

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed BOUDIAF - M'Sila



Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Académique en Production Végétale
Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie
Filière Science Agronomique

Thème

**Cartographie des indicateurs de qualité des eaux
souterraines destinées à l'irrigation dans la région
nord du Chott El Hodna**

Présentée par :

TABOUSSI Fatna

Soutenue publiquement le : 14 /07/2019

Devant le jury composé de :

CHERIEF Abdelkader	MAA	Université de M'Sila	Président
AMROUNE Abdelouahab	MCB	Université de M'Sila	Rapporteur
TIR Chafia	MAA	Université de M'Sila	Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2018 /2019

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force et la patience pour achever ce travail.

Nous remercions les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de proche ou de loin

Au terme de ce travail nous tenons à remercier notre promoteur AMROUNE Abdelouahab

De nous avoir accompagnés durant cette recherche, Orientations, ses encouragements et pour ses précieux conseils merci beaucoup

Nous tenons à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail Dr TIR Chafia d'avoir accepté de présider le jury de soutenance du mémoire, ainsi qu'aux Dr CHERIEF Abdelkader d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Le remerciement passe aussi à tous amis de classe Master 2, production végétale pour leur soutien moral.

En fin, merci à tous.

Dédicace



Je dédie ce travail

*Tout d'abord et spécialement à mes très chers parent
ses encouragements, sa tendresse, sa disponibilité et
ses sacrifices durant toutes mes années d'étude.*

A ma très chère sœur :Halima, Nour, Messouda

A tous mes frères : Toufik Mohamed Mourad,

Yassin, chahtout, et Thamer, Samah

A toute ma famille

A tous ceux qui me sont chers Imane, Ilias, Naïma,

Nour

A mes chers amis sans cité les noms

A tous ceux qui aiment la science

Je dédie ce modeste mémoire

A tous les étudiants du master 2 pdv

Table de matière

Remerciements	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste de tableau	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
Introduction	3
I.1. Minéralisation des eaux souterraines	3
I.2. Paramètres de qualité d'irrigation	4
I.2.1. Paramètres physiques	4
I.2.1.1. Température	4
I.2.1.2. ph	4
I.2.1.3. Conductivité électrique	4
I.2.2. Paramètres chimiques	5
<i>I.2.2.1. Chlorures</i>	5
<i>I.2.2.2. Nitrates</i>	5
<i>I.2.2.3. Bicarbonates</i>	5
<i>I.2.2.4. Sulfates</i>	6
<i>I.2.2.5. Magnésium</i>	6
<i>I.2.2.6. Calcium</i>	6
<i>I.2.2.7. Potassium</i>	6
<i>I.2.2.8. Sodium</i>	7
I.2.3 Dureté des eaux	7
Chapitre II : Etude du milieu physique	
II.1 Situation géographique	8
II.2. Géomorphologie	9
II.2.1. Cadre montagneux	9
II.2.2. Le piedmont	9
II.2.3. La plaine	9
II.2.4. Chott EL Hodna	9
II.3. Géologie	11
II.3.1. Stratigraphie	11
<i>II.3.1.1. primaire</i>	12
<i>II.3.1.2. Secondaire</i>	12
<i>II.3.1.3. Tertiaire</i>	12
<i>II.3.1.4. Quaternaire</i>	12
II.4. Hydrographie	13

II.5. Faune et flore	14
II.6 .Etude de climat	14
II.6 .1 Zone d'étude et son équipement	15
II.6 .2. Les facteurs climatiques	15
II.6 .2.1 La température	15
II.6 .2.2 Les précipitations	16
II 6.2.3 Répartition saisonnière	17
II.6 .2.4 Humidité relative	18
II.6 .2.5 Le vent	18
II.6.3 :diagramme Ombrothermique	19
II.6 .4 : diagramme d'Emberger	20

Partie 2

Chapitre III : Matériel et méthodes

Introduction	21
III 1. Généralités sur le logiciel Surfer .8	21
III.2. les étapes à suivre	24
III 2.1. Mettre en forme le fichier Excel	24
III 2.2. Créer une grille x, y, z	25
III 2.3. Afficher nos points	26
III 2.4. Ouvrir d'autres cartes et les superposer	26
III 2.4.1. ouvrir d'autres cartes	26
III 2.4.2 Superposer des cartes (overlays)	27
III 2.4.3. Par la fonction Edit	27
III 2.4.3. Par Object manager	27
III 2.4.5. Mettre en forme nos cartes	28

Chapitre IV : Outils d'interprétations des données chimiques

Introduction	30
IV.2.1 . Utilisation des représentations graphiques	30
IV.2.1.1. Diagrammes de SCHOELLER-BERKALOFF ET PIPER	30
IV.2.1.2. Diagramme de Riverside (ou SAR)	30
IV.2.1.3. Diagramme de WILCOX	31
Conclusion	31

Partie 3

Chapitre V: Résultats et discussions

Introduction	32
V.1. Principaux paramètres physico-chimiques	30
V.1.1. Température	30
V.1.2. Potentiel d'hydrogène	33
V.1.3. Dureté totale	33
V.1.4 : Conductivité électrique	34

V.2 : Etude analytique et cartographie des éléments chimiques majeurs	35
V.2.1 : Les cations	35
V.2.1.1 : <i>Le calcium Ca²⁺</i>	35
V.2.1.2. <i>Magnésium</i>	36
V.2.1.3. <i>Le sodium</i>	37
V.2.1.4 : <i>Potassium</i>	38
V.2.2. Les anions	39
V.2.2.1. <i>Sulfates</i>	39
V.2.2.2. <i>Chlorures</i>	40
V.2.2.3. <i>Nitrates</i>	41
V.2.2.4. <i>Les bicarbonates</i>	42
V.3. Faciès chimique des eaux	43
V.3.1. Classification des eaux selon SCHOELLER -BERKALOFF	43
V.3.2. Diagramme de PIPER	47
V.3.3. État de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole	50
V.3.3.1. Classification de WILCOX	51
V.3.3.2. Diagramme de Riverside ou Méthode de SAR	52
V.3.3.3. L'indice de perméabilité	53
V.4. Analyse en Composantes Principales (A.C.P)	55
V.4.1 Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux de la plaine de M'sila	55
V.4.1.1. Analyse statistique	55
V.4.1.2. Matrice de corrélation	55
V.4.1. 3. Etude des variables et des individus	56
Conclusion	59
Référence	
Annexe	

Listes des tableaux

Tableau I.1 : Dureté des eaux en °F	7
Tableau. II .1 . : Températures moyennes mensuelles de la station de M'sila (2006-2018)	15
Tableau II .2 : Pluviométrie moyennes mensuelles de la station de M'sila (2006-2018)	16
Tableau .II .3 : Régime saisonnier de la période (2006 -2018) au niveau de la région de Msila	17
Tableau .II. 4 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de M'Sila (2006 -2018)	18
Tableau .II. 5 : La vitesse moyenne mensuelle de la station de M'sila (2006-2018)	19
.Tableau. II .6 : la température moyenne (c°) et pluviométrie (mm) de l'année (2006-2018)	20
Tableau V.01 : Température des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	32
Tableau V.02 : le pH des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	33
Tableau V.03 : La dureté totale des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	34
Tableau V.04 : La conductivité électrique des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	34
Tableau V.05 : Teneurs en calcium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	36
Tableau V.06 : Teneurs en Magnésium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	37
TableauV.07: Teneurs en Sodium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	38
Tableau V.08: Teneurs en Potassium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	39
Tableau V.09 : Teneurs en sulfates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	39
Tableau V.10 : Teneurs en chlorures des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	40
Tableau V.11 : Teneurs en nitrates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	41
Tableau V.12 : Teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila	42
Tableau V.13 : Classification des eaux souterraines différente compagnes solen	48

PIPER	
Tableau V.14 : Résultats de la teneur en sodium (%Na ⁺) des eaux souterraines de M'Sila.	51
Tableau V.15 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards	52
Tableau V.16 : Distribution des valeurs de l'indice de perméabilité	54
Tableau V.17 : Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines	55
Tableau V.18 : Pourcentage de variance exprimée	56

Liste des figures

Fig. II.1 : Situation géographique de la plaine du M'sila	8
Fig. II. 2 : Carte géomorphologique de la zone d'étude	10
Fig. II.3 : Carte géologique de la zone d'étude (Extrait de la carte géologique de l'Algérie. D'après M.J. Flandrin)	11
Fig. II.4 : Coupe litho stratigraphique Est-Ouest (Grine et Amroune, 2008)	13
Fig. II. 5 : Carte de réseau hydrographique dans la zone d'étude (Extrait de la carte topographique : Biskra 1/500 000)	13
Fig. II.6 : Températures moyennes mensuelles de la station de M'sila (2006 - 2018)	16
Fig. II .7 : Pluviométrie moyenne mensuelle de la station de M'sila (2006 -2018)	16
Fig. II .8 : Répartition saisonnière de la station de M'sila (2006-2018)	17
Fig. II 9 : Humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de M'sila (2006 - 2018)	18
Fig. II .10 Variation de la vitesse moyenne mensuelle de la région de M'Sila (2006 -2018)	19
Fig. II.11 : Diagramme Ombrothermique de la région de M'Sila.	20
Fig. II.12 : Classification de climat de plaine de M'sila selon diagramme d'Emberger (2006-2018)	20
Fig. V.01 : Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de M'sila (Mars 2016)	32
Fig. V.02 : Variabilité du pH des eaux souterraines de la plaine de M'Sila (Mars 2016)	33
Fig.V.03 : Variation de la dureté totale des eaux de la plaine du M'Sila.	34
Fig. V.04 : Carte de répartition spatiale de la conductivité des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila (Mars 2016)	35
Fig.V. 05 : Carte de répartition spatiale des forage dans plaine de M'Sila	35
Fig.V.06 : Carte de répartition spatiale des teneurs en calcium des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	36
Fig.V .07: Carte de répartition spatiale des teneurs en magnésium des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	37
Fig.V.08: Carte de répartition spatiale des teneurs en sodium des eaux souterraines	38

dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	
Fig.V.09 : Carte d répartition spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	38
Fig.V.10 : Carte de répartition spatiale des teneurs en sulfates des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	40
Fig.V.11 : Carte de répartition spatiale des teneurs en chlorures des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	41
Fig.V.12 : Carte de répartition spatiale des teneurs en nitrates des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	42
Fig.V.13 : Carte de répartition spatiale des teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)	43
Fig.V.14 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de M'Sila (F1, F2, F3, F4 et F5)	44
Fig.V.15 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de M'Sila (F6, F7, F8, F9 et F10)	45
Fig.V.16 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de M'Sila (F11, F12, F13, F14 et F15)	46
Fig.V.17 : Classification des eaux d'irrigation des stations F1 F2 F3 F4 de M'Sila selon la méthode de PIPER	48
iFig.V.18 : Classification des eaux d'irrigation des stations F5 F6 F7 F8 F9 F10 de M'sila selon la méthode de PIPER	49
Fig.V.19 : Classification des eaux d'irrigation de la station F11 F12 F13 F14 F15de M'Sila selon la méthode de PIPER	50
Fig.V.20 : Classification des eaux d'irrigation de plaine de M'Sila sur le diagramme de WILCOX	51
Fig.V.21 : Classification des eaux d'irrigation sur le diagramme de RICHARDS	53
Fig.V.22 : Classification de perméabilité du sol de plaine de M'Sila	54
Fig. V. 23 : Plan des facteurs F1/F2	57
Fig. V. 24 : Plan des facteurs F2/F3	57
Fig.V.25 : Plan des individus selon le plan F1/F2	57
Fig. V. 26 : Plan des individus selon le plan F2/F3	58

Liste d'abréviations

S.M.M : Station Météorologique de M'sila

CE : Conductivité électrique

pH : Potentiel Hydrogène

Cl⁻ : Chlorures

HCO³⁻ : Bicarbonates

SO₄⁻² : Sulfates

NO₃⁻² : Nitrate

Na⁺ : Sodium

SAR: Sodium Absorption Ratio

Ca⁺² : Calcium

Mg⁺² : Magnésium

K⁺ : Potassium

P : Précipitation (mm)

T : Température(C°)

DT : Dureté total

H° : Humidité

IP : Indice de perméabilité

F : Forage

meq/l : Mili équivalent par litre

NT : Néant

Introduction générale

Par ses propriétés et son étendue (environ deux tiers de la surface de la terre), l'eau joue un rôle primordial et irremplaçable dans le développement de la vie humaine, animale et végétale ainsi que dans l'évolution des sociétés. L'eau est le milieu dans lequel s'effectuent de multiples réactions métaboliques chez les organismes vivants terrestres ou aquatiques. Au-delà de ces caractéristiques physiologiques, l'eau a également des usages domestiques, agricoles et industriels (**Kirkpatrick et Fleming, 2008**)

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides (**Bosca, 2002**). 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine.

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain (**Myrand, 2008**).

Plus le temps de résidence de l'eau dans un aquifère est long et plus elle sera chargée en minéraux dissous. Selon les processus auxquelles elle est soumise, l'eau souterraine acquiert ainsi une signature géochimique particulière en fonction du milieu où elle se trouve et de ceux qu'elle a traversés le long de son parcours. Ces signatures permettent de montrer les caractéristiques des eaux souterraines, le chimisme et leur évolution.

Par sa qualité chimique l' eau souterraine doit être destinée prioritairement à l'alimentation en eau potable (AEP), malheureusement au niveau de plaine de M'Sila les aquifères sont exploités anarchiquement pour l'irrigation. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certain cultures pratiquées dans la région (**Zid elkheir et Baouche , 2016**).

Notre contribution ici est d'élucider les principaux paramètres physico-chimiques des eaux souterraines, la répartition spatiale des éléments chimiques et l'origine de ces derniers. Ce travail est réalisé sur la base des analyses récentes qui ont été faites en 2016 par (Zid elkheir et Baouche)au niveau des laboratoires de l'Université de M'sila sur des échantillons d'eau souterraines prélevés à partir puits situés dans la plaine de M'Sila.

La problématique de ce travail porte donc sur la mise en évidence de la relation entre le contexte géologique et chimique des eaux souterraines dans la région nord du Chotte Hodna, particulièrement au niveau de la plaine du M'Sila.

Pour atteindre cet objectif, ce travail est scindé en trois parties :

Introduction générale

La première partie consiste à faire :

- **Chapitre 01** Synthèse bibliographique : est le fruit d'une étude bibliographique soulignant quelques notions fondamentales sur les éléments chimiques constituant l'eau.
- **Chapitre 02** Etude de milieu : elle porte sur la présentation du site d'étude, sa géologie, son climat

La deuxième partie consiste à présenter matérielles et méthodes

- **Chapitre 03** Présente la méthodologie adoptée dans cette étude, le matériau étudié ainsi que sa caractérisation (Logiciel Surfer version 8)
- **Chapitre 04** représentations des outils d'interprétations des données chimiques

La troisième partie concerne

- Expose les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux souterraines. La détermination des faciès hydrochimiques et l'origine évolutive des éléments chimiques des eaux analysées à l'aide des cartes réalisées avec Surfer des eaux souterraines de la plaine de M'Sila.
- **Conclusion générale** : Enfin les enseignements tirés de ces travaux seront énumérés dans cette partie.

Partie 1 :

Chapitre I :
Généralité sur les eaux

Introduction

L'eau souterraine constitue la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète, environ 8 à 10 millions de km³, soit entre 98 et 99 % du total. (Margat, 2006)

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau, qui dans les conditions arides et semi arides, vient souvent à manquer. Cette ressource d'eau provoque un danger sur la santé humaine si l'eau dont il dispose est de mauvaise qualité ou bien si elle est polluée. De ce fait on s'inquiète de sa qualité et de ses caractéristiques physico-chimiques (Bouaroudj, 2012).

La revue de littérature exposée dans le présent chapitre porte sur la minéralisation des eaux souterraines et les principaux paramètres d'irrigation, alors que les données relatives à notre région seront énoncées plus tard.

I.1. Minéralisation des eaux souterraines

L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO₂ dissous. 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 l'aquifère, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches : l'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à caractériser un faciès hydro chimique. Première partie :

- Dans les terrains cristallins (granitiques), sableux et gréseux -c'est à dire riche en minéraux siliceux et silicatés
 - les eaux sont douces : elles sont peu minéralisées mais acides et agressives pour les conduites
- Dans les réservoirs calcaires, les eaux sont dures, moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium ; elles entartrent les conduites. Dans les réseaux karstiques, l'eau peut se charger de particules argileuses en suspension au cours des fortes pluies.
- Au contact du gypse, fréquent dans les terrains tertiaires, l'eau se charge en sulfate de calcium et devient dure (séléniteuse) et impropre à la consommation.

-En bordure de mer, les aquifères peuvent être en contact avec l'eau de mer : échange au niveau du biseau salée, contamination de l'eau d'infiltration par les embruns salés. L'eau de la nappe devient plus ou moins saumâtre. L'invasion de la nappe d'eau douce par l'eau salée est accélérée par les pompages et le rabattement de la nappe.

- L'eau des nappes alluviales a une qualité qui dépend de celle de la nappe qui l'approvisionne et de celle de la rivière (Ziani, 2017).

I.2. Paramètres de qualité des eaux d'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (El-asslouj *et al.*, 2007).

I.2.1. Paramètres physiques

I.2.1.1. Température

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (Hceflcd, 2006).

I.2.1.2. pH

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium (H^+) ou d'ions hydroxyde (OH^-) contenus dans la substance. Quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, et le pH a une valeur aux alentours de 7. Le pH d'une substance varie entre 1 et 14.

I.2.1.3. Conductivité électrique

La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente.

La conductivité d'une eau est un indicateur des changements de la composition en matériaux et leur concentration globale. Elle est proportionnelle à la quantité de sels inusables.

Elle renseigne sur le degré de minéralisation globale des eaux superficielles. Des températures élevées agissent sur la conductivité électrique par action sur la mobilité des sels. Les eaux naturelles servent comme solvant d'un nombre considérable de solutés, qui en

solutions aqueuses sont soit complètement associées en ions ou partiellement ionisées. Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée (**Elmorhit, 2009**).

I.2.2. Paramètres chimiques

I.2.2.1. Chlorures

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

- Une origine atmosphérique (aérosols contenus dans l'eau de pluie) : il a été démontré une relation forte entre la distance à la mer et les concentrations en chlorures mesurés dans les eaux de pluie, - Les interactions eau/roches : de nombreuses roches ignées et volcaniques contiennent des minéraux riches en chlorures (la sodalite $[Na_8 [Cl_2(AlSiO_4)_6]]$), il est également admis de possibles apports de chlorures par les inclusions fluides de certains minéraux rencontrés en contexte volcaniques.

- Une origine marine (le biseau salé),
- Une origine anthropique (engrais) (**BRGM, 2007**).

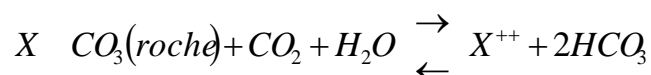
Dans l'eau potable, la concentration maximale acceptable est de 250 mg/l. Si la teneur est supérieure à cette valeur, elle affecte le goût de l'eau. Une concentration élevée de Cl peut provoquer l'eczéma et l'érythème (**Belkhiri, 2017**).

I.2.2.2. Nitrates

Les nitrates sont le produit final de l'oxydation des dérivés azotés (nitrification). L'azote organique (N) est d'abord transformé en azote ammoniacal (NH_3) ou en ammonium (NH_4) puis oxydé en nitrites (NO_2), et finalement en nitrates (NO_3), forment sous laquelle ils pourront être assimilés par les plantes (**Tardat, 1985**). Cet apport d'azote peut provenir d'engrais chimique mais aussi de matières fécales qui contiennent tous les maillons de la séquence $NH_4-NH_3-NO_2-NO_3$ (**Tardat, 1985**).

I.2.2.3. Bicarbonates

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



L'élément (X) peut être le (Ca^{++}), ou le (Mg^{++}), il est beaucoup probable que ce soit le Ca^{++} , car le Mg^{+2} est très solubles, sauf si l'eau est thermale (**Amroune, 2008**).

L'abondance des ions bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau d'irrigation mérite aussi d'être évaluée. Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé de bicarbonates, on constate une tendance à la précipitation du calcium et du magnésium ce qui fait augmenter le SAR. On

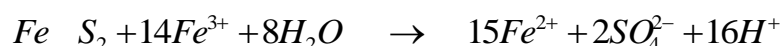
Chapitre I : Généralité sur les eaux

considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de NaHCO_3 est supérieure à 2,5 meq / L. Par contre, si la concentration est en dessous de 1,25 meq / L, l'eau est probablement sécuritaire. (Nancy ,1997)

1.2.2.4. Sulfates

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est très soluble (2 g/l dans les conditions normales) (Ziani, 2017).

Ils peuvent provenir également de la dissolution des minéraux sulfurés d'une manière générale comme la pyrite (Amroune, 2008) selon le processus suivant :



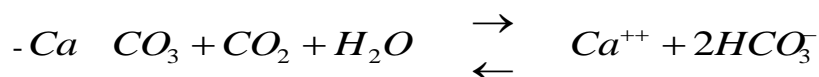
1.2.2.5. Magnésium

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1 de l'écorce terrestre (BRGM, 2007). C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens (Amroune, 2008). Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates. (Rodier *et al.*, 2009)

1.2.2.6. Calcium

Le Calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans les formations géologique riches en calcium (Zid El Khire et Baouch 2016).

Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



1.2.2.7. Potassium

Le potassium est un élément principalement présent dans les roches ignées (volcaniques) et les argiles. D'une manière générale, les eaux souterraines présentent rarement des teneurs en potassium supérieures à 10 mg/l (BRGM, 2007). Des apports anthropiques (liés à l'utilisation d'engrais) peuvent être à l'origine de concentrations plus importantes dans les eaux.

Chapitre I : Généralité sur les eaux

1.2.2.8. Sodium

Le sodium est présent dans de nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. Les feldspaths sodiques Na [Si₃AlO₈] ont parmi les plus abondants. Dans les eaux souterraines, le sodium est présent sous la forme ionique Na⁺ (BRGM, 2007).

1.2.3 Dureté des eaux

Le titre hydrométrique ou dureté de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau, elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

Une faible dureté ne permet pas l'élaboration de couche carbonatée pouvant participer à une protection des canalisations contre certains risques de corrosion ; par contre, une dureté Pour l'eau destinée à la consommation humaine, la réglementation algérienne préconise une valeur comprise entre 100 et 500 mg/l de CaCO₃ (10 et 50 degré français °F) (Zouag *et al*, 2017). Elle est calculée par la formule suivant :

$$DT = (Ca^{+} + Mg) 5 \quad \text{ou} \quad Ca^{2+} \text{ et } Mg^{2+} \text{ sont exprimés en meq/l.}$$

Tableau I.1 : Dureté des eaux en °F

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

Source :(W .Theobald et al .Gama 1969).

Chapitre II :
Etude du milieu physique

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.1 Situation géographique de la plaine de M'sila

La ville de M'sila est située à 248 km au Sud Est d'Alger (**Fig. II .1**) aux coordonnées géométriques suivantes : $35^{\circ}45'N$ et $4^{\circ}35'E$. La plaine du M'Sila s'intègre dans le cadre géographique des hautes plaines du bassin algérois ; elle est limitée

- Au Nord par les montes du Hodna, et au sud et Sud-Ouest par les première chainons de l'Atlas saharien aux cordonnées géométriques : $35^{\circ}30'N$ et $34^{\circ}45'N$.
- A l'est, par la rencontre des deux chaines (**Monts du Bellezma**) aux cordonnées géométriques $4^{\circ}45'E$ et $5^{\circ}45'E$.

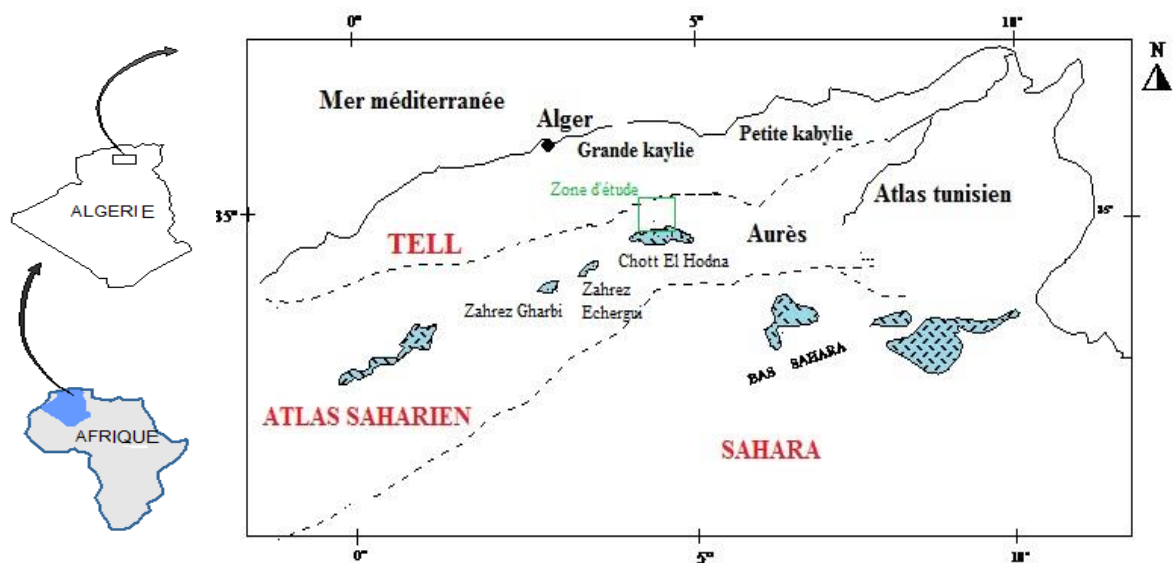


Fig. II.1 : Situation géographique de la plaine du M'sila

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.2. Géomorphologie

Le domaine d'étude est le produit du choc (au niveau des Aurès) entre les deux chaînes atlasique et tellienne, l'érosion des cours d'eau entaille l'ensemble donnant un dépôt de limon, des sables et des argiles ; ces derniers constituant la plaine avec au centre l'important Chott el Hodna. Les dépôts éoliens interviennent pour construire les dunes (**Amroune, 2008**).

On distingue quatre ensembles géomorphologiques :

II.2.1. Cadre montagneux

Les monts du Hodna forment une barrière orientée Est Ouest qui réduit les influences maritimes. Par ailleurs cet écran dont l'altitude varie entre 1400 et 2000m (Dj.Maadid au Nord de M'sila culmine à 1863m) accuse un contact net et brutal avec les collines (**Amroune, 2008**).

II.2.2. Le piedmont

C'est la zone de transition entre la montagne et la plaine, qui s'allonge d'ouest en Est AUX pieds de montagnes du versant Nord entre les cotes 700m et 500m (**Amroune, 2008**). C'est ensemble correspond de collines : qui sont découpées et ravinées par les oueds qui descendent des montagnes (les oueds M'sila et Selmane) et par des ruisseaux temporaires qui coulent après les pluies (**Amroune, 2008**).

II.2.3. La plaine

La plaine de M'sila est limitée au Nord et à l'est par les glacis. Au Sud, la courbe de niveau 400m marque grossièrement le passage de la plaine au Chott d'où une pente de 0,55%.

II.2.4. Chott EL Hodna

Le Chott El Hodna fait partie d'une série de Chotts qui se sont développés là où convergent les eaux issues de l'Atlas saharien au sud et l'Atlas tellien au Nord. Le Chott a une forme elliptique, à une eau salée et s'étend sur 77Km de long et 19Km de large. Son alimentation est assurée par au moins 22 cours d'eau principaux, auxquels il faut ajouter des sources d'eau douce. Son altitude moyenne est de 392 m et retenue entre les coordonnées géographiques suivantes : 35°18N -35°32N et 4°06 E -5°15 E (**Amroune, 2008**).

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.3. Géologie

Le secteur d'étude est situé entre deux domaines distincts, l'atlas tellien au Nord et l'atlas saharien au sud. La région du Hodna appartient selon (Guiraud, 1973), à un domaine dit pré atlasique qui constitue l'avant pays de la chaîne alpine. Il y distingue : une zone déprimée ou couloir pré atlasique et une zone périphérique septentrionale appelée chaîne pré atlasique riche en affleurement (monts du Hodna), au sud du bassin du Hodna est limité par la retombée du flanc Nord des monts des Ouled Nail.

Sur le flanc méridional des monts du Hodna, les terrains dont l'âge varie quaternaire au jurassique affleurent en bands parallèles de direction Est-Ouest et plongent vers le Sud avec des pentes plus ou moins accentuées parfois l'on verra plus loin.



Echelle : 1/500 000

Fig. II.3 : Carte géologique de la zone d'étude (Extrait de la carte géologique de l'Algérie.

D'après M.J. Flandrin)

Légende :

qt : Quaternaire ; mm : Miocène moyen ; mi : Miocène inférieur ; es : Eocène supérieur ; em : Eocène moyen ; ei : Eocène inférieur ; Ct : Maastrichtien ; Cn : Aptien ; Ci : Berriasien

II.3.1. Stratigraphie

Décrire la différente formation géologique affleurant sur le flanc Sud des monts du Hodna (Fig. II 3), on s'est surtout inspiré des travaux de (Guiraud, 1973).

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.3.1.1. primaire

La région du Hodna est dépourvue de formation géologique paléozoïque. Toute fois au Nord de celle-ci ont été observés au niveau de formations allochtones que comportent des coupeaux provenant du socle (roches sédimentaire, éruptive et métamorphique).

II.3.1.2. Secondaire

Le trias est absent dans cette zone d'étude. Le jurassique n'affleure à la faveur d'accidents majeure que dans la partie centrale et orientale des monts du Hodna, alors que le crétacé représenté par une barre calcaro-dolomitique. Elle est surmontée par une alternance de calcaire à rudistes, de grés balance, des calcaires à huitres et des marnes rouge. Au niveau d'Oued K'Sob, on note un faciès calcaro-marneux surmonté par marnes lumachelliques à nombreuses inter stratification de calcaires argileux. Quant au maestrichtien, transgressif, il débute par des calcaires et se poursuit par alternance de calcaire et de marnes (200 mètres).

II.3.1.3. Tertiaire

Les formations paléogènes affleurent en bands plus ou moins, parallèles sur le plan méridional des monts du Hodna où les couches plongent en générale vers la cuvette de M'sila.

Le miocène présente des faciès détritiques et continentaux qui passent à des formations lacustres et évaporitique. Des conglomérats à galets bien roulés alternant avec des marnes. L'épaisseur de cette formation et quelque dizaine de mètres.

II.3.1.4. Quaternaire

Constitué essentiellement par les argiles et les limons dans la partie nord. Dans la partie sud est représenté essentiellement par les sables.

Mais, vu l'état actuel des captages, il ressort que les principales formations remarquables productives et exploitées par les agricultures sont les niveaux mio- plio quaternaires, et que fait l'objet de cette étude (**Fig.I.4**).

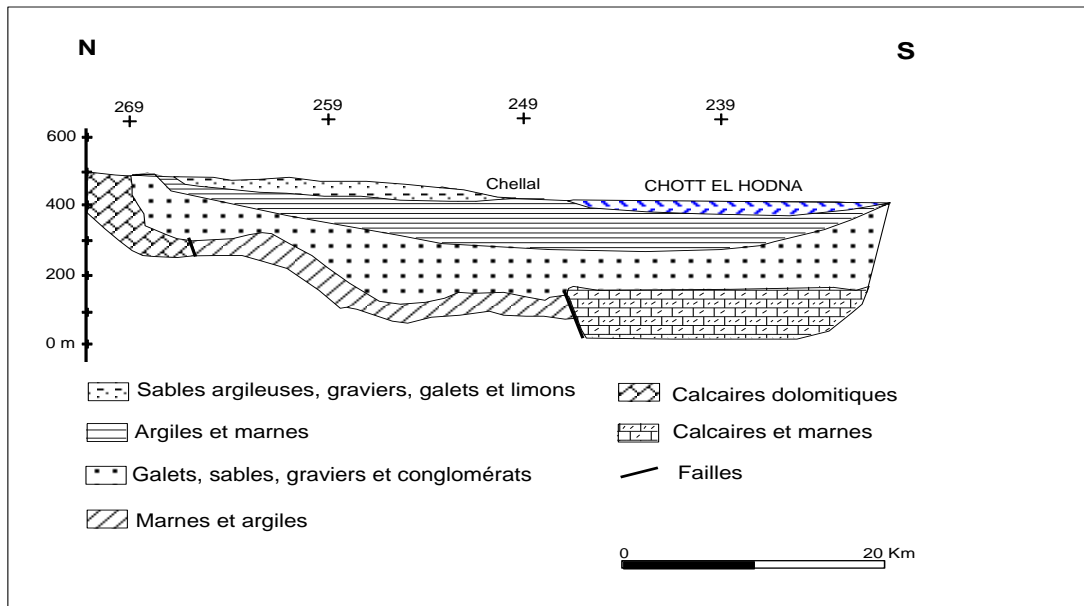


Fig. II.4 : Coupe litho stratigraphique Est-Ouest (Grine et Amroune, 2008)

II.4. Hydrographie

L'hydrographie est tout diversifiée, mais il se distingue par sa dégradation (Fig II.5). Il est constitué par plusieurs oueds sans rapport entre eux drainant chacun une aire plus ou moins étendue dont les plus importants sont ceux issus des massifs montagneux telliens. Le plus important est Oued K'sob avec une aire de drainage de plus de 2400 km² située dans le domaine tellien (Amroune, 2008).

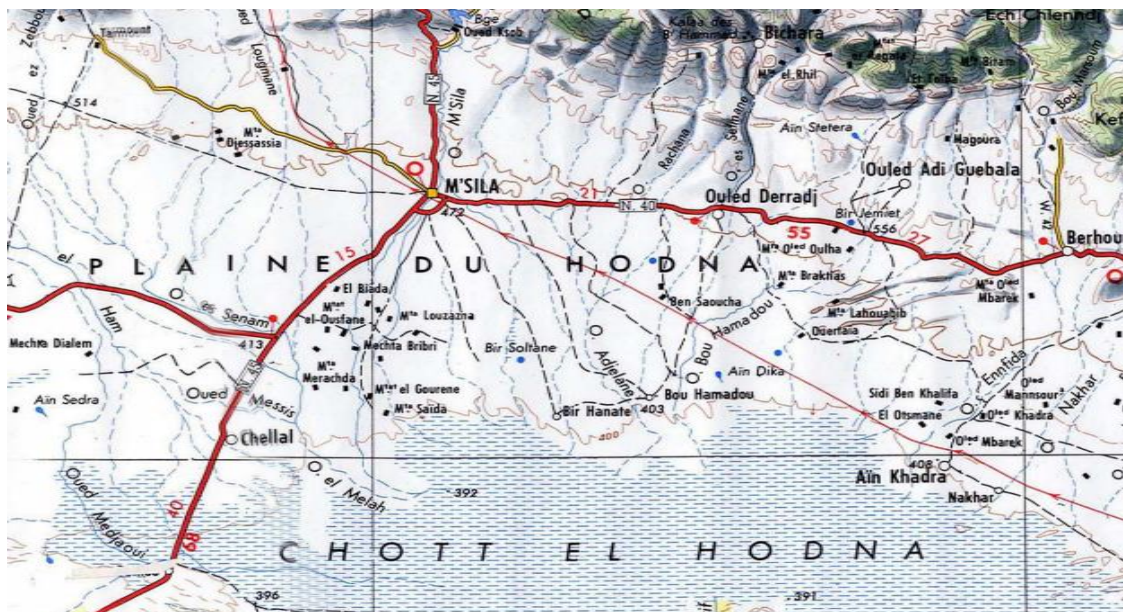


Fig. II. 5 : Carte de réseau hydrographique dans la zone d'étude (Extrait de la carte topographique : Biskra 1/500 000)

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.5. Faune et flore

La couverture végétale au niveau de la zone d'étude est clairsemée .elle est constituée généralement par des taches forestières sur les monts du Nord, une végétation steppique sur le pourtour du Chott El Hodna, constituée en majorité par des espèces qu'on rencontre le plus souvent dans les steppes algériens.

Tell que: *Teracissima* (Alfa), *Aetémisia helba-alba*(Armoise), *A triplex halimus* (Atriplix). Les espèces arbustives sont également présentes dont les plus importantes sont : *Tamarix gallica* (Tamaris), *Zizphustotus* (Jujubier). Les espèces endémiques Nord africaines sont également présents telles que : *muricaria prostate*, *loncophora capiomontiana* et *rhanterium suaveolens*.

La faune de la région est riche et diversifiée, on peut citer : les reptiles, les mammifères et les scorpions. Il y a aussi des espèces trop peu connue telles que : la gazelle de cuvier, l'outarde hobara et la sarcelle marbrée ; ce sont des espèces protégées menacées d'extinction en Algérie.

Notant également l'intérêt de la zone pour un type d'oiseau que l'on appelle la Tadorne casara (plus d'une centaine d'individus), la grue cendrée .On relèvera également la nidification certaine de la glaréole à collier, d'œdicnème criard. Et des gangas cata et uni band. A ce jour, au total, 119 espèces d'oiseaux sont recensées (**Zid El Khir et Baouch, 2016**).

II.6 Etude de climat

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour appréhender le fonctionnement d'un système hydraulique de surface ou de sub surface, passe impérativement, par la connaissance des paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement ou le ruissellement et l'infiltration qui constituent le cycle de l'eau. L'infiltration des eaux de pluie conditionne la recharge du sol et de certains réservoirs souterrains en eaux météorique.(**Atmani et Baza, 2017**).

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent pendant une longue période, l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné (**Laffont, 2015**)

La région de M'sila est caractérisée par des conditions climatique sèches, ou les barrières montagneuse du Hodna empêchent toute influence méditerranéenne. De ce fait, il ne tombe que très peu de pluies, soit 225 mm d'eau par an avec des maximums durant les saisons d'automne et d'hiver. Le printemps est souvent sec.

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.6.1 Zone d'étude et son équipement

Pour bien caractériser le climat de notre zone d'étude, nous avons exploité une série d'observations sur une période qui s'étale du mois de Janvier 2012 jusqu'au (décembre) 2018, relevée de la station météorologique de M'sila.

Station	Altitude	Longitude	Latitude	Années d'observation
M'sila	441m	04°-30'	35°-40'	2006-2018

Source : S.M.M 2018

II.6 .2. Les facteurs climatiques

II.6 .2.1 La température

Les températures, comme les précipitations, connaissent d'importantes fluctuations tout au long de l'année et en fonction de la latitude, de l'altitude et de l'exposition. Elles sont souvent élevées avec une très forte amplitude qui augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral (**Boulahia, 2016**)

L'étude de la température est d'un grand intérêt, car elle permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation du barrage par les eaux de surface des oueds et même l'alimentation des aquifères profonds et les concentrations des sels dissous dans leurs eaux et de préciser les limites de la thermalité.

Tableau. II .1 . : Températures moyennes mensuelles de la station de M'sila (2006-2018)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT
Température(C)	25,6	20,7	14,2	9,4	8,8	9,8	13,1	18,1	22,9	28,3	32,4	31,8

Source : S.M.M 2018

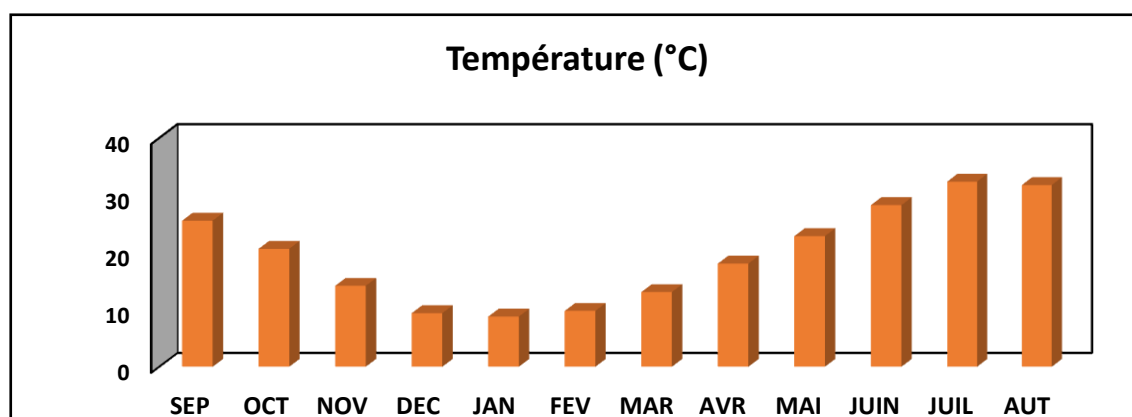


Fig. II.6 : Températures moyennes mensuelles de la station de M'sila (2006 -2018)

La figure 06 montre que la température est enregistrée au le mois Juillet (32,4°C) alors que la température minimale est enregistrée au mois de Janvier avec 8,8°C.

II.6 .2.2 Les précipitations

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruite, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...) (**Brahmi, 2014**).

Tableau II .2 : Pluviométrie moyennes mensuelles de la station de M'sila (2006-2018)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT
Pluviométrie (mm)	19,5	24,1	15,4	14	23	15	14	27	17,3	25,1	9,8	5,2

Source : S.M.M 2018

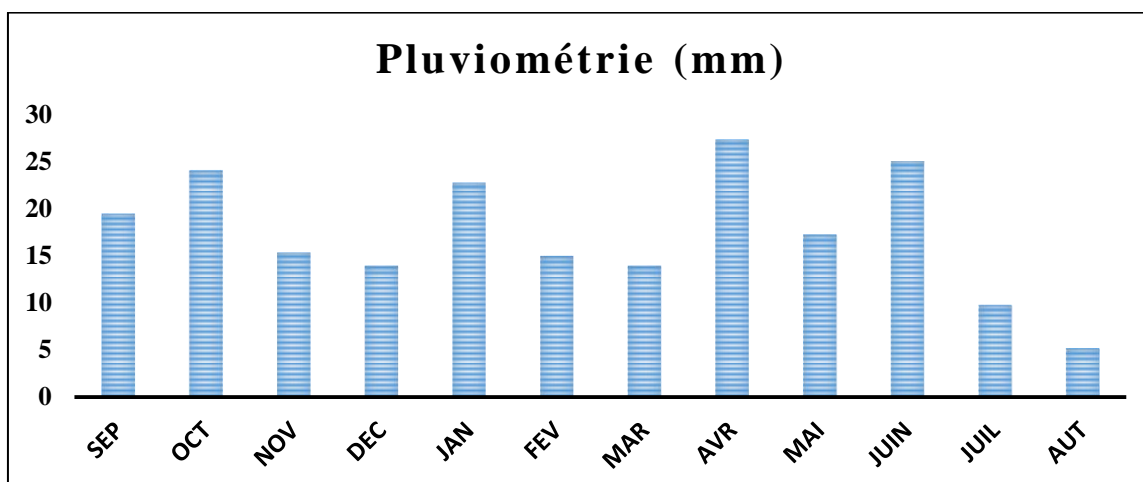


Fig. II .7 : Pluviométrie moyenne mensuelle de la station de M'sila (2006 -2018)

Chapitre II : Etude du milieu physique

D'après la **fig. II. 7**, nous remarquons que la quantité pluviométrique répartie d'une manière relativement hétérogène et irrégulière pendant la période étudiée. Les précipitations mensuelles dans le mois d'Avril représente une forte valeur avec 27,4 mm, alors que le mois le moins pluvieux est le mois d'Aout avec 05,2 mm

II. 6.2.3. Répartition saisonnière

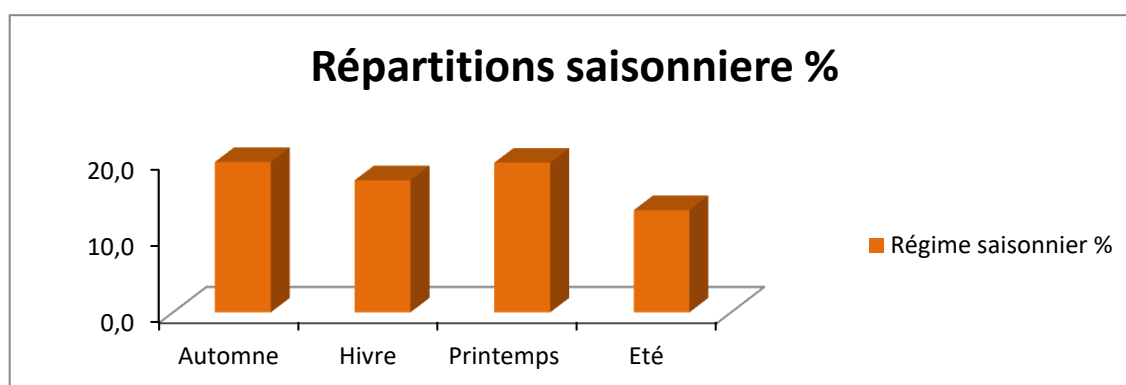
La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les quatre saisons agricoles :

- L'automne (septembre, octobre, novembre).
- L'hiver (décembre, janvier, février).
- Le printemps (mars, avril, mai).
- L'été (juin, juillet, août).

Le tableau ci-dessous des totaux des précipitations dans chaque saison.

Tableau .II. 3 : Régime saisonnier de la période (2006 -2018) au niveau de la région de Msila

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
répartition saisonnier(%)	19.7	17.3	19.6	13.4



Source : S.M.M 2018

Fig. II .8 : Répartition saisonnière de la station de M'sila (2006-2018)

D'après la **figure II. 8**, nous pouvons observer que l'automne et le printemps sont les saisons les plus arrosées avec 19,7% et 19,6% respectivement, alors que l'été représente la saison la plus sèche avec un pourcentage de 13,4%

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.6 .2.4.Humidité relative

L'humidité relative est définie comme le rapporte entre la quantité de vapeur d'eau qu'un volume contient à une température donne (humidité absolue) et la quantité maximale de vapeur d'eau que ce même volume peut contenir à la température (humidité à saturation). L'humidité relative est exprimée en pourcentage (Laffont, 2005).

Les données caractérisant l'humidité relative de l'air de la région de M'sila au cours de l'année (2006-2018) sont reportée sur le tableau **II. 03**.

Tableau .II .4 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de M'Sila (2006 -2018)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU
Humidité(%)	48,1	57,9	69,2	75,4	74	96,1	61,4	56	47	38,6	31	34,7

Source : S.M.M 2018

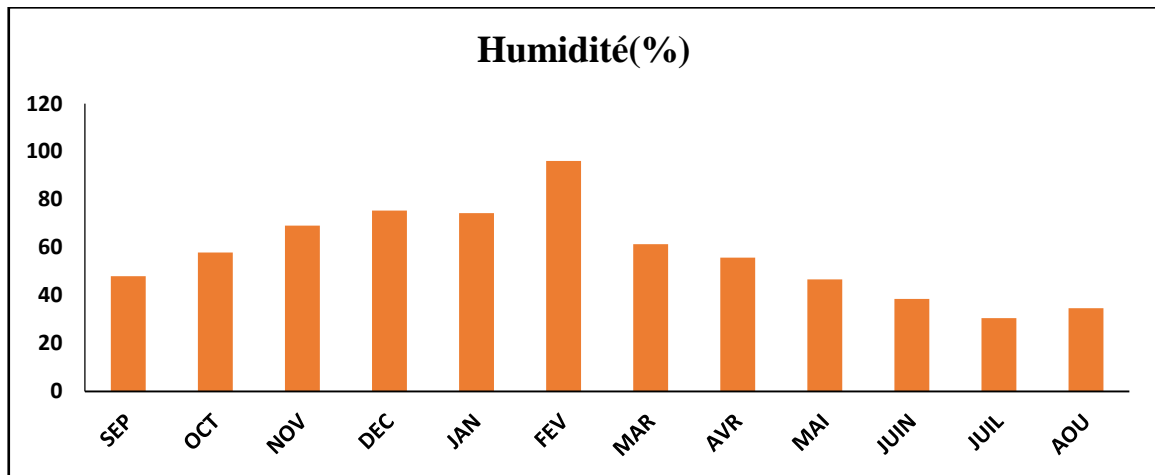


Fig. II .9 : Humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de M'sila (2006 -2018)

Les valeurs du **Tab II.4** indique que le mois de février est les plus humides avec 76.1%, par contre le taux d'humidité le plus faible est noté au cours du mois de Juillet avec 31%.

II.6 .2.5 . Le vent

Le vent est un facteur important du climat, il influe sur la température, l'humidité et l'évaporation. La direction, la fréquence et la vitesse du vent sont variables au cours de l'année (Mebarkia, 2011). Le vent est un facteur indispensable dans l'irrigation par aspersion particulièrement pendant la mise en place des asperseurs et le réseau d'irrigation.

Les données de la vitesse moyenne du vent de la région d'étude sont cosignées dans le tableau

II .5

Chapitre II : Etude du milieu physique

Tableau .II .5 : La vitesse moyenne mensuelle de la station de M'sila (2006-2018)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	AVR	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT
Vitesse du vent (m /s)	13	11,9	7,2	8,7	7,8	11,9	7,9	17	9,2	7,3	5,5	4,3

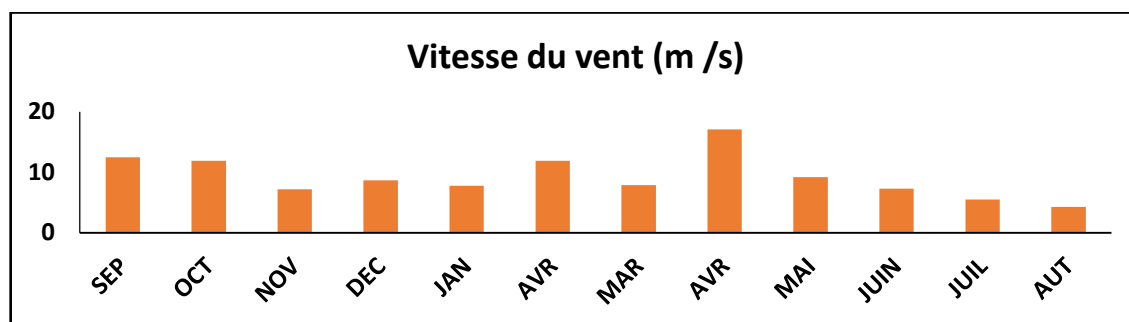


Fig. II .10 : Variation de la vitesse moyenne mensuelle de la région de M'Sila (2006 -2018)

La vitesse maximale du vent a été enregistrée au cours du mois d'Avril avec une moyenne de 17 ,1m /s par contre, la minimale a été relevée en Aout avec 4,3m/s.

Notons que la direction du vent dans la région de M'Sila est principalement Nord-Ouest.

II.6.3. Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS

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

Un mois est sec lorsque les précipitations moyennes exprimées en (mm), sont inférieures ou égales au double des températures enregistrées durant la même période ($P \leq 2T$).

Le diagramme ombrothermique à la station climatologique est illustré dans la fig.II.11

.Tableau. II .6 : la température moyenne (c°) et pluviométrie (mm) de l'année (2006-2018)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
T(C°)	8.78	9.76	13.05	18.08	22.89	28.32	32.43	31.77	25.62	20.67	14.24	9.43
P (mm)	22.84	14.98	14.02	27.38	17.34	25.09	9.85	5.24	19.53	24.08	15.37	14.01

Chapitre II : Etude du milieu physique

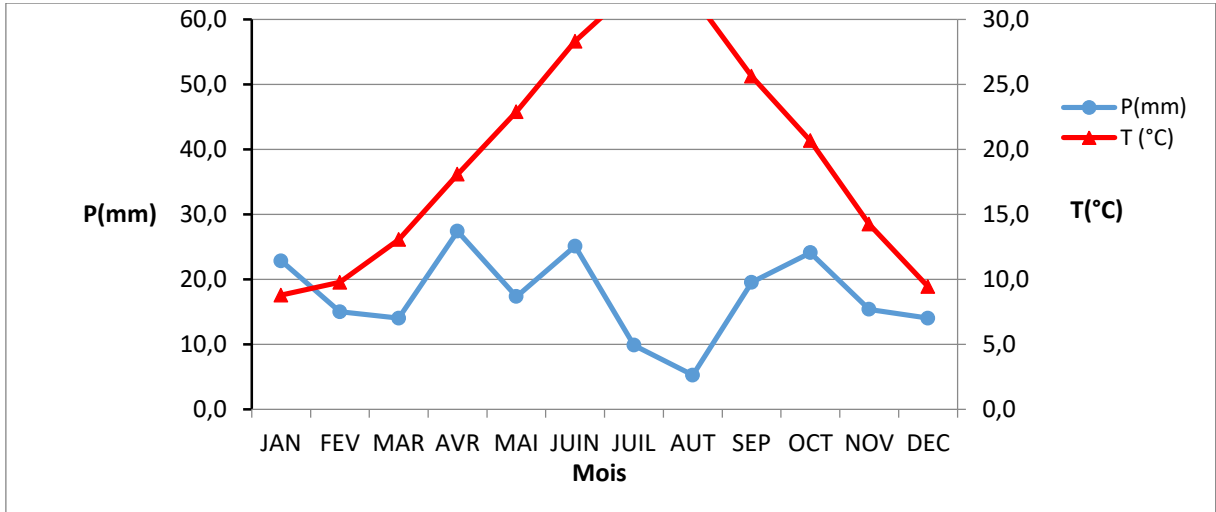


Fig. II.11 : Diagramme Ombrothermique de la région de M'Sila

II.6.4 Diagramme d'Emberger

Le diagramme d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique de la région d'étude et de donner une signification écologique du climat (humide, subhumide, aride, semi-aride et saharien). $Q_r = 2000 \text{ M}^2 / \text{m}^2$ place l'étage bioclimatique Aride supérieure selon fig(II.12)

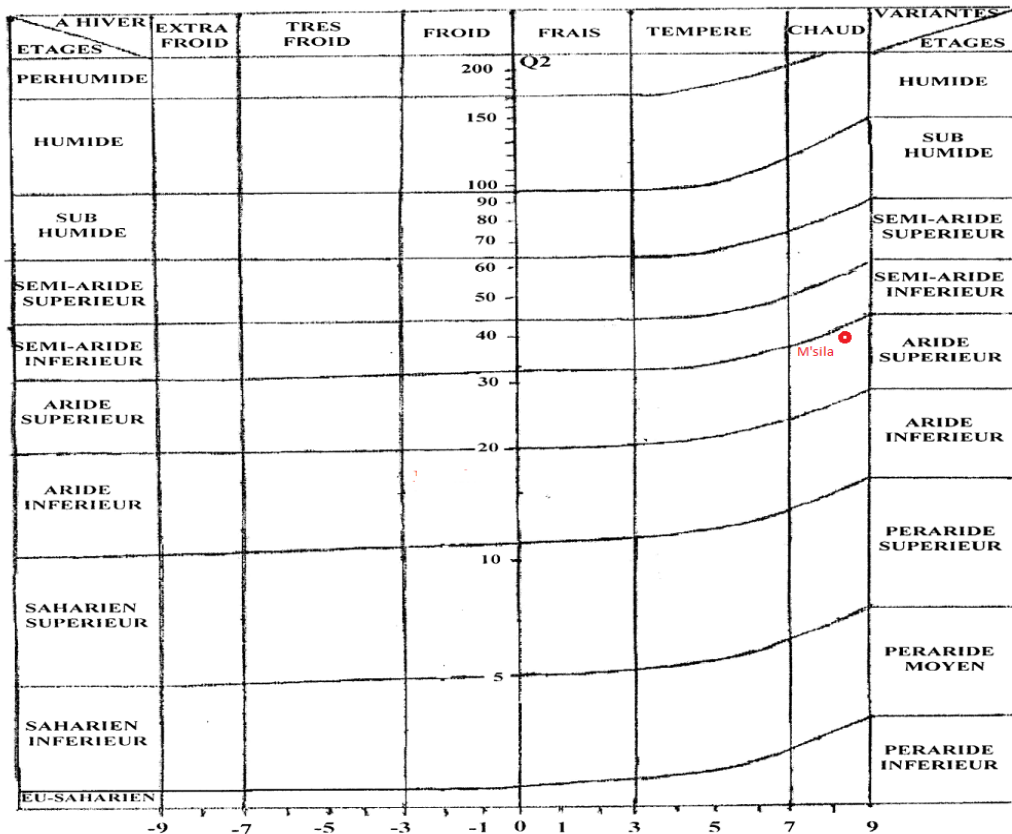


Fig.II.12 : Classification de climat de plaine de M'sila selon diagramme d'Emberger

(2006-2018)

Partie 2

Chapitre III :
Matériel et méthodes

Introduction

Il est important de connaître certains paramètres physico-chimiques, qui pourraient être la cause de nombreux problèmes. A cet effet, dans le présent travail, nous nous intéressons à la cartographie des données physico-chimique de l'eau de la nappe Mio-Plio-Quaternaire de M'Sila qui ont été obtenus par **(Zid el kheir et Baaouche, 2016)**. Cette cartographie est faite à l'aide de logiciel Surfer.8.

En plus, l'étude se base principalement sur les résultats de la campagne de prélèvement (Mars 2016) et quinze forages d'eau, répartis sur le terrain Les puits sélectionnés sont utilisés généralement pour les usages domestiques, agricoles et domestiques/agricoles. Les analyses sont portées essentiellement sur les paramètres physicochimiques suivants : la température (T), le pH, la conductivité électrique (CE), les cations (Ca, Mg, Na, K), les anions (Cl, SO₄, HCO₃, NO₃). Les analyses ont été effectuées au laboratoire du département des sciences agronomiques, Université de M'Sila.

III 1. Généralités sur le logiciel Surfer .8

Le logiciel Surfer.8, conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données que nous aurons récoltées sur le terrain via GPS.

Le principe de Surfer est le suivant : le logiciel nous permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y, z afin de les ordonnées. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes : base map, contour map, 3D surface, vecto et bien d'autres... Les possibilités d'utilisation sont nombreuses **(Alami, 2011)**.

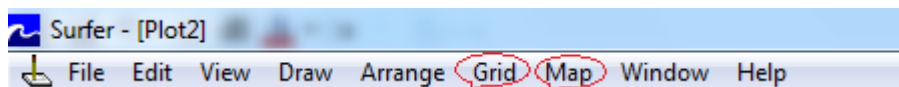
Les opérations présent en considération sont les suivantes :

1. Mettre en forme notre fichier Excel,
2. Afficher nos données sous surfer et connaître les outils à disposition ;
3. Créer une grille x, y, z
4. Créer différents types de cartes et le superposer
5. Mettre en forme nos cartes
6. Réaliser des profils de plage
7. Réaliser des calculs de volume
8. Calculer des longueurs et des surfaces
9. Créer des zones de blank
10. Calculer des volumes par rapport à une zone choisie de la plage.

Chapitre III : Matériel et méthodes

L'interface se présente comme souvent pour les logiciels de traitement de l'information géographique de la manière suivante :

- Une barre des menus en haut



Nous utiliserons principalement les menus Grid et Map

- Un cadre principal (Plot) dans lequel s'afficheront nos cartes au centre, et à gauche, le cadre Object Manager dans lequel nous pourrions modifier la disposition de nos données, les afficher ou les supprimer, en modifier la symbologie, etc. Par analogie, cela ressemble aux calques d'Adobe Illustration ou plus encore aux couches des logiciels de SIG.



	A	B	C
1	X	Y	Z
2	667 85	265 38	177
3	680 23	263 09	176
4	665 71	261 54	118
5	669 52	257 61	118
6	667 85	273 09	165
7	690 37	267 14	88
8	687 14	260	59
9	669 685	253 09	118
10	665 23	254 52	106
11	683 69	250	177
12	676	251	171
13	673 33	263 33	177
14	689 52	257 02	218
15	671 19	250 95	312
16	676 19	266 66	377

Une barre d'outils :

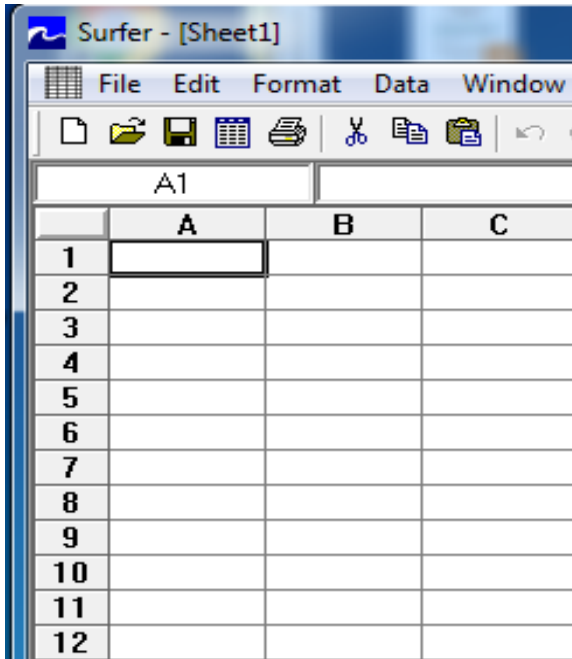


Nous permet de manipuler la carte. L'outil trackball entouré en rouge nous permet de tourner notre affichage dans tous les sens et toutes les orientations. Nous choisissons ici l'affichage de nos points, les différentes Cartes possibles

Chapitre III : Matériel et méthodes

Le logiciel nous permet en principe de réaliser nos MNT du début à la fin.

Cependant, pour ceux qui recherchent une meilleure qualité de réalisation finale, il est conseillé de finaliser vos cartes sous Adobe pour la mise en page.

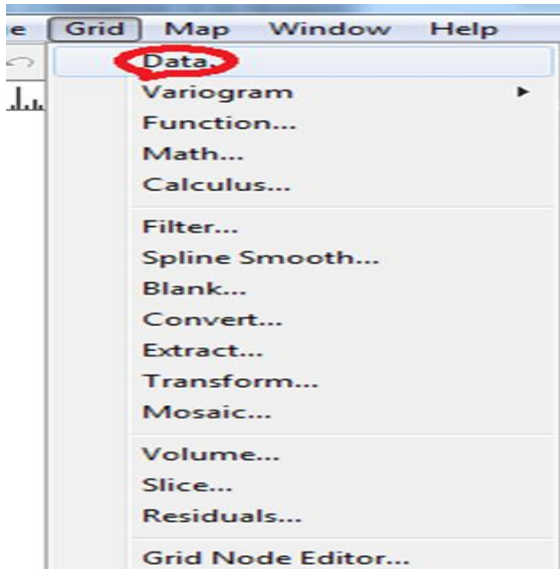


Le logiciel possède également un worksheet qui nous permet d'afficher nos données dans un tableau. C'est un peu l'Excel de Surfer. C'est dans le worksheet que nous pourrions organiser nos données pour créer des profils de plage, créer des blank ... etc. (Alami, 2011).

	E6		
	A	B	C
1	X	Y	Z
2	667 85	265 38	177
3	680 23	263 09	176
4	665 71	261 54	118
5	669 52	257 61	118
6	667 85	273 09	165
7	690 37	267 14	88
8	687 14	260	59
9	669 685	253 09	118
10	665 23	254 52	106
11	683 69	250	177
12	676	251	171
13	673 33	263 33	177
14	689 52	257 02	218
15	671 19	250 95	312
16	676 19	266 66	377

I.2. les étapes à suivre

Première opération : préparation des données, visualisation, et mise en forme



	E6			
	A	B	C	
1	X	Y	Z	
2	667 85	265 38	177	
3	680 23	263 09	176	
4	665 71	261 54	118	
5	669 52	257 61	118	
6	667 85	273 09	165	
7	690 37	267 14	88	
8	687 14	260	59	
9	669 685	253 09	118	
10	665 23	254 52	106	
11	683 69	250	177	
12	676	251	171	
13	673 33	263 33	177	
14	689 52	257 02	218	
15	671 19	250 95	312	
16	676 19	266 66	377	

III 2.1. Mettre en forme le fichier Excel

Nos données des forages et éléments minéraux sont affichées sous Excel. Comme pour profiler, il faudra effectuer un premier élément sur Excel qui ressemblera fort à celui de profiler avec néanmoins quelques petites différences (Alami, 2011).

Enregistrer avec un nom explicite précisant bien qu'il s'agit des lignes de ruptures. Le traitement sous Excel est terminé.

L'opération qui suit consiste à ouvrir les lignes de rupture sous surfer pour les sauvegarder sous le format de surfer qui est le Golden Software Blanking ou .bln. Sans plus de précisions, c'est ce format qui va nous permettre d'afficher par la suite le MNT. Pour l'instant, contentons-nous d'appliquer dans l'ordre les opérations.

Ouvrons surfer, affichons nos lignes de rupture dans le worksheet (fil→New), et sauvegardons en .bln (Alami, 2011).

III 2.2. Créer une grille x, y, z

Cette manipulation est la base du traitement sous Surfer.

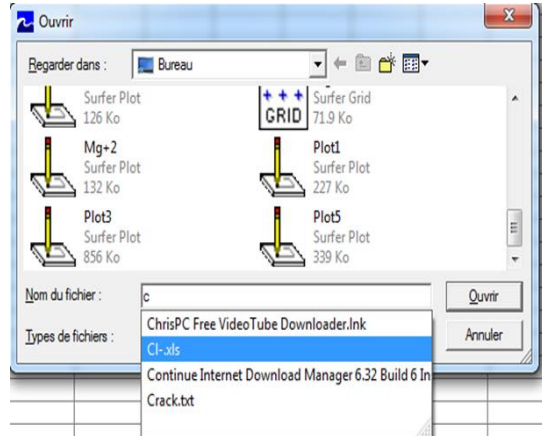
- On créer une grille à l'aide du menu grid→data.
- Ouvrons d'abord notre fichier Excel total. *Rappel* : pour l'instant nous avons trois fichiers. Celui de départ avec tous les points que nous allons ouvrir, nos lignes de rupture en Excel et ces mêmes lignes de ruptures sauvegardées en →bln (**Alami, 2011**).

La fenêtre ci-dessous s'affiche. Les colonnes a, b et c représentent l'emplacement de nos coordonnées x y et z.

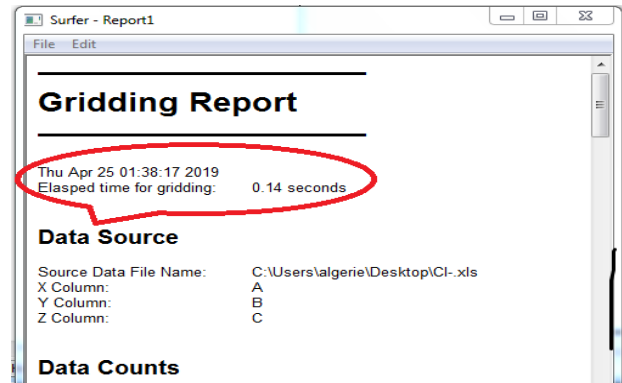
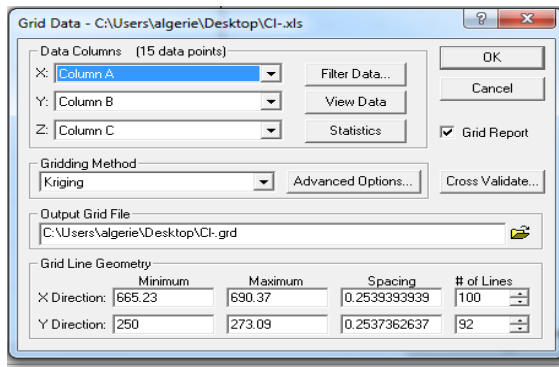
-Cliquons sur new data pour nous assurer qu'elles correspondent bien. Si ce n'est pas le cas, nous pouvons les intervertir. Le Giddings Méthode correspond à la méthode d'interpolation utilisée. Par défaut, nous utilisons la méthode fiable en ce qui nous concerne, le kriging.

Maintenant il faut aller chercher nos lignes de ruptures précédemment sauvegardées en. bln.

- Cliquons sur Advanced Grid→Data et importons le fichier→bln.
- Revenons à la fenêtre de départ et cliquons sur Ok. Le chargement peut prendre quelques secondes. A la fin, un gridding report nous est proposé, contenant les caractéristiques.

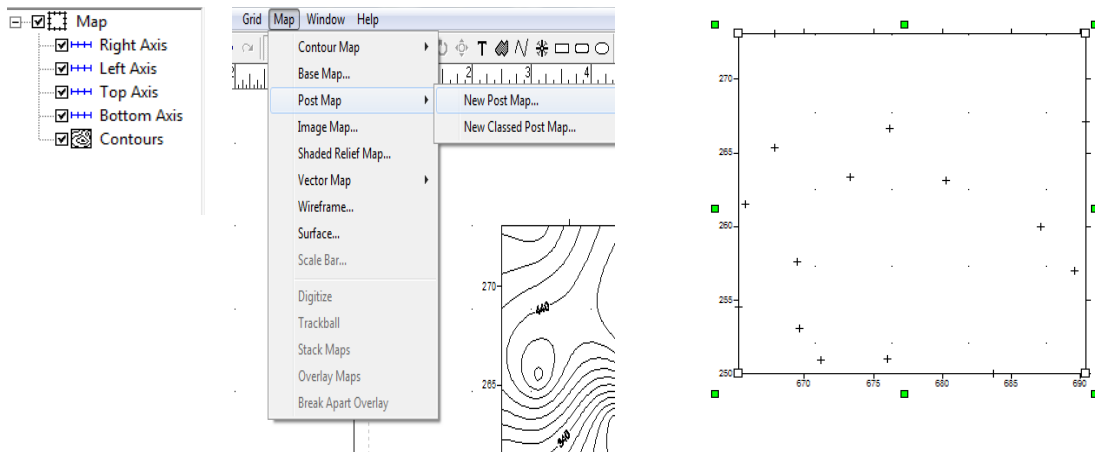


Nous pouvons le fermer maintenant que nous avons une grille, nous allons pouvoir ouvrir d'autres cartes et effectuer nos traitements. La grille s'affichera de la manière suivante dans votre jeu de données.



III 2.3. Afficher nos points

A partir de votre simple fichier Excel, nous pouvons déjà afficher nos points. Allons dans map new data. Les points de notre plage s'affichent dans le plot. Dans object manager s'affichent les composants de notre (axes, titre, type d'affichage...) (Alami, 2011).

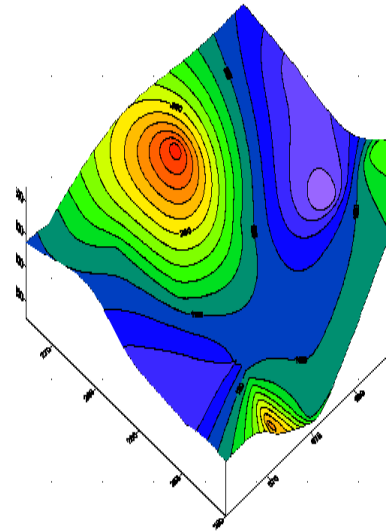
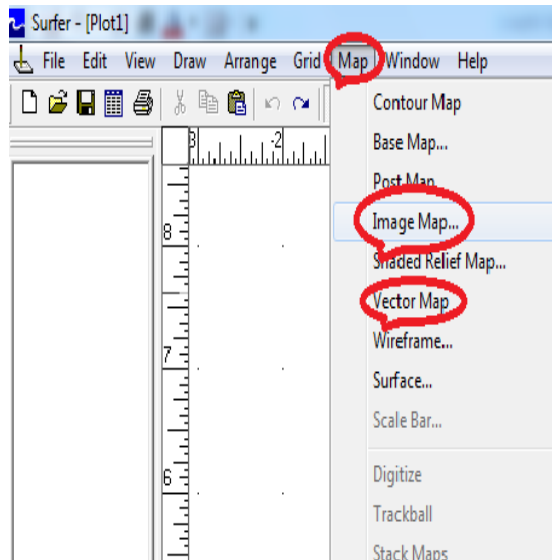


Si nous essayons d'ouvrir d'autres cartes (eg. Image map, 3D Surface, etc.) , cela ne marche pas. C'est qu'il faut créer une grille, réelle puissance du logiciel surfer. Le fichier Excel ouvert dans contour Map est un simple affichage de nos points géo-référencés. En revanche, la grille applique une méthode d'interpolation qui définira la topographie de notre plage.

III 2.4. Ouvrir d'autres cartes et les superposer

III 2.4.1. ouvrir d'autres cartes

A partir du menu map (new), amusons-nous à expérimenter les contours map, image→ map→ shaded relief map , grid vector, 3D wireframe, 3D surface. Toutes ces cartes s'ouvrent à partir d'une grille. A nous de découvrir les spécificités de chacune. A chaque ouverture, remarquons que les informations de la carte apparaissent dans Object Manager (Alami, 2011).

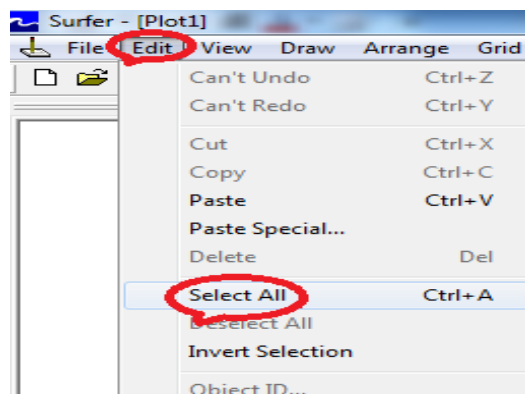


III 2.4.2 Superposer des cartes (overlays)

Une autre fonction essentielle de Surfer est de pouvoir superposer les cartes. Pour cela nous avons deux manières de faire.

III 2.4.3. Par la fonction Edit

Sélectionnons par exemple notre post map. Allons dans map →Select All et cliquons sur contour layé. Choisissons à nouveau la grille de notre fichier total ou de toute autre carte que nous voudrions superposer. A notre post map est alors ajouté le contour demandé.



III 2.4.3. Par Object manager

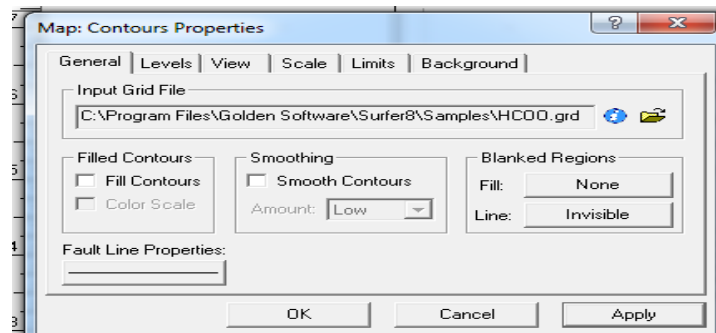
Nous avons notre post map affichée. Faîte map→new et ouvrons le contour map. A partir d'Object Manager, faites glisser l'icône du contour au-dessus ou juste en-dessous de celle de notre post map. Les deux cartes se superpose essayons ces deux techniques avec d'autres cartes. Parfois, une carte va complètement cacher celle du dessous. Cela est dû à l'opacité. Dans notre exemple, si, nous ajoutons une image Map, il vous faut double-cliquer

sur l'icône relative à l'image map dans Object manager, puis aller dans layer pour ajuster l'opacité (l'opacité dans général ne nous aiderons pas) (Alami, 2011).

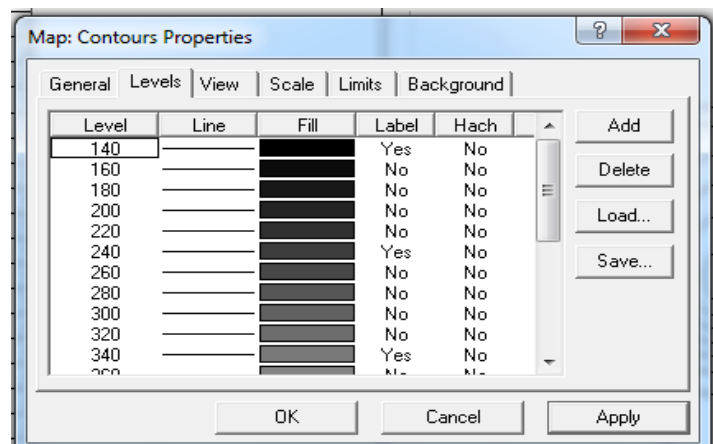
III 2.4.5. Mettre en forme nos cartes

Mettre en forme signifie choisir ses propres couleurs, ajuster l'échelle des axes, leur attribuer un titre, mettre une échelle... De manière intuitive, nous avons la possibilité de trouver tout ce qui nous intéresse en cliquant directement sur les axes dans le plot (il faut être très précis), ou sur les informations dans object managé.

Par exemple, double-clique sur le top axis de notre carte dans Object managé. Nous pouvons taper un titre, en modifier la police et la taille dans font, etc. Dans tricks nous réglons les graduations, dans Scaling l'échelle (Alami, 2011).

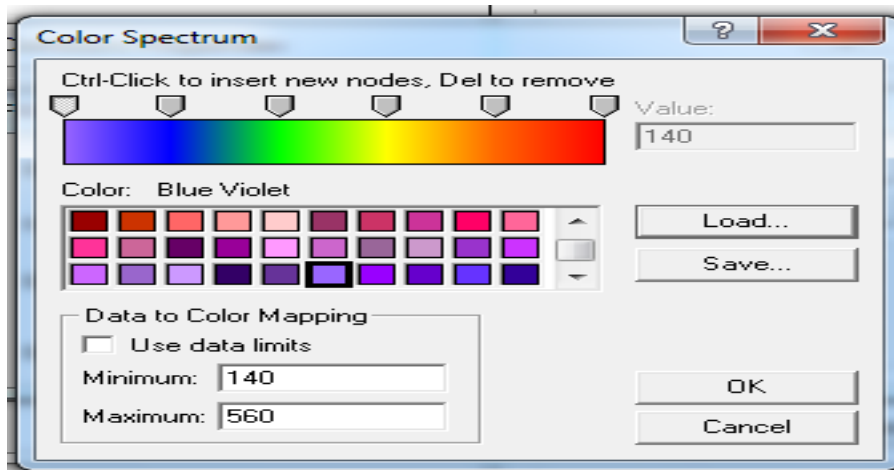


Pour l'apparence générale de la carte, double-cliquer sur la Map elle-même dans Object managé. Explorons les changements d'angles, passons en mode perspective, ... etc. Pour le contour map, l'affichage par défaut est un fond blanc avec les lignes noires. Dans Object managé, double-cliquez sur l'icône du contour. Dans level, nous pourrions changer les couleurs, mais seulement une par une, ce qui peut être fastidieux. Nous pouvons aussi juste Cliquer Fill contours pour le remplir en noir et blanc.



Chapitre III : Matériel et méthodes

Pour les cartes 3D surface, double-clique sur l'icône dans Object managé. Cliquons sur la bande de couleur pour accéder au menu color→ map ci-dessous. Nous pouvons soit choisir un aplat de couleur prédéfini dans les prestes, soit créer nous-même notre dégradé. Pour cela, nous avons à disposition ces petits carrés de couleur sous la barre : ce sont les nodes. Nous pouvons en changons la couleur, En supprimer ou en ajouter pour affiner notre dégradé. Nous pouvons aussi les déplacer le long de la barre pour appliquer la couleur autre part.



Chapitre IV :
Outils d'interprétations des données
chimiques

Introduction

Pour caractériser au mieux la géochimie de l'eau souterraine, différentes méthodes peuvent être appliquées. Dans notre travail, le diagramme de Piper (1944) et le diagramme de Scholler (1975) sont réalisés permettant de caractériser certaines informations hydrogéochimiques des eaux souterraines de la plaine de M'Sila.

IV.2.1 . Utilisation des représentations graphiques

IV.2.1.1. Diagrammes de SCHOELLER-BERKALOFF ET PIPER

Les nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une d'eau, induisent l'utilisation de représentations graphiques.

L'objectif principal d'une représentation graphique est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux minérales de compositions physico-chimiques voisines ou de proximité géographique.

Les deux graphiques, SCHOELLER-BERKALOFF ET PIPER sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes. Chacune de ces représentations a ses avantages et ses inconvénients, et il convient de rester critique vis à vis de l'interprétation qui en est faite, selon que l'on cherche à caractériser un faciès particulier, à comparer des différentes eaux entre elles, ou à mettre en évidence la stabilité d'une eau dans le temps.

Dans ce travail, le diagramme de PIPER a été utilisé parce qu'il est bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillons. Ce diagramme se compose de deux champs triangulaires et / ou interchangeables en forme de losange.

Le pourcentage des valeurs de réaction des trois groupes cationiques Ca^{2+} , Mg^{2+} et $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ est représenté graphiquement sous la forme d'un point unique dans le champ triangulaire gauche, puis les trois groupes anioniques $(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$, SO_4^{2-} et $(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-)$ de manière similaire sur le champ triangulaire droit. Fondamentalement, le type d'eau a été déterminé à partir d'une combinaison du cation principal et de l'anion sur la base des concentrations exprimées en pourcentage de méq / l.

IV.2.1.2. Diagramme de Riverside (ou SAR)

La salinité ou concentration totale de l'eau est à l'origine des risques salins liés à une présence excessive de sels, quelle que soit leur nature.

Selon Ayers et Westcot (1988) ; quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture.

Chapitre IV : Outils d'interprétations des données chimiques

Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relatives à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR en anglais) aussi appelé "pouvoir alcalisant" qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation. Les risques de sodisation (axe des ordonnées).

IV.2.1.3. Diagramme de WILCOX

La toxicité se manifeste dans les végétaux suite à l'absorption et à l'accumulation de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation. L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Les modifications qui peuvent apparaître dans le sol sont fonction des fréquences d'irrigations (Ayers et Westcot 1988). Les symptômes caractéristiques sont les brûlures et le roussissement du feuillage ainsi qu'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles. Souvent la toxicité par le sodium se modifie et s'atténue en présence du calcium.

La classification de WILCOX (1955) fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau (pourcentage de sodium), est définie par la formule suivante :

$$\%Na = \frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq / l.

Partie 3

Chapitre V:
Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

Introduction

Les analyses physico-chimique des eaux de la nappe de la région étudiée ont permis d'acquérir un certain nombre de paramètre habituellement utilisés pour l'estimation de la qualité des eaux d'irrigation : la salinité (traduite par la conductivité électrique), le RSC, (Résiduel Sodium Carbonate), le SAR (Sodium Adsorption Ratio ou indice d'adsorption du Sodium, aussi appelé « pouvoir alcalinisant ») (Zid El Khir et Baouch, 2016).

V.1. Principaux paramètres physico-chimiques

V.1.1. Température

Les valeurs des températures des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne qui a été faite en Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (V. 01).

Tableau V.01 : Température des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
T(C°)	21.8	23.2	32.5	23.2	21.9	21.6	22.2	21.8	22.6	22.1	22.6	23	28.5	22.7	20	23.24

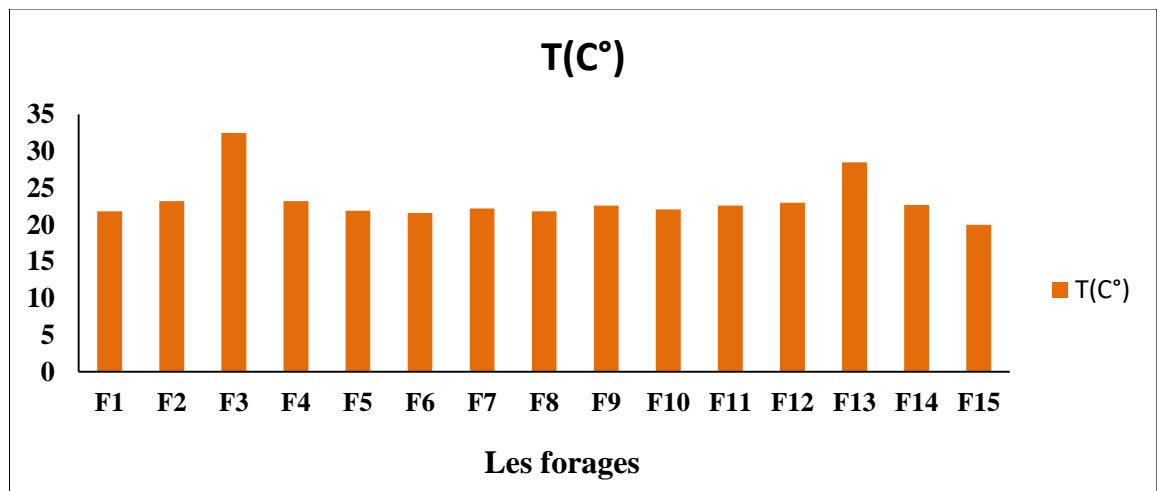


Fig. V.01 : Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de M'sila (Mars 2016)

La figure V.01 montre que la température moyenne mesurée des différents points d'eau de secteur d'étude est de l'ordre de 23.24°C. Elle varie entre une valeur minimale de 20°C et une maximale de 28,5°C au niveau des forages F15 et F13 respectivement (Fig.V.01).

La température de ces eaux est inférieure à 25°C, considérée comme valeur limite indicative fixée pour les eaux destinées à l'irrigation des cultures, sauf pour le forage F13, ce qui traduit l'appartenance des nitrates.

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1.2. Potentiel d'hydrogène

Les valeurs du pH des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne qui a été faite (Zid El kheir et Baouche, 2016) sont regroupées dans le tableau (V.02).

Tableau V.02 : le pH des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
Ph	6,87	6,50	6,24	6,73	7,59	6,93	8,10	7,75	7,54	7,63	6,31	7,48	6,11	7,66	8	7,10

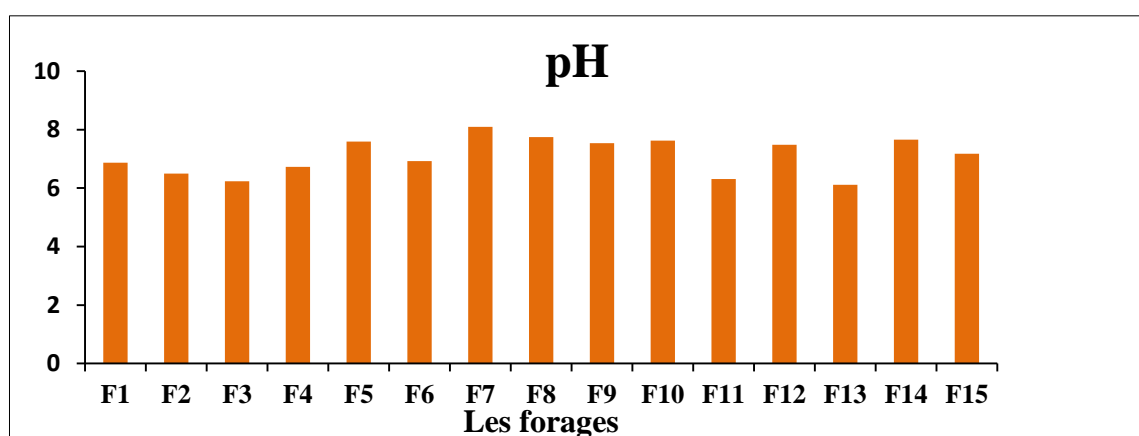


Fig. V.02 : Variabilité du pH des eaux souterraines de la plaine de M'Sila (Mars 2016)

La valeur moyenne calculée du pH mesurée sur le terrain au niveau des 15 échantillons est 7,1 avec un minimum de 6,31 au forage F13 et un maximum de 8,1 au forage F17 (Fig.V.02) ; ce que reflète un caractère basique des eaux de la région de M'Sila. Elle est due à une teneur élevée en anhydride carbonique.

V.1.3. Dureté totale

Les valeurs de la dureté totale des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne qui a été faite (Zid El kheir et Babouche, 2016) sont regroupées dans le tableau (V.03).

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau V.03 : La dureté totale des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
DT °F	156	120	88	88	79	68	60	128	62	76	124	78	62	80	34	86,86

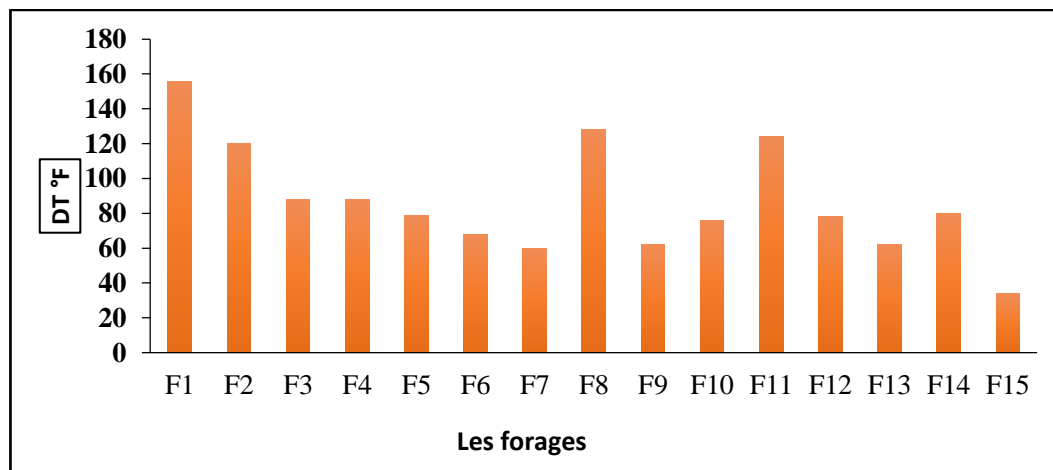


Fig.V.03 : Variation de la dureté totale des eaux de la plaine du M'Sila.

Selon les résultats indiqués au tableau (V.03) et la représentation à la Fig (V.03), les valeurs de la dureté totale calculée s'étalent entre 34°F et 156°F avec une moyenne de 86,86°F. Elles indiquent que les eaux de la nappe souterraine sont des eaux dures à très dures d'après les normes internationales de l'OMS.

V.1.4 : Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique CE des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne 2016 sont regroupées dans le tableau (V.04).

Tableau V.04 : La conductivité électrique des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
CE (µS/cm)	3120	2910	1870	1729	1646	1332	1094	3041	1085	1666	2510	1345	1337	1314	934	1795,53

Le tableau (V.04) et la figure (V.04) montrent que la majorité des eaux de la plaine de M'Sila pendant la campagne du prélèvement (Mars 2016) ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevée à très élevée. Ces valeurs présentent un risque salin élevé à très élevé sur les sols et les plantes.

La salinité, représentée par la CE, augmente au centre de la plaine et dans la partie

Chapitre V : Résultats et discussions

Nord-Ouest (**Fig.V.04**). Il passe d'une valeur minimale de $934\mu\text{S/cm}$ à une valeur maximale de $3120\mu\text{S/cm}$ et avec une moyenne de $1795,53\mu\text{S/cm}$ (**Tab. V.04**). Ceci est le résultat de l'influence des eaux du Chott El Hodna au Sud et les formations évaporitiques et argilo-gypseuses au Nord de la région d'étude.

Des valeurs faibles ($\text{CE} < 1700\mu\text{S/cm}$) ont été enregistrées pour les échantillons d'eau le long du piedmont du nord et représentent 22% des cas. Elles correspondent à la zone d'alimentation de la nappe de M'Sila (**Fig. V.04**).

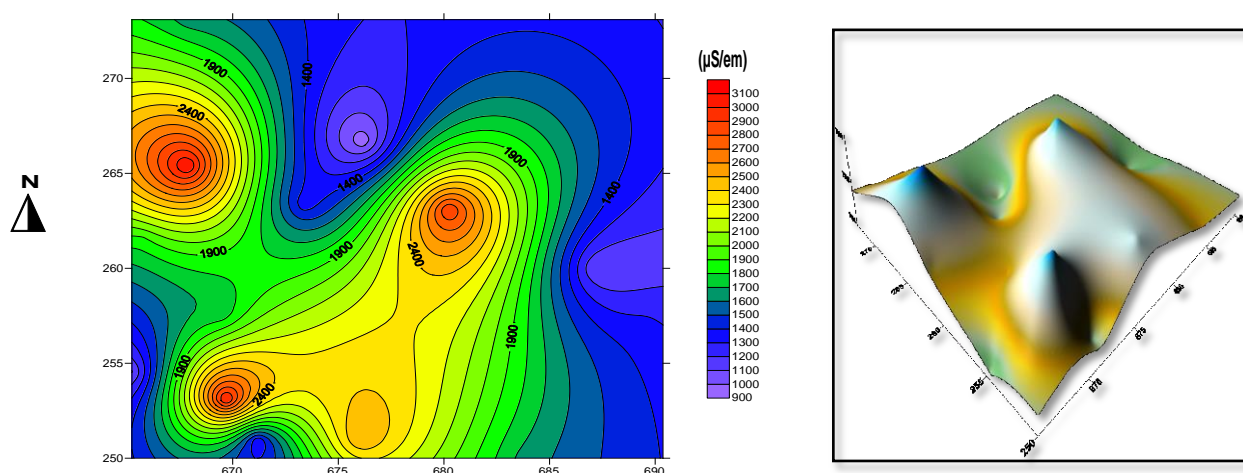


Fig. V.04 : Carte de répartition spatiale de la conductivité des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.2 : Etude analytique et cartographie des éléments chimiques majeurs

L'établissement des cartes des principaux éléments chimiques nous permet d'apprécier la répartition des concentrations et d'expliquer leur origine. Pour cela nous avons dressé des cartes d'iso-teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , SO_4^- , Cl^- et HCO_3^- et NO_3^- .

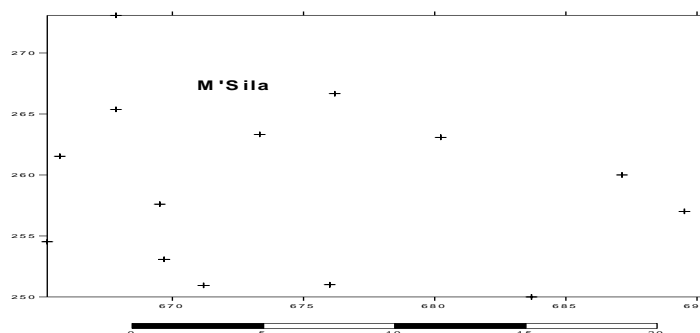


Fig.V. 05 : Carte de répartition spatiale des forage dans plaine de M'Sila

Chapitre V : Résultats et discussions

V.2.1 : Les cations

V.2.1.1 : Le calcium Ca^{2+}

Les concentrations en Calcium des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (V.05).

Tableau V.05 : Teneurs en calcium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
Ca^{+2} (mg/l)	312	248	176	176	153	128	112	256	120	139	420	152	122	152	96	184,13
Ca^{+2} (méq/l)	15,6	12,4	8,8	8,8	7,65	6,4	5,6	12,8	6	6,95	21	7,6	6,1	7,6	4,8	13,5

Le calcium des eaux de l'aquifère de la plaine de M'Sila varie de 96 mg/l à 420 mg / l, avec une valeur moyenne de 184,13 mg/l. (**Tab. V.05**).

L'examen de la carte de répartition du calcium au niveau de la zone d'étude (**Fig. V.06**) montre que les fortes concentrations se situent dans la zone Nord Est de la plaine (> 200 mg/l), tandis que le reste de la zone d'étude est caractérisées par des teneurs inférieures à 125 mg/l.

L'apport du calcium est assuré au Nord par les entrées au niveau des massifs carbonatés (Monts du Hodna) qui donnent des teneurs élevées, une fois les eaux sont dans la nappe, les vitesses d'écoulement sont faibles, les eaux se mélanges avec l'ensemble des réserves de l'aquifère.

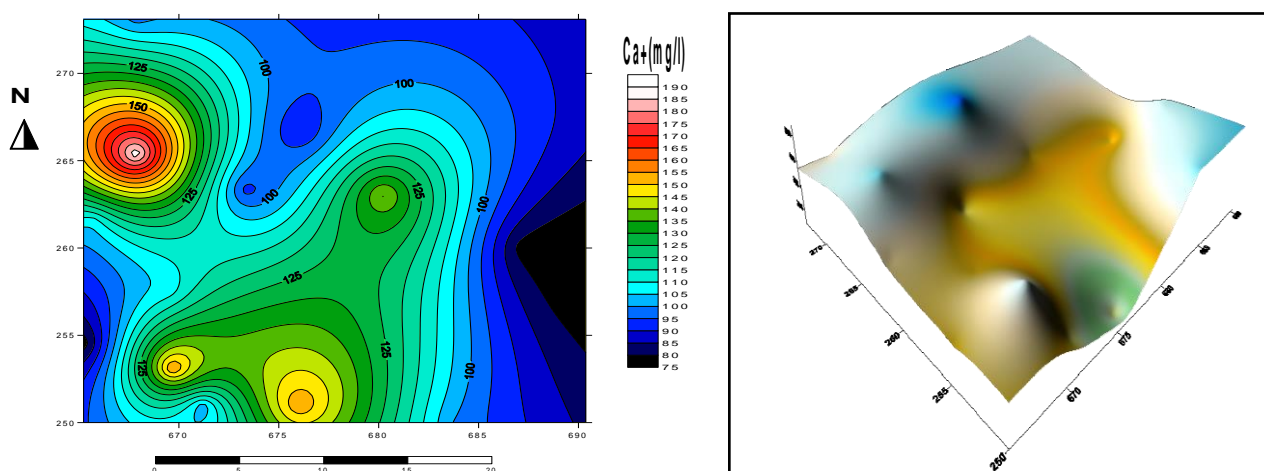


Fig.V.06 : Carte de répartition spatiale des teneurs en calcium des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

Chapitre V : Résultats et discussions

V.2.1.2. Magnésium

Les concentrations en Magnésium des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (V.06).

Tableau V.06 : Teneurs en Magnésium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
Mg ⁺² (mg/l)	189	141	107	107	98	87	77,76	156	77	100	155	93	77	102	90	112,14
Mg ⁺² (méq/l)	15,55	11,60	8,80	8,80	8,06	7,15	6,39	12,83	6,33	8,22	12,75	7,65	6,33	8,39	7,40	9,08

La teneur minimale du magnésium est enregistrée au forage F9 avec 77mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F1 avec 189mg/l avec une moyenne de 112,14mg/l.

La carte (Fig.V.07) montre que la teneur élevée s'observent au Nord –Ouest de la plaine et la teneur moyenne s'observent au l'entrée et sud de la plaine d'étude.

Le magnésium provient en partie du flanc ouest des monts du Hodna à partir des calcaires dolomitique du barrémien et de l'Aptien.

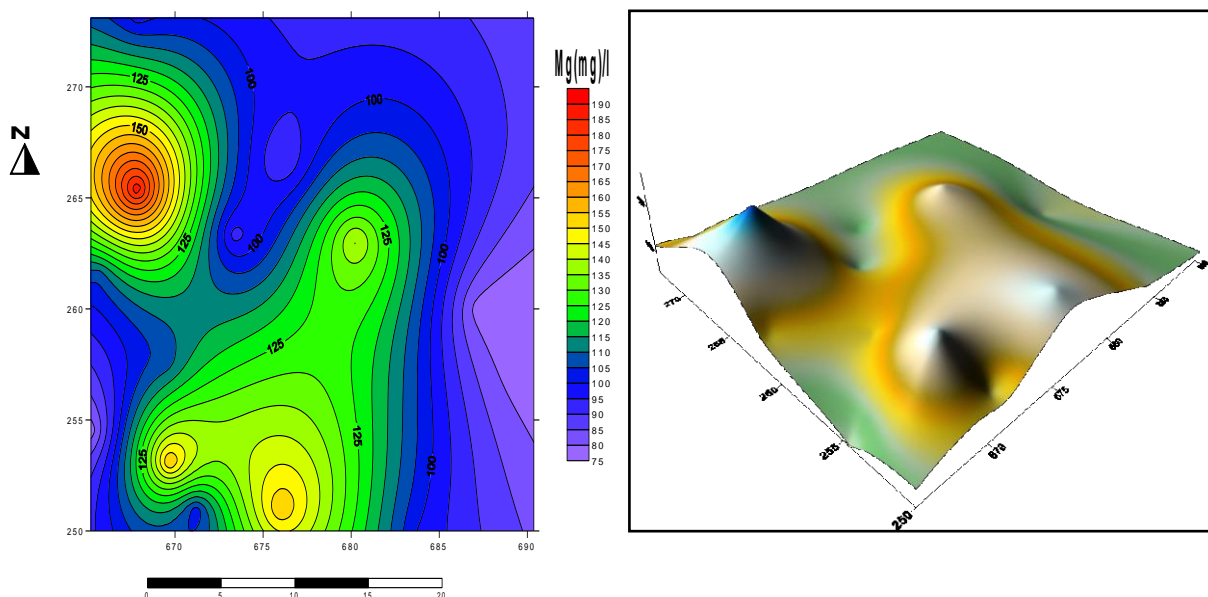


Fig.V .07: Carte de répartition spatiale des teneurs en magnésium des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.2.1.3. Le sodium

Les concentrations en Sodium des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (V.07).

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau V.07: Teneurs en Sodium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
Na ⁺ (mg/l)	133	217	190	250	170	96	60	45	102	170	140	225	81	370	233	165,46
Na ⁺ (még/l)	5,78	9,43	8,26	10,87	7,39	4,17	2,60	1,95	4,43	7,39	6,08	9,78	3,52	16,09	10,13	7,00

Les concentrations du sodium des eaux de la nappe de M'Sila varient entre 45mg/l au forage F8 et 370 mg /l au forage F14 avec une teneur moyenne de 165,46mg/l.

La carte de répartition de cet élément montre des fortes concentrations au Sud de la région d'étude (**Fig.V.08**). Cette élévation est due à la présence des formations géologique riche en argiles gypseuses, des évaporites et même l'influence des eaux du Chott El Hodna par son écoulement inverse vers la nappe (**V.08**).

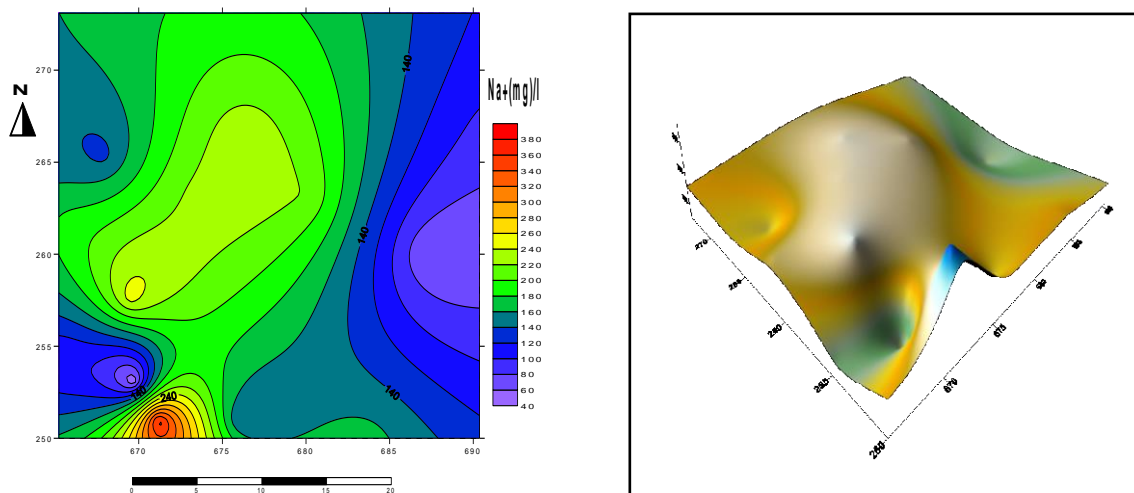


Fig.V.08: Carte de répartition spatiale des teneurs en sodium des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.2.1.4 : Potassium

Les concentrations en Potassium des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (**V.08**).

Tableau V.08: Teneurs en Potassium des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moyenne
K ⁺ (mg/l)	4,8	3,6	3,6	1,2	3,8	5	5,5	7	4,9	4	4,5	3	5,4	1	2	3,95
K ⁺ (még/l)	0,12	0,09	0,09	0,03	0,09	0,13	0,14	0,17	0,12	0,10	0,12	0,08	0,14	0,03	0,05	0,09

Chapitre V : Résultats et discussions

La répartition en potassium au niveau de la plaine de M'Sila varie entre F8 7mg /l et F14 1mg/l avec une concentration moyenne de l'ordre de 3,95mg/l.

Le potassium est dû probablement aux argiles potassique et de la dissolution des engrais chimiques où l'utilisation des engrais chimiques est élevée par les agricultures au niveau de la plaine de M'Sila (**Fig.09**).

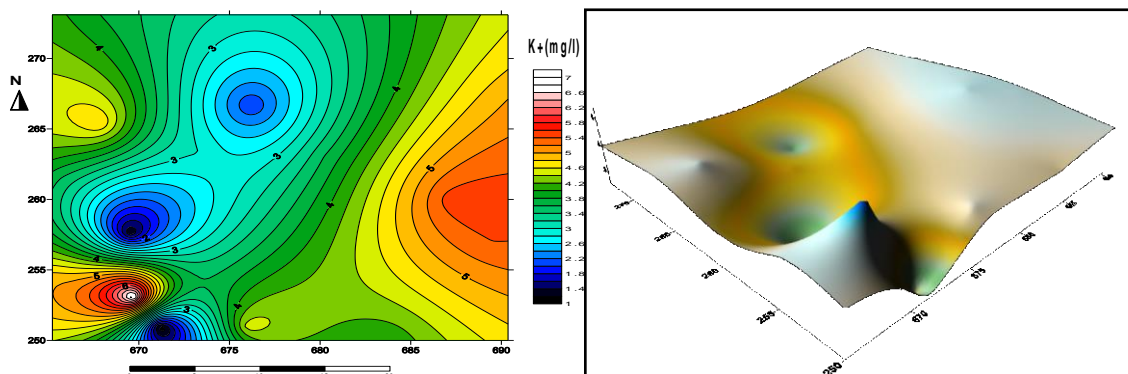


Fig.V.09 : Carte de répartition spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.2.2. Les anions

V.2.2.1. Sulfates

Les concentrations en sulfates des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (**V.09**).

Tableau V.09 : Teneurs en sulfates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moy
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	840	950	720	700	510	600	400	900	510	520	900	492	450	450	547	632,6
SO ₄ ²⁻ (méq/l)	17,5	19,8	15	14,6	10,6	12,5	8,3	18,7	10,6	10,8	18,7	10,2	9,4	9,4	11,9	15

concentration de cet élément que varient entre 400 mg/l au forage F7 et une valeur de 950 mg/l avec une teneur moyenne de l'ordre de 632,6mg/l.

D'après la carte de répartition de cet élément (**Fig.V.10**), nous distinguons que les teneurs élevées se localisent au centre et au sud de la région d'étude. Cette élévation est provient à partir des niveaux gypseux du lutétien et des niveaux argileuses de l'Oligocène au Sud des monts du Hodna, et puis les eaux mélanges avec l'ensemble des réserve de la nappe qui sont lui diminués leur concentration.

Les températures des eaux ainsi que les teneurs en sulfates sont des preuves de leurs traversées dans des failles encore actives avec remontée des gypses du Trias (**Fig. V.10**).

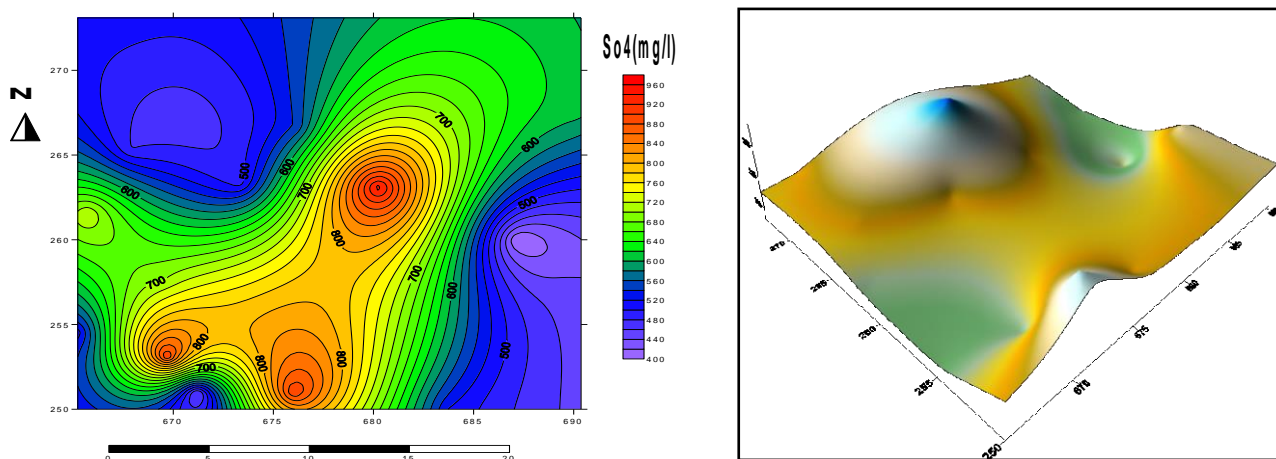


Fig.V.10 : Carte de répartition spatiale des teneurs en sulfates des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.2.2.2. Chlorures

Les concentrations en chlorures des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (V.10.).

Tableau V.10 : Teneurs en chlorures des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moy
Cl ⁻ (mg/l)	177	176	118	118	165	88	59	118	106	177	171	177	218	312	377	170,46
Cl ⁻ (méq/l)	4,99	4,96	3,32	3,32	4,65	2,48	1,66	3,32	2,99	4,99	4,82	4,99	6,14	8,78	10,62	4,80

Les valeurs de Cl⁻ varient entre 59 mg/l au forage F7 et 377 mg/l au forage F15 avec une concentration moyenne de 170.46 mg/l.

La Fig V.11 montre que la majorité des points d'eau ont des fortes teneurs sont concentrées au centre de la plaine et dans la partie Nord-Ouest. Le Cl⁻ provient d'une intrusion des eaux salées du Chott El Hodna à partir de la nappe phréatique (mélange des eaux des deux nappes).

Les chlorures dans les eaux d'irrigation provoquent un risque potentiel pour les plantes et les sols lorsque ses valeurs dépassent une concentration de 350mg/l selon les directives internationales.

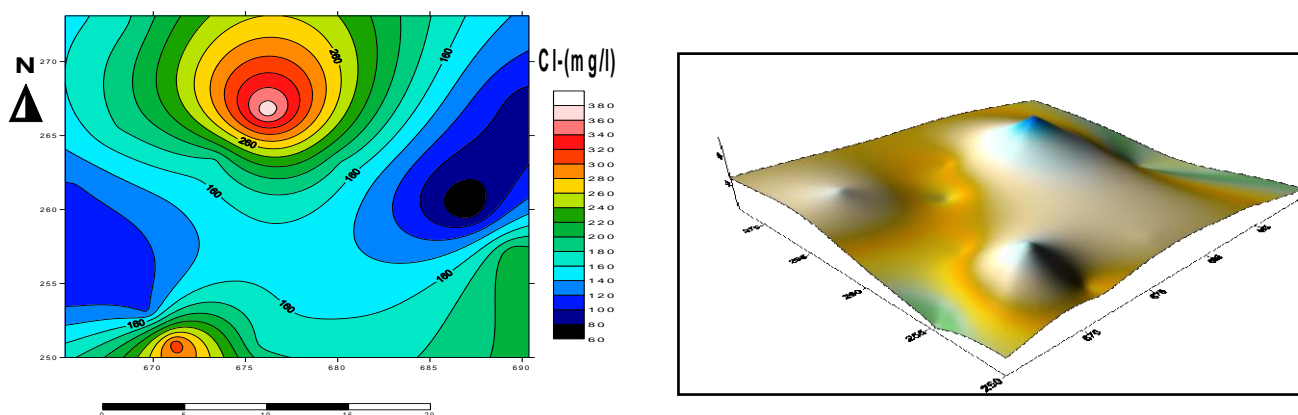


Fig.V.11 : Carte de répartition spatiale des teneurs en chlorures des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.2.2.3. Nitrates

Les concentrations en nitrates des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (V.11).

Tableau V.11 : Teneurs en nitrates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moy
NO_3^- (mg/l)	36	56	22	19	26	12	4	45	6	23	29	16	4	20	20	22,53
NO_3^- (méq/l)	0,58	0,90	0,35	0,30	0,41	0,19	0,06	0,72	0,09	0,37	0,46	0,25	0,06	0,32	0,32	0,34

L'examen des résultats nitrates dans la Fig V.12 montre que les concentrations dépassent la norme fixée par la grille standard (30 mg/l) que pour les eaux des forages F1, F2 et F8. Les nitrates varient entre 4mg/l au forage F7 ; F13 à 56 mg/l au forage F2, avec une valeur moyenne de 22,53mg / l (Tab.V.11).

L'examen de la carte des nitrates (Fig.V.12) montre que les concentrations sont assez fortes dans la zone septentrionale et centrale de la plaine. Ces régions sont à forte utilisation des engrais organiques et inorganiques. Le reste de la plaine, on assiste à une dilution de ces teneurs en NO_3^- .

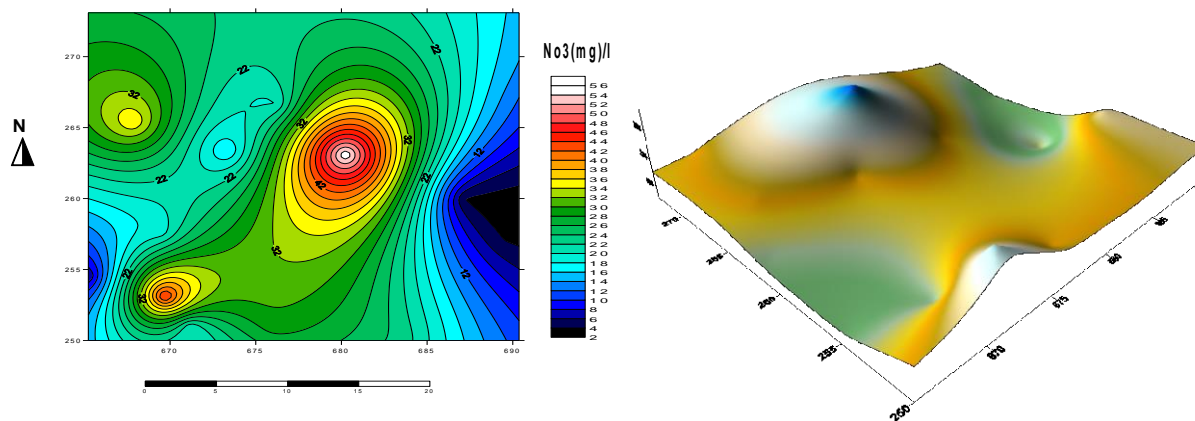


Fig.V.12 : Carte de répartition spatiale des teneurs en nitrates des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.2.2.4. Les bicarbonates

Les concentrations en bicarbonates des eaux de la nappe de M'Sila durant la campagne de Mars 2016 sont regroupées dans le tableau (V.12).

Tableau V.12 : Teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila

Forages	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	Moy
HCO_3^- (mg/l)	488	305	341	305	366	414	268	427	305	488	144	244	450	244	547	355,73
HCO_3^- (méq/l)	8	5	5,59	5	6	6,78	4,30	7	5	8	2,36	4	7,37	4	8,96	5,77

Les teneurs des eaux dans la plaine de M'Sila en bicarbonates varient entre 400 mg/l au forage F7 et 950 mg/l au forage F2 avec une concentration moyenne de 355,73mg/l.

D'après la carte de répartition de cet élément, les fortes teneurs se localisent dans la partie nord, alors que les faibles teneurs se trouvent à l'opposé ou bien dans la zone sud (Fig.V.13). Les bicarbonates proviennent en partie du flanc Sud des monts du Hodna (calcaire à silex de l'Yprésien, calcaires noduleux de l'Albien inférieur).

Les bicarbonates dans les eaux d'irrigation représentent un risque sérieux pour les cultures dans le cas où l'irrigation se fait par la technique d'aspersion.

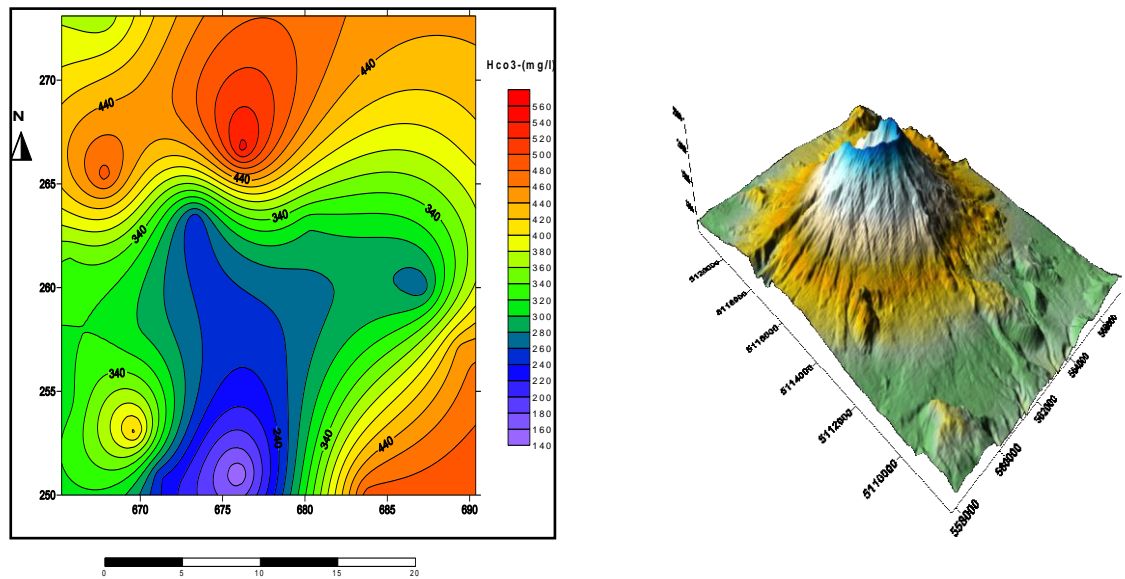


Fig.V.13 : Carte de répartition spatiale des teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans plaine de M'Sila (Mars 2016)

V.3. Faciès chimique des eaux

Il existe un grand nombre de classification des eaux naturelles d'après leur composition chimique dont les plus utilisées sont celles de SCHOELLER -BERKALOFF et PIPER.

V.3.1. Classification des eaux selon SCHOELLER -BERKALOFF

Cette classification est basée sur la présentation des résultats des analyses chimiques sur diagramme mis point par H. SCHOELLER et révisé par BERKALOFF en 1952. Ce diagramme se compose sept échelles logarithmique verticales correspondante aux principaux ions analyse. Tous les éléments chimiques analysés sont répartis directement en mg/l.

Ce type de diagrammes permet de déterminer le Ph d'équilibre ($\text{pH}_{\text{équilibre}}$) qui donne une idée sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau (Atmani et Baza, 2017).

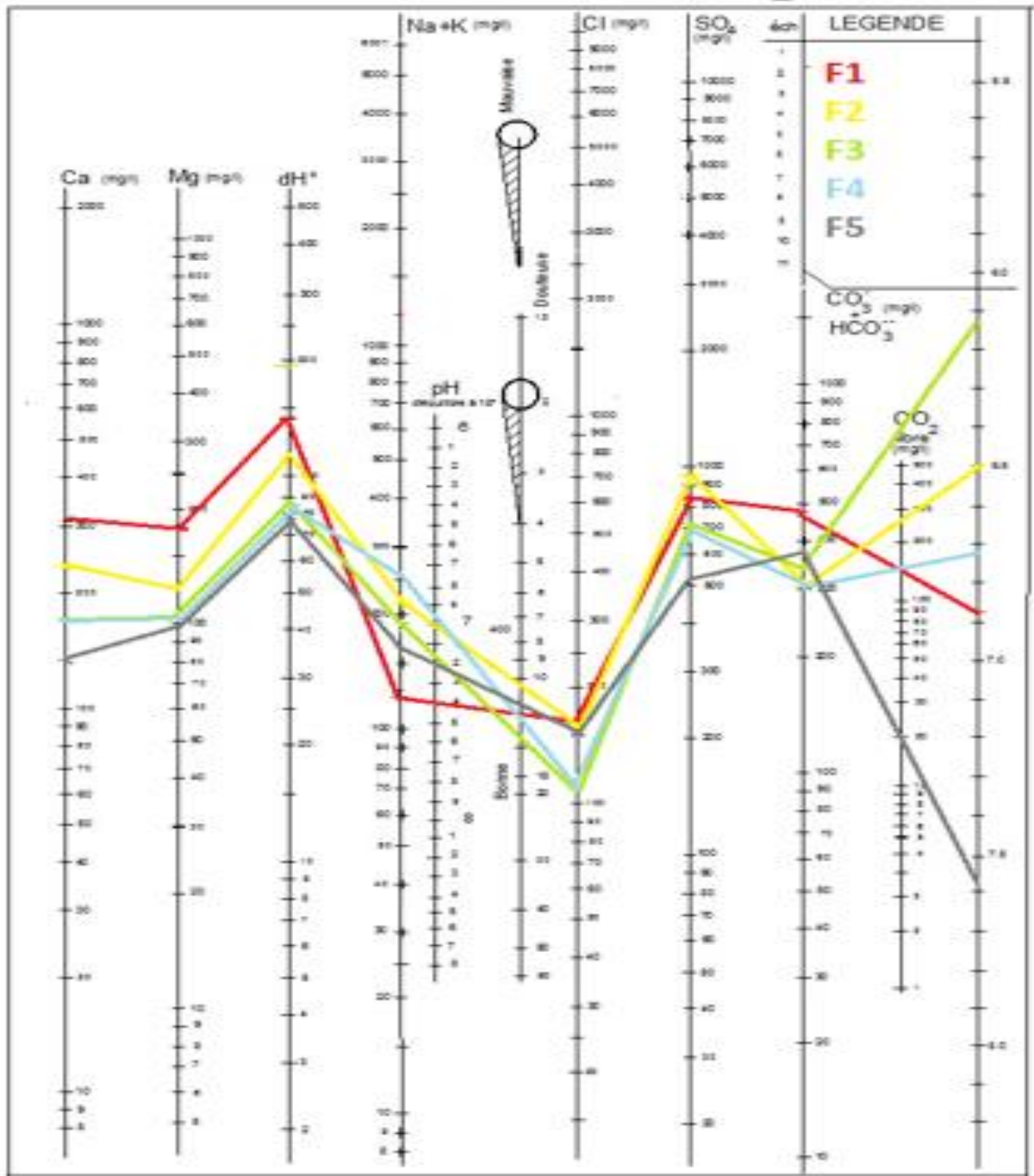


Fig.V.14 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de M’Sila (F1, F2, F3, F4 et F5)

(Zid el kheir et Baaouche, 2016).

Chapitre V : Résultats et discussions

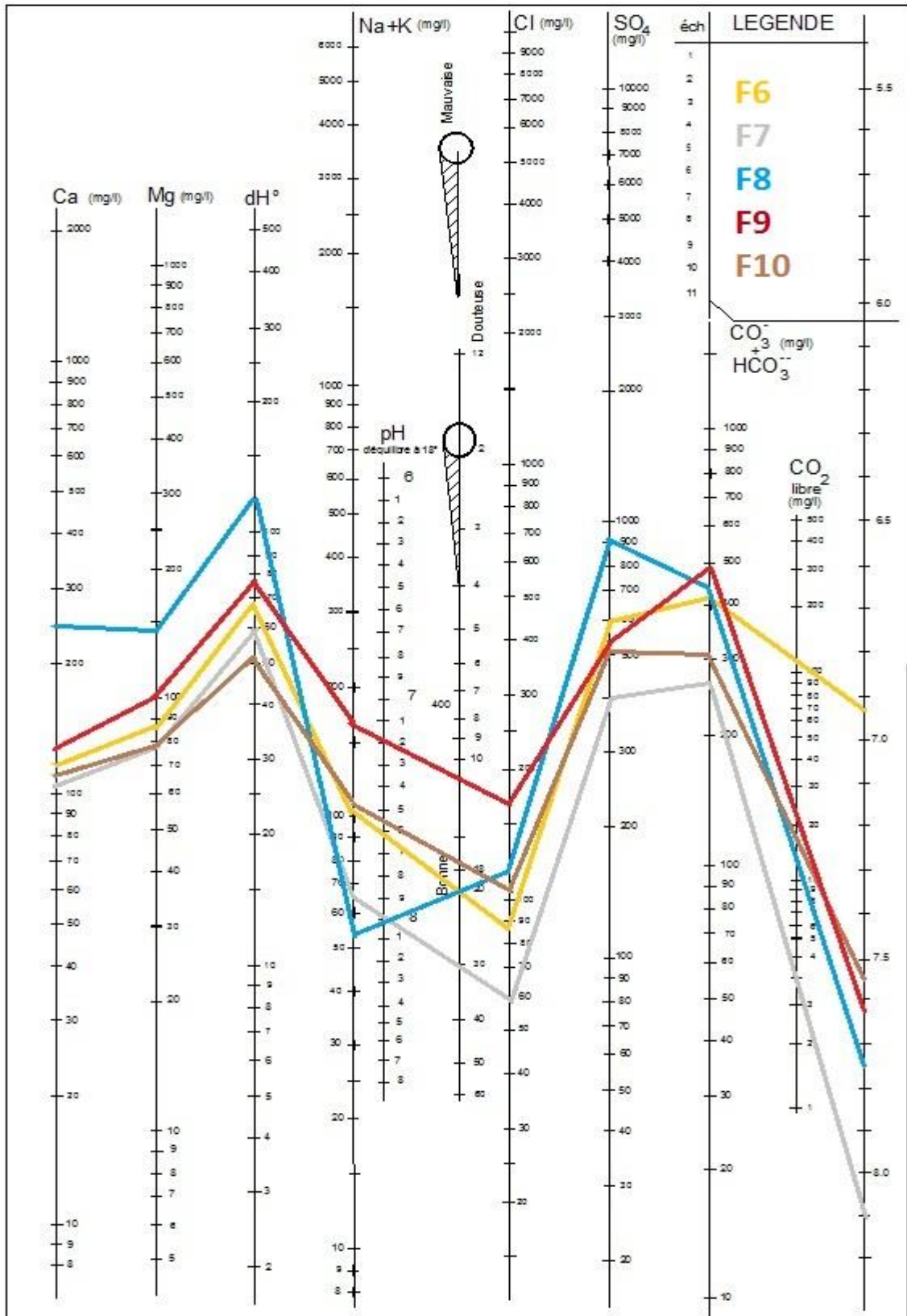


Fig.V.15 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de M'Sila (F6, F7, F8, F9 et F10)

Chapitre V : Résultats et discussions

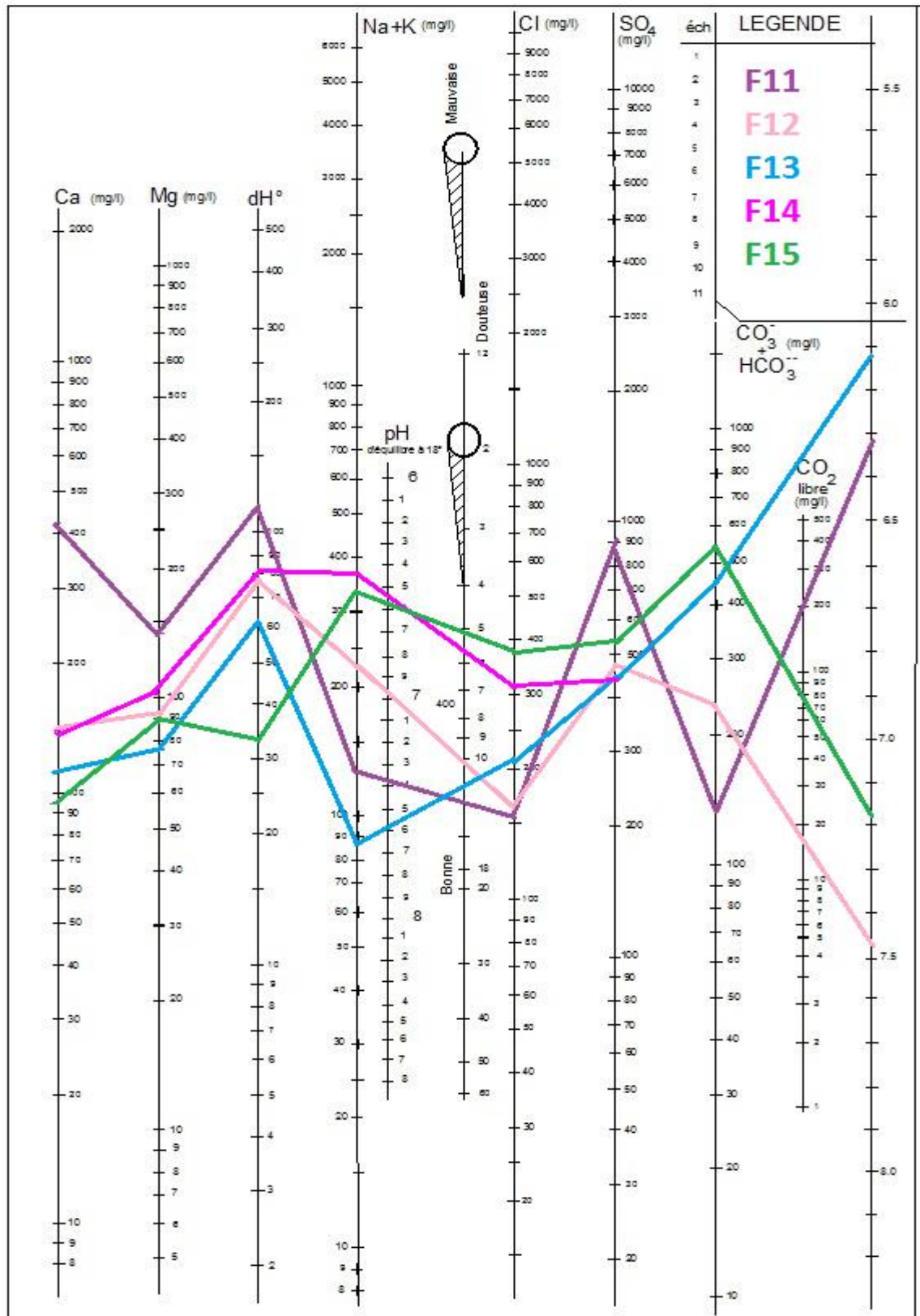


Fig.V.16 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de M'Sila (F11, F12, F13, F14 et F15)

Chapitre V : Résultats et discussions

A première vue, on remarque une dominance des sulfates avec 73,33% de de l'ensemble des points d'eaux, en deuxième position les bicarbonates avec 26,66% , que semble être liée à la géologie en particulier les grés argileux gypsifères de l'Oligcène au nord et les formation évaporitiques au sud de la région d'étude.

Caractère de l'eau

On peut avoir une idée sur l'état d'équilibre de l'eau comparant le Ph d'équilibre avec le Ph mesurée. Le Ph d' équilibre est obtenu graphiquement à partir du Diagramme de Schoeller –Berkaloff

- Si le PH mesuré > PH équilibre l'eau est incrustante
- Si le PH mesuré < PH équilibre l'eau est agressive
- Si le PH mesuré = PH équilibre l'eau est neutre

La majorité des points d'eau sont caractérisées par une eau agressive avec 73,33%. Ceci est traduit par une forte corrosion du tubage des forages et l'acidité de l'eau.

V.3.2. Diagramme de PIPER

Cette classification est faite à l'aide d'un diagramme qui comprend un losange représentatif A, B, C, D et deux triangles équilatéraux, dont les cotes sont divisées en cent parties égales correspondant à des quantités en réaction d'ions par rapport à la somme des ions de même signe.

$$r\% \text{ x}^+ = (100 r^+) / (\sum r^+)$$

$$r\% \text{ x}^- = (100 r^-) / \sum r^-)$$

La présentation des analyses chimiques des eaux souterraines sur ce type de diagramme (Fig.V.17.18.19) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines le tableau n° III.13, Montre que les eaux de la plaine de M'Sila présentent deux familles dominante (Zid el khier et Baouch 2016) sont

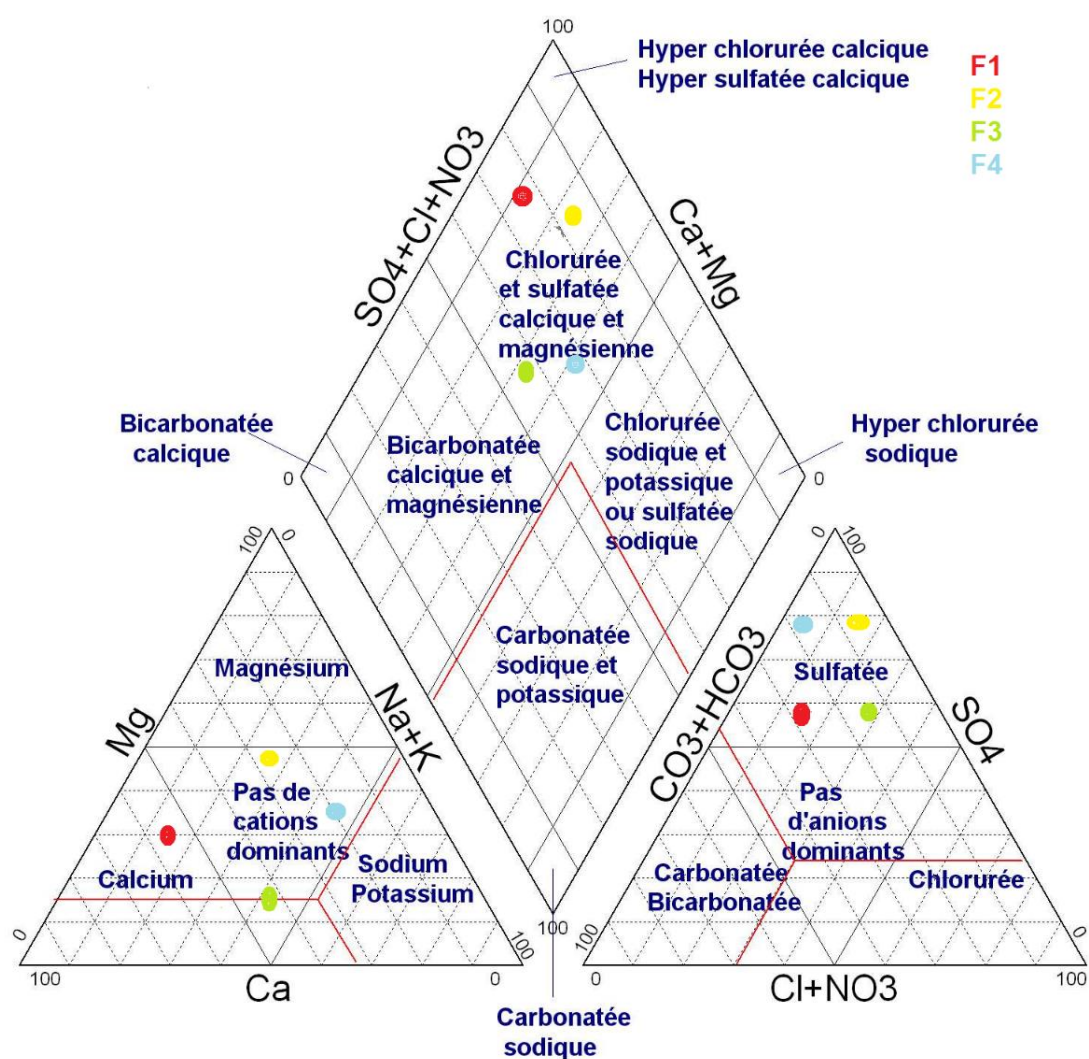
- Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne
- Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau V.13 : Classification des eaux souterraines différentes compagnes solen PIPER

Compagnes chimique	Famille des eaux	Pourcentage
Avril 2016	Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne	93,34 %
	Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique	06,66 %

Diagramme de Piper



(Zid El Khier Et Bauch 2016)

Fig.V.17 : Classification des eaux d'irrigation des stations F1 F2 F3 F4 de M'Sila selon la méthode de PIPER

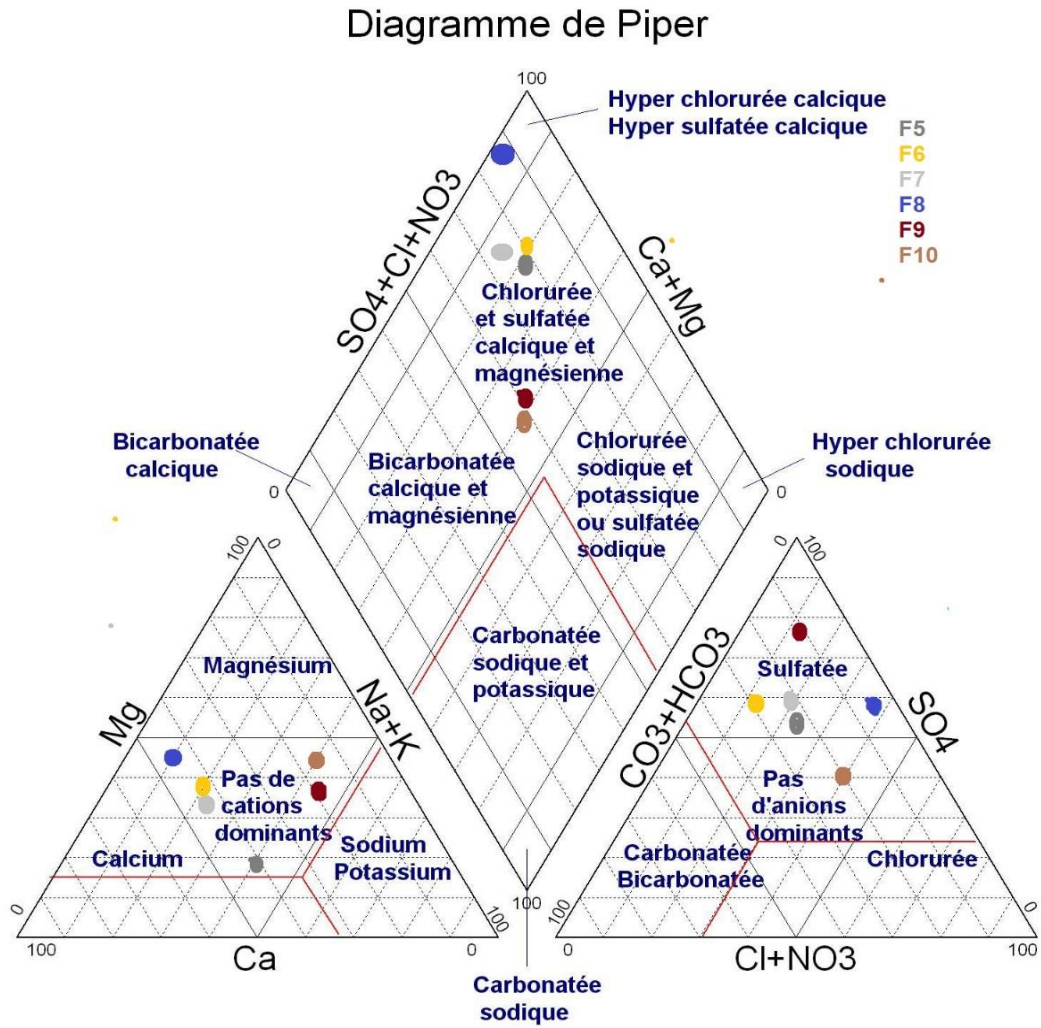


Fig.V.18 : Classification des eaux d'irrigation des stations F5 F6 F7 F8 F9 F10 de M'sila selon la méthode de PIPER

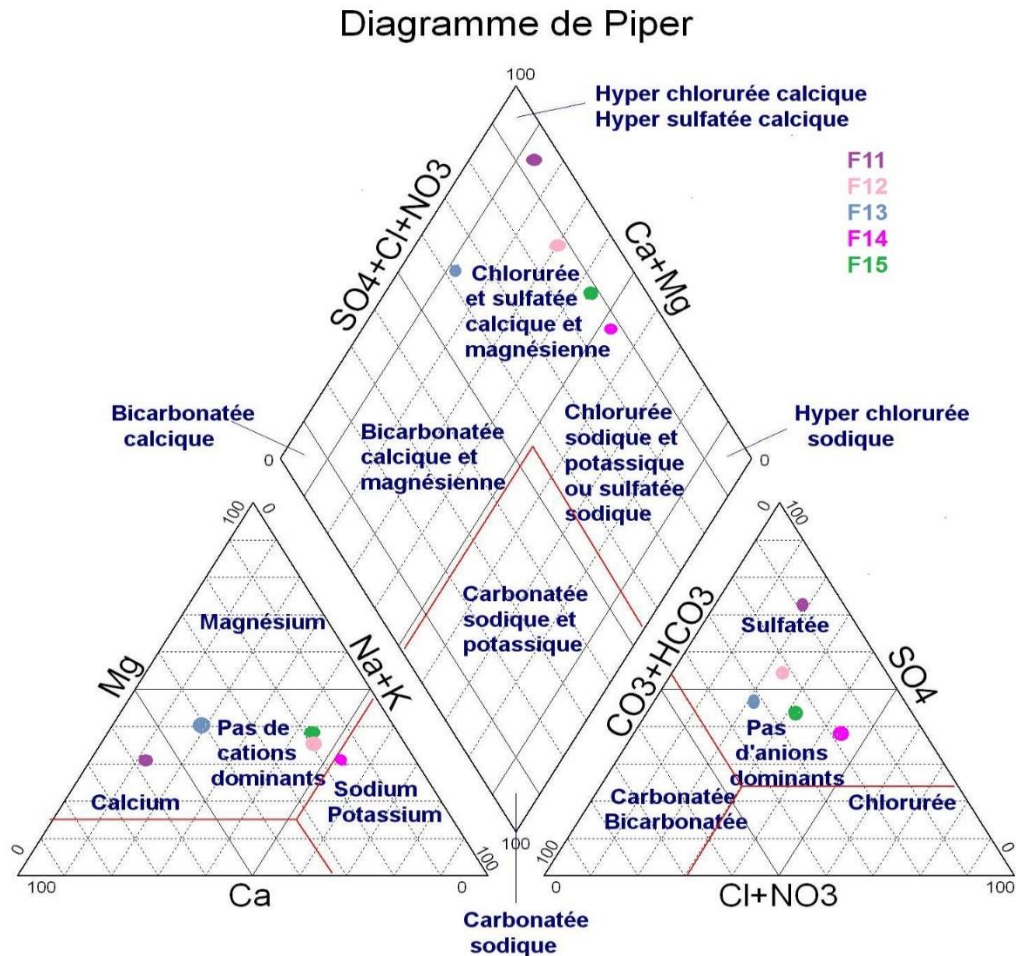


Fig.V.19 : Classification des eaux d'irrigation de la station F11 F12 F13 F14 F15 de M'sila selon la méthode de PIPER

V.3.3. État de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement.

Par sa qualité chimique l'eau souterraine au niveau de la plaine de M'Sila est exploitée principalement pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'irrigation. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela, nous allons utiliser trois (03) méthodes simplifiées en fonction du type de sol, qui sont :

- Le taux d'absorption de sodium (SAR) ou celle du Riverside ;
- Le pourcentage de sodium (Na%) du WILCOX ;
- L'indice de perméabilité (IP).

Chapitre V : Résultats et discussions

V.3.3.1. Classification de WILCOX

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, est définie par la formule suivante :

$$\%Na = \frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq / l.

Cette classification définit cinq classes d'eau : -Excellente -Bonne -Admissible - Médiocre et -Mauvaise.

Tableau V.14 : Résultats de la teneur en sodium (%Na⁺) des eaux souterraines de M'Sila.

Classe	% des points d'eau
Bonne	73,34%
Médiocre	13,33%
Mauvaise	13,33%

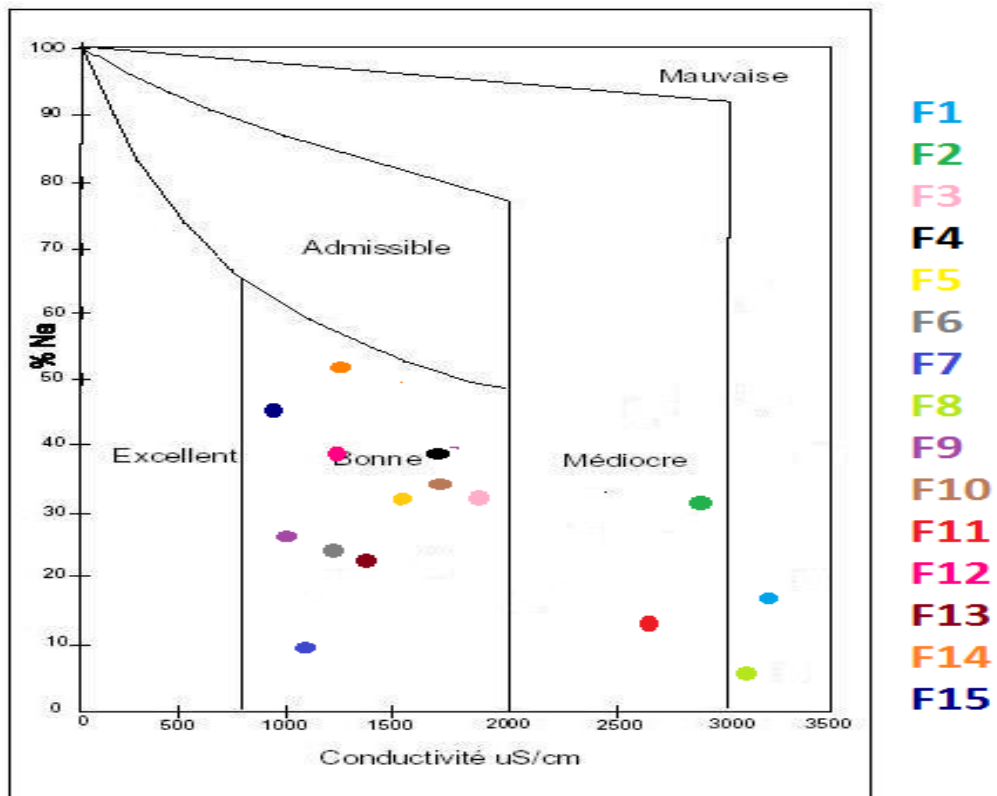


Fig.V.20 : Classification des eaux d'irrigation de plaine de M'Sila sur le diagramme de WILCOX

(Zid el kheir et Baaouche, 2016).

V.3.3.2. Diagramme de Riverside ou Méthode de SAR

La méthode la plus couramment employée pour évaluer le potentiel de risque est celle de coefficient d'absorption de sodium (SAR).

Le SAR utilisée en combinaison avec la conductivité électrique (CE) de l'eau.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq/l.

Tableau V.15 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards

Qualité	Classes	Pourcentage des points d'eau
Médiocre	C3S1	66,66%
Mauvaise	C4S1	33,33%

La représentation des données dans le diagramme de salinité américain décrit par Richards (1954) des 15 échantillons montre que dans l'ensemble de secteur d'étude, le S.A.R représente les deux classes C3S1, C4S1 et C4S3 (**Tab. V.15** et **Fig.V.21**.)

➤ 67 % des échantillons d'eau étaient dans la catégorie C3S1. Cette classe, désigne des eaux médiocres, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.

➤ 33 % étaient dans la catégorie C4S1. Cette distribution indiquant un danger de salinité très élevée et un risque alcalin faible (**Fig. V.21**). Cette classe (C4S1) indique des eaux de mauvaise qualité, fortement minéralisées, qui ne peuvent convenir qu'à des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

L'eau à forte salinité ne peut pas être utilisée pour l'irrigation avec un drainage restreint et nécessite une gestion spéciale pour contrôler la salinisation du sol (bon drainage, lixiviation élevée et addition des matières organiques) (**Zakir et al., 2016**) et les plantes ayant une bonne tolérance au sel devraient être choisies pour cette zone.

Une eau avec une alcalinité moyenne présentera un problème dans les sols à texture fine ayant une CE élevée, en particulier sous faibles conditions de lessivage. Cette eau peut être utilisée sur des sols à texture grossière ou organiques avec une bonne perméabilité. L'eau à faible teneur en sodium (S1) peut être utilisée pour l'irrigation sur presque tous les sols avec peu de danger du développement de niveaux nocifs de sodium échangeable (**Zakir et al., 2016**).

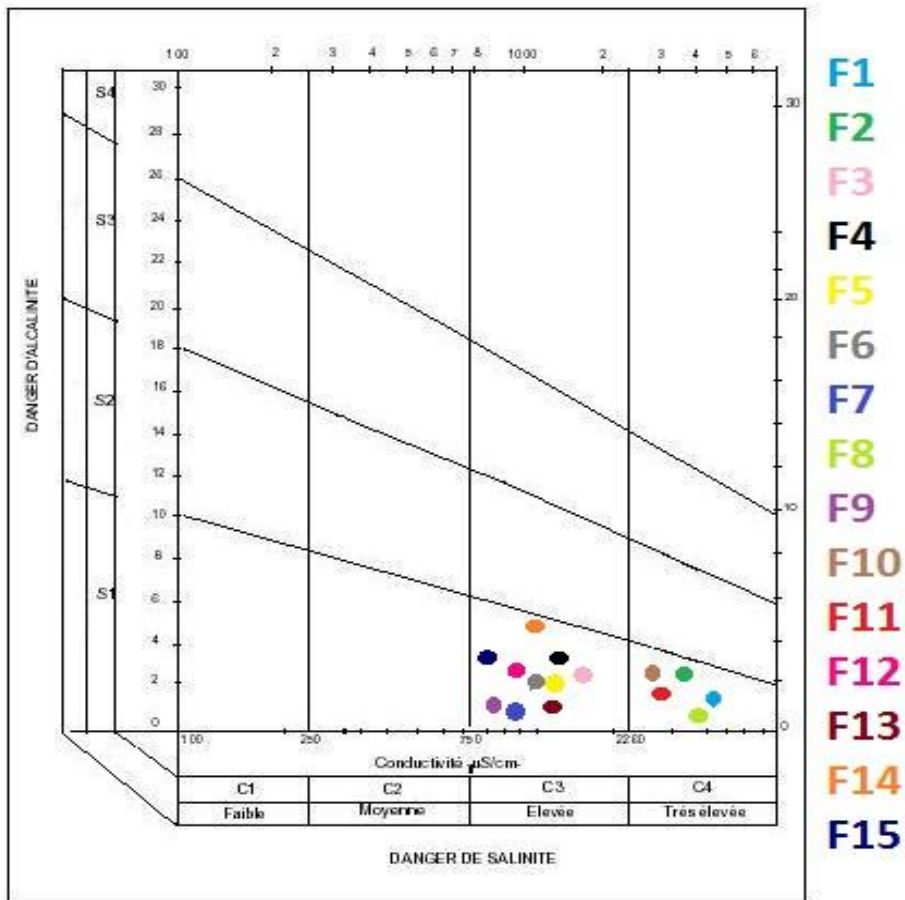


Fig.V.21 : Classification des eaux d’irrigation sur le diagramme de RICHARDS

(Zid el kheir et Baaouche, 2016).

V.3.3.3. L’indice de perméabilité

Doneen (1964) a exprimé l’indice de perméabilité (IP) (Fig. V.21) comme indiqué dans l’équation suivante :

$$L'indice\ de\ perméabilité \quad IP = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3}) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq / l (**Ragunath, 1987**).

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau V.16 : Distribution des valeurs de l'indice de perméabilité

Concentration totale (méq/l)	7,42	4,18	0,21	1,72	4,85	3,4	3,45	7,49	5,56	6,82	6,29	4,77	9,06	4,61	5,22
IP	8,37	4,80	6,06	5,98	8,05	7,94	1,87	6,56	9,49	5,09	9,06	6,91	8,74	6,31	8,63

Les résultats du **tableau.V.16** montre que l'indice de perméabilité oscille autour d'une valeur moyenne de 40,25 ; avec un 58 ,63 au forage F15 maximum de et un minimum de 16,56 au forage F8.

Ainsi, d'après la Fig **V.22**, il ressort que les échantillons d'eau souterraine de la région d'étude sont répartis comme suit :

- 25% se trouvent dans la classe 3, alors que % appartient à la classe 2 (25–75%) et % des échantillons sont dans la classe 1 (> 75%).

Donc, les échantillons de la classe 1 et la classe 2 peuvent être utilisés dans l'irrigation sans effets négatifs sur la perméabilité des sols. Néanmoins, les eaux de la classe 3 sont inappropriées à l'irrigation du fait de leur forte concentration en Na⁺ (au voisinage du lac chott el Hodna).

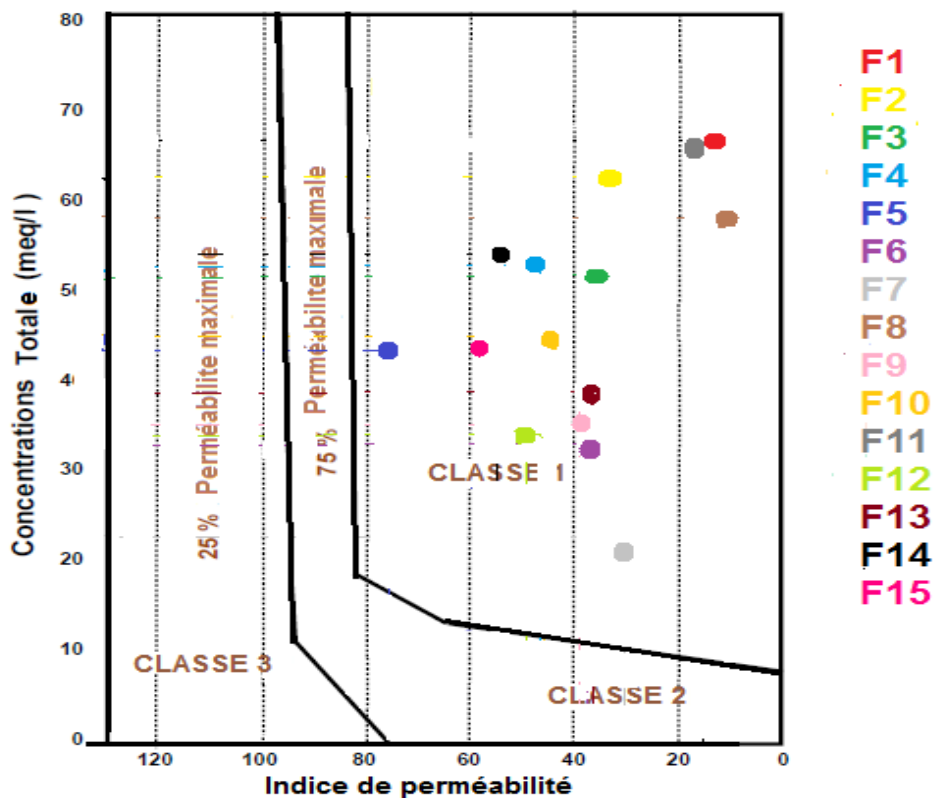


Fig.V.22 : Classification de perméabilité du sol de plaine de M'Sila

Chapitre V : Résultats et discussions

V.4. Analyse en Composantes Principales (A.C.P)

L'A.C.P est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum de l'information contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » (forages, sources,...) sur lesquels sont mesurées des « variables quantitatives » (CE, teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} et NO_3^-) disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières.

V.4.1 Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux de la plaine de M'Sila

L'analyse effectuée est une A.C.P centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau de données à 08 variables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^-) et à 15 échantillons prélevés au niveau de la campagne d'Avril 2016. L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel (XLSTAT 2016). Les résultats de cette A.C.P sont présentés en (annexe n°3)

V.4.1.1. Analyse statistique

D'après le tableau ci-dessous (Tab. V.17), les ions Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{--} , HCO_3^- présentent un $\text{CV} < 0,5$, pour le reste des ions (Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^-) la dispersion est importante ($\text{Cv} > 0,5$).

Tableau V.17 : Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Coeff de variation Cv
Ca	15	96,000	420,000	184,133	88,852	0,4825
Mg	15	77,000	189,000	110,467	33,897	0,3068
Na	15	45,000	370,000	165,467	86,069	0,5201
K	15	1,000	7,000	3,967	1,649	0,4157
Cl	15	59,000	377,000	170,467	83,142	0,4877
SO4	15	400,000	950,000	632,600	187,203	0,2959
NO3	15	4,000	56,000	22,533	14,638	0,6496
HCO3	15	144,000	547,000	355,733	111,635	0,3138

V.4.1.2. Matrice de corrélation

Le tableau n°18 présente les différentes corrélations entre les variables.

Le coefficient de corrélation significatif d'après Mangin est $r = 0,518$ ($r^2 = 0,268$) pour 15 couples de donnés, ce qui permet de dégager les associations suivantes :

Chapitre V : Résultats et discussions

$\text{Ca}^{++} - \text{Mg}^{++} : r = 0,882$ $\text{Mg}^{++} - \text{SO}_4^{--} : r = 0,861$	$\text{Ca}^{++} - \text{SO}_4^{--} : r = 0,826$ $\text{Mg}^{++} - \text{NO}_3^{-} : r = 0,801$	$\text{Ca}^{++} - \text{NO}_3^{-} : r = 0,635$ $\text{SO}_4^{--} - \text{NO}_3^{-} : r = 0,836$
--	---	--

Matrice de corrélation								
(Pearson (n))								
Variable	C	M	N	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃
s	a	g	a		l	4	O3	CO3
Ca	1							
Mg	0,882	1						
Na	0,097	0,055	1					
K	,280	43	0,938	1				
Cl	0,105	0,019	,614	0,571	1			
SO ₄	0,826	0,861	0,107	50	0,163	1		
NO ₃	0,635	0,801	,133	78	,087	0,836	1	
HCO ₃	0,332	07	0,225	20	,282	0,068	,054	1

V.4.1. 3. Etude des variables et des individus

Le traitement a été poussé jusqu'à 3 facteurs. A ce stade seulement 90 % de la variance ont été exprimés. Les résultats sont résumés dans le tableau n°V.18

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau V.18 : Pourcentage de variance exprimée

	F1	F2	F3
Valeur propre	3,5	2,364	1,26
Variabilité (%)	44,59	29,55	15,86
% cumulé	59,3	74,14	90,0

Les cercles ACP1 (**Fig 23**) et ACP2 (**Fig 24**) est déterminé par l'axe F1 et F2 et qui fournissent 90 % de renseignements. L'axe F1 (44,59%) montre une opposition entre les eaux fortement minéralisées et légèrement polluées par les nitrates, et les eaux faiblement minéralisées. L'axe F2 (29,55 %) est déterminé par les éléments Na^+ , K^+ et Cl^- .

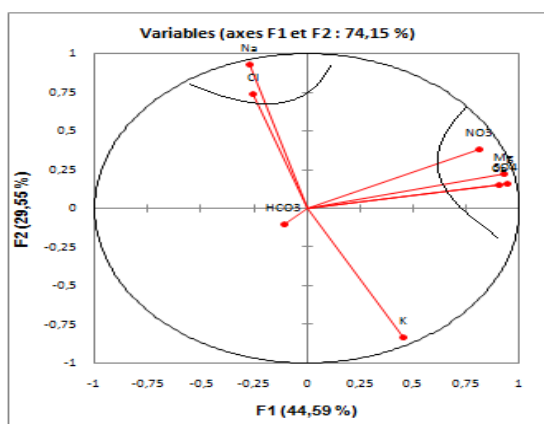


Fig. V. 23 : Plan des facteurs F1/F2

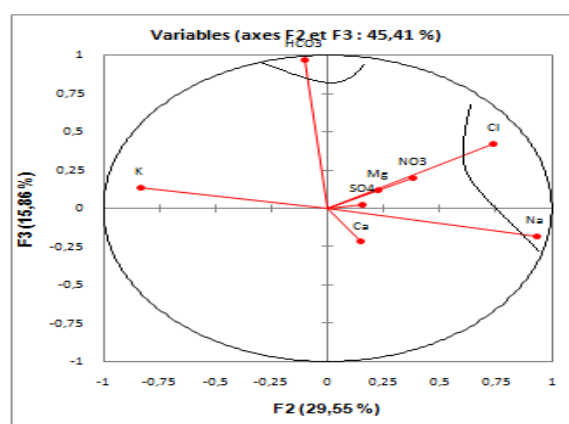


Fig. V. 24 : Plan des facteurs F2/F3

Les deux graphes ci-dessous (**Fig.V.23 ,24**) mets en évidence la disposition des trois familles d'eaux : suivant l'axe F1, on trouve l'opposition entre les eaux minéralisées et légèrement polluées par les nitrates, et les eaux moins chargées. Suivant l'axe F2, on constate une opposition entre les eaux riches en Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{-2} et NO_3^- et les eaux moins minéralisées.

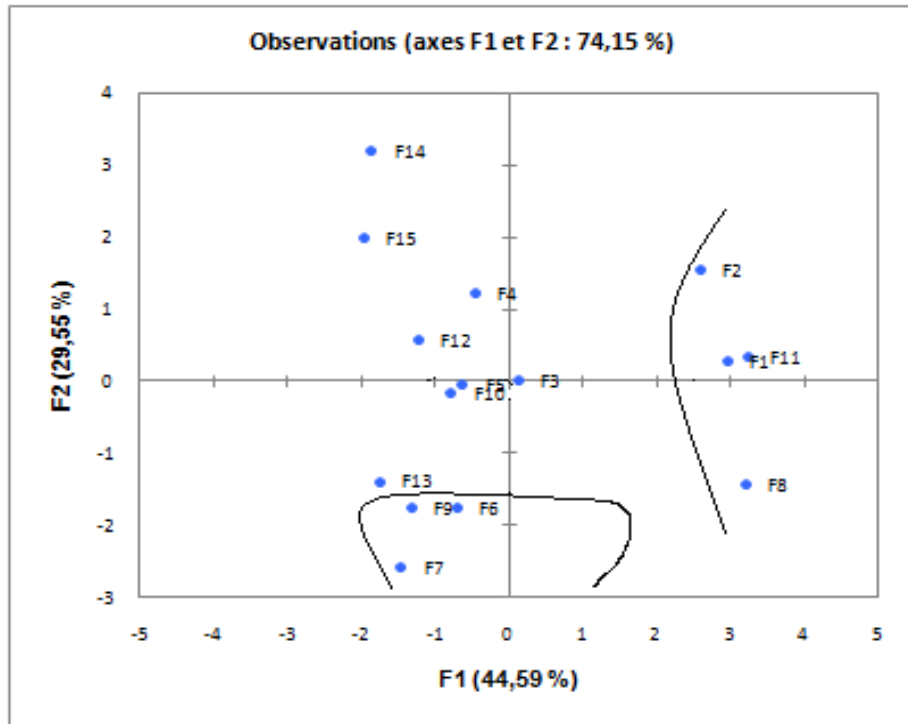


Fig.V.25 : Plan des individus selon le plan F1/F2

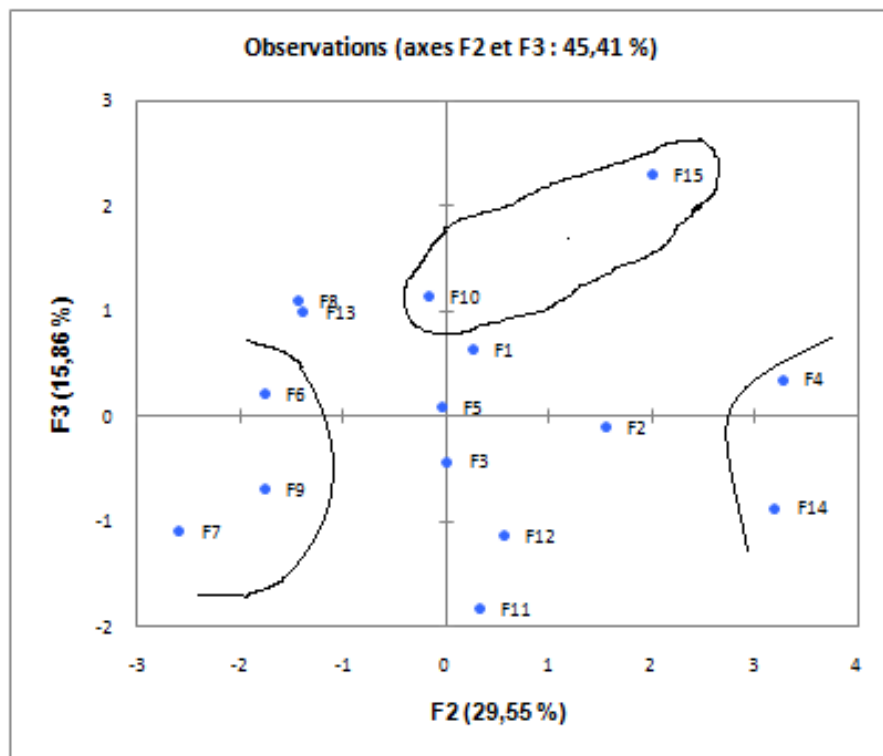


Fig. V. 26 : Plan des individus selon le plan F2/F3

Conclusion

Conclusion

La wilaya de M'Sila a une superficie de 18 175 km². Elle est limitée par les wilayas de Médéa, Bouira, Bordj-Bou-Arredj et Sétif au nord, Batna à l'Est, Djelfa à l'ouest et Biskra au sud.

Sa population est de 1 029 447 habitants. Sa morphologie et sa position géographique confèrent à cette région un aspect écologique unifié représenté par la prédominance de la steppe qui couvre 1 200 000 ha (soit 63 % de la superficie totale) de la wilaya. La superficie affectée à l'agriculture représente 20 % de la surface totale, consacrées essentiellement à la céréaliculture, à l'arboriculture et au maraîchage.

Dans cette étude et après les analyses des paramètres physico-chimique des eaux d'irrigation cas souterraine de quelques stations de région de M'Sila ; Nous avons présenté la répartition des éléments selon géologie de cette plaine a fin de distinguer, la meilleure zone pour l'activité agricole.

La majorité des points d'eau de la plaine de M'Sila représentent une restriction légère à modéré eb sel avec 67% et une restriction forte comprenant 33% des point d'eaux. En cas d'irrigation avec ces eaux charge en sels, on pout s'attendre à des chottes de rendement (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988) de certaine cultures pratiqué au niveau de plaine de M'Sila.

La réparation de S.A.R. dans l'ensemble de plaine d'étude représenté un faible danger d'alcalinité à moyenne pour 73% des échantillons analyse, par contre 27% de ces dernière peuvent provoquer un danger d'alcalinité du sol. Plus de 75% des échantillons d'eau souterraine de la région d'étude peuvent être utilisés dans l'irrigation sans effets négatifs sur la perméabilité des sols.

Après l'utilisation de ce programme ont observé le différent changement des éléments minéraux et la réparation selon la géologie.

Après les résultats obtenus dans cette étude, nous proposons les recommandations suivant :

➤ Reconstitution des retenues pour l'accumulation des eaux de ruissellement au niveau d' Oued M'Sila pour réalimenter et recharger la nappe phréatique

Conclusion

- Minimiser la surexploitation des eaux souterraines avec l'irrigation par les eaux de surface avec la conception d'une meilleure gestion des eaux (périmètre de protection) ;
- Limitée les causes la salinité par l'utilisation du drainage selon les besoins

dans le cas d'irrigation avec des eaux salées, il faut choisir les cultures à tolérance en sel élevée ;

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

- **ALAMI S., (2011)**-tutoriel d'utilisation de surfer 09 stratégie, caribsat-Action 6.
- **AMROUNE. A, (2008)**. Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de Msila. Algérie. Mémoire de magistère. Univ. Batna. 133p
- **AYERS R.S., WESTCOT D.W., (1988)**-La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de Drainage. 29 Rév. 1, 165 p.
- **ATMANI S., BAZA K., (2017)**-Contribution à l'étude hydro chimique des eaux des irrigations en zone semi-aride cas de plaine de Bou Saadâ (sud-est Algérien).Mémoire master, université de m'sila.
- **BELKHIRI.L, BOUDOUKHA. A, (2013)**- Hydrogéochimie des eaux souterraines (French Edition). Éditions Universitaires Européens. 136 p.
- **BOSCA. (2002).anonyme**
- **BOUAROUDJ. S. (2012)**- Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation
- **BOUDOUKHA. A, ZIANI D, BOUMAZBEUR. A, (2016)**- Variations in groundwater chemistry in the Ain Djacer area, Eastern Alegria usinage Géostatistique méthode and geochemical modelés. Désaliénation for the environnement : Clean Water and Energy. 22–26 May 2016. Rome, Italy
- **BOULAHIA. A. (2016)**- L'eau d'irrigation en Algérie. Ecologie et environnement, Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, p-6.
- **BRAHMI.D., (2014)**-Analyse spatio-temporelle des pluies en Algérie. Au Sol et Aménagement, Mémoire de master, Univ, Abou Bekr blkaid .p-1.
- BRGM, (2007)**. Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, compagne de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation
- **EL ASSLOUJ J., E KHOLTEI S., EL AMRANI N et HILALI A., (2007)**- Analyse de la qualité physico- chimique des eaux souterraines de la communauté des mazamza, au voisinage des eaux usée. Afrique SCENCE, vol.3, (1).pp.109-122.
- **ELMORHIT. M, (2009)**.Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences
- HCEFLCD, 2006** -(Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE). Province de Settat, 201p
- **KIRKPATRICK.K., et FLEMING.E., (2008)**- qualité de l'eau, 2p.
- **LAFFONT C., (2015)**-contrôle le climat pour la coacervation des collections sur support papier, pp1-3.

Références Bibliographiques

- **MARGAT.J., (2006)**-exploitation et utilisations des eaux souterraines dans le monde. Coédition : UNESCO et BRGM.
- **MEBARKIA M., (2011)**-Etude des caractéristiques physico-chimique des eux de la surface, cas de barrage d'Ain Zada wilaya de bordj Bou-arredj. (Nord-Est Algérien). Mémoire Ing., Univ.Baji Mokhtar-Annaba, 109.
- **MYRAND.D., (2008)**- captage d'eau souterraine pour des résidences isolées.4p.
- **NANCY MORIN., (1997)**-la qualité de l'eau d'irrigation : un facteur à ne pas négliger, 33.34p
- **RODIER J., LEUB B., MERLET N et coll., (2009)**- l'analyse de l'eau : eaux naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, DONOD, 9ème. Paris, 1526p.
- **SCHOLLER.H, (1975)**. Grounds water pollution symposium. Pollution des eaux souterraines
- **Site** : <http://hal.cirad.fr/cirad-00366475> Submitted on 8 Mar 2009
- **TARDAT.H., (1985) – in mémoire (ZID EL KHIER F., BAOUCH. Z. (2016)**

- **ZAKIR.HM., Mahidul IM and Sohrab H,(2016)**. industrialization on irrigation water quality of a canal, a case study of Tongi canal,Bangladesh. Adevences in Environnemental Research, 5(2): 109-123.
- ZIANI D, (2017)**- **quantification de la pollution Anthropique des eaux souterraines De l'aquifère d'Ain djasser. Est algerienfère**, Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences. Université Ben Boulaïd-Batna 2 .
- **ZID EL KHIER F., BAOUCH. Z. (20 16)**-contribution à l'étude de la qualité des eaux D'irrigation les paramètres physico-chimiques en zone semi-aride cas des eaux souterraines de l'Aquin Mio-Plio-Quaternaire de la plaine de m'sila. Mémoire master, université de M'sila, 32 ,48-50, 60-65, 70,71, 76pp.
- **ZOUAG. B., BELHADJ. Y. (2017)**. Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologue de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta « Tlemcen », mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de docteur en pharmacie, université de Tlemcen, p 155.

Annexes

Annexes

ANNEXE 01

Station météorologique de M'sila

HUMIDITE - MOYENNES MENSUELLES 2006-2018 (%)

Lat : 35° - 40'

Long : 04° - 30'

Alti : 441 m

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	76	80	71	51	51	34	38	40	54	51	71	82	58
2007	75	71	69	71	55	46	33	37	59	67	75	76	61
2008	73	63	63	48	49	44	37	41	55	78	80	88	60
2009	86	79	69	72	43	38	30	40	63	60	66	77	60
2010	76	73	65	64	53	42	33	37	46	62	72	65	57
2011	70	68	65	61	54	47	36	35	48	61	76	77	58
2012	79	67	56	71	42	33	25	25	39	57	76	76	54
2013	74	67	57	51	49	39	32	34	48	50	67	81	54
2014	77	64	61	44	43	41	28	31	43	45	64	76	51
2015	71	73	59	46	39	36	28	36	47	62	63	67	52
2016	65	61	53	50	40	30	26	30	42	48	65	69	48
2017	75	63	48	44	36	34	25	27	38	51	54	71	47
2018	68	69	62	53	53	37	24	38	43	61	70	75	54

Précipitation en mm

NT = Néant

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
2006	26	50	1	14	26	3	29	5	20	NT	29	22	225
2007	5	12	17	80	26	6	NT	4	23	10	5	NT	188
2008	5	5	6	NT	16	6	2	3	35	57	10	26	171
2009	31	17	5	34	2	8	1	3	23	4	6	19	153
2010	7	32	21	21	3	3	2	6	4	11	8	3	121
2011	3	8	8	21	13	40	2	5	19	26	12	11	168
2012	NT	2	31	21	4	1	1	4	59	27	9	9	168
2013	15	10	21	27	14	NT	5	7	6	38	29	28	200
2014	20	7	19	NT	50	11	6	2	13	2	27	13	170
2015	12	25	13	6	6	3	NT	16	27	51	NT	NT	159
2016	5	8	12	50	22	NT	14	NT	5	9	16	14	155
2017	72	1	2	6	13	18	4	1	1	13	8	3	142
2018	73,5	18,7	25,9	21,6	30,1	15	3,3	7,4	18,7	41,3	25,3	6,1	21,99

Annexes

Températures Moyennes Mensuelles :

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	7,1	8,3	14,0	19,7	24,8	29,0	31,7	30,7	24,4	22,5	14,6	9,6	19,7
2007	8,9	11,6	12,1	16,7	21,8	29,0	31,7	31,3	25,1	20,1	11,6	8,9	19,1
2008	9,1	11,6	13,1	18,4	22,6	27,5	32,7	31,8	25,6	18,7	11,5	7,4	19,2
2009	8,5	8,2	12,6	13,1	23,2	28,9	31,9	31,6	25,2	19,9	13,8	10,5	19,0
2010	9,7	11,2	14,1	17,9	20,2	27,6	32,6	31,6	25,8	19,1	13,2	9,2	19,4
2011	9,1	9,3	13,0	19,0	22,3	27,1	32,0	31,8	27,7	19,4	13,8	9,5	19,5
2012	8,0	6,6	13,7	16,3	24,1	31,3	33,9	33,7	26,6	20,8	14,5	9,2	19,9
2013	8,8	8,0	14,0	18,4	21,0	26,9	32,0	34,0	30,0	26,7	23,9	12,9	21,4
2014	9,6	11,5	12,8	19,7	23,2	27,6	31,8	32,5	28,1	22,1	15,4	9,1	20,3
2015	8,2	8,5	13,9	20,3	25,2	27,9	32,8	31,4	25,9	19,5	13,6	8,8	19,7
2016	10,0	11,4	13,0	19,2	22,9	28,7	32,0	30,8	25,9	21,8	13,5	9,0	19,9
2017	7,6	12,1	15,1	18,7	25,5	29,5	32,5	32,8	25,6	19,5	12,6	8,8	20,0
2018	9,6	8,6	8,3	17,6	20,8	27,1	34	29	27,1	18,6	13,1	9,7	18,4

Bilan Vitesse de Vent Moyenne mensuelle :

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	4	4	5	5	4	6	3	4	3	4	4	3	4
2007	3	5	5	5	5	5	4	4	3	4	4	5	4
2008	3	4	5	6	5	5	4	3	4	2	3	3	4
2009	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4
2010	4	4	4	4	5	4	3	3	4	3	4	3	4
2011	3	5	4	4	5	4	5	3	4	3	4	4	4
2012	4	5	5	6	4	4	5	5	4	5	4	4	5
2013	5	5	7	5	6	5	4	4	4	4	5	3	5
2014	4	4	5	5	5	5	4	4	3	3	4	5	4
2015	5	6	6	4	5	4	4	4	5	4	4	2	4
2016	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	4
2017	2	4	4	3	2	4	4	2	NT	NT	1	2	2
2018	2	2	13	8	7	3	5	7	6	3	1	2	5

Annexes

ANNEXE 02

Tableau : Résultat des paramètres mesurés au laboratoire

Paramètre N° des forage	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		So ²⁻ ₄		No ₃ ⁻		Hco ₃ ⁻	
	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	m g/l	meq /l	mg/l	meq /l
F1	312	15,6	189	15,55	133	5,78	4,8	0,12	177	4,99	840	17,5	36	0,58	488	8
F2	248	12,4	141	11,60	217	9,43	3,6	0,09	176	4,96	950	19,8	56	0,90	305	5
F3	176	8,8	107	8,80	190	8,26	3,6	0,09	118	3,32	720	15	22	0,35	341	5,59
F4	176	8,8	107	8,80	250	10,87	1,2	0,03	118	3,32	700	14,6	19	0,30	305	5
F5	153	7,65	89	8,06	170	7,39	3,8	0,09	165	4,65	510	10,6	26	0,41	366	6
F6	128	6,4	87	7,15	96	4,17	5	0,13	88	2,48	600	12,5	12	0,19	414	6,78
F7	112	5,6	77,76	6,39	60	2,60	5,5	0,14	59	1,66	400	8,3	4	0,06	268	4,30
F8	256	12,8	156	12,83	45	1,95	7	0,17	118	3,32	900	18,7	45	0,72	427	7
F9	120	6	77	6,33	102	4,43	4,9	0,12	106	2,99	510	10,6	6	0,09	305	5
F10	139	6,95	100	8,22	170	7,39	4	0,10	177	4,99	520	10,8	23	0,37	488	8
F11	420	21	155	12,75	140	6,08	4,5	0,12	171	4,82	900	18,7	29	0,46	144	2,36
F12	152	7,6	93	7,65	225	9,78	3	0,08	177	4,99	492	10,2	16	0,25	244	4
F13	122	6,1	77	6,33	81	3,52	5,4	0,14	218	6,14	450	9,4	4	0,06	450	7,37
F14	152	7,6	102	8,39	370	16,09	1	0,03	312	8,78	450	9,4	20	0,32	244	4
F15	96	4,8	90	7,40	233	10,13	2	0,05	377	10,6	547	11,9	20	0,32	547	8,96

Tableau : Résultat des autres paramètres calculer

	Dureté Totale (F°)	Salinité (mg/l)	SAR (meq/L)	Résidu sec (mg/l)
F1	156	2652	1.7	1000
F2	120	2473.5	2.72	2205
F3	88	1589.5	1.72	1417
F4	88	1469.65	3,67	1310
F5	79	1399.1	2.63	1264
F6	68	1132.2	1.6	1009
F7	60	929.9	1.06	751
F8	128	2584.85	0.54	2089
F9	62	922.25	1.78	833
F10	76	1416.1	2.75	1279
F11	124	2133.5	1.5	1902
F12	78	1143.25	3.66	1032
F13	62	1136.45	1.41	1013
F14	80	1116.9	5.7	1009
F15	34	793.9	4.11	642

Annexes

ANNEXE 03

Tableau : les valeurs de S.A.R et teneur de Na% et les coordonnées des forages

FORAGE	SAR
F 1	1,19
F 2	2,72
F 3	2,27
F 4	2,82
F 5	2,16
F 6	1,32
F 7	0,89
F 8	0,44
F 9	1,45
F 10	2,68
F 11	1,16
F 12	2,90
F 13	1,15
F 14	5,29
F 15	3,48

FORAGE	Na%
F1	15,92
F2	28 ,40
F3	32,17
F4	38,24
F5	32,25
F6	6,33
F7	18,60
F8	6,63
F9	27,25
F10	33,14
F11	15,51
F12	39 ,26
F13	22,74
F14	50 ,15
F15	45 ,48

Cordonnée de forage	X	Y
F 1	667.85	265.38
F 2	680.23	263.09
F 3	665.71	261.54
F 4	669.52	257.61
F 5	667.85	273.09
F 6	690.37	267.14
F 7	687.14	260
F 8	669.685	253.09
F 9	665.23	254.52
F 10	676	250
F 11	683.69	251
F 12	667.33	263.33
F 13	689.52	257.02
F 14	671.19	250.59
F 15	676.19	266.66

Concentration totale (méq/l)	IP
67,42	18,37
64,18	34,8
50,21	36,06
51,72	45,98
44,85	78,05
33,4	37,94
23,45	31,87
57,49	16,56
35,56	39,49
46,82	45,09
66,29	19,06
34,77	46,91
39,06	38,74
54,61	56,31
45,22	58,63

Annexes

	F1	F2	F3
Ca	0,819	0,022	0,047
Mg	0,862	0,050	0,014
Na	0,071	0,865	0,034
K	0,204	0,699	0,019
Cl	0,063	0,546	0,179
SO4	0,883	0,025	0,001
NO3	0,654	0,147	0,039
HCO3	0,011	0,010	0,935

Cosinus carrés des observations			
	F1	F2	F3
F1	0,728	0,007	0,154
F2	0,616	0,221	0,001
F3	0,019	0,000	0,218
F4	0,044	0,306	0,228
F5	0,470	0,003	0,010
F6	0,121	0,775	0,011
F7	0,207	0,658	0,117
F8	0,740	0,148	0,085
F9	0,320	0,579	0,088
F10	0,271	0,013	0,566
F11	0,643	0,007	0,206
F12	0,469	0,098	0,401
F13	0,441	0,281	0,145
F14	0,230	0,682	0,051
F15	0,283	0,292	0,386

Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

Les valeurs en gras correspondent pour chaque observation au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

ملخص

خرائطية المؤشرات النوعية للمياه الجوفية وتأثيرها على الري في شمال شط الحضنة

يشمل هذا العمل دراسة النوعية الفيزيائية - الكيميائية للمياه الجوفية في سهل المسيلة ووضع خرائط لتوزيع العناصر الكيميائية الأساسية باستخدام برنامج رسم الخرائط (Surfer.8) وتصنف هذه المياه من عائلة الكبريتات الكلورية بسبب تأثير المياه المالحة في شط الحضنة . وبالإضافة إلى ذلك، فإن عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والبيكاربونات مشتقة من تكوينات الكربونات الموجودة في الجزء الشمالي من السهل. وغالبية هذه المياه مدرجة في فئة جيدة وليس لها أي تأثير على النباتات والتربة أثناء الري.

الكلمات المفتاحية: سهل المسيلة، المياه الجوفية، رسم الخرائط، الري، الجودة الفيزيائية والكيميائية.

Résumé

Cartographie des indicateurs de qualité des eaux souterraines destinées à l'irrigation dans la région nord du Chott El Hodna

Le présent travail consiste à étudier la qualité physico-chimique de l'eau souterraine de la plaine de M'Sila et réaliser des cartes de répartition des éléments chimiques fondamentales à l'aide du logiciel de cartographie (Surfer .8). Les eaux représentent une dominance des familles sulfatée et chlorurée dû à l'influence des eaux salées du Chott El Hodna. En outre, les éléments du Calcium, Magnésium, Bicarbantes sont provient des formations carbonatées localisée dans la partie Nord de la plaine. La majorité de ces eaux englobent dans la catégorie bonne et ne représentent aucun effet sur les plantes et les sols durant l'irrigation.

Mots clés : Cartographie, Eaux souterraines, Irrigation , Plaine de M'Sila, Qualité physico-chimique

Abstract

Mapping groundwater quality indicators for irrigation in the northern region of Chott El Hodna

This work involves studying the physical-chemical quality of groundwater on the M'Sila Plain and making maps of the distribution of fundamental chemical elements using the mapping software (Surfer .8). The waters represent a dominance of sulphate and chlorinated families due to the influence of the salt waters of chott El Hodna. In addition, the elements of Calcium, Magnesium, Bicarbantes are derived from carbonate formations located in the northern part of the plain. The majority of these waters are included in the good category and have no effect on plants and soils during irrigation

Keywords: Chemical Quality, Irrigation , Groundwater, Mapping, M 'Sila Plain, Physical-