

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



**FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE CHIMIE INDUSTRIELLE**

MEMOIRE DE MASTER

OPTION : EAU, ENVIRONNEMENT, DEVELOPPEMENT DURABLE

Etude de la piézométrie et la qualité des eaux souterraines de la vallée de M'Zab (Ghardaïa)

Présenté par :

Mlle : ACHOUR Nedjma

PROMOTEUR :

prof. REMINI Boualem

2012-2013



Dédicace

Je dédie ce modeste travail, fruit de beaucoup de sacrifices

Mon cher père, Ma chère maman, mes frères et mes sœurs

*A mon fiancé **ABDERZAK** et toute la famille **BOUTWIGA**.*

A tous mes amies et mes camarades de promotion

A l'ensemble des enseignants et personnel de la faculté des Sciences et

Techniques

Et enfin, à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce document surtout mon amie

IMENE .SAID** et laboratoire **ADE** de **GHARDAIA

N. ACHOUR

Remerciements

Je tien en premier à remercier le dieu le tout puissant de m' avoir donné le courage, la volonté, l' amour du savoir et surtout la patience, pour pouvoir produire ce travail.

Je tiens d'abord à exprimer tous mes respects et toutes mes reconnaissances au prof REMINI Boualem , mon Directeur de recherche , qui a bien voulu encadrer et guider ce travail.

Mes remerciements à Mr OUELED BELKHIRE et Mr BOUAMER qui mont aidé tots le long de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux enseignants qui ont eu l'amabilité de nous éclairer et de m'aider sur de nombreux points.

L' amour et le soutien de mes parents restent un port de sécurité et de sérénité dans ma vie, dans les meilleurs moments et dans les pires .qu'ils trouvent dans ces quelques lignes l' expression de mes sincères gratitudes et reconnaissances.

Je voudrai remercier Monsieur le président du jury et messieurs les membres du jury.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui m' ont manifesté leur soutien et leurs encouragements.

المخلص

تحتوي وادي مزاب على كمية محدودة من المياه في السنوات الأخيرة و لا سميا الزراعة التي أدت من جهة إلى الحاجة للمياه ومن جهة أخرى إلى تدهور نوعية المياه تم اختيار هذا الموضوع بهدف الدراسة الهيدروديناميكية و الفيزيوكيميائية للمياه الجوفية للمنطقة المدروسة لمعرفة الملوثات و مصادرها
الكلمات الرئيسية: واد ميزاب, المياه الجوفية, التلوث.

Résume

La vallée de M'Zab possède des ressources hydriques relativement limitées. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux. Le choix de ce thème de recherche a été guidé par le souci de l'étude hydrodynamique et physico-chimique de la nappe phréatique de la zone d'étude, ainsi que les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants et leurs origines.

Abstract

The valley of Me Zab has relatively limited water resources. These last years, an economic advancement, particularly agricultural, place had, which involved, on the one hand, the increase in the requirements out of water and caused, on the other hand, the degradation of water quality. The choice of this research topic was guided by the concern of the hydrodynamic and physicochemical study of the ground water of the zone of study, as well as the questions of an environmental nature, namely the presence of pollutants and their origins.

Mots Clés : The valley of Me Zab, ground water, pollution

Liste des figures

N° de figure	Titre	Page
I.1	<i>Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa</i>	9
I.2	<i>Bassin versant des oueds de la région du M'Zab</i>	10
I.3	<i>Coupe géologique schématique de la région du M'Zab</i>	11
II.4	<i>puits traditionnels dans la vallée de M'Zab</i>	14
II.5	<i>Dosage de chlorure</i>	19
II.6	<i>Dosage du nitrate</i>	23
III.1	<i>Carte du réseau des puits échantillonnés.</i>	27
III.2	<i>Le variogramme des valeurs de Potentiel d'hydrogène.</i>	33
III.3	<i>Carte de Potentialité d'hydrogène</i>	34
III.4	<i>.Le variogramme des valeurs de conductivité électrique.</i>	35
III.5	<i>Carte de la conductivité électrique.</i>	36
III.6	<i>Le variogramme des valeurs de calcium.</i>	37
III.7	<i>La carte de calcium</i>	38
III.8	<i>Le variogramme des valeurs de magnésium</i>	39
III.9	<i>La carte de magnésium.</i>	40
III.10	<i>Le variogramme des valeurs de titre hydrométrique.</i>	41
III.11	<i>La carte de titre hydrométrique</i>	42
III.12	<i>Le variogramme des valeurs de sodium.</i>	43
III.13	<i>la carte de sodium.</i>	44
III.14	<i>Le variogramme des valeurs du potassium.</i>	45
III.15	<i>La carte du potassium.</i>	46
III.16	<i>Le variogramme des valeurs du titre alcalimétrique.</i>	47
III.17	<i>La carte de titre alcalimétrique.</i>	48
III.18	<i>Le variogramme des valeurs de chlorure.</i>	49
III.19	<i>la carte de chlorure.</i>	50
III.20	<i>Le variogramme des valeurs du sulfate.</i>	51
III.21	<i>la carte du sulfate.</i>	52

III.22	<i>Le variogramme des valeurs de l'orthophosphate.</i>	53
III.23	<i>la carte de l'orthophosphate.</i>	54
III.24	<i>Le variogramme des valeurs de l'ammonium.</i>	55
III.25	<i>la carte de de l'ammonium.</i>	56
III.26	<i>Le variogramme des valeurs des nitrates.</i>	57
III.27	<i>La carte du nitrate.</i>	58
III.28	<i>Le variogramme des valeurs des nitrates.</i>	59
III.29	<i>La carte du nitrite.</i>	60
III.30	<i>Le variogramme des valeurs du fer.</i>	61
III.31	<i>La carte du fer.</i>	62
III.32	<i>Le variogramme des valeurs de la piézométrie.</i>	63
III.33	<i>La carte de la piézométrie.</i>	63
III.34	<i>Le diagramme de piper des eaux de la région d'étude</i>	64

Liste des tableaux

N° de tableau	Titre	Page
II.1	<i>Matériel utilisé</i>	14
III.1	<i>Résultats des analyses physico chimiques de la nappe de la région d'étude</i>	28

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE 1 : LES TRAVAUX ANTERIEUR SUR LA VALLEE DE M'ZAB

I.1 Introduction	2
I.2 les travaux antérieur.....	2
I.2 .1 Travaux d'Agence National de l'Eau Potable et Industrielle et de l'Assainissement.....	2
I.2 .2 Travaux de Krimat Said en 2013.....	4
I.2 .3 Travaux de Bezayet Berahim en 2009.....	4
I.2.4 Travaux de Bouchereb Redouane en 2013.....	4
I.2.5 Travaux d'Attallah Mabrouka en 2012.....	5
I.2 .6 Travaux d'Oueled Belkhire en 2008.....	5
I.2 .7 Travaux de a Ali Azouze Fathallak en 2008.....	6
I.2.8 Travaux d'Amirat Mohamed en 1997.....	6
I.2.9 Travaux de Medejerab en 2009.....	7
I.2.10 Travaux de Messid Imene en 2009.....	7
I.3 Conclusion.....	7

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

II.1 Présentation de la région d'étude.....	8
II.1.1. Historique.....	8
II.1.2. Situation géographique.....	8
II.1.3. Aperçu Hydrologique.....	10
II.1.4. Aspect géologique et hydrogéologique.....	10
II.1.5. Ressources en eau.....	11
II.1.6.climatologie.....	12
II.2. Prélèvements des échantillons et analyses des eaux souterraines.....	13

II.2.1 Echantillonnage.....	13
II.2.2 Matériels	14
II.2.3 Les analyses des paramètres physico-chimiques.....	15
II.2.3.1 Mesure du pH	15
II.2.3.2 Mesure de la conductivité électrique.....	15
II.2.4 Les analyses des éléments majeurs.....	15
II.2.4.1 Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC).....	15
II.2.4.2 Détermination de titre hydrométrique (TH).....	16
II.2.4.3 Dosage de calcium.....	17
II.2.4.4 Dosage simultané du sodium et du potassium.....	18
II.2.4.5 Dosage des chlorures.....	19
II.2.4.6 Dosage des sulfates.....	20
II.2.5 Les analyse des éléments de pollution.....	20
II.2.5.1 Dosage des ions ammoniums.....	20
II.2.5.2 Dosage des nitrates	21
II.2.5.3 Dosage des nitrites	22
II.2.5.6 Dosage des orthophosphates.....	23
II.2.5.4 Dosage de fer.....	24
II.2 Conclusion.....	25

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Introduction	26
III.2 Echantillonnage et analyse hydrochimique.....	27
III.2.1 Moyens et méthodes d'analyse.....	27
III.2.1.1 Analyses aux laboratoires.....	27
III.3 Description sommaire des paramètres physico chimiques	28
III.3.1 Paramètres physiques.....	29
III.3.1.1 Potentiel d'Hydrogène (pH).....	29
III.3.1.2 La conductivité électrique (CE).....	29
III.3.2 Les éléments majeurs.....	29
III.3.2.1 Le calcium (Ca ²⁺)	29

III.3.2.2 Le magnésium (Mg^{2+}).....	29
III.3.2.3 Le sodium (Na^+).....	29
III.3.2.4 Le potassium (K^+).....	30
III.3.2.5 Les chlorures (Cl^-).....	30
III.3.2.6 Les sulfates (SO_4^{2-}).....	30
III.3.2.7 Les bicarbonates HCO_3^-	30
III.3.3 Les éléments de pollution.....	30
III.3.3.1 Les nitrate.....	30
III.3.3.2 Les nitrites.....	31
III.3.3.3 L'ammonium.....	31
III.3.3.4 Les phosphate.....	31
III.3.3.5 Le fer.....	32
III.4 Variogramme et cartographie hydrochimique.....	32
III.4.1 Le pH.....	32
III.4.2 La conductivité électrique.....	34
III.4.3 Le Calcium.....	36
III.4.4 Le Magnésium.....	38
III.4.5 Le titre hydrométrique.....	40
III.4.6 Le sodium.....	42
III.4.7 Le potassium.....	44
III.4.8 Le titre alcalimétrique (HCO_3^-).....	46
III.4.9 Le chlorure.....	48
III.4.10 Les sulfate.....	50
III.4.11 Les orthophosphate.....	52
III.4.11 L'ammonium.....	54
III.4.12 Les nitrate.....	56
III.4.13 Les nitrites.....	58
III.4.14 Le fer.....	60
III.4.15 la piézométrie.....	62
III.5 Diagramme de piper.....	64
III.5 Conclusion.....	65
Conclusion Générale.....	66
Bibliographie.....	

INTRODUCTION GENERALE

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie, et plus particulièrement au Sahara, la principale source de satisfaction des besoins en eau est l'eau souterraine, à cause de la rareté des eaux de surface.

La vallée du M'Zab, à laquelle se rattache cette étude, se situe dans la zone septentrionale du Sahara algérien. Elle abrite la célèbre palmeraie et les anciennes agglomérations (Ksar) qui remontent au XI^e siècle. Les palmeraies ont été suffisamment irriguées par des eaux de la nappe phréatique rechargée elle même par le passage des crues de la vallée.

Au cours des 20 dernières années, la vallée a connu plusieurs problèmes liés notamment à la remontée des eaux, au phénomène de pollution, et aux catastrophes dues aux crues. La croissance démographique entraînant une intense urbanisation remarquable dans le paysage du M'Zab. Devant cette situation, et pour satisfaire les besoin en eaux, l'état à fait appel aux forages pour exploiter les nappes profondes notamment, l'Albien, ce qui a induit l'abandon presque totale de la nappe phréatique. En plus, la mauvaise maîtrise de la collecte des eaux usées, entraînant ainsi une importante infiltration dans la nappe phréatique alluvionnaire. Cette situation a entraînée la remontée et la pollution de la nappe phréatique.

Le principal objet de ce travail est d'établir des cartes piézométriques et hydrochimiques des eaux de la nappe phréatique, sur la base des données d'échantillonnage effectuées dans la période d'étude. Ces cartes permettent la localisation et l'identification de tous les phénomènes hydrogéologiques et hydrochimiques sur le long de la vallée. Notre étude se scinde essentiellement en trois chapitres. Le premier chapitre de ce mémoire est une revue bibliographique sur les travaux antérieurs sur la vallée de M'Zab .le seconde chapitre concerne les travaux de terrain et la représentativité des données de terrain, ainsi que les différentes techniques d'analyses chimiques effectuées en laboratoire. Le troisième chapitre s'attache à l'étude hydrochimique et piézométrique des aquifères de la vallée de M'Zab.

Chapitre I

LES TRAVAUX ANTERIEUR SUR LA VALLEE DE M'ZAB

I.1 Introduction

Dans la partie nord de la Wilaya, la vallée du M'Zab qui entaille profondément le paysage, abrite la célèbre palmeraie et les agglomérations de Daya Ben Dhahoua, Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf. Les origines de cette palmeraie et la première implantation par les Mozabites remontent au XIe siècle (**ANEPIA 2000**).

Par ailleurs, si l'alimentation en eau de cette population croissante a pu être assurée, malgré l'aridité du climat, en faisant appel à la nappe du Continental Intercalaire, les conditions de collecte et de traitement des eaux usées ne répondent pas, et de loin, aux rejets et entraînent une pollution importante de la nappe supérieure et une situation sanitaire. Pour cela, la Wilaya de Ghardaïa, à laquelle se rattache la présentation de plusieurs projets afin de trouver une solution et au moins minimiser le problème poser.

I.2 les travaux antérieurs

I.2 .1 Travaux d'Agence National de l'Eau Potable et Industrielle et de l'Assainissement

En 2000 ANEPIA, a étudié l'assainissement et la protection contre les crues de l'oued M'Zab . Les résultats obtenus ont montré que ;

La garantie de la protection des biens et des populations vis-à-vis des crues : l'agglomération est entièrement à l'abri de ce type d'événement jusqu'à une fréquence centennale.

Grâce aux ouvrages de rétention temporaire des crues à l'amont et aux aménagements du lit de l'oued en aval.

- la réalimentation de la nappe à l'aval proche des ouvrages de rétention temporaire des crues
- la possibilité pendant une période prolongée de réutiliser, avec les infrastructures traditionnelles, les eaux de crue, grâce à l'effet de laminage des ouvrages précités
- la protection de la nappe contre la pollution liée aux eaux usées, améliorant les conditions sanitaires
- l'assainissement de la vallée du M'zab dans toute la zone urbanisée et à l'aval de la digue d'El Atteuf, améliorant également les conditions sanitaires, ainsi que les impacts visuels et olfactifs
- la réhabilitation du lit de l'oued M'Zab, conduisant à une nouvelle image dans le paysage urbain, en évitant notamment de le considérer comme un lieu de décharge
- le traitement des eaux usées hors des zones habitées
- la réutilisation possible, au moins en partie, des eaux traitées à des fins agricoles pour l'irrigation d'une surface de 550 ha de palmeraie à l'horizon du projet
- la réutilisation des boues de traitement à des fins de valorisation des terres agricoles

Les solutions retenues ont visé à respecter les contraintes suivantes :

- limiter le plus possible les emprises des ouvrages
- ne pas toucher aux ouvrages historiques
- maintenir ou rétablir les circulations préexistantes
- limiter l'utilisation de matériel électro-mécanique : le transit des eaux usées est entièrement gravitaire et le seul équipement de ce type est le dégrilleur en tête de la station de traitement.
- proposer des solutions les plus simples et fiables possibles : en particulier ceci a constitué un argument pour le choix du traitement des eaux usées par lagunage (**ANEPIA 2000**).

I.2 .2 Travaux de Krimat Said en 2013

L'auteur a caractérisé les eaux de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab. L'interpolation géostatistique est parmi les techniques les mieux utilisées dans ce type d'étude. La campagne d'échantillonnage et des prélèvements avait comme but de tracer par les méthodes géostatistiques les diverses cartes en décrivant le caractère piézométrique et hydrochimique de cette nappe. La plupart des résultats démontre que la concentration des éléments dans l'eau augmente avec le sens d'écoulement. Il a démontré aussi que le centre de la vallée présente une remontée excessive d'eau et une concertation des éléments polluants assez élevé (**Krimat 2013**)

I.2 .3 Travaux de Bezayet Berahim en 2009

L'auteur s'intéresse à l'étude hydrochimique de la nappe superficielle, afin d'évaluer la qualité des eaux au niveau de l'Oued Labiod en vue de leurs utilisation dans l'AEP et l'irrigation. La vallée du M'Zab est située dans une région aride du Sud Algérien. Le déficit hydrique est compensé par l'exploitation des ressources en eaux souterraines de la région. Le pompage excessif au niveau de la nappe superficielle dans les zones arides, notamment dans la vallée du M'Zab a engendré des problèmes de détérioration de la qualité de cette ressource qui devient de plus en plus difficilement maîtrisable. Les eaux de la nappe superficielle sont moyennement minéralisées à l'exception de quelques anomalies. Le faciès chimique dominant est de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien. L'analyse statistique multidimensionnelle des variables physico-chimiques et chimiques a montré l'existence des groupes d'eaux répartis à travers l'espace factoriel. La qualité chimique et physico-chimique des eaux souterraines de la région d'oued Labiod dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent cette l'eau (**Bezayet 2009**).

I.2.4 Travaux de Bouchereb Redouane en 2013

L'auteur a étudié les principales caractéristiques des précipitations et des crues par des méthodes expérimentales empiriques et logiques dans les zones désertiques similaires à la zone de M'Zab.

L'étude a été accompagnée par un essai de corrélation pluie-débits montré que l'évolution des débits ruisselés dans la vallée de M'Zab par rapport aux pluies journalières fréquentielles suite une modèle exponentielle aidé dans la détermination des débits d'inventaire des crues précédentes. Finalement, il est utile de noter que l'élaboration d'une telle étude nécessite des Connaissances bien approfondies dans tous les domaines qui touchent l'hydrologie. De plus la disponibilité de l'information aurait rendue l'étude beaucoup plus simple et les résultats obtenus bien plus fiables notamment l'étude hydrologique. Toutefois, nous espérons que cette présente étude fruit de toute une formation soit un travail de base qui est sujet à réflexion et amélioration afin qu'il soit bénéfique.

Afin d'approfondir ce type d'études, il propose les recommandations suivantes :

- L'installation des stations météorologiques dans les localités de la vallée de M'Zab.
- L'installation des stations hydrométriques au niveau des exutoires de la vallée de M'Zab.

Refaire une étude plus détaillée surtout après l'installation des barrages qui sont modifié totalement le régime des écoulements dans le lit de la vallée de M'Zab (**Bouchereb 2013**).

I.2.5 Travaux d'Attallah Mabrouka en 2012

L'auteur a étudié la pollution par les eaux usées de la nappe phréatique et l'assainissement, sont les principaux sujets qui inquiètent les habitants et les autorités locales. Ce travail consiste à étudier quelques caractéristiques physico-chimiques et hygiéniques des eaux de la nappe phréatique, notamment la contamination par les eaux usées domestiques et industrielles. Les résultats de l'analyse des propriétés physico-chimiques, montre que ces eaux sont très chargées en sels solubles, mais leurs pH est neutre, tels conditions qui ont favorisées le développement des germes pathogènes dont les coliformes fécaux. Les eaux de la nappe phréatique sont impropres à la consommation humaine telle qui est sans traitement (**Attallah 2012**)

I.2 .6 Travaux d'Oueled Belkhire en 2008

L'auteur a établi des bilans hydrologiques des eaux de la nappe phréatique, notamment leur partition : d'une part infiltration vers la zone saturée et les nappes, et d'autre part évaporation et les autres pertes durant la saison basse eaux et la saison haute eaux.

La pluie journalière décennale sur la station de Ghardaïa est 38 mm. Les pluies centennales ont été évaluées à 78 mm. Ainsi que les pluies milléniales ont été évaluées à 131 mm. Toute la période considérée (1974-1994) des pluies maximales journalières représentent plus de 50% **(Oueled 2008)**

I.2 .7 Travaux de a Ali Azouze Fathallak en 2008

L'auteur a simulé des crues d'un certain niveau d'alerte, apres avoir cale notre modèle par rapport a la crue d'octobre 2008. La pénurie des données a engendre un double travail a faire. L'inexistence de plans topographiques, nécessaire pour la construction de modèles en milieu urbain, nous a contraints a utiliser le Google Earth professionnel. Cette tache a nécessite beaucoup d'entreprise pour compléter l'altimétrie du modèle. L'indisponibilité des hydrogrammes de crue, nous a contraint aussi a travailler sur deux grandes zones, ou nous avons pu avoir des sections de contrôle du débit. Si pour la palmeraie, cela n'a pas pose de problème du fait que c'est une zone rurale, pour la ville par contre, cela nous a oblige de travailler sur une grande zone, ce qui a eu pour conséquence, une représentation générique des ruelles. La difficulté rencontrée aussi, était la détermination du coefficient de frottement. Même si l'utilisation de la formule de Cowan a pu donner des résultats probants, la meilleure façon d'avoir des coefficients réels, est leur détermination par rapport a des simulations sur modèles réduits. La valeur du débit de pointe, calcule a l'aide de formules empiriques, s'est avérée fausse. Les simulations ont montre un non débordement de l'oued M'Zab avec une telle valeur, il aurait fallu augmenter le débit de pointe jusqu'a avoir la même étendue d'eau, par rapport a l'événement d'octobre 2008. Même si nous n'avons pas pu faire des simulations, avec d'autres niveaux d'alerte, notre satisfaction réside dans le fait d'avoir trouve le débit de la crue d'octobre 2008, avec un certain degré de tolérance. Cela prouve si bien est, que la modélisation des inondations aboutit a des résultats concrets, et justifies par des mesures réels **(Ali Azouze 2008)**.

I.2.8 Travaux d'Amirat Mohamed en 1997

L'auteur a étudié la potabilité de l'eau de la vallée de m'Zab avec les normes interactionnelles et pour trouver la relation entre la croissance de maladie rénale et l'eau consommable. L'influence du calcium de l'eau sur la santé de l'individu à été souvent discuté.

Cependant les recherches et les études statiques qui il n'y aurait pas de relation des effets avec la teneur de cette élément dans l'eau potable. Après cette étude la dureté de l'eau de la vallée de M'ZAB n'a aucune relation avec les maladies, mais l'eau reste un facteur qui, combine avec d'autre élément peut causer les maladies rénal (**Amirat 1997**).

I.2.9 Travaux de Medejerab en 2009

L'auteur a étudié le contexte météorologique et hydrologique des inondations les plus graves des dernières décennies qui ont affectées la ville de Ghardaïa durant le mois d'octobre 2008, et qui ont causé le décès de 100 personnes et 89 blessés et 756 familles sinistrées, et des dégâts matériels importants estimés à 250 millions d'euros. Les résultats de cette étude mettent en évidence une faible vulnérabilité sociale face à ces événements extrêmes. Ils devraient permettre aux responsables de l'aménagement du territoire, une meilleure prise en compte de cette vulnérabilité et pourrait aider à une meilleure gestion locale des ces événements (**Medejerab 2009**).

I.2.10 Travaux de Messid Imene en 2009

L'auteur a établi un diagnostic du réseau d'assainissement existant afin de déterminer les anomalies de fonctionnement et aussi de projeter un nouveau réseau qui permet d'évacuer tous les débits des eaux pluviales dans des conditions favorables pour éviter les problèmes qui menacent la santé publique et le milieu naturel. L'objectif de cette étude est de faire un diagnostic du réseau d'assainissement existant afin de déterminer les anomalies de fonctionnement et aussi de projeter un nouveau réseau qui permet d'évacuer tous les débits des eaux pluviales dans des conditions favorables pour éviter les problèmes qui menacent la santé publique et le milieu naturel. Enfin, elles espèrent que cette étude pourra faire l'objet d'un avant projet détaillé pour l'élaboration d'un réseau d'assainissement dans la commune de Ghardaïa plus fiable et plus rigoureux (**Messid 2009**).

I.3 Conclusion

Les travaux antérieurs sur la vallée de M'Zab nous de permis à dégager les constatations suivantes :

Le mécanisme des crues sahariennes soudaines et instantanées, pour cela il faut faire un diagnostic du réseau d'assainissement qui permet d'évacuer les débits des eaux pluviales pour éviter les problèmes qui menacent le milieu naturel.

La pollution des eaux souterraines de la nappe superficielle d'oued M'Zab.

Chapitre II

MATERIELS ET METHODES

II.1 Présentation de la région d'étude

II.1.1. Historique

La wilaya de Ghardaïa jouit d'un patrimoine historique riche et des civilisations très variées. L'existence de peuplement dans la wilaya date de la préhistoire où particulièrement la vallée du M'Zab a jouée le rôle de centre de troc entre les peuples du Nord et les peuples du Sud. Ces populations étaient composées des Béni Mozab, d'origine berbère Zénète, des Chaamba d'origine malienne de la tribu des Béni Hamyanne et d'autres tribus venues de diverses régions du Centre, du Nord et du Sud. Ces peuplades avaient des modes de vie différents et se complétaient en matière économique. Les habitants de la vallée étaient des agriculteurs et artisans ; par contre, les Chaambas étaient des éleveurs. Les populations de la vallée du M'Zab étaient sédentaires ; par contre, les Chaambas étaient nomades et ne séjournaient à Metlili qu'en période estivale. A l'arrivée des troupes coloniales françaises, en 1853, aux abords de Laghouat, un accord de non-occupation a été signé, et ce n'est qu'en 1882, à la suite de la guerre civile, qu'il a été fait appel aux troupes françaises pour assurer la sécurité et qui sont restés jusqu'à l'indépendance complète de l'Algérie. Elle est classée comme patrimoine national en 1971 et patrimoine de l'humanité par l'UNESCO depuis 1982.

II.1.2. Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa est limitée du côté Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km), du Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ; de l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km) ; du Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470 Km) ; du Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ; et de l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350 Km).

La vallée du M'Zab est située dans la wilaya de Ghardaïa, elle se situe à 600 Km au Sud de la capitale Alger, sur une altitude moyenne de 600 m environ, et une longitude de 3°.45 Est, et latitude de 32°.50 Nord.

Elle se trouve dans le plateau de la Hamada, dans le Sahara septentrional, où figure-la Chébka (filet) du M'Zab. C'est un plateau de calcaire disséqué en vallées et ravins qui s'enchevêtrent les unes dans les autres. Ainsi, sont sculptées les mailles de ce filet géant ouvert du Nord-ouest vers le Sud-est pour laisser passer l'Oued M'Zab (rivière ou torrent coulant à intervalles très irréguliers). La vallée du M'Zab, mesure 20 Km de long sur une moyenne de 2,5 Km de largeur. Elle couvre une superficie de 5000 Km². La commune de Ghardaïa, lieu de localisation du projet, est limitée du côté Nord par Berriane, de l'Est par Bounoura, de l'ouest par Daya et du Sud par Metlili, sa superficie est de **1798,07ha**. GHARDAIA occupe une position centrale reliant les hauts plateaux avec le Sahara, ce qui fait d'elle une place tournante pour le développement de toute la région (fig. II.1).

Figure I.1. Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa

II.1.3. Aperçu Hydrologique

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'zab (fig. II.2), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région

Figure II.2. Bassin versant des oueds de la région du M'Zab

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Une étude des crues de l'oued Mzab (ANRH, 1994) a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m³/s. Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued M'Zab, et Metlili où à chaque pluie exceptionnelle il y'a beaucoup de dommages principalement dans les agglomérations.

II.1.4. Aspect géologique et hydrogéologique

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment " la dorsale du M'Zab".

L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens, on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Il abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (fig. II.3).

Figure II.3. Coupe géologique schématique de la région du M'Zab

II.1.5. Ressources en eau

Les ressources hydrauliques de la Wilaya sont essentiellement souterraines. Les ressources en eaux de surface proviennent généralement des crues importantes de l'Oued M'Zab inondant la région de Ghardaïa. Ces crues sont générées par les averses sur la région de Laghouat - Ghardaïa.

a. Eaux de surface

Les inondations créées par les crues des Oueds alimentent les nappes inféro-flux et irriguent les palmeraies par des digues.

b. Eaux souterraines

- **Nappe phréatique**

D'une manière générale, la région est le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier les dattiers.

L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La qualité chimique des eaux est comme suit : À l'amont, elle est bonne à la consommation.

À l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines.

- **Nappe du Continental Intercalaire**

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique. La nappe du CI, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, est :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia) (**Messid 2009**).

II.1.6. Climatologie

Le climat de la wilaya est de type saharien, Il se distingue par de grandes amplitudes entre les températures du jour et de nuit, d'été et d'hiver. Il se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée.

a) Température

L'analyse d'une série d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de 10 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée, est de 22,40 °C.

b) Précipitations

Selon des données statistiques, sur une période d'observation de 10 ans, on a constaté que la pluviométrie était très faible. La moyenne annuelle est de 74,95 mm et le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours (entre les mois de janvier et mars).

c) Humidité

Des données de la station météorologique de Ghardaïa montrent qu'il y a une période de sécheresse de mois de juin au mois de juillet et il y a une période humide qui est en automne et en hiver.

d) Vents

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. Les vents de sable sont très fréquents dans la région d'El-Menea surtout pendant le printemps, les mois d'avril, mai et juin. Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de GHARDAIA, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de mai à septembre (Ali Azouze 2008).

II.2. Prélèvements des échantillons et analyses des eaux souterraines**II.2.1 Echantillonnage**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (Simtchoou 2011)

L'étude a été menée sur des échantillons d'eau provenant de certains puits dans la région de la vallée de M'zab en 2013, seulement un prélèvement d'eau a été effectué dans chaque puits. Les prélèvements des échantillons pour l'analyse physicochimique ont été mis dans des flacons en plastique puis acheminés au laboratoire pour l'analyse. Au total 34 échantillons d'eau ont été collectés.

Les analyses physico-chimiques ont concerné les paramètres suivants : T°, CE, pH, Conductivité électrique, Dureté totale, Chlorures, titre hydrométrique, titre alcalimétrique complet, Sulfates, Nitrates, Nitrites, Calcium, Magnésium, Sodium, potassium, et le Fer.

L'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le code du puits, la date, le lieu, l'heure, la profondeur, l'élévation et les coordonnées (Est, Nord) à l'aide d'un GPS.

Figure II.4. Dosage du nitrate

II.2.2 Matériels

Le matériel de mesures et d'analyses utilisé lors de notre étude est représenté dans le tableau II.1.

Tableau II.1. Matériel utilisé

Matériel	Type
pH-mètre	WTW 3110SET1
Conductimètre	WTW LF 538
Verrerie	Verrerie commune de laboratoire
Balance	SCALTEC SBC31
Plaque chauffante	FALCF 60
Spectrophotomètre à flamme	JENWAY PFP7
Spectrophotomètre d'absorption moléculaire	HACH ODYSSEY DO500
Agitateur	FALCISST ruments sr1

II.2.3 Les analyses des paramètres physico-chimiques

II.2.3.1 Mesure du pH

Le pH se mesure par la méthode électro-métrique à l'aide d'un pH-mètre de type WTW 3110SET1.

II.2.3.2 Mesure de la conductivité électrique :

Elle se fait à la température de 25 °C à l'aide d'un conductimètre portable de type WTW LF 538. Cet appareil nous permet de lire directement la température de l'eau.

II.2.4 Les analyses des éléments majeurs

II.2.4.1 Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)

❖ Définition

Le titre alcalimétrique complet correspond à la teneur de l'eau en alcalis libre, carbonates et hydrogène carbonates.

❖ Méthode titrimétrique

a) Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

b) Réactif

- Acide chlorhydrique **0.1N** (prendre 8.413ml de HCl concentré compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 100ml).
- solution de méthyle d'orange à 0.5% (peser 0.5g de méthyle orange compléter à 100ml d'eau distillée).

❖ Mode opératoire

Prélever dans un Erlenmeyer 100ml d'eau à analyser, ajouter deux gouttes de solution de méthyle d'orange et titré avec acide chlorhydrique jusqu'à au virage du jaune orange (pH=4.3) s'assure qu'à une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orange au rose orange (pH=4).

❖ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$$C_{TAC} = (v' - 0.5) \cdot 10$$

v' : le nombre de millilitre d'acide 0.02N, verses d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur.

C_{TAC} : est la concentration, exprime en mg /l [**Rodier**].

$v' - 0.5$: exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

II.2.4.2 Détermination de titre hydrométrique (TH)**❖ Méthode Titrimétrique****a) Principe**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétraacétique à *pH* 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

b) Réactif

- Solution tampon : dissoudre 67.5g de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) dans 570ml solution ammoniacal, ajouté en suite 0.5 du sel disodique de magnésium de l'EDTA et diluer à 100ml avec de l'eau .conserver la solution dans une bouteille en polyéthylène (durée de conservation limité).
- l'Acide Ethylène Diamine Tétraacétique (EDTA) :10 mmol/l.
- noir d'ériochrome, indicateur coloré.

❖ Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml de l'échantillon dans une fiole de 250 ml. Ajouter 4 ml de la solution tampon et quelque grain de noir d'ériochrome, titré immédiatement à l'aide de la solution d'EDTA, versé à partir d'une burette, tout en agitant constamment, versé rapidement au début de dosage, puis lentement versé à la fin. Ajouter la solution de l'EDTA goutte à goutte jusqu'à la solution commence à virer de la couleur rouge au bleu. Le point final est atteint lorsque la dernière nuance rouge disparu.

❖ **Expression des résultats**

$$[\text{TH}] = V_{\text{EDTA}} \cdot 20 \cdot f$$

f : facteur de dilution

V_{EDTA} : le volume de l'EDTA [Rodier].

II.2.4.3 Dosage de calcium❖ **Méthode titrimétrique****a) Principe**

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé (12-13), le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi, HSN (acide carboxylique d'hydroxyde), ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge.

b) Réactif

- Solution d'EDTA 0,02 N (0,01 M).

Dissoudre 3,721 g de sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique (cristallisé 2 H₂O) dans un litre d'eau permutée. 1 ml d'EDTA 0,02 N correspond à 0,4008 mg de calcium. À conserver dans des flacons en polyéthylène.

- Solution d'hydroxyde de sodium 2 N .
- Indicateur coloré : HSN (acide carboxylique d'hydroxyde).

❖ **Mode opératoire**

Dans une fiole conique de 250 ml, introduire successivement:

- 50 ml d'eau à analyser
- 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium
- environ 0,2 g indicateur coloré HSN
- Ajouter la quantité de solution d'EDTA nécessaire pour avoir un virage au bleu.

❖ **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 50 ml, la teneur en calcium est égale à :

$$\text{Ca (mg/l)} = V \times f \times 0,4008 \times 1000 / 50 \text{ [Rodier].}$$

V : volume de l'EDTA versé par la burette.

f : facteur de dilution

II.2.4.4 Dosage simultané du sodium et du potassium

❖ Méthode spectrophotométrie d'émission de flamme

a) Principe

Atomisation de l'élément recherché (éventuellement après dilution de l'échantillon) dans la flamme d'un spectromètre d'émission de flamme. Détermination, aux longueurs d'onde de 589.0 nm pour le sodium et de 766.5 nm pour le potassium de la concentration de l'élément recherché par la méthode directe de dosage à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

b) Réactif

- solution étalon de potassium : dissoudre 1.907g de chlorure de potassium (K Cl) préalablement sécher à 110°C, dans de l'eau et diluer dans 1000ml, 1ml de cette solution contient 1mg de potassium.
- solution étalon de sodium : dissoudre 2.542 g de chlorure de sodium (Na Cl) préalablement sécher à 110°C, dans de l'eau et diluer dans 1000ml, 1ml de cette solution contient 1mg de sodium.

❖ Mode opératoire

- Au moment d'emploi on prépare à partir des solutions étalons au moins quatre solution d'étalonnage pour l'élément considéré la gamme des concentrations à doser.
- tracer une courbe d'étalonnage (concentration en milligrammes par litre en fonction de la lecture optique) en aspirant les solutions d'étalonnage et en réglant le zéro de l'appareil avec l'eau distillée (aspirer de l'eau distillée entre chaque mesure). La courbe d'étalonnage doit être droite.
- Effectuer la mesure sur la prise d'essai de l'échantillon, si la concentration de l'élément à doser est trop élevée on fait une dilution avec l'eau distillée dans un rapport connue.

❖ Expression des résultats

Déduire de la courbe d'étalonnage, les valeurs des concentrations obtenues pour les solutions, Calculer à partir de ces valeurs, en tenant compte de dilution éventuelles, les concentrations des échantillons analysées. Les résultats exprimer en mg /l [**Rodier**].

II.2.4.5 Dosage des chlorures

❖ Méthode titrimétrique

c) Principe

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former des ions d'argent insolubles qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ion d'argent brun-rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

d) Réactif

- chromate de potassium, solution d'indicateur à 100g/l.
- nitrate d'argent, solution titrée, $C(\text{AgNO}_3) = 0.02\text{mol/l}$.

❖ Mode opératoire

A une prise d'essai de 100 ml, on ajoute 1 ml de chromate de potassium puis on titre avec le nitrate d'argent (0.02mol/l) jusqu'au passage de la coloration jaune à une coloration brun-rouge [**Rodier**].

❖ Expression des résultats

$$[\text{Cl}^-] (\text{mg/l}) = V_{\text{AgNO}_3} \cdot C_{\text{AgNO}_3} \cdot f \cdot 35,45 / V_{\text{Total}}$$

f : facteur de dilution

Figure II.5. Dosage de chlorure

II.2.4.6 Dosage des sulfates

❖ Méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire

a) Principe

Les sulfates sont précipités en milieu acide à l'état de sulfate de baryum. En présence de BaCl_2



b) réactif

- Solution stabilisante :
60 ml Acide chlorhydrique.
200 ml Ethanol.
150 g Chlorure de sodium.
100 ml Glycérol.
- Solution de chlorure de baryum :
150 g de Chlorure de baryum.
5 ml Acide chlorhydrique.
500 ml Eau distillée.

❖ Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml avec l'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 min.
- Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

❖ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml, la courbe donne directement la teneur en sulfate, exprimée en milligrammes par litre d'eau [ISO].

II.2.5 Les analyse des éléments de pollution

II.2.5.1 Dosage des ions ammoniums

❖ Méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire

a) Principe

Mesure spectrométrique, à environ 650nm, du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylates et hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate(III) de sodium (nitroprussiate de sodium).

b) Réactif

- Réactif coloré : dissoudre 34g de salicylate de sodium ($C_7H_5O_3Na$) et 40g de citrate de sodium dihydraté ($C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$) dans environ 950 ml d'eau contenue dans une fiole de jauge de 1000ml ajouter ensuite 0.4g de nitro penta cyanoferrate de sodium, dissoudre le solide et diluer au trait de jauge avec de l'eau, conserver dans un récipient en verre brun, ce réactif est stable au moins 2 semaines.

- Dichloroisocyanurate de sodium : dissoudre 10g d'hydroxyde de sodium dans 500 ml d'eau, refroidir la solution à température ambiante et ajouter 0.8g dichloroisocyanurate ($C_3N_3O_3Cl_2Na \cdot H_2O$), dissoudre le solide et transférer quantitativement la solution dans une fiole de jauge de 1000ml. diluer au trait repère avec de l'eau et bien mélanger. conserver dans un récipient en verre à 4°C. ce réactif est stable au moins deux semaines.

❖ Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml Dichloroisocyanurate de sodium.
- Ajouter 4 ml de réactif coloré.
- Compléter la fiole à 100 ml d'eau distillée.
- Passer au spectrophotomètre (650= nm), après une heure.

❖ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml, la courbe donne directement la teneur en ammonium, exprimée en milligrammes par litre d'eau [ISO].

II.2.5.2 Dosage des nitrates**❖ Méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire****a) Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

b) Réactif

- Solution de salicylate de sodium à 5 g/l renouveler toutes les 24 heures.
- Acide sulfurique concentré ($d = 1,84$).
- Solution d'hydroxyde de sodium:
Dissoudre avec précaution l'hydroxyde de sodium (200 g) dans 800 ml d'eau permutée; ajouter le sel sodique EDTA (50 g). Après dissolution et refroidissement,

transvaser la solution dans une fiole jaugée, ajuster le volume à 1 litre. Conserver cette solution dans un flacon de polyéthylène.

❖ **Mode opératoire**

-Prendre 10 ml d'eau à analyser dans un bécher de 50 ml.

- Ajouter 1ml de Solution de salicylate de sodium.

-Mettre le bécher dans un bain marie jusqu'à l'évaporation complète de l'échantillon puis on le met dans un dessiccateur pour éviter l'humidité pendant une demi heure.

-ajouter 1ml d'acide sulfurique concentré

-Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau permutée puis 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune.

-Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm

❖ **Expression des résultats :**

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (N03), multiplier ce résultat par 4,43 [ISO].

II.2.5.3 Dosage des nitrites

❖ **Méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire**

a) Principe

La diazotation de l'amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

b) Réactif

- Solution de nitrite :

Mélanger dans un bécher 800 mL d'eau permutée et 100 mL d'acide phosphorique ($d = 1,70$), ajouter 40g l'amino-4-benzènesulfonamide puis après dissolution, ajouter 2 g de dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane. Agiter jusqu'à complète dissolution. Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000 ml, ajuster le volume avec de l'eau permutée, mélangé. Conservée au réfrigérateur, cette solution est stable un mois.

❖ Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée puis ajouter 1ml de solution de nitrite. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 543 nm

❖ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitreux (N02), exprimée en milligrammes par litre d'eau [**Rodier**].

Figure II.6. Dosage du nitrate**II.2.5.6 Dosage des orthophosphates****a) Principe**

En milieu acide et en présence de hptanolybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates.

b) Réactif

- Acide sulfurique 9 mol/l.
- Acide ascorbique $C_6H_8O_6$:

Dissoudre 5g d'acide ascorbique dans 50ml d'eau ce réactif est stable pendant deux semaine.

- Molybdate diacide solution :

Dissoudre 6.5 g d' hptanolybdate d'ammonium tétrahydrate dans 50 ml d'eau, puis ajouter 150 ml d'acide sulfurique.

Dissoudre 0.175 g de potassium artionon ascitradrat dans 50 ml d'eau.

Mélanger les deux solutions, ce réactif est stable pendant au moins deux semaine.

❖ **Mode opératoire**

-Prendre 40 ml d'eau à analyser.

- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique.

-Ajouter 2 ml molybdate diacide.

-Compléter la fiole à 100 ml d'eau distillée.

- Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde 700 nm, après 20 minutes **[ISO]**.

❖ **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 100 ml, la courbe donne directement la teneur en orthophosphate, exprimée en milligrammes par litre d'eau.

II.2.5.4 Dosage de fer

a) Principe

Après oxydation en milieu acide, le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrophotométrie en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la phénanthroline.

b) Réactif

- Solution d'acide sulfurique :
1 volume H_2SO_4 ($d=1.84$), 3 volume d'eau distillée.
- Solution d'acétate d'ammonium:
40g Acétate d'ammonium.
50 ml Acide acétique cristallisable.
50 ml Eau ultra pure.
- Solution de phénanthroline :
0.42g de phénanthroline
2 gouttes de la solution d'acide 7.7 mol /l

❖ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de solution d'acide sulfurique.
- Ajouter 2 ml de solution d'acétate d'ammonium.
- Ajouter 2 ml de solution de phénanthroline.
- Conserver à l'obscurité pendant 15 minutes.
- Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 510 nm [ISO].

❖ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en fer, exprimée en milligrammes par litre d'eau.

II.2 Conclusion

D'après les résultats obtenue on peut conclure que La nappe superficielle de la vallée de M'Zab semble être fortement contaminée par des nutriments d'origine agricole, suite à l'utilisation de fertilisants plus que nécessaire pour les plantes. D'autre part, les rejets urbains, déversés sans aucun traitement préalable dans le réseau hydrographique, sont une source importante de pollution.

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Introduction

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} ). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence:

- En agriculture : apports de K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et PO_4^{3-} .
- Rejets des eaux usées : apports de Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- et quelques métaux lourds **(Gouaidia 2008)**.

Le présent chapitre traite du chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'essayer tentons d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour caractériser les eaux de souterraines de la région d'étude. L'étude se base principalement sur les informations de prélèvement à partir de 34 points d'eau, répartis sur le terrain.

III.2 Echantillonnage et analyse hydrochimique

Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique. Ce réseau se compose de trente quatre de points d'eau et couvre la totalité de la plaine de l'amont vers l'aval (fig. III.1).

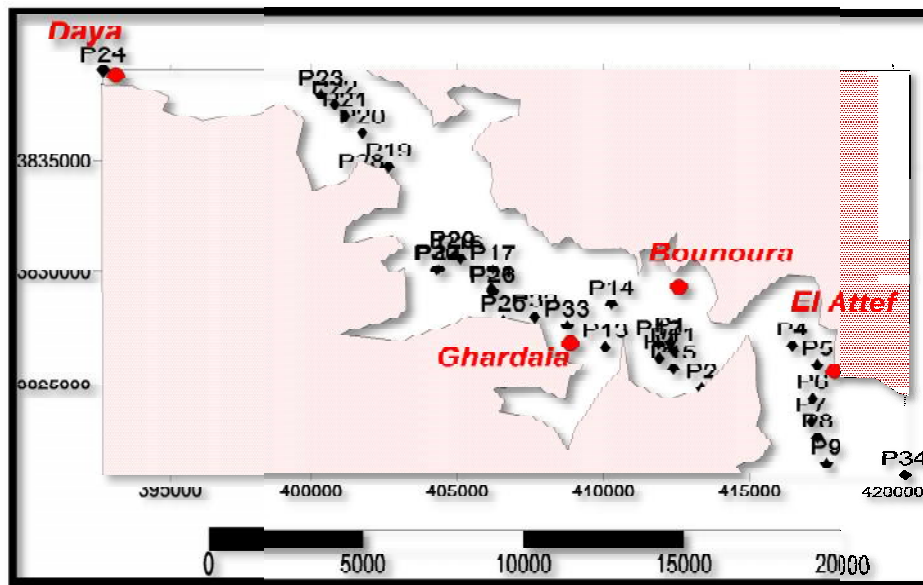


Figure III.1. Carte du réseau des puits échantillonnés.

III.2.1 Les valeurs des résultats obtenues

III.2.1.1 Analyses aux laboratoires

On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et le titre alcalimétrique). Les polluants résultants des activités agricoles ont été l'objet d'un suivi particulier (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^{3-}) et l'analyse d'un métal lourd Fe^{+2} (on fait l'analyse pour un seul métal lourd car l'absence des produits et des matériels). Plus les paramètres : (pH, conductivité électrique, turbidité et la salinité).

Les méthodes analytiques utilisées sont :

-Méthode spectrophotométrique pour les éléments : (SO_4^{2-} , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Fe^{+2}).

-Méthode de spectrophotométrie d'absorption atomique : (Na^+ , K^+).

-Méthode titrimétrique:(Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, le titre alcalimétrique).

-Méthode gravimétrique :(NO₃⁻).

III.3 Description sommaire des paramètres physico chimiques

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude, ont été consignés dans le tableau III.1.

Tableau III.1. Résultats des analyses physico chimiques de la nappe de la région d'étude

Eléments	Norme OMS Pour eau potable	Min	Max
pH	6.5<pH<9.5	6.9	8.22
CE (μS.cm-1)	2500	1360	6690
K ⁺ (mg/l)	12	6.25	62.5
Na ⁺ (mg/l)	150	60.714	1428.57
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	250	198	560
TH (mg/l)	500	800	2960
Ca ²⁺ (mg/l)	100	176.352	545.088
Mg ²⁺ (mg/l)	50	29.16	524.88
Cl ⁻ (mg/l)	500	283.62	2417.89
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	604.45	0
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.05	0.079	1.38
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.193	0	0.19
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.2	0	5.14
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	400	393.9	3250.55
Fe ²⁺ (mg/l)	0.3	0.03	0.33

III.3.1 Paramètres physiques

III.3.1.1 Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Les mesures du pH varient entre 6.9 et 8.22, ces valeurs montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité.

III.3.1.2 La conductivité électrique (CE)

Elle dépend de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les valeurs mesurées ont été ramenées à 25°C. Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des puits dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux. Les valeurs minimales sont enregistrées à l'amont de la nappe de l'ordre de 1040 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Les valeurs maximales sont de l'ordre de 6690 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

III.3.2 Les éléments majeurs

V.3.2.1 Le calcium (Ca^{2+})

Tous les puits présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux. Les valeurs les plus élevées avec un maximum de 545.088 mg/l. Les valeurs les plus faibles avec un minimum de 176.352 mg/l, avec une moyenne de 350.711 mg/l.

III.3.2.2 Le magnésium (Mg^{2+})

Les ions (Mg^{2+}) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium. La moyenne enregistrée (322.023 mg/l).

III.3.2.3 Le sodium (Na^+)

L'écoulement a favorisé l'acquisition de ces teneurs, car les eaux souterraines, qui s'écoulent suivant la direction SW-NE, se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation (**Gouaidia 2008**). Ceci explique les fortes concentrations, qui dépassent 1400 mg/l par des phénomènes de lessivage. Les plus faibles valeurs, de l'ordre de 46.428 mg/l. On signale que 82% des puits dépassent les normes de potabilité.

III.3.2.4 Le potassium (K^+)

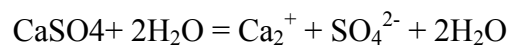
Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. Avec une moyenne de 30.6484mg/l, un minimum de 6.25 mg/l et un maximum de 75 mg/l.

III.3.2.5 Les chlorures (Cl)

Les eaux dans les puits analysés présente un excès en chlorure, toutes les valeurs sont hors la norme par rapport à la norme qui est le 250 mg/l. la teneur en chlorure dépend de la teneur des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et des métaux alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) aux quel ils se trouvent associés sous forme des sels.

III.3.2.6 Les sulfates (SO_4^{2-})

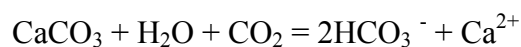
La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution du gypse contenu dans les marnes et au lessivage suivant la réaction suivante (**Gouaidia 2008**).



La plus forte valeur enregistrée est 3250.55 mg/l, avec une moyenne de 1748.51 mg/l et un minimum de 393.9 mg/l. En effet, 97% des puits dépassent la norme (250 mg/l) de potabilité.

III.3.2.7 Les bicarbonates HCO_3^-

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées selon la réaction suivante :



La forte teneur enregistrée est 560 mg/l avec une moyenne de mg/l et un minimum de 198 mg/l, suite à la dissolution des calcaires.

III.3.3 Les éléments de pollution

III.3.3.1 Les nitrates

La présence de nitrates dans les eaux est due en grande partie des intrants utilisés en agriculture. Le reste est issu des rejets des collectivités locales et de l'industrie. Très solubles dans l'eau.

Les nitrates constituent aujourd'hui la cause majeure de pollution des grands réservoirs d'eau souterraine du globe terrestre (**Gouaidia 2008**). On signale que 30% des puits dépassent les normes de potabilité.

III.3.3.2 Les nitrites

Les nitrites proviennent d'une transformation de l'ammonium par les bactéries. Leur présence est signe d'une pollution d'origine bactériologique et organique. Les nitrites sont aussi les plus toxiques (**Gouaidia 2008**). Les plus fortes valeurs sont enregistrées 5.14 mg/l. En effet, 12% des puits dépassent la norme (0.2mg/l) de potabilité. Les plus faibles valeurs sont enregistrées 0 mg/l.

III.3.3.3 L'ammonium

L'ammonium provient soit de la réduction des nitrates, soit des activités humaines (rejets d'effluents des stations d'épuration, activités industrielles, élevage). L'ammonium est un indice d'une possible contamination microbiologique. Il peut aussi modifier le goût de l'eau ou provoquer la prolifération de bactéries nitrifiantes (**Gouaidia 2008**). Les plus fortes valeurs sont enregistrées 2.94 mg/l. En effet, 41% des puits dépassent la norme (0.5 mg/l) de potabilité. Les plus faibles valeurs sont enregistrées 0.098 mg/l.

III.3.3.4 Les phosphate

Le phosphore est nécessaire à la croissance des plantes. Il est présent dans le sol sous la forme de phosphates : soit dissous dans l'eau, soit fixé sur les particules du sol, soit dans les minéraux ou encore sous forme organique. Au fur et à mesure que les racines prélèvent les phosphates dissous dans l'eau, les molécules fixées sont progressivement libérées. Les agriculteurs utilisent les engrais phosphatés d'une manière aléatoire avec une dose qui varie de 15 à 25 Kg/ha, sans respecter les recommandations de l'Institut National de la Vulgarisation Agricole (INVA) et de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) qui fixent cette dose à 46 kg/ha. Les engrais utilisés sont fabriqués à partir des roches phosphatées. Le phosphore présent dans ces roches n'est pas assimilable directement par les plantes, surtout dans les sols basiques (**Gouaidia 2008**).

Les teneurs en phosphates enregistrées varient de 0 mg/l à 0.33 mg/l, elles sont inférieures à la norme de potabilité.

III.3.3.5 Le fer

Le fer est le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme Fe^{+2} ou Fe^{+3} . Le fer dissous dans les eaux souterraines est sous forme réduite (Fe^{+2}), qui est soluble. Ce dernier est oxydé en Fe^{+3} par le contact avec l'oxygène de l'air, c'est pourquoi la concentration de fer dans les eaux bien aérées est rarement élevée. Le Fe^{+3} précipite sous forme d'hydroxydes insolubles dans l'eau et sont précipités ou adsorbés par les sédiments (**Gouaidia 2008**). Dans la nappe de la vallée de M'zab, les concentrations de fer varient de 0 à 0.33mg/l. Quelques puits, atteignent des teneurs qui dépassent le niveau recommandé par l'OMS (0.3 mg/l).

III.4 Variogramme et cartographie hydrochimique

Les variogrammes de différents paramètres étudiés sont tracé par le logiciel Surfer afin de mettre en évidence les caractéristiques structurales de les variables régionalisées, dans notre travaille on à deux modèle de variogramme pour le tracage des cartes:

- Effet de pépite : dans ce cas on utilise la méthode de krigeage.
- Linéaire : on utilise la méthode inverse distance to a power (**Said 2013**).

III.4.1 Le pH

Nous avons représenté sur la figure (III.2) le variogramme des valeurs de Potentiel d'hydrogène des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

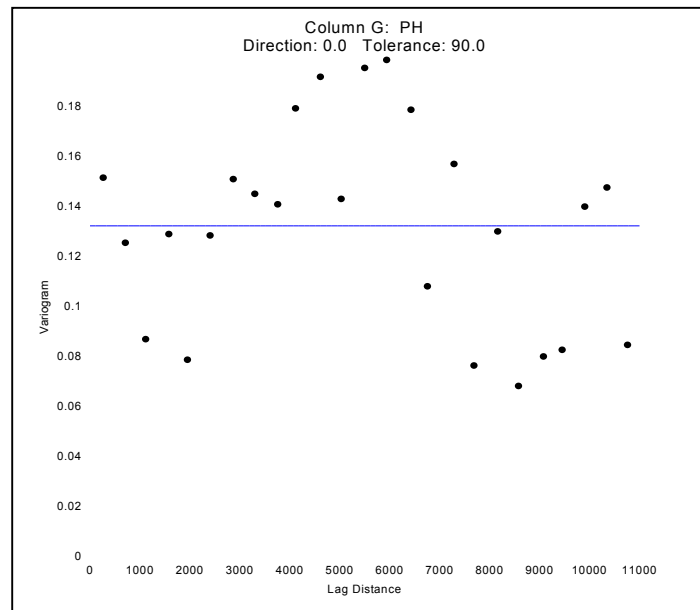


Figure III.2 : Le variogramme des valeurs de Potentiel d'hydrogène.

Il est intéressant de constater que le variogramme expérimentale du potentiel d'hydrogène pH qui suit un effet de pipette, présentant une anisotropie de $\text{ratio}=1$, un angle $= 0^\circ$ et de $\text{slop}=0$. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance $=0.062$
- Number of lags $=13$
- Vertical scale $=0.311$
- Tolérance $=90$

La figure (III.3). Représente la carte de Potentialité d'hydrogène de la nappe phréatique de la région d'étude.

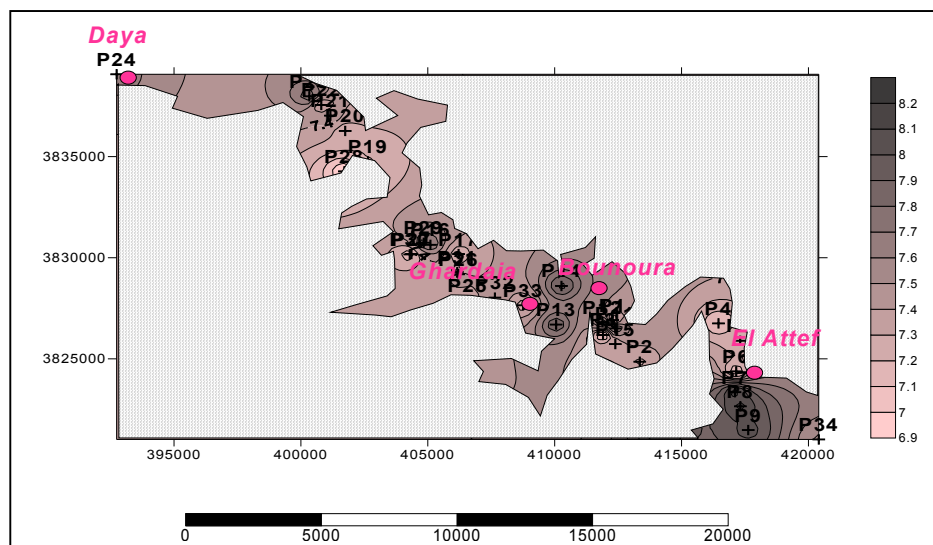


Figure III.3. Carte de Potentialité d'hydrogène

Nous constatons que la variation du pH est répartie sur l'ensemble de l'espace étudié d'une façon homogène, avec un minimum de 6.9 et un maximum de 8.22, cette variation est liée à la couche géologique.

III.4.2 La conductivité électrique

La figure (III.4) représente le variogramme des valeurs de conductivité électrique des eaux de la nappe phréatique de la région.

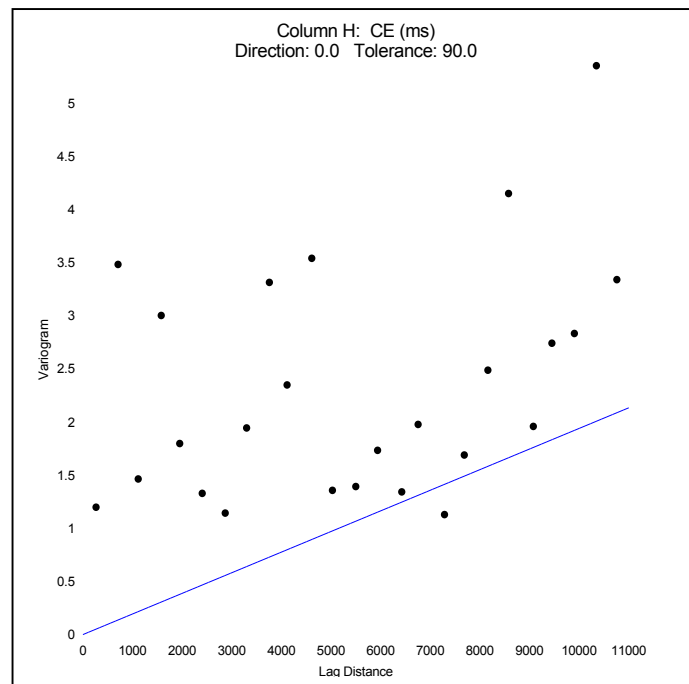


Figure III.4. Le variogramme des valeurs de conductivité électrique.

Le variogramme expérimentale de la conductivité électrique CE s'ajuste au modèle linéaire avec Anisotropie de ratio égale à 1, d'angle égale à 0° et de slope 0.000194. Les caractéristiques de la structure spatiale sont :

- Max lag distance = 11000
- Number of lags = 25
- Vertical scale = 5.36
- Tolerance = 90.

D'après le variogramme des valeurs de conductivité électrique, la carte de conductivité électrique de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.5).

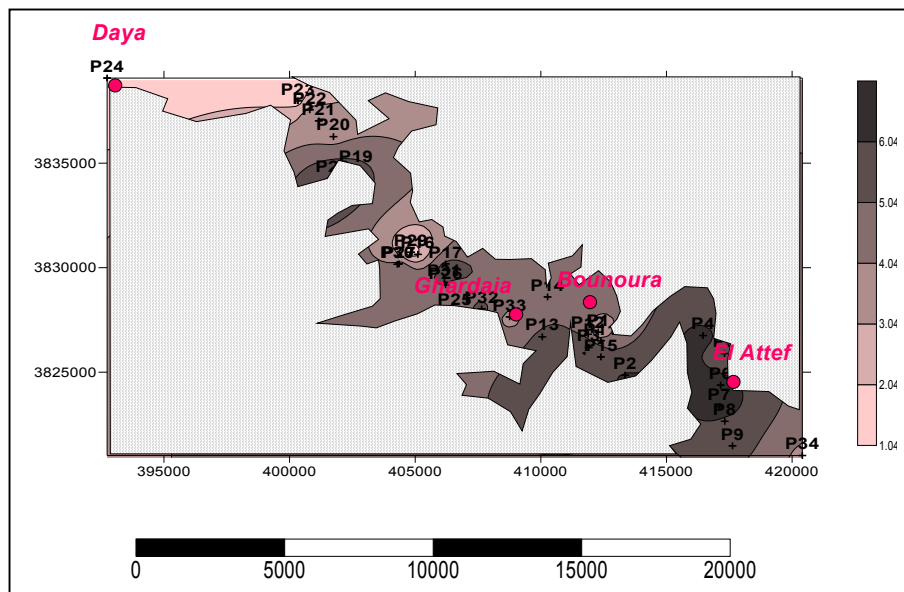


Figure III.5. Carte de la conductivité électrique.

Il est intéressant de constater que les eaux des nappes phréatiques de la vallée de M'Zab est relativement chargée, elle est de l'ordre de 6690 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à El Atteuf. Cette concentration est due probablement à la dissolution des sels contenus dans le sol, à l'exception de celles de la zone de Daya en amont de la vallée, ils sont de l'ordre de 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III.4.3 Le Calcium

La figure (III.6) représente le variogramme des valeurs de Calcium des eaux de la nappe phréatique de la région.

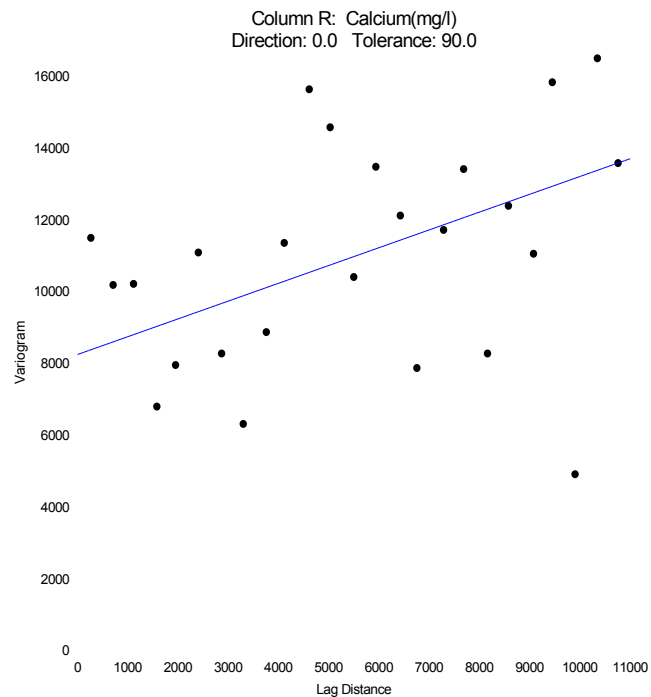


Figure III.6. Le variogramme des valeurs de calcium.

Le Variogramme expérimentale des valeurs de calcium qui s'ajuste le model linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0° , slop = 0.496 Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000
- Number of lags =25
- Vertical scal = 16600
- Tolerance =90

A partir du Variogramme expérimental des valeurs de calcium, nous avons établis la carte de calcium des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude (fig. III.7).

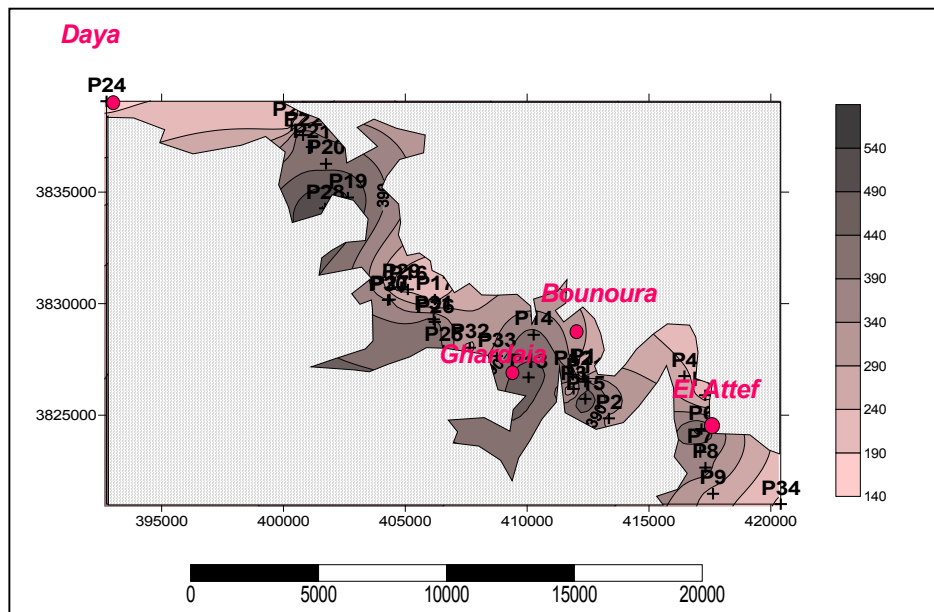


Figure III.7. La carte de calcium.

Nous constatons que les concentrations varient entre 176.352 et 545.088 mg/l. Ces dernières sont relativement faibles à l'amont de la nappe par rapport aux autres régions, On remarque que les teneurs croissent dans le sens de l'écoulement. Les fortes teneurs apparaissent au long de lit de l'oued, on pense qu'elles résultent de la dissolution des formations carbonaté contenue dans le sol.

III.4.4 Le Magnésium

La figure (III.8) représente le variogramme des valeurs du Magnésium des eaux de la nappe phréatique de la région.

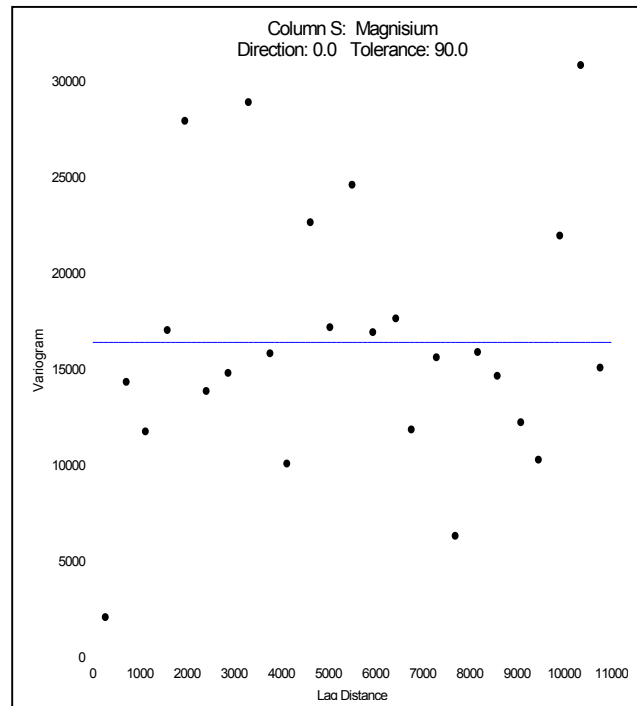


Figure III.8 *Le variogramme des valeurs de magnésium*

Le variogramme expérimental des ions de Magnésium est s'ajuste au modèle effet de pépite, avec une anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0° , slop = 0 Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000.
- Number of lags =25.
- Vertical scal = 440.
- Tolerance =90.

A partir du Variogramme expérimental des valeurs de Magnésium, nous avons établis la carte de Mgnésium des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude (fig. III.9).

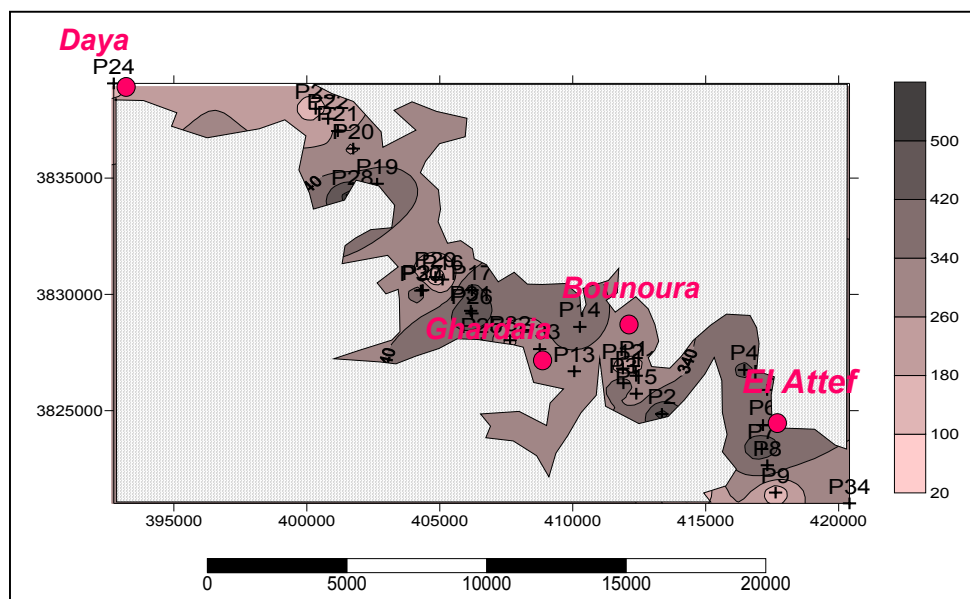


Figure III.9 La carte de magnésium.

Les variations de concentration sont très élevées, car 97% des puits dépassent la norme de potabilité, cette variation est due de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite). La concentration augmente de l'amont à l'aval.

III.4.5 Le titre hydrométrique

Nous avons représenté sur la figure (III.10) le variogramme du titre hydrométrique des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

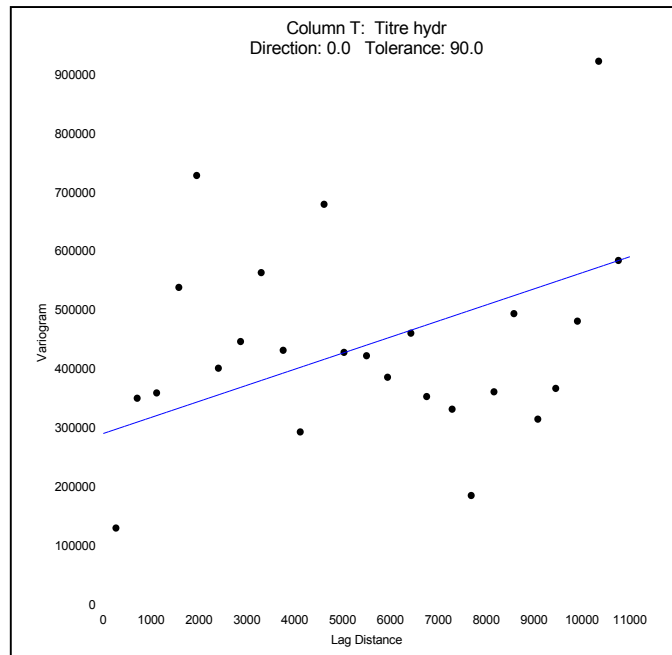


Figure III.10 Le variogramme des valeurs de titre hydrométrique.

Le variogramme expérimental de la dureté totale TH représenté dans cette figure suit un modèle linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope = 27,3. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance = 11000
- Number of lags = 25
- Vertical scale = 923000
- Tolerance = 90

A partir du Variogramme expérimental des valeurs du titre hydrométrique, nous avons établi la carte du titre hydrométrique des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude (fig. III.11).

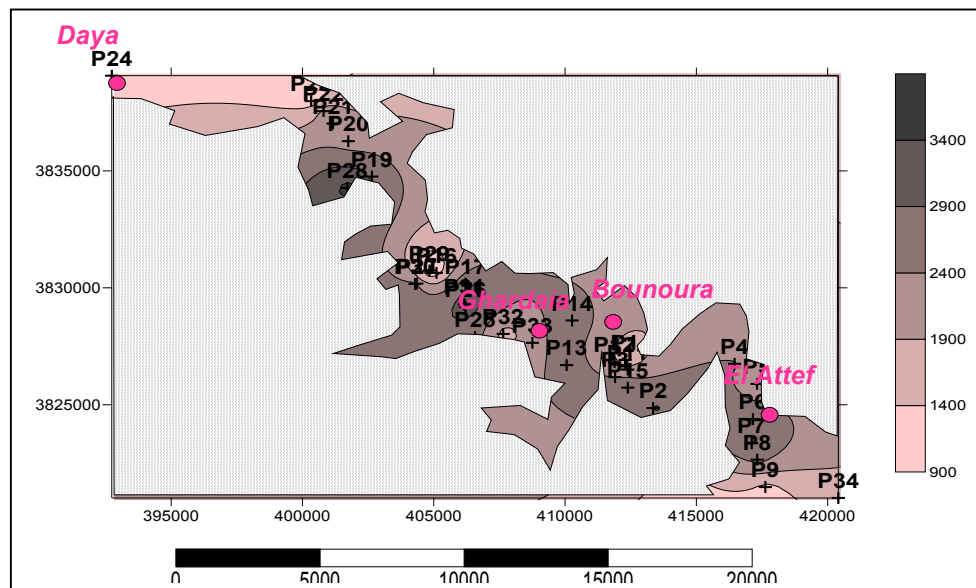


Figure III.11 La carte de titre hydrométrique

Il est intéressant de constater l'existence d'une variation titre hydrométrique de l'amont à l'aval avec une concentration du titre hydrométrique le long de lit de l'oued, cette variation est due de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium et au la dissolution des gypses contenus dans les marnes.

III.4.6 Le sodium

Nous avons représenté sur la figure (III.12) le variogramme du sodium des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

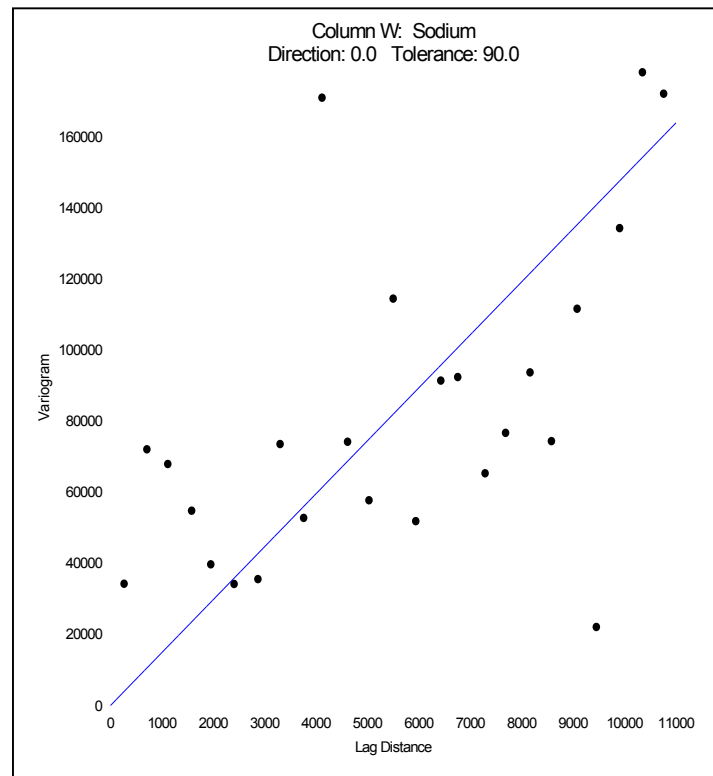


Figure III.12: Le variogramme des valeurs de sodium.

La figure représente le Variogramme expérimentale des valeurs de sodium qui s'ajuste le model linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0° , slop = 14.9 .Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000
- Number of lags =25
- Vertical scal = 179000
- Tolerance =90
-

D'après le variogramme des valeurs du sodium, la carte du sodium de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.13).

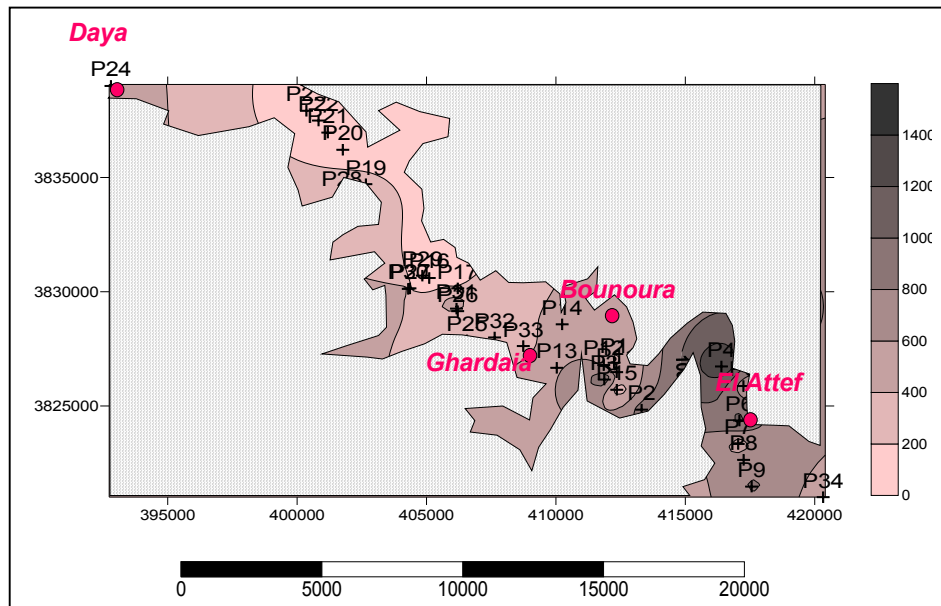


Figure III.13 La carte de sodium

D'après cette carte la concentration de sodium varie de 60.714 mg/l comme valeur minimal au niveau du point 23 en amont de l'aval jusqu'à 1428.57 mg/l enregistré au niveau du point 4 à El Atteuf à valle de la vallée. Les eaux souterraines se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation qui explique les fortes concentrations de l'amont à l'aval, l'ion de sodium est lie probablement à l'altération des d'argile ou de la dissolution des sels minéraux en particulier le chlorure de sodium NaCl.

III.4.7 Le potasium

La figure (III.14) représente le variogramme des valeurs du potassium des eaux de la nappe phréatique de la région.

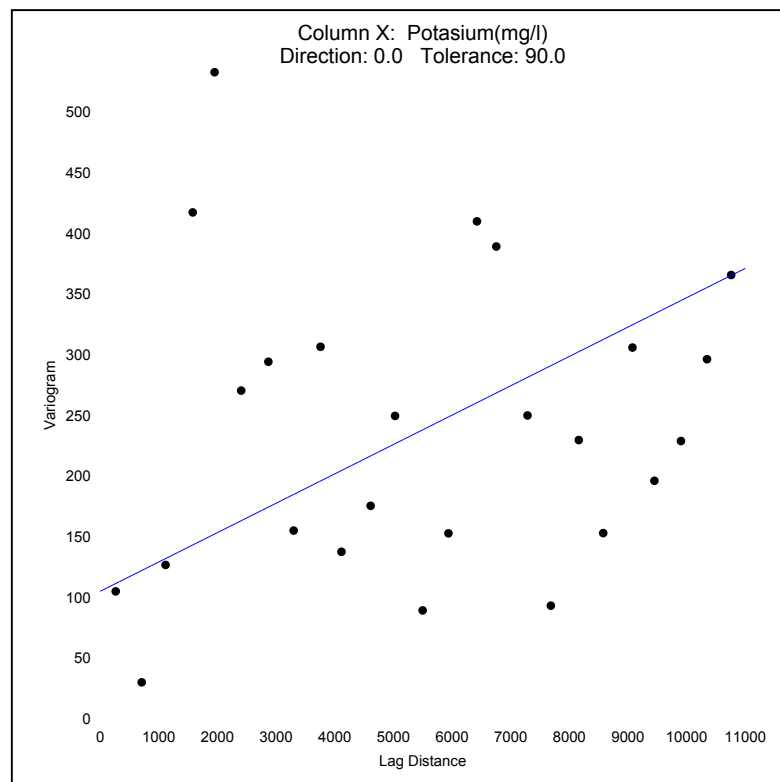


Figure III.14: Le variogramme des valeurs du potassium.

Le variogramme expérimental du potassium représenté dans cette figure suit un modèle linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope = 0.0242. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance = 11000
- Number of lags = 25
- Vertical scale = 533
- Tolerance = 90

D'après le variogramme des valeurs du potassium, la carte du potassium de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.15).

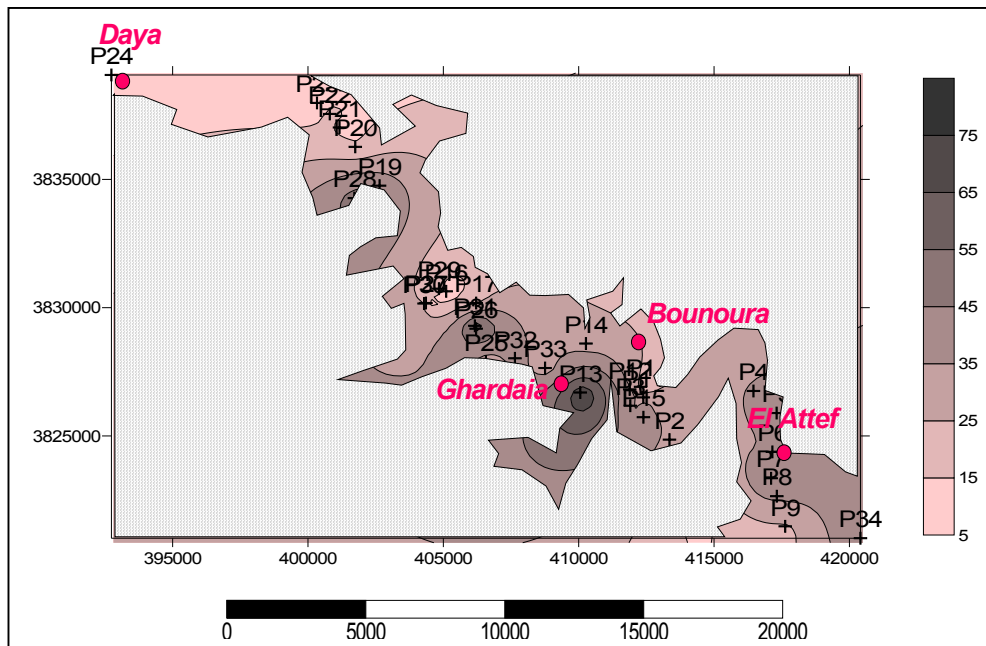


Figure III.15 : La carte du potassium.

D'après cette carte la concentration de potassium est augmentée de l'amont à l'aval car l'écoulement a favorisé l'acquisition de ces teneurs, les eaux souterraines, qui s'écoulent suivant la direction SW-NE, se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation. Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs et ou la dissolution des sels minéraux en particulier le chlorure de potassium KCl. On remarque que la concentration est plus élevée dans la zone de Ghardaïa.

III.4.8 Le titre alcalimétrique (HCO_3^-)

La figure (III.16) représente le variogramme des valeurs du bicarbonate des eaux de la nappe phréatique de la région.

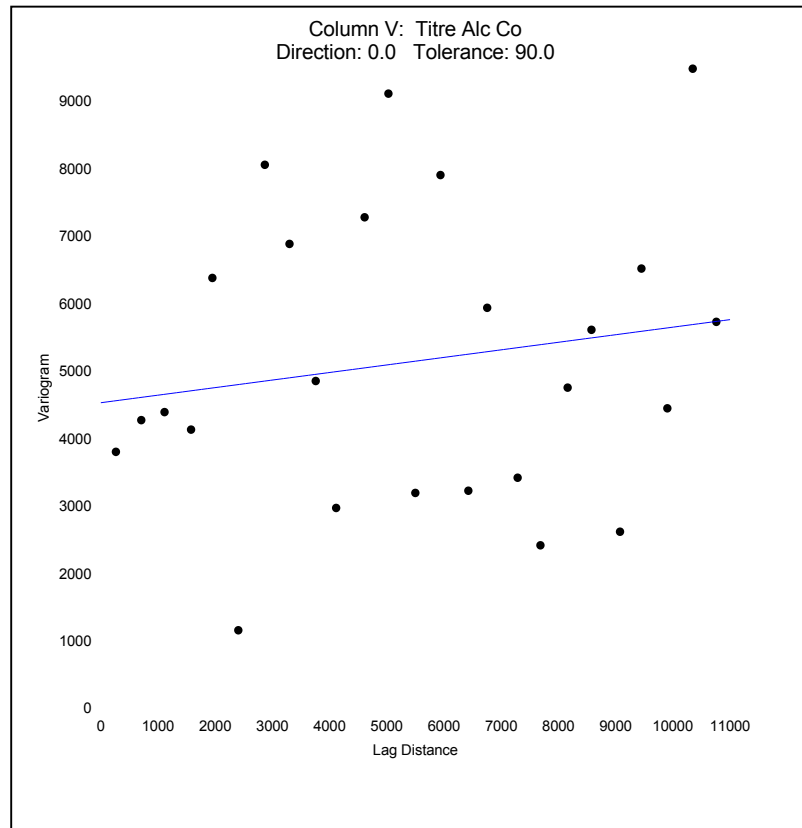


Figure III.16: Le variogramme des valeurs du titre alcalimétrique.

Le variogramme expérimental de titre alcalimétrique représenté dans cette figure suit un model linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope = 0,112. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000
- Number of lags =25
- Vertical scale = 9490
- Tolerance =90

D'après le variogramme des valeurs du bicarbonate, la carte du potassium de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.17).

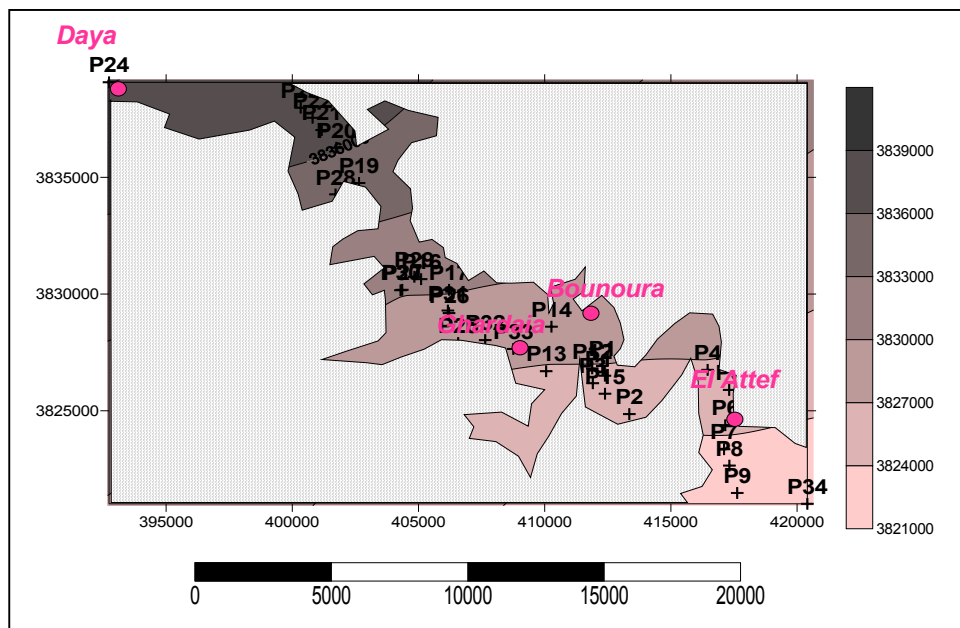
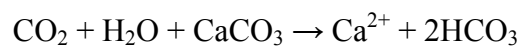


Figure III.17: La carte de titre alcalimétrique.

Les concentrations sont relativement fortes, elle est due à la dissolution des calcaires en bicarbonates par les pluies acides selon la réaction suivante :



On note que les teneurs en bicarbonates diminuent dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines due probablement à la composition du sol.

III.4.9 Le chlorure

La figure (III.18) représente le variogramme des valeurs du chlorure des eaux de la nappe phréatique de la région.

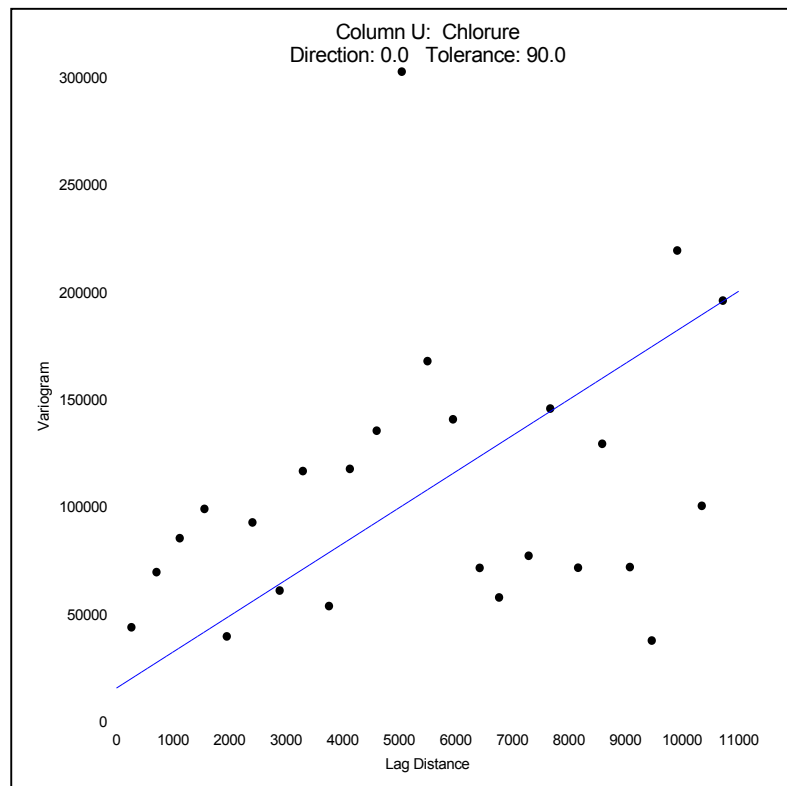


Figure III.18: Le variogramme des valeurs de chlorure.

Le variogramme expérimental de chlorure représenté dans cette figure suit un modèle linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope = 16.8. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance = 11000
- Number of lags = 25
- Vertical scale = 303000
- Tolerance = 90
-

D'après le variogramme des valeurs du chlorure, la carte du chlorure de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.19).

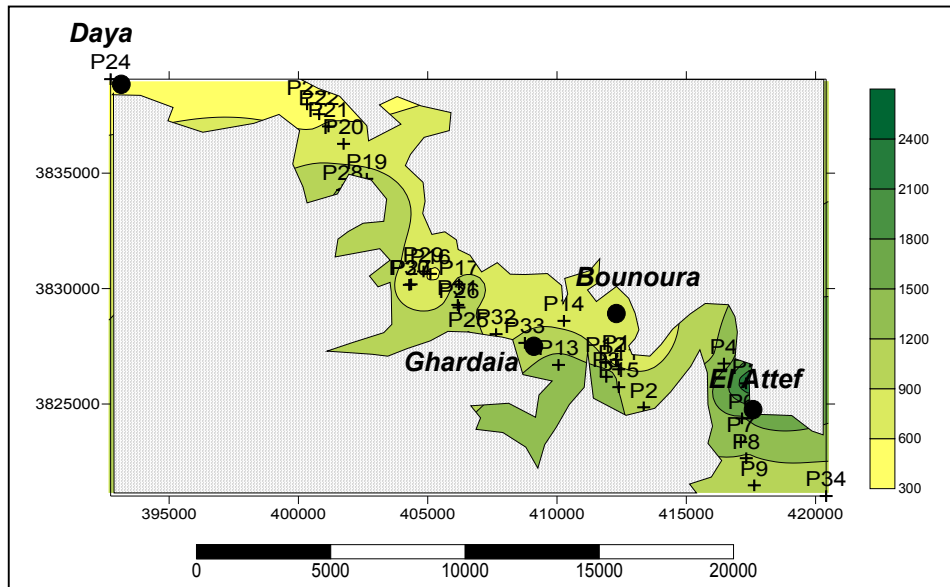


Figure III.19: la carte de chlorure.

D'après cette carte la concentration de chlorure varie de 283.62mg/l comme valeur minimal au niveau du point 22 en amont de l'aval jusqu'à 2417.89mg/l enregistré au niveau du point 5 à El Atteuf à valle de la vallée. Les eaux souterraines se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation qui explique les fortes concentrations de l'amont à l'aval, le chlorure est lie probablement au déversement des eaux usées dans la plaine ou l'altération des argiles sableuses gypsifères.

III.4.10 Les sulfates

La figure (III.20) représente le variogramme des valeurs du sulfate des eaux de la nappe phréatique de la région.

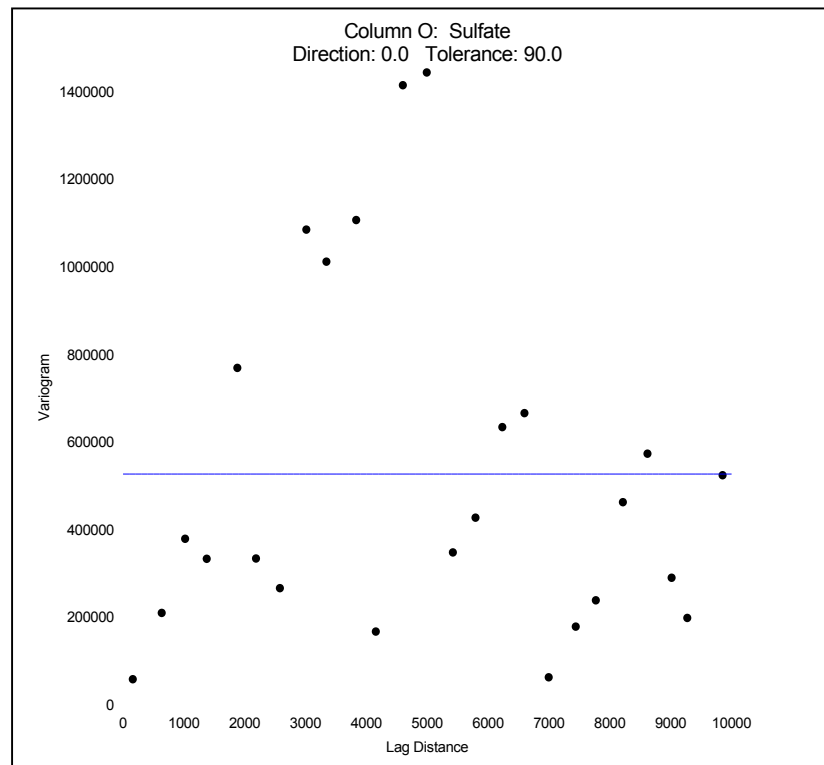


Figure III.20: Le variogramme des valeurs du sulfate.

Le variogramme expérimental de chlorure représenté dans cette figure suit un model effet de pipette avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope =0. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000
- Number of lags =25
- Vertical scale = 1450000
- Tolerance =90

D'après le variogramme des valeurs du sulfate, la carte du sulfate de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.22).

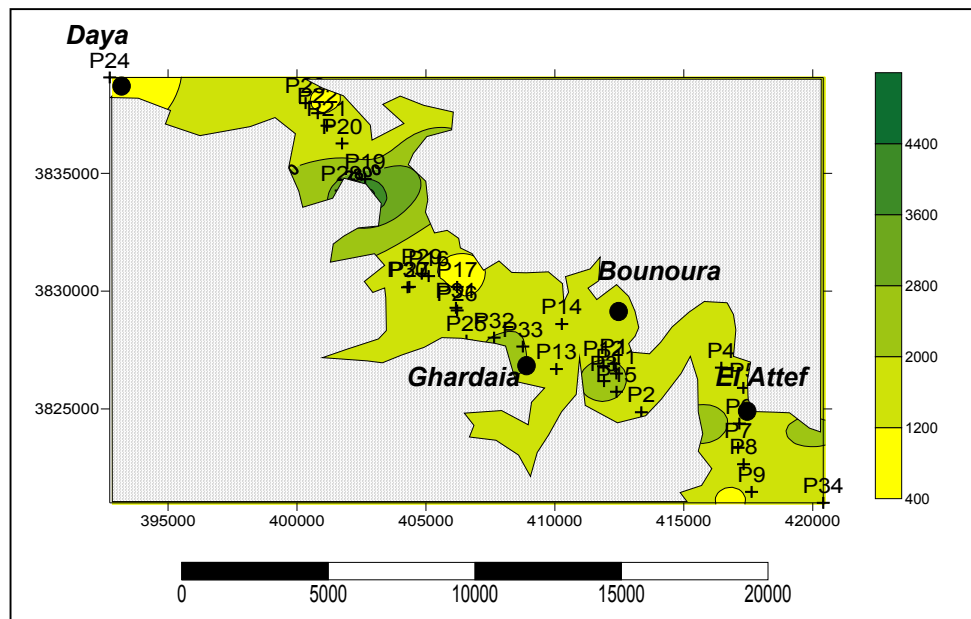


Figure III.21: la carte de sulfate.

Les concentrations, en général, varient entre 400 et 4400 mg/l. La forte concentration est enregistrée au puits 28 à Daya. Elles sont dues, à la dissolution et lessivage des gypses qui sont contenus dans le sol.

III.4.11. Les orthophosphates

Nous avons représenté sur la figure (III.22) le variogramme des orthophosphates des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

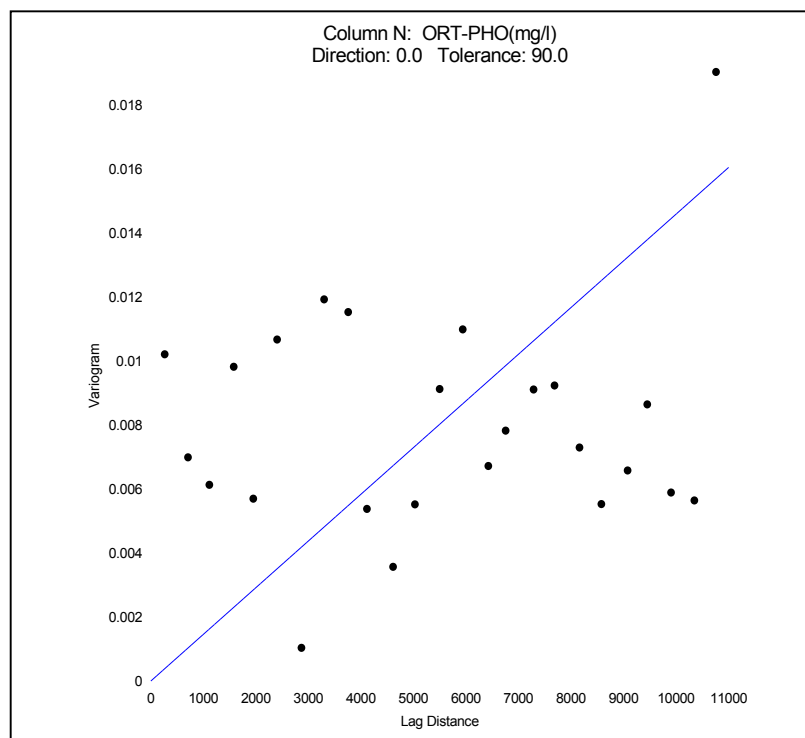


Figure III.22: Le variogramme des valeurs de l'orthophosphate.

Le variogramme expérimental de chlorure représenté dans cette figure suit un modèle linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope = $1.46E-006$. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance = 11000
- Number of lags = 25
- Vertical scale = 0.0191
- Tolerance = 90

D'après le variogramme des valeurs de l'orthophosphate, la carte de l'orthophosphate de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.23).

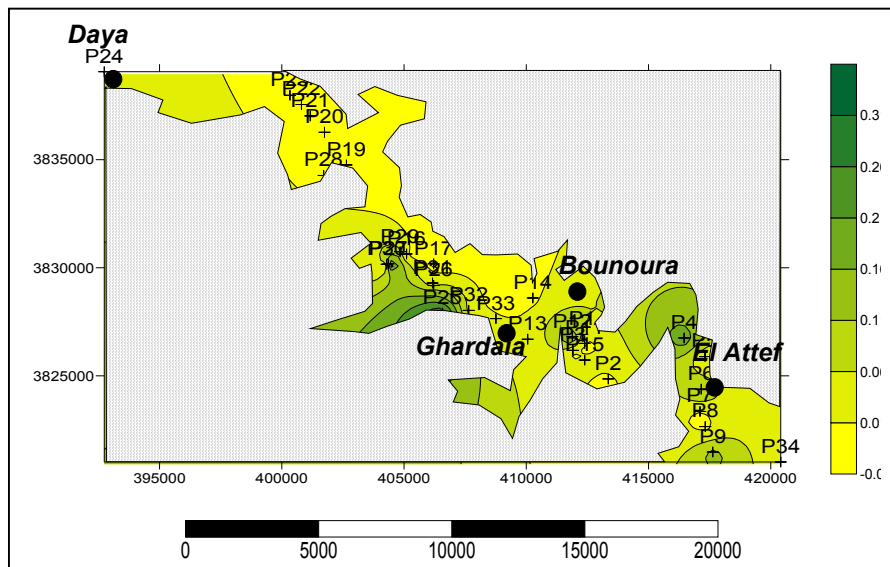


Figure III.23: la carte de l'orthophosphate.

Nous constatons que les concentrations sont variées entre 176.352 et 545.088 mg/l. Ces dernières sont relativement faibles à l'amont de la nappe par rapport aux autres régions, On remarque que les teneurs croissent dans le sens de l'écoulement. Les fortes teneurs apparaissent au le long de lit de l'oued, on pense qu'elles résultent des engrais.

III.4.12. L'ammonium

La figure (III.24) représente le variogramme des valeurs de l'ammonium des eaux de la nappe phréatique de la région.

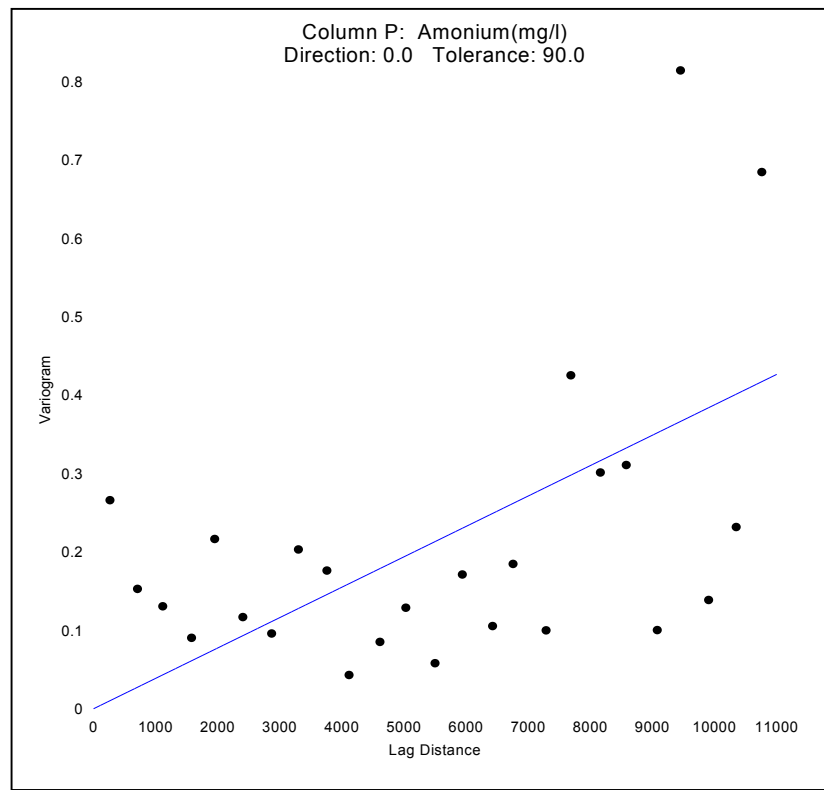


Figure III.24: Le variogramme des valeurs du sulfate.

Le variogramme expérimental du sulfate représenté dans cette figure suit un modèle linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope = $3.88E-005$. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance = 11000
- Number of lags = 25
- Vertical scale = 0.815
- Tolerance = 90

D'après le variogramme des valeurs de l'ammonium, la carte de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.25).

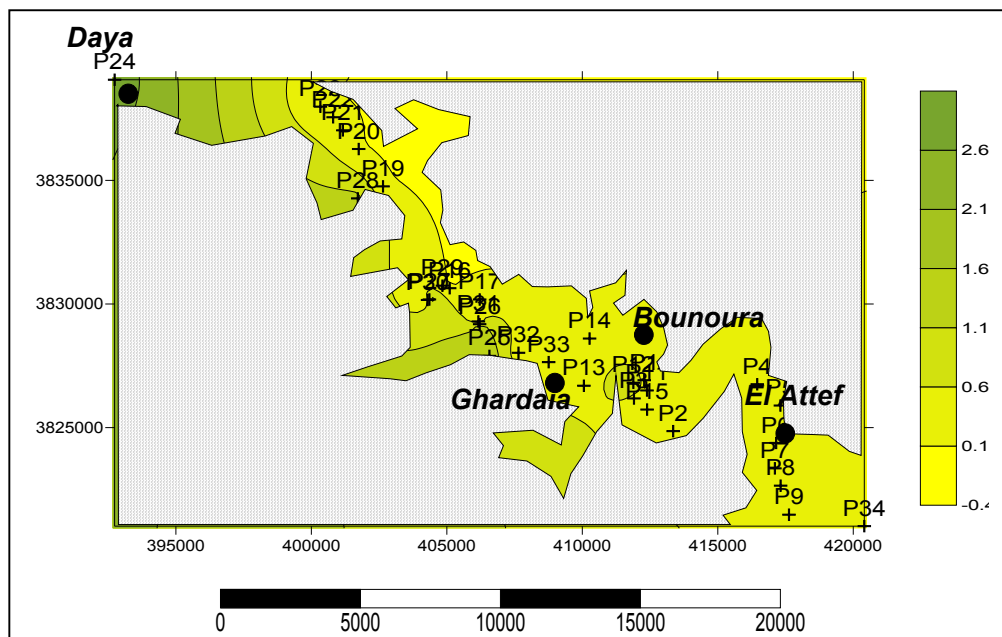


Figure III.25: la carte de l'ammonium.

D'après cette carte, la concentration de l'ammonium est très élevée à l'amont de la vallée, on signale que tous les puits dépassent la norme de potabilité. L'ammonium résulte de la minéralisation de matière organique du sol, amendements organiques comme le fumier et les autres déchets, les engrais azotés et les engrais azotés.

III.4.13 Les nitrates

Nous avons représenté sur la figure (III.26) le variogramme des valeurs des nitrates des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

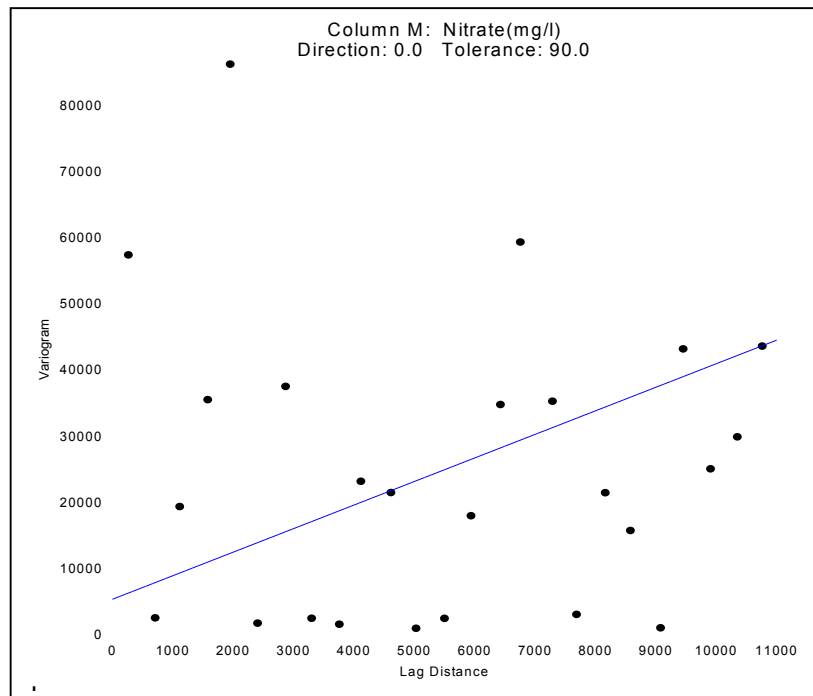


Figure III.26: Le variogramme des valeurs des nitrates.

Le variogramme expérimental de titre alcalimétrique représenté dans cette figure suit un model linéaire avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope = 3.56. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000
- Number of lags =25
- Vertical scale = 86200
- Tolerance =90

D'après le variogramme des valeurs du nitrate, la carte du nitrate de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.27).

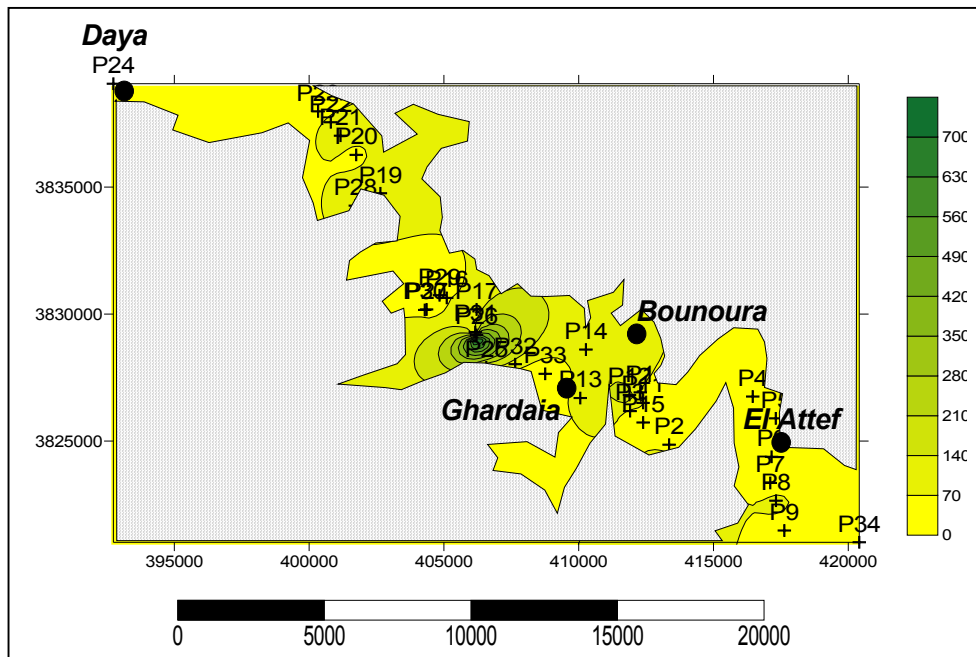


Figure III.27: La carte du nitrate.

Dans la vallée de M'Zab, les teneurs en nitrates au niveau de la nappe phréatique sont très élevées et dépassent les normes de l'OMS. On note que les valeurs des nitrites varient entre 0 et 600 mg/l.

Cette concertation est due probablement à l'activité agricole ou Les rejets urbains, qui déversent des eaux usées domestiques.μ

III.4.14 Les nitrites

La figure (III.28) représente le variogramme des valeurs du nitrite des eaux de la nappe phréatique de la région.

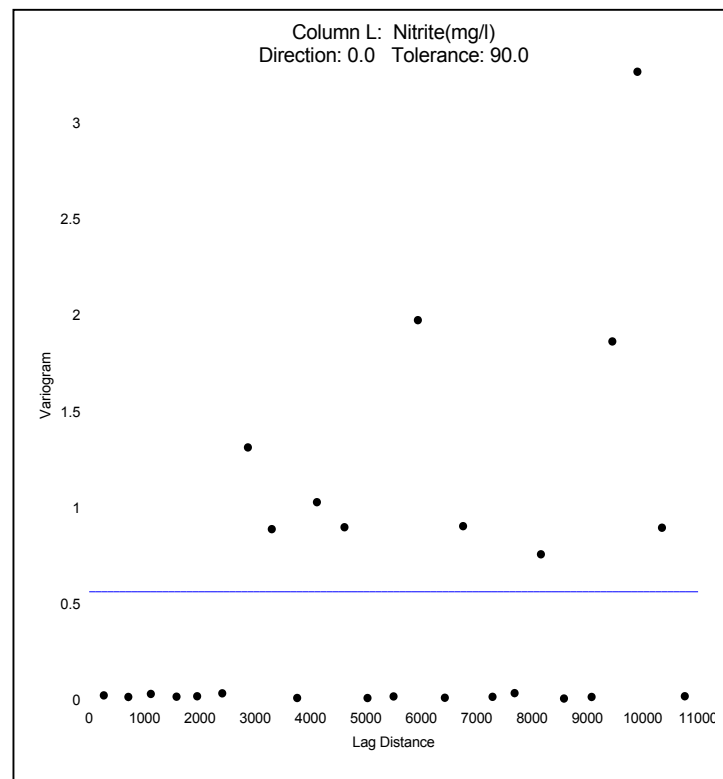


Figure III.28: Le variogramme des valeurs des nitrites.

Le variogramme expérimental de titre alcalimétrique représenté dans cette figure suit un model effet de pipette avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope =0. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000
- Number of lags =25
- Vertical scale = 3.27
- Tolerance =90

D'après le variogramme des valeurs du nitrite, la carte du nitrite de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure(III.29).

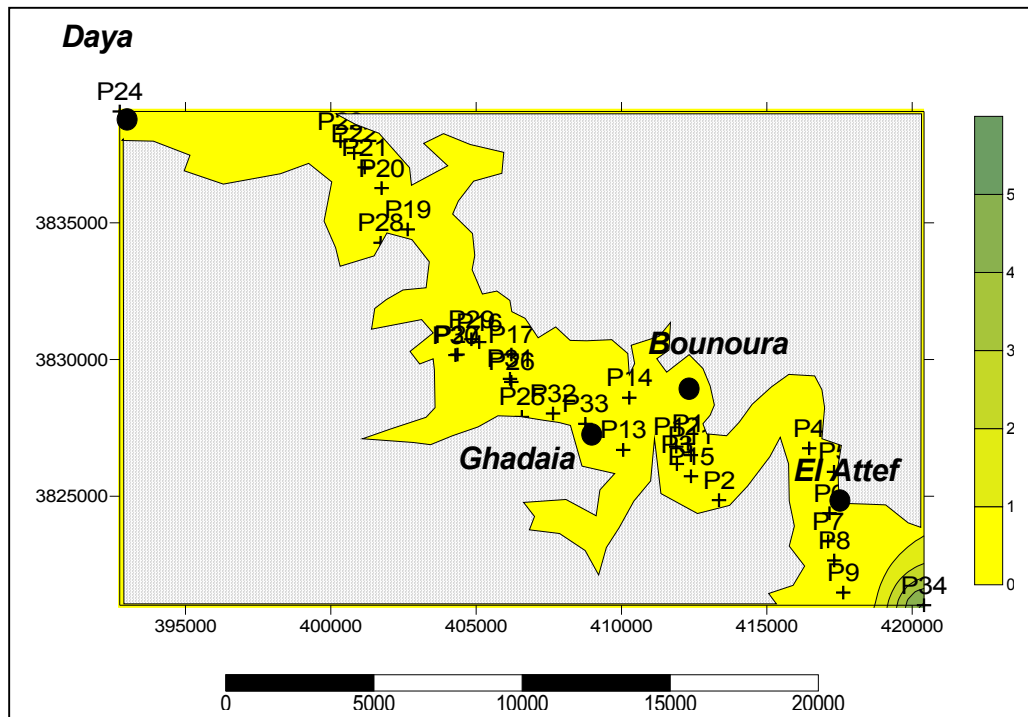


Figure III.29: La carte du nitrite.

D'après cette carte la concentration de nitrite est très faible, on signale que 97% des puits sont dans l'intervalle de potabilité. Les nitrites résultent par le phénomène de nitrification (transformation de NH_4^+ en NO_2^-).

III.4.15 Le fer

Nous avons représenté sur la figure (III.30) le variogramme du fer des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

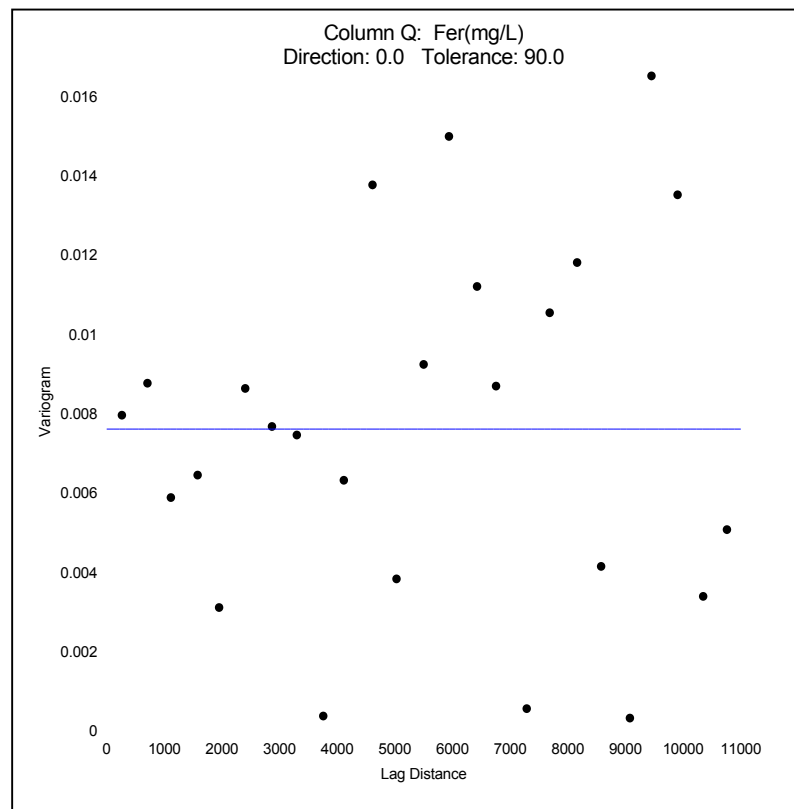


Figure III.30: Le variogramme des valeurs du fer.

Le variogramme expérimental de titre alcalimétrique représenté dans cette figure suit un model effet de pipette avec une anisotropie de ratio = 1 et d'angle = 0° avec un slope =0. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Max lag distance =11000
- Number of lags =25
- Vertical scale = 0.0166
- Tolerance =90.

D'après le variogramme des valeurs de fer, la carte de fer de la nappe phréatique de la région d'étude est représentée par la figure (III.31).

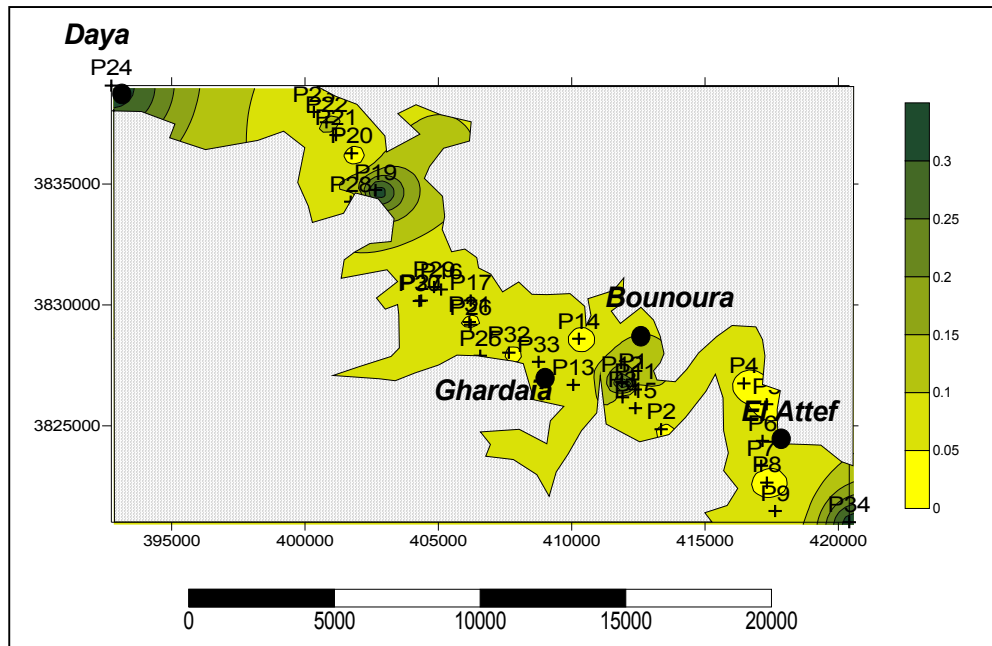


Figure III.31: La carte de fer.

D'après cette carte, la concentration de fer est très élevée à l'amont et à l'aval de la vallée, on signale que tous des puits dépassent la norme de potabilité. Sa présence est probablement due aux rejets des usines et/ou au lixiviat de la décharge ménagère dans l'oued.

III.4.16 la piézométrie

Nous avons représenté sur la figure (III.32) le variogramme piézométrique des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

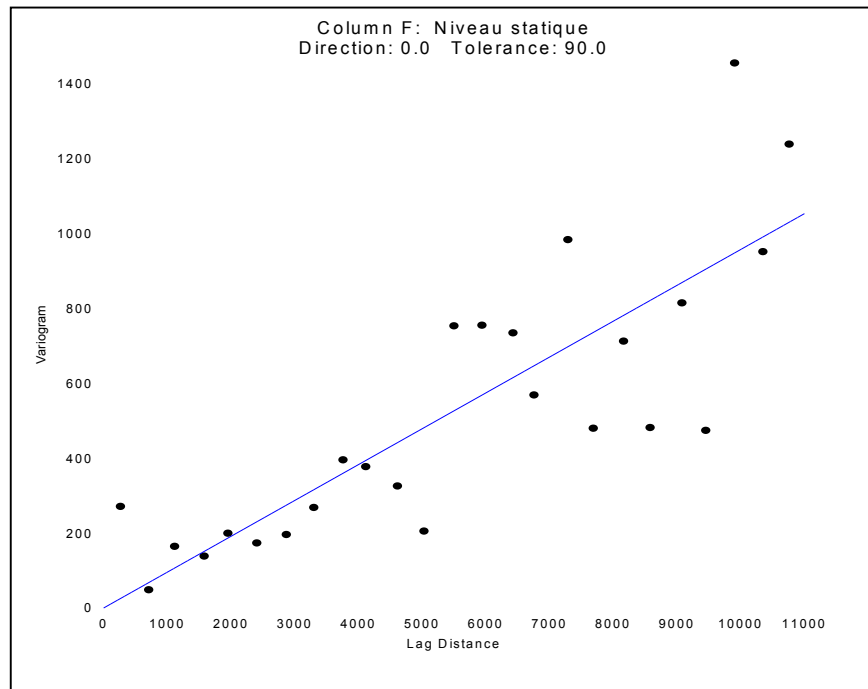


Figure III.32: Le variogramme des valeurs de la piézométrie.

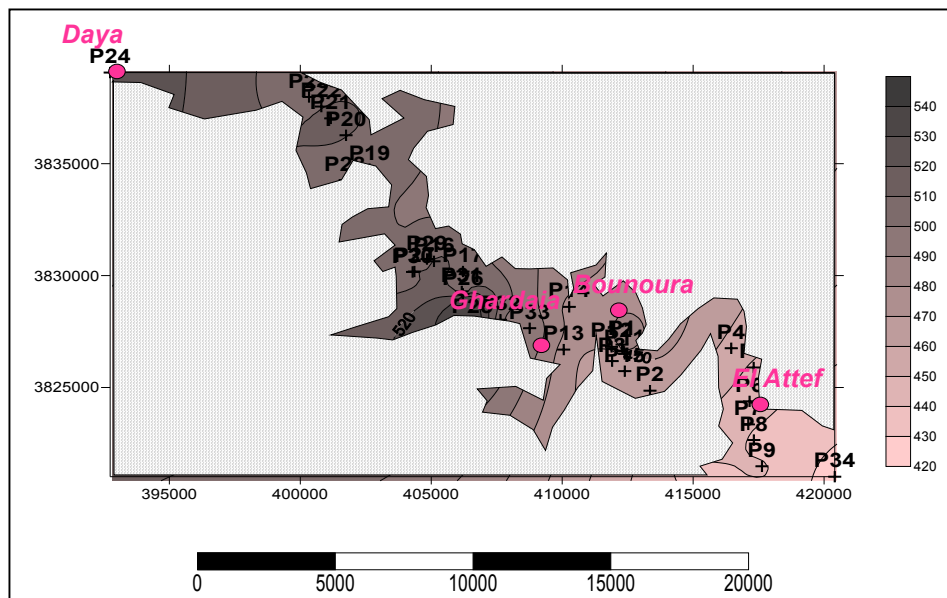


Figure III.33: La carte de la piézométrie.

D'après cette carte le niveau statique varie de 420 m comme valeur minimal au niveau du puits 34 en l'aval de l'oued jusqu'à 540m à l'amont de la vallée cette variation est lie probablement à la pollution.

III.5 Diagramme de piper

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants (Gouaidia 2008). Nous avons représenté sur la figure (III.34) le diagramme de piper des eaux de la nappe phréatique de la région d'étude.

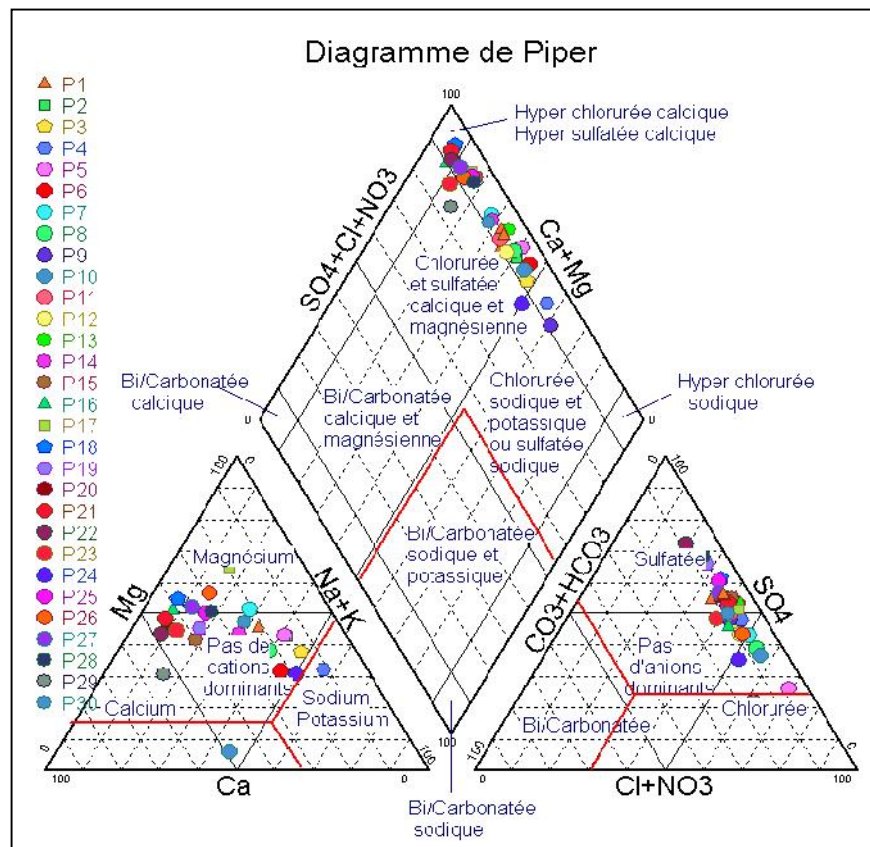


Figure III.34: Le diagramme de piper des eaux de la région d'étude

III.5 Conclusion

L'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe superficielle de l'oued M'Zab permet de dire que :

-Les eaux sont caractérisées par une forte salinité.

-La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations gypsifères.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude, qui a porté sur la nappe alluvionnaire de la vallée de M'Zab, elle se situe à 600 Km au sud de la capitale Alger, a abouti aux conclusions suivantes :

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau sub-horizontale de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment " la dorsale du M'Zab".

L'étude géologique de la vallée de M'Zab a montré que les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Infero-flux (nappes phréatiques).

Du point de vue hydrogéologique, les calcaires d'âge Crétacé bordant la plaine pourraient être d'importants réservoirs d'eau. Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable.

La vallée de M'Zab est soumise à un climat de type saharien, Il se distingue par de grandes amplitudes entre les températures du jour et de nuit, d'été et d'hiver. Il se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée. Avec des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 74,95 mm. La température moyenne interannuelle est de 40 °C.

La cartographie piézométrique a montré une recharge de la nappe phréatique par percolation se trouve ainsi favorisée et la remontée des eaux de cette nappe à la vallée ce qui montre il ya une pollution des eaux de cette nappe provenant de l'irrigation et du rejet des eaux usées (fosses septiques de la zone de Daya Ben Dhahoua fuites du collecteur et saignées à ciel ouvert pratiquées dans le lit de l'oued sur certains tracés non construits du collecteur.

L'étude hydrogéochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines, donc les facteurs naturels et anthropiques qui influent sur cette qualité. Dans cette étude on utilise la cartographie qui a montré :

- À l'amont, elle est bonne à la consommation.
- À l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines.

BIBLIOGRAPHIE

Amirat MOHAMED. Étude de la qualité des eaux .de la vallée de M'ZAB INGENIEUR
1997

ANEPIA 2000 ;Etude d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab
2009

Azouze .A ; « ingénieur simulation de la crue d'octobre la commune de Ghardaïa via le
code de calcul rubar 20 enp » ;2008.

Bouchereb .R ;« étude hydrologique et statistique de précipitations et crues sur la vallée
de m'zab » ;licence Hydraulique Université de Ghardaïa ;2013 .

GOUAIDIA Layachi ; « influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la
variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas
de la nappe de meskiana nord-est algerien.doctorat hydrologie université Badji mokhtar-
Annaba, 2008

ISO 9297 :1989(f).

Jean Rodier et all analyse de l'eau 8^{eme} édition.

Krimat .S ; Contribution à l'étude piézométrique et hydrochimique de la nappe phréatique
de la vallée du M'Zab ; LICENCE Hydraulique Université de Ghardaïa, avril 2013.

Medejerab ; « article les inondations catastrophiques du mois d'octobre 2008 a
Ghardaïa- algeriefaculte de science de la terre de géographie et aménagement du
territoire » ; université de science et de la technologie houari Boumediene ;2009.

Messid. I ; ingénieur conception du réseau pluvial daiade la commune de Ghardaïa ; 2009

Oueled ; « quantification de l'impact d'activité humains sur le bilan hydrologique d'une
nappe alluviale en zone aride (cas de la vallée du m'Zab Ghardaïa, sud algérien) *centre
universitaire el Djelfa 17000 Algérie article*

SIMTCHOOU MALIWESSONG « évaluation de l'acceptabilité socio-économique et de
la qualité de l'eau des systèmes d'approvisionnement en eau potable (aep) en milieu rural
et semi-urbain : cas de la petite station de kpele-sud (préfecture de kloto) » mémoire
présente en vue de l'obtention du diplôme de master international université de Lomé
faculté des sciences. 2011