



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



UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OZOU
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GEOLOGIE

Option : Hydrogéologie

SUJET

**Evolution de la Qualité Hydrochimique des eaux Souterraines du Système
Aquifère de la Nappe de l'Oued Nador (Tipaza, Algérie).**

Réalisé par : KARRICHE Radia

Soutenu publiquement le : 16.01.2020

Devant le jury composé de :

Mr KARDACHE R.	MCA	FSBSA/UMMTO	Président
Mr DROUCHE A.	MACA	FSBSA/UMMTO	Promoteur
Mr BENNABI M.	MACA	FSBSA/UMMTO	Examineur
Melle YAHIAOUI S.	MACA	FSBSA/UMMTO	Examinatrice

Année universitaire 2018/2019

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

La mémoire de ma grand-mère, paix a son âme.

A ma mère qui m'a soutenu moralement

A ma grand-mère maternelle qui m'a encouragé et m'a soutenu depuis ma naissance, que dieu le tout-puissant la protège pour moi

A mon cher frère Fathi et mes sœurs Wardia et Chahinez

A Mon Cher mari Hocine qui m'a aimé et soutenu toute cette période Que dieu le protège pour moi

A Mon Cher ami BOUDIAF Sid Ali

A tous mes Amis (es): K. Dyhia - M. Safia - L.Said
- L. Yazid - B. Abdelhakim - I. Mohamed - GH.
Nadjib - M. Ali - A. Yassmine - CH. Lysa

Remerciements

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer mes reconnaissances et mes remerciements :

Il est agréable de remercier en premier lieu et très particulièrement mon promoteur **Monsieur DROUCHE.A** pour m'avoir proposé d'abord ce thème, puis ma dirigé et conseillé tout au long de ce travail il n'a pas cessé de me faire profiter de sa grande expérience en me réserve toujours un moment pour discuter et suivre l'évolution de mon travail malgré ses multiples responsabilités. La qualité de ses exigences scientifiques, la confiance qu'il m'a témoigné et les moyens qu'il a mis à ma disposition m'a permis de mener à bien ce travail, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Un grand merci à **Monsieur KARDACHE** qui a accepté de présider ce jury, j'ai beaucoup appris à son contact. J'espère qu'il trouvera ce travail à la hauteur.

Je suis très contente que **Monsieur BENNABI M et Melle YAHIAOUI S** à accepter d'examiner ce travail. Ils ont toujours fait preuve d'une grande générosité envers tout le monde et n'ont jamais hésité à nous tendre la main.

Je voudrais aussi remercier nos chers professeurs de département des sciences géologiques par qui j'ai été entouré durant le cursus pour leur bienveillance, leur encadrement et leur dévouement.

Je remerciais également toute l'équipe pédagogique du département des sciences géologiques U.M.M.T.O

Résumé

Située à environ 75 kilomètres à l'Ouest d'Alger, la basse vallée de l'oued Nador est une plaine qui fait partie d'un grand ensemble littoral, appelé Sahel d'Alger. La vallée emprunte un sillon Synclinal d'orientation NNE-SSW.

Le développement des activités agricoles associé à l'essor démographique a engendré une utilisation intensive des eaux de la nappe, ce qui a provoqué la dégradation de qualité des eaux souterraines de la nappe de l'oued Nador. C'est dans cette optique que cette étude s'intéresse à l'évolution de la qualité hydrochimique des eaux souterraines du système aquifère de la nappe de l'oued Nador (Tipaza).

L'utilisation de différentes méthodes d'analyses (méthodes graphiques et analyse en composantes principales) nous ont permis d'identifier le chimisme des eaux souterraines de la nappe, ainsi que les différents types de facies chimiques.

Mots-clés : eaux souterraines, Oued Nador, hydrochimie, analyse statistique.

Abstract :

Located about 75 kilometers west of Algiers, the lower valley of Oued Nador is a plain that is part of a large coastal area called the Sahel of Algiers. The valley follows a Synclinal furrow of NNE-SSW orientation.

The development of agricultural activities associated with the demographic boom has led to an intensive use of groundwater, which has caused the quality of the groundwater in the Nador water table to deteriorate. It is with this in mind that this study is interested in the evolution of the hydrochemical quality of groundwater in the aquifer system of the wadder of Nador (Tipaza).

The use of different methods of analysis (graphical methods and principal component analysis) allowed us to identify the chemistry of the groundwater of the aquifer, as well as the different types of chemical facies.

Keywords: groundwater, Oued Nador, hydrochemistry, statistical analysis.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction	3
2. Situation géographique.....	3
3. Cadre géomorphologique	4
4. Cadre socio-économique	4
4.1. Population.....	4
4.2. Agriculture	4
4.3. Industrie.....	4
4.4. Tourisme.....	4
5. Réseau hydrographique	5
6. Paramètres Morphométriques	5
7. Aspect climatologique.....	6
7.1. Précipitations.....	6
7.2. Température	7
7.3. Humidité relative.....	8
7.4. Vitesse du vent	9
7.5. Evaporation	9
7.6. Courbe ombrothermique	10
7.7. Régime climatique.....	10
8. Conclusion.....	11

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

1. Introduction	12
2. Géologie de l'Algérie du Nord	12
2.1. Domaine de l'Atlas Tellien	12
2.1.1. Tell Méridional.....	13
2.1.2. Tell Septentrional	13
2.2. Domaine des hautes plaines ou hauts plateaux	14
2.3. Domaine de l'Atlas Saharien.....	14
3. Cadre géologique de la zone d'étude	14
3.1. Description lithologique de la zone d'étude.....	14
3.1.1. Le Pliocène.....	15
3.1.2. Le Plaisancien	15

3.1.3. L'Astien.....	15
3.1.4. Le quaternaire (Calabrien et Villafranchien).....	15
3.2. Tectonique.....	16
3.3. Roches éruptives	17
4. Conclusion.....	19

CHAPITRE III : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

1. Introduction	20
2. Présentation de l'aquifère.....	20
2.1. Structure de l'aquifère.....	20
2.2. Ouvrages de captage existants.....	22
2.3 Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.....	23
2.4. Etude de la piézométrie de la plaine de l'Oued Nador (2004-2014).....	24
2.5. État quantitatif des eaux de la nappe de l'oued Nador durant la période 2004-2014....	27
3. Conclusion.....	28

CHAPITRE IV : EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA PLAINE DE L'OUED NADOR (2004-2014)

1. Introduction	29
2. Inventaire des points d'eau.....	29
3. Campagne hydro-chimique de 2004	30
3.1. La conductivité électrique (CE)	30
3.2. Le potentiel hydrogène pH.....	31
3.3. Le résidu sec.....	31
3.4. Les chlorures	31
3.5. Le sodium	31
3.6. Le magnésium	32
3.7. Les sulfates	32
3.8. Les bicarbonates	32
3.9. Les nitrates	32
4. Campagne hydro-chimique mai 2009	33
4.1. Le potentiel hydrogène pH.....	33
4.2. La conductivité électrique CE	34
4.3. Le calcium	35
4.4. Le Magnésium.....	35
4.5. Le Sodium	35
4.6. Les Chlorures	35

4.7. Les sulfates	35
4.8. Les nitrates	36
5. Campagne hydro-chimique d'Octobre 2014	36
5.1. Le Calcium	37
5.2. Le Magnésium.....	37
5.3. Le Sodium	37
5.4. Les Chlorures	37
5.5. Le pH.....	37
5.6. La conductivité électrique CE	38
5.7. Les sulfates	38
5.8. Les nitrates	38
6. Evolution des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines entre 2004 et 2014.....	39
6.1. Evolution de la conductivité électrique	40
6.2. Evolution du pH	40
6.3. Evolution du résidu sec	41
6.4. Evolution des nitrates	42
7. Conclusion.....	42

CHAPITRE V : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE L'OUED NADOR : FACIES CHIMIQUES ET ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (A.C.P.)

1. Introduction	44
2. Détermination des faciès chimiques des eaux souterraines de la zone d'étude Erreur ! Signet non défini.	44
2.1. Le Diagramme de Piper.....	44
2.2. Le diagramme de Schöeller-Berkaloff	45
2.3. Classification des eaux	45
2.3.1. Classification des eaux de la campagne d'avril 2004.....	45
2.3.2. Classification des eaux de la campagne de mai 2009	50
2.3.3. Classification des eaux de la campagne d'Octobre 2014	52
3. caractérisation hydrochimique par l'analyse en composantes principales (ACP).....	52
3.1. Présentation générale de l'ACP.....	52
3.2. But de l'ACP	52
3.3. Application et interprétation des résultats	52
3.3.1. Campagne d'avril 2004	53
3.3.1.1. Réalisation et analyse de la matrice de corrélation	53

3.3.1.2. Interprétation des axes.....	53
3.3.1.3. Représentation des individus sur le cercle de corrélation Erreur ! Signet non défini.	54
3.3.2. Campagne d’octobre 2014	55
3.3.2.1. Réalisation et analyse de la matrice de corrélation	55
3.3.2.2. Interprétation des axes.....	56
3.3.2.3. Représentation des individus sur le cercle de corrélation	56
4. Conclusion.....	57
CONCLUSION GENERALE.....	59

Liste des figures

Figure I.1. Situation géographique de la plaine De l’oued Nador.....	3
Figure I.2. Carte du réseau hydrographique de la région d’étude.....	5
Figure I.3. Valeurs mensuelles de la température relative à la station Boukourdane (2004-2014).....	8
Figure I.4. Diagramme ombrothermique.....	10
Figure II.1. Cadre structural schématique de l’Algérie (Wildi 1983).....	12
Figure II.2. Colonne litho-stratigraphique de la Mitidja (Messaoud Nacer 1987).....	16
Figure II.3. Extrait de la carte géologique de Tipaza au 1/50 000.....	18
Figure III.1. Extrait de la carte géologique de Tipaza au 1/50 000 avec le positionnement des forages et piézomètres ainsi que les traits de coupe.....	21
Figure III.2. Coupe hydrogéologique parallèle à l’axe du synclinal A-A’	22
Figure III.3. Coupe hydrogéologique perpendiculaire à l’axe du synclinal B-B’	22
Figure III.4. Carte piézométrique de la plaine de l’Oued Nador (Avril 2004).....	25
Figure III.5. Carte piézométrique de la plaine de l’Oued Nador (Octobre 2009).....	26
Figure III.6. Carte piézométrique de la plaine de l’Oued Nador (Octobre 2014).....	27
Figure III.7. Variation interannuelle du niveau statique moyen de la nappe de l’oued NADOR.....	27
Figure IV 1. Localisation des points d’eaux échantillonnés.....	29
Figure IV 2. Carte d’iso-conductivité des eaux souterraines de la plaine de l’oued Nador, Avril 2004.....	30
Figure IV 3. Carte d’iso-valeurs de pH des eaux souterraines de la plaine de l’oued Nador, Avril 2004.....	31
Figure IV 4. Carte d’iso-teneur en nitrates des eaux souterraines de la plaine de l’oued Nador, Avril 2004.....	33
Figure IV 5. Carte d’iso-valeurs de pH des eaux souterraines de la plaine de l’oued Nador, mai 2009.....	34

Figure IV 6. Carte d'iso-valeurs de conductivité électrique des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, mai 2009.....	35
Figure IV 7. Carte d'iso-teneur en nitrates des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, mai 2009.....	36
Figure IV 8. Carte d'iso-valeurs de pH des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, octobre 2014.....	37
Figure IV 9. Carte d'iso conductivité des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, Octobre 2014.....	38
Figure IV 10. Carte d'iso-valeurs en Nitrate des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, octobre 2014.....	39
Figure IV 11. Evolution de la conductivité des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014.....	40
Figure IV 12. Evolution des valeurs du pH des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014.....	41
Figure IV 13. Evolution des valeurs du résidu sec des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014.....	41
Figure IV 14. Les concentrations des nitrates des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014.....	42
Figure V 1. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador selon le diagramme de Piper, campagne d'avril 2004.....	46
Figure V 2. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, campagne d'avril 2004.....	47
Figure V 3. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Piper, campagne mai 2009.....	48
Figure V 4. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, campagne Mai 2009.....	49
Figure V 5. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Piper, campagne oct. 2014.....	50
Figure V 6. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, campagne Octobre 2014).....	51

Figure V 7. Projection des variables sur le plan 1 et 2.....	54
Figure V 8. Repartitions des individus sur l'axe 1 et 2, campagne Avril 2004.....	55
Figure V 9. Projection des variables sur le plan 1 et 2, campagne oct. 2014.....	56
Figure V 10. Repartitions des individus sur l'axe 1 et 2, campagne Octobre 2014.....	57

|

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau 1 : Caractéristiques du bassin versant de l’oued Nador.....	6
Tableau 2 : Variations mensuelles des précipitations, en mm, à la station de Boukourdane sur la période 2004 – 2014. (Source : ANRH de Blida).....	7
Tableau 3 : Valeurs extrêmes et moyennes mensuelles des températures à la station de Boukourdane sur la période 2004-2014(Source : ANRH de Blida).....	8
Tableau 4 : Valeurs moyennes mensuelles de l’humidité relative (H) au niveau de la station Boukourdane sur la période 2004-2014. (Source : ANRH de Blida).....	9
Tableau 5 : Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent (Vmoy) à la station de Boukourdane entre 2004 et 2014. (Source : ANRH de Blida).....	9
Tableau 6 : Valeurs moyennes mensuelles de l’évaporation (Emoy) enregistrées à la station de Boukourdane (2004 – 2014). (Source : ANRH de Blida).....	9
Tableau 7 : Moyenne mensuelle des températures (T) et des précipitations enregistrées à la station de Boukourdane (2004 – 2014). (Source : ANRH de Blida).....	10
Tableau 8 : Valeurs moyenne de la précipitation et de la température enregistré dans la station de Boukourdane, (2004-2014). Source : ANRH-Blida.....	11

CHAPITRE III

Tableau 1 : Paramètres hydrodynamiques de l’aquifère côtier de l’Oued Nador (Mesbah, 1981)...	24
--	----

CHAPITRE IV

Tableau 1 : Résultats des analyses physicochimiques de la plaine de l’oued Nador (avril 2004).....	30
Tableau 2 : Caractéristiques des résultats des analyses physicochimiques de la plaine de l’oued Nador, campagne mai 2009.....	33
Tableau 3 : Caractéristiques des résultats des analyses physicochimiques de la plaine de l’oued Nador, campagne d’octobre 2014.....	36

CHAPITRE V

Tableau 1 : Matrice de corrélation, campagne du mois d’avril 2004.....	53
Tableau 2 : Matrice de corrélation, campagne de mois octobre 2014.....	55

Abréviations

ARNH : Agence National des Ressource Hydrique.

DHW : Direction hydraulique de la willaya.

SIG : Système d'Information Géographique.

OMS : Organisation Mondiale de Santé.

ONS : Office National des Statistique.

S : coefficient d'emmagasinement.

CGG : Centre Géophysique et Géologique.

SAU : Surface Agricole Utile.

RGPH : Recensement général de la population et de l'habitat.

T : Transmissivité.

A.C.P : Analyse en Composante Principal.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau présente à l'échelle de la planète est un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socioéconomique. L'eau est donc une ressource précieuse. Plus de 70 % de la superficie de la Terre est occupé par l'eau dont 22 % proviennent des eaux souterraines. (BENMEDDAH K. 2018).

En Algérie, les aquifères côtiers constituent des ressources en eaux importantes dans les zones littorales où l'on observe des fortes densités démographiques et une intense activité agricole. C'est, aussi, le cas de notre zone d'étude qui s'étale sur la plaine de l'oued Nador dans la wilaya de Tipaza. Cette plaine connaît une agriculture variée et développée. Par ailleurs, la surexploitation de la nappe et l'utilisation irrationnelle des produits phytosanitaires menacent la qualité des ressources en eaux souterraines de la plaine. De plus, le pompage excessif, en particulier, dans les points d'eau proches de la côte, constitue un risque d'invasion marine. Cette dernière pourrait provoquer une dégradation grave de la qualité des eaux de la nappe souterraine. Dans ce contexte, notre travail est consacré à l'étude de l'évolution de la qualité hydrochimique des eaux souterraines du système aquifère de l'oued Nador sur la période 2004-2014.

Pour atteindre cet objectif, ce mémoire a été subdivisé en cinq chapitres comme suit :

- Le premier chapitre : c'est une présentation générale de la zone d'étude. Il comprend essentiellement, les caractéristiques géographiques et géomorphologiques, le développement socio-économique de la zone d'étude, ainsi qu'une description hydrologique et climatique articulée sur plusieurs paramètres, entre autres, le réseau hydrographique, les précipitations et la température.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude du contexte géologique régional et local. C'est aussi une synthèse bibliographique des travaux antérieurs établis sur la région de Nador et de Tipaza afin de mettre en évidence les terrains rencontrés dans notre zone d'étude ainsi que leurs caractéristiques lithologiques et structurales.
- Dans le troisième chapitre, on s'intéresse à l'aspect hydrogéologique de la zone d'étude. Dans ce chapitre, on tente de faire une présentation de l'aquifère, qui contient la nappe d'eau souterraines dans la plaine de l'oued Nador, sur le plan lithologique, structural et hydrodynamique. On décrit, en effet, les terrains qui forment le système aquifère étudié à l'aide de la carte géologique de Tipaza au 1/50 000, ainsi que sa structure verticale à travers des coupes géologiques effectuées selon différentes orientations dans la plaine. A défaut des essais de pompage de longue durée, la caractérisation hydrodynamique est basée essentiellement sur les travaux antérieurs. Par ailleurs, on procède à l'établissement des cartes piézométriques pour les périodes 2004, 2009 et 2014 afin de comprendre l'évolution piézométrique dans la plaine.
- Le quatrième chapitre est réservé, dans une première étape, à une description hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador à travers les résultats des analyses effectuées lors de trois campagnes différentes (2004, 2009 et 2014). On effectue une étude de la chimie de ces eaux échantillonnées dans 16 puits en analysant plusieurs paramètres (la température, la conductivité électrique, le pH et la teneur en éléments chimiques majeurs) afin de déterminer leurs caractéristiques générales et établir des cartes d'iso-valeurs permettant de déterminer l'évolution du pH et les nitrates (NO_3^-) et la conductivité électrique. Dans une deuxième étape, on identifie l'évolution spatiale et temporelle des paramètres caractéristiques de la qualité des eaux souterraines

étudiées, à savoir, le pH, la conductivité électrique, le résidu sec et les nitrates. Le dernier paramètre est considéré comme indicateur de pollution d'origine agricole.

Le cinquième chapitre, commence par une classification graphique des eaux souterraines établie par la méthode de Piper et le diagramme de Schöeller-Berkaloff. Cette classification aboutie à déterminer le faciès chimique de chaque échantillon d'eau prélevé pendant les trois campagnes (2004, 2009 et 2014). Une approche statistique est mise en œuvre à l'aide d'une analyse en composantes principales sous Xlstat (version open source). Cette méthode permet de mieux visualiser les données et de mettre en évidence les relations qui existent entre les différentes variables (paramètre hydrochimique).

Notre travail s'achève par une conclusion qui comprend les principaux constats établis et récapitule l'essentiel des résultats obtenus.

Chapitre I

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction

La wilaya de Tipaza fait partie de la région nord de l'Algérie fortement urbanisée. Son territoire couvre une superficie d'environ 1707 Km², et se partage entre 10 daïras et 28 communes. Notre zone d'étude, plaine de l'oued Nador, fait partie de la daïra Sidi Amar.

Dans ce chapitre on présentera la zone d'étude. On évoquera ses caractéristiques géographiques et géomorphologiques, ses potentialités socio-économiques et son cadre hydroclimatique.

Pour étudier l'évolution de l'état d'une ressource en eaux souterraine cas d'oued Nador, il est nécessaire de faire des recherches géologique, hydrogéologique sur la nappe.

2. Situation géographique

La plaine de l'oued Nador est située dans la wilaya de Tipaza. Elle fait partie de la grande unité littorale appelé Sahel d'Alger. Elle est localisée à 75 Km environs à l'Ouest d'Alger (Figure1).

Cette zone est limitée :

- Au Nord, par la mer méditerranée,
- Au Sud et à l'Est, par les pentes de Sahel,
- A l'Ouest, par le massif de Chenoua.

Cette vallée empreinte un sillon synclinal d'orientation NNE–SSO dont l'axe principal est occupé par oued Nador qui a donné son nom à la plaine Alluviale.

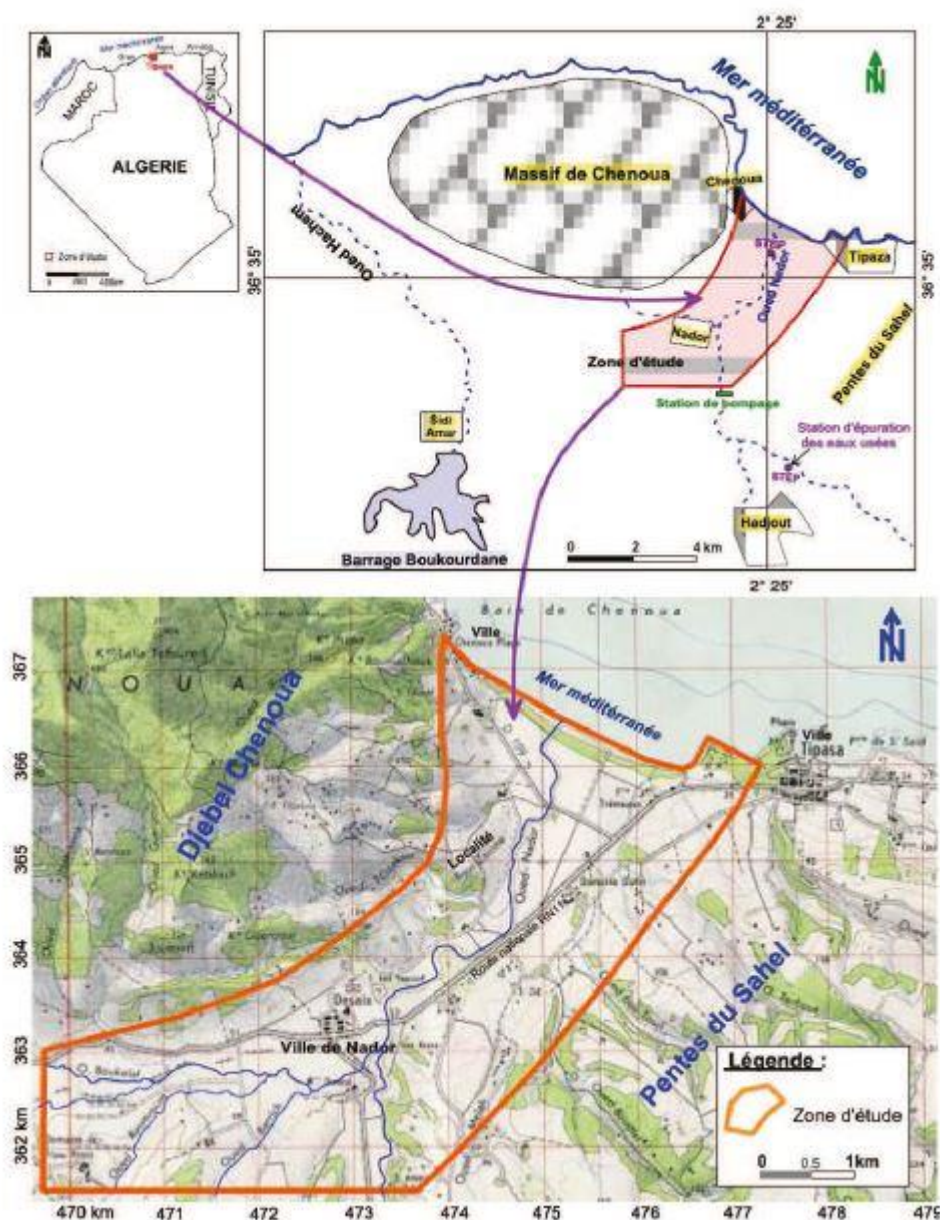


Figure I.1. Situation géographique de la plaine De l'oued Nador (Bouderbala 2015)

3. Cadre géomorphologique

La plaine d'oued Nador est formée par des zones relativement basses et plates, bordées par le massif du Chenoua, du côté nord et nord-ouest.

L'oued Nador s'écoule entre le massif Chenoua et les reliefs du Sahel. Il suit l'axe du sillon synclinal de la vallée.

3.1. Le relief

Le relief est un élément de base pour l'étude de la description des principaux ensembles topographique dans une région, leur agencement et leur disposition. De plus, il conduit à reconnaître les formes élémentaires qui se combinent à leur tour pour former des ensembles plus au moins complexes.

Le territoire de la Wilaya de Tipaza couvre une superficie de 1707Km² qui se répartit en montagnes, collines, piémonts et plaines.

- Au Nord-ouest de notre région d'étude, apparaît la chaîne de montagne de Chenoua.
- Au Nord-est, la Mitidja s'étend essentiellement sur la wilaya de Blida et se trouve limitée au niveau de la wilaya de Tipaza par le bourrelet constitué par le Sahel.
- Au Nord du Sahel un cordon littoral présente un rétrécissement et une élévation graduelle d'Est en Ouest jusqu'à disparition par endroits à Tipaza et dans les daïras de Cherchell et Sidi Amar où le relief très accidenté autour du mont du Chenoua présente des escarpements importants en bordures de la mer.

4. Cadre socio-économique

4.1. Population

La population totale de la wilaya est de 591.010 habitants, soit une densité de 363 habitants au Km². Caculer selon la commune et le taux d'accroissement annuel moyen (1998- 2008). (Bennemeddah KH. 2018)

4.2. Agriculture

Les terrains agricoles de la wilaya de Tipaza s'étalent sur une superficie de l'ordre de 72 500 ha. Dont 64 310 ha de superficie agricole utile et 8 200 ha de terres irriguées.

Les cultures pratiquées sur les terres varient selon la nature du sol. On rencontre essentiellement des cultures céréalières, l'arboriculture, les cultures fourragères et la viticulture. Par rapport à la surface agricole totale, ces cultures représentent respectivement 30,7 %, 13,7 %, 9,5 % et 6,4%. Par ailleurs, on note que ces types de culture sont consommateur d'une importante quantité d'eau. Ceci se répercuterait, sans doute, sur la ressource en eau de la région (Benseti F. 2014).

4.3. Industrie

La wilaya de Tipaza est classée comme étant une wilaya sous industrialisée vu que l'industrie n'occupe pas une place importante par rapport à d'autres activités telle que l'agriculture. Son tissu industriel repose sur la valorisation des produits de l'agriculture. Les matériaux de construction, le bois, le papier et l'agro-alimentaire sont les industries qui peuvent participer à l'amélioration des potentialités de la wilaya.

4.4. Tourisme

La wilaya de Tipaza dispose d'une infrastructure touristique et d'un patrimoine historique important. La côte s'étend sur près de 123 km avec l'existence de 51 plages dont 43 sont ouvertes à la baignade, en plus de nombreuses criques, baies et autres falaises offrant d'indéniables possibilités touristiques. La wilaya enregistre chaque année une affluence considérable qui dépasse les 13 millions de visiteurs durant la saison estivale (Boulakroune W. 2014)

5. Réseau hydrographique

La plaine de Nador est traversée par un oued principal appelé Oued Nador qui est alimenté par plusieurs affluents dont les plus importants sont : oued Sidi-Moussa, oued Bourkika, oued Merad, oued Bou-Haroun, oued Bouyahi, oued Iklen. Ces affluents sont connus par un fort écoulement pendant les averses hivernales, mais, ils sont secs durant la saison estivale.

L'oued Nador est un cours d'eau à écoulement permanent dont l'exutoire est la mer méditerranée. Par ailleurs, plusieurs réseaux d'eau usée se déversent dans l'oued Nador. Ces eaux d'assainissement constituent une source de pollution des eaux superficielles.

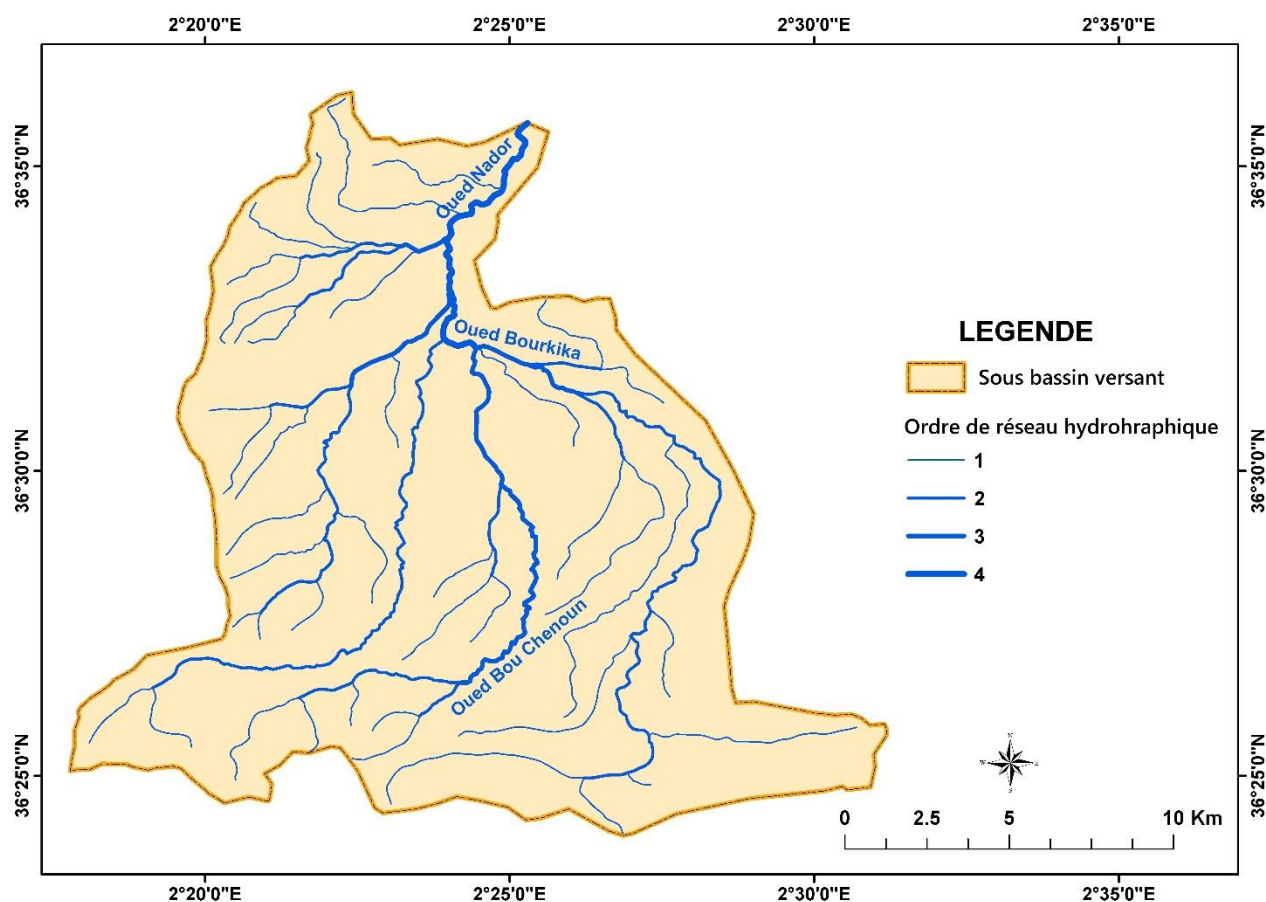
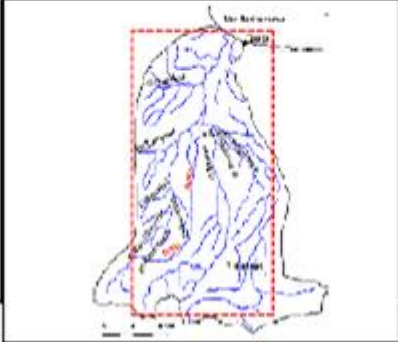


Figure I.1. Carte du réseau hydrographique de la région d'étude.

6. Paramètres Morphométriques

Les paramètres morphométriques ont été déterminés après l'analyse de la carte topographique de Tipaza au 1/50000 et l'établissement de la courbe hypsométrique du bassin versant. Les valeurs obtenues sont consignées dans le tableau 1 ci-après.

Tableau 1 : Caractéristiques du bassin versant de l'oued Nador (Boulakroune W. 2014).

Paramètres géométriques	Nom de l'oued principal: Oued Nador Code ANRH : 02.03	Surface du bassin versant: 288 km² Périmètre du bassin versant: 75 km	Altitude minimale: 00m Altitude maximale: 800m Altitude moyenne: 284m Altitudes caractéristiques: H_{5%}=750 m H_{50%}=260 m H_{95%}=75 m
Paramètres de forme	Indice de compacité de Gravelius: $K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 1,23$	Longueur du rectangle équivalent: $L = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] = 26.3 \text{ km}$ largeur du rectangle équivalent: $l = S/L = 10.9 \text{ km}$ 	Longueur du talweg principal : Lp= 38.5 km Indice de pente globale: Ig=25.66m/km Dénivelée spécifique: Ds=435.46m Classe de relief: fort Densité de drainage: Dd=0.31km/km² Densité de drainage temporaire: Dt=0.28km/km² Densité de drainage permanent: Dp=0.06km/km²

Ces caractéristiques définissent un bassin de forme plutôt allongée qui favoriserait normalement l'infiltration au détriment des écoulements. Malgré l'importance du réseau hydrographique, la forte valeur de densité de drainage temporaire par rapport à la densité de drainage permanent ($Dt/Dp=4.66$), l'infiltration est conséquente. La faible pente en aval du bassin versant favorise également l'infiltration aux dépens du ruissellement. Il existe néanmoins des zones de ruissellement important surtout dans la partie sud caractérisées par un fort relief et attestant d'une faible perméabilité due à la nature lithologique (Boulakroune W. 2014)

7. Aspect climatologique

7.1. Pluies

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie. La connaissance de cet apport d'eau au sous bassin versant (code ANRH : 0203) est essentielle pour appréhender le sous-sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau.

L'étude de ce facteur est basée sur la collecte de données obtenues dans la station de barrage Boukourdane, dont les coordonnées de ce dernier sont mentionnées dans le tableau 2.

On a utilisé la méthode arithmétique qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des pluies annuelles. C'est une méthode simple qui fournit une réponse rapide. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$P = \frac{\sum P_i}{N}$$

P : lame d'eau précipitée (mm).

P_i : précipitation annuelle de chaque année.

N : nombre d'année.

Tableau 2 : Variations mensuelles des pluies, en mm, à la station de Boukourdane sur la période 2004 – 2014. (Source : ANRH de Blida)

Station climatologique, Barrage Boukourdane (code ANRH : ca 020329)													
X=464.3 Km ; Y=359.9 Km; Z=110 m													
Année	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	juil.	Aout	Annuelle
2004-2005	4,0	27,7	120,3	143,0	100,9	145,0	95,2	24,1	2,8	0,0	0,0	0,6	663,6
2005-2006	138,0	332,0	212,0	136,7	67,8	99,3	87,9	59,9	47,2	12,6	2,1	3,1	1198,6
2006-2007	71,0	2,0	19,1	210,8	12,4	44,8	103,0	90,0	2,8	0,0	1,9	0,0	557,8
2007-2008	60	120	196	123	16	21	89	10	42	35	16	0	728
2008-2009	35	60	103	93	64,3	9	73	87	15	0	0	18	557,3
2009-2010	101,2	3,5	81,0	117,0	87,5	98,5	98,0	38,0	25,0	6,0	0,0	3,1	658,8
2010-2011	19,5	116,5	99,0	59,5	108,0	108,6	36,4	95,6	93,5	18,0	0,0	3,1	757,7
2011-2012	4,5	44,6	106,2	68,0	35,5	323,6	91,4	99,2	11,4	0,0	0,0	0,0	784,4
2012-2013	9,0	57,6	79,5	14,4	104,6	94,5	47,4	90,0	194,5	1,0	1,0	3,1	696,6
2013-2014	16,1	44,9	112,9	67,2	46,6	49,7	158,5	6,2	38,7	53,8	0,0	0,5	595,1
Moy (mm)	45,8	80,9	113,8	103,3	64,36	99,4	87,9	59,9	47,2	12,6	2,1	3,1	720,6

D'après le tableau ci-dessus, nous constatons que les précipitations moyennes mensuelles varient d'un mois à l'autre. De plus, la saison hivernale est plus pluvieuse avec des moyennes qui s'échelonnent entre 47 mm et 113 mm. Une portion de cette eau précipitée constitue la pluie efficace qui participe dans la recharge de la nappe souterraine et favorise les échanges des éléments chimiques avec l'aquifère.

7.2. Température

La température est un facteur déterminant dans un bilan hydrologique. Dans le cadre de la présente étude, on a eu les données de la station de Boukourdane pour présenter l'évolution des températures dans la zone d'étude durant la période 2004-2014 (tableau 3).

Tableau 3 : Valeurs extrêmes et moyennes mensuelles des températures à la station de Boukourdane sur la période 2004-2014 (Source : ANRH de Blida).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Aout.	Moy.
T_{moy} (C°)	22,6	18,9	14,3	11,8	11,3	11,8	13,2	15,6	18,0	20,0	24,9	25,0	17,3
T_{min} (C°)	9,7	6,7	2,9	3,9	0,4	0,7	2,6	4,7	6,1	12,0	14,9	10,8	6,3
T_{max} (C°)	38,0	36,0	28,6	22,4	23,8	24,3	27,0	29,4	32,8	34,9	38,9	42,2	31,5

T_{moy} : température moyenne mensuelle.

T_{min} : température minimale mensuelle.

T_{max} : température maximale mensuelle.

Les valeurs enregistrées montrent que la zone d'étude présente une température moyenne annuelle de 17,3 °C.

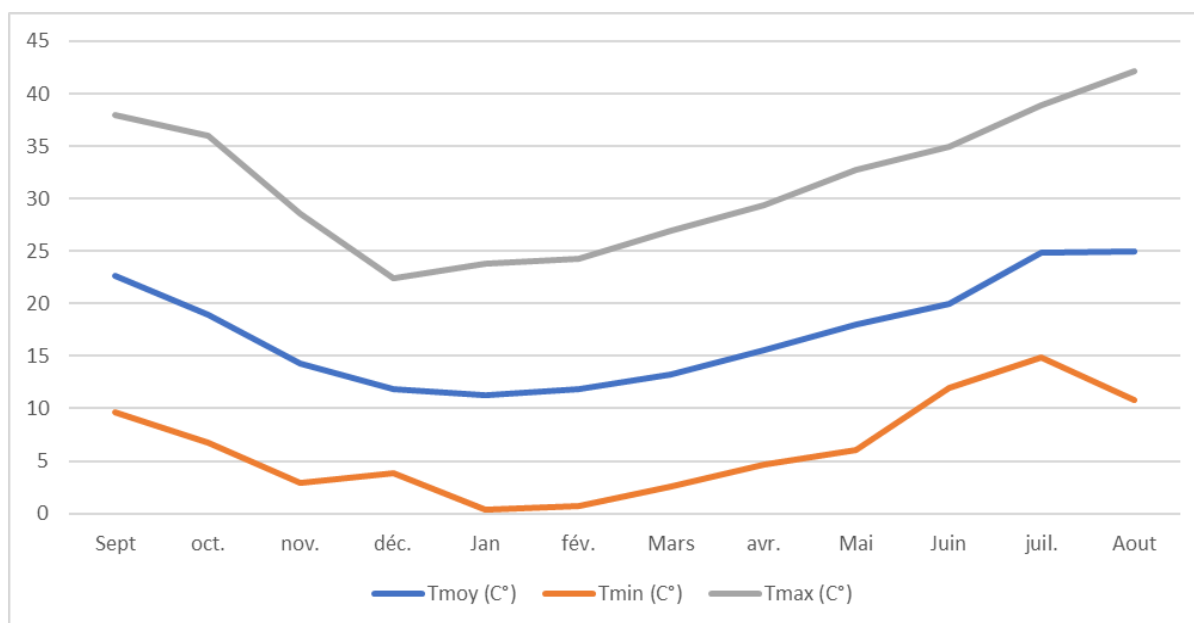


Figure I.3. Valeurs mensuelles de la température relative à la station Boukourdane (2004-2014).

L'analyse de la figure ci-dessus montre que les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées, essentiellement, pendant la période d'été (de juin à août) avec des températures comprises entre 20 à 25 °C, cependant, les températures moyennes les plus basses, variant entre 11,3 et 11,8 °C, sont observées entre les mois de décembre à mars. Les autres mois de l'année présentent des températures intermédiaires allant de 13,2 à 18,9 °C.

7.3. Humidité relative

L'humidité relative ou le degré hygrométrique, correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau continue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température.

Tableau 4 : Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative (H) au niveau de la station Boukourdane sur la période 2004-2014. (Source : ANRH de Blida)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août	Moy
H (%)	86,6	85,6	76,9	69,4	71,7	64,0	66,0	78,0	79,9	80,4	83,6	86,3	77,3

Le tableau 4 montre, d'une part, que la valeur de l'humidité relative la plus élevée a été enregistrée pendant l'été au mois d'août. Elle de 86,3 %. D'autre part, la valeur minimale a été enregistrée en hiver en mois de février dont elle a atteint 64 %. Par ailleurs, on note que l'humidité relative dans la plaine de l'oued Nador augmente le matin et le soir de la journée par rapport à midi.

7.4. Vitesse du vent

Le vent a une influence directe sur le régime climatique d'une région tel que les précipitations et l'évapotranspiration. Il convient, alors, de connaître la répartition mensuelle de la vitesse du vent, sa direction et sa fréquence. Le tableau ci-après présente les données mises à notre disposition par la direction régionale de l'ANRH de Blida.

Tableau 5. Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent (V_{moy}) à la station de Boukourdane entre 2004 et 2014. (Source : ANRH de Blida).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Moy
V_{moy} (km/h)	2,3	1,9	2,3	1,8	2,0	2,2	2,4	1,8	1,5	1,8	2,3	1,8	2,4

Dans cette région les vents dominants sont ceux qui soufflent du Nord-est et de l'Ouest avec des vitesses moyennes mensuelles variant entre 1,9 km/h, au mois d'octobre, à une vitesse moyenne maximale de 2,4 km/h au mois de mars, mais généralement, les vitesses moyennes sont les mêmes pour toute l'année à l'exception du mois de mars où sont très élevée.

7.5. Evaporation

L'évaporation est un phénomène physique, c'est le passage d'un liquide vers une forme gazeuse. Elle résulte de la superposition des échanges entre l'eau et le pouvoir absorbant de l'atmosphère. Les valeurs moyennes mensuelles sont observées à la station de Boukourdane (tableau 5).

Tableau 6 : Valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation (E_{moy}) enregistrées à la station de Boukourdane (2004 – 2014). (Source : ANRH de Blida).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Moy
E_{moy} (mm)	105,6	95,0	64,0	89,1	48,1	74,6	74,5	94,7	111,2	154,3	187,1	148,2	103,9

Les observations de l'évaporation moyenne sur la période 2004-2014 montrent une valeur maximale au mois de juillet de 187,1 mm et une valeur minimale au mois de janvier de 48,1 mm, avec une moyenne mensuelle de 103,9 mm.

7.6. Courbe ombrothermique

Un simple examen du diagramme de GAUSSEN qui considère qu'un mois est sec quand la pluviométrie est inférieure ou égale à deux fois la température moyenne mensuelles. Nous constatons la présence d'une période sèche entre la fin d'avril jusqu'à la fin de septembre (figure 4), et on note une baisse brutale des précipitations contrairement à la période humide qui marque une baisse de la température et une augmentation du volume de précipitation. Cela débute du mois d'octobre et se termine en mois d'avril.

Tableau 7 : Moyenne mensuelle des températures (T) et des précipitations enregistrées à la station de Boukourdane (2004 – 2014). (Source : ANRH de Blida).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	déc.	Jan	fév.	Mars	avr.	Mai	Juin	juill.	Aout
P (mm)	45,8	80,9	112,9	103,3	132,1	99,3	87,9	59,9	47,2	12,6	2,1	3,1
T (C°)	22,6	18,9	14,3	11,8	11,3	11,8	13,2	15,6	18,0	20,0	24,9	25,0

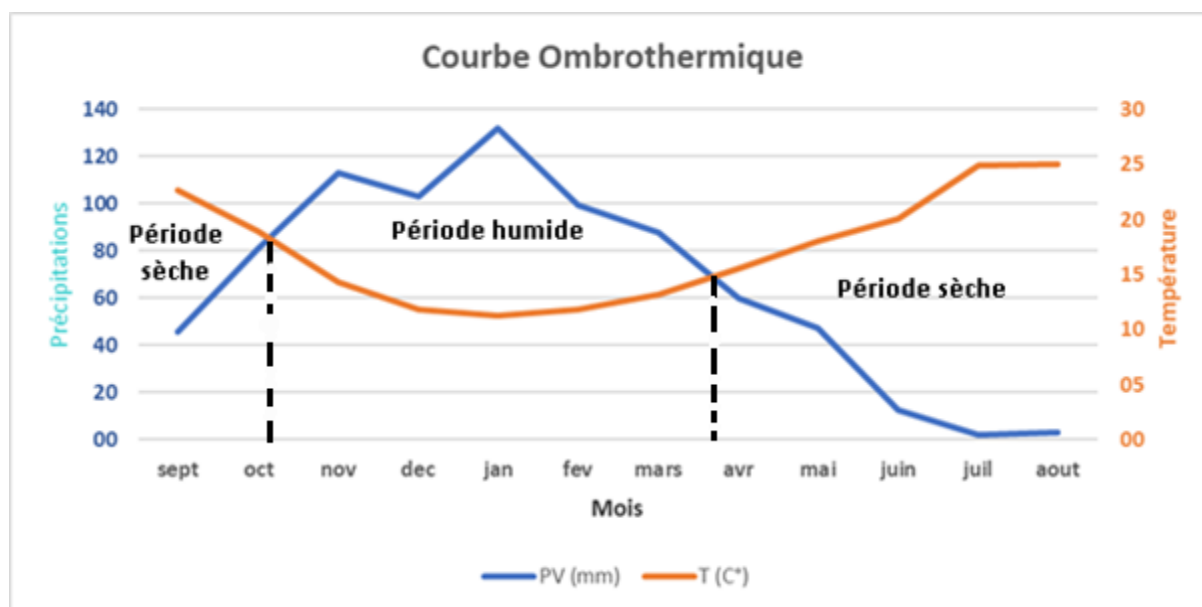


Figure I.4. Diagramme ombrothermique.

7.7. Régime climatique

En 1925, Emmanuelle DE. MARTONNE a proposé une formule climatique appelé indice d'aridité, en fonction des températures et des précipitations. Cet indice s'exprime par la formule suivante :

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{T \text{ (°C)} + 10}$$

Avec : I : indice d'aridité annuelle (sans unité).

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyennes annuelles (°C)

Selon DE. MARTONNE :

Si $I < 5$; le climat est hyper aride

Si I entre 5 et 10 ; le climat est très sec

Si I entre 10 et 20 ; le climat est sec

Si I entre 20 et 30 ; le climat est semi humide

Si $I > 30$; le climat est humide

Le tableau ci-après présente les données utilisées pour calculer l'indice d'aridité de la zone d'étude ainsi que le résultat obtenu.

Tableau 8 : Valeurs moyenne de la précipitation et de la température enregistré dans la station de Boukourdane, (2004-2014). Source : ANRH-Blida

Station	P (mm)	T (°C)	Indice d'aridité
Barrage Boukourdane	720.6	17,3	26,39

En se basant sur les données de la station de Boukourdane, on a déterminé l'indice d'aridité de la zone d'étude. Il est de l'ordre de 26,39. Ce résultat indique un type de climat semi-humide de la plaine de l'oued Nador.

8. Conclusion

La vallée de l'oued Nador est une plaine qui fait partie du grand ensemble littoral appelé Sahel d'Alger. Elle est formée par des zones relativement basses et plates.

Le sous bassin versant (code ANRH : 0203) est de forme relativement allongée avec une superficie de 288 Km² et un périmètre de 75 Km. Un indice de compacité de 1,23 et une faible densité de drainage (0,31 Km/Km²) conjugué à une pente généralement faible surtout dans la plaine.

Du fait de sa proximité de la méditerranées, la région d'étude a un type de climat méditerranéen semi-humide. Elle est caractérisée par un hiver doux et humide et un été chaud et sec. La température moyenne est de 17,3 °C et la pluviométrie moyenne de 720.6 mm

La courbe ombrothermique permet de mettre en évidence une période sèche qui s'étale du mois d'avril jusqu'à la fin de mois d'octobre et une période humide pour le reste de l'année.

Chapitre II

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

1. Introduction

Dans ce chapitre, un aperçu général sur la géologie régionale ensuite locale sera donné afin de mieux comprendre et identifier la Lithostratigraphie et la tectonique de notre zone d'étude, en se basant sur différents travaux antérieurs réalisés sur la plaine de l'oued Nador et la région de Tipaza d'une façon générale.

2. Géologie de l'Algérie du Nord

L'Algérie est située dans la partie nord du craton africain. A l'échelle régionale, l'Algérie peut être subdivisée en trois grands ensembles structuraux (figure I.1). Il s'agit des domaines fortement différenciés au cours des phases tectoniques mésozoïques et cénozoïque. Ce sont du Nord au Sud :

- Le domaine Tellien (l'Atlas tellien) ;
- Le domaine des hauts plateaux ou les hautes plaines ;
- Le domaine de l'Atlas Saharien.

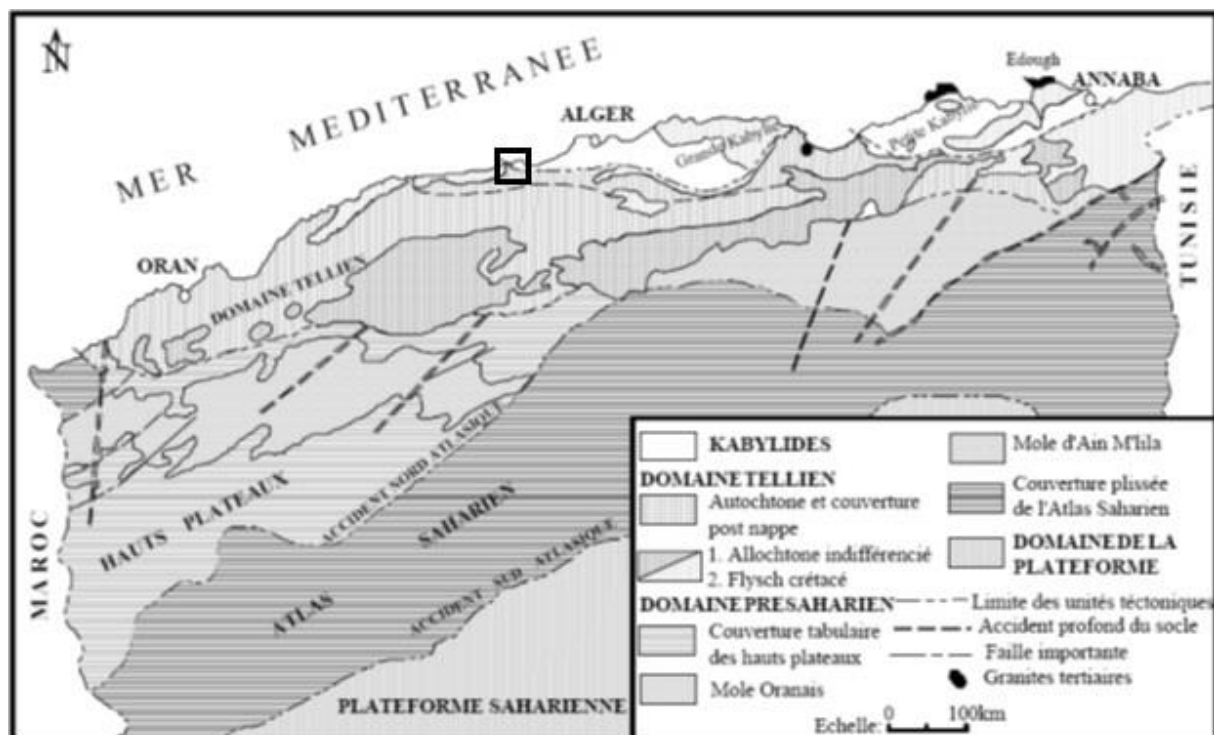


Figure II.1. Cadre structural schématique de l'Algérie (Wildi 1983).

2.1. Domaine de l'Atlas Tellien

En Algérie, le domaine de l'Atlas Tellien est composé de deux ensembles :

- Le Tell méridional au Sud : il est constitué par les chaînes de l'Ouarsenis, des Bibans et des Babors.
- Le Tell septentrional au Nord : il comprend les noyaux Kabyles, la dorsale kabyle et les flysch sud et nord kabyles.

Ces chaînons sont orientés Est–ouest avec des dépressions qui sont occupées par des sédiments néogènes et quaternaires. Ce sont, à l’Est, les sédiments de la vallée de la Soummam et à l’Ouest, ceux du bassin de l’Oued Chélif.

2.1.1. Tell Méridional

Dans le Tell méridional, on distingue plusieurs unités. Ces dernières sont souvent de même âge :

- Les unités Autochtones ou Para-autochtones : Elles apparaissent en différents endroits dans le Tell méridional sur le littoral Oranais et dans les massifs du Chélif et du l’Ouarsenis à l’Ouest, de l’Algérois au centre et des Bibans à l’Est.

Ces unités sont formées de terrains mésozoïques souvent affectés par un métamorphisme léger. De plus, leur extension est réduite.

- Les nappes telliennes (ou masses allochtones) : Elles sont formées par un empilement de nappes appartenant à différentes unités tectoniques.

Elles constituent les nappes telliennes formées de dépôts marno-calcaire du Crétacé Miocène, située généralement au-dessus de la précédente (Benmeddah K. 20018)

2.1.2. Tell Septentrional

La structure du Tell septentrional est complexe, il comprend :

- Les massifs anciens ou massifs Kabyles ou encore domaine de massifs primaires : Ils sont constitués essentiellement de terrains d’âge paléozoïque, de nature cristallophyllien sédimentaires ou volcaniques (Durand Delga, 1961). Ces massifs anciens sont bien développés en Grande et Petite Kabylie, leur équivalent se trouve au centre dans les massifs d’Alger et du Chenoua et à l’Ouest dans le massif du Cap de Ténès.
- La Dorsale Kabyle (ou chaîne calcaire) : Elle est composée de sédiments d’âge mésozoïques à éocène, formés d’empilements d’écailles liées à l’orogénèse de l’Eocène moyen.
- L’Oligocène Kabyle : Il est formé d’une mollasse qui débute à sa base par un conglomérat poursuivi par des grés arkosiques (grès grossier) que l’on rencontre sur les bordures sud du massif du Chenoua.
- Les Flysch : Les flysch se présentent sous deux formes différentes. On les rencontre sous la Dorsale Kabyle en contact anormal ou sur l’Oligocène Kabyle en contact anormal ou encore en position comparable à celle du Tell méridional.

Plusieurs hypothèses furent émises sur l’origine des Flysch Kabyles :

- a. L’hypothèse de l’origine « ultra » Kabyle : dans cette hypothèse, on suppose que tous les flysch d’âge crétacé et plus récent proviennent d’une zone située avant les charriages au Nord des domaines Kabyles.
- b. L’hypothèse d’origine « mixte » : les auteurs qui adoptent cette hypothèse, croient que les flysch sont déposés à la fois au Nord et au Sud de la chaîne Kabyle (Caire, 1970).

- c. L'hypothèse d'origine « ultra » Kabyle : selon cette hypothèse, les flysch sont issus d'une zone placée au Sud de la chaîne Kabyle. Un phénomène de scission a provoqué le départ de ces flysch vers le Nord et vers le Sud expliqué par des mouvements de sous charriages (Durand Delga, 1961).

2.2. Domaine des hautes plaines ou hauts plateaux

Il correspond au domaine présaharien ou ce qu'on appelle l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie.

Dans ce domaine, on distingue, d'Ouest en Est, les unités suivantes :

- Le môle Oranais ;
- Les hautes plaines Oranaises ;
- Les hautes plaines Algéroises ;
- Les hautes plaines Constantinoises ;
- Le môle d'Ain M'Lila ;

Sur le plan stratigraphique, dans la partie orientale, la série est plus complète que dans la partie occidentale. De plus, on note des variations de faciès à l'intérieur d'un même étage, en particulier dans le Sénonien. Ces variations sont liées à l'existence d'une instabilité du soubassement sous-marin créant des hauts fonds où se déposent des formations récifales.

La limite entre les hautes plaines et l'Atlas Saharien est marquée par une série de fractures correspondant à l'accident Nord Atlasique.

2.3. Domaine de l'Atlas Saharien

Il est composé de sédiments d'âge mésozoïque qui ont subi un mouvement de plissement pendant les phases orogéniques tertiaires. Ce sont des grands plis orientés OSO-ENE. L'existence d'un sillon entre les hauts plateaux et la plateforme saharienne a donné naissance à l'Atlas Saharien.

Les sédiments qui sont accumulés durant le mésozoïque et le cénozoïque ont formé les puissantes séries néritiques et continentales. Du point de vu structural, ce sont des plis anticlinaux étroits et très allongés de type coffrés d'orientation NNE-SSO.

La limite méridionale de l'Atlas Saharien est marquée par une série d'accidents souples ou cassants constituant la flexure sud-Atlasique. Au-delà de cette flexure sud-Atlasique, c'est le domaine de la plateforme saharienne, comprenant le Sahara occidental et le Sahara oriental.

3. Cadre géologique de la zone d'étude

3.1. Description lithologique de la zone d'étude **Figure II.2**

Une description lithologique de la zone d'étude est établie sur la base des travaux antérieurs. Cette étude a révélé l'agencement et la succession des couches présentées ci-après.

3.1.1. Le Pliocène

Les formations du pliocène affleurent sous forme de dépôts sédimentaires de nature marneuse et mollassique. Ces formations apparaissent dans la partie sud et est de la plaine de Mitidja

3.1.2. Le Plaisancien

Selon Glangeaud 1952, le Plaisancien apparait comme une série uniforme de marnes bleues, un peu gréseuses à la base avec des intercalations de lentilles gréseuses vers le sommet. L'épaisseur de cette formation augmente du Nord vers le Sud. Le conglomérat du Mazafran se retrouve au-dessous de la formation ou il fait la limite entre la Miocène et le pliocène.

3.1.3. L'Astien

Il est caractérisé par un niveau à glauconie à la base, surmonté d'une mollasse appelée mollasse astienne.

Le niveau à glauconie est présent dans le Sahel d'Alger avec une épaisseur qui varie de 10 cm à 10 m. Ce niveau est un bon marqueur de la limite entre le Plaisancien et l'Astien.

Ce niveau à glauconie est très fossilifère. Cette caractéristique lui permet de séparer les marnes bleues, contenant quelques bancs de grès à leur sommet, des marnes gréseuses et des grès calcaires de la mollasse astienne.

A noter que ce niveau n'apparait pas systématiquement dans la plupart de coupes et logs des forages réalisés au niveau de plaine de Nador.

La mollasse astienne se trouve déposées au-dessus du niveau à glauconie. Elle présente, du bas vers le haut, les formations suivantes :

- Des marnes gréseuses fossilifères ;
- Des bancs gréseux contenant des lits de conglomérats à petits galets provenant de l'Atlas. Ces bancs sont accompagnés d'intercalations de grès coquillières à ciment calcaire.
- Des grès sableux de 40 cm d'épaisseur.

3.1.4. Le quaternaire (Calabrien et Villafranchien)

Selon A. AYME et al, (1954), les formations visibles au Nord de la plaine pourraient se placer à la fin du cycle pliocène (Astien supérieur...) où dans le Quaternaire ancien (Calabrien).

Ces dépôts marins, dont l'épaisseur atteint une trentaine de mètres, reposent en discordance sur l'Astien grès-calcaire. Ils sont, en effet, formés de sable mêlés de galets, de conglomérats et de microconglomérats à ciment calcaire. Ils sont parfois surmontés de dépôts alluvionnaires dits de maison carrée d'âge villafranchien.

La figure ci-après récapitule la succession des formations lithologiques rencontrées dans la zone d'étude.

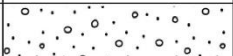
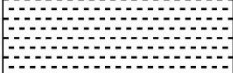
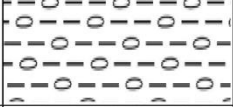
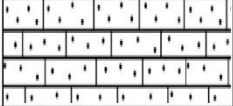
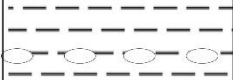
Système		Etage	Lithologie	Description	Epaisseur
QUATERNAIRE	Holocène	Actuel/Récents	Alluvions des oueds		< 15
	Pleistocène	Flandrien	Limon et argiles limoneuses		30
			Sables consolidés		30
		Soltanien / Tensifrien	Alternance de graviers et d'argiles		100 -200
		Calabrien / Villafranchien	Argiles, et cailloutis		30
TERTIAIRE	Pliocène	Astien	Grès, sables, calcaires, Argiles sableuses		130
		Plaisancien	Marnes et Argiles bleues		> 200
	Miocène	Vindobonien	Argiles et marnes à lentilles de calcaires		50
		Burdigalien	Argiles et marnes à lentilles de grès		?

Figure II.1. Colonne litho-stratigraphique de la Mitidja (Messaoud Nacer 1987)

3.2. Tectonique

La plaine de l'oued Nador a subi la même évolution tectonique que celle qui a affecté le bassin de la Mitidja.

Du point de vue géologique, c'est le résultat d'une subsidence continue dont les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas.

Le substratum est morcelé par une tectonique cassante qui traduit une phase de distension latérale avec affaissement centrale de la plaine de Mitidja.

Une forte transgression marine a eu lieu au début du Plaisancien et a produit une sédimentation marneuse en profondeur suivi de dépôts détritiques de faible profondeur (niveau à glauconie, molasse marine gréseuse) au début de l'Astien.

Un remplissage alluvial hétérogène se dépose vers la fin de l'Astien (gravier et conglomérats) en coïncidence avec une phase de plissement. Ce mouvement de compression a surélevé l'Atlas, enfoncé le synclinal de la Mitidja et fait apparaître l'anticlinal du Sahel.

Les marnes du villafranchien présentent une morphologie de haut fond comblé par des sédiments perméables constituant des poches et des chenaux.

Cette sédimentation se termine par une baisse du niveau eustatique. La fin du Pléistocène marque une transgression flandrienne qui a donné l'aspect actuel du Mitidja.

3.3. Roches éruptives

Des roches éruptives, semblables à celles des environs d'Alger et Hadjout affleurent sur le flanc sud et nord du massif de Chenoua (figure II.3).

Savornin (1924) note la présence de diabases sous forme de gros filons ou de necks irréguliers au niveau du grand affleurement permien et dévonien.

D'après Savornin (1924), les roches éruptives ont l'origine suivante : "C'est vraisemblablement en place dans les terrains que le magma fluide a traversé avant de s'échapper ; un témoin de ces éruptions de diabase ophitique dont les produits sont si souvent mêlés aux roches diverses du Trias".

En bordure de la mer, Savornin (1924) recueille des fragments d'ophites dont l'origine devait se situer selon l'auteur "droit au Sud", mais celui-ci n'a pu retrouver ces roches en place.

Sur le flanc du Chenoua d'autres manifestations volcaniques ont laissé des traces. Il s'agit, selon Savornin (1924), d'une bande de roches rhyolitiques (andésite, liparite) probablement d'âge helvétique où Glangeaud (1929) leur donne un âge burdigalien.

Deux grands dômes sont admirablement conservés. L'un de forme allongée correspondant, selon Savornin (1924), à un remplissage d'une grosse fente élargie reliant, sans doute, plusieurs cheminées d'émission. Sa forme allongée d'orientation Est-ouest part de Sidi Amar jusqu'à l'Ouest de Koudiat Guergour. L'autre dôme forme le pilon de Tourmān plus à l'Ouest formant le sommet de la colline où il existe une trace minuscule d'une roche rhyolitique.

Glangeaud (1929) note que ces roches éruptives sont des projections et des coulées de laves redressées par des plissements de 30° à 50°. Ces roches éruptives se rattachent à celles d'âge burdigalien et sont interstratifiées entre les poudingues burdigaliens ou les couches crétacées et les marnes burdigaliennes. Par ailleurs, Glangeaud (1929) a fort bien montré que le Djebel Tourmaïn était formé par une coulée à 45° et que les roches qui affleurent dans cette région sont des dacites, dacitoïdes, dellénites, dellénitoïdes, dont l'une des dellénites a été analysée.

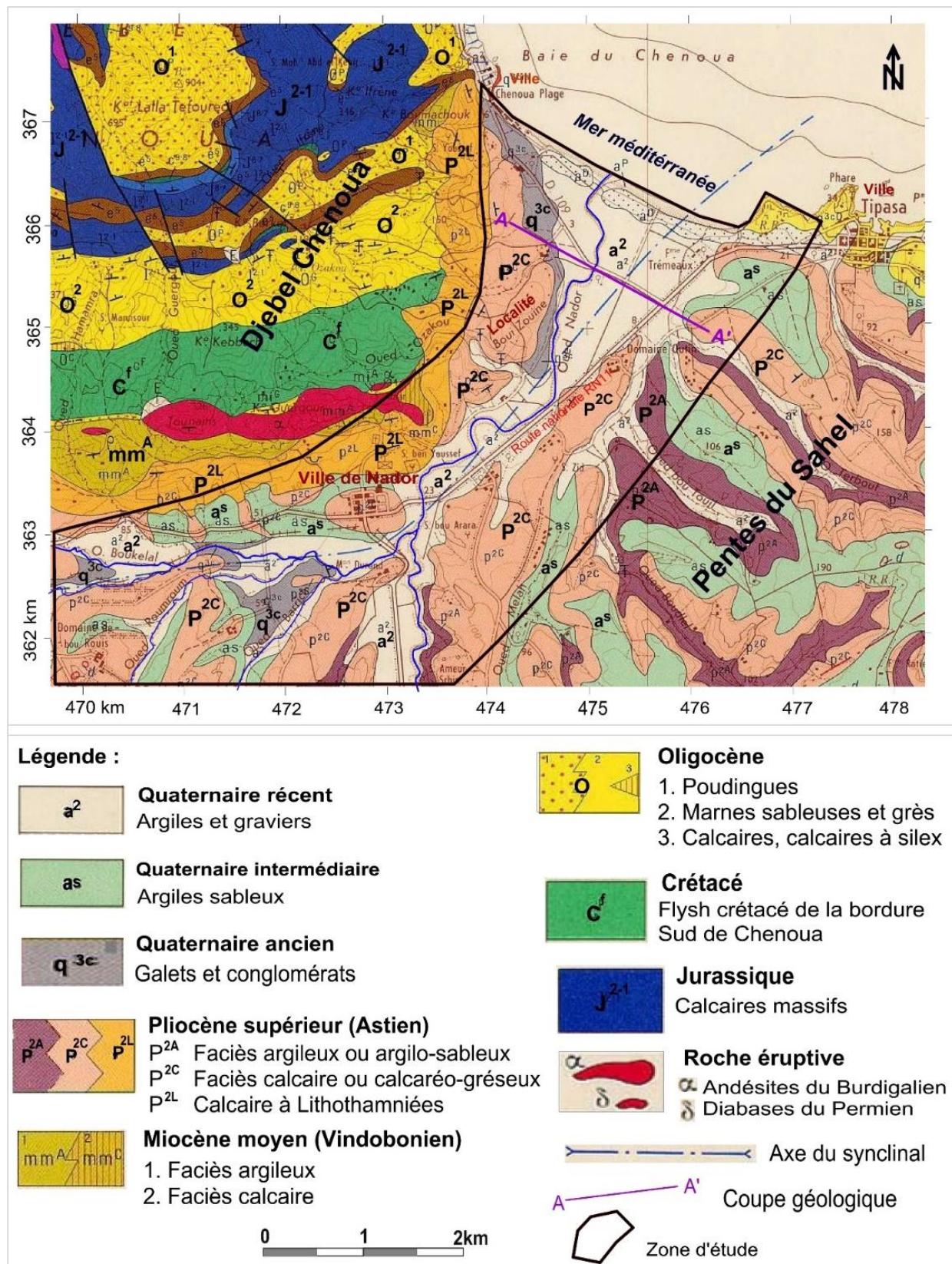


Figure II.2. Extrait de la carte géologique de Tipaza au 1/50 000. (Bouderbala.2015)

4. Conclusion

Les formations aquifères de la vallée de l'oued Nador sont constituées de dépôts d'âge plio-quaternaire. La nappe dans son ensemble a un caractère captif sous un recouvrement argileux ou marneux est constituée par :

- Une partie de la base du quaternaire généralement constituée de graviers et de galets.
- Une série calcaro-gréseuse forme la moulasse astienne, où elle présente les formations suivantes :
 - Des marnes gréseuses fossilifères.
 - Des bancs gréseux contenant des lits de conglomérats à petits galets.
 - Des grès sableux de 40 cm d'épaisseur.

La zone d'étude a subi une évolution tectonique qui s'est manifesté par un mouvement de plissement. Ce mouvement de compression a surélevé l'Atlas, enfoncé le synclinal de la Mitidja et fait apparaître l'anticlinal du Sahel.

Chapitre III

CHAPITRE III : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

1. Introduction

Cette étude s'avère nécessaire pour présenter le système aquifère de la plaine de l'oued Nador. Cette présentation est basée sur sa composition lithologique, sa structure et ses caractéristiques hydrodynamiques. Par ailleurs, on évoquera l'inventaire des points d'eau existants dans la plaine en identifiant l'évolution du niveau piézométriques de la nappe mesuré à travers un réseau de surveillance géré par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques de Blida (ANRH). On réalisera, en effet, des cartes piézométriques relatives à des dates (années) et campagnes (hautes eaux ou basses eaux) différentes.

2. Présentation de l'aquifère

L'aquifère de la vallée de l'oued Nador est d'âge plio-quadernaire. C'est une nappe de type semi-captive sous un recouvrement argileux ou argileux sableux (figure III.1 et III.2)

Le niveau statique de cette nappe est situé à une profondeur de quelques mètres en aval et supérieur à 10 mètres en amont. (BOUDERBALA A. 2015)

La nappe est contenue dans les alluvions grossières, les grès et les calcaires de l'Astien. Cette nappe devient libre dans les deux limites ou bordures de la plaine où l'Astien affleure.

Le réservoir utile est défini par son toit et son mur et comprend deux formations superposées de haut en bas comme suit (figure III.2) :

- La base du quadernaire qui est généralement constituée de gravier, de galets et de sable. Son épaisseur est inférieure à 10 m.
- La série calco-gréseuse de l'Astien qui peut atteindre 60 m au centre de la pleine. (HACHEMI A. 2016)

La nappe est limitée à sa base par un substratum marneux du Plaisancien.

2.1. Structure de l'aquifère

Pour la bonne compréhension de la structure de l'aquifère de l'oued Nador, on se base sur les coupes hydrogéologiques perpendiculaires et parallèles à l'axe synclinal (figure III.1, III.2 et III.3) réalisées à partir des données des forages et des piézomètres selon les travaux MESBAH .M et BOUDARBALA .A (2015).

L'aquifère plio-quadernaire présente une forme synclinale orientée SSE-NNO. Le flanc ouest présente un pendage plus important que le flanc est.

L'épaisseur du réservoir utile est spatialement variable. Elle est, en effet, plus importante au centre de la pleine et diminue en allant vers les bordures à cause de la remontée du L'Astien jaune.

La coupe présentée dans la figure III.2 montre que l'épaisseur de l'aquifère est plus importante en amont qu'à l'aval. Au niveau du forage F6, on relève l'épaisseur maximale sur le profil établi qui est de l'ordre de 82 m (figure III.3).

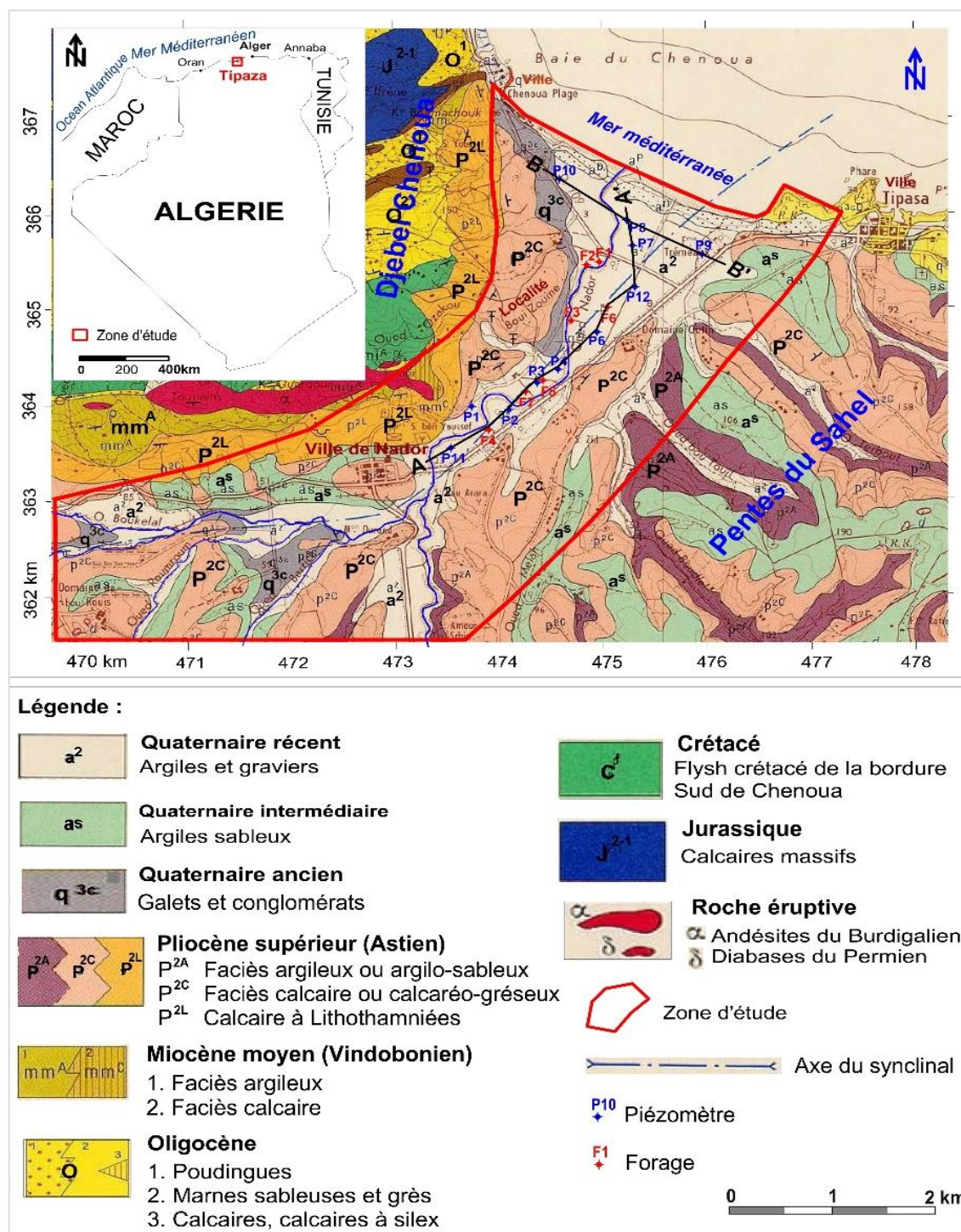


Figure III.1. Extrait de la carte géologique de Tipaza au 1/50 000 avec le positionnement des forages et piézomètres ainsi que les traits de coupe (Bouderbala 2015).

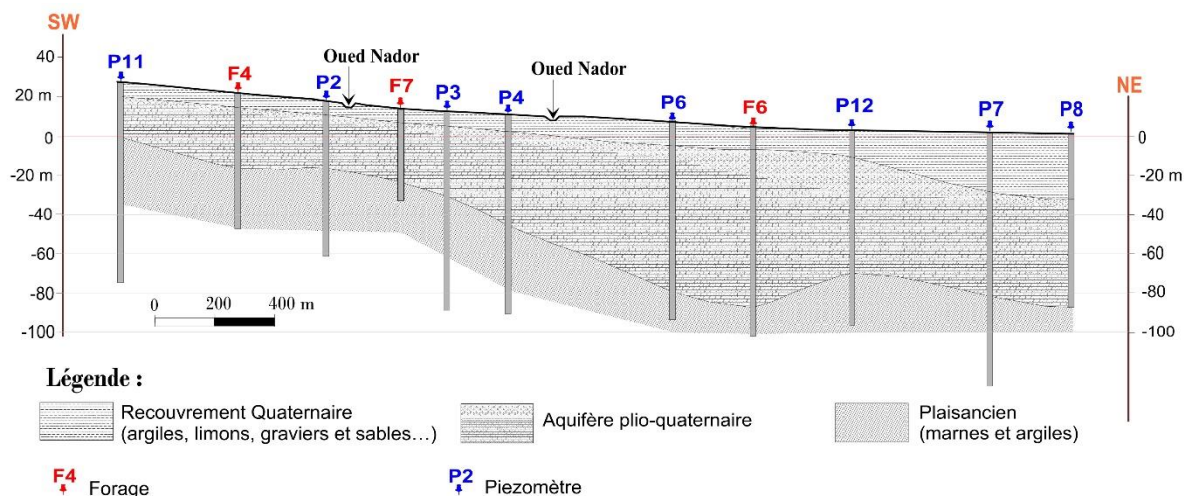


Figure III.2. Coupe hydrogéologique parallèle à l'axe du synclinal A-A' (Bouderbala 2015).

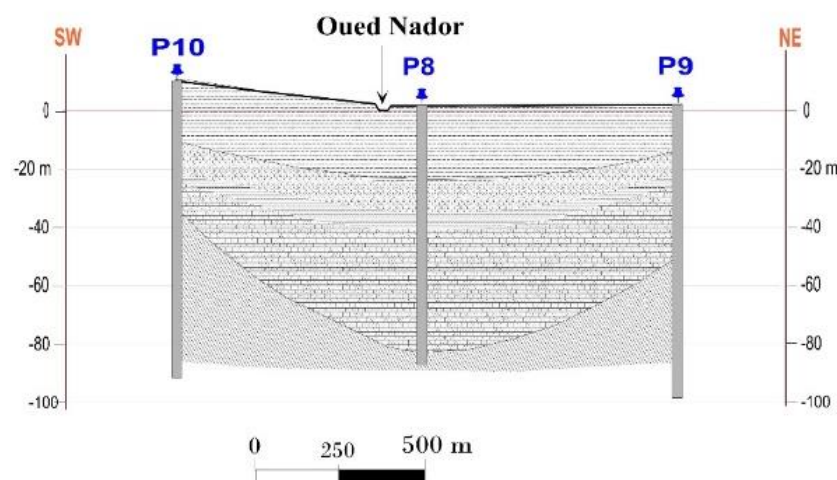


Figure III.3. Coupe hydrogéologique perpendiculaire à l'axe du synclinal B-B' (Bouderbala 2015).

2.2. Ouvrages de captage existants

Dans la zone d'étude on relève trois types de points d'eau : les forages, les puits et source d'eau.

a) Les Forages

Il existe à l'heure actuelle trois forages fonctionnels équipés par des pompes immergées. Il s'agit des forages F3, F5 et F7. Le forage F3 est destiné, essentiellement, à l'alimentation de l'agglomération d'Ouzakou, cependant, les forages F5 et F7 servent à alimenter une grande partie de la ville de Nador. L'alimentation de l'autre partie de la ville est assurée par les eaux du barrage de Boukourdane. Par ailleurs, il importe de noter que trois autres forages ont été abandonnés. Cette fermeture définitive de ces points d'eau est expliquée par la salinisation très élevée des eaux de la nappe suite à la contamination par l'eau de mer selon les services de la Direction des Ressources en Eau de la wilaya

de Tipaza (DRE). Ces ouvrages sont le F1, le F2 et le F6. En plus de ces points abandonnés, on cite le forage F4 fermé dernièrement qui alourdi le bilan des ouvrages irrécupérables. Ce forage a été fermé à cause de son colmatage. (BOUDERBALA.A. 2015)

b) Les puits

La majorité des puits situés dans la zone d'étude sont destinés à l'irrigation de petites parcelles privées. Ces puits sont généralement creusés et construits à la main. Leurs diamètres varient entre 2 et 3 m. Le prélèvement dans ces puits se fait manuellement à l'aide d'un seau et une corde ou par des motopompes. On recense dans la zone d'étude 24 puits, avec des profondeurs allant de 10 à 40 m.

c) Les sources

Dans la zone d'étude, on recense (04) sources. La source de Nador, se situe près de la ville de Nador. Elle est captée et utilisée pour l'alimentation en eau potable. Son régime et irrégulier mais l'écoulement est pérenne. La température moyenne de l'eau est de 18 °C et le débit à la sortie est d'environ 1 l/s (BOUDERBALA A. 2015).

La source de Guergueur est une source de talweg dont l'émergence est bien localisée. L'eau sort dans une vasque. Les terrains affleurant à sa proximité sont des sables-argileux. C'est une source de type tectonique. Les eaux météoriques s'infiltrent dans les zones de fractures des roches éruptives, puis émergent à la limite des formations argileuses du Miocène. Elle n'est pas captée, son régime est régulier. L'écoulement se fait durant toute l'année à débit insignifiant. Sa température moyenne est de 19 °C.

La source de Ain Ch'ayeb est une source de talweg dont l'émergence est aussi bien localisée. L'eau sort dans une vasque. Cette source alimente l'Oued Ch'ayeb (Oued Ouzakou). Les terrains affleurant à sa proximité sont des argiles sableuses de couleur jaune (Flysch crétacé). Son captage permet l'alimentation en eau potable d'une dizaine de personnes. Elle présente un régime assez pérenne. Son débit reste toutefois insignifiant et sa température moyenne est de 18 °C.

La source de Si Moussa est située près du village de Nador. C'est également une source de Talweg où l'eau sort dans une vasque. Elle alimente l'Oued Guergueur. Aux alentours de cette source affleurent des terrains argileux et des sables de couleur grise. Elle n'est pas captée, mais permet l'alimentation en eau potable d'une cinquantaine de personnes. Son régime est régulier à écoulement pérenne. Son débit est estimé à 0,5 l/s et la température moyenne est de l'ordre de 19 °C.

2.3 Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

MESBAH (1981), dans sa thèse de Doctorat a fait une étude détaillée sur les sept forages existants, mais il y'a seulement 5 forages ayant fait l'objet des essais de pompage. Il s'agit des points d'eau suivants : F1, F2, F3, F5 et F6. On s'est appuyé sur cette étude pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, à savoir la conductivité hydraulique K et la transmissivité T. Les résultats obtenus dans cette étude sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau 1. Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère côtier de l'Oued Nador (Mesbah, 1981).

Forages	X (km)	Y (km)	Z (m)	Débit d'essai (l/s)	T (m ² /s)	K (m/s)	État (2012)
F1	475.00	365.50	7.265	6.67	2.01 10 ⁻²	2.60 10 ⁻⁴	Arrêt (salé)
F2	474.82	365.50	7.456	8.89	1.40 10 ⁻²	1.97 10 ⁻⁴	Arrêt (salé)
F3	474.76	365.445	11.410	33.33	1.37 10 ⁻²	6.83 10 ⁻⁴	Fonctionnel
F5	464.16	363.41	6.063	9.44	0.528 10 ⁻²	4.40 10 ⁻⁴	Fonctionnel
F6	474.94	365.08	8.277	33.33	2.03 10 ⁻²	3.58 10 ⁻⁴	Arrêt

La méthode de Jacob a été utilisée pour calculer la transmissivité et la perméabilité de l'aquifère. On note que la transmissivité la plus élevée est observée dans la partie avale de la plaine (au niveau du forage F6). Elle est de l'ordre de 2,03 10⁻² m²/s. Ceci s'explique par l'épaisseur importante des alluvions. Par contre, la partie amont est marquée par une faible transmissivité qui est de l'ordre de 0,528 10⁻² m²/s (au niveau de forage 5).

Les perméabilités diffèrent d'un forage à l'autre. Elles varient de 1,97 10⁻⁴ m/s (au niveau du forage F2) à 6,83 10⁻⁴ m/s (au niveau du forage F3). Cela est dû à l'hétérogénéité des alluvions liée à leur lithologie et leur granulométrie.

2.4. Etude de la piézométrie de la plaine de l'Oued Nador (2004-2014)

Des campagnes piézométriques ont été réalisées périodiquement dans la plaine de l'oued Nador dont le but est de suivre l'évolution piézométrique de la nappe.

Dans le présent travail, on a exploité les mesures piézométriques réalisées par les services de l'ANRH à travers le réseau de surveillance de la nappe de la plaine de l'Oued Nador. Trois relevés piézométriques ont été mis à notre disposition correspondant aux campagnes de 2004, 2009 et 2014.

Trois cartes piézométriques ont été réalisées et comparées (hautes eaux 2004, basses eaux 2009 et les basses eaux 2014)

La carte piézométrique tracée pour la période haute eaux 2004 a montré que le sens général d'écoulement d'eau souterraine se dirige vers la mer. Ceci peut s'expliquer par la recharge naturelle suffisante de la nappe le long de ses frontières. Cette recharge est due principalement à l'augmentation de précipitation enregistrée à partir de l'année 2002 et la réduction du volume d'eau pompée.

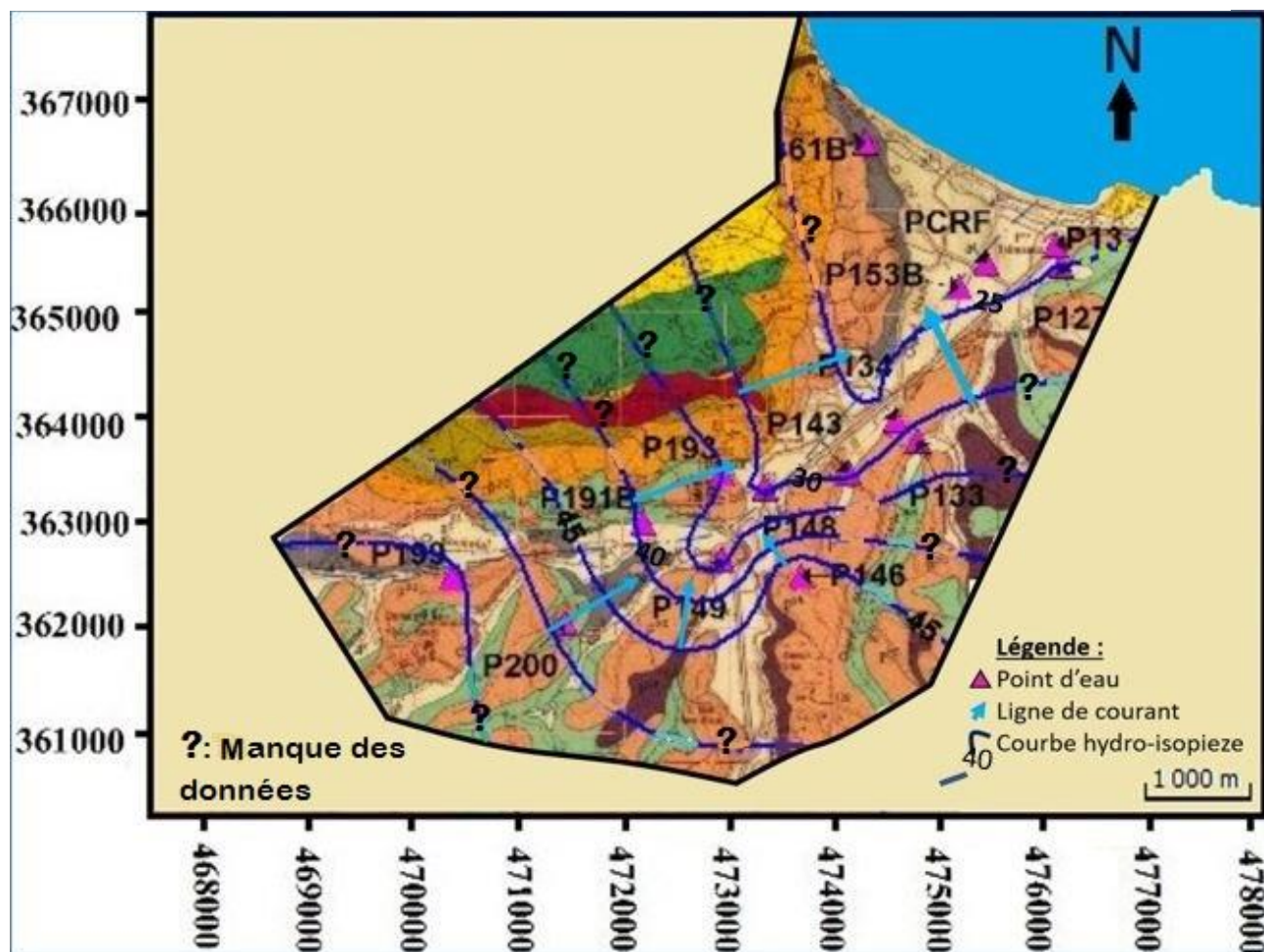


Figure III.4. Carte piézométrique de la plaine de l'Oued Nador (Avril 2004).

La carte piézométrique d'Octobre 2009 a montré que les courbes convergent vers l'oued, indiquant l'alimentation de l'oued par la nappe dabs sa partie avale. Le sens d'écoulement est dirigé vers le centre de la plaine

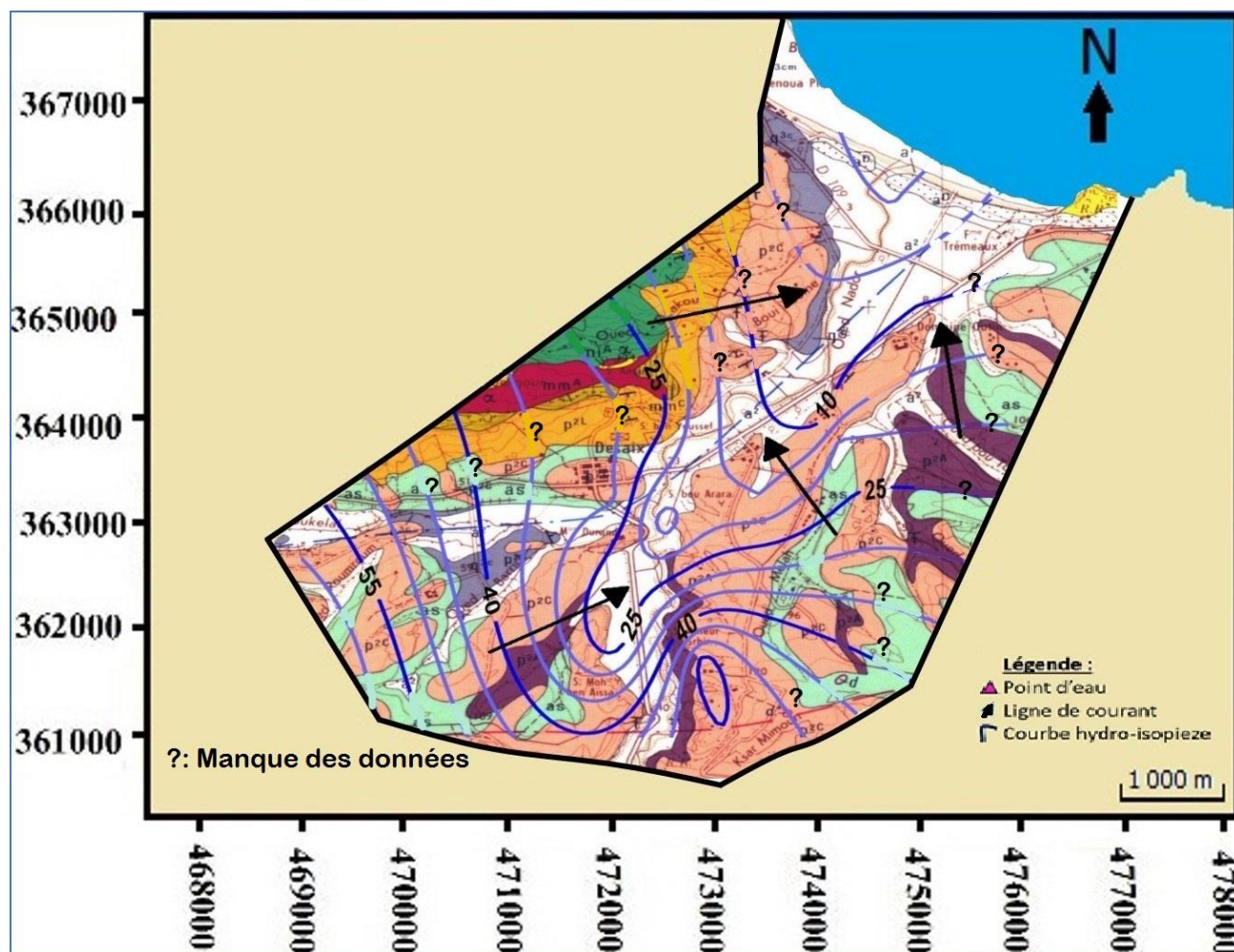


Figure III.5. Carte piézométrique de la plaine de l'Oued Nador (Octobre 2009).

La comparaison des deux cartes précédentes permet de constater un changement dans le sens de drainage général de la nappe entre 2004 et 2009. Cette situation est due, probablement à la forte exploitation de la nappe.

L'examen de la carte piézométrique d'octobre 2014 permet de relever une baisse du niveau piézométrique. L'écoulement des eaux souterraines forme un axe de drainage qui se superpose avec l'axe de la plaine (figure III.6) et participe à l'écoulement de l'oued Nador aux basses altitudes proche de la mer.

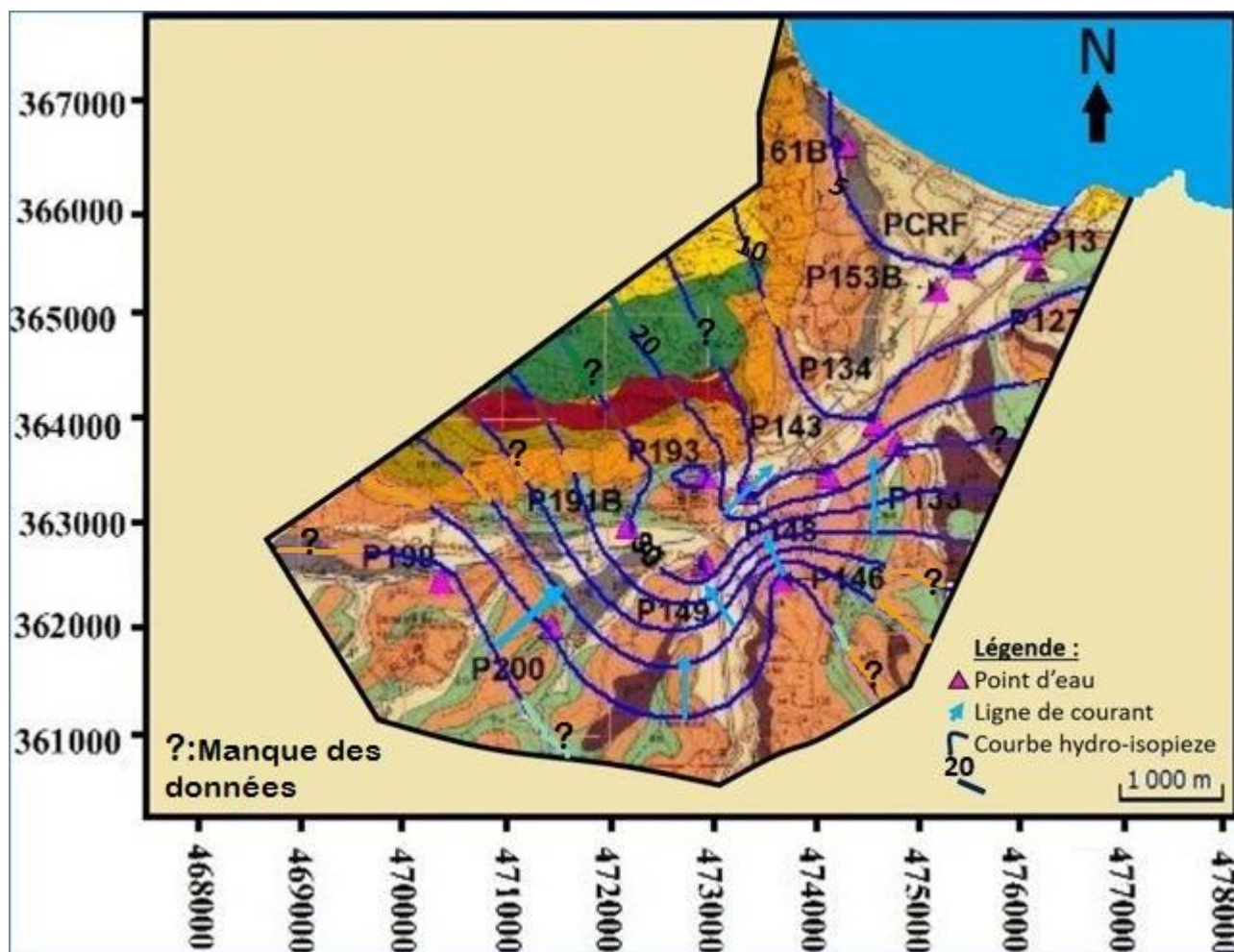


Figure III.6. Carte piézométrique de la plaine de l'Oued Nador (Octobre 2014).

2.5. État quantitatif des eaux de la nappe de l'oued Nador durant la période 2004-2014

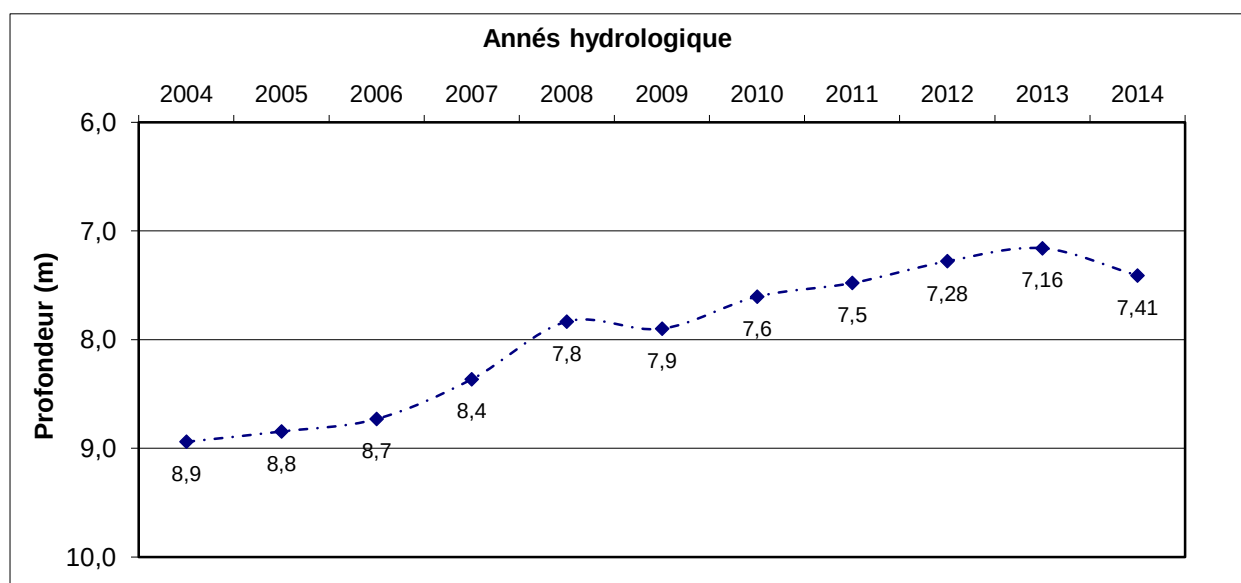


Figure III.7. Variation interannuelle du niveau statique moyen de la nappe de l'oued NADOR.

La figure III.7 montre une remontée peu progressive du niveau statique de la nappe de durant la période 2004-2014 avec une légère baisse en 2009. Cela est dû essentiellement aux précipitations qui assurent la recharge de la nappe.

3. Conclusion

Un aquifère de type semi-captif caractérise la plaine de l'oued Nador. Il est formé par la superposition de deux formations perméables. En effet, ce sont les alluvions quaternaires qui reposent sur les grès de l'Astien. Au centre de la plaine, un recouvrement, essentiellement, marneux forme un toit imperméable de la nappe.

Les données piézométriques des années 2004, 2009 et 2014 indiquent une nette remontées du niveau piézométrique grâce à :

- L'augmentation de la lame d'eau précipitée durant les années 2000 ;
- La recharge par retour des eaux d'irrigation, pratiquée de manière irrationnelle ;
- La diminution de l'exploitation.

La variation interannuelle moyenne du niveau statique de la nappe marque une remontée progressive, allant de 8,9 à 7,41 m entre 2004 et 2014.

Chapitre IV

CHAPITRE IV : EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA PLAINE DE L'OUED NADOR (2004-2014)

1. Introduction

La dégradation de la qualité des eaux souterraines en zones côtières devient un sujet inquiétant. L'aquifère côtier de la plaine de l'oued Nador fait partie de ces zones.

Dans le but d'étudier l'évolution spatio-temporelle de la qualité des eaux de cet aquifère, on se base sur les résultats des analyses effectuées dans le laboratoire de l'ANRH de Blida sur 17 points d'eau bien répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Pour cet objectif, on dispose des données de trois campagnes réalisées en 2004, 2009 et 2014.

2. Inventaire des points d'eau

Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle des eaux de la nappe étudiée. Dans ce réseau de points d'eau, on effectue des prélèvements périodiques. Dans la présente étude hydrochimique, on s'intéresse à la période 2004-2014 afin de suivre la qualité des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador à un pas de temps quinquennal.

Il importe de noter que le réseau d'échantillonnage correspond à 17 puits utilisés essentiellement à des fins agricoles par les citoyens locaux. Ces points d'eau constituent les réseaux de surveillance de la nappe de l'Oued Nador depuis plusieurs décennies (figure 1).

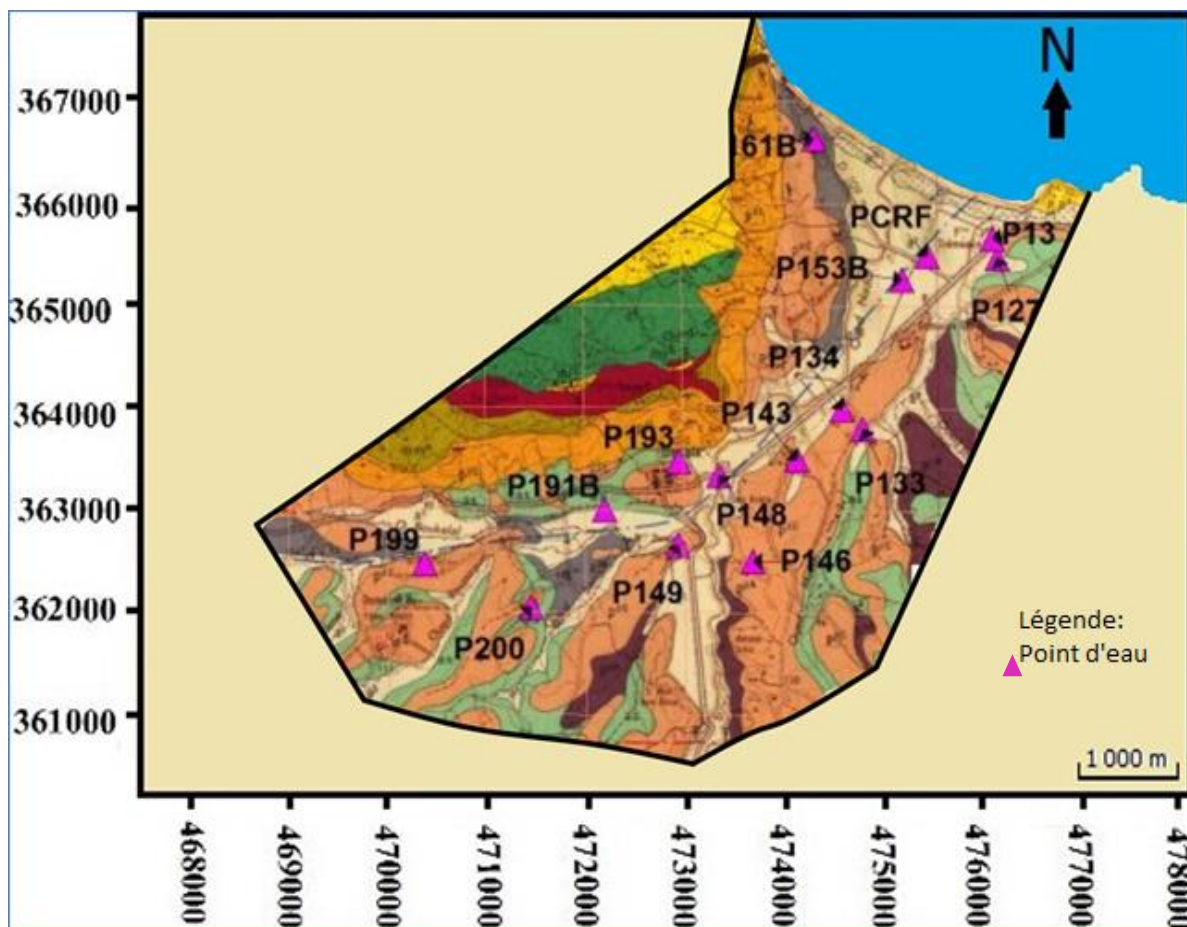


Figure IV 1. Localisation des points d'eau échantillonnés.

3. Campagne hydro-chimique de 2004

En 2004 et dans le cadre du suivi périodique de l'état qualitatif des ressources en eaux souterraines de la nappe de l'oued Nador, des analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau de l'ANRH de Blida sur des échantillons prélevés en période des hautes eaux (avril 2004) (tableau1).

Tableau 1. Résultats des analyses physicochimiques de la plaine de l'oued Nador (ANRH de Blida, avril 2004).

	Cl ⁻	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	R.S	C.E	pH
Max (mg/l)	1800	790	207	285	430	170	570	3774	6580	7,9
Min (mg/l)	165	65	25	128	110	7	211	916	1340	7,1
Moy (mg/l)	982,5	427,5	116	206,5	270	88,5	390.5	2345	3960	7,5
Normes OMS 2006 (mg/l)	250	200	150	200	200	50	/	/	1500	6,5 à 8,5
% > aux Normes	81	31	6,15	18,75	37,5	43	/	/	93,75	0

R.S : Résidu sec en mg/l.

C.E : Conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

3.1. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau dépend de la qualité des sels dissous. Elle est donnée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C. Quant à l'eau de la nappe de l'oued Nador, Les valeurs enregistrées sont comprises entre 6580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figure 2). Des valeurs très élevées sont mesurées dans la partie nord de la plaine.

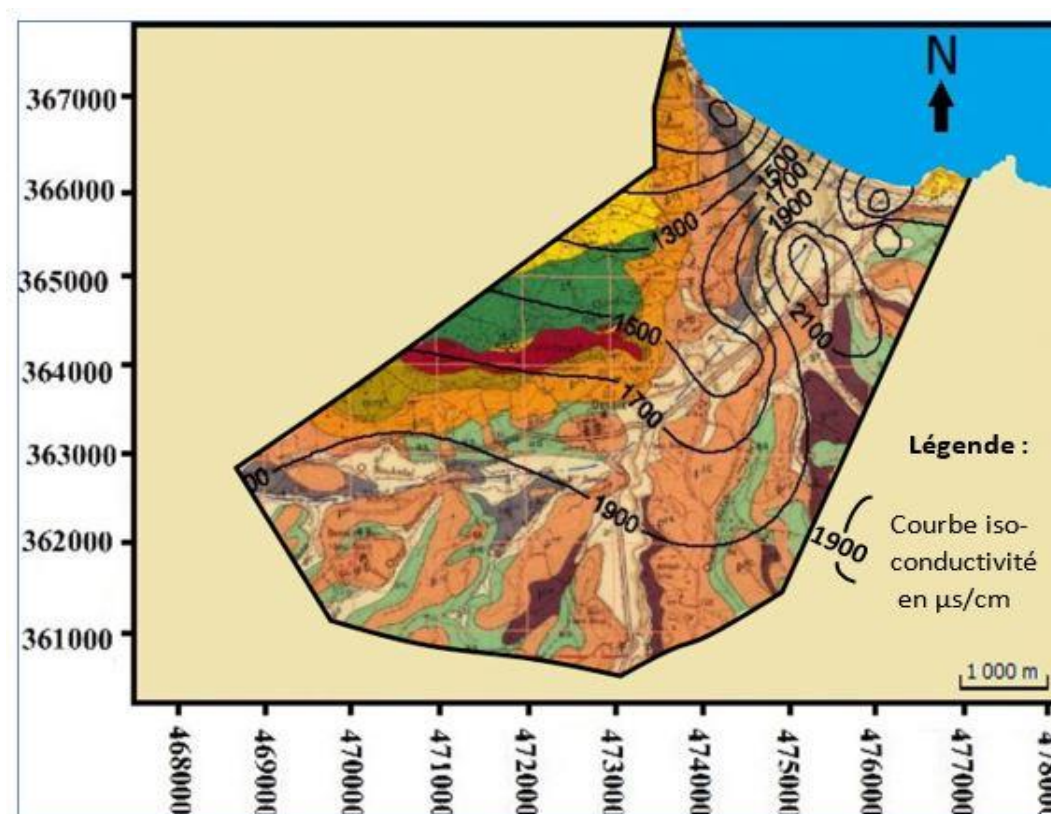


Figure IV 2. Carte d'iso-conductivité des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, Avril 2004.

Ces résultats indiquent une forte salinisation qui pourrait être due à l'avancement des eaux de mer vers le continent.

3.2. Le potentiel hydrogène pH

Le pH mesure l'activité des ions d'hydrogène H^+ contenus dans l'eau. Il varie en fonction de la température et des périodes d'activités biologiques.

Les valeurs du pH mesurées sont comprises entre 7,1 et 7,9 enregistrées respectivement au niveau des points d'eau P198 et P184B (figure 3) Ces valeurs de pH répondent aux normes de potabilité de l'OMS, qui exigent un pH compris entre 6,5 et 8,5.

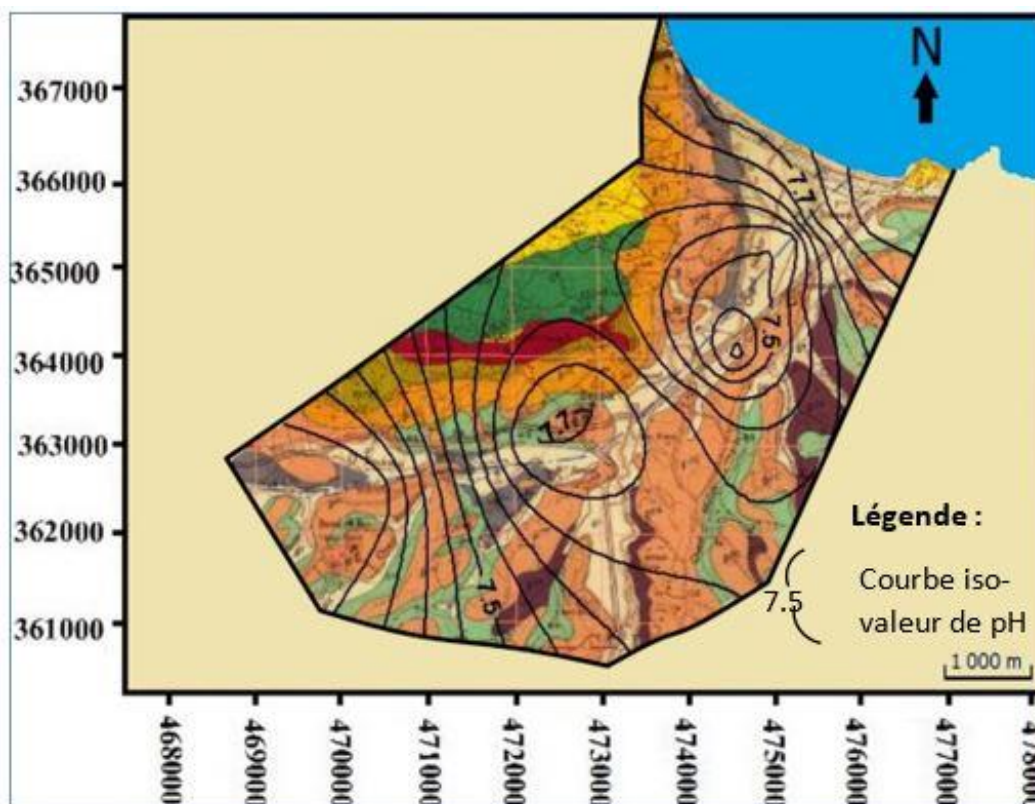


Figure IV 3. Carte d'iso-valeurs de pH des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, Avril 2004.

3.3. Le résidu sec

Il correspond à la totalité des sels résiduels dans l'eau après évaporation à 105°C.

L'ensemble des points d'eau analysés présentent des valeurs supérieures à 1000 mg/l. certains puits se caractérisent par des mesures importantes (P161, P13) ce qui traduit une forte teneur en sels dissous.

3.4. Les chlorures

Ils varient de 165 mg/l à 1800 mg/l. Ces valeurs sont enregistrées respectivement aux points P143 et P161. Cette dernière valeur, qui dépasse les normes de l'OMS, peut être due à l'effet du biseau salé.

On remarque que plus de 80 % des puits possèdent une concentration en chlorures supérieure à la norme de potabilité (tableau 1).

3.5. Le sodium

D'après le tableau 1 présenté précédemment, on remarque que 31 % de l'ensemble des puits dépasse les normes de l'OMS (200 mg/l).

3.6. Le magnésium

L'organisation mondiale de la santé exige une norme de 150 mg/l. Dans le tableau 1, on remarque que seulement 6 % de puits présentent des valeurs supérieures aux normes de potabilité. Par ailleurs, 94 % des points d'eau se caractérise par une bonne qualité vis-à-vis de la teneur en magnésium.

3.7. Les sulfates

Ils sont représentés par une moyenne de 270 mg/l dont 37 % des puits dépassent les normes de l'OMS (200 mg/L).

3.8. Les bicarbonates

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique, produisant l'acide carbonique qui attaque la calcite. Les concentrations des bicarbonates dans la nappe de Nador oscillent entre 211 et 570 mg/L, avec une moyenne de 390.5 mg/L pour la période des hautes eaux 2004. Certains puits côtiers possèdent des concentrations remarquables (P153, P13B, P127 et P161).

3.9. Les nitrates

Les teneurs en nitrates qui dépassent les normes de l'OMS représentent les eaux dans 43 % des puits qui se situent essentiellement au centre de la plaine. Cet élément est un indicateur de pollution d'origine, essentiellement, agricole. C'est l'utilisation irrationnelle des produits phytosanitaire et des engrais qui provoque ce type de pollution et dégrade la qualité des eaux souterraines, en particulier, les eaux des nappes libres proches de la surface.

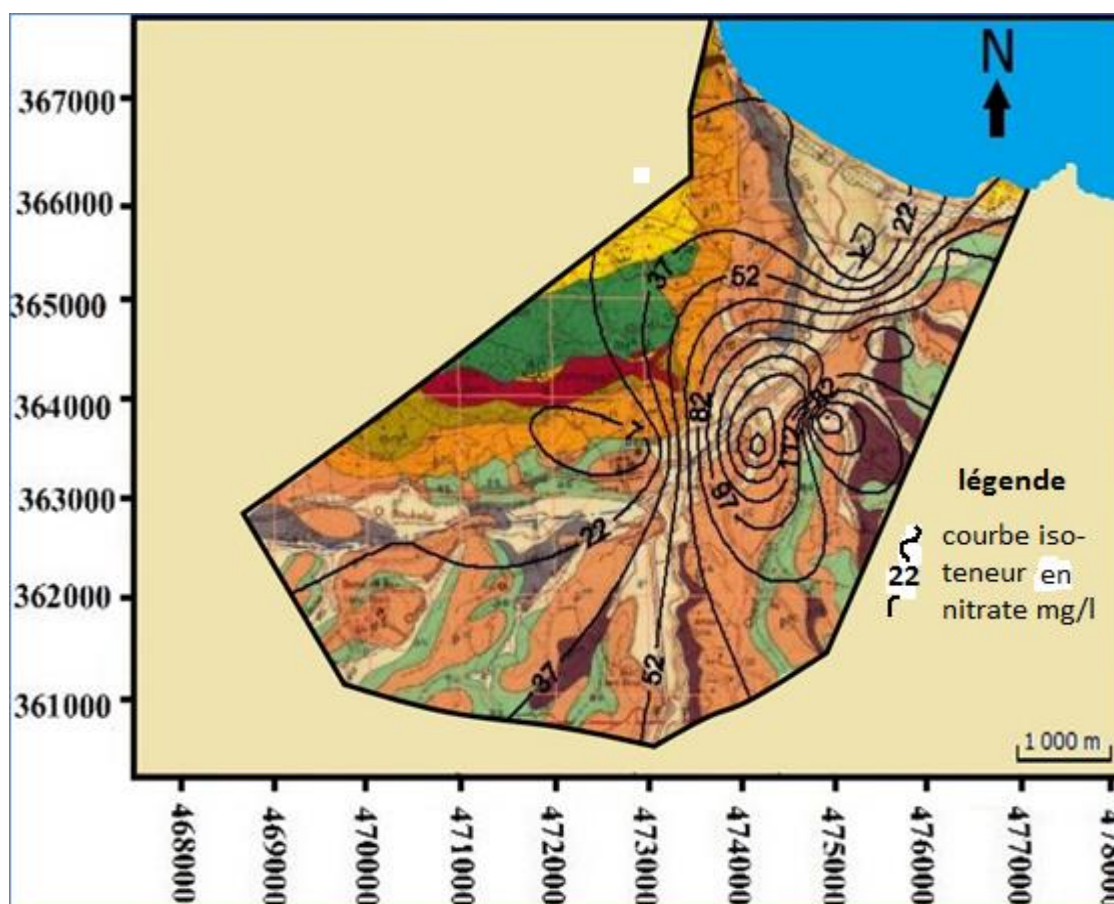


Figure IV 4. Carte d'iso-teneur en nitrates des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, Avril 2004.

On constate que les paramètres analysés présentent des dépassements des normes en vigueur dans plusieurs points du réseau de surveillance de la qualité de la nappe relative à la campagne des hautes eaux de 2004. La conductivité et les chlorures sont les éléments qui présentent des écarts les plus importants par rapport aux normes.

4. Campagne hydro-chimique mai 2009

Pour la détermination de l'état qualitatif des eaux de la nappe de l'oued Nador, on a utilisé les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur les prélèvements réalisés lors de la campagne piézométrique du mois de mai 2009 par le service de l'ANRH de Blida (tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des résultats des analyses physicochimiques de la plaine de l'oued Nador, campagne ANRH Blida, mai 2009.

	Cl ⁻	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	R.S	C.E	pH
Max (mg/l)	600	273	107	300	431	125	476	2147	3260	7,6
Min (mg/l)	179	115	19	145	111	13	303	1219	1690	7
Moy (mg/l)	383,5	194	63	222,5	271	69	389,5	1983	2475	7,3
Normes OMS 2006 (mg/l)	250	200	150	200	200	50	/	/	1500	6,5 à 8,5
% > aux Normes	91%	50%	0%	33%	41%	55%	/	/	100%	0

R.S : Résidu sec en mg/l.

C.E: Conductivité électrique en µs/cm.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

4.1. Le potentiel hydrogène pH

Les valeurs du pH mesurées sont comprises entre 7 et 7,6 enregistrées respectivement au niveau des points d'eau P153 et P146 (figure 5). Ces valeurs de pH répondent aux normes de potabilité qui exigent un pH entre 6,5 et 8,5. On note que les eaux analysées sont légèrement alcalines.

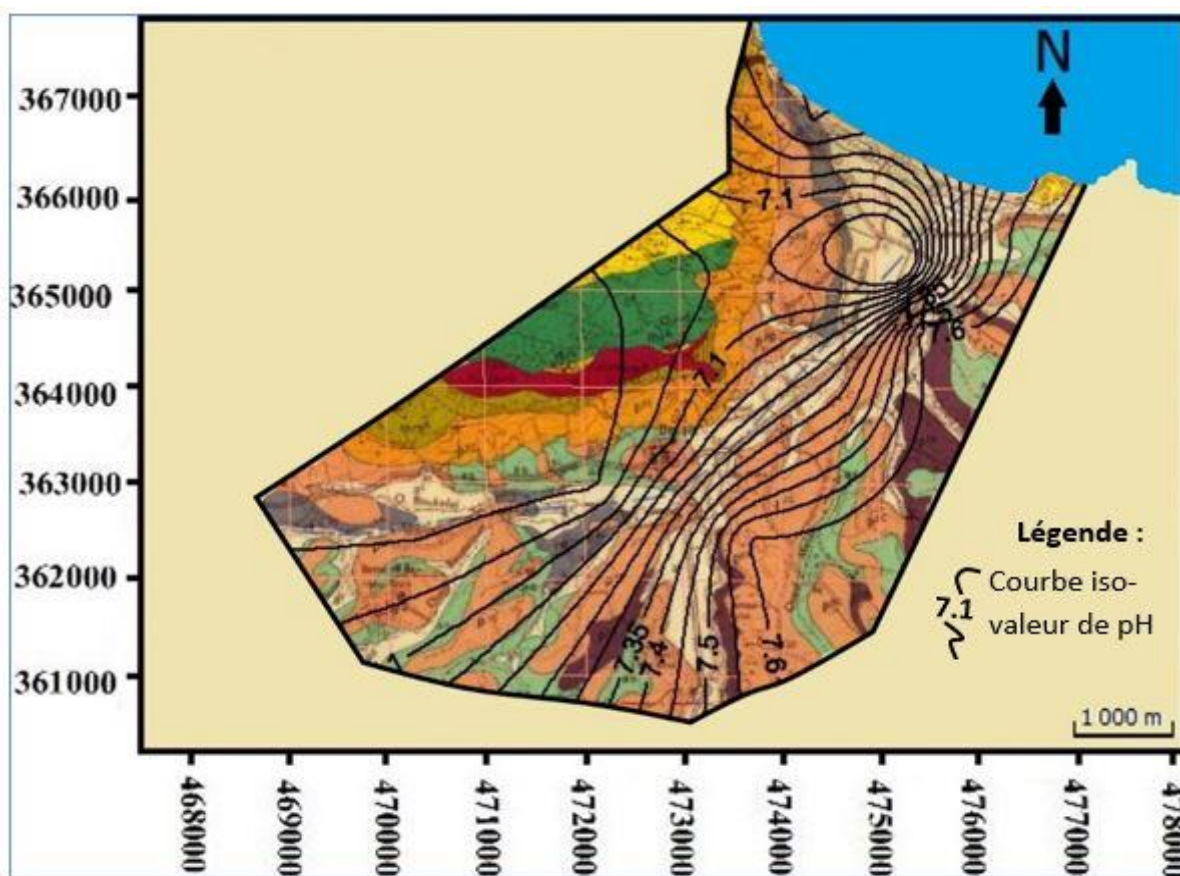


Figure IV 5. Carte d'iso-valeurs de pH des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, mai 2009.

4.2. La conductivité électrique CE

La conductivité électrique des eaux souterraines analysées montre des valeurs qui s'échelonnent entre 1690 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La figure 6 montre des courbes concentriques qui traduisent une augmentation de la conductivité dont le puits P 153B qui se situe au centre de cette forme et présente la conductivité la plus élevée (3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La localisation des points à conductivité élevée (PCRF, P13, P127 et P153B) proches de la mer, suppose une intrusion marine probable.

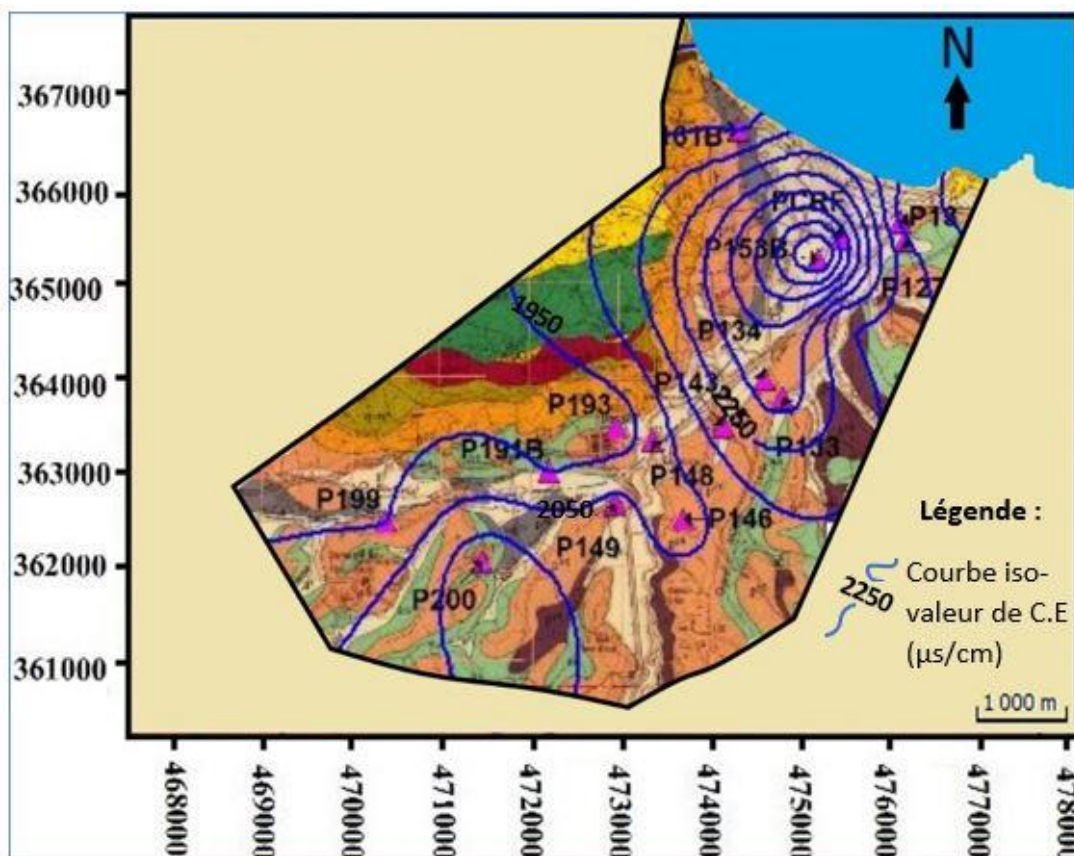


Figure IV 6. Carte d'iso-valeurs de conductivité électrique des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, mai 2009.

4.3. Le calcium

D'après les résultats des analyses effectuées, on constate que les eaux souterraines de la zone d'étude sont de bonne qualité par rapport à la teneur en calcium à l'exception de trois points où la concentration maximale admissible est légèrement dépassée (P153, P133, P200).

4.4. Le Magnésium

Tous les points d'eau présentent des concentrations inférieures à la valeur recommandée par l'OMS. On a enregistré une valeur minimale de 19 mg/l et une valeur maximale de 107 mg/l.

4.5. Le Sodium

La concentration maximale est enregistrée avec une valeur de 273 mg/l. On remarque que 50 % des puits dépassent les valeurs exigées par l'OMS.

4.6. Les Chlorures

Plus de 90% des points d'eau présentent des teneurs en chlorures qui dépassent la concentration admissible par l'OMS. Ils varient entre 179 à 600 mg/l respectivement aux puits P13 et P153. On remarque des teneurs très élevée dans presque tous les puits.

4.7. Les sulfates

Ils varient de 111 à 431 mg/l, respectivement aux points P191 et P153, dont la dernière valeur dépasse les normes de potabilité.

4.8. Les nitrates

Les teneurs en nitrates varient entre 9 mg/l et 125 mg/l, respectivement aux points P199 et P 133. On note que six points d'eau révèle des concentrations qui dépassent les normes de potabilité (P133, P13, P142, P146, P193, P149).

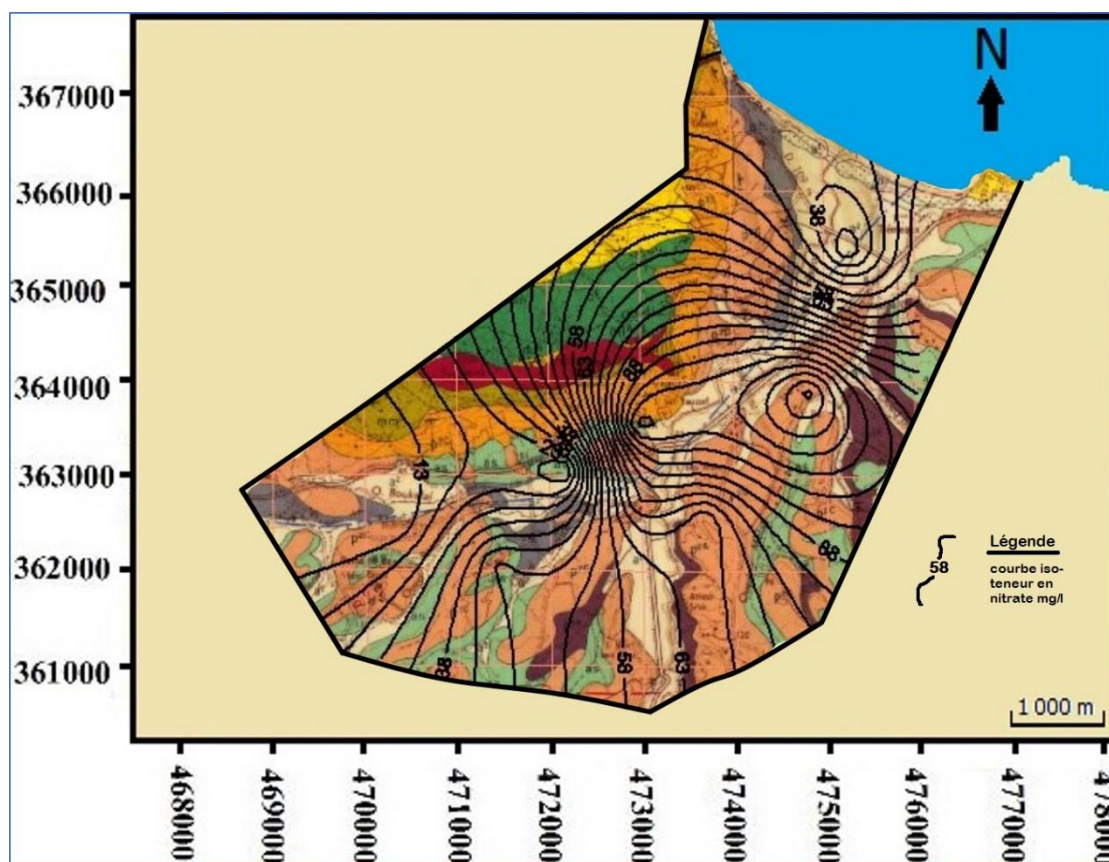


Figure IV 7 : Carte d'iso-teneur en nitrates des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, mai 2009.

5. Campagne hydro-chimique d'Octobre 2014

Dans ce qui suit, on présente l'état qualitatif des eaux de la nappe de l'oued Nador en se basant sur les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur les prélèvements réalisés lors de la campagne piézométrique d'octobre 2014 par les services de l'ANRH de Blida. Le tableau 4 récapitule les caractéristiques des paramètres physico-chimiques déterminées lors de cette campagne.

Tableau 3. Caractéristiques des résultats des analyses physicochimiques de la plaine de l'oued Nador, campagne d'octobre 2014. (ANRH de Blida)

	Cl ⁻	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	R.S	C.E	pH
Max (mg/l)	750	234	94	335	418	135	519	2708	4100	8,3
Min (mg/l)	96	55	5	95	67	13	336	813	1376	7,5
Moy (mg/l)	423	144,5	49,5	215	242	74	427	/	2738	7,9
Norme OMS 2006 (mg/l)	250	200	150	200	200	50	/	/	1500	6,5 à 8,5
% > aux Normes	91%	50%	0%	33%	41%	55%	/	/	100%	0

R.S: Résidu sec en mg/l.

C.E : Conductivité électrique en µs/cm.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

5.1. Le Calcium

Il varie de 95 à 335 mg/l. Ces valeurs sont enregistrées respectivement au niveau des points d'eau PCRF et P153. D'après les résultats obtenus, on constate qu'il existe 3 puits où la teneur en Ca^{++} dépasse les normes de potabilité (P153, P133, P100).

5.2. Le Magnésium

Ce paramètre varie entre 5 et 94 mg/l dans les eaux de la plaine de l'oued Nador. On constate que la concentration en ions de magnésium de tous les points d'eau est dans les Normes.

5.3. Le Sodium

Le sodium s'échelonne entre 55 et 234 mg/l. Cette dernière valeur, qui dépasse les normes, est enregistrée au niveau de puits P153 situé à quelque dizaine de mètres de la mer.

5.4. Les Chlorures

Les teneurs en chlorure varient de 96 à 750 mg/l. La valeur minimale est enregistrée dans le point PCRF, cependant, le P153 est marqué par la valeur la plus élevée (750 mg/l). Cette teneur, qui dépasse les normes de potabilité, est due, probablement, à l'effet du biseau salé.

5.5. Le pH

Les valeurs du potentiel hydrogène s'échelonne entre 7,5 et 8,2. Ceci, donne à l'eau souterraine un caractère légèrement basique (figure7).

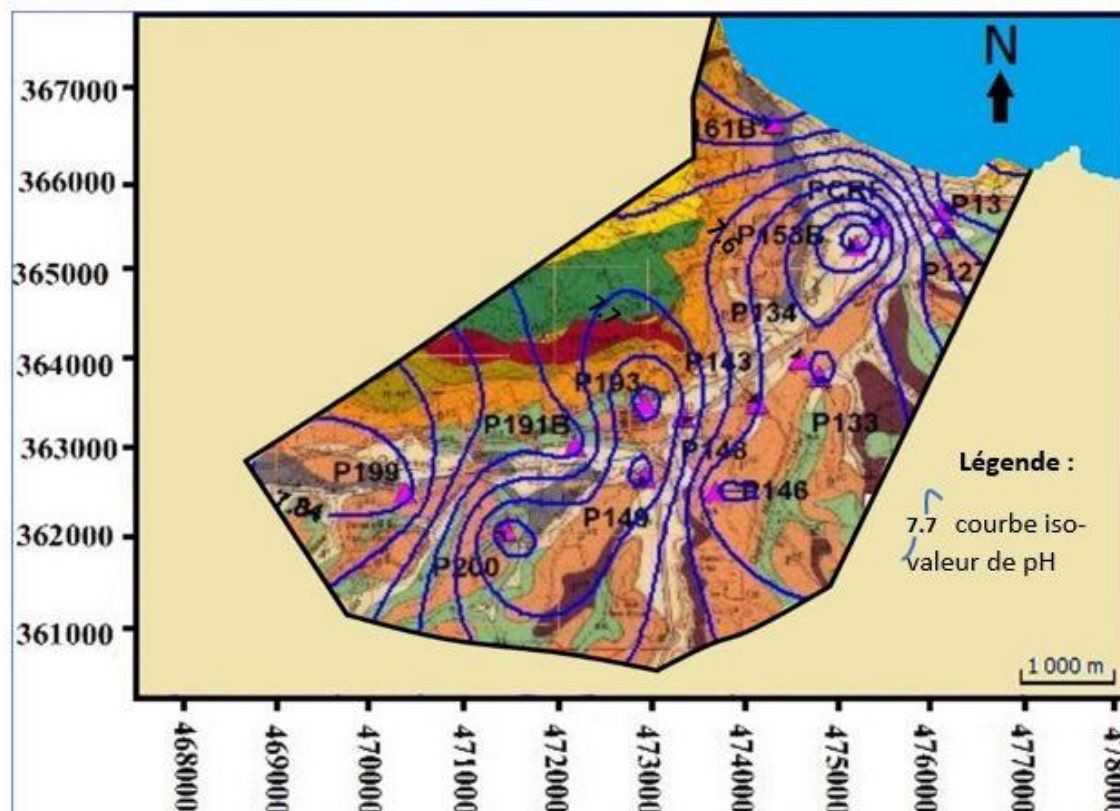


Figure IV 8. Carte d'iso-valeurs de pH des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, octobre 2014.

5.6. La conductivité électrique CE

La conductivité électrique des eaux de la plaine de l'oued Nador varie de 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mesurée au puits P134 à 4100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mesurée dans le point d'eau P153.

On note que les valeurs élevées de la conductivité de l'eau sont liées à sa teneur importante en sels dissous. Par ailleurs, en aval de l'oued Nador, une conductivité qui dépasse la norme a été observée. On constate que l'eau des puits situés dans cette zone est influencée par le phénomène de l'intrusion marine

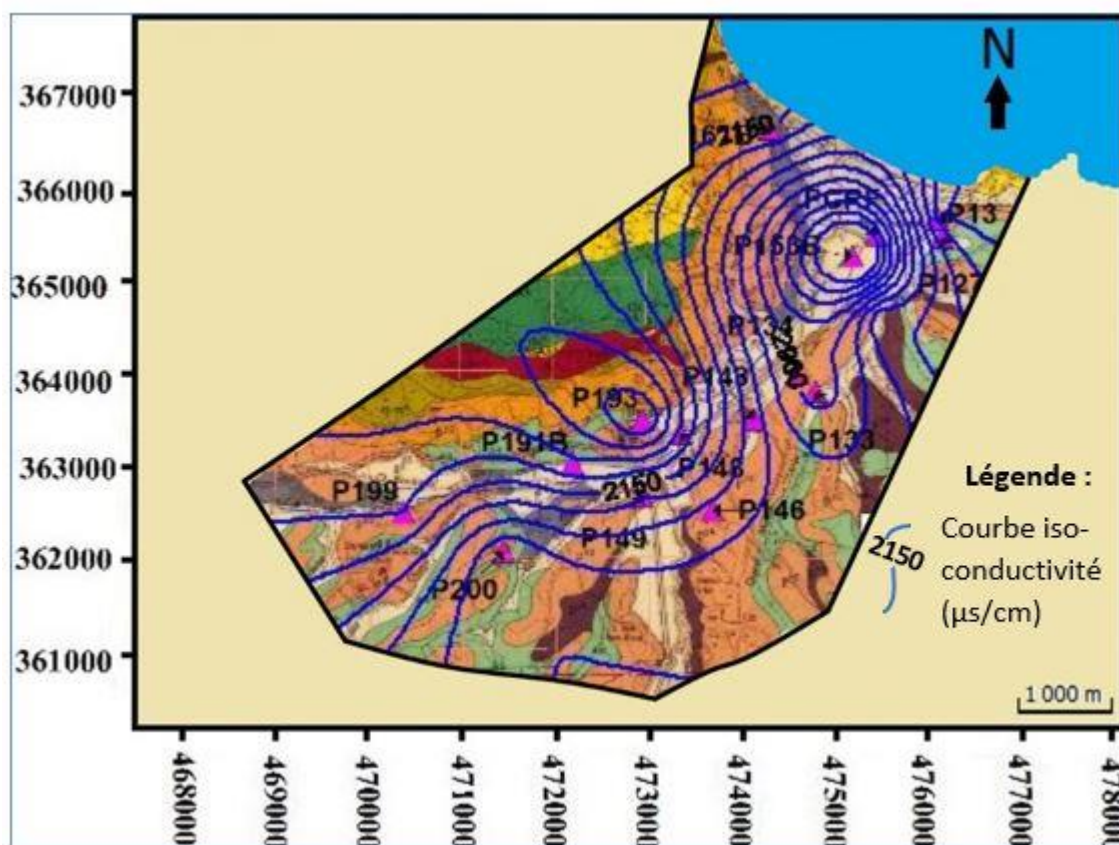


Figure IV 9 : Carte d'iso conductivité des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, Octobre 2014.

5.7. Les sulfates

Ils varient de 67 à 418 mg/l, respectivement aux points PCRF et P153, dont la dernière valeur dépasse les normes de potabilité.

5.8. Les nitrates

Les teneurs des eaux analysées en nitrates varient entre 13 à 135 mg/l. On remarque que dans 60 % des échantillons la norme (50 mg/l) est dépassée.

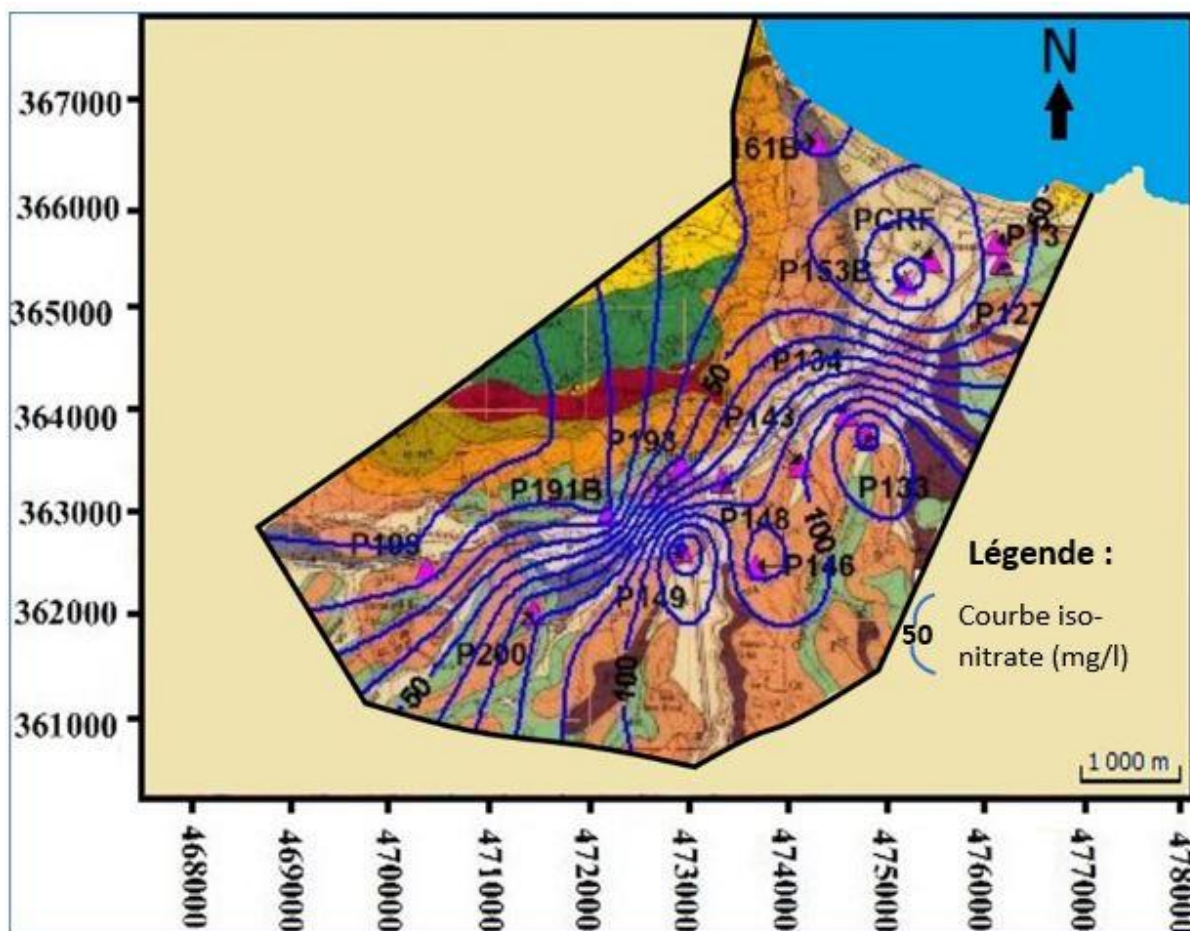


Figure IV 10. Carte d'iso-valeurs en Nitrate des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador, octobre 2014.

6. Evolution des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines entre 2004 et 2014

Afin de mettre en évidence les tendances des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la plaine de l'oued Nador, on étudiera l'évolution spatiale et temporelle de quatre paramètres à savoir : le pH, le résidu sec, la conductivité et la teneur en nitrates. Les mesures physico-chimiques in situ et les résultats des analyses hydro-chimiques relatives aux campagnes de 2004, 2009 et 2014 constituent les données sur lesquelles s'articule la présente étude.

6.1. Evolution de la conductivité électrique

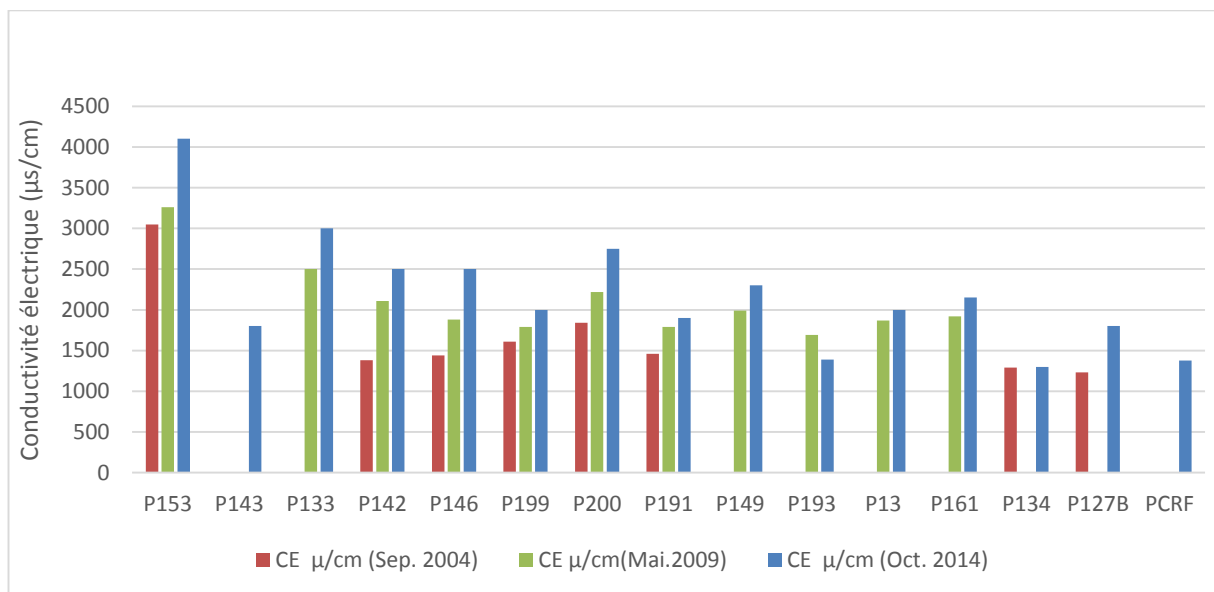


Figure IV 11. Evolution de la conductivité des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014.

La conductivité électrique des eaux souterraines de la nappe de l'oued Nador montrent une nette tendance à la hausse sur la période 2004-2014 (Figure11). On note des valeurs maximales qui atteignent 3050 $\mu\text{s/cm}$ (2004), 3260 $\mu\text{s/cm}$ (2009) et 4100 $\mu\text{s/cm}$ (2014) au niveau du puits (P153). La localisation de ce point d'eau très proche de la côte, appuie l'hypothèse d'une intrusion marine qui influe sur la concentration des sels dissous dans l'eau et par conséquent sur la conductivité électrique d'eaux souterraines. Il est également à noter que les eaux du P133 présentent des valeurs supérieures à la norme de l'OMS. Ces valeurs s'échelonnent entre 2500 à 3000 $\mu\text{s/cm}$. Dans les puits situés en amont (P199, P200, P146), on observe des conductivités électriques modérées variant entre 1500 et 3000 $\mu\text{s/cm}$. C'est, probablement, dû à l'influence des fertilisants utilisés en agriculture ou à l'accumulation des sels après l'évaporation ou encore par lessivage de l'engrais par les eaux de précipitation lors de l'infiltration et durant le temps de séjour des eaux souterraines dans l'aquifère. Par ailleurs, en 2004, on mesure des valeurs relativement moyennes à faibles qui ne dépassent pas 3100 $\mu\text{s/cm}$. Ceci, peut-être dû à la dilution des eaux vu les fortes précipitations enregistrées pendant cette année.

6.2. Evolution du pH

Le potentiel hydrogène, noté pH, est une mesure de l'activité chimique des hydrons en solution. Plus souvent, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution.

La période d'Octobre 2014 marque un pH plus élevé par rapport aux autres périodes précédentes (2004 et 2009). Les valeurs enregistrées dans tous les puits varient entre 7,5 et 8,3 (figure 12).

Bien que le pH mesuré dans les trois périodes, ne dépasse pas la norme de l'OMS qui exige 6,5 à 8,5, on observe une nette augmentation de ce paramètre en fonction du temps. On constate que les eaux de la plaine de l'oued Nador tendent à devenir basiques.

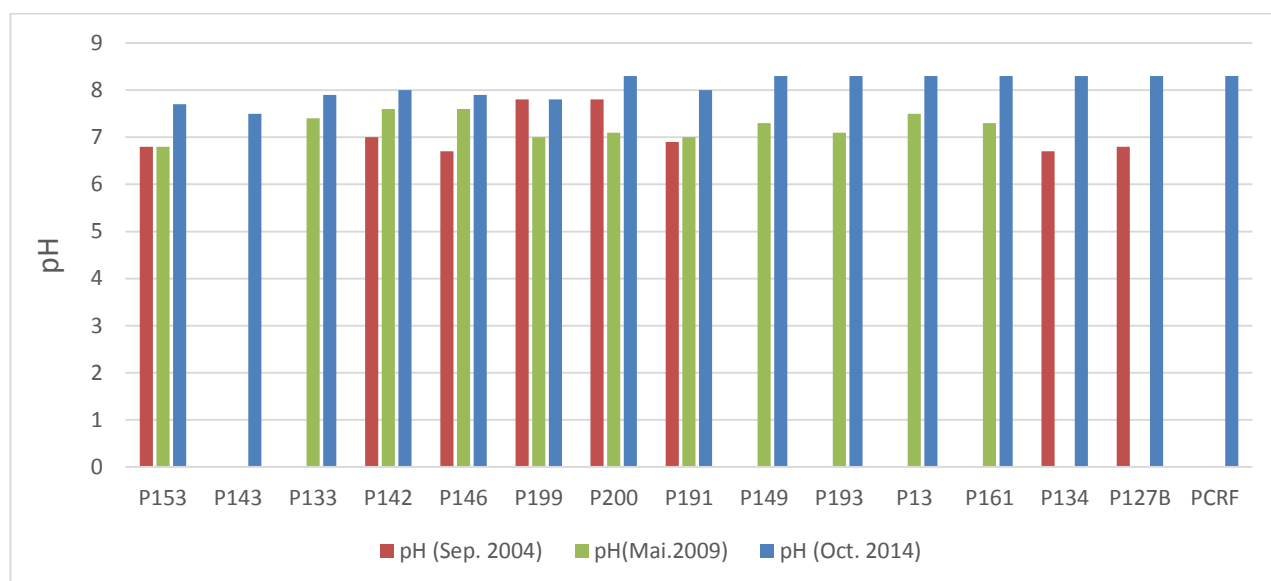


Figure IV 12. Evolution des valeurs du pH des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014

6.3. Evolution du résidu sec

Le résidu sec est conditionné par la structure hydrogéologique des terrains. Il exprime la totalité des sels dissous dans l'eau. Dans la plaine de l'oued Nador, le résidu sec varie entre 813 et 2708 mg/l pendant la période d'octobre 2014. Ces valeurs augmentent en allant de l'aval vers l'amont. Cette tendance est due probablement aux échanges des ions entre l'eau et le réservoir.

Aussi, des fortes concentrations sont observées en 2009. Les valeurs varient entre 1219 et 2147 mg/l, mesurées, respectivement, au niveau des puits P149 et P153. Par contre, les concentrations enregistrées en 2004 ne dépassent pas 1300 mg/l.

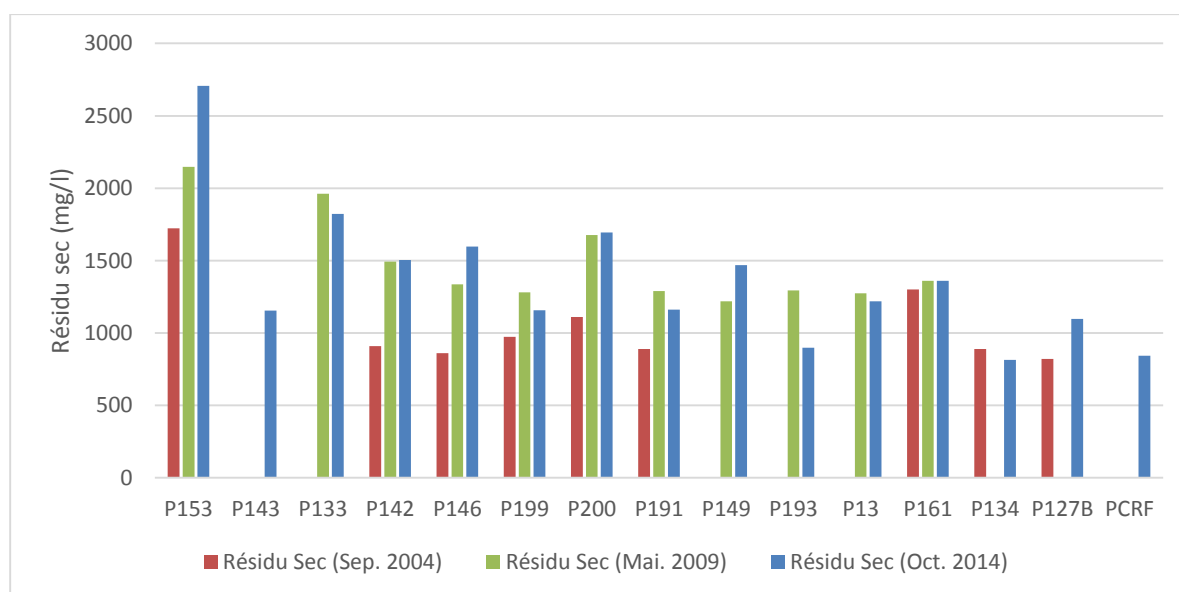


Figure IV 13. Evolution des valeurs du résidu sec des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014

On peut constater une évolution importante du résidu sec vers la hausse pendant les périodes 2009 et 2014. Cela est dû à la forte minéralisation d'eaux, qui est la conséquence du contact eau/roche, de

la contamination anthropique par certains éléments polluants ou encore l'invasion marine dans la partie aval de la plaine.

6.4. Evolution des nitrates

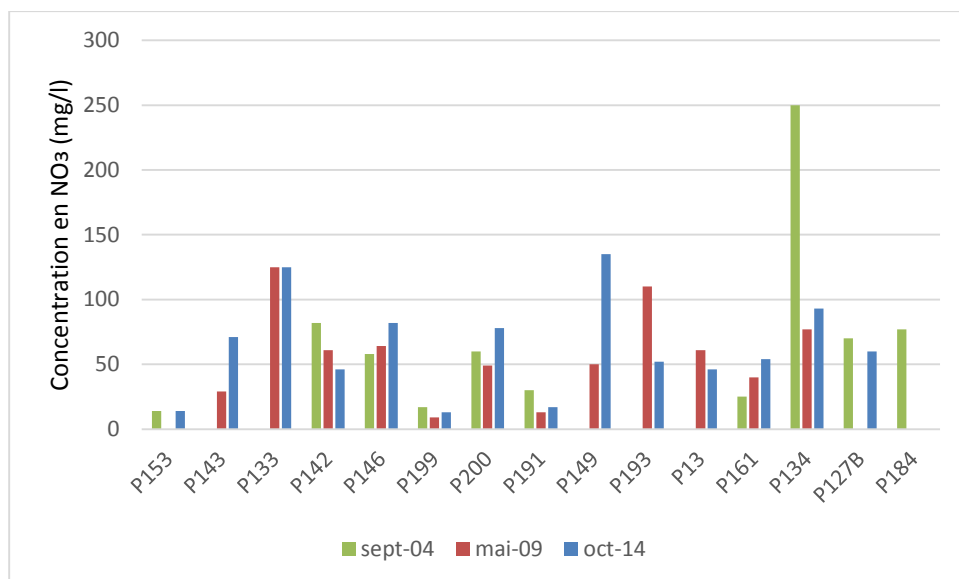


Figure IV 14. Les concentrations des nitrates des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador durant la période 2004-2014

En général, la présence des nitrates (NO_3^-) dans les eaux souterraines est d'origine anthropique. Elle est due à la dissolution des engrais riches en nitrates et l'infiltration des eaux usées.

Les fortes teneurs en nitrates sont enregistrées en période des basses eaux de 2014, elles varient entre 13 mg/l et 135 mg/l. Sur l'ensemble des eaux échantillonnées, 64% dépassent la norme de potabilité de l'OMS pour les nitrates (50 mg/l).

Les faibles teneurs sont enregistrées en période des hautes eaux de 2009 à l'exception des puits 133 et P193.

On remarque des faibles teneurs en nitrate durant la période des basses eaux 2004 par rapport aux autres périodes à l'exception de puits P134 où on mesure une forte teneur qui atteint 250 mg/l. on constate qu'il n'y a pas une tendance temporelle ou spatiale générale claire sur toute la plaine.

7. Conclusion

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador a abouti aux résultats résumés dans les points essentiels suivants :

- Plus de 90 % des points échantillonnés dépassent la norme admissible pour la conductivité électrique, suivant les périodes hautes eaux de 2004 et de 2009 et les basses eaux de 2014 ;
- Les eaux souterraines très chargées en Cl^- et Na^+ sont prélevées dans les puits situés proche de la mer, en aval de la plaine. Ces teneurs élevées sont expliquées par un probable avancé de l'eau de mer ;
- La comparaison des résultats d'analyse physico-chimiques entre les trois périodes des hautes eaux 2004 et 2009 et les basses eaux 2014, montre qu'il y a une nette augmentation des différents paramètres. Par ailleurs, les fortes valeurs sont, en général, mesurées en aval de la plaine.
- Bien que le pH ne présente pas une nette variation spatio-temporelle, les eaux souterraines analysées en 2014 présentent un caractère légèrement plus basique relativement aux eaux souterraines des campagnes antérieures ;
- Les teneurs en nitrates, qui ne cessent d'augmenter entre 2004 et 2014 dans plusieurs puits de la plaine, marquent une pollution d'origine agricole. Ce phénomène, qui menace la qualité de la ressource souterraine s'amplifie d'année en année depuis 2004. Par ailleurs, dans la zone d'étude qui est à vocation, essentiellement agricole, l'utilisation irrationnelle des produits phytosanitaires est à l'origine de ce type de pollution. Durant les trois périodes 2004 ,2009 et 2014, plus de 55 % des puits sont contaminés ;
- Les valeurs de la conductivité électrique les plus élevées sont mesurées en 2014 dont le maximum atteint est de $4100 \mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau du puits P153 qui est proche de la mer, Ceci peut être expliqué par l'avancé des eaux marine vers le continent. On constate, en effet, une hausse progressive et continue de la conductivité électrique des eaux souterraines sur l'ensemble de la plaine durant la période 2004-2014.

Chapitre V

CHAPITRE V : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE L'OUED NADOR : FACIES CHIMIQUES ET ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (A.C.P.)

1. Introduction

Ce chapitre porte essentiellement sur l'étude de la qualité chimique des eaux du système aquifère de l'oued Nador. Cette étude s'articule sur la détermination des faciès chimiques des eaux en utilisant le diagramme de piper et celui de Schöeller-Berkaloff et une approche statistique (ACP) afin de déterminer les faciès chimiques, l'origine et le processus de la minéralisation des eaux souterraines.

2. Détermination des faciès chimiques des eaux souterraines de la zone d'étude

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles, on peut citer :

- Le diagramme de Piper,
- Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- Le diagramme de Stiff,
- Le diagramme à coordonnées rayonnantes.

Dans notre étude, seules deux représentations graphiques qui ont été retenues et utilisées, à savoir, le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme triangulaire de Piper.

2.1. Le Diagramme de Piper

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de Piper permet également :

- D'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes,
- D'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques,
- D'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant,
- La projection de plusieurs échantillons en même temps pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace, et avoir une idée sur la notion de mélange,
- De suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

2.2. Le diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites.

L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. Cette représentation permet aussi la détermination du faciès d'une eau. En effet, le diagramme de Schöeller-Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments majeurs de ces eaux, de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques.

Dans la présente étude, on a adopté les deux représentations graphiques (Piper et Schöeller-Berkaloff), pour déterminer les faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador.

2.3. Classification des eaux

2.3.1. Classification des eaux de la campagne d'avril 2004

Les diverses analyses relatives aux 16 points d'eaux souterraines du bassin de l'oued Nador sont représentées dans le diagramme de piper (figure 1)

Les eaux se répartissent selon les trois familles de faciès essentielles suivantes :

- Le faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien : il correspond à 87 % des échantillons. Ce sont les puits : P134, P198, P133, P147, P153, P142, P143, P127, P200, P199, P193, PCRF, P191 et F191B.
- Le faciès bicarbonaté sodique et potassique est déterminé dans le puits P161.
- Le faciès chloruré sodique et potassique est déterminé dans le puits P13.

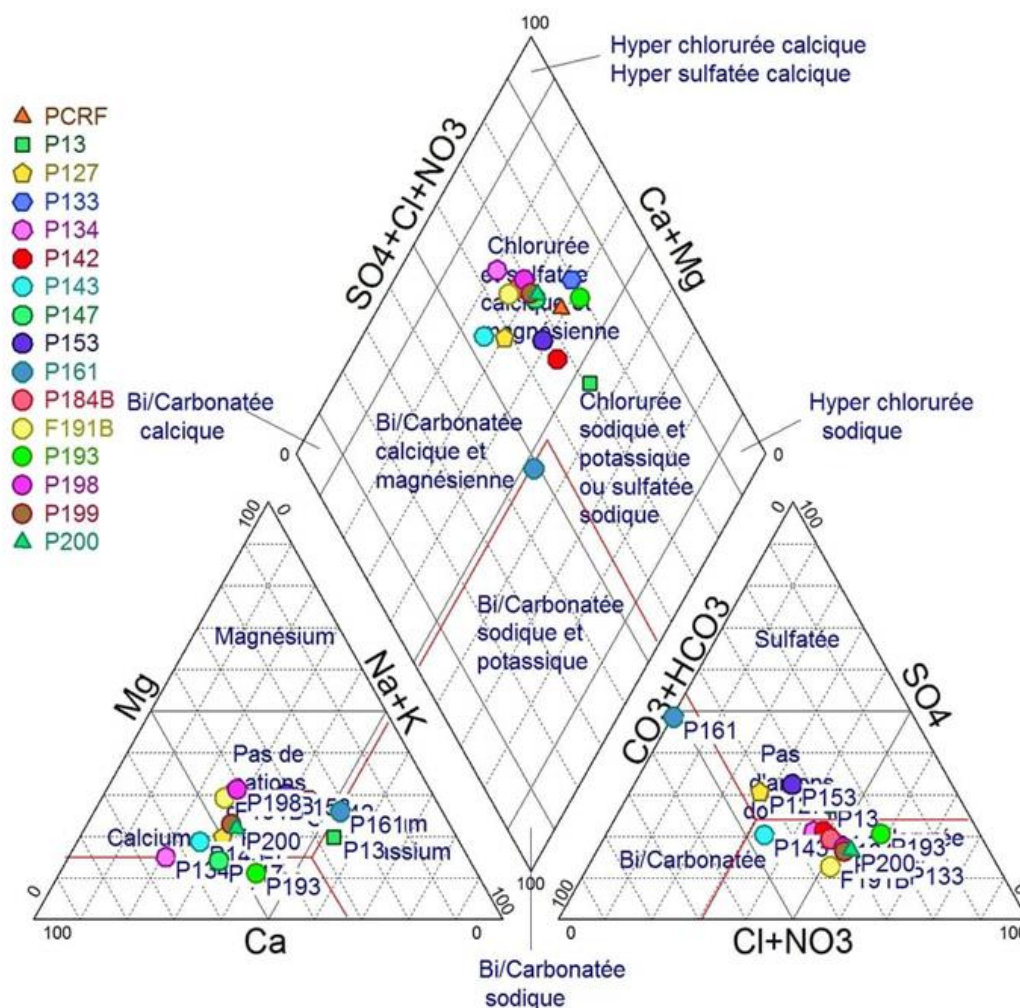


Figure V 1. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'oued Nador selon le diagramme de Piper, campagne d'avril 2004.

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff (figure 2) montre la présentation graphique des résultats des 16 analyses effectuées en avril 2004. On constate que les eaux souterraines analysées présentent trois faciès : chloruré potassique et sodique et chloruré calcique magnésien.

Le faciès bicarbonaté sodique et potassique est déterminé dans le puits P161.

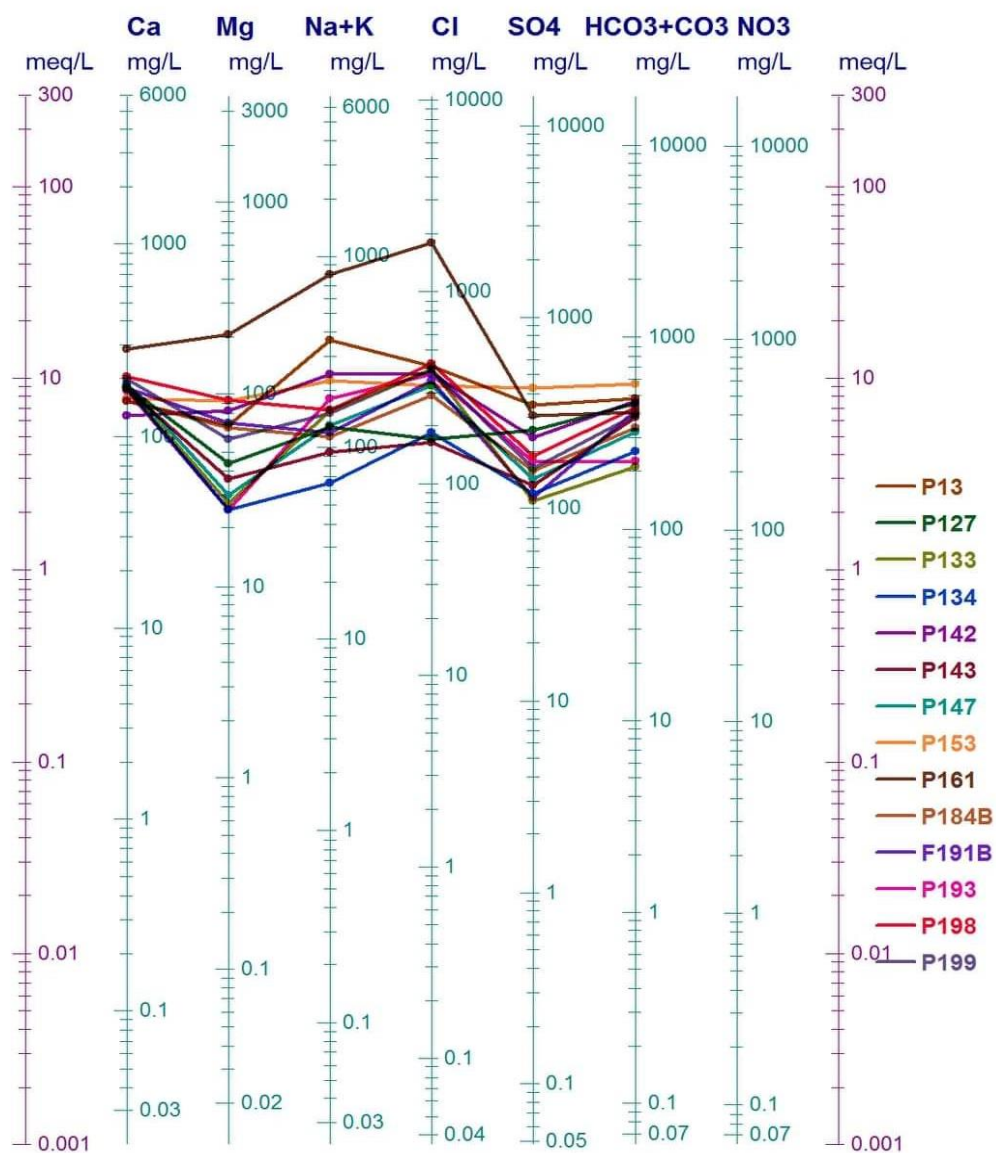


Figure V 2. Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, campagne d'avril 2004.

2.3.2. Classification des eaux de la campagne de mai 2009

La représentation graphique des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet d'avoir une idée globale sur la composition chimique des eaux.

D'après ce diagramme, on constate que les 12 points d'eau possèdent un facies chloruré et sulfaté calcique et magnésium (figure 3).

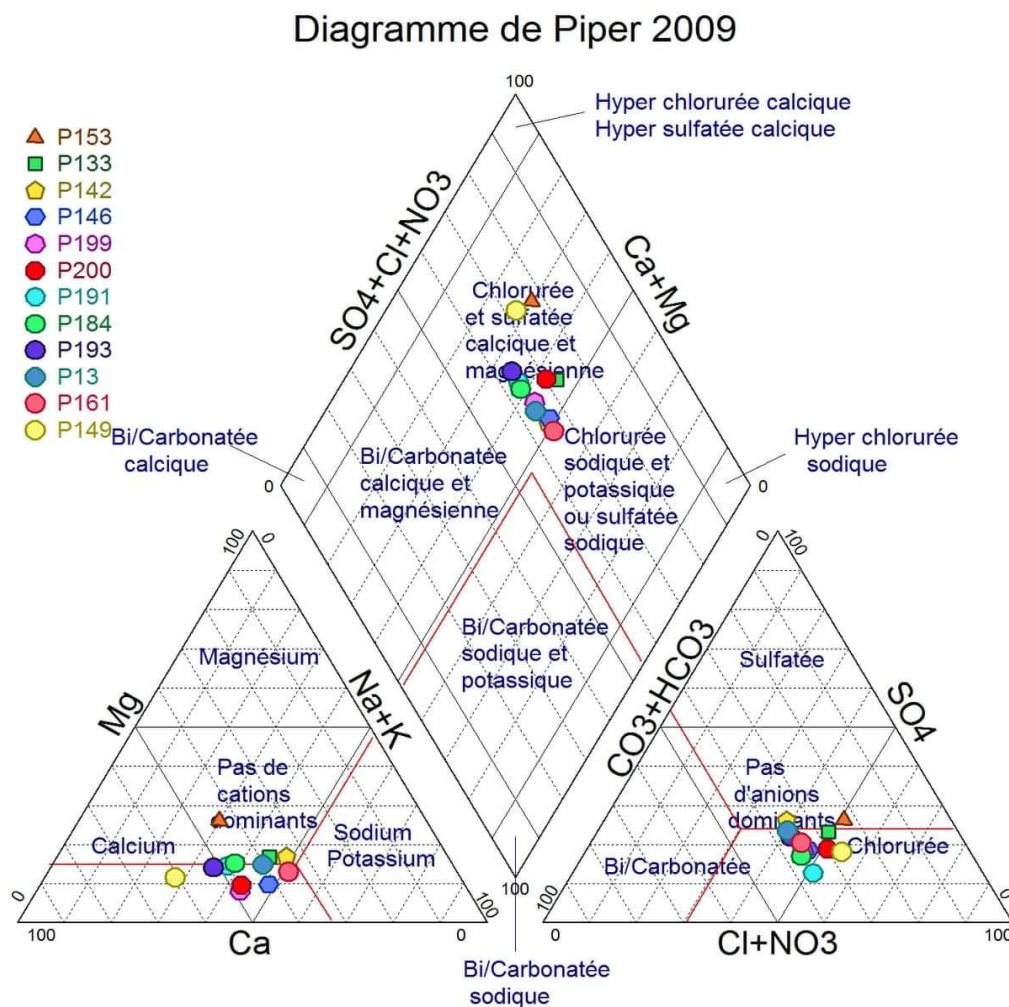


Figure V 3 : Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Piper, campagne mai 2009.

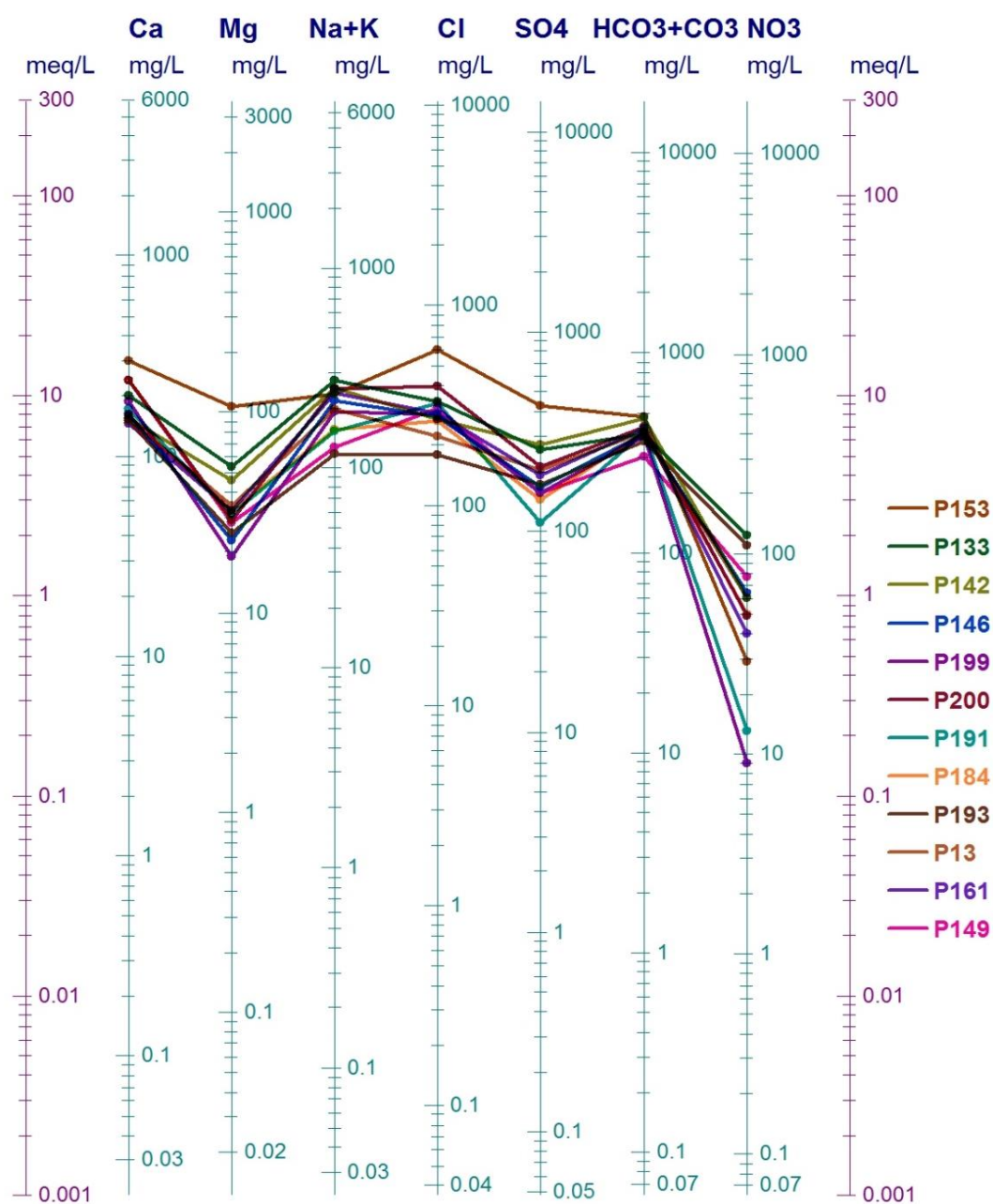


Figure V 1 : Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, campagne Mai 2009.

Sur ce diagramme de Schöeller-Berkaloff on distingue deux types de faciès : un faciès chloruré sulfaté calcique et un faciès magnésien sulfaté sodique correspond au puits 153.

2.3.3. Classification des eaux de la campagne d'Octobre 2014

Selon le diagramme de piper réalisé par la projection des résultats des analyses effectuées en octobre 2014 présenté dans la figure 5, on distingue une domination du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien (13 puits). Les deux autres échantillons de la campagne sont partagés entre un faciès bicarbonaté calcique et magnésien (PCRf) et un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique (P146).

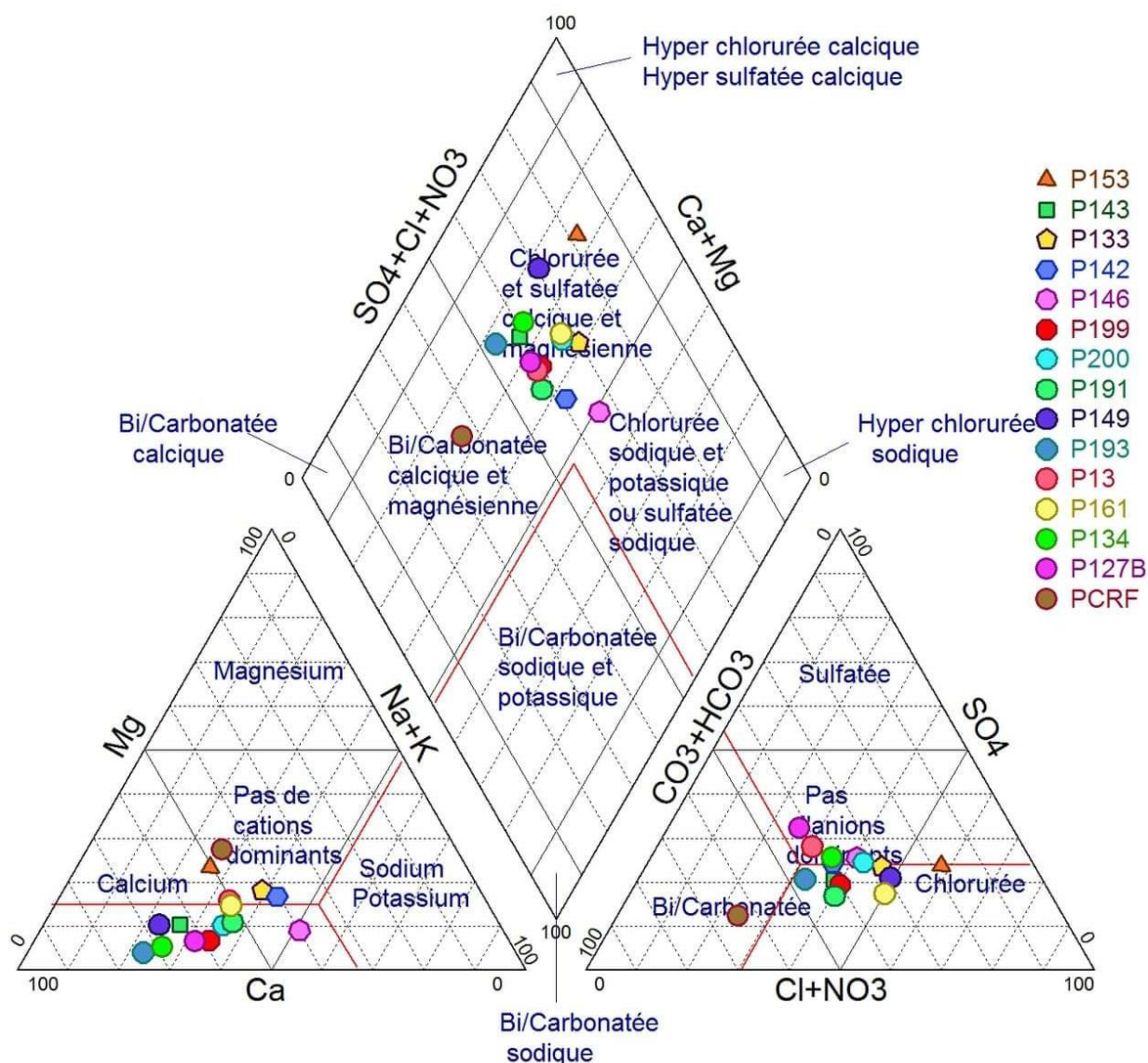


Figure V 5 : Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Piper, campagne oct. 2014.

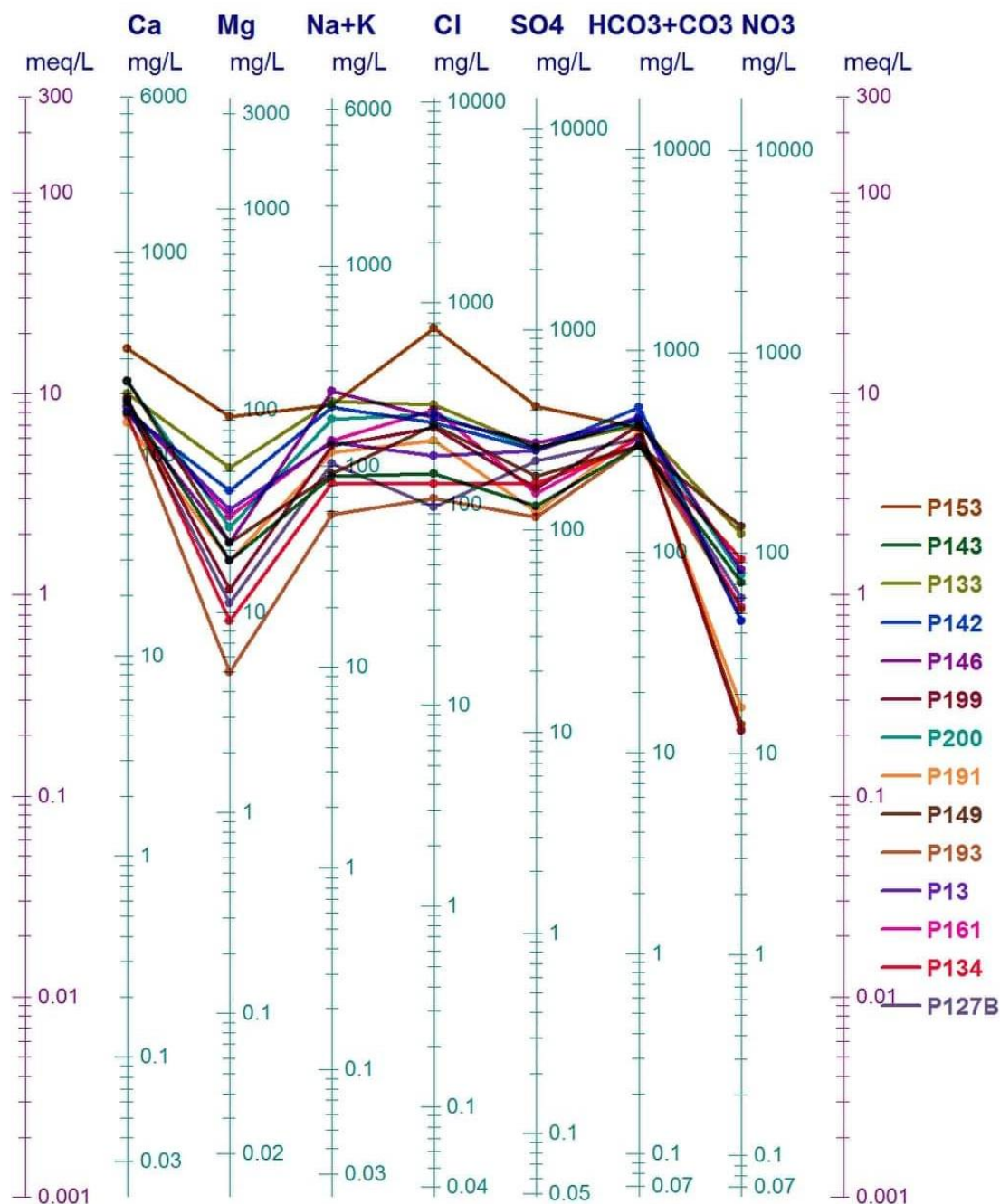


Figure V 6 : Facies chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued Nador selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, campagne Octobre 2014)

Selon ce diagramme (figure 6), on distingue un faciès très dominant dans la majorité des puits qui est chloruré sulfaté calcique et magnésien.

3. caractérisation hydrochimique par l'analyse en composantes principales (ACP)

3.1. Présentation générale de l'ACP

C'est une technique mathématique permettant de réduire un système complexe de corrélations en un petit nombre de dimension. La méthode a pour objet de décrire les données contenues dans un tableau d'individus et de caractères. Ce tableau s'appelle matrice des données. (BOUGECHETOULI M. 2011).

L'ACP est une méthode qui a l'avantage de résumer un ensemble de variables corrélées en un nombre réduit de facteurs non corrélés. Elle se déroule en 4 étapes :

- 1- Normalisation des données.
- 2- Calcul d'une matrice de similarité.
- 3- Recherche des éléments propres.
- 4- Représentation des individus dans le nouvel espace.

Dans notre étude, on procède aux calculs de la matrice et la représentation des individus dans le nouvel espace.

3.2. But de l'ACP

L'intérêt majeur de l'ACP est d'offrir la meilleure visualisation possible des données multivariées, en identifiant le ou les plans dans lesquels la dispersion est maximale ; mettant ainsi en évidence avec le maximum de précision les relations de proximité et d'éloignement entre les variables. Les « composantes principales » désignent les axes orthogonaux qui structurent les données et qui rendent compte de cette variance maximale.

L'ACP permet, dans un premier temps, de visualiser les relations entre les variables. Puis le chercheur, ou l'expert, doit réaliser un travail d'interprétation afin de renommer les axes (composantes principales) et ainsi de résumer les données.

L'interprétation des axes est fondée sur l'analyse des contributions de chaque variable à chaque axe. Enfin, une fois l'espace des variables est interprété, l'ACP permet de positionner les individus, ou les groupes d'individus, dans le nouvel espace, et de visualiser leurs relations avec les axes d'une part, et leurs relations avec les autres groupes ou les autres individus d'autre part (AIT OUALI A. 2007).

3.3. Application et interprétation des résultats

L'analyse est établie sur 15 échantillons d'eau prélevées par l'équipe de L'ANRH (Blida), (Campagnes d'avril 2004 et d'octobre 2014,), concernant les douze variables suivantes le Calcium (Ca^{++}), le Magnésium (Mg^{++}), le Sodium (Na^+), le Potassium (K^+), les Chlorures (Cl^-), les Sulfates (SO_4^{2-}), les Bicarbonates (HCO_3^-), les Nitrates (NO_3^-), la conductivité électrique, le pH, et le résidu sec.

3.3.1. Campagne d'avril 2004

3.3.1.1. Réalisation et analyse de la matrice de corrélation

La matrice de corrélation est composée de coefficients de corrélations entre les variables et permet de distinguer les éléments corrélables entre eux, en tenant compte de la valeur et du signe du coefficient de corrélation.

La matrice de corrélation pour l'année 2004 montre une corrélation positive entre les couples suivants : (Ca, Mg), (SO₄, Na), (Ca, Na), (Mg, Na), (Mg, SO₄), (SO₄, HCO₃).

Les valeurs négatives enregistrées dans le tableau1 représentent les valeurs qui ne sont pas corrélables.

Ces éléments déterminent le faciès chimique tel que le faciès sulfaté sodique et calcique magnésien. L'origine de ces derniers provient du lessivage des terrains ou bien peut-être des roches carbonatées.

Le calcul de la matrice de corrélation inter-variable donne le tableau suivant.

Tableau 1. Matrice de corrélation, campagne du mois d'avril 2004.

Variable	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	CE	M ⁺	R. sec	pH
Ca	1											
Mg	0.5504	1										
Na	0.5657	0.8789	1									
K	-0.0901	0.2949	0.4356	1								
Cl	-0.3469	-0.3764	-0.4336	-0.0270	1							
SO ₄	0.0346	0.5288	0.5486	0.2239	-0.0910	1						
HCO ₃	0.0697	0.4726	0.2653	-0.1276	0.0538	0.7442	1					
NO ₃	-0.1197	-0.1851	-0.2477	-0.3413	-0.3452	-0.1885	0.0613	1				
CE	-0.4068	-0.2324	-0.3292	-0.0984	0.8384	0.3400	0.5115	-0.1181	1			
M ⁺	-0.0489	-0.3134	-0.2803	-0.1944	-0.4439	-0.3298	-0.2322	0.7708	-0.3560	1		
R.sec	-0.0292	-0.2487	-0.2156	-0.1327	-0.2843	-0.2452	-0.3479	0.4461	-0.2934	0.6324	1	
pH	-0.0206	0.0690	0.1947	0.2831	-0.0948	0.1731	0.0922	0.0167	0.0025	-0.1789	-0.2526	1

3.3.1.2. Interprétation des axes

Les deux axes présentent 57,9 % de l'inertie totale :

Sur le premier axe, les éléments (Ca, Mg), (Na, Mg), (Mg, SO₄), (SO₄, HCO₃) sont corrélées positivement au premier facteur avec près de 33,82 %.

Le deuxième axe contient 24,08 % de l'information initiale. On remarque que les nitrates ne se sont pas corrélés avec les autres éléments.

On peut dire que le premier axe est représentatif des faciès sulfatés calcique magnésien et sulfaté sodique. Une bonne corrélation entre les chlorures et la conductivité $r > 0,8$ exprime la grande influence des chlorures sur la salinité des eaux. Les chlorures proviennent probablement des eaux de mer.

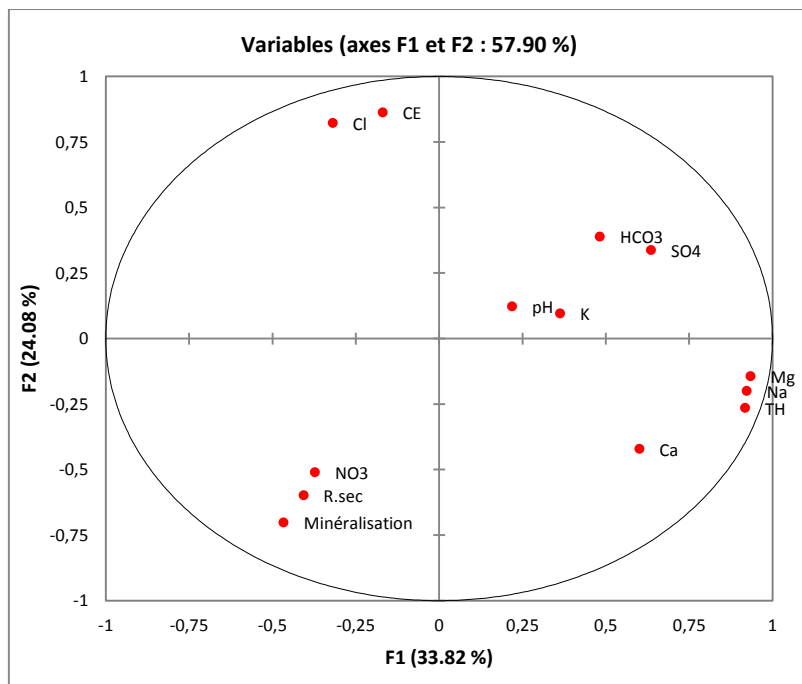


Figure V 7. Projection des variables sur le plan 1 et 2.

3.3.1.3. Représentation des individus sur le cercle de corrélation

Chaque échantillon est repéré par un numéro d'identification de puits. La projection des individus sur les plans F1 – F2 montre deux groupes de population qui se développent sur ces deux axes :

- Une population dont les individus sont relativement concentrés dans la zone centrale et qui présentent par conséquent un chimisme apparenté.
- Une population dont les individus sont dispersés (P143, P134, P161), ce qui se traduit par leurs chimismes différents.

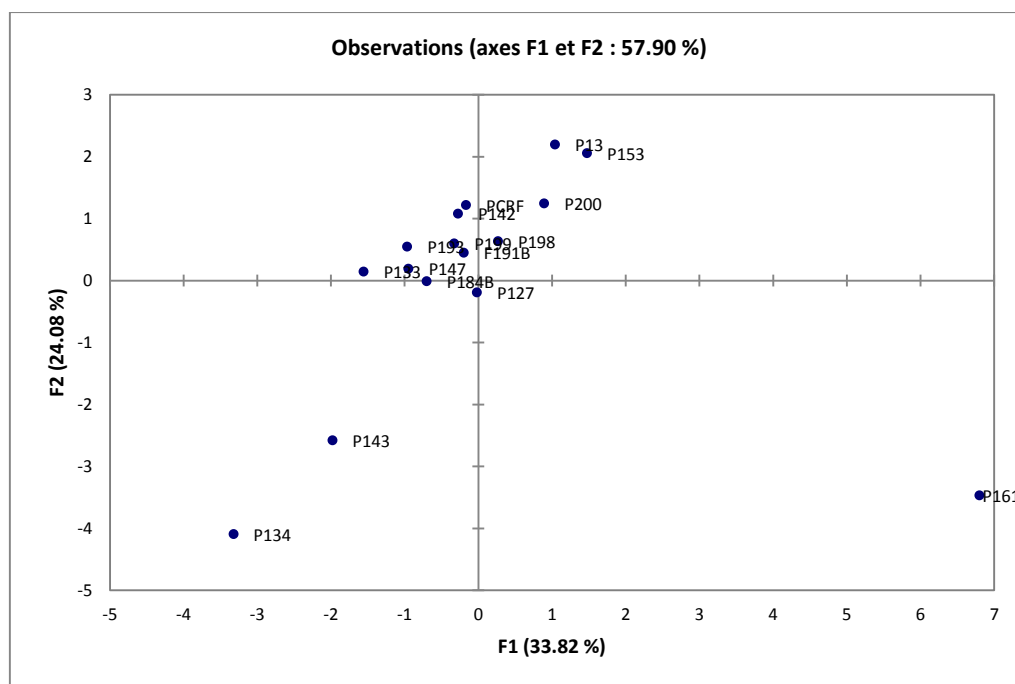


Figure V 8. Repartitions des individus sur l'axe 1 et 2, campagne Avril 2004

3.3.2. Campagne d'octobre 2014

3.3.2.1. Réalisation et analyse de la matrice de corrélation

Tableau 2 : Matrice de corrélation, campagne de mois octobre 2014.

Variables	Ca	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K	Cl ⁻	SO ₄	HCO ₃	NO ₃ ⁻	CE μ/cm
Calcium	1								
Magnésium	0.629	1							
Sodium	0.398	0.585	1						
Potassium									
Chlorures	0.830	0.874	0.638		1				
Sulfates	0.773	0.726	0.783		0.793	1			
Bicarbonates	-0.123	0.383	0.641		0.209	0.389	1		
Nitrates	0.207	-0.171	0.146		-0.117	0.137	-0.311	1	
CE μ/cm	0.793	0.854	0.801		0.927	0.878	0.362	0.078	1

L'examen de la matrice de corrélation de l'année 2014 permet de voir que pratiquement toutes les variables sont corrélées entre elles. Il existe une forte corrélation entre la conductivité électrique, le sodium, le chlorure et le magnésium. Cette matrice nous permet d'avoir une idée sur les principales associations ioniques rencontrées au niveau des eaux de notre nappe qui sont (Ca, Mg), (Ca, Cl), (Na, Cl), (Na, SO₄), (Mg, Cl), (Na, HCO₃), (Cl, SO₄).

Les éléments corrélés présentent la même origine, par exemple les couples (Cl, SO₄), (Ca, Mg), (Na, HCO₃) et sont inclus dans les faciès chimique existants dans la région d'étude (chloruré sulfaté calcique et magnésien), (bicarbonaté calcique).

L'origine de ces derniers provient des roches carbonatés et évaporitiques. On remarque aussi dans cette matrice que les nitrates ne présentent aucune corrélation avec les autres éléments car ce sont la conséquence de la contamination anthropique des eaux souterraines à travers une activité agricole.

3.3.2.2. Interprétation des axes

Les deux facteurs (axes) présentent 80,46 % de l'inertie totale.

Sur le premier plan, les éléments sont corrélés positivement au premier facteur avec près de 61,71 % de l'inertie totale.

Le deuxième axe contient 18,75 % de l'information initiale. Ce dernier met en opposition les bicarbonates, le sodium et le magnésium aux autres variables (les nitrates, calcium, chlorures).

L'isolement du NO₃ dans son propre groupe traduit une présence anormale de pollution. L'origine de cette pollution pourrait être causée par les engrais chimiques.

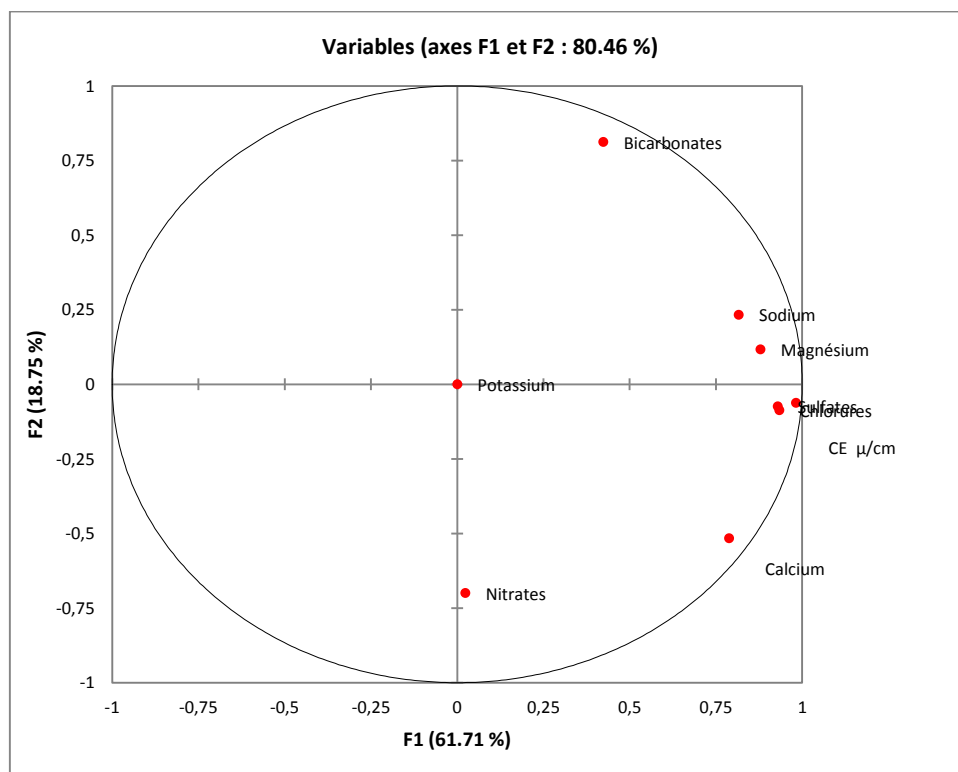


Figure V 9. Projection des variables sur le plan 1 et 2, campagne oct. 2014.

3.3.2.3. Représentation des individus sur le cercle de corrélation

La projection du nuage des échantillons sur le plan 1 et 2 montre que les points sont plus ou moins dispersés. Le nuage de ces points présente un allongement presque parallèle à l'axe 1. On note un rapprochement entre les points qui se traduit par leur chimisme proche (chloruré sulfaté et calcique magnésien) dans les puits P153, P199, P133, P200, P146.

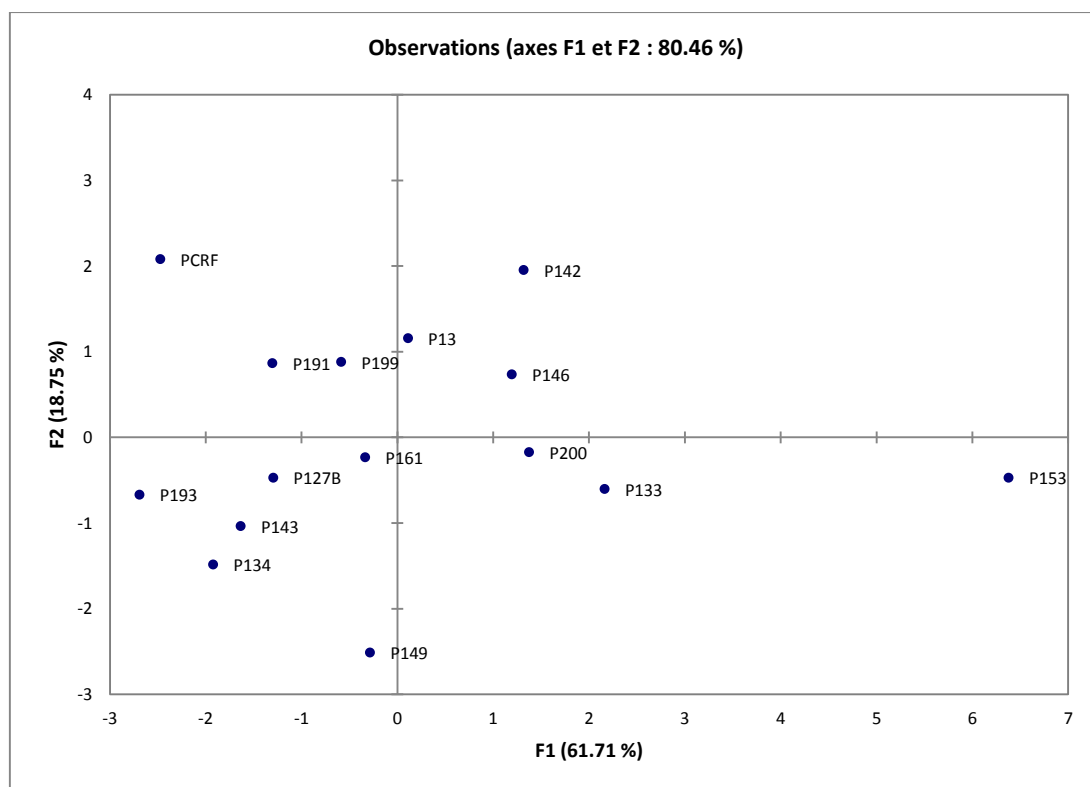


Figure V 10. Repartitions des individus sur l'axe 1 et 2, campagne Octobre 2014.

4. Conclusion

L'étude et l'interprétation des données hydrochimique des eaux souterraines dans la région d'étude nous a permis de faire les conclusions suivantes :

- Pour les eaux souterraines de la campagne 2004, les facies chimiques dominant sont chlorurés sulfatée et calcique magnésienne. Deux autres faciès sont identifiés : le facies chloruré sodique pour le puits (P13) et bicarbonaté sodique dans le puits (P161).
- Dans les échantillons prélevés lors de la campagne de 2009, plus de 90 % des puits ont le même facies chimique (chlorurés sulfatée et calcique magnésienne).
- Les familles de facies caractéristiques des eaux étudiées de la campagne 2014 : le facies chloruré calcique et magnésien, chloruré sodique magnésien, facies sulfaté calcique. L'origine de ces éléments chimiques est les roches carbonatées et le lessivage des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'aquifère.
- On note des teneurs élevées en nitrates dans plusieurs puits de la plaine dues aux produits phytosanitaires employés de manière irrationnelle en agriculture. Ce constat est plus marqué dans les eaux prélevées lors de la campagne d'octobre 2014. Les analyses effectuées sur les échantillons de cette campagne ont révélé un dépassement des normes dans la majorité des points d'eau.
- L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de déterminer les éléments responsables de la variabilité du chimisme des eaux souterraines.

- L'utilisation de cette méthode statistique en hydrochimie (ACP), permet d'analyser plusieurs échantillons simultanément à partir des différentes représentations graphiques. On a abouti à une classification du chimique des eaux de la nappe.

CONCLUSION GENERALE

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de plus de 1300 Km². Cette plaine qui est située dans l'arrière-pays d'Alger. D'Ouest en Est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, Blida, Alger, Boumerdès et l'extrême Nord-est de Médéa. La région d'étude appartient à par la Mitidja Ouest et s'inscrit dans le sous bassin versant qui prend le code (0203) dans l'inventaire de l'ANRH.

La nappe de l'oued Nador, est limitée par la mer méditerranée au Nord, par les pentes de Sahel au Sud et à l'Est et par le massif de Chenoua à l'Ouest. La zone d'études est caractérisée par un climat de type méditerranéen semi-humide à deux saisons distinctes : un hiver doux et humide et un été chaud et sec. La température moyenne est de 17,03 °C et la pluviométrie moyenne annuelle est de 720,6 mm.

Dans le second chapitre, on a présenté les caractéristiques géologiques régionale et locale. De point de vue géologique la région fait partie du domaine tellien constituant la ride du Sahel, formée essentiellement par des sédiments mio-plio-quadernaires. La zone d'étude de l'oued Nador est constituée par des remplissages plio-quadernaires dont le substratum argileux et marneux est d'âge plaisancien.

Quant à l'hydrogéologie de la zone d'étude, on a pu établir des cartes piézométriques à l'aide des données récupérées au niveau de l'ANRH. On a remarqué une augmentation du niveau piézométrique de 2004 à 2014. On note que les années 2000 sont marquées par le retour des précipitations qui assurent la recharge de la nappe.

L'étude de la qualité physico-chimiques menée sur les eaux souterraines de la nappe de l'oued Nador montre que les puits situés en amont sont moyennement chargés où quelques éléments chimiques dépassent légèrement les normes de l'OMS, contrairement aux puits situés en aval qui présentent des teneurs généralement au-dessus des normes.

En fin, à l'aide de différentes méthodes (représentations graphiques et ACP), on a pu identifier le chimisme des eaux souterraines de la nappe et ainsi que les différents types de faciès chimiques. Dans les eaux souterraines le faciès chloruré sulfaté calcique et magnésienne qui est dominant par rapport aux autres faciès (bicarbonaté calcique, sulfaté sodique et chloruré sodique et potassique).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIT OUALI A. (2007).** Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution de système aquifère quaternaire de la MITIDJA. Mémoire de Magister, USTHB.
- AYME A. (1954).** Etude des terrains néogènes de la cluse mazafrain sahel d'Alger Thèse Doctorat.
- BENMEDDAH (2018).** Etablissement de carte de ressources en eaux souterraines de la wilaya de Tipaza. Mémoire de fin d'étude, USTHB.
- BOUDERBALA A. (2007).** Contribution à l'étude de l'intrusion marine, cas de la nappe de NADOR (W. Tipaza). Thèse de Magister, Université Khemis Miliana.
- BOUDERBALA A. (2015).** Contribution des méthodes hydro-chimiques et géophysiques à l'acquisition de la minéralisation dans les zones côtières, cas de la nappe alluviale de l'oued NADOR, Thèse de doctorat, Université Hassiba ben Bouali, Chelef
- BOUGUECHTOULI M. (2011).** Aquifère côtière en zone fortement urbanisée, évaluation du comportement hydrodynamique et hydro-chimique (cas de la MITIDJA orientale).....
- BOULAKROUNE W. (2014).** Identification et caractérisation de l'origine de la salinisation des eaux souterraine de la plaine d'oued NADOR (W. Tipaza). Mémoire de Master, USTHB.
- CAIRE A. (1970).** Tectonique de la Méditerranée centrale.
- DJOUDAR D. (2003).** Vulnérabilité et protection des nappes aquifère en région côtière application aux alluviaux de la MITIDJA orientale. Thèse de Magister.
- DURAND DELGA. (1961).** Esquisse structurale de l'Algérie en 1961. Lexique stratigraphique international.
- HACHEMI A. (2016).** Etude de l'intrusion marine dans les aquifères côtiers, cas de l'aquifère côtier d'oued NADOR (W. Tipaza). Thèse de Doctorat, Ecole nationale Supérieure Agronomique, Alger.
- KHOUALED D. et REMILIS, S. (2017).** Mise en évidence de l'intrusion marine vers les aquifères côtiers, cas de la plaine de MITIDHA orientale. Mémoire de Master, Université Kasdi Marbah (Ouargla).
- MEROUCHE A. (2013)** Aptitude physicochimique des eaux de surface et souterraine à l'irrigation de la région de MITIDJA Ouest.
- MESBAH M. (1981).** Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse vallée de l'oued NADOR (W. Tipaza). Doctorat de 3^{ème} Cycle en hydrogéologie, IST, USTHB Alger.
- TAIBI Y. et HAMADACHE, S. (1992).** Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued NADOR, W. Tipaza. Mémoire de fin d'étude, USTHB, Alger.
- TOUBAL A. C. (1988).** Approche géophysique des problèmes hydrodynamique et d'invasion marine en milieu souterrain, plaine de la MITIDJA et de la baie d'Alger. Thèse de Doctorat, USTHB, Alger.
-