

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 27/DSA/2022



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : SCIENCE DU SOL

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

**par: KHACHACHI Nadjela
MIRA Amal**

Intitulé

Application des méthodes statistiques multivariées à
l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région
de Boussaâda (M'Sila, Algérie).

Soutenu devant le jury composé de:

M. GUENDOUZEN Omar	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
M. AMROUNE Abdelouahab	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
Melle TIR Chafia	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

{ وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ }

صدق الله العظيم

سورة يونس الآية 10



Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH qui nous a donné le courage, la patience,

La santé et la volonté pour terminer de ce modeste travail.

*Mes reconnaissances et respectueuses vont d'abord à notre encadreur **Mr. AMROUNE Abdelouahab** (Docteur à l'université Mohamed Boudiaf - M'sila) pour avoir proposé ce thème, suivi et dirigé ce travail nous le remercions infiniment, pour sa grand patience, ses orientations , sa disponibilité, et surtout pour sa gentillesse, sa modestie tout au long de ce travail nous ont été précieuses.*

*Nous exprimons nos respectueux remerciements à Monsieur **GUENDOZEN Omar** pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury.*

*Nous adressons notre profonde reconnaissance à Mademoiselle **TIR . CHafia** pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner notre travail.*

Nous profitons de cette occasion pour remercier l'ensemble des enseignants du département d'agronomie qui ont contribué à notre formation.

Enfin , mes sincères remerciements à tous ceux et celles qui ont contribué, de près ou loin à la réalisation de ce modeste travail.

Nadjela & Amel



Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut.....

*Toutes les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect,
la reconnaissance.....*

Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce modeste travail à

Mes très chers Parents :.....

***A l'être le plus chère de ma vie ma mère, Mon bonheur, la source de tendresse pour
son amour, et ses encouragements, qui a toujours sacrifié pour faciliter ma vie ,
Puisse dieu le tout puissant, te préserver et t'accorder santé,
long vie et bonheur .***

***A Mon très chère père , pour son amour, sa patience, ses sacrifices, merci pour tous
ce que tu me donnes et que dieu tout puissant te grande et te procure santé, bonheur
et longue vie.***

A Ma belle famille.

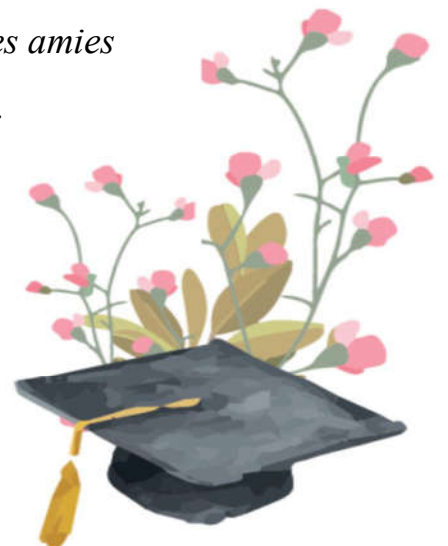
***A Ma meilleure amie, Bouchra merci beaucoup d'être dans ma vie, et de supporté
toujours dans les moments difficiles, et qui me donne l'amour et la vivacité, je
souhaite que l'amitié que nous a réuni persiste pour toujours.***

A Mon encadreur AMROUNE Abdelouahab, un grand merci.

A Ma très chère binôme Amel et mes aimables amies

A Mes collègues de ma promotion SS.

Nadjela





Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A Mes très chers parents :

*Pour leurs sacrifices , leurs amours et leurs encouragements,
durant toutes mes études.*

A Mes adorables sœurs

*A **Mon mari** pour son aide, son écoute, sa patience, et surtout
Son soutien qui m'a été essentiel durant ces années.*

*A **Ma** petite fille Cyrine*

*A **Mon** binôme Nadjela et mes amies*

*A Mes collègues de ma promotion **SS**.*

Amel



Table de matière

Remerciements

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d' abrégations

INTRODUCTION GENERALE

1

Partie 1

Chapitre I : Recherche bibliographique

Introduction	3
I.1 Les Ressources naturelles des eaux	3
I.1.1 Les eaux de Surface	3
I.1.2 Les eaux Souterrains	4
I.1.2.1 Les différents types de nappes	4
I.1.2.1.1 Nappe libre	4
I.1.2.1.2 Nappe captive	4
I.1.3. Les origines des eaux souterraines	4
I.1.3.1 Eaux météorique	4
I.1.3.2 Eaux connées	4
I.1.3.3 Eaux juveniles	5
I.1.4 Constituants des eaux souterraines	5
I.1.4.1 Ions majeurs	5
I.1.4.2 Ions mineurs	5
I.1.5 La qualité des eaux souterraines	6
I.1.6 Qualité physico-chimique des eaux souterraines	6
I.1.6.1 Qualité physique	6
<i>I.1.6.1.1 Température</i>	<i>6</i>
<i>I.1.6.1.2 pH</i>	<i>6</i>
<i>I.1.6.1.3 Conductivité électrique</i>	<i>6</i>
I.1.6.2 Qualité chimique	7
<i>I.1.6.2.1 Cations</i>	<i>7</i>
<i>I.1.6.2.1.1 Calcium (Ca^{2+})</i>	<i>7</i>
<i>I.1.6.2.1.2 Magnésium (Mg^{2+})</i>	<i>7</i>
<i>I.1.6.2.1.3 Sodium (Na^+)</i>	<i>7</i>
<i>I.1.6.2.1.4 Potassium (K^+)</i>	<i>8</i>
<i>I.1.6.2.2 Anions</i>	<i>8</i>
<i>I.1.6.2.2.1 Bicarbonates (HCO_3^-)</i>	<i>8</i>
<i>I.1.6.2.2.2 Sulfates (SO_4^{2-})</i>	<i>8</i>
<i>I.1.6.2.2.3 Chlorures (Cl^-)</i>	<i>8</i>

I.1.6.1.2.2.4 Nitrates (NO_3^-)	9
I.1.6.3 Les normes Physico-chimiques des eaux souterraines	9
Conclusions	10

Partie 2

Chapitre I : Etude du milieu physique

Introduction	12
II.1. Présentation de la zone d'étude	12
II.1.1 Localisation et Situation géographique	12
II.1.2 Développement et économie	13
II.1. 3 Habitats et activités	13
II.1.4 L'agriculture	13
II.1.4.1 Les ressources hydriques	14
II.1.4 .2 Les différents types de réseaux d'irrigation	14
II.1.5. Relief	16
II.1.6. Réseau hydrographique	16
II.1.7 Pédologie	16
II.1.8 Végétation	17
II.1.9 Aperçu géologique	18
II.1.9.1 Introduction	18
II.1.9.2 Stratigraphie	18
II.1.9.2.1 Secondaire	18
II.1.9.2.1.1 Trias	18
II.1.9.2.1.2 Jurassique	18
II.1.9.2.2 Crétacé supérieur	18
II.1.9.2.3 Cénoomanien	18
II.1.9.2.4 Tertiaire	19
II.1.9.2.5 Quartenaire	19
II.1.9.2.5.1 Terrains de chott	19
II.1.9.2.5.2 Dunes	19
II.1.9.3. Hydrogéologie	20
II.1.10 Climat de la région étude	20
II.1.10 .1 Les précipitations	20
II.1.10.2 Température	21
II.1.10.3 Vent	22
II.1 10 .4 Evapotranspiration	25
II.1.11 Indices Climatiques	25
II.1.11 .1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen et bagnouls	26
II.1.11 .2 Diagramme d'EMMBERGER	26
Conclusion	29

Partie 2
Chapitre II : Matériels et Méthodes

Introduction	31
II.2.1 Analyses statistiques multivariées	31
II.2.1.1 Analyse en composantes principales (ACP)	31
II.2.1.1.1 Principe de (L'ACP)	32
II.2.1.1.2 Interprétation des résultats d'une Analyse en Composantes Principales	32
II.2.1.2 Analyse factorielle (AF)	33
II.2.1.3 Classification ascendante hiérarchique (CAH)	33
II.2.1.3.1 Principe de CAH	33
II.2.1.3.2 Avantages de la classification ascendante hiérarchique	33

Chapitre III: Outils d'interprétations des résultats hydro chimiques

Introduction	35
II.3.1. Utilisation des représentations graphiques	35
II.3.1.1 Diagramme de Piper	35
II 3.1.2 Diagramme de Schoeller-Berkaloff	36
II 3.1.3 Diagramme de Riverside ou (SAR)	36
II 3.1.4 Diagramme de Wilcox	37

Partie 3
Chapitre I : Résultats et discussions

Introduction	39
III.1 Principaux paramètres physico-chimiques	40
III.1.1 Paramètre physique	40
III.1.1.1 Température	41
III.1.1.2 Potentiel d'hydrogène	42
III.1.1.3 Conductivité électrique	43
III.1.2 Paramètres chimique	44
III.1.2. Cations	45
III 1.2.1.1 Calcium (Ca^{2+})	45
III 1.2.1.2 Magnésium (Mg^{2+})	46
III.1.2.1.3 Sodium (Na^+)	47
III 1.2.1.4 Potassium (K^+)	47
III 1.2.2 Anions	49
III 1.2.2.1 Bicarbonates (HCO_3^-)	49
III 1.2.2.2 Chlorures (Cl)	50
III.1.2.2.3 Sulfates (SO_4^{2-})	51
III 1.2.2.4 Nitrates (NO_3^-)	52

III.2	Représentation graphique des faciès hydro chimiques	53
III.2.1.	Classification des eaux selon Diagramme de Piper	53
III.2.2.	Classification des eaux selon Diagramme de Schoeller-Berkaloff	54
III.2.3	Classification des eaux selon Diagramme de Riverside	55
III.2.4	Classification des eaux selon Diagramme de Wilcox	56
III.2.5	L'indice de perméabilité	57
III.3.	Etude statistique des données hydro-chimiques	58
III.3.1	Analyse Statistique Descriptive	58
III.3.1.1	Le maximum et le minimum	59
III.3.1.2	La moyenne arithmétique	59
III.3.1.3	L'écart type	59
III.3.1.4	Le coefficient de variation (CV)	59
III.3.2	Application de L'ACP sur des données chimiques des eaux de la plaine de Boussaâda	59
III.3.2.1	Matrice de corrélation	60
III.3.2.2	Etude des variables et des individus	60
III.3.3	Application de CAH sur les résultats des données chimiques des eaux de la zone d'étude	61
III.3.4	Analyse Factorielle	63
III.3.5	Comparaison de différentes méthodes statistiques	65
	Conclusion	66
	Conclusion générale	67
	Référence Bibliographique	
	Annexes	

Liste Des tableaux

N° de Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Normes physico-chimiques des eaux souterraines	9
Tableau. II.2	Répartition des terres dans la région d'étude (unité ha)	14
Tableau II.3	Nombre des puits et les forages dans la zone d'étude à la 2020	14
Tableau II.4	Répartition des types d'irrigations	14
Tableau II.5	Occupation des Sols par la Commune de Boussaâda	14
Tableau II.6	Répartition des températures moyennes et mensuelles de la région de Boussaâda (2000-2020)	21
Tableau II.7	Valeurs du quotient pluviothermique Q2 de la station de Boussaâda	27
Tableau III .8	Résultats physiques des eaux de forages de la région de Boussaâda	39
Tableau III .9	Résultats chimiques des eaux de forages de la région de Boussaâda	43
Tableau III .10	Résultats statistiques des variables physicochimiques des eaux souterraines de Boussaâda Sont reportés dans le Tableau et comparés aux normes algériennes.	59
Tableau III .11	Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques des eaux souterraines de Boussaâda	60
Tableau III .12	Liaison variables-facteurs	63
Tableau III .13	Facteurs des échantillons d'eau	64

Liste des figures

N° de figure	Titre	Page
Fig. II.1	Localisation géographique de la région d'étude (Extrait de la carte de 1956 feuille de M'Sila E: 1/200.000)	12
Fig. II. 2	Occupation des Sols par les cultures dans la région de Boussaâda	15
Fig. II. 3	terres agricoles irriguées à El-Maadhar	15
Fig. II. 4	Carte pédologique de la région d'El-Hodna (Boyadgiev 1975)	17
Fig. II. 5	Extrait simplifié de la carte géologique de l'Algérie du Nord (Grine 2009 in Bouneb, 2018)	19
Fig. II. 6	Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Boussaâda durant la période (2000-2020)	21
Fig. II. 7	Température moyenne mensuelle de la région de Boussaâda durant la période (2000-2020)	22
Fig. II. 8	Les types et les directions des vents dans la région de Boussaâda	23
Fig. II. 9	Vitesse annuelle moyenne des vents de la région d'étude (2000-2020)	24
Fig. II. 10	Evapotranspiration annuelle de la région d'étude	25
Fig. II. 11	Diagramme ombrothermique de la région étude (2000-2020)	26
Fig. II. 12	Positionnement de la région d'étude dans le climagramme d'Emmberger durant la période (2000-2020)	28
Fig. II. 13	Diagramme de Piper	35
Fig. II. 14	Diagramme de Schoeller et Berkloff	36
Fig. III. 15	Variation de la température des eaux souterraines de la région de Boussaâda	41
Fig. III. 16	Variation du pH des eaux souterraines de la région de Boussaâda	42
Fig.III. 17	Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines de la région de Boussaâda	43
Fig.III. 18	Variation du Calcium des eaux souterraines de la région de Boussaâda	45

Fig.III. 19	Variation du magnésium des eaux souterraines de la région de Boussaâda	46
Fig.III. 20	Variation du sodium des eaux souterraines de la région de Boussaâda	47
Fig.III. 21	Variation du potassium des eaux souterraines de la région de Boussaâda	48
Fig.III. 22	Variation des bicarbonates des eaux souterraines de la région de Boussaâda	49
Fig.III. 23	Variation des chlorures des eaux souterraines de la région de Boussaâda	50
Fig.III. 24	Variation des sulfates des eaux souterraines de la région de Boussaâda	51
Fig.III. 25	Variation des nitrates des eaux souterraines de la région de Boussaâda	52
Fig.III. 26	Diagramme de Piper des eaux souterraines de la région de Boussaâda	53
Fig.III. 27	Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux souterraines de la région de Boussaâda	54
Fig.III. 28	Classification des eaux d'irrigation de la région de Boussaâda sur le diagramme de Riverside	55
Fig.III. 29	Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox	57
Fig.III. 30	Classification des eaux selon l'indice de perméabilité du sol dans la plaine de Boussaâda	58
Fig.III. 31	Plan des facteurs F1/F2	61
Fig.III. 32	Dendrogramme de l'analyse de faisceau hiérarchique	62

Liste des abréviations

DSA : Direction des Services Agricoles.

SAB : Subdivision Agricoles de Bou Saada

CE : Conductivité électrique

pH : Potentiel Hydrogène

Cl⁻ : Chlorures

HCO₃⁻ : Bicarbonates

SO₄⁻² : Sulfates

NO₃⁻ : Nitrate

Na⁺ : Sodium

Ca⁺² : Calcium

Mg⁺² : Magnésium

K⁺ : Potassium

P : Précipitation (mm)

T : Température(C°)

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

IP : Indice de perméabilité

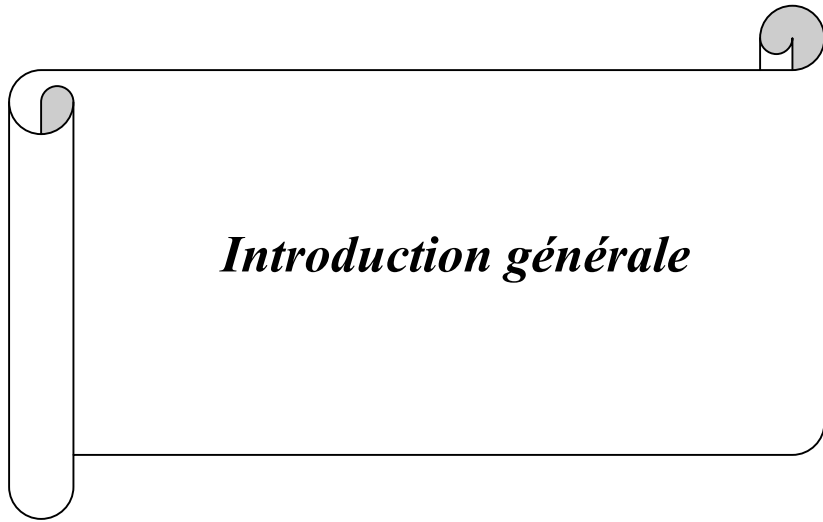
F : Forage

ACP : Analyse en composantes principales

CAH : Classification ascendante hiérarchique

AF : Analyse factorielle

meq/l : Mili équivalent par litre



Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle vitale pour la survie de l'humanité et de toutes les espèces sur terre. Et indispensable à la vie, Sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre.

Les eaux souterraines sont considérées aujourd'hui comme l'une des principales sources d'approvisionnement très importante de consommation dans la plupart des régions du monde, en particulier lorsque des faibles précipitations. Elles représentent une partie importante de l'eau potable dans les zones rurales, les régions arides et semi-arides. Elles jouent également un rôle important dans l'agriculture, que ce soit pour l'arrosage ou l'irrigation des cultures pendant les saisons sèches.

Aujourd'hui, avec l'accélération du développement démographique et économique ainsi que l'évolution du mode de vie oblige à prendre en considération l'étude de la qualité et quantité des eaux souterraines destinées pour consommation.

L'objectif principal de notre présent travail est d'étudier la qualité des eaux souterraines dans la partie sud de la Wilaya de M'sila. plus précisément la région de Bou Saada, ainsi la caractérisation de leurs paramètres physicochimiques, et leurs faciès hydro chimiques.

Pour bien mener à notre objectif souhaité, le présent travail divisée en trois parties :

Première partie ; porte sur une recherche bibliographie le concept des eaux souterraines; les caractéristiques, ainsi que les normes de qualité.

Deuxième partie ; cette partie est composée en trois chapitres ;

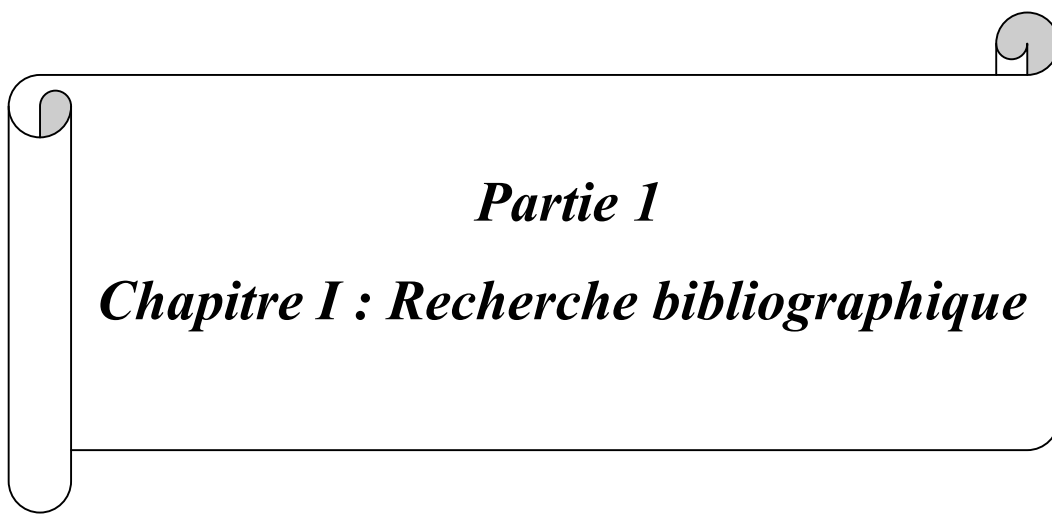
Chapitre (01) ; est concerné à la présentation détaillée du site d'étude: sa géologie, son climat.

Chapitre (02) ; présente les méthodes utilisées dans cette étude.

Chapitre (03); représentation des outils d'interprétation des résultats hydro chimiques.

Troisième partie ; consacrée à la détermination et l'exposition des résultats obtenues des paramètres physico chimiques des eaux souterraines de la plaine de Bou Saada par l'utilisation des diagrammes (Piper et Schoeller – Berkaloff, Wilcox, Riverside) et application des méthodes statistiques, telles que l'Analyse en Composantes Principales (ACP), la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) et Analyse factorielle (AF) pour une visualisation plus complète des résultats, une classification plus aisée ainsi que la mise en évidence de l'apport des méthodes statistiques pour une meilleure interprétation dans le domaine de la chimie des eaux.

A la fin, on termine l'étude par une conclusion générale.



Partie 1

Chapitre I : Recherche bibliographique

Introduction

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

La variation du chimisme dans les eaux souterraines dans un milieu dit naturel est due essentiellement à l'interaction entre ces eaux et la composition minérale du matériau aquifère où elles circulent. Ainsi, de telles eaux auront majoritairement une qualité acceptable et des teneurs en éléments chimiques assez faibles. Cependant, les eaux souterraines sont exposées constamment à des risques de pollution dont le degré et l'intensité sont tributaires de plusieurs paramètres, qu'ils soient naturels ou anthropiques (**Bellaredj, 2013**).

Selon **SAIYOURI ; (2012)**, il est important de savoir que l'agriculture est de loin le plus grand consommateur d'eau.

Pour cela, au cours de cette étude, et dans notre chapitre nous allons présenter les caractéristiques des eaux souterraines et leurs critères généraux ainsi que, les normes de qualité.

I.1 Les ressources naturelles des eaux

Les réserves disponibles en eau naturelle sont constituées d'eaux souterraines (nappes souterraines) des eaux terrestres (barrage, lacs, rivière), des eaux de surface; et en eaux de mer .

I.1.1 Les eaux de surface

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (**Dégrement, 2005**).

En plus, ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques (**Molinie ,L.,2009**).

I.1.2 Les eaux de Souterraines

Les eaux, qui ne se sont ni évaporées ni retournées à la mer par ruissellement, s'infiltrent dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes.(**Mahamat ; et Beskri 2010 ;**); qui

est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau. Les eaux souterraines sont habituellement à l'abri des sources de pollution, elles sont donc d'excellente qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface. Selon les roches-magasins et selon la nature du réservoir, on distingue plusieurs types de nappes (**Mebarki,1982**).

I.1.2.1 Les différents types de nappes

I.1.2.1.1 Nappe libre

C'est une nappe qui peut se développer librement vers le haut puisque le terrain perméable, siège d'une nappe aquifère, n'est pas couvert par une couche imperméable (**BONNIN , 1982**)

I.1.2.1.2 Nappe captive

Lorsque la couche perméable est emprisonnée entre deux couches imperméables, la nappe ne peut se développer vers le haut et est alors appelée nappe captive (**BONNIN ,1982**).

Les nappes peuvent être classées en nappes phréatiques et nappes profondes.

- Les nappes phréatiques sont celles qui reposent sur la première couche imperméable proche du niveau du sol, sont toujours libres et souvent contaminées.
- Les nappes profondes dites subordonnées reposent sur une couche perméable plus profonde et peuvent être libres ou captives .

I. 1.3. Les origines des eaux souterraines

I.1.3.1 Eaux météorique

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, c'est-à-dire proviennent des précipitations (pluie, neige) et de leurs infiltrations dans le sous-sol. Dans les aquifères de grande taille, l'eau peut provenir de périodes où le climat était différent et peut donc servir comme indicateur de paléoclimats. (**Renard 2015**)

I.1.3.2 Eaux connées

Les eaux que l'on trouve en profondeur dans la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 km) sont dérivées de réservoirs d'eaux météoriques qui ont réagi avec les roches environnantes, souvent ces eaux sont relativement salées. Les eaux connées peuvent contribuer à l'hydrologie de formation géologique qui s'est enfouies très récemment ou bien rester piégées dans des roches dont la perméabilité est faible et dont toute l'eau n'a pas été expulsée. Souvent cette eau est présente depuis la formation de la roche. (**Renard 2015**).

I.1.3.3 Eaux juvéniles

L'eau juvénile est l'eau qui provient directement des profondeurs du manteau terrestre. Elle quitte généralement ce compartiment lors du dégazage des volcans terrestres, de la cristallisation du magma ou des éruptions des sources hydrothermales.

I.1.4 Constituants des eaux souterraines

Les eaux souterraines contiennent des molécules d'eau autour des quelles sont dissous des ions (majeur, mineur et de traces), des gaz dissous (oxygénés, gaz carbonique) et parfois de la matière organique dissoutes (**Renard 2015**).

I.1.4.1 Ions majeurs

- Cation majeurs : calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+)

- Anion majeurs: chlorures (Cl^-), bicarbonates (HCO_3^-), sulfates (SO_4^{2-}).

* Dans les saumures, le strontium (Sr^{2+}) et les ions bromures (Br^-) peuvent aussi avoir des concentrations élevées.

* Dans les eaux naturelles on trouve aussi de la silice (SiO_2), du fer (Fe^{2+}), éventuellement des nitrates(NO_3^-).

Les concentrations de ces ions majeurs sont utilisées pour déterminer le type d'eau, par exemple une eau du type (Na- HCO_3) ou (Na-Cl). Il n'y a pas de définition rigoureuse de ces types d'eaux, mais on les utilise pour différencier les eaux provenant de réserves différentes telle que les aquifères, les précipitations ou l'eau océanique (**Renard, 2015**).

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue:

- Une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates de Ca et Mg.
- Une dureté non carbonatée produite par les autres sels (**Renard, 2015**).

I.1.4.2 Ions mineurs

Alors que les ions majeurs se retrouvent dans la plupart des eaux souterraines, des eaux d'aquifères peuvent avoir des teneurs en ions mineur différentes On trouve les ions suivants;

Nitrate(NO_3^-), Ammonium (NH_4^+), Silice (SiO_2), Fer (Fe^{2+}), Manganese (Mn^{2+}), Aluminium (Al^{3+}), strontium (Sr^{2+}), Bore (Bo_4^{3-}), Bromide (Br^-). Le fer est un élément assez abondant dans les roches sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. Le fer est soluble à l'état d'ions Fe^{2+} ion ferreux mais insoluble à l'état Fe^{3+} (ions ferrique). (**Renard 2015**).

I.1.5 La qualité des eaux souterraines

Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan bactériologique (UNICEF, 1999) elles constituent une meilleure solution que les eaux de surface en termes de génie sanitaire (Fiambsch, 1998). Dans la réalité, la qualité naturelle de l'eau souterraine ne concerne pas seulement les aspects sanitaires et techniques de l'eau potable. Il faut se souvenir en particulier que l'eau des nappes alimente les rivières et que, par conséquent, certaines propriétés chimiques et microbiologiques des eaux souterraines peuvent avoir des incidences sur la vie aquatique (Collin, 2004). Donc les qualités requises sont d'ordre bactériologique et physico-chimique.

I.1.6 Qualité physico-chimique des eaux souterraines

Les qualités physico-chimiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Parmi ces paramètres on distingue les suivants :

I.1.6.1 Qualité physique

I.1.6.1.1 Température

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels et dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques (Rodier, 2005).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (OMS, 2004). Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (Rodier, 2005).

I.1.6.1.2 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 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, 2015).

Le pH de l'eau souterraine s'inscrit dans l'intervalle de 7,01 à 8,23, avec une valeur moyenne de $7,5 \pm 0,3$. Ces valeurs sont caractéristiques d'un aquifère peu profond dans les zones arides (Benabderrahmane, 1988). Il est connu que les processus de calcite et de dolomite tampon sont dominants pour la plage de pH de 6,5 à 7,5 (Geller et al. 2000).

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, mais la qualité se trouve dans la limite de la norme algérienne de l'eau potable. (Amroune., 2008).

I.1.6.1.3 Conductivité électrique

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.

I.1.6.2 Qualité chimique

1.1.6.2.1 Cations

I.1.6.2.1.1 Calcium Ca²⁺

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaire sous forme de carbonates. Est un composant majeur de la dureté totale de l'eau, Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure etc. (Rodier., 2005). les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/l les eaux qui dépassent les 500 mg/l présente de sérieux inconvénient pour les usages domestique et pour l'alimentation des chaudières.

Le calcium et aussi fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères (Ca SO₄,2H₂O), qui sont facilement solubles (Amroune, 2008).

I.1.6.2.1.2 Magnésium Mg²⁺

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens.(Amroune, 2008), c'est l'un des éléments les plus répandus dans la nature. La variation du magnésium dans les eaux souterraines est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations salifères d'autre part, comme les argiles et les marnes qui sont riche en Mg⁺⁺ (Dib, 2009).

I.1.6.2.1.3 Sodium Na⁺

C'est un élément parmi les éléments le plus abondant à l'état naturel, il est toujours présent dans l'eau en proportion très variable. Le sodium joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation à cause du fait de son action sur la perméabilité des sols (Belkhiri, 2011).

En outre, le sodium peut provenir de plusieurs origines: la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, et de l'intrusion marine d'eaux salées dans les nappes aquifères, ou d'origine industriels...etc. (Belghiti et al, 2013)

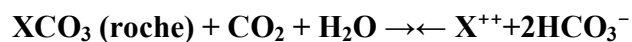
1.1.6.2.1.4 Potassium K^+

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). Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules (Mercier, 2000).

1.1.6.2.2 Anions

1.1.6.2.2.1. 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^{++}), ou le (Mg^{++}) (Beaudry et Henry, 1984).

Leur origine est principalement due à la dissolution des roches carbonatées, la concentration des roches carbonatées, la concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivant :

- ✓ La tension de CO_2 dissout
- ✓ La température de l'eau
- ✓ Le pH de l'eau
- ✓ La concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés (Amroune et al, 2000)

1.1.6.2.2.2 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 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), 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.

1.1.6.2.2.3 Chlorures Cl^-

Les chlorures sont très répandus dans la nature généralement sous forme de sels du sodium (Na Cl), de potassium (KCl) et de calcium ($CaCl_2$) (SEVESC, 2013)

L'ion chlorure n'est pas adsorbé par les formations géologiques, reste très mobile et ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques. Il constitue un bon indicateur de la pollution. Les teneurs en

chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (**Rodier et al ., 2005**) .

1.1.6.2.2.4 Nitrates NO_3^-

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites) sont susceptibles d'être à l'origine des formations des nitrites par un processus d'oxydation biologique des nitrates, soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniacque (NH_4^+), soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action bactérienne (phénomène de dénitrification). Ces formations azotées peuvent également être d'origine agricole (**Beaudry et Henry, 1984**).

Dans les eaux, la quantité des nitrates maximale admissible est fixée de 50 mg /l.

1.1.6.3 Les normes Physico-chimiques des eaux souterraines destinées à l'irrigation

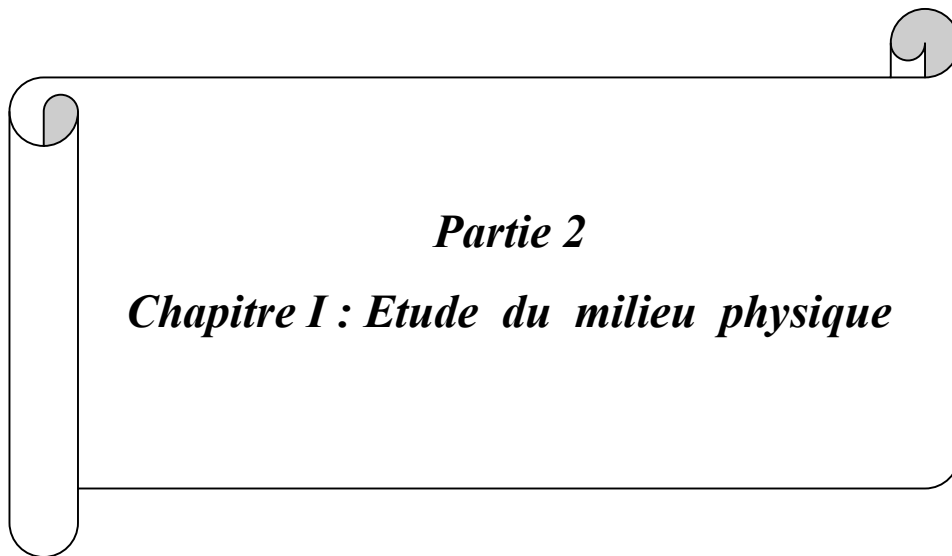
Afin de définir régulièrement , des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (**Alouane., 2012**) . En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (**Jora ; 2011,**) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.

Tableau I.1 Normes physico-chimiques des eaux souterraines

Paramètres physico-chimiques	Unité	Normes algériennes
Température	°C	25
pH	/	6.5-9
Conductivité électrique à 20°C	$\mu\text{S} / \text{cm}$	2800
Chlorures	mg.l^{-1}	500
Calcium	mg.l^{-1}	200
Magnésium	mg.l^{-1}	150
Nitrates	mg.l^{-1}	50

Conclusion

Cette partie à porter sur plusieurs des informations concernant la détermination et la présentation générale et parfois détaillée des caractéristiques et de quelques propriétés physico-chimiques des eaux souterraines avec des normes, l'origine des eaux , ainsi que leur qualité ; comme étape essentiel pour la caractérisation des eaux souterraines de notre zone étudiier (Bou Saada) .



Partie 2

Chapitre I : Etude du milieu physique

Introduction

Avant de traiter notre sujet il faut avoir une idée générale sur l' emplacement de notre site d'étude concernant une vision géographique, hydrologiques et climatiques .

II.1 Présentation de la zone d'étude

II.1.1 Localisation et Situation géographique

De part sa situation stratégique que lui confère le synonyme de « porte du désert », étant l'oasis la plus proche de littoral algérien. La région de Boussaâda située; à 241 km au Sud-Est d'Alger et à 69 km au Sud-Ouest de M'Sila.. Elle est placée au point de rencontre des coordonnées spatiales suivantes : $04^{\circ} 11'$ longitude et $35^{\circ} 13'$ latitude, et sur une altitude de 560 m au-dessus du niveau de la mer, La région d'étude couvre une superficie de 255 km^2 .

La plaine du Boussaâda s'intègre dans le cadre géographique des hauts plateaux du bassin algérois-Hodna-Soumam; elle est limitée :

- Au Nord par les monts du Hodna.
- Sud et Sud-ouest par les premiers chaînons de l'Atlas saharien aux cordonnées géométriques $35^{\circ}20' \text{ N}$ et $04^{\circ}12' \text{ E}$.
- A l'Est, par la rencontre des deux chaînes (Monts du Bellezma) aux cordonnées géométriques $4^{\circ}45' \text{ E}$ et $5^{\circ}45' \text{ E}$.



Fig. II. 1. Localisation géographique de la région d'étude (Extrait de la carte de 1956 feuille de M'Sila E: 1/200.000)

II.1.2 Développement et économie

La région de Boussaâda possède un bon emplacement géographique dans l'avenir pétrissage par les fondamentaux économiques et naturelles qui affecte directement les municipalités environ. Cet emplacement qui représente un important carrefour d'échange entre la méditerranée et le Sahara, également entre les Ziban et le littoral algérois, et entre le M'Zab et Constantine

Boussaâda une zone touristique riche des Oasis et des cascades d'ailleurs on dit « oasis Bou Saâda », connue de ses palmeraies et ses plaines cultivées, irriguées à partir de la nappe phréatique ainsi que les oueds de Maiter et Bou Saâda

D'autres éléments naturels et technologique contribués à la restriction de la forme actuelle de tissu bâtie de la ville et orientent son extension:

- ✓ Les Oueds ; Oued Boussaâda et notamment oued Maiter
- ✓ Les terrains sableuse sur les rives d'oued Maiter, situé sur le côté Ouest et côté Nord-est de la ville (**Helali, 2016**)

II.1.3 Habitat et activités

La démographique est distribuée de deux manières:

- Au Nord: les centres urbains éloignés les uns des autres sont moins densément, et une zone rurale moins habitée en raison de la sécheresse et du manque de moyens.
- Au Sud : centre urbain densément est bien peuplé, et inversement la zone rurale est moins peuplée.

La plupart des agriculteurs sont concentrés dans la plaine Agricole d'El-Maadhar. Des eaux souterraines abondantes jaillissent. La terre est fertile avec un énorme potentiel agricole . mais peu de gens commençant à travailler et osent s'installer sur ce vaste territoire, car les résultats se font sentir au niveau des EAC (Exploitation agricole collective).

II.1.4 L'agriculture

L'agriculture est l'un des moyens de subsistance et de développement les plus importants de la région de Boussaâda. Selon la subdivision des services agricoles de la wilaya de M'Sila (DSA) la principale activité dans la région de Boussaâda est les cultures maraichères, l'arboriculture (Oliviers , figuiers et arbres à noyaux et pépins), la céréaliculture et la culture fourragère.

Tableau. II.2. Répartition des terres dans la région d'étude (unité ha).

Communes	Surfaces agricoles utiles (SAU)		Pacages et parcours	Superficie Agricole Totale
	Total	Dont irriguée		
Boussaâda	2595	2299	17739	23094

Source : SAB, 2019

II.1.4 .1 Les ressources hydriques

En raison de l'aridité du climat et l'irrégularité des précipitations, les ressources en eau disponibles et exploitées sont les eaux des nappes souterraines de la région.

Tableau. II.3 : Nombre des puits et les forages dans la zone d'étude à la 2020

Région	Forages		Puits	
	Nbe	Surf (ha)	Nbe	Surf (ha)
Boussaâda	653	3033 ,85	53	159

Source: Bureau statistique de Bou saâda

II.1.4.2 Les différents types de réseaux d'irrigations

Tableau. II.4: Répartition des types d'irrigations

Communes	Aspersion	Goutte à Goutte	Gravitaire
Boussaâda	1106 ha	456 ,5 ha	1209 ha

Source SAB , 2019

Les exploitants plus utilisent l'irrigation gravitaire (1209 ha) et par l'aspersion (1106 ha) à cause que le système d'aspersion est encore nouvel et demande un fond assez élevé, c'est pour cette raison que les agriculteurs favorisent la technique gravitaire malgré le tarissement de niveau des eaux souterraines.

Tableau. II .5 : Occupation des Sols par la Commune de Boussaâda

Cultures	Céréales	Maraîchage	Arboriculture	Fourrages
Superficies (ha)	276 ,5	1117	186.5	1195

Source : SAB, 2018

La superficie Agricole totale de 23094 ha répartie ainsi qu'il suit:

- ✓ La surface agricole utile est de l'ordre totale de 2595 ha avec dont irriguée de 2299 ha du territoire de la région d'étude.
- ✓ Les terres de passages et parcours occupent une superficie de 17739 ha de la superficie Agricole totale (**tableau n° 02**)

La production végétale dans la région concerne essentiellement la culture maraîchère qui occupe une superficie de 1117 ha soit 40,18 % de superficie agricole totale. Les fourrages couvrent une superficie de 1195 ha soit 42,99 % du la région d'étude. Alors que l'Arboriculture occupent 186,5 ha soit 6,71%. Enfin les céréales avec 276,5 ha utilisé 9,95 % de la superficie totale. (**Fig. II. 2**).

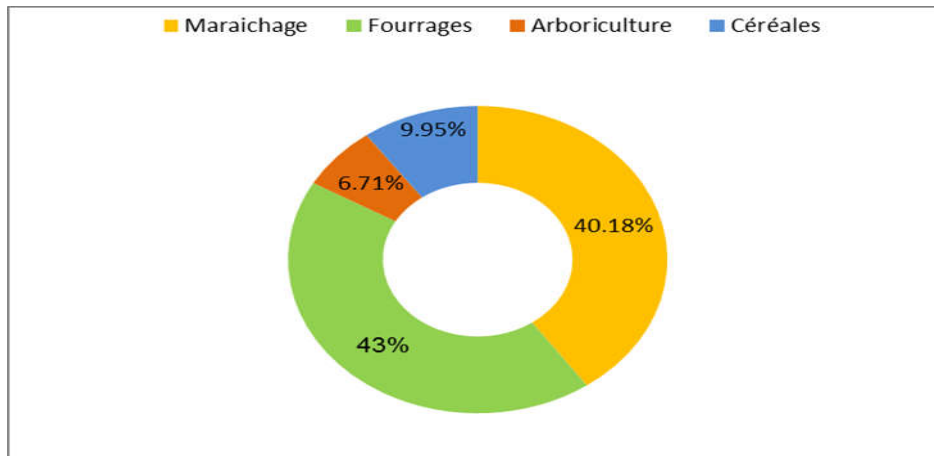


Fig. II. 2. Occupation des Sols par les cultures dans la région de Boussaâda



Fig. II. 3 : terres agricoles irriguées à El-Maadhar

II.1.5 Relief

Les reliefs de la région de Boussaâda sont caractérisés par la présence de chaînes de montagne d'orientation variée surtout au niveau de la partie Sud et Sud-ouest.

Les reliefs existants:

- L'Oued Boussaâda qui forme une sorte de couloir entre le Djebel Moubakhira et Djebel Kerdada et coule au pied de ce dernier s'en jettent dans la partie nord de la plaine.
- La vallée de l'Oued Maiter située à l'Ouest de la ville de Boussaâda avec une altitude de 587 m , forme un couloir venteux animé par les vents Ouest et Nord, engendrant des champs de dunes orientés Ouest-Sud-ouest et Est-Nord-est.

Les formes récentes ne sont généralement pas stabilisées, ce sont parfois des dunes au pied des reliefs comme celui du Djebel Kerdada. Sur la rive Est de l'Oued Maiter on trouve le Sebkhha où les larges lits de l'Oued sont souvent à sec et sont soumis à la déflation des vents de l'Ouest (**Benrabia , 2012**)

II.1.6 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de Boussaâda est composé par deux principaux oueds, le plus important est l'Oued El Maiter: c'est un oued à écoulement pérenne et présente une pente abrupte au Sud- Ouest puis décroît vers le Nord-Est jusqu' à l'embouchure (sebhka). Oued Boussaâda est moins important que le premier et il coupe la ville en deux et constitue l'exutoire des eaux usées de la ville de Boussaâda. Au Sud de la région d'étude existe des cours d'eaux indécis tels qu'Oued Roumana, Oued El Mehakoube, Oued Oultem et Oued Defla. Ces Oueds sont caractérisés par des écoulements temporaires surtout après les grandes averses (**Amroune et Mettai, 2000**) et les eaux pluviales qui traversent ces deux Oueds se déversent dans le chott du Hodna.

II.1.7 Pédologie

La zone d'étude se caractérise par l'existence des sols sableux où les minéraux bruts éoliens représentent la composition principale. La texture du sol est donc dominée essentiellement par le sable. Outre le quartz, les composants du sol sont dominés par les carbonates (Calcite), le gypse et les sels d'origine évaporitiques (**Fig. 04**). En raison de la texture sableuse et de la faible teneur en matière

organique, la fertilité des sols la capacité de retenue de l'eau sont faibles. L'ajout d'engrais et les variations organiques sont donc nécessaires pour obtenir des rendements élevés.

Selon l'étude des sols de Hodna par **Boyadgiev (1975)**, les principaux types de sols présents dans la zone irriguée sont : Lithosols et régosols, Sols minéraux bruts éoliens, Sols peu évolués alluviaux, Lithosols et Sols à encroutement calcaire, Siérozems.

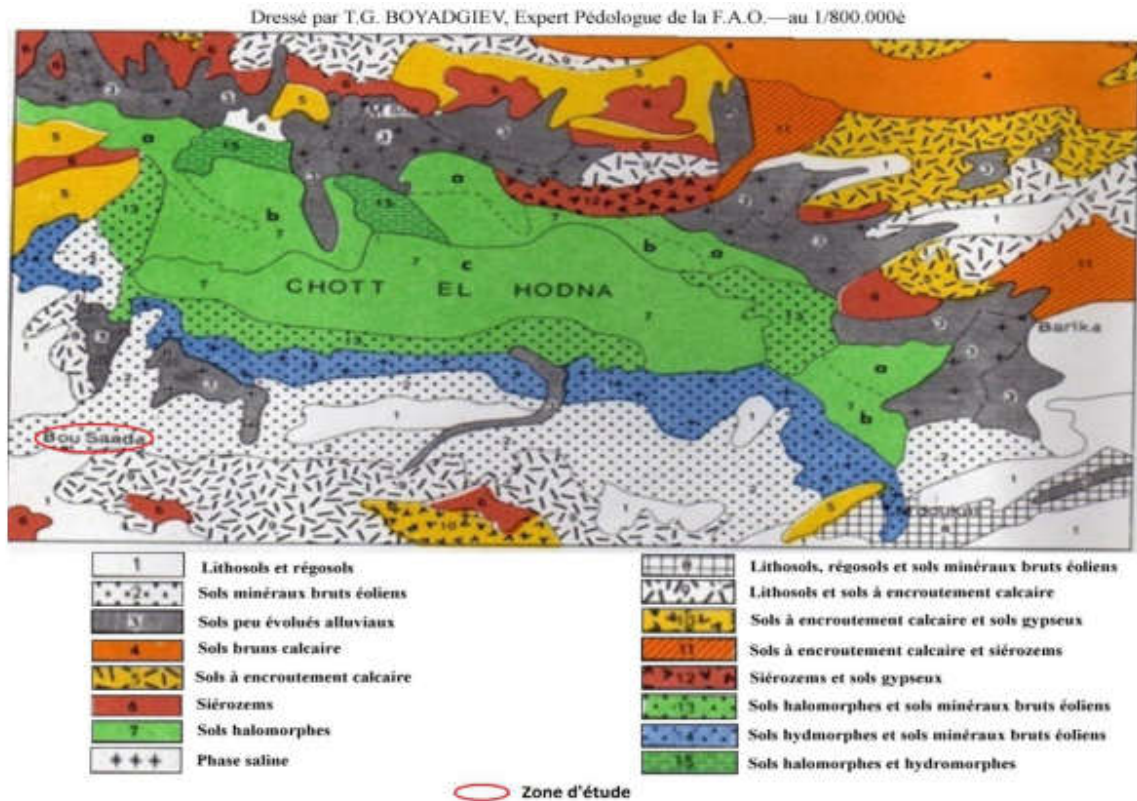


Fig. II. 04: Carte pédologique de la région d'El-Hodna (**Boyadgiev 1975**).

II.1.8 Végétation

La végétation joue un rôle important dans la protection de l'environnement naturel en contrôlant la vitesse d'écoulement, selon le degré de densité et la qualité de la couverture.

La couverture végétale de notre zone étude Boussaâda est caractérisée par une végétation steppique, elle est constituée en majorité par des espèces qu'on rencontre le plus souvent dans les steppes algériens tel que 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 *Ziziphitzus* (jujubier) et on rencontre des palmiers. (Ramsar, 2001).

II.1.9 Aperçu Géologique

II.1.9.1 Introduction

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydro chimique. Ainsi, la lithologie, jouent un rôle fondamental sur la qualité des eaux souterraines (MEKAOUSSI, 2014).

Il est indispensable de donner un aperçu plus ou moins détaillé sur l'aspect géologique du terrain.

L'étude géologique nous permettons d'identifier la nature lithologique de différentes formations perméables détritiques et les formations résistantes fissurées ou karstique susceptibles d'être aquifères, ainsi que les formations imperméables

II.1.9.2 Stratigraphie

En se basant sur l'étude géologique qui a été faite par Guiraud en 1975 dans le bassin du Hodna. Les séries sont presque complètes et vont du Trias jusqu'au Quaternaire.

II.1.9.2.1. Secondaire

II.1.9.2.1.1. Trias

Le trias n'affleure pas sous forme une souche mais il affleure uniquement dans cette région par diapirisme. Il est reconnu en Dj kerdada et il est formé par des argiles violettes légèrement gypseuses.

II.1.9.2.1.2. Jurassique

Les formations jurassiques sont composées essentiellement par des carbonates. On trouve également des dolomies, des calcaires gréseux et des marnes.

II.1.9.2.2. Crétacé Supérieur

Ce système a été érodé de la région, sauf le cénomanien qui est faiblement représenté sur quelques sommets de reliefs.

c- Cénomanien

Entre le Djebel Dalaat Ezzdin et Djebel Moubakhira à 2 Km à l'Ouest de, le Cénomanien est constitué par des calcaires à débris, parfois lumachelliques avec de rares inter stratifications de marnes, des calcaires argileux, des marnes gypseuses et a Ostréa (Exogyra) et des calcaires. L'épaisseur du Cénomanien est de l'ordre de 120 m.

D- Tertiaire

Les formations continentales du Tertiaire reposant en discordance sur les séries du Crétacé inférieure et moyen. Ce matériel provient de l'érosion des formations crétacées supérieures de l'Atlas Saharien.

Elles sont constituées de conglomérats, des sables, des galets, des graviers et des passées marneuses. La puissance du tertiaire est de 200 m environ.

E- Quaternaire

Constituée de galets des sables des graviers, des marnes, des limons, des argiles et des gypses. L'épaisseur du Quaternaire est croissante du Sud au Nord de 14 à 123 m proche du Chott.

F- Terrains du Chott

Ce sont des limons de couleur gris à cristaux à l'association de cristaux de gypse type (roses des sables).

J- Dunes

Localisées dans la cuvette des oueds Tamsa et Maiter, et à la plaine bordière du Chott El-Hodna, ce sont des sables quartzeux fins de couleur ocre souvent chargés en matière argileux. Ils proviennent de l'érosion des grès Barremiens et Albiens qui affleurent largement.

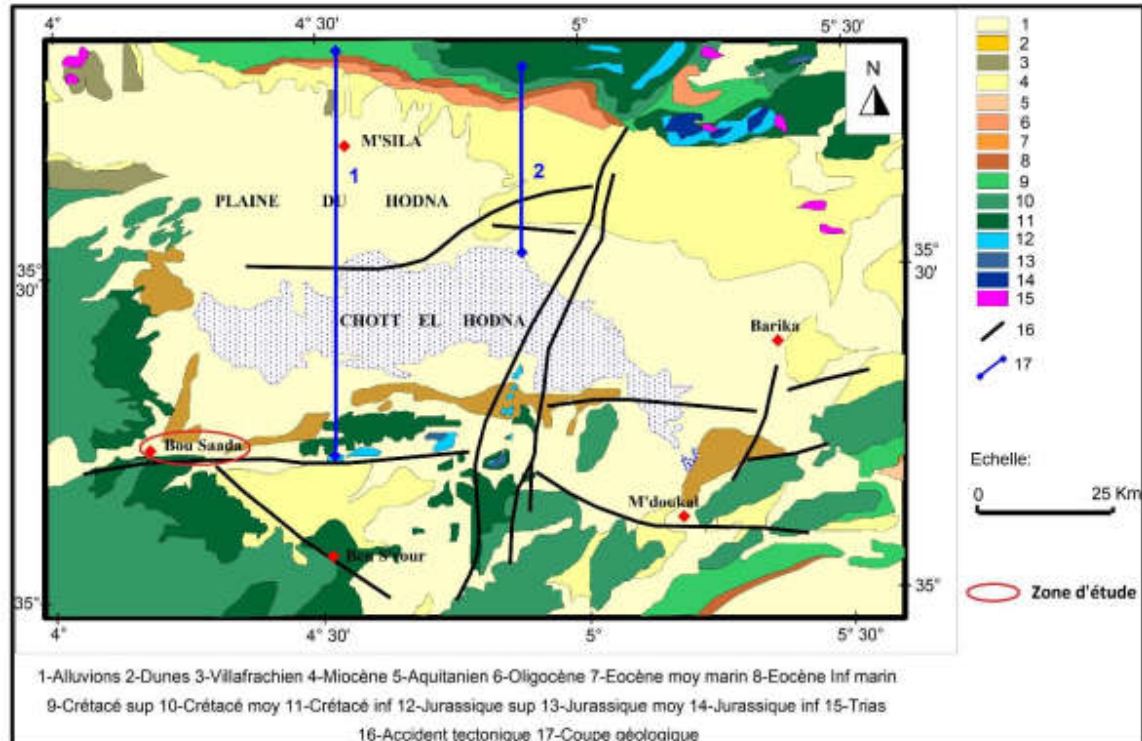


Fig. II. 5 : Extrait simplifié de la carte géologique de l'Algérie du Nord (Grine 2009 in Bouneb, 2018).

II.1. 9.3. Hydrogéologie

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 (**Kaabeche, 1996**).

Selon **Helali, (2016)** les principaux aquifères de ce secteur sont les formations conglomératiques et sableuses du Mio-pliocène continental, qui communiquent avec l'ensemble des formations perméables crétacées encaissantes, dont la plus importante est l'Albien.

Chabour, (2006) a souligné que la plaine en générale est caractérisée par la présence de deux nappes importantes superposées : une nappe phréatique et une nappe captive. La première est généralement constituée par les alluvions grossières quaternaires. La seconde est située dans les conglomérats villafranchiens au Nord et à l'Est du Chott, dans le Tertiaire continental et l'épaisse série principalement gréseuse du crétacé inférieur au Sud-ouest.

En fait, dans la zone Guelallia-Boussaâda – Ain Diss, la nappe captive du Hodna se confond avec l'immense nappe saharienne du continental intercalaire (**Chabour, 2006**).

La détermination des différents endroits favorable à l'implantation des forages est basée sur une bonne connaissance de la géologie locale et formations géologiques susceptibles d'être aquifères de la zone d'étude.

Les formations majoritaire sont celles du Quaternaire et celles du Crétacé représentées par le Barrémien. Cependant les argiles et les marnes gréseuse localisées dans la partie Sud de la Zone d'étude et les formations de calcaires sont assez peu représentées à Djebel Kerdada.

II.1.10 Climat de la région étude

La connaissance des caractéristiques climatiques est fondamentale dans la répartition des êtres vivants, pour permettre une meilleure évaluation des besoins en eau de différentes cultures.

Les principaux facteurs climatiques retenus dans notre étude sont : Les précipitations, la température, le vent et évapotranspiration.

II.1.10 .1 Les précipitations

La pluie est un facteur essentiel pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres, elle joue un rôle prédominant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

Les précipitations qui caractérise la balance climatique d'une région; par leur intensité, fréquence et irrégularité et ont une influence énorme sur le climat de la région.

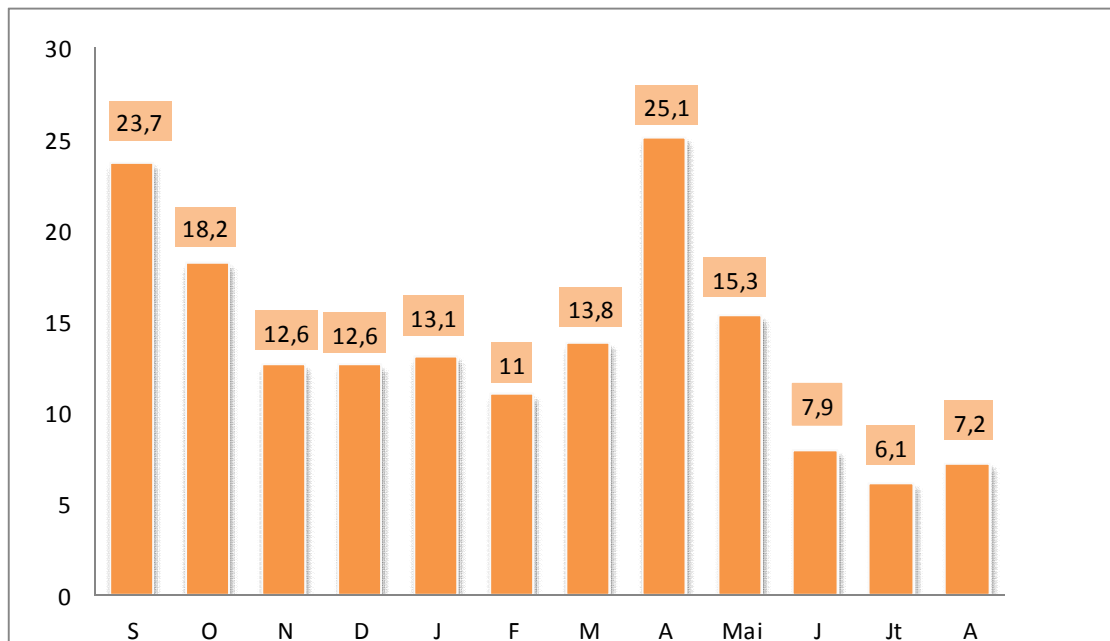


Fig. II. 6 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Boussaâda durant la période (2000-2020)

D'après la figure N°06, on peut dire que l'irrégularité des précipitations dans la région de Boussaâda est remarquable. Le mois le plus pluvieux est Avril avec une valeur de 25,1 mm, tandis que le mois le moins pluvieux est celui de juillet avec une valeur de 6,1 mm.

II.1.10.2 La température

Ce paramètre est un facteur climatique très important, elle joue un rôle dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique. Ce paramètre est utilisé concurremment avec les précipitations.

Tableau. II. 6 : Répartition des températures moyennes et mensuelles de la région de Boussaâda (2000-2020)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
T max	32,7	27,1	19,4	15,3	14,7	16,8	21	24,9	30	36	40,2	38,9
T min	19,7	14,5	8,7	5,2	4,2	5	8,4	11,9	16,2	21,1	24,6	24,1
T moy	26,2	20,8	14,05	10,25	9,45	10,9	14,7	18,4	23,1	28,55	32,4	31,5

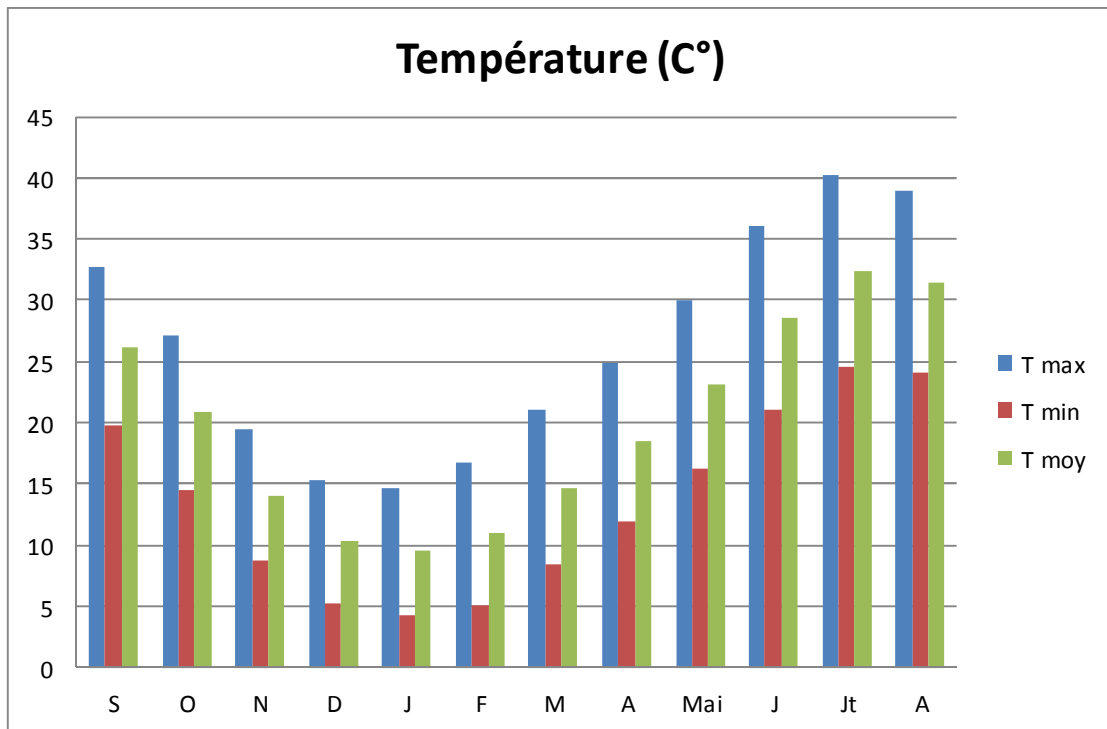


Fig. II. 7 : Température moyenne mensuelle de la région de Boussaâda durant la période (2000-2020)

A travers le **tableau N° 06** et **La figure N° 07**) l'analyse montre que la température moyenne maximale est enregistrée au mois de Juillet avec 32,40 °C, alors que la température moyenne minimale est enregistrée au mois de Janvier avec de 9,45°C.

On peut remarquer aussi:

- La température moyenne maximale, la plus élevée, est enregistrée en juillet avec 40,20 C° et la température moyenne maximale, la plus basse, est enregistrée en janvier, avec 14,7 C°.
- La température moyenne minimale la plus élevée en juillet avec 24,6°C, et la température moyenne minimale la plus basse enregistrée en janvier avec 4,2 °C.

II.1.10.3 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 (**Amroune, 2008**).

Dans les régions arides, les vents ont joué encore un rôle primordial dans la dégradation de la végétation et destruction des sols (**Melalih, 2012**).

Selon **belouadah (2009)** Boussaâda subit cinq (05) types de vents:

- Le sirroco, venant du Sud et soufflant durant la période estivale.
- Le vent d'Ouest, dit « el gherbi » qui est un vent sec drainant des nuages sans apporter pour autant la pluie.
- Le vent d'Est dit « el chergui » est un vent sec et froid pendant l' hiver
- Le vent du Nord/Nord-Ouest, dit « dahraoui » porteur du froid et de l'humidité; il peut être pluvieux et souffle surtout en hiver.
- Le vent du Nord, dit « el bahri », il s'agit d'un vent marin qui devient pluie ou nuage.

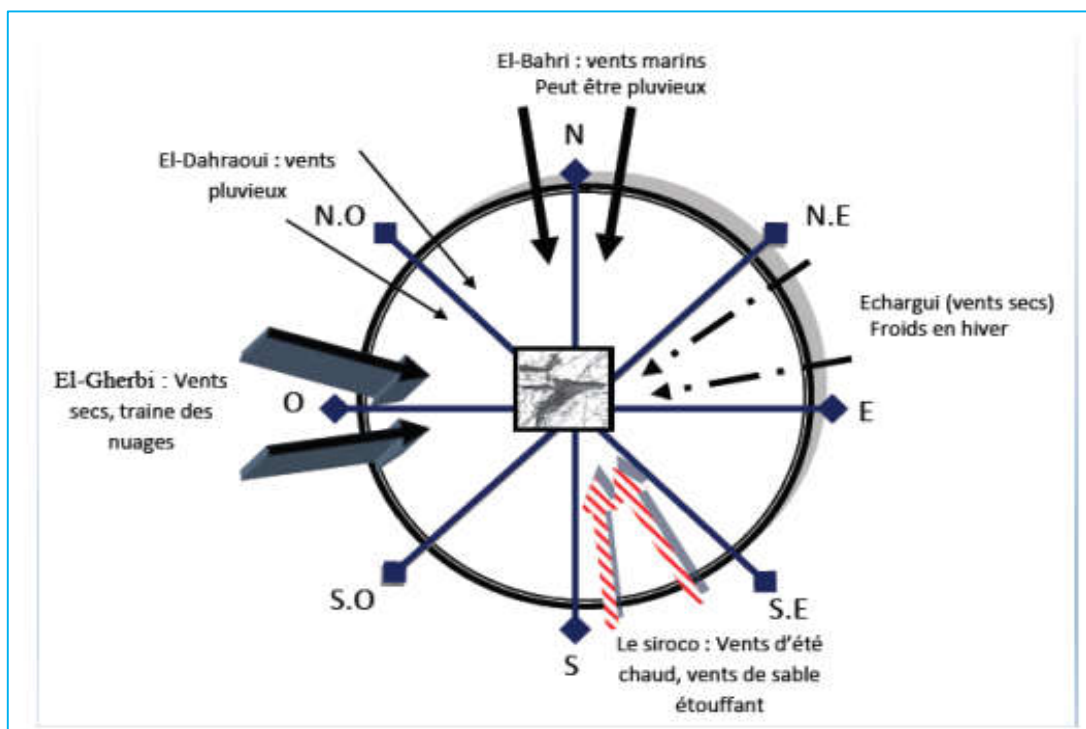


Fig. II. 8 : Les types et les directions des vents dans la région de Boussaâda.

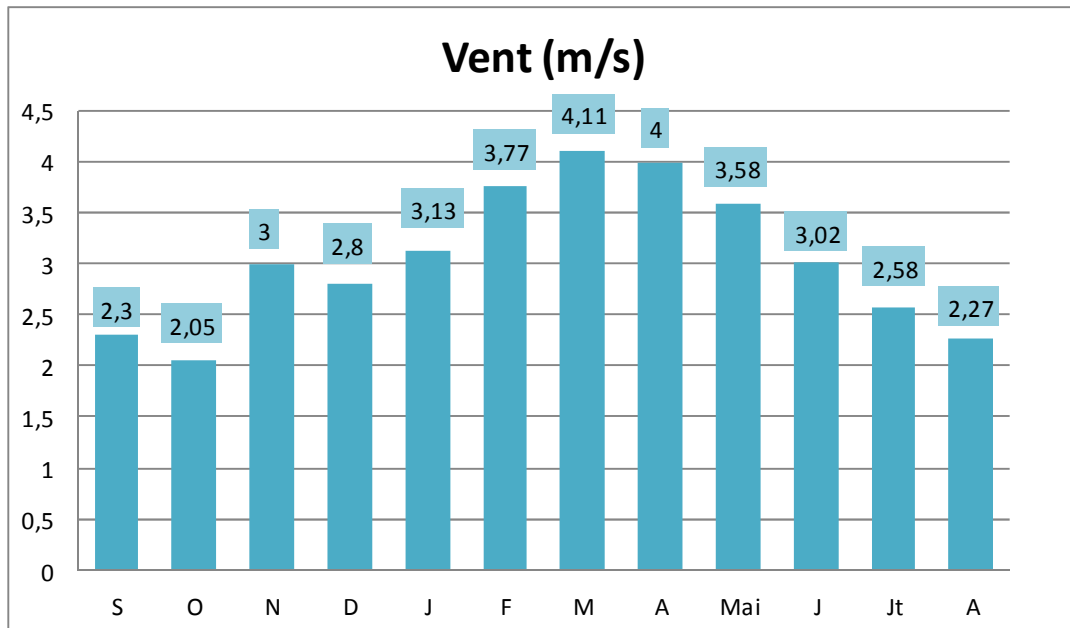


Fig. II. 9 : Vitesse annuelle moyenne des vents de la région d'étude (2000-2020)

A partir du **figure N° 09** qui représente la vitesse du vent , on constate que la valeur maximale du mois de Mars (4 ,11 m/s), par contre sa vitesse minimale est l'ordre de (2 ,05 m/s) au mois de Octobre .

II.1.10. 4 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est définie, comme le transfert de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Elle représente une des composantes fondamentales du bilan hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrologique d'une région ou d'un bassin versant .

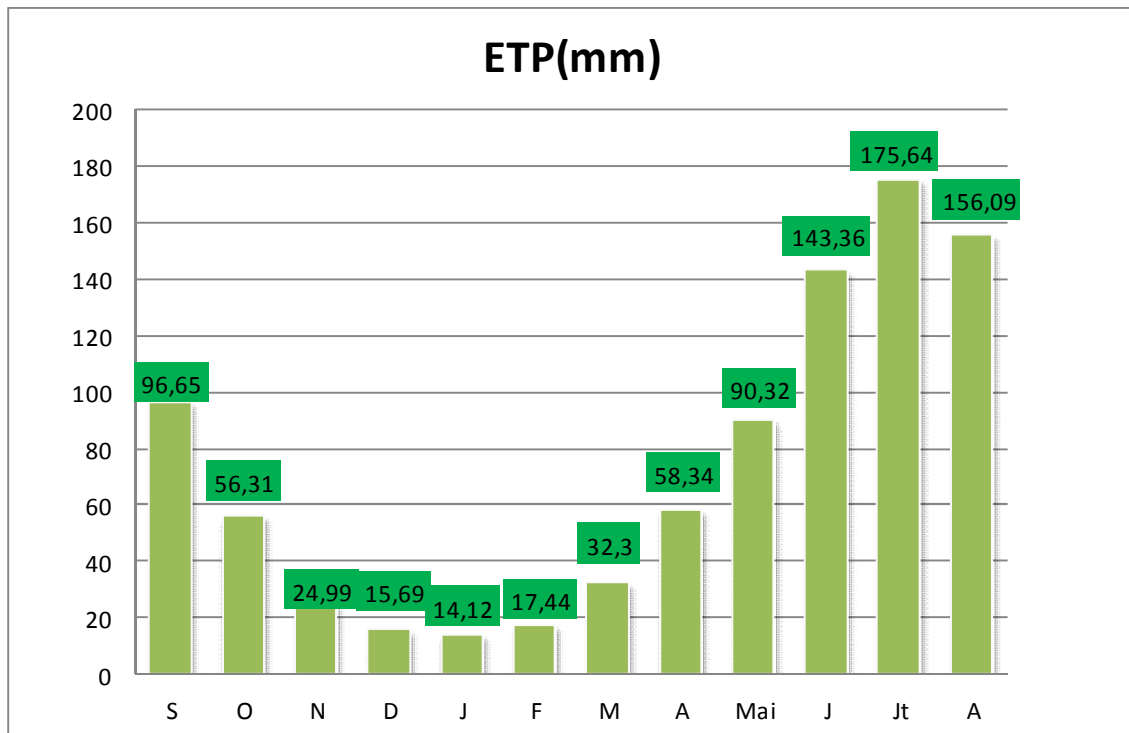


Fig. II. 10 : Evapotranspiration annuelle de la région d'étude

Suit à l'observation de la figure n°10 , on déduit que les valeurs de l'évapotranspiration potentielle enregistrée durant le période de l'été, elle varie entre 143.36 à 175.64 mm .

II.1. 11 Indices climatiques

Afin de déterminer le régime climatique de notre région d'étude , nous avons utilisé deux méthodes principale, l'un est diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, l'autre est le climagramme d'EMMBERGER .

II.1.11.1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

C'est encore à l'heure actuelle un des indices les plus utilisés. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен permet de déterminer les périodes sèches et humides de la région étudiée, en durée et en intensité, en prenant en 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 ($P \leq 2T$). (Amroune , 2008)

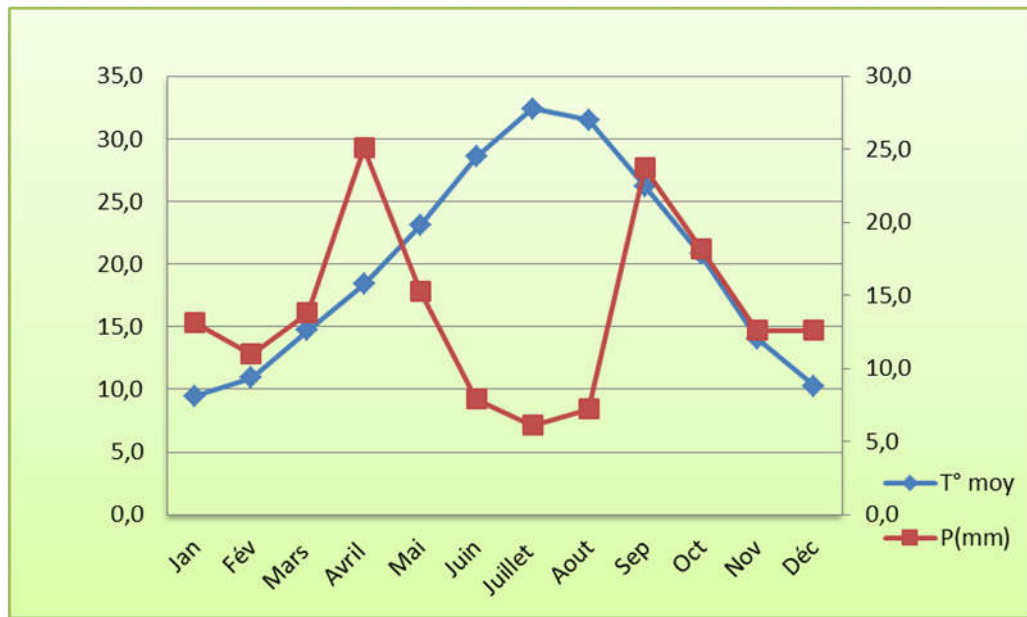


Fig. II. 11 : Diagramme ombrothermique de la région étudiée (2000-2020).

Durant l'année, on observe l'existence de deux périodes au cours de l'année; une courte période humide entre le mois février et avril et une période sèche caractérisée par des températures élevées et des précipitations minimales s'étalant sur presque dix (10) mois.

II.1.11.2 Climagramme d'EMMBERGER

Le diagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude et de donner une signification écologique du climat tel que (humide , subhumide, aride , semi- aride et saharien).

Grace à quotient pluviothermique "Q₂" d'Emberger est une expression synthétique du climat méditerranéen en tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations et des températures (maximale et minimale).

Q₂ est calculé par la relation suivante :

$$Q_2 = 1000 P / (M+m/2) (M-m) = 2000 P / M^2 - m^2$$

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)

(M+m)/2: Moyenne des températures annuelles.

(M-m) : Amplitude thermique extrême en K°.

$$T^{\circ k} = T^{\circ c} + 273,15,$$

Stewart (1968) simplifia la formule précédente en proposant suivant :

$$Q_2 = 3.43 P / M - m$$

$$P = 166,6 \text{ mm}$$

$$M = 40,2^{\circ} + 273,15 = 313,35 \text{ K}^{\circ}$$

$$m = 4,2^{\circ} + 273,15 = 277,35 \text{ K}^{\circ}$$

Les résultats de calcul du quotient pluviométrique Q₂ de la station climatologique sont donnés au Tableau

Tableau . II.7 : Valeurs du quotient pluviothermique Q₂ de la station de Boussaâda

Station	P(mm)	M (k°)	m (k°)	M-m (k°)	Q ₂	Etage bioclimatique
Boussaâda	166,6	313,35	277,35	36	15,87	Aride

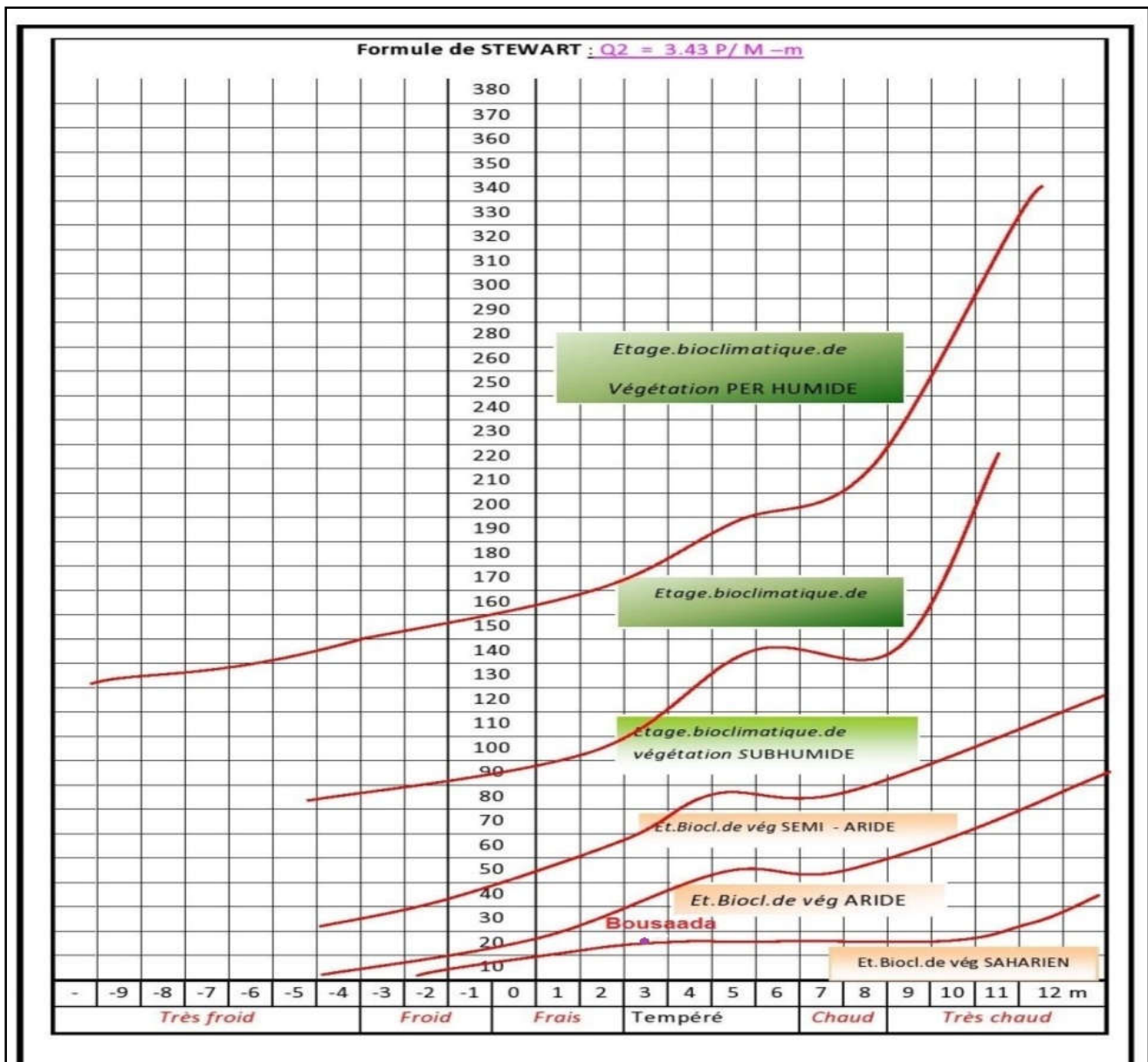


Fig. II. 12 : Positionnement de la région d'étude dans le climatogramme d'Emmberger durant la période (2000-2020).

D'après la figure n° 12, On déduit la zone de Bousaâda est caractérisée par un climat aride avec à hiver tempéré.

Conclusion

Au terme de ce travail ; Selon le diagramme ombrothermique et la climagramme D'Emmberger, la zone de Boussaâda est une région steppique avec un climat aride et tempéré, particulièrement en hiver signifie que une faible précipitation et une température élevé, elle se caractérise par un déficit hydrique durant toute l'année.

Ainsi que, les formations géologiques dans notre région d'étude se caractérisent par la présence des Alluvions et les dunes du quaternaire et les carbonates du secondaire

A travers de notre étude montre la région de Boussaâda en générale a une potentialité naturelle et socioéconomiques admirable manifeste par une présence important des ressources hydriques. L'agriculture a la plus grande disponibilité de main d'œuvre, importante pour la subsistance et le développement de la commune de Boussaâda, elle recrute un nombre considérable de travailleurs et approvisionnement des différentes marchés de la région en produits agricoles.



Partie 2
Chapitre II : Matériels et Méthodes

Introduction

Ce chapitre présente les méthodes utilisées: l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et Analyse factorielle (AF) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) afin de traiter les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans la région de Boussaâda.

II.2.1 Analyses statistiques multivariées

La Statistique est la méthode scientifique d'observation et d'étude d'un ou plusieurs caractéristiques communes à un groupe de personnes ou de choses.

“La statistique” est à différencier *d'une statistique*, qui est un nombre calculé auteur de population.

Lorsque nous observons une seule variable pour les individus de la population, on parle de statistique univariée, et de statistique multivariée lorsqu'on en observe au moins deux. La statistique descriptive multivariée généralement un domaine très vaste. La première étape comprennent à étudier la représentation graphique, et la description des paramètres de localisation, de dispersion et de relation.

La méthode statistique multivariée a été largement appliquée pour déterminer les phénomènes de l'environnement dans le monde (**Laaksoharju, 1999 et Tiri, 2014**) et a été utilisée avec succès pour étudier les processus hydrogéochemiques (**Bartlett, 1954**) et pour estimer le degré de variabilité mutuellement partagée entre les paires individuelles de qualité de l'eau Variables. Ce type d'étude est un outil très utile pour promouvoir la recherche et ouvrir de nouvelles frontières de la connaissance (**Joshi, 2009**) et son emploi est actuellement très général.

II .2.1.1. L'Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales est une méthode statistique essentiellement descriptive, son objectif est de présenter sous forme graphique, le maximum des informations contenues dans un tableau de données. Et mêlant approche géométrique (représentation le lien entre variables et individus dans un espace rectangulaire) et approche statistique (recherche sur des axes indépendants décrivant la variance), ainsi que sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.

Il existe plusieurs applications pour l'analyse en composantes principales, parmi lesquelles :

1. L'étude et la visualisation des corrélations entre les variables, afin d'éventuellement limiter le nombre de variables à mesurer par la suite ;
2. L'obtention de facteurs non corrélés qui sont des combinaisons linéaires des variables de départ, afin d'utiliser ces facteurs dans des méthodes de modélisation telles que la régression linéaire, la régression logistique ou l'analyse discriminante ;

3. La visualisation des observations dans un espace à deux ou trois dimensions, afin d'identifier des groupes homogènes d'observations, ou au contraire des observations atypiques (**Dagnelie, 2006**).

L'ACP a trois grands objectifs : comprendre la structure d'un ensemble de variables, créer des instruments pour analyser des éléments impossibles à mesurer directement, et condenser les informations issues d'un grand nombre de variables dans un ensemble restreint en garantissant une perte minimale.

II .2.1.1.1. Principe de l'ACP

L'analyse en composantes principales est une méthode analytique pour explorer de grands ensembles de données multidimensionnelles basées sur des variables quantitatives. L'analyse en composantes principales (ACP) appartient à la famille des statistiques multivariées et permet de transformer des variables corrélées en variables non corrélées, appelées "composantes principales". Plus précisément, la méthode vise à réduire le nombre de variables appliquées aux individus, en simplifiant les observations tout en préservant le plus d'informations possible. Définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales. Ne gardez qu'une, deux ou trois variables appelées "composantes primaires".

Enfin, du point de vue plus récent des analystes de données, il s'agit d'une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques, et généralement utilisé sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier.

II .2.1.1.2. Interprétation des résultats d'une Analyse en Composantes Principales

La représentation des variables dans l'espace des k facteurs permet d'interpréter visuellement les corrélations entre les variables d'une part, et entre les variables et les facteurs d'autre part, moyennant certaines précautions.

En effet, qu'il s'agisse de la représentation des observations ou des variables dans l'espace des facteurs, deux points très éloignés dans un espace à k dimensions peuvent apparaître proches dans un espace à 2 dimensions en fonction de la direction utilisée pour la projection.

On peut considérer que la projection d'un point sur un axe, un plan ou un espace à 3 dimensions est fiable si la somme des cosinus carrés sur les axes de représentation n'est pas trop éloignée de 1. Les cosinus carrés sont affichés dans les résultats afin d'éviter toute mauvaise interprétation (**Bartlett, 1954**).

II .2.1.2 Analyse factorielle

L'Analyse factorielle désigne une méthode de la famille de la statistique multi variée, utilisée pour décrire un ensemble de variables observées, au moyen de variables latentes (non observées) **(1904) par Charles Spearman.**

L'analyse factorielle (AF) est souvent appliquée dans le traitement des données chimiques. Bien que l'AF soit une méthode exploratoire et descriptive, elle sert également à identifier les principaux facteurs qui contrôlent la chimie des eaux souterraines **(Dagnelie, 2006).**

En **1970, Kaiser** a proposé d'utiliser uniquement les facteurs ayant des valeurs propres supérieures à 1. Selon ce critère, seuls les facteurs ayant des valeurs propres supérieures ou égales à 1 seront acceptés comme sources possibles de la variance dans les données, attribuant la plus haute priorité au facteur ayant le vecteur propre le plus élevé somme. La raison de choisir le seuil 1 est qu'un facteur pour être acceptable doit avoir une variance aussi grande que celle d'une seule variable standard normalisée **(Belkheiri et al. 2010).**

II .2.1.3 Classification ascendante hiérarchique

II .2.1.3.1. Principe de CAH

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est également une autre méthode de nombreuses techniques statistiques, la méthode de classification itérative dont le principe est simple. Le principe de la CAH est de rassembler des individus selon un critère de ressemblance défini au préalable qui s'exprimera sous la forme d'une matrice de distances, exprimant la distance existant entre chaque individu pris deux à deux. Deux observations identiques auront une distance nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance sera importante. La CAH va ensuite rassembler les individus de manière itérative afin de produire un dendrogramme ou arbre de classification. La classification est ascendante car elle part des observations individuelles; elle est hiérarchique car elle produit des classes ou groupes de plus en plus vastes, incluant des sous-groupes en leur sein. En découpant cet arbre à une certaine hauteur choisie, on produira la partition désirée.

II .2.1.3 .2 Avantages de la classification ascendante hiérarchique

- La méthode de classification hiérarchique (CAH) porte les avantages suivants :
- On travaille à partir des dis-similarités entre les objets que l'on veut regrouper. Donc on peut choisir un type de dis-similarité adapté au sujet étudié et à la nature des données.
 - L'un des résultats est le dendrogramme, qui permet de visualiser le regroupement progressif des données. On peut alors se faire une idée d'un nombre adéquat de classe dans lesquelles les données peuvent être regroupées.



Partie 2

***Chapitre III : Outils d'interprétations
des résultats hydro chimiques***

Introduction

Pour mieux caractériser l'hydrochimie des eaux souterraines, plusieurs méthodes peuvent être appliquées. Dans le cadre de notre étude, on a utilisé les méthodes principales les plus connues le diagramme de Piper et le diagramme de Scholler et Berkloff ,Riverside, Wilcox.

II.3.1. Utilisation des représentations graphiques

II.3.1.1 Diagramme de Piper

- Le diagramme de Piper comporte un losange et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent parties égales correspondantes à des pourcentages d'ions par rapport à la concentration des ions de même signe . un triangle pour cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et un triangle pour anions (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}), le losange représente une matrice de passage des triangles des anions et des cations. Il est très fréquemment utiliser et donne de très bon résultats.
- Ce type de diagramme permet une classification simple des eaux selon les faciès, ainsi La comparaison relative des concentrations des cations et anions. Il utiliser les éléments majeur pour représenter les déférents faciès des eaux souterraines et Identification des ions dominants.

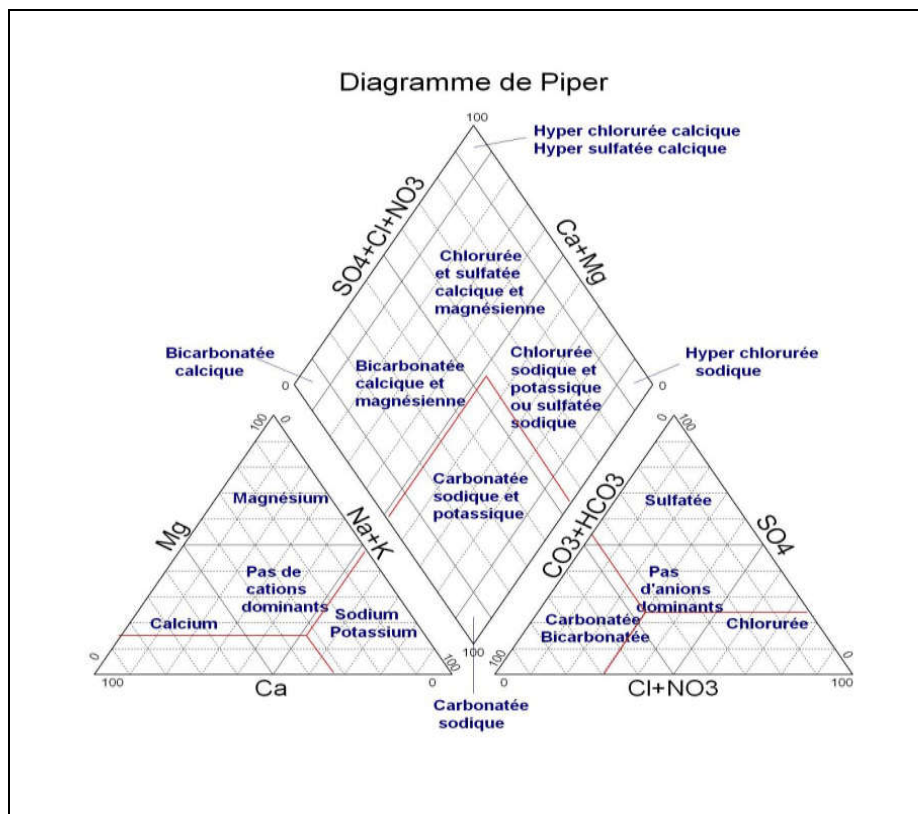


Fig. II. 13 : Diagramme de Piper

II.3.1.2 Diagramme de Schoeller et Berkaloff

Le diagramme semi logarithmique vertical mis au point par Schoeller et Berkaloff. Permet de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques verticales équidistantes en (mg/l) et (meq/l). ainsi l'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès chimique de l'eau et facilite sa comparaison.



Fig. II. 14 : Diagramme de Schoeller et Berkaloff

II.3.1.3 Diagramme de RIVESIDE ou SAR

L'aptitude d'une eau à l'irrigation est souvent évaluée en s'intéressant aux risques de salinité et de sodicité que cette dernière peut engendrer sur le sol, la conductivité électrique (CE) et le SAR sont les principaux critères à prendre en considération pour évaluer ces risques; pour faciliter l'interprétation de la qualité des eaux à l'irrigation, on utilise des diagrammes dont le plus commode est celui de Richards (**RICHARDS, 1954**).

II.3.1.4 Diagramme de WILCOX

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule du pourcentage de Na^+ , elle s'écrit comme suit:

$$\% \text{Na} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) * 100 / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+ + \text{k}^+)$$

La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définie cinq classes: excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise (**SEDRATI, 2011**).



Partie 3
Chapitre I : Résultats et discussions

Introduction:

L'hydrochimie est utilisée comme outil de compréhension des circulations au sein de l'aquifère. L'étude de la répartition dans l'espace et de l'évolution dans le temps des concentrations en ions majeurs, vient compléter et préciser le schéma lithologique et celui des circulations d'une part, et d'illustrer les effets et risques éventuels provenant des activités anthropiques qui influent sur la qualité physicochimique des eaux souterraines d'autre part.

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier leurs faciès chimiques, ainsi que leur qualité d'eau d'irrigation. Cette étude permet également de suivre l'évolution spatiale des paramètres chimiques.

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la qualité des eaux, pour cela nous avons utilisé dans notre travail les techniques statistiques multivariées telles que :Analyse en composante principale(ACP) ; analyse factorielle (AF) et la classification ascendante hiérarchique (CAH).

Dans ce chapitre, nous avons procédé à l'étude des résultats des paramètres physico-chimiques des eaux de nos forages de la région de Boussaâda et leurs interprétations.

III.1 Principaux paramètres physico-chimiques

Les résultats de nos eaux sont résumés au tableau III.8.

III.1.1 Paramètres physiques

L'étude de ces paramètres est très importante dans la détermination de la qualité des eaux d'irrigation, il s'agit de: la température, la conductivité électrique, le potentiel hydrogène.

Tableau III.8: Résultats physiques des eaux de forages de la région de Boussaâda

N° forages	Paramètre physique		
	T (C°)	Ph	CE (µS /cm)
P1	22	7.4	2800
P2	21.7	7.6	2540
P3	21.5	7.2	2300
P4	21	6.9	1643
P5	21	6.9	2530
P6	22	7.3	4090
P7	22.2	7.1	1600
P8	22	7.2	1900
P9	21	7.4	1369
P10	24	7.2	803
P11	23	7.2	1800
P12	23	7.1	2800
P13	23.2	7.1	3000
P14	23.5	7.5	1336
P15	20	7.4	2620

III.1.1.1 Température

La température des eaux est en fonction soit du climat ou de la profondeur. C'est un paramètre qui permet de distinguer les eaux de surfaces à celles souterraines (Elie, Sauret 2005), ainsi qu'il joue un rôle essentiel dans la solubilité des sels et de gaz, donc sur la conductibilité.

La figure n° 15 montre que les valeurs de température mesurées des différents points d'eaux de la zone d'étude varient entre 20 C° au forage F15 et 24 C° au forage F10. Selon les normes algériennes des eaux souterraines, la température est fixée à 25°C, les valeurs des eaux de forages étudiés ne dépassent pas cette norme ainsi selon la grille standard multi-usage d'appréciation globale de la qualité d'eau (voire l'annexe 1).

On peut dire que:

- les forages (F2, F3, F4, F5, F9, F15) représentent des eaux de bonne qualité
- Les forages (F1 , F6 ,F7, F8, F10, F11, F12, F13, F14) sont de qualité médiocre.

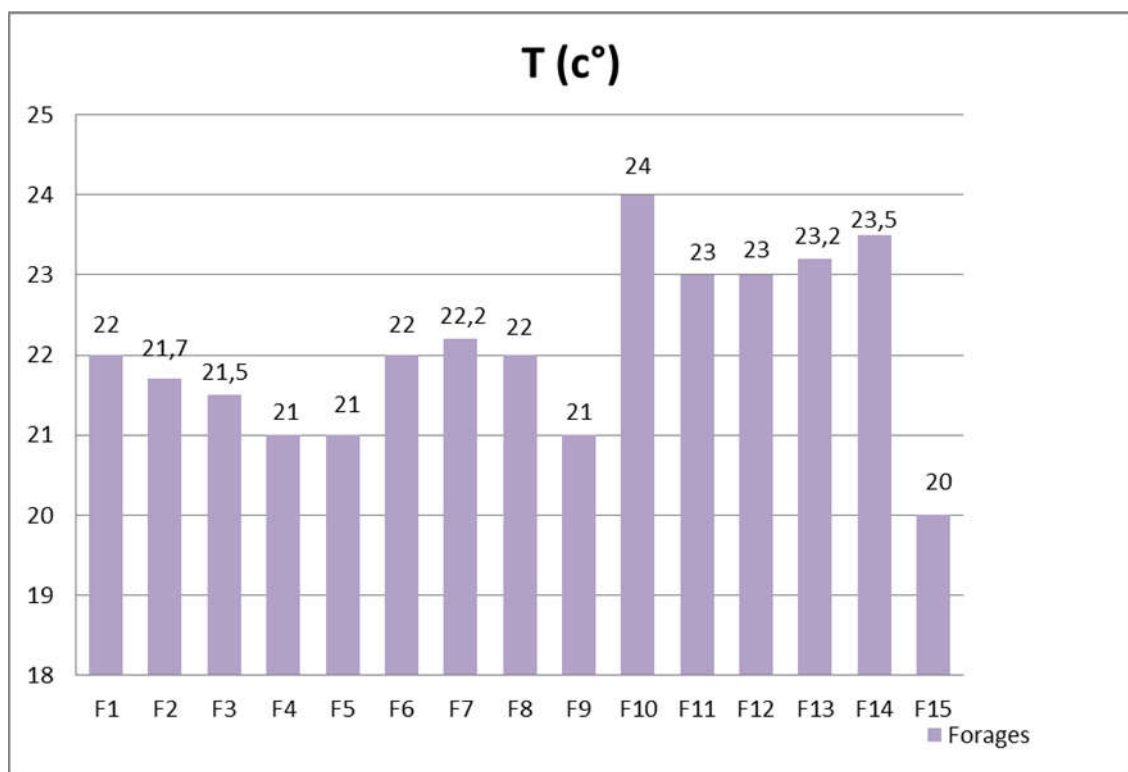


Fig.III. 15 : Variation de la température des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.1.2 Potentiel d'hydrogène

Le pH est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau et par conséquent sa concentration en ions (H^+), ce qui en exprime l'acidité ou l'alcalinité de l'eau .

La mesure de ce paramètre, montre que ses valeurs variant entre 6,9 comme une valeur minimale et 7,6 comme une valeur maximale. Elles sont alors de basse alcalinité .

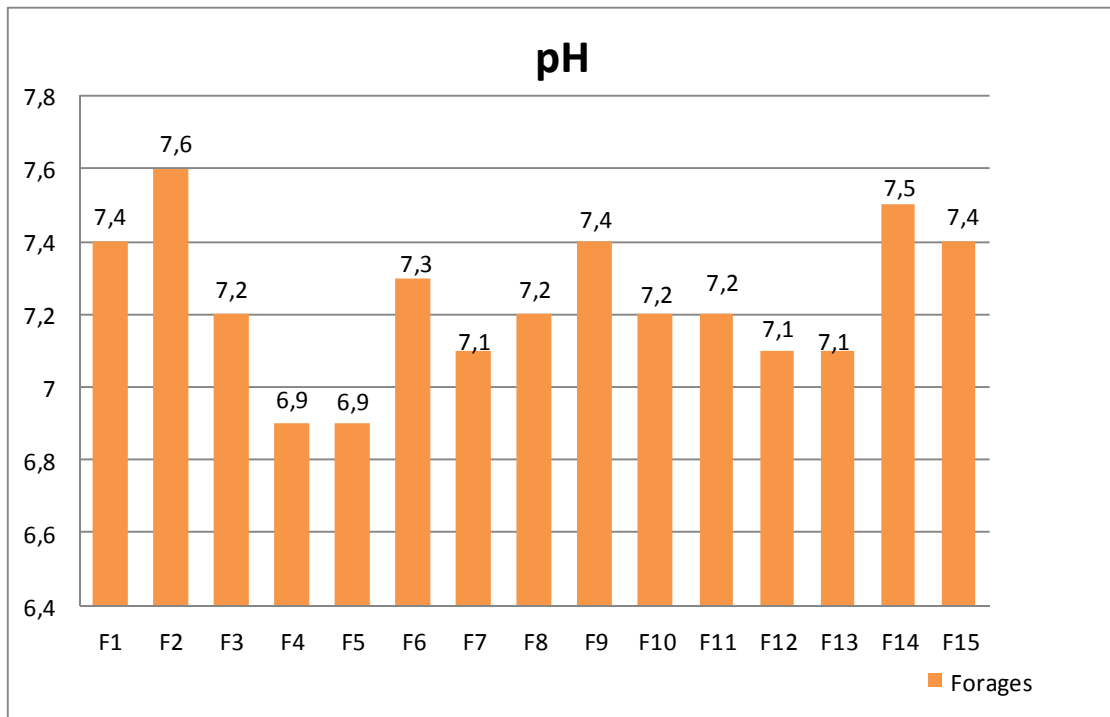


Fig.III. 16 : Variation du pH des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.1.3 Conductivité électrique

La conductivité électrique c'est un facteur qui permet traduit la quantité de sels contenue dans l'eau. Elle dépend de la concentration totale et la nature des ions présents dans l'eau et donne une estimation approchée de la minéralisation des eaux (Zidouni , 2020).

L'histogramme (Figure III.17) montre que la valeur minimale est de 803 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée au forage F10 et la valeur maximale 4090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée au forage F6 . Selon les normes de la grille standard multi usage d'appréciation global de la qualité d'eau, la quasi-totalité les eaux de la région sont d'une qualité médiocre sauf pour les forages F6 et F13 qui représentent des eaux de mauvaise qualité.

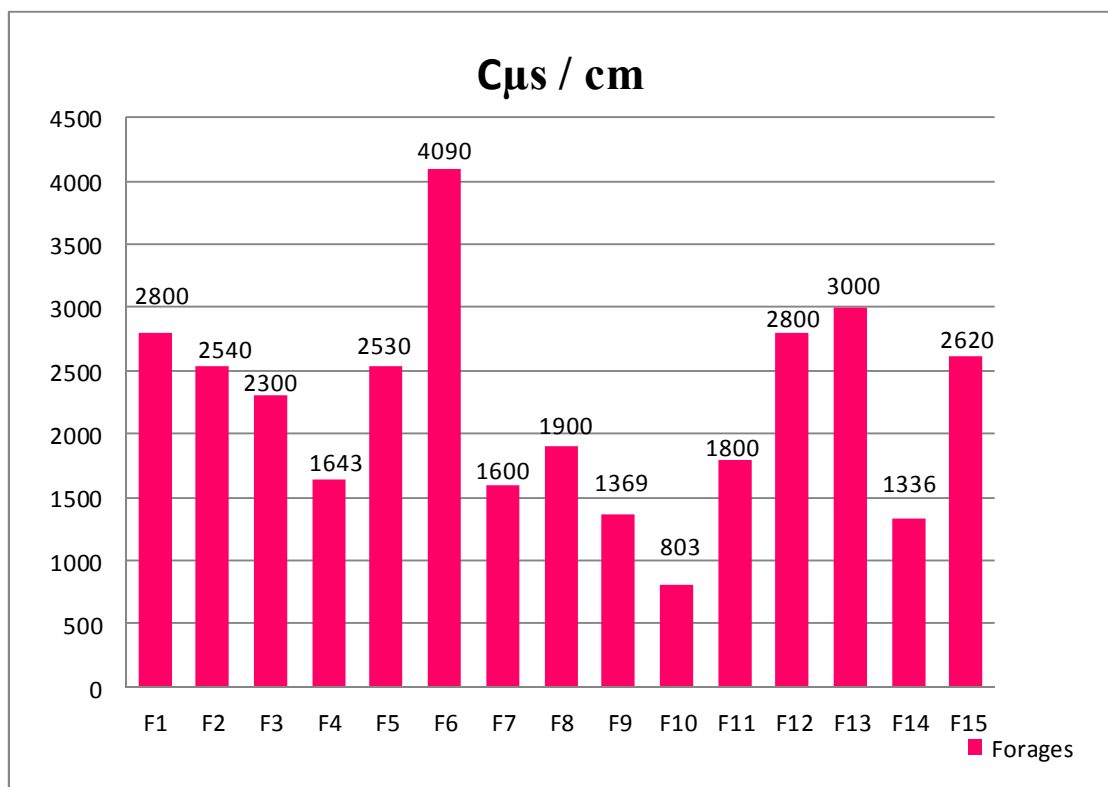


Fig.III. 17 : Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2 Paramètres chimique

L'eau est un excellent solvant, donc facilement polluée. Le processus de dissolution d'une substance est une destruction de sa cohésion interne. Cette cohésion est due à des forces interatomiques (liaisons chimiques fortes, covalentes, électrovalences ou ioniques) et intermoléculaires (liaisons de cohésion entre molécules, du type liaisons hydrogène et liaisons de Van Der Waal). La solubilité des gaz, des liquides et des solides est principale cause de pollution des eaux (BAZA , 2006)

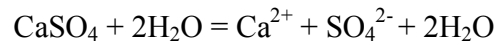
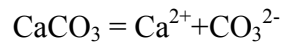
Tableau III.9: Résultats chimiques des eaux de forages de la région de Boussaâda

	Paramètre chimique							
	Cations (mg/l)				Anions (mg / l)			
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻
F1	311	95	175	1	95	280	88	922
F2	411	107	285	1	93	595	87	1361
F3	159	81	75	4	51	125	44	638
F4	201	60	93	1	183	155	91	500
F5	215	110	160	9	123	285	73	800
F6	131	75	100	7	102	140	38	550
F7	289	126	123	6	90	385	240	813
F8	251	75	126	1	164	200	76	620
F9	292	91	115	9	122	177	25	1000
F10	141	73	88	2	305	124	27	350
F11	93	31	37	1	159	95	118	78
F12	94	101	140	8	204	218	30	488
F13	88	90	233	7	88	343	22	588
F14	215	58	59	2	207	155	35	450
F15	300	152	154	3.15	171	116	23	1212

III.1.2.1 Cations

III.1.2.1.1 Calcium (Ca^{2+})

Il représente l'élément principal de la dureté totale de l'eau. Son origine naturelle provient principalement soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) soit la dissolution des formations du gypse (CaSO_4) (**Zidouni , 2020**).



Selon l'histogramme à la figure n°18, les valeurs du calcium varie entre un minimum de 88 mg/l au forage (F13) et un maximum de 411 mg/l au forage (F2).

Selon les normes du grille standard multi usage d'appréciation global de la qualité d'eau, les eaux des forages (F3 ,F6 ,F10 , F11, F12 et F13) sont d'une très bonne qualité vis-à-vis du paramètre calcium , tandis que celles (F1, F2 , F4, F5 , F7, F8, F9, F14 , F15) sont de mauvaise qualité (**voire l'annexe1**).

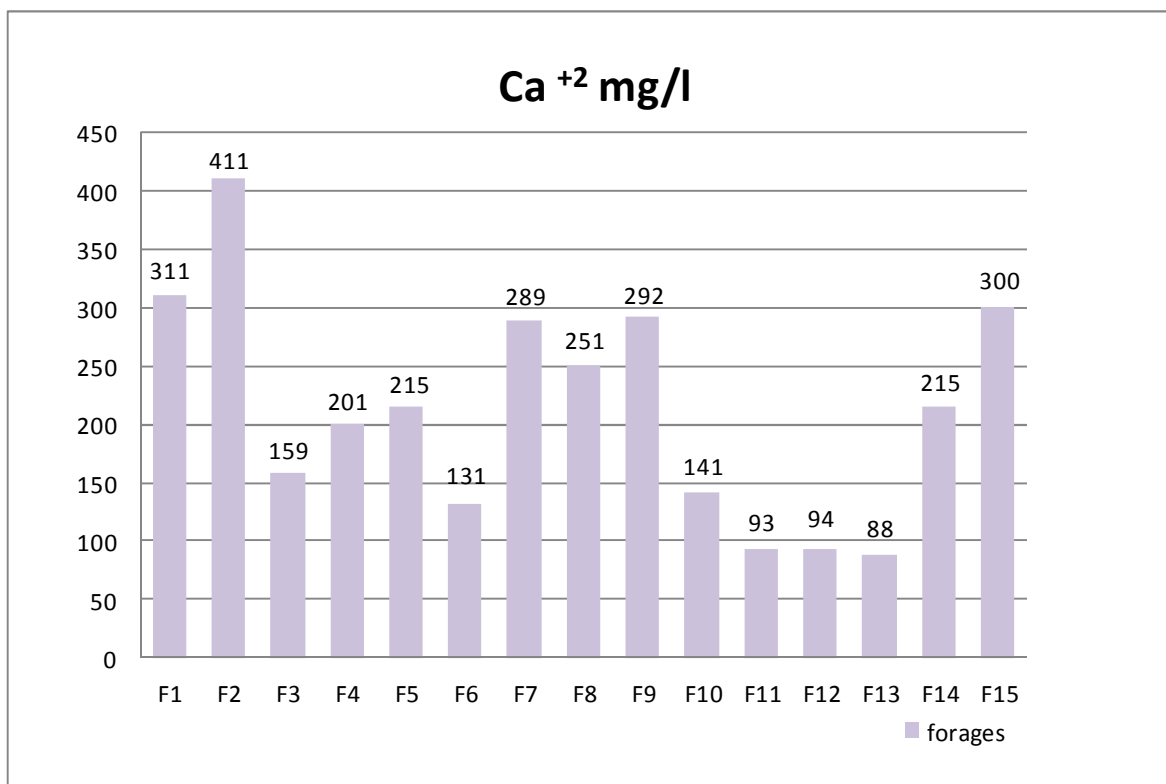


Fig.III. 18 : Variation du Calcium des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2 .1.2 Magnésium (Mg^{2+})

Second élément intervenant dans la dureté totale de l'eau (Zidouni , 2020). Et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens (Amroune, 2008).

Dans notre région d'étude, Les teneurs en des eaux des 15 forages étudiés sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est 200 mg/l édictée par les normes algériennes sauf pour le forage F15.

La teneur minimale du magnésium est enregistrée au forage F11 avec 31mg/l alors que la teneur maximale est enregistrée au forage F15 avec 152mg/l qu'on peut les considérer comme des eaux magnésiennes. ($Mg^{2+} < 50 \text{ mg/L}$).

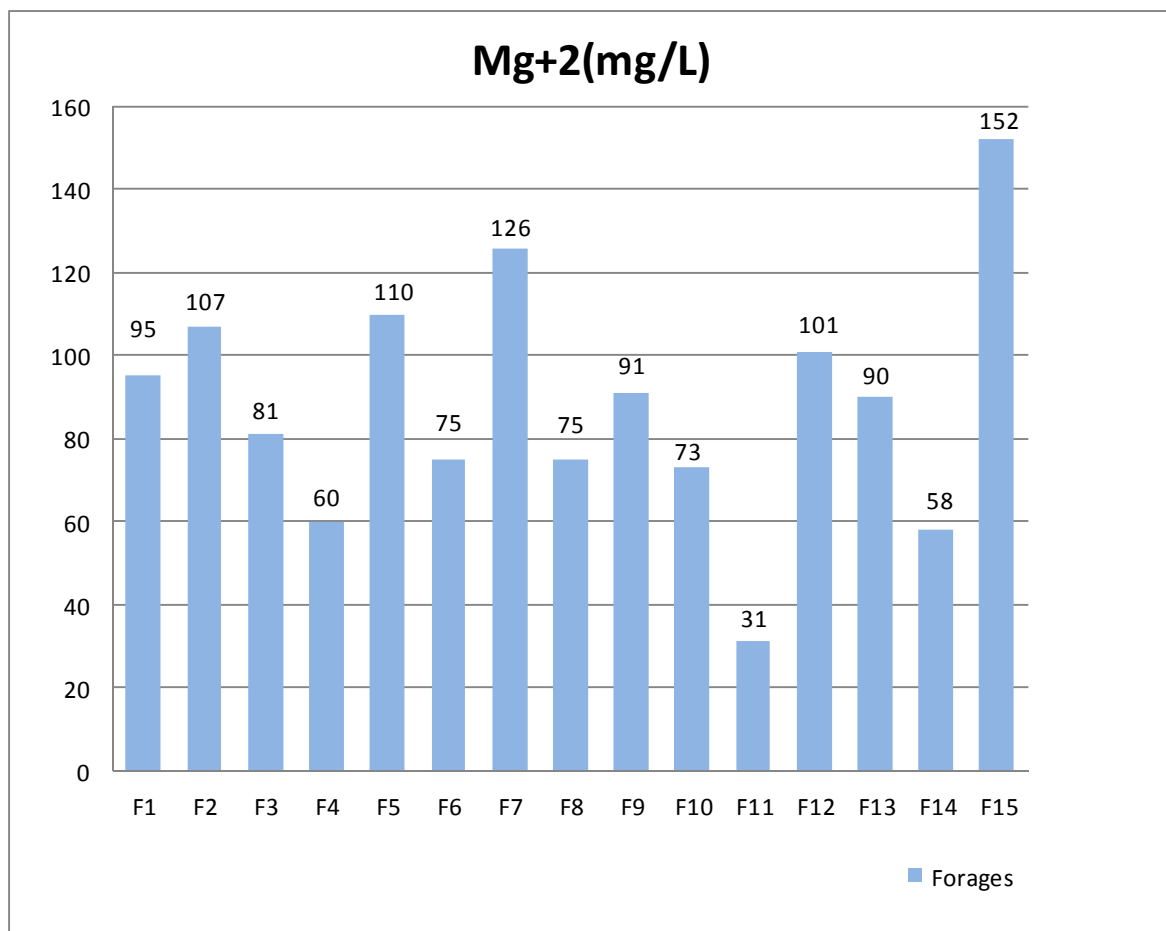


Fig.III. 19 : Variation du magnésium des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2 .1.3 Sodium (Na^+)

Le sodium provient de la dissolution de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des formations argileuses ainsi que des eaux d'origine industrielle.

Les teneurs en Na^+ de tous les points d'eau se trouvent dans la norme algérienne ($< 200 \text{ mg/l}$) à l'exception des points F2 et F13.

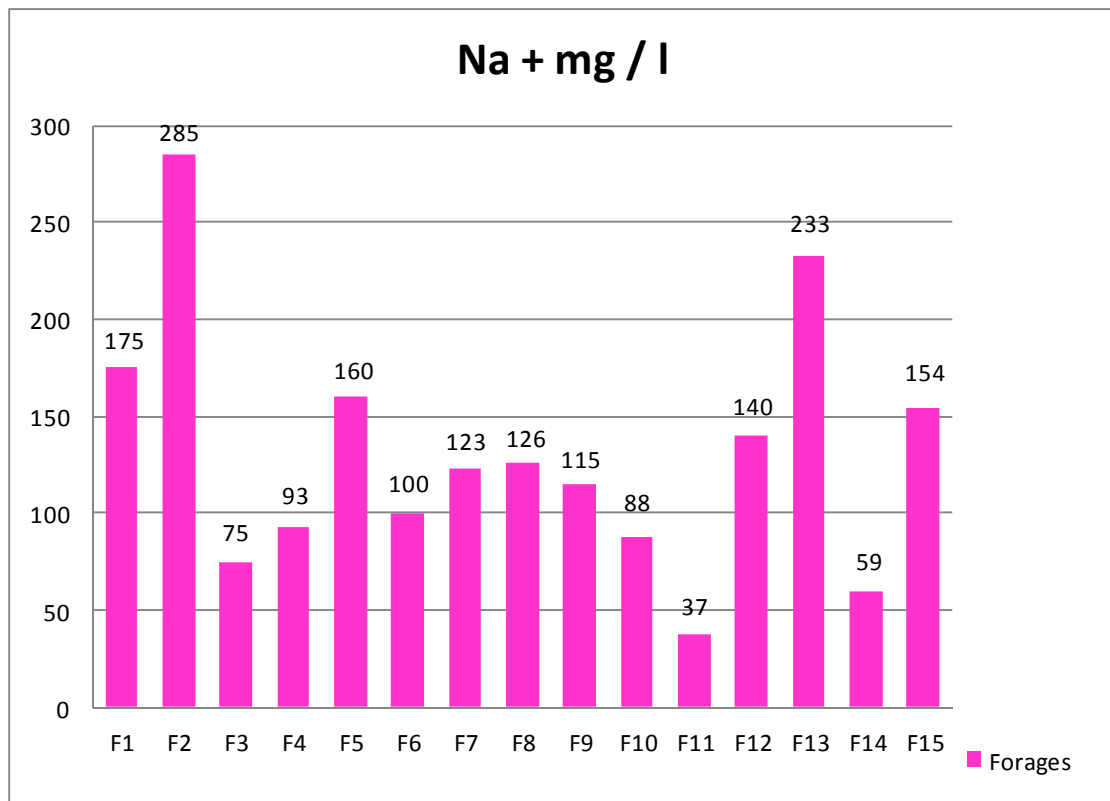


Fig.III. 20 : Variation du sodium des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2.1.4 Potassium (K^+)

Le potassium est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point (Zidouni , 2020). le sodium est rarement présent dans l'eau, Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels.

Les teneurs en potassium montrent un maximum au forage (F5 et F9) avec 9mg/l et un minimum au les forages (F1, F2 ,F4,F8,F11) avec 1mg/l.

Les teneurs en K^+ de tous les forages sont dans la norme ($< 12 \text{ mg/l}$).

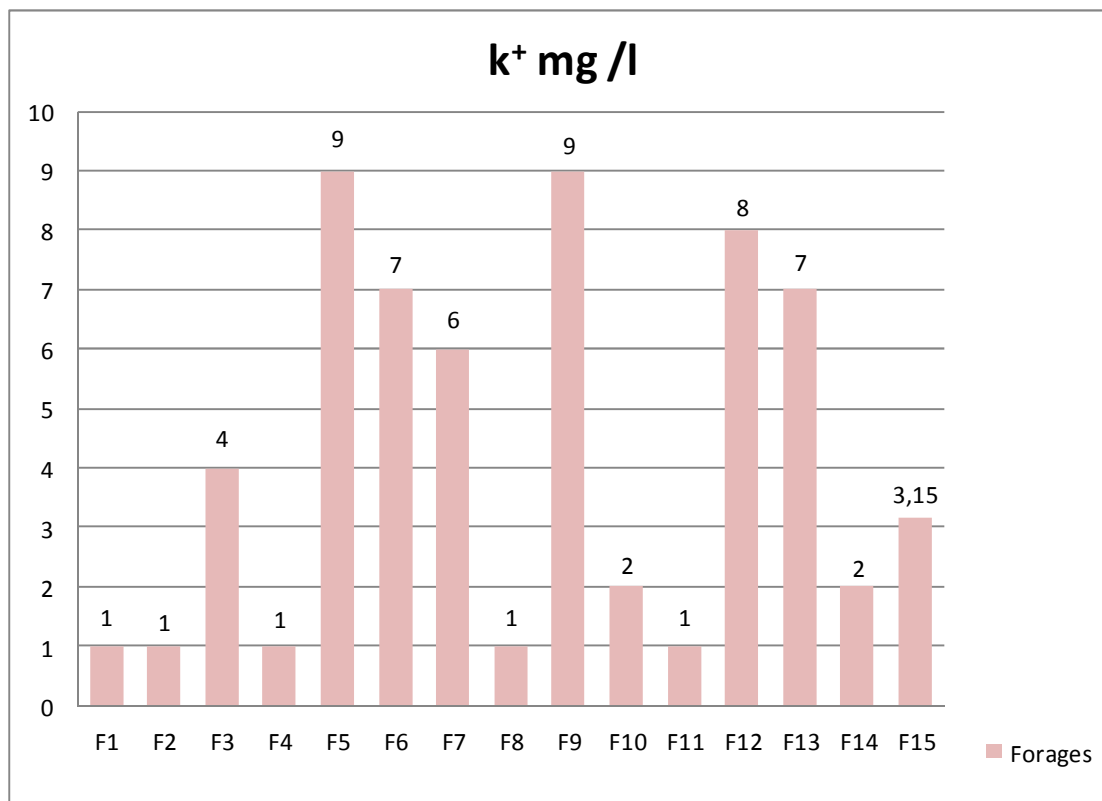


Fig.III. 21 : Variation du potassium des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2.2 Anions

III.1.2.2.1 Bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées qui entourent la nappe.

Les eaux de la région d'étude présentent des teneurs en bicarbonates comprises entre la valeur minimale de 51 mg/l marquée au niveau de forage F3 et la valeur maximale de 305 mg/l enregistré au forage F10.

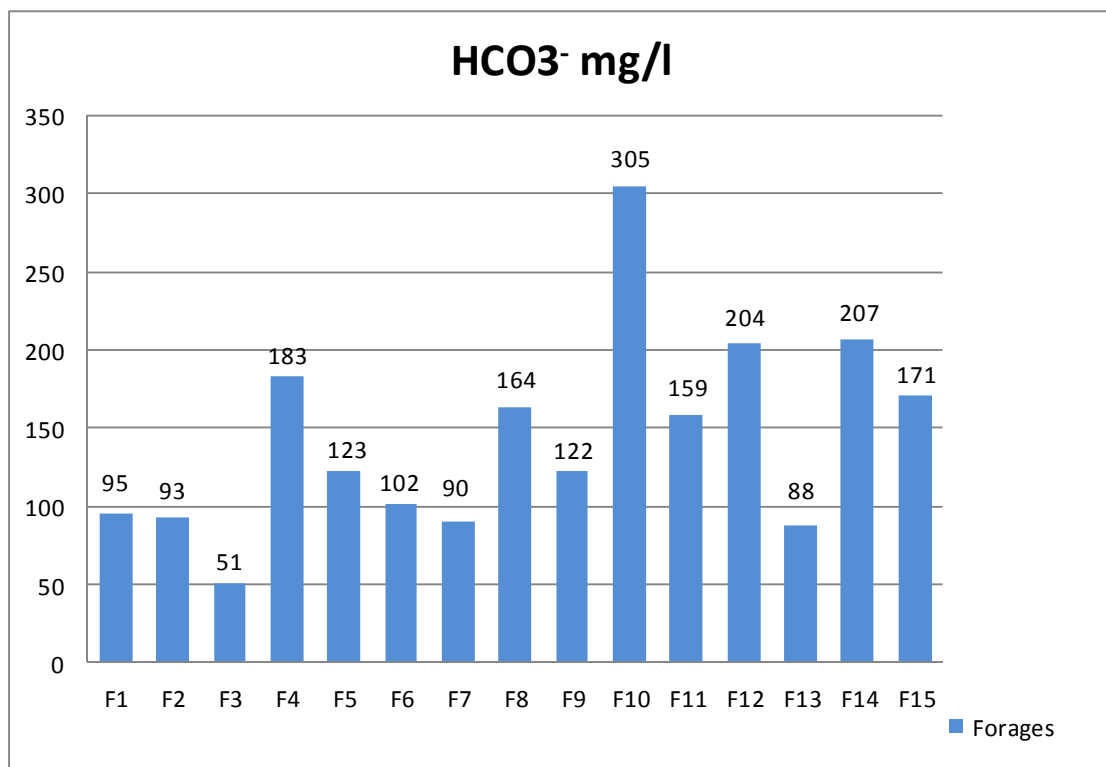


Fig.III. 22 : Variation des bicarbonates des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2 .2.2 Chlorures (Cl⁻)

La teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. (Zidouni , 2020).

Les eaux de la région d'étude présentent des teneurs en chlorures comprises entre la valeur minimale est enregistrée (F11) avec 95 mg/l et la valeur maximale est enregistrée au niveau de forage (F2) avec 595mg/l.

Selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eaux

- De bonne qualité pour les forages (F3 , F6, F10 , F11 ,F15)
- De moyenne qualité pour les forages (F1 , F4, F5, F8, F9 , F12 , F14)
- De mauvaise qualité les forages (F7 , F13)
- De très mauvaise qualité en forage (F2)

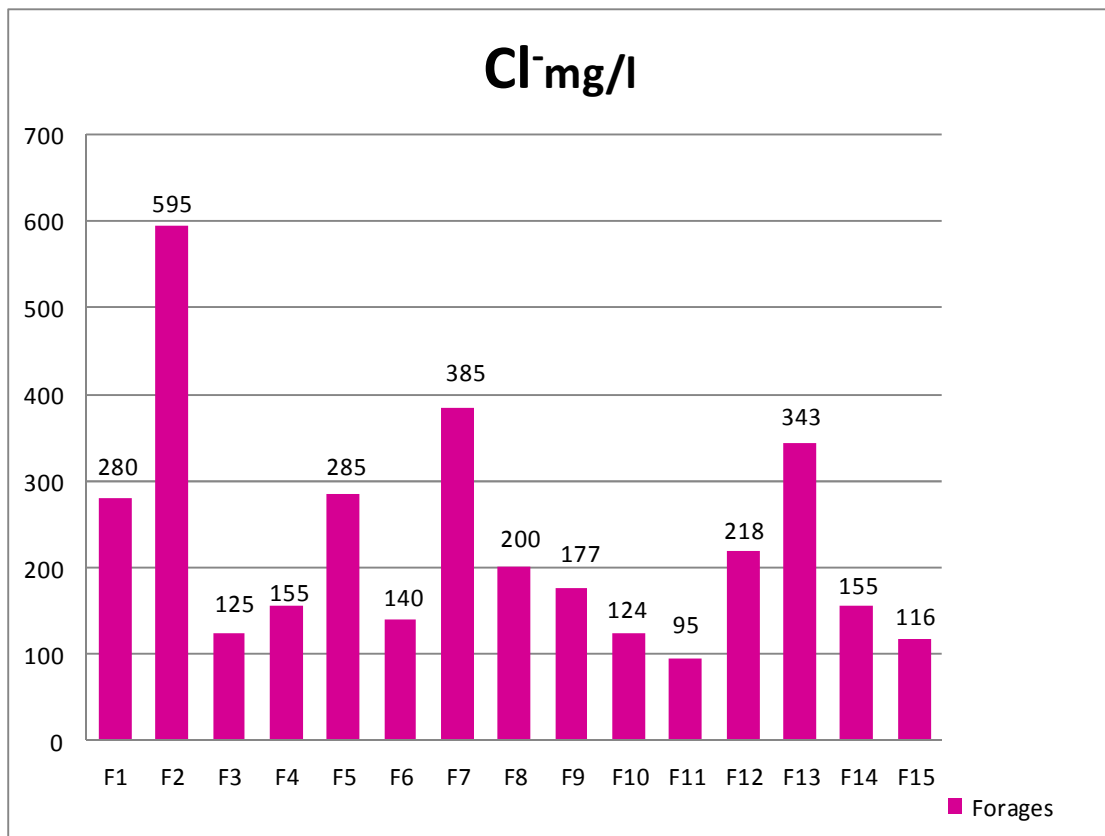


Fig.III. 23 : Variation des chlorures des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2 .2.3 Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuse peut avoir plusieurs origines, des formations plus récentes comme les argiles, ils dépendent aussi des rejets urbains et industriels.

Les résultats des eaux de la zone d'étude donnent des teneurs en sulfates varient entre la valeur minimale de 78 mg/l enregistrée au niveau de forage F11 et la valeur maximale de 1361 mg/l au forage F2 (**Figure III.24**)

Ces concentrations sont supérieurs a la norme proposé > 400 mg/l selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eaux. Ces eaux sont de très mauvaise qualité sauf pour les forages F10 et F11 qui sont de bonne qualité (**voire l'annexe 1**).

Comme explication, on peut dire que les eaux étaient en contact avec des formations gypseuses de la région d'étude et l'influence des eaux salées provenant du Chott.

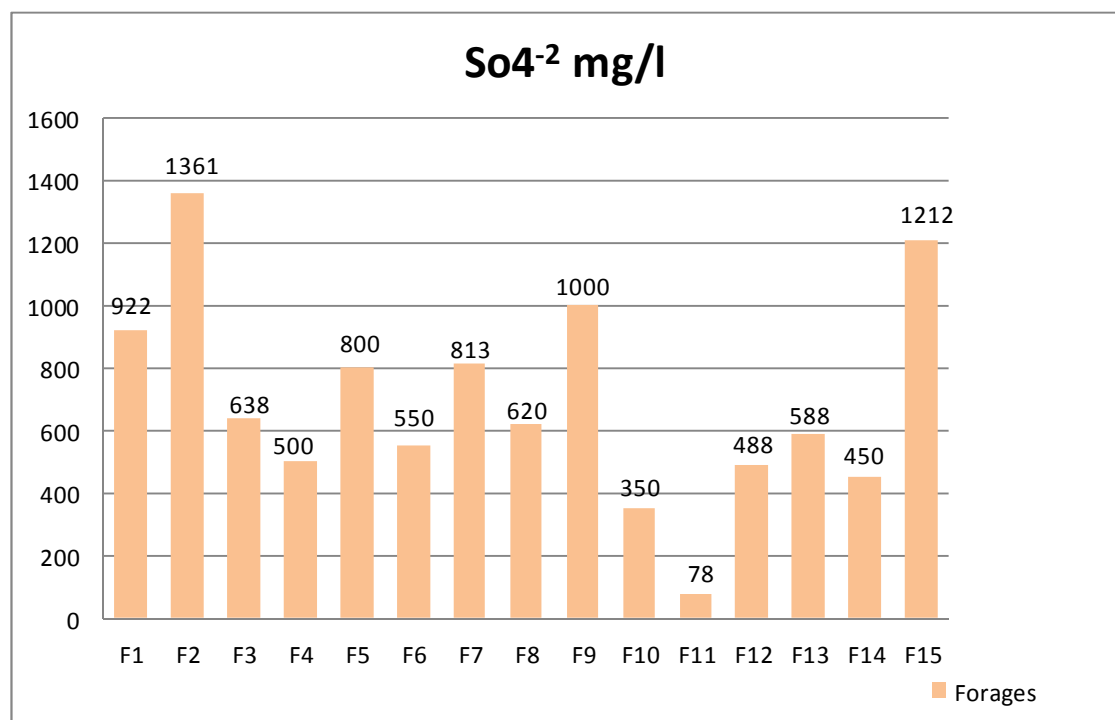


Fig.III. 24 : Variation des sulfates des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.1.2 .2.4 Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques utilisé en agriculture.

Les valeurs de NO_3^- varient entre 22 mg/l au forage F13 et 240 mg/l au forage F7.

Ces valeurs nous amène à juger que nos eaux sont :

- De bonne qualité pour les forages (F9 , F13, F15)
- De moyenne qualité pour les forages (F3 , F6, F10, F12, F13)
- De mauvaise qualité les forages (F5 , F8)
- De très mauvaise qualité les forages (F1, F2 ,F4, F5, F11)

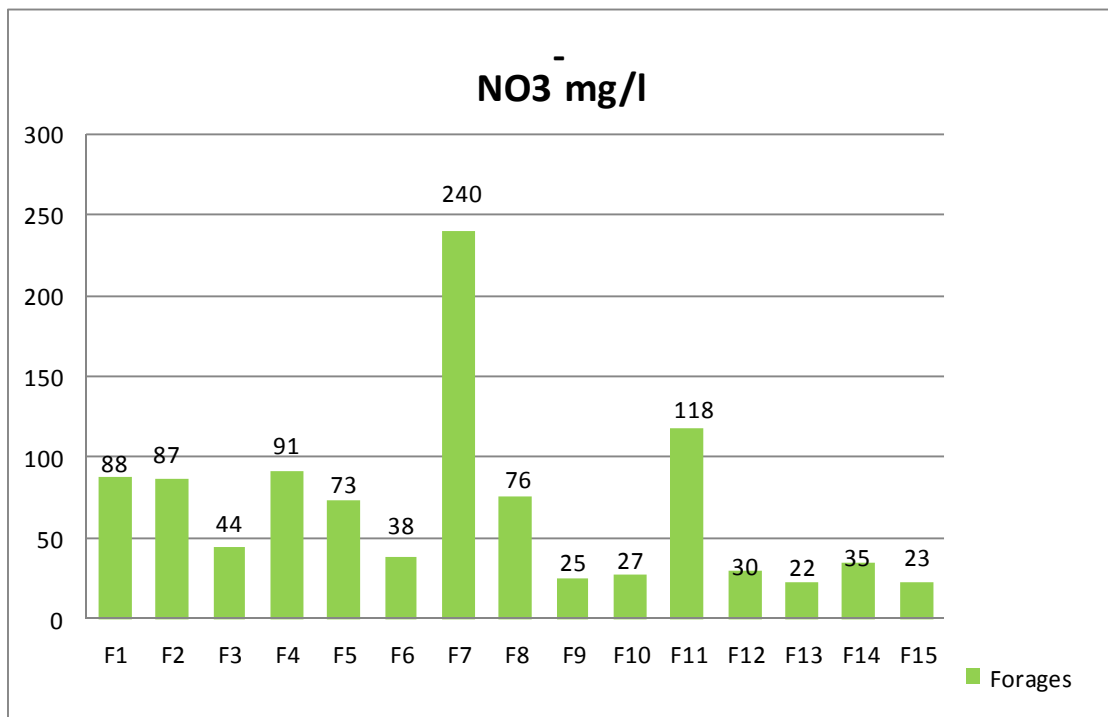


Fig.III. 25 : Variation des nitrates des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.2. Représentation graphique des faciès hydro chimiques

Afin but d'identifier bien les faciès hydro-chimiques et d'obtenir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil indispensable. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé des diagrammes de Piper, Schoeller-Berkaloff, Wilcox et Riverside qui ont été réalisés à l'aide du logiciel « Diagrammes ».

III.2.1 Classification des eaux selon Piper

Le diagramme de PIPER est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes des échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

La présentation des données sur ce diagramme (**Figure III.26**) a permis de distinguer que la plus part des eaux ont un faciès chimique ; chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

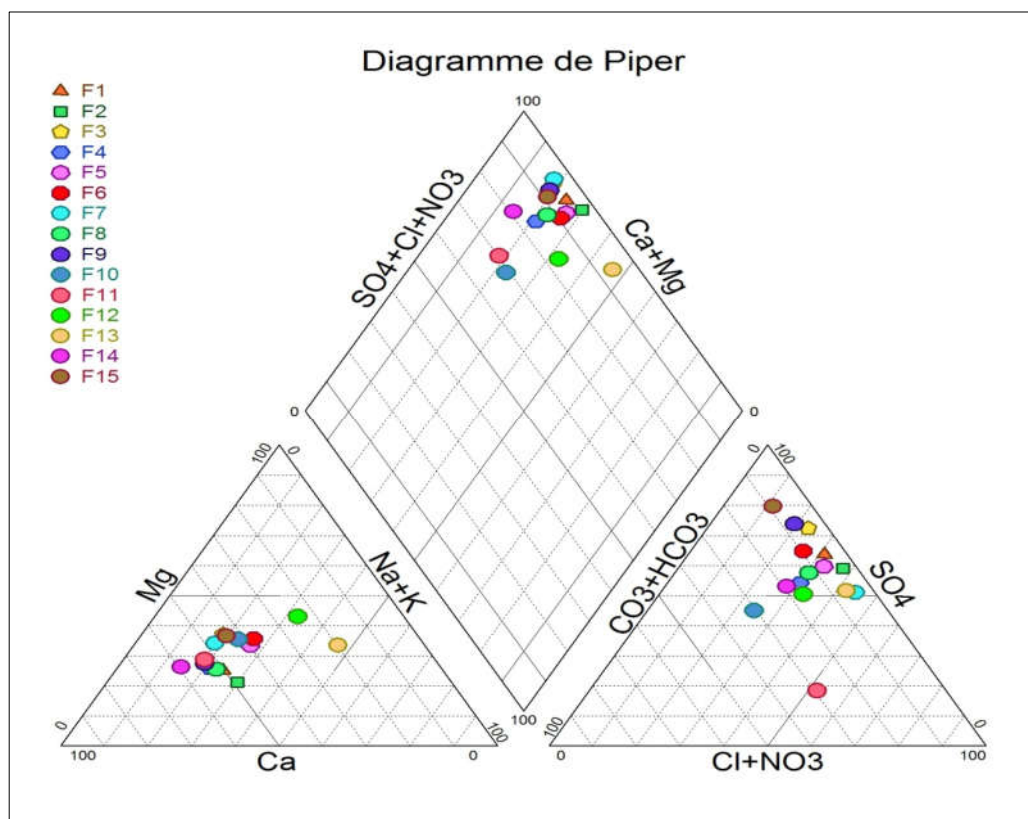


Fig.III. 26 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.2.2. Classification des eaux selon Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Ce type de diagramme permet de déterminer le pH d'équilibré (pH d'équilibre) qui donne une idée sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau.

L'analyse du diagramme de Schoeler Berkaloff (**Figure III.27**) montre que la majorité des eaux de la zone d'étude donnent un faciès chimique; Chloruré sulfaté calcique et magnésien.

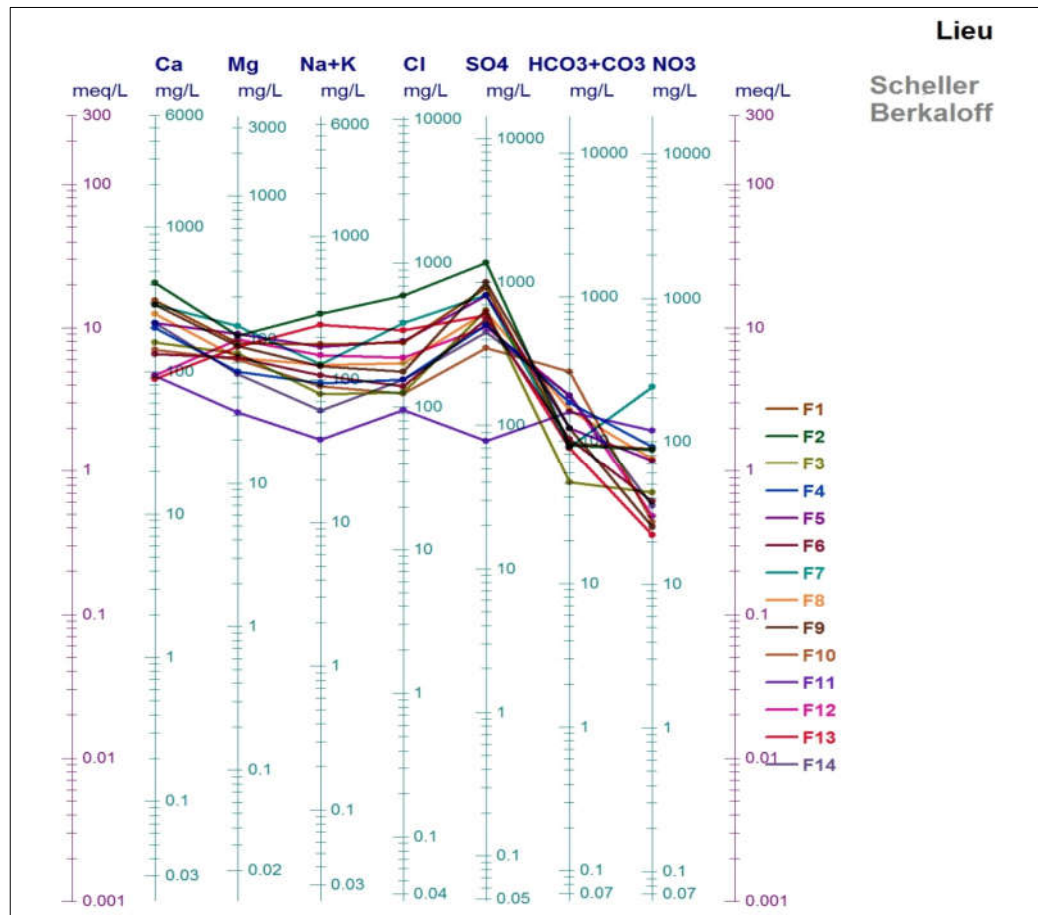


Fig.III. 27 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux souterraines de la région de Boussaâda

III.2.3. Classification des eaux selon Diagramme de Riverside

Pour voir l'aptitude des eaux souterraines de notre région à l'irrigation nous avons utilisé la méthode de l'alcalinité S.A.R (taux d'absorption du sodium). Pour mieux connaître l'aptitude des eaux à l'irrigation, on a calculé la quantité de sodium adsorbé (SAR) par l'équation suivante :

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

Les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} et sont exprimées en meq/l

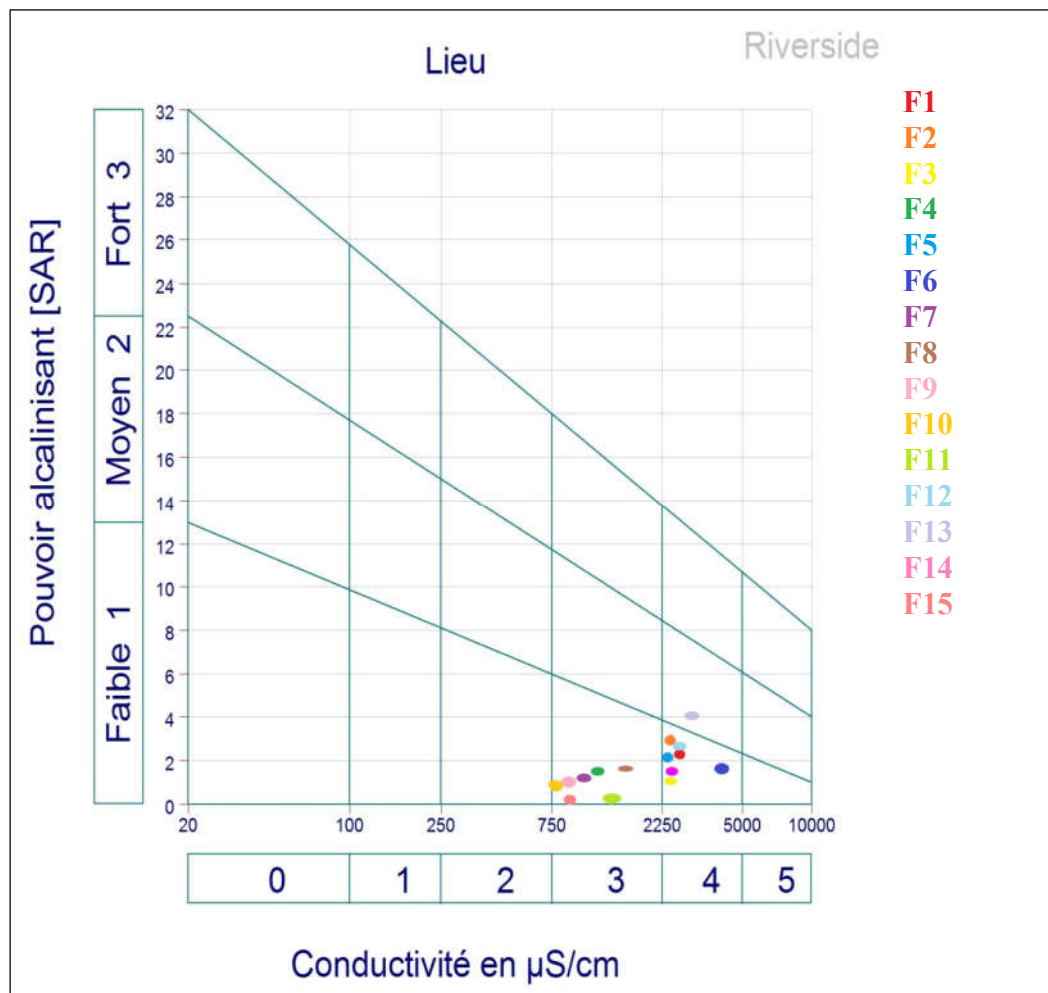


Fig.III. 28 : Classification des eaux d'irrigation de la région de Boussaâda sur le diagramme de Riverside

La Figure (III.28) montre que les eaux de la région de Boussaâda se répartissent au niveau des classes suivantes:

- C3S1 pour les eaux des forages ,F4,F7, F8,F9 ,F10,F11 ,F14, Elle reflète une eau de qualité moyenne à médiocre et à utilisé avec précaution (nécessité un drainage avec des doses de lessivage / au apport de gypse).
- C4S1 pour les eaux des forages, F1 ,F2 , F3,F5,F6, F12,F13 , F15 qui exprimé eaux de qualité médiocre à mauvaise (à utiliser avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessité une dose de lessivage et/ au apport de gypse).

III.2.4. Classification des eaux selon Wilcox

Selon (R. S. AYERS et D. W. 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.

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti au diagramme de wilcox. Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de Wilcox, fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau, pour examiner ce problème (wilcox ., 1955).

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

Les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} et K^+ sont exprimées en méq/l

Selon le diagramme de Wilcox et après la présentation des points de Na % et CE, les eaux des forages étudiées prennent les classes suivantes :

- Eau de qualité excellente exclusivement pour le forage F10
- Eau de bonne qualité représenté par les forages F4 , F7,F8 ,F9 ,F11,F13,F14
- Eau de qualité médiocre trouvé dans les points d'eau : F1 ,F2,F3,F5,,F12,F15
- Le F6 est caractérisée par une eau de mauvaise qualité

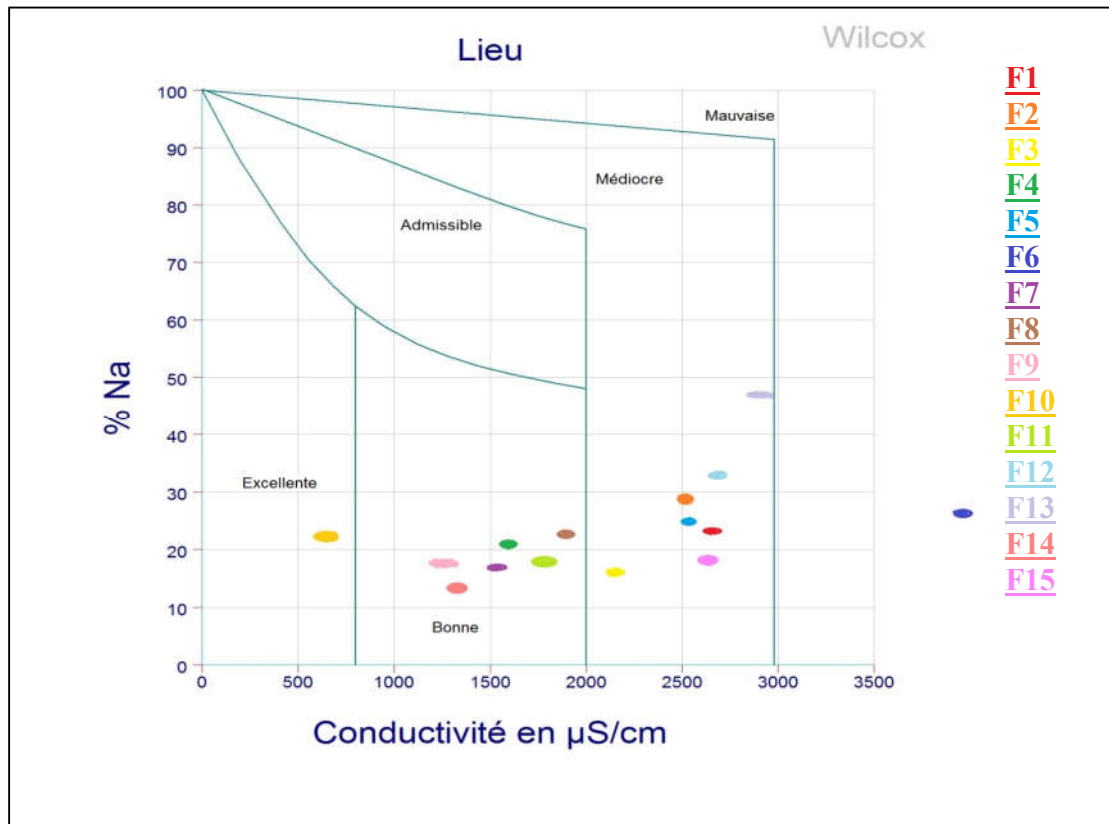


Fig.III. 29 : Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox

III.2.5. Indice de perméabilité (PI) :

Des études récentes (Younsi, 2001,) ont indiqué que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle l'indice de (IP) défini par (Doneen, 1964).

$$IP = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3}) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

Calculé par équation:

Les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} et K^+ sont exprimées en meq/l

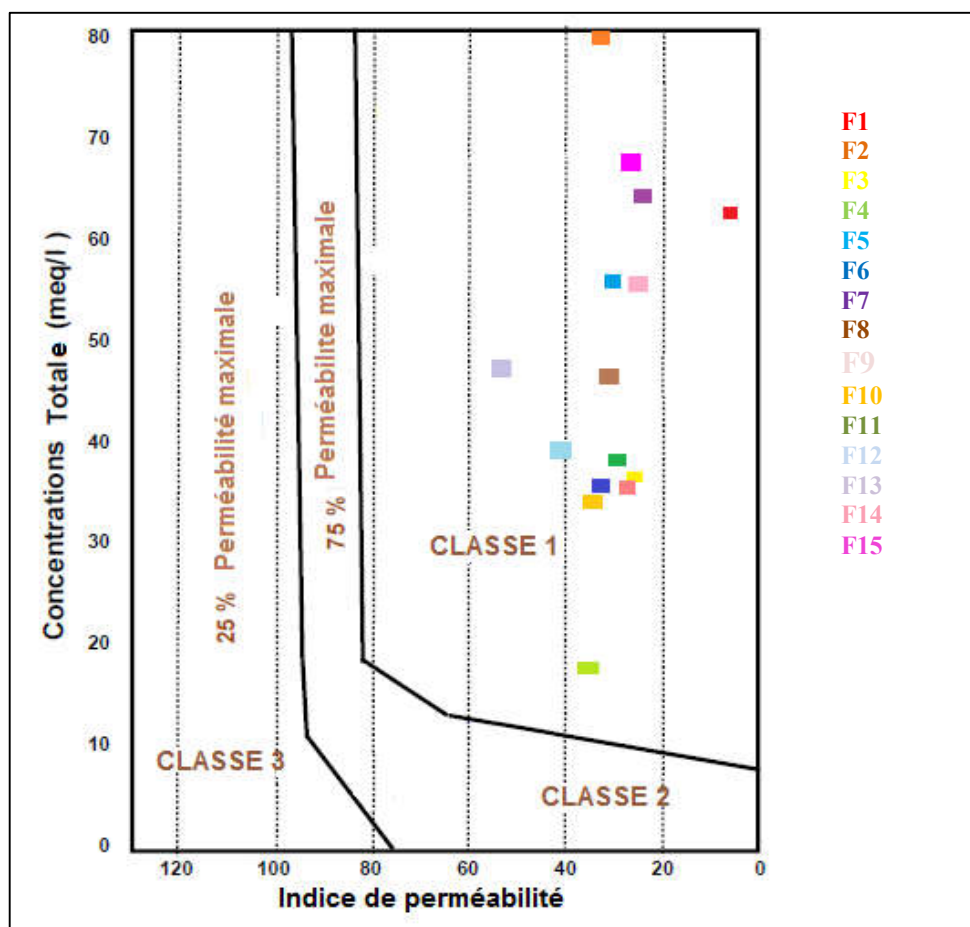


Fig.III. 30 : Classification des eaux selon l'indice de perméabilité du sol dans la plaine de Boussaâda

D'après la **Fig. III. 30**, il ressort que les échantillons d'eau souterraine de la région d'étude sont répartis comme suit: > 75 % se trouvent dans la classe 1

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

III.3. Etude statistique des données hydro-chimiques

III.3.1. Analyse Statistique Descriptive

L'analyse statistique des données hydro chimiques est basée sur la description quantitative (le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart -type et le coefficient de variation).

III.3.1.1 Le maximum et le minimum

Il représente la plus grande et la plus petite valeur de l'échantillon.

III.3.1.2 La moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique d'une série quantitative est définie par la somme des valeurs observées, divisée par l'effectif total.

III.3.1.3 L'écart type

L'écart-type observé correspond à la racine carrée de la variance observée.

III.3.1.4 Le coefficient de variation (CV)

Le coefficient de variation est le rapport entre l'écart-type et la moyenne.

III.3.2. Application de L'ACP sur des données chimiques des eaux de la plaine de Boussaâda

Au cours de ce travail, L'analyse effectuée est une A.C.P centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau de données à 10 variables (CE, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-) et à 15 échantillons d'eau au niveau de la plaine de Boussaâda.

L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel (**XLSTAT 2016**).

Cette analyse permet à déterminer la corrélation des variables et de regrouper ces variables en ensembles dans des familles de même origine . Ces ensembles des variables nouvelles, appelées composantes principales .

Tableau. III. 10 : Résultats statistiques des variables physicochimiques des eaux souterraines de Boussaâda Sont reportés dans le Tableau et comparés aux normes algériennes.

Variable	Norme Algérienne	Min	Max	Moy	Ecart-type	CV %
Ca^{+2}	75-200 mg / L	88	411	212.7	96,0	0.5
Mg^{+2}	< 150 mg /L	31	152	88.3	29.5	0.3
K^+	20 mg /L	1	9	4.1	3.2	0.8
Na^+	200 mg /L	37	285	130.9	65.1	0.5
SO_4^{-2}	200-400 mg /L	78	1361	691.3	334,0	0.5
NO_3^-	<50 mg /L	22	240	67.8	56.8	0.8
HCO_3^-	<350 mg /L	51	305	143.8	64.8	0.5
Cl^-	200-500 mg /L	95	595	226.2	134.2	0.6
CE	<2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$	803	4090	2208.7	830.3	0.38
pH	6.5-8.5	6.9	7.6	7.2	0.2	0.03

D'après le tableau ci-dessous (**Tableau III.10**) les ions Mg et CE présentent un CV < 0,5. Pour le reste des ions ainsi le pH, la dispersion est importante (CV > 0,5).

III.3.2.1 Matrice de corrélation

Le premier résultat de l'ACP qui apparait, est le coefficient de corrélation qui est couramment utilisé pour estimer la relation entre deux variables. C'est un outil statistique simple pour montrer le degré de liaison entre deux variables. La matrice de corrélation des neuf (10) variables a été présentée dans le tableau ci-dessous. (**Güler and al., 2002**)

Tableau III.11 : Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques des eaux souterraines de Boussaâda

Variables	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	CE	pH
Ca	1									
Mg	0,519	1								
Na	0,472	0,574	1							
K	-0,253	0,359	0,113	1						
Cl	0,548	0,415	0,841	0,047	1					
SO₄	0,854	0,788	0,706	0,096	0,586	1				
NO₃	0,294	0,090	-0,039	-0,158	0,383	0,024	1			
HCO₃	-0,265	-0,255	-0,378	-0,267	-0,438	-0,432	-0,285	1		
CE	0,623	0,571	0,425	0,521	0,590	0,225	-0,204	0,534	1	
pH	0,531	0,101	0,215	-0,316	0,193	0,461	-0,224	-0,081	0,037	1

Le coefficient de corrélation significatif d'après Mangin est $r = 0,518$ pour 10 couples de donnés.

Les valeurs de la CE présentent une grande corrélation positive (0,52 à 0,60) avec Mg^{2+} , Ca^{+} , K^{+} , Cl^{-} et HCO_3^{-} . Ceci traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge des eaux souterraines.

Les fortes teneurs de Na^{+} et SO_4^{2-} , détectés dans certaines échantillons peuvent suggérer la dissolution de halite et de sulfates.

III.3.2.2 Etude des variables et des individus

Trois composantes principales (CP) ont été retenues et les résultats montrent que les trois CP représentent 60 % de la variance totale, ce qui est bon et peut être utilisée pour identifier les principales variations dans l'hydrochimie.

CP1 représente environ 40% de la variance et il est déterminé par Mg^{2+} , Ca^{+} , K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} et HCO_3^{-} et SO_4^{2-} , (**Fig.III. 31**) C'est le facteur de la contamination par les sulfates et le sodium issue de l'effet du Chott El Hodna.

Le CP2, qui représente 19% de la variance totale est déterminé positivement par K^+ et CE (Fig.III.31). Ce facteur montre que la dissolution des évaporites ne se fait pas de la même manière que celle de formations carbonatées au Sud et à l'Est de la région d'étude. Ces deux facteurs montrent clairement que les eaux souterraines de la région du Boussaâda suivent deux processus différents dans la dissolution des minéraux. Celui des évaporites et celui des carbonates. Le processus se termine par une contamination par l'azote, issue de l'utilisation intense des engrais organiques et inorganiques.

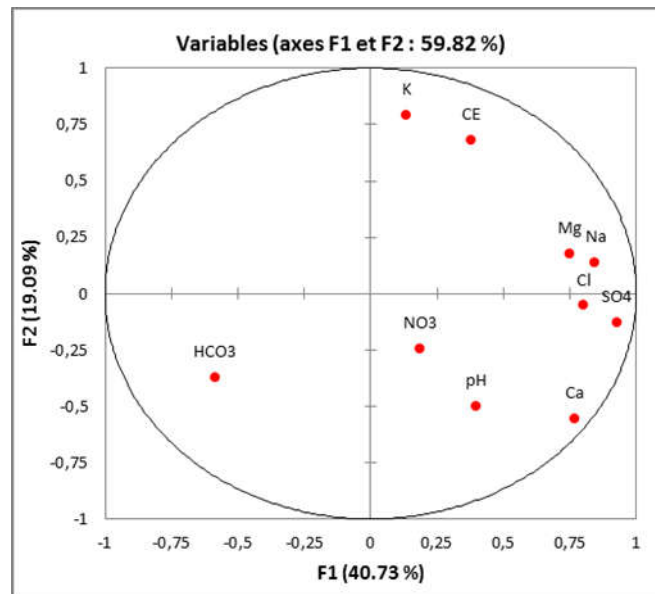


Fig.III. 31 : Plan des facteurs F1/F2

III.3.3 Application de CAH sur les résultats des données chimiques des eaux de la zone d'étude

Deux méthodes différentes peuvent être appliquées pour identifier les grappes, y compris les modes R ou Q (Dalton et Upschurch, 1978). Le mode R est habituellement appliqué aux variables de qualité de l'eau pour révéler leurs interactions, tandis que le mode Q indique les interactions entre les échantillons étudiés.

Dix variables de mesures hydrochimiques (CE, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-) ont été utilisées dans cette analyse.

Pour des objectifs statistiques, l'inspection visuelle était le seul critère pour sélectionner les groupes dans le dendrogramme Fig.III. 32 . La ligne de phénon définie par Sneath et Sokal (1973) a été choisie à une distance de liaison de 10 pour le mode R et 15 pour le mode Q.

À cette distance, les groupes peuvent être distingués en fonction de leurs variables hydrochimiques.

Comme le montre la **Figure.III. 32**, dix variables ont été classées en 03 groupes d'eaux souterraines. G1 a une faible salinité ($CE < 1600$ Ms / cm), tandis que G2 présente une salinité assez élevée ($CE > 2600$ Ms / cm) et G3 avec une forte salinité ($3900 < CE$ Ms / cm). G1 est formé par CE , Mg^{2+} , Ca^{+} , K^{+} , Cl^{-} et HCO_3^{-} . Le G2 concerne principalement des ions Na^{+} et NO_3^{-} , les variables restantes, SO_4^{-2} constituent le G3. Ces liaisons peuvent être interprétées parallèlement avec les tendances d'évolution définies dans l'étude hydrochimique de base. Les concentrations de Mg^{2+} , Ca^{+} et HCO_3^{-} peuvent être considérées comme les variables décrivant le processus de dissolution des carbonates qui se produisent dans les zones montagneuses au sud pendant la recharge de l'aquifère. Les variables Na^{+} et NO_3^{-} peuvent être en liaison avec le processus d'intrusion d'eau salée provenant du Chott El Hodna et l'effet agricole. SO_4^{-2} peuvent également être considérés comme liés au mécanisme de salinisation à cause de l'effet du Chott.

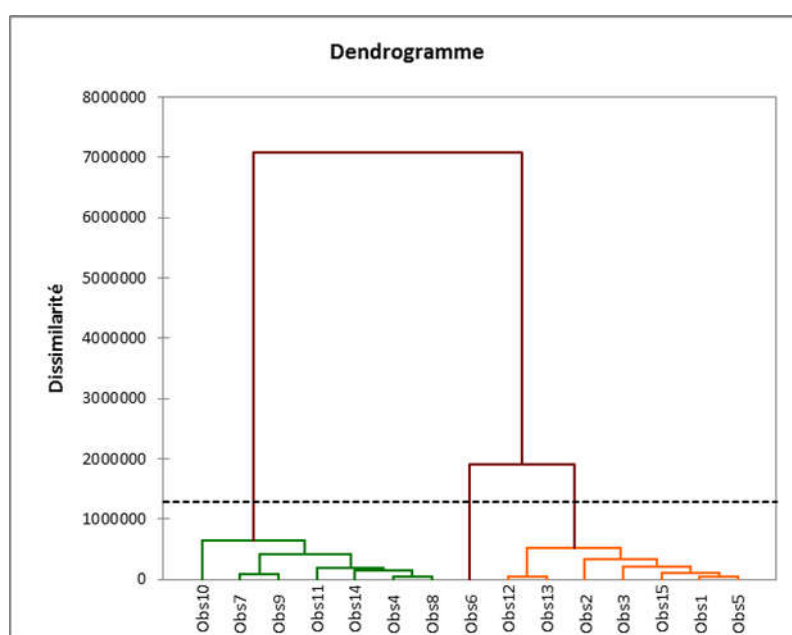


Fig.III. 32 Dendrogramme de l'analyse de faisceau hiérarchique

III.3.4 Analyse factorielle

Cette analyse a été réalisée sur 15 individus et 10 variables (pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-). (**Le tableau n° 12**) montre les valeurs propres des facteurs extraits et la proportion de la variance totale de l'échantillon expliquée par les facteurs. L'analyse génère 10 facteurs, mais seulement trois facteurs ont été retenus, ce qui représente 74% de la variance totale.

Le chargement des facteurs est classé comme «fort», «modéré» et «faible», correspondant à des valeurs de chargement absolu de 0,75, 0,75-0,50 et 0,5 respective **Upschurch 1978**).

Dalton et Upschurch (1978) ont montré que les scores des facteurs peuvent être liés à l'intensité d'une procédure particulière décrite. Les valeurs négatives extrêmes (près de -1) indiquent des zones essentiellement non affectées par le processus et les valeurs positives (près de +1) sont les zones les plus touchées.

Les variables CE, Mg^{2+} , Ca^+ , K^+ , Cl^- et HCO_3^- sont marquées par le facteur 1 (F1), qui explique 40% de la variance, Il a une liaison positive modéré avec ces variables (0,59, 0,56, 0,72 et 0,64) respectivement. Ainsi, le facteur1 (F1) peut être considéré comme un facteur de salinisation liée aux éléments évaporitiques et carbonatées. L'aquifère est constitué de roches évaporitiques, qui peuvent engendrer de fortes concentrations en ces éléments.

Tableau. III.12. Liaison variables-facteurs

	F1	F2	F3
CE	0,590	0,306	0,000
Mg^{2+}	0,563	0,031	0,002
Ca^{2+}	0,716	0,019	0,008
Na^+	0,019	0,624	0,000
K^+	0,646	0,003	0,095
Cl^-	0,863	0,016	0,034
SO_4^{2-}	0,034	0,059	0,818
HCO_3^-	0,340	0,137	0,076
NO_3^-	0,143	0,503	0,049
pH	0,159	0,250	0,624
Valeur propre	4,073	1,909	1,406
Variance (%)	40,726	19,089	14,059
Cumulatif (%)	40,726	59,815	73,874

Le facteur 2 (F2) explique 19% de la variance totale et il a une liaison positive modérée avec Na^+ et NO_3^- , (0,62 et 0,50). Le facteur 2 est lié avec l'effet du Chott El Hodna sur les eaux de la nappe et l'activité agricole dans la zone d'étude.

Le facteur 3 explique 14% de la variance totale de l'ensemble de données, il présente une caractéristique significative avec pH et SO_4^{2-} avec une forte liaison positive de ce dernier (0.818) et pH (0.62). Le facteur 3 est principalement associé avec les minéraux sulfatés contenues dans les roches évaporitiques.

Le **tableau n° 13** montre la relation facteurs - échantillons d'eau. Le F1 est constitués par les points d'eau suivants : 1, 2, 4, 10 et 11. D'autre part, F2 est déterminé par les échantillons : 3, 5, 6, 8, 9, 12, 13 et 14 caractérisé par une forte salinité intermédiaire à l'exception de l'échantillon 9.

Tableau. III. 13. Facteurs des échantillons d'eau

	F1	F2	F3
1	0,582	0,116	0,004
2	0,803	0,104	0,003
3	0,116	0,522	0,000
4	0,482	0,054	0,188
5	0,088	0,517	0,121
6	0,024	0,508	0,092
7	0,183	0,008	0,676
8	0,129	0,578	0,021
9	0,061	0,502	0,126
10	0,567	0,154	0,040
11	0,748	0,031	0,069
12	0,110	0,540	0,043
13	0,053	0,605	0,002
14	0,376	0,379	0,134
15	0,284	0,013	0,428

III.3.5. Comparaison de différentes méthodes statistiques

- L'analyse en composant principale (ACP) permet de représenter les échantillons d'eau par L'ACP a donné trois groupes d'éléments physicochimiques (les sulfates et le sodium carbonatés et évaporitiques).
- La classification ascendante hiérarchique (CAH) a permet de classer 03 groupes d'eaux souterraines. G1 a une faible salinité ($CE < 1600 \mu S / cm$), tandis que G2 présente une salinité assez élevée ($CE > 2600 \mu S / cm$) et G3 avec une forte salinité ($3900 < CE \mu S / cm$).
- Cependant, l'analyse factorielle a permet de représenter les échantillons d'eau sur trois plans F1,F2 et F3 par une signification de 74% de la variance totale. Elle a donné trois groupes, le premier groupe un facteur de salinisation liée aux éléments évaporitiques et carbonatées , Le second groupe présente Le facteur 2 est lié avec l'effet du Chott El Hodna sur les eaux de la nappe et l'activité agricole dans la zone d'étude, le troisième groupe présente Le facteur 3 est principalement associé avec les minéraux sulfatés contenues dans les roches évaporitiques.

Le choix d'utilisation d'une méthode dépend du cas à étudier, par conséquent les deux méthodes CAH et ACP montrent plus la qualité des eaux pour les principaux ensembles.

Par contre l'AF détient les mêmes objectifs que l'ACP, mais ne forme pas le but majeur de l'AF et faire apparaître quelques variables synthétiques abstraites).

Conclusion

Suite avoir étudiée la qualité des eaux souterraines de la région de Boussaâda et les analyses statistiques multivariées des résultats physico-chimiques on peut conclure:

- La plaine de BOU SAADA montrent que la région présente la qualité de ces eaux sont médiocres à mauvaise avec des valeurs non conformes aux normes de potabilité .
- Les méthodes statistiques multivariées ont été utilisées pour caractériser les systèmes d'eaux souterraines de la région d'étude la base de leurs propriétés physico-chimiques. Il est utilisé pour comprendre les processus géochimiques qui dépendent des réactions chimiques survenant dans les eaux souterraines de la zone d'étude. De plus, les représentations chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper et Schöeller-Berkaloff ont mis en évidence que la qualité des eaux souterraines est caractérisée par deux faciès chimiques dominants (chloruré sulfaté calcique et magnésien).
- Selon le diagramme de Riverside, nos eaux sont classés comme suit C3S1 pour les eaux des forages ,F4,F7, F8,F9 ,F10,F11 ,F14, C4S1 pour les eaux des forages, F1 ,F2 , F3,F5,F6, F12,F13 , F15 , se sont des eaux respectivement à utiliser avec précaution.
- A partir du diagramme de Wilcox, on peut résumer les classes de nos eaux en : excellente qualité pour forage F10 ,bonne qualité pour forages F4 , F7,F8 ,F9 ,F11,F13,F14, qualité médiocre pour forages F1 ,F2,F3,F5,F9,F12,F15 , eau de mauvaise qualité pour forage F6 .
- Plus de 75 % des échantillons d'eau souterraine de la région d'étude peuvent être utilisés dans l'irrigation sans effets négatifs sur la perméabilité des sols.
- La qualité des eaux de Boussaâda est influencée directement par la géologie locale et l'interaction eau-roche (Formations carbonatés, calcaires et gypsifères des Djebels Kardada , Mobakharia...) pendant le séjour et les écoulements souterrains, et par la vulnérabilité à la pollution en présence des points de contact avec les eaux de surface (lessivage des terrains argileux et marneux et terrains salés du Chott El Hodna).



Conclusion générale

Conclusion générale

A la lumière de cette étude que nous avons menée dans la région de BOU SAADA nous a permis d'approfondir la connaissance des différents paramètres physico-chimique concernant les eaux souterraines de la nappe et leur qualité par différentes méthodes graphiques et statistiques multi variées. Les principaux résultats que nous avons obtenus d'arriver aux conclusions suivantes de notre région d'étude:

- Le climat de Boussaâda est caractérisé par un climat aride et tempéré particulièrement en hiver signifie que une faible précipitation et une température élevé.
 - Les sols de la région d'étude steppique les principaux type: Sols peu évolués alluviaux, Lithosols et Sols à encroutement calcaire, Siérozems. et régosols, Sols minéraux bruts éoliens.
 - Le réseau hydrographique est constitué par deux principaux oueds, le plus important est l'Oued El Maiter issu du versant sud de djebel Moubakhira , Oued Boussaâda est moins important que le premier et il coupe la ville en deux et constitue l'exutoire des eaux usées de la ville de Boussaâda.
 - De point de vue géologique, les formations géologiques présente dans notre région d'étude se caractérisent par la présence des Alluvions et les dunes du quaternaire et les carbonates du secondaire.
 - Les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux de la zone d'étude: Ces eaux ont des caractéristiques physiques relativement variables; la température varie entre 20 ° et 24 °C ce qui signifie température optimale.
- Le pH varie entre 6,9 et 7,6 indique un caractère alcalin dans tout les forages.
- Conductivité électrique oscillant de 803 à 4090 $\mu\text{s/cm}$ qui signifie que sont des eaux conductrices qui implique une fort minéralité indiquent aussi une forte salinité .
- La majorité des anions et les cations de ces eaux dans la zone d'étude sont optimales selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de qualité des eaux sauf quelques-uns à cause des teneurs qui dépasse les normes de potabilité .
- L'utilisation des différentes méthodes de classifications des eaux souterraines de cette région telles que les classifications de Schoeller-Berkaloff et Piper fait ressortir deux faciès chimiques dominants Chloruré sulfaté calcique et magnésien.
 - Les valeurs de SAR pour tous les eaux des forages sont classés comme suit C3S1 pour les eaux des forages ,F4,F7, F8,F9 ,F10,F11 ,F14, C4S1 pour les eaux des forages, F1 ,F2 , F3,F5,F6, F12,F13 , F15 , se sont des eaux respectivement à utiliser avec précaution.

Conclusion générale

- A partir du diagramme de Wilcox, on peut résumer les classes de nos eaux en : excellente qualité pour forage F10 ,bonne qualité pour forages F4 , F7,F8 ,F9 ,F11,F13,F14 , qualité médiocre pour forages F1 ,F2,F3,F5,F9,F12,F15 , eau de mauvaise qualité pour forage F6 .
 - Plus de 75 % des échantillons d'eau souterraine de la région d'étude peuvent être utilisés dans l'irrigation sans effets négatifs sur la perméabilité des sols.
 - L'étude hydro-chimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines, par les analyses statistiques multi-variées en composantes principale (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) et factorielle (AF) nous a permis les points suivants :
 - - L'analyse en composant principale (ACP) permet de représenter les échantillons d'eau par L'ACP a donné trois groupes d'éléments physicochimiques (les sulfates et le sodium Carbonatés et évaporitiques).
 - - La classification ascendante hiérarchique (CAH) a permet de classer 03 groupes d'eaux souterraines. G1 a une faible salinité ($CE < 1600 \mu S / cm$), tandis que G2 présente une salinité assez élevée ($CE > 2600 \mu S / cm$) et G3 avec une forte salinité ($3900 < CE \mu S / cm$).
 - Cependant, l'analyse factorielle a permet de représenter les échantillons d'eau sur trois plans F1,F2 et F3 par une signification de 74% de la variance totale. Elle a donné trois groupes, le premier groupe présente un facteur de salinisation liée aux éléments évaporitiques et carbonatées , Le second groupe présente Le facteur 2 est lié avec l'effet du Chott El Hodna sur les eaux de la nappe et l'activité agricole dans la zone d'étude, le troisième groupe présente Le facteur 3 est principalement associé avec les minéraux sulfatés contenues dans les roches évaporitiques.
- Enfin, et comme suggestions on proposons des recommandations:
- Optimiser l'irrigation et installer un réseau de drainage pour évacuer l'eau saline en de hors des parcelles cultivées.
 - des suivis saisonniers de la qualité chimiques des eaux pour pouvoir éviter tout type de pollution naturelle ou accidentelle.
 - de conseiller les agriculteurs à limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques et des pesticides dans les sols à forte perméabilité, afin de limiter l'infiltration des éléments chimiques vers la nappe, et de modérer les pompages en utilisant les nouvelles techniques d'irrigation (gouttes à gouttes).
 - La lutte contre la pollution.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

Alouane, H., (2012)., Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole ; Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Mémoire de Magister, Gestion des déchets :Évaluation et.

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

AMROUNE A, 2008. Etude de l'apport hydrochimique dans la connaissance du fonctionnement de la nappe alluviale de la région nord du Hodna (Sud-Est algérien), Thèse doctorat, Université Mustapha Benboulaïd Batna 2 .

B

Bartlett MSA, 1954. A notes on multiplying factors for various chi-squared approximations, J. R. Stat. Soc. Series B, 16 : 296–298.

BAZA Y; 2006 - Contribution a l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zone semi aride, cas de la région d'Ain Elbel, Mémoire d'ingénieur, Univ Djelfa, 92p

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

Belghiti ML, Chahlaoui A, Bengoumid D et Elmouqtainer R, 2013. Etude de la quantité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio- Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Larrhyss journal, n° 14, Juin 2013, pp.21-36.

Belkhiri L, Boudoukha A et Mouni L, 2011. A multivariate Statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data. International Journal of Environmental Research 5(2): 537-544.

Belouadah N., 2009. Développement urbain et préservation du patrimoine architectural dans les médinas Cas de la médina de Bou-Saada, Mémoire Magister, Université Mohamed Khider – Biskra. 280 p

Bellaredj , 2013. Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'leta (Algérie, Nord- Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées et modélisation géochimique (Université d'Oran) .. Mémoire magister.

Benabderrahmane A, 1988. Numerical simulations of salt pollution of an aquifer system in a semi-arid to arid -Sample aquifer systems of the plain of M'Sila- (Hodna, Algeria), PhD thesis, UFR Applied Geology. Franche Comte. France.

Références bibliographiques

Benrabia A., 2013. Etude de la qualité des eaux souterraines de la région de Boussaâda Wilaya de M'Sila, Mémoire Master, Université Mohamed Boudiaf de M'Sila.

BONNIN J, Aide mémoire d'hydraulique urbaine. Edition. Eyrolles. P : 23-24-, 1982.

BOSCA. (2002). anonyme

BOYADGIEV TG (1975) Soils of Hodna (in French). Tech. Rep. Rapport Algérie 9, FAO, Rome

C

Chabour N., 2006. Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie, Thèse de Doctorat, Université Mentouri Constantine. 176 p.

Collin J.J., (2004). Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, paris, PP : 27-49.

D

Dagnelie P, 2006. Theoretical and applied statistics. Vol 2: Inferences one- and two-dimensional. Edis, Boeck and Larcier, Bruxelles.

Degrémont, G., Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ième édition, Edit. Tec et doc, pp 3-38., 2005.

Dib I., (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydrotechnique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p

Dalton MG et Upschurch SB, 1978. Interpretation of hydrochemical facies by factor analysis. Groundwater 16: 228-233.

E

Elie Serge Gaëtan SAURET, 2005. Caractérisation hydro chimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du mouhoun : provinces des banwa, des balles, du mouhoun et de la kossi (BURKINA FASO), Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue, 60 p

F

Fiambach H.B., (1998). Chang from chlorine residual distribution to no chlorine residual distribution in groundwater system, Water supply, Vol 6, N°3/4, Germany, PP: 145-152.

G

Geller W, Friese K, Herzsprung P, Kringel R and Schultze M, 2000. Limnology of sulphuracidic mining lakes. II Chemical properties: The main constituents and buffering systems. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27: 2475–2479.

Güler C, Thyne G, McCray J and Turner A, 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydro. J.* 10, 455-474.

Ghazali. D, Zaid. A., (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-JERRI (région de MEKNES –MAROC), *Larhyss Journal*, N° 12, Janvier 2013, PP : 25-36

H

Helali N-H., 2016. Analyse Statistique Multivariée Des Eaux Souterraines De la Région De Boussaâda, Mémoire Master, Université de M'sila. 68 p.

J

JORA; 2011, Journal Officiel de la République Algérienne (JORA)., (2011). Décret exécutif n° 11 - 125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir-Mourad Raïs, Alger,Al.

Joshi DM, Bhandari NS, Kumar A and Agrawal N, 2009. Statistical analysis of physicochemical parameters of water of river Ganga in Haridwar district., *Rasayan J. Chemistry*, 2 579–587.

K

Kaabeche(M),1996.Les relations climat-végétation dans le bassin du Hodna (Algérie),*Acta Botanica Gallica*. pp: 85-94,

Kaiser HF, 1970. A second generation little jiffy, *Psychometrika*, 35 : 401–415.

L

Laaksoharju M, Gurban I, Skarman C and Skarman E, 1999. Multivariate mixing and mass balance (M3) calculations, a new tool for decoding hydrogeochemical information, *Appl. Geochem.*, 14 : 861–871.

M

Mahamat, B. et Beskri, A., 2010, Caractéristique physico-chimique des eaux souterraines dans la plaine de Khemis Miliana, Mémoire fin d'étude master. Centre université de Khemis Miliana..

Mebarki, A., (1982). le bassin du kebir , ressources en eaux et aménagement en Algérie, thèse doctorat 3ème cycle, université de Nancy II, p303

Références bibliographiques

Melalih A., 2012. Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride cas bassin versant d'AIN SEFRA, Mémoire Magister en S-Agronomie, Université Abou-BekrBelkaid de Tlemcen. 120 p

MEKAOUSSI Nadia, 2014. Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de HAMMAM DEBAGH (EST ALGERIEN).Thèse de magister, Université Batna, 126p.

MERCIER, J., 2000. Le grand livre de l'eau. Edition: La reconnaissance du livre.Collecte art de vivre. 91p.

Molinie, L. , Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées, Agro Paris Tech, Montpellier Cedex 4, 7p., 2009.

N

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.

O

OMS, (2004)., Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ième édition, Vol. 1. Directives, Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, 110 p.

R

Rodier J., 2005., L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8ième édition: Dunod, Paris.

Rodier J, Legube B et Merlet N, 2009. L'analyse de l'eau. 9ème édition, Dunod, Paris, France.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

RICHARDS L-A; 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60,USDA, Washington D.C, 160p

S

SAIYOURI N; 2012- Méthode d'irrigation en milieu aride (projet d'eau 2012), pp 4-7

SEVESC, 2013, , Service de l'Eau (SEVESC). Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud, 11p.

Sneath PHA, Sokal RR, 1973. Numerical Taxonomy and the Principles Practice of Numerical Classification. Ed. Freeman, W.H, San Francisco.

Références bibliographiques

SEDRATI N; 2011 - Origine et caractéristiques physique-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud Est Algérien. Thèse de doctorat, Univ Badji Mokhtar –Annaba, pp 1-138

U

UNICEF, (1999). Manuel sur l'eau, N°2, PP : 42-43.

W

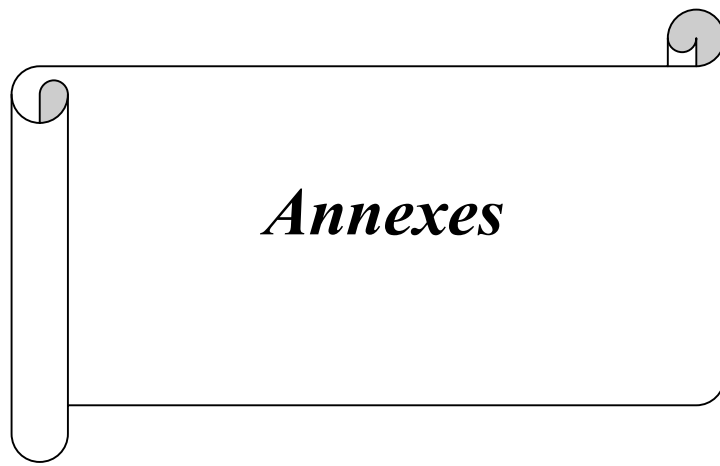
Wilcox Lv., (1955).classification and use of irrigation waters.U.S. Department of agriculture, circular 696, Washington DC, 16p.

Y

YOUNSI A., (2001). Méthodologie de mise en évidence des mécanismes de salures des eaux souterraines côtières en zone semi-aride irriguée. Chaouia côtière, Maroc. Thèse de doctorat d'état, Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc.

Z

Zidouni F. , (2020) . Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la region sud-est de la wilaya d'Oum El Bouaghi (Algerie). Mémoire Master, Université d'Oum El Bouaghi pp26-28.



Annexes

ANNEXE 01

Tableau : Grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux

Classe Paramètre	Très bonne 1A	Bonne 1B	Moyenne 2	Mauvaise 3	Très mauvaise HC
CE à 20 ° C (μS / cm)	< 400	400- 750	750- 1500	1500-3000	-
Température (°C)	< 20	20 - 22	22-25	25-30	-
pH	6,6-8,5	6,6 -8,5	6-9	5,5-9,5	-
SO ₄ ⁻²	< 200	-	200-300	300-400	>400
CL ⁻	< 150	-	150- 300	300-400	>400
Mg ⁺²	< 50	50-75	75 – 100	100 400	-
Ca ⁺²	< 160	160-230	230- 300	300 500	-
NO ₃	< 5	5-25	25-50	50 80	>80

ANNEXE 02

Tableau: Résultats des paramètres calculer

	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		NO ₃ ⁻		HCO ₃ ⁻	
	mg /l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l	mg/l	meq /l
F1	311	15 ,55	95	7, 91	175	7, 60	1	0, 02	280	8	922	19 ,20	88	1, 41	95	1 ,55
F2	411	20 ,55	107	8 ,91	285	12 ,39	1	0 ,02	595	17	1361	28, 35	87	1, 4	93	1 ,52
F3	159	7, 95	81	6, 75	75	3 ,26	4	0, 10	125	3, 57	638	13, 29	44	0, 7	51	0 ,83
F4	201	10, 05	60	5	93	4 ,04	1	0, 02	155	4, 42	500	10, 41	91	1, 46	183	3
F5	215	10, 75	110	9, 1	160	6, 95	9	0, 23	285	8, 14	800	16, 66	73	1 ,17	123	2 ,01
F6	131	6 ,55	75	6, 25	100	4 ,34	7	0 ,17	140	4	550	11, 45	38	0 ,61	102	1, 67
F7	289	14 ,45	126	10, 5	123	5 ,34	6	0, 15	385	11	813	16 ,93	240	3, 87	90	1 ,47
F8	251	12 ,55	75	6, 25	126	5, 47	1	0 ,02	200	5 ,71	620	12 ,91	76	1 ,22	164	2 ,68
F9	292	14, 6	91	7, 58	115	5	9	0, 23	177	5, 05	1000	20, 83	25	0, 4	122	2
F10	141	7 ,06	73	6, 08	88	3, 82	2	0, 05	124	3, 54	350	7,29	27	0 ,43	305	5
F11	93	4, 65	31	2, 58	37	1 ,60	1	0, 02	95	3, 32	78	1, 62	118	1, 90	159	2, 6
F12	94	4, 7	101	8 ,41	140	6, 08	8	0, 2	218	6, 22	488	10, 16	30	0, 48	204	3, 34
F13	88	4, 4	90	7 ,5	233	10, 13	7	0 ,17	343	9, 8	588	12, 25	22	0 ,35	88	1,44
F14	215	10, 75	58	4 ,83	59	2 ,56	2	0 ,05	155	4 ,42	450	9, 37	35	0, 56	207	3, 39
F15	300	15	152	12 ,66	154	6, 69	3 ,15	0 ,08	116	3, 31	1212	25, 25	23	0 ,37	171	2, 8

ANNEXE 03

Tableau : les valeurs de S.A.R et teneur de Na% et PI

Forages	Na %
F1	24,51
F2	29 ,63
F3	18, 60
F4	21 ,24
F5	26, 56
F6	26, 05
F7	18, 03
F8	22, 60
F9	19, 08
F10	22, 51
F11	18, 30
F12	32, 38
F13	46 ,39
F14	14 ,34
F15	19, 66

Concentration total (méq /l)	IP
61, 24	4, 25
90 ,14	32 ,53
36 ,45	23, 09
38 ,4	30 ,20
55, 01	30 ,94
35, 04	32, 53
63, 71	21 ,52
46, 81	29, 25
55, 69	23, 4
33, 27	35, 6
18, 29	36, 29
39 ,59	40, 78
46, 04	51, 03
35, 93	24, 19
66, 16	24, 29

Forages	SAR
F1	2, 21
F2	3 ,22
F3	1 ,20
F4	1, 47
F5	2, 20
F6	1 ,71
F7	1, 50
F8	1, 78
F9	1 ,50
F10	1 ,49
F11	0 ,84
F12	2 ,37
F13	4 ,15
F14	0 ,91
F15	1 ,79

ملخص

يهدف هذا العمل إلى الدراسة النوعية الفيزيائية - الكيميائية للمياه الجوفية في سهل بوسعادة وذلك من خلال استخدام الرسوم البيانية الكيميائية و تطبيق التحليلات الإحصائية (تحليل المكونات الرئيسية) و (الترتيب الهرمي التصاعدي) و (تحليل العوامل) باستخدام البرنامج الإحصائي (XLSTAT 2016) أظهرت ان شحنات كبريتات الكلوريد الكالسيوم والمغنيزيوم هي السائدة .

وأظهرت أيضا نتائج هذه الدراسة وبكل وضوح فائدة التحليل الاحصائي متعدد المتغيرات في الدراسة .

الكلمات المفتاحية : سهل بوسعادة , المياه الجوفية , نوعية فيزيائية كيميائية , التحليلات الاحصائية

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau souterraine de la plaine de Boussaâda en procédant à l'utilisation des diagrammes chimiques et l'application des méthodes statistiques (analyse en composantes principales et la classification ascendante hiérarchique et analyse factorielle) à l'aide du logiciel statistique (XLSTAT 2016) ont montré que chloruré sulfaté calcique et magnésien sont les plus dominants .

Les résultats de cette étude montrent clairement l'utilité de l'analyse statistique multivariée dans l'étude hydro chimiques.

Mots-clés : Plaine de Boussaâda, qualité physico-chimique, l'eau souterraine, méthodes statistiques

Abstract

The objective of this work is study the physical – chemical quality of groundwater on the Boussaada Plain by the use of chemical diagrams and the application of the statistical Methods such as Principal Component Analysis (PCA), Hierarchical Ascending Classification (HAC) and factor Analysis (FA) using the statistical softwore (XLSTAT 2016) showed that the calcium and magnesian chloride sulphated facies are most dominant.

And the results of this study clearly demonstrate the utility of multivariate statistical analysis in hydro chemical studies.

Keywords: Plain Boussaada, groundwater, physical – chemical quality, statistical methods