

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme

MASTER

FILIERE : Hydraulique

Option :

OUVRAGE Hydraulique

THEME

**ANALYSES STATISTIQUES MULTIVARIEES DE LA
QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA
PLAINE DE MITIDJA**

Dirigé par :

Mr :M . GHODBANE

Présenté par :

LEGLAM SALAHEDDINE

Promotion : 2020/2021

Remerciement

Tous d'abord et avant tout, Je remercie « Allah » de m'avoir donné la volonté le courage et la santé pour réaliser ce modeste travail de recherche .

Au terme de cette étude qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude Envers tous ceux qui m'ont apporté leur aide

J'exprime ma reconnaissance à mon Encadreur monsieur GHODBANE Messaoud qui a proposé et accepté de diriger ce travail.

Je la remercie très chaleureusement pour sa confiance, sa disponibilité, ses connaissances scientifiques et la qualité de son encadrement tout le long d'année

Je lui garde tout mon respect.

Mon respect s'adresse aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Je remercie très chaleureusement mes deux sources de lumière, mon père et ma mère, qui continuent à m'éclairer mon chemin.

À mon père de m'avoir mis sur la voie du progrès, de la connaissance et de la découverte.

À ma mère pour son extrême douceur.

Je tiens à les remercier profondément pour leur amour et leurs sacrifices.

Que le Tout Puissant me les garde autant que possible.

Ainsi, mes frères et sœurs pour leur soutien, leur encouragement constant, j'aimerais leur rendre hommage à travers ce travail.

Mes remerciements vont enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à la réalisation de cette étude.

Grands mercis à vous tous

Sommaire

Introduction générale	01
<u>Chapitre I : Présentation du site d'étude</u>	04
I.1-Introduction	04
I.2-Aperçu géographique	04
I.2.1-Localisation géographique	04
I.2.2- Développement et économie	04
I.2.2 .1-Principales activité agro-industrielles dans la Mitidja	04
A-Les activités agricoles dans la Mitidja	04
B-Les activités industrielles dans la Mitidja	05
C-Les principales activités industrielles dans la Mitidja	06
I.2.3-Relief.....	07
I.3-Démographie	08
I.4-Le climat	09
I.4.1-La Température	10
I.4.2-Humidité	11
I.4.3-Les Vents	11
I.5-Hydrographie	11
I.6-Morphologie de la plaine de la Mitidja	13
I.7-Conclusion	13
<u>Chapitre II : Aperçu sur la Géologie et l'Hydrogéologie de la Zone d'étude</u>	14
II.1- Aperçu sur la géologie de la zone d'étude	15
II.1.1-Stratigraphie	16
a- Le Pliocène marin.....	16
b- Le Quaternaire marin.....	16
II.1.2-Tectonique	17
II.2-Aperçu sur l'Hydrogéologie de la Zone d'étude	18
II .2.1-Etendue de la nappe.....	19
II.2.2-Inventaire des points d'eau	19
II.2.3-caractéristiques des points d'eau	20
II.3-Conclusion	21
<u>Chapitre III :Etude Hydro-chimique et Analyses Statistiques Multivariées</u>	22
III.1-Introduction	23

Sommaire

III.2-Echantillonnage des eaux et Analyses au laboratoire	24
III.3-Etude des paramètres physico- chimiques ayant fait l'objet de la limite de qualité	25
III.3.1- Etude des paramètres physiques	25
A - Le Potentiel d'hydrogène (pH.....	25
B- La Conductivité électrique (CE.....	26
III.3.2- Etude des paramètres chimiques	27
III.3.2.1- Cartographie hydro-chimique	27
A-Le calcium Ca^{++}	28
B - Le magnésium Mg^{++}	29
C- les sodiums Na^{+}	29
D- Les potassiums K	30
E- Les chlorures Cl^{-}	31
F- Les bicarbonates HCO_3^{-}	33
G- Les sulfates SO_4	34
H- Les Nitrates NO_3^{-}	34
III.3.2.2-Détermination et répartition des faciès chimiques	35
III.4-Analyses Statistiques Multivariées	38
III.4.1-Analyse en composantes principales (A.C.P	38
III.4.1.1-Définition	39
III.4.1.2- Principe de l'ACP	39
III.4.1.3- Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude	39
III.4.1.3.1-Matrice de corrélation	40
III.4.1.3.2 - Etude des valeurs propres	41
III.4.1.3.3 - Etude des variables.....	42
III.4.1.3.4 - Etude des individus	43
III.4.1.4- L'analyse par la méthode de classification ascendante hiérarchique CAH	44
III.4.1.4.1- Principe de la méthode	44
III.4.1.4.2- Avantages de la classification ascendante hiérarchique	45
1 - Diagramme de niveau.....	45
2- Dendrogramme	46
III.4.1.4.3-Application de la méthode CAH sur des données chimiques de la zone d'étude	46

Sommaire

III.5- Qualité chimique des eaux	47
III.5.1- Convenabilité de la qualité des eaux pour la potabilité.....	47
III.5.1.1- Selon l'O.M.S	48
III.5.1.2- Degré hydrotimétrique total (D.H.T).....	49
III.5.2-Aptitude à l'irrigation.....	49
a- La Salinité	49
b- Classification de Richards	50
c- Classification de Wilcox.....	52
III.6-Conclusion	53
Conclusion générale	56

Liste des figures

Figure.I.1-Activités industrielles dans la Mitidja (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)	7
Figure. I.2- Carte de la situation géographique générale de la plaine de la Mitidja	8
Figure. I.3-Variation des précipitations moyennes mensuelles(1971-2004)	10
Figure I.4- Chevelu hydrographique et stations pluviométriques	13
Figure II.1-Carte géologie de la plaine de la Mitidja	15
Figure II.2-Coupes géo-électriques Nord-Sud à travers la plaine de la Mitidja (ANRH Blida2013)	16
Figure II.3-Coupe géologique au niveau de la Mitidja.....	17
Figure II.4-Carte d’inventaire des points d’eau	19
Figure II.5-Carte piézométrique de la période Mai 2017	21
Figure III.1-Carte des points d’eau analysés.....	24
Figure III.2-Carte des PH.....	26
Figure. III.3-Carte des conductivités	27
Figure III.4-Carte des Calciums (Ca++).....	28
Figure III.5-Carte des Magnésiums (Mg++).....	29
Figure III.6-Carte des Sodiums (Na+).....	30
Figure III.7-Carte des Potassiums (K+).....	31
Figure III.8-Carte des Chlorures (Cl-).....	32
Figure III.9-Carte des bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	33
Figure III.10-Carte des sulfates (SO ₄ ⁻)	34
Figure III.11-Carte des nitrates (NO ₃ ⁻).....	35
Figure III.12-Diagramme de piper	36
Figure III.13-diagramme de SCHOELLER– BERKALOFF.....	38
Figure.III.14-Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2)	43
Figure.III.15-Répartition des individus dans le plan F1 - F2.....	44
Figure.III.16-diagramme de niveau.1- Dendrogramme.....	46
Figure III.17: Dendrogramme des variables et des individus (échantillons)	47
Figure. III.18- Diagramme de Richard de classification des eaux pour l’irrigation	51
Figure. III.19-Diagramme de Wilcox	52

Liste des tableaux

Tableau. I.1-Population 1998-2020.....	9
Tableau. I.2-Résultat du bilan hydrologique (1971-2010)	9
Tableau. I.3-Précipitations moyennes mensuelles et annuelles pour la plaine de la Mitidja (1971-2004).....	10
Tableau. I.4-Températures de l'année 2010	11
Tableau. I.5-Humidité de l'année 2010.....	11
Tableau I.6- Vent de l'année 2010.....	11
Tableau I.7-Principaux sous bassins versants de la Mitidja et leurs principaux oueds.....	12
Tableau II.1-Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja (Mr Mac Donald & Partners Limited, 1992)	18
Tableau II.2-Inventaire des points d'eau pour la nappe superficielle (Période Mai 2017)	20
Tableau III.1-Répartition du pH des eaux souterraines de la plaine de Mitidja	25
Tableau III.2-Valeurs de la conductivité	26
Tableau III.3-Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité	27
Tableau III.4-Moyennes et écart types des éléments variables.....	39
Tableau III.5-Matrices de corrélation des paramètres chimiques (Mars 2015 et Juin 2017)	40
Tableau III.6-Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques.....	41
Tableau III.7-Caractéristiques de l'ACP appliquées aux données physico-chimiques des eaux de la nappe de la Mitidja	42
Tableau III.8-Corrélations entre les variables et les facteurs.....	42
Tableau III.9-Coordonnées des observations.....	43
Tableau III .10-Normes de potabilité de l'O.M.S	48
Tableau III. 11-Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969	49
Tableau III.12-l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation	49
Tableau III.13-Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards.....	50
Tableau III.14-Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox	53

ملخص

هذه الدراسة تهدف من خلال الدراسات المرفومترية و المناخية وكذا التحاليل الإحصائية و الكيمائية لعينات العناصر الفيزيوكيميائية للآبار المدروسة على مستوى سهل متيجة إلى إبراز تضاريس المنطقة و تأثير عوامل المناخ على الحوض الساكب سيما درجة الحرارة, ومن جهة أخرى تحديد نوعية المياه الجوفية و طبيعتها الغالبة في العمق وعلاقتها بطبيعة الصخور من خلال إجراء التحاليل الإحصائية و بطرق جديدة ذات جدوى جد فعالة على سبيل المثال (التحليل بالعناصر الأساسية) و (الترتيب الهرمي التصاعدي)

Résumé

Notre travail consiste à déterminer en premier lieu les principaux paramètres morphométriques de la nappe aquifère de la Mitidja et l'influence du climat sur le comportement hydrique de notre nappe ; ensuite les études statistiques et hydro-chimique montrent clairement les paramètres dominants (major) et leur influence dans la circulation des eaux souterraines ainsi que la qualité chimique des eaux et leurs faciès chimique à l'aide d'un logiciel diagramme et XLSTAT et son relation avec les types des roches qui traversé (analyse en composantes principales et la classification ascendante hiérarchique).

Abstract

Our job is to first determine the main morpho-metric parameters of the Mitidja aquifer and the influence of climate on water behavior of our basin; then the statistical studies and hydrochemical parameters clearly show the dominant (major) and their influence on the groundwater flow and the chemical quality of water and chemical profile with a diagram and xlstat software and its relationship with the types of rocks that crossed (principal component analysis and hierarchical clustering).

***Introduction
générale***

Introduction générale

L'eau est un élément rare et un facteur essentiel qui conditionne fortement l'avenir et ce, indépendamment de tout changement climatique. Au centre du Maghreb, l'Algérie est un pays en stress hydrique qui devrait connaître une situation de pénurie d'eau.

Les eaux souterraines de la nappe de la Mitidja, alimentent en eau potable, de nombreuses localités de la capitale et plusieurs villes des quatre wilayets situées en grandes parties dans la plaine (Alger, Blida, Boumerdès, et Tipaza). Elles assurent aussi l'irrigation des dizaines de milliers d'hectares de terres agricoles et l'alimentation de presque toutes les unités industrielles. C'est pourquoi, un intérêt particulier en matière de suivi qualitatif et quantitatif est accordé à cette nappe qui a fait l'objet de nombreuses études hydrogéologiques.

Parallèlement à la surexploitation de la nappe, cette dernière est exposée à des risques de pollution dont certains ont provoqué la dégradation de la qualité des eaux souterraines.

Les causes de la pollution sont variées. Mais les plus importantes sont celles liées à l'activité humaine et notamment :

- L'industrialisation est l'une des causes majeures de la pollution de l'eau dans nos villes surtout avant rejet dans le milieu naturel. En absence des dispositions de traitement.
- Les autres causes de pollution de l'eau sont liées à la mauvaise gestion des eaux usées et au mauvais drainage de certaines villes.

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

Dans ce cadre, notre étude proposée concerne la nappe de la Mitidja. Cette dernière se trouve dans les territoires d'Alger, Boumerdès, Tipaza et Blida et représente l'un des endroits touchés par le problème de pollution de l'eau souterraine.

L'objet de cette étude est de connaître les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, et hydro-chimiques avec une mise en relief des différentes sources de pollution et leur impact sur les eaux souterraines

L'approche est basée sur trois axes principaux :

- Le premier axe expose les caractéristiques morphologiques du site d'étude, suivi d'une présentation démographique et d'une description hydrologique.
- Le deuxième axe présente l'étude géologique et hydrogéologique qui définit les formations formant la nappe de la Mitidja et le sens des écoulements principaux.

Introduction générale

➤ Et en fin le troisième axe comporte une analyse statistique multi-varie des données hydro-chimiques pour introspecter la qualité des eaux souterraines de la nappe à l'aide des diagrammes hydro-chimiques et le logiciel XLSTAT 2016.

Chapitre I :
Présentation du site
d'étude

Chapitre I : Présentation du site d'étude

I.1- Introduction

Avant de traiter notre sujet il faut avoir une idée générale sur l'emplacement de notre site d'étude concernant une vision géographique, démographique, climatique, morpho-métriques.

I.2-Aperçu géographique

I.2.1-Localisation géographique

La Mitidja est la plus vaste plaine sublittorale d'Algérie. Elle est répartie entre les wilayas d'Alger, Blida, Tipaza et de Boumerdès ; couvrant une superficie de 1450 km² avec une longueur moyenne de 100 km et une largeur moyenne de 10 à 18 km. Elle est située entre les Longitudes 2°32'00 à 3°19'00 et les Latitudes 36°25'17 à 36°47'40. (MUTIN, 1977).

I.2.2- Développement et économie

I.2.2 .1-Principales activités agro-industrielles dans la Mitidja

La Mitidja a connu un développement agro-industriel très important durant la dernière décennie 2003/2012.

A-Les activités agricoles dans la Mitidja

La plaine de la Mitidja est une plaine littorale étroite et longue d'une centaine de kilomètres, située au centre de l'Algérie du Nord. Elle bénéficie d'un climat méditerranéen favorable à l'activité agricole. La plaine de la Mitidja doit sa richesse à plusieurs avantages :

- des sols riches avec une bonne aptitude à l'irrigation ;
- un climat favorable (284 mm à 951 mm de précipitations par an) ;
- une longue expérience de l'agriculture irriguée (arboriculture et maraîchage) ;
- une proximité du marché potentiel que représentent la capitale et les autres villes avoisinantes
- une infrastructure routière bien développée ;
- une grande capacité de stockage et de conditionnement des produits agricoles à côté d'une forte densité d'implantation de l'industrie agro-alimentaire.

Longtemps caractérisée par une agriculture traditionnelle vivrière, la Mitidja a connu une

faible occupation des sols (les marécages occupaient de vastes étendus), ainsi qu'un élevage extensif. Elle a très tôt attiré les convoitises de la colonisation, et a été assainie et mise en valeur. A partir de 1880, la plaine s'est transformée rapidement en de vastes exploitations viticoles suite à la crise phylloxérique qui détruisit le vignoble français.

De 1920 jusqu'au début de la deuxième guerre mondiale, les conditions favorables ont permis le développement de l'agriculture irriguée et de la grande hydraulique. Un premier barrage d'irrigation, le barrage du Hamiz, fut construit en 1937 pour l'irrigation de 18 000 ha situés sur la partie Est de la plaine. La petite hydraulique était déjà pratiquée dans la Mitidja, des puits et des forages ont été déjà creusés et la plantation des agrumes a commencé durant cette période.

Au moment de l'indépendance (1962), l'agriculture de la plaine s'est reconvertie. Les vignes ont été remplacées par l'arboriculture fruitière et l'élevage laitier. A partir des années 1980, la Mitidja a connu plusieurs projets d'aménagement hydro-agricoles, notamment la mise en eau de deux grands périmètres irrigués sur la partie Ouest de la plaine pour ainsi réserver l'eau de la nappe de la Mitidja principalement à l'AEP.

Aujourd'hui, la Mitidja représente le centre de la production des fruits et légumes pour toute la région d'Alger, l'infrastructure routière y est bien développée et facilite l'acheminement de la production agricole sur les cinq marchés de gros que compte la région.

Les superficies agricoles :

➤ La surface agricole totale « SAT » de la plaine de la Mitidja représente l'ensemble des superficies agricoles utiles des terres improductives (parcours, bâtiments); elle est de l'ordre de 164000 hectares.

La surface agricole utile « SAU » représente la superficie apte à être cultivée et sur laquelle est pratiqué un assolement (succession de cultures). Elle est de l'ordre de 100000 hectares (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

La superficie agricole est cultivée soit :

➤ En irrigué : il s'agit d'un système de culture intensive nécessitant de très grands apports d'eau et d'engrais agricoles (culture maraichère) ; il concerne 60000 hectares de superficie.

Ou en sec : système de culture sans apport d'eau, l'irrigation étant exclusivement tributaire de la pluviométrie .

B-Les activités industrielles dans la Mitidja

La Mitidja a vu se développer depuis des années une industrie essentiellement axée sur les industries chimiques, pharmaceutique, alimentaire et biotechnologiques, dont le but est de décorer ou de conférer des propriétés chimiques, mécaniques ou électriques.

Dans la partie Est : Les zones industrielles d'Oued Smar, El Harrach, Rouïba et Reghaïa s'étendent sur une superficie totale de 1 478 hectares tandis que les zones d'activité dont l'implantation touche la majorité des communes de la capitale, totalisent près de 170 hectares, En matière de types d'activité exercée au niveau de toutes zones de la wilaya d'Alger la prédominance des industries textiles et cuirs, de transformation des métaux et de production agroalimentaire. La première activité englobe ainsi 1 881 entités alors que la seconde 1 607 et la troisième 1 233 unités. Au total, la wilaya d'Alger compte plus de 1 740 entreprises de production et de services, dont 308 publiques totalisant plus de 35 400 emplois et 10 641 privées employant plus de 111 300 travailleurs.

La centre de la Mitidja : A connu l'installation de plusieurs usines recouvre les communes de Meftah, Bougara, l'Arbaa, la banlieue de Blida , s'étendent sur une superficie totale de 1211252hectares .À titre d'exemple le tissu industriel de la wilaya de Blida est renforcé par l'activité industrielle privée qui dispose de 542 unités de production employant près de 11730 travailleurs.

Au niveau de la partie Ouest de la plaine : on constate la prédominance des activités agricoles et des animaux, par rapport aux activités industrielles, à l'exception de les zones industrielles de Koléa et Attatba.

C-Les principales activités industrielles dans la Mitidja

Les principales unités industrielles sont concentrées en grande partie sur les wilayas d'Alger, Blida et Boumerdès et représentées principalement par : Agro-alimentaire ; tabac ; chimie plastique, pharmacie ; matériaux de construction ; construction mécanique; sidérurgie, métallurgie, textiles.

L'ensemble de ces industries sont classées polluantes ; elles rejettent de très importantes quantités d'azote dans le milieu récepteur. Cependant les industries du papier, sont celles qui en rejettent le plus. La région d'Alger représente le siège d'activité industrielle prédominante.

La figure n° I.1 récapitule les activités industrielles implantées dans la zone d'étude par branche d'activité:

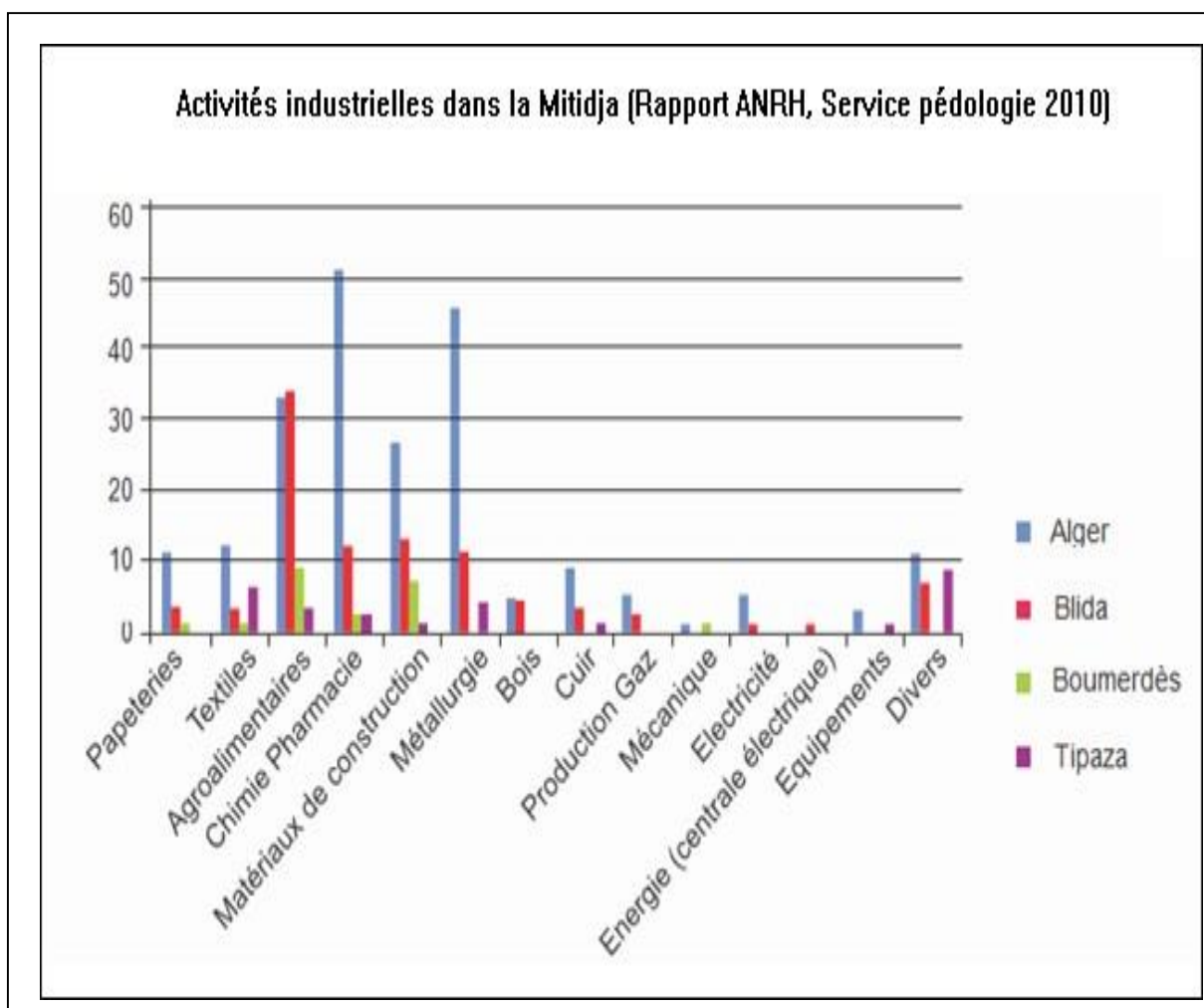


Figure n° I.1 : Activités industrielles dans la Mitidja (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

I.2.3-Relief

Avec une superficie totale de 1400 km² et une superficie agricole de 120.000 ha à 130.000 ha, la plaine de la Mitidja englobe les wilayas d'Alger, Blida, partiellement celles de Tipaza et Boumerdès.

Cette plaine est une dépression longue d'environ 100 km sur 15 à 20 km de large resserrée entre l'Atlas Blidéen au sud, et le sahel au Nord, elle est largement ouverte sur la mer, sur une trentaine de kilomètres.

Sa partie ouest es caractérisée par les collines du sahel entrent au contact du massif montagneux de Chenoua (905 m) et rejoignent, au plateau de Fadjana, les premières hauteurs de l'Atlas (djebel Thebarrarine au sud, 853 m).

La plaine de la Mitidja (Figure n° I.2) descend en pente douce du sud au nord, de l'Atlas vers

les collines. 50m seulement entre Ahmeur-el-Ain et le fond du lac Halloula, de l'extrémité ouest d'Alger, sur 70 km, la plaine ne communique avec la mer que par l'intermédiaire de l'oued Nador et 40 km plus loin par le Mazafran.

L'Atlas Blidéen, culmine à 1600 m, avec des pentes très fortes (supérieures à 30%) qui sont sujettes à une érosion intense, là où la couverture végétale fait défaut. Le Piémont de l'Atlas, avec une altitude qui varie entre 200 et 600 mètres, présente des conditions favorables pour un développement agricole. Le sahel et la baie d'Alger.

On peut distinguer deux Mitidja

- La Mitidja de l'Est ou basse Mitidja en direction de la Kabylie.
- La Mitidja de l'ouest ou haute Mitidja, en direction de l'Ouarsenis.

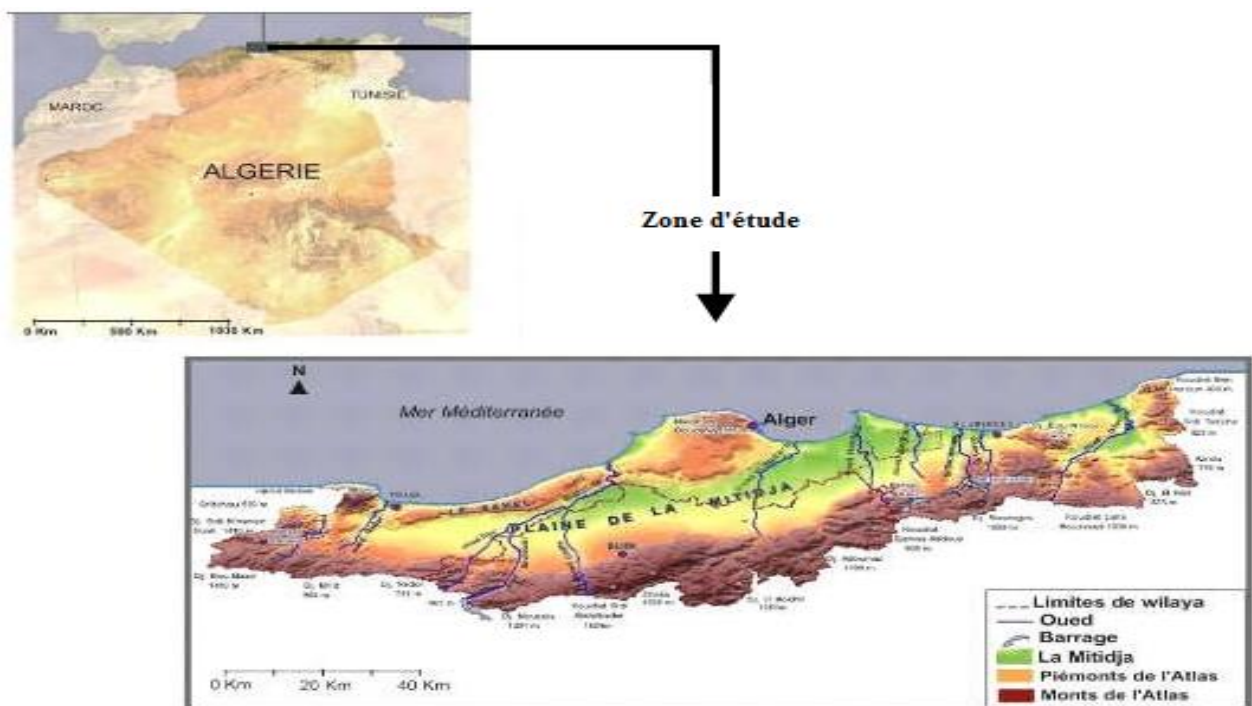


Figure n° I.2 : Carte de la situation géographique générale de la plaine de la Mitidja
(Source : Programme d'aménagement côtier (PAC), 2006).

I.3-Démographie

La population totale dans la plaine était de 2.623.631 habitants en 1998 avec une densité de 60.hab / km². Les principaux pôles de concentration sont: Blida, Chiffa, Boufarik, Soummaa, El Affroun, Dar El Baida et El Harrach

Le tableau ci-dessous donne la population par wilaya d'après le recensement de 1998 et sa projection pour l'horizons2020

Tableau n° I.1. Population 1998-2020

Wilaya	Population 1998	Population 2020
Alger	1 179 475	1 694 303
Blida	978 150	1 489 532
Boumerdes	215 739	340 796
Tipaza	250 267	416 296

I.4-Le climat

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat régional subhumide littoral caractérisant l'ensemble des plaines côtières. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le climat devient de plus en plus continental et l'on enregistre une baisse sensible des températures.

Les résultats du bilan hydrologique (1971-2010) et les précipitations moyennes mensuelles et annuelles pour la plaine de la Mitidja (1971-2004) sont enregistrés dans les tableaux (n°I.2 , n° I.3) et figure n°I.3.

Tableau n°I.2: Résultat du bilan hydrologique (1971-2010) (MOKADEM Tahar, 2016)

Termes du Bilan	P (mm)	ETR		R		I	
		mm	%	mm	%	Mm	%
Les pertes							
Partie Est	641.3	536.23	83.61	90.08	14.05	15	2.34
Partie Ouest	590.9	507	85.80	66.7	11.29	17.2	2.91

Tableau n° I.3 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles pour la plaine de la Mitidja (1971-2004) (AIT-OUALI A, 2007)

	sept	Oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août	annuel
Hamiz Bge	37	56,9	88,1	111,9	98,2	99,3	65,7	66,2	51,3	12,9	3,2	6,3	696,8
L'Arbaa	33,7	63,4	83,1	94,9	89	80,6	69,8	64,6	47	11,4	1,9	4,5	643,9
Blida	30,7	57,9	86,2	86,6	83,5	72,8	79,8	61,4	49,6	10,2	3	3,7	625,4
Réghaia	39,9	66,2	92,3	92,2	77,1	81,8	57,8	56,5	39,8	13,2	3,2	2,9	622,9
D,E Baida	33,1	63,2	91,2	97,2	76,8	83,6	72,7	59,6	40,4	11,9	4,5	9,4	643,6
Boufarik	30,3	63,3	87,2	86,9	86	74,8	69,3	63,3	43,2	9,7	2,7	5,8	622,4
Amer El Ain	26,4	46	79,5	93,4	90,3	65,9	78,5	57,7	41,1	8,5	2,2	2,1	591,4
Bir M Rais	35,7	80,7	102,4	107,5	92,8	89,2	78,1	61,8	38,8	11,3	4,7	9,3	712,3
Attatba	28,7	57,6	81,3	91,6	81,8	74,8	62,1	53,3	38,8	7,8	2,8	5,3	586,1
Hadjout	21	58,3	66,7	69,9	64,6	66,9	59,5	52,9	30,1	6,1	1	5,5	502,5

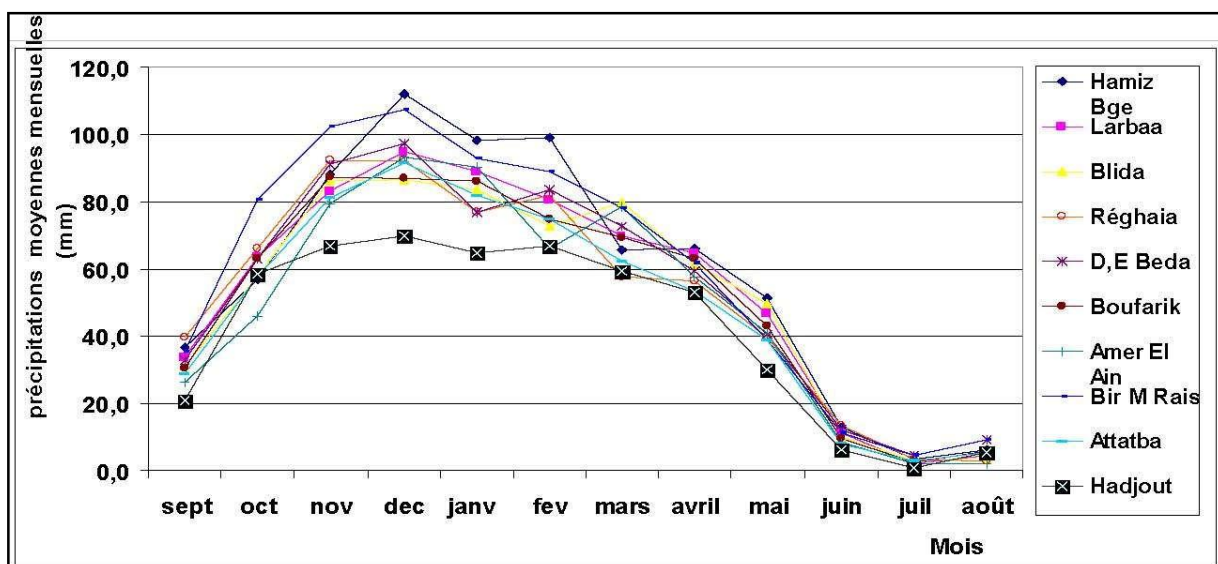


Figure n° I.3 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (1971-2004) (AIT-OUALI A, 2007)

I.4.1-La Température

Les températures jouent un grand rôle dans la détermination de la période de l'irrigation tout a fait comme les précipitations, les paramètres climatiques de l'année 2010 sont présentées dans les tableaux suivants : (n° I.4, n°I.5 et n°I.6)

Tableau n° I.4: Températures de l'année 2010

T°C	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Max	14.8	12.6	19.2	21.0	19.8	28.3	31	29.2	33.0	28.2	19.0	14.5
Min	8.5	7.5	7.7	13.0	14.0	18.0	25.5	24	15	15	11	7.3
Moy	12.1	13.1	13.8	16.2	17.6	23.0	27.9	26.6	23.0	21.1	14.5	11.4

(Source : ANRH BLIDA)

Les températures les plus élevées se trouvent durant les mois de juillet et aout

I.4.2-Humidité

Tableau n° I.5: Humidité de l'année 2010

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hum %	14.8	12.6	19.2	21.0	19.8	28.3	31	29.2	33.0	28.2	19.0	14.5

(Source : ANRH BLIDA)

Les mois les plus humides sont : juillet, aout, septembre, octobre

I.4.3-Les Vents

Tableau n° I.6 : Vent de l'année 2010

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
vent (m/s)	1.5	2.0	3.4	3.0	3.1	3.2	2.8	2.7	3.30	2.3	2.9	2.6

(Source : ANRH BLIDA)

La vitesse du vent dans la Mitidja ouest a atteint les 3.3 m/s durant le mois de septembre

I.5-Hydrographie

La plaine de la Mitidja est traversée par six importants oueds qui assurent le drainage des bassins versants montagneux de la chaîne de l'Atlas (Tableau n°I.7). Nous rencontrons d'Est en Ouest les oueds (Figure n°I.4) : Hamiz, Djemaa, El Harrach, Chiffa, Bouroumi, Djer. En aval de la plaine de la Mitidja, l'oued Bouroumi et l'oued Chiffa confluent pour former l'oued Mazafran. L'oued Harrach rencontre l'oued Djemaa dans les environs de Baba Ali. A l'Est de l'oued

Hamiz, s'écoule l'oued Reghaia qui est considéré comme secondaire. Les oueds mentionnés ci-dessus sont en grande partie en liaison hydraulique avec la nappe de la Mitidja puisque leurs eaux peuvent s'infiltrer ou inversement drainer la nappe.

La plaine est partagée en quatre bassins fluviaux : celui d'oued Nador, d'oued Mazafran, d'oued Harrach et du Hamiz. Alors que la plaine s'allonge dans une direction d'Est-Ouest, ces derniers la transverses perpendiculairement selon des directions méridiennes. Ces oueds côtiers présentent un certain nombre de caractéristiques communes :

- Ils prennent tous naissance dans l'Atlas et sont tous de dimensions restreintes .
- Tous présentent un profil longitudinal divisé en deux parties très distinctes.
- Leur pente est très forte en montagne.
- Dans un passé récent elles ont été constamment maintenues par le jeu tectonique
- Ce sont des oueds aux vallées étroites, profondes, encaissées (**Rabehaoui et Belaidi, ANRH, 2005**)

Tableau n°I.7: Principaux sous bassins versants de la Mitidja et leurs principaux oueds.

Bassins versants (BV)	Principaux oueds
Nador (BV Occidental)	Nador ,Bourkika , Meuraad , Bouharoun , Bouyéersen
Mazafran (Premier sous BV central)	Djer, Bou Roumi, Chiffa
El Harrach (Deuxième sous BV central)	Djemaa, Semar
Hamiz et Réghaia (Bassin oriental)	Hamiz, Réghaia



Figure n°I.4 : Chevelu hydrographique et stations pluviométriques.

I.6-Morphologie de la plaine de la Mitidja

La plaine de la Mitidja est d'une altitude moyenne de 50m qui s'étend sur une superficie de 1450km². Elle se situe entre l'Atlas Tellien et le Sahel. Hydro-graphiquement, elle se situe sur le bassin versant Côtier Algérois Ouest, qui est un bassin versant de forme allongé. Elle englobe quatre sous bassins versants pour une superficie totale évalué à 4086km² : Hamiz, Harach, Mazafran et Nador.

La Mitidja jouit d'un climat maritime, caractérisant l'ensemble des plaines côtières, avec des hivers humides et pluvieux et des étés relativement chauds et secs, elle présente des divers reliefs et végétation.

I.7-Conclusion

La plaine de la Mitidja est parmi les plus fertiles plaines du bassin Algérois présentant une diversité de reliefs et de végétation, Elle est partagée entre quatre wilayas : Alger, Blida, Tipaza et Boumerdès, bien que la seconde wilaya a la part la plus importante. Limitée par l'Atlas Blidéen au Sud et le Sahel au Nord, c'est une dépression allongée d'Ouest (l'Oued Nador) en Est (l'Oued Boudouaou). Elle est traversée par quatre principaux Oueds constituant une source plus ou moins importante d'alimentation de la formation aquifère qui est considérée de ce fait comme étant le plus important aquifère de la région d'Alger.

Chapitre II :
Aperçu sur la
Géologie et
l'Hydrogéologie
de la Zone
d'étude

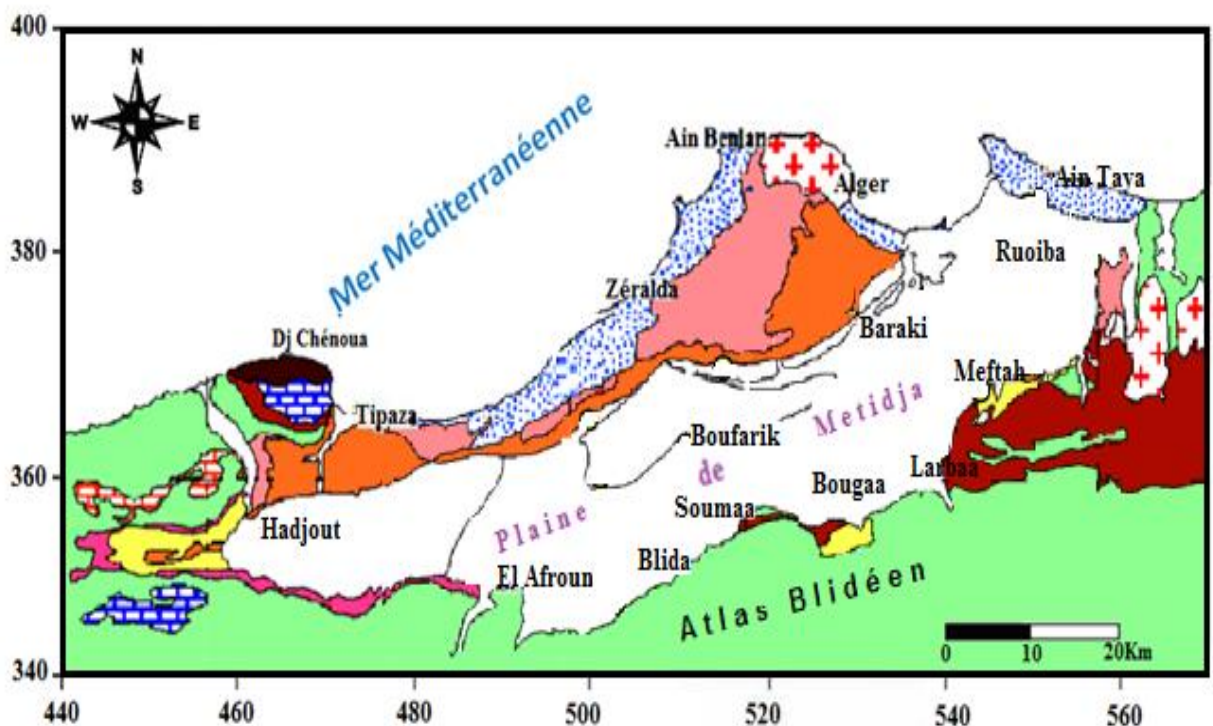
Chapitre II : Aperçu sur la Géologie et l'Hydrogéologie de la Zone d'étude

II.1- Aperçu sur la géologie de la zone d'étude

La plaine de la Mitidja s'étend au sud d'Alger entre Hadjout et Réghaïa, selon une direction SW-NE. Elle est bordée au Nord par les collines du Sahel et au Sud par l'Atlas Tellien. Elle fait environ 90km de longueur et de 8 à 18 km largeur.

Cette plaine est constituée de deux horizons aquifères :

- Les grès astien, d'une épaisseur d'environ 100m, qui affleurent essentiellement sur les collines du Sahel,
- Les alluvions du Quaternaire, qui affleurent sur la majeure partie de la plaine. Leur épaisseur peut dépasser 200 m au centre du bassin.
- Le cadre géologique local est caractérisé par la série litho stratigraphique représentée dans la (Figure n°II.1).



Légende:

Dunes du Sahel (Rhabien)	Calcaires et marnes (Crétacé)	Roches métamorphiques
Formation argileuse (Villafianchien)	Marnes et argiles (Miocène)	Calcaires (Eocène)
Grès, Calcaires grisés et sable (Astien)	Shistes et sables argileux (Oligocène)	Calcaire (Jurassique)
Marnes et argiles du Pliaiocène		

Figure n°II.1: Carte géologique de la plaine de la Mitidja

La figure n°II.2 montre des coupes géo-électriques Nord-Sud à travers la plaine de la Mitidja

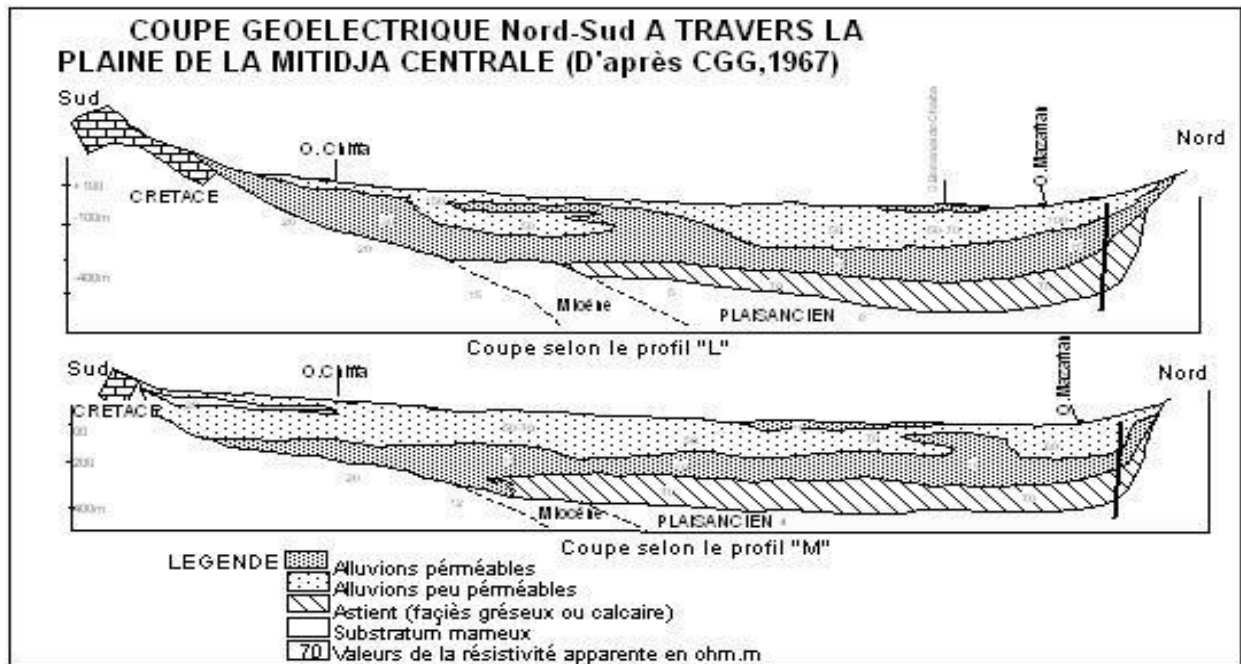


Figure n°II.2: Coupes géo-électriques Nord-Sud à travers la plaine de la Mitidja (ANRH Blida. 2013)

II.1.1-Stratigraphie

La succession lithologique rencontrée dans la plaine de la Mitidja se présente comme suit avec de bas en haut :

a- Le Pliocène marin : qui se présente sous forme de marnes grises ou gris bleu, comprenant une puissante couche de marnes bleues parfois sableuses attribuées au Plaisancien.

De marnes jaunes, de faciès gréseux, ou calcaire et de calcaire gréseux, ainsi que de la mollasse attribuée à l'Astien.

b- Le Quaternaire marin : localisé essentiellement sur le versant nord du sahel, notamment entre Alger et Bordj El Bahri.

Le Quaternaire continental comprend:

✓ Le Villafranchien supérieur : Constitué de gravier siliceux fluviaux et graviers de grès avec de l'argile rouge d'origine crétacé. Il est localisé essentiellement sur des glacis à des altitudes comprises entre 100 et 300 m d'altitudes formant les terrasses du Sahel.

- ✓ Le Quaternaire ancien : Compris entre 50 et 150 m, au-dessus des oueds caillouteux.
- ✓ Le Quaternaire moyen : constitué par des alluvions, il forme les terrasses qui s'étagent au-dessus des oueds et les piémonts de l'Atlas Blidéen. Ce sont des alluvions fluviales, enrobées dans une matrice argileuse rouge et brune. Les alluvions sont finement litées avec passées limoneuses alternant avec des galets.
- ✓ Le Quaternaire récent : (Rharbien) Ce sont des terrasses de 5 m d'épaisseur environ, constituées de limons d'argile noire ou blanc, de limons caillouteux et de cailloux grossiers. Ce sont les derniers matériaux qui ont participé au complément de la Mitidja.

Le Quaternaire actuel : se limite aux lits mineurs et majeurs des oueds. Il est formé de dépôts fluviaux constitués de galets roulés et de plage de limons gris ocre. (Figure n°II.3). (Agrocomplect-Energoprojekt- 1977).

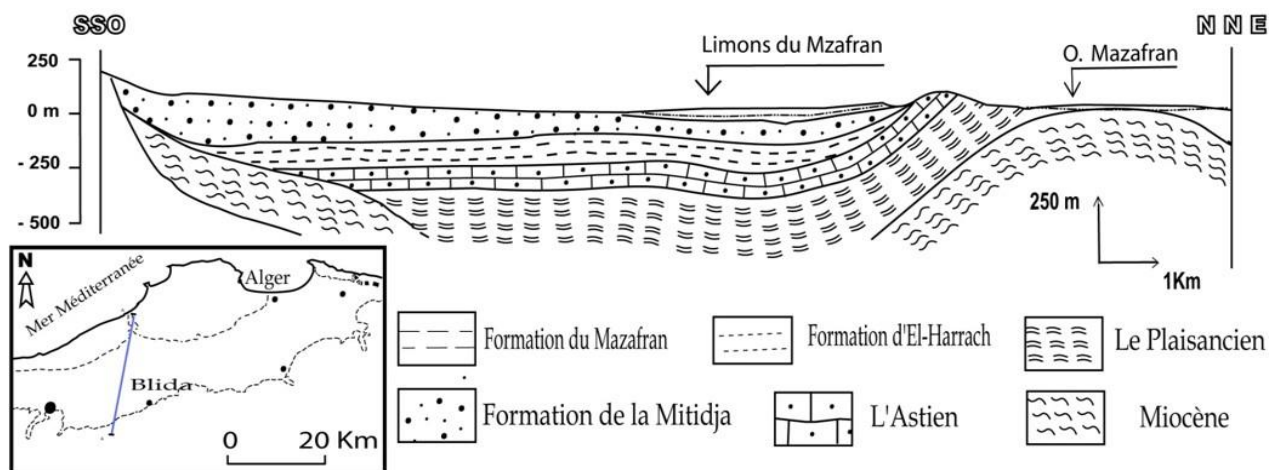


Figure n°II.3 : Coupe géologique au niveau de la Mitidja

II.1.2-Tectonique

La configuration actuelle de la Mitidja a débuté vers la fin du Pliocène. A cette époque les dépôts marins et lagunaires qui formaient une aire anticlinale, ont subi un affaissement (subsidence), dessinant en gros les contours de la Mitidja actuelle. Les reliefs du Sahel empêchaient toute transgression de la mer vers l'intérieur des terres. Par la suite les matériaux résultants de l'érosion de l'Atlas, se sont déposés sous forme de dépôts fluvio-lacustres (type marnes jaunes de Maison Carrée).

Au Quaternaire moyen, la Mitidja est envahie par une épaisse couche d'alluvions, recouvrant ainsi les chenaux et les haut fonds marneux (Tableau n°II.1).

Tableau n°II.1: Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja.

(Mr Mac Donald & Partners Limited, 1992)

Age		Formation	Lithologie	Epaisseur	Aquifère existants	
Quaternaire	Actuel / récent	Alluvions des oueds, dunes, piémont de l'Atlas	Sable / Gravier, Sables éoliens, limons argileux	< 10 m 10 à 20 m	Aquifère existants	
	Pléistocène	Rharbien	Formation du Mazafran Formation de Hallola Formations dunaires	Limons et argiles limoneuses Sables consolidés		10 à 60 m 15 à 50 m
		Soltanien Tensiftien	Formation de la Mitidja	Altérence de graviers, de sables et d'argiles	100 à 200 m	Aquifère de la Mitidja
		Amirien Saltinien	Non identifié dans la plaine de la Mitidja	—	—	
		Villafran- chien	Formation d'El Harrach	Argiles et cailloutis	0 à 200 m moyenne 100 m	Aquifère de l'astien
Tertiaire	Pliocène	Astien	Grès, sables, calcaires	100 à 130 m	Aquifère de l'astien	
		Plaisancien	Marnes et argiles bleues	200 m		
	Miocène et roches plus anciennes	Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives.	Diverses mais peu significatives dans l'évolution du bassin sédimentaire	—		

II.2-Aperçu sur l'Hydrogéologie de la Zone d'étude

Comme il est dénoncé au dessus en partie géologie la région comporte deux systèmes aquifères reposant sur un substratum, constitué par les marnes bleues du Plaisancien qu'on peut observer à l'affleurement sur les collines Sahel, notamment à El Achour, Dely Brahim, Baba Hacene:

- Aquifère des formations Alluvionnaires du Quaternaire.
- Aquifère formation de l'Astien (Grès Astien).

Dans cette étude on s'intéressera au comportement hydrodynamique de la nappe de l'aquifère des formations Alluvionnaires du Quaternaire qui représente la principale ressource en eau souterraine et on étudiera principalement la piézométrie durant la période de Mai 2017.

II .2.1-Etendue de la nappe

La nappe de la Mitidja s'étend au Nord, jusqu'à la limite d'affleurement des alluvions Quaternaires et au Sud, jusqu'au contact entre les alluvions quaternaires et les formations plus anciennes de l'Atlas Blidéen. D'un point de vue administratif, elle concerne quatre wilayas (Alger, Blida, Boumerdès et Tipaza).

La nappe alluviale représente la principale nappe aquifère de la Mitidja Elle est constituée par des alluvions anciennes et récentes qui ont comblé le bassin subsidient de la Mitidja. Dans la partie ouest de l'aquifère, les alluvions sont séparées de l'Astien par un niveau imperméable de marnes caillouteuses. L'épaisseur des alluvions qui est de l'ordre de 200 m en moyenne diminue vers l'est avant de disparaître totalement, au môle de Reghaïa.

L'alimentation de la nappe aquifère se fait essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie sur le Sahel. Il est également alimenté par la nappe alluviale sus-jacente par drainance à travers les marnes jaunes peu épaisses et dont la perméabilité varie de 10^{-7} à 10^{-8} m/s.

II.2.2-Inventaire des points d'eau :

On a pu inventorier 27 points d'eau dans la nappe des formations Quaternaire (Figure n°II.4) et les données piézométriques ont été consignées dans le (Tableau n°II-2).

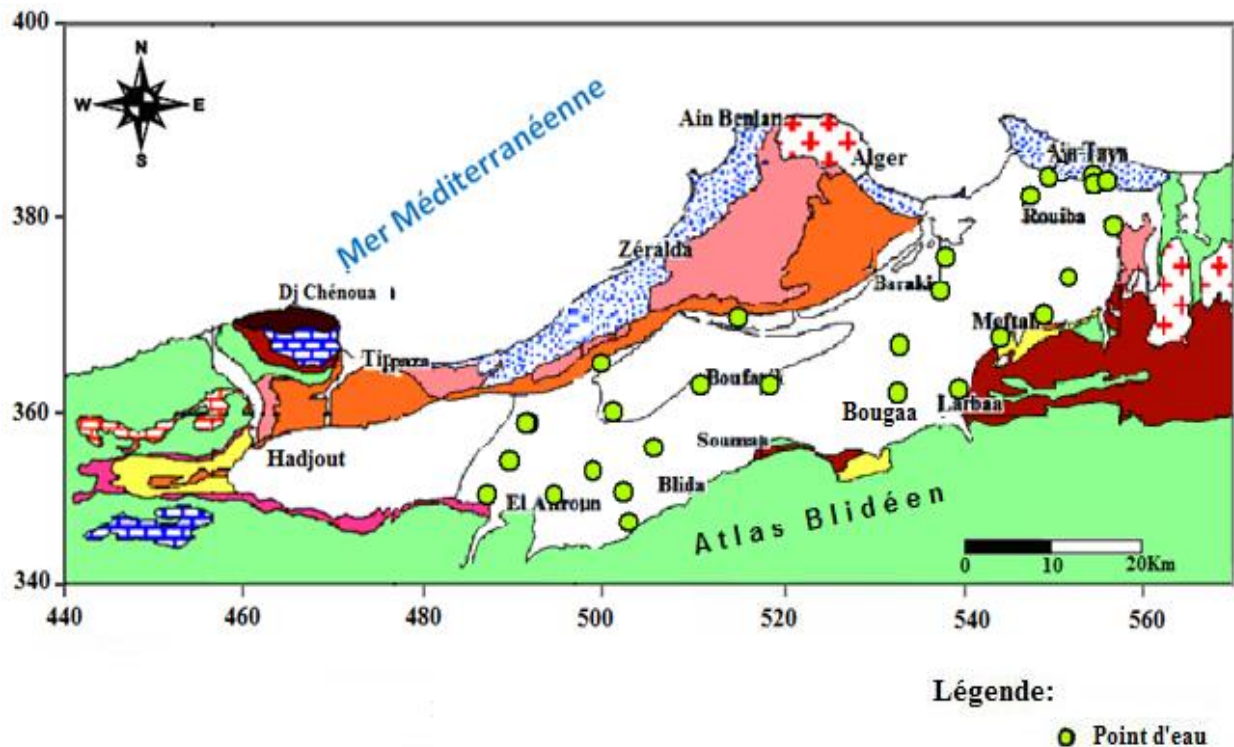


Figure n°II.4 : Carte d'inventaire des points d'eau

Tableau n°II-2: Inventaire des points d'eau pour la nappe superficielle (Période Mai 2017).

points	X	Y	NP	points	X	Y	NP
1	550,65	370.750	78.48	15	556.500	384.350	10.04
2	553,65	374.620	48.88	16	557.900	384.670	2.32
3	545,95	368.500	65.03	17	516.850	370.500	32.2
4	539,20	373.150	30.7	18	488.600	352.230	133.38
5	539,80	376.820	16.51	19	496.120	352.200	100
6	533,75	361.100	95.78	20	512.500	363.550	74.72
7	534,77	361.500	106.53	21	493.250	359.700	59.42
8	541,27	363.070	103.46	22	491.200	355.640	72.86
9	534;90	367.700	45.91	23	512.500	363.550	74.72
10	547,90	382.900	14.04	24	504.500	349..450	126.48
11	552.75	385.600	25.47	25	503.950	352.600	93.21
12	556.440	382.630	20.54	26	503.750	358.120	56.19
13	558.620	379.920	37.03	27	507.200	357.150	/
14	549.200	383.070	14.88				

II.2.3-caractéristiques des points d'eau:

Les points d'eau retenus sont répartis presque sur toute la zone d'étude, ils sont des forages de profondeur de 60 à 150 m, Ils sont destinés essentiellement à l'irrigation des cultures saisonnières et secondairement à l'alimentation en eau potable.

II.2.4-Etude piézométrique:

L'établissement des cartes piézométrique s'est basé sur le traitement des données par le logiciel (ArcGis10.2.2). Les niveaux piézométriques mesurés ont permis de tracer la carte piézométrique pour la période Mai 2017 (Figure n°II.5).

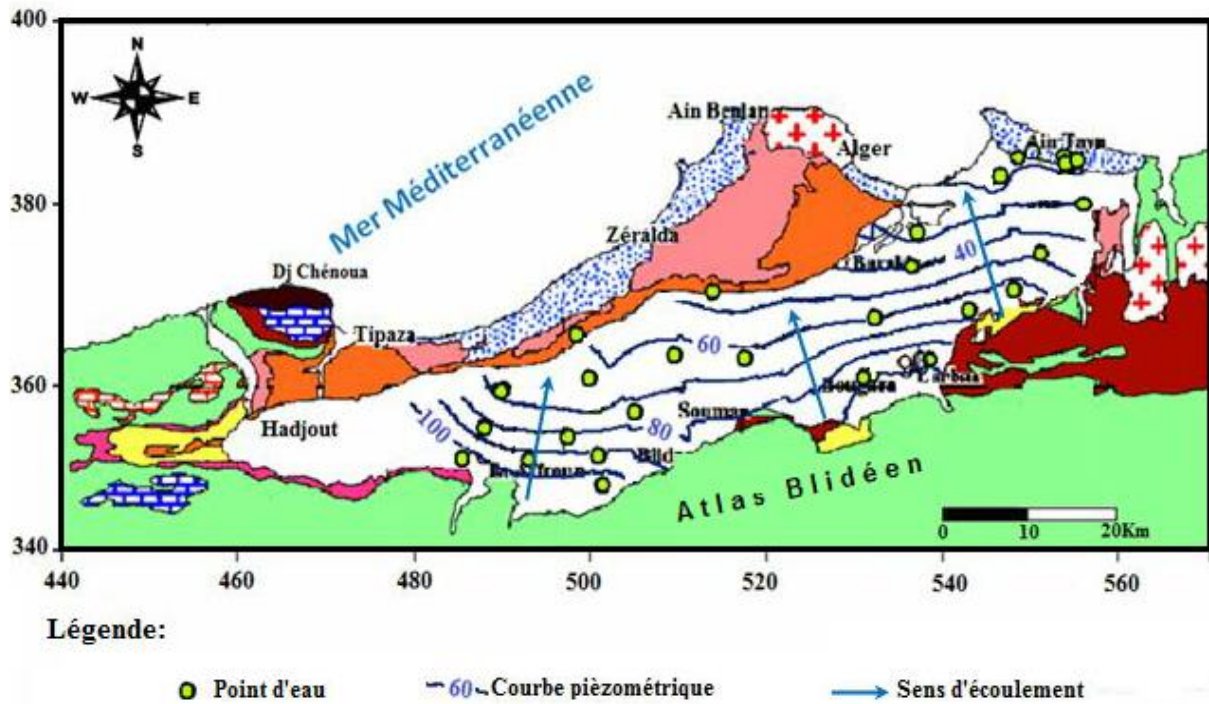


Figure n°II.5: Carte piézométrique de la période Mai 2017

L'observation de la carte piézométrique permet d'analyser le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale de la Mitidja et montre un écoulement des eaux de la nappe à partir des massifs de l'Atlas Blidéen au Sud vers la mer méditerranéenne au Nord. La pente générale de la nappe est de l'ordre de 0,1% dans la plaine et augmente en allant vers la bordure sud (piémont de l'Atlas Blidéen), les gradients hydrauliques sont généralement d'orientation Sud-Nord.

Les courbes isopièzes, parallèles à l'Atlas en amont, s'incurvent vers l'aval pour mettre en évidence la convergence des écoulements vers les champs de captage (exutoire artificiel).

II.3-Conclusion

La structure de la plaine de la Mitidja est celle d'un synclinal remblayé par des alluvions de profondeur moyenne de 200m, qui représente le principal aquifère d'un potentiel naturel appréciable exploité par pompage. Cette plaine est caractérisée par sa vocation agricole qui s'explique par l'existence d'un espace d'une haute valeur agronomique.

L'étude piézométrique a permis de définir les principaux axes d'écoulements et la zone d'exutoire de la nappe du Quaternaire.

*Chapitre III:
Etude Hydro-
chimique et
Analyses
Statistiques
Multivariée*

Chapitre III : Etude Hydro-chimique et Analyses Statistiques Multivariées**III.1-Introduction**

L'eau est un élément essentiel qui conditionne fortement l'avenir, La rareté de l'eau douce est aujourd'hui une réalité incontestable. La recherche des ressources en eau est toujours plus importante pour les besoins humains, elle conduit de plus en plus à l'implantation de captages. Les eaux théoriquement protégées proviennent des nappes souterraines, ces ressources, lorsque elles sont potables seront « idéales » pour la consommation, mais malheureusement elles sont de plus en plus soumises aux contaminations chimiques (Nitrates, détergents, pesticides, métaux,...etc.) et parfois microbiennes provoquées par le développement industriel, agricole et urbain.

L'Algérie, comme tous les pays riverains de la Méditerranée, a connu des périodes de sécheresse au cours des dernières décennies. Le manque d'eau a entraîné une sollicitation accrue des nappes. Les aquifères menacés par ce danger sont ceux des régions côtières marquées par une très forte densité de puits et forages se traduisant par une surexploitation intense des nappes provoquant une augmentation de la minéralisation de leurs eaux. Plus l'influence de la pollution anthropique, tant industrielles qu'agricoles ou encore urbaines. Ce qui les rend rare et limitant pour leur utilisation.

La plaine de la Mitidja objet de notre travail de recherche est une zone à vocation agricole, elle joue un rôle socio-économique assez important à l'Algérie. Dans cette la région, les eaux souterraines ont toujours été une source importante d'approvisionnement en eau potable, l'irrigation et l'industrie. Cependant la qualité alimentaire de l'eau représente une préoccupation grandissante à cause de différents facteurs de pollution. Dans ce cadre notre présent travail s'intéresse à l'étude de la qualité chimique et des eaux souterraines de la nappe alluviale de la plaine de la Mitidja par les méthodes

- Statistiques Multivariées avec l'utilisation des supports informatiques « Logiciels » tels que: Arc GIS, Arc Hydro, XLstat 2016, Aquachem, Diagramme,...etc. pour Déterminer:
- la répartition Spatiale et quantitative des éléments majeurs.
- l'origine des différents éléments chimiques.
- les principaux faciès chimiques des eaux et leurs relations avec L'environnement géologique.
- Avoir une idée sur la qualité chimique des eaux pour la potabilité et l'irrigation.

III.2-Echantillonnage des eaux et Analyses au laboratoire

Vingt sept (27) échantillons prélevés au niveau de 27 forages durant la période de Mai 2017, qui font l'objet d'une étude de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja (Figure n°III.1).

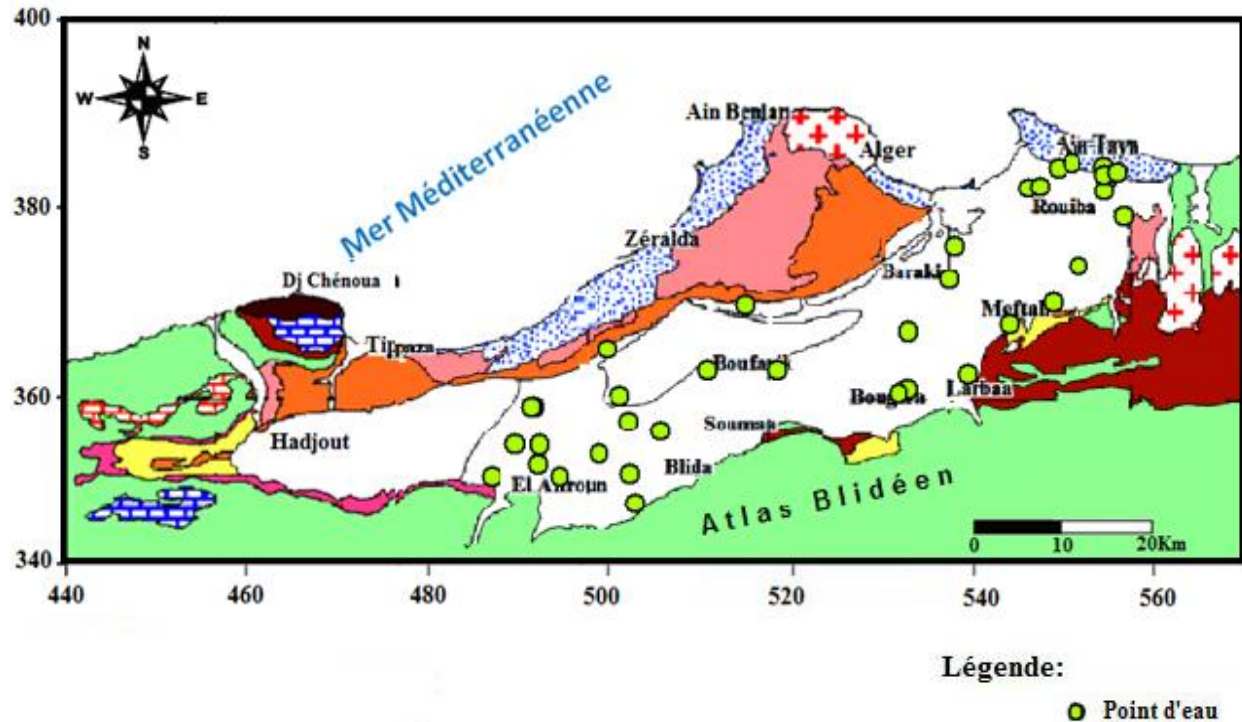


Figure n° III.1: Carte des points d'eau analysés

Les analyses ont été effectuées par ANRH (Alger), en respectant les techniques de prélèvement prescrites, pour que l'analyse démontre les caractéristiques de l'ensemble des éléments chimiques duquel l'eau est tirée. Ces analyses portées sur les mesures et le dosage des paramètres physico-chimiques: (CE, pH, , Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+ et K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- et NO_3) par les méthodes suivantes:

- Les teneurs en chlorures ont été titrées par la méthode de Mohr.
- Le Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} et HCO_3^- à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme (SKALAR).
- Les nitrates ont été dosés par auto-analyseur (SKALAR).

La fiabilité des résultats de ces analyses a été Vérifiée par le bilan ionique (BI) selon la relation suivante :

$$B_i = \frac{\sum Cation(meq/l) - \sum Anion(meq/l)}{\sum Cation(meq/l) + \sum Anion(meq/l)} \times 100$$

L'ensemble des valeurs obtenues attestent de la bonne qualité des analysés avec BI < 10%

III.3- Etude des paramètres physico- chimiques ayant fait l'objet de la limite de qualité

III.3.1- Etude des paramètres physiques

A - Le Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est par définition, une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une eau (Tarda-Henry, 1984). Il caractérise l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse ($pH = -\log (H^+)$). L'échelle de pH s'applique pour des activités comprises entre 10^{-4} ($pH = 14$) et 1 ($pH = 0$). Il s'agit d'un paramètre capital pour le calcul des équilibres thermodynamiques. Il joue un rôle primordial, à la fois, dans les propriétés physico- chimiques (acidité, agressivité), dans les processus biologiques et dans l'efficacité des traitements des eaux. Le pH doit être mesuré le plus souvent et de préférence in situ.

dans un milieu aqueux à 25 °C :

- Une solution de $pH = 7$ est dite neutre ;
- Une solution de $pH < 7$ est dite acide ; plus son pH s'éloigne de 7 (diminue) et plus elle est acide;
- Une solution de $pH > 7$ est dite basique ; plus son pH s'éloigne de 7 (augmente) et plus elle est basique.

A partir des résultats obtenus (Tableau n°III.1 et Fig. n°III.2) on constate que les eaux de la nappe souterraine ont un pH qui varie entre **6.8** et **8** pour la période de 2017. Les valeurs du pH mesurées aux différents points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité fixée par l'OMS (**6.5 - 9.2**).

Tableau n° III.1: Répartition du pH des eaux souterraines de la plaine de Mitidja

de pH	Pourcentage du point d'eau
$pH = 7$	7.40
$pH < 7$	11.10
$pH > 7$	81.50

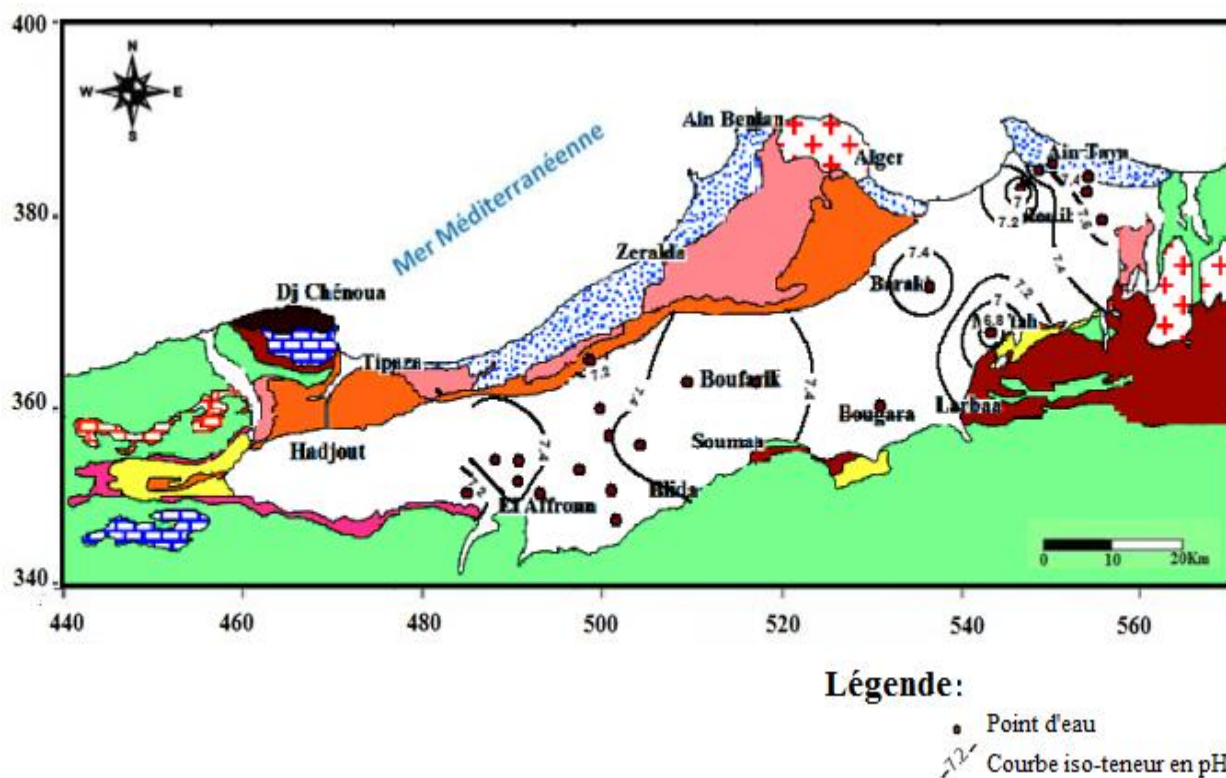


Figure n° III.2: Carte des PH

B- La Conductivité électrique (CE) :

La conductivité qui est l'inverse de résistivité traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique. C'est une mesure rapide de la teneur globale en électrolytes d'une solution ; c'est un outil nécessaire à l'estimation de la minéralisation. La minéralisation globale (g/l) est approximativement égale au produit de la conductivité électrique à 25°C par un coefficient compris entre 0.55 et 0.75 pour une grande majorité des eaux souterraines (Freeze et Cherry, 1979). La conductivité augmente lorsque la température s'accroît. De ce fait on procède toujours à une correction par rapport à une température de référence (20°C ou 25°C).

D'après les résultats enregistrés dans le tableau n° III.2. La conductivité des eaux prélevées variée de 510 à 2870µS/cm.

Tableau n° III.2: Valeurs de la conductivité

Valeurs / Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	CV	Valeurs normatives (OMS)
2017	510	1436.47	2870	642.76	0.45	≤ 1500 µs/cm

L'examen du tableau n° III.3 et la figure III.3 montre que la majorité des eaux de la plaine de

Mitidja ont un degré de minéralisation de faible à élevée, les eaux de conductivité élevées caractérisent les forages plus proches de la mer. Cela s'explique par l'intrusion des eaux de cette dernière.

Tableau n° III.3: Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité

Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ à $t = 25^\circ\text{C}$	Degré de minéralisation	Pourcentage des points d'eau %
< 45	Très faible	/
450 – 750	Faible	22.22
750 – 1500	Moyen	25.93
1500 – 2300	Moyennement élevée	48.15
2300 - 3000	Elevée	3.70
/	Très élève	/

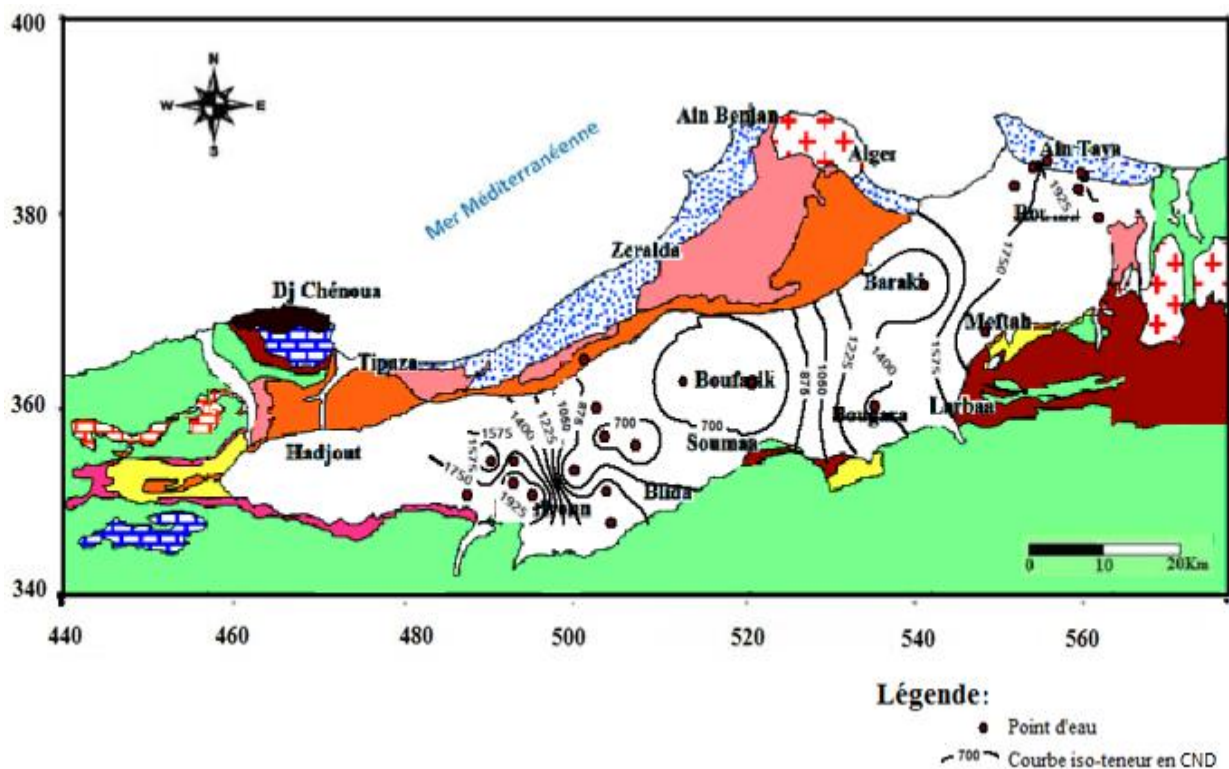


Figure. n° III.3 : Carte des conductivités

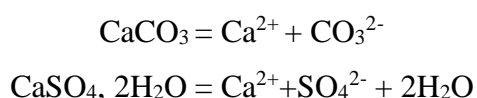
III.3.2- Etude des paramètres chimiques

III.3.2.1- Cartographie hydro-chimique :

L'établissement des cartes, nous permet d'apprécier la répartition des concentrations et expliquer leur origine.

A. Le calcium Ca^{++} :

Les ions Ca^{2+} proviennent d'une origine naturelle comme la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), en particulier les calcaires du Jurassique et des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



- Les concentrations du calcium variées de 13 à 108 mg/l, mais restent sous la limite de la norme de potabilité algérienne et OMS (200 mg/l).
- Les concentrations élevées se trouvent dans les eaux des parties; Sud-est qui s'étend de Meftah à Khmis El-Khechna et au Sud-ouest de la plaine près d'Alafroun, cela peut s'expliquer par la dissolution des marnes et des argiles, ces valeurs ont tendance à diminuer au centre de la plaine (Figure III.4).

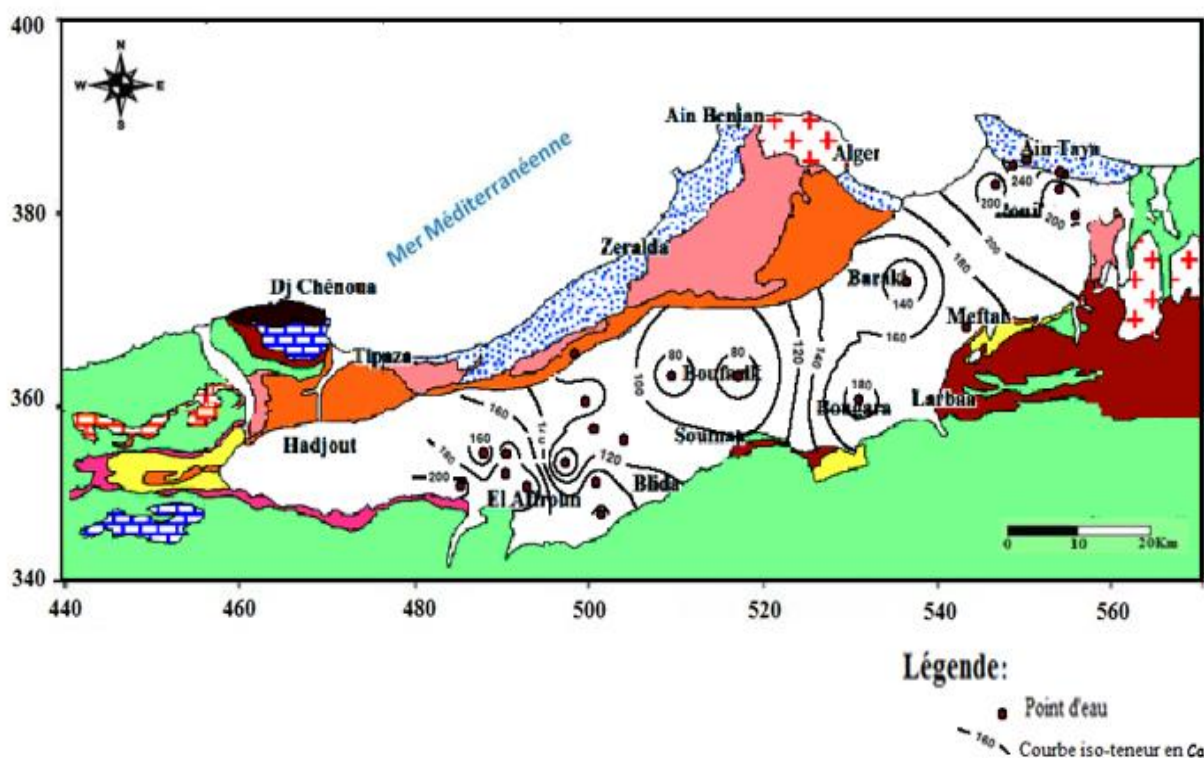


Figure n° III.4 : Carte des Calciums (Ca^{++})

B - Le magnésium Mg^{++} :

D'un point de vue chimique, le magnésium s'apparente au calcium. Il est donc souvent présent dans les roches carbonatées (calcaires dolomitiques, dolomies), les roches évaporitiques (sels de magnésium $[MgSO_4]$), et les roches magmatiques selon les réactions: Magnésite: $MgCO_3 = Mg^{2+} + CO_3^{2-}$

➤ Les concentrations du magnésium varient de 8.22 à 87.45 mg/l. l'ensemble des concentrations ne dépassent pas la norme de potabilité algérienne et OMS (150mg/l).

➤ L'analyse de la carte de Mg (Figure n° III.5) montre que les zones situées au NE de la plaine (coté littorale : Ain Taya et Rouïba) et au SW de la plaine près d'Alafroun renferment les valeurs de concentrations élevées, dues à la dissolution des roches carbonatées.

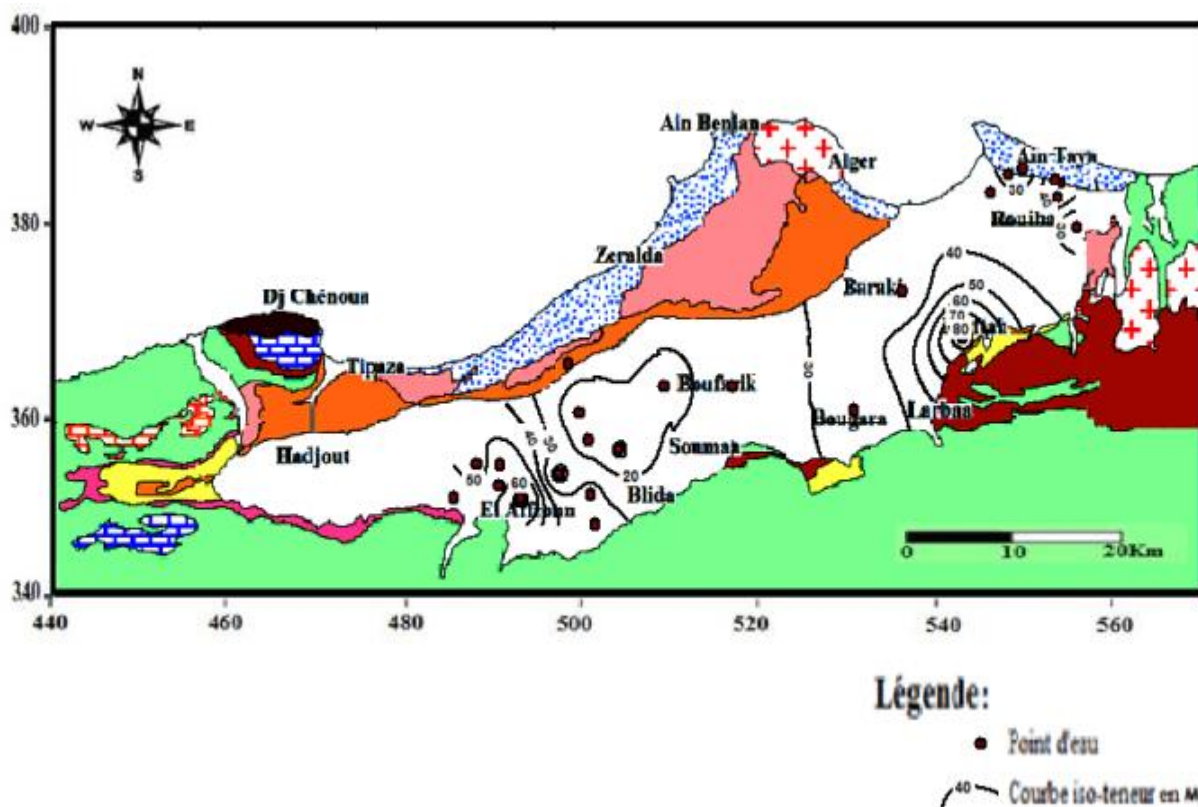


Figure n° III.5 : Carte des Magnésiums (Mg^{++})

C- les sodiums Na^+ :

Le sodium est essentiellement présent dans les roches magmatiques. Dans les roches sédimentaires, il est moins abondant mais les minéraux auxquels il s'incorpore peuvent être très solubles tels que la halite $[NaCl]$.



- Les concentrations des sodiums varient de 10 à 221 mg/l, dont 96.30% de la totalité des cas inférieurs à la norme de potabilité algérienne et OMS (200 mg/l).
- La carte de Sodium Na^+ (Figure n° III.6) montre que les zones situées au NE de la plaine du côté de la zone littorale de Rouiba, Ain Taya, Bordj El-Kifane renferment les concentrations élevées en Na^+ (de 100 à 220 mg/l) qu'on peut l'expliquer par les rejets urbains et industriels ainsi que l'intrusion des eaux de mer. En suite ces concentrations ont tendance à diminuer vers le reste de la plaine.

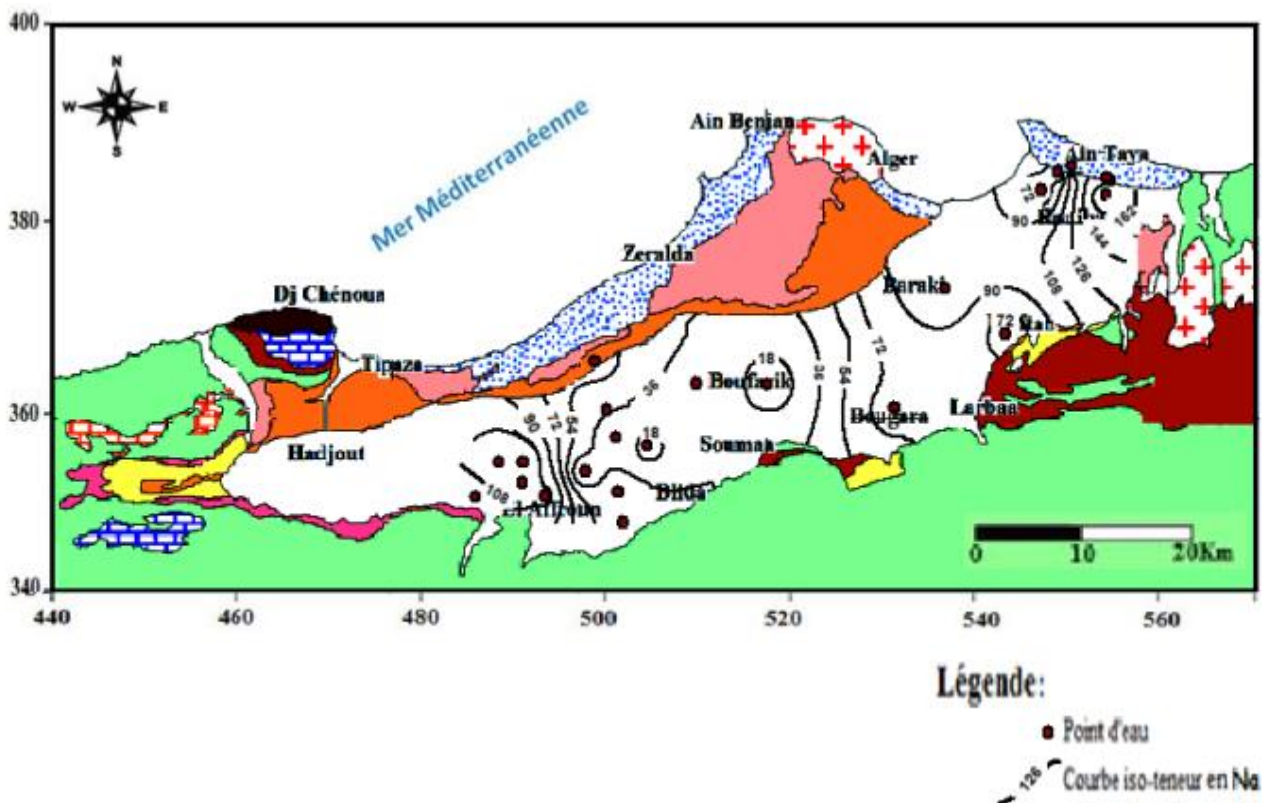


Figure n° III.6: Carte des Sodiums (Na^+)

D- Les potassiums K :

Le potassium résulte aussi de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la plaine.

- Les valeurs des concentrations de potassium varient de 0.71 à 6 mg/l. La totalité des eaux reste sous la norme de potabilité algérienne et OMS (12 mg/l).
- L'examen de la carte de potassium K^+ (Figure n° III.7) montre que les concentrations en K sont de 0.8 à 6 mg/l dans la zone NE de la plaine à côté de Ain taya, jusqu'à Rouiba, de 0.8 à 1.6 mg/l au Sud-ouest à côté d'Alafroun et les faibles concentrations sont enregistrées au centre de

la plaine.

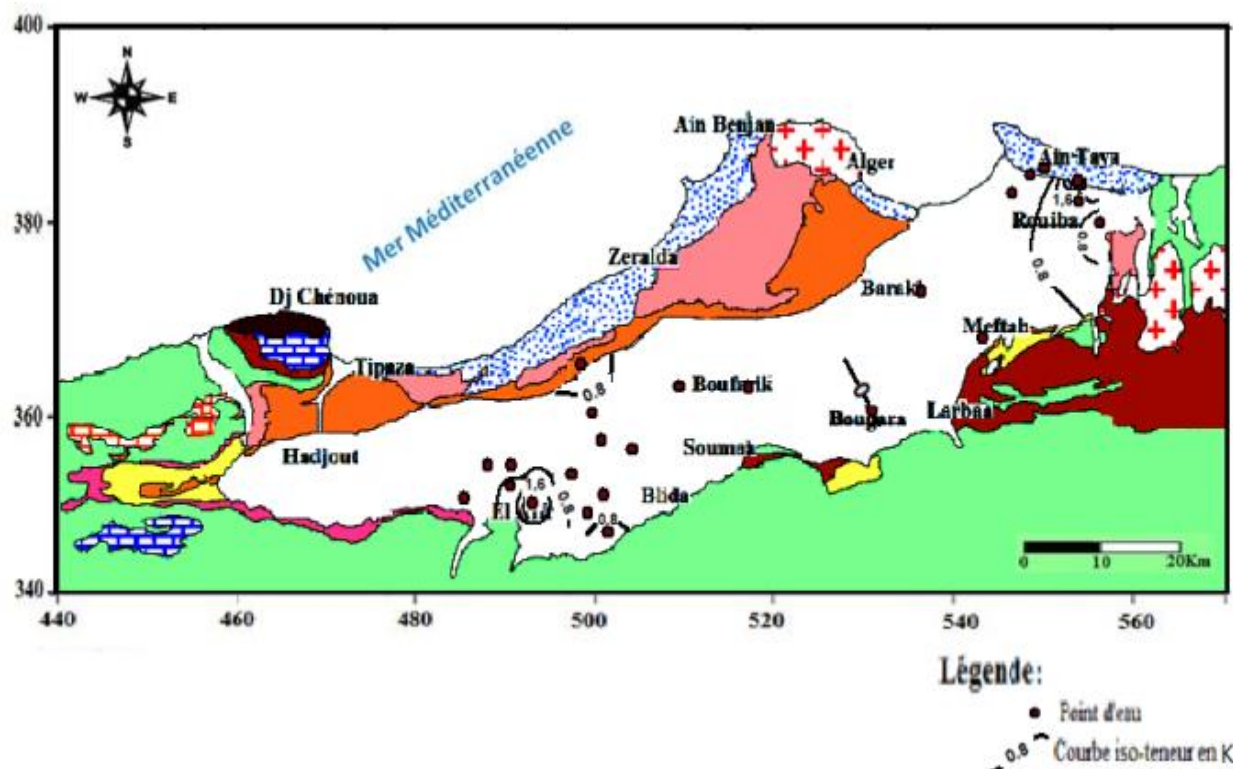


Figure n° III.7: Carte des Potassiums (K^+)

E- Les chlorures Cl^- :

La proximité de la mer influence très largement la composition chimique de la pluie et donc, de façon plus atténuée, celle des nappes et retenues d'eau. Le paramètre chlorure est l'un des éléments particulièrement sensibles. L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments. Effectivement, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile, ce qui fait de lui un bon indicateur de pollution.

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

- Les argiles sableuses gypsifères du Mio-Plio-Quaternaire qui couvrent quelques plages du bassin;
- Le déversement des eaux usées dans la plaine;
- Les marnes emschériennes formant le substratum.

Les activités anthropiques contribuent également à l'augmentation des teneurs en chlorures. En effet, le déversement d'eaux usées domestiques sans qu'elles ne soient traitées préalablement, l'absence de système de drainage des eaux usées et la présence des décharges anarchiques

contribuent à la dégradation de la qualité des eaux souterraines. Les chlorures sont retrouvés en grande quantité dans les eaux souterraines de la nappe étudiée et leurs teneurs peuvent nous renseigner sur le degré de la qualité des eaux souterraines. Les chlorures sont retrouvés en grande quantité dans les eaux souterraines de la nappe

étudiée et leurs teneurs peuvent nous renseigner sur le degré de détérioration en matière de pollution.

➤ Les valeurs des concentrations des chlorures variées de 25 à 485 mg/l, dont 11.11% de la totalité des cas dépassent la norme de potabilité de l'OMS (250 mg/l), cependant aucun dépassement n'a été enregistré pour la norme algérienne (500 mg/l).

➤ d'après la carte de Cl (Figure n° III.8) on remarque que à l'extrême NE de la plaine du côté de Ain taya et Rouïba et SW à coté d'Alafroun renferme les valeurs les plus élevées.

On note que ces concentrations ont tendance à diminuer vers la zone centrale de la plaine du côté de Blida, Boufarik et Soumaa (entre 48 à 96 mg/l). Les teneurs importantes en Cl est due aux activités industrielles et surtout à l'intrusion marine dans le la zone littorale de la plaine.

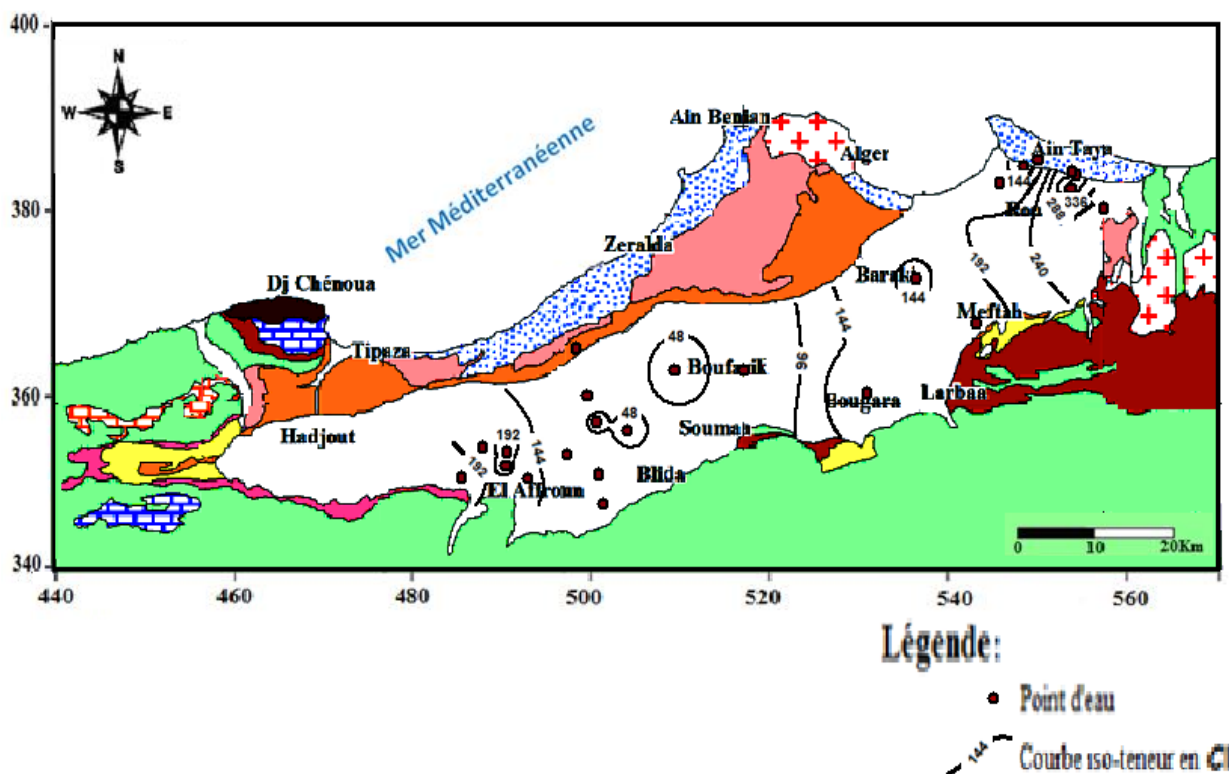
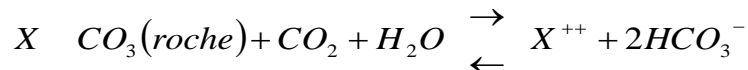


Figure n° III.8 : Carte des Chlorures (Cl)

F- Les bicarbonates HCO_3^- :

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



Leur origine principale est la dissolution de roches carbonatées, donc sa concentration dans l'eau est en fonctions des paramètres suivants :

- Concentration du CO_2 dissous
- Température de l'eau
- pH de l'eau

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

- Les concentrations des Bicarbonates variées de 149.45 à 460.55 mg/l.
- L'analyse de la carte (Figure n° III.9) montre que la zone située au niveau de la partie Est et la partie SW renferment les valeurs de concentration les plus élevées, liées à la dissolution des roches calcaires (CaCO_3 , MgCO_3 ,...) dans l'eau en présence du gaz carbonique.

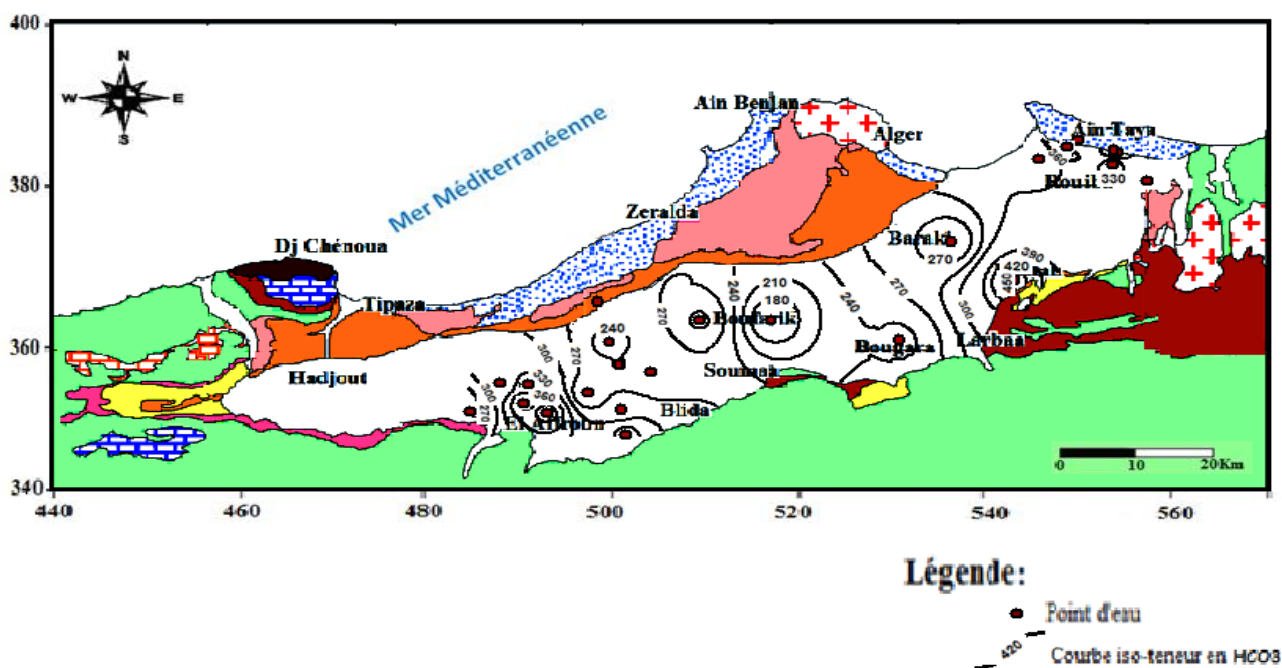
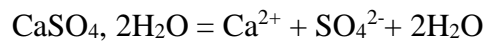


Figure n° III.9 : Carte des bicarbonates (HCO_3^-)

G- Les sulfates SO_4^{--} :

La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution du gypse contenu dans les marnes emschériennes et au lessivage des dépôts évaporitiques selon la relation :



L'origine des sulfates peut être due à la dissolution des gypses du Trias, aux rejets des eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4) ou à l'utilisation d'engrais chimiques sulfatés (Sulfate d'ammonium 21%) des dépôts d'ordures et des eaux usées ;

➤ Les concentrations des sulfates variées de 20 à 467.5 mg/l, dont 25.93 % de la totalité des cas dépassent la norme de potabilité de l'OMS (250mg/l), mais aucun dépassement a été enregistré pour la norme algérienne (500 mg/l).

➤ Sur la carte de SO_4^{2-} (Figure n° III. 10), on observe des concentrations importantes en SO_4^{2-} à l'Est de la plaine du côté de Rouïba et à la zone situé au niveau de la partie SW, en diminuant vers la zone centrale de la plaine vers Boufarik, Soumaa et Blida.

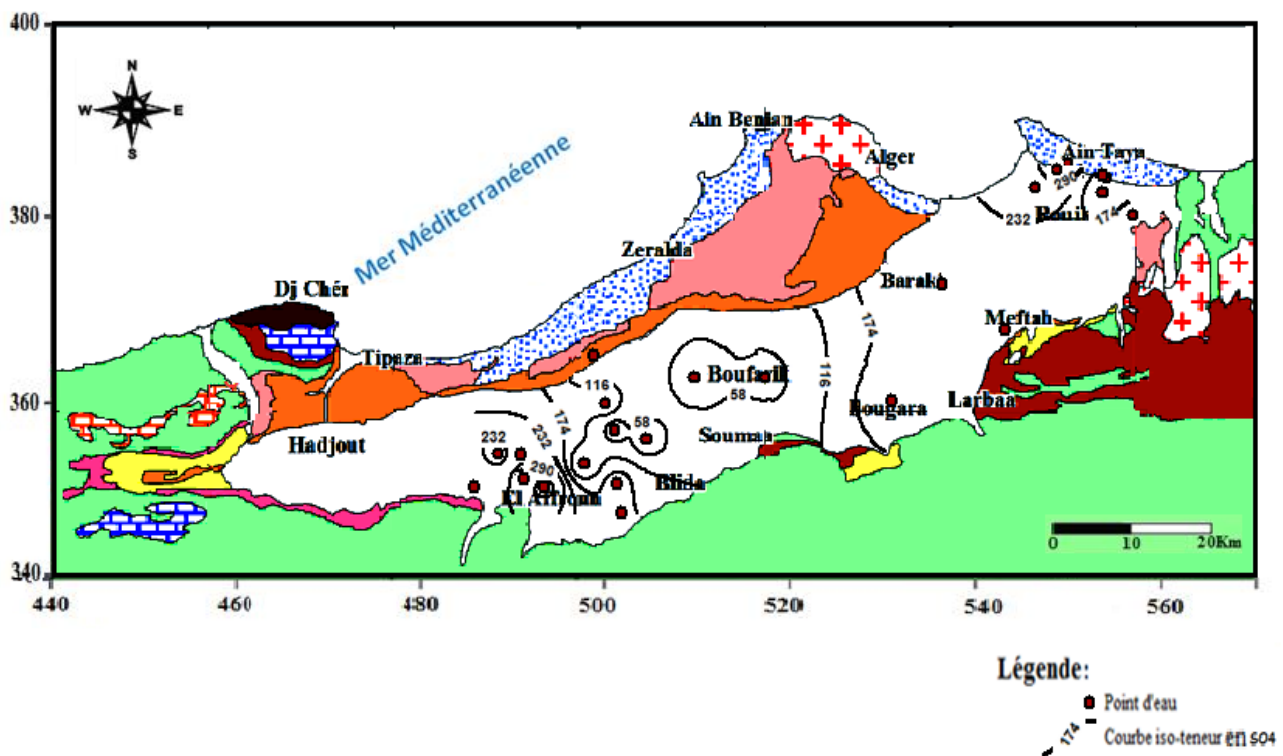


Figure n° III.10 : Carte des sulfates (SO_4 -)

H- Les Nitrates NO_3^- :

Les nitrates sont des composés naturels présents dans tous les écosystèmes. Ils sont essentiels aux végétaux, mais peuvent devenir néfastes pour les plantes et les animaux s'ils sont trop abondants. Ils entrent aussi dans la composition des engrais chimiques et naturels (fumiers). Les cours d'eau, les lacs et les étangs peuvent renfermer des nitrates provenant des diverses sources :

zones agricoles dans les quelles on utilise une forte dose d'engrais, parcs d'engraissement de bétail et pâturages, et zones de traitement

des eaux usées, donc ont une origine essentiellement agricole (engrais, élevage...) et urbaine (égouts). Les nitrates dans l'eau potable sont mesurés à la fois en terme de quantité d'azote présent ou en quantité d'oxygène et d'azote. Les normes pour le nitrate dans l'eau potable est de 50 mg /l. L'excès de nitrate et le dépassement de la norme porte un potentiellement dangereux à la santé humaine, notamment pour les bébés.

- Les concentrations des nitrates présentent 33.33% de la totalité des eaux de la nappe alluviale de Mitidja inférieures à la norme de la potabilité (50 mg/).
- D'après la carte de nitrates (Figure n° III.11), on remarque que la zone située au niveau de la partie Est renferme des valeurs de concentrations élevées dépassant la norme de la potabilité (50 mg/), cela est due aux rejets des usines et aussi aux rejets agricoles.

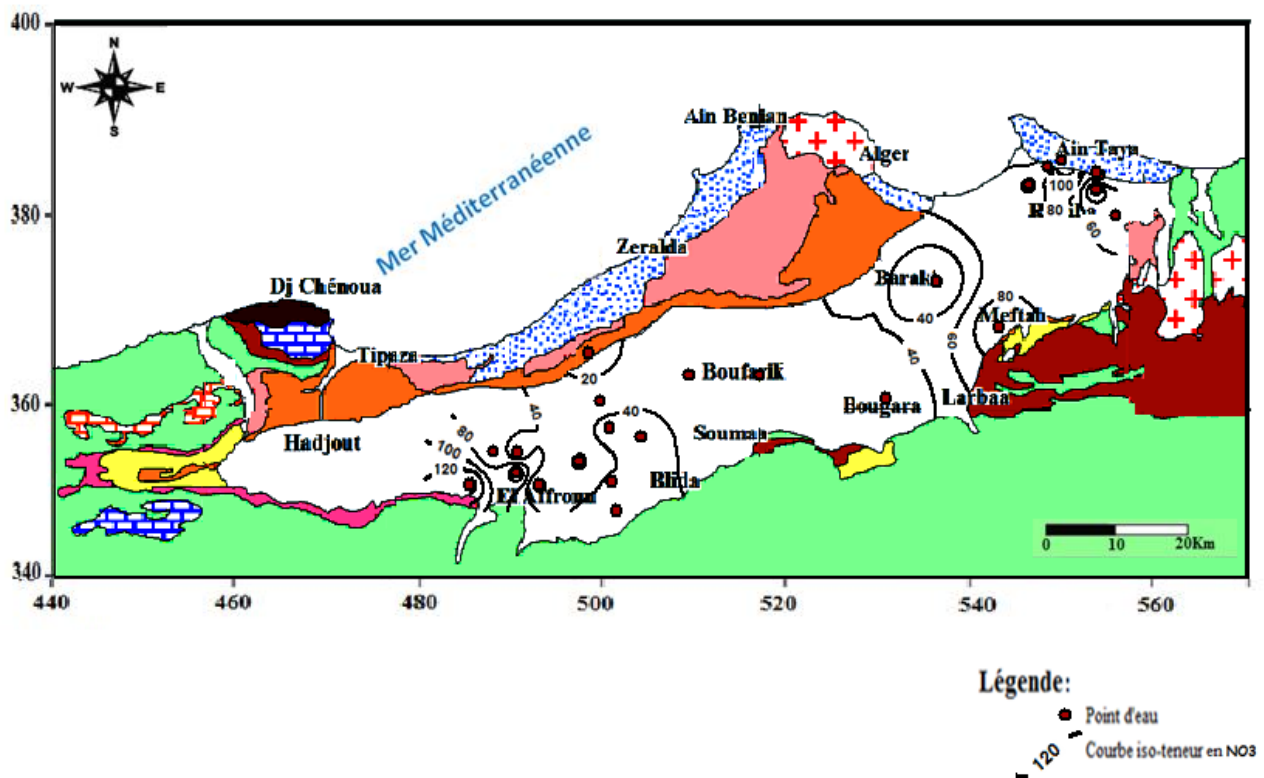
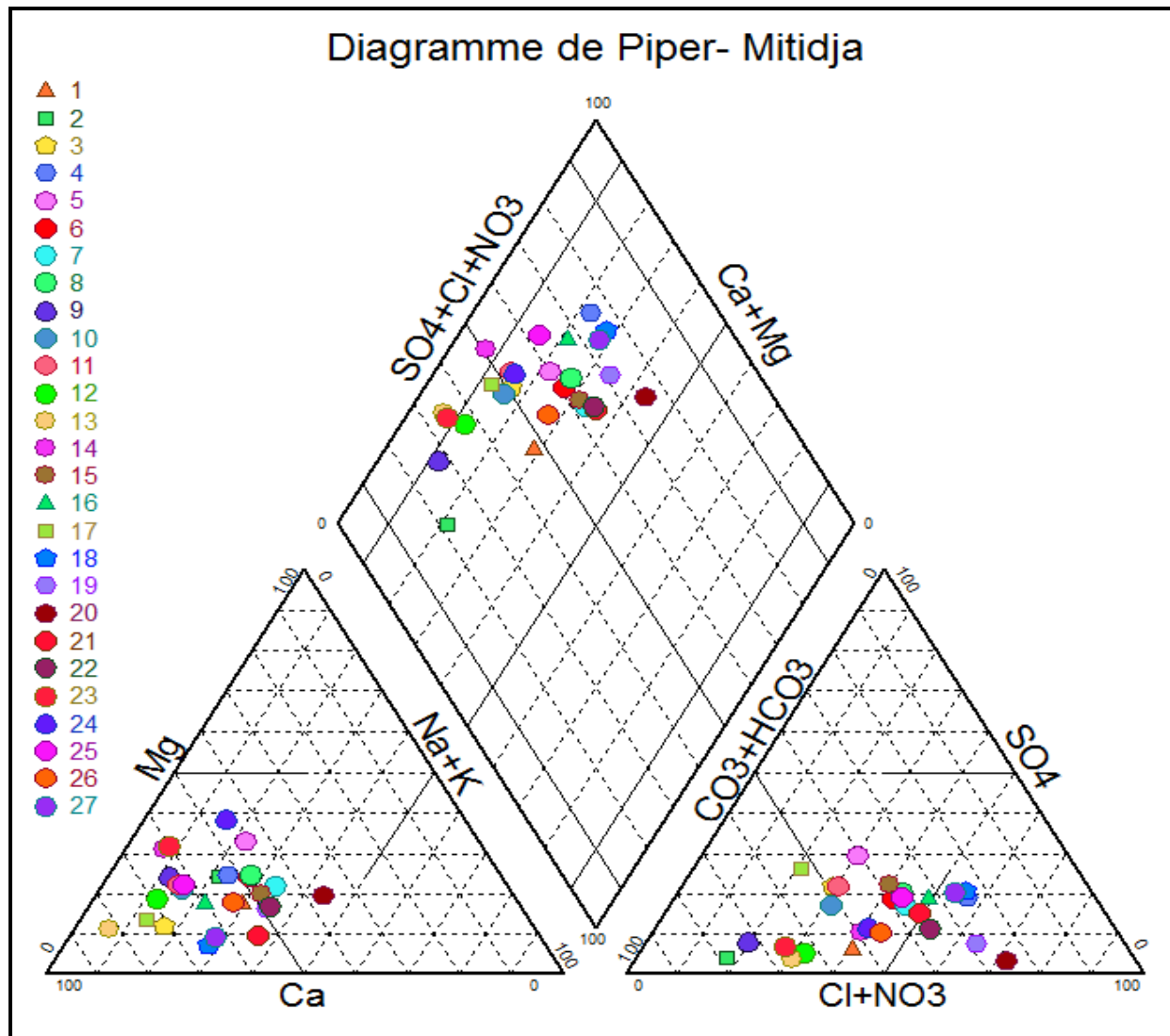


Figure n° III.11: Carte des nitrates (NO_3^-)

III.3.2.2-Détermination et répartition des faciès chimiques :

Le faciès chimique a été déterminé à l'aide du diagramme de Piper et celui de Schoeller-Berkaloff. Les résultats des analyses chimiques a été reporté sur le diagramme de piper (Fig. n° III.3) ; ce qui permet de distinguer deux familles de faciès chimiques globales des eaux souterraines : **Chlorurée et sulfatée calcique a magnésien** et **Bicarbonaté calcique et**

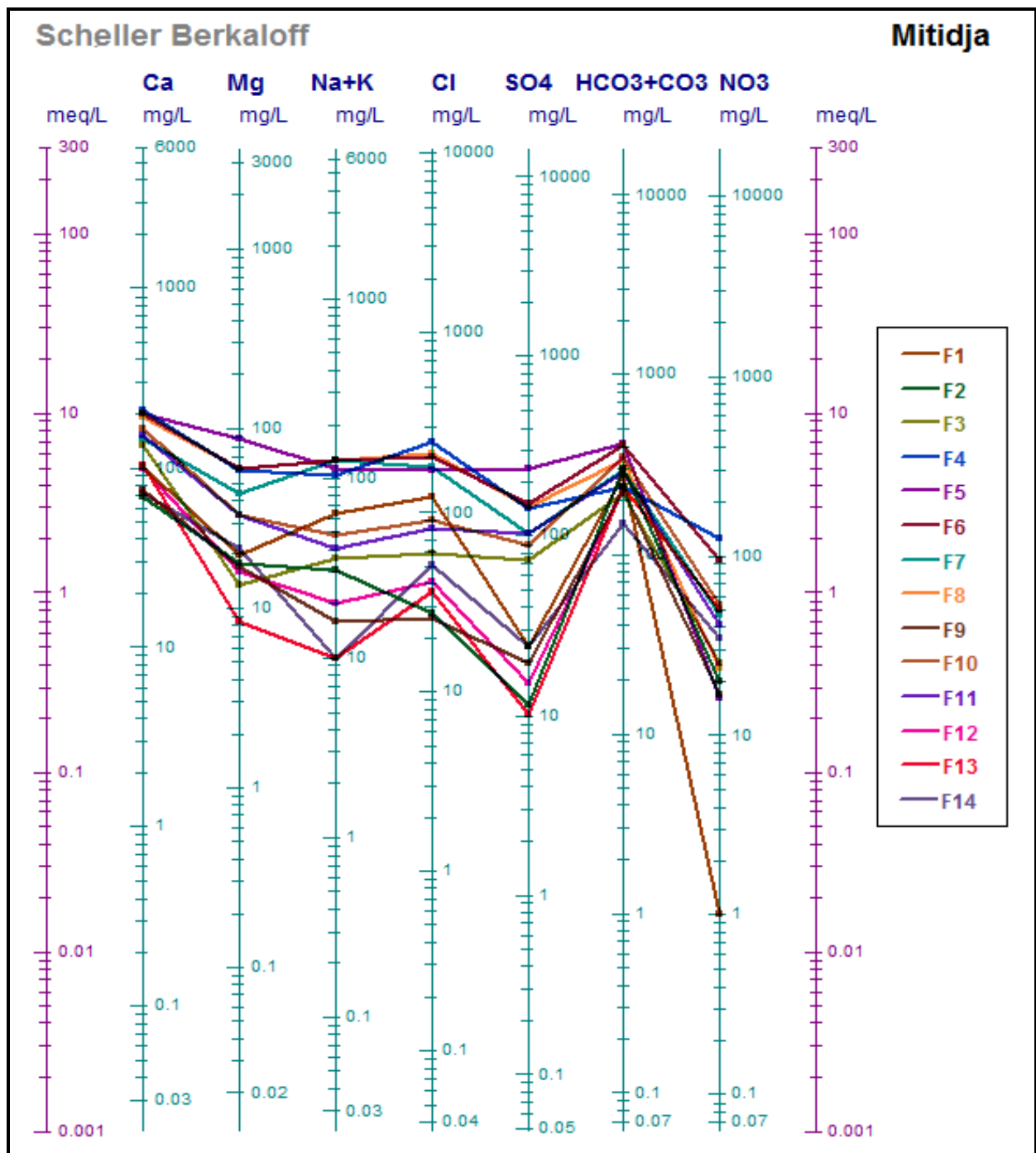
magnésien.

**Figure n° III.12 : Diagramme de piper**

Le diagramme H. SCHOELLER (1932), révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

D'après l'analyse des résultats du diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF (Figure n° III.4) on constate deux principaux faciès chimiques: Le premier Bicarbonaté calcique représente 62.96% de l'ensemble des eaux analysées, suivi du faciès Chloruré calcique qui exprime 37.04% des cas.

Les deux diagrammes donnent les mêmes résultats. Tandis que le diagramme de Schoeller–Berkaloff permet de visualiser et préciser les sous-familles de faciès chimiques dans les familles globales obtenues par le de diagramme Piper.



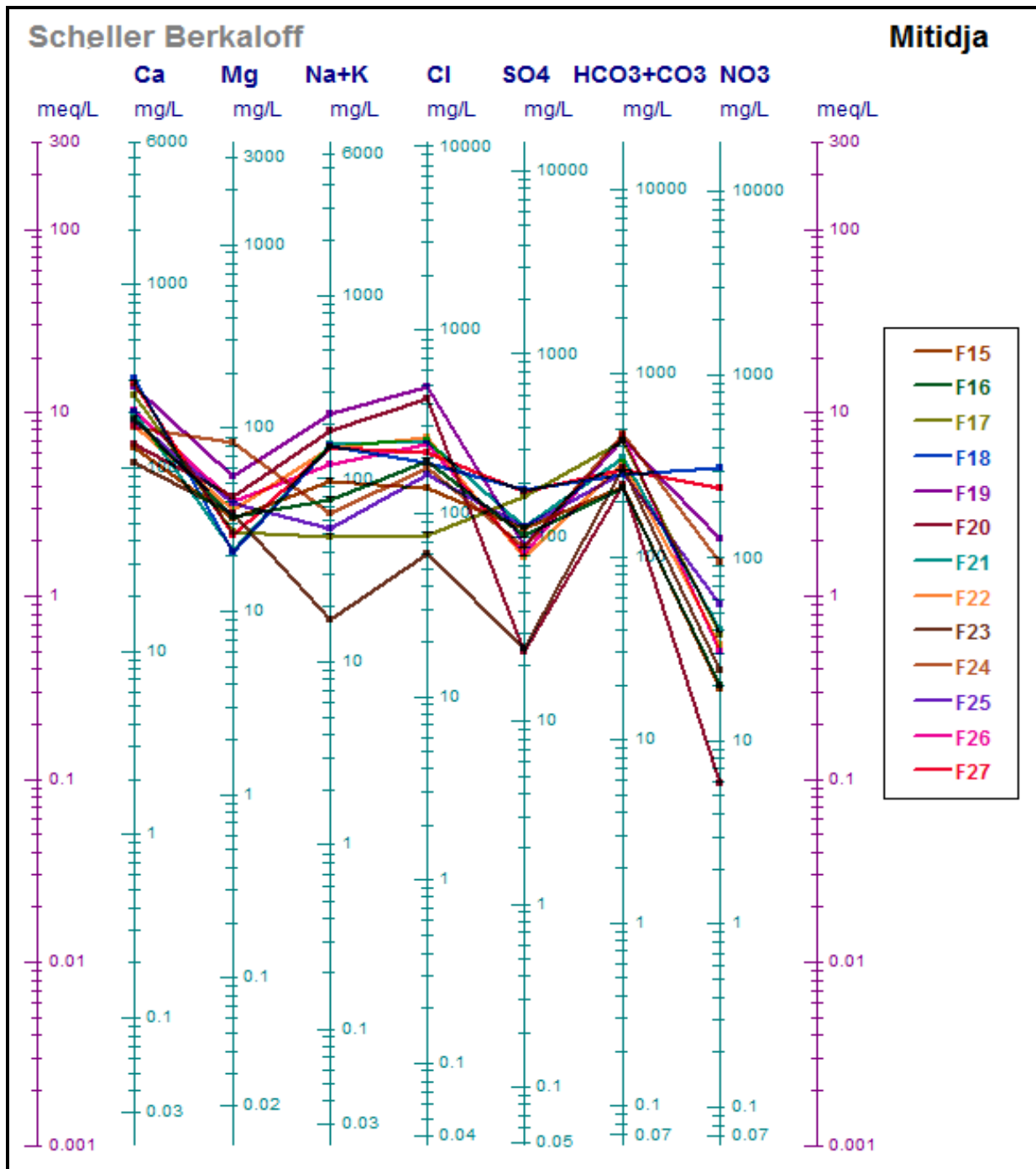


Figure n° III.13 : diagramme de SCHOELLER– BERKALOFF

III.4-Analyses Statistiques Multivariées

III.4.1-Analyse en composantes principales (A.C.P) :

III.4.1.1-Définition :

L'analyse en composantes principales (ACP ou PCA en anglais pour principal component analysis), est une méthode statistique essentiellement descriptive multidimensionnelle, son objectif est de présenter sous forme graphique, le maximum des informations contenues dans un tableau de données.

L'ACP sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.

III.4.1.2. Principe de l'ACP

L'ACP consiste à déterminer la corrélation des variables et de regrouper ces variables en ensembles dans des familles de même origine. Ces ensembles des variables nouvelles, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution.

III.4.1.3- Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude

Une analyse statistique en composantes principale a été appliquée sur les données chimiques des eaux prélevées de la zone d'étude durant le mois de Septembre 2017, en utilisant 27 échantillons (individus) et 09 variables (CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-) consignés dans un tableau et à l'aide du logiciel **XLSTAT 2016**.

Les résultats des paramètres statiques des variables (moyennes et écart types) sont enregistrés dans le (Tableau III.4) suivant :

Tableau n°III.4: Moyennes et écart types des éléments variables

Compagne	Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type	CV
Septembre 2017	CE	510.00	2870.00	1436.47	642.76	0.45
	Ca^{2+}	68.12	306.12	166.45	64.25	0.39
	Mg^{2+}	8.22	87.45	35.78	19.95	0.56
	Na^+	10.00	221.00	86.30	57.99	0.67
	K^+	0.00	6.00	0.74	1.56	2.10
	HCO_3^-	149.45	460.55	307.41	81.40	0.26
	Cl^-	25.00	485.00	160.85	111.81	0.70
	SO_4^{2-}	20.00	467.50	185.28	120.99	0.65
	NO_3^-	1.00	313.70	60.7	70.82	1.17

L'analyse des résultats des données dans le tableau n° III. 4 montre que les ions (CE, Ca⁺⁺ et HCO₃⁻) présentent un CV < 0,5, pour le reste des ions (Mg⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻ et NO₃⁻) la dispersion est importante (CV > 0,5).

III.4.1.3.1. Matrice de corrélation :

La corrélation des éléments est distinguée par une matrice carrée caractérisée selon un coefficient de corrélation entre les variables, deux à deux (Degré d'association entre deux variables). Les différentes corrélations entre les variables deux à deux peuvent être déterminées sur la base du coefficient de corrélation significatif (critique) tiré de la table de Bravais-Pearson en fonction du nombre d'observations et de variables mis en jeux. La corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche et permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. Du (tableau III.5 - Voir annexe n°01) et à un risque d'erreur de 5% ce coefficient sera égal : $r_c = 0.45$

La matrice de corrélation a été réalisée pour l'ensemble des prélèvements d'eau analysés (Tableau. III.6) à l'aide du logiciel XLSTAT 2016.

Tableau n°III.5: Matrices de corrélation des paramètres chimiques (Mars 2015 et Juin 2017)

Compagne	Variables	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
Septembre 2017	CE	1								
	Ca	0.893	1							
	Mg	0.629	0.334	1						
	Na	0.859	0.689	0.409	1					
	K	0.319	0.182	0.268	0.377	1				
	HCO ₃	0.637	0.522	0.606	0.395	0.437	1			
	Cl	0.807	0.582	0.473	0.922	0.392	0.381	1		
	SO ₄	0.738	0.799	0.522	0.481	0.078	0.436	0.292	1	
	NO ₃	0.553	0.706	0.024	0.399	-0.141	0.089	0.249	0.476	1

D'après les résultats obtenus on peut distinguer selon le coefficient de corrélation des ensembles des couples corrélés suivant le (tableau III.6) :

Tableau n°III.6: Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques

Corrélation	Couple	CE- Ca	CE-Mg	CE-Na	CE- HCO ₃	CE-Cl	CE-SO ₄
Couples corrélés	Corrélation	0,893	0,629	0,859	0,637	0,807	0,738
	% Corrélation	89,3%	62,93%	85,9%	63,7%	80,7%	73,8%
	Couple	CE- NO ₃	Ca-Na	Ca- HCO ₃	Ca-Cl	Ca-SO ₄	Ca- NO ₃
	Corrélation	0,553	0,689	0,522	0,582	0,799	0,706
	% Corrélation	55,3%	68,9%	52,2%	58,2%	79,9%	70,6%
	Couple	Mg- HCO ₃	Mg- Cl	Mg - SO ₄	Na-Cl	Na-SO ₄	SO ₄ - NO ₃
	Corrélation	0,606	0,437	0,522	0,922	0,481	0,476
	% Corrélation	60,6%	43,7%	52,2%	92,2%	48,1%	47,6%

L'examen de la matrice de corrélation, nous a permis d'établir les corrélations significatives entre les différents éléments. La conductivité électrique des différents échantillons, montre une bonne corrélation avec les éléments (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, +, NO₃⁻), avec ($r > 0.45$) (Sauf l'élément : K⁺, cela revient probablement à une dilution par l'arrivée d'un apport d'eau avec un échange de base. Les fortes corrélations indiquent la minéralisation des eaux souterraines. La relation entre Ca²⁺ - HCO₃⁻ et Mg²⁺- HCO₃⁻, s'explique possiblement par la dissolution des roches carbonatés et calcaires (calcite et dolomite). La relation entre Na et Cl, montre une corrélation très significative due probablement à la dissolution des formations évaporitiques (halite : NaCl) et l'intrusion de l'eau marine. La relation entre les sulfates et Ca²⁺, Mg²⁺, Na, NO₃⁻ donne une corrélation significative liée au lessivage des dépôts marno-argileuses, la dissolution de gypse et à l'utilisation d'engrais chimiques sulfatés.

III.4.1.3.2 - Etude des valeurs propres

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans le but de faciliter leur interprétation, met en évidence les valeurs propres de chaque axe factoriel, ces valeurs sont exprimées en pourcentage de variance totale ainsi que leur cumul.

En se basant sur le coefficient de corrélation critique de Pearson de 0.45 correspond à 5% d'erreur (Tableau III.5), on constate deux plans factoriels ont été retenus (F1 et F2) avec une valeur propre égale à 5.14, il explique 51,39% de la variance totale et la seconde composante égale à 1,55 correspond à un pourcentage de 15,51%. Ces deux premiers facteurs englobent l'ensemble de l'information avec 66,90% de la variance cumulée pour les données des analyses hydrochimiques (Tableau. III. 7), considérés corrélativement bons et peuvent être employées pour identifier les principales variations et changements dans la composition chimique de l'eau.

Tableau n° III.7: Caractéristiques de l'ACP appliquées aux données physico-chimiques des eaux de la nappe de la Mitidja.

Facteur	Valeur propre	% de la Variance	% cumulé
F1	5.14	51.40	51.40
F2	1.55	15.51	66.90

III.4.1.3.3 - Etude des variables :

L'examen du (tableau III.8-figure III.14), montrent les chargements des éléments comme suit:

- **Le facteur 1 :** Représente les chargements positifs les plus élevés avec 51.40% de la variance totale et clausure les éléments Ca^{++} , Mg^+ , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cet axe exprime la minéralisation de l'eau.
- **Le facteur 2 :** Représente les chargements négatifs avec 15.51% de la variance totale et clausure les éléments: K^+ et NO_3^- . Cet axe est caractérisé par le signe de pollution des nitrates, dû à l'activité agricole.

Tableau n° III.8: Corrélations entre les variables et les facteurs

Facteur	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	Cl	SO4	NO3
F1	0.893	0.621	0.858	0.399	0.669	0.800	0.729	0.533
F2	0.355	-0.397	-0.053	-0.667	-0.388	-	0.285	0.734

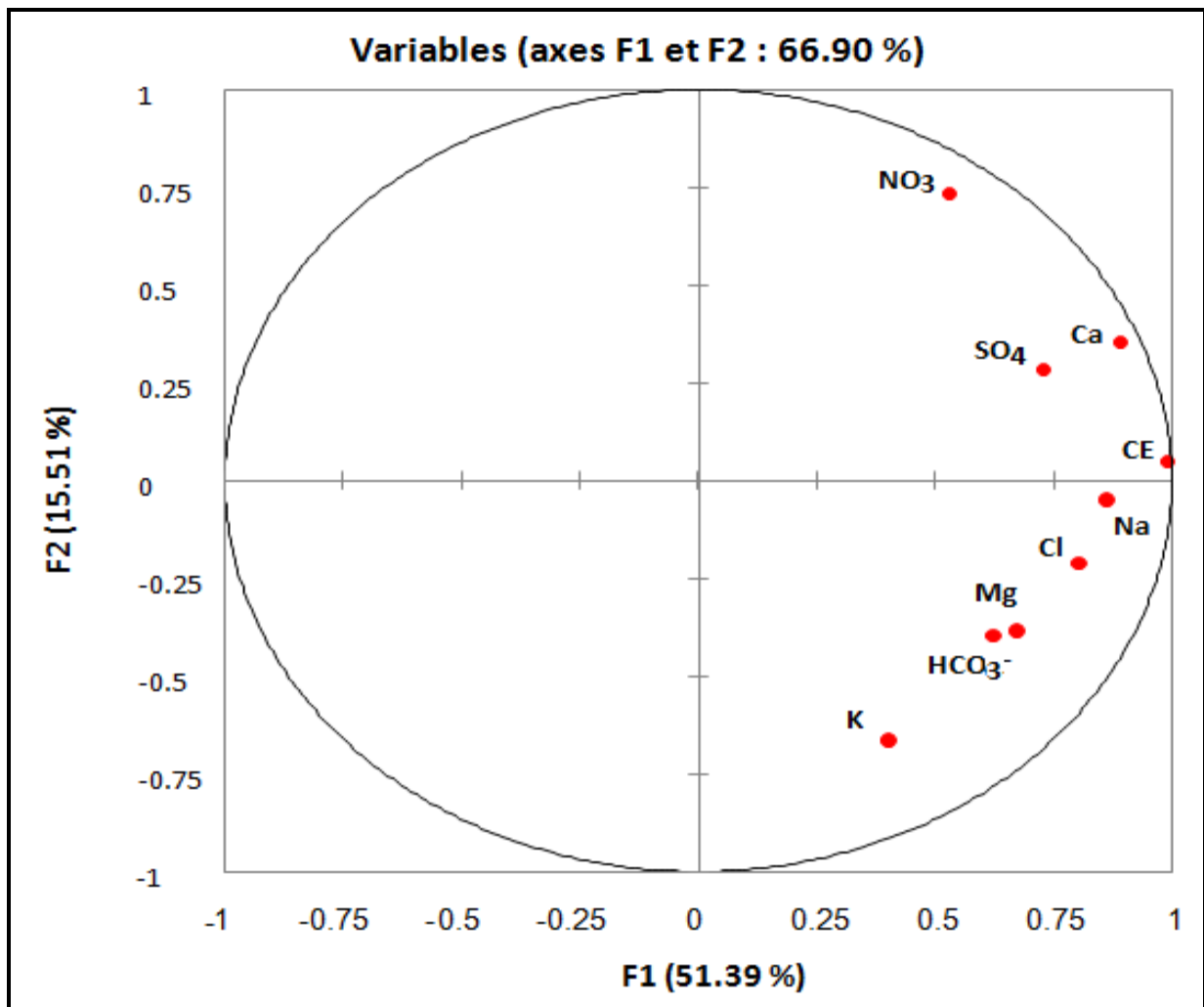


Figure n°III.14: Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2).

III.4.1.3.4 - Etude des individus (Observations)

Le (Tableau III.9) présente les coordonnées des observations (Forages) par rapport aux principaux plans (F1-F2).

Tableau n° III.9: Coordonnées des observations

—	F1	F2	Observation	F1	F2	Observation	F1	F2
1	-2.323	-0.780	10	-0.698	-0.175	19	4.835	-0.658
2	-3.242	-0.414	11	-1.168	0.335	20	0.844	-1.247
3	-2.512	0.556	12	-2.960	0.332	21	1.230	0.281
4	1.130	0.923	13	-3.168	0.470	22	1.480	-2.282
5	2.616	-1.770	14	-3.415	0.370	23	-2.043	-0.326
6	2.051	-0.283	15	-0.800	0.159	24	1.713	-0.761
7	0.037	-0.066	16	-0.316	0.350	25	0.163	0.493
8	1.148	-0.350	17	0.671	0.580	26	2.214	-2.301
9	-3.442	-0.007	18	2.987	3.741	27	2.967	2.829

Du (tableau III.9) et la projection sur le plan (F1-F2) (Fig. III. 15) on peut distinguer les groupes d'eaux suivants :

- **Groupe 01:** ce groupe renferme les forages :F1,F2,F3, F5, F7, F8,F9,F10, F11,F12, F13, F14, F15, F16, F17, F23,F24, F25 . Ces forages captent les eaux Bicarbonatées calciques.
- **Groupe 02:** Ce groupe comporte les forages F4,F5, F6,F18, F19, F20, F21,F22, F26,F27. Ces forages captent des eaux Chlorurés calciques.

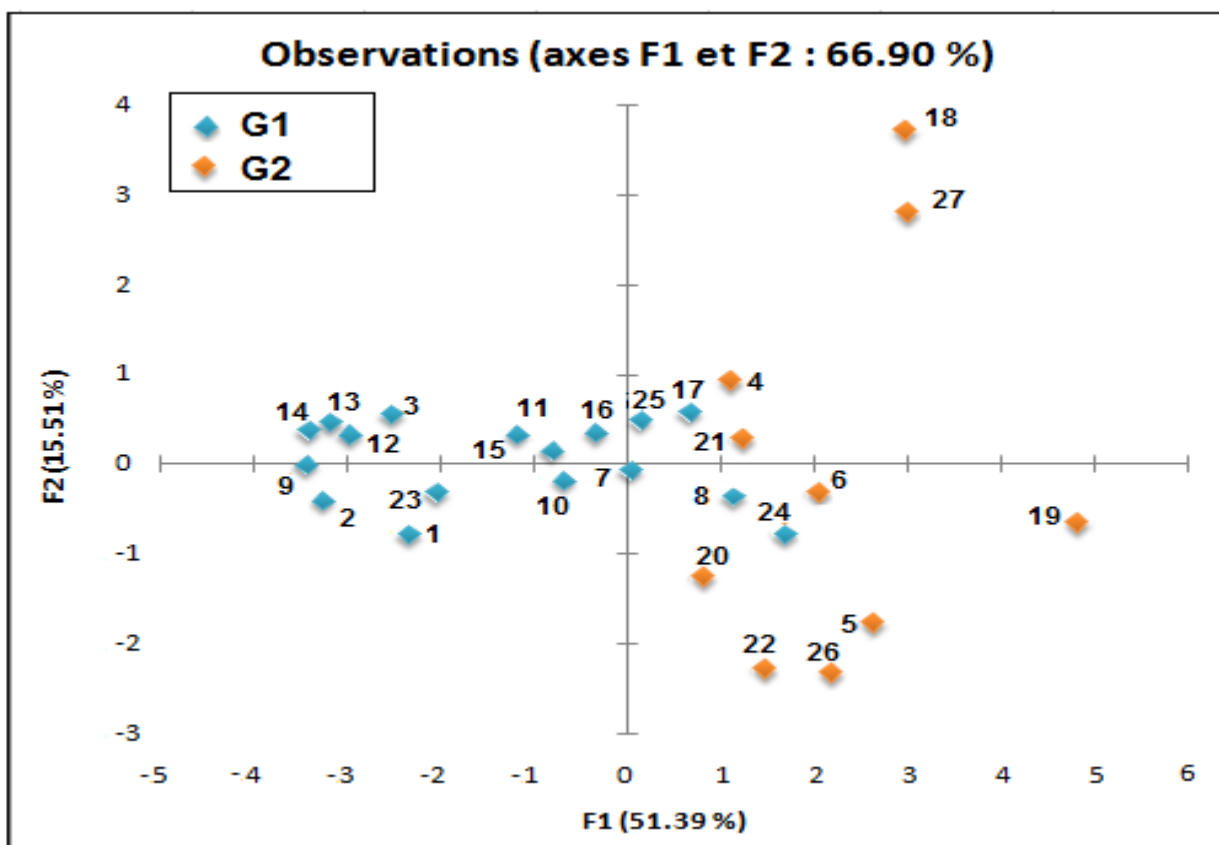


Figure n°.III.15:Répartition des individus dans le plan F1 - F2.

Notons bien que les eaux des forages : F4, F6, F10, F18, F19, F24, F25, F27. Sont touchées par la pollution des nitrates et les concentrations de ces dernières dépassent la norme de potabilité (50 mg/l).

III.4.1.4- L'analyse par la méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH) :

III.4.1.4.1- Principe de la méthode :

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification itérative

dont le principe est simple. On commence par le calcul de la dissimilarité des (N) objets. Puis on regroupe les deux objets dont le groupement minimise un critère d'agrégation donné, créant ainsi une classe comprenant ces deux objets.

On calcule ensuite la dissimilarité entre cette classe et les N-2 autres objets en utilisant le critère d'agrégation. Puis on regroupe les deux objets ou classe d'objets dont le regroupement minimise le critère d'agrégation.

On continue ainsi jusqu'à ce que tous les objets soient regroupés en classe

Ces regroupements successifs produisent un arbre binaire de classification (dendrogramme). Ce dendrogramme est une représentation graphique sous forme d'arbre binaire, d'agrégations successives jusqu'à réunion en une seule classe de tous les individus. La hauteur d'une branche est proportionnelle à la distance entre les deux objets regroupés. Dans le cas du saut de Ward, à la perte d'inertie interclasses. On coupe avant une forte perte d'inertie

III.4.1.4.2- Avantages de la classification ascendante hiérarchique :

La méthode de classification hiérarchique (CAH) porte les avantages suivants :

On travaille à partir des dissimilarités entre les objets que l'on veut regrouper. Donc on peut choisir un type de dissimilarité adapté au sujet étudié et à la nature des données. L'un des résultats est le dendrogramme, qui permet de visualiser le regroupement progressif des données. On peut alors se faire une idée d'un nombre adéquat de classes dans lesquelles les données peuvent être regroupées.

1 - Diagramme de niveau :

Une fois les statistiques descriptives des variables affichées, le premier résultat est le tableau récapitulatif des différentes étapes de diagramme des niveaux des nœuds. Sa forme donne des informations sur la structure des données. Lorsque des sauts importants sont observés, on a une agrégation de structures homogènes.

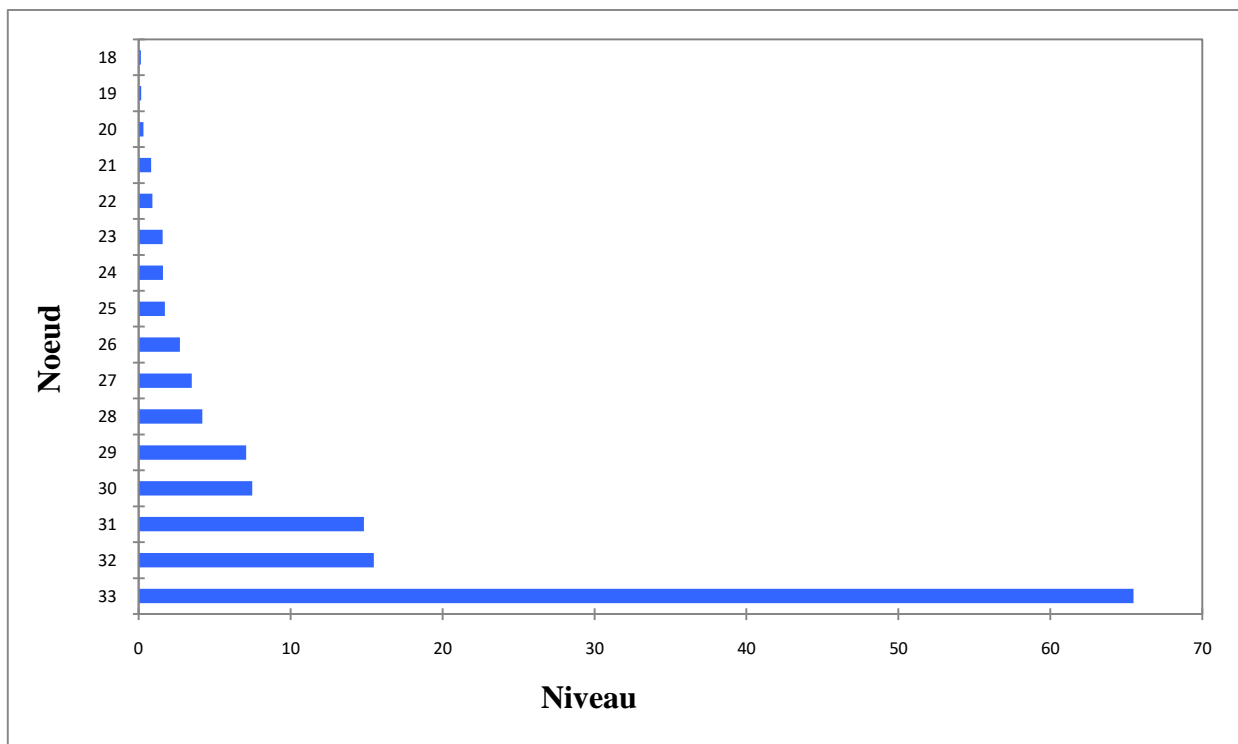


Figure n°.III.16:diagramme de niveau.1- Dendrogramme

2- Dendrogramme:

Le graphique ci-dessous est appelé dendrogramme, qui représente de manière claire la façon dont l'algorithme procède pour regrouper les individus puis les sous-groupes. Au final, l'algorithme a progressivement regroupé toutes les variables ou les observations. La ligne en pointillé dite (ligne de phenon) représente la troncature et permet de visualiser les groupes homogènes rangés en classes.

III.4.1.4.3-Application de la méthode CAH sur des données chimiques de la zone d'étude

La Méthode CAH est appliquée avec 27 échantillons (individus) et 08 variables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-) à l'aide du logiciel **XLSTAT 2016**, pour classer en groupes composés les échantillons. Les dendrogrammes des faisceaux des variables et des échantillons analysés ((Figure. III.17), donnent une classification de deux (02) groupes suivants :

➤ Groupe n ° 01 :

Ce groupe est caractérisé par les éléments : (Ca, HCO_3 , Cl et SO_4), expliqué par la dissolution des formations carbonatées (calcaires et dolomite) des massifs bordant la plaine Mitidja (Atlas Blidéen)), ainsi du lessivage des terrains alcalino-terreux, salifères (argilo-sableux) et gypsifères.

➤ **Groupe n ° 02 :**

Ce groupe est définie par les éléments : (Mg, Na, K, et NO₃) caractérisé par une minéralisation influencée d'une pollution par les nitrates, due à l'utilisation des fertilisants agricoles (engrais, fumiers...) et eaux usées.

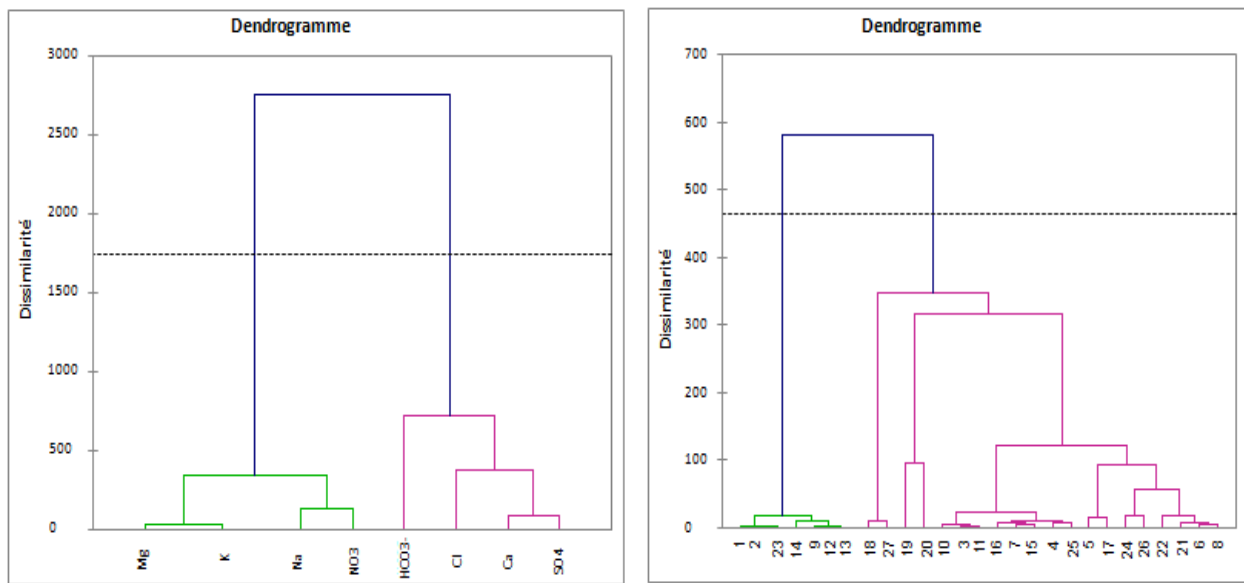


Figure n° III.17: Dendrogramme des variables et des individus (échantillons)

La comparaison entre les deux méthodes ACP et CAH, montre que l'ACP donne Deux groupes (G1 et G2) des eaux selon la dominance des familles de faciès Chimiques trouvées par les diagrammes de Piper et Schoeller. Tandis que la CAH a montrée aussi deux groupes (G1 et G2), avec une spécification représentée par le premier groupe (G1) regroupant les deux groupes trouvés par l'ACP en un seul groupe caractérisé d'un faciès Bicarbonaté et Chloruré calcique et clautre les forages: (F3,F4, F5, F6, F7, F8, F10, F11, F15, F16, F17,F18, F19, F20, F21, F22, F24, F25, F26 et F27). Le deuxième groupe (G2) est précisé par une minéralisation caractérisant les eaux des forages : (F1, F2, F9, F12, F13, F14, F23).

III.5- Qualité chimique des eaux:

III.5.1 - Convenabilité de la qualité des eaux pour la potabilité :

Pour la détermination de la qualité chimique des eaux pour la potabilité on utilise d'une part les normes fixées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) et d'autre part par le degré

hydrothémétrique D.H.T.

III.5.1.1- Selon l'O.M.S :

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales (Tableau n°III.10) qui traduisent les limites de potabilité. On distingue :

- Une concentration maximale acceptable à partir de la quelle une eau provoque une certaine réticence chez le consommateur ;
- Une concentration maximale admissible qui correspond à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse à la santé.

Les échantillons analysés ont des teneurs en magnésium et les sulfates inférieures à la norme maximale admissible pour la totalité des eaux.

Les calciums renferment 77,78% des cas inférieurs à la norme **maximale admissible**. Pour les chlorures on a 96.30% des eaux qui ont des teneurs inférieures à la norme. Et pour les nitrates on a 85.19% des eaux qui contiennent des teneurs en nitrate inférieures à la norme maximale admissible.

Tableau n° III .10: Normes de potabilité de l'O.M.S.

Eléments chimiques	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration Maximale admissible (mg/l)	Pourcentage des échantillons ayant une concentration inférieure à la concentration maximale admissible
Calcium	75	200	77.78%
Magnésium	50	150	100%
Sulfates	200	400	100%
Chlorures	200	600	96.30%
Nitrates	50	100	85.19%

III.5.1.2- Degré hydrotimétrique total (D.H.T) :

Le degré hydrothémétrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$DHT = rCa^{++} + rMg^{++} \quad (\text{en méq/l})$$

$$DHT = (rCa^{++} + rMg^{++}) \times 5 \quad (\text{en degré Français } ^\circ F)$$

Le tableau n° III.11 montre que 66.67% des eaux analysées sont très dure, 14,84% dure et 18.52% Assez douce.

Tableau n° III. 11: Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

D.H.T (en °F)	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Pourcentage des points	0	0	18.52	14.81	66.67

III.5.2-Aptitude à l'irrigation:

L'étude chimique des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments chimiques, nous allons utiliser trois méthodes qui sont :

- la Salinité CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
- la Classification de RICHARD (SAR)
- la Classification de WILLOX

a- La Salinité :

Selon R. S. AYERS et D. W. WESTCOT (1988) quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation montrent que :

- Si, la salinité exprimée par la conductivité électrique en $\mu\text{S} / \text{cm}$ est inférieure à 700, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation ;
- Si, la conductivité électrique varie entre 700 et 3000 $\mu\text{S} / \text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne ;
- Et si, elle est supérieure à 3000 $\mu\text{S} / \text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

L'examen du (tableau III.12) montre que 77.78% des points d'eau de la nappe de Mitidja représentent une restriction à l'irrigation légère à modéré.

Tableau n° III.12- l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation

Restriction pour l'irrigation	CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$	Pourcentage des échantillons (%)
Aucune	< 700	22,22
Légère à modéré	700 – 3000	77,78
Forte	> 3000	/

b- Classification de Richards :

Les eaux de la nappe de Mitidja sont utilisées pour l'irrigation des périmètres agricoles, l'évolution des Paramètres physico-chimiques des eaux influent sur les caractéristiques du sol ce qui aura des répercussions sur le rendement de l'activité agricole. L'étude chimique des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments Chimiques, pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium, une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) Permet de bien classée les eaux en fonction de la conductivité électrique et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau, défini par la formule suivante:

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

Tous les éléments sont exprimés en meq/l et les résultats de calcul sont enregistrés dans le (tableau n° III.13)

Tableau n° III.13 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards

Classes		% des points d'eau
C ₂ S ₁	Bonne	18,52
C ₃ S ₁	Admissible	77,78
C ₄ S ₁	Médiocre	3,70

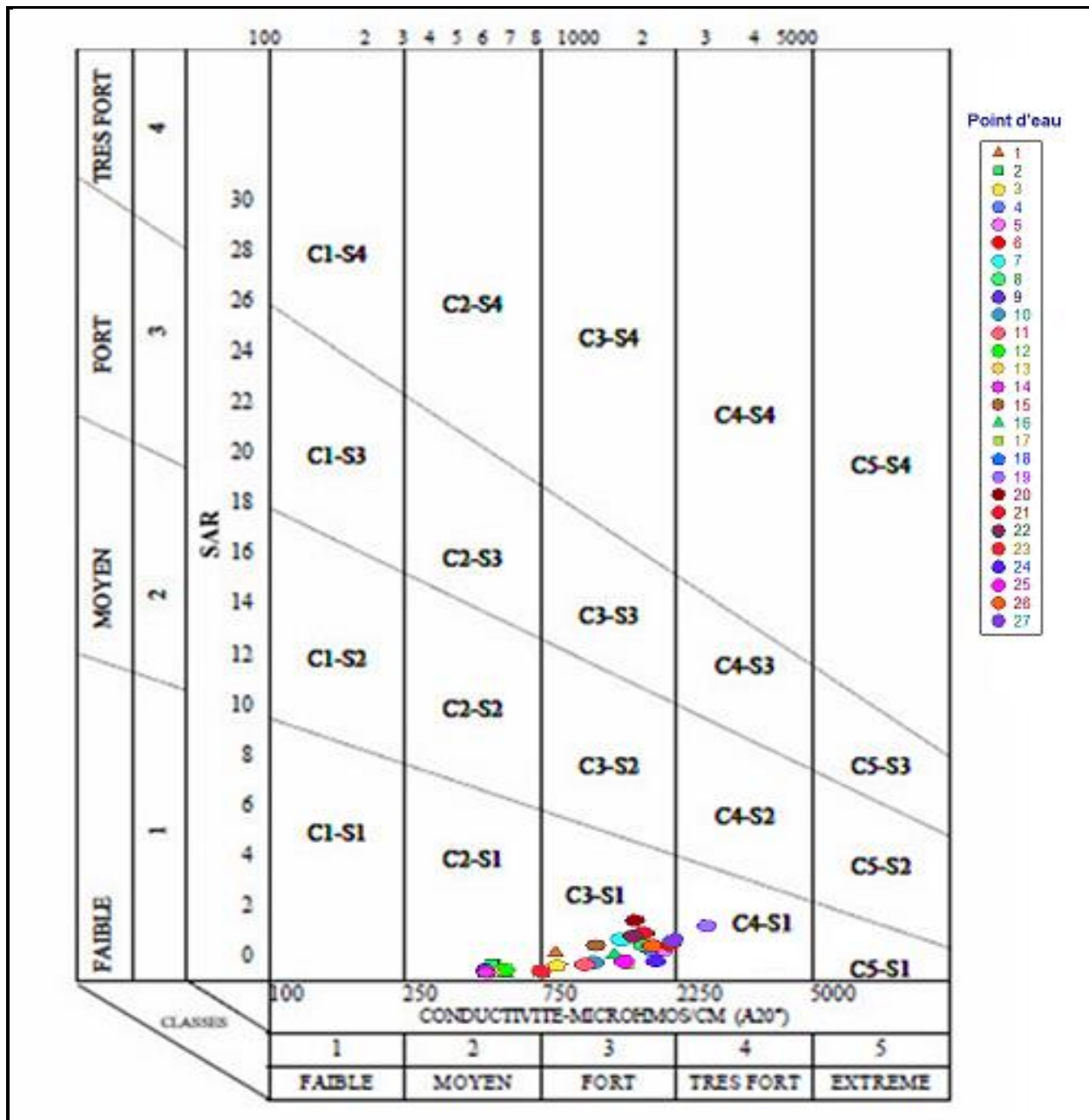


Figure n°. III.18: Diagramme de Richard de classification des eaux pour l'irrigation

Les résultats des analyses portés sur le diagramme de Richards (fig III.18 et tableau III.13) montrent la répartition des forages dans différentes classes.

Les (03) classes trouvées représentent les caractéristiques suivantes :

- **Classe C2S1:** représente les eaux de qualité bonnes pour l'irrigation.
- **Classe C3S1:** représente les eaux de qualité admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité.
- **Classes C4S1:** elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées,

Susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Nous constatons que la majorité des points d'eau sont représentés par les classes C₃ S₁. Ce qui déduit que 77.78% des points d'eau ont une qualité admissible pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité.

c- Classification de Wilcox :

Généralement, les plantes supportent mal les sels saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, généralement connue en pourcentage du sodium, est définie par formule ci-après :

$$\% Na^+ = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+} \times 100, [m\acute{e}q/l]$$

Cette classification définit cinq classes d'eau : Excellente – Bonne – Admissible- Médiocre – Mauvaise (Fig. n°III.19 et tableau n°III.14).

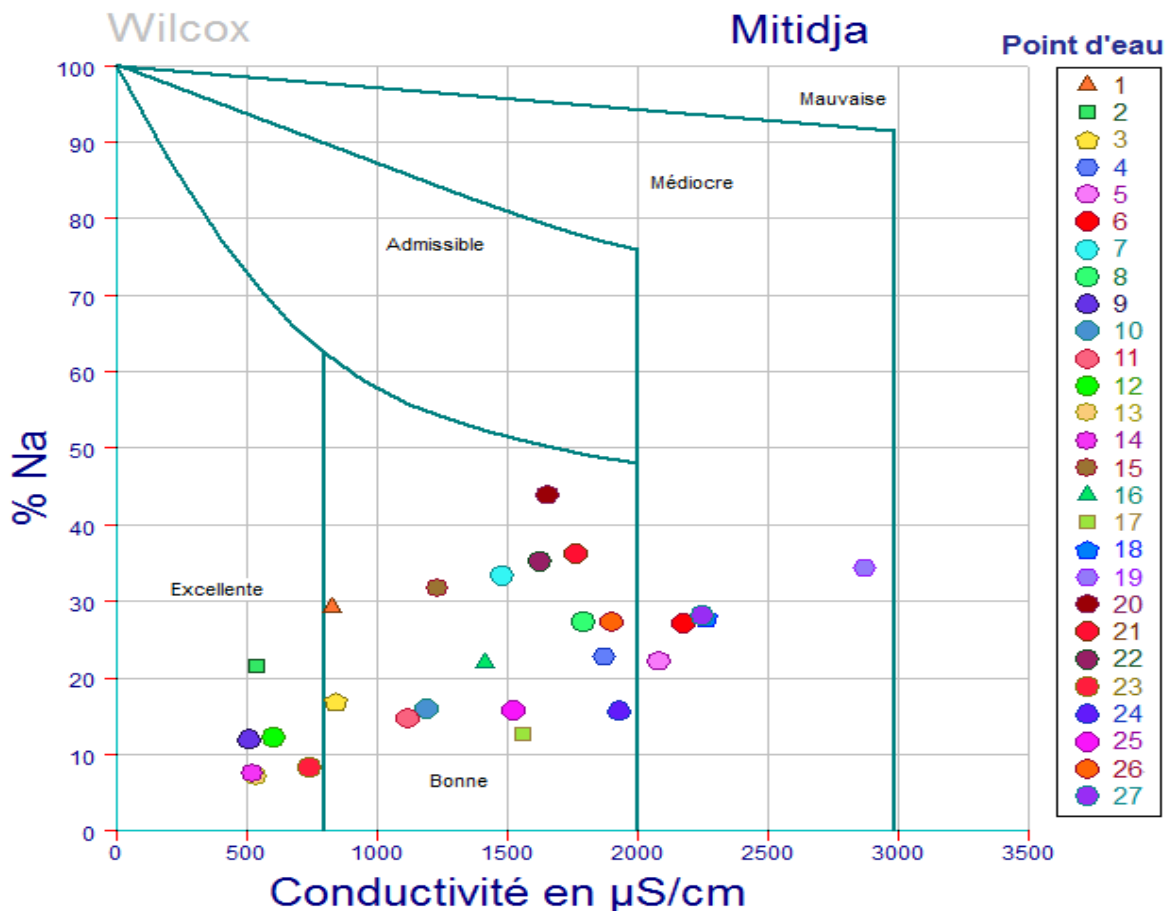


Figure n°. III.19: Diagramme de Wilcox

Tableau n° III.14: Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox

Qualité	Pourcentage des points d'eau (%)
Excellente	22.22
Bonne	59.26
Médiocre	18.52
Mauvaise	/

D'après l'analyse des résultats du Tableau n °III.14 on constate que les eaux de qualité excellente qualité représentent 22.22% et de bonne qualité 59.26%. Reste 18.52% représentent les eaux de qualité médiocre exploitées pour l'irrigation avec restriction (convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés).

III.6- Conclusion:

D'après l'étude hydrochimique par les méthodes graphiques et analyses statistiques multivariées des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale de Mitidja prélevées durant la période de Mai 2017 on peut déduire que:

➤ L'analyse cartographique montre que les eaux de conductivité élevées caractérisent les eaux des forages de la partie Sud-ouest et ceux de la partie Nord-est. Cela s'explique par l'intrusion des eaux de la mer. Les Sodiums présentent 3.7% des eaux analysées ont des teneurs élevées dépassants la norme de potabilité de (OMS et Algériennes), caractérisant les points d'eau situés au NE de la plaine du coté de la zone littorale de Rouïba, Ain Taya, qu'on peut l'expliquer par les rejets urbains et industriels ainsi que l'intrusion des eaux de mer. Les Chlorures montrent 11.11% des points d'eau leurs concentrations dépassent la norme de l'OMS et concernent ceux situés à l'extrême NE (Ain Taya et Rouïba) et au SW à coté d'EL-Affroun. Les bicarbonates présentent des concentrations élevées aux parties NE et SW, liées à la dissolution des roches calcaires (CaCO_3 , MgCO_3 ,...) dans l'eau en présence du gaz carbonique. Pour les nitrates on distingue 66.67% des eaux analysées leurs concentrations dépassent la concentration maximale fixée par l'OMS (50 mg/l) et caractérisent la zone situé au niveau de la partie NE, cela est due aux rejets des usines et aussi aux rejets agricoles.

➤ Le faciès chimique dominant est Bicarbonaté calcique avec 62.96% de la totalité des cas suivi par le faciès Chloruré calcique avec 37.04%.

➤ L'analyse des résultats des méthodes statistiques multivariées (ACP, CHA) montre que: l'ACP donne deux groupes (**G1**: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{2-}) et (**G2**: K^+ et NO_3^-). La CAH a montrée aussi deux groupes (**G1**: Ca, HCO_3^- , Cl et SO_4^{2-} et **G2**: Mg, Na, K, et NO_3^-). On constate qu'il y a un faible changement entre les deux groupes des deux méthodes par rapports aux éléments non dominants (Mg et Na). Ce qui confirme la dominance des deux principales familles de faciès chimiques trouvées par les diagrammes de Piper et Schoeller (Bicarbonaté calcique et Chloruré calcique) qui découlent du premier groupe des deux méthodes. Tandis que le deuxième groupe marqué avec une légère variation, reste sans dominance pour la majorité des eaux de la nappe et caractérisé par les Mg, Na, K, NO_3^- , est du au lessivage des terrains argileux-marneux lors des hautes eaux, l'intrusion des eaux de mer et influencé par la pollution des nitrates liés à l'utilisation des engrais et les eaux usées.

➤ Plus de 80% des eaux souterraines de la nappe alluviale de Mitidja sont qualifiées de dures à très dures avec une qualité chimique médiocre à mauvaise donc impropre à la consommation.

➤ L'analyse des résultats des trois méthodes (salinité, Richard et Wilcox) montre que la majorité des eaux sont de qualité admissible et peuvent être exploités pour l'irrigation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude que nous avons menée dans la plaine de Mitidja nous a permis de faire une approche à la connaissance de la qualité des eaux souterraines par différentes méthodes graphiques et statistiques multi variées.

Cette étude est basée sur des données et connaissances de la région telles que :

- Le climat de Mitidja est caractérisée par un climat régional subhumide littoral, avec des températures qui varient de 7.3 °C au mois de Décembre à 33°C en Septembre. La moyenne annuelle des précipitations atteignent environ 615 mm.

- Le bassin versant de présentant une diversité de reliefs et de végétation. C'est une dépression allongée d'Ouest (l'Oued Nador) en Est (l'Oued Boudouaou).

- La structure de la plaine de la Mitidja est celle d'un synclinal remblayé par des alluvions de profondeur moyenne de 200m, qui représente le principal aquifère d'un potentiel naturel appréciable exploité par pompage.

- L'étude piézométrique a permis de définir des écoulements des eaux de la nappe à partir des massifs de l'Atlas Blidéen au Sud vers la mer méditerranéenne au Nord.

- L'étude hydro-chimique de la qualité des eaux souterraines, soit à travers l'analyse cartographique des paramètres physicochimiques des eaux souterraines des forages, soit par les analyses statistiques multivariées en composantes principale (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) fait ressortir les points suivants :

- L'étude cartographique montre que les eaux de conductivité élevées caractérisent les eaux des forages de la partie Sud-ouest et ceux de la partie Nord-est. Cela s'explique par l'intrusion des eaux de la mer. 3.7% des points d'eaux situés au NE de la plaine ont des teneurs élevées en sodium, dépassants la norme de potabilité de (OMS et Algériennes), Cela est expliqué par les rejets urbains et industriels ainsi que l'intrusion des eaux de mer. Les Chlorures montrent 11.11% des points d'eau situés à l'extrême NE (Ain Taya et Rouïba) et au SW à coté d'EL-

Conclusion générale

Affroun, dont les concentrations dépassent la norme de l'OMS. Les bicarbonates présentent des concentrations élevées aux parties NE et SW, liées à la dissolution des roches calcaires (CaCO_3 , MgCO_3 ,...) dans l'eau en présence du CO_2 . Pour les nitrates on distingue 66.67% des eaux au niveau de la partie NE, présentent des concentrations dépassant la concentration maximale fixée par l'OMS (50 mg/l). Cela est dû aux rejets des usines et aussi aux rejets agricoles.

- Les diagrammes de Piper et de Scholler-Birkaloff les donnent deux principaux faciès chimique dominat : Bicarbonaté calcique avec 62.96% de la totalité des cas suivi par le faciès Chloruré calcique avec 37.04%.

- Les méthodes statistiques multivariés (ACP, CHA) montrent deux groupes: Le premier groupe minéralisé dominé par les carbonates et les chlorures. Le deuxième groupe est de faible influence par le Magnésium, Sodium, Potassium et polluée par les nitrates du au lessivage des terrains argileux-marneux lors des hautes eaux, l'intrusion des eaux de mer et influencé par la pollution des nitrates liés à l'utilisation des engrais et les eaux usées.

- Plus de 80% des eaux souterraines de la nappe alluviale de Mitidja sont qualifiées de dures à très dures avec une qualité chimique médiocre à mauvaise donc impropre à la consommation.

- L'analyse des résultats des trois méthodes (salinité, Richard et Wilcox) montre que la majorité des eaux sont de qualité admissible et peuvent être exploités pour l'irrigation.

Annexe

Annexe -1- : Classe de salinité de l'eau.

Classe	Description
C1 : $CE \leq 250$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eau non saline, utilisée pour l'irrigation de la plupart des cultures et sur différents sols.
C2 : $250 < CE \leq 750$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eau à salinité moyenne, utilisée avec un léger lessivage
C3 : $750 < CE \leq 2250$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eau à forte salinité, utilisée pour les sols à drainage restreint, même avec un bon drainage
C4 : $2250 < CE \leq 5000$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eau à très forte salinité inutilisable pour l'irrigation.
C5 : $5000 < CE \leq 20000$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eaux à salinité excessive.

Annexe -2- : Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation. (Classification USDA)

Classe	Interprétation
S1 : $0 < SAR \leq 10$	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
S2 : $10 < SAR \leq 18$	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
S3 : $18 < SAR \leq 26$	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigent la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
S4 : $SAR > 26$	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

Annexe

Annexe -3- : Les normes des eaux d'irrigation fixée par la FAO (Bulletin N°24)

Paramètre de l'eau	Symbole	Unité	Valeur maximale admissible
Conductivité électrique	CE	µS/cm	3000
Total des sels dissous	TDS	mg/l	2000
Calcium	Ca ⁺⁺	mg/l	400
Magnésium	Mg ⁺⁺	mg/l	60,75
Sodium	Na ⁺	mg/l	920
Carbonates	CO ₃ ⁻	mg/l	3
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	mg/l	610
Chlore	Cl	mg/l	1065
Sulfates	SO ₄ ⁻	mg/l	960
Nitrates	NO ₃ ⁻	mg/l	10
Ammonium	NH/	mg/l	5
Phosphate	PO ₄ ⁻	mg/l	2
Potassium	K	mg/l	2
Acidité	pH		6- 8,5
Coefficient d'absorption du sodium	SAR		15
Bor	B	mg/l	2

Annexe -4- : Les normes des eaux pour la potabilité fixée par la OMS

Paramètre de l'eau	Unité	Valeur maximale admissible
Conductivité électrique	µS/cm	2000
Oxygène dissous	mg/l	>5
PH	/	6.5-8.5
Turbi	NTU	<5
F ⁺	mg/l	<1.5
Ca ²⁺	mg/l	100
Mg ²⁺	mg/l	50
Na ⁺	mg/l	200
NH ₄ ⁺	mg/l	0.5
Fe ⁺⁺	mg/l	<0.3
NO ₂ ⁻	mg/l	0.2
Cl ⁻	mg/l	2 50
SO ₄ ²⁻	mg/l	2 50
NO ₃ ⁻	mg/l	50
Mn	mg/l	0.1
Ars	mg/l	0.01

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [01] A. Boudoukha . « Etude hydrogéologique des hautes plaines sétifiennes et qualité des eaux souterraines » Thèse de doctorat D'état . Institut de chimie . Université Annaba 230 pages. (1998).
- [02] A . Lakhal . Mémoire De Master En Hydraulique Option Irrigation Et Drainage Agricole «Analyse Spatio-temporel Des Précipitations Dans La Zone De La Mitidja» Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique Blida. (2018-2019).
- [03] A . M . Bellaredj « Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'leta (Algérie, Nord-Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées (ACP) » université de Oran 89-90 page. (2013) .
- [04] ANRH (Alger) Agence nationale des ressources hydriques.
- [05] C . Durand C . «L'analyse de classification hiérarchique et de nuées dynamiques. CoursSol6210, Analyse quantitative avancée». Université de Montréal, 18p. (2009).
- [06] Etude d'aménagement hydro-agricole de la plaine de la Mitidja « AGID- Mott Mac Donald et Partner ltd et W.S Atkins International» (1992).
- [07] G . Couture. « Hydrogéochimie des eaux souterraines dans la ceinture méta sédimentaire centrale de la province géologique du Grenville, (Québec)» . Thèse de doctorat, Université du Québec, 112p. (1997).
- [08] H . N . El Houda . Mémoire De Master En Hydraulique Option Hydraulique urbaine« Analyse Statistique Multivariee Des Eaux Souterraines De La Région De Boussaâda» (W. M'sila) Université De M'sila (2015-2016).
- [09] L . Namane. Ingénieur d'état en agronomie spécialité hydraulique «Suivi des irrigations dans une exploitation agricole de la Mitidja ouest (Commune de Mouzaia)» Ecole Nationale Supérieure Agronomique El- Harrach -Alger- (2009-2010).
- [10] M . Abid . Mémoire De Master En Hydraulique Option Aménagement et Ouvrages Hydrauliques « analyse statistique multivariée des eaux souterraines de la partie Nord de la région de Chemora (est-algérien)» Université. M'sila (2014-2015).
- [11] M. Ghodbane . « Étude de la contamination des eaux souterraines de la zone nord de Chemora par les nitrates (Nord –Est algérien) » Mémoire de magister. 146 p. (2009-2010).
- [12] M. Ghodbane . « Estimation des potentialités des eaux souterraines et estimation de la pollution par les nitrates (Cas de la région de Chemora-Est algérien) » Thèse de doctorat en sciences . Département Hydraulique Université . Batna.2. (2018-2019).

Références bibliographiques

- [13] M . Mokrani . Mémoire De Master En Hydraulique Option Irrigation Et Drainage « Cartographie Hydro chimique Appliquée A La Nappe De La Mitidja » Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique Blida. (2017-2018).
- [14] N . Chabour . Mémoire de Doctorat d'Etat en géologie « Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algerie» Université Mentouri Constantine (2006-2007).
- [15] N . Mehdi. Mémoire De Master En Hydraulique Option Assainissement « Etude de l'évolution de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja au cours de la période (2003/2006) et l'influence de la variabilité piézométrique » Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique Blida. (2017-2018).
- [16] R . Chadi . Mémoire de master en hydraulique urbain « impact de la pollution par les nitrates sur eaux souterraines de la région de chemora» (w. Batna) Université de M'sila (2012-2013).
- [17] Schéma général de l'aménagement hydraulique de la Mitidja- Volume IV- « Etude géologique et hydrogéologique- Agro complect-Energo proje kt » Mai 1977.
- [18] S .Yahiaoui . Thèse de Magister «Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja et leur aptitude à l'irrigation» Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique Blida. (2011-2012).
- [19] T . Mokadem . Mémoire De Master En Hydraulique Option Irrigation Et Drainage Agricole «La Cartographie Des Nitrates De La Plaine De Mitidja» Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique Blida. (2016-2017).
- [20] Y . Belkebir . Mémoire De Master En Hydraulique Option Aménagement et Ouvrages Hydrotechniques « Approche Géostatistique De L Impact Des Changement Climatiques Sur La Qualité Physico Chimique Des Eaux Souterraines (Cas De La Mitidja) » Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique. Blida. (2014-2015).