

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : **Hydraulique**

Spécialité : **Technologies de Traitement des Eaux**

Par :

CHERIFI Hafsa

Caractérisation, classification et statistique multivariable des eaux de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de Sidi Bel Abbes.

Soutenu publiquement, le / / 2017, devant le jury composé de :

Mme FANDI WASSILA	Maître assistante A	Univ. Tlemcen	Président
M BOUANANI Abderrazak	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme BABA HAMED Kamila	Maître de conférences A	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de mémoire
M BESSEDIK MADANI	Maître de conférences B	Univ. Tlemcen	Examineur
MMEGNOUNIF ABDESSALAM	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur

2016 - 2017

Dédicaces

Ce mémoire est dédié :
A toute ma famille Chérifi & Aouir
ET
Tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Hafsa

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Allah le tout puissant pour la volonté, le courage, et la santé qu'il m'a données durant toutes ces années d'études.

Je voudrais témoigner ma gratitude à mes encadreurs Monsieur **A. BOUANANI** et Madame **BABA-HAMED K.** pour leur patience, leur soutien et leurs précieux conseils.

Mes remerciements vont également aux membres du jury : madame **FANDI W.**, Monsieur **BESSEDIK M.** et Monsieur **MEGNOUNIF A.** pour avoir fait l'honneur d'apprécier et d'examiner mon travail.

Mes remerciements à tous mes enseignants du Département d'Hydraulique de l'Université de Tlemcen.

Mon profond remerciement va également à toutes les personnes qui m'ont aidées et soutenues de près ou de loin.

Résumé

La plaine de Sidi Bel Abbas, est située entre l'Atlas tellien au Nord et le massif tabulaire de Tlemcen-Saida (bordure septentrionale des hauts plateaux) au Sud, son écoulement des eaux souterraines, orienté SW/NE et une direction secondaire Est - Ouest dans la vallée de Belarbi-Mostapha Ben Brahim.

La profondeur moyenne de la nappe alluviale, par rapport à la surface du sol, est de l'ordre de 15 à 40 m. Le climat de la région est semi-aride, marqué par un total des précipitations annuel de 309,7 mm et une température en moyenne égale à 17,2°C.

L'étude hydro-chimique, des eaux de la nappe, a permis de mettre en évidence un faciès prédominant chloruré calcique et que ces eaux sont majoritairement non utilisées pour l'alimentation en eau potable et peuvent être utilisées en irrigation.

L'approche statistique appliquée (diagrammes en boîtes, classification hiérarchique ascendante et Analyse en Composantes Principales) sur les données hydrochimiques des eaux de l'aquifère alluvionnaire a confirmé le mode de la minéralisation.

Mots-clés : Plaine de Sidi Bel Abbas – Plio-Quaternaire – Boîtes à moustaches – Classification Ascendante Hiérarchique - Analyse en Composantes Principales.

Abstract

The plain of Sidi Bel Abbes, lies between the Tellian Atlas in the North and the tabular massif of Tlemcen-Saida (northern edge of the high plateaux) to the south. The groundwater flow is oriented SW / NE and a secondary direction East - West in the valley of Belarbi - Mostapha Ben Brahim.

The average depth of the alluvial water table, relative to the surface of the soil, is about 15 to 40 m. The climate of the region is a semi-arid climate marked by a total annual precipitation of 309.7 mm and an average temperature of 17.2 ° C.

The hydro-chemical study, of the waters of the aquifer, made it possible to demonstrate a predominant chloride calcium facies and a most of these waters are not used for drinking water and can be used for irrigation.

The applied statistical approach (box diagrams, ascending hierarchical classification and Principal Component Analysis) on the hydrochemical data of the waters of the alluvial aquifer confirmed the mode of mineralization

Keywords: Sidi Bel Abbes Plain - Plio-Quaternary –Box plot - Hierarchical Ascending Classification - Principal Component Analysis.

المخلص

يقع سهل سيدي بلعباس بين الاطلس التليشمالا وجبال المجدول من تلمسان-سعيدة (الحافة الشمالية للهضاب العليا) جنوبا.

تدقق المياه الجوفية موجه جنوب-غرب / شمال – شرق واتجاه ثانوي شرق – غرب في وادي بلعربي -مصطفى بن براهيم متوسط عمق المياه الجوفية نسبة الى سطح التربة حوالي 15 إلى 40 متر.

مناخ المنطقة شبه جاف حيث يبلغ مجموع هطول الامطار سنويا 309.7 مم ومتوسط درجة الحرارة 17.2 درجة مئوية. واتاحت الدراسة الهيدرو-كيميائية لمياه الطبقة الجوفية اثبات وجود كلوريد الكالسيوم السائد ومعظم هذه المياه لا تستخدم للشرب ويمكن استخدامها للري.

وقد حدد المنهج الإحصائي المطبق (الرسوم البيانية، التحليل العنقودي الهرمي وتحليل المكون الرئيسي) على البيانات الكيميائية للمياه الجوفية عن وجود مياه معدنية قوية

الكلمات المفتاحية. سهل سيدي بلعباس-الجزائر-العصر الحديث-الرباعي-الرسوم البيانية-التصنيف الهرمي -تحليل المكونات الرئيسية

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1

CHAPITRE I : Généralités sur la plaine de Sidi Bel Abbès

I .Présentation de la zone d'étude	3
I.1. Présentation générale du bassin versant de la Macta	3
I.2. Présentation du bassin versant de l'Oued Mekerra	4
I.3. Présentation générale de la plaine de Sidi Bel Abbès	5
I.3.1. Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès	5
I.3.2. Cadre Morphologique de la plaine	5
I.3.3. Cadre géologique	6
I.3.3.1. Lithostratigraphie	7
a. Quaternaire	8
b. Tertiaire	8
c. Secondaire	9
I.3.3.2. Tectonique	10
I.4. Aperçu hydrogéologique	11
I.4.1. Identification des différents aquifères	11
a. Nappe alluviale du Plio-Quaternaire	11
b. Nappe des grès pliocènes de la forêt de Tenira	12
c. Nappe des calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi (nappe des terrains charriés)	12
d. Nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb	12
I.4.2. Etude piézométrique de la plaine de Sidi Bel Abbès	13
I.5. Conclusion	15

CHAPITRE II : Climatologie

Introduction	17
II.1 Etude des précipitations	17
II.1.1. Variation des précipitations annuelles	17
II.1.2. Variation des précipitations mensuelles	18
II.1.3 Précipitations saisonnières	19
II.2 Etude des températures	20
II.2.1 Variation des températures mensuelles	20
II.3 Etude du climat	20
II.3.1. Courbe pluviothermique (méthode de Gausson et Bagnouls)	21
II.3.2 Indice d'aridité de De Martonne	21
Conclusion	22

CHAPITRE III : Hydrochimie

Introduction	24
III.1. Contrôle des analyses chimiques par la balance ionique	24
III.2. Interprétation des analyses physico-chimiques	26
a. L'ion Calcium (Ca^{2+})	26

TABLE DES MATIERES

b. L'ion Magnésium Mg^{+2}	27
c. L'ion Sodium Na^{+}	27
d. L'ion Potassium K^{+}	28
e. L'ion Bicarbonate HCO_3^{-}	28
f. L'ion Chlorure Cl^{-}	29
g. L'ion Sulfate SO_4^{2-}	29
III.3. Détermination des faciès des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes	30
III.3.1. Classification des eaux selon la formule caractéristique	30
III.3.2. Classification graphique des eaux	31
III.3.2.1. Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller et Berkaloff	31
III.3.2.2. Classification des eaux selon le diagramme de Piper	34
III.4. Etude de la minéralisation	37
III.5. Qualité des eaux pour la consommation humaine et pour l'irrigation	38
III.5.1. Potabilité des eaux	38
III.5.2. Aptitude des eaux à l'irrigation	39
III.5.2.1. Indice de Kelly's Ratio (KR)	39
III.5.2.2. Pourcentage de Sodium (% Na) et classification des eaux par la méthode Wilcox	40
III.5.2.3. Sodium Absorption Ratio (SAR)	42
Conclusion	43

CHAPITRE IV : Application des tests statistiques aux données hydrochimiques

Introduction	46
IV.1. Diagramme en boites à moustaches	46
IV.1.1- Étapes de leur réalisation	47
IV.1.2- Représentation des boites à moustache	47
IV.1.3- Diagrammes en boîtes des eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes	47
A- Représentation des ions majeurs	47
B- Représentation des eaux en fonction des faciès	48
B-1- Facies chloruré calcique	48
B-2- Facies chloruré sodique	49
B-3- Facies chloruré magnésien	49
IV.2- Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.)	50
IV.2.1. Présentation de l'algorithme de la C.A.H.	51
IV.2.2. Choix de l'indice de dissimilarité entre les individus	52
IV.2.3. Méthode d'agrégation pour la Classification Ascendante Hiérarchique	52
IV.2.4. Mesure de proximité pour la Classification Ascendante Hiérarchique	53
IV.2.5- Application de la méthode C.A.H. aux données des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes	53
a) -Résultats et discussion	53
b) -Statistique des nœuds	54
c) - Dendrogramme	55
IV.3- Analyse en Composantes Principales (A.C.P.)	56
Conclusion	62

TABLE DES MATIERES

Conclusion générale	64
Références bibliographiques	67
Liste des figures	69
Liste des tableaux	72
Annexes	74

Introduction générale

L'eau est une ressource élémentaire à la vie, elle est indispensable pour l'homme. On l'utilise pour des usages quotidiens, l'agriculture, la boisson, l'hygiène et l'industrie. Malgré cette abondance de l'eau, elle est inégalement répartie et inégalement accessible, L'accès à une eau de qualité et en quantité est un enjeu vital.

L'eau souterraine est souvent vulnérable aux nombreuses sources de contamination découlant des activités humaines. Donc il faut la protéger adéquatement afin de minimiser les risques de contamination qui la menacent

Dans ce travail, l'étude consiste en une contribution pour une meilleure connaissance de l'évolution de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbas qui situés au Nord-Ouest de l'Algérie. En utilisant des diagrammes (Piper, Schoeller Berkhalof) et des méthodes statistiques (CHA, ACP) sur des données hydrochimiques.

Le travail est réparti comme suit:

Tout d'abord nous commençons par une introduction générale.

Puis les quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités (situation géographique, géologie et hydrogéologie de la région d'étude).
- Le second chapitre étudie les caractéristiques climatiques (précipitations et températures) régnant sur la région d'étude.
- Le troisième chapitre est spécifié à l'hydrochimie des eaux de la nappe (détermination de la qualité des eaux et leurs aptitudes aux différentes utilisations).
- Le dernier chapitre se concentre sur l'utilisation des méthodes statistiques pour la caractérisation et la classification des eaux de la région d'étude.

Et enfin une conclusion générale dans laquelle nous exposerons les résultats obtenus et proposer quelques recommandations.

CHAPITRE I
Généralités sur
la plaine de Sidi Bel Abbès

a) Présentation de la zone d'étude

I.1. Présentation générale du bassin versant de la Macta

Le bassin versant de la Macta s'étend sur une superficie de 14750 km². Il est situé en Algérie occidentale, sous le code n°11 et est constitué de seize sous bassins (fig. I.1).

Le bassin est limité :

- au Nord-ouest, par la chaîne montagneuse du Tessala,
- au Sud, par les hauts plateaux de Ras-el-Ma et les plaines de Maalifs,
- à l'Ouest par les plateaux de Telagh et les monts de Tlemcen qui sont le prolongement des monts de Béni-Chougran (A. Khaldi, 2005),
- et à l'Est, par les monts de Saïda.

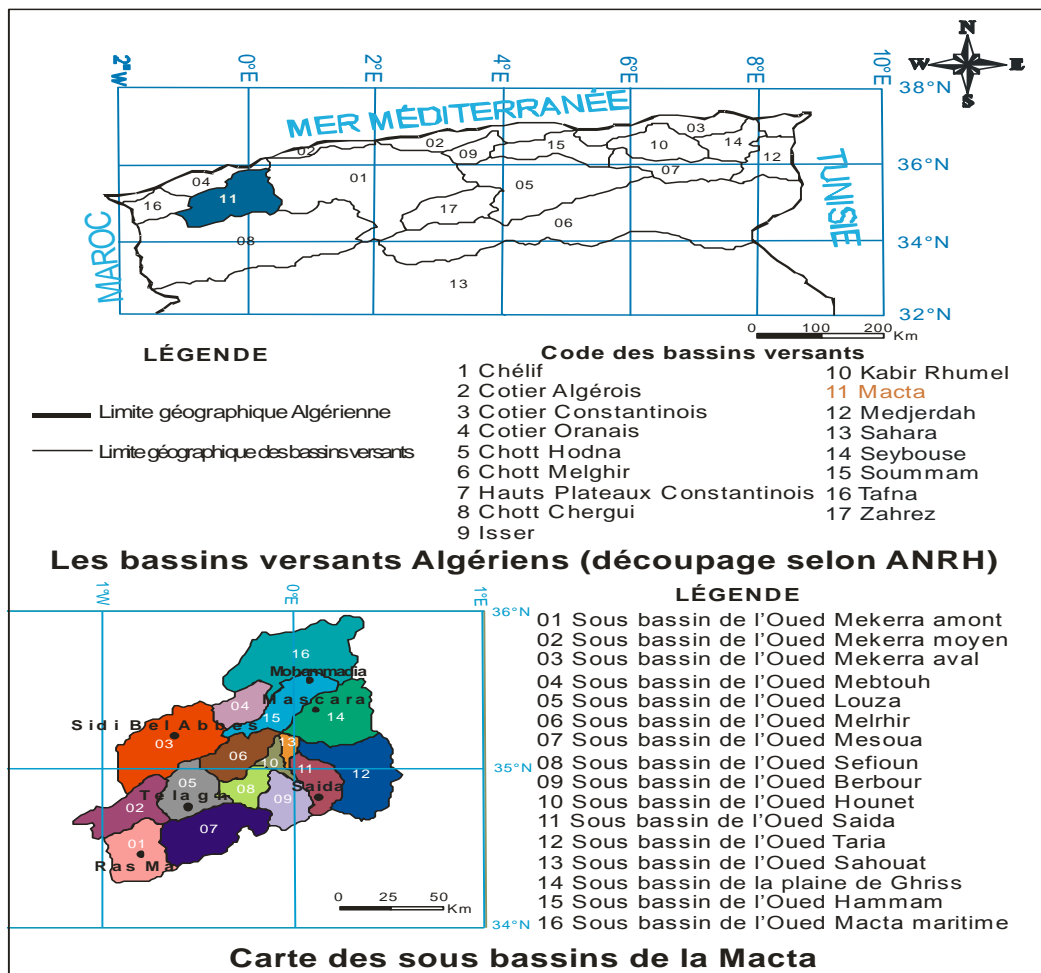


Figure. I.1 : Situation du bassin versant de la Macta(Otmane A, 2015)

Le bassin de la Macta est traversé par deux principaux cours d'eau, l'oued Mekerra à l'Ouest et l'oued El Hammam à l'Est. Ces cours d'eau se rejoignent non loin de la cote méditerranéenne pour former la Macta (fig.I.2).

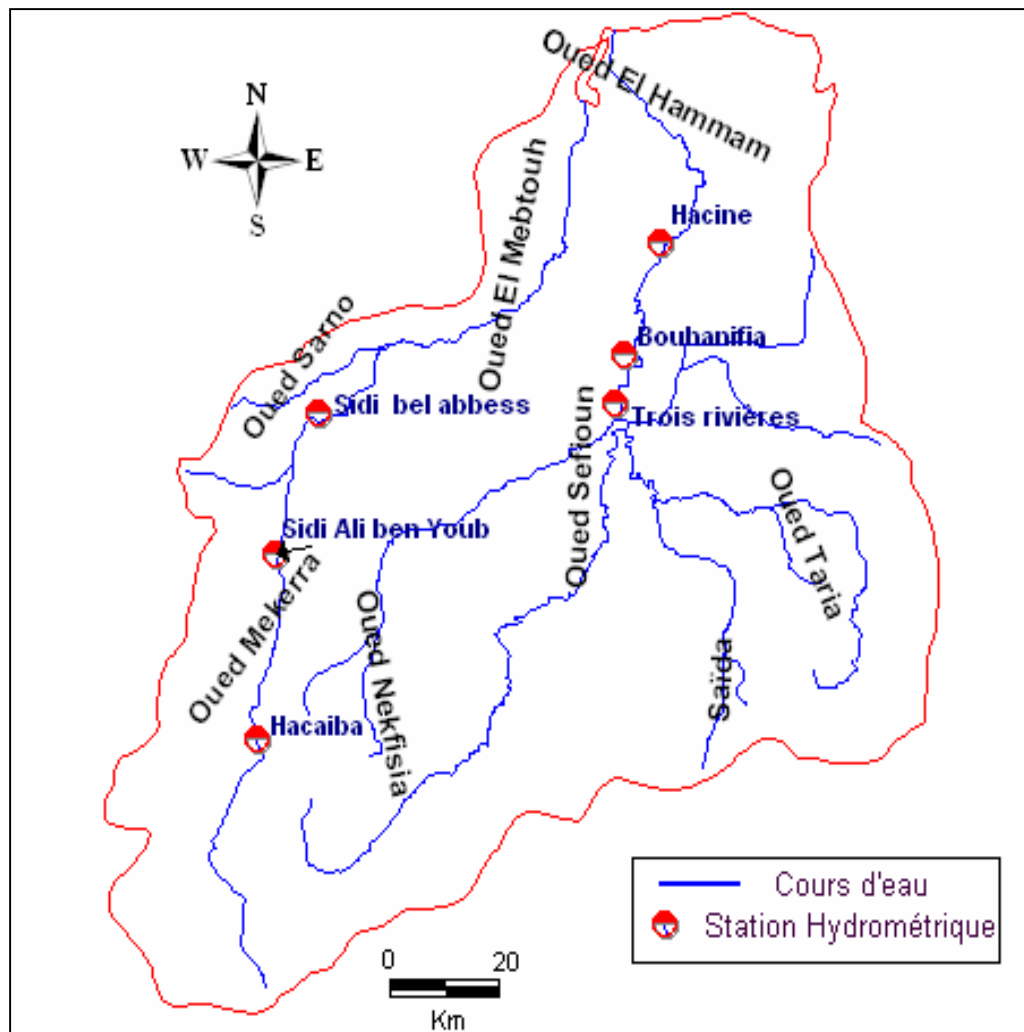


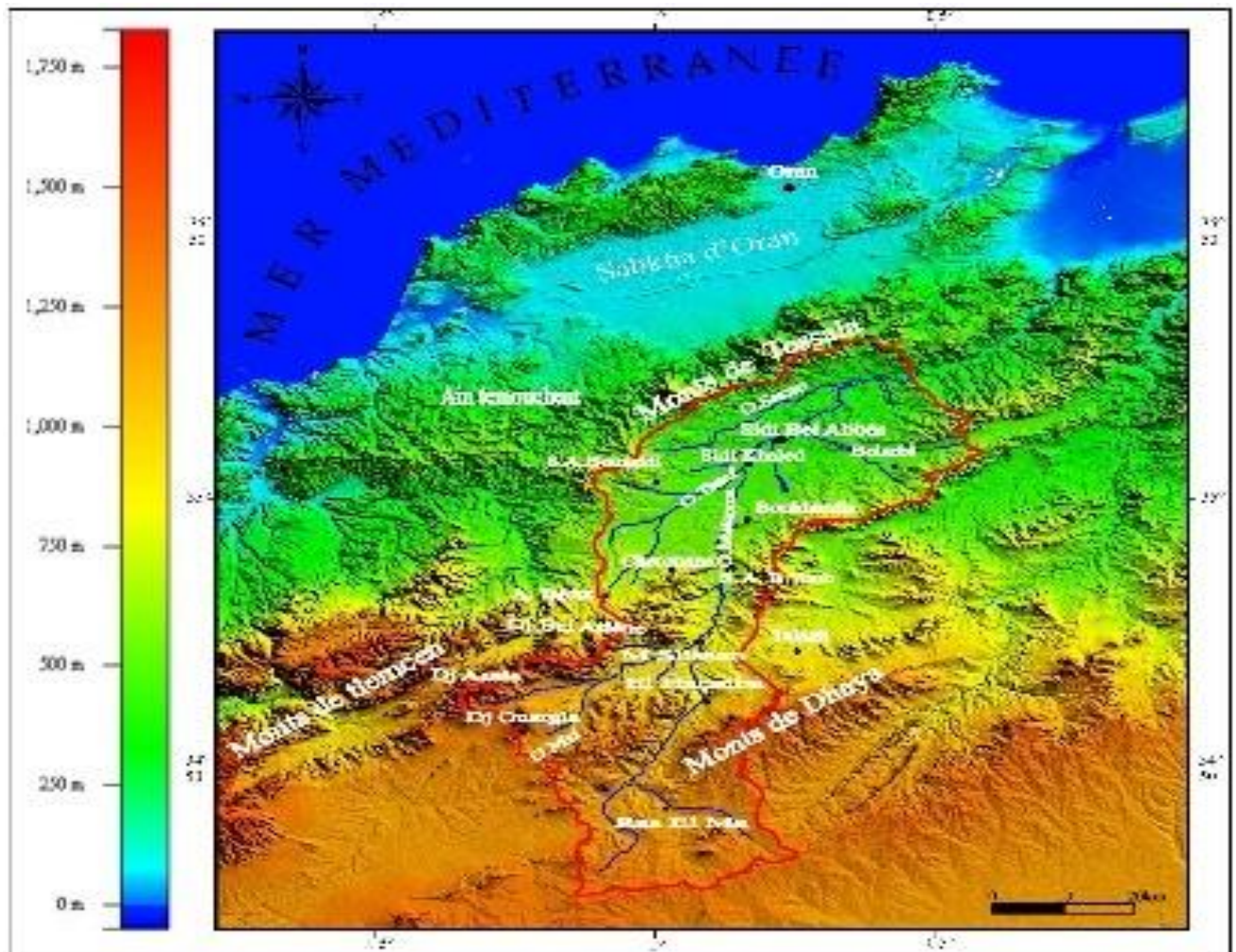
Figure I.2: Bassin versant de la Macta et ses principaux oueds(Otmane A, 2015)

I.2. Présentation du bassin versant de l'Oued Mekerra

Le bassin versant de l'Oued Mekerra fait partie du grand bassin versant de la Macta qui est situé au Nord-ouest de l'Algérie (fig.I.3). Il est compris entre la latitude $34^{\circ}31'$ et $35^{\circ}21'$ et la longitude $1^{\circ}16'$ et $0^{\circ}58'$. Il prend le nom de son Oued principal et couvre une superficie dépassant 3000Km^2 .

L'Oued Mekerra sillonne la plaine de Sidi Bel Abbes du Sud au Nord sur une distance d'environ 119 Km, avec un réseau hydrographique embryonnaire et dont le lit du cours principal a été creusé dans un vaste dépôt lacustre du Pliocène. (Otmane A, 2015)

De l'amont vers l'aval, l'Oued Mekerra est traversé par les villes suivantes : Ras El Ma, Sidi Ali Ben Youb, Tabia, Boukhanifis, Sidi Khaled et Sidi Bel Abbes.



. Figure I.3 : Localisation du bassin versant de la Mekerra

I.3.Présentation générale de la plaine de Sidi Bel Abbès

I.3.1. Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès (fig.I.4)

La plaine de Sidi Bel Abbès, se situe, entre l'Atlas tellien au Nord et le massif tabulaire de Tlemcen-Saida (bordure septentrionale des hauts plateaux) au Sud, elle couvre une superficie de 825 Km² et de direction NE-SW. Elle fait suite à la plaine d' Hennaya-Isser à l'Ouest et se prolonge vers l'Est par la plaine de Mascara dont elle est limitée par l'étranglement de Sfisef.

Cette plaine correspond au bassin versant de la moyenne Mekerra entre la cluse de Sidi Ali Ben Youb et le seuil du Rocher en aval de la Ville de Sidi Bel Abbès.

I.3.2. Cadre Morphologique de la plaine

La morphologie de la région présente différents aspects :

Au Nord, à l'Est et au Sud-Est, de multiples collines marneuses et marno-gréseuses culminent entre 600 et 900 m (Djebel Ténira),

Au Sud, d'importants massifs calcaires sont coiffés de sommets dépassant les 1000 mètres (Djebel Es Seigaa),

Au Nord-Ouest des sommets calcaires atteignent environ 800 mètres (Djebel Kerroucha).

La plaine est faiblement ondulée, quelques basses collines subsistent en son centre. Son altitude est comprise entre 450 et 800 mètres.

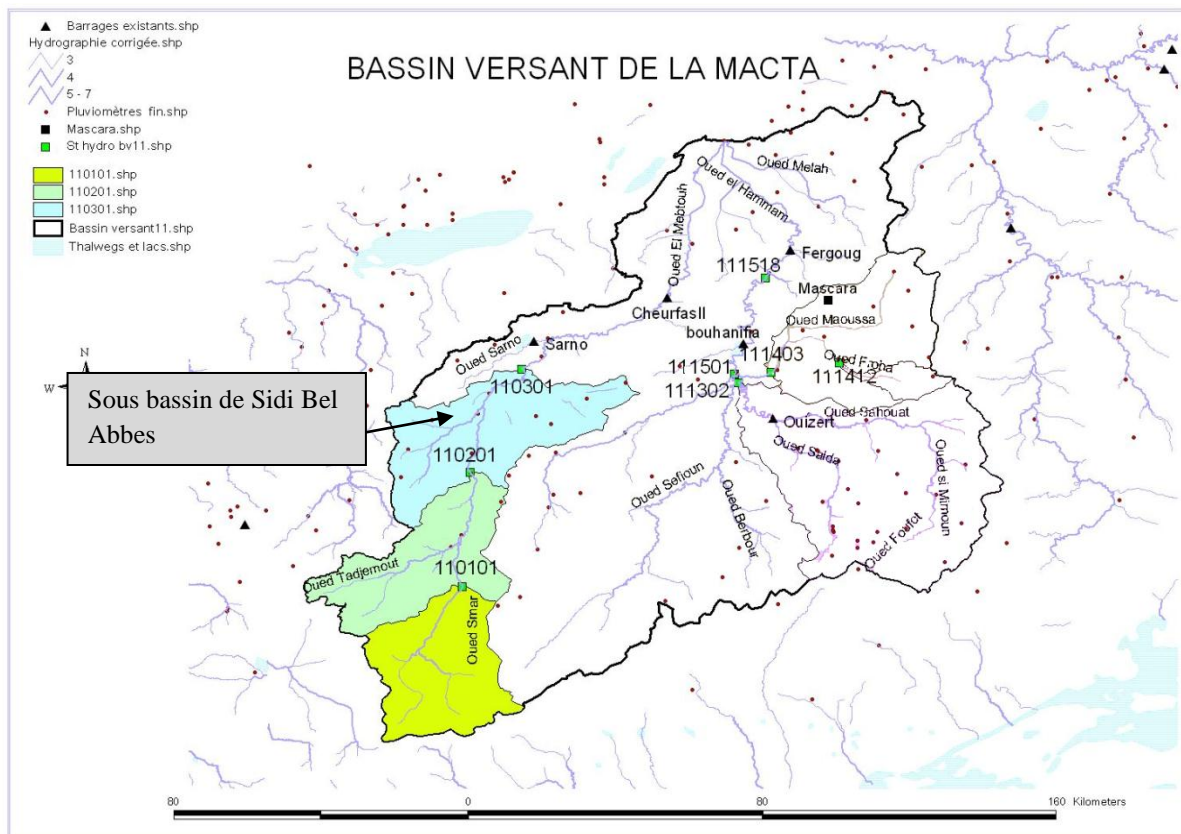


Figure I.4 : Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbas

I.3.3. Cadre géologique

La plaine de Sidi Bel Abbas est une vaste cuvette à substratum argilo-marneux, imperméable, d'âge miocène ou pliocène inférieur, comblée par des formations quaternaires détritiques, essentiellement conglomératiques et des dépôts sableux et gréseux alternant avec des limons, provenant de la désagrégation des reliefs qui l'entourent (Sourisseau. 1972)

D'une superficie de 825 Km² et de direction NE-SW, la plaine de Sidi Bel Abbas représente la partie la plus basse du bassin versant de la Mekerra. Elle est considérée, de point de vue hydrogéologique, comme la plus importante du NW algérien. Sa structure en cuvette à remplissage alluvionnaire quaternaire et plio-quaternaire lui permet d'être le siège d'un écoulement souterrain. Elle est limitée au Nord et à l'Est par des terrains post-crétacés, au Sud par des terrains jurassiques et crétacés.

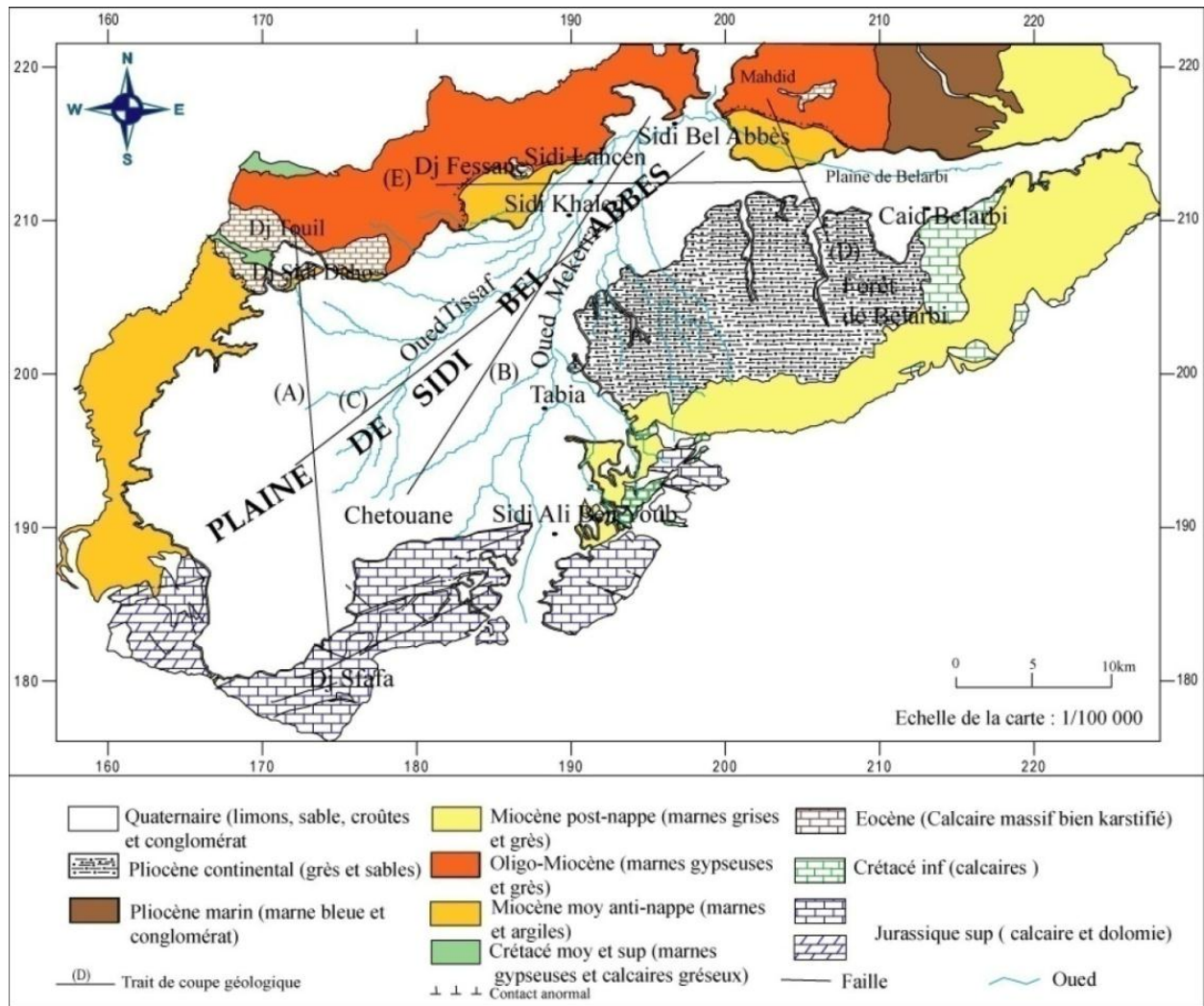


Figure I.5 : Esquisse géologique de la plaine de Sidi Bel Abbès. (Sourisseau, 1972)

La plaine de Sidi Bel Abbès est une cuvette dont les reliefs de bordure sont géologiquement très diversifiés.

Sur la bordure nord, les monts de Tessala sont allongés en direction SW-NE, très plissés à ossature crétacée et à recouvrement tertiaire très épais (B. Sourisseau, 1973).

Sur la bordure sud, les monts de Tlemcen-Saïda sont formés presque totalement de matériaux jurassiques moyens et supérieurs et crétacés inférieur et moyen.

Compris entre deux môles granitiques, ce massif peu plastique du Mésozoïque est disloqué par deux systèmes de failles

Sur la bordure ouest, les collines de marnes helvétiques séparent les bassins versants de l'oued Isser et l'oued Mekerra.

A l'Est, un prolongement des Béni Chougran, par la série marneuse du Miocène de Bou Henifia, atteint l'extrémité orientale de la plaine de Sidi Bel Abbès.

Le centre de la plaine est une large cuvette à substratum uniforme argilo-marneux, gris et vert, daté du Miocène ou du Pliocène (B. Sourisseau, 1973).

I.3.3.1. Lithostratigraphie

La succession stratigraphique de la plaine de Sidi Bel Abbès réalisée par Sourisseauen1973 (fig. I.6), met en évidence les formations suivantes :

a. Quaternaire

*- **Le Soltanien et le Rharbien** : au Soltamen, on observe un limon rubéfié avec un horizon noirci- et un autre plus clair correspondant à des apports colluviaux d'argiles sableuses. Au Rharbien se déposent en bandes le long des vallées des dépôts limoneux argileux noirs, puis des sables.

*- **Le Moulouyen** : ce sont des limons rouges associés à une croûte rouge parfois dure, représentant les collines du fond sud de la plaine avec parfois des dalles calcaires.

*- **Le Salétien** : ce sont des formations essentiellement conglomératiques de galets hétérométriques centimétriques à décimétriques, rarement libres, reliés le plus souvent par un ciment argilo-carbonaté. Les galets sont essentiellement calcaires et grès rouges provenant directement des matériaux de destruction du Jurassique et du Crétacé. Ces dépôts occupent les anciennes vallées des oueds Mekerra et Lantar qui ont raviné le Moulouyen.

*- **Le Tensifien**: en bordure des oueds (Mellinet, Bou Khanefis, Sidi Khaled), on observe des formations graveleuses, encroûtées et surmontées d'un alluvionnement plus terreux.

b. Tertiaire

*- **Le Pliocène** : Pendant toute la durée du Pliocène la plaine est restée exondée ce qui a permis les dépôts d'épaisses couches continentales. On observe un conglomérat de base puis des sédiments plus fins sableux et gréseux alternant avec des limons rouges, contenant des petites lentilles de conglomérats. A la fin du Pliocène un intense épisode torrentiel permet le dépôt de conglomérats.

*- **Le Miocène**: C'est l'assise imperméable argilo-marneuse des aquifères de la plaine. A l'Est, on rencontre des marnes grises et des grès argileux datés du Vindobonien (Miocène moyen et la base du Miocène supérieur). Ces argiles marneuses marines ont comblé toutes les dépressions du substratum mésozoïque, leur épaisseur peut dépasser 500 mètres. Elles apparaissent entre 25 et 50 mètres de profondeur sous la plaine. (Otmane A, 2015)

Elles contiennent quelques petits épisodes régressifs de galets et graviers enrobés d'argile.

*- **L'Oligocène** : Il forme un ensemble de marnes parfois gypseuses grises, jaunes et vertes alternant avec des bancs métriques de grès à grains fins et à ciment calcaire. Cette formation correspond à l'Oligo-Miocène des terrains nappés du Tessala.

*- **L'Eocène supérieur et moyen** : Ce sont des calcaires durs, massifs, bien lités, percés de lapiez, pétris de fossiles (Ostracées, pectinides, échinides, thalles de lithothamnium). Cette formation très érodée appartient aux nappes de charriage. Elle repose en contact anormal sur le Miocène anté-nappe ou le Crétacé, elle est recouverte en concordance par l'Oligo-Miocène nappé.

c. Secondaire

- **Crétacé moyen et supérieur** : On rencontre dans le Tessala, des marnes gypseuses accompagnées de bancs de calcaires sombres et de calcaires gréseux peu épais. A la base apparaissent les roches salifères triasiques qui constituent la semelle des nappes de charriages.

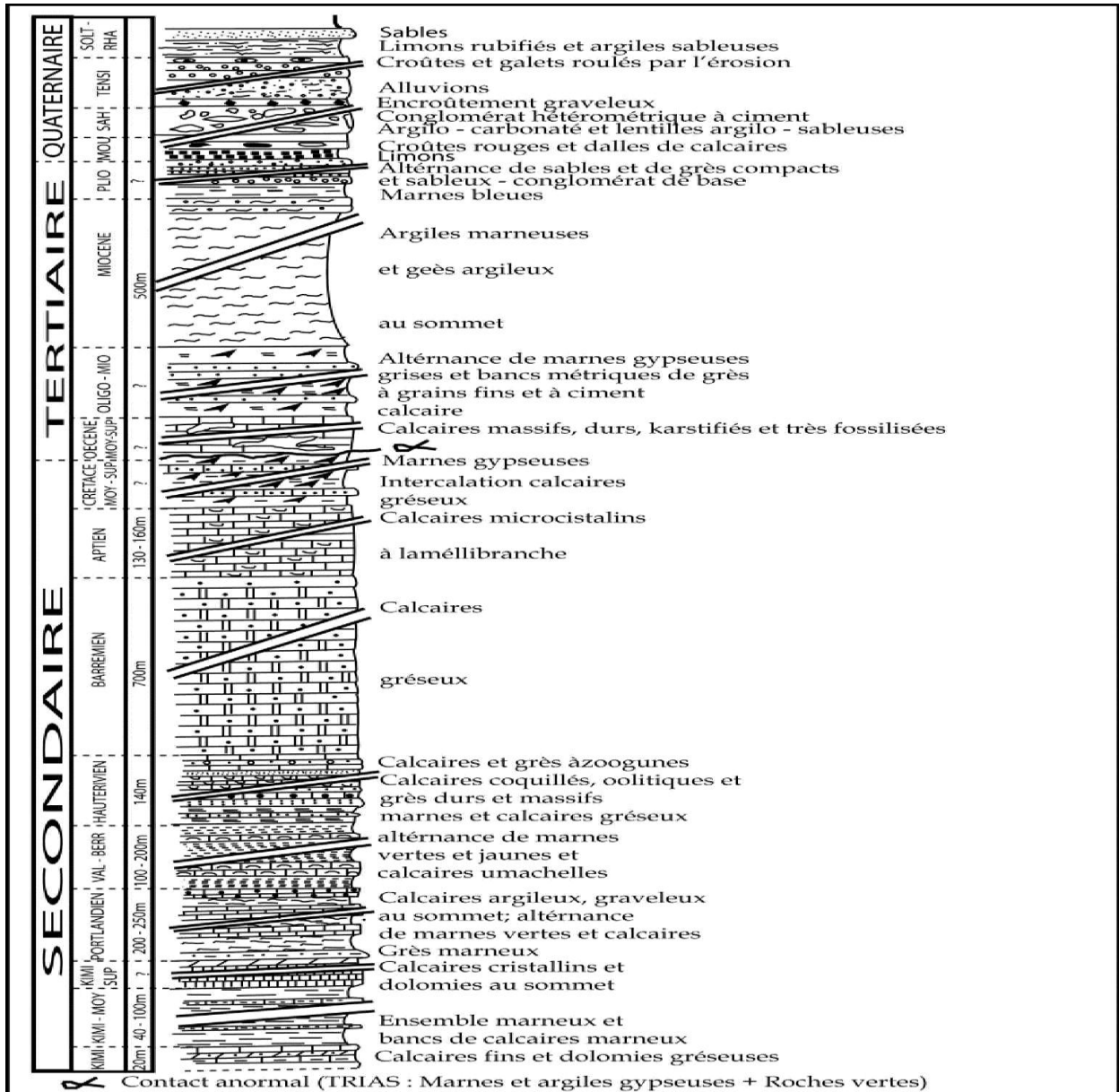


Figure I.6: Log lithostratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbas (Sourisseau, 1973)

La forme allongée du bassin versant, la faiblesse de la pente et fragilité du sol lié à l'irrégularité du couvert végétal sont autant de facteurs qui favorisent le phénomène de

l'érosion et de la sédimentation dont les conséquences se manifestent par l'inondation de plusieurs localités situées dans la plaine (Otmame A, 2015)

I.3.3.2. Tectonique

Il existe deux styles tectoniques bien distingués dans le bassin versant de la Mekerra :

Au Nord, Les phénomènes de charriage ont permis à l'Oligo-Miocène, avec son front de lambeaux de calcaires éocènes, de recouvrir les terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur. Ceux-ci reposent sur le Miocène moyen marin anté-nappe.

Au Sud, les terrains karstiques peu plastiques, légèrement ondulés, donnent une tectonique cassante très prononcée, représentée sous forme d'accidents verticaux et subverticaux, sans doute le reflet des déformations du socle, découpant le massif en deux directions (D. Auclair et J. Biehler, 1967) (fig. I.7) :

- WSW-ENE : Accidents effondrant en marches d'escalier le substratum jurassico-crétacé dans la plaine de Sidi Bel Abbas.
- ESE-WNW : Accidents obliques délimitant des panneaux en horsts et grabens.

A l'Ouest, une cassure nette sépare les formations plio-quadernaires de la plaine alluviale des formations mésozoïques des hauts plateaux (G. Thomas. 1985).

A ces deux styles tectoniques, s'ajoute une activité tectonique récente qui se manifeste essentiellement par :

- La déformation du Miocène,
- Une faille dont le rejet peut atteindre 10 m au contact Pliocène continental - Plio-Quadernaire ;
- Une faille à faible rejet dans les conglomérats quadernaires des terrasses de l'Oued Tissaf.

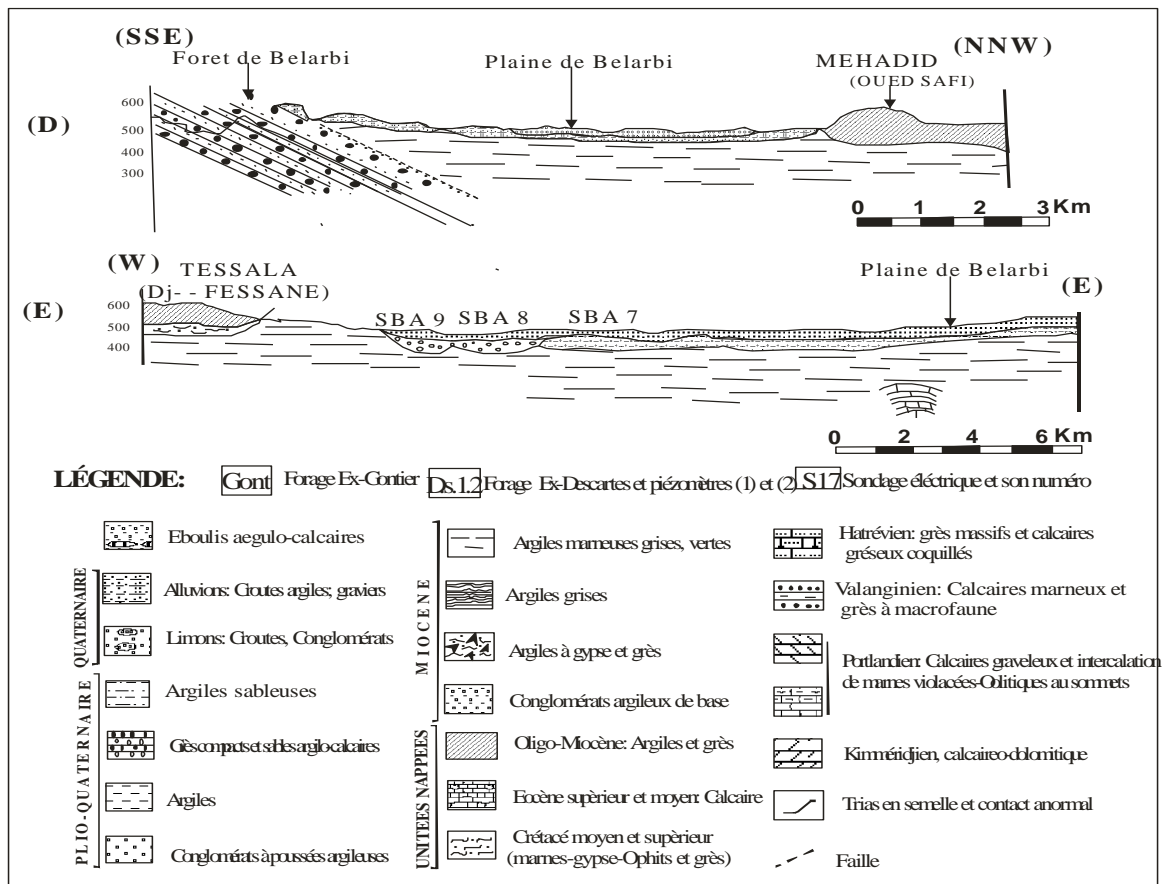


Figure I. 7 : Coupes géologiques de la plaine de Sidi Bel Abbas (B Sourisseau, 1972)

I.4. Aperçu hydrogéologique

I.4.1. Identification des différents aquifères

La région d'étude peut être subdivisée en quatre entités hydrogéologiques distinctes avec les calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb au Sud, la plaine alluviale proprement dite plio-quaternaire au centre, les grès pliocènes de la forêt de Tenira à l'Est et les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi au Nord.

a- Nappe alluviale du Plio-Quaternaire

Cette nappe repose sur des formations marines du Pliocène (marnes bleues, grès et molasse), surmontées par des formations quaternaires très variées allant des alluvions plus ou moins cimentés d'épaisseur environ 45 m à la base jusqu'aux formations limoneuses et argiles sableuses au sommet. Elle constitue le siège d'une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbas dans lequel la nappe devient semi captive.

Sur le plan tectonique, les formations plio-quaternaires n'ont subi aucune déformation à l'exception des conglomérats quaternaires des terrasses d'Oued Tissaf affectés d'une faille de faible rejet.

b- Nappe des grès pliocènes de la forêt de Tenira

Cet aquifère est constitué de formations conglomératiques à la base, puis de grès sableux à teneurs en argiles variables, alternant avec des limons rouges et des conglomérats du Pliocène continental et repose sur les marnes grises du Miocène supérieur continental constituant ainsi son substratum.

Les grès du Pliocène de la forêt de Tenira sont limités à l'Est par les calcaires de Zigyne et au Sud par le Miocène supérieur continental. Ils contiennent une nappe discontinue alimentée exclusivement par son impluvium et qui elle même alimente la nappe alluviale principalement par l'intermédiaire de petites vallées étroites qui jouent un rôle de drain grâce à leur remplissage alluvionnaire.

c- Nappe des calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi (nappe des terrains charriés)

Cet aquifère est constitué essentiellement par un calcaire gris-bleu, dur, massif, bien lité et percé de lapiaz. Il repose anormalement sur des formations du Miocène moyen marin et du Crétacé moyen-supérieur autochtones qui affleurent au NW du bassin versant sous forme de marnes salifères et de calcaires. Il est surmonté par les unités allochtones de l'Oligo-Miocène, composées de marnes grises avec quelques bancs de conglomérats, constituant ici l'essentiel des nappes de Tessala.

Cette nappe est entièrement drainée par des sources dont les plus importantes sont : Ain El Hadjar, Ain Anefress et Ain Meddah. Ces sources déversent soit directement dans les alluvions, soit sur le Miocène marneux pour se ré-infiltrer ensuite dans les alluvions de l'Oued Anefress. Malgré de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, ces calcaires n'ont en raison de leur faible impluvium qu'une importance limitée (D. Auclair et J. Biehler, 1967).

La disposition structurale de cet aquifère est bien définie. Les phénomènes de charriage ont permis à l'Oligocène avec son front de lambeaux de calcaire éocène de recouvrir les terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur. Ceux-ci reposent sur le Miocène moyen anténappe.

d- Nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb

Situés dans la partie sud du bassin hydrologique, les formations épaisses de calcaires et dolomies jurassico-crétacés (calcaire de Remaila, dolomie de Tlemcen) qui présentent des intercalations marneuses reposent sur les argiles du Trias et sont surmontées par les formations éocènes. Cet ensemble de faciès (faciès dolomitique bien karstifié, faciès calcaire fissuré, faciès marneux) est hydrogéologiquement peu connu. Nous pensons qu'il serait vraisemblable de le considérer comme un aquifère unique, les zones de bonne perméabilité étant probablement en relation avec les nombreux accidents responsables de la structuration en marches d'escalier WSW-ENE qui affectent le substratum jurassico-crétacé.

L'infiltration directe des précipitations constitue sa principale source d'alimentation. Cette nappe est drainée par plusieurs sources dont les plus importantes sont : Ain Mekhareget Ain Skhouna qui se déversent dans l'Oued Mekerra.

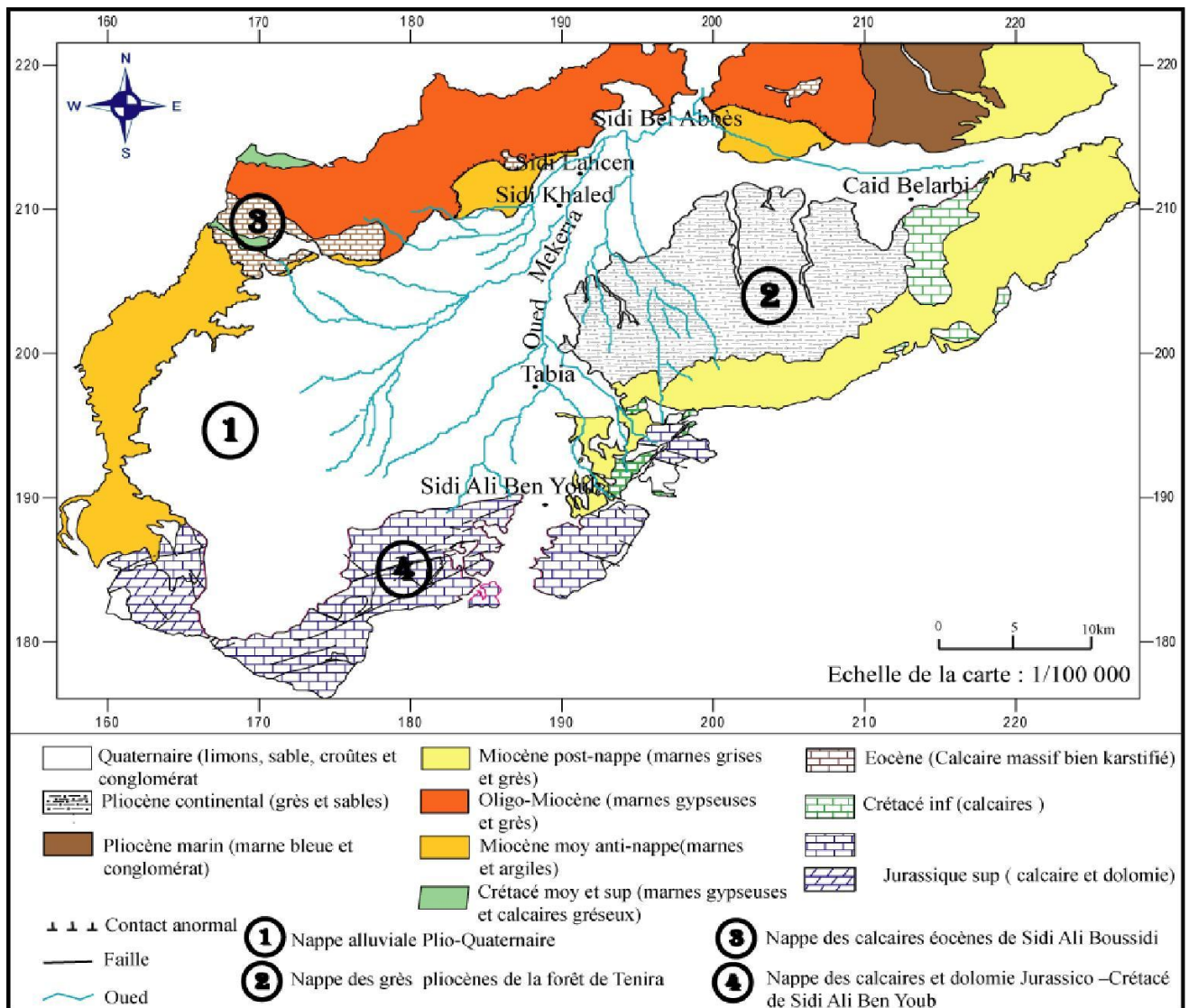


Figure I. 8 : Schéma des aquifères de la plaine de Sidi Bel Abbès
(Carte hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès, A.N.R.H., 1973)

I.4.2. Etude piézométrique de la plaine de Sidi Bel Abbès

La plaine de Sidi Bel Abbès possède une hydrogéologie locale simple au niveau de la nappe alluviale. La profondeur moyenne de la nappe alluviale, par rapport à la surface du sol, est de l'ordre de 15 à 40 m, avec toutefois des zones moins profondes le long des oueds comme pour (W-241-0199) et des zones plus profondes (W-271-045b).

L'analyse de la figure I. 9, révèle un sens d'écoulement des eaux souterraines, orienté sud-ouest/nord-est et une direction secondaire Est - Ouest dans la vallée de Belarbi-Mostapha Ben Brahim.

La morphologie des isopièzes est largement influencée par les hétérogénéités du milieu et présente deux allures différentes. La première est une concavité orientée vers

l'aval qui est le cas le plus fréquent expliquant un débit faible et /ou une forte perméabilité. La seconde, présente une concavité orientée vers l'amont (SW de la plaine) qui traduit un bombement de la surface libre lié à l'influence des dépôts caillouteux et limoneux qui diminue la perméabilité.

La disposition et la forme des courbes isopièzes qui sont presque parallèles aux calcaires et dolomies jurassico-crétacés et aux grès du Pliocène continental, indiquent que l'alimentation de la nappe alluviale provient de ces deux formations.

A l'exception des eaux de la nappe situées à l'Ouest hors du bassin versant, l'eau qui transite par la nappe alluviale réapparaît exclusivement au lieu-dit le Rocher situé au Nord de la ville de Sidi Bel Abbès principalement par l'Oued Mekerra.

Les gradients hydrauliques varient entre 0.7% dans le SW de la plaine et 0.5% près de Sidi Bel Abbès et Sidi Khaled avec une zone intermédiaire à 1% entre Tabia et Sidi Khaled. Les zones à faibles gradients correspondent à une augmentation de la transmissivité.

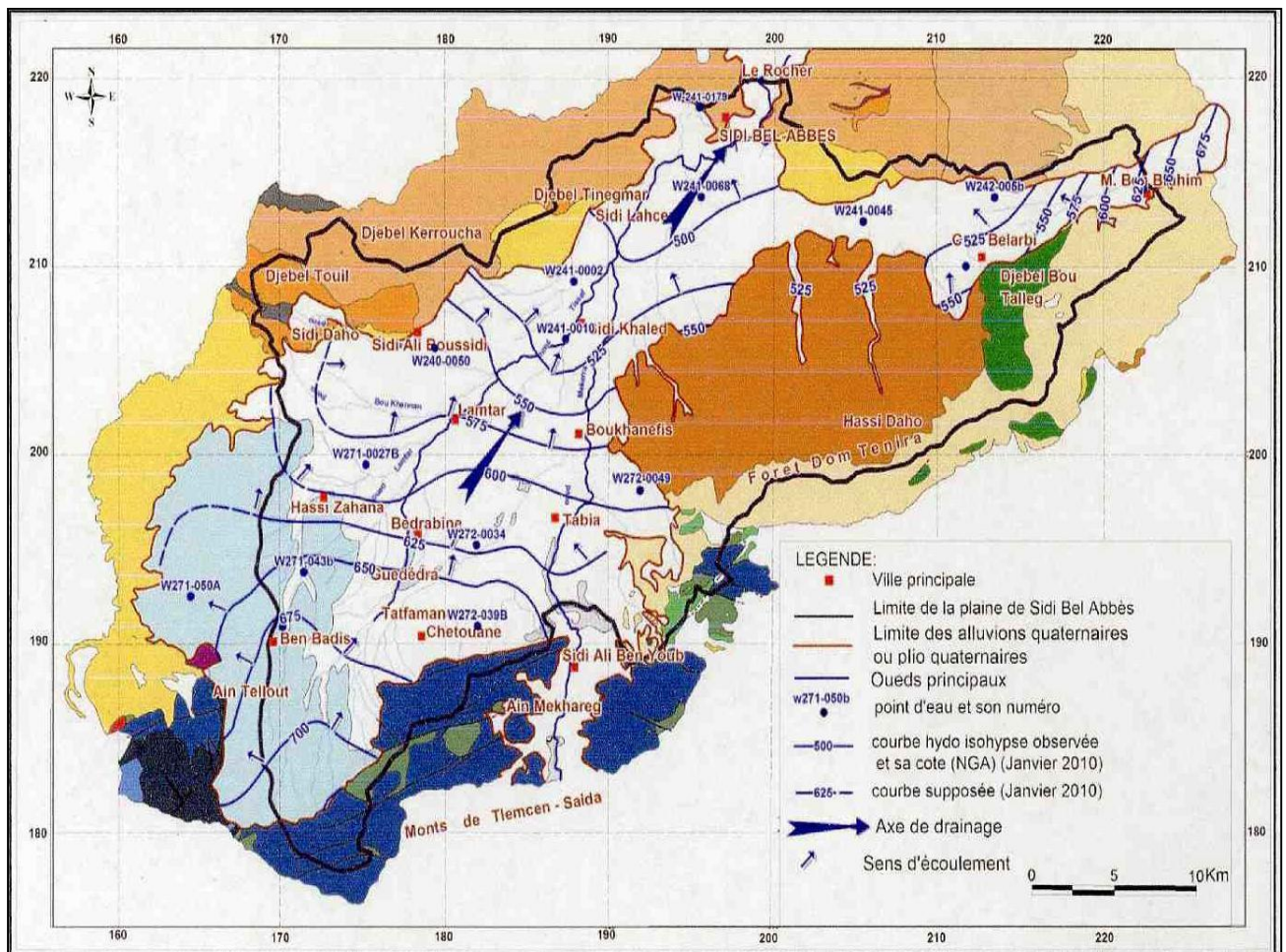


Fig. I. 9: Carte piézométrique de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel e (Janvier 2010, ANRH).

I.5. Conclusion

Cette étude fait ressortir du point de vue géologique trois domaines distincts :

- Domaine de nappes de charriage Oligo – miocène au Nord ;
- Domaine des formations plio-quadernaires constituant la plaine alluviale de Sidi Bel Abbès,
- Domaine karstique du Jurassico–Crétacé fortement accidenté au Sud de la plaine alluviale.

La zone d'étude est située dans une région semi-aride dans laquelle les ressources souterraines jouent un rôle capital. L'étude de ses ressources a décelé les formations aquifères suivantes :

*- Aquifères poreux

- Le remplissage du Plio – Quadernaire de la plaine de Sidi Bel-Abbès,
- les grès pliocène de la forêt de Tenira.

*- Aquifères fissurés et karstiques

- Les formations calcaires et de dolomies Jurassico-crétacés des monts de Sidi Ali Ben Youb,
- les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi,
- les calcaires de Zygine (Aptien) de la forêt de Belarbi.

L'étude piézométrique a mis en évidence un sens d'écoulement des eaux souterraines, orienté SW/NE et une direction secondaire Est - Ouest dans la vallée de Belarbi-Mostapha Ben Brahim.

L'alimentation de l'oued par la nappe est toujours présente et montre que la nappe alluviale alimente en partie les Oueds Mekerra et Tissaf sur toute l'étendue de la plaine, ce qui indique un contact permanent entre la nappe et les oueds.

CHAPITRE II

Etude climatique

II. Introduction

Le climat, c'est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés dans le passé et qu'on s'attend d'observer encore sur une longue période. On peut le définir aussi comme « *la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée* » (Gibbs, 1987).

Les conditions climatiques jouent un rôle important dans les comportements hydrologiques des cours d'eau et des conditions de recharge des aquifères.

Pour cette étude nous avons utilisé la station de Sidi Bel Abbes dont les caractéristiques se trouvent dans le tableau II.1.

Tableau II.1 : Caractéristiques de la station de mesure.

Station	Altitude (m)	X (Km)	Y (Km)	Code de la station
Sidi Bel Abbes	476	194.250	215.600	110305

II.1. Etude des précipitations

II.1.1. Variation des précipitations annuelles

Tableau II.2: Précipitations moyennes annuelles à la station de Sidi Bel Abbes (1980/1981-2015/2016).

Années	1980/1981	1981/1982	1982/1983	1983/1984	1984/1985	1985/1986	1986/1987
P (mm)	290.1	98.9	399.5	223.2	475.0	309.9	226.9
Années	1987/1988	1988/1989	1989/1990	1990/1991	1991/1992	1992/1993	1993/1994
P (mm)	254.0	269.5	303.8	285.7	218.3	184.6	238.1
Années	1994/1995	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001
P (mm)	453.7	197.9	196.2	394.8	125.1	313.9	340.5
Années	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
P (mm)	453.9	239.3	198.4	359.5	362.1	167.7	366.5
Années	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
P (mm)	589.4	375.7	379.9	282.7	435.3	404.4	452.0
Années	2015/2016	P moy=309.7 mm					
P (mm)	290.4						

D'après cette série de 36ans (1980/1981-2015/2016), la pluviométrie moyenne annuelle enregistrée sur cette période est de 309.7mm. Toutefois, la pluviométrie annuelle est très variable d'une année à l'autre. Cette variabilité annuelle des précipitations est une caractéristique du climat méditerranéen (fig. II.1).

La région est caractérisée par des périodes humides atteignent un maximum de 589.4 mm enregistré en 2008/2009 et des périodes sèches avec un minimum de 89.9 mm observé en 1981/1982.

Le coefficient d'irrégularité calculé à partir de P_{max}/P_{min} est de 6.56 confirme l'ampleur de cette variabilité.

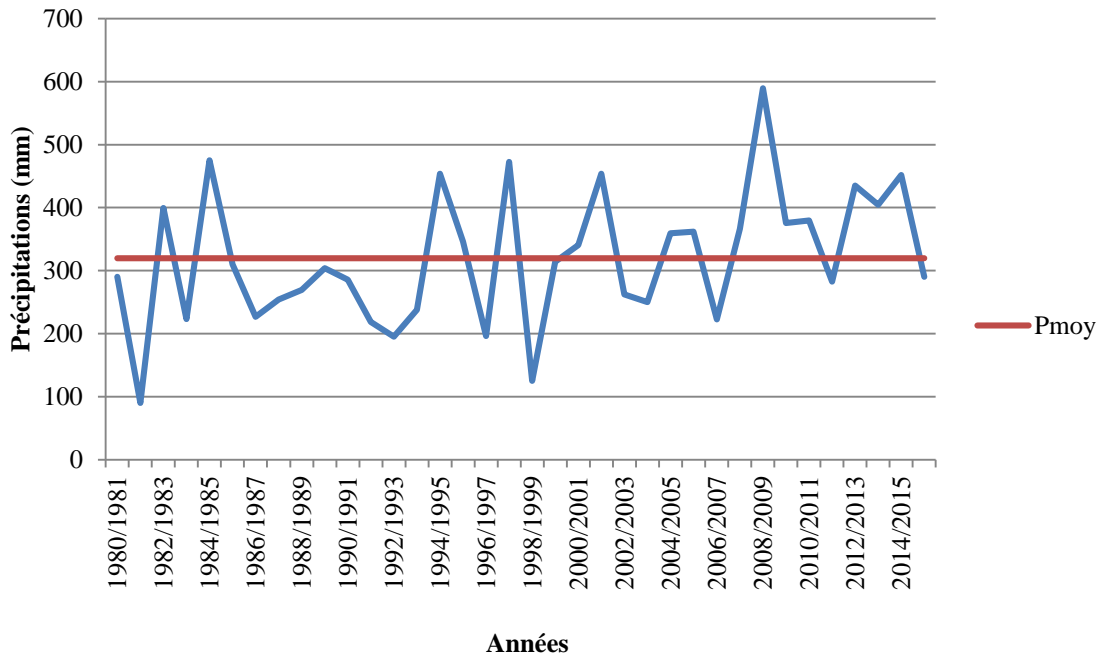


Figure II.1 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Sidi Bel Abbas (1980/1981-2015/2016).

II.1.2. Variation des précipitations mensuelles

Tableau II.3 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbas (1980/1981-2015/2016).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	15.2	26.2	49.1	38.5	42.5	40.4	35.7	31.3	19.8	6.4	1.5	3.1

L'évolution des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbas pour (fig. II.2) montre que le mois le plus humide est celui de Novembre avec 49.1 mm, suivi de Janvier et Février, alors que Juillet est le mois le plus sec avec 1, 5mm.

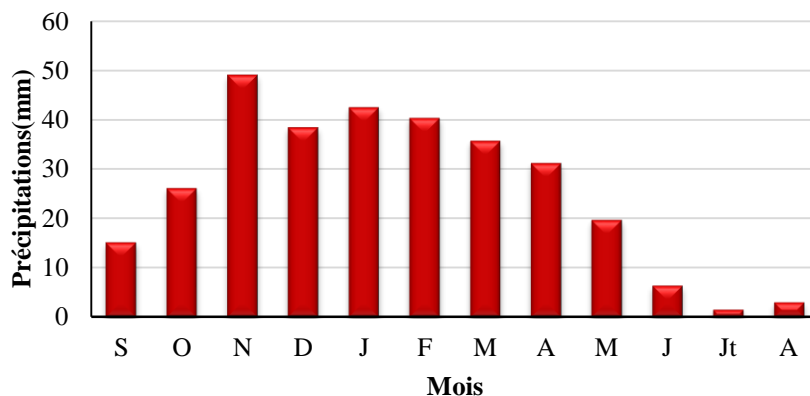


Figure II.2 : Répartition des précipitations mensuelles à la station de Sidi Bel Abbas (1980/1981 – 2015/2016)

II.1.3. Précipitations saisonnières

Les quatre saisons de l’année et leurs précipitations équivalentes sont données au tableau suivant :

Tableau II.4 : Répartition des précipitations saisonnières

Saisons	Hiver	Printemps	Été	Automne
Mois correspondants	Décembre Janvier Février	Mars Avril Mai	Juin Juillet Aout	Septembre Octobre Novembre
P (mm)	121.4	86.8	11.0	90.5

La distribution saisonnière des précipitations (fig. II.3) montre que l’été correspond à la saison la plus sèche. L’Hiver forme une « super saison » humide où s’effectuerait la plus grande partie des écoulements.

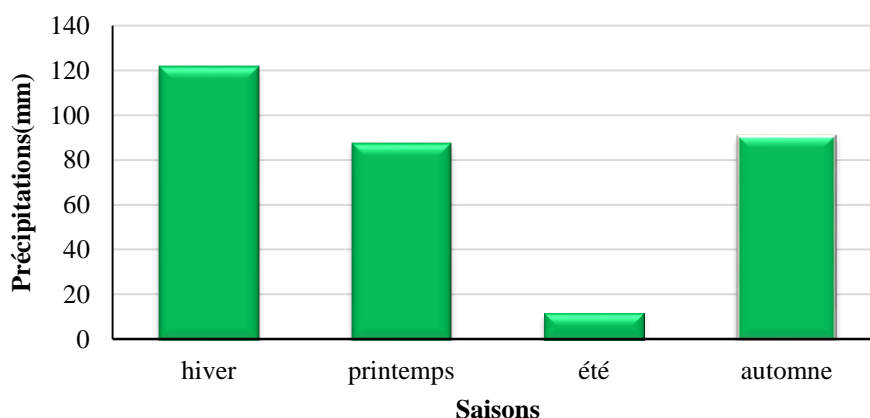


Figure II.3 : Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sidi Bel Abbas (1980/1981-2015/2016).

II.2. Etude de la température

II.2.1. Variation mensuelle de la température

La représentation de la température moyenne mensuelle permet de considérer le mois de Janvier comme étant le plus froid (8.85 °C) et les mois d'Août et Juillet comme les plus chauds de l'année (>26°C) (tableau II.5 et figure II.4).

Tableau II.5 : Répartition des températures moyennes mensuelles (1980/1981-2015/2016).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Moyenne
T (°C)	23.33	18.01	13.15	10.20	8.85	10.08	12.61	14.62	19.03	23.24	26.81	26.50	17.2

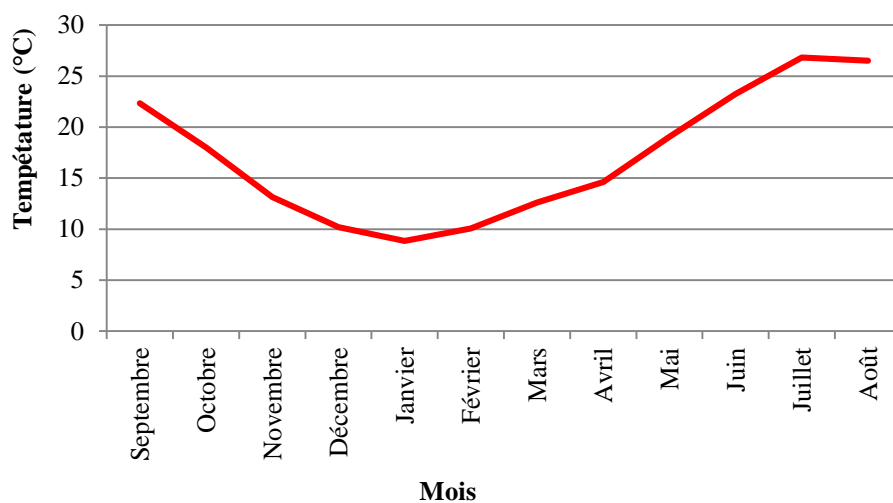


Figure II. 4 : Variation des températures moyennes mensuelles, à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981-2015/2016).

II.3. Etude du climat

L'étude du climat et des indices climatiques se fera à partir des données moyennes mensuelles des températures et des précipitations sur la période (1980/1981 – 2015/2016)

Tableau II.6 : Précipitations et températures moyennes mensuelles (1980/1981 – 2015/2016) à la station de Sidi Bel Abbès

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	15.2	26.2	49.1	38,5	42.5	40.4	35.7	31.3	19.8	6.4	1.5	3.1
T (°C)	23,33	18	13.2	10.2	8.9	10.1	12.61	14.6	19	23	26.8	26.5

II.3.1. Courbe pluvio-thermique (méthode de Gaussen et Bagnouls) :

Cette méthode est basée sur une visualisation graphique. On trace les deux courbes des précipitations et des températures moyennes mensuelles sur un graphe avec deux échelles différentes ($P = 2T$).

Si la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations, on dit que la période est déficitaire. Dans le cas inverse, la période est dite excédentaire.

La figure II.5, montre que la période humide (excédentaire) s'étale d'Octobre à Avril et le reste de l'année correspond à une période sèche (déficitaire).

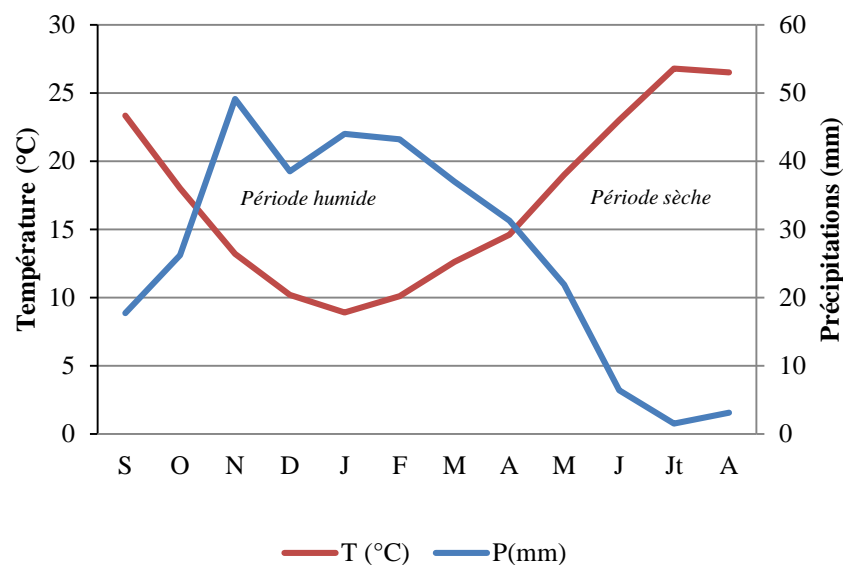


Figure II.5 : Diagramme pluvio-thermique de Gaussen et Bagnouls à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981 – 2015/2016)

II.3.2. Indice d'aridité de Martonne :

L'étude de certains indices climatiques est importante, car elle permet de mieux appréhender le type de climat de la région étudiée. Dans notre cas, nous étudierons l'indice de De Martonne.

La classification d'Emmanuel De Martonne (1926) est fondée sur un indice d'aridité qu'il a défini comme le rapport entre les précipitations et les températures dont la formule est la suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C).

Cette formule permet de trouver le type de climat qui règne dans le sous bassin versant, par utilisation de la classification qui suit :

- $20 < I < 30$: Climat Tempéré
- $10 < I < 20$: Climat Semi Aride
- $7.5 < I < 10$: Climat Steppique
- $5 < I < 7.5$: Climat Désertique
- $I < 5$: Climat Hyperaride

Nous avons obtenu un indice d'aridité, $I=11.76$. Cette valeur reportée sur l'abaque de De Martonne indique un régime climatique semi aride avec un écoulement temporaire et des formations herbacées.

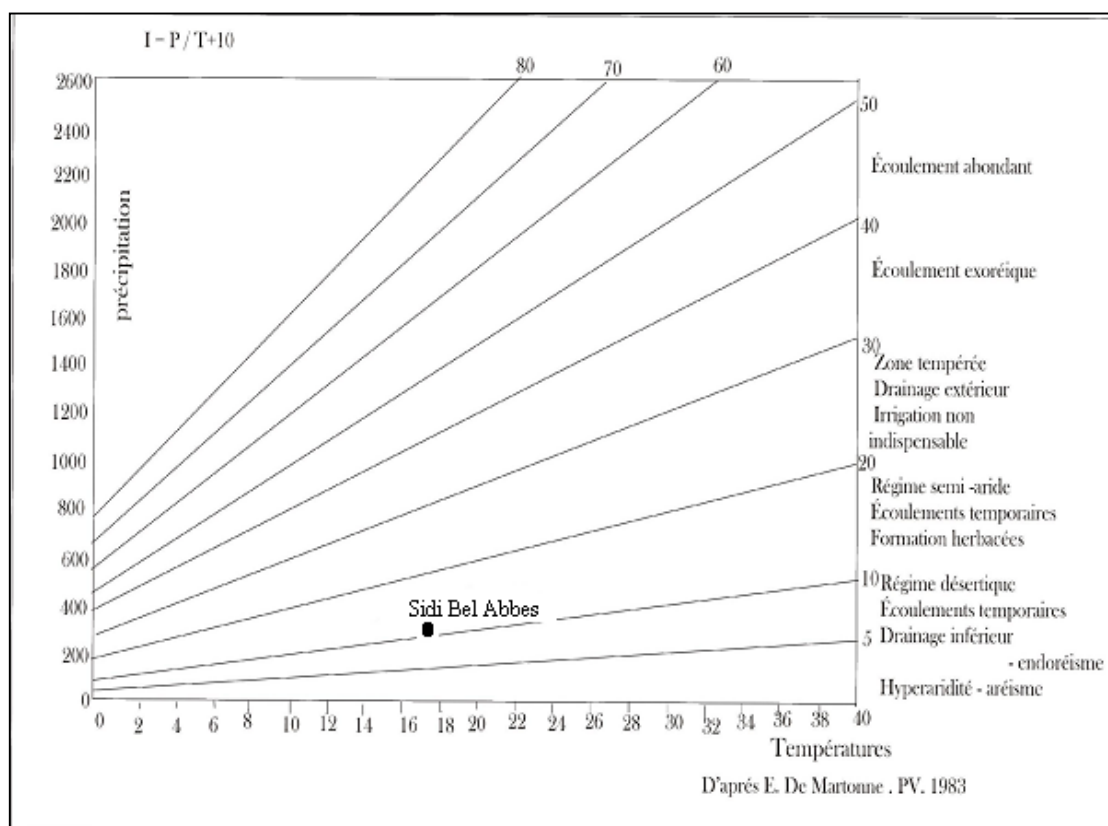


Figure II.6Abaque de Martonne.

II.4. Conclusion

Les différentes méthodes utilisées dans ce chapitre indiquent que le climat de Sidi Bel Abbas est de type semi-aride. La température moyenne annuelle est de $17,2^{\circ}\text{C}$. La région a enregistré des précipitations annuelles en moyenne égale à 309.7mm durant la période de (1980/1981 – 2015/2016).

CHAPITRE III

Etude hydrochimique

Introduction :

- L'étude hydrochimique nous permet de connaître la qualité des eaux et de confirmer les résultats de l'étude géologique et hydrogéologique.
- Cette étude est basée sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés au niveau de 18 points prélevés par l'A.N.R.H en 2013 (annexe III.1) et répartis au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès comme le montre la figure III. 1
- Les éléments majeurs sont :
 - Cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
 - Anions: HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- .

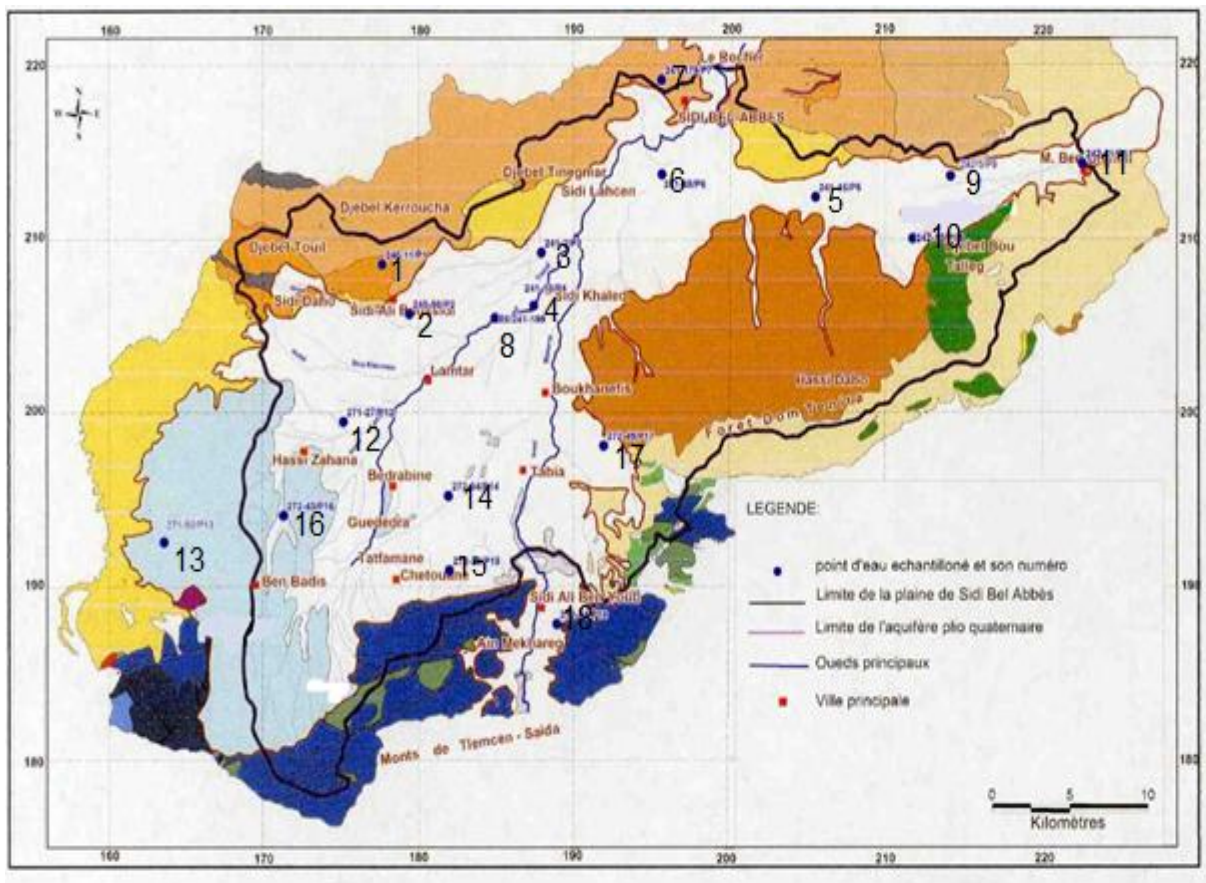


Figure III.1 : Localisation des points de Sidi Bel Abbès (Abtout L., 2008)

III.1. Contrôle des analyses chimiques par la balance ionique

Les analyses peuvent être contrôlées par la formule suivante (Rodier, 2009):

$$BI = \left| \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} \right| \times 100$$

BI: Balance ionique (%),

r:Quantités en réaction (meq/L).

avec :

* $BI \leq 2\% \Rightarrow$ Très bonne analyse.

* $2\% > BI > 5\% \Rightarrow$ Analyse acceptable.

* $BI > 5\% \Rightarrow$ Mauvaise analyse.

Les résultats des analyses chimiques effectués sur les échantillons prélevés dans les différents points d'eau sont mentionnés au tableau III.1.

La balance ionique calculée révèle que :

-Les points d'eau : P2, P3, P5, P6, P7, P8, P12, P13, P14, P15, P16, P18 présentent une BI inférieure à 2%, les analyses sont donc très bonnes.

- Les points P1, P4, P9, P10, P11 présente une BI comprise entre 2% et 5%, nous considérons les analyses comme acceptables.

-Le point P17 est légèrement supérieur à 5%, l'analyse est donc considérée aussi comme acceptable.

Tableau III.1 : Résultats des analyses chimiques (meq/L)

Point d'eau	X (Km)	Y (Km)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σcations	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Σanions	BI
			meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L
P1	177,6	208,45	12,25	4,28	11,22	0,23	27,98	1,25	2,97	25,92	30,14	3,72
P2	179,3	205,6	63,35	5,92	27	0,23	96,5	8,65	1,98	86,37	97	0,26
P3	187,8	209,15	8,7	15,13	22,39	0,13	46,35	2,67	5	37,27	44,94	1,54
P4	187,3	206,1	5	4,36	12	1,77	23,13	3,75	8,44	9,58	21,77	3,03
P5	205,5	212,35	4,2	16,61	19	0,15	39,96	4,04	8,25	28,05	40,34	0,47
P6	195,6	213,65	16,85	11,51	10	0,36	38,72	5,42	4,95	29,88	40,25	1,94
P7	195,6	219,1	9	17,76	11,78	0,13	38,67	4,25	6,05	28,05	38,35	0,42
P8	184,8	205,4	10,05	7,89	10,7	0,1	28,74	1,58	2,97	23,99	28,54	0,35
P9	213,5	213,65	6,45	7,48	5,09	0,1	19,12	4,69	5,44	7,78	17,91	3,27
P10	211,8	210	19,85	12,34	11,39	0,21	43,79	3,71	5,74	36,46	45,91	2,36
P11	222,7	214,3	25,85	6,74	20,22	0,05	52,86	6,5	5	45,05	56,55	3,37
P12	175,1	199,4	13,25	4,11	7,7	0,1	25,16	2,33	0,39	21,59	24,31	1,72
P13	164,4	192,85	6,15	8,14	13,22	0,87	28,38	1,63	5,2	21,11	27,94	0,78
P14	181,8	195,15	9,6	7,65	7,52	0,1	24,87	4,9	5,56	14,68	25,14	0,54
P15	181,9	190,85	6,75	6,74	5,7	0,1	19,29	5,35	5,44	8,32	19,11	0,47
P16	171,2	194	13,45	6	5,7	0,1	25,25	3,1	6,54	15,56	25,2	0,09
P17	191,8	198,05	4	5,1	15,09	0,13	24,32	9,63	6	11,26	26,89	5,02
P18	188,8	187,78	9,8	7,65	26,78	0,28	44,51	4,5	5,51	35,11	45,12	0,68

Pour confirmer la qualité de nos analyses nous avons essayé de trouver une relation entre la somme des cations et celle des anions dont les résultats apparaissent sur la figure III.1.

En effet, les points dans l'ensemble sont proches de la droite $y = x$, nous pourrions donc considérer les résultats d'analyse comme acceptables dans l'ensemble.

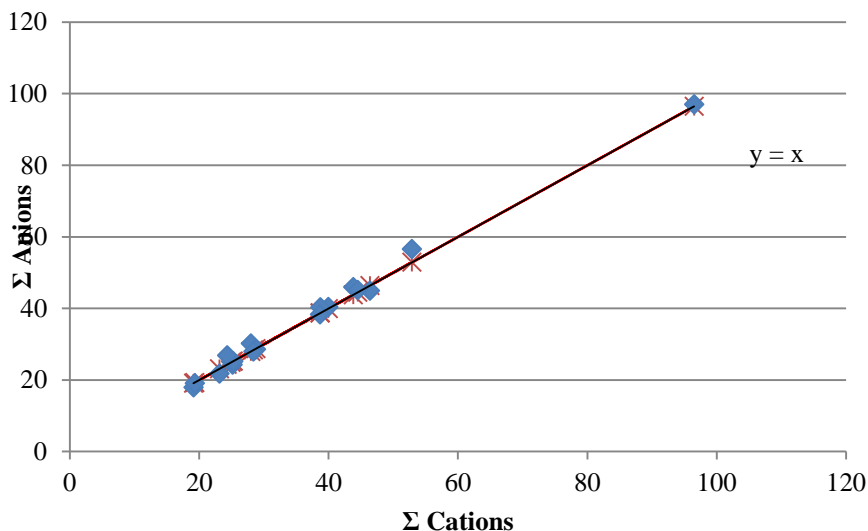


Figure III.2 : Comparaison entre les cations et les anions des points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbas

III.2. Interprétation des analyses physico-chimiques

Le tableau suivant montre les caractéristiques physico-chimiques des 18 points d'eau utilisés dans ce chapitre :

Tableau III.2 : Caractéristiques statistiques physico-chimiques des points d'eau

Anions	Unités	Minimum	Maximum	Moyenne
HCO ₃ ⁻	mg/L	24	515	309,83
SO ₄ ²⁻	mg/L	60	462	207,83
Cl ⁻	mg/L	259	2867	899,11
Ca ²⁺	mg/L	80	1267	271,72
Mg ²⁺	mg/L	50	216	105
Na ⁺	mg/L	117	621	309,83
K ⁺	mg/L	2	69	11,16

- a- **L'ion Calcium (Ca²⁺)** : La présence des ions Ca²⁺ dans les eaux de la nappe du Plio-Quaternaire est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) ainsi que les formations gypseuses (Trias) (CaSO₄). Les teneurs de l'ion Ca²⁺ sont comprises entre 80 mg/L comme valeur minimale et atteignent une valeur maximale de 1267 mg/L au niveau du point d'eau situé à l'ouest de la plaine (fig.III.3).

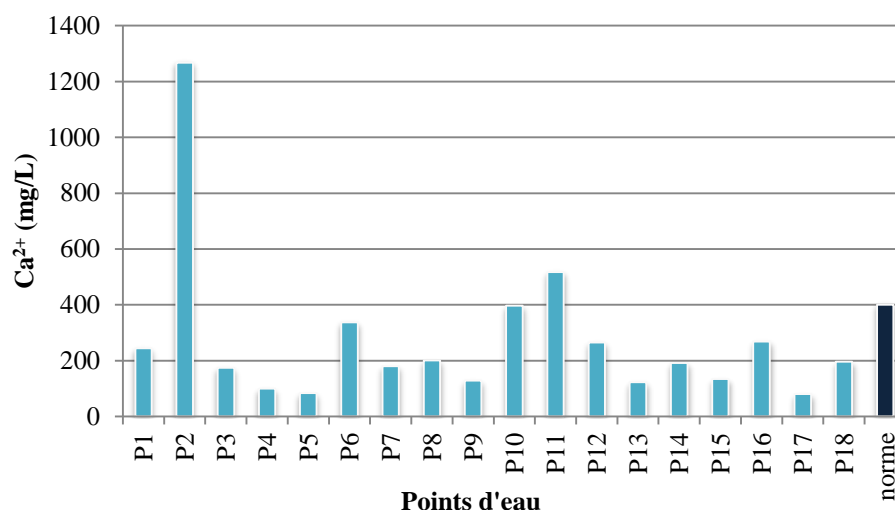


Figure III.3 : Variation de l'ion calcium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbas

b- L'ion Magnésium (Mg²⁺) : La norme fixe sa concentration maximale admissible (C.M.A.) à 150 mg/L valeur au-delà de laquelle il confère à l'eau une saveur désagréable. Dans cette étude la teneur de cet élément est comprise entre 50 et 216 mg/L. Dans la plaine trois points marquent des valeurs dépassant la CMA (P3, P5, P7) (fig.III.4).

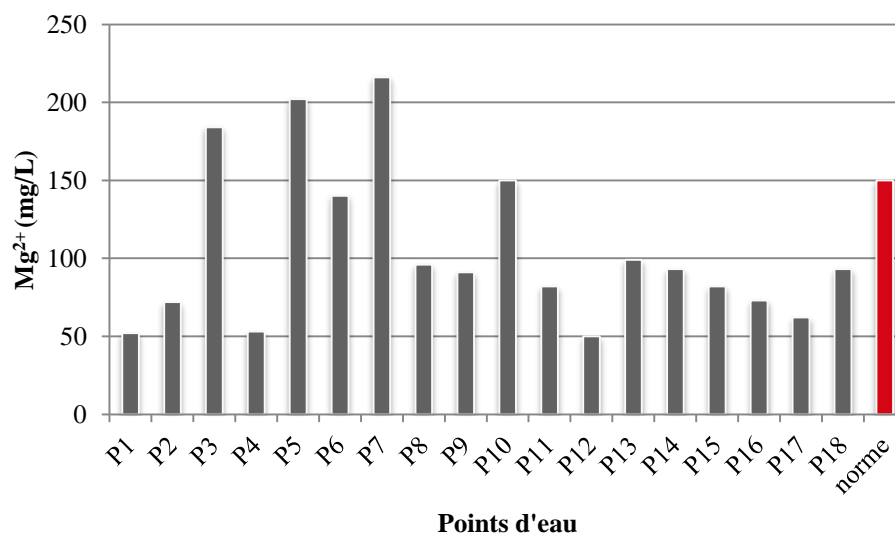


Figure III.4 : Variation de l'ion magnésium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbas

c- L'ion Sodium (Na⁺) : La teneur de l'ion Sodium est comprise entre 117 et 621 mg/L, la plupart des points dépassent la CMA fixée à 200 mg/L (fig.III.5).

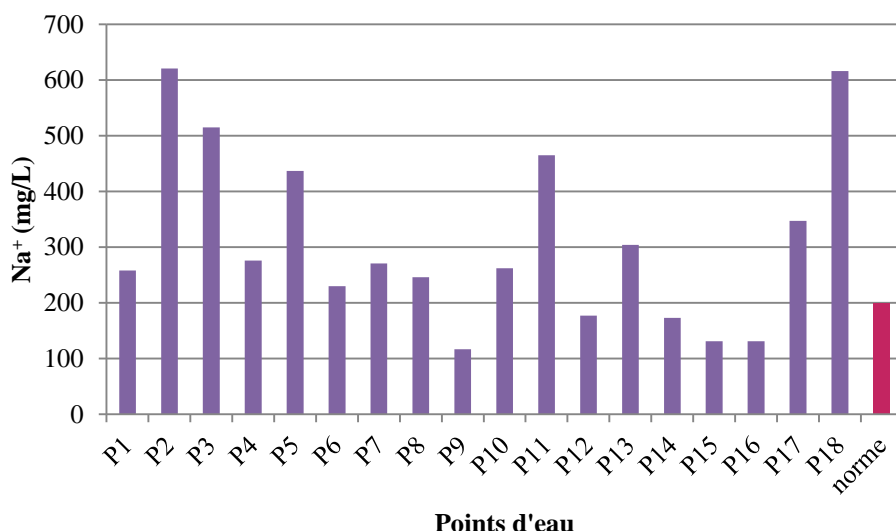


Figure III.5 : Variation de l'ion sodium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbes

d- L'ion Potassium (K⁺) : Malgré son abondance dans certaines roches magmatiques et sédimentaires, l'ion Potassium est généralement peu concentré dans les eaux souterraines, sa teneur dans l'eau naturelle est constante et ne dépasse pas habituellement les 15mg/L, Les normes fixent sa concentration maximale à 20 mg/L. Les analyses montrent que les eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes présentent des teneurs comprises entre 2 et 69 mg/L. Ce sont les points P4 et P13 qui dépassent les normes (fig.III.6)

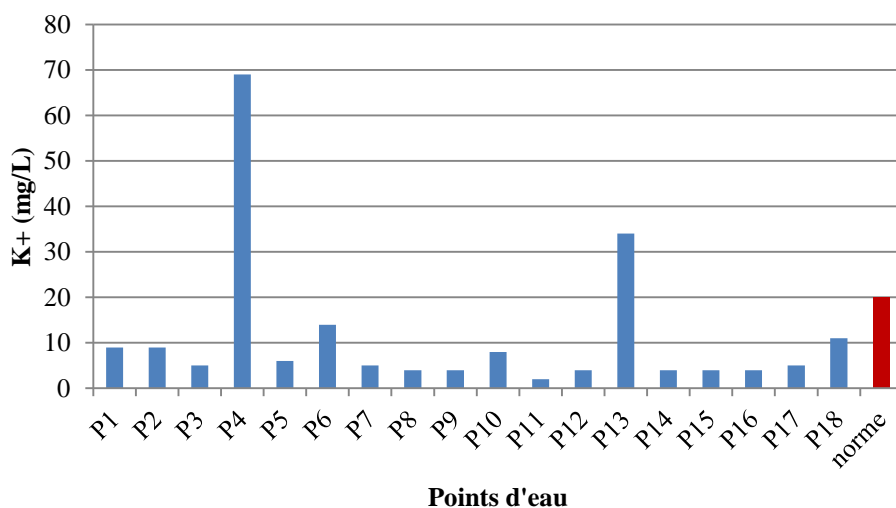
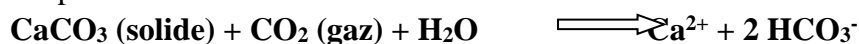


Figure III.6 : Variation de l'ion potassium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbes

e- L'ion Bicarbonate (HCO₃⁻) : Se forme à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux météoriques qui se chargent en CO₂ libre lors de leur percolation à travers le sol.



Les concentrations varient entre 24 et 515 mg/L (fig.III.7).

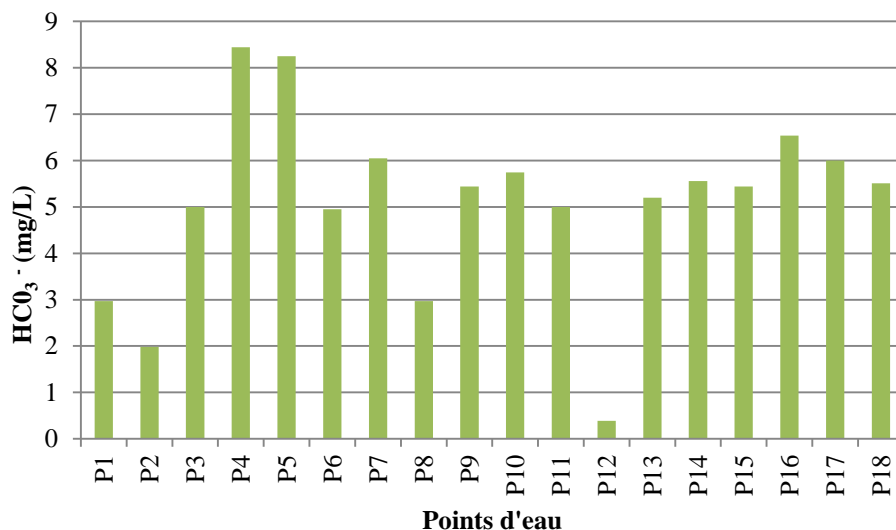


Figure III.7 : Variation de l'ion bicarbonate au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbas

f- **L'ion Chlorure (Cl⁻)** : Les teneurs en Cl⁻ sont très élevées, elles sont comprises entre 259 et 2876 mg/L. Les normes fixent sa concentration maximale à niveau guide à 200 mg/L. Le point P2 présente la plus forte valeur (fig.III.8).

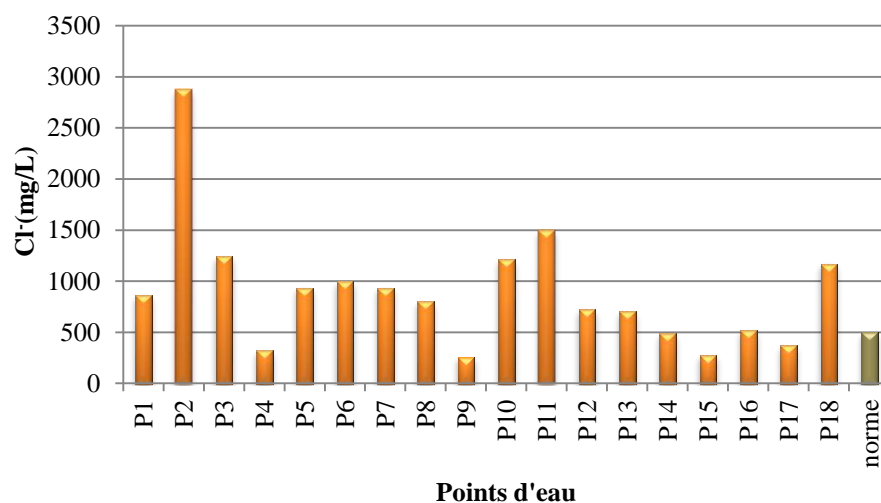


Figure III.8 : Variation des ions chlorures au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbas

g- **Les ions Sulfates (SO₄²⁻)** : La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable. Les normes fixent 400 mg/L comme CMA. Les teneurs sont comprises entre 60 et 462. Les puits P2 et P17 dépassent les normes (fig.III.9).

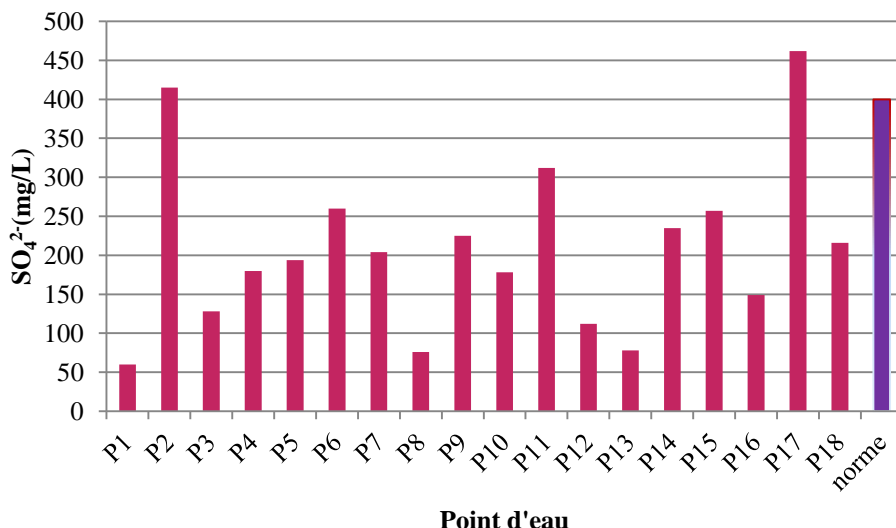


Figure III.9 :Variation des ions sulfates au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbes

III.3. Détermination des faciès des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes

Au cours de leur long trajet, les eaux prennent des faciès très différents dont on peut suivre l'évolution en classant les eaux en familles en fonction des teneurs décroissantes des anions et des cations et en utilisant les diagrammes de Schöeller-Berkaloff et de Piper.

III.3.1. Classification des eaux selon la formule caractéristique

Cette classification a mis en évidence les faciès décrits sur le tableau III.3

Tableau III. 3 : Classification selon les formules caractéristiques des eaux

Puits	Faciès chimique	Formules caractéristiques
P4, P8, P18	Chloruré Sodique et potassique	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ Na ⁺ +K ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺
P3, P5, P13		Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ Na ⁺ +K ⁺ > Mg ²⁺ > Ca ²⁺
P17		Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ Na ⁺ +K ⁺ > Mg ²⁺ > Ca ²⁺
P6	Chloruré calcique	Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺
P2, P11, P12		Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ Ca ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺ > Mg ²⁺
P1		Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ Ca ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺ > Mg ²⁺
P10, P14, P15, P16		Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺
P7	Chloruré magnésien	Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺ > Ca ²⁺
P9		Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺

Le tableau III.3 met en évidence trois types d'eau souterraine de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de Sidi Bel Abbas :

- chloruré calcique
- chloruré sodique et potassique
- chloruré magnésien

III.3.2. Classification graphique des eaux

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrochimie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles nous avons choisi celle de Schöeller-Berkaloff et celle de Piper.

III.3.2.1. Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller et Berkaloff

Les graphes de la figure III .10.a. b. c. montrent les différents faciès chimiques :

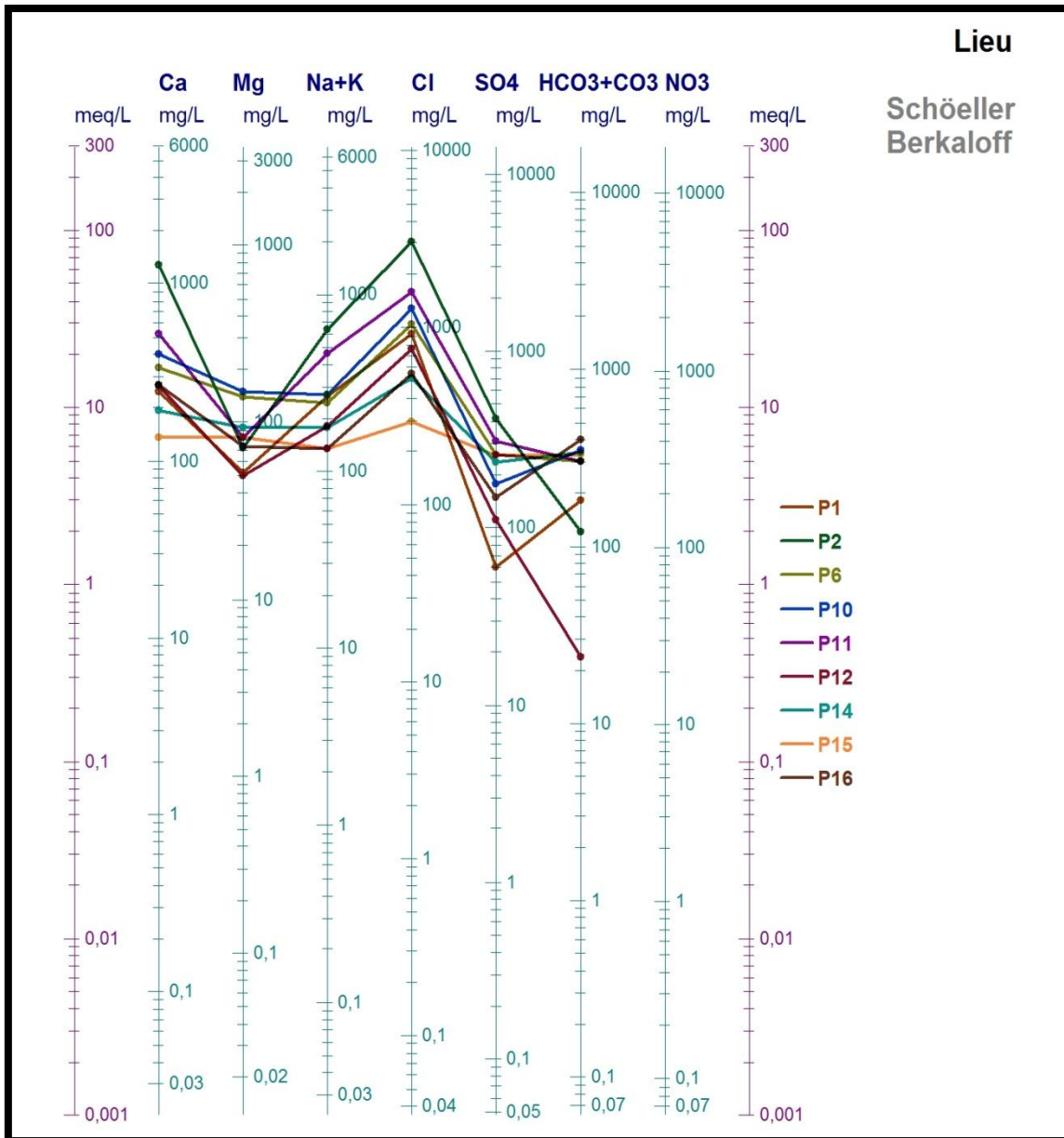


Figure III.10.a : Diagramme de Schöeller-Berkaloff (faciès chloruré calcique).

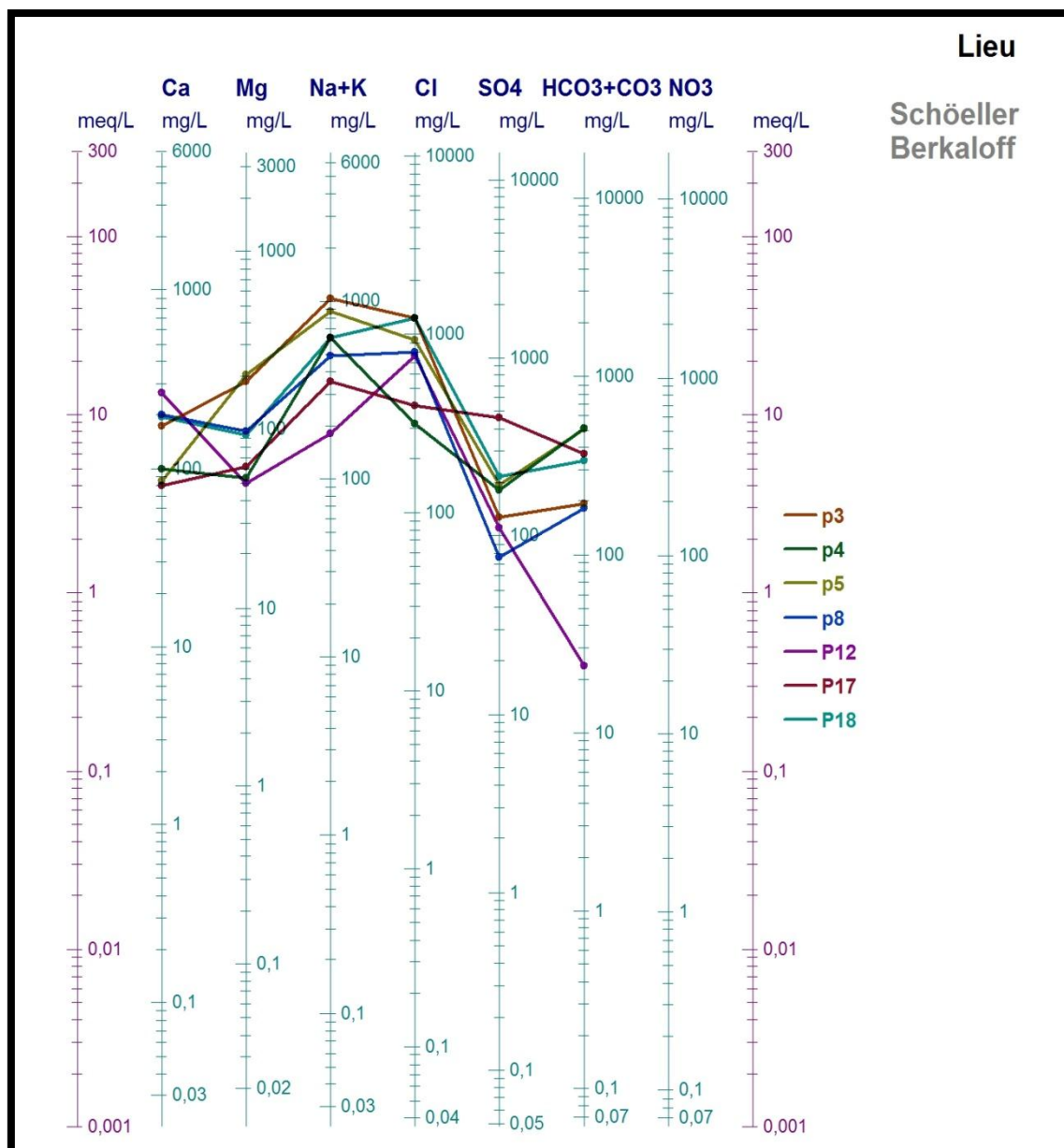


Figure III.10.b : Diagramme de Schöeller-Berkaloff (faciès chloruré sodique et potassique).

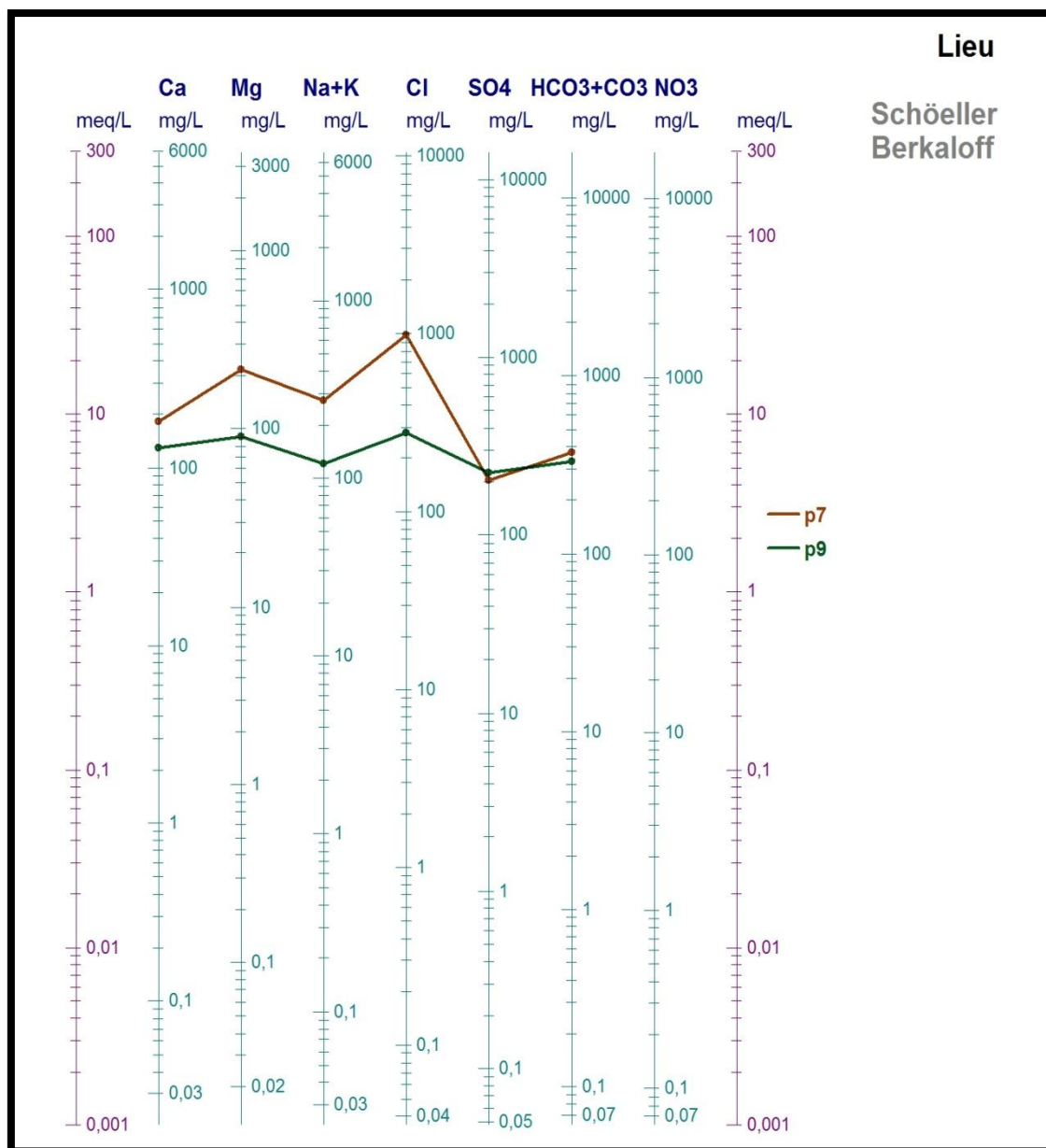


Figure III.10.c : Diagramme de Schöeller-Berkaloff (faciès chloruré magnésien).

III.3.2.2. Classification des eaux selon le diagramme de Piper

La représentation des éléments chimiques des différents échantillons sur le diagramme de Piper (fig. III. 11. a, b et c) montre que plus que la moitié des échantillons se situent sur le pôle caractérisant le faciès chloruré calcique et chloruré sodique.

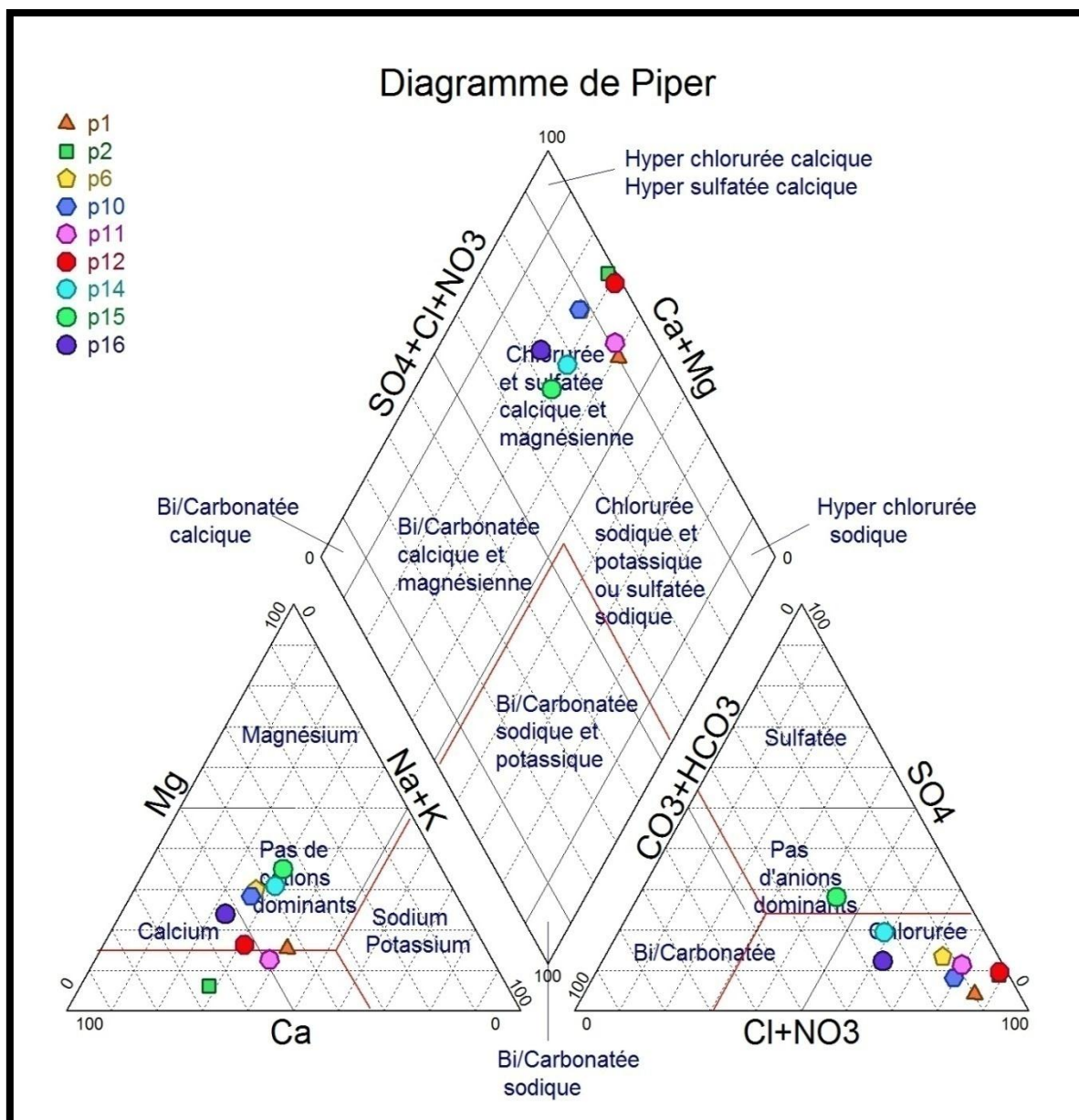


Figure III.11.a : Diagramme de Piper (faciès chloruré calcique).

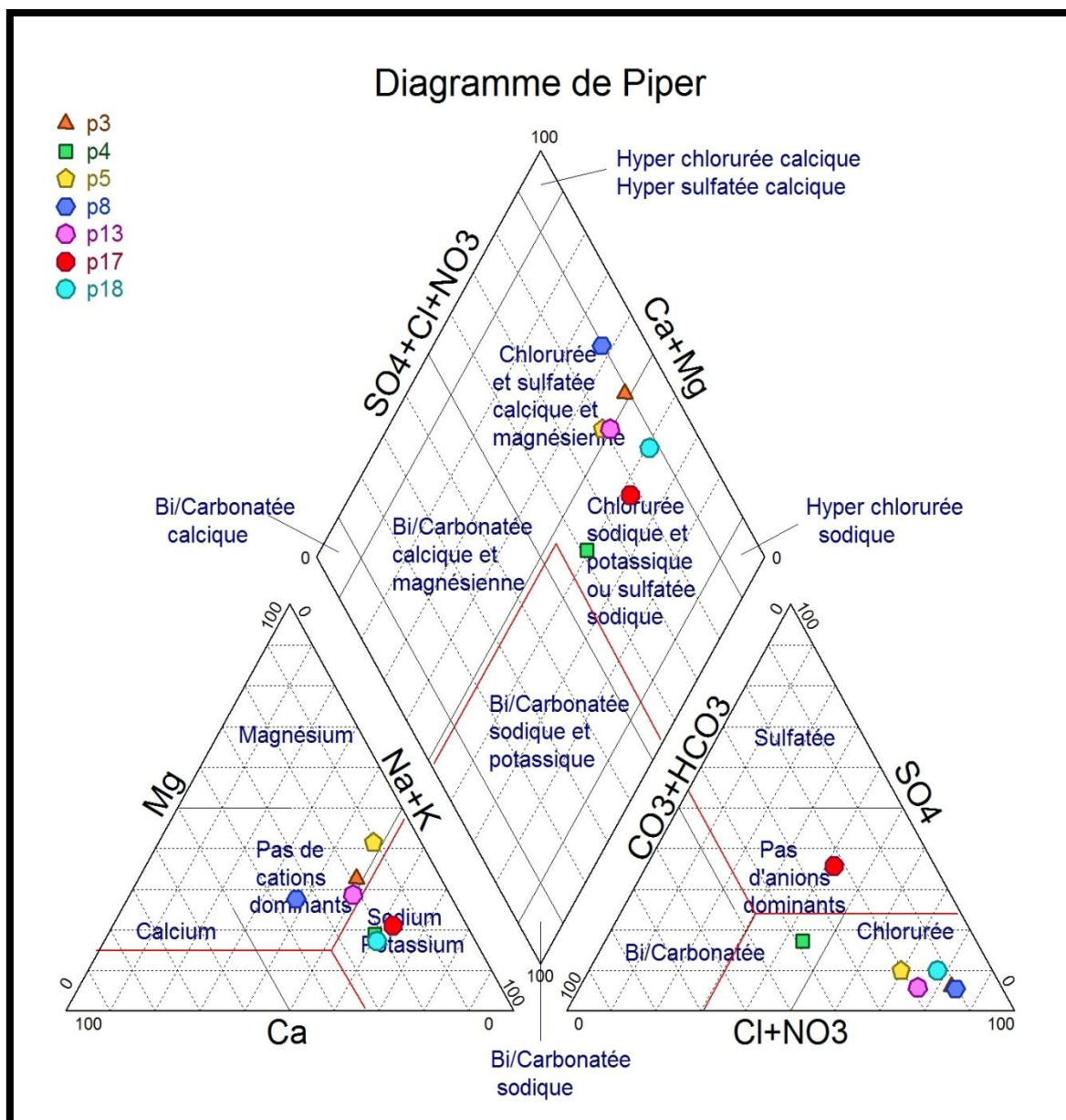


Figure III.11.b : Diagramme de Piper (faciès chloruré sodique).

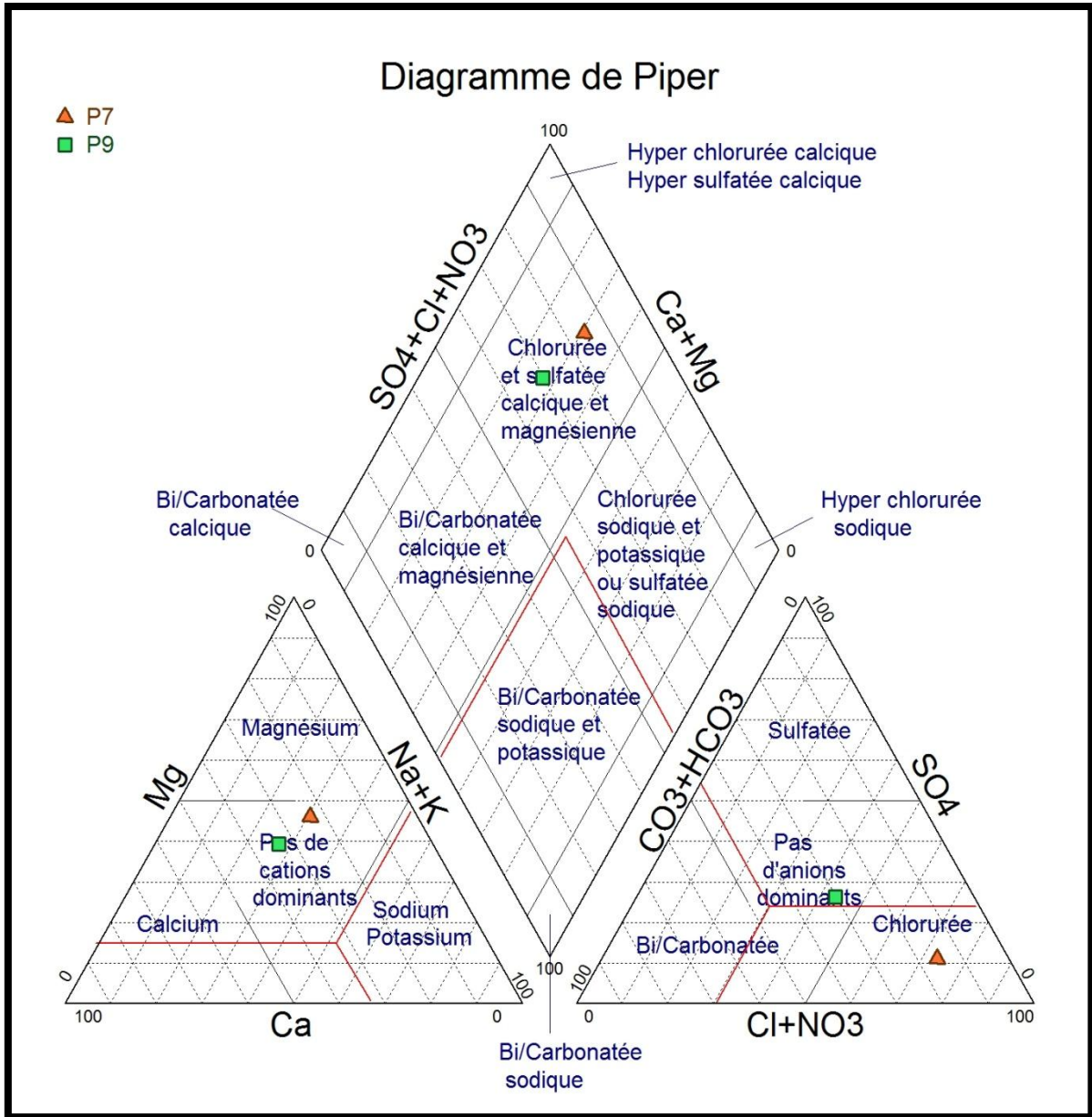


Figure III.11.c : Diagramme de Piper (faciès chloruré magnésien).

III.4. Etude de la minéralisation

La minéralisation d'une eau évolue de la même manière que sa conductivité donc il y a une relation proportionnelle entre ces deux paramètres. Le tableau III.4, montre la variation de la minéralisation des différents points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbas :

Tableau III.4 : Minéralisation des différents points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbas

Point d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Minéralisation (mg/L)	1752	4565	2725	1207	2459	2687	2383	2216	1639
Point d'eau	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Minéralisation (mg/L)	2647	2861	1426	2368	1587	1768	1541	1507	2168

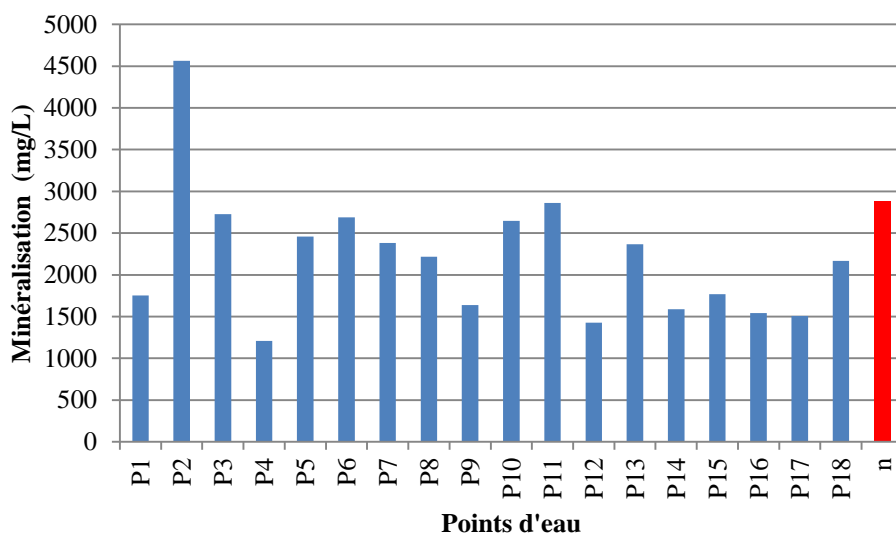


Figure III.12 : Variation de la minéralisation des points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbas

La figure ci-dessus montre que les valeurs de la minéralisation sont comprises entre 1207 et 4565 mg/L ceci est dû à la présence de fortes concentrations en éléments chimiques. Le point P2 a une valeur très élevée dépassant les normes algériennes de potabilité.

III.5. Qualité des eaux pour la consommation humaine et pour l'irrigation

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais également par son usage. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture. La mauvaise qualité des eaux peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels.

III.5.1. Potabilité des eaux

Les normes de potabilité nous renseignent sur la qualité des eaux. Les normes algériennes (N.A.6360-1992) sont inspirées de l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directives de la Communauté Economique Européenne (C.E.E). La qualité des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbas est consignée sur le tableau III.5

Tableau III.5 : Potabilité des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes selon les normes algériennes

Point d'eau	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Observation
Norme	200	150	200	20	400	-	500	-
P1	245	52	258	9	60	181	863	non potable
P2	1267	72	621	9	415	121	2876	non potable
P3	174	184	515	5	128	305	1241	non potable
P4	100	53	276	69	180	515	319	non potable
P5	84	202	437	6	194	503	934	non potable
P6	337	140	230	14	260	302	995	non potable
P7	180	216	271	5	204	369	934	non potable
P8	201	96	246	4	76	181	799	non potable
P9	129	91	117	4	225	332	259	potable
P10	397	150	262	8	178	350	1214	non potable
P11	517	82	465	2	312	305	1500	non potable
P12	265	50	177	4	112	24	719	non potable
P13	123	99	304	34	78	317	703	non potable
P14	192	93	173	4	235	339	489	non potable
P15	135	82	131	4	257	332	277	potable
P16	269	73	131	4	149	399	518	non potable
P17	80	62	347	5	462	366	375	non potable
P18	196	93	616	11	216	336	1169	non potable

III.5.2. Aptitude des eaux à l'irrigation

Pour étudier la qualité des eaux et voir leur aptitude à l'irrigation, nous utiliserons un ensemble d'indices

III.5.2.1. Indice de Kelly's Ratio (KR)

L'indice de Kelly's Ratio (KR) est représenté par le rapport des concentrations de Na⁺, la somme de Ca²⁺ et de Mg²⁺. Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation.

Une grande concentration en Na⁺ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation. Cet indice est donné par la relation suivante :

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

-Si, $KR < 1 \Rightarrow$ L'eau est bonne pour l'irrigation,

-Si, $KR \geq 1 \Rightarrow$ L'eau est considérée mauvaise pour l'irrigation.

Les résultats de cette étude sont reportés dans le tableau III. 6 et la figure III.13

Tableau III.6 :Classification des eaux de la plaine de sidi Bel Abbas selon le KR.

Point d'eau	KR	Résultats	Point d'eau	KR	Résultats
P1	0.69	Bonne	P10	0.35	Bonne
P2	0.39	Bonne	P11	0.62	Bonne
P3	0.94	Bonne	P12	0.44	Bonne
P4	1.28	Mauvaise	P13	0.93	Bonne
P5	0.91	Bonne	P14	0.43	Bonne
P6	0.35	Bonne	P15	0.42	Bonne
P7	0.44	Bonne	P16	0.29	Bonne
P8	0.6	Bonne	P17	1.66	Mauvaise
P9	0.36	Bonne	P18	1.53	Mauvaise

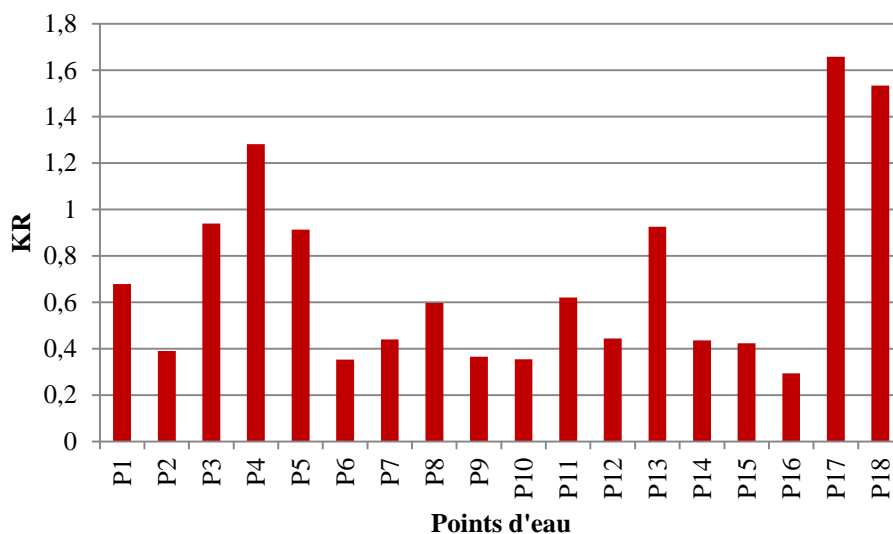


Figure III.13 : Variation du Kelly's Ratio

La figure III.13, montre que les valeurs de KR sont supérieures à 1 au niveau des points d'eau (P4, P 17, P18) donnant lieu à des eaux de mauvaise qualité pour l'irrigation. Le reste des échantillons est considéré comme apte à être utilisé pour l'irrigation.

III.5.2.2. Pourcentage de Sodium (% Na) et classification des eaux par la méthode Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en Sodium.

Il est basé sur la concentration totale des sels dissous et le pourcentage de Sodium par rapport aux autres sels dans l'eau (Wilcox, 1955).

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

Tableau III.7 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na

Paramètre	Classe 1 Très bonne	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 Mauvaise
%Na	<20	20 -40	40 -60	60 -80	>80

En prenant en considération le % Na, nous pouvons déduire trois classes d'eau pour la région d'étude : la classe 1 (bonne), la classe 2 (Admissible) et la classe 3 (Médiocre) comme le montre le tableau III. 8

Tableau III.8 : Classification des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbas selon le %Na

Point d'eau	%Na ⁺	Résultats	Point d'eau	%Na ⁺	Résultats
P1	40.92	Admissible	P10	26.50	Bonne
P2	28.21	Bonne	P11	38.35	Bonne
P3	48.58	Admissible	P12	31.00	Bonne
P4	59.53	Admissible	P13	49.65	Admissible
P5	47.92	Admissible	P14	30.63	Bonne
P6	26.76	Bonne	P15	30.07	Bonne
P7	30.80	Bonne	P16	22.97	Bonne
P8	37.58	Bonne	P17	62.58	Médiocre
P9	27.14	Bonne	P18	60.79	Médiocre

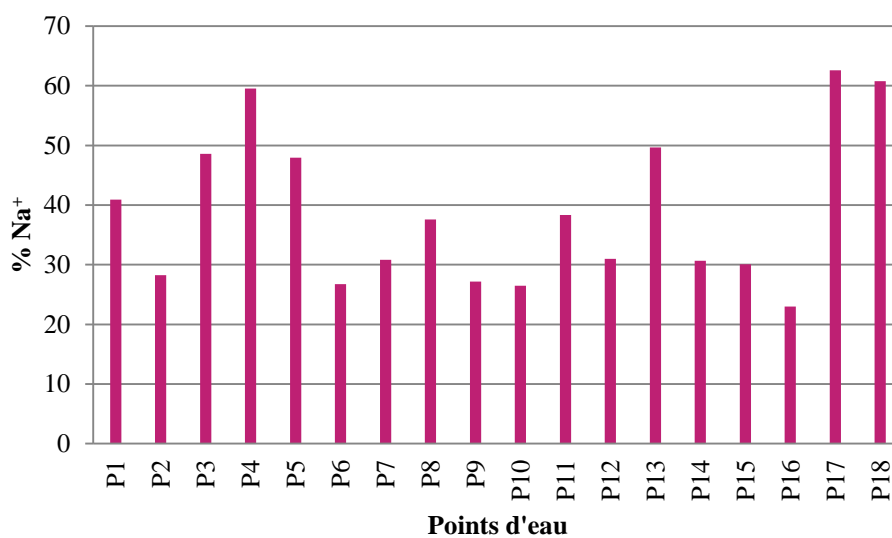


Figure III.14 : Variation du pourcentage en Sodium

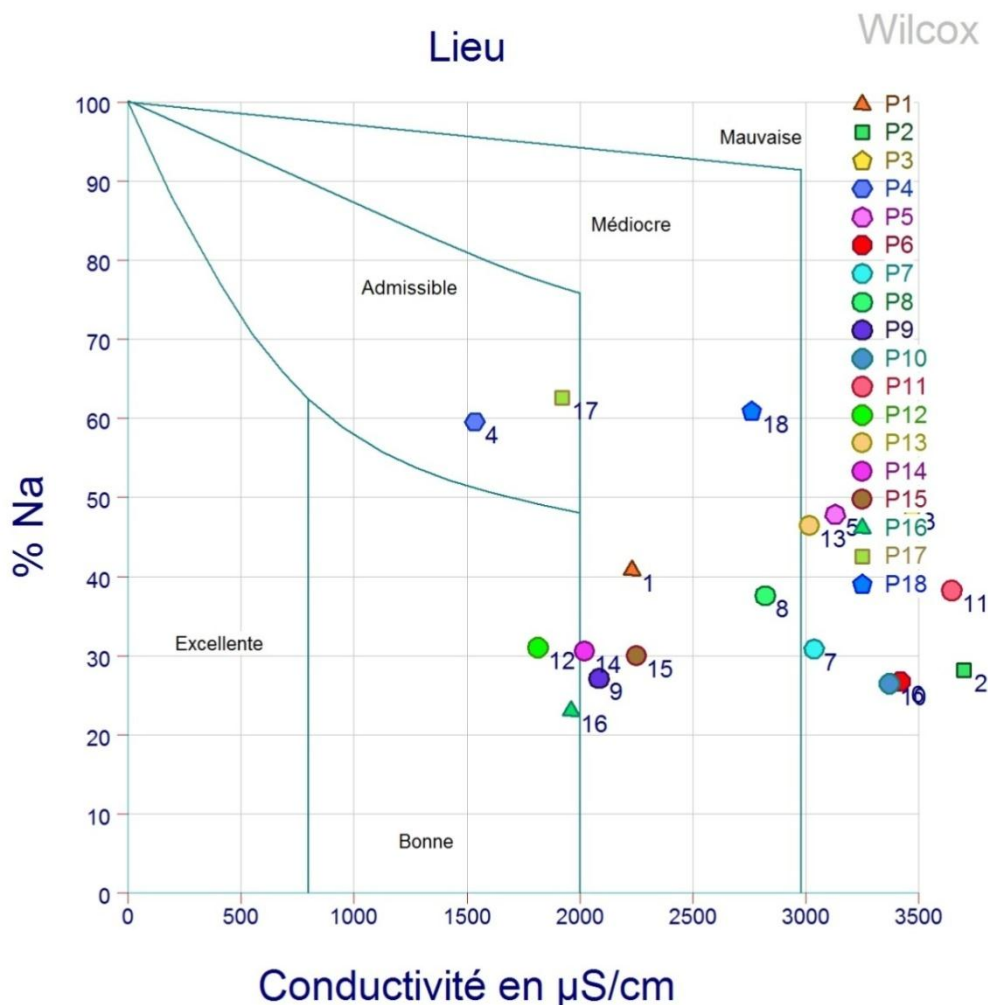


Figure III.15 :Diagramme de Wilcox

Le diagramme ne montre que la plus part des échantillons sont médiocre à mauvaise pour l’irrigation.

III.5.2.3. Sodium Absorption Ratio (SAR)

Les sols à grandes concentrations en Na⁺(en solution) sont connus pour avoir une mauvaise structure physique (Appelo C.A. et Postma D., 1993). La toxicité en Na⁺ a lieu avec l’accumulation du Sodium dans les tissus des plantes. Une augmentation du SAR des eaux d’irrigation augmente celle des solutions du sol et de ce fait le sodium échangeable du sol (Isaac St.et al. 2009inMoudjib A., 2010).

Le SAR peut être déterminé par l’équation suivante :

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

- SAR < 10 =>Eaux Excellentes.
- 10 ≤ SAR < 18 =>Eaux Bonnes.

- $18 \leq SAR < 26 \Rightarrow$ Eaux convenables.
- $SAR \geq 26 \Rightarrow$ Eaux Médiocres

Tableau III .9: Classification des eaux d’irrigation selon le SAR

Point d’eau	S.A.R.	Résultats	Point d’eau	S.A.R.	Résultats
P1	1.95	Excellente	P10	1.42	Excellente
P2	2.29	Excellente	P11	2.50	Excellente
P3	3.24	Excellente	P12	1.30	Excellente
P4	2.77	Excellente	P13	2.47	Excellente
P5	2.95	Excellente	P14	1.28	Excellente
P6	1.33	Excellente	P15	1.10	Excellente
P7	1.61	Excellente	P16	0.91	Excellente
P8	1.79	Excellente	P17	3.54	Excellente
P9	0.96	Excellente	P18	4.5	Excellente

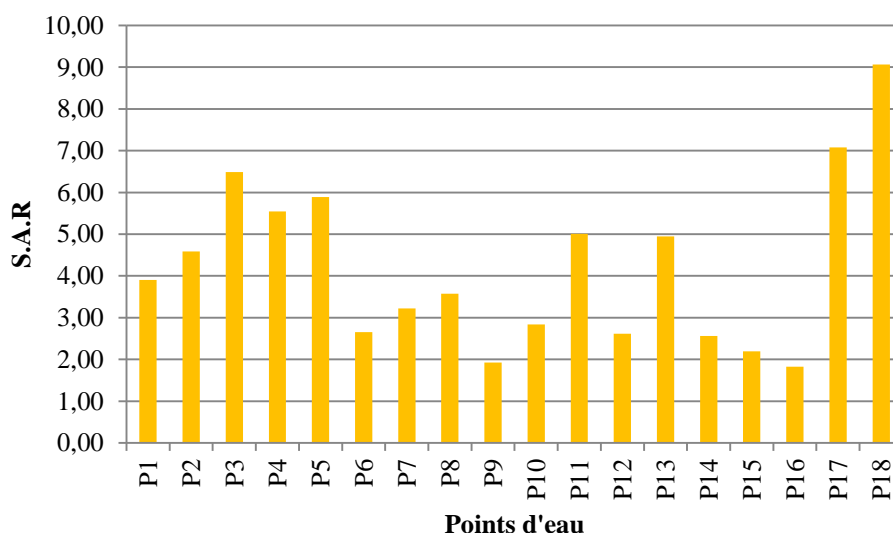


Figure III.16 : Variation du Sodium Absorption Ratio

D’après la classification ci-dessus, la figure ci-dessus montre que tous les points d’eau ont des valeurs de SAR inférieures à 10, qualifiant leurs eaux d’excellentes.

Conclusion

Notre étude hydrochimique des eaux de la nappe du Plio-Quaternaire de la plaine de Sidi Bel Abbes montre que :

Les eaux présentent en général quatre faciès :

- chloruré sodique,
- chloruré calcique,
- chloruré magnésien.

La plupart des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbas sont non potables, ils présentent des teneurs assez élevées pour la plus part des éléments chimiques analysés, et dépassent les normes de potabilité algériennes.

Pour la qualité des eaux souterraines à des fins d'irrigation par l'utilisation de quelques indices tels que KR, SAR, NA%, montre que les puits de la plaine de Sidi Bel Abbas sont majoritairement bons pour l'irrigation.

CHAPITRE IV

Application des tests statistiques aux données hydrochimiques

Introduction

L'utilisation de la statistique pour le traitement des données hydro chimiques est devenue fondamentale pour l'étude des échantillons d'eau. Les exigences de l'assurance qualité rendent désormais obligatoires la connaissance d'un certain nombre de notions statistiques simples. Ce chapitre vise à répondre à un certain nombre de problèmes sur lesquelles vont s'articuler les différentes parties :

- Définir les paramètres statistiques d'une série de données par l'utilisation des diagrammes en boîtes,
- Faire une classification hiérarchique ascendante des données (C.H.A.),
- Utiliser une analyse en composantes principales (A.C.P.),
- Faire une modélisation permettant de mieux cerner cette qualité d'eau.

IV.1- Diagrammes en boîtes

Une boîte à moustaches est un récapitulatif graphique de la distribution d'un échantillon, dont il indique la forme, la tendance centrale et la variabilité. Les boîtes à moustaches permettent de comprendre et comparer la distribution des données.

Elle résume seulement quelques caractéristiques de position du caractère étudié : (médiane, quartiles, minimum, maximum ou déciles).

Il s'agit de tracer un rectangle allant du premier quartile au troisième quartile et coupé par la médiane. On ajoute alors des segments aux extrémités.

Une "boîte" qui est un rectangle dont la longueur s'étend du premier quartile au troisième quartile, coupé par un trait vertical à hauteur de la médiane, de cette boîte partent deux traits horizontaux : l'un va du premier quartile à la valeur minimale de la série, l'autre du troisième quartile à la valeur maximale (fig. IV.1).

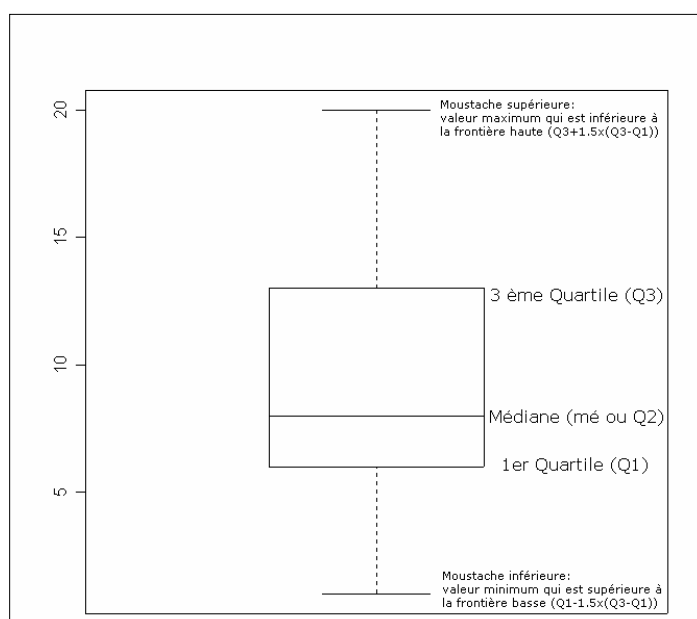


Figure IV.1 : Exemple de représentation d'un diagramme en boîte

IV.1.1- Étapes de leur réalisation

- ✓ Classement des données dans l'ordre croissant.
- ✓ Classement des valeurs maximum et minimum de la série.
- ✓ Calcul du nombre médian de la série. La médiane est le nombre qui partage la série en deux ensembles numériquement égaux, (Si la série comprend un nombre impair de valeurs, il n'y a pas de problème particulier, puisqu'il y a toujours un nombre médian qui partage parfaitement la série en deux groupes égaux, Si la série compte un nombre pair de valeurs, il est impossible de trouver la médiane immédiatement. La solution est simple et logique : avec un nombre pair de données, le nombre médian est la moyenne des deux nombres centraux.
- ✓ Obtention du premier et troisième quartile. On les appelle
- ✓ On les appelle respectivement « quartile inférieur » et « quartile supérieur ».
- ✓ Construire une « boîte » en reliant ces quartiles, médiane et les valeurs maximums et minimum.

IV.1.2- Représentation des boîtes à moustache

La barre horizontale centrale représente la médiane de la série statistique, les limites inférieure et supérieure sont le premier et le troisième quartile, respectivement. Cinquante pour cent des données centrales se trouvent entre deux limites 25% se présente au-dessus et 25% se trouve en dessous.

Pour chaque boîte, les données situées respectivement en-dessous et au-dessus des extrémités inférieure et supérieure des moustaches peuvent être considérées comme hors-normes. La largeur horizontale des boîtes n'a pas de sens.

IV.1.3- Diagrammes en boîtes des eaux de la nappe alluviale des Sidi Bel Abbas

A- Représentation des ions majeurs

Les caractéristiques statistiques des ions majeurs sont consignées dans le tableau qui suit :

Tableau IV.1 : Caractéristiques statistiques des séries des cations et des anions (meq/L).

Statistique	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
Nb. d'observations	18	18	18	18	18	18	18
Minimum	4,000	4,110	5,090	0,050	1,250	0,390	7,780
Maximum	63,350	17,760	27,000	1,770	9,630	8,440	86,370
1er Quartile	6,525	5,940	8,275	0,100	2,778	4,963	14,900
Médiane	9,700	7,565	11,585	0,130	4,145	5,440	24,955
3ème Quartile	13,400	10,668	18,023	0,230	5,238	5,935	33,803
Moyenne	13,586	8,634	13,472	0,286	4,331	5,079	27,002
Variance (n-1)	186,644	18,049	47,788	0,172	5,152	3,937	338,131
Ecart-type (n-1)	13,662	4,248	6,913	0,414	2,270	1,984	18,388

Là, nous avons essayé de synthétiser les résultats pour l'ensemble des cations et anions des eaux de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de Sidi Bel Abbès. En effet, la figure (IV.2) met en évidence spatialement la prédominance des chlorures et du sodium, du calcium et du magnésium, confirmant ainsi, les résultats trouvés au chapitre précédent concernant la dominance des faciès chloruré calcique, chloruré sodique et chloruré magnésien.

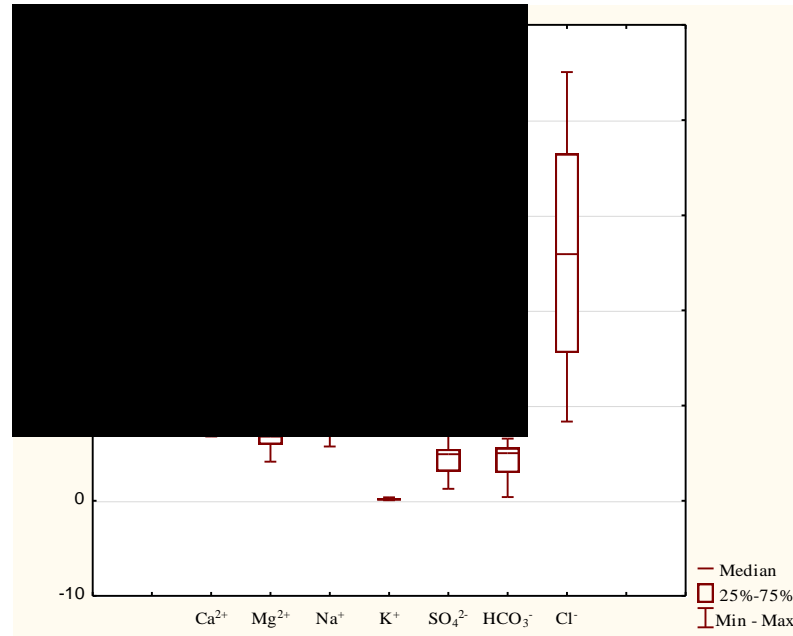


Figure IV.2 : Diagrammes en boîtes de l'ensemble des eaux (Cations & Anions).

B- Représentation des eaux en fonction des faciès

Pour mieux cerner cet apport des statistiques en hydrochimie, nous avons tracé les boîtes à moustaches pour les familles des faciès des eaux déjà identifiés dans le chapitre précédent.

B-1- Faciès chloruré calcique

Il apparaît clairement en figure IV.3 que le taux des chlorures est le plus élevé, ainsi que celui du Calcium ce qui confirme nettement notre faciès chimique.

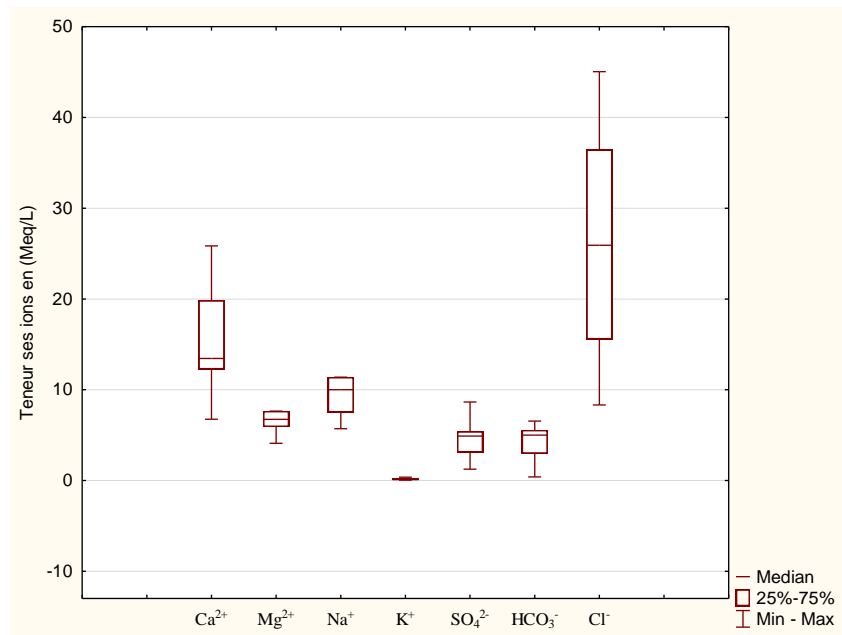


Figure IV.3 : Diagramme en boites (Faciès chloruré calcique)

B-2- Faciès chloruré sodique

Là aussi la figure IV.4, confirme le faciès chloruré sodique.

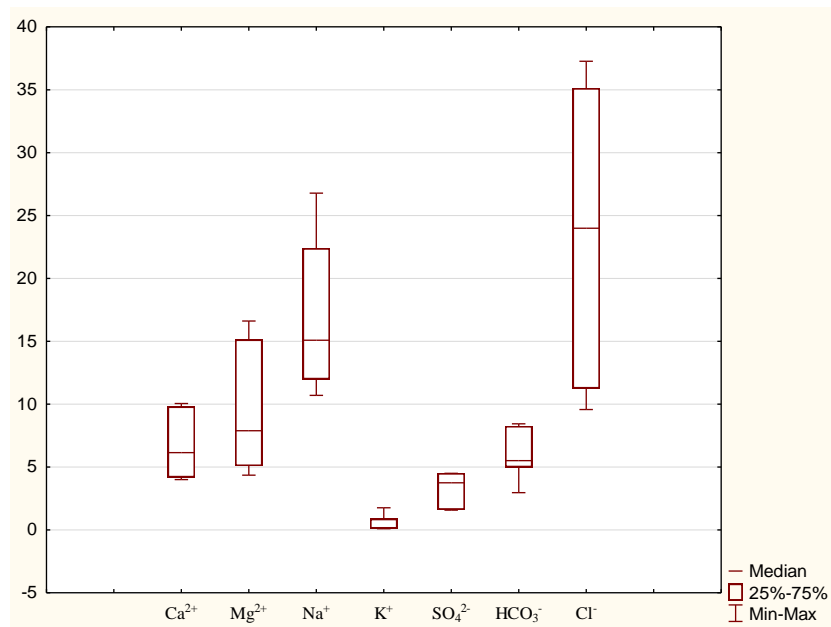


Figure IV.4 : Diagramme en boites (Faciès chloruré sodique)

B-3- Faciès chloruré magnésien

En dernier la figure IV.5 confirme aussi le faciès chloruré magnésien.

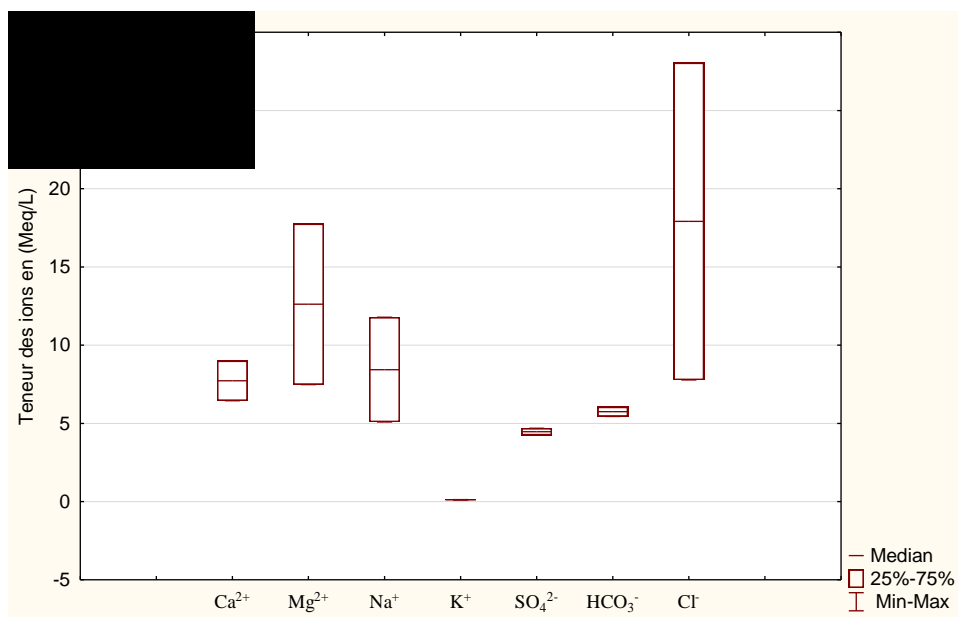


Figure IV.5 : Diagramme en boîtes (Faciès chloruré magnésien)

Ces statistiques représentées par les diagrammes en boîtes confirment clairement et aisément nos résultats trouvés au chapitre précédent. Il donne une idée plus simple de la dispersion des teneurs en éléments chimiques par une représentation plus aisée à analyser.

En effet, les faciès chloruré calcique, sodique et magnésien sont largement visibles. Une boîte étroite explique la très faible dispersion des valeurs dans une série.

IV.2- Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.)

Il existe de nombreuses techniques statistiques visant à partitionner des individus en différentes classes ou sous-groupes.

La *classification ascendante hiérarchique (CAH)* est l'une d'entre elles, elle consiste à chercher à ce que les individus regroupés au sein d'une même classe (homogénéité intra-classe) soient le plus semblables possibles tandis que les classes soient le plus dissemblables (hétérogénéité interclasse).

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*(fig.IV.6). 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.

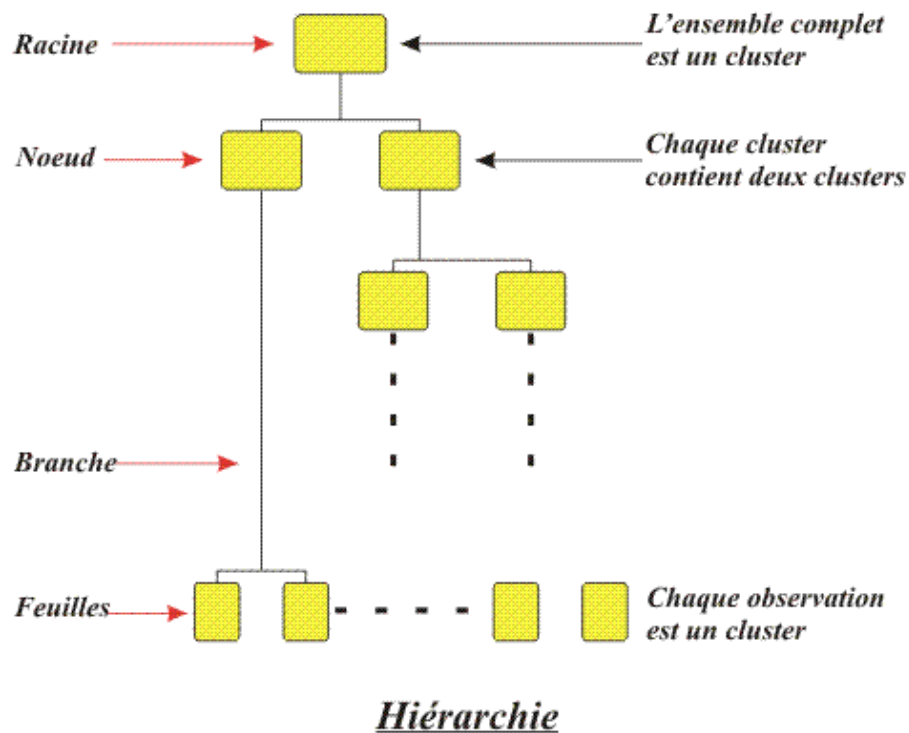
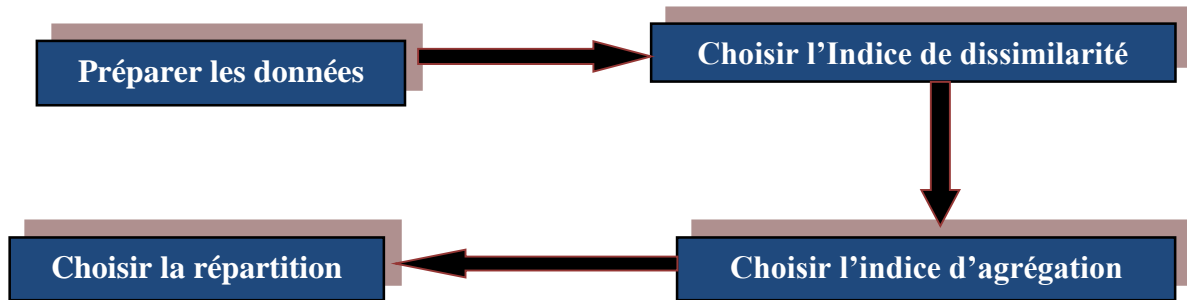


Figure IV.6 : Représentation d'un dendrogramme (Chevalier F. & Le Bellac J. 2012).

IV.2.1. Présentation de l'algorithme de la C.A.H.

- *- 1^{ère} phase : Initialisation de l'algorithme
 - Les classes initiales = n singletons individus,
 - Calcul de la matrice des distances des individus 2 à 2.
 - *- 2^{ème} phase : Itération des étapes suivantes
 - Regrouper les individus les plus proches au sens d'un critère choisi,
 - Mise à jour du tableau des distances en remplaçant les deux individus regroupés par le nouveau et en recalculant sa distance avec les autres classes.
 - *- Fin de l'itération : agrégation de tous les individus en une seule classe.
 - *- Réflexions pré-algorithme
 - Nécessité de définir une distance entre les individus,
 - Définir un critère de regroupement des individus à minimiser aussi appelé stratégie d'agrégation.
 - Stratégie pour définir la meilleure typologie finale.
- Sur la figure (IV.7) nous avons résumé les étapes de la C.A.H.



FigureIV.7 : Etapes de la classification ascendante hiérarchique

IV.2.2. Choix de l'indice de dissimilarité entre les individus

Le choix de la mesure de la distance entre individus dépend des données étudiées et des objectifs, nous pouvons citer les distances suivantes :

- Distance euclidienne : le type de distance le plus couramment utilisé. Il s'agit d'une distance géométrique dans un espace multidimensionnel, en effet la distance euclidienne de deux individus M_i et M_j est par définition :
- **Distance** $(M_i, M_j) = \sum_k [(x_{ik} - x_{jk})^2]^{1/2}$
- Distance euclidienne au carré : permet de sur-pondérer les individus atypiques (éloignés), en élevant la distance euclidienne au carré :
- **Distance** $(M_i, M_j) = \sum_k [(x_{ik} - x_{jk})^2]$
- Distance de City-block (Manhattan) : cette distance est simplement la somme des différences entre les dimensions :
- **Distance** $(M_i, M_j) = \sum_k | (x_{ik} - x_{jk}) |$

IV.2.3. Méthode d'agrégation pour la Classification Ascendante Hiérarchique

Plusieurs méthodes d'agrégation sont disponibles, telles que celle de Ward (inertie), Ward (variance), lien complet, lien simple, lien flexible, lien moyen, lien proportionnel... Etc. Mais la plus connue est celle de Ward.

La méthode de Ward a pour objectif :

- Un gain minimum d'inertie intra-classe à chaque agrégation,
- Perte d'inertie interclasse due à cette agrégation.

Elle utilise dans son calcul une analyse de la variance approchée afin d'évaluer les distances entre les classes par :

- Minimisation de la somme des carrés (SC) de tous les couples hypothétiques de classes : agrégation.
- Les indices d'agrégation sont recalculés à l'aide de la règle suivante :

Si une classe M est obtenue en regroupant les classes K et L, sa distance à la classe J est donnée par la distance entre les barycentres de la classe M et de J. (Chevalier F. & Le Bellac J. 2012).

On définit un ensemble de classes de l'ensemble des individus (fig. IV.11), tel que :

- *- toute classe soit non vide,
- *- deux classes distinctes sont disjointes,

*- tout individu appartient à une classe.

IV.2.4. Mesure de proximité pour la Classification Ascendante Hiérarchique

XLSTAT propose plusieurs similarités et plusieurs dissimilarités qui sont adaptées à un type de données particulier.

Tableau IV. 2 : Similarités / dissimilarités d'une C.A.H. proposées par XLSTAT

	Similarités	Dissimilarités
Quantitative data	<ul style="list-style-type: none"> - Corrélation de Pearson, - Corrélation de Spearman - Corrélation de Kendall - Inertie - Covariance (n) - Covariance (n-1) - Similarité générale 	<ul style="list-style-type: none"> - Distance euclidienne - Distance du khi² - Distance de Manhattan - Dissimilarité de Pearson - Dissimilarité de Spearman - Dissimilarité de Kendall - Dissimilarité générale
Données binaires (0/1)	<p>Similarité/Dissimilarité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indice de Jaccard - Indice de Dice - Indice de Sokal & Sneath - Indice de Rogers & Tanimoto - Indice de Sokal & Michener - Indice de Sokal & Sneath - Phi de Pearson - Indice d'Ochiai - Indice de Kulczinski 	<p>Similarité/Dissimilarité</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indice de Jaccard - Indice de Dice - Indice de Sokal & Sneath - Indice de Rogers & Tanimoto - Indice de Sokal & Michener - Indice de Sokal & Sneath - Phi de Pearson - Indice d'Ochiai - Indice de Kulczinski

Source : logiciel EXCEL STAT

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification qui présente les avantages suivants :

- ❖ Le choix d'un type de dissimilarité adapté au sujet étudié et à la nature des données.
- ❖ Visualisation de groupement progressif des données à l'aide d'un dendrogramme.
- ❖ Se faire une idée d'un nombre adéquat de classes dans lesquelles les données peuvent être regroupées.

IV.2.5- Application de la méthode C.A.H. aux données des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes

a) -Résultats et discussion

L'objectif de cette étude est de rassembler le nombre de points d'eau que nous avons déjà cité (18 points) en fonction des teneurs en ions (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) dans des classes de plus en plus larges, en utilisant certaines mesures de similarité et/ou distance, afin de trouver les liens de ressemblance entre les eaux de la région étudiée et les regrouper dans une même classe.

- ✓ Méthode utilisée : Lien complet, a été choisi pour cerner la plus grande distance entre deux groupes.

- ✓ Distance utilisée : distance euclidienne, c'est le type de distance le plus couramment utilisé. Il s'agit simplement d'une distance géométrique dans un espace multidimensionnel. Elle se calcule ainsi :

$$Distance(x, y) = \{S_i (x_i - y_i)^2\}^{1/2}$$

b) -Statistique des nœuds

Sur le tableau IV.3 et la figure IV.8, figurent les informations concernant les nœuds successifs du dendrogramme (Perte d'inertie lors du passage d'une classe à une autre). Le premier nœud a pour indice le nombre d'objets augmenté de 1. Ainsi, il est aisé de repérer à quel moment un objet ou un groupe d'objets est regroupé avec un autre objet ou groupe d'objets au niveau d'un nouveau nœud dans le dendrogramme (Fig. IV.9).

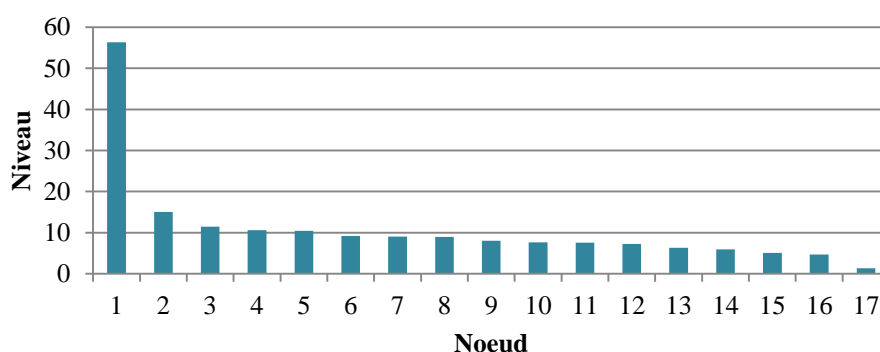


Figure IV.8 : Diagramme des niveaux.

Tableau IV.3 : Présentation des nœuds successifs du dendrogramme.

Nœud	Niveau	Poids
1	56,338	18
2	15,082	17
3	11,462	16
4	10,580	14
5	10,480	4
6	9,205	2
7	9,077	10
8	9,021	2
9	8,022	6
10	7,648	2
11	7,559	2
12	7,275	4
13	6,325	4
14	5,957	3
15	5,083	2
16	4,690	2
17	1,318	2

c)- Dendrogramme

Permet de visualiser le regroupement progressif des objets (individus) , a pour principe d'assouplir les critères de classement de sorte que les objets soient plus dans leurs classes , en d'autres termes, nous avons essayé d'abaisser notre seuil pour décider que deux ou plusieurs points d'eau appartiennent à la même classe, ainsi, de plus en plus les points d'eau sont regroupées dans des classes de plus en plus larges, et donc nous constituons des classes avec des éléments de plus en plus dissemblables. Les résultats sont représentés sous forme d'un dendrogramme (Fig. IV.9).

Nous remarquons que le dendrogramme à divisé notre secteur d'étude en quatre classes, chaque classe est caractérisée par un nombre précis de points d'eau, ces points ont pratiquement les mêmes concentrations en ions majeurs.

Tableau IV.4 : Représentation des classes

Classes	1	2	3	4
Individus	P2	P11	P18-P13	P12-P13-P1-P8-P9-P15- P14-P17-P6-P10-P5-P7

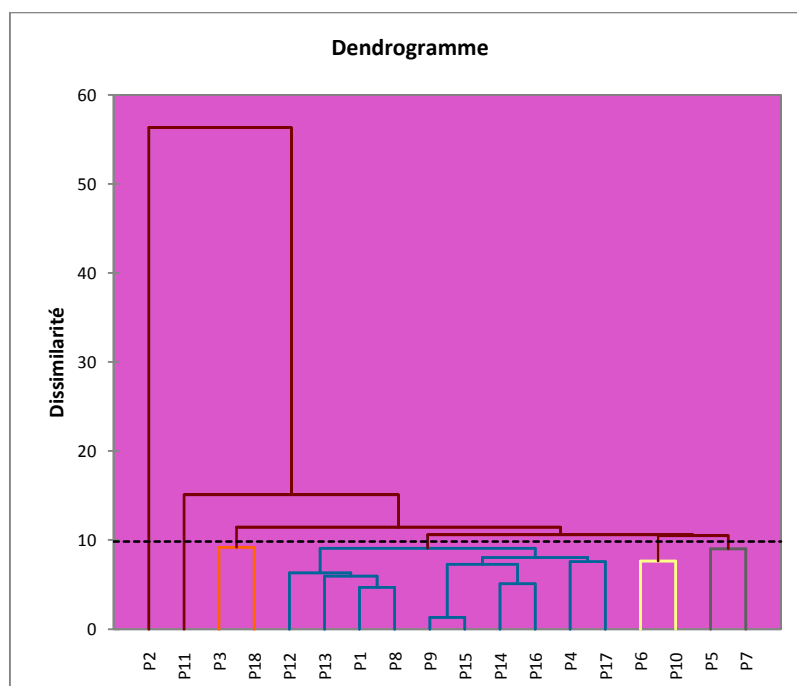


Figure IV.9 : Dendrogramme des points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbas

La CAH a permis l'individualisation des points d'eau en quatre classes. Les individus à l'intérieur des classes ont des concentrations en ions proches comme le montre le tableau suivant :

Tableau IV.5 : les classes et les sous classes issues de la C.A.H.

Classes	Points d'eau	Observations
C1	P2	Ca ²⁺ le plus élevé
C2	P11	Ca ²⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻ très élevés
C3	P3-P18	Teneurs en Ca ²⁺ et Cl ⁻ élevées
C4	P12-P13-P1-P8	Concentrations en ions sont convergées entre ces points. par exemple HCO ₃ ⁻ de P1=HCO ₃ ⁻ de P18
	P9-P15-P14-P16-P4-P17	Concentrations en ions sont Presque les même
	P6-P10	Concentrations en ions sont Presque les même
	P5-P7	Teneurs en Cl ⁻ identiques

IV.3- Analyse en Composantes Principales (A.C.P.)

L'Analyse en Composantes Principales (A.C.P) est l'une des méthodes d'analyse de données multi-variées les plus utilisées. Dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes) dans lequel **n** observations (des individus, des produits, ...) sont décrites par **p** variables (des descripteurs, attributs, mesures, ...), si **p** est assez élevé, il est impossible d'appréhender la structure des données et la proximité entre les observations en se contentant d'analyser des statistiques descriptives multi-variées ou même une matrice de corrélation. (Kouani A., El Jamali S. et Talbi M., 2007)

Une analyse en composantes principales a été réalisée en utilisant les données hydrochimiques des eaux de 18 échantillons des puits de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbès à l'aide du Logiciel Statistica. Les variables sont : les cations (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) et les anions (Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻).

L'approche est basée sur l'établissement de corrélation entre l'ensemble de ces variables à partir d'une analyse statistique. L'A.C.P est en fait utilisée pour les études englobant plusieurs paramètres dont les interprétations sont déterminantes pour la compréhension de certains phénomènes. Cette méthode permet de mettre en évidence les liens éventuels que présenteraient ces variables au cours de leur évolution.

La méthode d'A.C.P utilisée pour cette étude est basée sur l'interprétation des différents facteurs de même que la matrice de corrélation obtenue à la suite du traitement des données. Le nuage de points résultant de ce traitement a été projeté dans les différents plans factoriels qui sont déterminés dans l'espace des variables et dans celui des unités statistiques.

Le choix des axes principaux tient compte de la réduction du nombre de facteurs. Ce nombre est tel que la somme cumulée des contributions est importante (75 % qui représente les trois quarts de l'inertie totale). En effet, deux variables sont corrélées lorsque leur coefficient

de corrélation est supérieur ou égal à 0,7. De plus au niveau des plans factoriels, des variables ne sont représentatives que lorsqu'elles sont proches de l'extrémité de ces facteurs. Lorsque deux variables sont corrélées, la variation de l'une entraîne celle de l'autre.

Le coefficient de corrélation exprime le niveau de corrélation (linéaire) entre les variables : plus il est proche de 1, plus les variables sont corrélées positivement, plus il est proche de -1, plus elles sont corrélées négativement. Un coefficient de corrélation nul indique l'absence de corrélation linéaire.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (A.C.P) pour l'étude globale des eaux souterraines permet une différenciation sur leurs particularités chimiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de la minéralisation.

Les coefficients de corrélation entre les éléments sont reportés dans le tableau suivant :

TableauIV.6 : Matrice des coefficients de corrélation entre les ions des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbas

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
Ca ²⁺	1,00						
Mg ²⁺	-0,16	1,00					
Na ⁺	0,46	0,19	1,00				
K ⁺	-0,15	-0,22	0,01	1,00			
SO ₄ ²⁻	0,43	-0,12	0,33	-0,17	1,00		
HCO ₃ ⁻	-0,48	0,37	-0,04	0,38	0,11	1,00	
Cl ⁻	0,90	0,14	0,75	-0,18	0,31	-0,40	1,00

Ca²⁺ (Calcium), Mg²⁺ (Magnésium), Na⁺ (Sodium), K⁺(Potassium), Cl⁻(Chlorures), SO₄²⁻(Sulfates), HCO₃⁻(Bicarbonates)

Avec :

- Très bonne corrélation
- Corrélation moyenne
- Mauvaise corrélation

La matrice des coefficients de corrélation montre que les fortes corrélations entre les variables sont positives donc leurs concentrations évoluent dans le même sens :

- Le calcium Ca²⁺ est fortement corrélé aux chlorures Cl⁻,
- le Sodium Na⁺ est par contre moyennement corrélé aux chlorures Cl⁻.
- Mis à part ces deux relations, nous ne notons pas d'autres bonnes corrélations.

Le tableau des valeurs propres (Tableau IV.7) qui donne le pourcentage exprimé par chaque facteur, permet de connaître le nombre de facteurs nécessaires pour l'interprétation de ces phénomènes à partir du pourcentage cumulé de ces différents facteurs.

Tableau IV.7 : Valeurs propres de la matrice de corrélation :

Facteur	Variabilités %	Cumulés %
F1	40,69	40,69
F2	21,05	61,74
F3	17,21	78,95

Le calcul a été arrêté à trois axes, à savoir les axes F1, F2 et F3. Ainsi, le facteur **F1** exprime **40.69 %** de la variance, le facteur **F2 : 21.05 %**, et le facteur **F3 :17.21 %**. Ces trois facteurs expriment donc **78.95%** de la variance totale. Donc nous sélectionnons les 3 premières valeurs propres, qui expliquent ensemble plus de 78% de l'inertie totale du nuage de points.

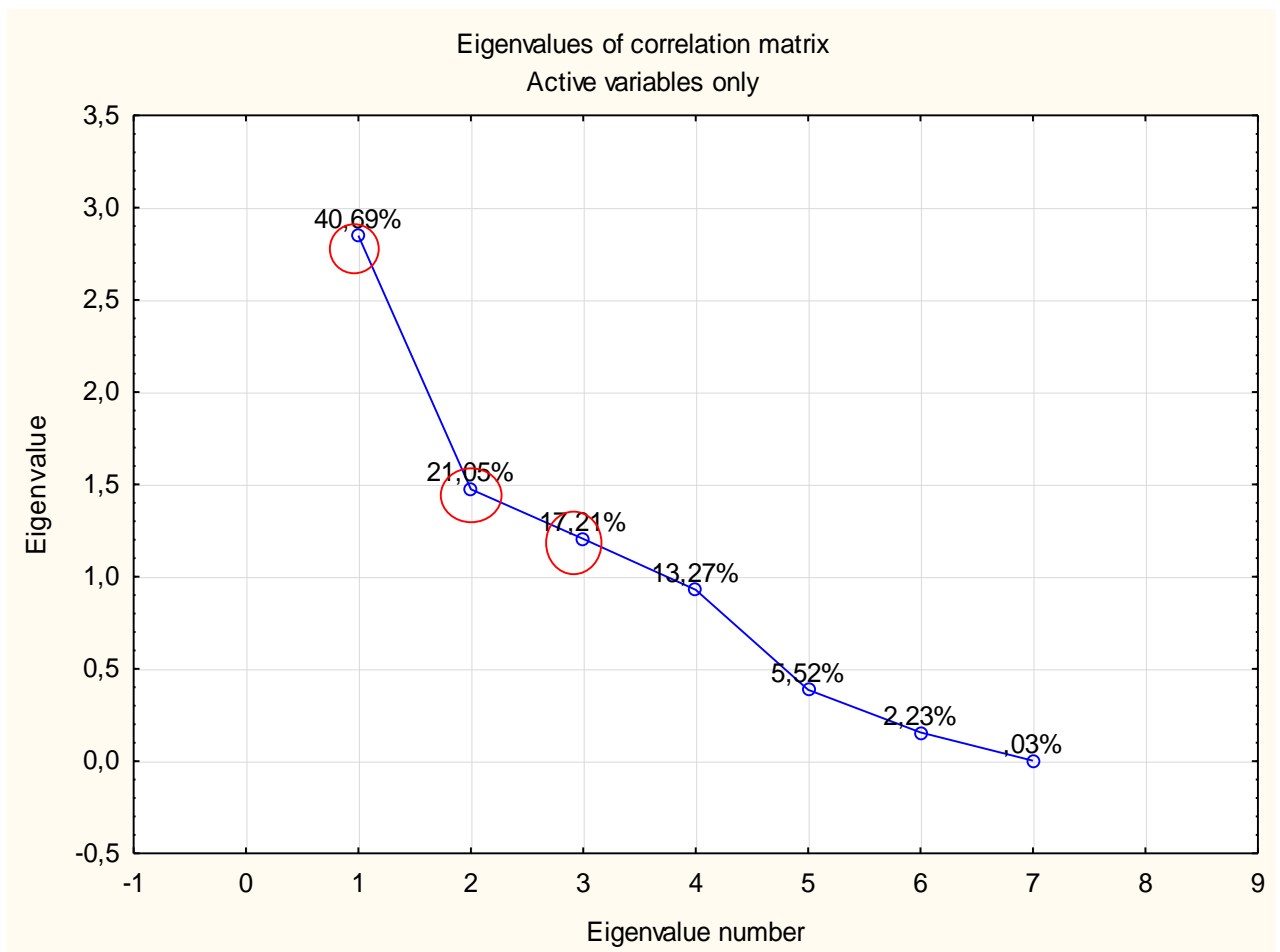


Figure IV. 10 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

L'analyse des variables (tableau IV.8 et figure IV.11) montre que :

- ✓ Le facteur 1, exprimant 40,69 % de l'inertie totale, est très bien corrélé négativement avec les variables : Calcium et Chlorures et à un degré moindre avec le Sodium.
- ✓ Le facteur 2, exprime 21,05 % de l'inertie totale du nuage, il est corrélé négativement avec le Magnésium et les carbonates.
- ✓ Le facteur 3, n'exprimant que 17,21%, est corrélé positivement avec le Potassium et négativement avec le magnésium.

Tableau IV.8 : Corrélation entre les variables et les axes :

Facteurs \ Variables	F1	F2	F3
Ca ²⁺	-0,91	0,14	0,15
Mg ²⁺	0,03	-0,73	-0,61
Na ⁺	-0,71	-0,48	0,13
K ⁺	0,31	-0,19	0,79
SO ₄ ²⁻	-0,50	-0,23	0,31
HCO ₃ ⁻	0,50	-0,76	0,25
Cl ⁻	-0,95	-0,14	-0,03

La projection des variables sur le plan factoriel respectivement **F1-F2** **F1-F3** permet d'extraire les figures IV.11 et IV.12

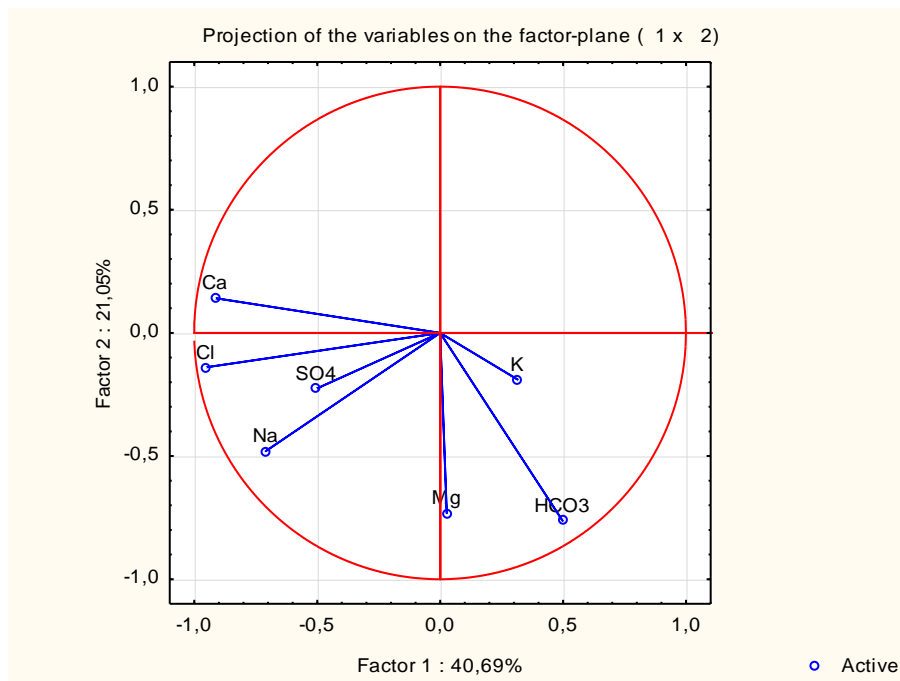
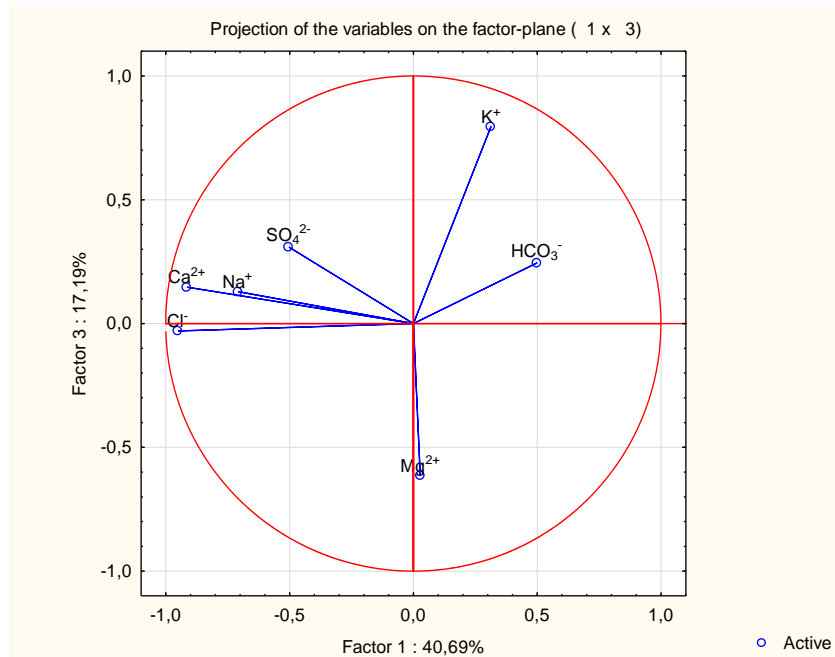


Figure IV.11 : Cercle de corrélation pour le plan factoriel (F1-F2)



FigureIV.12 : Cercle de corrélation pour le plan factoriel (F1-F3)

La projection des individus sur le plan factoriel (F1-F2) semble dégager quatre groupes (fig.IV.13).

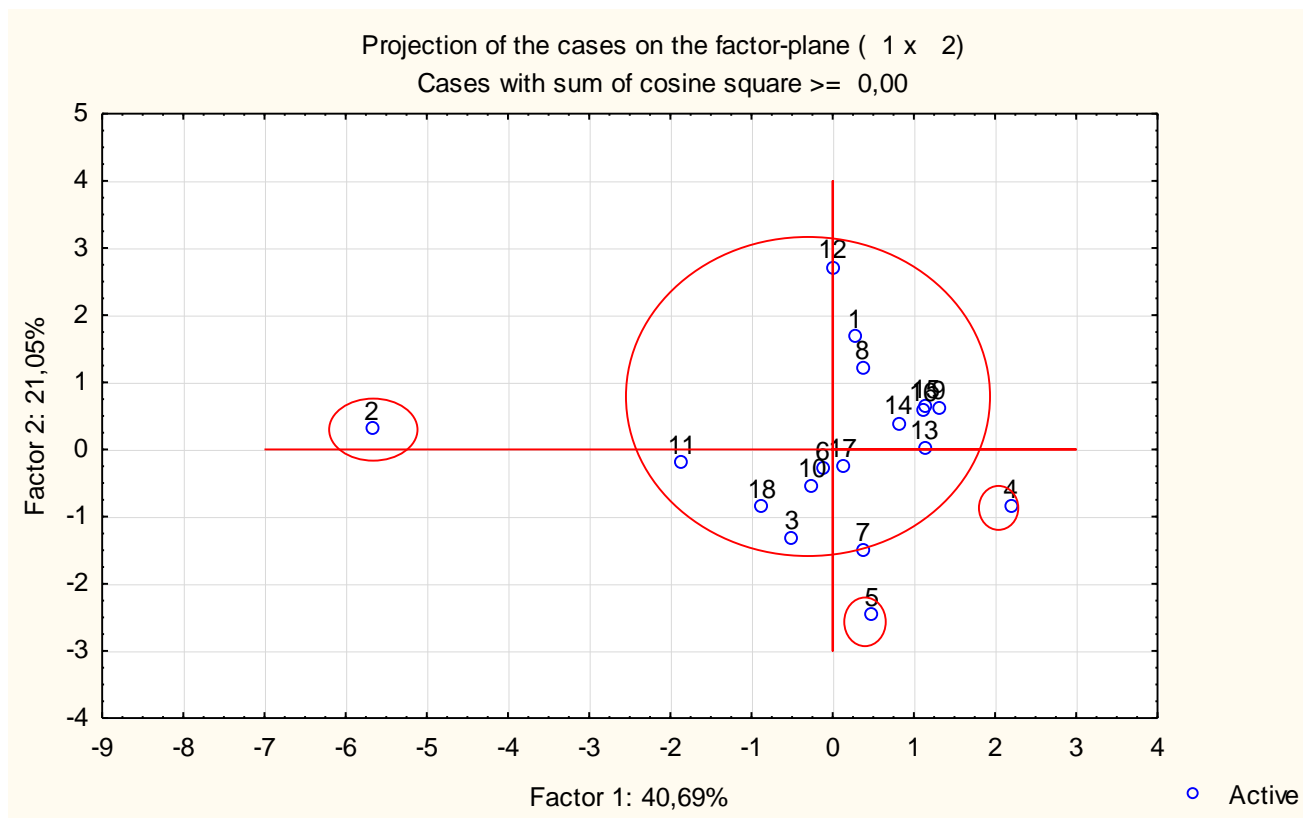


Figure IV.13 : Projection des individus (puits) sur le plan factoriel (F1 – F2)

Les groupes qui s'individualisent selon l'examen de la figure IV.13 sont :

Groupe1 : représenté par la majorité des eaux de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbes : Ce sont des eaux très chargées en chlorures et bicarbonates.

Groupe2 : représenté par le point P2 caractérisé par une teneur très élevée en calcium et chlorures.

Groupe3 : représenté par P4 est caractérisé par la teneur la plus élevée en bicarbonates.

Groupe4 : représenté par P5 caractérisé par une eau très chargée en magnésium, bicarbonates et chlorures.

Par contre, la projection des individus sur le plan factoriel (F1-F3) ne met en évidence que trois groupes comme le montre la figure IV.14.

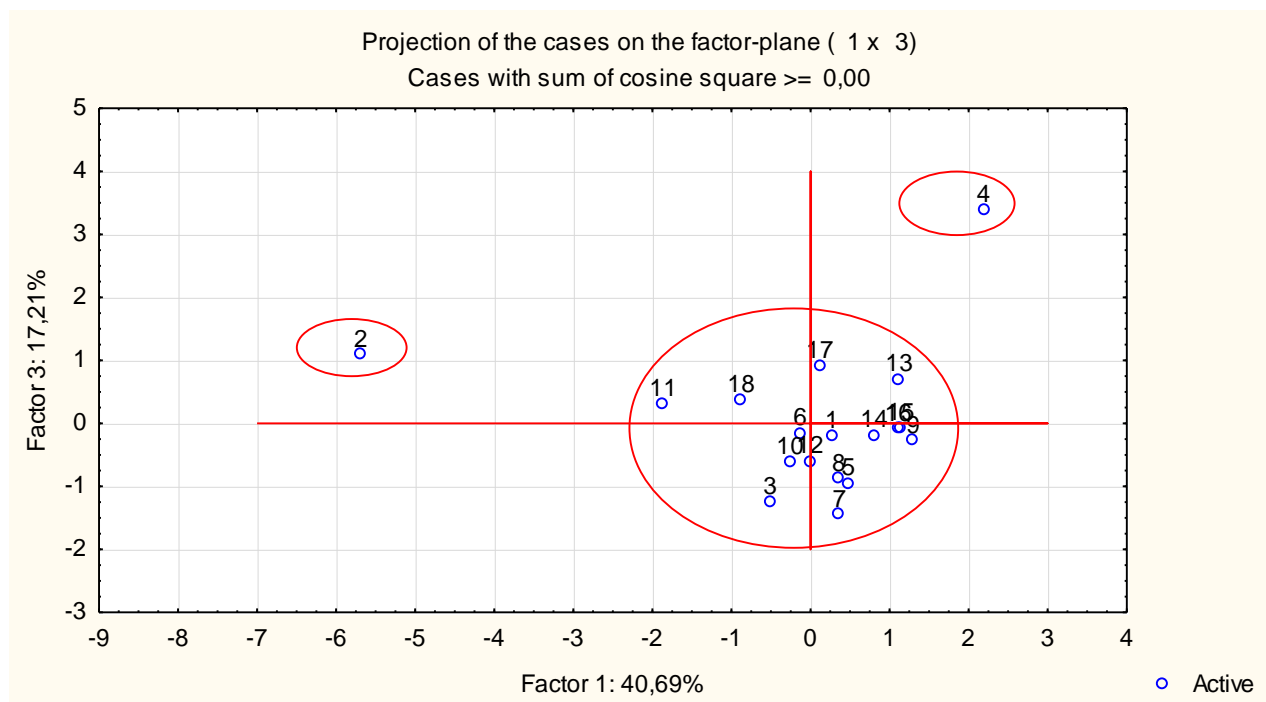


Figure IV.14 : Projection des individus (puits) sur le plan factoriel (F1 – F3)

Groupe1 : Représenté par la majorité des eaux de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbes : Ce sont des eaux très chargées en chlorures et bicarbonates.

Groupe2 : représenté par P2 caractérisé par les teneurs les plus élevés en calcium et chlorures

Groupe3 : représenté par P4 caractérisé par la teneur la plus élevée en bicarbonates.

Conclusion

L'utilisation des méthodes statistiques pour le traitement des données hydrochimiques a confirmé les résultats du chapitre précédent,

❖ L'utilisation des boîtes à moustaches, à partir des paramètres statistiques utilisés (maximum, 3^{ème} quartile, médiane 2^{ème} quartile et minimum) de l'ensemble des anions et cations qui caractérisent la région, nous avons confirmé les faciès chimiques déjà cités :

- Faciès chloruré calcique,
- Faciès chlorure sodique et potassique,
- Faciès chloruré magnésien.

❖ La classification ascendante hiérarchique a divisé notre zone d'étude en plusieurs quatre classes selon les teneurs et les faciès.

❖ L'analyse en composantes principales, représentées par les matrices, les facteurs, et les cercles de corrélation, a confirmé le mode de minéralisation, le rapprochement des teneurs en ions.

Les fortes minéralisations sont localisées en aval, elles seraient liées principalement au lessivage des formations encaissantes et l'effet de l'évaporation.

Conclusion générale

La plaine de Sidi Bel Abbas situé au Nord-Ouest algérien, C'est une vaste cuvette à substratum argilo-marneux, imperméable, d'âge miocène ou pliocène inférieur, comblée par des formations quaternaires détritiques, essentiellement conglomératiques et des dépôts sableux et gréseux alternant avec des limons, provenant de la désagrégation des reliefs qui l'entourent.

Le climat de Sidi Bel Abbas est de type semi-aride. La température moyenne annuelle est de 17,2°C. La région a enregistré des précipitations annuelles en moyenne égale à 309.7mm.

Les analyses physico-chimiques des eaux révèlent que celles-ci se classent en 3 hydro-faciès : chloruré calcique suivi par les eaux chlorurées sodiques et deux points d'eau sont à faciès chloruré magnésien.

La majorité des eaux de la nappe est fortement minéralisée

Le test chimique des eaux a montré que les eaux sont dans l'ensemble non potables qui présentent des concentrations dépassant les normes algériennes mis à part trois points.

La plupart des eaux sont aptes à l'irrigation.

L'utilisation des méthodes statistiques C.H.A et l'A.C.P. sur ces données permet de mettre graphiquement en évidence les liens entre les éléments chimiques et faciliter donc leur interprétation.

L'analyse en composantes principales, représentée par les matrices, les facteurs, et les cercles de corrélation, a confirmé le mode de minéralisation, le rapprochement des teneurs en ions quand il s'agit de la même formation d'origine.

L'ACP a permis de visualiser la structure des corrélations, mais ces visualisations ne sont réalisables comme nous l'avons montré dans le dernier chapitre que sur des plans, ce qui limite la perception précise des phénomènes si les variables sont nombreuses et leurs relations complexe, alors que la méthode CAH fourni un ensemble de partitions de moins en moins fines obtenus par regroupement successifs de parties.

Nous souhaiterions avoir dans le futur des données plus récentes pour mieux voir l'évolution spatio-temporelle et cerner la qualité des eaux, comme nous proposons d'utiliser l'analyse des

CONCLUSION GENERALE

variances (ANOVA) pour détecter plus clairement les dissimilarités entre les classes et affiner beaucoup plus les résultats trouvés par les méthodes statistiques utilisées.

La majorité des eaux de la nappe est fortement minéralisées et contient des grandes quantités de chlorures, la qualité des eaux de la plaine a pu se dégrader en raison des rejets de :

Douar Caïd Bel Arbi, domaine Kadda, ville de Sidi Bel Abbes, le domaine Takouka et les villes de Sidi khaled, Lamtar, Tabia et Sidi Yacoub sont des zones à forte vulnérabilité.

Le risque est important vu la présence de plusieurs sources de pollution dans la région à savoir la décharge publique de Sidi Bel Abbes et les eaux usées non traitées. Les eaux de la plaine doivent être protégées pour conserver leur qualité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

About L (2008) : Etude hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès : modélisation et Protection de la ressource en eau, mémoire de magister 2013 Université des sciences et de la technologie Houari Boumediène (USTHB) Alger .

Appelo C.A.J. & Postma D., (1993): Geochemistry, Groundwater and pollution 2eme edition CRC press Denmark 2004.

Auclair, D et Biehler, J. (1967) : Etude Géologique des Hautes Plaines Oranaises Entre Tlemcen et Saida. publ.Serv.Géol .Algérie Ann N°34

Chevalier F et Le Bllac J., (2012) : PDF Classification 2. Fac des Sci. Economiques. Univ. Rennes 44p

Gibbs WJ, (1987) : « Definig climate » Bulletin de l'Organisation Météorologique Mondiale Rapport technique présenté par le Groupe d'experts des changements climatiques du Comité exécutif de l'OMM. *Bulletin de l'OMM*, 26, 1, 55-61.

Khaldi A., (2005) : Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien (Monts de Tlemcen –Saida) thèse Doctoratd'état, Université d'ORAN,

Kouani A., El Jamali S. et Talbi M., (2007) - Analyse en composantes principales : Une méthode factorielle pour traiter les données didactiques, Pub.Radisma, numéro 2, 2007

Othmane A(2015) : Prédétermination des valeurs de pluies et crues extrême dans le bassin versant de l'Oued Makerra 156 p. mémoire de magister 2015. Université de Tlemcen

Paliwal, K.V. (1967) Effect of Gypsum Application on the Quality of Irrigation Waters. The Madras Agricultural Journal, 59, 646-647.

Rodier J., (2009).L'analyse de l'eau « eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer » Ed. Paris Bordas, France. 56p

Sourisseau P. (1973) : Etude Hydrogéologique de la nappe de Sidi Bel Abbés ; ANRH Oran.

Thomas. (1985) Géodynamique d'un bassin intra montagneux. Le bassin du bas-Chéelif occidentale (Algérie) durant le moi-plio-quatrenaire. Thèse de Doctorat de l'université de Pau.

Wilcox L.V., (1948) .The quality of water for agricultural use .US Dept Agriculture Tech. Bull.962, Washington DC, USA.

MOUDJIB A. (2010) – L’aptitude des eaux de la région d’Ain-Sefra à des fins d’irrigations, Mémoire d’ Ingéniorat d’ Etat, univ. Tlemcen, p. 15-32

liste des figures

- Fig. I.1 : Situation du bassin versant de la Macta (Otmane A, 2015)
- Fig. I.2 : Bassin versant de la Macta et ses principaux oueds (Otmane A, 2015)
- Fig. I.3 : Localisation du bassin versant de la Mekerra
- Fig. I.4 : Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Fig. I.5: Esquisse géologique de la plaine de Sidi Bel Abbès. (Sourisseau, 1972)
- Fig. I.6 : Log lithostratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau, 1973)
- Fig. I.7 : Coupes géologiques de la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau, 1972)
- Fig. I. 8 : Schéma des aquifères de la plaine de Sidi Bel Abbès (Carte hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès, A.N.R.H., 1973)
- Fig. I. 9: Carte piézométrique de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès (Janvier 2010, ANRH).
- Figure II.1: Variation interannuelle des précipitations à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981-2015/2016).
- Figure II.2 : Répartition des précipitations mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981 – 2015/2016)
- Figure II.3: Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981-2015/2016).
- Figure II. 4 : Variation des températures moyennes mensuelles, à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981-2015/2016).
- Figure II.5: Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls
- Figure II.6 : Abaque de De Martonne .
- Figure III.1 : Localisation des points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbès (Abtout L., 2008)
- Figure III.2 : Corrélacion entre les cations et les anions des points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.3 : Variation de l'ion calcium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.4 : Variation de l'ion magnésium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.5 : Variation de l'ion sodium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.6 : Variation de l'ion potassium au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.7: Variation de l'ion bicarbonate au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.8 : Variation des ions chlorures au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.9 : Variation des ions sulfates au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.10.a : Diagramme de Schöeller Berkloff (faciès chloruré calcique).
- Figure III.10.b : Diagramme de Schöeller Berkloff (faciès chloruré sodique et potassique).
- Figure III.10.c : Diagramme de Schöeller Berkloff (faciès chloruré magnésien).
- Figure III.11.a : Diagramme de Piper (faciès chloruré calcique).
- Figure III.11.b : Diagramme de Piper (faciès chloruré sodique).
- Figure III.11.c : Diagramme de Piper (faciès chloruré magnésien).
- Figure III.12 : Variation de la minéralisation des points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbès
- Figure III.13 : Variation du Kelly's Ratio
- Figure III.14 : Variation du pourcentage en Sodium
- Figure III.15 : diagramme de Wilcox
- Figure III.16 : Variation du Sodium Absorption Ratio
- Figure IV.1 : Exemple de représentation d'un diagramme en boîte
- Figure IV.2 : Diagrammes en boîtes de l'ensemble des eaux (Cations & Anions).
- Figure IV.3 : Diagramme en boîtes (Faciès chloruré calcique)
- Figure IV.4 : Diagramme en boîtes (Faciès chloruré sodique)
- Figure IV.5 : Diagramme en boîtes (Faciès chloruré magnésien)
- Figure IV.6 : Représentation d'un dendrogramme (Chevalier F. & Le Bellac J. 2012).
- Figure IV.7 : Etapes de la classification ascendante hiérarchique

LISTE DES FIGURES

Figure IV.8 : Diagramme des niveaux.

Figure IV.9 : Dendrogramme des points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbas

Figure IV.10 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

Figure IV.11 : Cercle de corrélation pour le plan factoriel (F1-F2)

Figure IV.12 : Cercle de corrélation pour le plan factoriel (F1-F3)

Figure IV.13 : Projection des individus (puits) sur le plan factoriel (F1 – F2)

Figure IV.14 : Projection des individus (puits) sur le plan factoriel (F1 – F3)

liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques de la station de mesure.....	17
Tableau II.2 : Précipitations moyennes annuelles à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981-2015/2016).....	17
Tableau II.3 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (1980/1981-2015/2016).....	18
Tableau II.4 : Répartition des précipitations saisonnières	19
Tableau II.5 : Répartition des températures moyennes mensuelles (1980/1981-2015/2016)station de Sidi Bel Abbès	20
Tableau III. 1: Résultats des analyses chimiques (meq/L)	20
Tableau III.2 : Caractéristiques statistiques physico-chimiques des points d'eau	26
Tableau III. 3 : Classification selon les formules caractéristiques des eaux	27
Tableau III.4 : Minéralisation des différents points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbès ...	31
Tableau III.5 : Potabilité des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbès selon les normes Algériennes	38
Tableau III.6 : Classification des eaux de la plaine de sidi Bel Abbès selon le KR.....	40
Tableau III.7 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na	41
Tableau III.8 : Classification des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbès selon le %Na	41
Tableau III .9 : Classification des eaux d'irrigation selon le SAR	42
Tableau III.10: Classification des eaux selon le diagramme de Richards	44
Tableau IV.1 : Caractéristiques statistiques des séries des cations et des anions (meq/L)...	48
Tableau IV. 2 : Similarités / dissimilarités d'une C.A.H. proposées par XLSTAT	54
Tableau IV.3 : Présentation des nœuds successifs du dendrogramme	55
Tableau IV. 4: Représentation des classes.....	56
Tableau IV.5 : Classes et sous classes issues de la C.A.H.....	57
Tableau IV.6: Matrice des coefficients de corrélation entre les ions des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbès.....	58
Tableau IV.7 : Valeurs propres de la matrice de corrélation	59
Tableau IV.8: Corrélation entre les variables et les axes	60

liste des Abreviations

Liste des Abréviations

ACP : Analyse en composantes principales.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
B.I : Balance Ionique
Ca²⁺ : Ion Calcium
C.A.H : Classification Ascendante Hiérarchique.
C.E.E : Communauté Economique Européenne
CMA : concentration maximale admissible.
°C : Degré Celsius
°F : Degré Français
Cl : Ions chlorures
HCO₃⁻ : Bicarbonates
I : Indice
Km : Kilomètre
KR : Ration de Kelly
Mg/L : Milligramme par litre
Mg²⁺ : Ion magnésium
Na⁺ : Ion sodium
NE-SW : North East-South West
meq/L : Milliéquivalent par litre
M : mètre
Mm : millimètre
µS/cm : Micro Siemens par centimètre
OMS : Organisation Mondiale de Santé.
P : Précipitations
Pmoy : Précipitations moyennes
r : Quantité en réaction en meq/L.
s : seconde
S.A.R. : Sodium Adsorption Ratio ou Pouvoir Alcalinisant.
SC : somme des carrées
Σ : Sigma (Somme)
T_{moy} : Températures moyennes mensuelles (°C).
UE : Union Européenne,

Annexes

Annexe III.1 : Analyses chimiques des échantillons prélevés au niveau de points d'eau de la nappe alluvionnaire de la plaine de Sidi Bel Abbès

N° du Point d'eau	Désignation A.N.R.H.Point d'eau	Cations (mg/L)				Anions (mg/L)		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
1	240-11	245	52	258	9	60	181	863
2	240-50	1267	72	621	9	415	121	2876
3	241-2	174	184	515	5	128	305	1241
4	241-10	100	53	276	69	180	515	319
5	241-45	84	202	437	6	194	503	934
6	241-68	337	140	230	14	260	302	995
7	241-179	180	216	271	5	204	369	934
8	241-199	201	96	246	4	76	181	799
9	242-5	129	91	117	4	225	332	259
10	242-10	397	150	262	8	178	350	1214
11	242-21	517	82	465	2	312	305	1500
12	271-27	265	50	177	4	112	24	719
13	271-50	123	99	304	34	78	317	703
14	272-34	192	93	173	4	235	339	489
15	272-39	135	82	131	4	257	332	277
16	272-43	269	73	131	4	149	399	518
17	272-49	80	62	347	5	462	366	375
18	272-74	196	93	616	11	216	336	1169

Annexe III.2 : Normes de potabilité des eaux.

Paramètres	Unité de mesure	Normes Algériennes		Normes de l'UE		Normes d'USEPA		Normes de l'OMS	
		Niveau guide	CMA	Niveau guide	CMA	Niveau guide	CMA	Niveau guide	CMA
Odeur	Nombres de dilution	-	4	-	-	-	3	-	3
Goût	Nombres de Dilution	-	4	-	-	-	-	-	3
Couleur	Pt/Co	-	25	1	20	15	-	5	20
Turbidité	NTU	-	5	1	10	-	-	-	5
Température	°C	-	25	12	25	-	-	-	-
pH	-	6,5 - 8,5	-	6,5 – 8,5	9,5	6,5 – 8,5	-	6,5 – 8,5	-
Conductivité	µS/cm	-	2880	400	-	-	-	-	1400
TDS	mg/L	500	-	-	1500	500	-	-	1500
TH	mg/L	-	500	-	-	-	-	-	500
Calcium	mg/L	75	200	-	100	-	-	75	200
Magnésium	mg/L	-	150	30	50	125	-	50	150
Potassium	mg/L	-	20	10	12	-	-	-	-
Sodium	mg/L	-	200	20	175	20	-	-	200
Chlorures	mg/L	200	500	25	200	-	250	200	600
Sulfates	mg/L	200	400	25	250	-	250	400	-
Nitrates	mg/L	-	50	25	50	30	-	10	50
Nitrites	mg/L	-	0,1	-	0,1	-	1,00	-	0,5
Alcalinité	mg/L	-	-	-	-	-	-	5 - 125	-
Chlore libre	mg/L	-	-	0,2	-	-	-	0,1 - 1	-
Bore	mg/L	-	-	-	1	-	-	0,3	1

CMA : Concentration maximale admissible.

UE : Union Européenne,

USEPA : United States Environmental Protection Agency (Agence de Protection Environnementale des Etas-Unis),

OMS : Organisation Mondiale de Santé.