

Faculté Des Sciences

Départements Des Sciences Agronomiques

N° :.....



DOMAINE : Science De La Nature Et De La Vie

FILIERE : Science Agronomiques

OPTION : Science du sol

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Thème

**Cartographie des indicateurs de la qualité des eaux
souterraine destinées à L'irrigation dans
la région sud du chott El Hodna**

Présenté par :

M^{elle} : GHADBANE CHAHIRA

M^{elle} : NEGHMOUCHE KHOULOU

Dirigé par :

Mr. AMROUNE Abdelouahab

Année universitaire : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا

إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ

صدق الله العظيم

سورة البقرة الآية 32



Remerciements

Avant tout nous remercions ALLAH, le tout puissant de nous avoir donné la santé, la Volonté et la Patience afin d'accomplir Nos etudes

En premier lieu nous remercierons **Mr. AMROUNE Abdelouahab** d'avoir accepté de diriger ce mémoire par Ses Conseils, sa Compétence et sa Gentillesse.

On le remercie pour son encadrement professionnel et exceptionnel.

Nous ne pouvons oublier de remercier les enseignants qui ont étudié, en particulier **Mr. AMROUNE Abdelouahab;**

Mr. Tallache Salim, M^{elle} Tir Chafia


et le Département des sciences agricoles,

nous remercions toutes les personnes

Qui nous ont aidées de près

ou de loin et pour toute la promotion

Science du sol .



Dédicace

Je dédie cet mémoire

A mes très chers parents GHADBANE Farid et LABACI Zahra. Qui peuvent être fiers et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que leurs portes.

Chaque ligne de cet mémoire chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect et l'estime.

Merci Dieu de m'avoir ces parents.

A ceux qui ont toujours été à mes côtés; mes adorables sœurs et frères ; Hadjer, Amina, Manar, Amine, et Souhaib.

A ma grande mère

A ceux qui malgré la distance m'ont toujours accordé leur soutiens mes oncles et mes tantes.

A mes chères amies Rosa et Yasmine avec qui j'ai partagé les moments les plus agréables.

A mes chères cousines en particulier GHADBANE Dounia

A Tous mes enseignants surtout Mr AMROUNE ABDELOUAHAB. pour l'encadrement tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de cet mémoire
A tous les étudiantes et les étudiants de ma promotion, sans citer des noms.

GHADBANE Chahira



Dédicace

Au nom d'Allah, qui nous a éclairé les chemins du savoir et de la sagesse,
Je dédie ce mémoire à : Mes très chers parents ABD ELKADER et DJAMALA
Qui n'ont jamais cessé de me soutenir pour que je puisse finir mes études
et avoir une bonne formation et à qui je voudrais exprimer
mes affections et mes gratitudes.

Merci encore mille fois.

À mon plus cher Mari MOHAMED

Mes très chers frères SALIME, RAYAN, DJAMAL EL DIN, et sa petite fille

RITEL À Ma très chère sœur AYA

A toute ma famille

A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin et m'ont souhaité toujours la
réussite et le bonheur.

NEGHMOUCHE Khouloud



Table de matière

Remerciements	
Sommaire	
Liste de tableau	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	01

Partie 1

Chapitre I: Synthèse bibliographique

Introduction	03
I. 1. Minéralisation des eaux souterraines	03
I. 2. Paramètres de qualité des eaux d'irrigation	04
I. 2. 1. Paramètres physiques	04
I. 2. 1. 1 Température	04
I. 2. 1. 2. Le pH de l'eau	04
I. 2. 1. 3 Conductivité électrique (CE)	05
I. 3. Analyse aux laboratoires (paramètres chimiques)	05
I. 3.1. Calcium (Ca^{2+})	05
I. 3.2. Magnésium (Mg^{2+})	06
I. 3.3. Sodium (Na^+)	06
I. 3.4. Potassium (K^+)	06
I. 3.5. chlorures (Cl^-)	06
I. 3.6 Bicarbonates (HCO_3^-)	07
I. 3.7 Les sulfates (SO_4^{-2})	07
I. 4. Problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation	07
I. 4. 1. La salinité	08
I. 4. 2. Le Risque du sodium pour l'eau d'irrigation	09
I. 4. 3. Le Risque des bicarbonates pour l'eau d'irrigation	09

Chapitre II : Etude du milieu physique

Introduction.....	11
II. 1. Cadre naturel de la région d'étude	11
II. 1.1. Situation géographique	11
II. 1.2. Habitats et activités	11
II. 1.3. L'agriculture	12

Table de matière

II. 2. Cadre géologique	12
II. 2.1. Secondaire	12
II. 2.1.1. Trias	12
II. 2.1.2. Jurassique	12
II. 2.1.3. Crétacé supérieur	12
II. 2.1.4. Cénomaniens	12
II. 2.2. Tertiaire	12
II. 2.3. Quaternaire	13
II. 2.3.1. Terrains de Chott	13
II. 2.3.2. Dunes	13
II. 3. Pédologie	13
II. 4. Le réseau hydrographique	14
II. 5. Végétation	15
II. 6. Caractéristiques Climatiques	15
II. 6.1. Le climat de la région	15
II. 6.2. Les précipitations	16
II. 6.3. La température	16
II. 6.4. Le vent	17
II. 6.5. Humidité relative	18
II. 6.6. Evapotranspiration ou déficit d'écoulement	19
II. 6.7. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS	20
II. 6.8. Diagramme d'Emberger	20

Partie 2

Chapitre III: Matériel et méthodes

Introduction	22
III. 1 Généralités sur le logiciel Surfer. 14.....	22
III. 1.1 Installation	23
III. 1.2 Interface	23
III. 1.3 les étapes à suivre	25
III. 1.3.1 Etape 1 : Préparation des données, visualisation et mise en forme ..	25
III. 1.3.2 Etape 2 : Mettre en forme le fichier Excel	26
III. 1.3.3 Etape 3 : Créer une grille x, y, z	26
III. 1.3.4 Etape 4 : Afficher nos points	27
III. 1.3.5 Etape 5 : Mettre en forme nos cartes	28

Table de matière

Chapitre IV : Outils d'interprétations des données chimiques

Introduction.....	30
IV. 1. Utilisation des représentations graphiques	30
IV. 1.1. Diagrammes de SCHOELLER-BERKALOFF ET PIPER	30
IV. 1.2. Diagramme de Riverside (SAR)	30
IV. 1.3. Diagramme de WILCOX	31

Partie 3

Chapitre V: Résultats et discussions

Introduction	32
V. 1. Principaux paramètres physico-chimiques	32
V. 1.1. Température	32
V. 1.2. Potentiel d'hydrogène	33
V. 1.3. Conductivité électrique	33
V. 2. Etude analytique et cartographie des éléments chimiques majeurs	34
V. 2 1. Les cations	34
V. 2 1 1. Le calcium Ca^{2+}	34
V. 2 1 2. Magnésium	35
V. 2 1 3. Le sodium	36
V. 2 1 4. Potassium	36
V. 2 2 Les anions	37
V. 2.2.1.Sulfates	37
V. 2 2 2 Chlorures	37
V. 2 2 3 Nitrates	38
V. 2 2 4 Les bicarbonates	38
V. 3. Faciès chimique des eaux	39
V. 3.1. Classification des eaux selon SCHOELLER –BERKALOFF	39
V. 3.2. Diagramme de PIPER	42
V. 3.3. État de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole	45
V.3.3.1. Classification de WILCOX	46
V. 3.3.2. Diagramme de Riverside ou Méthode de SAR	47
Conclusion	50
Référence	51
Annexe	

Table de matière

Listes des tableaux

Tableau I.1.	Risques de la salinité de l'eau d'irrigation	08
Tableau I.2.	Risques du Sodium de l'eau d'irrigation	09
Tableau II.1.	Coordonnées géographiques de la station des données climatiques	15
Tableau II.2.	Précipitations moyennes mensuelles de la station de Boussaâda (2009-2018)	16
Tableau II.3.	Température moyennes mensuelles de la station de Boussaâda (2009-2018)	16
Tableau II.4.	Vitesses moyennes mensuelles du vent au niveau de la station de Boussaâda (2009-2018)	17
Tableau II.5.	Humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de Boussaâda (2009 -2018)	18
Tableau II.6.	Evapotranspiration moyenne mensuelle de la station de Boussaâda (2009 -2018)	19
Tableau II.7.	Valeurs du quotient pluviométrique Q_2 de la station de Boussaâda	21
Tableau V.1.	Résultats de la teneur en sodium ($\%Na^+$) des eaux souterraines de Boussaâda.	46
Tableau V.2.	Résultats obtenus après interprétation du diagramme de SAR	48

Table de matière

Listes des figures

Fig. II.1	Localisation géographique de la région d'étude	11
Fig. II.2	Carte pédologique de la zone d'étude (d'après : FAO, 1975).	14
Fig. II.3	Répartition annuelle des précipitations au niveau de la station de Boussaâda	16
Fig. II.4	Températures moyennes mensuelles de la station de Boussaâda	17
Fig. II.5	Vitesses moyennes mensuelles au niveau de la station de Boussaâda	18
Fig. II.6	Humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de Boussaâda (2009 -2018)	18
Fig. II.7	Evapotranspiration moyenne mensuelle de la station de Boussaâda (2009 -2018)	19
Fig. II.8	Diagramme Ombrothermique	20
Fig. II.9	Diagramme d'Emberger de la station de Boussaâda	21
Fig.V.1	Carte de répartition spatiale des forages dans plaine de Boussaâda	32
Fig.V.2	Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda	32
Fig.V.3	Variabilité du pH des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda	33
Fig.V.4	Carte de répartition spatiale de la conductivité des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	34
Fig.V.5	Carte de répartition spatiale des teneurs en calcium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	35
Fig.V.6	Carte de répartition spatiale des teneurs en magnésium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	35
Fig.V.7	Carte de répartition spatiale des teneurs en sodium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	36
Fig.V.8	Carte de répartition spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	36

Table de matière

Fig.V.9	Carte de répartition spatiale des teneurs en sulfates des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	37
Fig.V.10	Carte de répartition spatiale des teneurs en chlorures des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	38
Fig.V.11	Carte de répartition spatiale des teneurs en nitrates des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	38
Fig.V.12	Carte de répartition spatiale des teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda	39
Fig.V.13	Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de Boussaâda (F1, F2, F3, F4 F5 et F6)	40
Fig.V.14	Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de Boussaâda (F7, F8, F9 F10 F11 et F12)	41
Fig.V.15	Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de Boussaâda (F13, F14 F15 F16 F17 et F18)	42
Fig.V.16	Classification des eaux d'irrigation des stations F1 F2 F3 F4 F5 et F6 de Boussaâda selon la méthode de PIPER	43
Fig.V.17	Classification des eaux d'irrigation des stations F7 F8 F9 F10 F11 et F12 de Boussaâda selon la méthode de PIPER	44
Fig.V.18	Classification des eaux d'irrigation des stations F13 F14 F15 F16 F17 et F18 de Boussaâda selon PIPER	45
Fig.V.19	Classification des eaux d'irrigation de plaine de Boussaâda sur le diagramme de WILCOX	47
Fig.V.20	diagramme de RICHARDS des eaux souterraines de la nappe de Boussaâda	48

Table de matière

Liste d'abréviations

CE :	Conductivité électrique
pH :	Potentiel Hydrogène
Cl- :	Chlorures
HCO₃⁻ :	Bicarbonates
SO₄⁻² :	Sulfates
Na+ :	Sodium
SAR :	Sodium Absorption Ratio
Ca+2 :	Calcium
Mg+2 :	Magnésium
K+ :	Potassium
P :	Précipitation (mm)
T :	Température(C°)
ETP :	Evapotranspiration
H° :	Humidité
F :	Forage
OMS :	Organisation mondiale de la santé
TDS :	Seles Dissous Totaux
EAC :	Exploitation agricole collective
O.N.M :	l'Office National de Météorologie
ANRH :	l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
MNT :	Modèles Numériques de Terrain



Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, l'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques.

Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et en particulier sur les ressources en eau souterraines est à la hausse, principalement en raison de la demande croissante et la dégradation de la qualité de l'eau. L'accès généralisé à l'eau potable, l'irrigation, l'expansion urbaine, le développement industriel sont autant des facteurs qui augmentent ces pressions (Nouayti, 2015).

La plaine de Boussaâda (Sud-est de l'Algérie) est célèbre par son climat aride très sévère, une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse d'augmenter. L'extension de l'agriculture irriguée, une forte sécheresse depuis deux décennies et une industrialisation assez forte ont contraint les agriculteurs à utiliser les eaux souterraines comme source d'irrigation. (Atmani et Baza, 2017).

La présente étude a pour objectifs d'améliorer les connaissances sur la chimie des eaux dans une région aride bordé au Nord par un lac salé et des formations carbonatées à l'Ouest et caractérisée par une agriculture intensive. De plus, d'identifier et comprendre les processus de la contamination de ces eaux par les nitrates, et d'évaluer l'impact de cette pollution sur la qualité des eaux souterraines destinées à l'irrigation dans la plaine de Boussaâda sur la base des procédés analytiques et statistiques.

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 sud du Chotte Hodna, particulièrement au niveau de la plaine du Boussaâda.

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

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 physique : 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 14)

Introduction générale

- **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 Boussaâda

- **Conclusion générale** : Enfin les enseignements tirés de ces travaux seront énumérés dans cette partie.



Première Partie:

**ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE
ET CADRE NATUREL**



Chapitre I :

Synthèse Bibliographique

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.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Au contact du gypse, fréquent dans les terrains tertiaires, l'eau se charge en sulfates 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 où il y a un échange au niveau du biseau salée et une 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 intensifs et donc 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 paramètre d'une grande utilité pour les études hydrogéologiques. Elle est indispensable pour la détermination des équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence. La concentration de certains éléments dissous ou les rapports des concentrations d'éléments entre eux, sont l'image de conditions d'équilibre qui sont, elles même, fonction de la température atteinte par l'eau souterraine. On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère (Les eaux souterraines sont influencées par les propriétés thermiques de la roche), ainsi que son origine (Amroune, 2008).

La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol (Ziani, 2017).

I.2.1.2. Le pH de l'eau

Le pH de l'eau est défini selon sa concentration en ions H^+ contenus dans la solution. Il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu ; c'est également un élément important qui

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

renseigne sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau. Le pH des eaux naturelles est généralement varié de 7,2 à 7,6 (Rodier, 2009).

La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes du pH (Nouayti *et al.* 2015).

En outre, les formations lithologiques contiennent des calcaires, un environnement où plusieurs réactions redox peuvent se produire, induisant la dissolution des carbonates. En général, l'eau souterraine est légèrement alcaline (Amroune, 2008).

L'augmentation générale du pH dans un terrain sédimentaire est liée à l'altération du feldspath plagioclase dans les sédiments. Ceci est aidé par le dioxyde de carbone atmosphérique dissous, ce qui entraîne la libération du sodium et du calcium, ce qui augmente progressivement le pH et l'alcalinité de l'eau souterraine (Nouayti *et al.* 2015).

I.2. 1. 3 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau caractérise sa faculté de laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et de la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, et séparé l'une de l'autre de 1 cm, exprimées en $\mu\text{S} / \text{cm}$. Généralement les valeurs sont ramenées à 25° C (Rodier, 2009). La conductivité ou son inverse la résistivité permet donc une estimation de la minéralisation des eaux.

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 dissous.

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.3. Analyse aux laboratoires (paramètres chimiques)

I.3. 1. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est libéré généralement par l'altération des roches, il provient des aluminosilicates, des silicates, des carbonates (calcite et calcite magnésienne) et les sulfates.

L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/l de calcium.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (**Benaouda, 2016**).

I.3.2. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et est présent dans la plupart des eaux naturelles. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel. Il est aussi indispensable pour la croissance et pour la production de certaines hormones (**Hachmaoui, 2013**).

I.3.3. Sodium (Na^+)

Le sodium est présent dans des nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. Les feldspaths sodiques $Na [Si_3AlO_8]$ sont parmi les plus abondants. Dans les eaux souterraines, le sodium est présent sous la forme ionique Na^+ . Il est soumis aux mêmes types de phénomènes d'adsorption/désorption que le calcium et le magnésium. Sa mise en solution présente donc une complexité comparable. En l'absence d'affleurement de roches évaporitiques, les fonds géochimiques couramment rencontrés en contexte volcanique et de socles en métropole montrent des teneurs comprises entre quelques mg/l et quelques dizaines de mg/l (**BRGM, 2007**).

I.3.4. Potassium (K^+)

Le potassium est généralement l'élément le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium. Le sodium est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l et il ne représente aucun inconvénient particulier (**Amroune, 2008**).

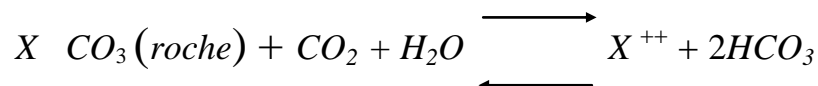
I.3.5. chlorures (Cl^-)

Les chlorures peuvent avoir une origine multiple. Ainsi, ils peuvent provenir d'une intrusion d'eau marine, ou suite à une contamination par les eaux usées. Ils peuvent provenir également de la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo sableuses ou argileuses (**Beaudry et Henry, 1984**). Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de corrosion des canalisations et des réservoirs et des conduites d'irrigation à partir de 50 mg/l (**Norme de l'O.M.S**).

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.3.6 Bicarbonates (HCO_3^-)

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^{+2}), ou le (Mg^{+2}), 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 (Rapport d'adsorption en sodium) (**Amroune, 2008**).

I.3.7 Les sulfates (SO_4^{-2})

Les origines naturelles des sulfates sont l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mais également de la pyrite (FeS_2) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite) (**Ghazali et Zaid, 2013**) ou l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère (**Amroune, 2008**).

I.4. Problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation

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. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Par sa qualité chimique l'eau souterraine doit être destinée prioritairement à l'AEP (Alimentation en eau potable), malheureusement au niveau de la plaine de Boussaâda les aquifères sont exploités anarchiquement pour l'irrigation. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer de montrer les problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.4.1. La salinité

La salinité peut constituer une gêne majeure au développement de la production agricole, et même, mener à la stérilité des sols. Elle se rencontre en de nombreuses zones du bassin méditerranéen et particulièrement dans notre zone d'étude.

Les sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de: (Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Chlorures, Sulfates, Bicarbonates).

Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante.

Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires. La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/l ou plus couramment, par la conductivité électrique (CE). La conductivité électrique est exprimée en milli siemens/centimètre (mS /cm). L'ancien nom de cette unité est mhos. Un mmhos /cm est l'équivalent de m S/cm qui est l'équivalent de 1 de siemens par mètre (d S/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel (Yelle, 2003).

La salinité provoque une augmentation de la pression osmotique des solutions du sol empêchant l'absorption racinaire. En effet, les plantes absorbent Abdelhafidi, (2005), l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et de solution du sol. Solen Abdelhafidi, (2005), les expériences ont montré qu'il existe cinq (05) groupes en fonction de leur sensibilité à la salinité (Tab.I.1).

- Plantes très sensibles: haricots
- Plantes sensibles : poirier, pommier, vigne, cerisier, tabac, fraisier, maïs
- Plantes moyennement sensibles : tournesol, pois, soja, patate douce, agrumes, abricotier, amandier.
- Plantes résistants : asperges, épinards, cotonniers, riz, radis, orge, tomate.
- Plantes très résistants : palmier dattier, triplex.

Tab.I.1. Risques de la salinité de l'eau d'irrigation

Risque	TDS (mg/l)
Nul	<500
léger	500-1000
Modéré	1000-2000
Sévère	>2000

(Source: Nancy, 2020)

I.4.2. Le Risque du sodium pour l'eau d'irrigation

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c.-à-d. si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire) (Al Qawati, 2015).

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds quand ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR (Amroune et Mettai, 2000).

Le SAR est l'index utilisé est le rapport d'adsorption du sodium qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium (Tab.I.2).

Tab.I.2. Risques du Sodium de l'eau d'irrigation

Tolérance	SAR	Récolte
Très sensible	<10	Fruits, Citron
Sensible	10-18	Haricot
Résistance modérée	18-26	riz
Résistant	>26	Blé, Orge, Tomates

(Source:Nancy, 1997)

I.4.3. Le Risque des bicarbonates pour l'eau d'irrigation

Les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) ou carbonate de magnésium (MgCO_3) dans des conditions de sécheresse.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, en comparaison la teneur sodium et l'indice SAR deviennent plus importants. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, ce peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate (Nancy, 1997).

Carbonate de Sodium Résiduel (RSC)

Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$$



Chapitre II :

Etude du milieu physique

Introduction :

Ce chapitre décrit les traits majeurs de la plaine du Boussaâda notamment la localisation géographique, la géomorphologie du terrain, l'hydrographie, le couvert végétal et la nature du sol. Ces éléments vont contribuer à la compréhension du milieu physique étudié. En outre, le cadre géologique sera détaillé afin de définir les différents horizons aquifères.

II.1. Cadre naturel de la région d'étude

II.1.1. Situation géographique

La plaine de Boussaâda appartient à l'ensemble géomorphologique des hauts plateaux dans le bassin versant du Hodna et plus précisément du sous bassin versant de Boussaâda (18-05). La plaine de Boussaâda à une topographie très peu accidentée est semble être plane. Elle est placée au point de rencontre des coordonnées spatiales suivantes : 4° 11' de longitude et 35° 13' de latitude nord, sur une altitude de 560 m au-dessus du niveau de la mer, avec une superficie de 255 km² (Amroune et Mettai, 2000).

En outre, la région est limitée naturellement à l'Ouest par les monts d'ouled nail (Dj. Sellat) culminant à 1256 m. Le piémont est bien représenté au Nord-Ouest (500m) et au Sud-Ouest (650-700m) pour aboutir au niveau des glacis profondément entaillé par les oueds (Amroune et Mettai, 2000).

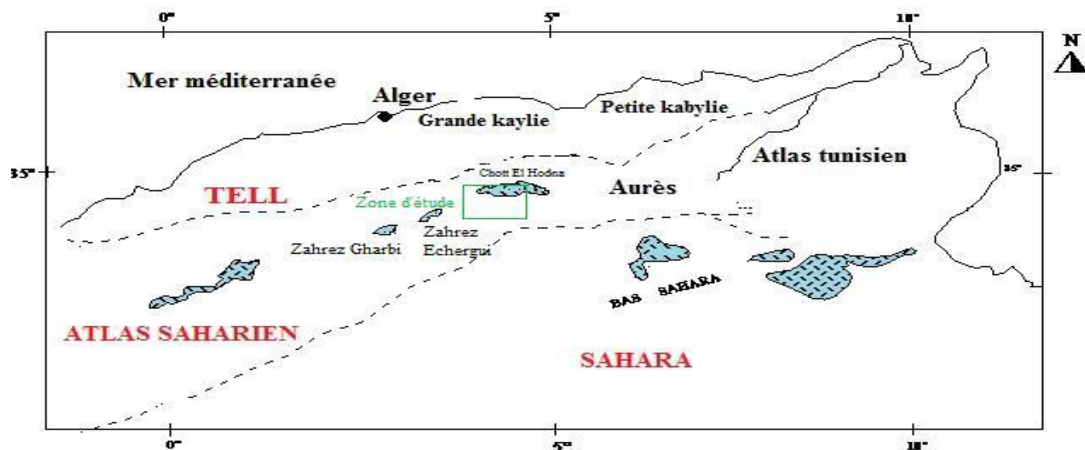


Fig. II. 1 Localisation géographique de la région d'étude

II.1.2. Habitats et activités

La plupart des agriculteurs sont concentrés au village agricole El-Maadhar. La terre est fertile et les potentialités agricoles de la ville sont énormes. Mais peu qui se mettent au travail et osent remuer à cette terre généreuse, car les résultats se font sentir au niveau des EAC (Exploitation agricole collective) où de grandes superficies verdoyantes occupent la partie sud-ouest de la ville (HELALI N. EL HOUDA)

II.1.3. L'agriculture

L'agriculture constitue le moyen le plus important de la subsistance et du développement de la commune de Boussaâda, elle emploie un nombre considérable de travailleurs et approvisionne les différents marchés de la région en produits agricoles.

Les exploitations agricoles se localisent au niveau de la zone Nord-Est (zone d'El Maadher). La surface agricole utile de la commune de Boussaâda est évaluée à 2900 hectares dont 2260 ha irriguées (**BEN SILETTE Adel MAHDID Rima**)

II.2. Cadre géologique :

Le cadre géologique de la région a été établi sur la base des études géologiques antérieures (Savronin, 1920; Guiraud, 1970 et 1973) et de la carte géologique de la région de Boussaâda (1/200 000). Dans cette vaste région, la géologie est à la fois complexe et diverse sur tous les plans (structures, stratigraphie, faciès...).

II.2.1. Secondaire

II.2.1.1. Trias

Le Trias est absent dans cette région sauf il affleure sous forme de diapirisme. Le Trias est reconnu en Dj. Kerdada et il est formé par des argiles violettes légèrement gypseuses.

II.2.1.2. Jurassique

Le Jurassique est constitué essentiellement par des formations carbonatées (calcaires, dolomies, calcaires gréseux et de marnes).

II.2.1.3. Crétacé supérieur

Le Crétacé a subi une érosion énorme dans cette région, il affleure juste au niveau de Baniou au Nord de la zone d'étude.

II.2.1.4. Cénomanién

Le Cénomanién est affleuré à l'Ouest de Boussaâda. Il est constitué principalement par des calcaires lumachelliques, des calcaires argileux, des marnes gypseuses à *Ostréa* (*Exogyra*). L'épaisseur du Cénomanién est de l'ordre de 120 m.

II.2.2. Tertiaire

Les formations continentales du Tertiaire reposent en discordance sur les séries du Crétacé inférieur et moyen. Ce matériel provient de l'érosion des formations crétacées supérieures de l'Atlas Saharien. Le Tertiaire est constitué des conglomérats, des sables, des

galets et des graviers avec des passées marneuses. La puissance du tertiaire est de 200 m environ et constitue un aquifère important dans cette zone.

II.2.3. Quaternaire

Les formations quaternaires sont constituées essentiellement par des sables, des graviers, des galets, des marnes, des limons et des argiles. Le gypse est également un matériel composant de l'aquifère quaternaire surtout au voisinage du lac d'eau salé. L'épaisseur du Quaternaire est croissante du Sud au Nord (14 à 123 m proche du Chott El Hodna).

II.2.3.1. Terrains de Chott

Ce sont des terrains composés par des limons gris associés avec des passées gypseuses. On trouve également les concrétions des sables ou les roses des sables.

II.2.3.2. Dunes

Les dunes se trouvent à l'Ouest et au Sud du Chott. Seulement limités à la cuvette des Oueds Temsa- Maiter et à la plaine bordière du Chott El-Hodna. Ce sont des sables quartzeux fins de couleur ocre relativement chargés en matériel argileux. Ils proviennent de l'érosion des grès barremiens et albiens qui affleurent largement (Amroune et Mettai, 2000).

Sur le plan hydrogéologique et malgré sa complexité lithologique, l'aquifère est constitué par des niveaux perméables formés des sables, graviers et des galets d'âge tertiaire continental, des conglomérats d'âge quaternaire. Mais vu le tarissement de la totalité des puits (30 à 60 m), c'est-à-dire le tarissement de la nappe phréatique, on va s'intéresser dans la présente étude à la nappe profonde d'âge Plio-Quaternaire et qui représente la source principale d'irrigation dans la plaine de Boussaâda.

II.3. Pédologie

Les sols de la région d'étude sont de type principal : sableux, bruts éoliens. Sur un niveau plus élevé, nous avons, le long du réseau hydrographique, des terrasses plus ou moins encroûtées, leur étendue dépend de l'activité passée et actuelle des oueds, en particulier oued Boussaâda (**Fig II. 2**).

Le sont à une texture sableuse. Les composants du sol sont dominés par le quartz, la calcite et le gypse. En raison de la texture sableuse et de la faible teneur en matière organique, la fertilité des sols est faible avec de petites CEC et la capacité de rétention de l'eau. L'ajout d'engrais et les modifications organiques sont donc nécessaires pour obtenir des rendements corrects, mais la fertilisation est empirique.

Chapitre II : Etude du milieu physique

Selon l'étude des sols de Hodna (Boyadjev, 1975) et de WRB (2006), les principaux types de sol présents dans la zone irriguée sont:

- Hautes Arenosols (Arides);
- Fluvisols compliqués (Aride, Gypsique);
- Gypsisols prolongés (Aridique);
- Glysols gypsiques (Aridique);
- Gypsic Solonchaks (Aridique);
- Haond Solonchaks (Aridique).

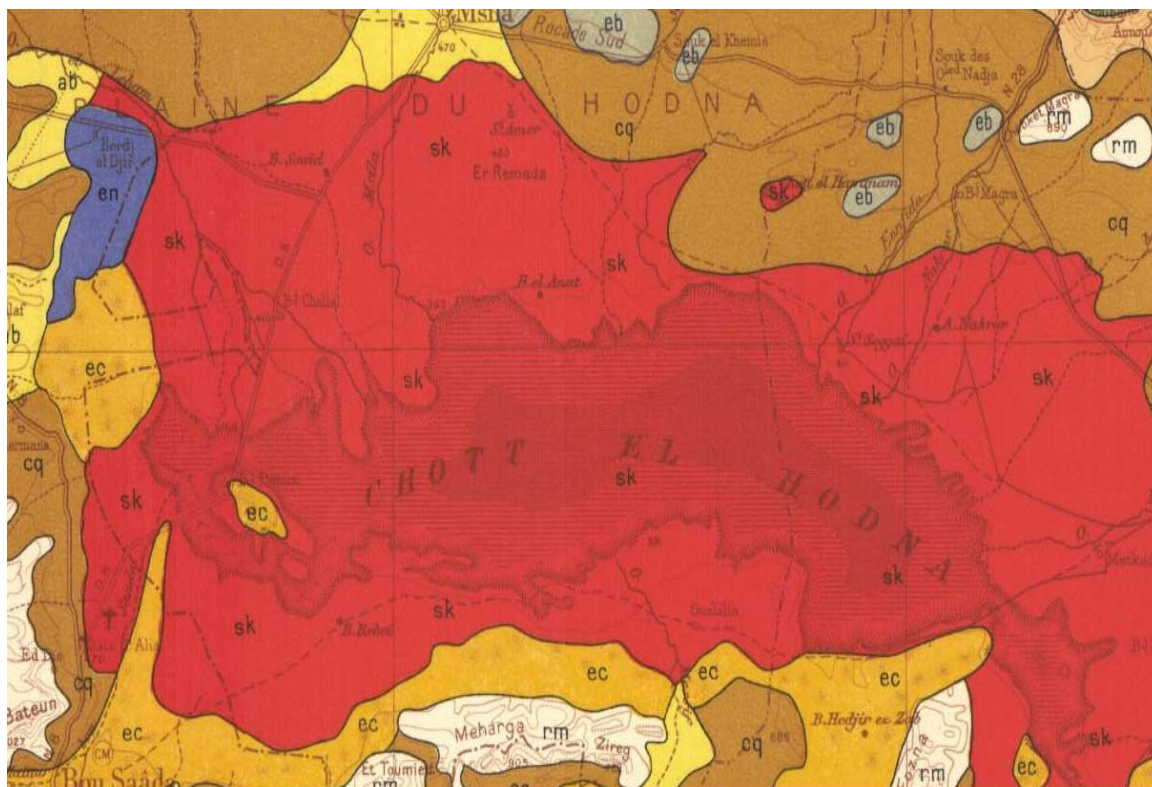


Fig. II. 2 Carte pédologique de la zone d'étude (d'après : FAO, 1975).

II.4. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique dans cette région est assez dense d'une direction principale Sud-Nord. Les divers oueds se déversent vers la dépression du Chott el Hodna (1100 km²) qui constitue l'exutoire du bassin de Boussaâda. Les principaux oueds sont : Oued Maarif, Oued Khoubana, Oued M'Cif, Oued Boussaâda, Oued El Maleh et Oued Maiter. Ces oueds prennent ces sources dans les monts de l'Atlas saharien. Ce sont des oueds à écoulement temporaires c'est-à-dire s'écoulement uniquement après les grandes averses (Athmani et Baza, 2017).

II.5.Végétation

La couverture végétale au niveau de notre secteur d'étude est pauvre, elle est constituée par des taches forestières sur les monts de l'Ouest et du Sud ainsi qu'une végétation steppique sur le pourtour du Chott El Hodna. Elle est constituée en majorité par des espèces qu'on rencontre le plus souvent dans les steppes algériennes telque les teracissima (Halfa), Artémisia helba-Alba (Armoise). Atriplex Halimus (Atripex), les espèces arbustives sont également rencontrées dont les plus importantes sont : Tamarix GALLICA (tamaris) et Ziziphitztus (j jubier) et on rencontre des palmiers. (Ramsar, 2001; Athmani et Baza, 2017).

II.6. Caractéristiques Climatiques

La connaissance du climat de n'importe quelle région est nécessaire pour comprendre l'état d'un système hydraulique, tient en compte des paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement et l'infiltration. L'alimentation des nappes souterraines d'eau est conditionnée principalement par les précipitations météorologiques.

II.6.1. Le climat de la région

Le climat de l'Algérie est largement influencé par la mer Méditerranée. La grande superficie de son territoire (2,3 M Km²) permet d'avoir divers types de climats et microclimats, allant du pluvial à l'aride (Sahara) en passant par le semi-aride.

Pour caractériser le climat de la zone d'étude, nous avons retenu les facteurs climatiques suivants : les températures, les précipitations, l'humidité, et le vent à partir de la station de Boussaâda qui localisé au Sud de la plaine d'étude. L'étude hydro climatique est s'étale sur une période de 2004 à 2019.

Le tableau II.1 présente les données fournies par l'Office National de Météorologie (O.N.M) de M'Sila (Annexe 1). Cette station est située au centre de la plaine de M'Sila.

Tableau II.1. Coordonnées géographiques de la station des données climatiques

Station	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Période d'observation
BOUSAADA	4° 12'E	35° 20'N	459	2004-2019

II.6.2. Les précipitations

Ce sont l'ensemble des eaux météorologiques recueillies par un bassin versant, sous différentes formes : liquide (pluie, bruine,...), solide (neige, grêle,...).

C'est un facteur primordial dans la détermination du régime climatique.

Tableau. II .2 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Boussaâda (2009-2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
Pluviométrie (mm)	13,3	21,3	13,2	6,9	11	6,1	15,4	21,2	15,3	7,9	6,2	7,4

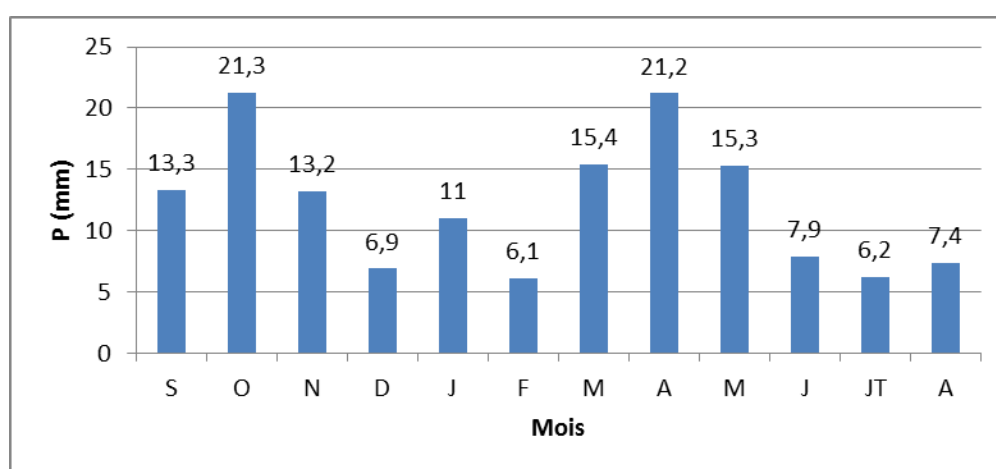


Fig. II.3. Répartition annuelle des précipitations au niveau de la station de Boussaâda

D'après la **fig. II. 3** nous remarquons que la quantité pluviométrique répartie d'une manière est relativement hétérogène et irrégulière pendant la période étudiée. Les précipitations moyennes mensuelles pour le mois d'Octobre représente une forte valeur avec 21,3 mm, alors que le mois le moins pluvieux est le mois de Février avec une valeur de 6,1 mm

II.6.3. La température

C'est un paramètre incontournable ayant un grand impact sur le climat car il entre dans l'estimation du bilan hydrologique ; ce paramètre est utilisé parallèlement avec les précipitations (**Campbell et Reece, 2007**).

Tableau. II .3 : Température moyennes mensuelles de la station de Boussaâda (2009-2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Température(C)	26,7	20,8	14,1	10	9,3	10,5	13,5	18,8	22,7	28,4	32,7	31,6

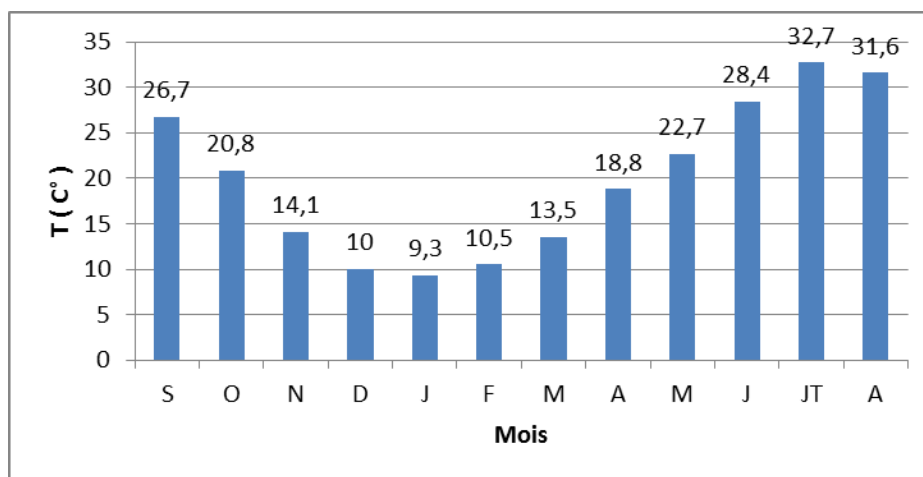


Fig. II.4. Températures moyennes mensuelles de la station de Boussaâda

La figure II.4 montre que la température maximale a été enregistrée au mois de juillet avec une valeur de 32,7 °C alors que la minimale est observée en janvier avec une valeur de 9,3°C.

II.6.4. Le vent

Le vent par définition est l'air en mouvement horizontal. C'est un facteur très important du climat, son influence est observée principalement sur la température, l'évaporation et l'humidité. Les caractéristiques du vent représentées par sa direction et sa vitesse sont variables dans le temps et dans l'espace. La situation de cuvette ouverte que présente le Hodna et particulièrement la zone de Boussaâda facilite la pénétration des vents venants de tous les horizons par les couloirs inter-montagnards. Cette cuvette connaît ainsi des vents assez forts (**BEN SILETTE Adel MAHDID Rima**). Les vents dans cette zone sont d'une direction principale Sud Est et Nord.

Tableau .II .4. Vitesses moyennes mensuelles du vent au niveau de la station de Boussaâda (2009-2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Vent (m/s)	1,59	1,19	2,3	2,14	2,5	3,24	3,41	3,2	2,94	2,24	1,91	2,0

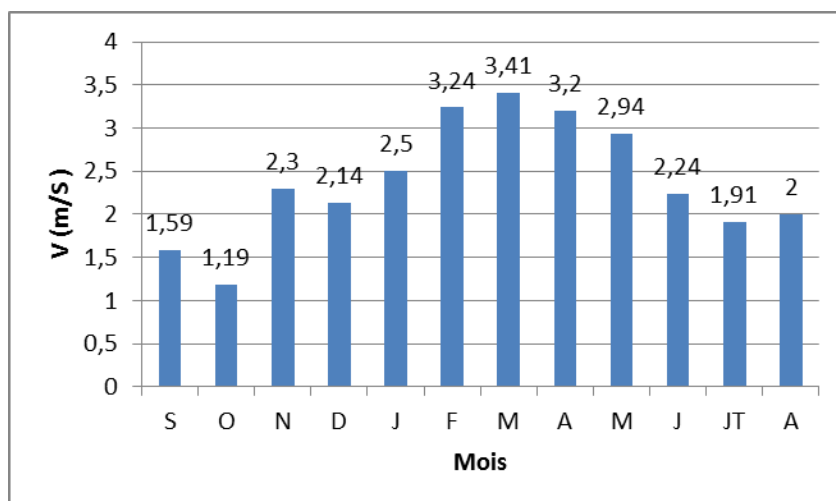


Fig. II.5. Vitesses moyennes mensuelles au niveau de la station de Boussaâda

La vitesse maximale du vent a été enregistrée au cours du mois de Mars avec 3,41m/s de moyenne, par contre, la minimale a été relevée en Octobre avec 1,19 m/s.

II.6.5. Humidité relative

L'humidité relative est définie comme le rapport entre la quantité de vapeur d'eau qu'un volume contient à une température donnée (humidité absolue) et la quantité maximale de vapeur d'eau que ce même volume peut contenir à la même température (humidité à saturation). L'humidité relative est exprimée en pourcentage (Laffont, 2015).

Tableau II .5. Humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de Boussaâda (2009 -2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Humidité (%)	46,8	57,1	65	71,7	69,5	62,3	52,5	48,7	43,8	33,3	30,9	34,2

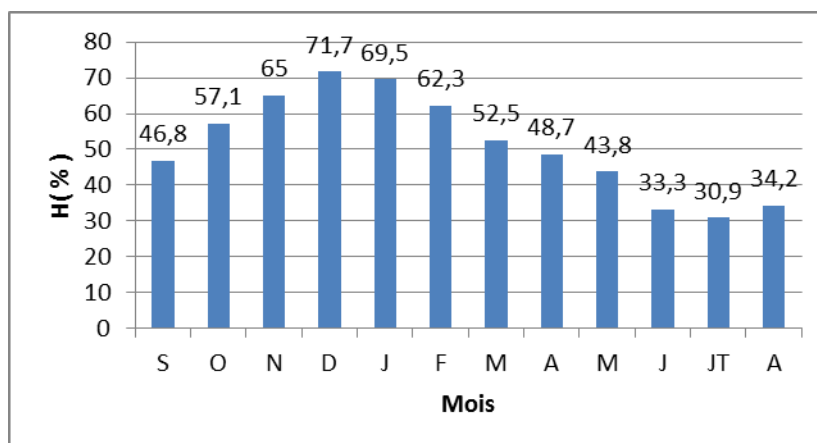


Fig. II 6. Humidité moyenne mensuelle en (%) de la station de Boussaâda (2009 -2018)

Chapitre II : Etude du milieu physique

Les valeurs du Tab II.4 et la figure II.6 indiquent que le mois de Décembre est le plus humide avec 71,7 %, par contre le taux d'humidité le plus faible est noté au cours du mois de Juillet avec 30,9 %.

II.6.6. Evapotranspiration ou déficit d'écoulement

La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation. L'évapotranspiration est définie, comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol que celle transpirée par les plantes.

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

Tableau .II .6 : Evapotranspiration moyenne mensuelle de la station de Boussaâda
(2009 -2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
ETP (mm)	158,2	116,7	70,8	51,5	60	70,8	100,3	131	184,8	234	267,96	261,5

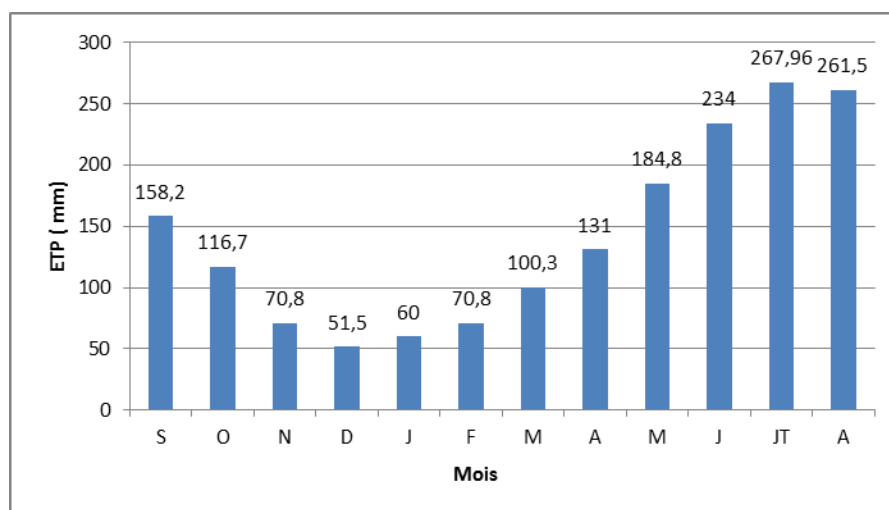


Fig. II .7. Evapotranspiration moyenne mensuelle de la station de Boussaâda (2009 -2018)

L'analyse des résultats du tableau II.6 et la figure II .7 montrent que la valeur moyenne interannuelle de l'ETP durant la période 2009-2018 est de 1708 mm environ. Cependant, la valeur maximale de l'ETP est révélée au mois de Juillet durant toute la période d'observation alors que le minimum est enregistré en période hivernale (Novembre, Décembre, Janvier et Février). Ceci s'explique par la hausse de température durant la période

estivale avec une valeur moyenne maximale qui s'élève à 32,7 °C contre de faible valeur de précipitation.

II.6 7 Diagramme Ombrothermique 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 figure II.8.

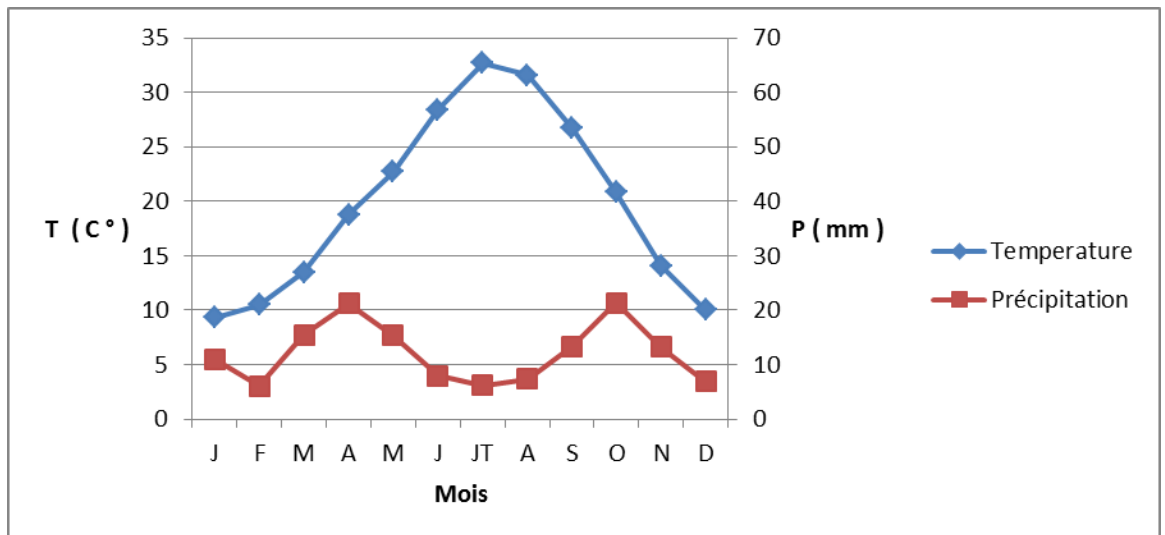


Fig. II.8. Diagramme Ombrothermique

L'analyse de la **figure II.8** montre l'existence d'une seule période au cours de toute l'année ; une longue période déficitaire (sèche) caractérisée par des températures élevées et des précipitations minimales s'étalant sur presque douze mois.

II.6 8 Diagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique " Q_2 " d'EMBERGER est une expression synthétique du climat méditerranéen en tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations et des températures (maximale et minimale).

Q_2 est calculé par la relation suivante :

Chapitre II : Etude du milieu physique

$$Q_2 = 2000 \left[\frac{P}{(M^2 - m^2)} \right]$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en ° Kelvin (°K).

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en ° Kelvin (°K).

Les résultats de calcul du quotient pluviométrique Q_2 de la station climatologique sont donnés au tableau **II.7**.

Tableau II.7. Valeurs du quotient pluviométrique Q_2 de la station de Boussaâda

Station	P (mm)	M (°K)	m (°K)	m (°C)	Q_2
Boussaada	12.1	303.9	282.9	9.9	1.96

Les valeurs de Q_2 et la moyenne des minima m du mois le plus froids ainsi obtenus sont ensuite portées sur le climagramme d'Emmberger (**Fig. II.9**).

D'après la figure II.10, la station climatologique de Boussaâda est située dans l'étage bioclimatique aride à hiver froid.

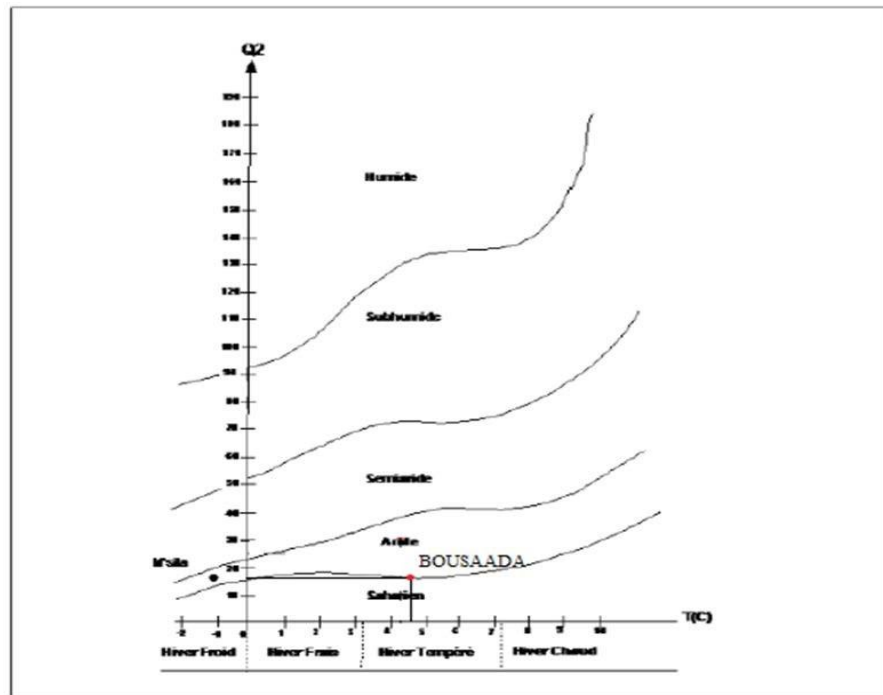


Fig. II.9 Diagramme d'Emmberger de la station de Boussaâda.



Deuxième Partie:

**Consiste à présenter
matérielles et méthodes**



Chapitre III :

Matérielles et Méthodes

Chapitre III : Matérielles 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 Plio-Quaternaire de Boussaâda qui ont été récupérées de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) Cette cartographie est faite à l'aide de logiciel Surfer version 14.

En plus, l'étude se base principalement sur les résultats de la campagne de prélèvement (Juin 2018) et dix-huit forages d'eau, répartis sur le terrain Les puits sélectionnés sont utilisés généralement pour les usages 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 de L'ANRH, Constantine, Algérie.

Nous présenterons les principaux mécanismes géochimiques impliqués dans l'évolution spatiale de la qualité de l'eau de la nappe étudiée. Ainsi, des statistiques des paramètres seront déterminées.

D'autre part, nous décrirons l'origine de la répartition spatiale des éléments en relation avec les mécanismes de l'écoulement souterrain.

III.1 Généralités sur le logiciel Surfer. 14

Le logiciel Surfer : Conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données quand aura récoltées sur le Terrain via De GPS ou bien en ce basant sur une carte déjà préétablie.

Le principe De Surfer est le suivant: le logiciel 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'ont pourra créer plusieurs types de cartes: Base map, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres.

Les opérations prises 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

Chapitre III : Matérielles et Méthodes

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.

III.1.1. Installation

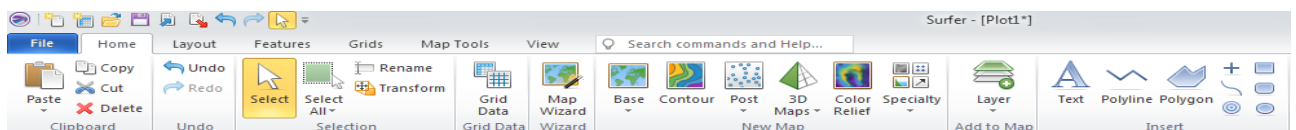
Une fois le logiciel est installé sur votre ordinateur je vous invite à faire un double cliquer sur l'icone de logiciel sur votre bureau comme je l'ai fait aussi et suivez la démarche.



III.1.2. Interface

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

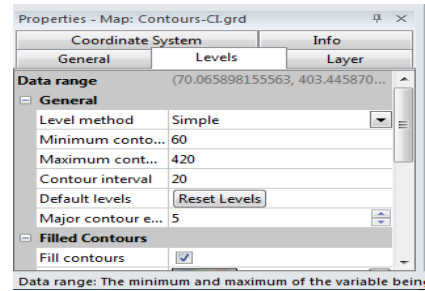
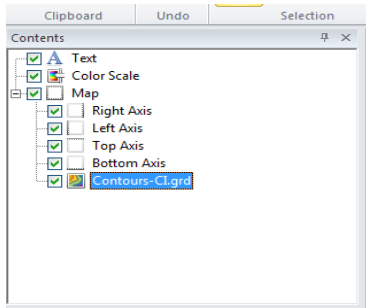
- Une barre des menus en haut :



Chapitre III : Matérielles et Méthodes

Nous utiliserons principalement les menus Grille Home File. Attention ! Cela ne voudrait pas dire que les menus comme Layout Features Map Tools et View seront négligés. Ils seront tous d'une bonne utilisation si besoin se présente.

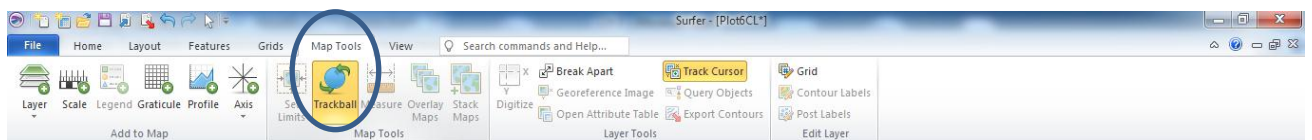
Un cadre principal (Plot) dans lequel s'afficheront nos cartes au centre, et à gauche, le cadre : Object Manager, dans lequel nous pourrions modifier la disposition de nos données, les afficher ou les supprimer.



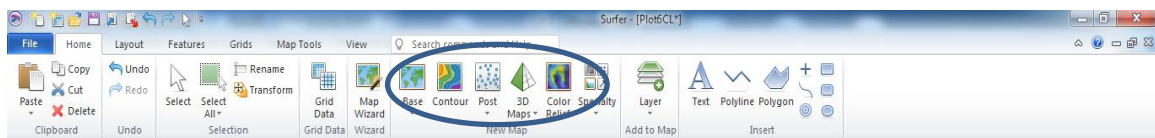
Cliquez sur Base dans le Gestionnaire d'objets pour ouvrir la carte:
Base propriétés dans le Gestionnaire de l'immeuble.

Dans la carte: propriétés de base dans la propriété Manager, dans la section Coordonnées de l'image, entrez les coordonnées du monde réel pour xMin, xMax, yMin et yMax.

- Une barre d'outils :

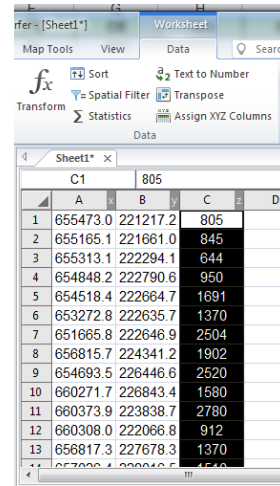
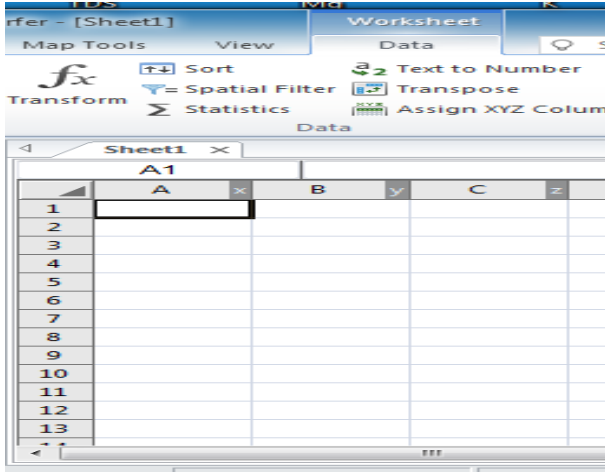


Cette barre d'outils nous permet de manipuler la carte. L'outil trackball entouré en bleu nous permet de tourner notre affichage dans tous les sens et toutes les orientations. Nous choisissons ici l'affichage de nos points, les différentes cartes possibles.



En outre, nous permettra de choisir l'affichage de nos points et ainsi les différentes cartes possibles.

Chapitre III : Matérielles et Méthodes



Le logiciel Surfer .14 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.

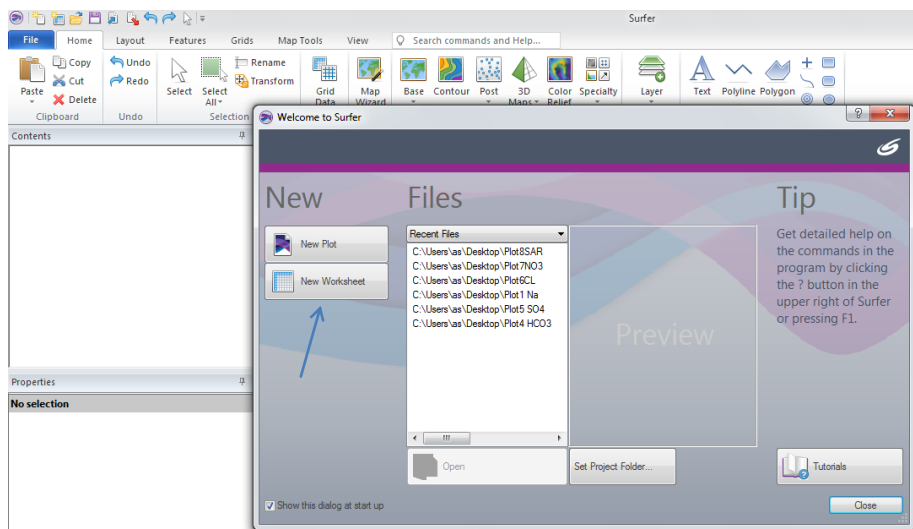
Le logiciel possède également un worksheet qui nous permet d'afficher nos données dans un tableau.

C'est un peu un 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).

III.1.3. les étapes à suivre

III.1.3.1. Etape 1 : Préparation des données, visualisation et mise en forme.

Créer un nouveau Worksheet comme ci mentionné ci-dessous.



Chapitre III : Matérielles et Méthodes

III.1.3.2. Etape 2 : 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).

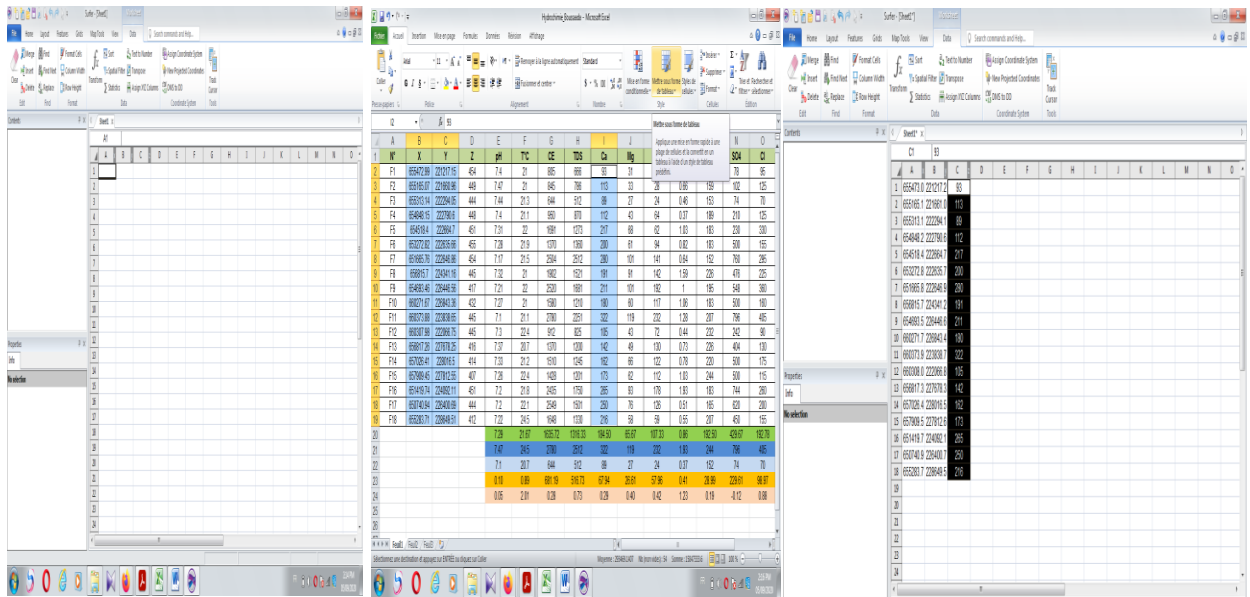
III.1.3.3. Etape 3 : Créer une grille x, y, z

Cette manipulation est la base du traitement sous Surfer.

- On crée une grille à l'aide du menu Grid → 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 fichier de type .bln (Taboussi, 2019).

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

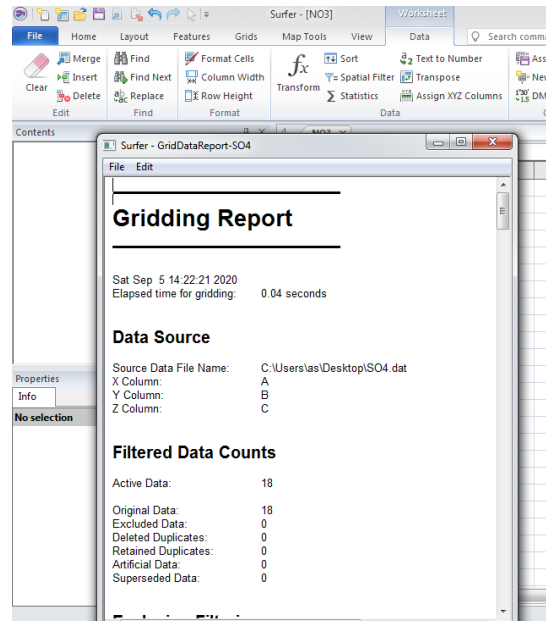
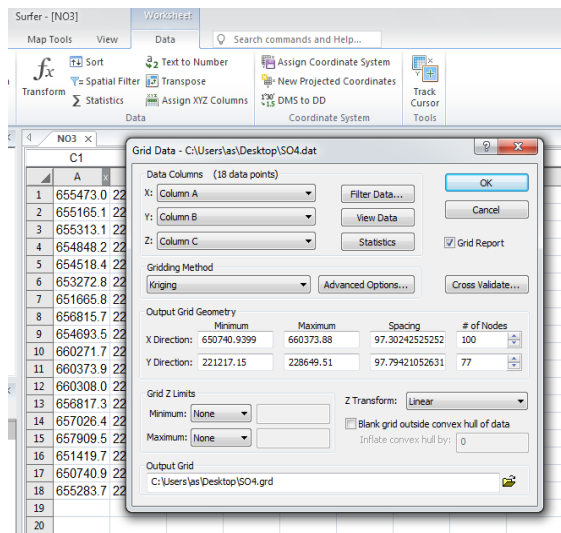
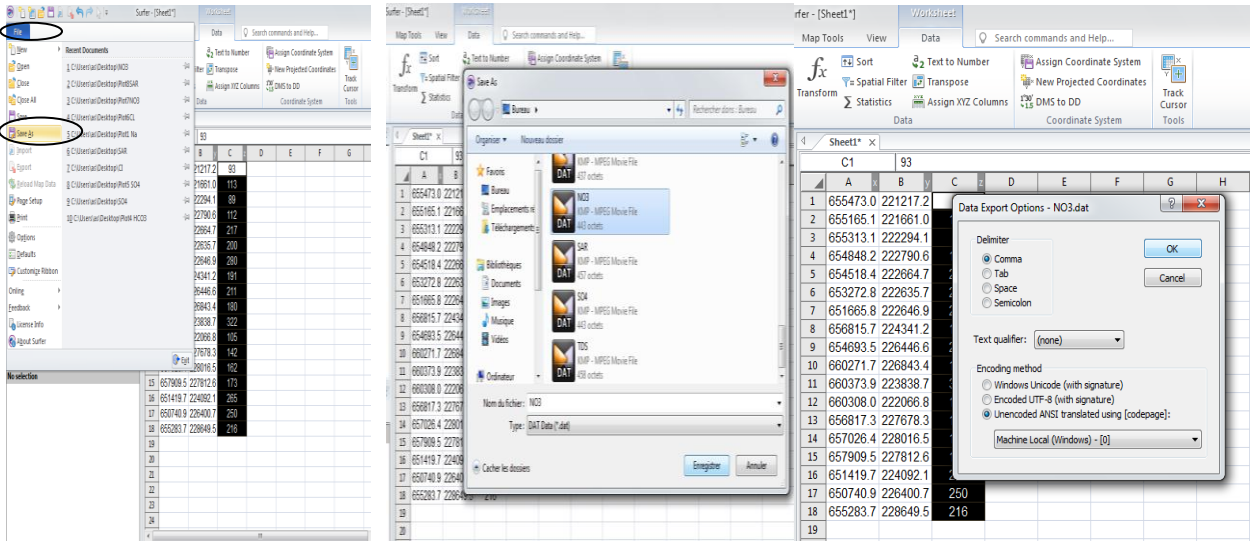


Enregistrer avec un nom explicite précisant bien qu'il s'agit des lignes de ruptures. Le traitement sous Excel est terminé. Le plus par rapport à profiler est qu'il faille traiter ces lignes de ruptures. L'opération qui suit consiste à ouvrir les lignes de rupture sous surfer pour les sauvegarder sous le format de surfer qui est le Golden Software Blanking ou. bln.

Sans plus de précisions, c'est ce format qui va vous permettre d'afficher par la suite le MNT. Pour l'instant, contentez-vous d'appliquer dans l'ordre les opérations. Ouvrez surfer,

Chapitre III : Matérielles et Méthodes

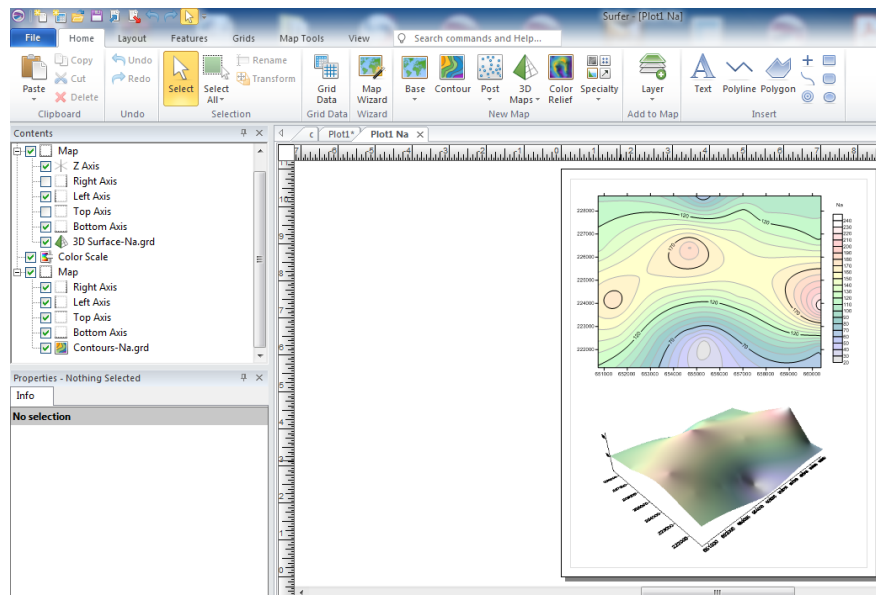
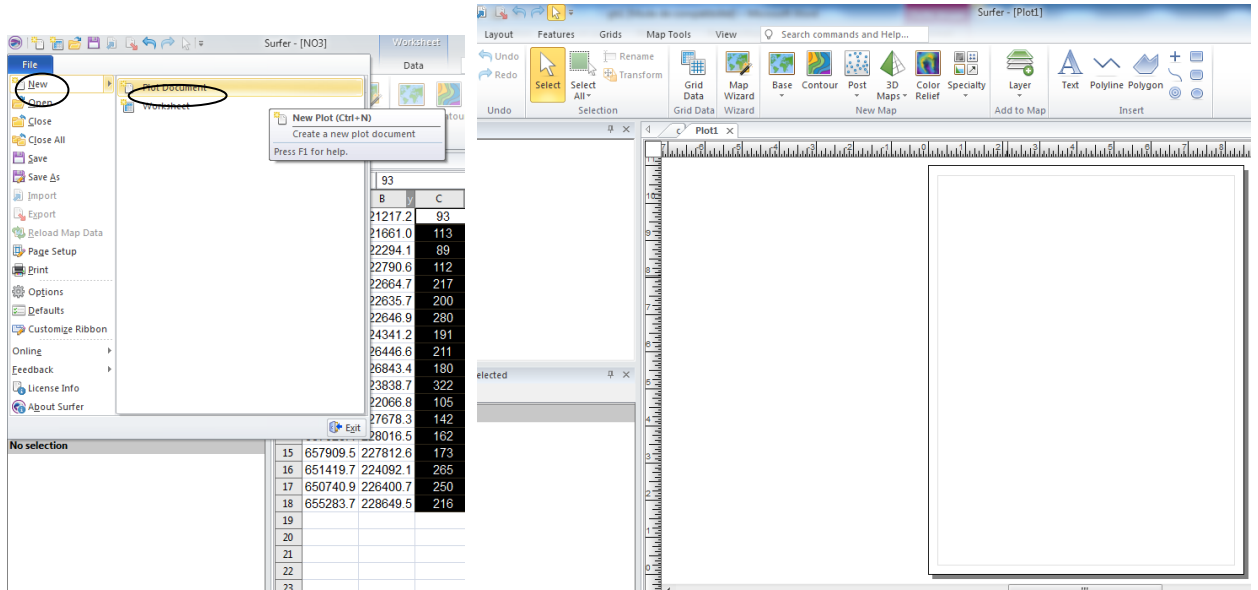
affichez vos lignes de rupture dans le WorkSheet (file open), et sauvegardez en. bln. (Alami, 2011).



III.1.3.4. Etape 4 : Afficher nos points

A partir de votre simple fichier Excel, nous pouvons déjà afficher nos points. Allons dans New Les points de notre plage s'affichent dans le plot Document. Dans object manager s'affichent les composantes de notre (axes, titre, type d'affichage...) (Taboussi, 2019).

Chapitre III : Matérielles et Méthodes

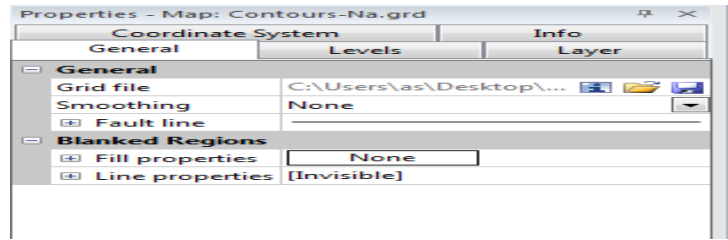


III.1.3.5. Etape 5 : Mettre en forme nos cartes

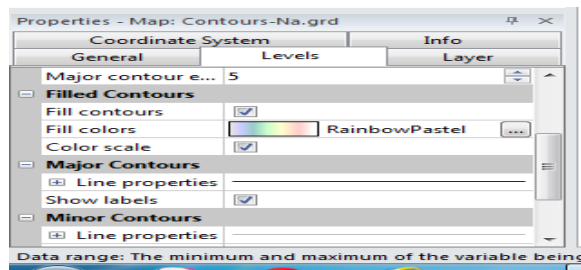
Mettre en forme signifie choisir ses propres couleurs, ajuster l'échelle des axes, leur attribuer un titre, mettre une échelle... De manière intuitive, nous avons la possibilité de trouver tout ce qui nous intéresse en cliquant directement sur les axes dans le plot (il faut être très précis), ou sur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

Chapitre III : Matérielles et Méthodes

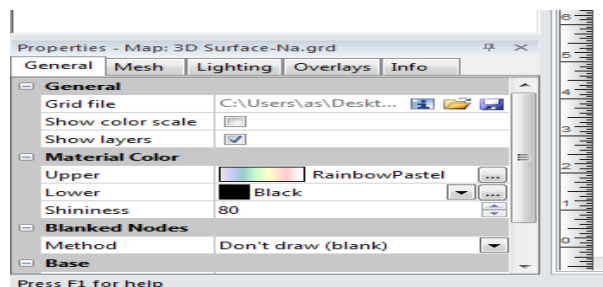


Pour l'apparence générale de la carte, double-cliquer sur la Map elle-même dans Object managé. Explorons les changements d'angles, passons en mode perspectiv.. etc. Pour le contour map, l'affichage par défaut est un fond blanc avec les lignes noires. Dans Object managé, double-cliquez sur l'icône du contour. Dans level, nous pourrons 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



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

Chapitre IV: Outils d'interprétations des données

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 Schoeller (1975) sont réalisés permettant de caractériser certaines informations hydrogéochimiques des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda

IV.1. Utilisation des représentations graphiques

IV.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.1.2. Diagramme de Riverside (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

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.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.



Troisième Partie:

Résultats et discussions



Chapitre V:

Résultats et discussions

Introduction :

Les analyses physico-chimiques des eaux de la nappe de la région étudiée ont été faites au niveau de 18 échantillons bien répartis dans la plaine de Boussaâda (Fig.V.1). Ces analyses ont permis d'acquérir un certain nombre de paramètres habituellement utilisés pour l'estimation de la qualité des eaux d'irrigation : la salinité (traduite par la conductivité électrique), le SAR (Sodium Adsorption Ratio ou indice d'adsorption du Sodium, aussi appelé « pouvoir alcalinisant »).

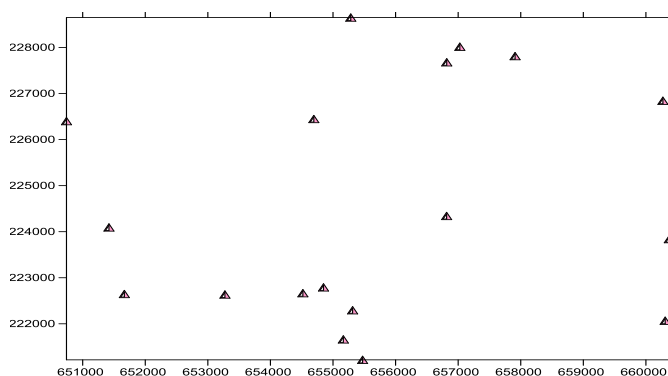
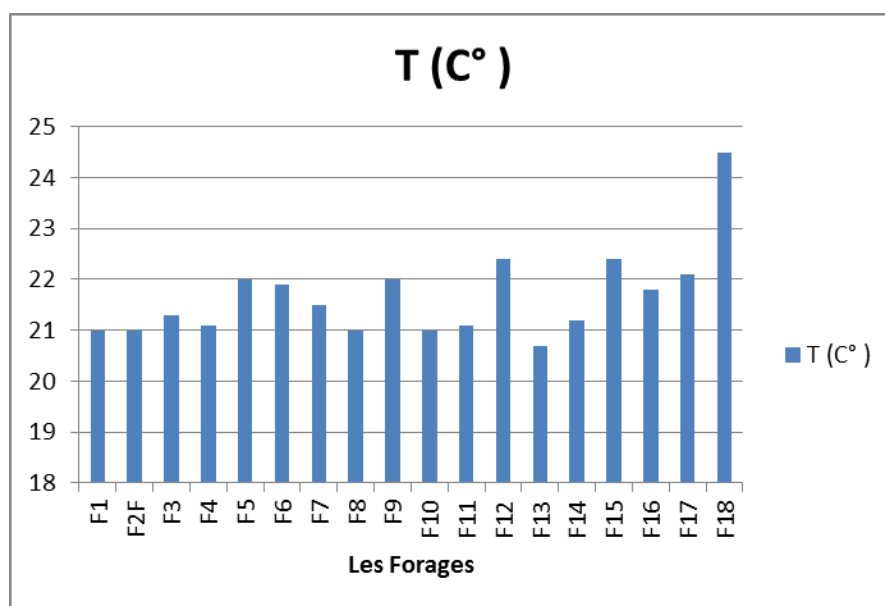


Fig.V.1. Carte de répartition spatiale des forages dans plaine de Boussaâda

V.1. Principaux paramètres physico-chimiques

V.1.1. Température

Les valeurs des températures des eaux de la nappe de Boussaâda sont représentées dans la figure (V.2).



Chapitre V: Résultats et discussions

Fig. V.2. Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda

La figure V.2 montre que la température moyenne mesurée des différents points d'eau de secteur d'étude est de l'ordre de 21.66°C. Elle varie entre une valeur minimale de 20.7°C et une maximale de 24.5°C au niveau des forages F13 et F18 respectivement (**Fig.V.2**). Cette température est due probablement de l'effet des nitrates d'origine agricole.

V.1.2 : Potentiel d'hydrogène

Les valeurs du pH des eaux de la nappe de Boussaâda sont schématisées dans l'histogramme ci-dessous (**Fig.V.3**).

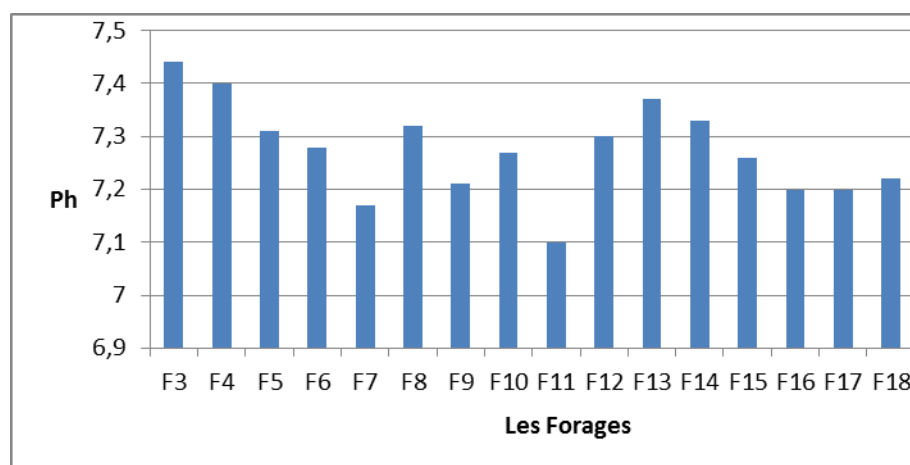


Fig. V.3. Variabilité du pH des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda

Le pH mesuré sur le terrain au niveau des 18 forages est varié de 7,1 pour le F11 et 7,47 pour le F2. La valeur moyenne calculée sur 18 échantillons est de 7,29; ce qui reflète un caractère basique des eaux de la région

Les eaux d'irrigation de la plaine de Boussaâda présente un danger léger à modéré pour les cultures selon les indicateurs de qualité des eaux d'irrigation ($\text{pH} < 6.5$ et $\text{pH} > 8.5$).

V.1.3 : Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique CE des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la carte d'iso-conductivité (**Fig.V.4**).

La figure V.4 montre que la majorité des eaux de la plaine de Boussaâda il y a une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevée. Ces valeurs présentent un risque salin élevé sur les sols et les plantes.

La salinité, représentée par la CE, augmente au Ouest de la plaine et dans la partie L'est (**Fig.V.4**).

Chapitre V: Résultats et discussions

Il passe d'une valeur minimale de 644 $\mu\text{S} / \text{cm}$ au forage 3 à une valeur maximale de 2780 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au forage 11 et avec une moyenne de 1635,72 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

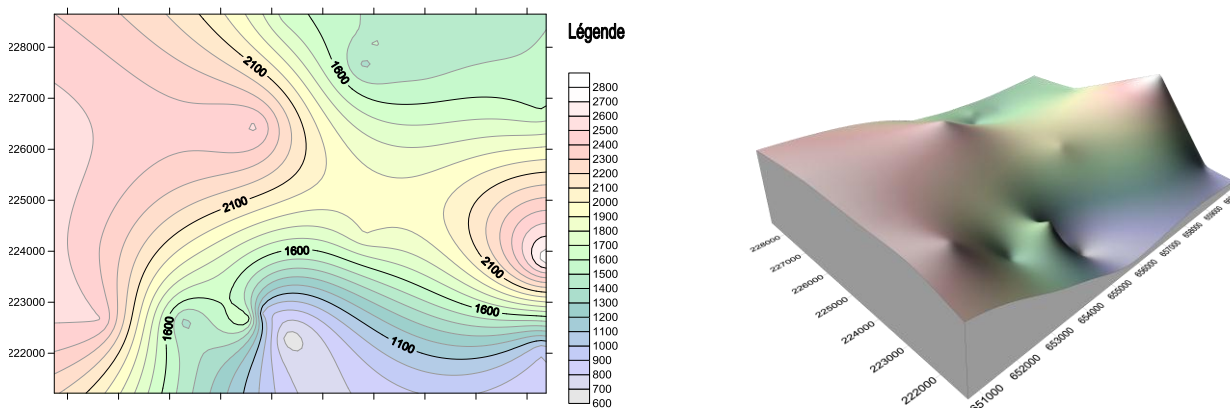


Fig. V.4. Carte de répartition spatiale de la conductivité des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

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^{-2} , Cl^- et HCO_3^- et NO_3^-

V.2 1 : Les cations

V.2 1 1 : Le calcium Ca^{2+}

Les concentrations du calcium des eaux de la nappe de Boussaâda sont représentées sous forme d'une carte d'iso-valeurs (Fig.V.5).

Le calcium des eaux de l'aquifère de la plaine de Boussaâda varie de 89 mg/ l à 322 mg / l, avec une valeur moyenne de 3321 mg/ l. (**Fig.V.5**).

L'examen de la carte de répartition du calcium au niveau de la zone d'étude (**Fig. V.5**) montre que les fortes concentrations se situent dans la zone occidentale de la plaine (> 200 mg/l) à cause de la dissolution des formations carbonatées.

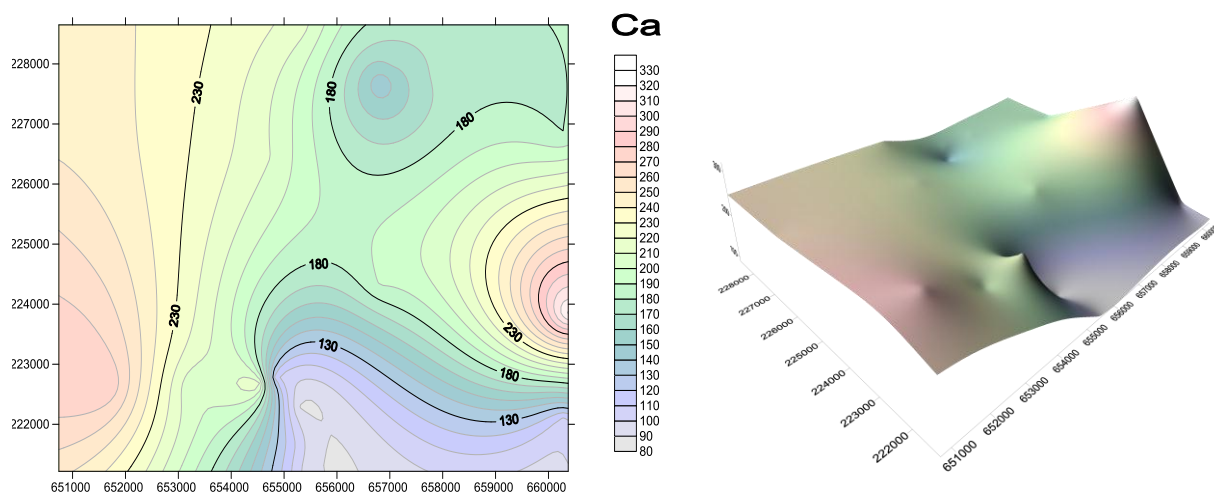


Fig.V. 5. Carte de répartition spatiale des teneurs en calcium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

V.2.1.2 : Magnésium

Les concentrations en Magnésium des eaux de la nappe de Boussaâda

La teneur minimale du magnésium est enregistrée au forage F3 avec 27mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F11 avec 119mg/l avec une moyenne de 1182mg/l. La carte (**Fig.V.6**) montre que la teneur élevée s'observent au centre de la plaine et la teneur moyenne s'observent au l'entrée de sud de la plaine d'étude. Cette convergence est due au pompage intensif des forages des agriculteurs au niveau de cette région.

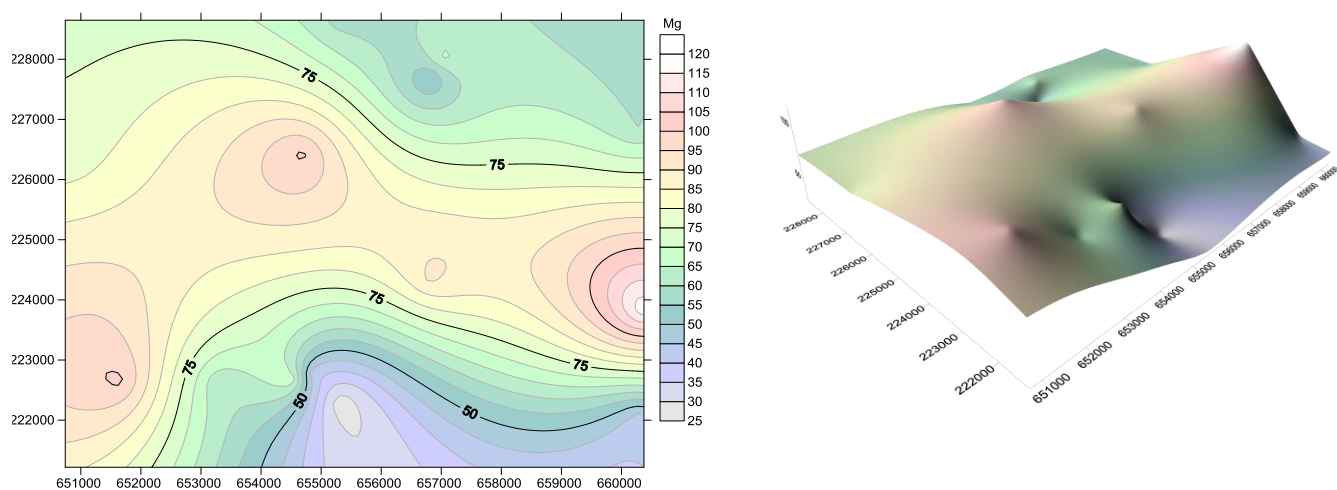


Fig.V.6. Carte de répartition spatiale des teneurs en magnésium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

V.2 1 3 : Le sodium

Les concentrations en Sodium des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la carte d'iso- sodium (Fig.V.7).

Les concentrations du sodium des eaux de la nappe de Boussaâda varient entre 24mg/l au forage F3 et 232 mg /l au forage F11 avec une teneur moyenne de 132mg/l. La carte de répartition de cet élément montre des fortes concentrations centre de la région d'étude (Fig.V.7). Cette convergence est due à la surexploitation des eaux au niveau de cette région.

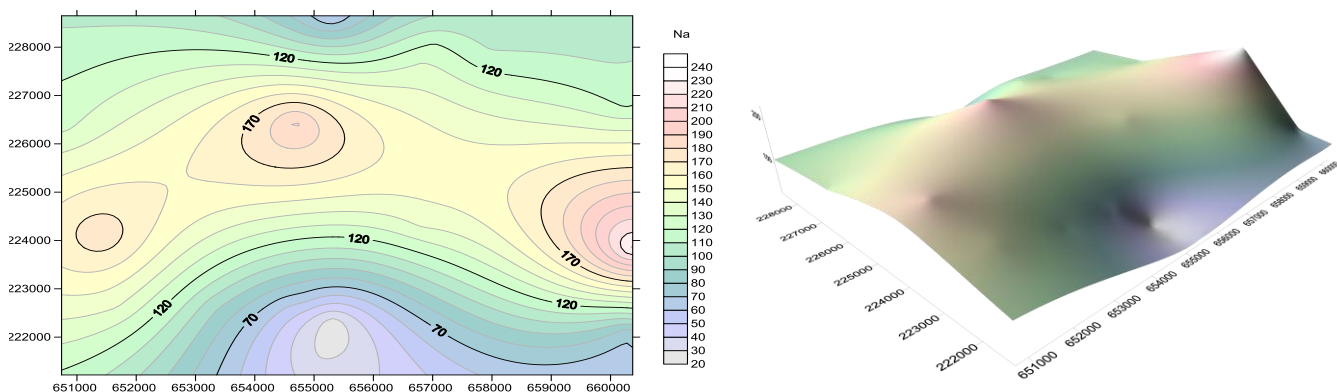


Fig.V. 7. Carte de répartition spatiale des teneurs en sodium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

V.2.1.4 : Potassium

Les concentrations en Potassium des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la carte d'iso-teneur (Fig.V.8).

La répartition en potassium au niveau de la plaine de Boussaâda varie entre F4 0,37mg /l et F16 1,93mg/l avec une concentration moyenne de l'ordre de 0,86mg/l .La carte de répartition de cet élément montre des fortes concentrations au ouest l'est de la région d'étude.

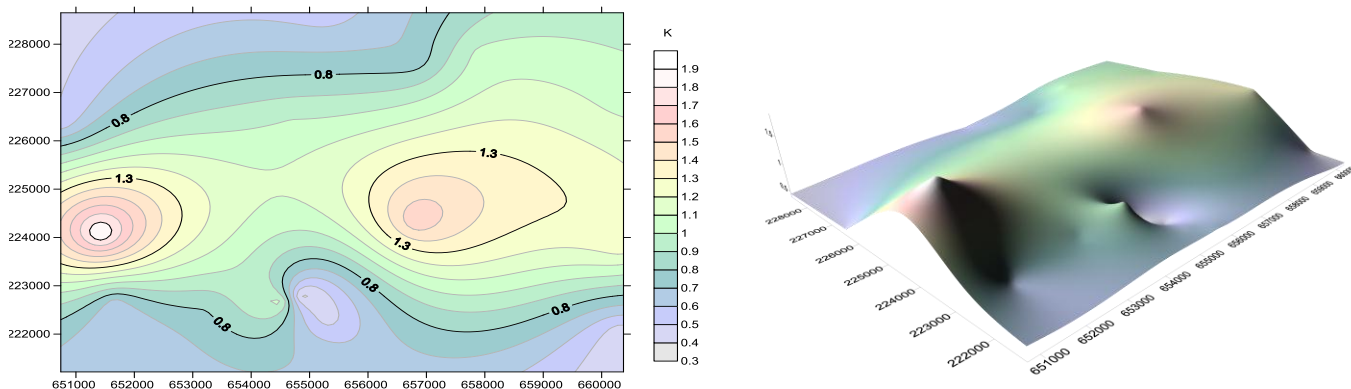


Fig.V. 08. Carte de répartition spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

V.2 2 Les anions

V.2.2.1.Sulfates

Les concentrations en sulfates des eaux de la nappe de Boussaâda sont réalisées dans la carte d'iso-teneur (**Fig.V.9**).

Les concentrations de cet élément que varient entre 74 mg/l au forage F3 et une valeur de 796 mg/l au forage F11 avec une teneur moyenne de l'ordre de 429,66 mg/l.

D'après la carte de répartition de cet élément (**Fig.V.9**), nous distinguons que les teneurs élevées se localisent au voisinage du Chott El Hodna due à l'influence des eaux salées de ce derniers.

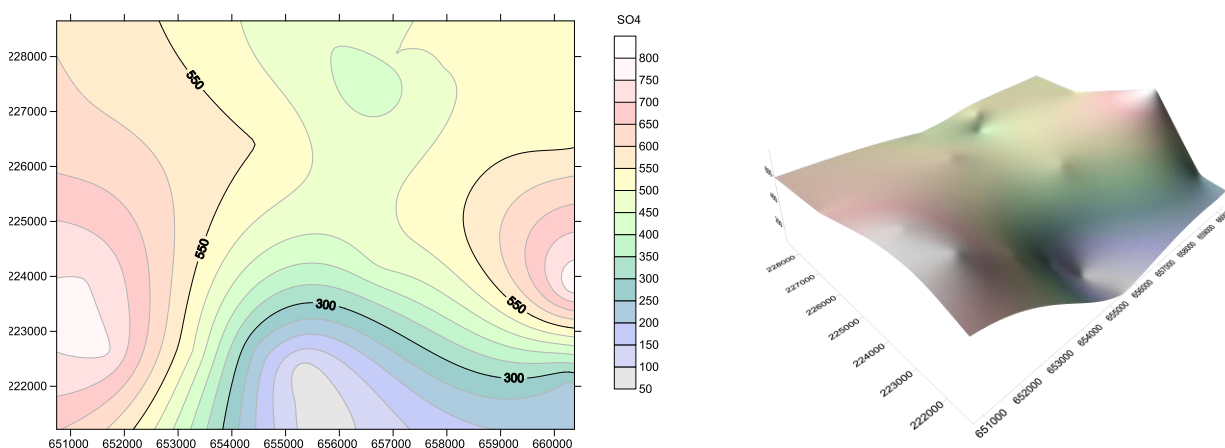


Fig.V. 9. Carte de répartition spatiale des teneurs en sulfates des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

V.2 2 2 Chlorures

Les concentrations en chlorures des eaux de la nappe de Boussaâda sont réalisées sous forme d'une carte d'iso-teneurs (**Fig.V.10**).

Les valeurs de Cl⁻ varient entre 70 mg/l au forage F3 et 405 mg/l au forage F11 avec une concentration moyenne de 192,77 mg/l. La **Fig V.10** montre que la majorité des points d'eau ont des fortes teneurs sont concentrées au centre de la plaine et dans la partie centrale de la zone d'étude.

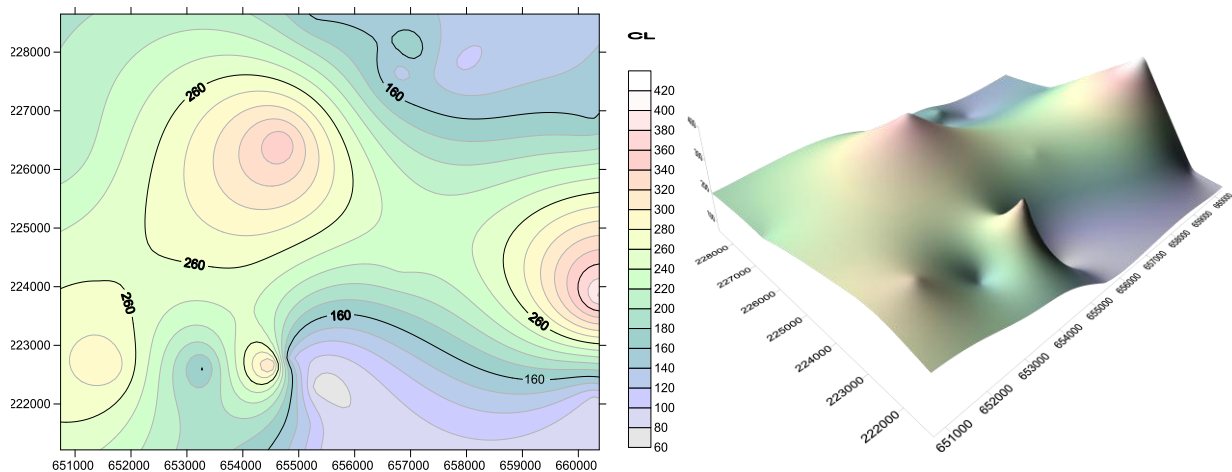


Fig.V. 10. Carte de répartition spatiale des teneurs en chlorures des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

V.2 2 3 Nitrates

Les concentrations en nitrates des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la figure V.11.

Les valeurs de NO_3^- varient entre 6 mg/l au forage F7 et 158 mg/l au forage F8 avec une concentration moyenne de 76,27 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 sud. Cette élévation est due à l'utilisation des engrais chimiques et organiques par les agriculteurs.

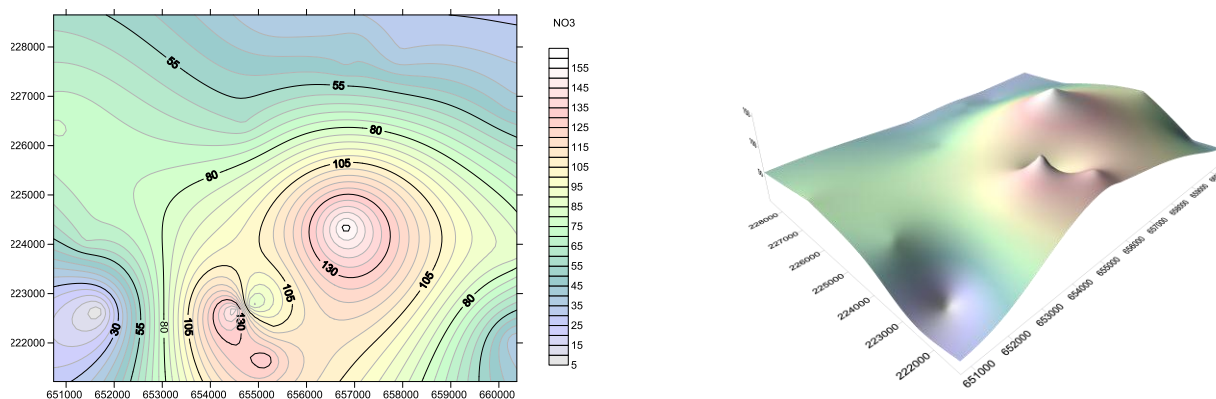


Fig.V. 11 Carte de répartition spatiale des teneurs en nitrates des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

V.2 2 4 Les bicarbonates

Les concentrations en bicarbonates des eaux de la nappe de Boussaâda sont schématisées dans la carte **Fig.V.12**.

Chapitre V: Résultats et discussions

Les teneurs des eaux dans la plaine de Boussaâda en bicarbonates varient entre 152 mg/l au forage F7 et 244 mg/l au forage F15 avec une concentration moyenne de 192,5mg/l. D'après la carte de répartition de cet élément, les fortes teneurs se localisent dans la partie orientale de la zone d'étude, alors que les faibles teneurs se trouvent à l'opposé ou bien dans la zone occidentale (Fig.V.12).

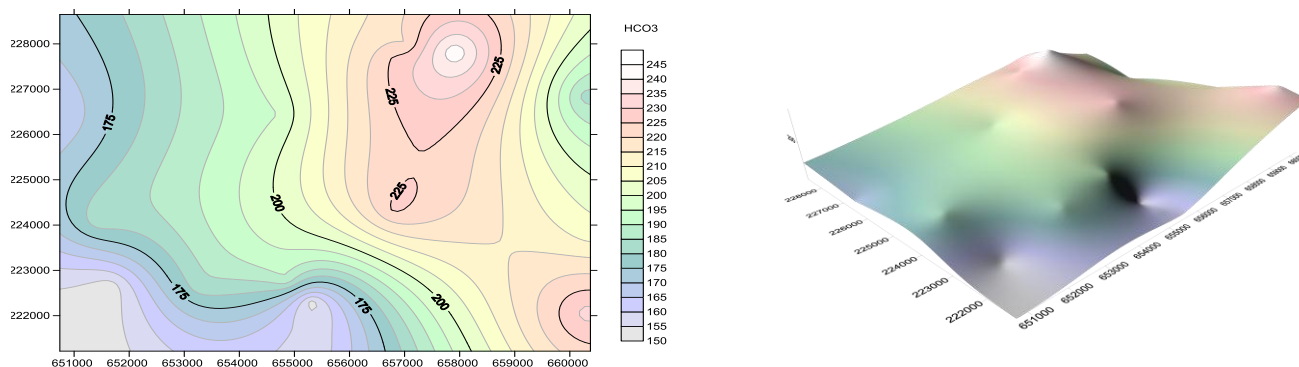


Fig.V.12: Carte de répartition spatiale des teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans la plaine de Boussaâda

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 (pH *équilibre*) qui donne une idée sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau (Atmani et Baza, 2017).

Chapitre V: Résultats et discussions

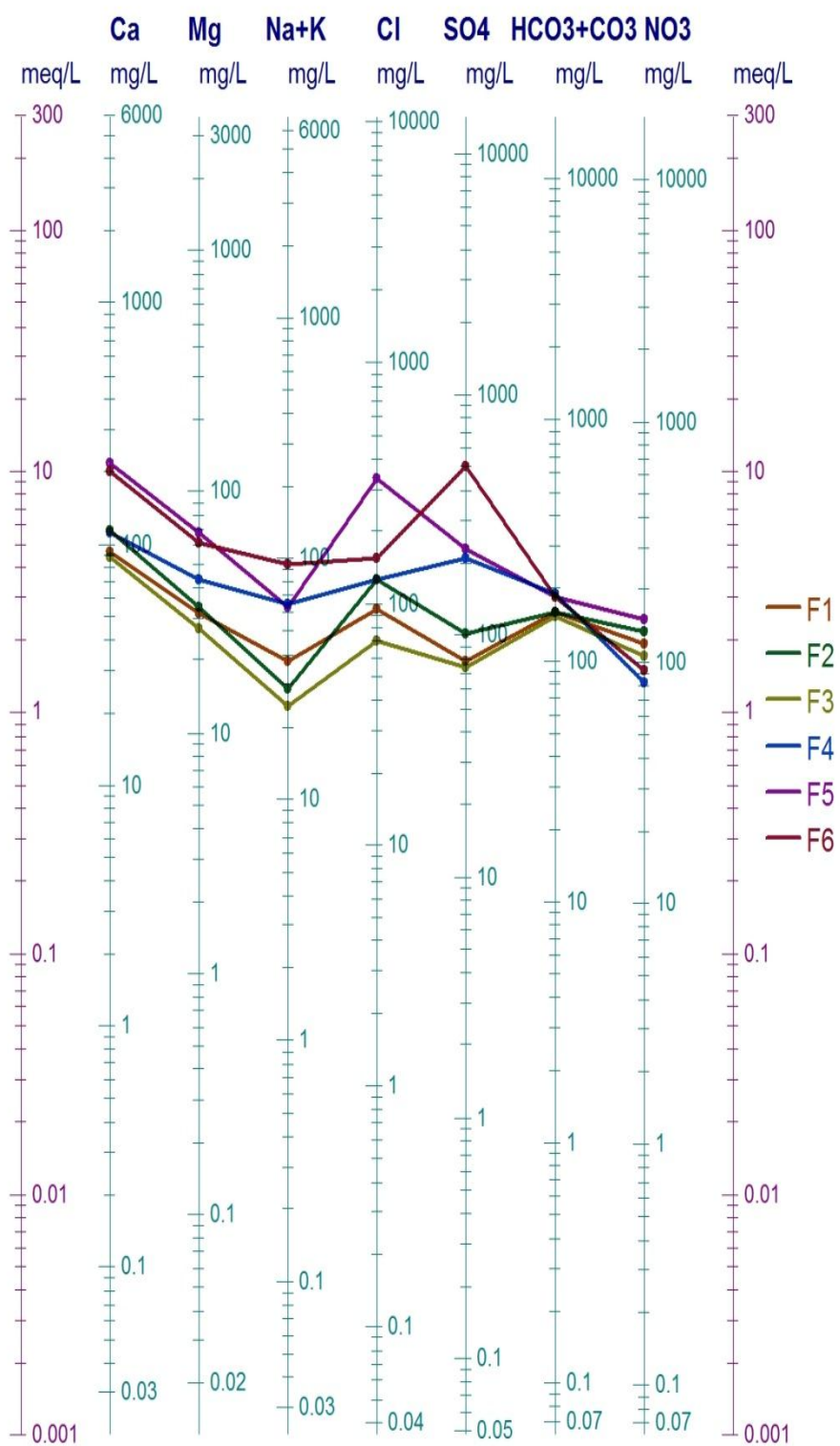


Fig.V.13 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de Boussaâda (F1, F2, F3, F4 F5 et F6)

Chapitre V: Résultats et discussions

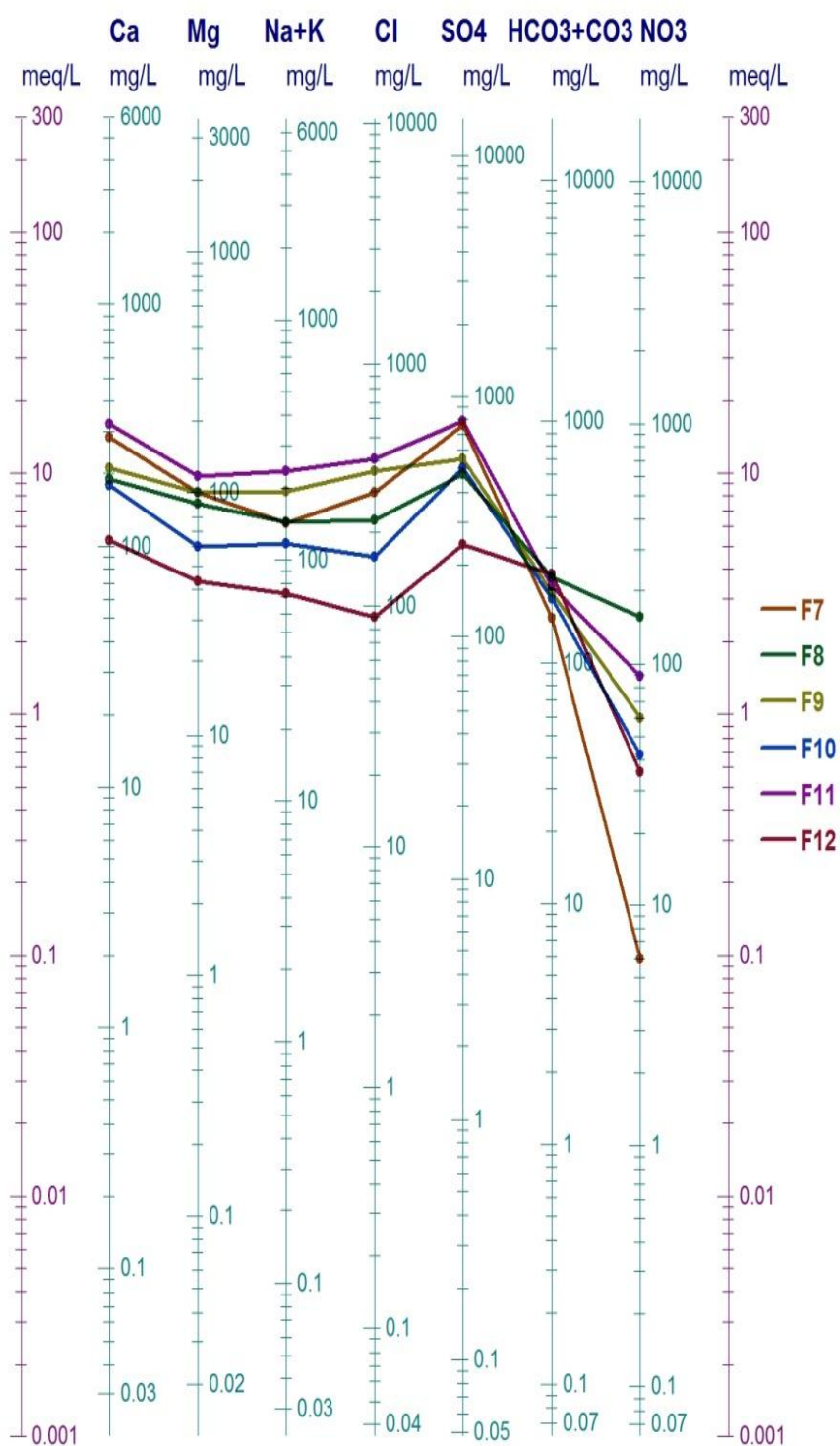


Fig.V.14 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de Boussaâda (F7, F8, F9 F10 F11 et F12)

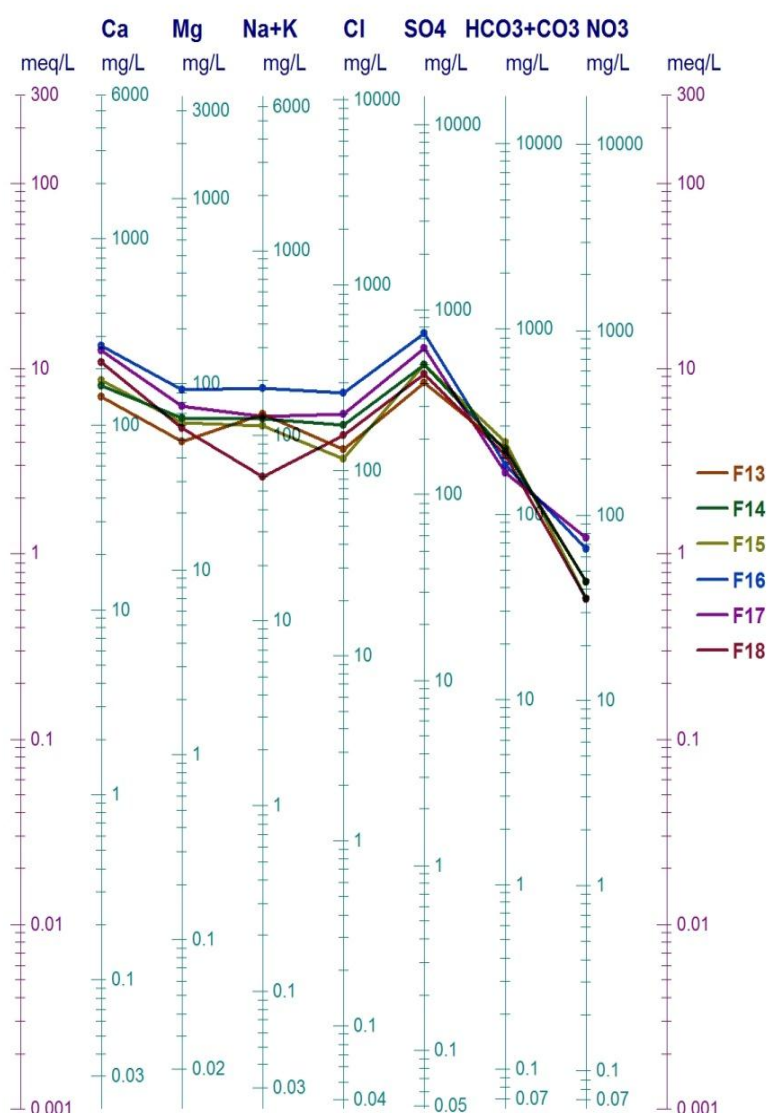


Fig.V.15 : Diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF des eaux de la plaine de Boussaâda (F13, F14 F15 F16 F17 et F18)

Les représentations des résultats chimiques montrent que le faciès dominant pour les eaux de la plaine de Boussaâda est Sulfatée calcique avec 45% et Chlorurées magnésienne avec 35% de l'ensemble des échantillons.

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.

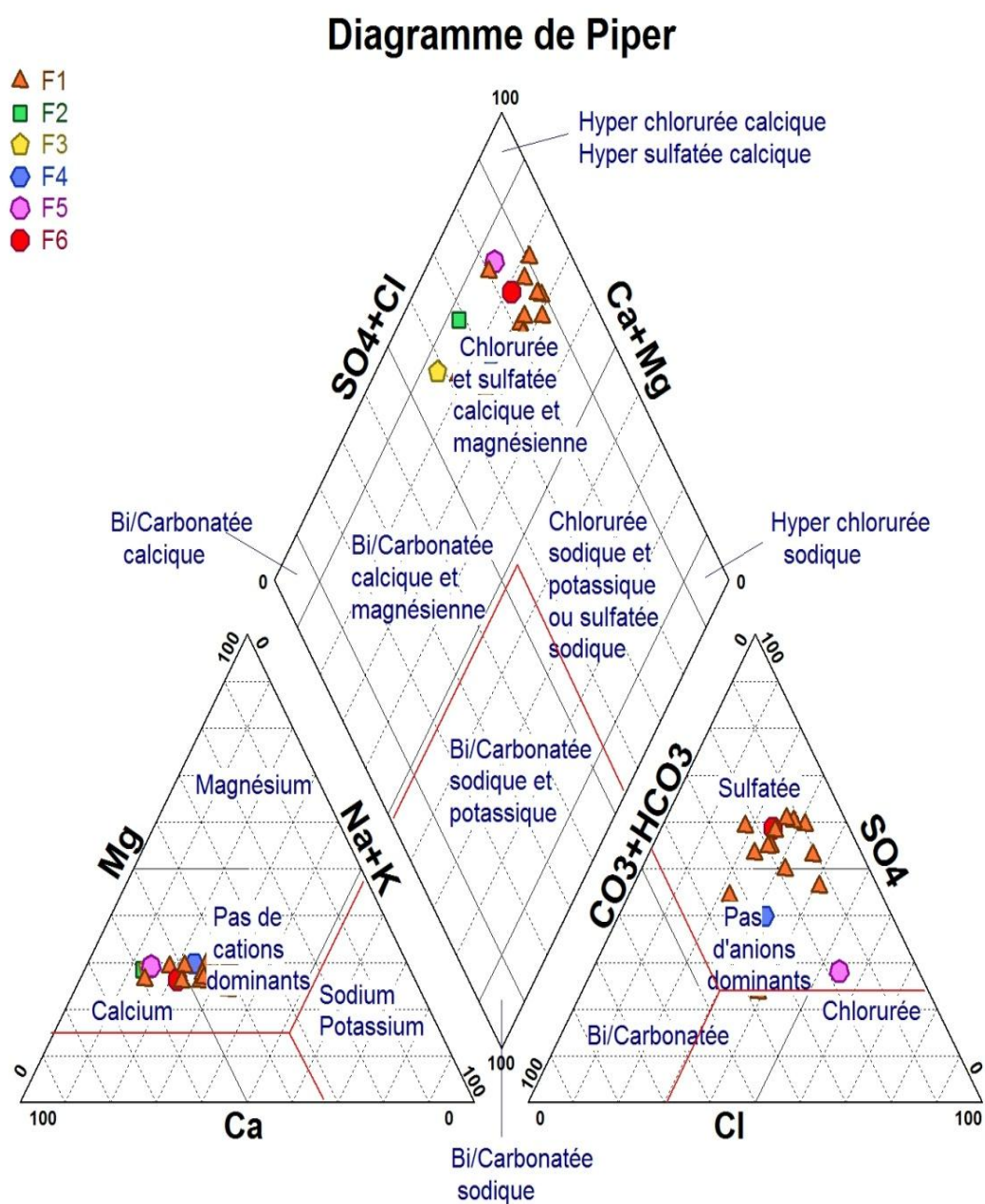


Fig.V.16 : Classification des eaux d'irrigation des stations F1 F2 F3 F4 F5 et F6 de Boussaâda selon la méthode de PIPER

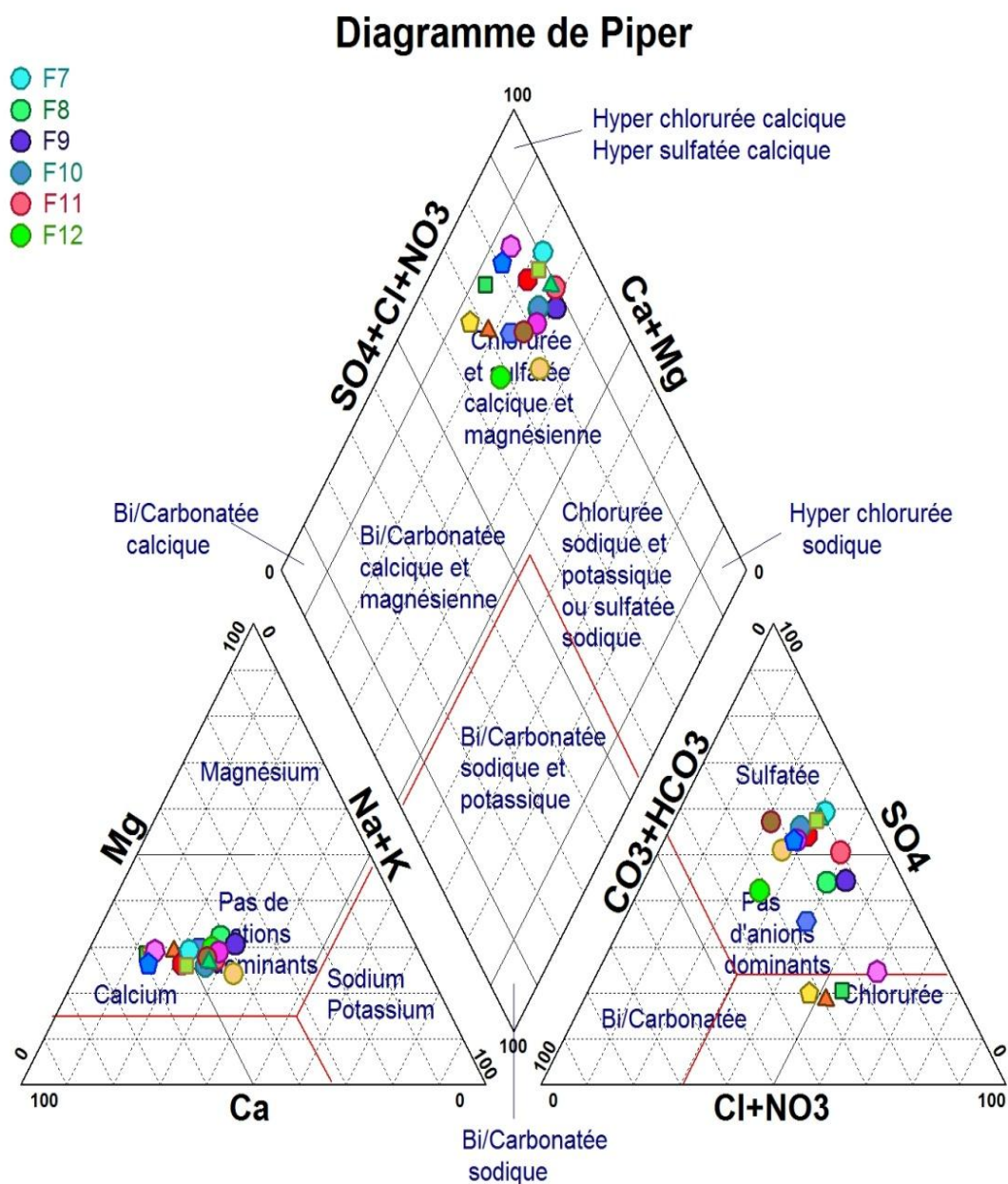


Fig.V.17 : Classification des eaux d'irrigation des stations F7 F8 F9 F10 F11 et F12 de Boussaâda selon la méthode de PIPER

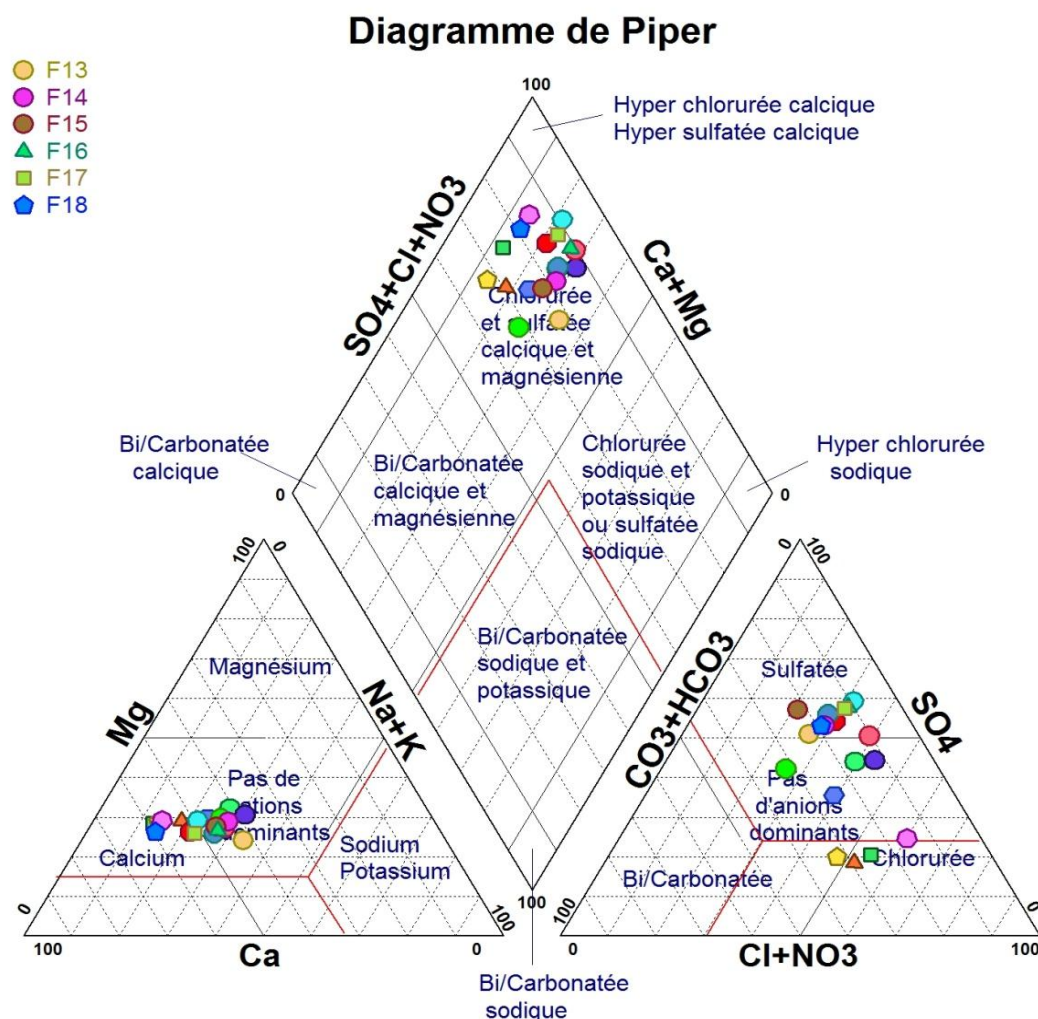


Fig.V.18: Classification des eaux d'irrigation des stations F13 F14 F15 F16 F17 et F18 de Boussaâda selon PIPER

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 Boussaâda 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 deux (02) 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

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 :

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

Où tous les éléments sont exprimés en méq / l.

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

Tableau V.1. Résultats de la teneur en sodium (%Na⁺) des eaux souterraines de Boussaâda.

Classe	% des points d'eau
Excellent	5 %
Bonne	67 %
Admissible	0%
Mediocre	5 %
Mauvaise	23 %

D'après le tableau V.10, 5% seulement des points d'eau sont médiocres et 23% des points d'eau sont de mauvaise qualité; tandis que 67 % de ces points sont de bonne qualité.

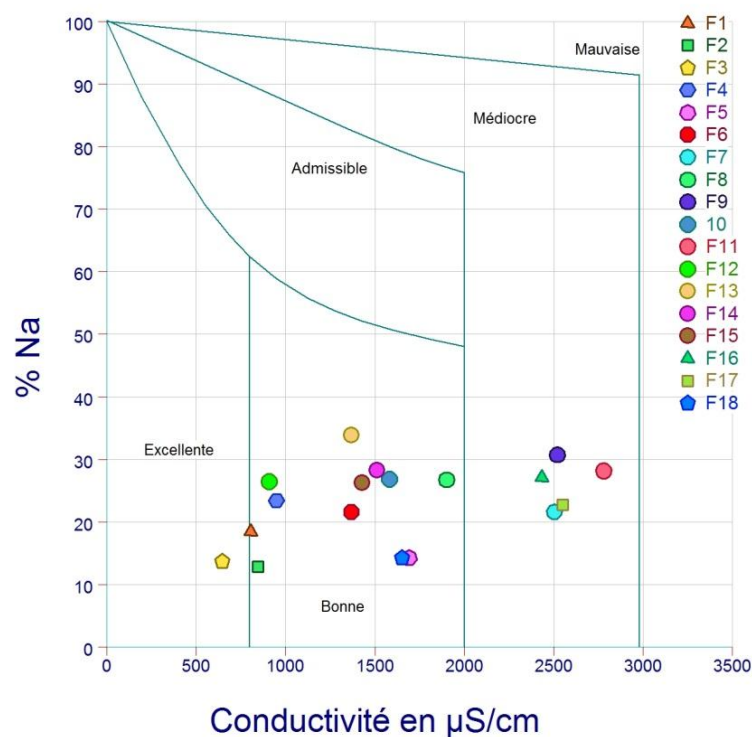


Fig.V.19 : Classification des eaux d'irrigation de plaine de Boussaâda sur le diagramme de WILCOX

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 combinaisons avec la conductivité électrique (CE) de l'eau.

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq/l.

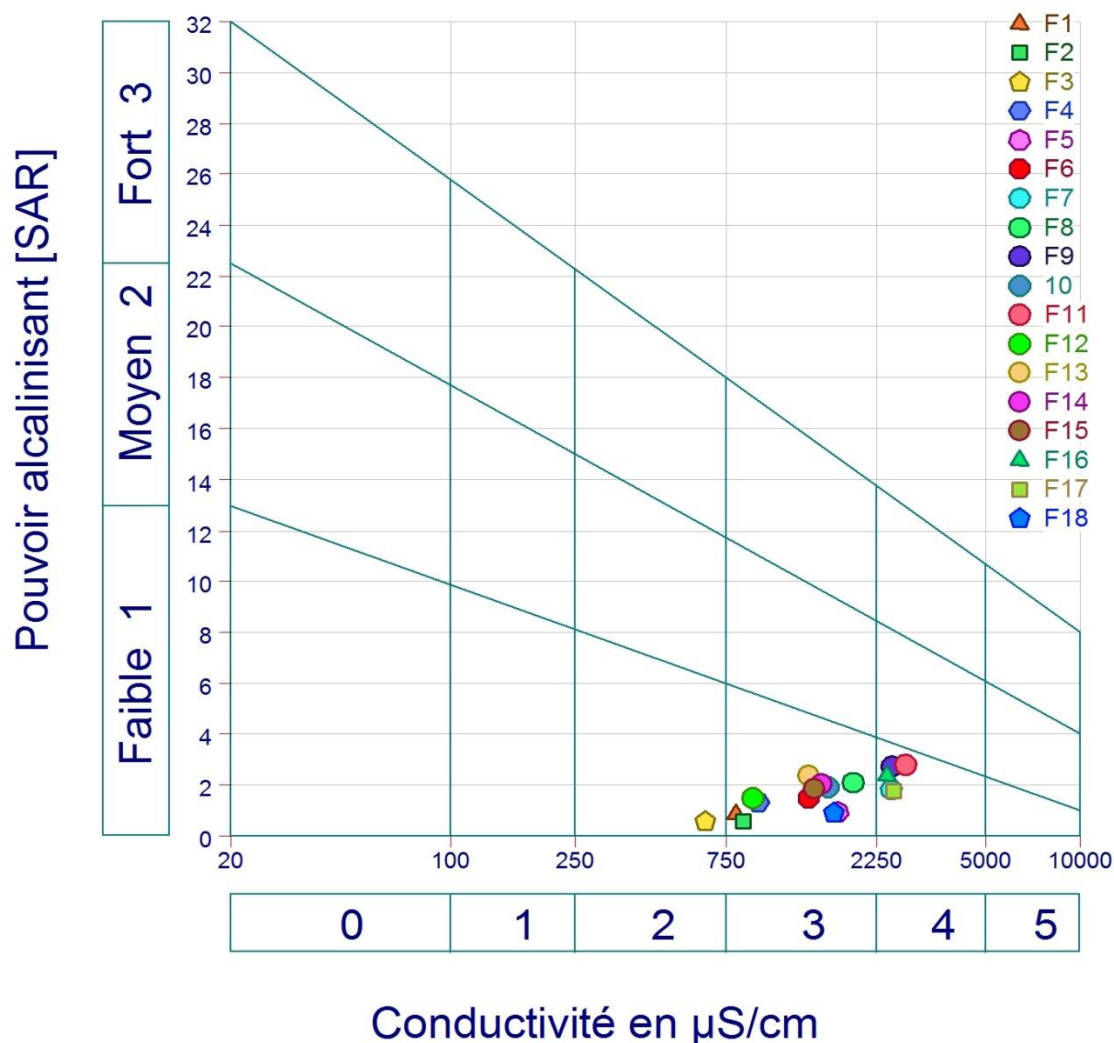


Fig.V.20 : diagramme de RICHARDS des eaux souterraines de la nappe de Boussaâda

Tab. V.2. Résultats obtenus après interprétation du diagramme de SAR

Classes	Pourcentage des points d'eau
C2 S1	6
C3 S1	28
C4 S1	64

La représentation des données dans le diagramme de salinité américain décrit par Richards (1954) des 18 échantillons montre que dans l'ensemble de secteur d'étude, le S.A.R représente les quatre classes C2S1, C3S1 et C4S1 (**Tab. V.11**):

Chapitre V: Résultats et discussions

- 28 % 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.
- 06 % des échantillons d'eau étaient dans la catégorie C2S1. Cette classe, désigne des eaux de bonne qualité, utilisables pour l'irrigation de toutes les cultures et sur tous types des sols.
- 64 % étaient dans la catégorie C4S1 des échantillons d'eaux existaient dans cette classe. Cette distribution indiquant une salinité très élevée et un risque alcalin faible (Fig. V.20). Cette classe 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.



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'étude que nous avons menée dans la région de Boussaâda nous a permis de faire une approche à la connaissance de la qualité des eaux souterraines par différentes méthodes graphiques et statistiques. Cette étude est basée sur des données et connaissances de la zone d'étude telles que :

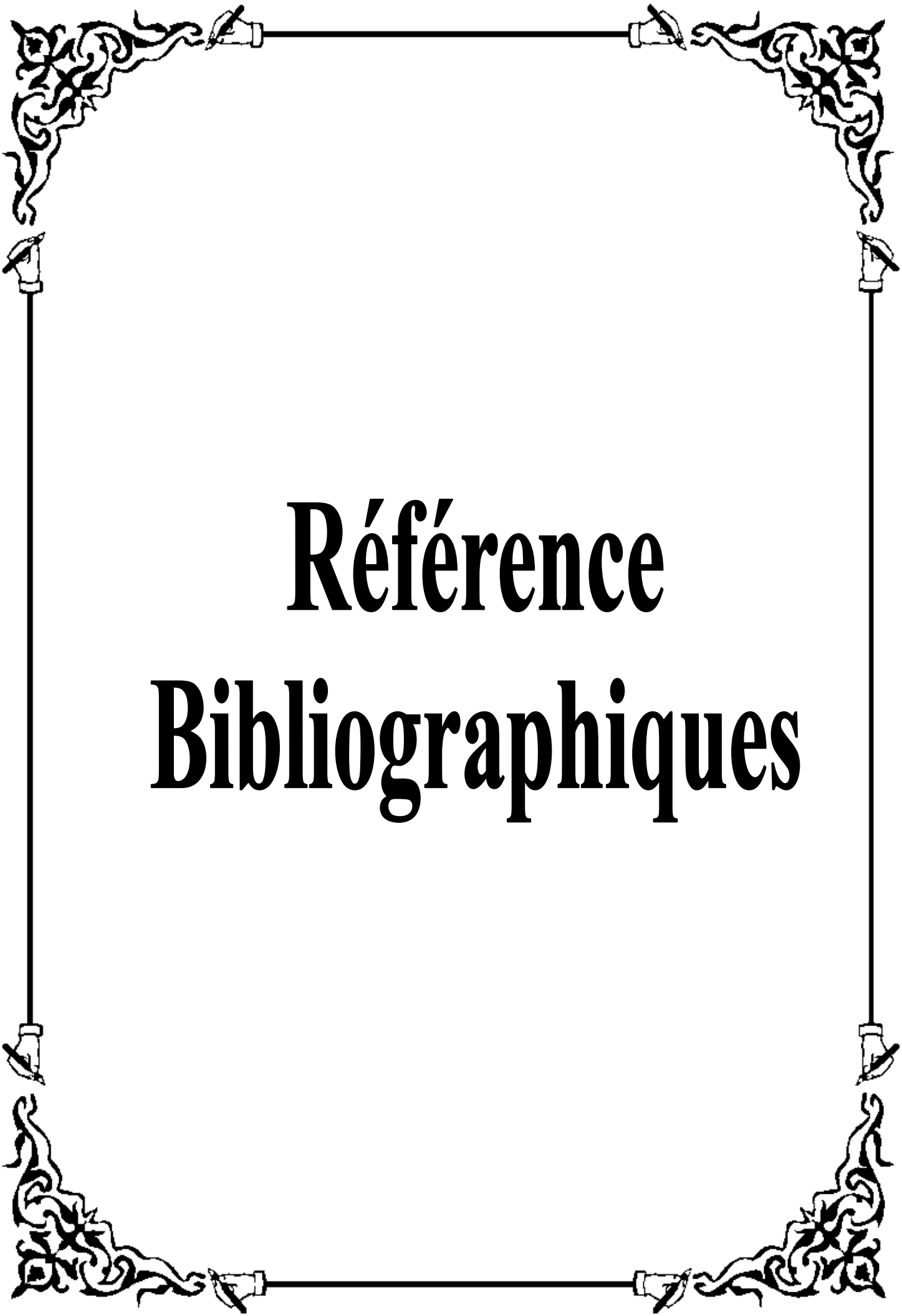
- La région de Boussaâda est caractérisée par un climat semi-aride, sec et très chaud en été et très froid en hiver avec des températures qui varient de 3,7 °C au mois de janvier à 40°C en juillet. Les précipitations moyennes annuelles atteignent 282 mm sur une période de dix ans, et qui s'étale entre 2009 à 2018.
- Dans le contexte géomorphologique, le sous bassin versant du Boussaâda draine une grande surface, de forme allongée, de relief modéré, de pente moyenne, d'une densité de drainage moins dense et de longueur du cours d'eau importante.
- Le cadre géologique : de la région de Boussaâda présente des formations susceptibles d'être aquifère et renferme les conditions favorables pour l'accumulation des eaux souterraines à partir des bords de la plaine où affleurent des barres carbonatées tels que les calcaires et les dolomies.
- L'hydrogéologie : L'aquifère d'âge Plio-Quaternaire est constitué par des niveaux perméables formés des sables, graviers et des galets et des conglomérats et qui représente la source principale d'irrigation dans la plaine de Boussaâda. En outre, l'alimentation de cette nappe se fait à partir de massifs qui bordent la plaine.
- L'étude hydro-chimique des eaux souterraines de cette nappe, et soit à travers l'analyse cartographique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines des forages, soit par les analyses statistiques et les représentations graphiques montrent que la majorité des points d'eaux présentent des eaux d'une qualité acceptable pour l'irrigation, et qui représente un faible risque sur les cultures et les sols.

La qualité des eaux est influencée de la géologie locale de notre région (Boussaâda), de l'interaction eau-roche pendant le séjour et les écoulements souterraine et de l'influence du Chott el Hodna.

Dans le souci de préserver la ressource en eau souterraine qualitativement et quantitativement et lui assurer une gestion rationnelle et durable, il est souhaitable de prendre les recommandations suivantes :

Conclusion générale

- Implantation d'un nouveau réseau pluviométrique qui couvre d'une manière homogène la partie sud du Chott El Hodna et veiller à améliorer la qualité des données.
- La réalisation des barrages et/ou des retenues collinaires qui un double rôle, l'irrigation des terres de la plaine et la réalimentation de la nappe phréatique.
- Encourager les agriculteurs à utiliser la ressource en eau superficielle dans l'irrigation tout en contrôlant sa qualité.
- Contrôler et suivre l'état de la nappe par la réalisation de piézomètres bien répartis sur l'ensemble de la plaine.
- Etendre le rayon du périmètre de protection à l'ensemble de la plaine afin d'éviter la surexploitation des eaux par les agriculteurs.
- Drainer les sols pour lutter contre le problème de salinité et de mettre en place des mesures correctives appropriées pour améliorer la qualité des eaux souterraines notamment la zone centrale de la plaine.



Référence Bibliographiques

Référencés Bibliographiques



Abdelhafidi N, 2005. Contribution à l'étude qualitative des ressources hydriques souterraines en zone semi-aride (cas de synclinal nord de Djelfa). Mémoire d'ingénieur, université de Djelfa ,77p.

ALAMI S, (2011). tutoriel d'utilisation de surfer 09 stratégie, caribsat-Action 6.

Al-Qawati M, Azami I Y, Almadi A, Belhaili I, Marci I, Baichout F, El Kharrimi K, et Belghyti D, 2015. Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines De la région Sidi Allal Tazi-ouest du Maroc. Laboratoire l'ORMVAG Kénitra, Maroc. 420-429p.

AMROUNE A, 2008. Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de Msila. Algérie. Mémoire de magistère. Université de Batna

Amroune A et Mettai M, 2000. Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Boussaâda. Mémoire d'ingénieur, université Constantine, 196p.

Amroune A, Mettai M, 2000. Contribution a l'étude hydrogéologique de la plaine de Boussaâda. Mémoire d'ingénieur, Université de Constantine, 7-196p.

Atmani S, Baza K, 2017. Contribution à l'étude hydro chimique des eaux d'irrigation en zone semi-aride -cas de la plaine de BOU SAADA (Sud-Est Algérien). 138p

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



Beaudry T et Henry TM, 1984. Chimie des eaux, édition: Les griffons d'argiles, 1^{ère} édition, INC Canada.

Ben aouda, 2016 memoire de fin d'etudes en vue de l'obtention du diplome master

BEN SILETTE Adel MAHDID Rima 2017 La Gestion des déchets ménagers dans la ville de Bou Saada UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

BOUAROUJ. S. 2012 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Boyadgiev TG (1975) Soils of Hodna (in French). Tech. Rep. Rapport Algérie 9, FAO, Rome
WRB (2006) World reference base for soil resources-a framework for international classification, correlation and communication. Word soil resources reports 103, FAO, Roma

Référence Bibliographiques

BRGM, (2007). Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation

E

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).

ELMORHIT.M, (2009).Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas loukkos). Thèse de doctorat. Univ Mohammed V. Agdal, Rabat,

H

Hachemaoui B, 2013. qualité physico-chimique de l'eau dessalée et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de souk tlata - teneurs en bore, nitrites, nitrates et métaux lourds, mémoire de master, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie

HELALI N.ELHOUDA ,2016.analyse statistique multivariee des eaux souterraines de la région de Boussaâda. Université Mohamed Boudiaf - m'sila

L

Laffont C., 2015- Contrôler le climat pour conservation des collections sur support papier, Pp:1-3.

M

MARGAT.J., (2006)-exploitation et utilisations des eaux souterraines dans le monde. Coédition : UNESCO et BRGM.

N

Nancy M, 1997. La qualité de l'eau d'irrigation: un facteur ne pas négliger, 33-34p.

Nouayti N, Khattach D et Hilali M, 2015. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux souterraines des nappes du Jurassiques du haut bassin de Ziz (haut Atlas central, Maroc), Journal of Materials and Environmental Science 6(4) (2015) 1068-1081.

Référence Bibliographiques

R

RODIER J, LEGUBE B, MERET N, COLL, 2009. L'analyse de l'eau, eau naturelles, eaux résiduaires, eau de mère. 9^{ème} édition Dunod, paris, France .

T

TABOUSSI F , 2019. Cartographie des indicateurs de qualité des eaux souterraines destinées à l'irrigation dans la région nord du Chott El Hodna , université Mohamed Boudiaf - m'sila .

Y

Yelle, Paul Emile , 2003 . Propre et salée, qualité de l'eau d'irrigation, Agri-vision 2003. MAPAQ St- Rémi 10p.

Z

Ziani D, 2017. Quantification de la pollution anthropique des eaux souterraines de l'aquifère de ain djasser. Est algerien , université ben boulaïd-batna 2 .



ANNEXE

ANNEXE

ANNEXE 01

Station Ain Diss de Boussaâda

HUMIDITE - moyennes mensuelles 2008-2018 (%)

Latitude: 35° 20'N

Longitude: 4° 12'E

Altitude: 459 m

Coordonnées géographiques de la station des données climatiques

Station	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Période d'observation
BOUSSAADA	4° 12'E	35° 20'N	459	2004-2019

ANNEXE 02

Précipitation Moyennes Mensuelles en mm

	J	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D
Pluie (mm)	3,1	3,3	21,4	21,2	8,9	7	0,1	9	15,3	32,8	3,3	3,1
Pluie (mm)	4	4	30,6	57	21,6	13,6	14,1	5,6	19,4	51,8	25,8	12
Pluie (mm)	0	1,6	31,3	15,7	3,2	2,6	2,1	1	5,8	35,7	23,4	7,5
Pluie (mm)	19,1	1,8	6,5	34,1	8,6	0	1,7	5,5	5,9	5,9	16,6	23,3
Pluie (mm)	4,5	3	17,4	0	18,1	19,5	0	4,4	14,1	2,7	6,6	3,4
Pluie (mm)	7,2	17,5	10,1	7,5	6,6	1,4	14,7	18,5	22,6	33	0,9	0
Pluie (mm)	9,5	5,8	6	37,1	12,1	2,9	15,2	1,4	2,6	10,3	18,4	38
Pluie (mm)	23,6	0,6	1	4	29	20,7	0,2	1	2	16	3	3
Pluie (mm)	10	16	20	32	43	11	0	16	9	23	20	6
Pluie (mm)	19	2	10	4	2	0,3	14	12	37	2	14	7
Moy	11	6.1	15.4	21.2	15.3	7.9	6.2	7.4	13.3	21.3	13.2	6.9

ANNEXE

ANNEXE 03

Températures Moyennes Mensuelles en (°C)

T Moy (°C)2009	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
T Moy (°C)	10,8	12,3	14,8	18,7	20,9	27,9	32,8	31,9	26,1	19,6	14,3	9,7
T Moy (°C)	9,6	10,2	13,5	19,2	22,1	26,4	31,8	31,7	27,8	19,5	14,4	10,4
T Moy (°C)	9	7,7	14,1	17,3	23,9	31,2	33,9	33,5	26,8	21,4	15,2	10,7
T Moy (°C)	10,7	9,4	15,1	18,9	21,8	27,3	32,6	30	26,7	23,9	13,9	9
T Moy (°C)	10,9	12,9	13,4	19,9	23,2	27,2	31,6	32,5	28,7	22,4	15,6	10
T Moy (°C)	9,3	9,8	14	20,2	24,7	27,5	31,5	31,3	26,2	20,2	14,4	9,2
T Moy (°C)	10,8	12,6	14	19,5	23,7	28,3	31,4	30,3	25,6	21,8	13,5	10,6
T Moy (°C)	7,9	12,1	8,4	19	18,4	30,3	33	32,8	25,8	19,4	12,3	9,2
T Moy (°C)	5,1	8,9	14,5	17,9	21	27,7	34,7	29,4	27,4	19,1	13,6	10,3
T Moy (°C)	8,9	9,6	14	18,2	22,2	30,8	33,7	32,6	26,4	21	14,1	11,6
T Moy (°C)	9,3	10,5	13,5	18,8	22,7	28,4	32,7	31,6	26,7	20,8	14,1	10

ANNEXE

ANNEXE 04

Vitesse de Vent Moyenne mensuelle :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A
2009	2.0	1.0	2.2	3.7	4.3	3.1	4.0	3.9	4.3	2.6	3.0	1.9
2010	1.7	1.0	1.3	2.3	2.9	3.3	1.6	4.3	2.9	2.6	2.6	2.2
2011	2.3	1.7	1.6	1.6	1.1	2.5	3.8	3.0	1.9	2.8	1.6	2.4
2012	2.1	3.0	1.8	3.1	0.6	4.0	4.9	3.5	3.4	3.8	2.8	3.4
2013	1.9	0.8	3.2	2.6	1.5	1.1	5.3	4.2	4.5	2.2	2.0	4.0
2014	1.6	1.4	2.9	3.0	4.0	3.0	2.5	4.1	2.5	2.5	1.8	1.9
2015	1.9	1.7	3.4	2.1	3.9	3.8	3.3	2.2	3.9	2.5	1.1	1.8
2016	0.7	0.6	1.6	0.7	1.3	4.4	2.3	2.1	2.1	1.1	2.2	1.0
2017	1.1	0.6	1.4	1.7	1.0	2.6	1.3	2.2	1.0	1.0	1.2	0.6
2018	0.6	0.1	3.6	0.6	4.4	4.6	5.1	2.5	2.9	1.3	0.8	0.8
Moy	1.59	1.19	2.3	2.14	2.5	3.24	3.41	3.2	2.94	2.24	1.91	2.0

ANNEXE 05

Humidité %

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
2009	50	53	62	69	67	50	43	39	39	23	23	30
2010	43	48	61	68	70	53	44	40	39	34	36	38
2011	46	61	69	72	65	68	57	58	39	32	28	34
2012	45	50	65	72	68	60	40	52	56	38	32	35
2013	35	69	72	74	65	57	50	41	29	35	29	32
2014	44	46	66	78	74	77	59	49	51	28	33	30
2015	54	55	64	68	70	63	54	60	48	33	32	34
2016	47	74	69	83	67	58	53	39	44	39	33	35
2017	60	59	59	70	81	68	63	59	43	31	31	36
2018	44	56	63	63	68	69	62	50	50	40	32	38
Moy	46.8	57.1	65	71.7	69.5	62.3	52.5	48.7	43.8	33.3	30.9	34.2

ANNEXE

ANNEXE 06

Evapotranspiration

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A
2009	181.2	153.8	70.0	62.0	74.7	100.5	123.9	138.5	147.1	243.6	300.3	279.3
2010	140.8	77.1	51.0	41.9	62.7	77.0	145.0	194.2	273.5	254.3	324.3	273.5
2011	168.1	170.1	80.2	47.5	44.6	42.1	11.8	145.2	158.2	294.0	286.8	269.6
2012	131.4	123.9	63.7	63.8	55.3	87.6	126.5	117.6	180.3	294.8	244.7	245.6
2013	153.4	59.1	72.6	25.7	56.1	68.1	115.9	146.0	202.4	176.9	275.9	223.1
2014	121.6	101.8	86.4	61.6	33.9	49.7	68.4	96.1	181.5	209.7	306.1	268.7
2015	182.6	123.1	95.0	69.8	73.9	76.5	99.8	112.1	161.1	231.9	291.3	245.0
2016	190.4	99.6	63.1	46.9	56.6	73.3	87.6	106.4	144.5	201.6	304.1	281.2
2017	190.0	125.3	54.2	56.1	57.2	63.6	94.6	115.5	185.7	272.1	318.6	301.5
2018	159.3	133.1	71.8	39.7	85.0	69.7	129.9	139.0	214.4	161.6	277.5	227.5
Moy	158.2	116.7	70.8	51.5	60	70.8	100.3	131	184.8	234	267.96	261.5

ANNEXE 07

Résultat des paramètres mesurés au laboratoire

paramètre N° des forages	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	NO3
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
F1	93	31	37	0.68	158	78	95	118
F2	113	33	28	0.66	159	102	125	134
F3	89	27	24	0.46	153	74	70	106
F4	112	43	64	0.37	189	210	125	82
F5	217	68	62	1.03	183	230	330	150
F6	200	61	94	0.82	183	500	155	92
F7	280	101	141	0.64	152	760	295	6
F8	191	91	142	1.59	226	476	225	158

ANNEXE

F9	211	101	192	1	195	548	360	60
F10	180	60	117	1.06	183	500	160	42
F11	322	119	232	1.28	207	796	405	88
F12	105	43	72	0.44	232	242	90	36
F13	142	49	130	0.73	226	404	130	44
F14	162	66	122	0.78	220	500	175	44
F15	173	62	112	1.03	244	500	115	36
F16	265	93	178	1.93	183	744	260	66
F17	250	76	126	0.51	165	620	200	76
F18	216	58	59	0.55	207	450	155	35

ANNEXE 08

N°	X	Y	Z
F1	655472.99	221217.15	454
F2	655165.07	221660.96	449
F3	655313.14	222294.05	444
F4	654848.15	222790.6	448
F5	654518.4	222664.7	451
F6	653272.82	222635.66	455
F7	651665.76	222646.86	454
F8	656815.7	224341.16	445
F9	654693.46	226446.56	417
F10	660271.67	226843.36	432
F11	660373.88	223838.65	445
F12	660307.98	222066.75	445
F13	656817.26	227678.25	416
F14	657026.41	228016.5	414

ANNEXE

F15	657909.45	227812.55	407
F16	651419.74	224092.11	451
F17	650740.94	226400.69	444
F18	655283.71	228649.51	412

ANNEXE 09

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

Forages	Na%
F1	37
F2	28
F3	24
F4	64
F5	62
F6	94
F7	141
F8	142
F9	192
F10	117
F11	232
F12	72
F13	130
F14	122
F15	112
F16	178
F17	126
F18	59

Forages	SAR
F1	0.85
F2	0.6
F3	0.57
F4	1.3
F5	0.94
F6	1.48
F7	1.82
F8	2.1
F9	2.7
F10	1.92
F11	2.8
F12	1.49
F13	2.4
F14	2.04
F15	1.86
F16	2.39
F17	1.79
F18	0.92

ملخص

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

يشمل هذا العمل دراسة النوعية الفيزيائية - الكيميائية للمياه الجوفية في سهل بوسعادة ووضع خرائط لتوزيع العناصر الكيميائية الأساسية (باستخدام برنامج رسم الخرائط (Surfer14).

إضافة إلى ذلك، فإن عناصر الكلور والكبريتات الصوديوم مشتقة من تكوينات الكربونات الموجودة في الجزء الجنوبي الغربي للسهل .

أما بالنسبة للتركيز الكبير لعنصر- النترات فهو بسبب الاستعمال المفرط من طرف الفلاحين للأسمدة العضوية والكيميائية وغالبية هذه المياه مدرجة في الفئة جيدة وليس لها أي تأثير على النباتات والتربة أثناء الري
الكلمات المفتاحية : سهل بوسعادة ، المياه الجوفية، رسم الخرائط، الري، الجودة الفيزيائية والكيميائية.

RESUME

CARTOGRAPHIE DES INDICATEURS DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINE DESTINEES A L'IRRIGATION DANS LA REGION SUD DU CHOTT EL HODNA

Ce travail comprend l'étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de Bou Saada et la cartographie de la distribution des éléments chimiques de base (à l'aide d'un programme de cartographie Surfer 14).

De plus, les éléments de chlore et de sulfate de sodium proviennent des formations carbonatées présentes dans la partie sud-ouest de la plaine.

Quant à la forte concentration de nitrate, elle est due à l'utilisation excessive par les agriculteurs d'engrais organiques et chimiques et la plupart de ces eaux sont incluses dans la bonne catégorie et n'ont pas Effet sur les plantes et le sol lors de l'irrigation

Mots clés: Plaine de Bou Saada, eaux souterraines, cartographie, irrigation, qualité physique et chimique.

ABSTRACT

MAPPING OF INDICATORS OF THE QUALITY OF GROUNDWATER INTENDED FOR IRRIGATION IN THE SOUTHERN REGION OF CHOTT EL HODNA

This work includes studying the physical-chemical quality of groundwater in the Boussaâda Plain and mapping the distribution of basic chemical elements (using a mapping program 14).

In addition, the elements of chlorine and sodium sulfate are derived from the carbonate formations present in the southwestern part of the plain.

As for the large concentration of nitrate, it is due to the excessive use by farmers of organic and chemical fertilizers and most of these waters are included in the good category and have no Effect on plants and soil during irrigation.

Key words: Plain Boussaâda, groundwater, mapping, irrigation, physical and chemical quality