F'kirina	45

Liste des tableaux

N° de tableau	Titre de tableau	Page
CHAPITRE 02		
Tableau n°01	les coordonnées géographiques de la station météorologique d'Oum El Bouaghi	13
Tableau n°02	Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C .W. Thronthwaite.	26

Annexes

Tableau : Normes de potabilité des éléments chimiques selon l’OMS 2011

Eléments chimiques	Valeurs guides (mg/l)
Calcium	100
Magnésium	50
Sodium	200
Potassium	12
Sulfate	250
Chlorure	250
Nitrate	50
Bicarbonate	250

Tableau : Valeurs directrices de potabilité des paramètres physique selon l’OMS

Paramètres	Unités	Valeur directrice
T°	°C	8-15
pH	-	6.5-8.5
Conductivité	µS/cm	180-1000

Liste des abréviations

OEB	Oum El Bouaghi.
pH	Potentiel d'Hydrogène.
HCEFLCD	Le Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.
P	Point.
NPK	Azote, phosphore, potassium.
OMS	Organisation mondiale de la sante.

INTRODUCTION :

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité. Le maintien de cet avantage relatif requiert cependant que des mesures soient prises pour préserver de façon durable la qualité du réservoir naturel d'approvisionnement.

Dans cette étude, nous allons présenter nos observations et interprétations des mesures de terrain, pour essayer de répondre à la question suivante :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la plaine ?

L'étude se base sur l'identification et la caractérisation de la zone d'étude par des descriptions et analyses :

- Géologiques et litho-stratigraphiques ;
- Hydroclimatologique (précipitations) ;
- Hydrochimique (qualité physico-chimique pour la détermination du degré de potabilité des eaux souterraines de la zone d'études).

Afin de cerner ces axes de recherches on a procédé comme suit :

- Le premier chapitre : description de la zone d'étude ;
- Le deuxième chapitre : traite l'étude des différents paramètres hydroclimatiques ;
- Le troisième chapitre : a mis en évidence la qualité des eaux souterraines qui dépend d'une part la nature lithologique de l'aquifère et d'autre part des conditions climatiques qui règnent dans la région.

La fin de cette étude une conclusion générale renfermant les synthèses et les résultats aboutis lors de l'élaboration des différents chapitres.

Résumé

Le présent travail a pour objet d'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de Fkirina- NE Algérien, et la détermination de l'origine de la minéralisation en vue d'établir une cartographie de la qualité des nappes Plio-Quaternaire. Pour étudier et comparer la répartition spatiale des résultats, des cartes thématiques ont été élaborées en utilisant le programme de Cartographie (Surfer version 10.1)

L'analyse de la qualité globale des eaux a révélé que :

Le faciès chimique des eaux est chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

On tient compte que les eaux sont de qualité moyenne (forte minéralisation) et qu'il y'a une pollution par les nitrates qui dépassent la norme maximale de l'OMS a cause des activités des agriculteurs et leurs utilisations des pesticides et des engrais chimiques.

Mot-clé: Aquifère, Hydrochimie, Fkirina, NE Algérien.

Abstract:

This work aims to evaluate the physic-chemical quality of groundwater in the basin of Fkirina-Oum El Bouaghi- NE Algeria and the determination of the mineralization origin in order to established cartography of Plio-quadernary aquifers quality. To study and compare the spatial distribution of results, thematic maps were developed using cartographic program (Surfer version 10.1).

The overall water quality Analysis has revealed that:

The chemical profile of water is chlorinated and sulphated calcic and magnesium facies. Considering that the waters are average quality (strong mineralization) and that there's pollution by nitrate that exceed the maximum standard OMS because of activities of farmers and their uses of pesticides and chemical fertilizers.

Keyword: Aquifer, Hydrochemistry, Fkirina, NE Algeria.

تلخيص

يهدف هذا العمل إلى تقييم النوعية الفيزيائية و الكيميائية للمياه الجوفية بمنطقة فكرينة أم البواقي شمال شرق الجزائر و تحديد أصل التمدن لهدف رسم خريطة لنوعية طبقات المياه الجوفية. لدراسة و مقارنة التوزيع المكاني للنتائج و قد وضعت الخرائط الموضوعاتية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية .

فقد كشف تحليل شامل لنوعية المياه ما يلي :

السحنة الكيميائية هي سيلفات الكالسيوم و منغنيزيوم.

نسنتج ان المياه ذات نوعية متوسطة (ملوحة عالية) مع وجود تلوث بالنترات التي تتجاوز الحد الأقصى للمعيار بسبب الزراعة و استخداماتها للمبيدات و الأسمدة.

الكلمات المفتاحية:المياه الجوفية, الهيدروكيمياء, فكرينة, شمال شرق الجزائر .

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01 :

Description de la zone d'étude

1. Situation géographique et administrative

1.1. Situation administratif

La commune de Fkirina est située à l'est de la wilaya d'Oum El Bouaghi,(fig.01), elle est limitée par:

- **Au Nord** : Ain Baida, la commune de Zorg et la commune de Berriche ;
- **Au Sud** : La commune d'oued Nini ;
- **A l'Est** : La commune de Eldjazia ;
- **A l'Ouest** : La commune d'O E B et Ain zitoun.

1.2. Situation géographique

La plaine de F'kirina est située à l'Est Algerien, à la limite des hautes plaines constantinoises, des Monts du Mellegue, des monts des Harectas et de ceux de Nememchas Sa superficie est de l'ordre de 650 km²,(Fig.02).

Pour les limites naturelles on distingue les zones suivantes:

- **Au Nord** : la ligne de partage des eaux formé par le djebel El GalaaKebira (1246 m), Djebel Ammamrat El Kebira (1203 m), et le djebel El Forne (1184) ;
- **Au Sud**: la ligne de partage des eaux formé par le djebel Boutokhma (1291m), djebel fedj Amer (1259m), et le Djebel Bou Tebina (1226m) ;
- **A l'Est**: la ligne de partage des eaux formé par le djebel El Medjifla (1174m), le Djebel Fedjijet (1291m), et le Kef El Assa (1117m) ;
- **A l'Ouest**: une vaste zone plate limite des hautes plaines constantinoises et par la Garaet Et Tarf.

La plaine de F'kirina appartient au sous bassin versant de GaraetTarf. Le sous bassin versant de GaraetTarf d'une superficie de 2430 km², appartient aux bassins versant des hauts plaines Constantinoises (9578 km² de superficie). Il présente une dénivelée de 1269m, sa forme allongée, sa faible pente, la nature géologique des terrains d'affleurement, ses températures spécifiques et sa couverture végétale ; sont des paramètres qui favorisent l'évapotranspiration et l'infiltration sur le ruissellement. (**YounssiHoussam Eddine, 2009**).

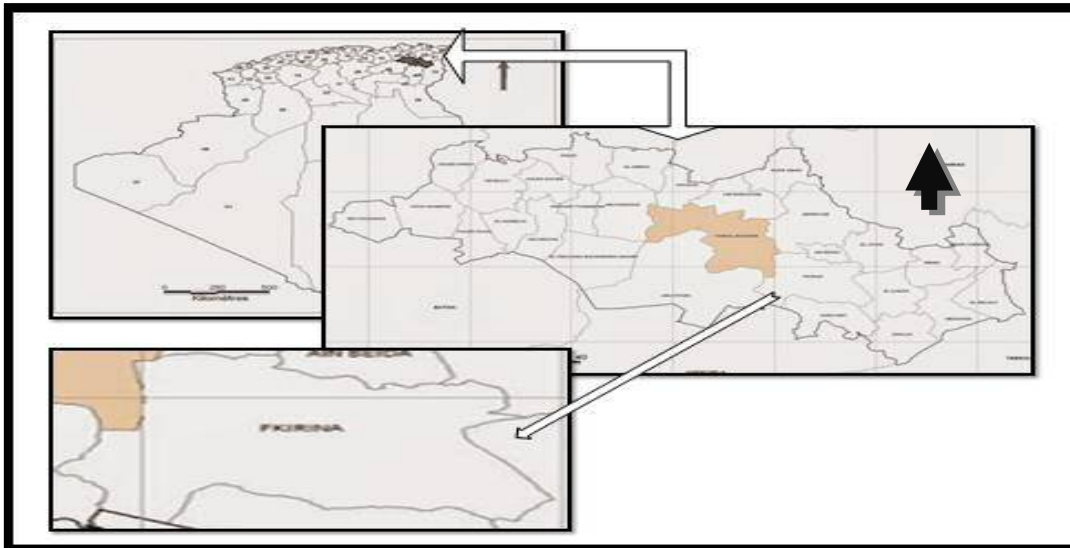


Figure 01 : Situation administrative de F'kirina.

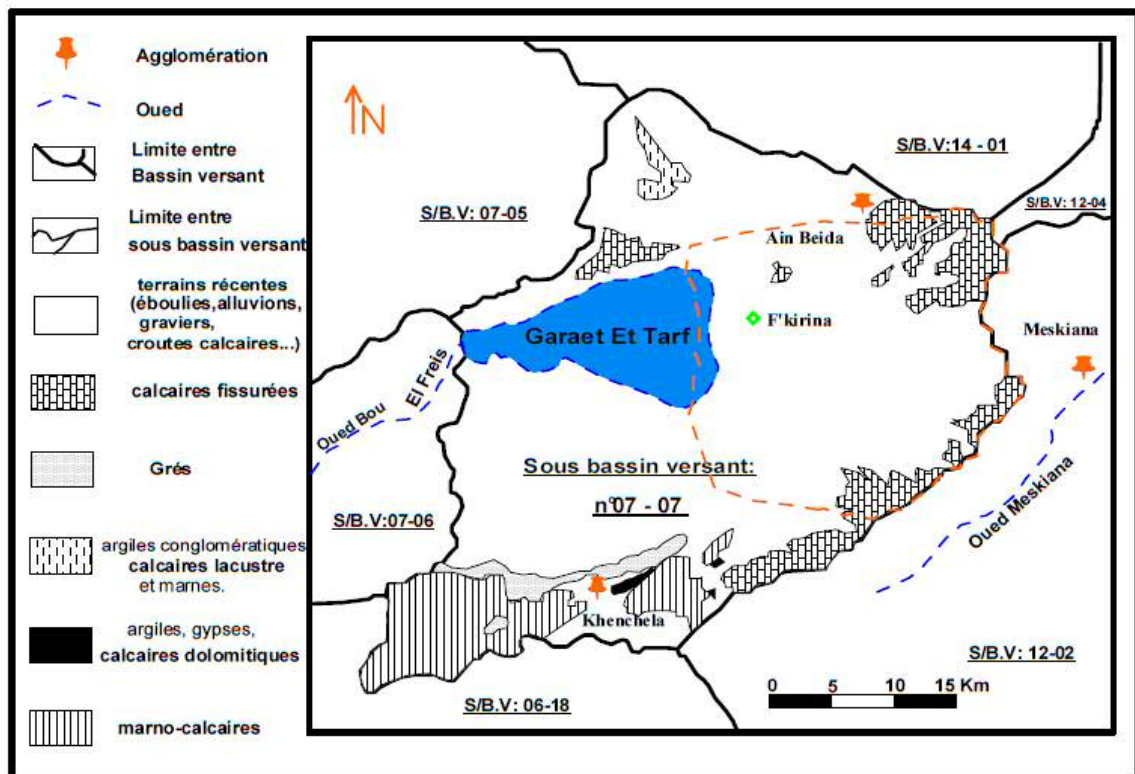


Figure 02 : Situation Géographique de F'kirina.

2. Milieu physique

2.1. Le relief

Aux bordures de la plaine, sont réparties plusieurs montagnes qui bordent la plaine à l'Est, au Nord et au Sud, leurs altitudes sont supérieures à 1000m.

Parmi ces montagnes, les plus importantes sont:

- DjebelGuernAhmar (1200m);
- DjebelFedjijet (1291m);
- DjebelBoutekhma (1349m);
- DjebelDjazia (1192m);
- DjebelBardo (1110m);
- Djebel el Gala (1200m);
- Djebel el Zorge (1129m).

Donc il y'a une formation du réseau hydrographique a partir de ces massifs.

L'écoulement se fait général de l'Est vers l'Ouest, en direction de la sebkha de Garaet Et Tarf.

Les trois oueds temporaires les plus importants sont:

- OuedNini;
- Ouedoulmene;
- OuedIsfer.

Avec des altitudes variant de 840 à 950 m, la surface est donc pratiquement plaine, avec des pentes qui ne dépassent pas les 2% à l'Ouest et 7% à l'Est.

La plaine, est entièrement recouverte de formations plio-quaternaires.

2.2. Le climat

Le climat de cette région est de type continental froid et pluvieux en hiver- chaud et sec en été les périodes de printemps et d'automne sont courtes, température entre (25°- 40°) en été et entre (0°- 45°) en hiver.Les précipitations sont très variées et insuffisantes, elles arrivent a 450 mm.

2.3. La lithologie

La région de F'kirina est constituée de formation ci-après du bas vers le haut on constate une couverture de terrain constitué essentiellement de calcite intercalant des couches plus minces de marne dure et d'argile.

Pour la reconnaissance de la nature lithologique et le comportement des sols sous jacents, quatre essais de sondages carottés de profondeur d'intervention de 10m ont été réalisés, permettant à la fois une connaissance de la géométrie, de la stratigraphie et de la pétrographie des sols. Les analyses lithologiques de Fkirina montrent que la quasi-totalité de la zone est composée de terre végétale et de marne très calcaire friable.

3. Description stratigraphique et lithologique

Les formations secondaires et tertiaires sont localisées à l'extrême Est, au Nord-est et au Sud de la plaine de F'kirina. En ce qui concerne la plaine, elle est recouverte par le Quaternaire (Figure.3)

3.1. Le Secondaire

Le Secondaire de cette région comprend des formations allant du Trias au Crétacé supérieur.

3.1.1. Le Trias

Dans la zone d'étude, les formations triasiques sont représentées de façon très discontinue. Quelques affleurements du Trias ont été observés dans les zones Nord-est et Sud-ouest d'Ain Delâa et de F'kirina.

Dans les deux cas, ces affleurements sont très réduits et constituent vers le Nord-est leurs prolongements vers le Nord-est sont représentés par Djebel El Krouma et Knif (Nord de Khenchela).

Le matériel triasique rencontré en ces différents points présente régulièrement la même composition lithologique, faite d'argiles versicolores représentées par des dolomies sombres, rubanées et crypto cristallines, des cargneules finement gréseuses et des grès.

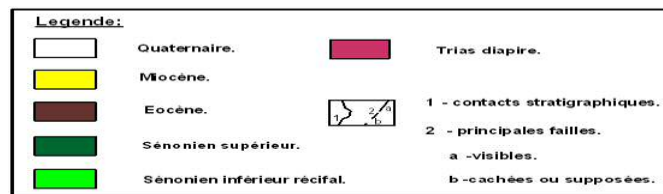
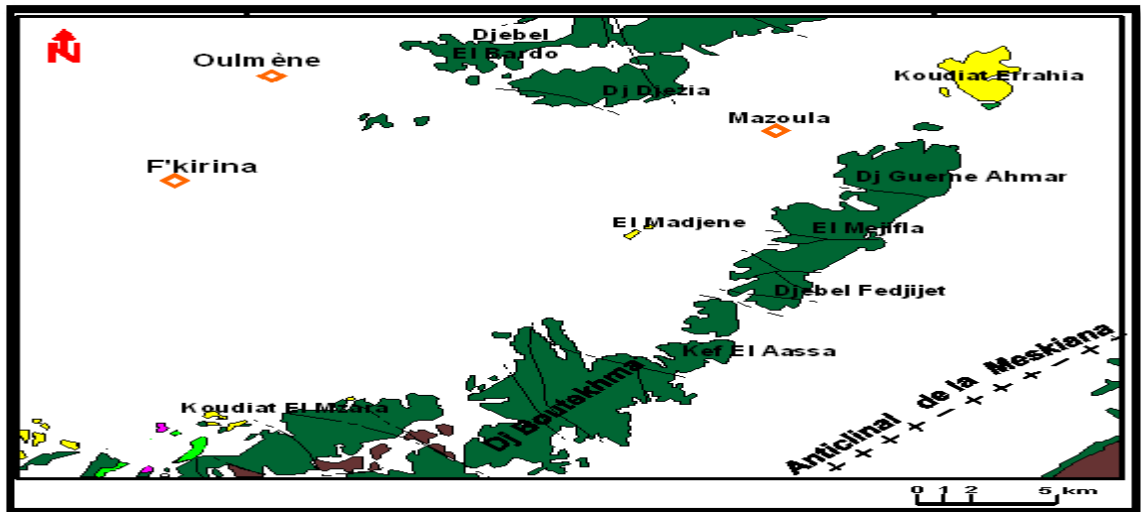


Figure. 03 : Carte géologique de la zone d'étude

3.1.2. Le Jurassique

Aucun affleurement du jurassique n'apparaît dans la zone d'étude.

3.1.3. Le Crétacé Basal (Berriasien à Hauterivien)

Le crétacé basal se retrouve rarement à l'affleurement.

3.1.4. Le Barrémien et L'Aptien

Ce crétacé inférieur a été reconnu :

- Dans l'axe Bou-Arif - Fedjoudj - Et-Tarf ;
- Dans la région de Khenchela (Djebel Pharaoun) ;
- A la limite Est de la feuille d'Ain Beida (Koudiat El Hadjel).

➤ **Le Barrémien sup.** : Il est composé de marnes grises noires schisteuses et de grès blanc, fins argilo carbonatés à tendance quartzeuse. Son épaisseur est d'environ 80 m.

➤ **L'Aptien inf.** : Il est représenté par des marnes gris noir à intercalations de marnocalcaires gris. Son épaisseur est de 100 m.

➤ **L'Aptien sup.** : Il est formé de micrites et de biosparites et d'alternance de marnocalcaires, l'épaisseur atteint environ 300 m.

3.1.5. L'Albien

Représenté par des marnes, des grès ferrugineux et des biosparites.

3.1.5.1. L'Albien sup. à Cénomaniens inf.

Composé par des marnes et des biomicrites grises.

3.1.6. Cénomaniens sup

Il affleure dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida. Ce sont des marnes écrasées par la fracturation et des filons de calcite.

3.1.7. Turonien

Représenté par des marnocalcaires avec des calcaires en plaquette à la base.

Il affleure lui aussi dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida où il est fortement fracturé.

3.1.8. Sénonien

Du fait de l'importance de l'érosion antérieure au dépôt du Miocène marin, le Sénonien affleure de façon très irrégulière, il est très épais et atteint les 1200m à 2000m.

La partie supérieure de l'étage, formée régulièrement de calcaires massifs, donne des crêtes continues formant un des éléments caractéristiques de l'orographie de l'ensemble de la région.

Les séries Sénoniennes rencontrées, sont essentiellement marnocalcaires et souvent très fossilifères. Vers le Nord-est de Khenchela, elles montrent une nette variation de faciès qui se poursuit jusqu'au Djebel El Bardo sous forme de calcaires bréchiques, récifaux et bioclastiques.

3.1.8.1. Coniacien

Alternances de marnes grises et de calcaires noduleux beiges ou ocre contenant parfois des grains de quartz; l'épaisseur de ce dernier est de centaine de mètres.

3.1.8.2. Santonien

Alternances de calcaires noduleux et de marnes grises l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 150 mètres.

3.1.8.3. Campanien

Le Campanien est constitué à la base par une barre de calcaires de 75 à 90 m. d'épaisseur surmontée par des marnes grises ou beige et des alternances de marne et de marnocalcaires 60m.

3.1.8.4. Maestrichtien

Il est illustré par :

- **Le Maestrichtien Inf.** : Il est représenté par 40 m environ de marnes grises- beiges, suivis d'une alternance de marnes beiges et de biomicrites argileuses ocre.

- **Le Maestrichtien Sup.** : Ses niveaux déterminent la ligne principale des reliefs.

Ils sont représentés par :

➤ Des biomicrosparites grises, noduleuses, phosphatées et glauconieuses à passage marneuses à la base, alors qu'au sommet ce sont des biomicrites gris blanchâtres, massives (cassure blanchâtre) à passées noduleuses et à rognons de silex, la puissance de cet ensemble est de 120m.

➤ Une diminution de la puissance du Maëstrichtien supérieur du sud vers le Nord est à signaler. La séquence inférieure du Maëstrichtien à marnes et biomicrites argileuses est régulièrement homogène, sa partie supérieure, du sud au nord, change de faciès, les biomicrosparites péricarinales, massives, passent rapidement dans la région d'Ain Dalâa et de La Meskiana à des micrites crayeuses, au Dj. Taffrent (F'kirina), le toit du Maëstrichtien est souligné par une surface ferrugineuse.

3.2. Le Tertiaire

3.2.1. L'Eocène

La répartition de l'Eocène est irrégulière au sud (secteur d'étude) où de rares témoins subsistent à la suite des érosions successives.

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de la Meskiana, à Garaet Saïd et au Djebel Taffrent où il affleure à la faveur de larges replis synclinaux.

Il s'agit des termes inférieurs de l'Eocène qui ne montent pas plus haut que l'Yprésien supérieur (du fait de l'érosion) et qui présentent une séquence marneuse et une séquence carbonatée séparées par une discordance légèrement gréseuse.

La série inférieure de l'Eocène qui paraît la plus complète se situe à 1 Km au sud de la localité d'Ain Dalâa. Ainsi, au dessus du toit raviné du Maëstrichtien supérieur, viennent en concordance :

- 70 m de marnes grises verdâtres à la base ;
 - Une alternance de marnes gris beiges et de biomicrites finement gréseuses, beige et noduleuses ;
 - 80 m d'une alternance de micrites gris blanchâtres à nodules phosphatés et de biomicrites, blanchâtres souvent noduleuses à grains de phosphates à nombreux rognons de silex.
- On signale l'absence de l'oligocène.

3.2.2. Le Miocène

Il est constitué de quatre faciès différents :

- **L'Aquitano-burdigalien** : Correspondant à la base du Miocène, il est discordant sur le Crétacé et est composé de conglomérats rouges dont l'épaisseur ne dépasse pas les 80 mètres ;
- **Le Langhien- Serravalien** : Peu épais, environ 40 mètres, et discordant, il est composé par des marnes, des biomicrites et des grès blancs ;

- **Le Tortonien Gréseux** : (Discordant sur des terrains allant du Sénonien à l'Albien). Composé de grès blancs grossiers en bancs avec rares intercalations argileuses. Cette formation à une puissance d'environ 300 mètres ;

- **Le Tortonien Supérieur Continental** : Environ 150 mètres d'épaisseur, il est représenté par des argiles silteuses de couleur beige et rouge et par des grès.

3.3. Le Quaternaire

Il couvre la quasi-totalité de la plaine et est présenté par :

- ❖ **Les éboulis à blocs** : ces éboulis proviennent du démantèlement des corniches calcaires du Maestrichtien supérieur ;

- ❖ **Les alluvions actuelles ou récentes** : il s'agit de limons gris et des graviers, ces alluvions ont une extension limitée aux vallées de l'Oued Nini à l'Ouest et surtout de l'Oued Meskiana à l'extrême Sud-est de la région d'étude ;

- ❖ **Les sols salés de Sebka** : ils ont une extension de quelques hectares et ils sont observables au milieu de la vallée de l'Oued Meskiana ;

- ❖ **Les terres arables et les alluvions anciennes** : La partie occidentale de la région est recouverte de limons sombres, ils correspondent à des alluvions anciennes dont la morphologie est très plate ;

- ❖ **Les glacis polygéniques** : Ces glacis couvrent de très vastes surfaces, leur organisation en pente douce, sont tout à fait caractéristique, ils ravinent le cycle antérieur des glacis, caractérisées par des croûtes massives.

Il s'agit d'un nappage complexe à débris bien calibrés, parfois légèrement en croûtes, l'aspect est celui des croûtes calcaires rosâtres feuilletées ;

- ❖ **Les croûtes calcaires** : Ces formations sont perchées au-dessus des glacis polygéniques. Leurs aspect est celui de croûtes massives blanches, entaillées et karstifiées qui forment des surfaces taraudées, et des dépressions de formes variées. Le réseau hydrographique quaternaire a été influencé de façon considérable par les mouvements tectoniques du Miocène et Pliocène. (Younssi Houssam Eddine, 2009).

CHAPITRE 02

Etude climatologique

La climatologie est la discipline scientifique relative au climat. Elle a pour objet la caractérisation et la classification des différents types de climats, leur localisation géographique, l'étude des causes de leur diversification et, en un lieu donné, l'analyse de leur variabilité temporelle (Gérard, 1999).

Dans le contexte du climat, les facteurs climatiques permettent d'expliquer quantitativement l'intensité et la variabilité des composantes du régime hydrologique, dans le temps et dans l'espace, en interaction avec les conditions physico-géographiques de l'écoulement.

Toute étude hydroclimatologique dépend de deux paramètres essentiels :

- Les **précipitations** qui nous renseignent sur les quantités d'eau utile au renouvellement de réserves et sur le régime pluviométrique ;
- Les **températures** sont nécessaires pour estimer l'évaporation et l'évapotranspiration qui influent sur la part d'eau contenue dans le sol et par conséquent utilisable.

L'Algérie est caractérisée par une variabilité climatique liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

Nous allons tout au long de ce travail, particulièrement lors de l'étude de la qualité des eaux souterraines, faire appel aux paramètres climatiques récents depuis 1995 à 2014 qui sont fournies par la Station Météorologie d'Oum El Bouaghi.

Tableau 01 : les coordonnées géographiques de la station météorologique d'Oum El Bouaghi.

Station	Coordonnées		Altitude en m
	Nord	Est	
Oum El Bouaghi	35° 39' 50"	7° 17' 55"	858

1) Les facteurs climatiques

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau alimentant un bassin versant.

1.1) La température

La température représente un facteur limitant, conditionne de ce fait la Répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivant dans la biosphère. (Ramade, 1984).

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique. L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car elles nous permettent d'évaluer le déficit d'écoulement des bassins versants.

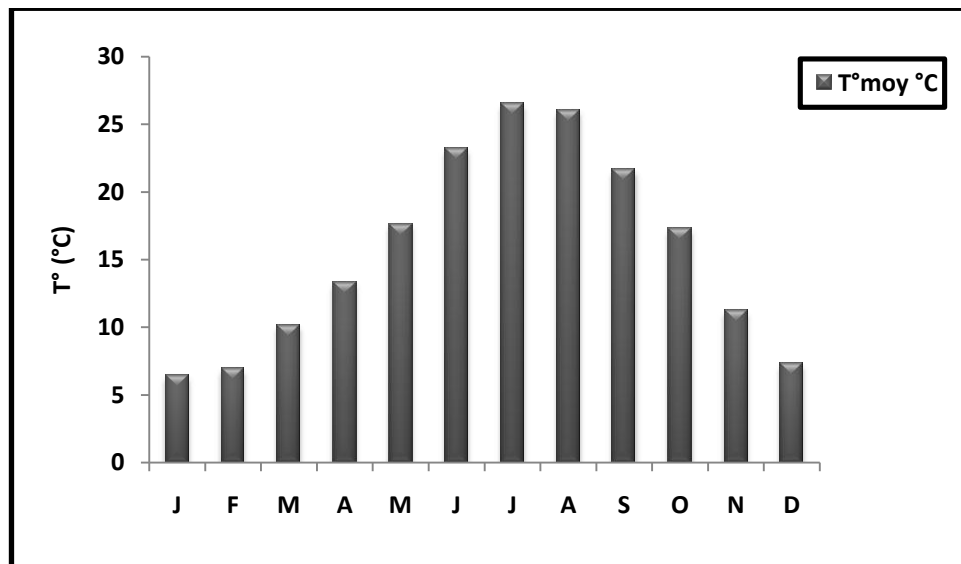


Figure 04 : Répartition de la température moyenne mensuelle de F'kirina.

D'après ce diagramme, les températures estivales sont très élevées, avec une moyenne comprise entre 22 et 26°C, le maximum se situe en Juillet. Pour la température hivernale, elle varie entre 6 et 7°C, le mois de Janvier est le plus froid. Ceci nous amène à dire que la région de F'kirina a un hiver froids et un été très chaud. La moyenne annuelle inter-mensuelle est de 15.67 °C.

1.2) Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale. Elles représentent la totalité de la lame d'eau recueillie (pluies, neiges, grêles ou n'importe quelle forme de condensation).

Nous nous intéressons dans cette étude surtout aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordiale dans le comportement hydrogéologique de la région, elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à autre et d'un mois à autre.

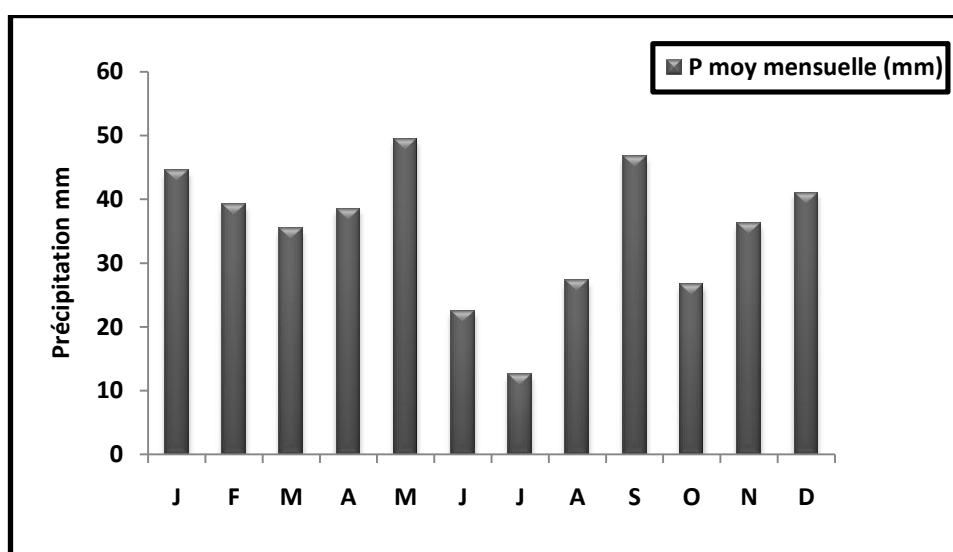


Figure 05 : Précipitation moyenne mensuelle de F'kirina.

Les données pluviométriques mentionnées dans la fig. n° 04 montrent qu'il y'a une irrégularité de la répartition mensuelle des précipitations, Le mois de juillet représente le mois le moins pluvieux dans notre région avec 12.16 mm. Le maximum des précipitations est observé au mois de mai 49.47 mm. La moyenne mensuelle est environ de 34.98 mm.

1.3) L'humidité :

L'humidité est un élément important pour la physiologie végétale, c'est le taux de l'humidité de l'air qui détermine l'intensité d'évapotranspiration chez les végétaux. Il est étroitement lié à la température de l'air. Le maximum de l'humidité relative est atteinte de minimum de température et inversement. (Azouzi, 2010).

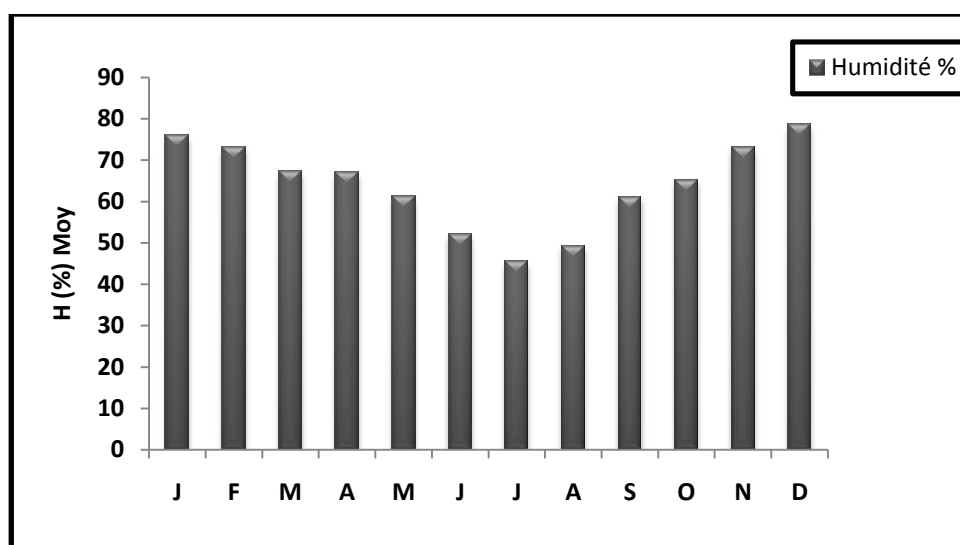


Figure 06 : Humidité relative mensuelle moyenne de F'kirina.

D'après l'histogramme on constate que les valeurs d'humidité sont relativement homogènes. Les données hygrométriques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de décembre avec 78.65% 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 45.55%.

L'humidité relative de la région d'étude est constamment élevée avec une moyenne mensuelle supérieure à 64% son évolution saisonnière est étroitement liée aux précipitations et à l'évaporation. C'est surtout en raison humide que l'on observe les maxima les plus forts en janvier et décembre.

1.4) Le vent :

Le vent est un facteur météorologique non négligeable, qui se caractérise par sa fréquence, son intensité et sa direction dominante signale que les possibilités d'augmenter les irrigations constituent le moyen le plus efficace pour lutter contre les vents chauds.

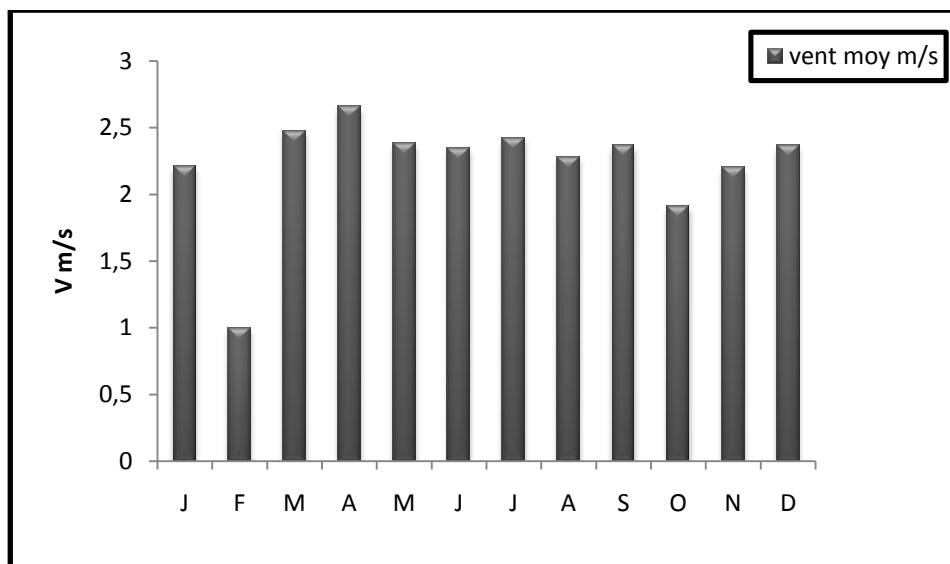


Figure 07 : La répartition moyenne du vent de F'kirina.

On remarque que la moyenne du vent le plus fort pendant cette période (1995-2014) est enregistrée au mois d'avril avec 2.66 m/s. Par contre le mois d'octobre ont des vitesses très faibles du vent avec 1.91 m/s. (figure 06).

2) Détermination de la période sèche, et humide (diagramme Ombro-thermique)

Le diagramme Ombro-thermique permet d'estimer les éléments de climat d'une région de points de vue précipitation et température pendant une période données et permet également de préciser les périodes sèches et humides.

Selon Gaussen :

- Une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totale inférieures ou égales au double de la température : $P \leq 2T$;
- Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double des températures : $P=2T$.

Avec :

- P : précipitations moyenne mensuelle en mm ;
- T : température moyenne mensuelle en °C.

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

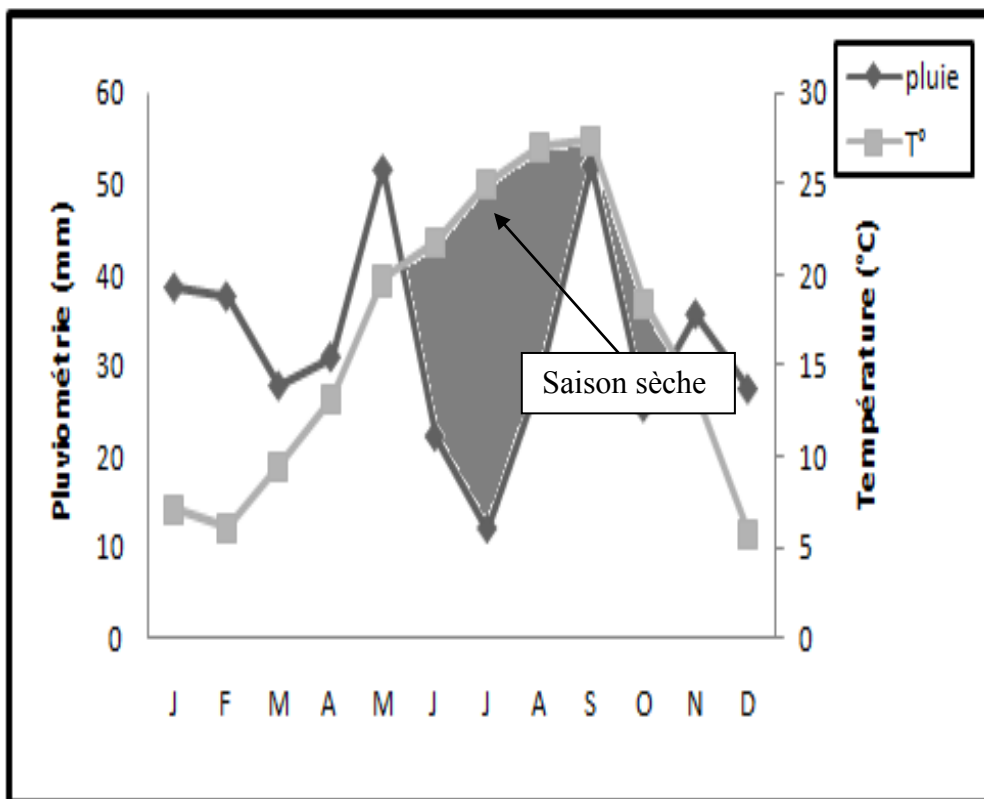


Figure 08 : Diagramme Ombro-thermique.

Ce diagramme montre l'existence de deux saisons bien distinctes :

- Période sèche s'étale pendant cinq mois allant de juin jusqu'au octobre, cette sécheresse devienne plus accentuée au aout et septembre ;
- Période humide s'étale pendant les sept mois résiduels.

3) Détermination de l'étage climatique

3.1) Indice de De. Martonne (1923)

L'indice de l'aridité est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau, présent à un endroit donné (John E. Oliver. 2006). Martonne a défini l'indice (Ia) en se basant sur les températures et les précipitations selon la formule suivante :

$$\mathbf{Ia = P/(T+10)}$$

Avec :

- P : précipitation moyennes annuelles (mm) ;
- T : températures moyennes annuelles (°C).

De. Martonne a proposé la classification suivante :

- $A < 5$: climat hyper-aride ;
- $5 < A < 7.5$: climat désertique ;
- $7.5 < A < 10$: climat steppique ;
- $10 < A < 20$: climat semi-aride ;
- $20 < A < 30$: climat tempéré.

Application numérique : $A = P/(T+10)$ avec ;

- $P = 419.09$
- $T = 15.6$

Donc, $A = 419.09/(15.6+10) = 16.34$

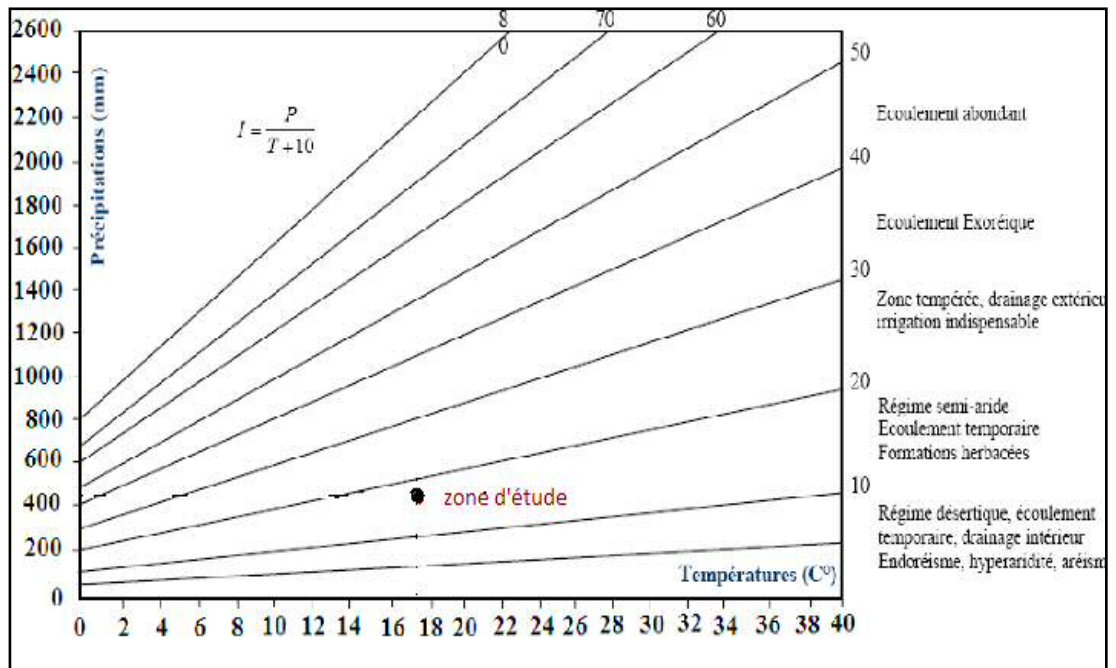


Figure 09 :Abaque de l'indice d'aridité annuel de De. Martonne.

D'après les classifications, le climat de la zone d'étude est semi-aride avec un écoulement temporaire (A= 16.34).

3.2) Le diagramme de L. Emberger

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger(Q) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique. (Sghir, 2006).

Ce quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé comme suit :

$$Q = 3.43P/M-m$$

Avec :

- Q : le quotient pluviométrique d'Emberger ;
- P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm ;
- M : Moyenne maximale du mois le plus chaud ;
- m : Moyenne minimale du mois le plus froid.

Application numérique : **Q= 3.43P/M-m**

Avec :

- $P = 419.09 \text{ mm}$;
- $M = 34.885^\circ\text{C}$;
- $m = 1.4^\circ\text{C}$.

Donc : $Q = 3.43(419.09)/34.885 - 1.4 = 39.80$

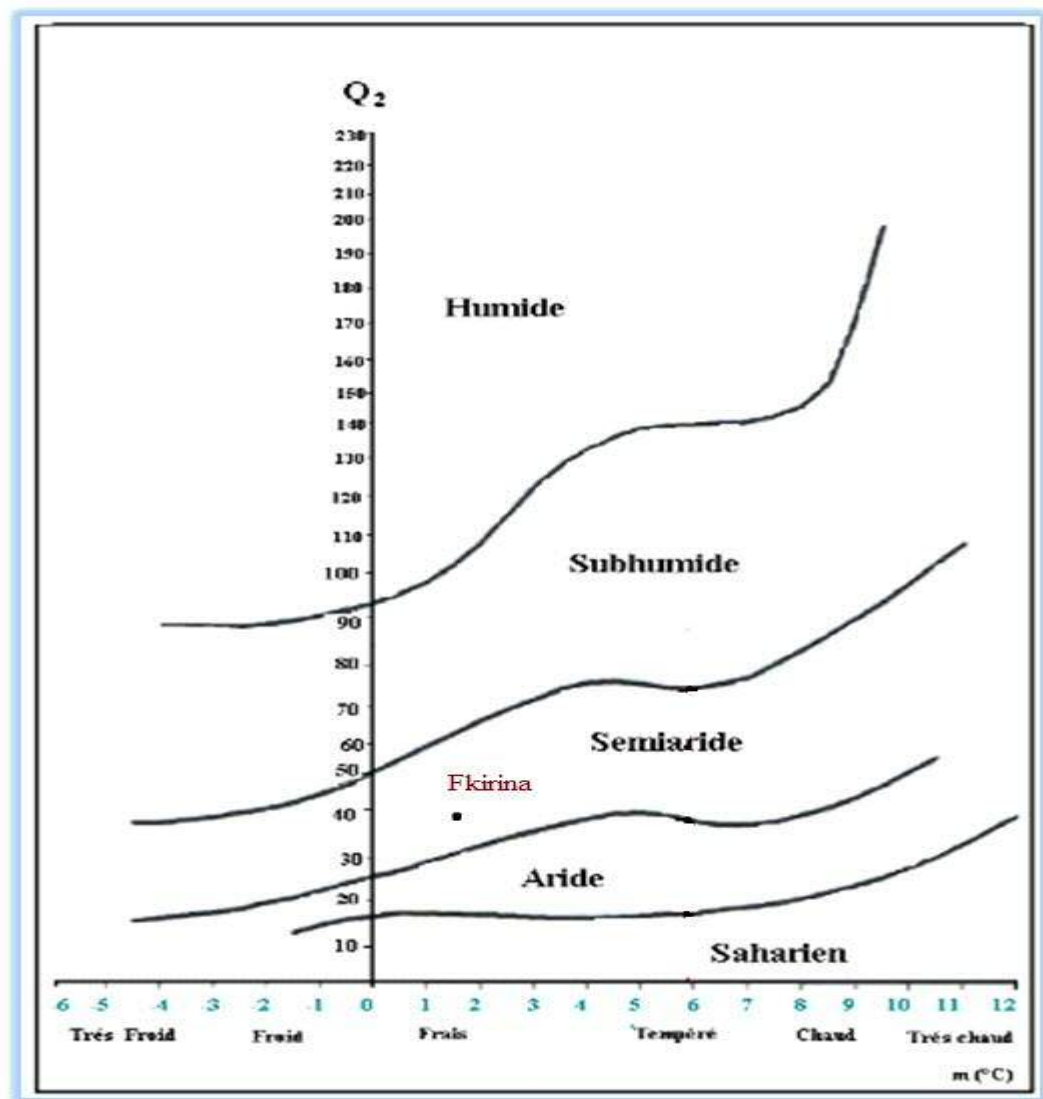


Figure 10 :Climagramme d'Emberger.

Donc on trouve que la zone de nos études est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

4) Bilan hydrique :

Le système hydraulique est défini un volume d'eau que l'on veut étudier. Ce système peut être un lac, une rivière, un aquifère, un bassin versant...etc. L'équation de base dans un système hydrogéologique s'écrit : variation des réserves= entrée – sorties.

- Entrées : précipitations, infiltration dans le sol, infiltration souterraines etc ;
- Sorties : évaporation, transpiration, ruissellement de surface, ruissellement souterrain, pompage.

Variations des réserves : variante du débit ou de la hauteur d'une rivière ou bien d'un lac changement de l'humidité du sol, stockage dans la dépression occasionnelle.

Le calcul du bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que : les précipitations, le ruissellement, l'infiltration, et l'évaporation. (Lamini, 2012).

L'équation générale d'un tel bilan peut s'écrire :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

- P : précipitation annuelle en mm;
- ETR : évapotranspiration réelle annuelle en mm ;
- R : ruissellement en mm;
- I : infiltration annuelle en mm.

4.1) Estimation de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est la déperdition en eau par retour directe à l'atmosphère sous forme de vapeur et correspondant à un phénomène regroupant à la fois des processus d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol et ceux relatifs à la transpiration correspondant à l'utilisation de l'eau atmosphérique et celle du sol par les végétaux et au rejet de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

L'évapotranspiration est l'un des composantes fondamentales du cycle hydrologique, son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant.

On distingue :

4.1.1) Evapotranspiration potentielle ETP

C.W Thornthwaite a défini l'évapotranspiration potentielle par la perte en eau qui est conditionné par :

- La température de l'air et de l'eau ;
- L'insolation et l'humidité de l'air ;
- La vitesse et la turbulence du vent ;
- La pression barométrique et l'altitude.

La formule utilisée est :

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

Où :

- T : la température moyenne annuelle en degré (°C) ;
- I : la somme des indices thermiques mensuels ;
- i : $(T / 5)^{1.514}$;
- a : un exposant climatique où $(a = 0.016T + 0,5)$.
- ✓ ETP corrigé = ETP. K dont, K = est un facteur de corrélation mensuel dépend de la latitude et du mois, il est obtenu par un abaque de la durée d'éclairage.

4.1.2) Évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle (ETR) est appelée souvent déficit d'écoulement (DE) elle correspond à la quantité d'eau évaporée ou transpirée effectivement par le sol, les végétations, et les plans d'eau libres. Plusieurs formules ont été proposées pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle ETR.

La hauteur des précipitations et les températures moyennes mensuelles forment les bases de ces formules.

4.2. Formule de TURC

Cette formule est applicable à tous les climats, elle est fonction des précipitations et des températures moyennes annuelles.

$$\text{ETR} = P / [0.9 + (P^2/L^2)]^{1/2}$$

Avec :

- $L = 300 + 25T + 0.05T^3$
- ETR: évapotranspiration réelle (mm/an) ;
- P: hauteur annuelle de la pluie (mm) ;
- T: température moyenne annuelle (°c).

On a :

- $P = 419.1$ mm ;
- $T = 15.7$ C° ;
- $L = 885.99$.

Donc, un ETR exprime : 396.9 mm.

4.3. Ruissellement

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

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

- Si $P \leq 600$ mm : $R = P^3 / 3 (ETP)^2$;
- Si $P \geq 600$ mm : $R = P^3 / 3$.

On a : $P = 419.1$ mm. Donc, $P \leq 600$ mm.

Avec ; $ETP = 849.9$ mm.

Donc, $R = 33.97$ mm.

4.4. L'infiltration

L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol. Ce paramètre est aussi très important puisqu'il conditionne l'aquifère. Il est exprimé par la formule suivante :

$$\boxed{P=ETR+R+I+Wa} \quad \text{Alors,} \quad \boxed{I= P-(ETR+R)}$$

On a:

- $P= 419.1 \text{ mm}$;
- $ETR= 849.9 \text{ mm}$;
- $R=33.97 \text{ mm}$.

Donc, l'infiltration : $I= 73.1 \text{ mm}$.

La quantité d'eau infiltrée depuis la surface de sol traversant la zone aérée pour rejoindre la zone saturé est dite infiltration efficace. Celle-ci participe à l'alimentation des aquifères existants dans la zone d'étude.

Dans la plaine de F'kirina l'estimation de l'infiltration est de 73.1 mm donc cette valeur représente 17.44 % des précipitations. Nous constatons que l'infiltration efficace est supérieure au ruissellement en raison des fortes perméabilités des terrains.

5) Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite

C.W Thornthwaite a proposé une méthode qui permet de connaître les différents termes d'un bilan hydrique à l'échelle mensuelle, il fait intervenir l'évapotranspiration (ETR) et la pluviométrie (P), cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). Cette dernière peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

On suppose qu'une lame d'eau de 100 mm est la quantité nécessaire pour que le sol soit saturé.

Cette valeur représente alors la quantité d'eau optimale que le sol peut retenir ou soustraire à l'écoulement interne. On peut distinguer trois cas :

- **$P > ETP$ alors, $ETR = ETP$** Il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète à l'écoulement Q.
- **$P = ETP$** Les précipitations sont reprises par l'évapotranspiration.

- **P < ETP** Dans ce cas il y a un épuisement des réserves et en aura alors un déficit

Si le RFU = 0 la quantité $D = ETP - ETR$ représente le déficit agricole.

Les résultats de calcul de ces paramètres pour la station de F'kirina, sont présenté sur le tableau suivant:

Tableau 02: Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C .W. Thornthwaite.

Période	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	juill	Aou	Total
T°C	21.66	17.28	11.21	7.34	6.46	6.95	10.18	13.31	17.63	23.2	26.53	26.07	15.7
P (mm)	46.69	26.62	36.23	41.01	44.52	39.13	35.41	38.46	49.47	22.5	12.52	27.2	419.1
K	1.03	0.98	0.85	0.83	0.86	0.85	1.03	1.08	1.21	1.21	1.23	1.16	-
I	9.2	6.5	3.4	1.8	1.5	1.6	2.9	4.4	6.7	10.2	12.5	12.2	73.1
ETP (mm)	101.2	66.0	27.8	13.4	11.2	12.5	28.6	47.0	84.2	133.5	169.4	155.1	849.9
BH (mm)	-54.5	-39.4	8.5	27.6	33.3	26.6	6.8	-8.6	-34.8	-111	- 156.9	- 127.9	-430.1
RFU (mm)	0	0	8.5	36.1	80	80	80	71.4	36.7	0	0	0	
ETR (mm)	46.7	26.6	27.8	13.4	11.2	12.5	28.6	47	84.2	59.2	12.5	27.2	396.9
EXC (mm)	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	6.6
DA (mm)	45.5	39.4	0	0	0	0	0	0	0	74.3	156.9	127.9	

- **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.**

6) **Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite:**

Le calcul du bilan hydrologique permet de faire les constatations suivantes :

- Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 19 ans (1995–2014), sont estimées à 419.09 mm ;
- Les températures moyennes mensuelles varient entre 6°C et 26°C, avec une moyenne annuelle de 15.7 °C. Le mois de juillet étant le plus chaud, et janvier le plus froid ;
- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations, à l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois d'avril les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois d'octobre. Les autres mois de novembre jusqu'à mars où les précipitations sont supérieures à l'ETP ;
- En générale Les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la formation de la RFU ;
- La RFU atteint son maximum 80 au mois de janvier, février, et mars et la valeur minimale est de 8.5 mm au mois de novembre, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

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 de ses précipitations. Les précipitations moyennes annuelles pour la période 1995-2014 sont de 419.04 mm

La température moyenne est de 15.67°C pour la période (1994-2014), avec un maximum de 26 °C au mois de juillet et un minimum au mois de janvier 6°C.

L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite nous donne 849.9 mm pour la période (1995-2014), l'évapotranspiration réelle est de 396.9 mm pour la même période, cette valeur va servir dans le calcul du bilan hydrique.

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE 03 :

Matériels et méthodes

Chaque étude hydro-chimique permet de connaître l'origine des eaux souterraines, ainsi que leur potabilité et leurs degrés de pollution. L'interprétation des analyses a pour but de déterminer le faciès chimique, la genèse et l'origine des éléments.

1. Méthodes d'échantillonnage

Durant le mois d'avril 2016, notre investigation sur le terrain s'est effectuée sur l'échantillonnage qui a été réalisé sur 11 forages dans la plaine de F'kirina. Ces échantillons sont prélevés dans des flacons de polyéthylène. Ces flacons sont rincés à maintes reprises à l'eau distillée et égouttés avant d'introduire à l'intérieur de chaque flacon d'eau.

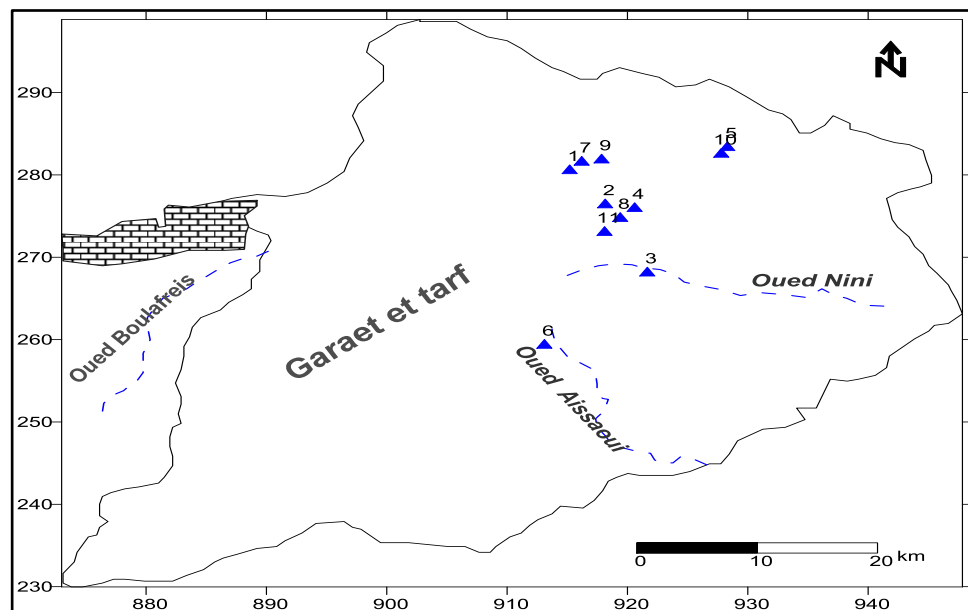


Figure 11 : carte d'inventaire des points de prélèvements (2016).

2. Principaux paramètres physico-chimiques mesurables

2.1. Les paramètres physiques

2.1.1. Température

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

Matériel utilisé : Conductivité mètre /HACH TDS mètre (44600).

2.1.2. pH

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, Bermond et al. 1966). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique du développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est

compris habituellement entre 6,5 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci est compris entre 5 et 9 (HCEFLCD, 2007).

Matériel utilisé : pHmètre E520 (EVAC)

2.1.3. La conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et sépare l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. (Brémond R. et Vuichard R. 1973).

L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m): $1\text{S /m} = 10^6\mu\text{S/cm}$. La conductivité donne une idée sur la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD, 2006). En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation.

Matériel utilisé : Conductivité mètre /HACH TDS mètre (44600).

2.2. Les paramètres chimiques

Dans l'aquifère, l'eau peut subir les effets de plusieurs phénomènes (dissolution, échange) capables de modifier l'aspect chimique de l'eau suivant la nature lithologique des terrains traversés.

2.2.1. Les cations

1) Le Calcium (Ca^{2+})

Il résulte de la dissolution par infiltration des eaux de surface à travers les formations géologiques carbonatées ou autres minéraux contenant cet élément, dû à la présence des gaz carboniques dans l'eau. Le gaz provient de l'atmosphère et des couches superficielles du sol en raison de l'activité bactérienne.

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable est de 100 mg/l.

Matériels utilisés :

- **Spectrophotomètre de flamme/HACH DR 2000 ;**
- **Spectrophotomètre FELIX PYE (UNCAM).**

2) Le Magnésium (Mg^{2+})

La mise en solution de cet ion dans l'eau prend beaucoup de temps, lorsqu'il s'agit de la dissolution des roches magnésiennes telles que la dolomie, et des formations métamorphiques. En revanche la mise en solution des sulfates de magnésium est beaucoup moins lente.

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable est de 50 mg/l.

Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre de flamme/HACH DR 2000 ;
- Spectrophotomètre FELIX PYE (UNCAM).

3) Le Sodium (Na^+)

Le Sodium provient de la dissolution du NaCl, et des formations argileuses et argilomarneuses ainsi que des rejets des eaux d'origine industrielles et domestique.

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable de sodium est de 200 mg/l.

Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre de flamme/HACH DR 2000 ;
- Spectrophotomètre FELIX PYE (UNCAM).

4) Le potassium (K^+)

Le potassium provient de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK).

Nous savons que le K^+ est en concentration faible dans les eaux du fait de l'absorption de cet élément par les végétations, nous nous intéressons donc que au sodium.

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable de potassium est de 12mg/l.

Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre de flamme/HACH DR 2000 ;
- Spectrophotomètre FELIX PYE (UNCAM).

2.2.2. Les anions

1) Le chlorure (Cl)

La teneur en Chlore influe le degré de la minéralisation d'une eau, elle est liée à plusieurs facteurs : processus hydrogéochimiques (argiles et formations triasiques), influence de la mer, ou rejets des eaux usées d'origines domestique et industrielle.

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable de chlorure est de 250 mg/l.

Matériel utilisé : Méthode volumétrique (titrimétrique).

2) Le sulfate (SO_4^{2+})

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, des ions sulfatés, dont les proportions très variables. Leurs présences résultent de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (Bakalowicz, 1979).

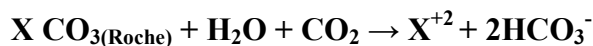
La variation de la concentration des sulfates varie d'une zone à une autre, généralement liée aux évaporites du Trias et aux crétacés et aux lits gypseux des argiles (Khemmoudj, 2009).

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable de chlorure est de 250 mg/l.

Matériel utilisé : Colorimètre GENWAY (6051).

3) Le bicarbonate (HCO_3^-)

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche-l'eau et le gaz carbonique (CO_2) selon l'équation générale :



Ils sont produits par le CO_2 aqueux ($\text{HCO}_3^- + \text{H}^+$). La concentration des eaux en HCO_3^- est en fonction de la quantité du CO_2 dissout dans l'eau. Il conditionne le degré d'agressivité de l'eau.

Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre de flamme/HACH DR 2000 ;
- Spectrophotomètre FELIX PYE (UNCAM).

4) Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont le produit de l'oxydation de l'azote de l'atmosphère, par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau.

Normalement, la concentration de nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface est faible, mais elle peut atteindre des niveaux élevés à cause de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles, des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles.

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable de nitrate est de 50 mg/l.

Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre de flamme/HACH DR 2000 ;
- Spectrophotomètre FELIX PYE (UNCAM).

Résultats et discussions

1. Les paramètres physiques

1.1. Température

Les températures enregistrées dans les eaux étudiées varient entre 16 et 21°C.

1.2. pH

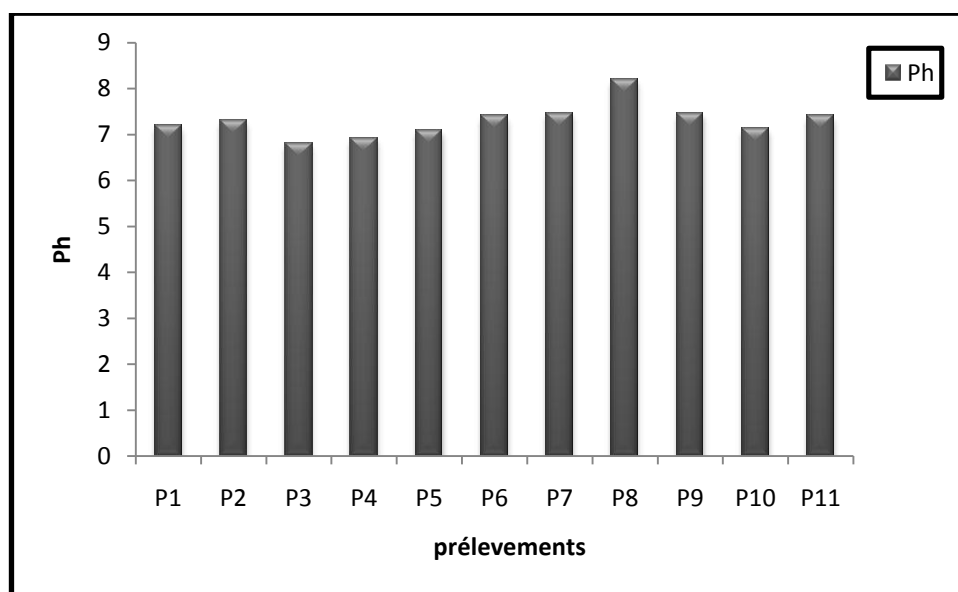


Figure 12: Variations spatiales des valeurs moyennes de pH.2016

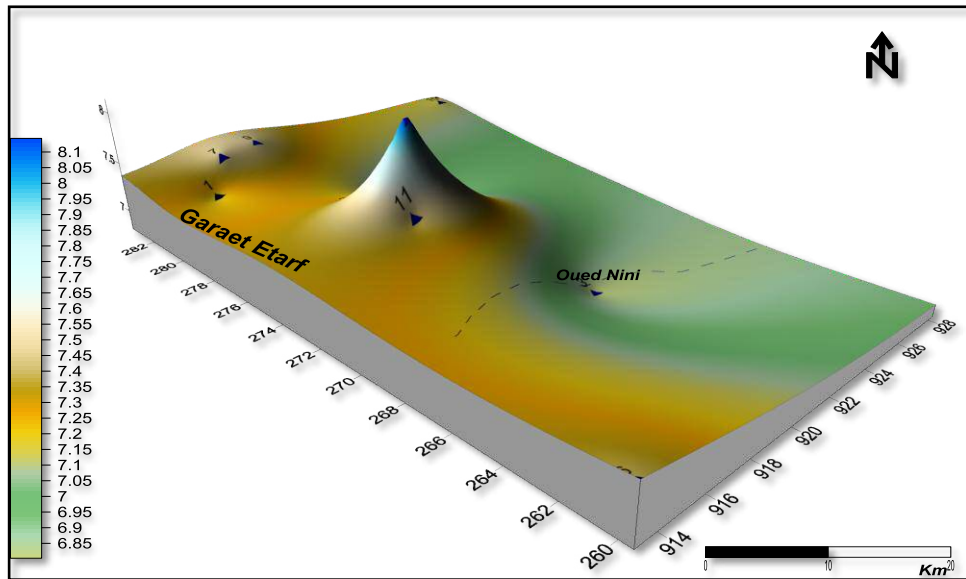


Figure 13: carte des Variations spatiales des valeurs moyennes de pH.2016

Les valeurs du pH des eaux souterraines de la plaine de F'kirina ne montrent pas une variation notable, avec un minimum de 6.8 dans le forage P3 et un maximum de 8.2 dans le forage P8, la moyenne étant de 7.3. Ces valeurs témoignent d'un milieu neutre et bien équilibré.

1.3. Conductivité électrique (CE) :

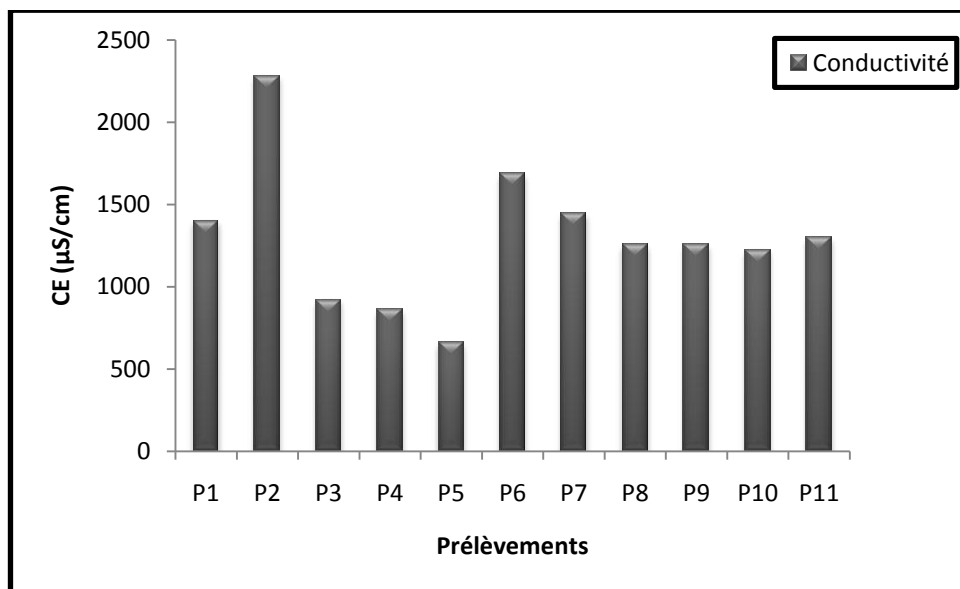


Figure 14: les valeurs de conductivité électrique dans la région d'étude.2016

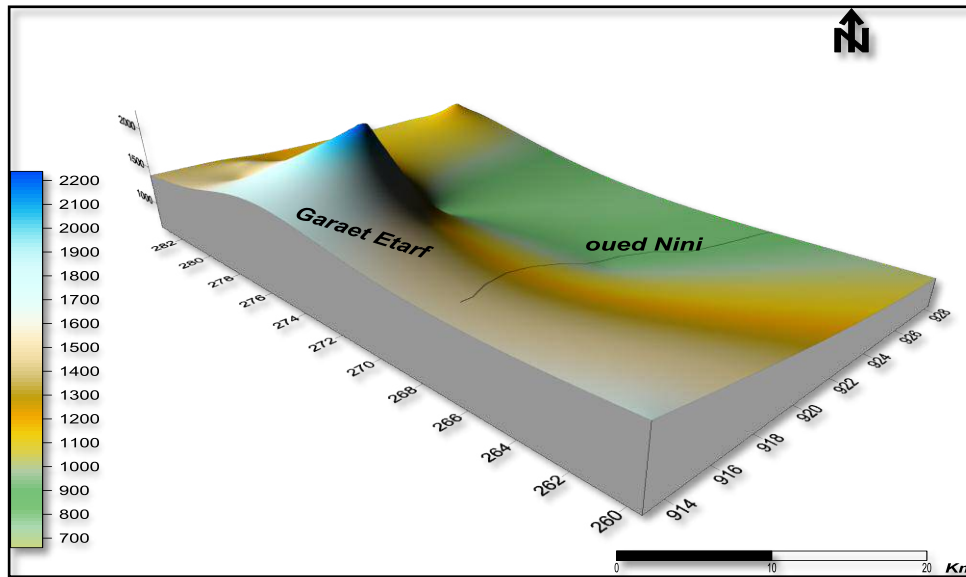


Figure 15: la carte de conductivité électrique dans la région d'étude.

Les valeurs enregistrées durant la période d'étude varient de 660 à 2280 μ S/cm, dont, la valeur minimum est enregistrée au forage P5, et le maximum est enregistré au forage P2 et la moyenne est supérieure de 1299 μ S/cm. La conductivité électrique est élevée dans les points d'eau (P2, P6) dépend de la formation géologique (les marnes), mais aussi à des conditions climatiques semi arides. Ces dernières induisent une forte évapotranspiration qui concentre la solution du sol (C. CHEVERRY et M. ROBERT, 1998).

2. Paramètres chimiques

2.1. Les cations

2.1.1. Le Calcium (Ca^{+2})

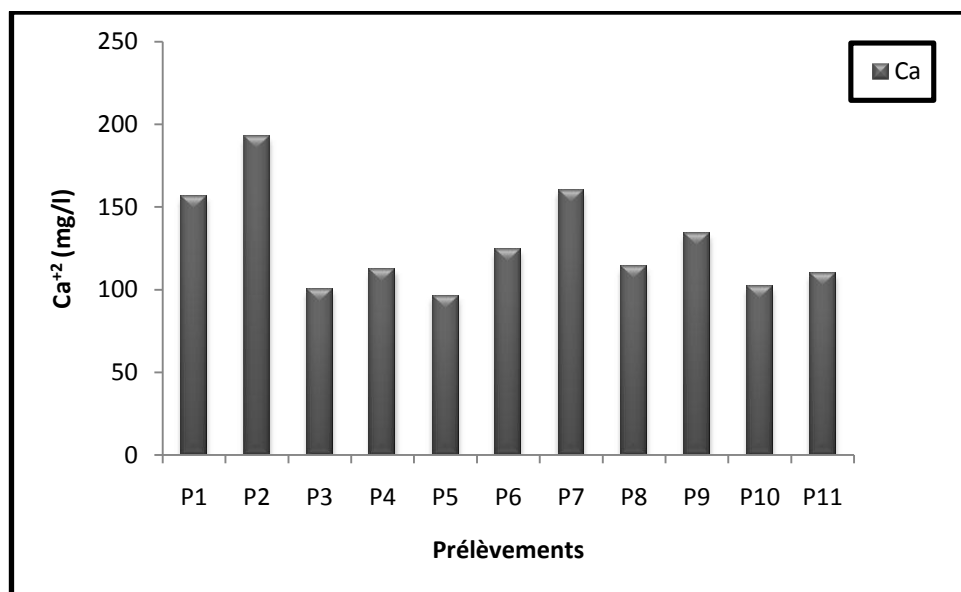


Figure 16: La concentration de calcium.

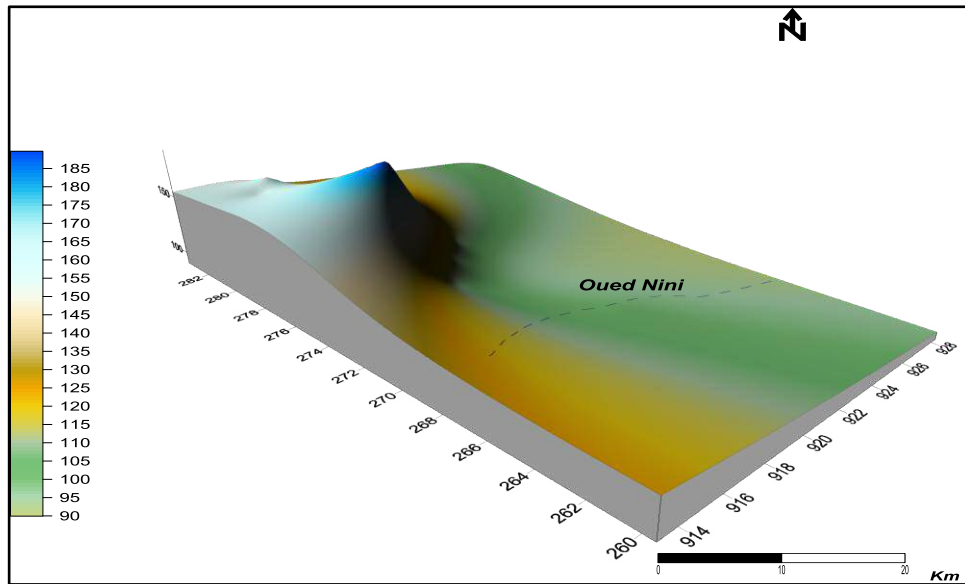


Figure 17: La carte de concentration de calcium.2016

A partir de ce diagramme et la carte dessus on constate que la teneur en Calcium varie entre 96mg/l dans le forage P5 et 192 mg/l dans le forage P2, la moyenne étant de 127.4 mg/l. les fortes teneurs en calcium sont dans la partie Nord-Ouest de la zone d'étude autour du prélèvement (P1, P2 proche du Garaet Et Tarf et des Formations maestrechiennes de Djib). Ce ci laisse supposer la présence d'une croute calcaire dans le remplissage plio-quadernaire.

2.1.2. Le Magnésium (Mg²⁺)

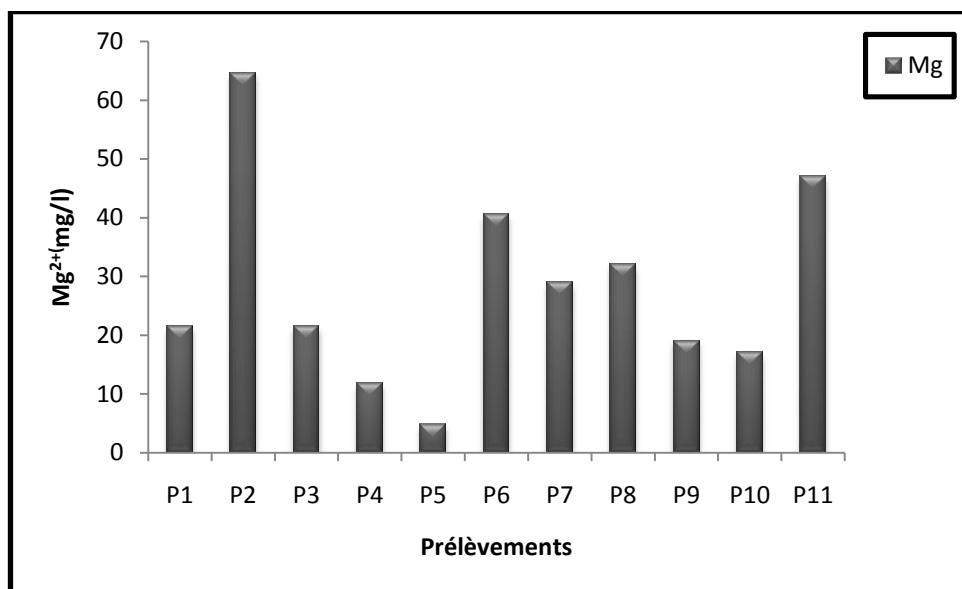


Figure 18: La concentration de magnésium.

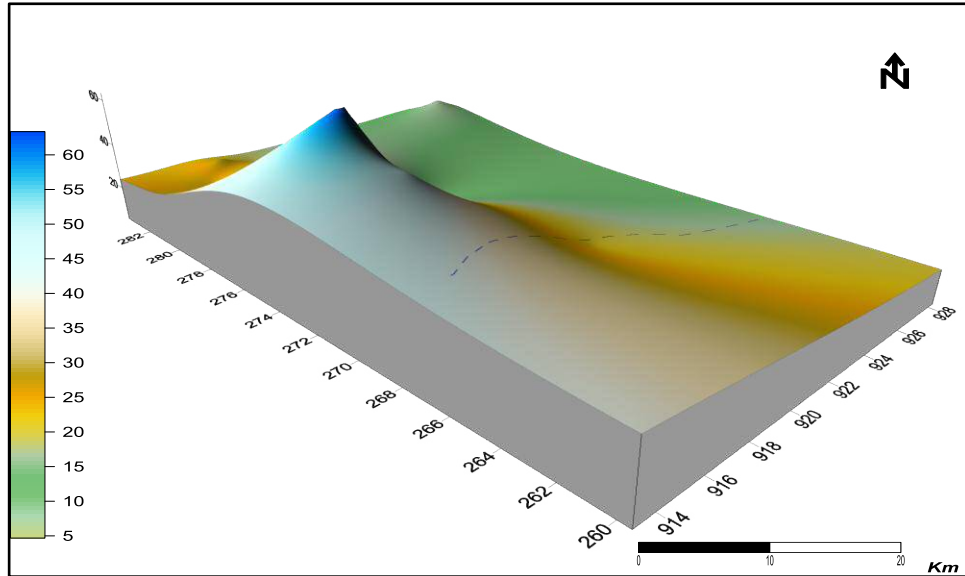


Figure 19: La carte de concentration de magnésium.

Le diagramme et la carte de magnésium montrent que les valeurs dosées oscillent entre 4 mg/l dans le Forage P5 à 64 mg/l dans le forage P2, la moyenne étant de 28 mg/l.

La teneur en Mg^{+2} est relativement faible dans la quasi-totalité de la plaine, sauf dans la partie Ouest de la zone d'étude (surtout dans le forage P2 proche du Garaet Et Tarf). Ce ci laisse supposer qu'il y a une dissolution des formations argileuses et gypseuses dans le remplissage Quaternaire.

2.1.3. Sodium et Potassium (Na^+K^+)

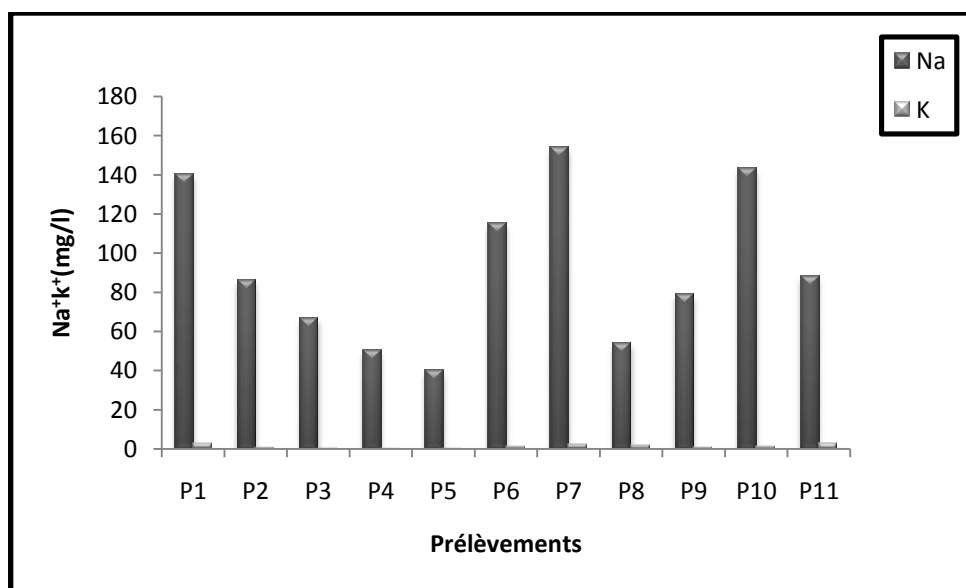


Figure 20: La concentration de sodium et de potassium.

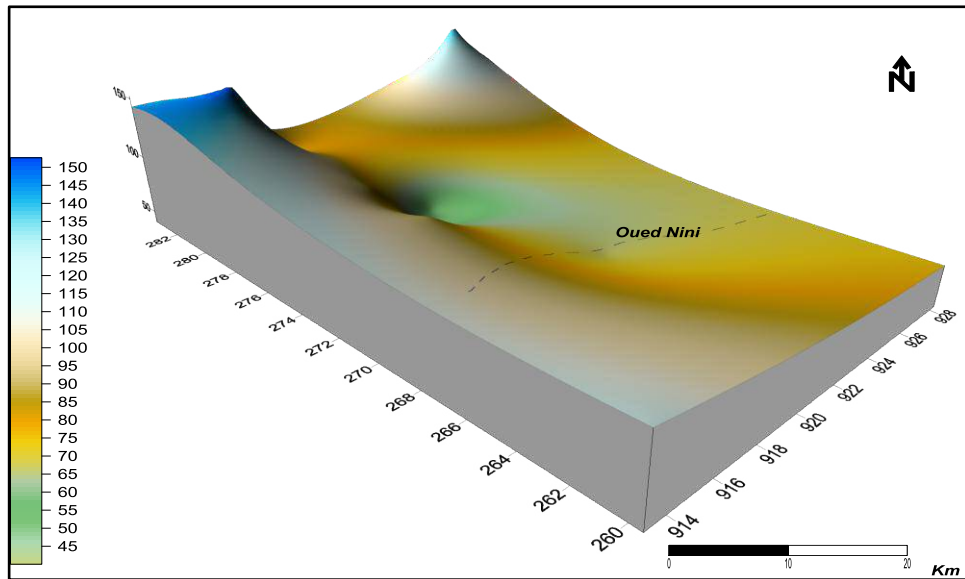


Figure 21: La carte de concentration de sodium.

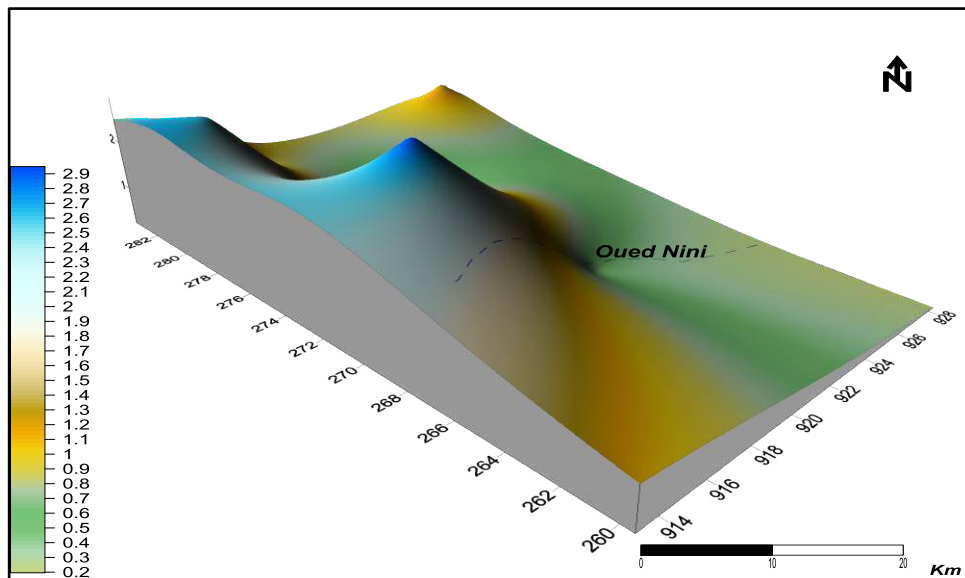


Figure 22: La carte de concentration de potassium.

D'après le diagramme ci-dessus et la carte, on remarque que la concentration de sodium des eaux souterraines oscille entre 40mg/l dans le forage P5 et 154mg/l dans le forage P7, la moyenne est supérieure de 92mg/l.

Toutes les eaux de la plaine ont des teneurs variables en Na^+ ceci peut être dû à la nature lithologique des terrains (argiles et marnes) dans le remplissage Quaternaire.

2.2. Les anions

2.2.1. Les chlorures (Cl)

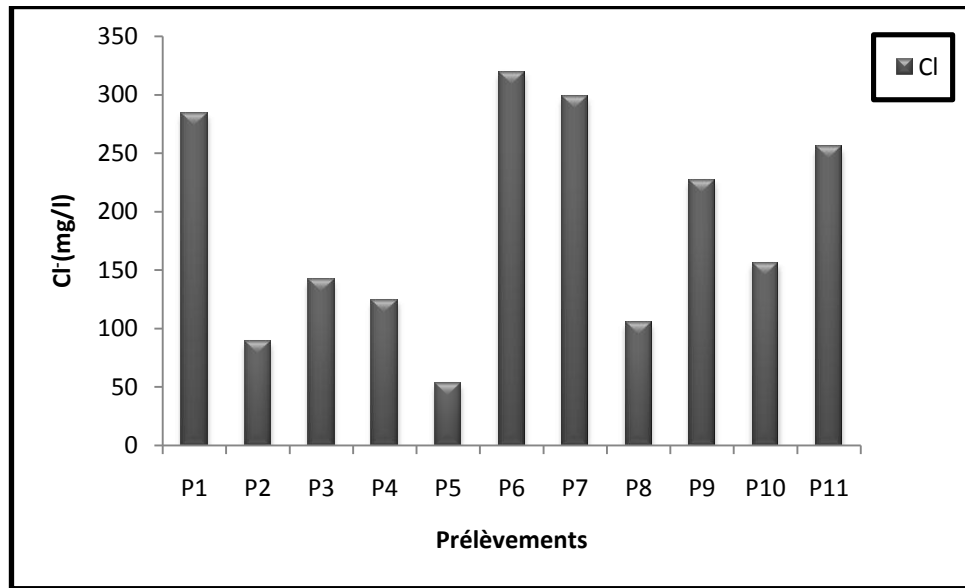


Figure 23: La concentration de chlorure.

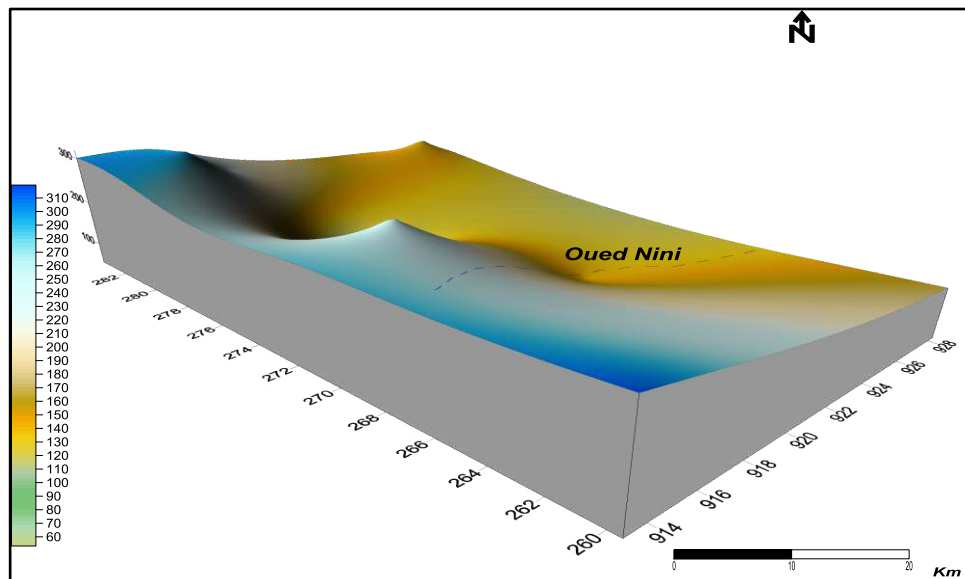


Figure 24: La carte de concentration de chlorure.

D'après la carte et le diagramme on constate que les teneurs en Chlorure varient entre 53mg/l dans le forage P5 et 319 mg/l dans le forage P6, dont, la moyenne dépassé 186mg/l. Les fortes concentrations en chlorure sont toujours dans la partie occidentale de la zone d'étude autour du prélèvement (P1, P6, P7proche du Garaet Et Tarf). Sachant que les concentrations maximales ne dépassent pas les normes. Donc nous lions ces teneurs par l'effet de la percolation à travers les terrains salés dans le remplissage Plio-Quaternaire. (R. BREMOND et C. PERREDON, 1979), et l'influence de Garaet EtTarf.

2.2.2. Les sulfates (SO_4^{2-})

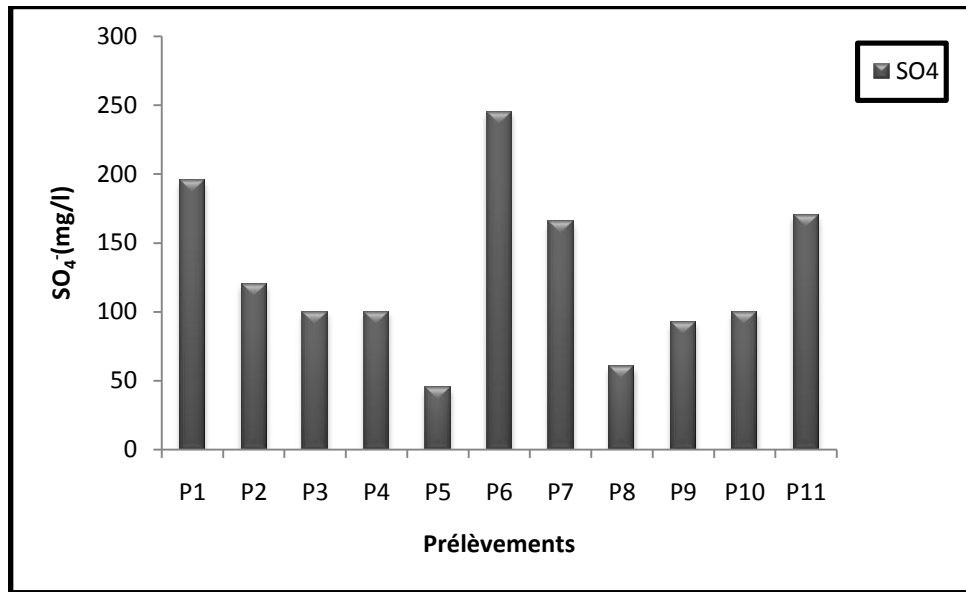


Figure 25: La concentration de sulfate.

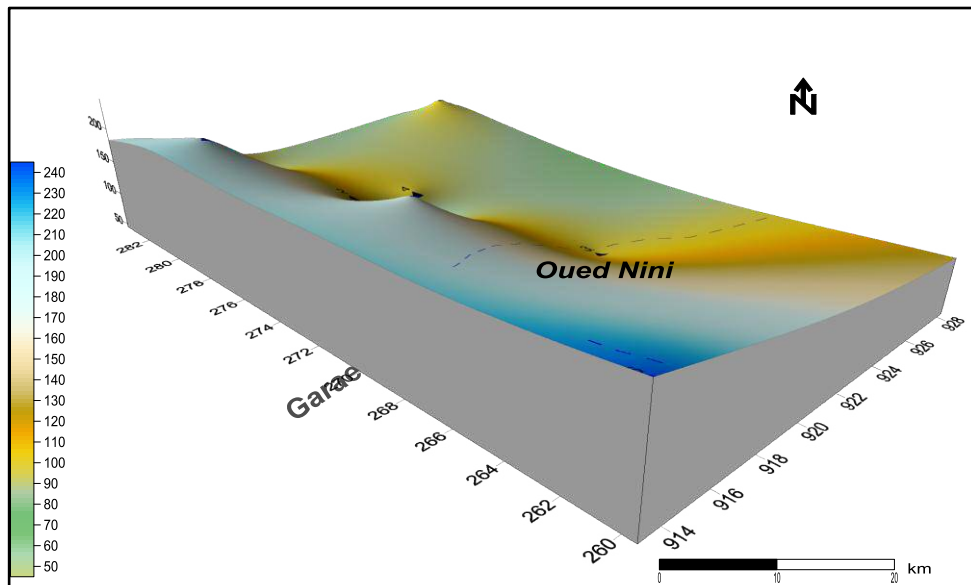


Figure 26: La carte de concentration de sulfate.

L'analyse de sulfate établit que toutes les concentrations en SO_4 sont inférieures à 250 mg/l et varient entre 45 dans le forage P5 et 245 mg/l dans le forage P6, la moyenne est prise de 127 mg/l. Les valeurs élevées en sulfates sont attribuées au Trias riche en gypse, Les sulfates sont charriés et déposés par Oued Boulefreis depuis le gisement de Baryte (Ba SO_4) riche en sulfate (Houha 2007).

2.2.3. Les bicarbonates (HCO_3^-)

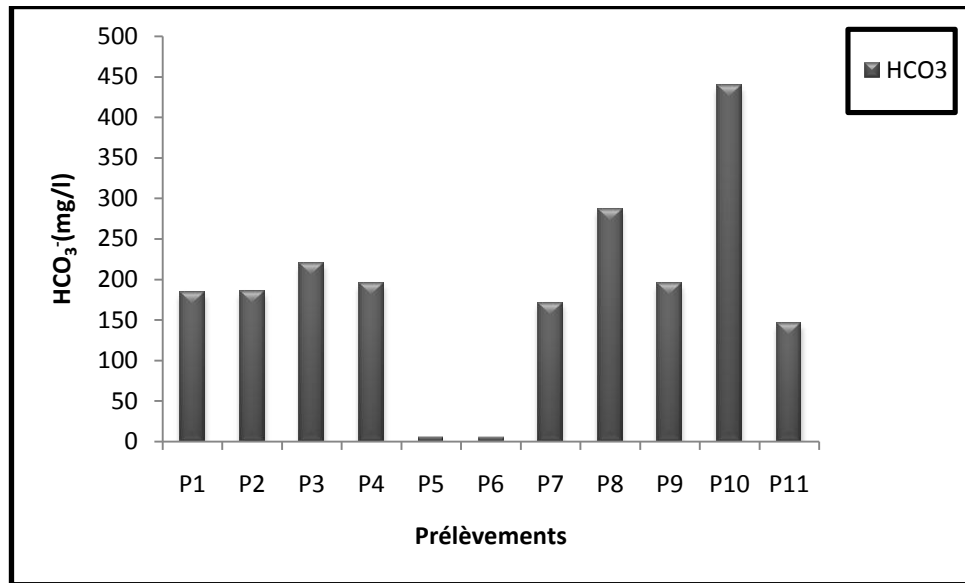


Figure 27: La concentration de bicarbonate.

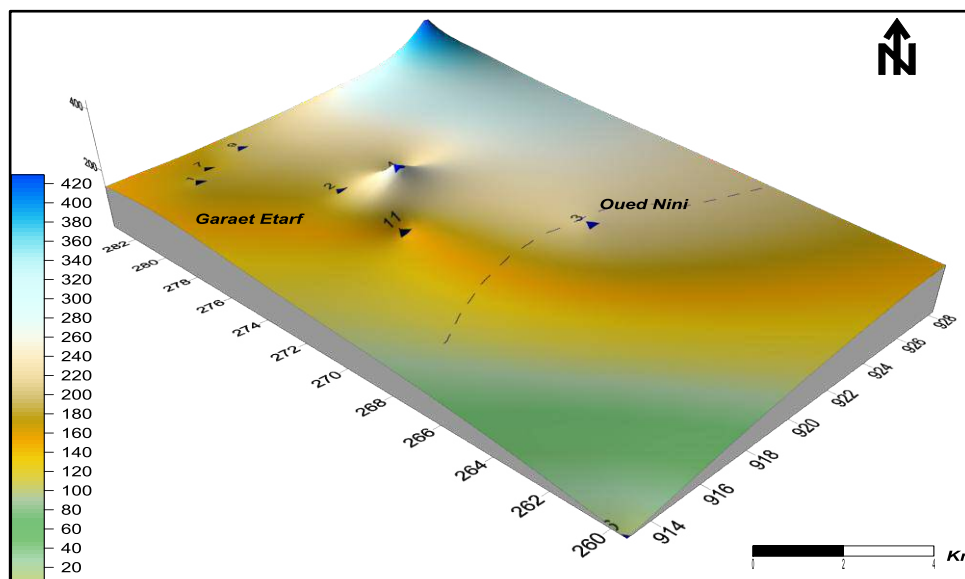


Figure 28: La carte de concentration de bicarbonate.

Ce diagramme montre à l'aide de la carte une importante variation des teneurs en bicarbonate comprises entre 4.4 mg/l (P6) et 450 mg/l (P10), dont la moyenne est de 227.2mg/l. Donc l'influence des eaux venant de la présence de la formation lithologique dans le remplissage quaternaire qui est une croûte calcaire.

2.2.4. Les nitrates (NO_3^-)

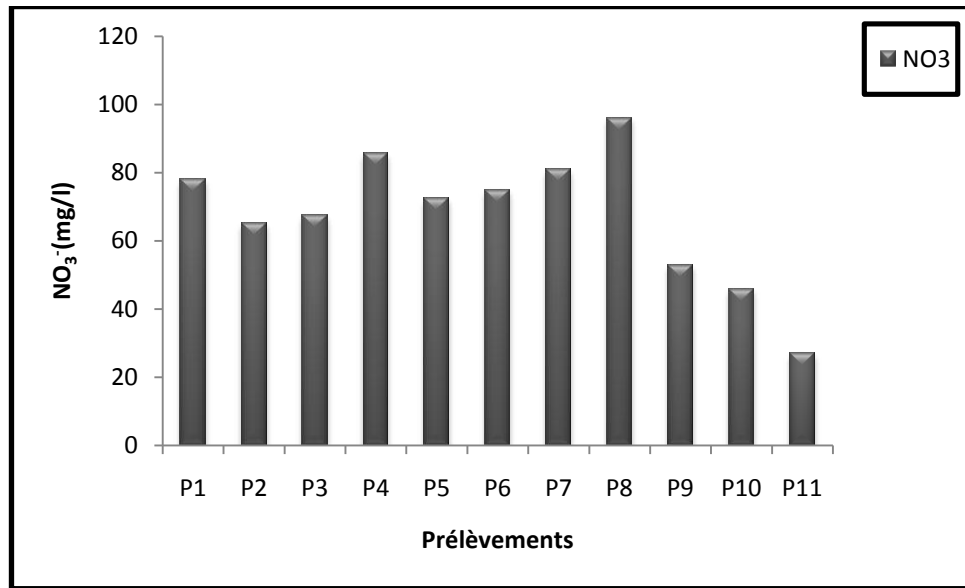


Figure 29: La concentration de nitrate.

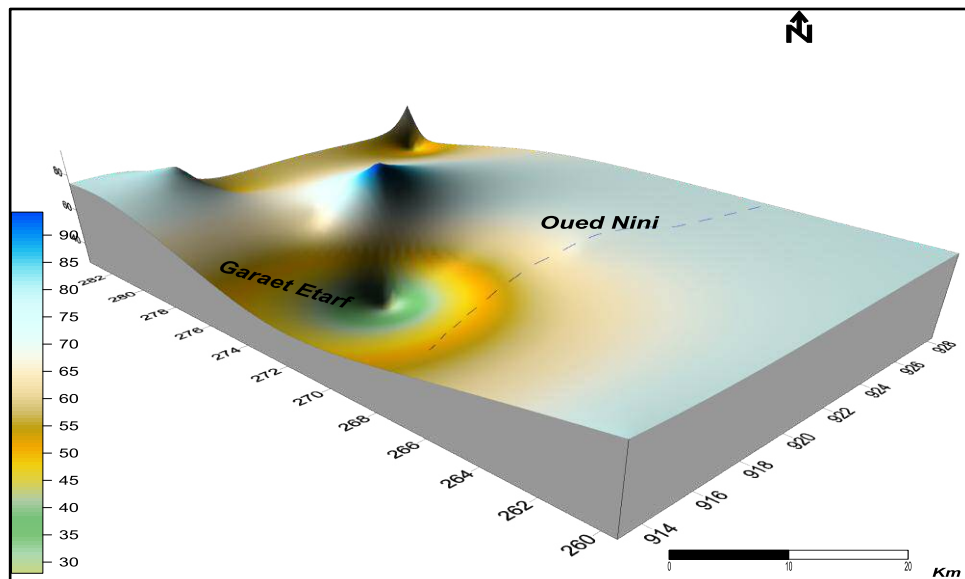


Figure 30: la carte de concentration de nitrate.

Les valeurs des nitrates dans notre zone d'étude varient entre 27 mg/l (P11) et 96mg/l (P8), la moyenne étant de 67.9mg/l, donc elle est supérieure à la norme (50 mg/l). Cette élévation de la concentration en nitrate peut être expliquée beaucoup plus à la pollution des eaux des Oueds ou de Garaet EtTarf, et à la dégradation de la matière organique présente dans le milieu (les engrais utilisé en agriculture), (G. BARROIN, 2000).

3. Signification des faciès chimiques dans la région

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer deux, qui nous avons adopté dans notre étude :

- Le diagramme de Piper ;
- Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff.

3.1. Le Diagramme de Piper

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations des échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments-major, mais de suivre également leur évolution dans le temps. La représentation des concentrations est exprimée en pourcentage. Les unités de mesure utilisées dans le diagramme Piper sont les % de méq/l ou le % de mg/l.

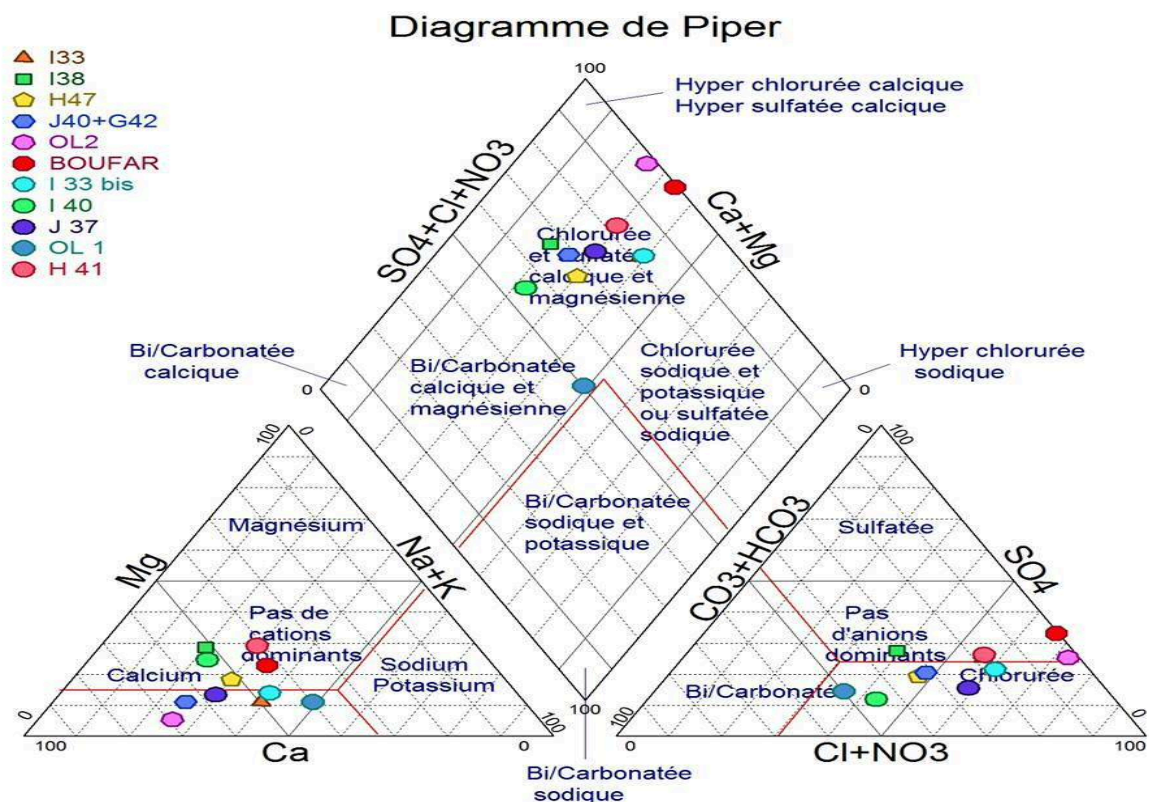


Figure 31: Représentation de Piper des eaux souterraines de F'kirina.

La représentation des données de l'analyse de l'eau sur le diagramme de Piper a permis de distinguer le faciès chimique suivant :

- Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

3.2. Le diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l ou le méq/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. Cette représentation permet aussi la détermination du faciès d'une eau. En effet, le diagramme de Schöeller- Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne en éléments majeurs de ces eaux, de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques.

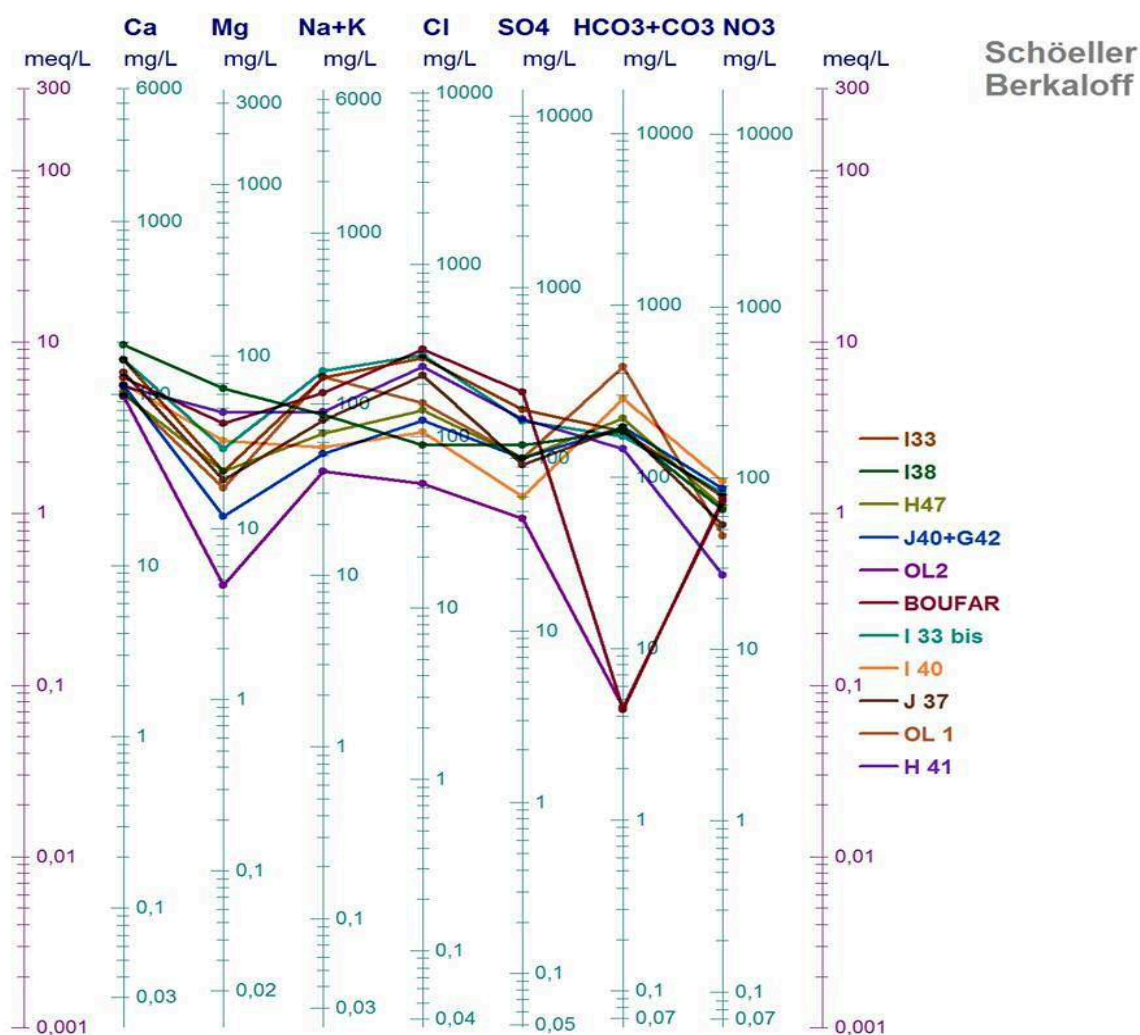


Figure 32: Représentation de Schöeller-Berkaloff des eaux souterraines de F'kirina

L'étude hydrochimique des eaux de la plaine de F'kirina, nous a permis de mettre en évidence plusieurs constatations:

D'après les résultats des analyses chimiques et leurs classifications, nous remarquons que les eaux de la plaine ont une minéralisation élevée. Cette minéralisation est due essentiellement à:

- L'influence du Garaet EtTarf sur les eaux souterraines ;
- Le lessivage des formations géologiques (argiles, roche carbonatée et les évaporites).

Les faibles valeurs de la minéralisation se localisent près des massifs calcaires, et les fortes valeurs sont observées dans la partie Nord Est et surtout près du Garaet Et Tarf.

D'après diagramme de Piper a permis de distinguer le faciès chimique suivant :

- Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

D'une manière générale, la qualité des eaux de la nappe du plio-quaternaire est moyennement potable malgré les fortes concentrations en bicarbonates ou en chlorures et en sulfates.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Laplane de F'kirina se trouve dans le territoire de la wilaya de Oum El Bouaghi. Géologiquement la zone étudiée fait partie des domaines para autochtones Nord-aurésien.

Il mit en évidence l'existence de trois structures d'importance hydrogéologique

- Un substratum marneux du Maestrichtien inférieur ;
- Un ensemble appartenant au Crétacé et au Miocène caractérisé par des calcaires maestrichtiens ;
- Un bassin comblé d'une sédimentation hétérogène, notamment alluvionnaire, constitue le Quaternaire, avec une épaisseur de dizaines de mètres ;

Le climat de la région d'étude est de type semi aride. L'aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation. La précipitation est de l'ordre de 419.1 mm. La réserve facilement utilisée (RFU) n'est pleine que de janvier à avril et l'épuisement de 8 mois.

L'étude hydrochimique des eaux de la plaine de F'kirina, nous a permis de mettre en évidence plusieurs constatations:

D'après les résultats des analyses chimiques et leurs classifications, nous remarquons que les eaux de la plaine ont une minéralisation élevée. Cette minéralisation est due essentiellement à:

- L'influence du Garaet Et Tarf sur les eaux souterraines.
- Le lessivage des formations géologiques (argiles, roche carbonatée et les évaporites).

D'après diagramme de Piper a permis de distinguer le faciès chimique suivant :

- Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

D'une manière générale, la qualité des eaux de la nappe du plio-quaternaire est moyennement potable.

CONCLUSION GENERALE

Cependant, des efforts restent à faire dans le domaine de la protection quantitative et qualitative des ces ressources en eau, les recommandations suivantes sont proposer pour affronter les défis de l'eau qui se présentent pour l'avenir dans la plaine de F'kirina:

- Mettre en place les conditions et les outils nécessaires pour une gestion intégrée des ressources en eau ;
- Développer tout un système de contrôle des ressources en eau ;
- Eviter le déversement direct des rejets urbains et industriels dans l'oued Nini est ses affluents sans traitement préalable ;
- Installation de stations d'épuration pour le traitement des eaux usées urbaines et industrielles ;
- Arrêter tout pompage dans la partie Ouest de la plaine, et de suspendre toute irrigation à fin de juguler tout d'abord l'épuisement de la nappe, et l'invasion des eaux salées du Sebkha.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydriques de Constantine :
- **BARROIN G. (2000) - Santé et environnement** : le cas des nitrates, nitrites, phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatiques. Le courrier de l'environnement, Édit. INRA, vol. 48, p. 16-43 ;
- **Bakalowicz, 1979** : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doctorat Es.Sciences ;
- **BREMOND R. et PERREDOND C. (1979)** : *Paramètres de la qualité des eaux*. Édit. Ministère de l'Environnement, Paris, 259 p ;
- **BORDET J. (2007)** : l'eau dans son environnement rurale. BD. JOHANET. 317p ;
- **CHEVERRY C. et ROBERT M. (1998)** : La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : Une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. *Étude et Gestion des Sols*, vol. 5, n° 4, p. 217-226 ;
- **Dussart.B, 1966 .Limnologie** : Etude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Ed.Paris ;
- **ERIC G. et CHRISTIAN M. et JACQUES M. (2012)** : Hydrogéologie. Objets, méthodes, applications. 3^e édition. 340p ;
- **Gérard 1999** : Climatologie de l'environnement 2eme édition Dounod 290 P ;
- **HCEFLCD, 2007** : Etude diagnostique de la zone humide AL Massira-Faija, cercle d'EL Brouj et Cercle de Settat (Maroc), 242p ;
- **HCEFLCD, 2006** : Etude sur la pisciculture au barragAlmassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p ;
- **HOUHA (Belgacem), 2007** : Etude du fonctionnement hydrochimique et salin d'un bassin semi-aride (Remila –Khenchela), université d'Annaba ;

- **Khemmoudj, 2009** : Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi-aride: cas de la région d'El Eulma. Wilaya de Sétif 90p ;
- **Lamini.A , 2012** : Etude géochimique et minéralogique des chotts de la région d'Elhajira.Thèse de magistère.université d'Ouargla, 122p ;
- **Ramade(1984)** :Éléments d'écologie: écologie fondamentale, (1^{re} édition, McGrawHill, 1984).397p ;
- **Rodier J., Legube B., Merlet N** : Ed. Dunod. (2009) 78- 1368p ;
- **Station météorologique d'Oum El Bouaghi** : donnés climatiques de la période (1995-2014) ;
- **VALIRON F. (1989)** :Gestion des eaux. Presses ponts et chaussées. 505p ;
- **YounssiHoussam Eddine, 2009** : Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des ressources en eau. mémoire de magistère.Université BADJI MOKHTAR-ANABA.82p.

Résumé

La région de Fkirina située à l'extrémité Sud-Est de la W.de Oum-El Bouaghi, à la limite des hautes plaines constantinoises des Monts du Mellegue, des Monts des Harectas et de ceux de Nememchas, sa superficie est de l'ordre de 650 Km².

Le But principale de ce travail est de déterminer les différents mécanismes responsables de la variation spatiale de la qualité des eaux souterraines de l'aquifère Plio-Quaternaire de la région d'étude, et de connaître l'origine de la minéralisation en vue d'établir une cartographie spatiale de cet aquifère.

Le traitement des données chimiques des eaux de la région d'étude montre que les eaux souterraines de la région d'étude, à travers les différentes analyses, sont de facies chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

Mots clés : Fkirina, Aquifère, Hydrochimie, SIG.

Abstract

The région of Fkirina situated in the South-East end of Oum El Bouaghi province, bordering the high plains of Constantine of Mellegue Mountains, Mountains of Harectas and those Nememchas, the superficie of this area is in the order of 650 km².

The principal objectif this work is to determine of the different mechanisms responsible of the spatial variation of groundwater quality in the Pliocene-Quaternary aquifer in the study area, and know the origin of the mineralization and realization a spatial mapping of this aquifer.

The treatment of chemical data from the groundwater of the study area shows that, the fancies of this water is Calcium Chloride and sulfates and magnesium.

Keyword : Fkirina, Aquifer, Hydrochemistry, SIG.