



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT: Ecologie & Environnement

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE: Ecologie et l'environnement

OPTION: Ecologie et l'environnement

Thème

**Caractérisation physico-chimique des eaux
souterraines de l'aquifère de la région de M'toussa**

Présenté par:

BOUKHORS Ibtissam

HACINI Imane

Soutenu le: 31/05/2016

Jury de soutenance:

Président : CHELIH Fatha

MAA Université de khenchela

Examineur : BOUFENARA Souhil

MCA Université de khenchela

Encadreur : LAKHDARI Somia

MAA Université de khenchela

Examineur: BOUMAIZA Imène

MAA Université de khenchela

Année 2015- 2016



Remerciements

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU,
Notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous désirons exprimer nos profonde remerciements et notre vive
reconnaissance à notre encadreur, M^{me} LakhdariSomiaqui a mis toute sa
compétence à notre disposition, pour ces directives et Conseils judicieux et pour son
suivi régulier à l'élaboration de ce modeste travail ; Merci également pour votre
encadrement, votre disponibilité et votre gentillesse.*

*Au membre de jury, qui ont bien vouloir accepter de superviser ce mémoire.
A tous les enseignants du département d'écologie sans exception qui ont contribué
à notre formation.*

*Je remercie d'abord le (DPAT le l'hydraulique et direction des forêts et
station météorologique) de Khenchela de mon aide pour réaliser se modes travail.*

*Nos derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont
contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*



Dédicaces

Dédicace :

**Je remercie « ALLAH » le tout grand Et le tout puissant pour m'avoir
donné la volonté, la patience et le courage pour finir mon étude
universitaire et réaliser ce Modeste travail, fruit de plusieurs années
d'études.**

Je dédie ce travail à ma chère famille :

**A mes très chers parents qui m'ont donné un magnifique modèle de
labeur et de persévérance...qu'ils trouvent ici l'expression de mon
L grand amour.**

A mes chers frères : ramy,sadam,ammar,belkir

A mes chers sœurs :saïda ,amina, lamia,madiha ,sihem ,monira

A mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines et toute la famille.

**A mes amies sans exception chaqu'un par son nom en
particulier :hana ,imane ,manal ,tafaha, soltana,wafa,fozaya ,jihad .**

A tous les étudiants de ecologie

Ibtissam B





**A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne
éducation.**

La source de mon bonheur

A MA MERE

**A celui qui ma encouragé très grand cœur pour sa
confiance en moi,**

**ses encouragements, son dévouement, sa patience, son
aide**

A MON PERE

Merci pour tout mes parents

**A mes frères et sœurs :*Lazehari et moitié :Khadija*
,Mohamed et moitié :Hada, Fatah , Abed Karim,
Ismail, Hafida et surtout :Khalil ,aya , Fatima, baraa
*,choaib .***

A tous mes beaux-frères et les belles –sœurs;

A toute mes amis sans exception;

A toute ma famille.

Imane H



TABLE DES FIGURES

TABLE DES FIGURES

<i>N° de figure</i>	<i>Titre de figure</i>	<i>Page</i>
CHAPITRE I		
Figure n°01	Situation géographique de la wilaya de Khenchela (ANDA ,2013)	P03
Figure n°02	Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de l'Aurès	P08
Figure n°03	Schéma structural simplifié	P11
Figure n°04	Carte géologique de la wilaya de khenchela	P13
Figure n°05	Présentation de la commune de M'toussa	P14
Figure n°06	Carte de Localisation administrative de la commune de M'toussa.	P15
Figure n°07	Carte géographique et géologique du bassin de Remila	P16
Figure n°08	Carte des hydrographique de la wilaya khenchela	P18
Figure n°09	Répartition des zones naturelles de la Wilaya de Khenchela (CF ,2012).	P20
Figure n°10	Carte Les reliefs de la Wilaya de Khenchela (DPAT ,2012).	P20
Figure n°11	Carte des altitudes de la wilaya khenchela (CF ,2016)	P23
Figure n°12	Carte des pentes de la wilaya khenchela (DSA ,2016).	P24
Figure n°13	Carte lithologique wilaya de khenchela (DPAT ,2015).	P26
Figure n°14	Carte pédologique wilaya de khenchela (DSA ,2015)	P28
Figure n°15	Évolution de la population de la commune de M'toussa (1977-2014).	P34
CHAPITRE II		
Figure n°16	Répartitions de la température moyenne mensuelle de la (2005-2015).	P35
Figure n°17	La répartition des températures moyenne (max, min, Amplitude, et moy) pendant la période (2005-2015).	P36
Figure n°18	La répartition des températures moyenne (max, min, moy) de la station de « El Hamma » pendant la période (2005-2015)	P36
Figure n°19	précipitations moyenne mensuelle de de la station de « El Hamma » pendant la période (2005-2015)	P37
Figure n°20	Précipitation moyenne annuelle de la station de « El Hamma » pendant la période (2005-2015).	P38

TABLE DES FIGURES

Figure n°21	La répartition moyenne de la vitesse de vents de la période (2005-2015).	P39
Figure n°22	La répartition moyenne mensuelle de l'évaporation de la période (2005-2015)	P39
Figure n°23	La répartition moyenne mensuelle d'humidité de la période (2005-2015).	P40
Figure n°24	La répartition moyenne mensuelle de neige de la période (2005-2015).	P41
Figure n°25	La répartition moyenne mensuelle d'orage de la période (2005-2015).	P42
Figure n°26	La répartition moyenne mensuelle de Grêle de la période (2005-2015).	P43
Figure n°27	La répartition moyenne mensuelle de gelée de la période (2005-2015).	P43
Figure n°28	l'indice d'aridité annuel de Martonne	P46
Figure n°29	Diagramme Ombro-thermique	P47
Figure n°30	Climagramme de L'emberger pour la plaine de M'toussa	P49
Figure n°31	Variation mensuelles des éléments climatiques de la station d'El (2005-2015).	P55
Figure n°32	Variations mensuelles des résultats du bilan hydrique	P56
CHAPITRE III		
Figure n°33	photo de la plaine de M' toussa (Avril 2016).	P59
Figure n°34	La carte d'inventaire des points d'eaux (Avril 2016).	P60
Figure n°35	Le matériel utilise et situe de prélèvement(Avril 2016).	P61- 62
Figure n°36	Valeurs de la température (Avril 2016).	P64
Figure n°37	Carte de pH de la zone d'étude (Avril 2016).	P65
Figure n°38	Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines d'M'toussa (Avril 2016).	P66
Figure n°39	Carte de la répartition spatiale de la dureté des eaux souterraines d'M'toussa (Avril 2016).	P68
Figure n°40	La carte de répartition de la concentration de Calcium mg/l (Avril 2015).	P69

TABLE DES FIGURES

Figure n°41	La carte de répartition de la concentration de Magnésium mg/l	P70
Figure n°42	La carte de répartition de la concentration de Sodium mg/l	P71
Figure n°43	La carte de répartition de la concentration de Potassium mg/ l	P72
Figure n°44	La carte de répartition de la concentration de Chlorure mg/l	P73
Figure n°45	La carte de répartition de la concentration de Sulfate mg/l	P74
Figure n°46	La carte de répartition de la concentration de Bicarbonate mg/l	P75
Figure n°47	La carte de répartition de la concentration de Nitrate mg/l	P76
Figure n°48	Représentation sur diagramme de Piper des compositions en éléments majeurs des eaux de la plaine de M'toussa	P78
Figure n°49	Représentation sur diagramme de Schoëller Berkaloff des compositions en éléments majeurs des eaux de la plaine de M'toussa.	P80
Figure n°50	Diagramme de stabler pour les eaux de la commune de M'toussa,	P81
Figure n°51	Diagramme deDiagramme Wilcox /Riverside de de l'eau souterraine de la M'toussa.	P84-85
Figure n°52	Relation entre les conductivités électriques et les chlorures	P87
Figure n°53	Relation entre le calcium et le magnésium (mg/l).	P88
Figure n°54	Relation entre le chlorure et le sodium (mg/l).	P89
Figure n°55	Relation entre le chlorure et les sulfates (mg/l).	P89
Figure n°56	Relation entre le calcium et les sulfates (mg/l).	P90

TABLE DES FIGURES

Table DES TABLEAUX

<i>TABLE DES TABLEAUX</i>		
<i>N° de tableau</i>	<i>Titre de tableau</i>	<i>Page</i>
CHAPITRE I		
Tableau n° 01	Division administrative de la Wilaya de Khenchela	P04
Tableau n° 02	Colonne litho stratigraphique synthétique des formations présentes dans La région de Khenchela	P12
Tableau n° 03	Répartition des terres en (ha) dans la commune M'toussa	P30
Tableau n° 04	Production végétale Qtx / an 2014 (DSA, 2014).	P31
Tableau n° 05	Répartition du cheptel 2010/2011 (DSA, 2016).	P31
Tableau n° 06	Production animale année 2015 (DSA ,2015)	P31
CHAPITRE II		
Tableau n° 07	les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma	P33
Tableau n° 08	Température enregistrée à la station d'El hamma	P35
Tableau n° 09	La vitesse moyenne du vent (m/s) enregistrée à la station d'El Hamma (2005-2015)	P39
Tableau n° 10	N ^{bre} des jours de tomber de neige enregistrée à la station d'El Hamma	P41
Tableau n° 11	N ^{bre} des jours de tomber de l'orage enregistrée à la station d'El Hamma (2005-2015).	P42
Tableau n° 12	N ^{bre} des jours de tomber grêles enregistrée à la station d'El Hamma	P42
Tableau n° 13	N ^{bre} des jours de tomber de gelée enregistrée à la station	P43
Tableau n° 14	Les valeurs d'indice d'aridité de Martonne	P44
Tableau n° 15	Indice de l'aridité	P45
Tableau n° 16	Les valeurs d'indices d'aridité mensuels (a) de De. Martonne, à la Station D'El Hamma (2005/2015)	P46
Tableau n° 17	Indice d'Emberger.	P48
Tableau N° 18	Calcul d'ETR par la méthode de Turc	P52
Tableau n° 19	Calcul du bilan hydrologique	P55
CHAPITRE III		
Tableau n° 20	Valeurs de la température mesurée	P65
Tableau n° 21	Relation existant entre la minéralisation et la conductivité mesurée.	P67
Tableau n° 22	Dureté des eaux en °F	P69
Tableau n° 23	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation	P82
Tableau n° 24	Matrice de corrélation	P90

Table DES TABLAUX

TABLEDESABREVIATIONS

TABLEDESABREVIATIONS

A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydriques.
ACL	Agglomération chef-lieu.
ANAT	Agence Nationale d'Aménagement de Territoire.
ANDI	Agence Nationale de développement et de l'investissement.
APC	Assemblée Populaire Communale.
CE	Conductivité électrique ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).
DA	Déficit agricole.
DHWK	Direction hydraulique Wilaya de Khenchela.
DPAT	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
DPSI	Direction de planification statistique.
DRE	Direction des Ressources en Eau.
DSA	Direction de service agricole.
ETP	Evapotranspiration potentielle.
ETR	Evapotranspiration réelle.
EXC	Excès.
Ha	Hectare.
I	Infiltration.
I_a	Indice de Martonne.
M	moyenne des maximales du mois le plus chaud en degré.
m	moyenne des minimales du mois le plus froid en degré.
OMS	Organisation mondiale de la santé.
pH	Le potentiel hydrogène.
P	Précipitation (mm).
Q₂	Quotient pluviométrique.
R	Ruissellement.
RFU	Réserve Facilement Utilisable.
RGPH	Recensement Générale de la Population et de l'Habitat.
SAT	Surface Agricole Totale.
SAU	Superficie Agricole Utile.
T	Température (°C).

Table des matières

Table des matières

Dédicaces

Remerciement

Résumé

Table des figuresi

Table des tableauxii

Table de l'abréviation.....iii

Introduction générale.... 1

I. Partie bibliographique

CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude

Introduction.....	02
I.1.Situation géographique.....	02
I.1.2. Situation administrative.....	04
I.2. La géologie régionale.....	05
I.2.1. Stratigraphie	06
I.2.1.1. Le Mésozoïque.....	06
I.2.1.1.1.Le trias.....	06
I.2.1.1.2. Le Crétacé.....	06
I.2.1.1.2.1 Le crétaé inferieur.....	07
I.2.1.1.2.2. Le crétaé supérieur.....	09
I.2.1.2. Le Cénozoïque.....	09
I.2.1.2.1 Néogène.....	09
I.2.1.2.2. Quaternaire.....	10
I.3.Situation de la commune de M'toussa.....	14
I.3.1.Situation géographique	14
I.3.2.Situation administrative de la Commune de M'Toussa.....	15
I.3.4. Cadre géologique du plain de Remila.....	16
I.3.4.1. La Stratigraphie	17
I.5. L'hydrogéologie de la Wilaya de Khenchela	17
I.5.1. Le réseau hydrographique de La région étudiée	18

Table des matières

I.6. Le milieu physique	19
I.6.1.Le relief	19
I.6.1.1. L'altitude	21
I.6.1.2. La pente	22
I.7.La lithologie.....	25
I.8.Pédologie	27
I.9. Végétation.....	29
I.10.L'agriculture	30
I.10.1. Répartition des terres de commune de M'toussa.....	30
I.10.2. Répartitions du cheptel	31
I.10.3.Production animale	31
Conclusion.....	32
 CHAPITRE II : Hydroclimatologie	
Introduction.....	33
II.1. La climatologie.....	34
II. 2. Les facteurs climatiques.....	34
II.2.1.Température.....	34
II.2.2. La pluviométrie.....	37
II.2.3. Le vent.....	38
II.2.4. Evaporation.....	39
II.2.5. L'humidité	40
II.2.6. La Neige	41
II.2.7. L'Orage.....	41
II.2.8. La Grêle.....	42
I.2.9. Les Gelées.....	43
II.3.La synthèse climatique.....	44
II.3.1.L'indice d'aridité de Martonne	45
II.3.2. Diagramme ombro-thermique de Gaussen (1952).....	47
II.3.3. Le diagramme de Quotient pluviothermique L'Emberger.....	48
II.4. Le bilan hydrologique.....	50
II.4.1. Évapotranspiration potentielle ETP	51
II.4.2. Evapotranspiration Réelle (ETR).....	53
II.4.3. Estimation du ruissellement et de l'infiltration.....	53

Table des matières

II.4.4. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable).....	54
II.4.5. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite.....	57
Conclusion.....	58

Partie pratique

Chapitre III : Etude Hydrochimique

Introduction.....	59
III.1. Points de prélèvements des échantillons d'eau.....	60
III.2. Prélèvement.....	61
III.3. Transport et conservation des échantillons.....	63
III.4. Résultats d'analyse.....	63
III.4.1. Étude des paramètres physico-chimique.....	63
III.4.1.1. Température.....	64
III.4.1.3. Potentiel hydrogène (pH)	64
III.4.1.4. Conductivité électrique	65
III.4.1.5. Dureté totale	67
III 4.2. Caractéristiques chimiques des eaux.....	68
III 4. 2.1. Teneur des cations dans les eaux.....	68
a) Calcium (Ca^{++})	68
b) Le Magnésium (Mg^{++})	69
c) Le Sodium (Na^+)	70
d) Le potassium (K^+).....	71
III.4.3. Teneur des anions dans les eaux	72
a)Les Chlorures (Cl^-)	72
b) Les Sulfates (SO_4^{-2})	73
c)Les Bicarbonates (HCO_3^-)	74
d) Les Nitrates (NO_3^-).....	75
III.4.4. Faciès chimique des eaux	77
III.4.4.1. Diagramme de Piper.....	77
III.4.4.2.Diagramme de Diagramme Schoeller Berkloff.....	79
III.4.4.5. Diagramme de répartition des éléments chimique (Stabler).....	81
III.5.Potabilité des eaux.....	82
III.6.Classification des eaux d'irrigation.....	82

Table des matières

III.6.1.Méthode de sodium absorption ratio (SAR).....	82
III.6.2. Classification de Wilcox.....	83
III.7.Étude de l'origine de la minéralisation des eaux souterraines.....	86
III.7.1. Relations caractéristiques des éléments.....	86
III.7.1.1. Couple conductivités électriques-chlorures.....	86
III.7.1.2. Le couple (Ca^{2+} - Mg^{2+})	86
III.7.1.3. Couple (Cl^- - Na^+)	87
III.7.1.4. Couple (Cl^- - SO_4^{2-}).....	88
III.7.1.4. Le couple (Ca^{2+} - SO_4^{2-}).....	89
III.8. Analyse statistique des données physico-chimiques.....	90
III.8.1. Analyse de la matrice des corrélations.....	91
Conclusion.....	92
CONCLUSION GENERALE.....	93
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEX	

Table des matières

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément essentiel pour la vie des êtres vivants; il recouvre la quasi-totalité de la planète: les eaux souterraines constituent une ressource naturelle importante; elles représentent un réservoir d'où l'on peut tirer, aux nombreux écosystèmes et à la population, toute une gamme d'avantages. L'eau peut être aussi une source de maladies, du fait de sa contamination à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau .

Aujourd'hui, un tiers de l'humanité vit dans une situation dite de « stress hydrique », avec moins de 1700 mètres cubes d'eau disponibles par habitant et par an. L'eau, alors, devient de plus en plus rare.

En Algérie, la demande en eau de consommation humaine ne cesse de s'accroître à côté de la croissance démographique poussée. Outre la qualité de l'eau, notamment souterraine, qui pose de sérieux problèmes.

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

Dans cette étude en cherchons de déterminer la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de M'toussa.

Pour réaliser cette étude nous avons adopté la méthodologie suivante :

- Dans un premier temps, nous avons procédé à synthèse bibliographique représentant une étude générale sur la région d'étude et les principales Caractéristiques climatologiques.
- Ensuite nous avons enchainé par la partie pratique, nous avons étudié L' hydrochimique qui a pour but définir les facies chimiques des eaux Souterraines, il sera également apprécier la qualité des eaux souterraines du point de vu potabilité et l'aptitude à l'irrigation. Enfin une conclusion vient clore notre travail.

Introduction générale

Etude Hydrochimique

Introduction

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.

Pour étudier la synthèse hydrochimique des eaux souterraines de la plaine d'M'toussa nous avons effectué des sorties de reconnaissance du site au cours desquelles nous avons sélectionné les forages et les puits à étudier des mesures physico-chimiques. Dix échantillons sont prélevés et analysés afin de comprendre l'origine et l'évolution de la qualité d'eau. Nous nous sommes intéressés aux éléments chimiques fondamentaux (SO_4^- , NO_3^- , CL^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) son analyse a été effectuée au laboratoire de chimie du département des sciences de la terre de l'université de Constantine et aux paramètres physiques qui sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon par nous même au mois d'avril 2016, à l'aide d'un multi paramètre de type « CONSORT C535 » Sont: la température, la conductivité électrique et le potentiel d'hydrogène.



Photo n°32: photo de la plaine de M' toussa(Boukhors. I (20/04/2016).

III.1. Points de prélèvements des échantillons d'eau

Dans la région de M'toussa les eaux destinées pour l'alimentation en eau potable, proviennent surtout des eaux souterraines. Dans le cadre de cette étude, on a effectué un échantillonnage aléatoire dans la région de M'toussa niveau de dix points d'eaux souterraines.

Les caractéristiques physico-chimiques d'une eau jouent un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation.

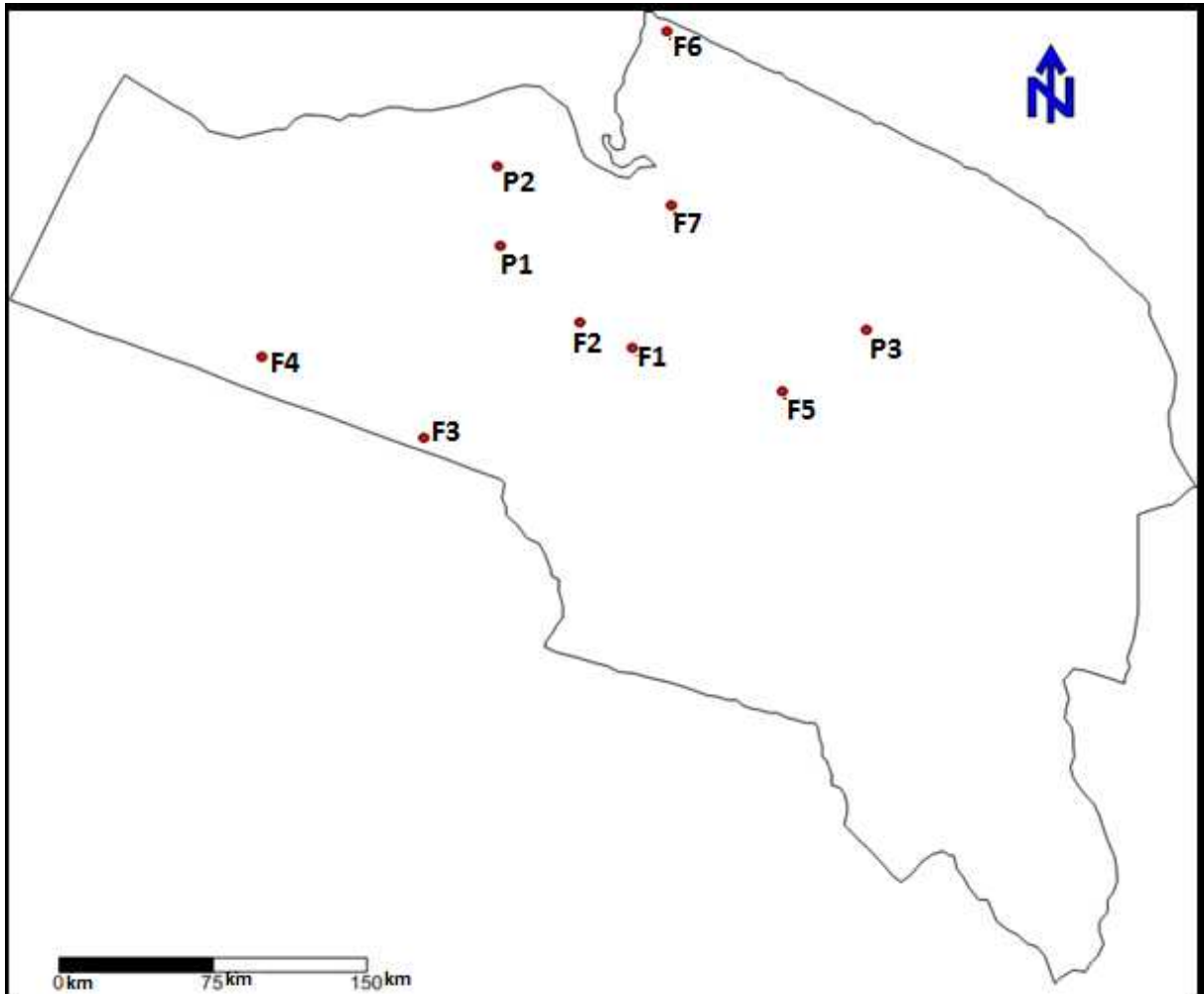


Figure n°33 : la carte d'inventaire des points d'eaux (Avril 2016).

III.2. Prélèvement

Le prélèvement d'échantillons est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, ce dernier conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée (Rodier et al, 2009).

L'objectif est d'obtenir un échantillon aussi représentatif que possible de l'eau à examiner sans contamination ni modification de ses caractéristiques physico-chimiques. Des précautions doivent être présentées à trois niveaux : le matériel de prélèvement, le mode de prélèvement, le transport et la conservation des échantillons (Rejsek, 2002).

Le prélèvement a eu lieu l'avril 2016. Le matériel utilisé dans ce prélèvement est une série de bouteilles d'échantillonnage, une glacière et un multi paramètres à 6 paramètres « CONSORT C535 ». Et GPS de type « GPS MAP78s »





Photo n°34: le matériel utilise et situe de prélèvement(Avril 2016).

III.3. Transport et conservation des échantillons

Après le prélèvement, Il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés avant les prélèvements et que les étiquètes soient lisibles et in détachables. Dans ces derniers, on doit noter avec précision; la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales (**Lightfoot, 2002**), et les envoyés au laboratoire dans une glacière où les analyses sont effectuées le jour même si c'est possible.

III.4. Résultats d'analyse

La mesure des paramètres physique in situ (pH, CE, T°C) après le prélèvement de l'échantillon parmulti paramètre de type« CONSORT C535 » TDH dans laboratoire

Les ions majeurs (Na⁺, k⁺) ont été dosés parLa spectrophotométrie à flammeet les ions (Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ et Cl⁻) ont été dosés par La méthode titrimétrique. Pour les autres éléments (SO₄⁻ NO₃⁻) ont été dosés par une méthode La spectrophotométrie à UV, visibles. Son analyse a été effectuée au laboratoire de chimie du département des sciences de la terre de l'université de Constantine et le résultat dans (annexe II)

III.4.1. Étude des paramètres physico-chimique

III.4.1.1. Température

La température de l'eau souterraine est influencée de manière naturelle par différents facteurs : le climat et l'altitude du bassin d'alimentation, la durée de transit dans le sous-sol en relation avec la profondeur de circulation de l'eau souterraine, etc.(**Houha, 2007**).

La mesure de la température est effectuée sur terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètres. La lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (**Rodier, 1996**).

Tableau n°20 : Valeurs de la température mesurée.

Points	P₁	P₂	P₃	F₁	F₂	F₃	F₄	F₅	F₆	F₇
T (°C)	19	18	19	18	19	20	18	19	17	19

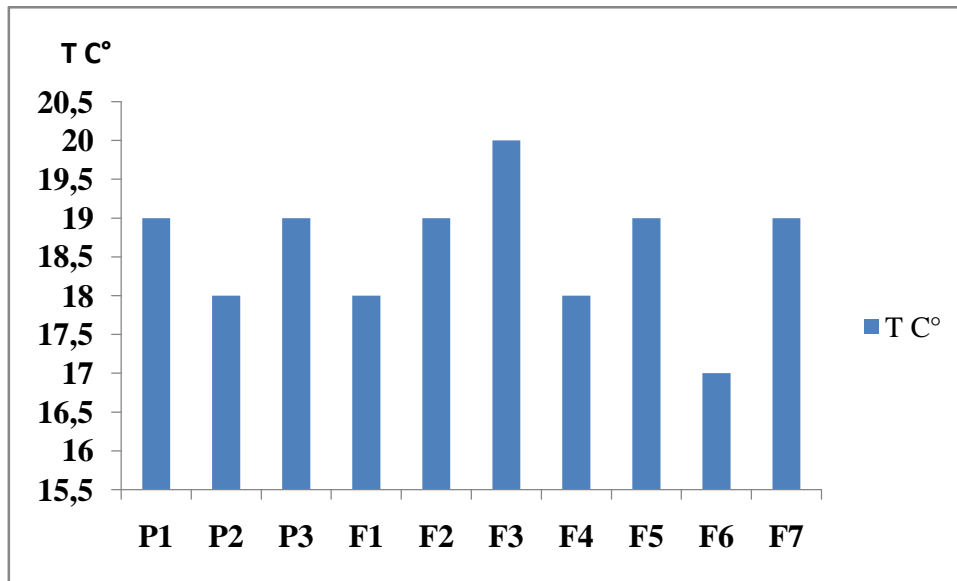


Figure n°35 : Valeurs de la température (Avril 2016).

La température des eaux souterraines dans la zone d'étude varie de 17°C à 20°C, ces valeurs ne dépassent pas les normes fixées par l'OMS (25°C) pour tous les points d'eau.

III.4.1.3. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Le pH est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau (Coulibaly, 2005). Le pH est mesuré sur le terrain à l'aide d'un multi-paramètres.

Le pH des eaux des échantillons varie entre 6.8 et 7.4 donc, tous les points d'eau présentent un pH alcalin, ces valeurs ne dépassent pas les normes fixées par l'OMS ($6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$). La région possède un caractère alcalin comme la figure indique.

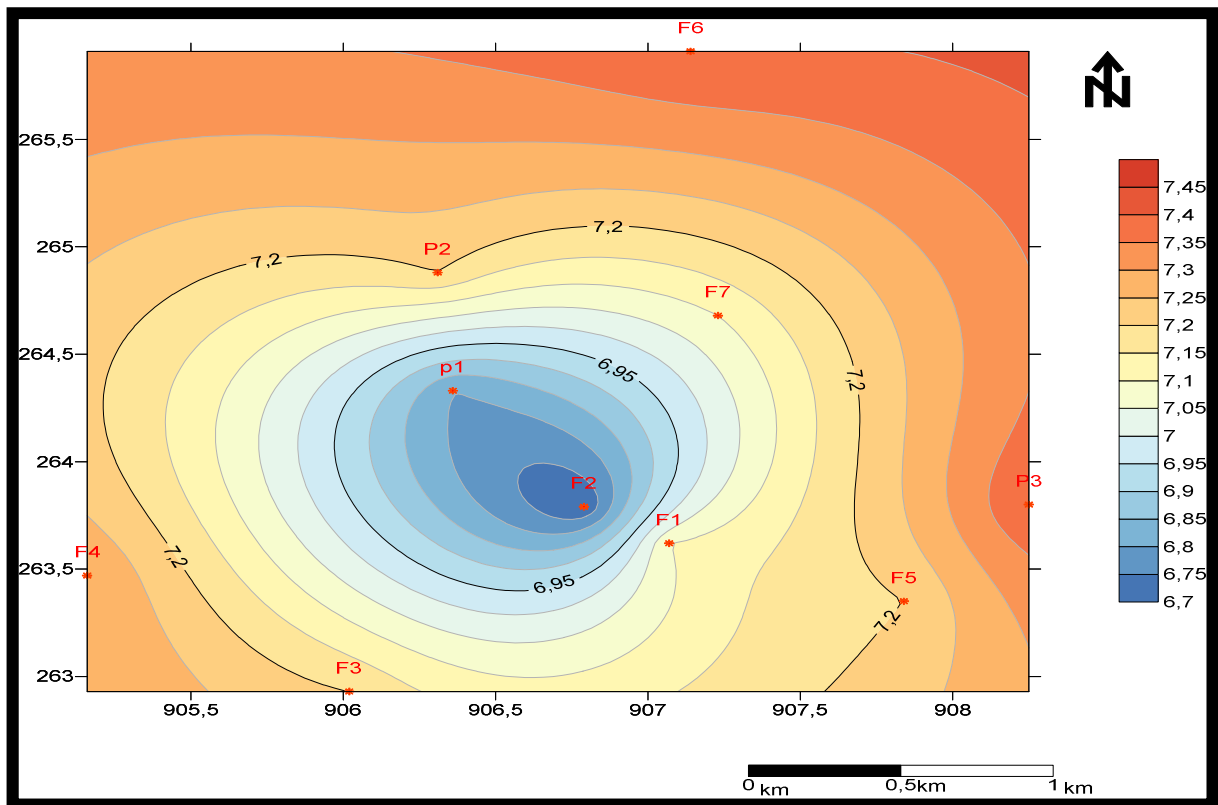


Figure n °36: carte de pH de la zone d'étude (Avril 2016).

III.4.1.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métallique de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. (**Rodier et al., 2005**).

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**).

La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, les valeurs sont ramenées à 25°C.

La conductivité permet d'estimer le degré de minéralisation des eaux. Le tableau ci-dessous donne quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité (**Rejsek, 2002**).

Tableau n°21: relation existant entre la minéralisation et la conductivité mesurée.

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C	Minéralisation de l'eau
<450	Très faible
450 - 750	Faible
750 - 1500	Moyenne
1500 - 2300	Moyennement élevée
2300 - 3000	élevée
>3000	Très élevée

La conductivité électrique des eaux de plaine de M'toussa, varie entre $1170 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $5510 \mu\text{S}/\text{cm}$ (fig.38). Ce sont des eaux qui présentent une minéralisation moyenne à très élevée.

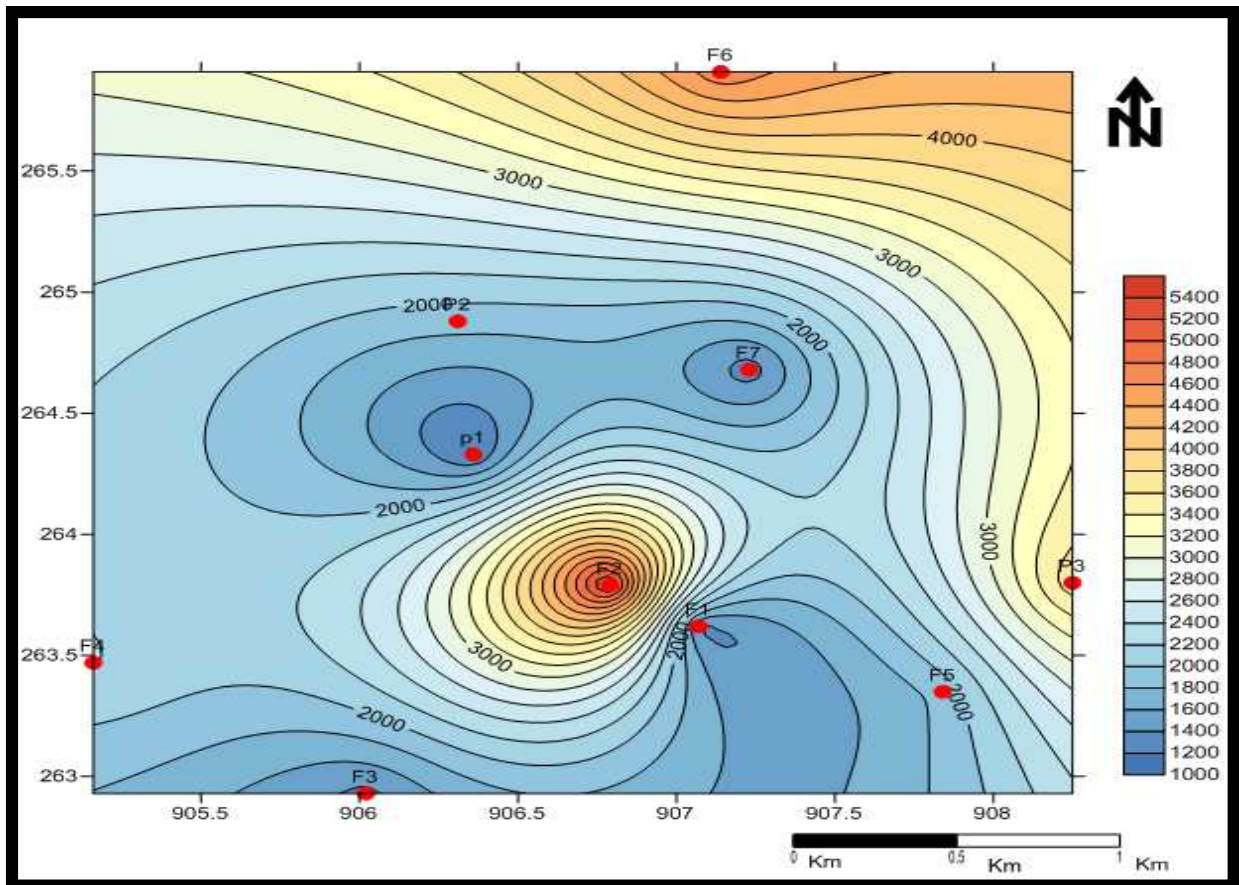


Figure n °37: Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines d'M'toussa(Avril 2016).

La conductivité électrique dépend du substrat géologique traversé ainsi que la température, phénomène d'évaporation, qui joue un rôle d'augmentation de concentration des sels dans l'eau.

III.4.1.5.Dureté totale

La dureté d'une eau est appréciée au moyen de deux paramètres, le titre alcalimétrique complet (TAC) et le titre hydrotimétrique (TH). Ce dernier fournit la concentration globale en calcium et en magnésium exprimée en meq/L ou en °F. Lorsque ces titres sont faibles (De l'ordre de 5 °f) l'eau est qualifiée de douce. Au-dessus de 25-30 °F elle est considérée comme dure. De telles eaux donnent par élévation de la température un précipité de carbonate de calcium (tartre). Par ailleurs calcium et magnésium se combinent avec les savons et les détergents en neutralisant leurs effets. C'est la raison pour laquelle les eaux dures ne sont pas appréciées pour les usages domestiques et certains usages industriels (**Rodier, 2009**).

Le tableau montre que la qualité des eaux analysées sont dure et très dure, avec un D.H.T inférieur à 50°F dans les P1 ,F1,F3,F5,F7 et le reste des point sont supérieure à 50°F .elle s'exprime en degré français (° F) ou en me /l, (1meq/l = 5°F). Dans notre secteur étudié, les valeurs de la dureté totale sont très variables, de 8meq/l(F3) à 45.8meq/l (F2).

Tableau n°22 : Dureté des eaux en °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969.

D.H.T (en °F)	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
% des points	0	0	0	50	50

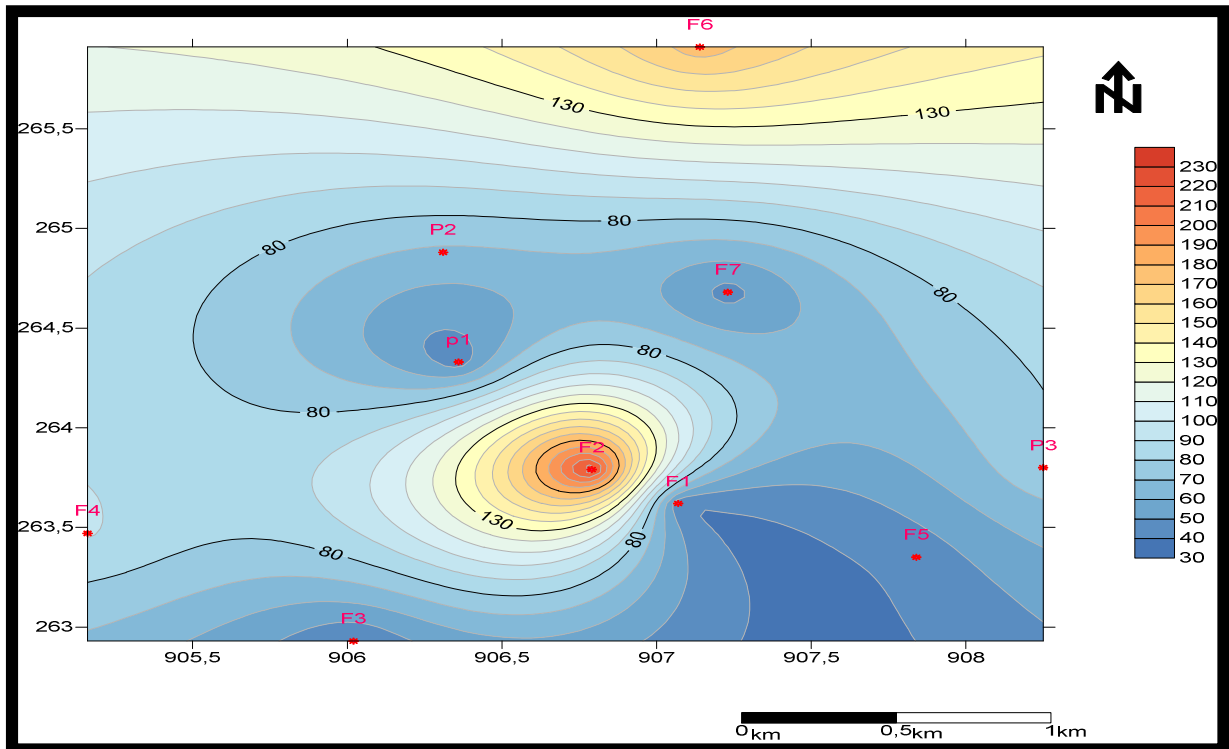


Figure n°38 : Carte de la répartition spatiale de la dureté des eaux souterraines d'M'toussa (Avril 2016).

III.4.2. Caractéristiques chimiques des eaux

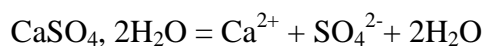
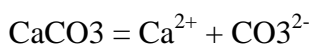
III.4.2.1. Teneur des cations dans les eaux

a) Calcium Ca^{++}

Le calcium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il existe à l'état de nombreux gisements de calcaire, de craie, de marbre, qui tous sont des variétés naturelles du carbonate de calcium CaCO_3 . On trouve également de grandes quantités de gypse (pierre à plâtres) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, de phosphorite $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ et de différents silicates contenant du calcium.

(Glinka, 1977)

Calcium (Ca^{2+}) : la présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).



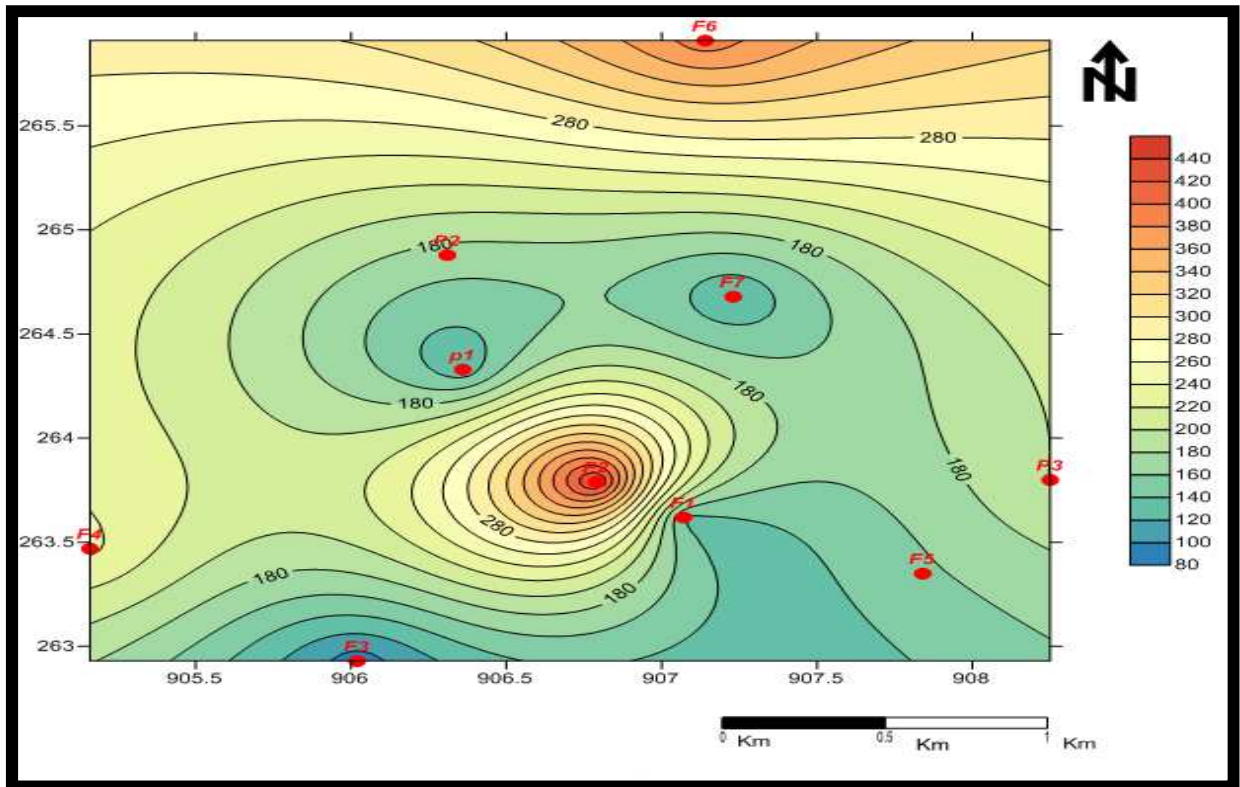


Figure n° 39 : la carte de répartition de la concentration de Calcium mg/l (Avril 2016).

Les résultats de mesure obtenus au laboratoire et la carte de distribution de calcium montrent que la plupart des points d'eau de la région d'étude présentent des teneurs en ions calcium élevées (valeur maximale est de 448 mg/l) avec des concentrations supérieures à la norme de potabilité des eaux (100 mg/l) (OMS, 2004).

à l'exception le forage F3 (88.18 mg/l) ce qui indique que ces eaux de F3 sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

Cette forte teneur en calcium autour du F2 est liée à la présence des croûtes de calcaires dans cette zone de la plaine.

b) Le Magnésium Mg^{++}

Le magnésium est fort répandu dans l'écorce terrestre. On trouve l'état naturel de grandes quantités de carbonate de magnésium qui constitue la minérale magnésite ($MgCO_3$), ainsi que la minérale dolomite ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) (Glinka, 1977), Il constitue 2.1% de l'écorce terrestre (Rodier, 2009).

Ses origines sont comparables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

Magnésite : $MgCO_3 = Mg^{2+} + CO_3^{2-}$

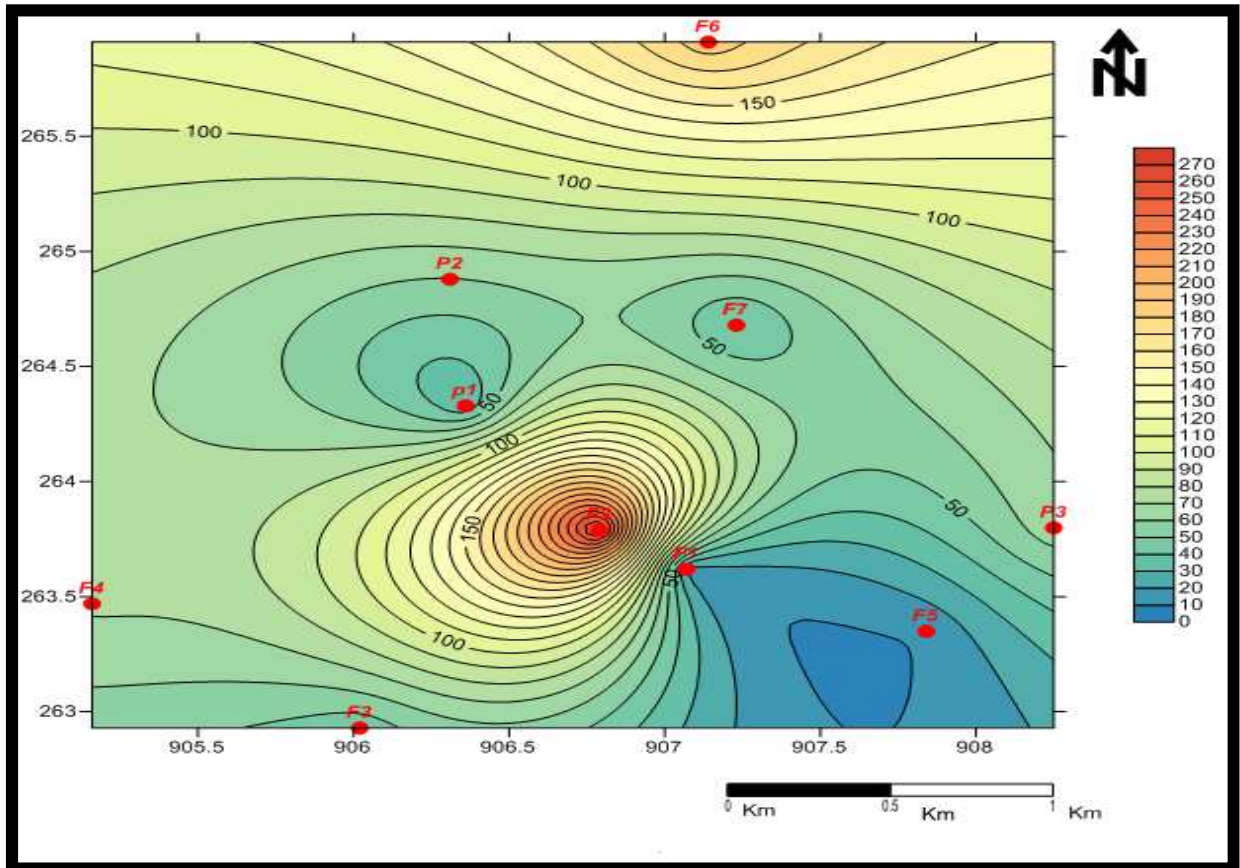
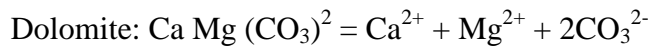


Figure n °40: la carte de répartition de la concentration de Magnésium mg/l (Avril 2016).

La carte La distribution spatiale du magnésium montre que les fortes concentrations sont localisées dans le Nord et le Est de la région d'étude, valeurs varient de entre 11.76 mg/l au forage 5 à 277.8 mg/l au forage2. En remarque qu'ils y'a des valeurs supérieurs a les normes de l'OMS (50mg/l) Ce ci laisse supposer qu'il y a une Contamination de la nappe par les eaux de Sabkha et du Garaet.

On peut attribuer les fortes teneurs en magnésium à la dissolution des dolomites des formations géologiques récentes (le quaternaire).

c) Le Sodium Na^+

C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité de ses sels est trèsélevée. Il provient du lessivage des formations géologique riche en NaCl(Gaagai, 2006).

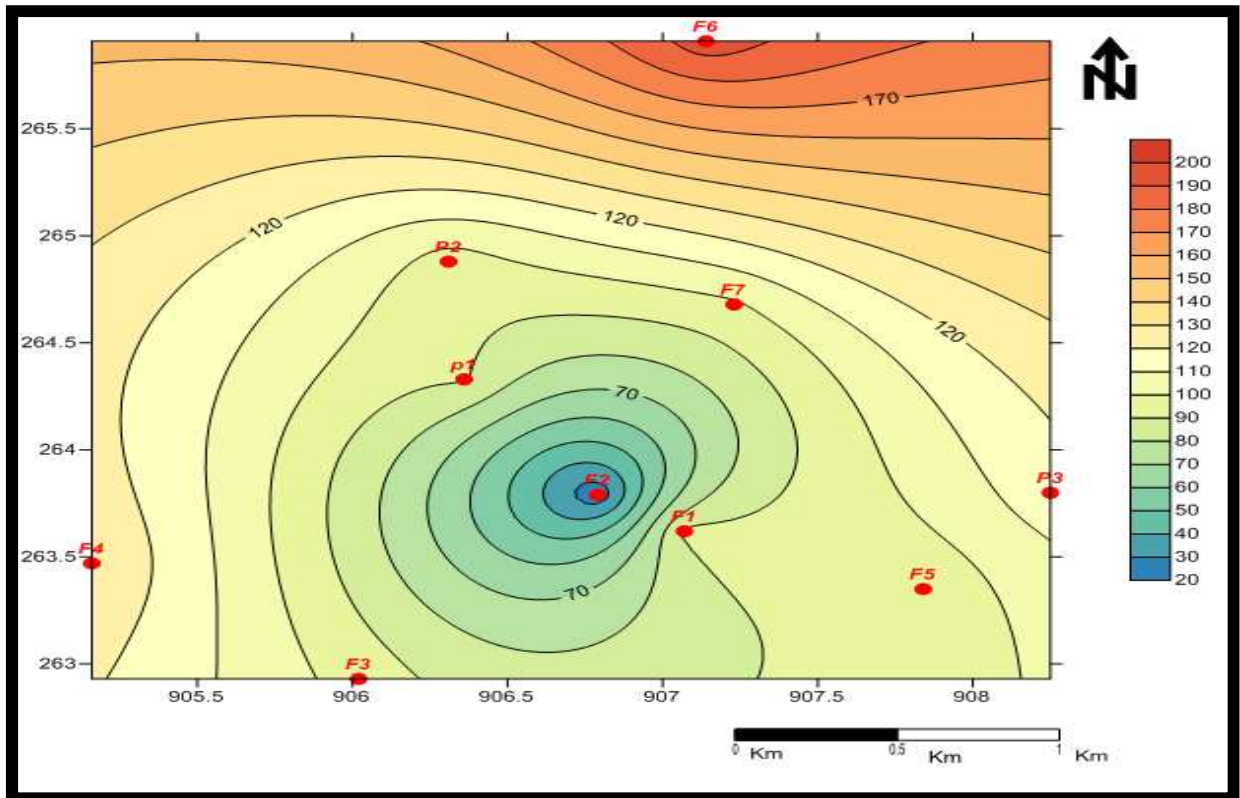


Figure n° 41 : la carte de répartition de la concentration de Sodium mg/l (Avril 2016).

La distribution spatiale des teneurs en sodium sur la plaine de M'toussa (fig.42), montre des valeurs variant de 22.58mg/l(F2) à 195.9 mg/l(F6). Les teneurs les plus élevées sont marquées au Nord. Toutes les concentrations sont dans les normes de l'OMS (200mg/l). La formation géologique correspondante à la concentration élevée est le quaternaire, cette concentration élevée est probablement à l'origine de la nature des terrains de cette région, même si cette concentration est au-dessous de la norme imposée par l'OMS.

d) Le potassium K^+

On trouve le potassium (K^+) en grandes quantités dans la nature, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles. Les teneurs en potassium sur la plaine de M'toussa, montrent des valeurs variant de 0.87 mg/l (puits 1) à 8.01 mg/l (forage 2).

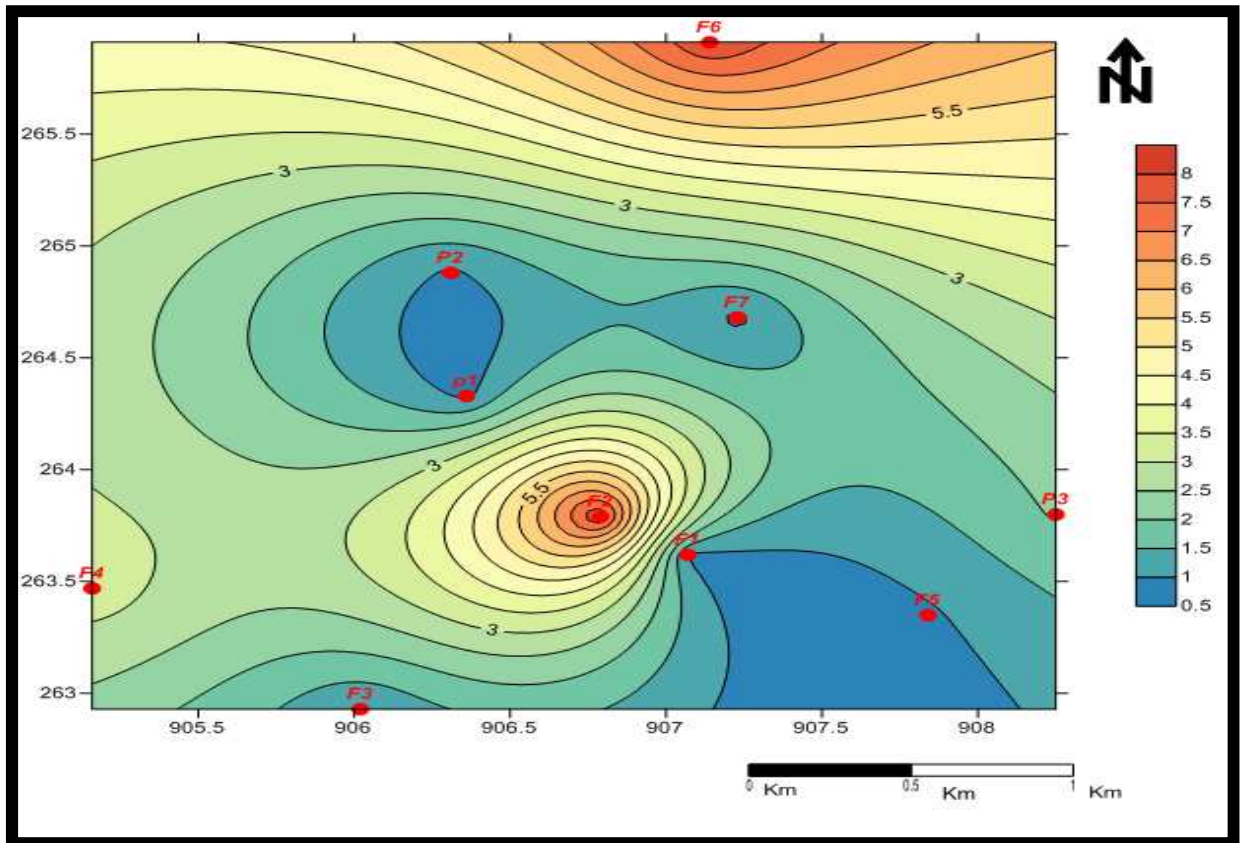


Figure n°42 : la carte de répartition de la concentration de Potassium mg/l (Avril 2016).

La carte de concentration de Potassium montre que la majorité des concentrations observées au niveau de tous les points d'eau dans toute la plaine est inférieure à la norme de potabilité fixée par l'OMS (12 mg/l).

III.4.3. Teneur des anions dans les eaux

a) Les Chlorures Cl^-

L'ion chlorure existe toujours dans les eaux naturelles à des concentrations très variables, c'est un traceur conservatif dans les environnements naturels. Il ne participe pas aux réactions d'oxydoréduction et il ne forme pas de précipité insoluble (**Lakhdari, 2012**).

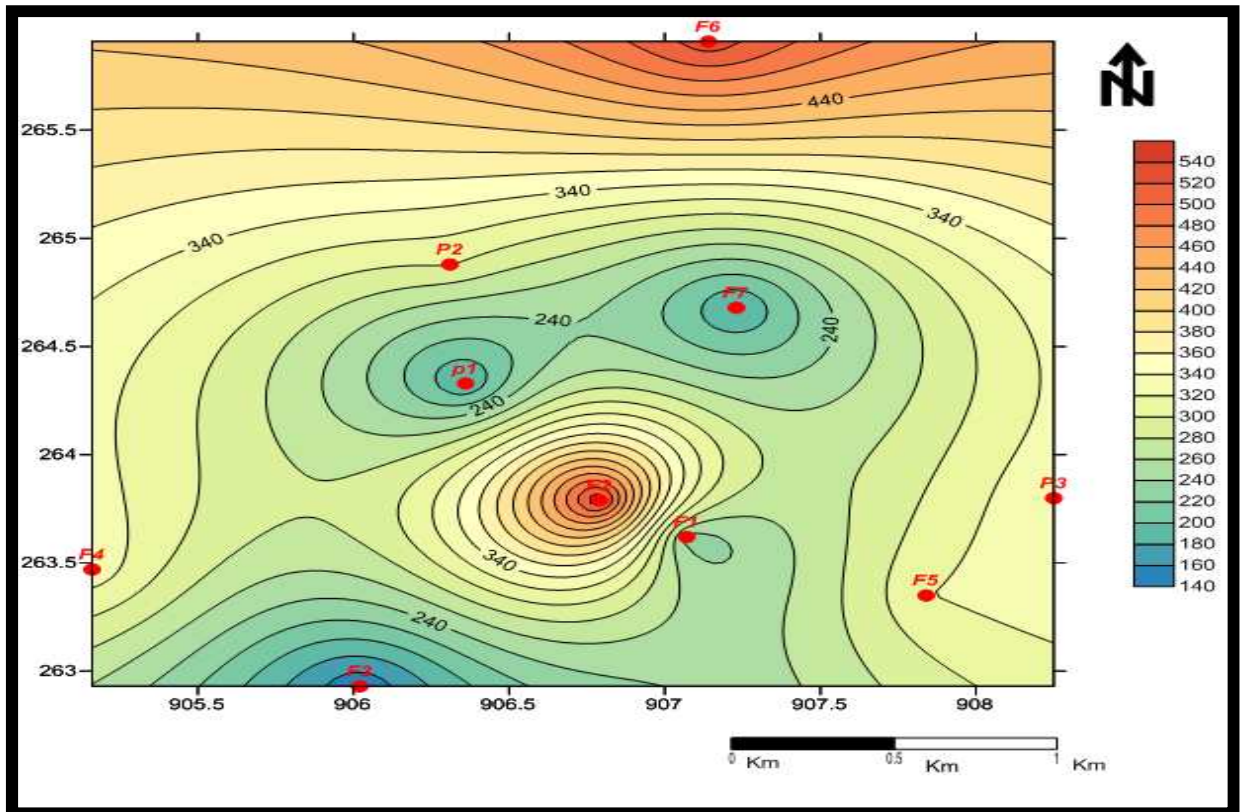


Figure n °43 : la carte de répartition de la concentration de Chlorure mg/l (Avril 2016).

La carte représente les teneurs en chlorures (fig.44), montre la variabilité entre le nord et le sud de la plaine les valeurs varient entre 142 mg/l au forage F3 et 540.8 mg/l au Forage F2 et forte concentration dans Nord et Est de la plaine (F2 et F6) et faible concentration au sud et West. En remarque qu'ils y'a des valeurs supérieures a les normes de l'OMS (250 mg/l)

b) Les Sulfates SO_4^{-2}

Ils résultent de la solubilité du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), La présence du sulfate liée à la présence du trias et gypse, l'augmentation des sulfates peut provenir en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, de l'oxydation du soufre des roches sédimentaires (Lakhdari, 2012).

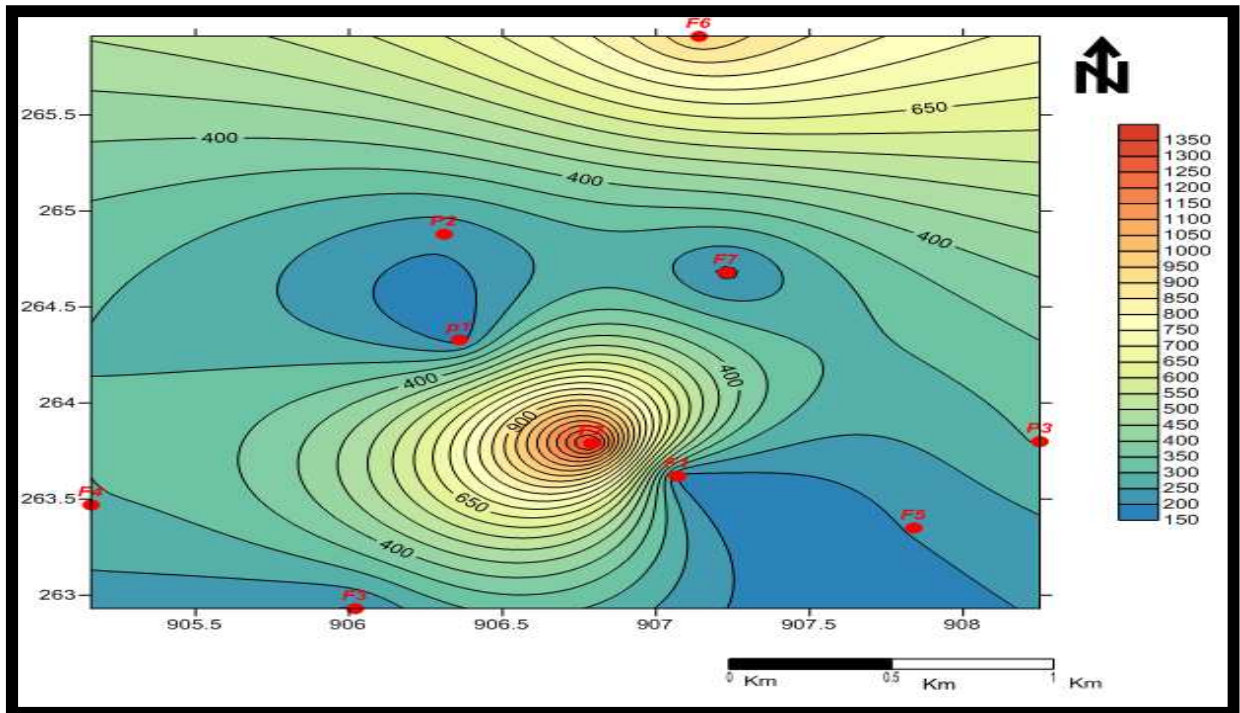


Figure n°44 : la carte de répartition de la concentration de Sulfate mg/l (Avril 2016).

La carte représente les teneurs en sulfates (fig.45), montre une grande concentration dans Nord et le sud de la plaine, les valeurs varient entre 175 mg/l au P1et 1350 mg/l au forage 2, ces eaux sont enrichies en sulfate, les fortes teneurs peuvent être liées à la dissolution des formations évaporitiques résultant de la solubilité du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou à une contamination de la nappe soit par les eaux de Sabkha ou du Garaet. Dans 04 points d'eaux les valeurs sont dépassent les normes de l'OMS (250 mg/l)

c) Les Bicarbonates 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'apport atmosphérique de cet élément est négligeable (Lakhdari, 2012).

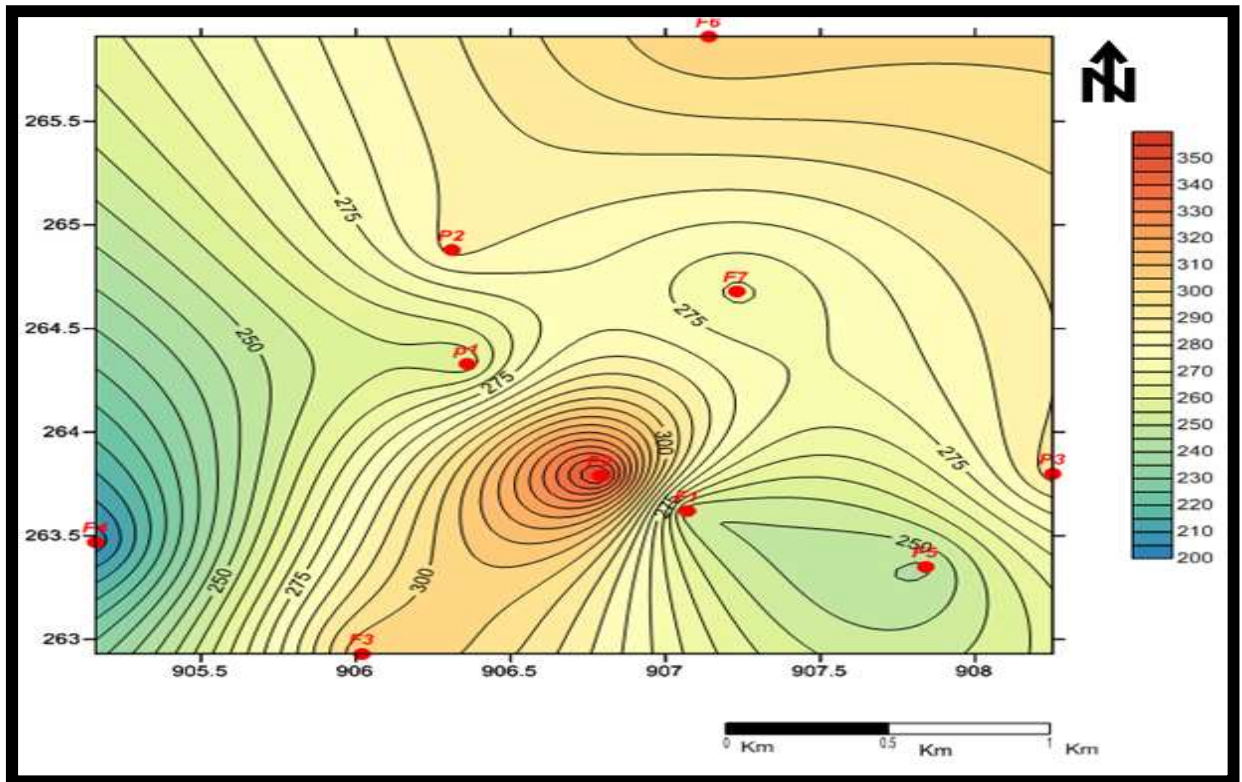


Figure n °45: la carte de répartition de la concentration de Bicarbonate mg/l (Avril 2016).

La carte représente les teneurs en bicarbonates (fig.46), montre une grande variabilité entre Nord et le Sud de la plaine, en observe que la valeur la plus importante étant celle de l'échantillon F2 avec une valeur de 353.8 mg/l, La valeur faible étant celle de l'échantillon F4 avec une valeur de 201.3 mg/l. leur présence dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. Ces fortes teneurs sont dues probablement à l'influence des formations carbonatées du quaternaire.

d) Les Nitrates (NO_3^-)

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 (Hezil, 2013).

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.

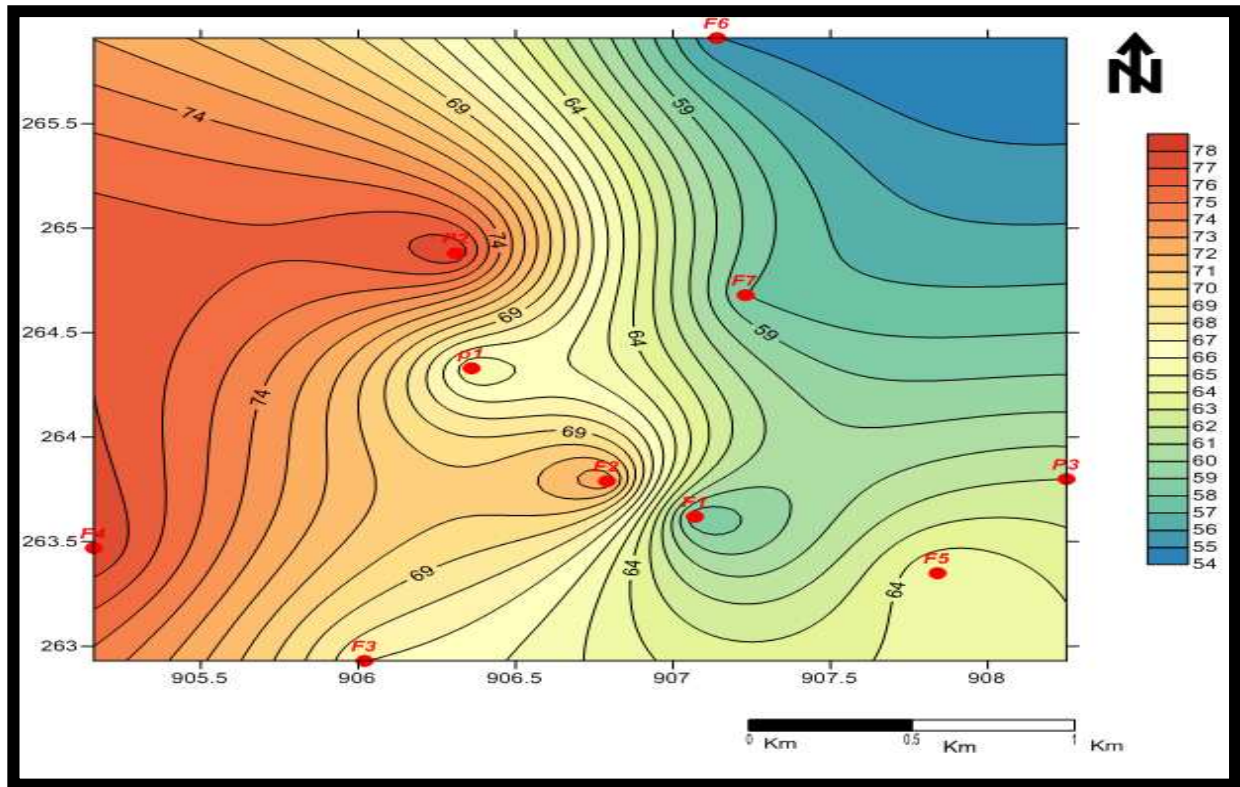


Figure n °46: la carte de répartition de la concentration de Nitrate mg/l (Avril 2016).

La carte représente les teneurs en nitrates (fig.47), montre une grand concentration augment le sud vers West de la plain les valeurs varient entre 55 mg/l a 78 mg/l,les valeurs les plus élevées se situe au nord de la plain où il y' a une agglomération, se qui pose une possibilité d'une pollution d'origine anthropique (élevage, agriculture).et tous les point de prélèvement située dans la terre agricole .

Les concentrations dans tous les points sont dans l'ensemble supérieur aux normes de l'OMS (50 mg/l)

III.4.4. Faciès chimique des eaux

Les faciès hydrochimiques, d'après Jaeckli (1970), sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l ou mg/l), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

A partir des résultats des analyses chimiques des différents points d'eaux, le diagramme 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 souterraines de la région de M'toussa .

III.4.4.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle (**Belhamdou ,2013**).

Le diagramme triangulaire de Piper permet de statuer sur le faciès chimique des eaux selon une classification en quatre familles : chlorurée sulfatée calcique et magnésienne, chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique, bi/carbonatée sodique et potassique, puis bi/carbonatée calcique et magnésienne. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, la position d'un résultat sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles un losange est associé sur lequel est reportée l'intersection des deux triangles, définissant la répartition synthétique des ions majeurs (**Chaoui, 2013**).

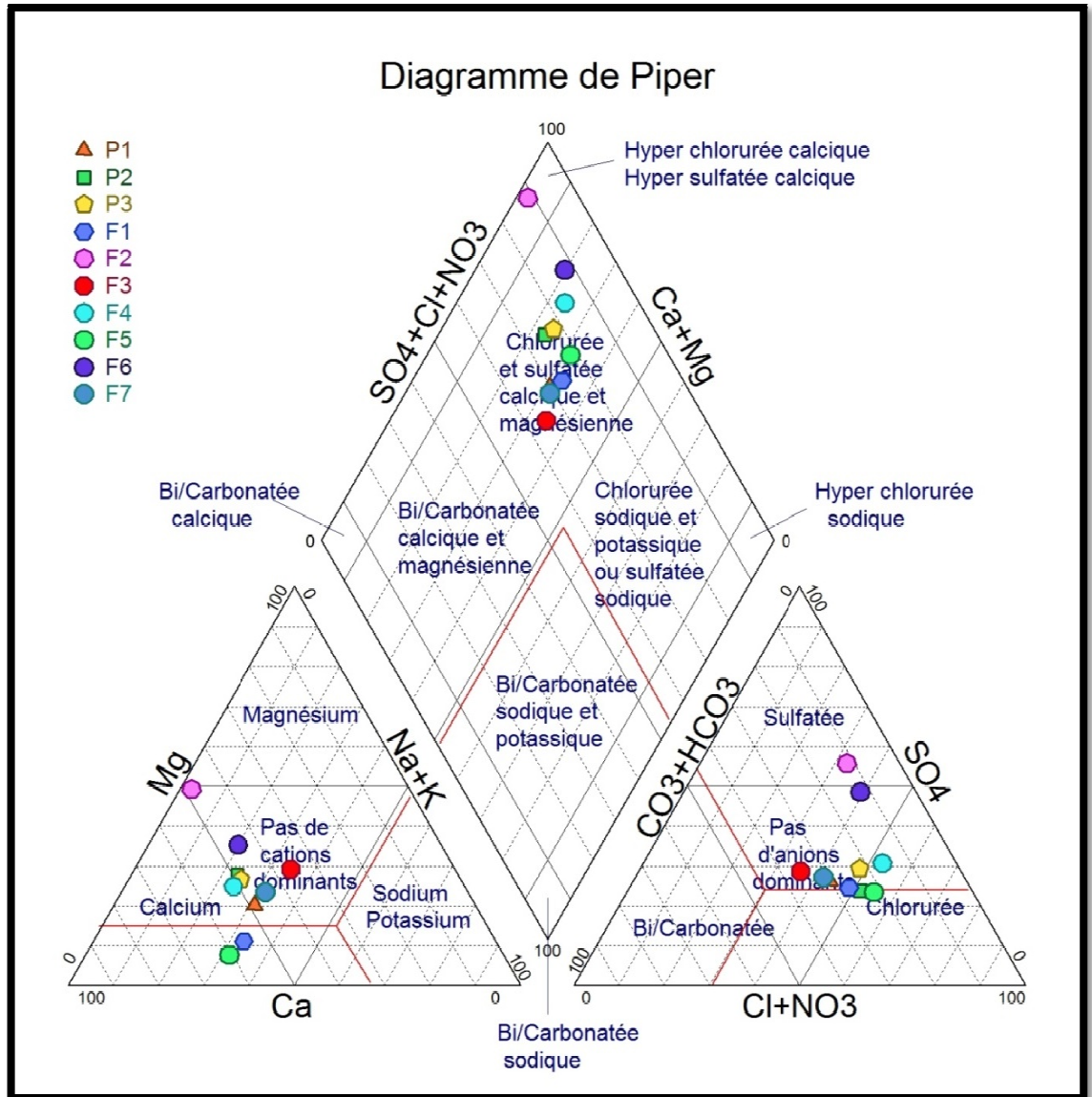


Figure n °47: Représentation sur diagramme de Piper des compositions en éléments majeurs des eaux de la plaine de M'toussa.

Cette représentation graphique (fig.48) a permis de donner une seule famille d'eau :

Eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, qui représentent 100% des points d'eau.

- 10% sulfatée magnésienne : F2.
- 10% sulfatée calcique : F6.
- 80% chlorurée calcique : P1, P2, P3, F1, F3, F4, F5, F7.

III.4.4.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff

C'est un diagramme semi logarithmique Schoeller –Berkaloff est utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux. Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs points des eaux sur un même diagramme. (Dahali, 2013).

D'après les figures il est noté qu'il existe une grande variation entre les teneurs des eaux issues des puits et forage de la nappe phréatique, mais en général on a trois familles d'eau prédominantes, Chloruré calcique, Sulfaté calcique et Sulfaté magnésique. 80 % des faciès des échantillons sont Chloruré calcique

Selon le Schoeller Berkaloffon peut dire que les eaux de la région d'étude sont marquées par les calciums qui s'accompagnent tantôt de sulfate tantôt de chlorure ; ceci est en liaison directe avec la présence dominante des argiles, des terrains salifère, et des formations carbonatées et gypsifères.

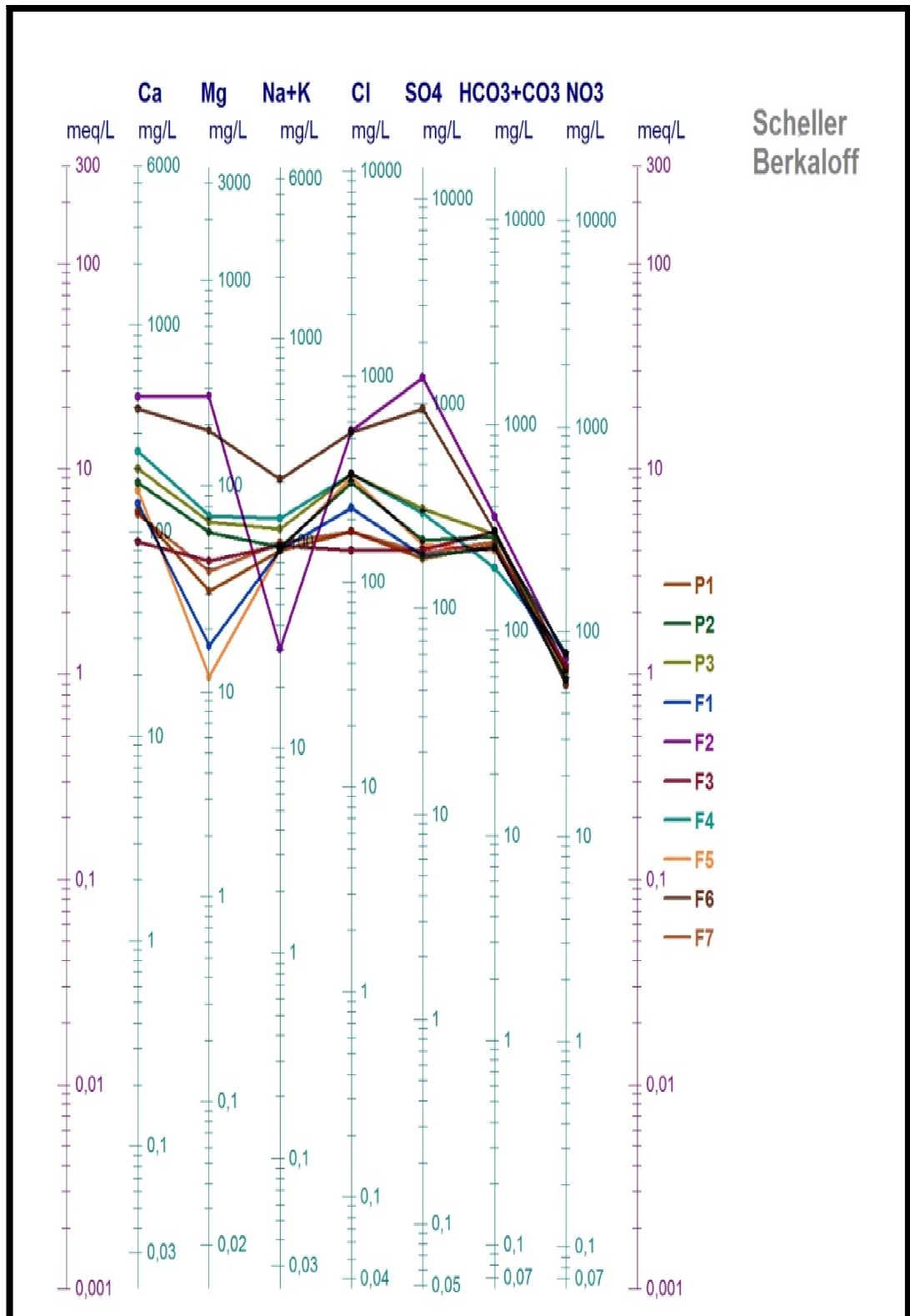


Figure n° 48: Représentation sur diagramme de SchoëllerBerkalov des compositions en éléments majeurs des eaux de la zone d'étude.

III.4.4.5. Diagramme de répartition des éléments chimique (Stabler)

Ce diagramme de périmètre d'identifier les ions cationiques le plus dominantes pour nos eaux analyse (Figure n°50).d' après les resultats de Stabler, nous remarquons que l'ion la plus dominant pour les cations sont celle de Ca^{2+} ,viens en deuxième lieu le Mg^{2+} en suite Na^+ .Mais pour les Anions on remarque la dominance du Cl^- ,apres viens de SO_4^{2-} et HCO_3^- et en fin NO_3^- avec une quantités faibles.Ces concentration sont differentes d'un l'échantillon à l'autre , par exemple le sulfate domine avec des concentrations très élève pour les forages F2 et F6,mais dans les autre l'échantillon c'est le Cl^- qui domine .

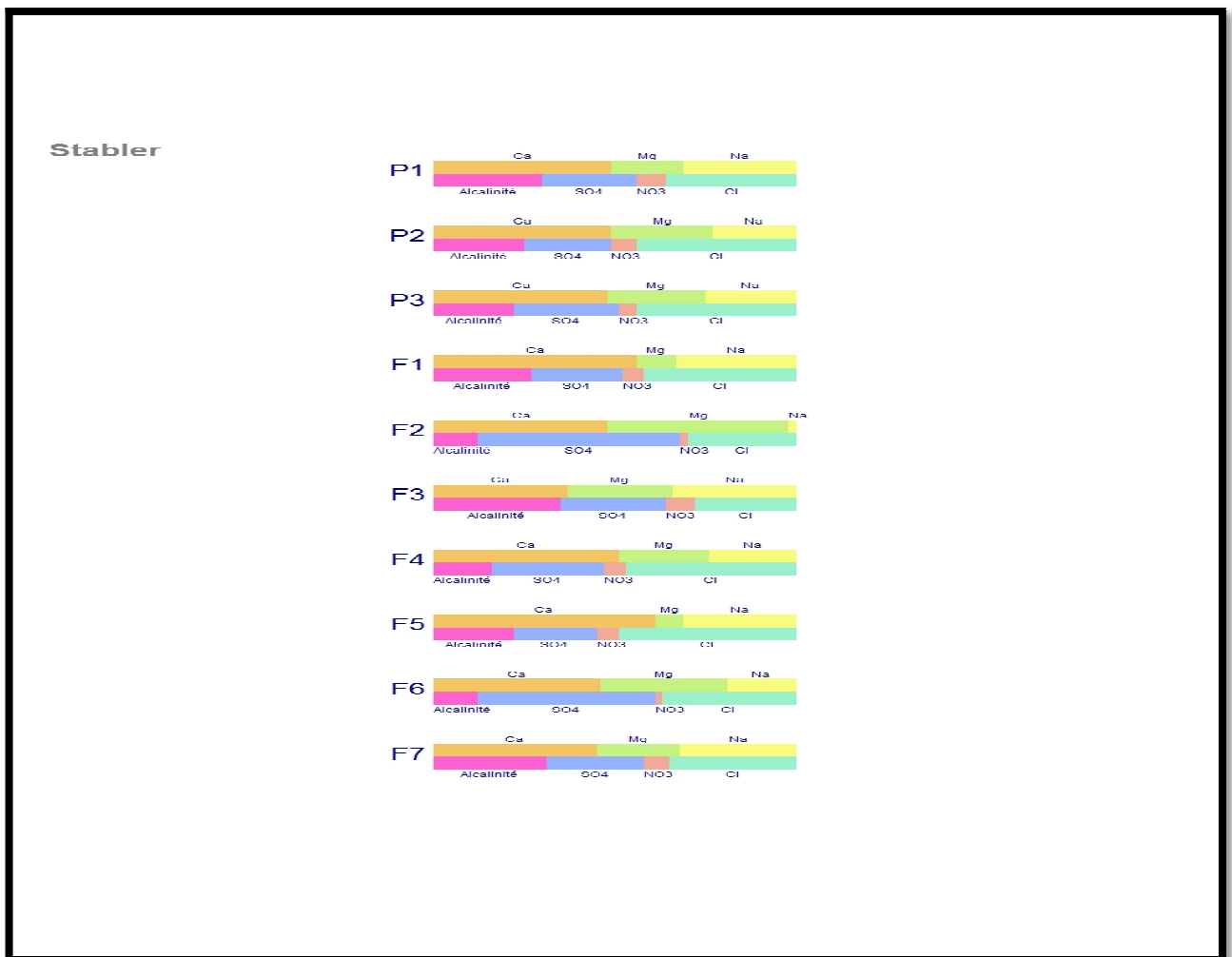


Figure n°49: diagramme de stabler pour les eaux de la commune de M'toussa, khenchela .

III.5.Potabilité des eaux :

Les eaux souterraines ne sont pas chimiquement pures, elles contiennent toujours une certaine quantité des sels dissous qui leurs confère.

On entend par une eau pure et de bonne qualité, une eau dépourvue d'impuretés de bactéries pathogènes et d'agents polluants.

La concentration des sels dissous ne doit pas dépasser un certain seuil défini par les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS).

Les eaux du plaine de M'toussa présentent une potabilité généralement mauvaise suivant les concentrations de Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^- , Cl^- , qui dépassent les normes .

III.6.Classification des eaux d'irrigation:

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

III.6.1.Méthode de sodium absorption ratio (SAR)

Le SAR c'est la capacité d'absorption du sodium permet d'appréhender les risques de salinisation en sel NaCl induit par l'irrigation, le sar indique l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction de cet indice croisé.

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

Quatre classes de risque alcalin ont été défini en relation avec le risque salin (**Clément et Galand ,1979**)

- S1 risque faible S.A.R ≤ 10
- S2 risque moyen $10 < \text{S.A.R} \leq 18$
- S3 risque élevé $18 < \text{S.A.R} \leq 26$
- S4 risque très élevé $\text{S.A.R} > 26$

Les résultats de calculs de SAR varie entre (1.18 a 11.78) permettent de classer tous les points d'eau dans la catégorie des eaux a faible risque S1 et risque moyen S2 (voir Annexe II).

III.6.2. Classification de Wilcox

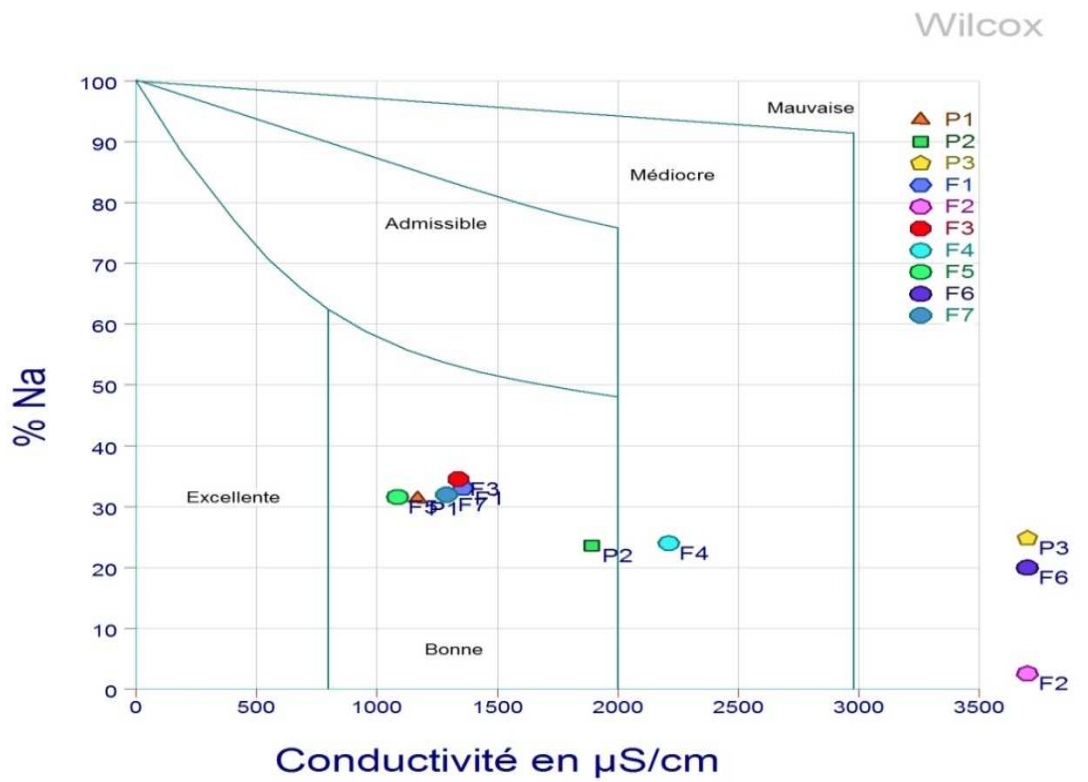
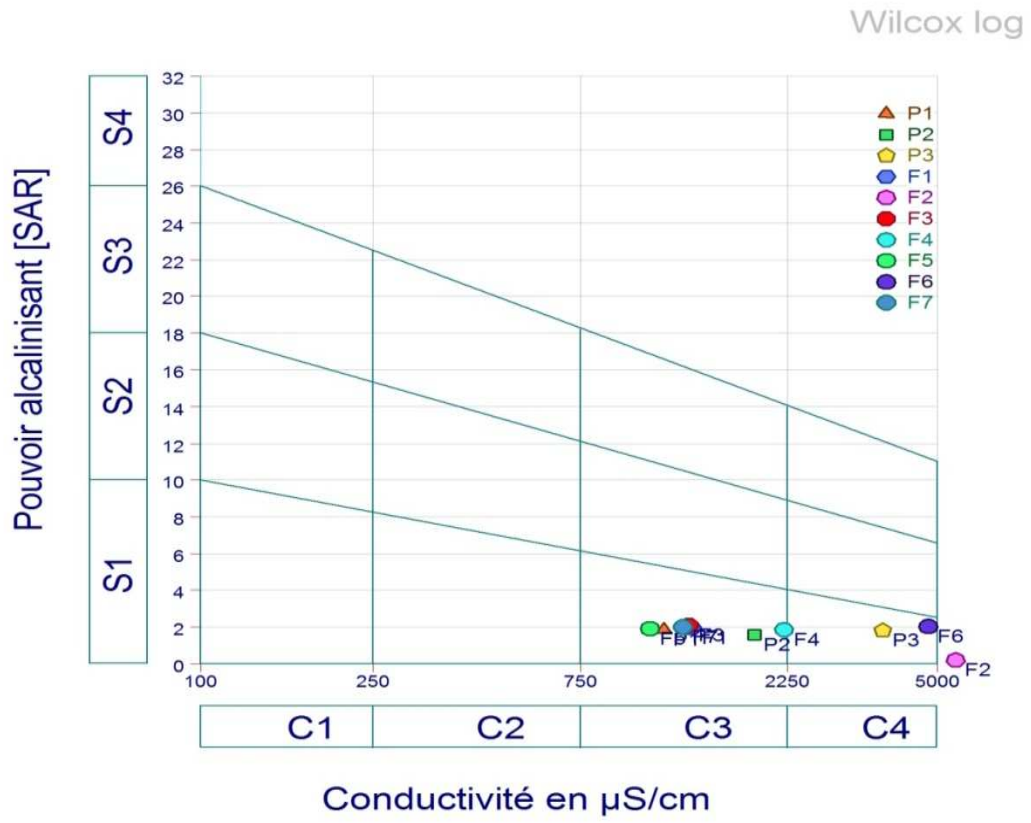
La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage, est définie par la relation :

$$\%Na = \frac{(Na + K)}{Ca + Mg + Na + K} \times 100$$

Cette classification définit cinq classes d'eau : excellente, bonne, admissible, médiocre, mauvaise. (Fadel et al, 2004) Les résultats des calculs obtenus sont classés dans le tableau à l'annexe II

Tableau n°23: Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation(méthode de SAR).

Degrés	Qualité	Classes	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1 – S1, C1 – S2	Utilisation sans danger pour l'irrigation des cultures et même pour les sols
2	Bonne	C2 –S1,C2 –S2	Convenable pour des plantes qui ont une tolérance aux sels (générer des problèmes pour les argiles)
3	Admissible	C3 – S1, C2 – S3, C3 –S2	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés
4	Médiocre	C4 – S1, C2 – S1,C3 – S3	Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité)
5	Mauvaise	C3 – S4, C4 – S3, C4 – S4	Inutilisable



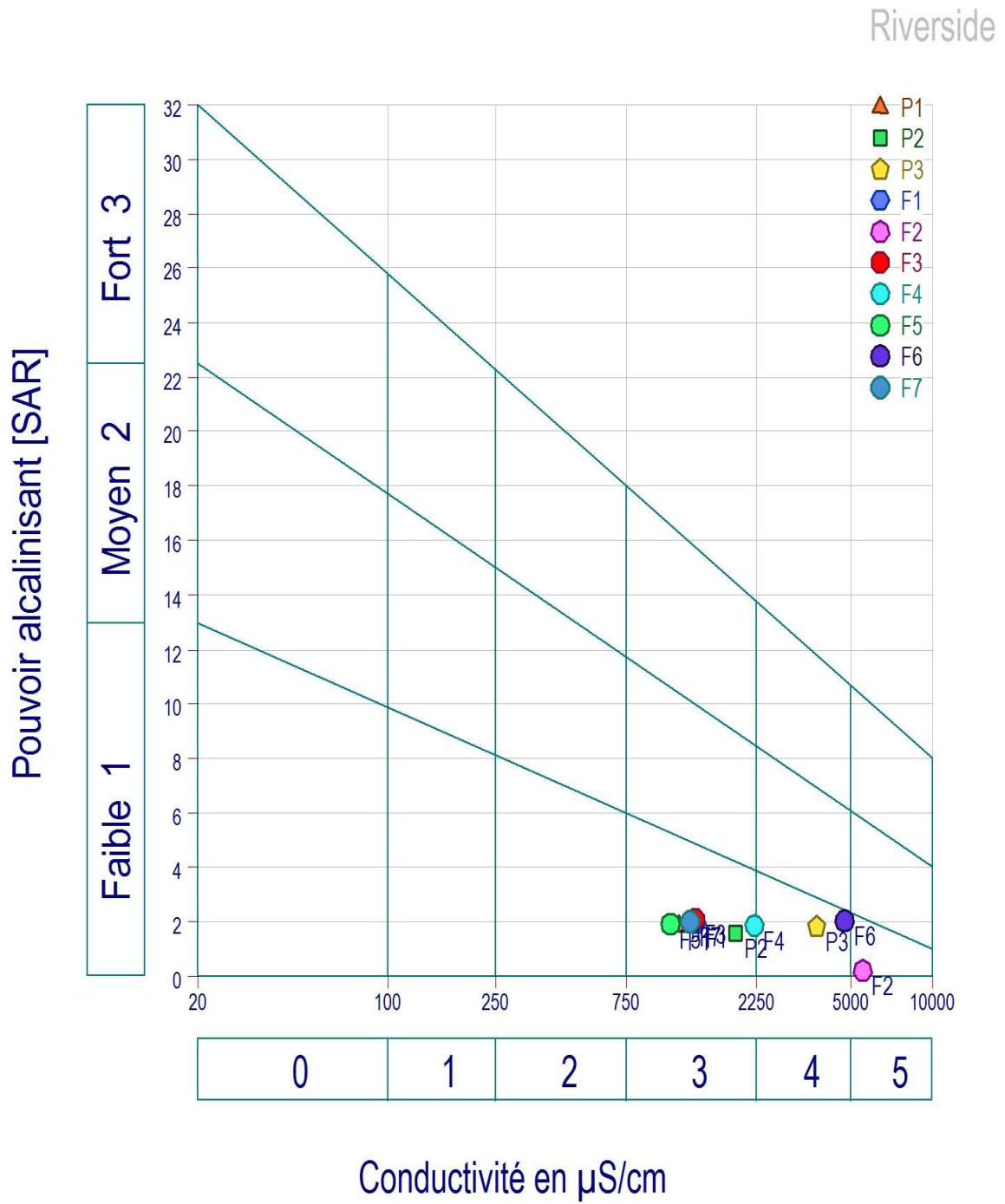


Figure n°50 :Diagramme Wilcox /Riverside de de l'eau souterraine de laM'toussa.

L'interprétation des résultats selon les diagrammes de Wilcox /Riverside et le tableau montre que la totalité des point d'eau sont dans le classement **C3S1**(P1,P2 ,P4,F1 F3 F4 F5 F7) , où les eaux présentent un pouvoir d'alcalinité faible, cette classe donnée une eau admissible(La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés) et d'eau de P3 ,F2 ,F6 sont eaux mediocre ces eaux sont situées dans la classe **C4S1**(Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité) On peut dire que la plus grande partie des eaux de la plaine sont acceptables et peuvent être exploitées pour l'irrigation.

III.7.Étude de l'origine de la minéralisation des eaux souterraines

La minéralisation correspond à la quantité de sels minéraux contenus dans l'eau. Elle est évaluée à partir des paramètres suivants : chlorures, sulfates, calcium, magnésium, sodium... La présence de minéraux dans les eaux souterraines est souvent d'origine naturelle.

Au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction:

- de la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration;
- du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol;
- du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration. On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau.
- Dans les réservoirs calcaires, les eaux sont dures, moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium; elles entartrent les conduites.
- Au contact du gypse, l'eau se charge en sulfate de calcium et devient dure et impropre à la consommation.

III.7.1.Relations caractéristiques des éléments

III.7.1.1.Couple conductivitésélectriques-chlorures

Le chlore est un élément conservatif, puisqu'il n'est influencé par le processus d'oxydoréduction, ni contrôlé par les minéraux de faible solubilité. La forte corrélation entre les conductivités électriques des eaux et les ions chlorures (figure.52) suppose que ces derniers contrôlent la minéralisation des eaux et que les chlorures sont des éléments caractérisant la salinité des eaux.

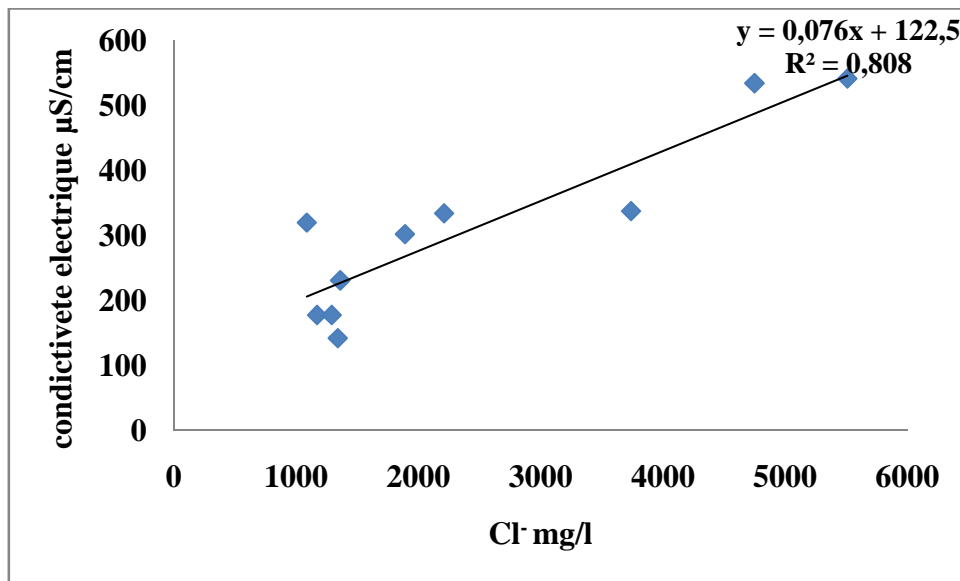


Figure n °51: Relation entre les conductivitésélectriques et les chlorures.

III.7.1.2. Le couple Ca²⁺-Mg²⁺ :

Suivant la figure n°53 nous constatons qu'il y a une bonne corrélation entre les deux éléments ce qui nous permet de dire qu'ils sont la même origine (origine carbonatée), ce qui confirme les résultats obtenus au niveau de tous les points à l'exception de F3 (au nord de la région d'étude).

Le magnésium peut avoir comme origine les oxydes de magnésium ou de la magnétite. Il

Peut aussi se trouver en abondance dans les roches carbonatées et peut être sous la forme de Mg²⁺, SO²⁻₄, Cl⁻.

- La présence des ions Ca^{2+}

dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles: soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses

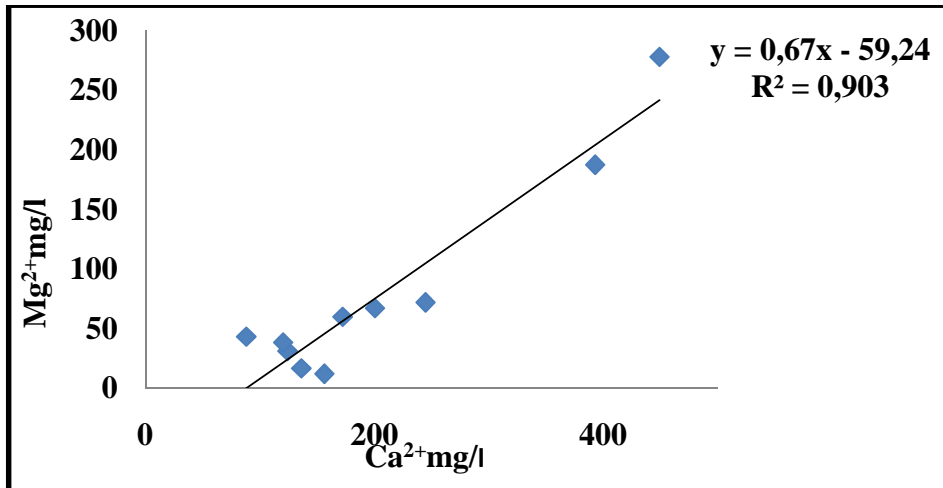
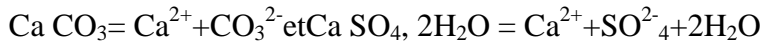


Figure n °52: Relation entre le calcium et le magnésium (mg/l).

III.7.1.3. Couple Cl^- - Na^+

Le couple Na^+ - Cl^- : Ces deux éléments dans les eaux naturelles sont souvent liés à la dissolution de l'halite (NaCl). L'évolution de Na^+ est étudiée en fonction des teneurs en chlorures, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, n'intervient pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peut influencer par l'intervention des bactéries (Fetter, 1993 in Y. Hsissou).

Le graphe (54) montre une dispersion des points indiquant que les deux éléments chimiques ont des origines différentes, cette relation ne confirme pas l'existence du faciès chloruré sodique.

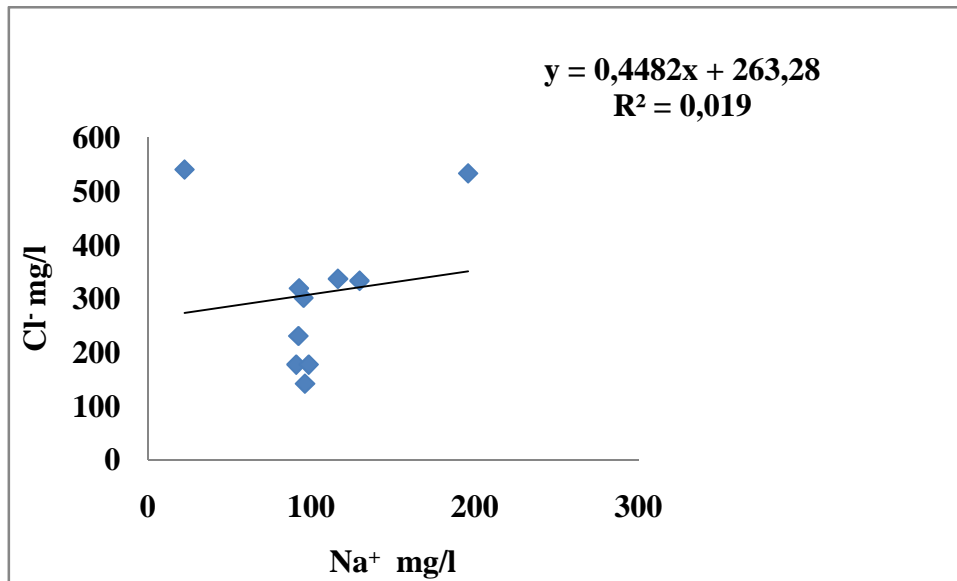


Figure n °53: Relation entre le chlorure et le sodium (mg/l).

III.7.1.4. Couple Cl⁻ - SO₄²⁻

Les eaux sont enrichies en chlorure, élément conservatif, imputé à la pollution agricole à l'utilisation des pesticides et aussi à la dissolution de roche salifère comme l'halite riche en Chlorure. Les ions sulfates chlorure proviennent de la pollution par irrigation et contribuent à la minéralisation des eaux

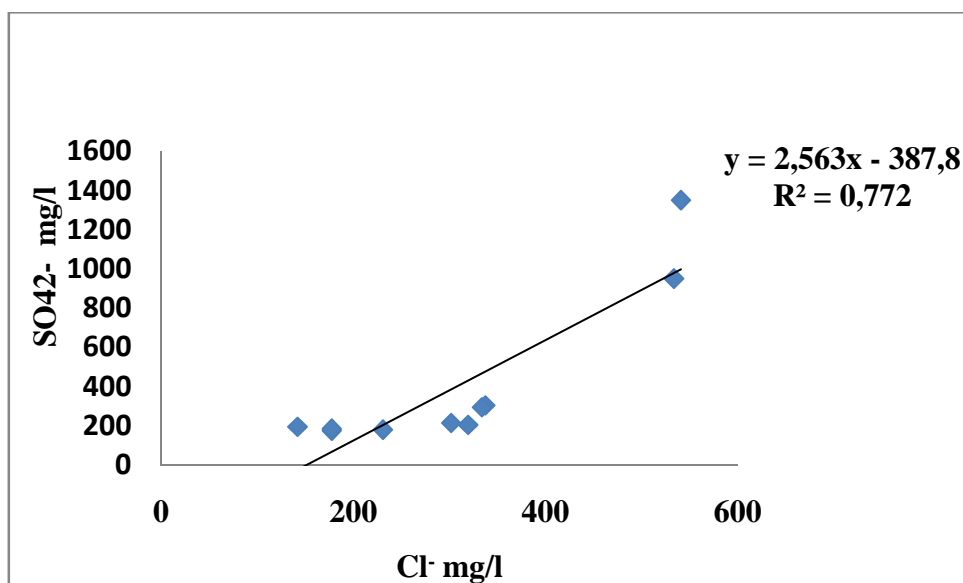


Figure n °54: Relation entre le chlorure et les sulfates (mg/l).

III.7.1.4. Le couple Ca^{2+} - SO_4^{2-}

On trouve une répartition presque analogue à la précédente. Les points d'observation présentent une tendance de l'alignement ce qui confirme l'origine commune des deux éléments (sulfate de calcium –gypse-).

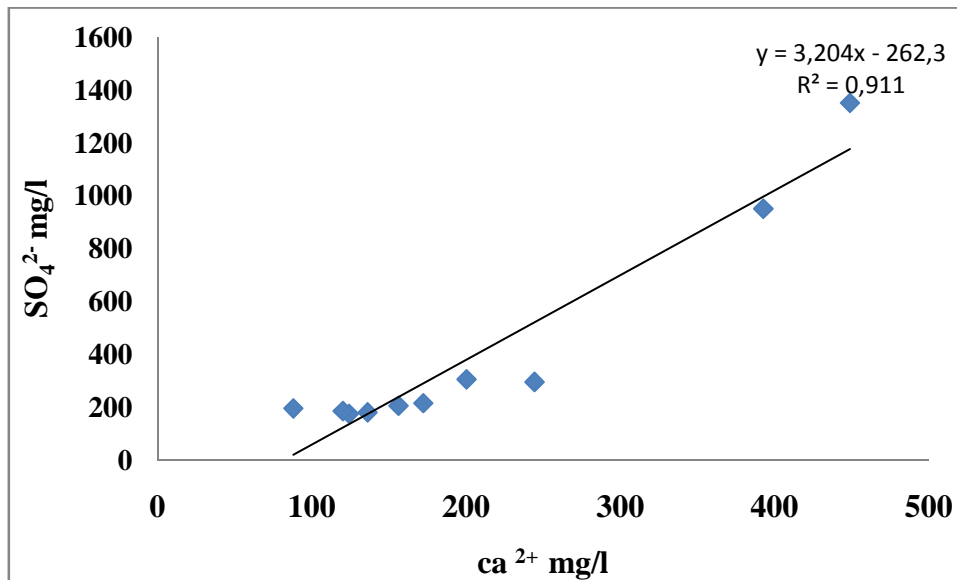


Figure n °55: Relation entre le calcium et les sulfates (mg/l).

III.8. Analyse statistique des données physico-chimiques :

Dans cette étude, une analyse statistique a été effectuée sur une campagne d'échantillonnage de Avril 2015 représentant l'analyse des eaux souterraines.

Le but de cette analyse statistique est de faire dégager les associations qui peuvent éventuellement exister et de ressortir les différents points d'eau qui possèdent des concentrations élevées en éléments chimiques par rapport aux autres. Cela peut permettre de donner une idée préalable sur les éléments et les sites de pollution.

L'étude hydrochimique et statistique des eaux souterraines a été effectuée sur 10 échantillons.

III.8.1. Analyse de la matrice des corrélations

Le tableau (26) présente les différentes corrélations entre les variables deux a deux, le coefficient de corrélation significatif.

- La conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) est parfaitement corrélée aux : calcium et sulfates magnésium, potassium, chlorures et bicarbonate les coefficients de corrélation sont respectivement ($r=0.931$), ($r=0.929$), ($r=0.0917$), ($r=0,669$), ($r=0,899$) et($r=0,914$).ce montre que la minéralisation est d'origine de calcium et sulfates.
- Le sulfates est représenté une corrélation aux : calcium et magnésium et potassium, chlorures et bicarbonate.
- Le chlorures est bien corrèle avec le calcium et magnésium et potassium.
- Le potassium est bien corrélé aux : calcium et le magnésium.
- Les nitrates et les sodiums ne sont corrèles a aucune ions.

Tableau n°24 : Matrice de corrélation

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	$\text{C}25^\circ\text{c}$
Ca^{2+}	1.000								
Mg^{2+}	0.950	1.000							
Na^+	0.53	-0.114	1.000						
K^+	0.974	0.950	0.147	1.000					
HCO_3^-	0.508	0.706	-0.291	0.544	1.000				
Cl^-	0,963	0,860	0,138	0,910	0,448	1.000			
SO_4^{2-}	0,955	0,987	-0,118	0,958	0,692	0,879	1.000		
NO_3^-	0,110	0,133	-0,403	-0,011	-0,084	0,086	0,040	1.000	
$\text{C}25^\circ\text{c}$	0,931	0,929	0,059	0,917	0,669	0,899	0,914	0,007	1.000

Conclusion

Au terme de ce chapitre, il a été constaté ce qui suit, les analyses physico-chimiques nous en révélé que les concentrations les plus élevées en la matière, sont rencontré dans la formations géologiques récentes du quaternaire.

Les diagrammes de PIPER, et SCHOELLER-BERKALOFF ont montré que les faciès chimique est chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, (10% sulfatées magnésienne, 10% sulfatée calcique et 80% chlorurée calcique)

On a remarqué que les fortes concentrations de sulfate sont liées aux marne-gypseuses et les concentrations des chlorures sont liées des à la pollution agricole puisque tous les point d'eau située dans la terre agricole et l'utilisation des pesticides et aussi à la dissolution de roche salifère.

Il y'a lieu de dire que la majorité des éléments dont leurs concentrations ont dépassé les normes admissibles ce qui se répercute sur la qualité des eaux de notre zone d'étude. Ces eaux sont dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive et peuvent entrainer aussi des risques de salinisation des sols.

Pour plus d'évaluation des eaux pour des fins d'irrigation, nous avons procédé à des calculs de quelque paramètres (Diagramme Wilcox, SAR, Na%), ont permettre de classé nos eaux ont un pouvoir Alcalinisant faible. Et la qualité de l'eau passe du admissible à mediocre pour irrigation.

Enfin il y a une forte corrélation entre les éléments majeurs entre eux et conductivité électrique permise indique elle-même formation géologique sauf le sodium et les nitrates, ces derniers à une origine anthropique.

Introduction

L'étude climatologique est très importante pour la connaissance des caractéristiques hydroclimatologiques, qui est indispensable pour évaluer l'alimentation des ressources hydriques et des réserves souterraines. En effet, une grande partie de l'alimentation des réserves se fait par la remarquable contribution des précipitations, ou plus précisément les précipitations efficaces (PE), qui dépendent de plusieurs facteurs climatiques et hydrologiques. L'estimation des caractéristiques climatiques d'un bassin versant joue un rôle important dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eau. Les paramètres les plus intéressants dans l'identification du régime d'écoulement sont les précipitations (P) et la température (T).

Ces paramètres conditionnent soit la sécheresse, soit l'humidification du milieu. Elles sont utilisées d'une part, pour estimer les différents paramètres du bilan hydrique et d'autre part, pour la connaissance des conditions d'alimentation des réserves en eaux souterraines (IE).

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).

L'étude de ces paramètres est basée sur les données d'une période de (2005-2015) de la station pluviométrique d'El Hamma. Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau n°07 : les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma.

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

II.1. La climatologie :

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**).

L'étude des données climatiques permettant d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous renseignera sur :

- Le type du climat ;
- Le comportement hydro-climatologique ;
- Le bilan hydrologique soit calculé par des formules (ETP, ETR, R, I).

II. 2. Les facteurs climatiques:

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

II. 2.1. Température :

La température est un facteur qui varie dans le temps et dans l'espace. L'effet de cette variation est marqué au niveau de l'amplitude thermique et aussi au niveau des températures minimales et même maximales. (**Bneder ,2011**)

La température est un facteur très important, régissant le phénomène d'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les données sur la température dont on dispose sont des valeurs moyennes mensuelles et annuelles mesurées à la station Météorologique d'El Hamma durant la période (2005-2015)

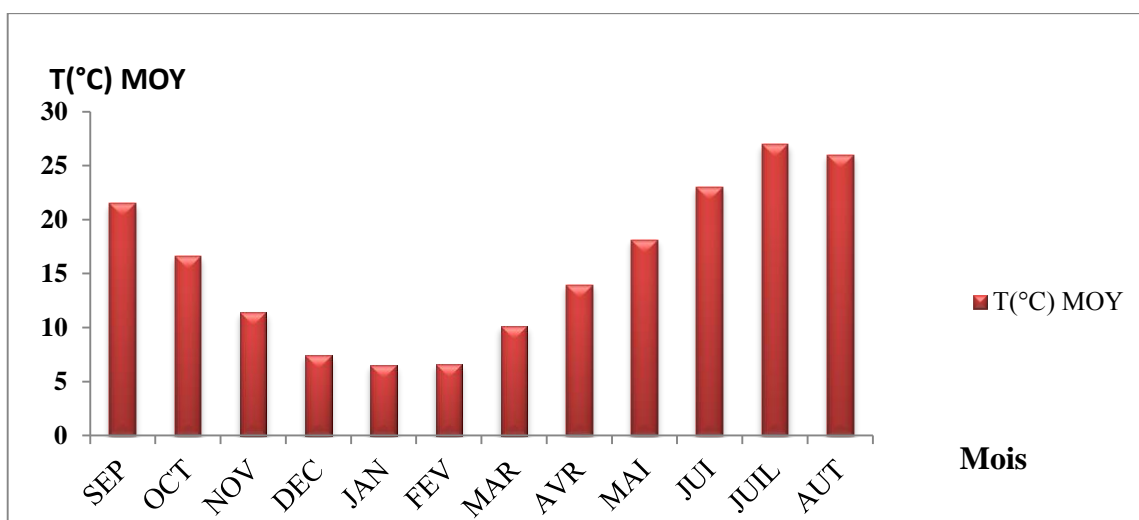


Figure n°15: Répartitions de la température moyenne mensuelle de la période (2005-2015).

L'analyse de l'histogramme des températures enregistrées à la station météorologique. Montre L'existence d'un hiver froid très vigoureux comportant une moyenne de 6.49°C le mois de janvier et un été chaud durant la saison estivale avec une moyenne de 26.94 et 26 °C en Juillet, Aout.

Tableau n°08 : Température enregistrée à la station d'El Hamma (2005-2015).

Paramètre	T(°C) Moy min	T(°C) Moy max	T (°C)Moy	Amplitude:M-m
SEP	15.35	27.70	21.52	12.35
OCT	11.41	21.75	16.58	10.34
NOV	6.35	16.42	11.39	10.06
DEC	2.78	12.07	7.43	9.29
JAN	1.78	11.20	6.49	9.42
FEV	1.90	11.24	6.57	9.34
MAR	4.56	15.60	10.08	11.04
AVL	7.72	20.15	13.93	12.43
MAI	11.20	25.04	18.12	13.84
JUI	15.48	30.57	23.03	15.09
JUIL	18.88	35.01	26.94	16.13
AUT	18.11	33.91	26.00	15.80

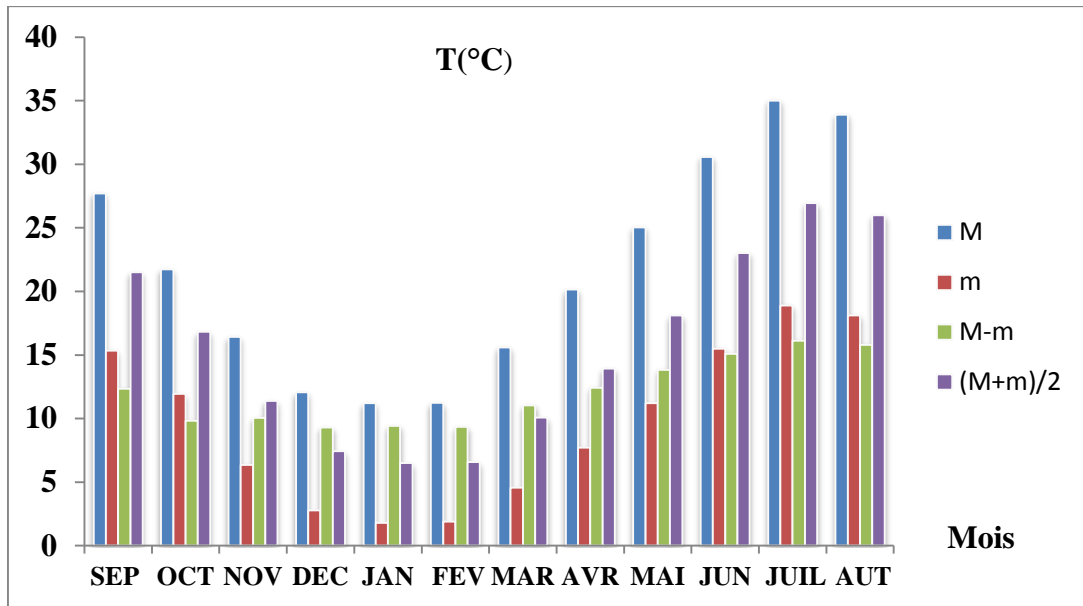


Figure n°16: La répartition des températures moyenne (max, min, moy, Amplitude) de la station de « El Hamma » pendant la période (2005-2015).

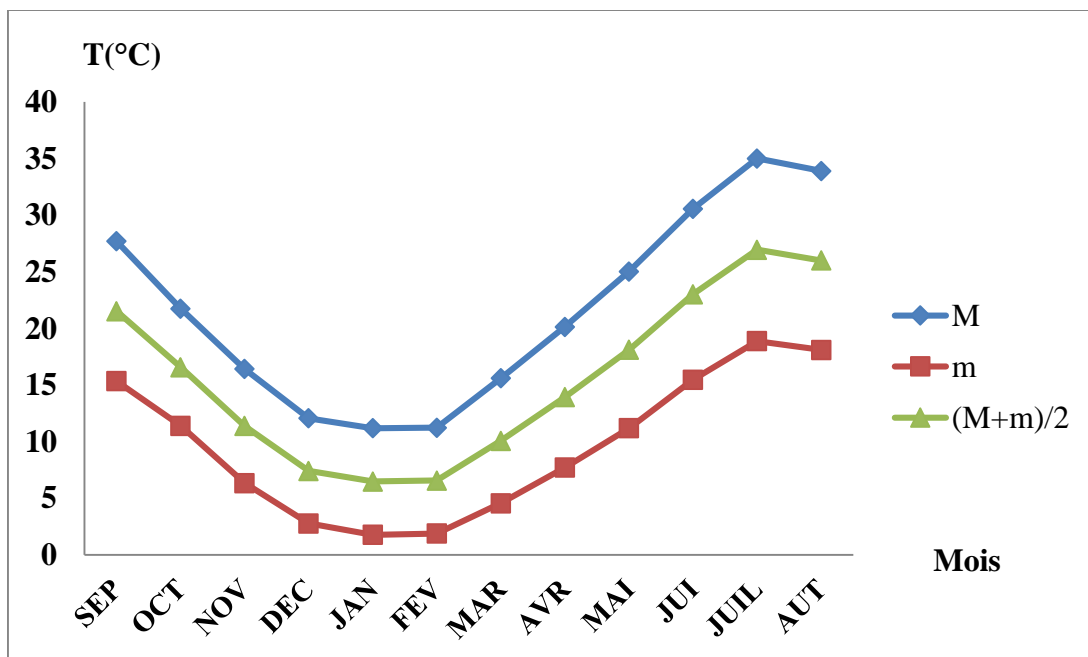


Figure n°17: La répartition des températures moyenne (max, min, moy) de la station de « El Hamma » pendant la période (2005-2015).

II.2.2. La pluviométrie

Le terme « précipitations » englobe toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, que ce soit sous forme liquide (pluie) ou sous forme solide (neige, grêle).

Pour les plus grands partis du monde, les précipitations représentent la source principale d'eau pour la production agricole. Elles sont caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon les lieux, les jours, les mois et aussi les années (Gérard, 1999).

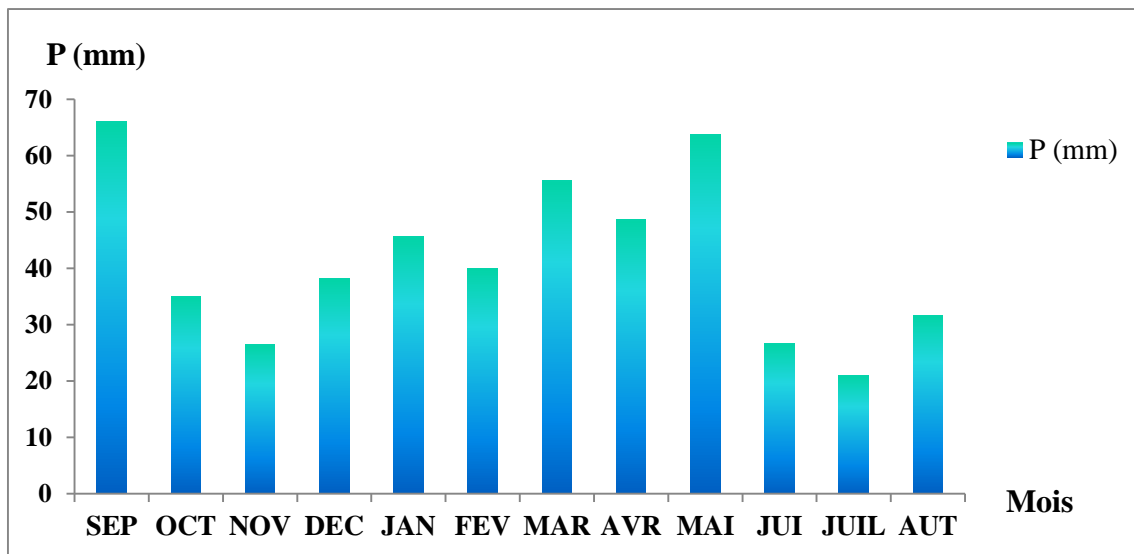


Figure n°18: précipitations moyenne mensuelle de de la station de « El Hamma » pendant la période (2005-2015).

La figure montre que les précipitations moyennes mensuelles de la période (2005-2015) sont de 498,31 mm. Le mois le plus pluvieux est septembre avec une moyenne mensuelle de 66.03mm, par contre le mois le plus sec est juillet avec une moyenne mensuelle de 20.93 mm.

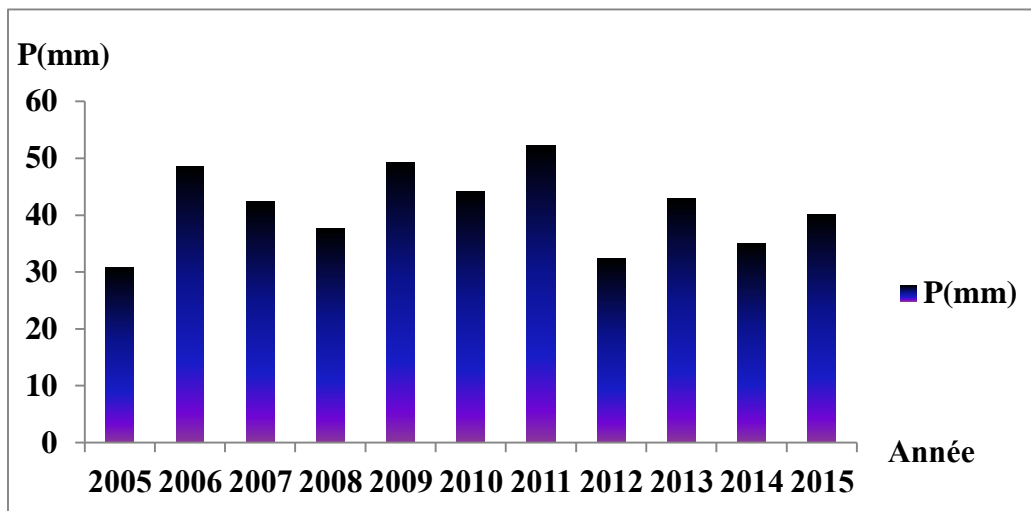


Figure n°19 : Précipitation moyenne annuelle de la station de « El Hamma » pendant la période (2005-2015).

La figure montre que l'année la plus pluvieuse étant 2011, avec une moyenne annuelle de 52.19mm. L'année 2005 étant la plus sèche avec une moyenne annuelle de 30.72mm.

II.2.3. Le vent :

Le vent constitue certains biotopes un facteur écologique limitant. Sous l'influence des vents violents, la végétation est limitée dans son développement. Les arbres prennent un port en drapeau, leur tronc étant souvent incliné et leurs branches étant orientées dans la direction opposée à celle des vents dominants (**Ramade, 2003**).

Tableau n°09 : La vitesse moyenne du vent (m/s) enregistrée à la station d'El Hamma (2005-2015)

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AUT
Vent (m/s)	2,69	2,68	3,29	2,78	3,25	4,03	4,02	3,69	3,36	3,36	2,93	2,92

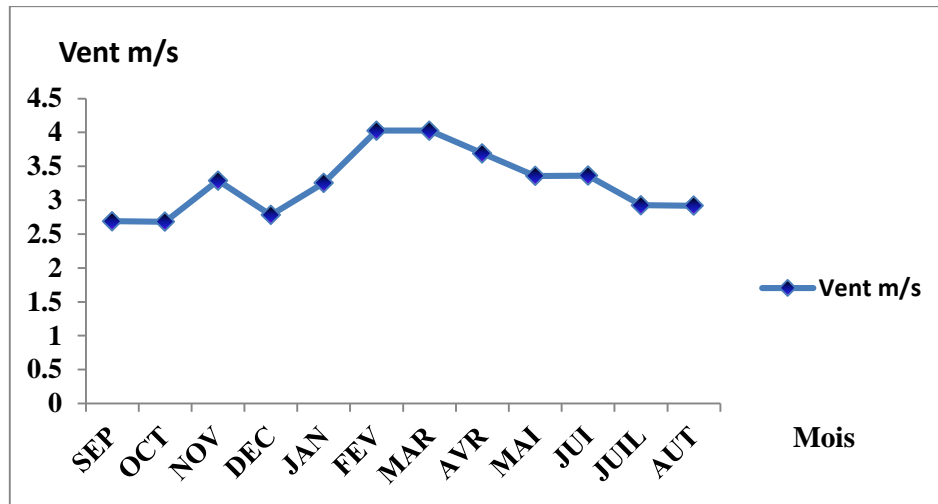


Figure n° 20: La répartition moyenne de la vitesse de vents de la période (2005-2015).

On remarque que la moyenne du vent le plus fort pendant cette période (2005- 2015) est enregistrée au mois de février avec 4.03 m/s. Par contre le mois d’octobre ont des vitesses faibles du vent avec 2.68 m/s.

II.2.4. Evaporation

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).

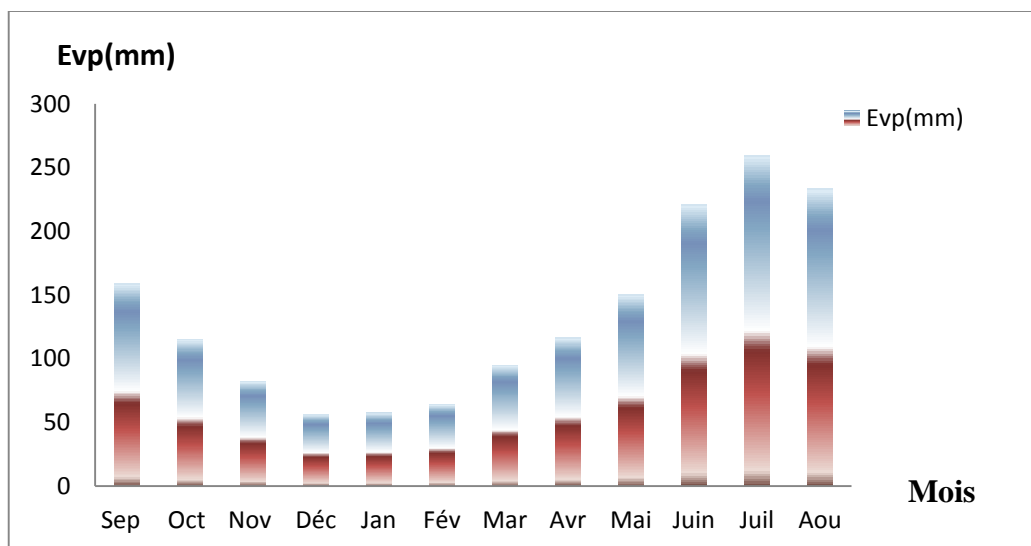


Figure n°21: La répartition moyenne mensuelle de l’évaporation de la période (2005-2015)

L'évaporation moyenne variée d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de 259.67 mm et la valeur minimale est enregistrée en décembre avec une moyenne de 56.5mm. L'évaporation moyenne annuelle est 132.55 mm comme l'indique la figure (n°22)

II .2.5. L'humidité

Les échanges de vapeur d'eau des couverts végétaux dépendent en premier lieu de l'humidité de l'air atmosphérique. Il est donc utile de rappeler un certain nombre de Définitions qui lui sont relatives (Cretinon, 1994).

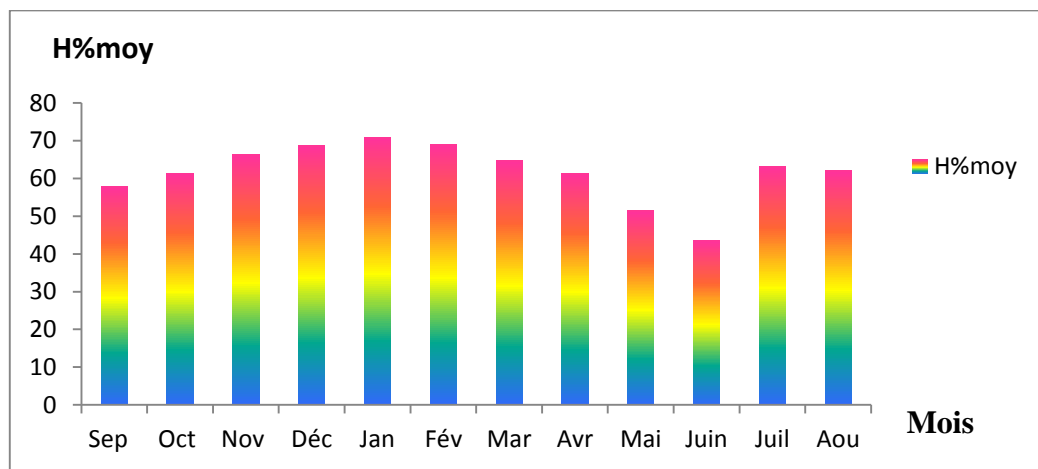


Figure n°22 : La répartition moyenne mensuelle d'humidité de la période (2005-2015).

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 janvier avec 70.90% ce qui explique qu'il est le mois le plus humide, alors que le pourcentage le plus faible est enregistré durant le mois de juin avec 43.58%.

II.2.6. La Neige :

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

Tableau n°10 : N^{bre} des jours de tomber de neige enregistrée à la station d’El Hamma

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AUT
Nbr des jrs	0	0	0	0,91	1,27	1,73	1,27	0,18	0,09	0	0	0

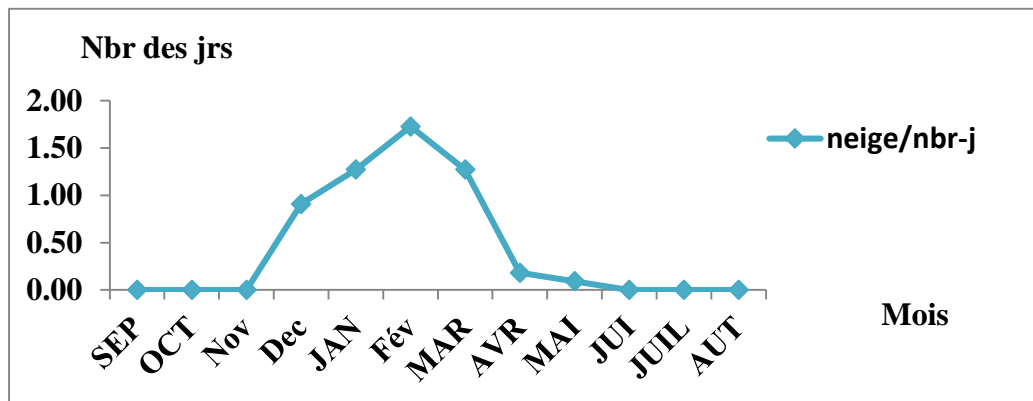


Figure n°23 : La répartition moyenne mensuelle de neige de la période (2005-2015).

La figure montre que les nombres des jours de neige est presque négligeable toute l’année à l’exception de 05 mois (décembre – janvier – février – mars et avril). Le maximum des jours est enregistré au mois de février avec moyenne de 1.8 jours.

II.2.7. L’Orage :

L’Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.) définit l’orage comme l’observation d’au moins une décharge électrique dans un nuage, accompagnée par un grondement de tonnerre (Keraunos, 2013).

Tableau n°11 :N^{bre} des jours de tomber de l'orage enregistrée à la station d'El Hamma(2005-2015).

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AUT
Nbr des jrs	4,36	1,27	0,27	0	0	0,09	0,82	1,27	3,55	3	3,27	3,82

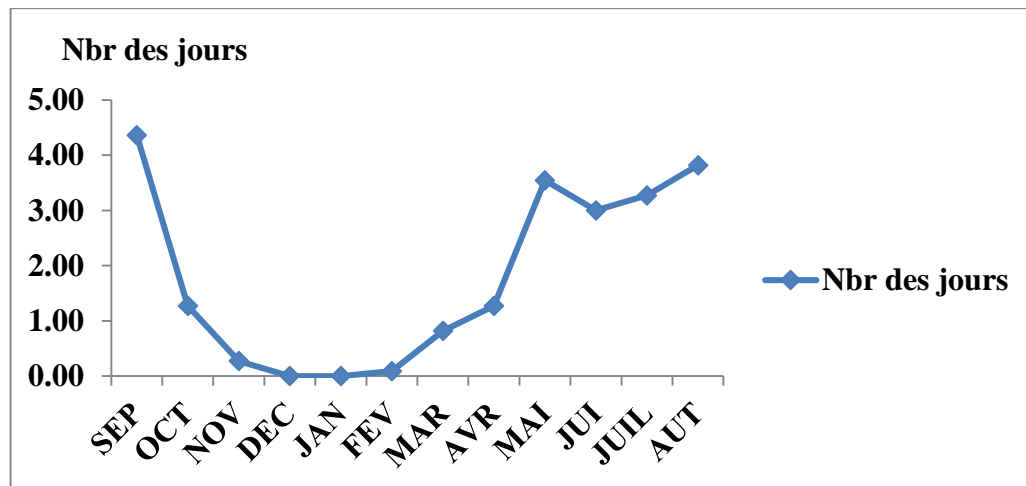


Figure n°24 : La répartition moyenne mensuelle d'orage de la période (2005-2015).

A partir de la figure on constate que l'orage s'étale sur une durée de 11 mois de février jusqu'au novembre, le maximum étant au mois de septembre avec une moyenne de 4 .36 jours d'orage.

II.2.8. La Grêle :

La grêle est constituée de particules de glace de diamètre compris généralement entre 5 et 50 mm (jusqu'à 15 cm pour un poids de 1 kg dans certains cas exceptionnels), appelées grêlons. C'est un phénomène relativement rare mais spectaculaire et dangereux en aéronautique. (G.P.M.F, 2013).

Tableau n°12: N^{bre} des jours de tomber grêles enregistrée à la station d'El Hamma .

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AUT
Nbr des jours	0	0,91	0	0	0	1,82	3,64	0,91	1,82	1,82	0	0,91

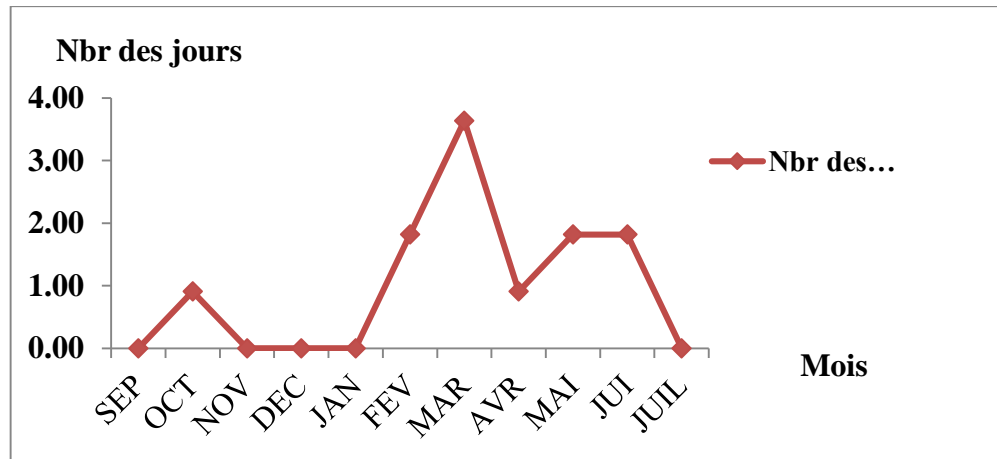


Figure n°25 : La répartition moyenne mensuelle de Grêle de la période (2005-2015).

La figure montres que la grêle n’est pas fréquente dans la région, le maximum est enregistré au mois de mars avec une moyenne de 3.6 jours de grêle, et manque dans cinq mois qui sont: Janvier, juillet, septembre, novembre et décembre.

II.2.9. Les gelées:

Les gelées sont en général dues à l’interaction de deux phénomènes : le passage d’une masse d’air froid, et les pertes de chaleur excessives par rayonnement ou par évaporation.

Tableau n°13: N^{bre} des jours de tomber de gelée enregistrée à la station de El Hamma.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT
Nbr des jours	0	0	0,73	5,64	6,91	4,64	2,64	0,18	0	0	0	0

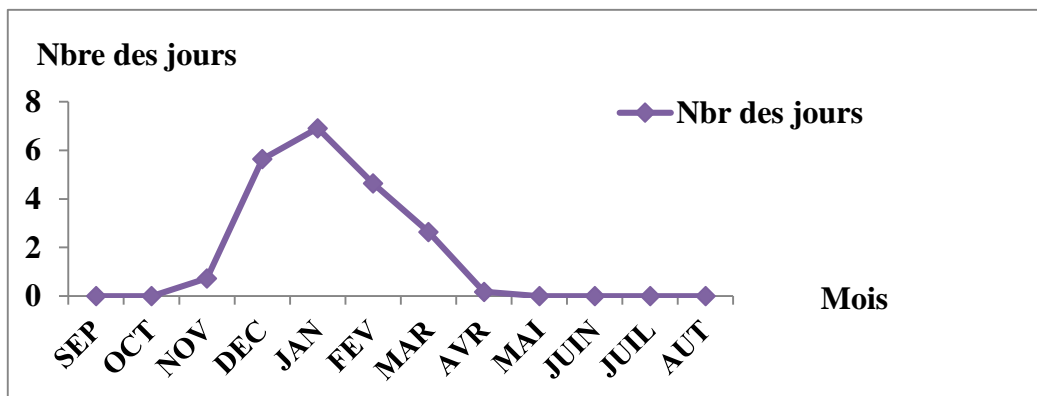


Figure n°26 : La répartition moyenne mensuelle de gelée de la période (2005-2015).

Les gelées sont fortement influencées par l'altitude et engendrées par les baisses températures. Elles sont fréquentes en hiver et surtout au printemps. Elles provoquent un grave dégât sur les jeunes plantes. La gelée s'observe à partir de mois d'octobre pour atteindre le maximum de moyenne des jours de gelées au mois de janvier (6.9 jours).

II.3.La synthèse climatique :

L'intérêt de la représentation synthétique du climat est de permettre le classement du climat d'une zone donnée par rapport aux différents types de climats définis selon leur degré d'aridité. En effet, ce classement est basé sur des indices climatiques associant des éléments météorologiques de l'atmosphère.

II 3.1.L'indice d'aridité de Martonne :

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).

Tableau n°14 : Les valeurs d'indice d'aridité de Martonne

Valeur d' I_a	Type de climat
$0 < I_a < 5$	climat hyper-aride
$5 < I_a < 7.5$	climat est désertique
$7.5 < I_a < 10$	climat est steppique
$10 < I_a < 20$	climat semi-aride
$20 < I_a < 30$	climat est tempéré
$I_a > 30$	climat est humide

***Indice d'aridité annuelle de De Martonne**

De Martonne (1923) a défini un indice appelé « indice d'aridité annuel « I », donné par :

$$I_a = P / (T + 10)$$

Avec:

I_a: indice d'aridité

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

T: températures moyennes annuelles (°C).

Le tableau (n°16) montre la température moyenne annuelle, la précipitation moyenne annuelle, et l'indice d'aridité calculé pour la station d'El Hamma, sur la période (2005-2015).

Tableau n°15 : Indice de l'aridité.

P (mm)	T (C°)	I_a
455.47	15.58 °	17.80

Le résultat du calcul de l'indice de DE MARTONNE, est conforme aux valeurs attendues pour la zone de climat semi-aride. (figure 28)

*** Indice d'aridité mensuel de De. Martonne :**

Un indice d'aridité peut être calculé par mois : Il est défini par :

$$a = 12p / (t + 10)$$

p: précipitations mensuelles moyennes (mm)

t : températures mensuelles moyennes (C°)

Les valeurs de l'indice d'aridité mensuel sont reportées au tableau n° 18

Tableau n°16: Les valeurs d'indices d'aridité mensuels (a) de De. Martonne, à la Station D'El Hamma (2005/2015)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
P (mm)	45,5	40,0	55,6	48,7	63,7	26,6	20,9	31,7	66,0	35,0	26,4	38,1
T (°C)	6,5	6,6	10,1	13,9	18,1	23,0	26,9	26,0	21,5	16,6	11,4	7,4
a	33,1	29,0	33,2	24,4	27,2	9,7	6,8	10,6	25,1	15,8	14,8	26,2

D'après les résultats, le mois de Janvier et Mars classé comme humide et les mois de Février, Avril, Mai, Septembre, et Décembre sont caractérisés par un régime tempéré, et les mois d'Aout, Octobre et novembre sont caractérisés par climat Semi-aride, tandis que le reste des mois sont aride.

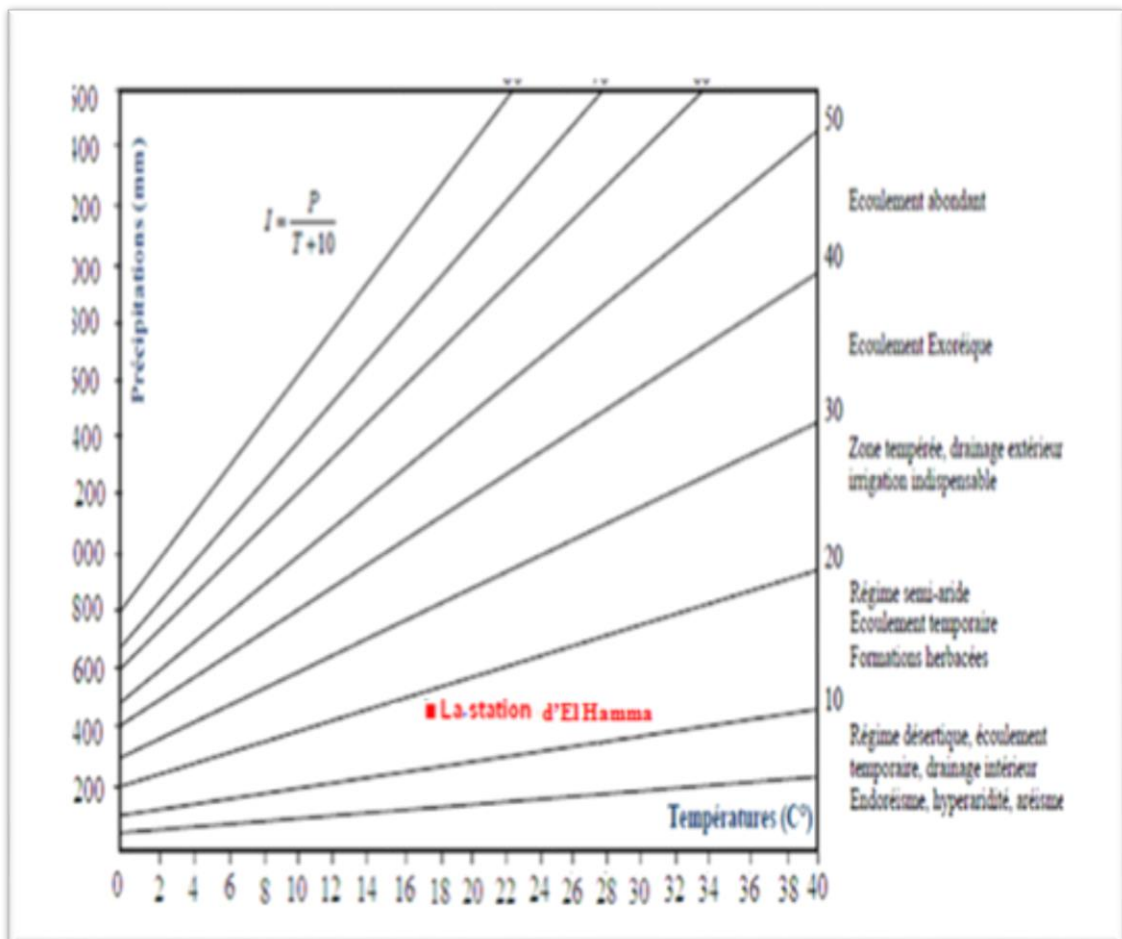


Figure n°27 : l'indice d'aridité annuel de Martonne.

II.3.2. Diagramme ombro-thermique de Gaussen (1952) :

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 totales inférieures ou égales au double de la température : $P \leq 2T \Rightarrow$ période sèche.

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double des températures : $P=2T$ (indice de Gaussen) Avec ;

P : précipitations moyenne mensuelle en mm ;

T : température moyenne mensuelle en °C.

Le diagramme de Gaussen, fournie une représentation plus concrète du climat au cours de l’année.

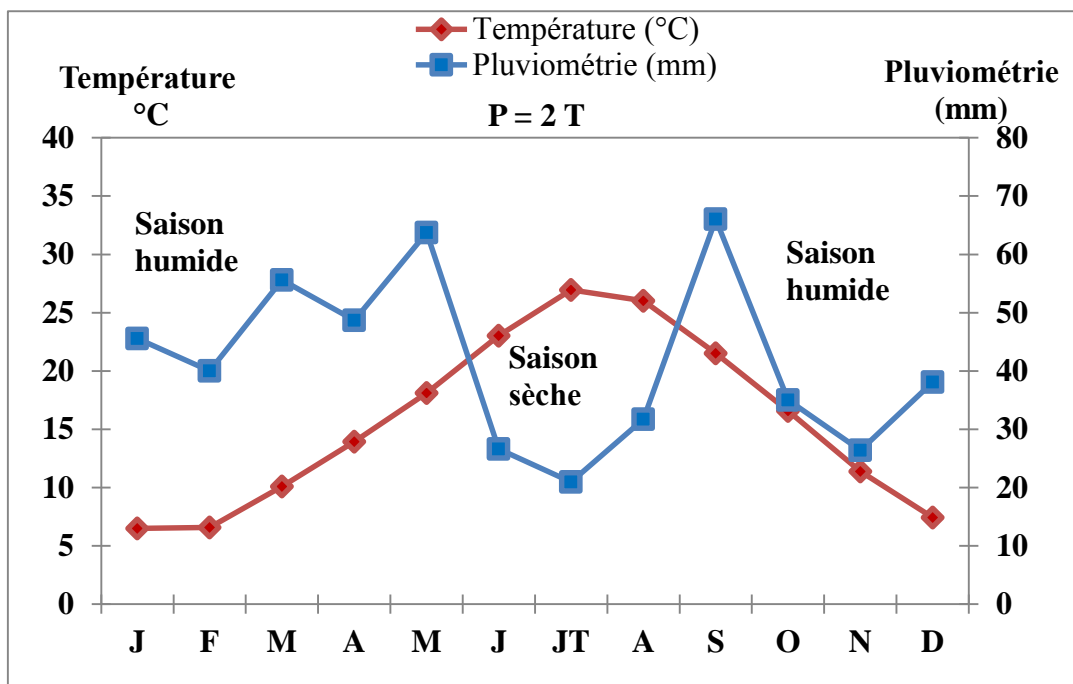


Figure n°28 : Diagramme Ombrothermique (Station d’El Hamma 2005-2015).

Ce diagramme montre que la période sèche s’étale pendant trois mois allant de la moitié de mai jusqu’au la moitié août, cette sécheresse devienne plus accentuée au juillet.

II.3.3. Le diagramme de Quotient pluviothermique L'Emberger:

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L. Emberger sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station de El Hamma avec en abscisse la moyenne de la température minimale (en °C), et en ordonnée Q2 donné par la formule suivante:

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

Avec:

- Q: quotient pluviométrique d'Emberger.
- P: précipitations moyennes annuelles en mm.
- M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, en degré absolu T°C+ 273(°K).
- m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid, en degré absolu T°C+ 273 (°K).

Tableau n° 17: Indice d'Emberger.

P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q
455.47	308.21	274.78	47.02

*la température moyenne des minimums est de l'ordre: 1.78°C

La valeur du Q de la station d'el Hamma est de 47.02, en reportant cette valeur sur le climagramme d'EMBERGER qui comporte, en ordonnées les valeurs du Q et en abscisses, la moyenne des minima du mois le plus froid (janvier) en degré (°C), on peut constater que la région est soumise à un climat « **semi-aride** ».

Utilisant ce climagramme avec la valeur obtenue (**Q₂= 47.02, m=1.78°C**), on trouve que la commune de M'toussa est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

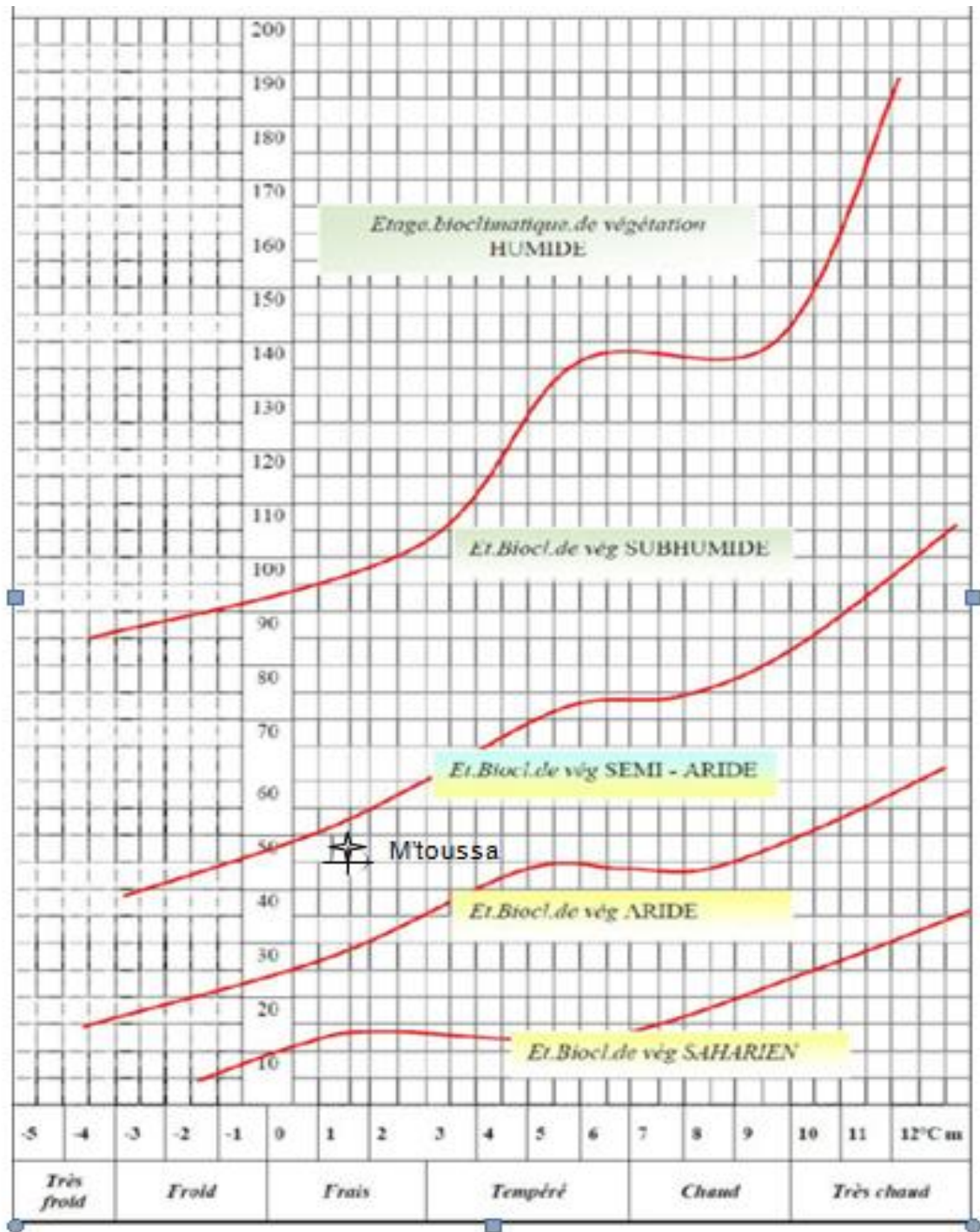


Figure n°29: Climagramme de L'emberger pour la plaine de M'toussa .

II.4. Le bilan hydrologique :

L'application des différentes méthodes pour le calcul du bilan hydrologique montre que, lorsque l'on s'intéresse à des régions à déficit hydrique, l'estimation du bilan devient un véritable exercice d'équilibre (**Diafallah, 2008**).

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

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation annuelle en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle;

R : Ruissellement en mm ;

I : Infiltration annuelle en mm.

II.4.1. Évapotranspiration potentielle ETP :

L'ETP est un facteur déterminant dans l'évaluation du bilan hydrique d'une région. C'est un phénomène important du cycle hydrologique. Elle résulte de deux Phénomènes, l'un physique; l'évaporation et l'autre biologique; la transpiration.

Le phénomène d'évapotranspiration réelle et potentielle peut être mesuré directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évaporomètre, grâce également à des lysimètres, ou calculer par des formules empiriques telles que celle de Turc ou de Thornthwaite ...etc.

b. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) :

Nous utilisons deux formules pour l'estimation de l'ETP, qui sont :

b.1. Formule de Thornthwaite : Cette formule est basée sur l'analyse mensuelle des Diverses Composantes du bilan hydrique : on calcule pour chaque mois la différence entre Les Précipitations et l'évapotranspiration, compte tenu de l'humidité du sol. La formule de

Thornthwaite, établie en 1948, ne tient compte que de la température :

$$\text{ETP (mm)} = 16 \left(\frac{T}{I} \right)^a \cdot k$$

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée (mm)

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad \Leftrightarrow \quad I = \sum_{1}^{12} i$$

T = température moyenne mensuelle en °C

$$a = [16 I/100] + 0.5$$

K : coefficient de correction dépendent de la latitude du bassin versant et donc de

L'insolation.

a : indice liée à la température.

- **I** : indice thermique annuel obtenu à partir de la somme des valeurs mensuelles de

Température. la formule de Thornthwaite ;

b.2. la formule de Serra :

$$\text{ETP} = (1,6 \cdot 10T / I)^a$$

Avec :

$$I = \sum i \quad \text{avec} \quad i = 0.002 T^3$$

$$a = 1.6 (I/100) + 0.5$$

II.4.2. Evapotranspiration Réelle (ETR)

a / Définition : c'est une fraction de l'ETP qui dépend beaucoup plus de l'état des réserves

En eau du sol, et donne des informations sur la quantité d'eau évaporée réellement

b/ Estimation de l'évapotranspiration Réelle (ETR) : l'évapotranspiration réelle

Annuelle moyenne est calculée par l'application des équations empiriques telles que celles de Turc

• **Formule de Turc :**

$$E.T.R \text{ (mm)} = P / \sqrt{0.9 + P^2/L^2} \quad \text{ou} \quad ETR = P/[0.9+P^2/L^2]^{0.5}$$

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

Avec:

ETR: évapotranspiration réelle (mm/an);

P: précipitation moyenne annuelle (mm);

L: paramètre arbitraire lié à la température (pouvoir évaporant de l'atmosphère);

T: température moyenne annuelle (°C).

Le résultat est reporté au tableau (n°20), ci-dessous

Application numérique:

Tableau n°18 : Calcul d'ETR par la méthode de Turc.

Station	P (mm)	L	T (°C)	ETR (mm/an)
El Hamma	455.47	878.6	15.58	421.30

4.2.2. L'ETR selon la C.W.Thornthwaite :

L'évapotranspiration réelle représente la quantité de vapeur d'eau effectivement dégagée vers l'atmosphère par le sol et les végétaux.

La détermination de l'ETR est fonction de l'ETP et la quantité d'eau disponible (Pluie + RFU).

- **Si $ETP=P$** , il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifie pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- **Si $ETP>P$** , On a $ETR=ETP+RFU$, un déficit apparaît, une partie de RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETP. L'évapotranspiration agit donc sur le sol. Aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- **Si $ETP<P$** , on a $ETR=ETP$ (Dali, 2009).

Evapotranspiration réelle est liée à la réserve en eau disponible. Nous considérons deux possibilités :

- Si : $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$

- Si : $P < ETP$ on a deux conditions : $\left\{ \begin{array}{l} ETP = ETR ; \text{ s'il y a la réserve.} \\ ETR = P ; \text{ s'il n'y a pas de réserve} \end{array} \right.$

II.4.3. Estimation du ruissellement et de l'infiltration :

La formule donnant le bilan hydrologique est la suivante :

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

Avec :

P:Précipitation (mm) ; R : Ruissellement (mm) ; I:Infiltration (mm) ; ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

- **Le Ruissellement**

Le ruissellement est donné par la méthode de TIXERONT et BERKALLOF

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

Avec :

R : Ruissellement annuel (mm) ;

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle (mm) ;

P : Pluviométrie annuelle moyenne (mm) ;

Application numérique:

P=498,3mm ETP=855,4mm Ce qui donne R=56.36mm

II.4.4. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable) :

La réserve hydrique d'un sol, peut être définie comme la quantité maximale d'eau dont peut disposer la végétation pour son alimentation lors des déficits pluviométrique. Cette réserve est utile à la végétation, d'où le nom de « réserves utile ».

En général la RFU maximale généralement admise correspond à la hauteur de 100 mm d'eau. Dans la zone aride ou semi-aride, cette valeur maximale peut être ramenée à 50 mm du fait que le sol n'est pas toujours saturé (**Dali, 2009**).

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle ;
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;
- Le climat de la région ;
- Le type de la couverture végétale.

Dans notre cas, on prend une valeur de la RFU égale à 100 mm.

Tableau n° 19: Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de C .W. Thornthwaite.

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	21,52	9,1	1,04	100,5	66,03	-34,5	-0,3	0,0	0,0	66,0	34,5	0,0
O	16,58	6,1	0,98	61,7	35,00	-26,7	-0,4	0,0	0,0	35,0	26,7	0,0
N	11,39	3,5	0,85	28,4	26,39	-2,1	-0,1	0,0	0,0	26,4	2,1	0,0
D	7,43	1,8	0,84	13,7	38,11	24,4	1,8	24,4	24,4	13,7	0,0	0,0
J	6,49	1,5	0,86	11,3	45,54	34,2	3,0	34,2	58,6	11,3	0,0	0,0
F	6,57	1,5	0,85	11,4	40,03	28,7	2,5	28,7	87,3	11,4	0,0	0,0
M	10,08	2,9	1,03	28,1	55,59	27,5	1,0	12,7	100,0	28,1	0,0	14,7
A	13,93	4,7	1,09	50,9	48,69	-2,2	0,0	-2,2	97,8	50,9	0,0	0,0
M	18,12	7,0	1,21	88,3	63,73	-24,6	-0,3	-24,6	73,2	88,3	0,0	0,0
J	23,03	10,1	1,21	131,8	26,58	-105,2	-0,8	-73,2	0,0	99,8	32,1	0,0
J	26,95	12,8	1,23	174,2	20,93	-153,3	-0,9	0,0	0,0	20,9	153,3	0,0
A	26,01	12,1	1,16	155,0	31,69	-123,3	-0,8	0,0	0,0	31,7	123,3	0,0
Année	15,7	73,2		855,4	498,3	-357,1				483,6	371,8	14,7

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

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

donc: **EXC = P - ETR** ET **BH: le bilan hydrique: BH = RFU - DEF**

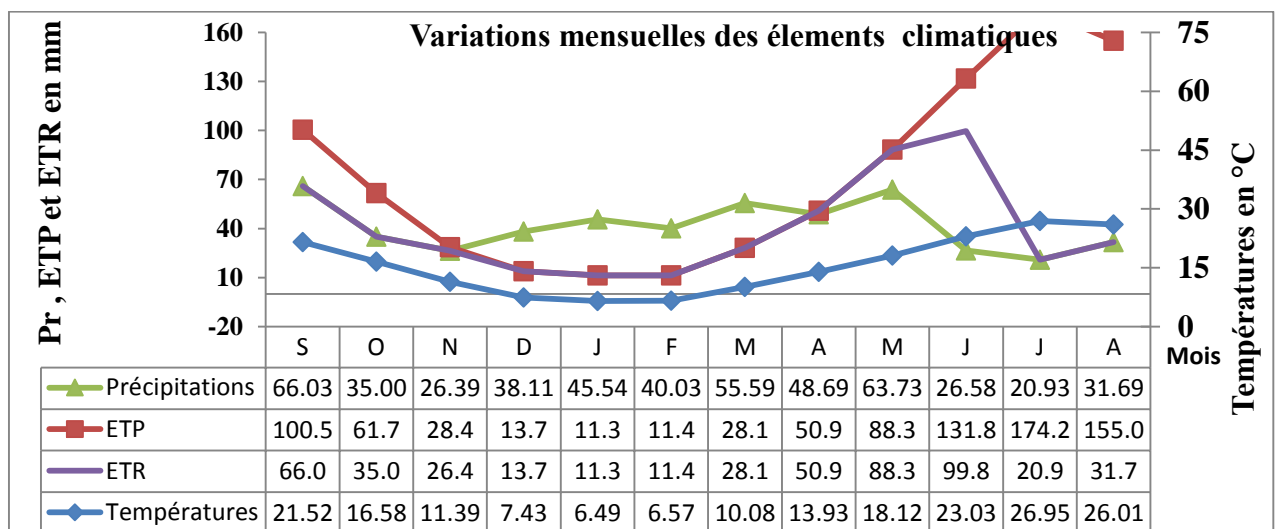


Figure n°30 : Variation mensuelles des éléments climatiques de la station d'El Hamma (2005-2015).

➤ La figure (n°31) montre que :

- la précipitation et ETP et ETR et la température sont commencés à se diminuer dans la période de septembre jusqu'à novembre.
- Les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) de Décembre jusqu'au mars. C'est la période d'alimentation des aquifères.
- Evapotranspiration potentielle devient supérieur à la précipitation de avril jusqu'au Novembre. Et atteint son maximum au mois de juillet (174,72 mm).

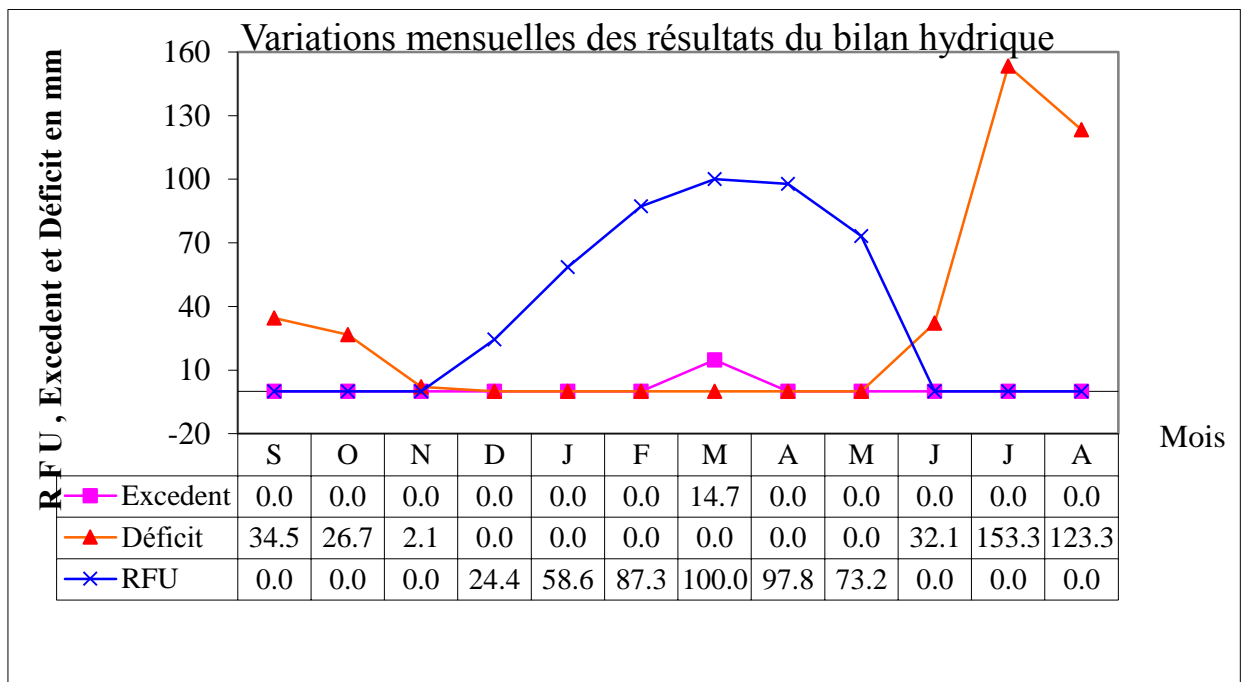


Figure n°31 : Variations mensuelles des résultats du bilan hydrique.

➤ La figure (n°31) montre que :

- RFU deviennent supérieures à déficit de décembre jusqu'au mai où le déficit est nul dans cette période
- La période de déficit agricole est commencée à augmenter à partir le mois de juin jusqu'à novembre
- Excédent est égale 14.7 de mois de mai est les autres mois elle est nulle

II.4.5. 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 11 ans (2005–2015), sont estimées à 455.73m.
- * Les températures moyennes mensuelles varient entre 6.49°C et 26.95 °C, avec une moyenne mensuelle 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'novembre. Les autres mois de décembre 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.
- * Le déficit agricole (DA) estimé est de 371.8 mm étalé sur la période allant de Juin jusqu'à Novembre.
- * La RFU commence à reconstituer à partir du mois de décembre avec 24.4 mm pour atteindre son maximum de 100 mm durant le mois de Mars.

Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de trois 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 le forte de ses précipitations. Les précipitations moyennes annuelles pour la période (2005-2015) sont de 455.73mm.

La température moyenne est de 15.7°C pour la période (2005-2015), avec un maximum de 26.95 °C au mois de juillet et un minimum au mois de janvier 6.49°C.

Le ruissellement égale 56.36mm.

L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite nous donne 855.4mm pour la période (2005-2015), l'évapotranspiration réelle est de 483.6 mm pour la même période, cette valeur va servir dans le calcul du bilan hydrique.

Conclusion générale

Conclusion générale

La commune de **M'Toussa** est située dans la partie Nord-est de la wilaya de khenchelas'étend sur 118 Kilomètres carrés et abrite une population de 6 650 habitants, donnant une densité démographique de 56.4hab /km².Le représente le prolongement de la plaine de Remila ce qui lui confie des caractéristiques spéciale de point de vue climats, et source hydrique et géologique.

C'est une commune qui caractérise par un relief plat avec une zone d'épandage de crue des eaux salé appelé SBIKHA.

D'après les études géologiques réalisées dans la région, on peut conclure que la plaine de M' toussa, est constituée par une formations géologique quaternaire qui couverte la plus part de la surface de la commune.

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de trois 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 le forte de ses précipitations. Les précipitations moyennes annuelles pour la période (2005-2015) sont de 455.73mm.

La température moyenne est de 15.7°C pour la période (2005-2015), avec un maximum de 26.95 °C au mois de juillet et un minimum au mois de janvier 6.49°C.

L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite nous donne 855.4mm pour la période (2005-2015), l'évapotranspiration réelle est de 483.6 mm pour la même période, cette valeur va servir dans le calcul du bilan hydrique. Et ruissellement égale 56.36mm.

L'étude Hydrochimique a permis de caractériser les principaux paramètres physicochimiques des échantillons d'eau prélevés au cours de la campagne de terrain du Avril 2016. On a pu distinguer une liaison de cause à effet entre la géologie et le chimisme des eaux souterraines

Au terme de ce chapitre, il a été constaté ce qui suit, les analyses physico-chimiques nous en révélé que les concentrations les plus élevées en la matière, sont rencontré dans la formations géologiques récentes du quaternaire.

Conclusion générale

Les diagrammes de PIPER, et SCHOELLER-BERKALOFF ont montré que les faciès chimique est chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, (10% sulfatées magnésienne, 10% sulfatée calcique et 80% chlorurée calcique).

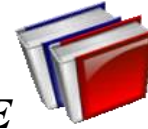
Il y'a lieu de dire que la majorité des éléments dont leurs concentrations ont dépassé les normes admissibles ce qui se répercute sur la qualité des eaux de notre zone d'étude. Ces eaux sont dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive et peuvent entraîner aussi des risques de salinisation des sols.

Pour plus d'évaluation des eaux pour des fins d'irrigation, nous avons procédé à des calculs de quelque paramètres (Diagramme Wilcox, SAR, Na%), ont permettre de classé nos eaux ont un pouvoir Alcalinisant faible. Et la qualité de l'eau passe du admissible à mediocre pour irrigation.

Enfin il y a une forte corrélation entre les éléments majeurs entre eux et conductivité électrique permise indique elle-même formation géologique sauf le sodium et les nitrates, ces derniers à une origine anthropique.



LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIE



- **Allali , A.,2004.**Cartographie de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau des zones humide de la Numidie.
- **ANDI., 2013.**Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages 06, 10.
- **Ballara, S., 2005.**Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli .Thèse de Magistère. université Mentouri Constantine, Algérie. 260p.
- **Belhamdou, N. , 2013.**Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de In Salah. Thèse de Master. Université d'Ouargla , Algérie .63p.
- **Bneder, 2011,** (Bureau National D'étude pour Le Développement Rural). Étude de classement de la cédraie de Beni Oudjana et Ouled Yagoub en parc national. pp33-51.
- **C.G.G., 1969.** Les prospections Géophysique de la plaine de Rémila. La Direction d'Hydraulique de la wilaya de Khenchela, Réalisé par compagne Générale de la Géophysique 1969.
- **C.P.H., 1977.** Proposition de réalisation d'étude et projets d'aménagement hydro - agricole de la plaine de Rémila. Rapport de CONSORTIUM PROJECTUM-HIDROESB, Rio de Janeiro Janvier 1977. 100 p.
- **CF., 2015.**Données statistique et rapport administratif. conservation des forêts de la Wilaya de khenchela, service des statistiques, Mai 2015
- **Cretinon, B., 1994.** Définition des principaux paramètres utilisés en hygrométrie, Bulletin du Bureau National de Métrologie, 25 (98), 3-6 (1994).
- **D.H.W.K., 2012.**Direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela, service des statistiques 2012
- **D.P.A.T., 2011.** Documentation et données statistiques. Service d'aménagement. Direction de la planification et l'aménagement du territoire de la Wilaya de Khenchela.

- **Daifallah ,T.,2008** . Ressources en eau et gestion intégré dans le bassin versant de l'oued kebir Ouest Nord Est Algérien- Mémoire de magister. Université de Annaba 68 P.
- **Dali, N., 2009** .Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de Gareat EL TARF. Thèse de Magistère. université de Constantine, 132p.
- **Darbouche , A., 2011**.Glossaire de microbiologie générale, 1ère édition Aksa Constantine p70.
Du barrage de Babar sur Oued el Arab région est de l'Algérie. Mémoire magister.
- **G.P.M.F., 2013**.Guide Pratique Météo France, Edition 2012/2013, 64p
- **Gaagai, A., 2009**.Etude hydrologique et hydrochimique du Bassin versant du barrage de Babar sur Oued El Arabe région Est de l'Algérie. Mémoire Magister, université de Batna Faculté des sciences de l'Ingénieurs, Département d'Hydraulique. 130 p.
- **Gaagai, A., 2006** .Etude hydrologique et hydrochimique de bassin versant
- **Gérard, G., 1999**. climatologie de l'environnement 2ème édition Dunod, paris, p287.
- **Glinka, N., 1977** .chimie générale. Sous la réduction de V.RABINOVITCH. Tome II. éd. Mir Moscou. p 576.
- **Guiraud, R., 1973**. évolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et de régions voisines. Thèse SCI. Université. Nice, 270p
- **Halitim , A., 1973** .Étude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3 eme cycle. Université de Renne.176p
- **Hezil, A., 2013**. Analyses physique-chimique des vapeurs d'eau thermale de Hammam K'nif, Mémoire Master, écologie et environnement, université de khenchela
- **Houha, B., 2007**. Etude des fonctionnements hydrogéochimiques et salins de bassin semi-aride de Remila Khenchela. Thèse de doctorat ; Institut hydrogéologique, Université de Annaba, 165p.
- **Khabthane, H., 2010** .Contribution à l'étude du comportement écophysologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides

de la région de Khenchela. Mémoire Magister. Université de Constantine. 152 p.

- **Laffitte , R., 1939.** Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull Serv. Carte Géol. Algérie, 2e série. 484p.
- **Lakhdhari, S., 2012.** Etude de la qualité des eaux de l'aquifère du bassin versant de Foum el Gueiss (wilaya de khenchela). Thèse de Magistere en Ecologie et Environnement
- **Lessard, L., 1952.** Elément de techno-géologie des barrages algériens et quelques ouvrages Annexes, le barrage de Foum El Gueiss. Tome I. XIX congres géologique international. 258p.
- **Lightfoot , N., 2002 .** Analyses microbiologiques des aliments et de l'eau London. pp. 59-126.
- **O.M.S., 2004.** Guidelines for drinking-water quality. Vol.1.Recommandations.
- **Ouldjaoui M., Djoudi, S., 2011.** Contribution à la question de l'origine du fer dans les eaux de la station de déminéralisation par osmose inverse d'ElOuldja (Sud de khenchela). Thèse de Master Académique en Écologie. Pp24, 66
- **Ramade, F., 2003.**élément d'écologie, écologie fondamentale 3ème édition Dunod, paris p99 .
- **Rejsek, F., 2002.** Analyse Des Eaux ; Aspects Réglementaires Et Techniques. Sceren. Paris. 360p .
- **René clemente et alain Galand ., 1979.** Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous peression, Edition Eyrollés, Paris, pp10-147.
- **Rodier, J., et coll. 2009.** L'analyse de l'eau (eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer) 9e édition. Dunod. 1526p.
- **Rodier, J., 1996.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition Dunod, Paris.
- **Vila .J.M., 1977 .**Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.
- **Zouaoui , A., 1990 .**Contribution à l'étude de l'évaluation des terres de la plaine de Remila (Kais W-Khenchela). Thèse de Magister en sciences Agronomique, université de BATNA, Institut d'Agronomie. 200p.

Résumés

Résumé

La pollution est un phénomène qui menace les ressources de l'univers. Et les ressources en eau à son tour sont ciblées. La connaissance de la qualité des eaux souterraines est un pré-requis et une nécessité pour la gestion des futurs projets et de maintenir de l'eau potable.

Dans notre recherche, nous avons étudié les propriétés physico-chimiques de 10 échantillons d'eau souterraine de la région de M'Toussa dans la wilaya de Khenchela. 80% de ces échantillons appartiennent à la famille de chlorure de calcium. Et après avoir comparé les résultats obtenus avec les normes de l'Organisation mondiale de la santé, il nous a parait que les échantillons examinés ne se conforment pas aux normes adoptées. Le tau élevé de la salinité enregistré est due principalement à la nature géologique de la région d'un part et pour l'utilisation d'engrais et de pesticides d'autre part.

Le diagramme de classification de l'eau d'irrigation nous montre les échantillons étudiées ont été classifiées acceptable à mauvais.

Mots clés: qualité de l'eau, les eaux souterraines, M'Toussa et analyses physico-chimiques, Organisation mondiale de la Santé (OMS)

Résumés

Summary

Pollution is a phenomenon which threatens our planet and our water resources so; we need to know the quality of underground water for future projects and for protecting drinkable water.

In our research, we have focused on studying and analyzing the physiochemical characteristics of 10 samples of groundwater from a region in M'toussa (Khenchela). We have found that these samples belong to chloride calcic family (80%). After making a comparison between the results of our research and the norms of WHO (world health organization), We have found that the analyzed samples did not correspond to the norms of (WHO). The interpretation of correlation ratios of the chemical elements shows that the acquisition of the underground water mineralization depends on the crossing geological substratum, in addition to the use of pesticides and fertilizers.

After the analysis of the Wilcox and Riverside diagrams of irrigation, we have found that the quality of these 10 samples can be classified into acceptable and bad

Keywords: quality of water, underground water, M'toussa, the physiochemical analysis, WHO

ملخص

التلوث ظاهرة تهدد الكون والموارد المائية بدورها مستهدفة لذا يستلزم معرفة نوعية المياه الجوفية التي تعد شرط أساسي وضرورة حتمية من أجل إدارة مشاريع مستقبلية و المحافظة على الماء الشروب .
ارتأينا في بحثنا هذا دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية لـ 10 عينات من المياه الجوفية لمنطقة بلدية متوسة ولاية خنشلة التي تبين أنها من عائلة كلوريد كالسيوم بنسبة 80 بالمئة و بعد مقارنة النتائج المتوصل إليها مع معايير منظمة الصحة العالمية تبين لنا أن العينات المدروسة لا تتوافق مع المعايير المعتمدة و نرجح ملوحة المياه بالدرجة الأولى إلى الطبيعة الجيولوجية للمنطقة و بالدرجة الثانية إلى استعمال الأسمدة و المبيدات.
من خلال دراسة منحنيات الخاصة بتصنيف مياه السقي اتضح ان المياه المدروسة من صنف مقبول إلى رديء.

الكلمات المفتاحية: نوعية المياه ، المياه الجوفية ، متوسة ، التحاليل الفيزيوكيميائية ، منظمة الصحة العالمية.

Résumés

Nom: Boukhors Prénom: Ibtissam

Nom: Hacini Prénom: Imane Date de soutenance: 31/05/2016

Master Académique en Ecologie Option: Ecologie et Environnement

Thème :

Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de l'aquifère de la région de M'toussa

Résumé

La pollution est un phénomène qui menace les ressources de l'univers. Et les ressources en eau à son tour sont ciblées. La connaissance de la qualité des eaux souterraines est un prérequis et une nécessité pour la gestion des futurs projets et de maintenir de l'eau potable.

Dans notre recherche, nous avons étudié les propriétés physico-chimiques de 10 échantillons d'eau souterraine de la région de M'Toussa dans la wilaya de Khenchela. 80% de ces échantillons appartiennent à la famille de chlorure de calcium. Et après avoir comparé les résultats obtenus avec les normes de l'Organisation mondiale de la santé, il nous a parait que les échantillons examinés ne se conforment pas aux normes adoptées. Le taux élevé de la salinité enregistré est due principalement à la nature géologique de la région d'un part et pour l'utilisation d'engrais et de pesticides d'autre part.

Le diagramme de classification de l'eau d'irrigation nous montre les échantillons étudiées ont été classifiées acceptable à mauvais.

Mots clés: qualité de l'eau, les eaux souterraines, M'Toussa et analyses physico-chimiques, Organisation mondiale de la Santé (OMS)

ملخص

التلوث ظاهرة تهدد الكون والموارد المائية بدورها مستهدفة لذا يستلزم معرفة نوعية المياه الجوفية التي تعد شرط أساسي و ضرورة حتمية من اجل إدارة مشاريع مستقبلية و المحافظة على الماء الشروب .

ارتأينا في بحثنا هذا دراسة الخصائص الفيز و كيميائية لـ 10 عينات من المياه الجوفية لمنطقة بلدية متوسة ولاية خنشلة التي تبين أنها من عائلة كلوريد كالسيوم بنسبة 80 بالمئة و بعد مقارنة النتائج المتوصل إليها مع معايير منظمة الصحة العالمية تبين لنا أن العينات المدروسة لا تتوافق مع المعايير المعتمدة و نرجح ملوحة المياه بالدرجة الأولى إلى الطبيعة الجيولوجية للمنطقة و بالدرجة الثانية إلى استعمال الأسمدة و المبيدات.

من خلال دراسة منحنيات الخاصة بتصنيف مياه السقي اتضح ان المياه المدروسة من صنف مقبول إلى رديء

الكلمات المفتاحية : نوعية المياه ، المياه الجوفية ، متوسة ، التحاليل الفيز و كيميائية ، منظمة الصحة العالمية

Jurydesoutenance:

Président : CHELIH FathaMAA Université de khenchela

Examineur : BOUFENARASouhilMCA Université de khenchela

Encadreur : LAKHDARI Somia MAA Université de khenchela

Examineur: BOUMAIZA ImèneMAA Université de khenchela

Année 2015- 2016