



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم السري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydriques

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Thème

CONTRIBUTION DE LA GEOMATIQUE A L'ETABLISSEMENT DES
CARTES DES INDICES DE LA QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE
ALBIENNE DANS LA REGION DE GHARDAIA

Soutenu publiquement le : 24/10/2020

Par

MOULAY OMAR Hamida & BENHAMADI Ryma

Par le jury composé de :

Mr : MECHRI Bachir

MCB

Université de Ghardaïa

Président

Mr : BOUTELLI Med Hichem

MCB

Université de Ghardaïa

Examinateur

Mr : ACHOUR Mansour

Doctorant

Université de Ghardaïa

Encadreur

Année universités : 2019/2020



REMERCIEMENT

Je

*tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant
et miséricordieux, qui nous a donné la force et le
courage d'accomplir ce travail.*

*En second lieu, Nous voudrions présenter nos remerci
ements à notre encadreur «ACHOUR
Mansour» Nous voudrions également lui témoigner
notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a
été précieux afin de mener notre travail à bon port.*

*Nous adressons notre plus vifs remerciements le
président M^r MECHRI Bachir également nous
remercions l'examineur M^r BOUTELLI*

Mohammed

*Hicham pour l'intérêt qu'il ont porté à notre recherche
en acceptant d'examiner notre travail*

*Nous remercions tous les enseignants du département
Hydraulique*

*Enfin, nous tenons également à remercier
toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à
la réalisation de ce travail.*

MOULAY OMAR Hamida & BENHAMADI Ryma



Dédicace

A ma mère

A mon père

A toute la famille MOULAY OMAR

A mes sœurs et mes frères

Spécial dédicace à M^r ACHOUR

Mansour

Et mes chères sœurs Hadjer et

Rachida

A Mes chers amis (es).

*A Tout le groupe Hydraulique ainsi
que les étudiants de L'université de
GHARDAIA.*

Hamida.



Dédicace

A ma mère.

A mon père.

A ma belle-famille.

A mes frères.

Toute La famille.

Mes chers amis (es).

*Tout le groupe Hydraulique ainsi
que les étudiants de GHARDAIA.*

A mes meilleurs amis.

Liste des Tableaux

N°	Titre	Page
Tableau N° (II-01)	Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation	30
Tableau N°(II-2)	Evolution du volume d'exploitation des eaux du Continental Intercalaire par usage	31
Tableau N° (III-01)	Valeurs du SAR selon Richards	41
Tableau N ° (IV-1)	Classification pH	49
Tableau N°(IV-1)	Classification de l'eau d'irrigation	49
Tableau N°(IV-2)	les valeurs du TH (dureté totale)	56

ListeDesPhotos

N°	Titre	Page
Photo N°(III-01)	pH-mètre	35
Photo N°(III-02)	Conductivimètre	35
Photo N°(III-03)	Turbiditemètre	35
Photo N °(III.04)	Spectromètre UV visible	38
Photo N °(III. 05)	Spectromètre à flamme(JENWAY).	39

Liste des Figures

N°	Titre	Page
Figure N°(I-01)	Concentrations de chlorure dans les eaux souterraines	07
Figure N°(I-02)	Normal QQ Plot	08
Figure N°(I-03)	Graphique de la TDS en fonction de la conductivité électrique	09
Figure N°(I-04)	L'anatomie du semi-variogramme	12
Figure N°(I-05)	L'anatomie de la covariance	13
Figure N°(I-06)	Le graphique de prédiction et les statistiques calculées de la validation croisée du magnésium	15
Figure N°(II-01)	Situation nationale de Ghardaïa.	16
Figure N°(II-02)	Limites administratives de la région de GHARDAIA	17
Figure N° (II-3)	Bassins versants de la région du M'Zab	18
Figure N° (II-4)	Bassins versants et hydrographie de la région du M'Zab	19
Figure N° (II-5)	Températures moyennes mensuelles (2009-2019)	21
Figure N° (II-6)	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles.	21
Figure N° (II-7)	Valeur d'évaporation moyenne annuelle	22
Figure N° (II-8)	Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa	23
Figure N° (II-9)	Carte géologique de la région de Ghardaïa.	24
Figure N°(II-10)	Limites du domaine SASS	26
Figure N°(II-11)	Coupe hydrogéologique transversale du "CT"	29
Figure N° (II-12)	Evolution de l'exploitation des eaux du Continental Intercalaire par usage du 2005 au 2016	31
Figure N°(III-1)	Composant de SIG	42
Figure N°(III-2)	Représentation de l'interface du logiciel ArcGIS	43
Figure N°(III-3)	Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie	44
Figure N °(IV-1)	Diagramme de piper (analyse du forage de la willaya de Ghardaïa)	48
Figure N° (IV-2)	le semi-variogramme expérimental du paramètre Na	51
Figure N° (IV-3)	Validation du modèle par corrélation	51
Figure N° (IV-4)	Tableau des erreurs entre expérimentale et modèle	52

ListeDescartes

N°	Titre	Page
Carte N°(VI-01)	Répartition spatiale des forages	45
Carte N°(VI-02)	La balance ionique	46
Carte N°(VI-03)	Type d'eau (facies chimiques)	47
Carte N° (II-04)	carte interpolée du PH	53
Carte N°(VI-05)	Carte interpolée de TDS	55
Carte N°(VI-06)	Carte interpolée de la TH	57
Carte N°(VI-07)	Carte interpolée d'indice du Chlore (Cl)	58
Carte N° (VI-08)	Carte interpolée d'indice de perméabilité (PI)	59
Carte N° (VI-9)	Carte interpolée d'indice de killy (KI)	60
Carte N°(VI-10)	Carte interpolée d'indice de SAR	61

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux;

ANRH : Agence National Ressource Hydraulique;

CI : Continental Intercalaire

:CT : Complexe Terminal

DBO5 : Demande Biochimique En Oxygène Pendant Cinq Jours

ESRI :Environmental Systems Research Institute.

ESDA : exploratory spatial data analysis.

EDA : exploratory data analysis.

GPS :Global Positioning System

GIS: Geographic Information Système

IDW : Inverse Distance Weighting

KU :Krigage Universel

KO :Krigage Ordinaire

MNT : Modèle Numérique de Terrain

pH : Potentiel Hydrogène

SGBD : Système de Gestion de Base de Données

SIG : Système d'Information Géographique

SQL : StructuredQueryLanguage

SASS : Système Aquifère du Sahara Septentrional

BI: Balances Ioniques ;

CEC: Capacité d'Échange Cationique ;

°C : Degré Celsius;

CO₂: dioxyde de carbone;

EDTA : Ethyle diamine tétra acétique;

°F : degré français ;

FTU: FormazineNephelometric Unit;

g: gramme;

h : Heure;

HCl : Acide chlorhydrique

HSN : Acide Calcane Carboxylique;

H₂O: Monoxyde de dihydrogène

ISO: Organisation internationale de normalisation ;

K₂Cr₂O₇: Dichromate de potassium;

L.H.A : Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon;

m : Mètre;

MES : Matières En Suspension ;

meq : milliéquivalent ;

NaCl: Chlorure de sodium ;

NaOH : hydroxyde de sodium;

NTU : Néphélogétrie Turbidité Unit;

OH: Hydroxydes;

ONM : Office National de la Météorologie

OMS : organisation mondiale de santé ;

pH : potentiel d'Hydrogène;

TA : Titre Alcalimétrique;

TAC : Titre Alcalimétrique Complet;

TDS : Taux des Sels Dessous;

TH : Titre Hydrotimétrique;

s/cm : Siemens par centimètre;

UV : Ultra Violet;

% : Pourcentage;

Table de matière

Titre	Page
Remerciement	
Dédicace	
Table de matière	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Objectif De l'étude	
Chapitre I: Généralités bibliographiques	
1.1. Les eaux souterraines	3
1.2. Qualité des eaux souterraines	3
1.3. Composition chimique des eaux souterraines	3
1.4. Balance ionique	4
1.5. Interprétation des données sur la qualité de l'eau	5
1.6. Analyse spatiale	5
1.7. Analyse exploratoire des données spatiales	5
1.8. Distribution des données	6
1.9. Coefficient de corrélation	8
1.10. Interpolation spatiale	9
1.11. Géostatistique	10
Chapitre II : Caractéristiques de la zone d'étude	

2 .1.Cadre géographique	16
2 .1.1.Aspect géomorphologique	16
2 .1.2.Aspect topographique	18
2 .1.3.Réseau hydrographique	18
2 .2.Cadre hydro-climatique	20
2 .2.1.Introduction	20
2 .2.2.Les éléments du climat	20
2 .2.2.1.Température	20
2 .2.2.2.Les Précipitations	21
2 .2.2.3.L'évapotranspiration	22
2 .2.2.4.Courbe Ombro-thermique	22
2 .3.Cadre géologique	23
2 .3.1.Introduction	23
2 .3.2.Albien	24
2 .3.3.Cénomanién	24
2 .3.4.Turonien	25
2 .3.5.Sénonien	25
2 .3.6.MioplIOCène	25
2 .3.7.Quaternaire	25
2 .4.Cadre hydrogéologique	25
2 .4.1.Aquifère du SASS	25
2 .4.1.1.Continental Intercalaire	26
2 .4.1.2.Complexe terminal	28
2 .4.2.Aquifère albien dans la région de Ghardaïa	29
2 .4.3.Répartition et Nombre de forages	30
2 .4.4.Exploitation et usage	30
2 .5.Conclusion	32
<div style="border: 2px solid blue; border-radius: 15px; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <h2 style="text-align: center; margin: 0;">Chapitre III : Matériels et Méthodes</h2> </div>	
3 .1.Introduction	29
3 .2.Préparation des données	33

3 .2.1. Echantillonnage d'eau	33
3 .2.2. Cartographie des données	33
3 .2.3. Mesures sur le terrain	34
3.2.4. Mesures au laboratoire	35
3 .3.Exploitation des Systèmes d'Information Géographique (SIG)	41
3 .4.Programmes et logiciels exploités	43
Chapitre IV:Résultats et discussion	
4 .1. Répartition spatiale des données	45
4 .2. Vérification de la fiabilité des données hydro chimiques	46
4 .3.Interprétation des données hydro chimiques	47
4 .3.1. Les Types d'eau (Facies chimiques)	47
4 .3.2. Diagramme de Piper	48
4 .3.3. Indices de qualité de l'eau	49
4 .3.3.1. Le pH	49
4 .3.3.2. Le Résidu sec (TDS)	49
4 .3.3.3. La dureté de l'eau (TH)	49
4 .3.3.4. Indice du Chlore (Cl)	49
4 .3.3.5. Indice de perméabilité (PI)	49
4 .3.3.6. Indice de saturation (SI)	49
4 .3.3.7. Indice de Kelly (KI)	49
4 .3.3.8.Indice d'Adsorption de Wilcox (SAR)	50
4 .4.Interpolation spatiale des données hydro chimiques	50
4 .4.1.Méthode géostatistique par krigeage	50
4 .4.2.Calcul des semivariogrammes	50
4 .4.3.Validation des modelés de prédiction	51
4 .5.Cartographies de la répartition spatiales des indices de qualité	52
4 .5 .1.Carte interpolée du pH	52
4 .5.2.Carte interpolée du Résidu sec (TDS)	54
4 .5.3.Carte interpolée de la dureté de l'eau (TH)	56
4 .5.4.Carte interpolée de l'Indice du Chlore (Cl)	58

4 .5.5.Carte interpolée de l'Indice de perméabilité (PI)	59
4 .5.6.Carte interpolée d'Indice de Kelly (KI)	60
4 .5.8.Carte interpolée d'Indice d'Adsorption de Wilcox (SAR)	61
Conclusion	62
Conclusion générale	63
Références bibliographique	
Annexes	

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale :

L'eau est l'élément essentiel à la vie, il représente un pourcentage très important dans la constitution de tous les êtres vivants. Sans cette matière simple et complexe en même temps la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures, et pour cela la technologie moderne nous a permis la conception des stations de traitement des eaux de surface pour pallier aux problèmes de pollution qui menacent la potabilité de l'eau qui a été préservé pendant des siècles, le laboratoire d'analyses a un rôle très important dans le suivi d'une station de traitement car c'est lui qui doit confirmer la potabilité de l'eau après traitement et anticiper toutes les étapes nécessaires avant traitement à l'aide des analyses pour l'obtention des résultats demandés

Les eaux souterraines sont des eaux propres généralement répondent aux normes de potabilité bactériologique avec une composition chimique constante. Mais la vulnérabilité au pollution défaire d'une nappe à une autre selon la profondeur.

En Algérie, et plus particulièrement au Sahara, la principale source de satisfaction de la demande en eau c'est l'eau souterraine, à cause de l'aridité du climat et l'exploitation relativement facile de cette ressource souterraine.

Le captage des nappes aquifères se fait par des puits simple ou avec galeries drainantes, à l'exutoire de sources, ou encore par réalisation de profonds forages dans le sous-sol.

La qualité physico-chimique des eaux souterraines dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi de la concentration en certains éléments chimiques.

Un SIG est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation des données dont la plupart est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et à l'aide à la décision

De nombreux concepts d'analyse spatiale sont antérieurs à l'avènement de système d'information géographique Cependant, la révolution numérique survenue par les

Introduction générale

développements fulgurants de l'information à non seulement fourni de nouveaux moyens de calcul mais aussi un outil qui, n'étant pas neutre, à ouvert de nouvelles voies d'analyse et de compréhension de la réalité.

La cartographie a été, sans doute, la première manière de produire un modèle de l'espace géographique. Contenu et type graphique sont élaborer en fonction de l'objectif poursuivi, notamment la topographie les réseaux routières, les carte d'occupation du sol, les unités de végétation, géologie...etc

L'objectif de notre travail est une contribution de la géomatique à l'établissement des cartes des indices de la qualité des eaux de la nappe albiennaise dans la région de Ghardaïa à travers le territoire de la région de Ghardaïa dans l'objectif d'une gestion rationnelle des ressources en eau dans la région. Notre étude vise à caractériser la géométrie de réservoir et de comprendre le fonctionnement de l'aquifère du Continental Intercalaire (CI), déterminer les caractéristiques physico-chimiques de ses eaux, et la détermination du mécanisme de l'acquisition de la charge saline des eaux de l'aquifère.

Pour cela, nous l'avons structuré sous quatre chapitres, en l'occurrence:

- Chapitre I: Généralités bibliographiques.
- Chapitre II: Caractéristiques de la zone d'étude.
- Chapitre III: Matériels et méthodes utilisés.
- Chapitre IV: Résultats et discussion.

Et nous terminons par une conclusion générale suivie de quelques recommandations

Remarque : à cause de covid-19 on n'a pas fait les analyses dans les laboratoires. On a apporté les résultats qui sont mis dans le tableau des résultats d'analyses devant Mr l'encardeur

*Généralités
bibliographiques*

1- Généralités bibliographiques

1.1. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines longtemps considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, sont de nos jours souvent touchées par l'infiltration de multiples polluants à haut risque dont les plus répandus sont les nitrates et les pesticides. L'eau d'une nappe souterraine a une composition généralement plus stable et riche en sels minéraux. Son exploitation nécessite la mise en place de systèmes de captage et des équipements hydrauliques de distribution (pompes) qui sont souvent importants. La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine. Une nappe peut être libre, elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement.

Une nappe peut être captive, elle est alors séparée de la surface de sol par une couche imperméable et maintenue en pression par un toit moins perméable que la formation qui la contient.

Un cas particulier est présenté par les nappes alluviales: ce sont les nappes situées dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau [1].

1.2. Qualité des eaux souterraines

Les nappes d'eau souterraine sont formées par la percolation de l'eau de pluie et de ruissellement à travers les sols et les roches [2]. Au cours de ce transfert, l'eau acide dissout les roches et se charge de quelques uns de ses éléments chimiques les plus solubles. Certains de ces éléments sont nécessaires au bon fonctionnement du corps humain, mais en faible concentration; les mêmes peuvent être toxiques en plus fortes concentrations; d'autres sont toxiques même à faible dose. Cette réaction naturelle entre l'eau et la roche provoque une large diversité dans le caractère minéral des eaux souterraines, communiquant des propriétés intrinsèques comme la dureté, la salinité [3]. Ces réactions naturelles font que la qualité naturelle des eaux souterraines est influencée par la nature lithologique des aquifères et des terrains superficiels.

1.3. Composition chimique des eaux souterraines :

Il est évident que la chimie des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influence sur la teneur des éléments majeurs :

- Calcium(Ca^{2+}) ;

- Magnésium(Mg^{2+}) ;
- Potassium(K^+) ;
- Sodium(Na^+) ;
- Chlorure(Cl^-)
- Bicarbonate (HCO_3^-) ;
- Sulfate(SO_4^{2-}).

La composition chimique de l'eau naturelle est dérivée de nombreuses sources de solutés de l'atmosphère, l'altération des roches et des sols, des réactions chimiques qui se produisent sous la surface des terres et les effets résultant de l'activité humaine. [4]

1.4. Balance ionique :

Le contrôle des résultats de l'analyse d'une eau naturelle peut être effectué par l'intermédiaire du bilan ionique : c'est-à-dire par la vérification de l'équation d'électro neutralité. En théorie, et pour un pH voisin de 7, la somme des anions exprimée en *mEq* doit correspondre exactement à la somme des cations exprime de la même manière.

$$\text{Somme des cations (mEq/l)} = \text{Somme des anions (mEq/l)}.$$

Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$BI(\%) = \frac{(\text{cations} - \text{anions})}{(\text{cations} + \text{anions})} \times 100 \quad (I - 01)$$

Où :

- ✓ BI : la balance ionique exprimée en pourcentage,
- ✓ *Cations* : La Somme des cations (unités en *mEq/l*).
- ✓ *Anions* : La Somme des anions (unités en *mEq/l*).

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante.

- ✓ $-1\% < BI < 1\%$: Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- ✓ $-5\% < BI < 5\%$: Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- ✓ $-10\% < BI < 10\%$: Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- ✓ $BI > 10\%$: Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses. [4]

1.5. Interprétation des données sur la qualité de l'eau :

Les données sur la qualité de l'eau peuvent être interprétées sur la base à la fois de l'analyse individuelle et des ensembles d'analyses d'un site d'échantillonnage ou de différents sites d'échantillonnage dans une zone ou un aquifère à examiner. Dans le cas d'une analyse individuelle, la première étape est l'examinations de la précision, suivie de l'estimation de la source, de l'examen du bilan massique des minéraux qui peuvent avoir dissous ou précipités. Collectivement, l'analyse de l'eau peut être comparée et interprétée à l'aide de tracés surfaciques, de méthodes graphiques, et analyse statistique (généralement séparés en ceux utiles pour les comparaisons qualitatives, par exemple, les diagrammes rigides, et ceux conçus pour détecter les tendances ou les mélanges chimiques tels que les diagrammes de Piper ou Durov. L'analyse statistique peut être simple, comme montrer des plages de variation, et plus complexes comme les tracés de fréquences cumulées qui permettent leur reconnaissance [5].

1.6. Analyse spatiale :

L'analyse spatiale est le processus d'examen des emplacements, des attributs et des relations des entités dans les données spatiales par superposition et d'autres techniques analytiques afin de répondre à une question ou d'acquérir des connaissances utiles.

Le SIG est conçu pour prendre en charge une gamme de différents types d'analyse de l'information géographique: des techniques pour examiner et explorer les données d'un point de vue géographique, pour développer et tester des modèles, et pour présenter les données de manière à améliorer la compréhension et la compréhension.

Un lien entre le SIG et l'analyse des données spatiales est considéré comme un aspect important dans le développement du SIG en un outil de recherche pour explorer et analyser les relations spatiales [5].

1.7. Analyse exploratoire des données spatiales :

Croarkin et Tobias (2006) définissent l'analyse exploratoire des données (EDA) comme une approche / philosophie pour l'analyse des données qui emploie une variété de techniques principalement graphiques pour: [5]

- Maximiser la compréhension d'un ensemble de données;
- Découvrir la structure sous-jacente;

- Extraire les variables importantes;
- Détecter les valeurs aberrantes et les anomalies;
- Tester les hypothèses sous-jacentes;
- Développer des modèles parcimonieux; et
- Déterminer les paramètres de facteurs optimaux.

Haining et Wise (1997) ont défini l'analyse exploratoire des données spatiales (ESDA) comme une extension de l'EDA pour détecter les propriétés spatiales des données. Besoin de techniques supplémentaires à celles trouvées dans EDA pour:

- Détecter les modèles spatiaux dans les données
- Formuler des hypothèses basées sur la géographie des données
- Évaluer les modèles spatiaux.

L'ESDA est utilisée pour examiner les données de différentes manières, et donner une compréhension plus approfondie des phénomènes étudiés pour prendre de meilleures décisions sur les questions liées aux données [5].

1.8. Distribution des données :

Il existe certaines méthodes de modélisation spatiale qui fonctionnent mieux si les données sont proches de la distribution normale, donc un besoin de vérification de normalité est nécessaire avant d'effectuer toute modélisation spatiale.

Des transformations sont nécessaires pour amener les données à une distribution normale en cas de non normalité, où plusieurs transformations, y compris Box – Cox également connues sous le nom de transformations de puissance, arcsinus et logarithmique, peuvent être utilisées pour rendre les données plus normalement distribuées, un exemple des données étudiées La distribution est celle illustrée dans les (Figures I-1) où elle montre la concentration de chlorure mol/L dans les eaux souterraines dans la Wilaya de Ghardaïa .

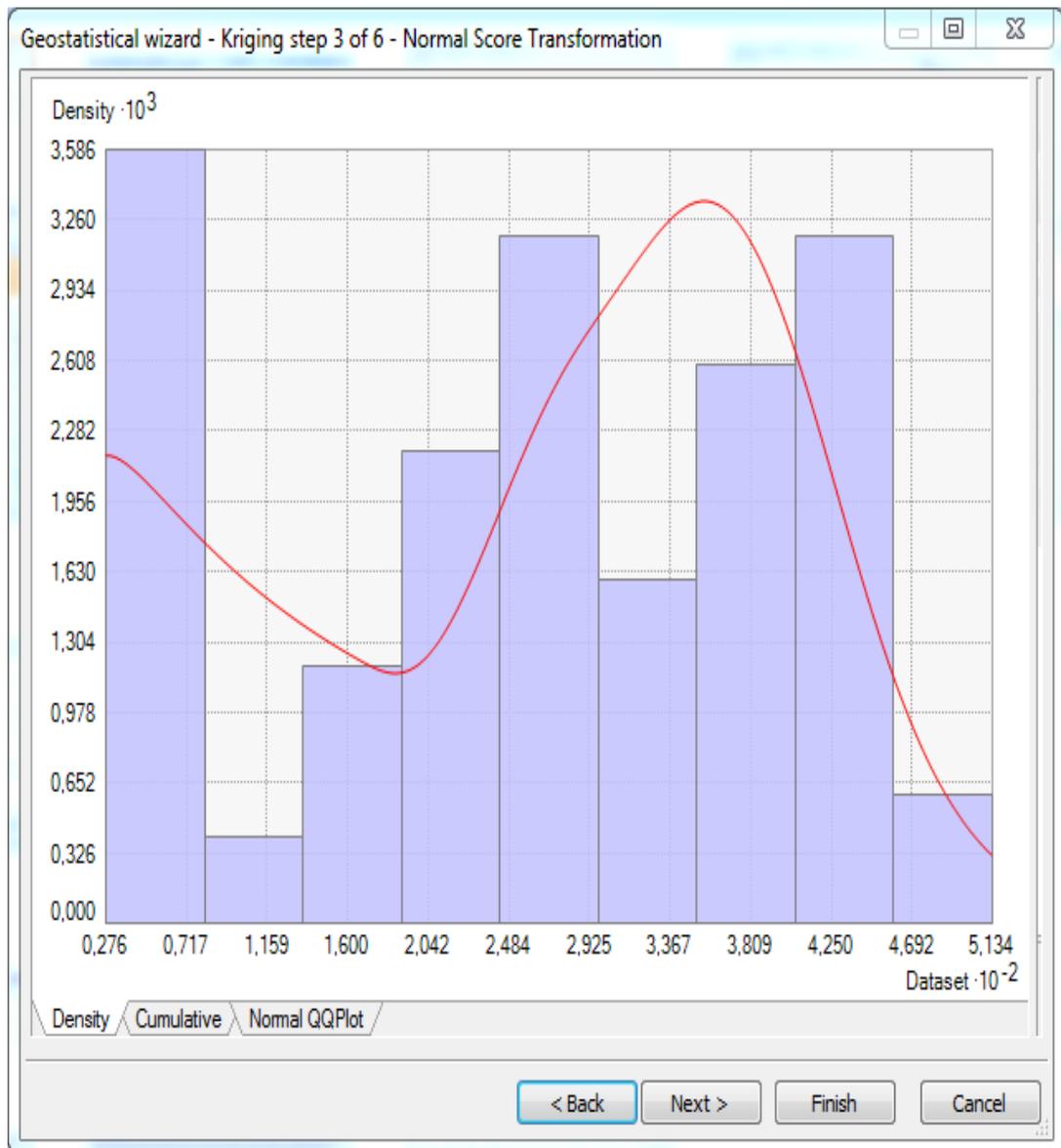


Figure (I-1) Concentrations de chlorure dans les eaux souterraines

La distribution des données peut également être évaluée plus en détail par un diagramme QQ normal développé par ESRI dans le logiciel ArcGIS, qui est créé en traçant des valeurs de données avec la valeur d'une normale standard où leurs distributions cumulées sont égales comme dans (Figure I-2).

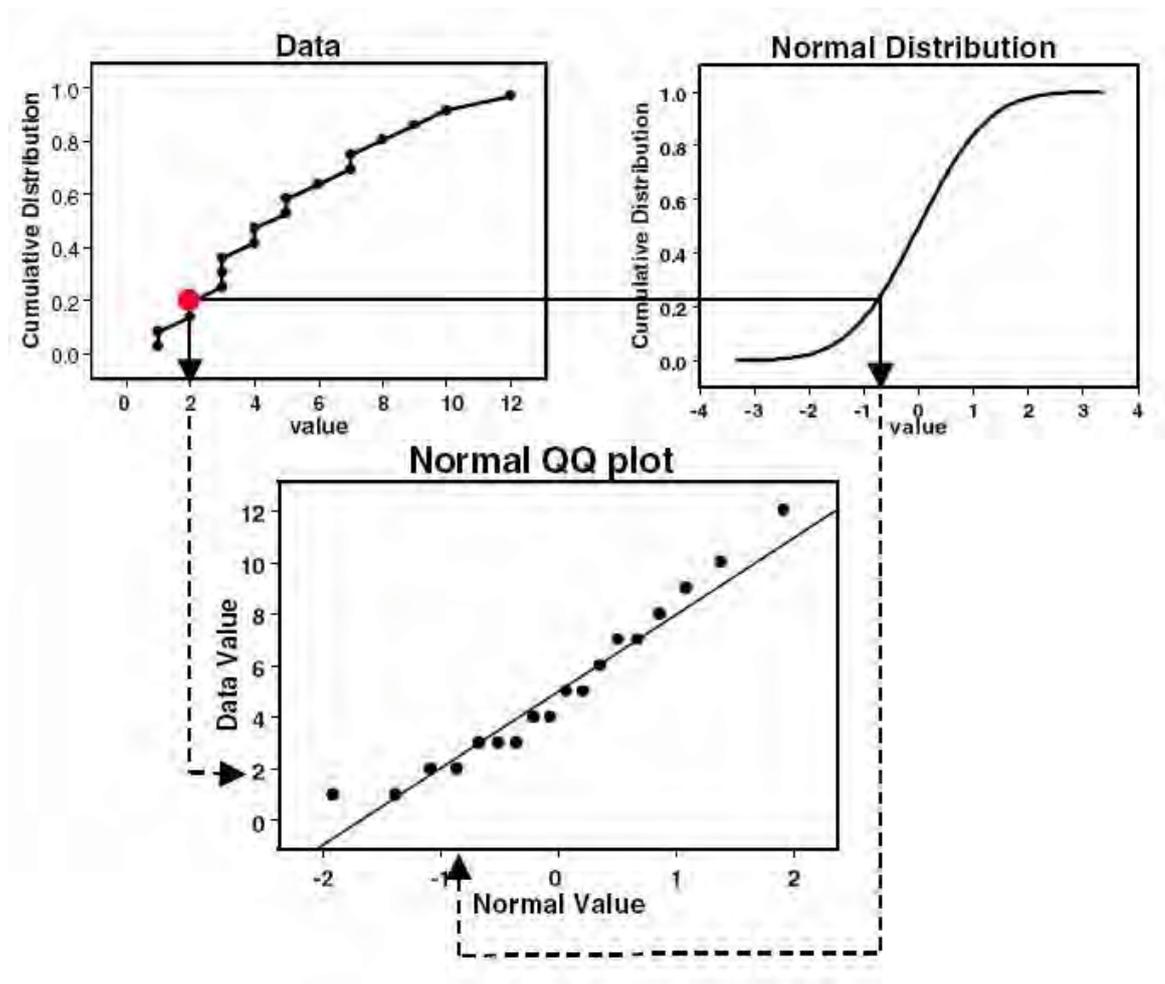


Figure N°(I-02) : Normal QQ Plot ((Johnston et al, 2003).

Les statistiques sont également utilisées pour examiner la distribution des données, où, dans le logiciel ArcGIS, le développement de l'histogramme pour la distribution est associé aux paramètres statistiques suivants:

- Moyenne ;
- Médiane ;
- Déviation standard ;
- Le coefficient d'asymétrie ;
- Le coefficient d'aplatissement [5].

1.9.Coefficient de corrélation :

Un coefficient de corrélation est un nombre compris entre -1 et 1 qui mesure le degré auquel deux variables sont linéairement liées. S'il existe une relation linéaire parfaite avec une pente

positive entre les deux variables, nous avons un coefficient de corrélation de 1; s'il existe une corrélation positive, chaque fois qu'une variable a une valeur élevée (faible), l'autre en a aussi. S'il existe une relation linéaire parfaite avec pente négative entre les deux variables, en ayant un coefficient de corrélation de -1; s'il existe une corrélation négative, chaque fois qu'une variable a une valeur élevée (faible), l'autre a une valeur faible (élevée). Un coefficient de corrélation de 0 signifie qu'il n'y a pas de relation linéaire entre les variables [5]

Un exemple d'étude de la relation entre deux variables est illustré dans (Figure I-3), où TDS dans les eaux souterraines dans la région de Ghardaïa où il a une relation juste avec la conductivité électrique.

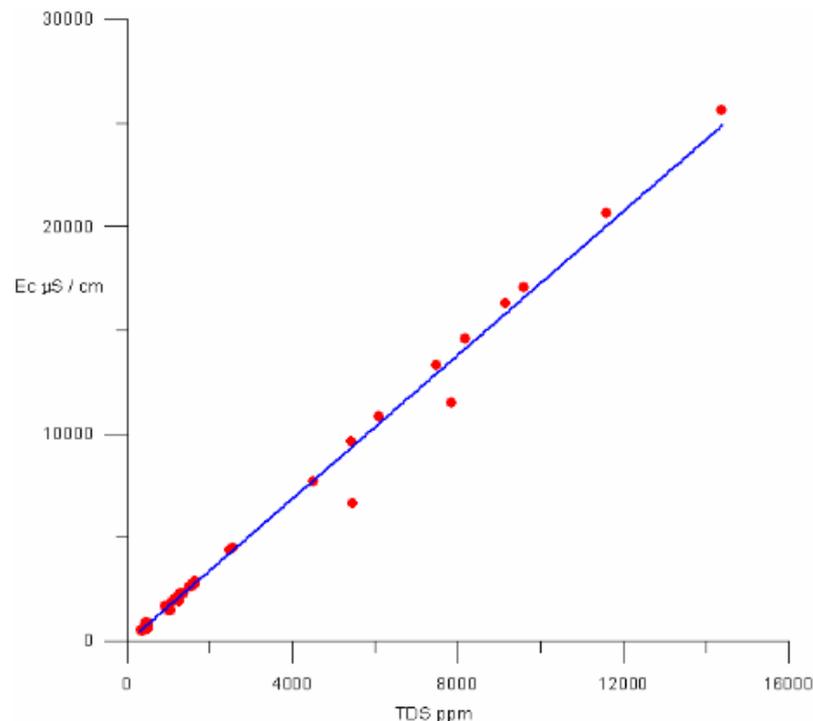


Figure N° (I-03) : Graphique de la TDS en fonction de la conductivité électrique

1.10. Interpolation spatiale :

L'estimation des valeurs de surface à des points non échantillonnés sur la base des valeurs de surface connues des points environnants. L'interpolation peut être utilisée pour estimer l'altitude, les précipitations, la température, la dispersion chimique ou d'autres phénomènes spatiaux [5].

Il existe deux groupes principaux de techniques d'interpolation: déterministe et géostatistique. Les techniques d'interpolation déterministes créent des surfaces à partir de points mesurés, en

fonction de l'étendue de la similitude (par exemple, distance pondérée inverse (IDW)) ou du degré de lissage (par exemple, les fonctions de base radiale).

Les techniques d'interpolation géostatistique (par exemple, le krigeage) utilisent les propriétés statistiques des points mesurés.

Les techniques géostatistiques quantifient l'autocorrélation spatiale entre les points mesurés et tiennent compte de la configuration spatiale des points d'échantillonnage autour de l'emplacement de prédiction [5].

Cette recherche n'utilise que la technique d'interpolation géostatistique qui peut être résumée selon comme suit: [5]

1.11. Géostatistique :

La géostatistique est un ensemble de modèles et d'outils développés pour l'analyse statistique de données continues. Ces données peuvent être mesurées à n'importe quel endroit de l'espace, mais elles sont disponibles dans un nombre limité de points échantillonnés. La première étape de l'analyse statistique des données consiste à vérifier trois caractéristiques des données: la dépendance, la stationnarité et la distribution. Si les données sont indépendantes, il est peu judicieux de les analyser géostatistique. Si les données ne sont pas stationnaires, elles doivent être rendues ainsi, généralement en détruisant les données et en les transformant. La géostatistique fonctionne mieux lorsque les données d'entrée sont gaussiennes. Sinon, il faut faire en sorte que les données soient proches de la distribution gaussienne [5].

De nombreuses méthodes sont associées à la géostatistique, mais elles appartiennent toutes à la famille du krigeage; krigeage ordinaire, simple, universel, probabiliste, indicateur et disjonctif ainsi que leurs homologues en cokrigeage.

Le krigeage est similaire à l>IDW en ce qu'il pondère les valeurs mesurées environnantes pour obtenir une prédiction pour un emplacement non mesuré. La formule générale des deux interpolateurs est formée comme une somme pondérée des données:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (1 - 02)$$

Où:

$Z(s_i)$ = la valeur mesurée au ième emplacement.

λ_i = un poids inconnu pour la valeur mesurée au ième emplacement.

s_0 = l'emplacement de prédiction.

N = le nombre de valeurs mesurées [5].

Dans IDW, le poids, λ_i , dépend uniquement de la distance à l'emplacement de prédiction. Cependant, avec la méthode de krigeage, les poids sont basés non seulement sur la distance entre les points mesurés et l'emplacement de prédiction, mais aussi sur la disposition spatiale globale des points mesurés. Les différents modèles de krigeage utilisés dans cette recherche peuvent être décrits ici [5]:

Krigeage ordinaire : Produit des valeurs d'interpolation en supposant une valeur moyenne constante mais inconnue, permettant des influences locales dues à des valeurs voisines proches. Parce que la moyenne est inconnue, il y a peu d'hypothèses. Cela rend le krigeage ordinaire particulièrement flexible, mais peut-être moins puissant que les autres méthodes.

Krigeage simple : Produit des valeurs d'interpolation en supposant une valeur moyenne constante mais connue, permettant des influences locales dues à des valeurs voisines proches. Parce que la moyenne est connue, elle est légèrement plus puissante que le krigeage ordinaire, mais dans de nombreuses situations, le choix d'une valeur moyenne n'est pas évident.

Krigeage universel : Produit des valeurs d'interpolation en supposant une surface de tendance avec des coefficients inconnus, mais permettant des influences locales dues à des valeurs voisines proches. Il est possible de sur-ajuster la surface de tendance, ce qui ne laisse pas suffisamment de variation dans les erreurs aléatoires pour refléter correctement l'incertitude du modèle. Lorsqu'il est utilisé correctement, le krigeage universel est plus puissant que le krigeage ordinaire car il explique une grande partie de la variation des données à travers la surface de tendance non aléatoire.

Le krigeage est divisé en deux tâches distinctes: quantifier la structure spatiale des données et produire une prédiction. La quantification de la structure, connue sous le nom de variographie, correspond à l'ajustement d'un modèle de dépendance spatiale aux données. Faire une prédiction pour une valeur inconnue pour un emplacement spécifique, le krigeage utilisera le modèle ajusté de la variographie, la configuration des données spatiales et les valeurs des points d'échantillonnage mesurés autour de l'emplacement de prédiction.

Le semi-variogramme et la covariance : La variographie est le processus d'estimation du semi-variogramme théorique. Il commence par une analyse exploratoire des données, puis par

le calcul du semi-variogramme empirique, la mise en rang, l'ajustement d'un modèle de semi-variogramme et l'utilisation de diagnostics pour évaluer le modèle ajusté. Le semi-variogramme et la fonction de covariance quantifient l'hypothèse selon laquelle les choses proches ont tendance à être plus similaires que les choses qui sont plus éloignées. Ils mesurent tous deux la force de la corrélation statistique en fonction de la distance. Le semi-variogramme est défini comme:

$$\gamma(S_i, S_j) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(S_i) - Z(S_j)) \quad (I - 03)$$

Où var est la variance, S_i et S_j sont les deux points de localisation, et $Z(S_i)$ et $Z(S_j)$ sont les valeurs de localisation. La différence entre les valeurs des points $Z(S_i)$ et $Z(S_j)$ devrait être importante comme la distance entre eux augmente.

L'anatomie du semi-variogramme peut être exprimée comme illustré dans la (Figure I-4), en notant la variance de l'augmentation de la différence avec la distance, de sorte que le semi-variogramme peut être considéré comme une fonction de dissimilarité. Il existe plusieurs termes qui sont souvent associés à cette fonction, et ils sont également disponibles dans certains logiciels comme dans ArcGIS Géostatistical Analyst. La hauteur que le semi-variogramme atteint quand il se nivelle s'appelle le seuil. Il est souvent composé de deux parties: une discontinuité à l'origine, appelée effet de pépite, et le seuil partiel, qui additionnés donnent le seuil. L'effet de pépite peut être divisé en erreur de mesure et variation à l'échelle microscopique et puisque chaque composant peut être entièrement composé de l'un ou de l'autre. La distance à laquelle le semi-variogramme se nivelle par rapport au seuil est appelée plage.

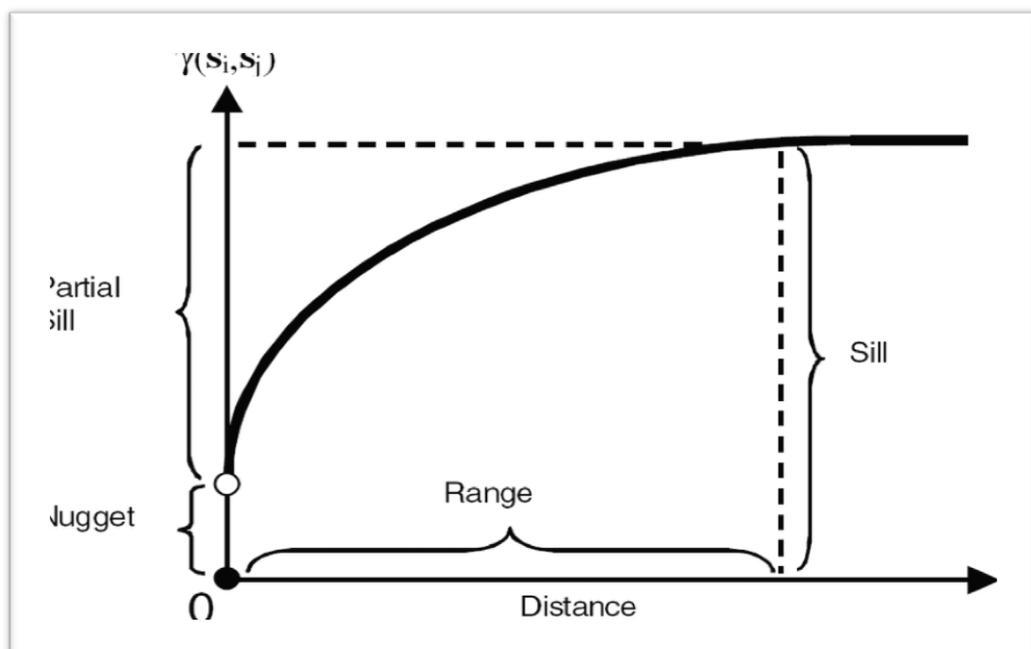


Figure N° (I-04) : L'anatomie du semi-variogramme (Johnston et al, 2003)

La fonction de covariance est définie comme:

$$C(S_i, S_j) = COV (Z(S_i), Z(S_j)) \quad (I - 04)$$

Où cov est la covariance, qui n'est qu'une version mise à l'échelle de la corrélation. Donc quand deux emplacements, S_i et S_j sont proches l'un de l'autre, alors on s'attend à ce qu'ils soient similaires, et donc leur covariance (corrélation) sera grande. Au fur et à mesure que S_i et S_j s'éloignent, ils deviennent moins similaires et leur covariance devient donc nulle. Ceci peut être vu comme illustré dans la (Figure I-5), qui montre l'anatomie d'une fonction de covariance typique. Notez que la fonction de covariance diminue avec la distance, elle peut donc être considérée comme une fonction de similarité.

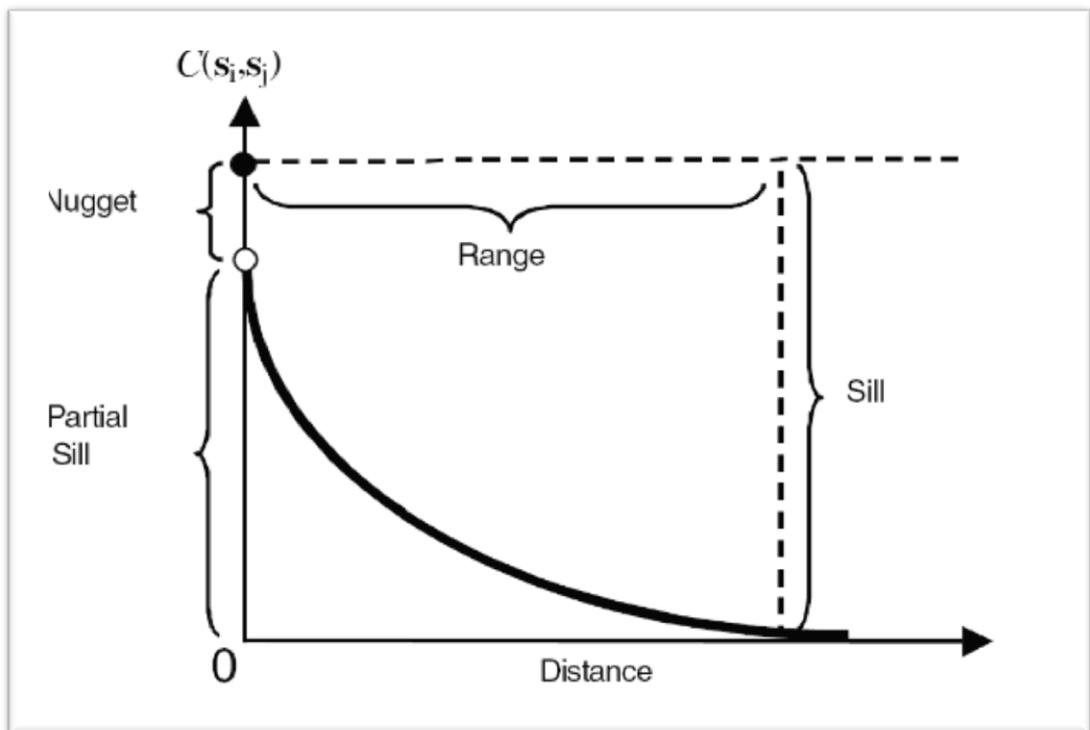


Figure N°(I-05) : L'anatomie de la covariance (Johnston et al, 2003)

Dans les techniques d'interpolation spatiale géostatistique, la modélisation par semi-variogramme et covariance est utilisée pour déterminer le meilleur ajustement pour un modèle qui passera par les points. Le semi-variogramme est une fonction qui relie la semi-variance ou (dissimilarité) des points de données à la distance qui les sépare.

Une influence directionnelle affectera les points du semi-variogramme et le modèle qui sera ajusté. Dans certaines directions, les choses plus proches peuvent être plus semblables que

dans d'autres directions. Les influences directionnelles sont appelées anisotropie, qui sont causées par le vent, le ruissellement, une structure géologique ou une grande variété d'autres processus.

Les influences directionnelles peuvent être statistiquement quantifiées et prises en compte lors de la modélisation, à l'aide de certains logiciels de géostatistique comme dans ArcGISGeostatisticalAnalyst utilisé dans cette recherche.

Validation du modèle : La validation doit être effectuée avant de produire la surface finale, où elle aide à prendre une décision éclairée quant au modèle qui fournit les meilleures prévisions. Les méthodes les plus courantes pour vérifier les prédictions sont la validation croisée et la validation fournies dans ArcGISGeostatisticalAnalyst. Dans cette recherche, seule la validation croisée a été utilisée pour la validation du modèle.

La validation croisée utilise toutes les données pour estimer le modèle. Ensuite, il supprime chaque emplacement de données, un à la fois, et prédit la valeur de données associée. Pour tous les points, la validation croisée compare les valeurs mesurées et prévues. La ligne ajustée dans le graphique de prédiction à travers la dispersion des points comme dans (Figure I-8) est donnée en bleu avec l'équation donnée juste en dessous du graphique, Tous les interpolateurs sur-estiment les valeurs de données faibles et sous-estiment les valeurs de données élevées, et la pente de la ligne bleue est généralement inférieure à 45 degrés. Les statistiques calculées servent de diagnostics qui indiquent si le modèle et / ou ses valeurs de paramètres associés sont raisonnables.

Les statistiques calculées (figure I-6) examinent les performances moyennes du modèle de prédiction. La différence moyenne (erreur de prédiction moyenne) entre les valeurs z (s_i) mesurées et les valeurs Z (s) prédites est affichée dans les statistiques calculées

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(S_i) - Z(S_i))}{n} (I - 05)$$

Si l'erreur de prédiction moyenne est proche de zéro, les prédictions sont centrées sur les valeurs de mesure. Dans ce cas, ils sont impartiaux. L'erreur de prédiction moyenne ne mesure pas l'ampleur des erreurs. Il est possible d'obtenir un score parfait proche de zéro pour une mauvaise prédiction s'il y a des termes positifs et négatifs compensateurs dans la somme de la formule ci-dessus. Plus les prédictions sont proches de leurs valeurs réelles, plus les erreurs de prédiction de la moyenne quadratique sont petites. Les erreurs de prédiction moyenne quadratique moyenne sont calculées comme la racine carrée de la moyenne de la différence quadratique entre les valeurs observées et prédites

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(S_i) - Z(S_i))^2}{n}} \quad (I - 06)$$

Ceci est indiqué dans la deuxième ligne dans la partie inférieure gauche de la boîte de dialogue. L'erreur de prédiction quadratique moyenne calcule l'erreur moyenne, pondérée selon le carré de l'erreur. Il exerce une plus grande influence sur les erreurs plus importantes que les erreurs plus petites, ce qui est bon si les erreurs importantes sont particulièrement indésirables. Pour un modèle qui fournit des prédictions précises, l'erreur de prédiction quadratique moyenne doit être aussi petite que possible.

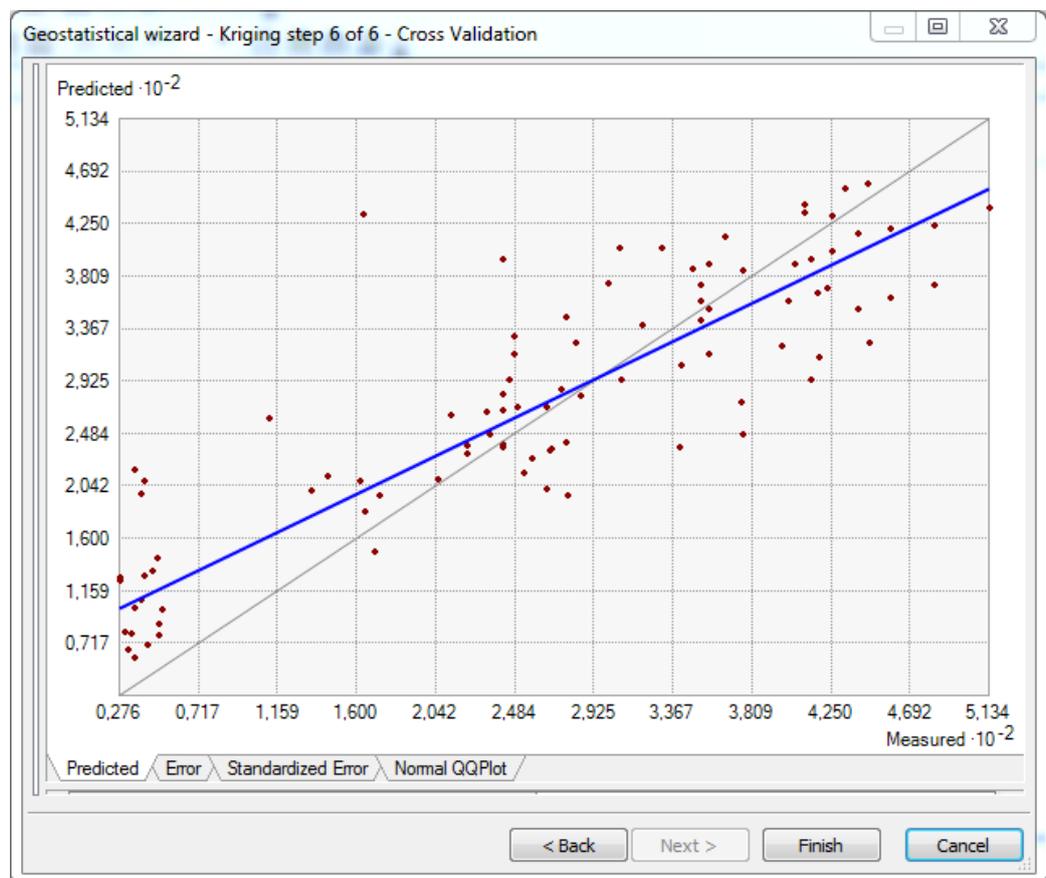


Figure N° (I-06) : le graphique de prédiction et les statistiques calculées de la validation croisée du magnésium

Ensuite, la variabilité de la prédiction est correctement évaluée car deux estimations différentes de l'erreur de prédiction donnent des résultats très similaires. Par conséquent, l'erreur de prédiction standardisée moyenne quadratique doit être proche de un.

*Caractéristiques de
la zone d'étude*

2.1 Cadre géographique

2.4.1 Aspect géomorphologique :

La Wilaya de GHARDAIA, se situe au centre de la frange nord du Sahara, à 600 Kms au sud d'Alger; s'étend sur une superficie de 84,660 km², issue du découpage administratif du territoire de 1984, la Wilaya Ghardaïa dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat, et composée des anciennes daïras de Ghardaïa, Metlili et El-Menia [6].

GHARDAIA se situe entre 32° 30 ' et 33°2' de latitude nord et à 2°3' à 3°45' de longitude.[6]

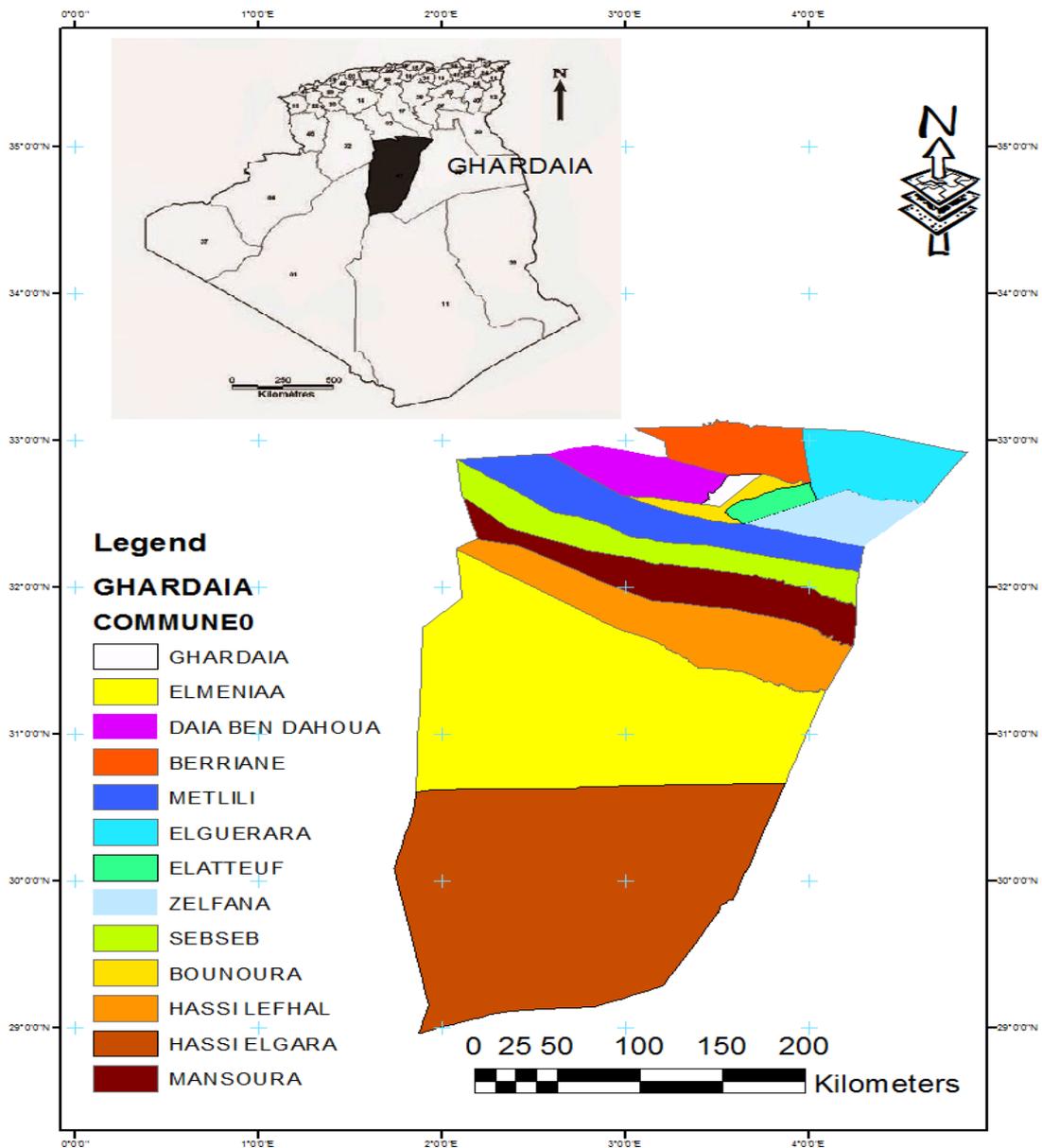


Figure N°(II-1): Situation nationale de Ghardaïa.(BENHAMADI R. MOULAY OMAR H.)

Chapitre II: Caractéristiques de la zone d'étude

La wilaya de Ghardaïa est limitée administrativement [6]:

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) .
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km).
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla (200 Km) .
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1. 470 Km).
- Au Sud -Ouest par la Wilaya d'Adrar(400 Km).
- A l'Ouest par la Wilaya d'El -Bayadh (350 Km).

La wilaya s'étend sur une superficie de 84 .660,12 km², répartie sur 13 communes regroupant une population de 405015 habitants majoritairement jeune [6].

De point de vue morphologique on distingue trois grandes ensembles: des plaines du "Hmadas" à l'Est, au centre des roches calcaires formant la chebka du M'Zab, et à l'Ouest des régions ensablées par les dunes de l'Erg occidental. La wilaya s'étend du Nord au Sud sur environ de 450 km et de l'Est en Ouest sur environ 200 km . Les escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du M'Zab et autour duquel gravitent d'autres oasis (Berriane, Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au Sud l'oasis d'El Méniaa) [6].

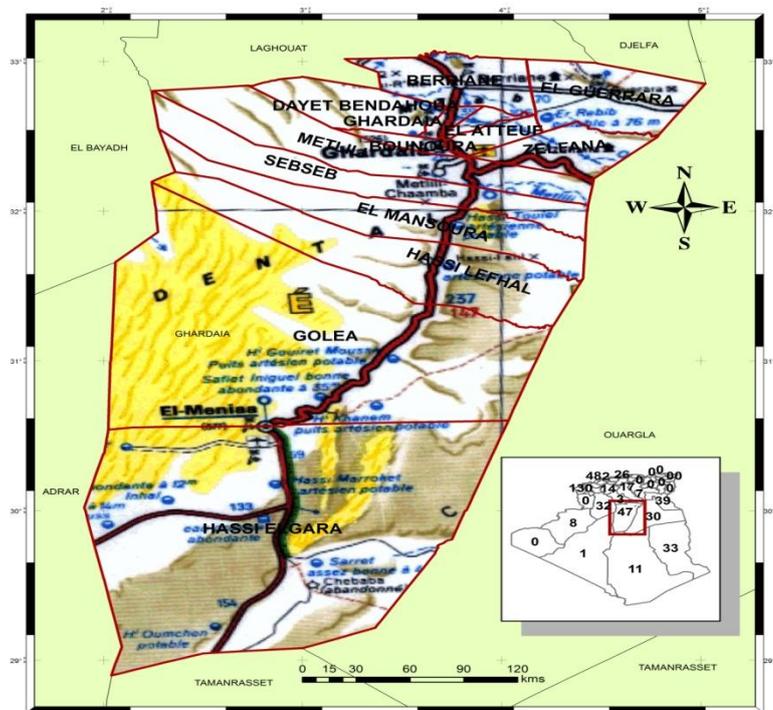


Figure n°(II.02): Limites administratives de la région de GHARDAIA(Achour M, 2020

2.4.2 Aspect topographique :

La totalité des terrains de l'agglomération sont relativement plat "pente 4‰ vers la direction sud-ouest; l'altitude moyenne est d'environ 360m.[7]

2.4.3 Réseau hydrographique :

Dans le désert non seulement les précipitations sont rares et irrégulières mais l'évaporation est considérable et plus importante que le niveau des précipitations.

Les caractéristiques climatiques se répercutent directement sur l'hydrographie saharienne entraînant la rareté des eaux superficielles et l'importance des eaux souterraines.

Le climat dominant est celui du Sahara qui est caractérisé par des hivers courts et rigoureux et des étés longs et chauds.

La pluviométrie est généralement irrégulière, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 141mm.

Ces précipitations passent par 4 périodes majeures, la première est caractérisée par une sécheresse.[7]

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 (Figure 3 et 4).

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[8].



Figure N° (II-3) : Bassins versants de la région du M'Zab (DUBIEF., 1953)

- **Oued Zegrir :**

Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 km². Situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux, il est parsemé de nombreuses daïas, parfois drainées par des oueds[8].

- **Oued N'sa**

Le bassin du N'sa, présente une superficie de 7800 km² environ ; les limites orientales sont peu précises par suite de la nature géologique de la région. L'artère maîtresse, longue de 320 km, part de la région de Tilrempt, vers 750 m d'altitude, pour aboutir à la SebketSafioune, au N de Ouargla, à la cote 107m[8].

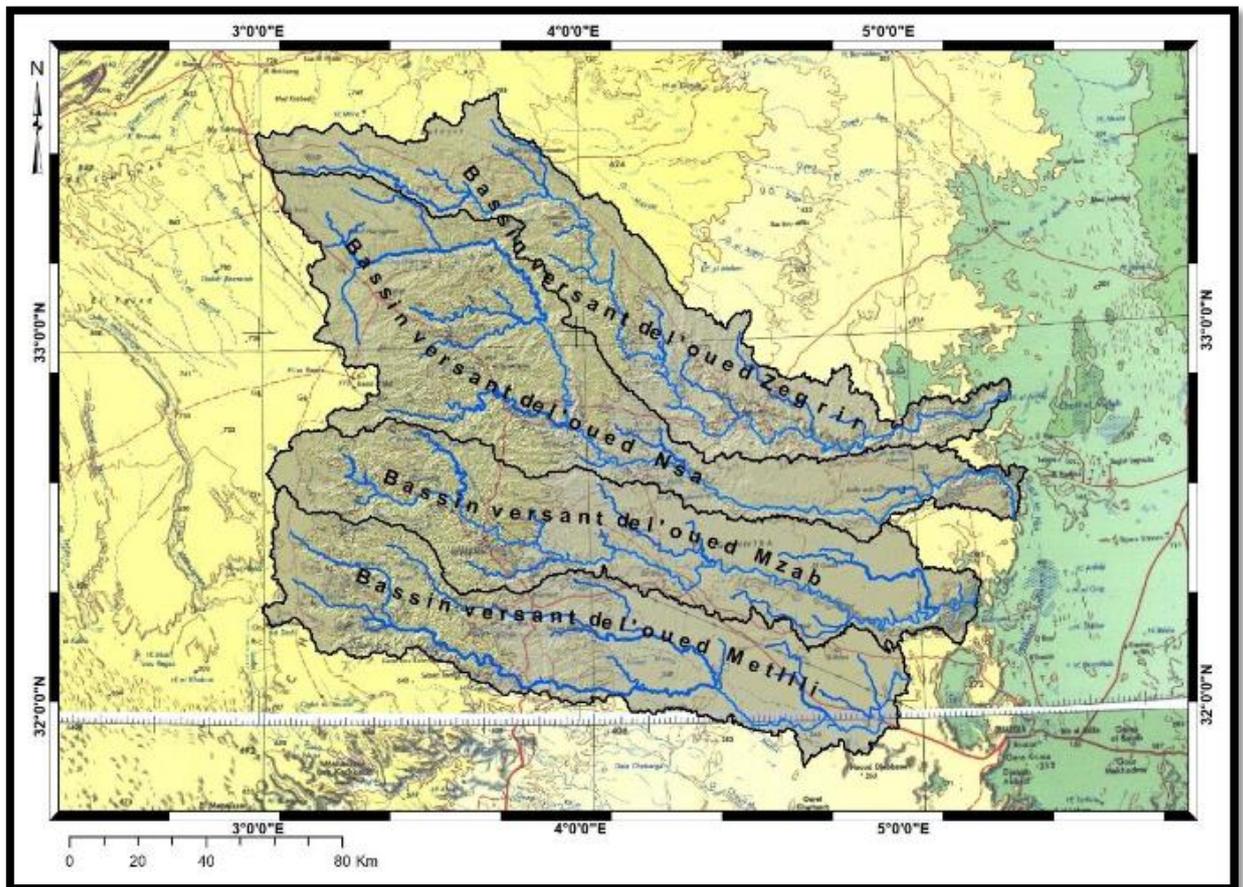


Figure N° (II-4) :Bassins versants et hydrographie de la région du M'Zab (ANRH, 2011)

- **Oued M'Zab**

L'oued M'Zab est limité par deux grands oueds : Oued N 'Sa au Nord et Oued Metlili au Sud.La superficie du bassin du M'Zab est de 5000 kmenviron (DUBIEF 1953). Ses contours

sont imprécis dans la partie orientale. L'oued M'Zab coule sensiblement d'Ouest en Est sur 320 km de la région de Botma-Rouila, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El-Abiod), à la SebkhetSafioune qui est à la cote 107 m avec une pente assez forte entre Ghardaïa et Bounoura[8].

- **Oued Metlili**

Le bassin du Metlili, limité à l'oasis du même nom, ne dépasse pas 400 km². Il est mal délimité dans sa partie orientale, appartenant au domaine du Pliocène continental, par suite des caractéristiques très spéciales de cet étage géologique sous cette latitude. D'une longueur totale de 214 km, l'Oued de Metlili est barré à 134 km de son origine par le cordon dunaire de l'AregRhanem. Plus en aval, son lit est parsemé de daïas qui absorbent une partie des eaux de ruissellement dont la plus importante est la Daïa Ghemta[8].

2.2 Cadre hydro-climatique

2.2.1 Introduction :

Le climat dominant est celui du Sahara qui est caractérisé par des hivers courts et rigoureux et des étés longs et chauds.

Les valeurs des précipitations annuelles sont relativement faibles, allant de 100 à 200mm/an, par contre les températures sont extrêmement élevées peuvent atteindre 50°C.

Ces caractéristiques ont une influence directe sur l'hydrographie et les autres activités économiques de la région.

Nous étudions ci-dessous le climat de notre secteur d'étude à partir de certaines données climatiques collectées au niveau de la station météorologique de l'ONM de Ghardaïa.[9]

2.2.2 Les éléments du climat

2.4.1.1 Température :

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures du jour et de la nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. Les températures moyennes les plus basses sont enregistrées au mois de Janvier de 11,44°C et les plus élevées au mois de Juillet de 35,23

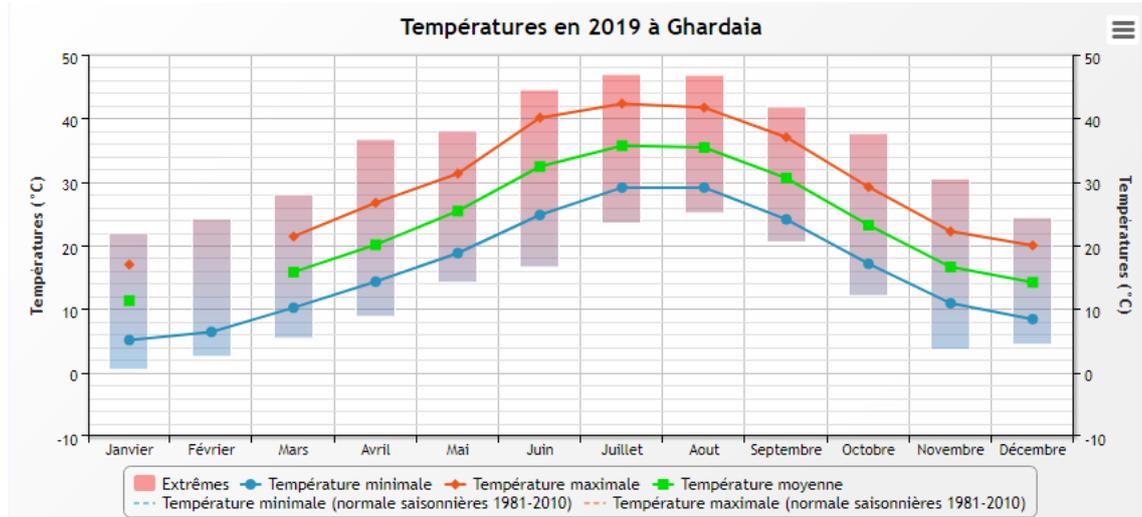


Figure N° (II-5) : Températures moyennes mensuelles (2009-2019)

2.4.1.2 Les Précipitations :

Les précipitations entrent dans le bilan hydrogéologie et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle et le régime des cours d'eau dans le bassin. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). [9]

Les précipitations moyennes mensuelles sont en générale faibles caractérisant les climats arides. Les valeurs maximales sont enregistrées au mois de Mars (42 mm) et Octobre (14 mm), et la valeur la plus moins a été enregistrées au mois de juillet (1mm), la valeur nulle au mois de Juin. Ce qui explique la sécheresse de la région étudiée.

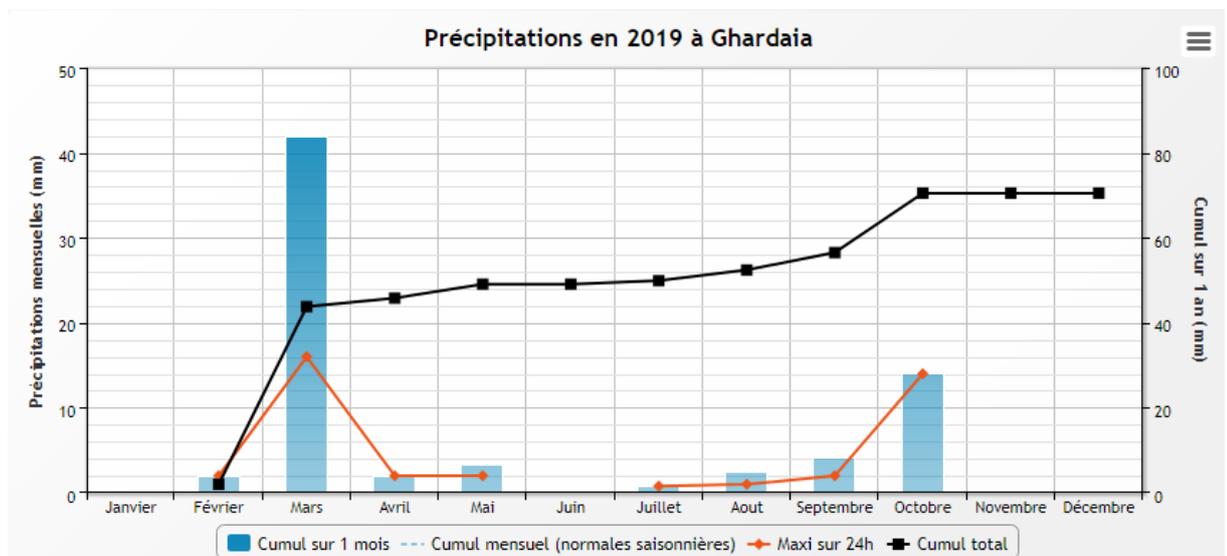


Figure N° (II-6): Histogramme des précipitations moyennes mensuelles

2.4.1.3 L'évapotranspiration :

C'est un processus composé d'une évaporation physique et d'une évaporation physiologique (transpiration). Elle dépend donc des conditions météorologiques mais aussi de la disponibilité de l'eau. [9]

Ghardaïa qui fait partie des régions qui possèdent l'évaporation la plus élevée au Sahara, cette perte d'eau, peu avoir comme origine:[9]

- L'évaporation de masses d'eau libre ou de celle contenues dans le sol.
- L'évaporation par les végétaux (qui est secondaire dans les régions sahariennes).

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de **2660,05 mm /an**, avec un maximum mensuel de **387,66 mm** au mois de Juillet et un minimum de **95,88 mm** au mois de Janvier. Où l'évaporation moyenne est de 221.67mm/mois.

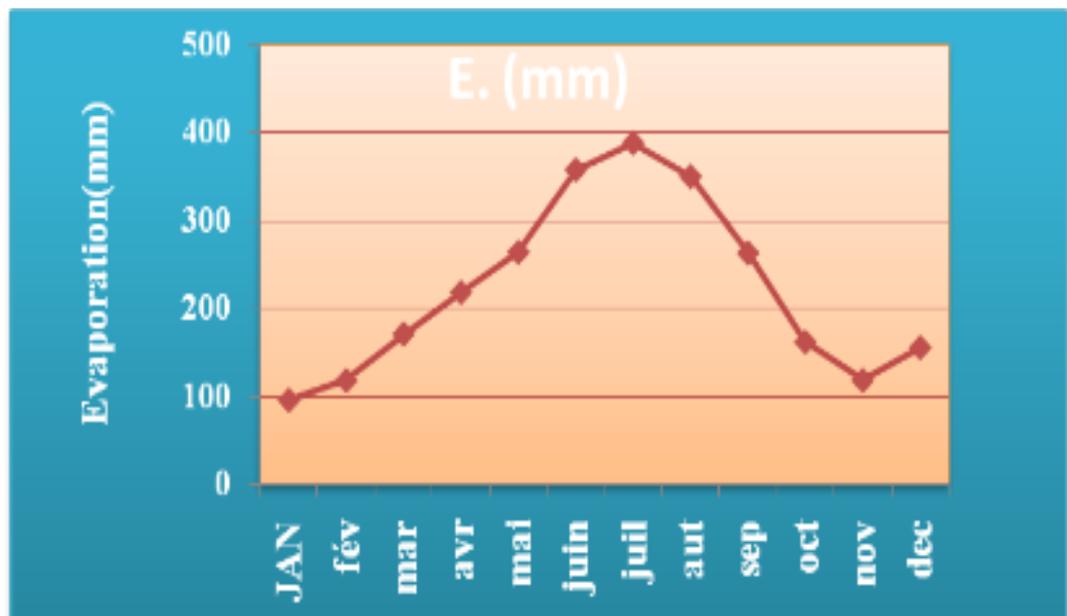


Figure N° (II-7) : Valeur d'évaporation moyenne annuelle

2.4.1.4 Courbe Ombro-thermique :

Le diagramme ombrothermique de gauss permet de définir les mois secs. Un mois est considéré sec lorsque les précipitations mensuelles correspondantes exprimées en millimètres sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré Celsius [10].

La présentation selon la diagramme ombrothermique de Gauss la région d'étude montre que la courbe thermique est entièrement positive par rapport à celle de la courbe ombrique ce qui montre qu'il y a une période sèche qui s'étale sur dix mois de l'année et une courte période humide entre le mois de Novembre et le mois de Décembre .

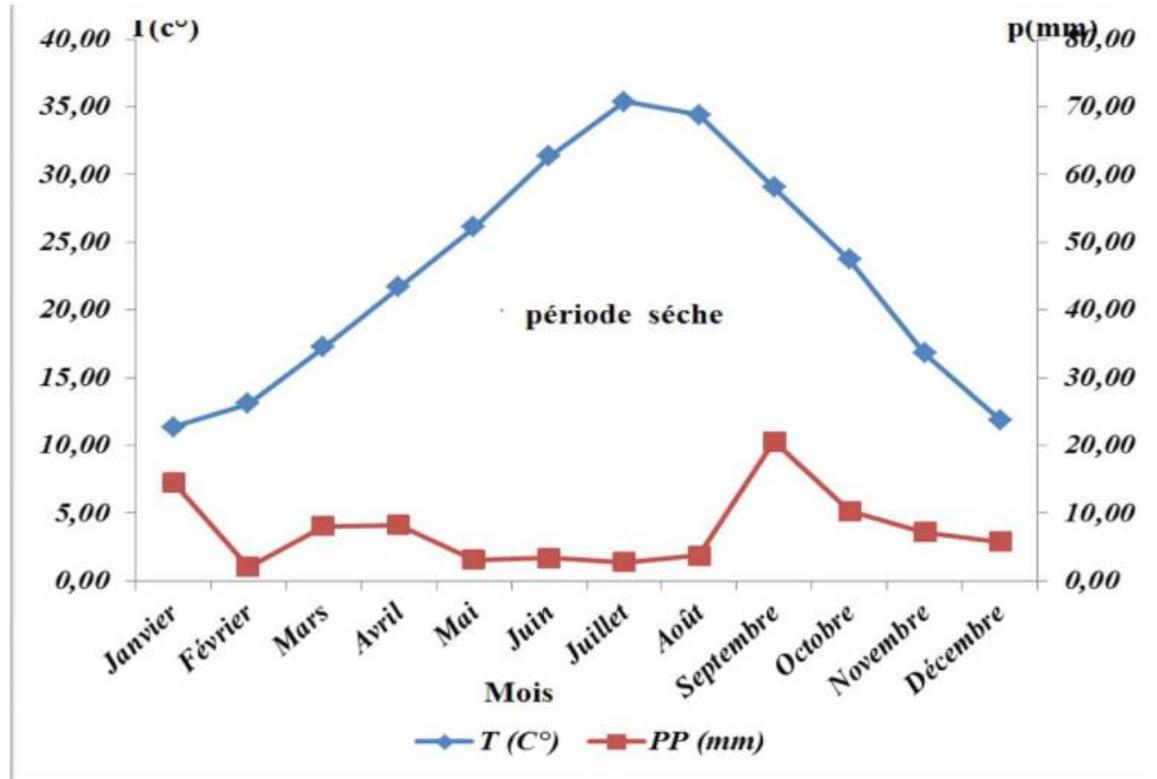


Figure (II.08): Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa

2.3 Cadre géologique

2.3.1 Introduction :

La région de Ghardaïa fait partie du grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional, dont les terrains en présence sont tabulaires légèrement inclinés vers le Nord-Est (centre du bassin).

La stratigraphie des terrains recouvrant l'Albien dans la zone de Ghardaïa, est assez simple. Les coupures stratigraphiques sont basées essentiellement sur le caractère lithologique vu la rareté des fossiles.[7]

L'épaisseur du Cénomaniens est de 335 mètres, par contre le Vraconien son épaisseur est de 70 mètres. [7]

2.3.4 Turonien :

Dépôt carbonaté de 120 mètres d'épaisseur, formé essentiellement de calcaire gris dolomitique massif.[7]

2.3.5 Sénonien :

a Sénonien carbonaté :

Dépôt carbonaté de 25 mètres d'épaisseur constitué d'une alternance de calcaire blanc fissuré et karstique, argile jaune et de dolomie[7]

b Sénonien lagunaire :

Dépôt lagunaire de 75 mètres d'épaisseur, représenté par une alternance de marne bariolée, anhydrite et calcaire marneux jaune et rouge[7]

2.3.6 Miopliocène :

Dépôt continental détritique constitué de sables moyens à grossiers rouges argileux; relativement épais de 65 mètres d'épaisseur.[7]

2.3.7 Quaternaire :

Ces formations sédimentaires spécifiquement sahariennes sont des alluvions quaternaire fluviatile qui ne se trouvent pas exclusivement dans les vallées de ruissellement mais elles remplissent aussi de grandes aires déprimées dans les chaînes plissées de l'atlas saharien [11].

2.4 Cadre hydrogéologique :

2.4.1 Aquifère du SASS :

Le bassin du Sahara septentrional est réputé par son immense aquifère considéré parmi les plus grands réservoirs aquifères du monde.

L'état de l'art actuel montre que le système aquifère du Sahara septentrional, nommé SASS, est un énorme réservoir à structure multicouches. Spatialement, ces limites hydrogéologiques s'étendent sur une très vaste surface de 1 100.000 de km² (SASS, 2003) située simultanément, en l'Algérie de 60%, en Lybie de 30%, et un peu moins en Tunisie de 10%. Ces limites

forment une ceinture continue de la frontière marocaine au Nord-Ouest du bassin, jusqu'à la ville de Hun en extrême Sud-Est de la Lybie.

Hydrographiquement, la dorsale du M'Zab divise le domaine du SASS en deux bassins; le bassin occidental de 280.000 km² drainé vers le Sud, et le bassin oriental de 500.000 km² drainé vers le Nord-Est.[12].

Le domaine du système aquifère du Sahara septentrional SASS s'étale, du Nord au Sud; de l'Atlas saharien jusqu'aux plateaux de Tidikelt et Tinrhert, et d'Ouest en Est; depuis la vallée Guir-Saoura en Algérie jusqu'au Graben de Hun en Lybie. Les études démontrent que ce système aquifère est composé de deux principaux réservoirs aquifères; le complexe terminal au-dessus à nappe de sub-surface, et au-dessous, le continental intercalaire le plus étendu à nappe profonde captive. [12].

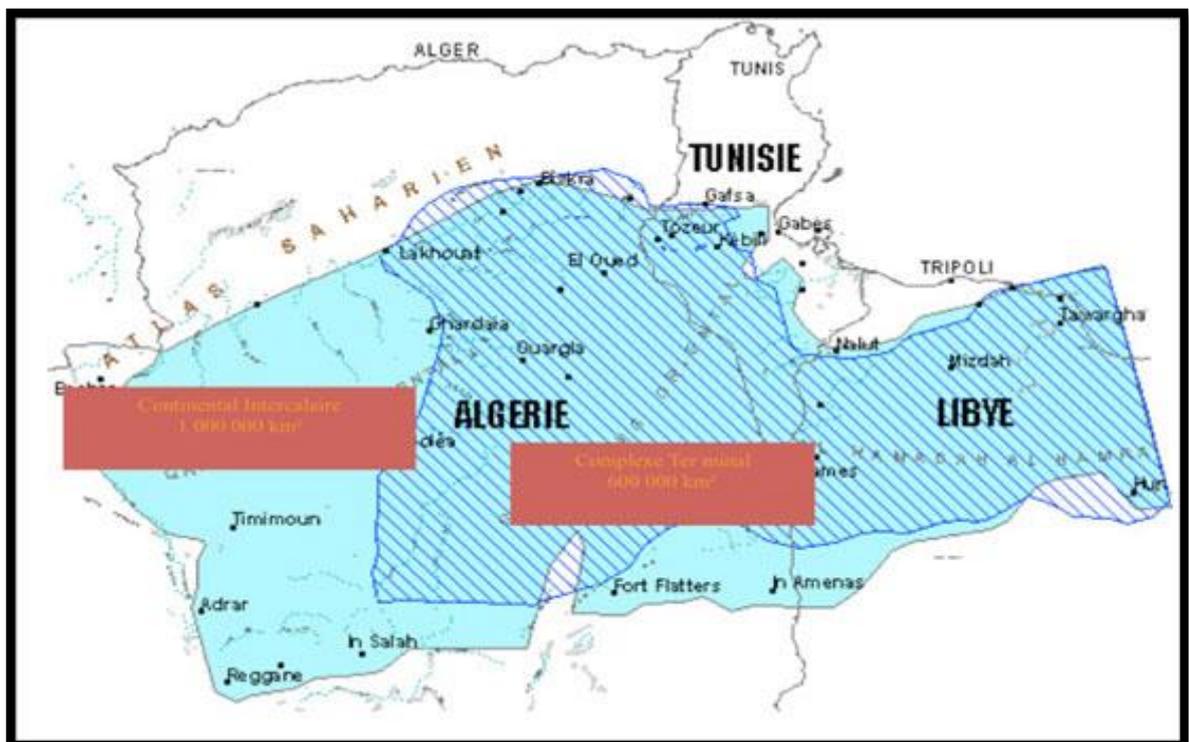


Figure N°(II-10): Limites du domaine SASS (ACHOUR M, 2014).

2.4.1.1 Continental Intercalaire :

Le continental intercalaire est définie comme l'aquifère le plus étendu du bassin, ses extensions déterminent également les limites qui ont été attribuées au domaine du SASS. Majoritairement, il comprend toutes les formations sablo-gréseuses et argilo-sableuses du Crétacé inférieur. Les épaisses séries argilo-évaporitiques du Cénomaniens constituent un toit imperméable de l'aquifère.[12].

a Limites et structure du CI

La dorsale du M'zab, orientée approximativement Nord-Sud, divise le domaine du CI en deux sous-bassins hydrogéologiques: le bassin oriental et le bassin occidental.

L'ensemble couvre une surface de 1100.000 de km², et une épaisseur moyenne de 358mètres [15]. La partie Sud du réservoir du CI est largement affectée par les accidents Nord-Sud d'Amguid El Biod qui se prolonge du socle primaire d'El Hoggar.

b Piézométrie et alimentation du CI

L'examen de la carte piézométrique de la nappe du CI, établie par l'OSS (2003) [16], révèle que les écoulements des eaux de la nappe en prévenance de l'Atlas saharien, se trouvaient scinder au niveau l'axe de la dorsale du M'Zab, en deux directions privilégiées; un écoulement vers le Sud et le Sud-Ouest, régions de Tidikelt, Touat et Adrar. L'autre direction vers le Nord-Est, vers la zone des chotts et vers la nappe de la zone côtière de la Tunisie.[16]

Malgré sa situation en zone aride, on admet que le CI est directement alimenté par l'infiltration des eaux de ruissellement sur les zones périphériques d'affleurement, dans les piedmonts de l'Atlas saharien et les rebords Sud des plateaux de Tidikelt et Tiniher.

L'alimentation du CI s'effectue aussi indirectement dans le grand erg occidental, à travers les dunes de sables.

c Structure du ci dans la région du m'zab

Le Continental intercalaire dans la région du M'zab est composé de sables fins et de grés jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Cette masse gréso-sableuse est aquifère, dont l'Albien est l'étage qui est capté et exploité avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa. La profondeur du toit de l'aquifère varie selon la région, il est entre 80 et 150 mètres au sud de la wilaya dans la région d'El Meniaa, par contre à l'Est le toit n'est atteint qu'à partir de la profondeur de 650 à 700 mètres (région de Zelfana et Guerrara).

Dans la vallée du M'zab le toit de l'aquifère albien est atteint à la cote de 290 à 300 mètres. L'ensemble des forages exploitants l'aquifère dans la vallée ont une profondeur moyenne de 500 mètres.

L'hydrodynamisme de la nappe varie selon l'altitude de la zone d'une part et l'épaisseur des formations sus-jacentes formant le toit de cette dernière d'autre part. La nappe est

artésienne jaillissante admettant des pressions en tête des ouvrages de captage variant entre 0,5 à 4 bars dans les régions Sud et Est du territoire de la wilaya. Par contre à l'Ouest et au nord la nappe est exploitée par pompage.

2.4.1.2 Complexe terminal :

Le complexe terminal couvre une superficie de 665.000 km², il regroupe plusieurs aquifères à formation géologiques différentes, d'âge Turonien, Sénonien, Eocène et Mio-pliocène. Interconnectés entre eux, l'ensemble forme un même système hydraulique. Ces limites d'affleurement sont;

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- A l'Est, le long du flanc oriental du Dahar et du J. Nafusa en Tunisie,
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït,
- A l'Ouest, sur la dorsale du M'zab (calcaires du Turonien), considérée comme une zone d'alimentation du CT.

Etant la limite de la nappe du CT est située plus à l'Est de la région du M'zab, cette dernière n'est pas captée avec succès dans la région de Ghardaïa. De ce fait, nous n'abordons en détail que la nappe du CI.[12].

a Alimentation -écoulement

Pour la nappe du Complexe Terminal, le remplissage le plus important du réservoir s'est fait essentiellement pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Actuellement la recharge de la nappe se continue à travers des quantités d'eaux non négligeables :

- Soit par infiltration du ruissellement des Oueds descendant des massifs montagneux. Ces derniers traversent les formations perméables affleurantes, notamment au pied de l'atlas saharien, du M'zab et du Dahar.
- Soit par infiltrations des pluies exceptionnelles dans les sables du grand Erg oriental reposant en partie sur des horizons perméables du Complexe Terminal.[13].

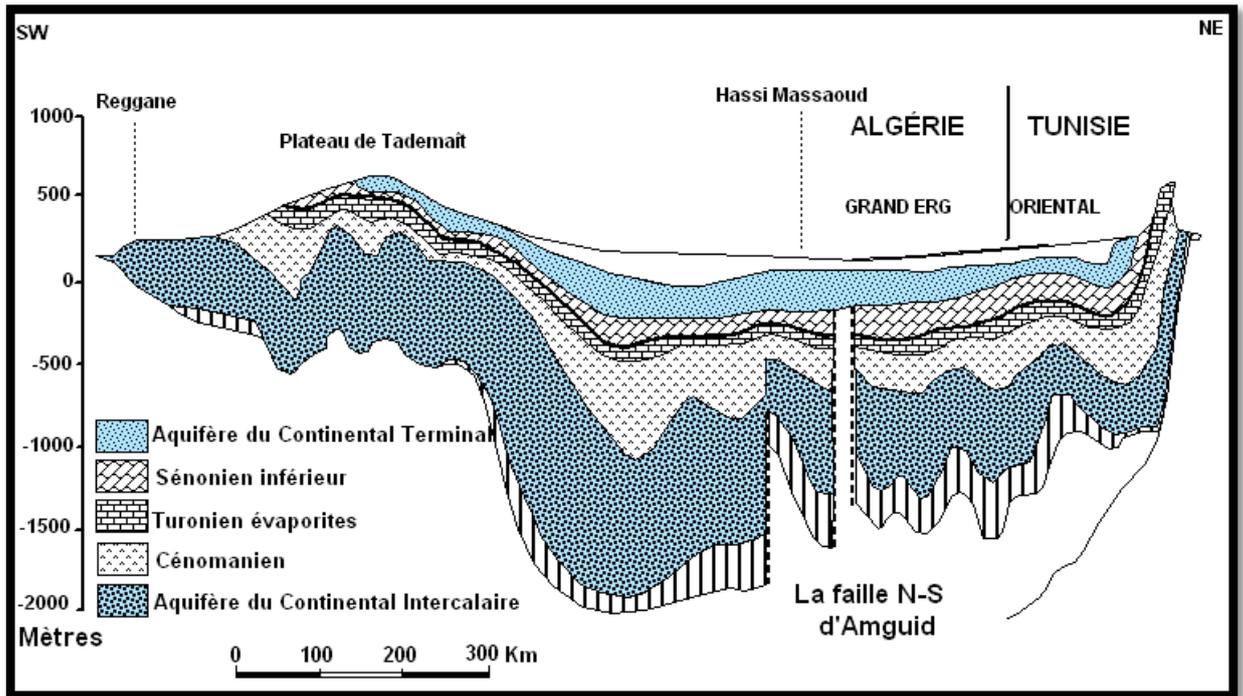


Figure N°(II-11) : Coupe hydrogéologique transversale du "CT"(Unesco, 1972) [14]

2.4.2 Aquifère albien dans la région de Ghardaïa :

Celle-ci est une nappe chaude, elle constitue par conséquent le plus important réservoir géothermique dans le Sahara algérien.

La nappe du Continental Intercalaire du Sahara septentrional, d'une façon générale, les formations sableuses et résog-argileuses allant du Barrémien jusqu'à l'Albien.

Néanmoins, dans la wilaya de Ghardaïa, seule la couche aquifère argilo-gréseuse d'âge Albien est atteinte et exploitée avec succès.

Selon la région et la pente de la couche, l'Albien est capté à une profondeur de 160 à 1000 mètres en allant de l'Ouest vers l'Est de la wilaya.

Le toit de l'aquifères est moins profond il varie entre 60 et 150 m dans les zones sud-ouest exemple (Hassi-fhal et El-Menia) ce que explique le nombre important des forages dans ces zones notamment à usage agricoles. Cependant la profondeur du toit est plus élevée dans les zones nord est Guerrara et Zelfana elle varie entre 650 et 700 m ce qui explique le nombre modéré des forages albiens dans ces régions. Dans les communes entourant le chef-lieu, comme Metlili, Daya, Bonoura, Atteuf, Berriane, Sebseb et Mansoura la variation des profondeurs du toit est de 250 à 320 m. Localement, l'écoulement général des eaux se fait d'Ouest en Est.

L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minimale, provient directement des eaux de pluie au piémont Sud de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique. [7]

2.4.3 Répartition et Nombre de forages :

La nappe de l'Albien, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, elle 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).

Dans notre secteur d'étude, la nappe du CI est exploitée par l'exécution de forages de profondeur variable selon les régions; 100 à 250 à El-Menia, 450 à 500 à Sebseb et Ghardaïa, et de 900 à 1000m à Zelfana et Guerrara.

L'inventaire de l'ANRH réalisé en 2016 (Tableau II-1) à travers l'ensemble de la wilaya de Ghardaïa nous a permis de totaliser un nombre de 766 forages qui exploitent la nappe pour différents usages, que ce soit pour l'irrigation, l'industrie, ou l'alimentation en eau potable (AEP) [17].

Tableau N°(II-1): Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation

Désignation	Exploité	Non Exploité	Totaux
Forage AEP	124	48	172
Forage Irrigation	441	133	574
Forage Industrie	18	2	20
Totaux	583	183	766

2.4.4 Exploitation et usage :

Les données qui nous ont été recueillies auprès des différents services qui gèrent l'eau; la Direction des Services Agricole (DSA), la Direction des Ressources en Eau (DRE), l'Algérienne des Eaux (ADE) et l'ANRH, montrent que le volume d'eau exploité de la nappe de CI est passé de 186,5 Hm³ en 2005 puis en 2011 de 367,47 Hm³, pour atteindre 419,76 Hm³ en 2016, soit 419,76 Millions de m³ d'eau soutiré annuellement de la nappe [17].

Tableau N°(II-2) :Evolution du volume d'exploitation des eaux du Continental Intercalaire par usage (ANRH,2016)

Usage	Volume d'eau exploité (hm ³ /an)		
	2005	2011	2016
AEP	43.49	58.74	68.5
IRR	137.02	302.02	344.33
AEI	5.99	6.71	6.93
Totaux	186.5	367.47	419.76

Nous observons que le secteur agricole mobilise une grande quantité d'eau par rapport aux autres secteurs, soit 344,33hm³/an, à cause des programmes de développements lancés par l'état dans ce domaine, notamment la mise en valeur par la concession et l'APFA (Accès au Propriété Foncier Agricole) depuis les années 2000.

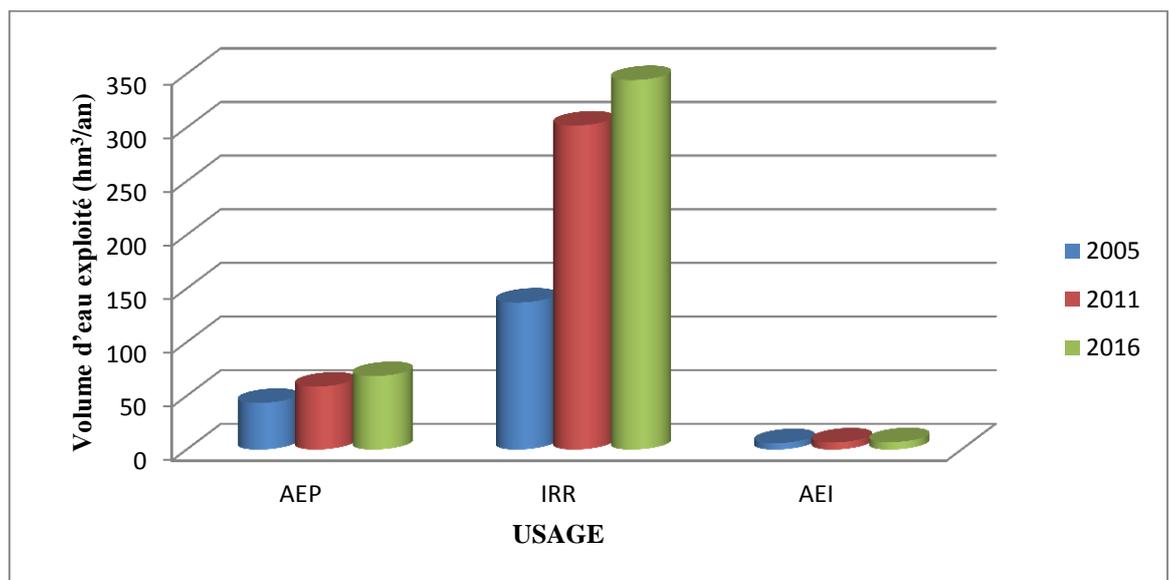


Figure N° (II-12) Evolution de l'exploitation des eaux du Continental Intercalaire par usage du 2005 au 2016

D'après l'historique on remarque une grande évolution de la consommation d'eau pour l'irrigation au cours de cette période 2005-2016, suivie par les besoins en eau pour l'AEP. Par contre les besoins en eau pour l'industrie n'ont pas connu une grande évolution au cours de cette période.

2.5 Conclusion

Le climat dominant est ce de Sahara qui est caractérisé par des hivers courts et rigoureux et des étés longs et chauds.

Les températures sont extrêmement élevées peuvent dépassées 40° en été.

La région de Ghardaïa fait partie de système aquifère de Sahara septentrional (SASS),les principales ressources en eau dans la région sont d'origine souterraine. Elles sont stockées dans deux types d'aquifères: les aquifères superficiels qui sont abrités dans les calcaire dusénonien carbonaté, calcaire fissurés duturonien et dans les alluvions des vallées des oueds de la région, alimentée directement par les eaux des pluies,ainsi que les fréquents écoulements des oueds, et l'aquifère profonde souvent captif du continentale intercalaire, qui est composé de sable, grés et d'argiles sableuses d'âge Albien. Selon la région elle est captée à une profondeur allant de 80 à 1000 m,par des forages à différents usages;l'irrigation, l'industrie et l'AEP

*Matériel et méthodes
utilisés*

3.1 Introduction :

Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés.

L'échantillonnage d'une eau comprend la préparation du prélèvement, le prélèvement proprement dit, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment où l'eau est analysée. Chacune de ces étapes est importante pour assurer la fiabilité des résultats des analyses [18].

La partie expérimentale de ce travail a été réalisée dans les laboratoires des établissements suivants : l'Université de Ghardaïa et au niveau de laboratoire de l'Algérienne des eaux « A.D.E » unité de Ghardaïa.

3.2 Préparation des données :

3.2.1 Echantillonnage d'eau :

Les prélèvements d'eaux dans des flacons propres ; rincés avec l'eau distillée après avec l'eau à analyser, Puis remplis jusqu'au bord, le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air, et qu'il ne soit pas éjecté à la cour du transport, les flacons sont clairement identifiés à l'aide d'étiquettes indiquant le numéro, la date et l'heure de l'échantillon.

Après la mise en flacon et l'étiquetage, l'échantillon est Placé dans une mallette de transport qui permet de la maintenir au frais et qui le préserve de la lumière, des poussières et des salissures [19].

3.2.2 Cartographie des données :

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour déterminer les coordonnées d'un point à la surface de la terre. La plus ancienne est celle des navigateurs : l'astronomie de position, qui consiste à faire des visées sur les étoiles à l'aide d'instruments optiques (astrolabe, sextant,...). A l'époque moderne, les méthodes ont consisté généralement à constituer d'abord un réseau de points très précis (points dits géodésiques) par triangulations successives, à l'aide de mesures d'angles (avec des théodolites) et de longueurs. A partir de ce réseau géodésique de base, trois types de techniques sont utilisables [5] :

- **les techniques terrestres;** (topométrie) qui consistent à faire des mesures d'angles et de distances à l'aide d'appareils optiques et électroniques

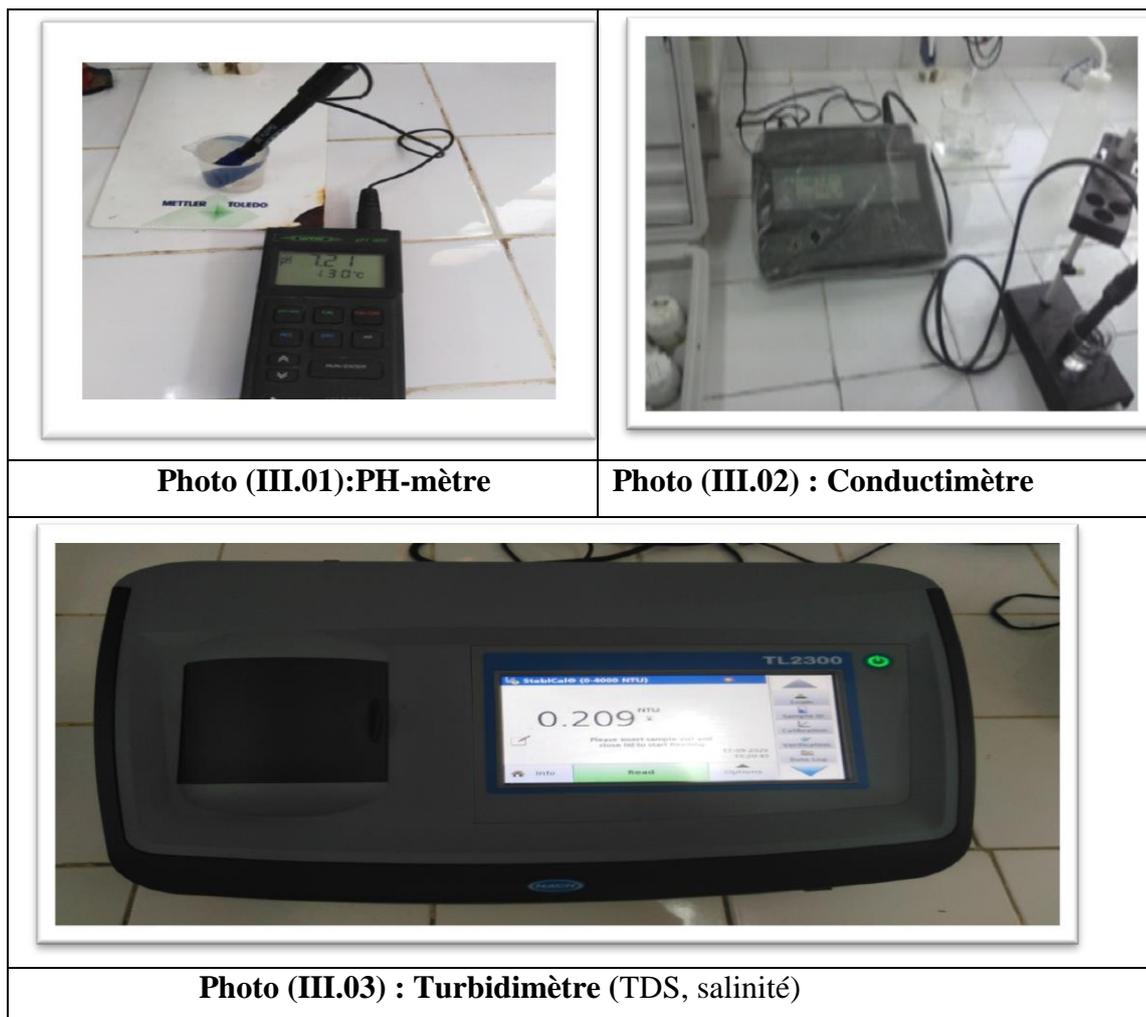
(théodolites ,tachéomètres à réflexions d'ondes) en se rattachant aux points géodésiques.

- **les techniques aériennes;**(photogrammétrie) qui utilisent des photographies aériennes métriques à recouvrement stéréoscopique (pour la vision en relief) et qui mettent en œuvre des "stéréo-restituteurs" capables de mesurer tout point visible sur les photos.
- **les techniques satellitaires:** Connues aussi sous le nom de la télédétection spatiale, elles utilisent des images prises par les Satellites d'observation de la terre (Landsat, Spot, Radarsat...), le plus souvent sous forme numérique, et dont le traitement géométrique permet de calculer également la position de tout point visible sur les images. La télédétection par satellite à ainsi ouvert un énorme gisement d'informations inédites, grâce aux capteurs de rayonnements invisibles.
- **radio positionnement par satellites (GPS):**le système le plus répandu est le GPS américain (Global Positioning System). Grâce à une constellation de 21 satellites de positionnement, n'importe quel point de la surface terrestre peut être localisé avec un récepteur au sol, selon une précision variable suivant le type de récepteur et les méthodes de recueil et de traitement des données. Le GPS, auquel s'adjoint, le système européen Galileo, peut ainsi servir aussi bien en géodésie qu'en topométrie, ce qui permet de remplacer progressivement les réseaux géodésiques par des stations GPS permanentes de référence, en nombre très restreint (quelques dizaines sur le territoire Algérien).[5]

3.2.3 Mesures sur le terrain :

Les mesures de terrain concernent, la conductivité électrique et la température. En effet, nous avons consulté un certain nombre de questions sur la qualité de l'eau à aux consommateurs des forages. Ils ont mesuré la température à l'aide d'un de terrain.

Appareil utilisé : Multiparomètres portables pour mesures sur site les paramètres suivants : Température, Conductivité, TDS, salinité, pH, Turbidité [19].



3.2.4 Mesures au laboratoire :

Les mesures physico-chimiques et les analyses chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire d'ADE de Ghardaïa.

a Méthode gravimétrique :

En général, la teneur en élément (ion) à déterminer de la substance à étudier est définie au cours de l'analyse gravimétrique par le poids du précipité obtenu après précipitation de cet élément (ion) sous forme d'une combinaison difficilement soluble. [21]

Dosage de sulfate (SO_4^{2-}) :

Dans un tube à essais ; l'eau à analyser éventuellement filtrée est acidifiée avec de l'acide chlorhydrique et on ajoute quelques gouttes de solution de chlorure de baryum. Après chauffage selon la concentration en ion sulfate, il apparaît immédiatement ou après un

bref moment un trouble blanc; convenant pour le dosage des ions sulfate à des concentrations d'environ $>100\text{mg}$ de SO_2^{4-} , l'eau trouble est filtrée puis calcinée à 850°C . En présence de concentration plus faible l'échantillon d'eau est évaporé avant le dosage.[21]

Résidu sec :

La détermination résidus permet d'estimer la teneur en matière dissoutes et en suspension d'une eau ; la détermination de résidu sur l'eau filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau c'est le résidu total si l'eau est filtrée préalablement à la mesure;le résidu correspond alors aux matières dissoutes [21].

b Méthode volumétrique

L'analyse volumétrique possède un grande avantage par rapport à l'analyse gravimétrique en ce qui concerne la rapidité d'exécution l'accélération du dosage est obtenue dans ce cas parce qu'au lieu de poser le produit de la réaction, en mesure le volume de la solution de réactif utilise, dont l a concentration ;(ou comme en dit, le titre) nous est exactement connue[21]

Dosage des chlorures (Cl-)

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée d' AgNO_3 en présence de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique de chromate d'argent[21].

Dosage de TH (dureté totale)

Le titre hydrotimétrique d'une eu correspond à la somme des concentrations en cation métalliques à l' exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène .

Le dosage se fait par la méthode de complexométrie. Titrage avec une solution d'E.D.T. A en utilisant un indicateur qui forme avec le calcium et de magnésium un complexe rouge foncé ou viol et, c'est le mordant noir [19].

Dosage de calcium (Ca+ 2) :

Titrimétrie à l'EDTA.

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de sel de sodique d'acideéthylène diamine tétra - acétique (EDTA) à un pH compris entre 12 et 13. Le HSN, qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur.

Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage. Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair [22].

Magnésium (Mg²⁺):

Le magnésium est principalement présent en ion Mg²⁺. Il est contenu dans un large nombre de minéraux, par exemple la dolomite (carbonate de calcium magnésium; CaMg(CO₃)₂) et la magnésite (carbonate de magnésium ; MgCO₃). Le sulfate de magnésium ajoute un goût amer à l'eau. Sa solubilité est de 309 g/L à 10°C dans l'eau. C'est la différence entre le volume de la dureté et le calcium. [23].

Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Titre alcali métrique complet ou TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres carbonates et hydrogène carbonates.

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par acide minérale dilué, en présence d'un indicateur coloré [19].

Les Bicarbonates (HCO₃⁻) :

L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO₂ à partir des minéraux contenant des carbonates [19].

c Méthode Spectro -photométrique

Appareil utilisé : Spectrophotomètre UV - VIS : HACH (ODYSSEY) DR/250

Ammoniaque (NH₄⁺)

La mesure par spectrométrie : le composé bleu formé par la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitropentacyanoferrate (III) de sodium [19].

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l d'ammonium.



Photo (III. 04): Spectrophotomètre UVvisible (ADE)

Phosphate (PO_4^{-3}) :

Le dosage par méthode spectrométrie moléculaire : en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrométrique [19].

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l du phosphore.

Nitrite (NO_2^-) :

La Méthode de dosage ce fait par spectrométrie d'absorption moléculaire réaction des ions nitrites présente dans une prise d'essai à pH 1.9 avec les réactif amino -4 benzène sulfonamide en présence d'acide ortho phosphorique pour forme un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le di-chlorhydrate de N - (naphtyle - 1) diamino -1. 2éthane Mesurage de l'absorbance à 540nm [19].

Nitrates (NO_3^-) :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique[20].

Dosage du Fer (Fe^{+2})

Le dosage se fait par spectrométrie moléculaire: Après oxydation enmilieu acide, le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrophotométrieen utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la Phénanthroline1,10

d Méthode spectromètre à flamme

Appareil utilisé : Spectromètre à flamme (JENWAY).

a Potassium (K^+)

Bien que les concentrations du potassium normalement trouvées en eau potable soient généralement basses et ne posent pas des soucis de santé, la solubilité élevée du chlorure de potassium et son utilisation dans des dispositifs de traitement tels que des adoucissants d'eau peuvent mener à une exposition sensiblement accrue. [23]

b Sodium (Na^+)

L'ion de sodium est omniprésent dans l'eau. La plupart des approvisionnements en eau contiennent plus moins 20 mg de sodium par litre, mais aux niveaux de quelques pays, il peut dépasser 250 mg/litre. L'intrusion saline, les dépôts de minerais, l'intrusion d'eau de mer, les effluents d'eaux d'égout, et le sel utilisé dans la route dégivrant peuvent tous contribuer l'apparition de quantités significatives de sodium dans l'eau. En outre, les produits chimiques de traitement de l'eau tels que le fluorure de sodium, le bicarbonate de soude et l'hypochlorite de sodium peuvent tous avoir comme conséquence des niveaux de sodium plus élevés que 30 mg/litre. Les adoucissants d'eaux domestiques peuvent donner des niveaux de plus de 300 mg/litre. [23].

✓ le principe de sodium c'est la même avec potassium.



Photo N ° (III. 05): Spectromètre à flamme (JENWAY).

e Autre paramètre :

- **Indice de perméabilité (PI)**

Cet indice est proposé pour classer l'eau en fonction de son aptitude aux activités d'irrigation il est défini en terme de Na^+ , Mg^{2+} et HCO_3^- comme suit

$$PI=100 \times \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad III-1$$

Dans cette expression, tous les ions doivent être en meq/l. une classification basé sur l'IP a été proposé par l'organisation mondiale de la santé (OMS) pour évaluer l'équation des eaux souterraines à des fins d'irrigation. [25]

- **Indice de Kelly (KI)**

L'équation de Kelly (KI) (Kelly 1963) est décrit comme suite :

$$KI = Na^+ / Ca^{2+} + Mg^{2+} \quad III-2$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l

KI est inférieur à 1, cela signifie que les eaux aptes à irrigation et KI >3 les eaux sont inaptes à l'irrigation (Kelly, 1957) .[26]

- **Indice d'Adsorption de Wilcox (SAR)**

Une eau chargée en sels, peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR qui est défini par la relation est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau. [9]

Le SAR est calculé par la formule suivante:

$$SAR = \frac{Na^+ + K^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad III-3$$

Avec Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} exprimée en méq/l

Tableau N°(III-1) :Valeurs du SAR selon Richards(1954)

SAR (méq/l)	Classification
<10	Excellent
10-18	Bien
18-26	Permis
>26	Inadapté

3.3 Exploitation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) :

a Définition :

Tout comme le domaine de la géographie le terme SIG est difficile à définir, Il représente, l'intégration de plusieurs domaines d'étude .On s'accorde souvent pour dire qu'il n'existe pas de définition qui fasse l'unanimité.

De nombreuses définitions ont été proposées par plusieurs auteurs, chacun selon son domaine d'activité, Toutefois, l'idée générale est la même et un SIG peut être défini comme un système informatique de matériels, logicielles et procédures pour faciliter la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, la représentation et l'affichage de données spatialisées pour résoudre des problèmes complexes liées à la planification et la gestion des ressources. [24]

En effet, les Systèmes d'Informations Géographiques se présentent actuellement parmi les meilleures techniques d'aide à la décision par leurs grandes capacités cartographiques, d'analyse spatiale des phénomènes naturels et d'interprétation.

Le SIG est un terme général qui se réfère à un certain nombre de technologies, de processus et de méthodes. Celles-ci sont étroitement liées à l'aménagement du territoire, la gestion des infrastructures et réseaux, le transport et la logistique, l'assurance, les télécommunications, la planification, l'éducation et la recherche, etc.

C'est pour cette raison que les SIG sont à l'origine de nombreux services de géo localisation basés sur l'analyse des données et leur visualisation. [24]

b Concepts d'un SIG :

La notion de SIG est apparue vers les années soixante .Elle résulte de l'extension du système de bases de données à tous les types de données géographiques

Chapitre III: Matériel et méthodes utilisés

Au départ ils 'agissait d'un outil de stockage des données en vue de leur restitution cartographique. Ensuite on a recherché à intégrer ces données dans le système générale d'information. C'est cette dernière évolution qui est essentielle, et qui confère tout son intérêt au concept SIG il faut donc éviter une confusion courante : Un logiciel SIG n'est pas un outil de cartographie assisté par ordinateur. C'est bien le plus cela, c'est un ensemble d'outils intégrés qui permet de gérer des données qui peuvent être localisées. [24]

c Composantes d'un SIG :

Les systèmes d'information géographique sont composés de cinq éléments (figure III-1)



Figure N°(III-1) : Composant de SIG (Gillot,2009)

3.4 Programmes et logiciels exploités :

Les logiciels SIG représentent l'élément le plus important de l'outillage géomatique et il est important de choisir ces logiciels avec un grand soin. Les plus répandus de ces logiciels actuellement sont ceux fournis par la société ESRI tel que Arc Gis Desktop. [24]

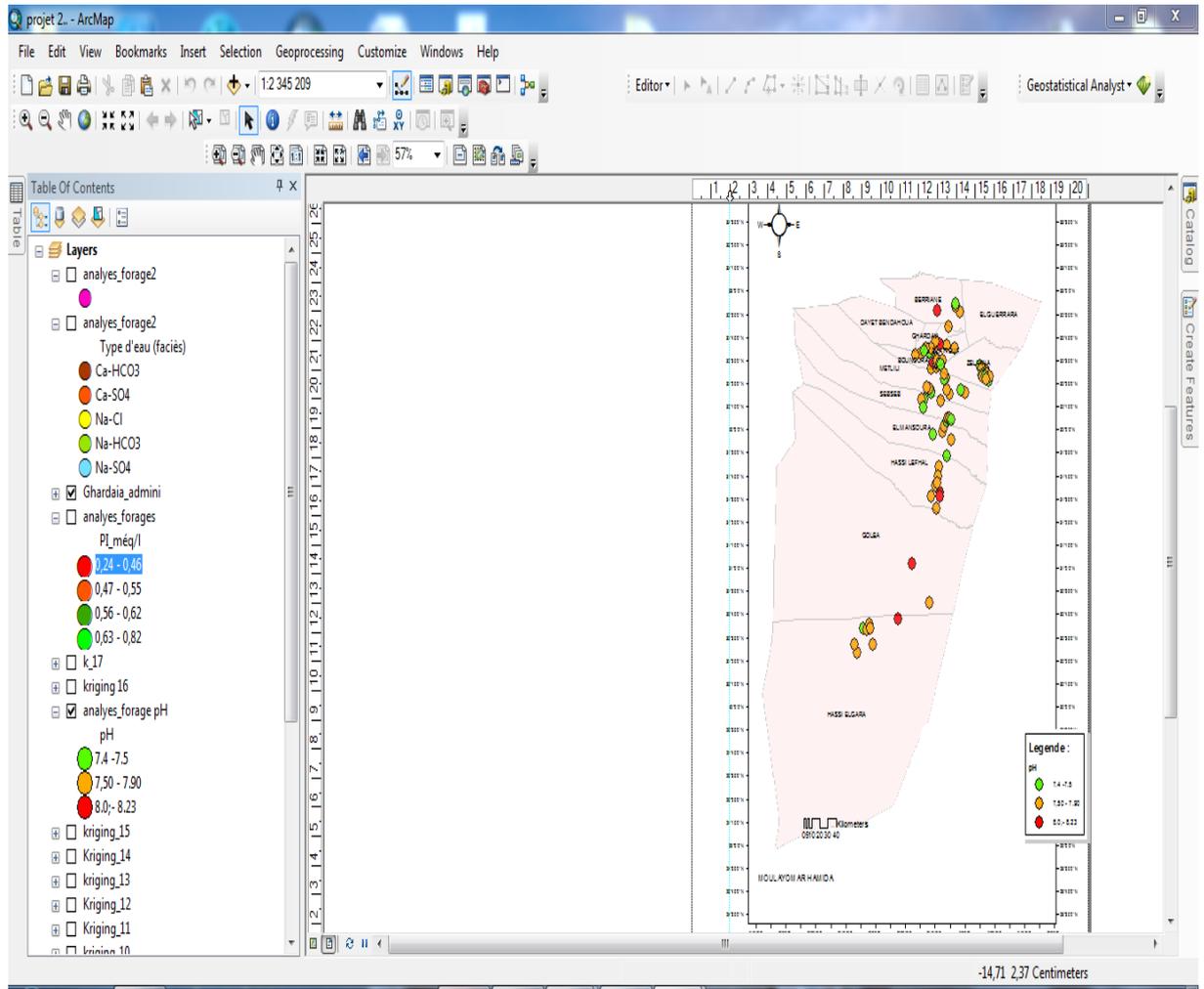


Figure N°(III-2) :Représentation de l'interface du logiciel ArcGIS

- **Autres logiciels de SIG**

Outre des logiciels SIG, on a utilisé plusieurs programmes pour la saisie et le traitement de données. Les plus importants sont Microsoft Access, pour l'élaboration de la composante sémantique de la base de données, Excel et Diagramme, pour l'édition des graphiques et Rock Works pour la réalisation des coupes hydro-stratigraphiques [24]

a. Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (version 6.61,2020) (figure III-3), qui nous permet de classer les eaux en faciès chimique et en classe d'eau potable et d'irrigation, et de construire en particulier les diagrammes de Piper, de Schoeller-Berkaloff et de Riverside.

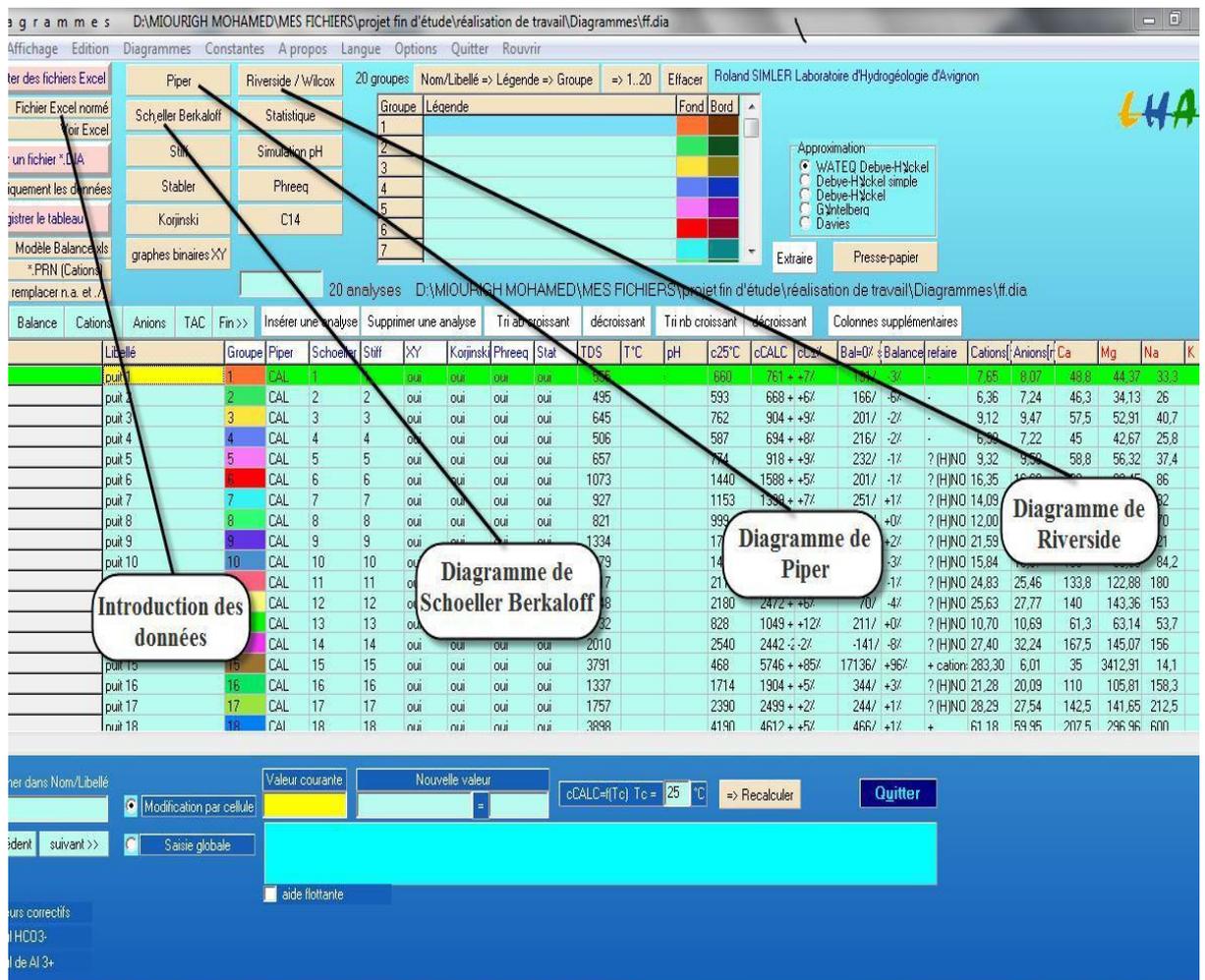


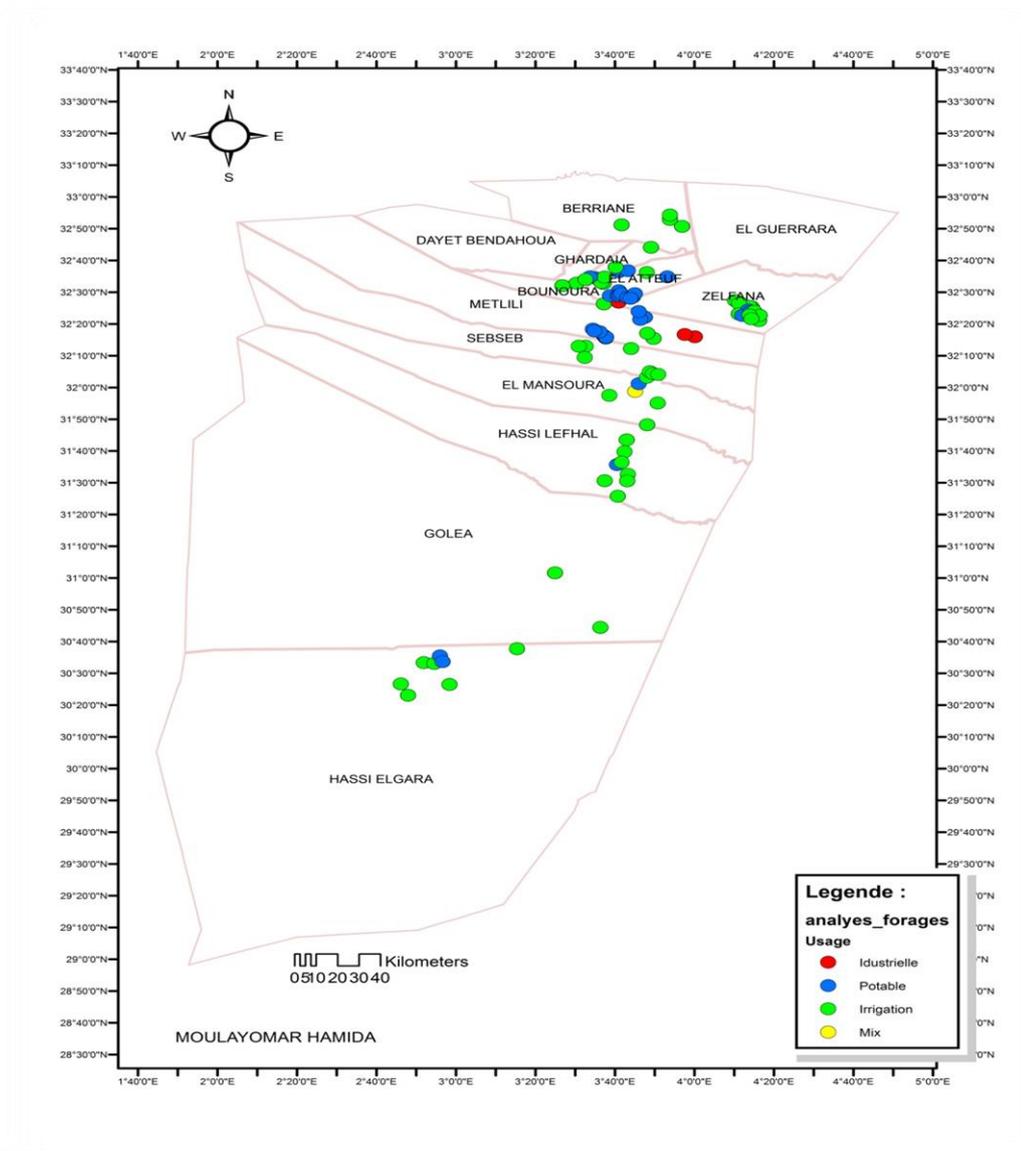
Figure N°(III-3): Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie

*Résultats et
Discussions*

4.1. Répartition spatiale des données

La carte permet de distinguer quatre catégories des forages par usages dans la région de la wilaya de Ghardaia : 53 pour l'irrigation, 36 pour potable, 3 pour industrie et 1 mixte.,

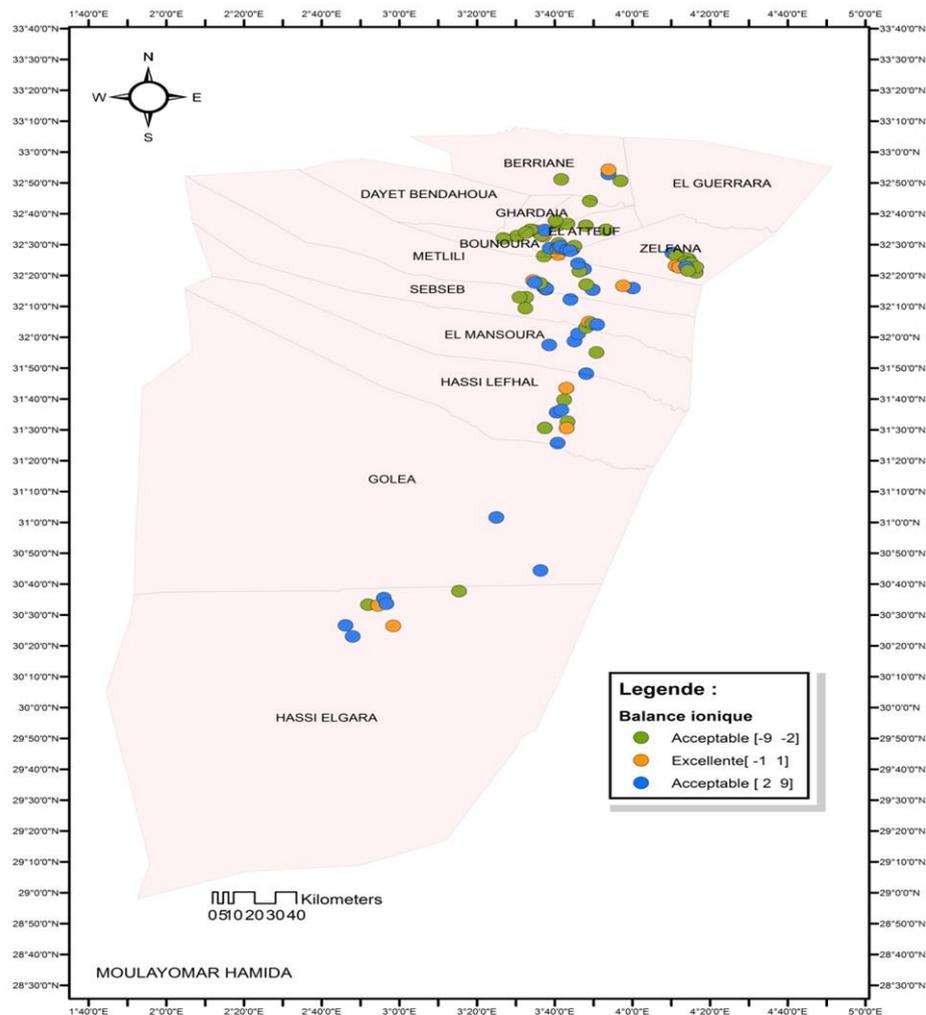
Forages destinés à l'irrigation qui représentent 56,38 % du totale des forages ils sont localisés dans toutes la wilaya et principalement dans les communes (Metlili, Sebseb, Mansoura, Hassi el f 'hal, Zelfana, Meniaa et HassiGara) ce qui représente le point fort ou bien l'importance de ces zones du point de vue ressources en eau souterraines facilement exploitables et aussi la disponibilité des terres favorables à l'agriculture (Carte IV-1)



Carte N °(IV-1) : Répartition spatiale des forages

4.2 .Vérification la fiabilité des données hydrochimiques

Pour l'application de la formule de la balance ionique , on a vérifié la qualité de la l'analyse hydrochimique de nos données qui sont 94 échantillons vérifiés par la balance ionique (La formule I-1). On a trouvé que :en gros les analyses sont entre acceptables et excellentes . donc, on a 25 échantillons qui ont une balance ionique oscillent entre [-1 ;1] c'est-à-dire les résultats sont excellents. Ainsi, on remarque que le reste est oscillent entre [-9 ; -2] et [2 ;9] autrement-dit la fiabilité des résultats sont acceptable. On remarque que la répartition de la balance ionique d'échantillon sur le secteur de la wilaya Ghardaia est réparti dans toutes les communes .elle est excellente dans Golea , Sebseb , Hassi El f'hel et acceptable dans la majorité des communes.(carte IV-2)

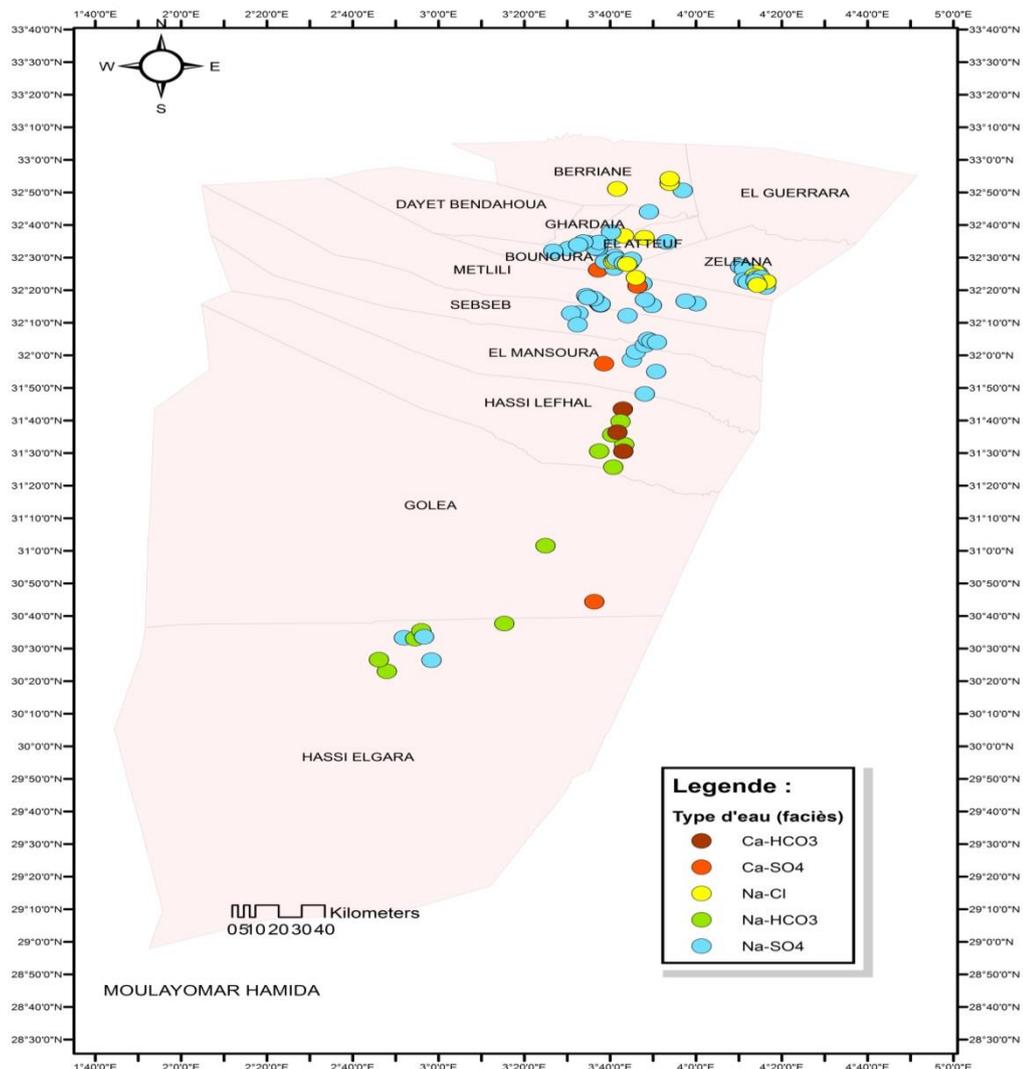


Carte N °(IV-2) : La balance ionique

4.3. Interprétation des données hydrochimiques

4.3.1. Les types d'eau (facies chimiques)

D'après cette carte (IV-3) représentative des types d'eau, on remarque que les forages de faciès bicarbonatée calcique ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) se situent à HassiLefhel et ceux de faciès sulfate calcique ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) se situent à Golea, Mansoura et Metlil. Comme on voit que les faciès Chlorure sodique (Na Cl) se trouve dans le nord de la wilaya et bicarbonatée sodium ($\text{HCO}_3\text{ Na}$) est distribué de HassiLefhel jusqu'au sud de la wilaya. En fin, les faciès sulfate sodique ($\text{SO}_4\text{ Na}$) se trouve dans la plus part des forages du nord et un peu dans le sud.



Carte N °(IV-3) type d'eau(facies chimiques)

4.3.2. Diagramme de piper

A partir de ce diagramme de Piper (IV-1) on remarque que le faciès chimique dominant est chlorurée et sulfatée calcique magnésienne dans les compagnes des eaux de la région de la willaya de Ghardaïa.

En observant le diagramme ternaire des anions, nous constatons, que le nuage des points à une tendance vers le domaine d'aucun cation dominant. Cependant, pour les cations, on observe ainsi à une tendance vers le domaine d'aucun anion dominant.

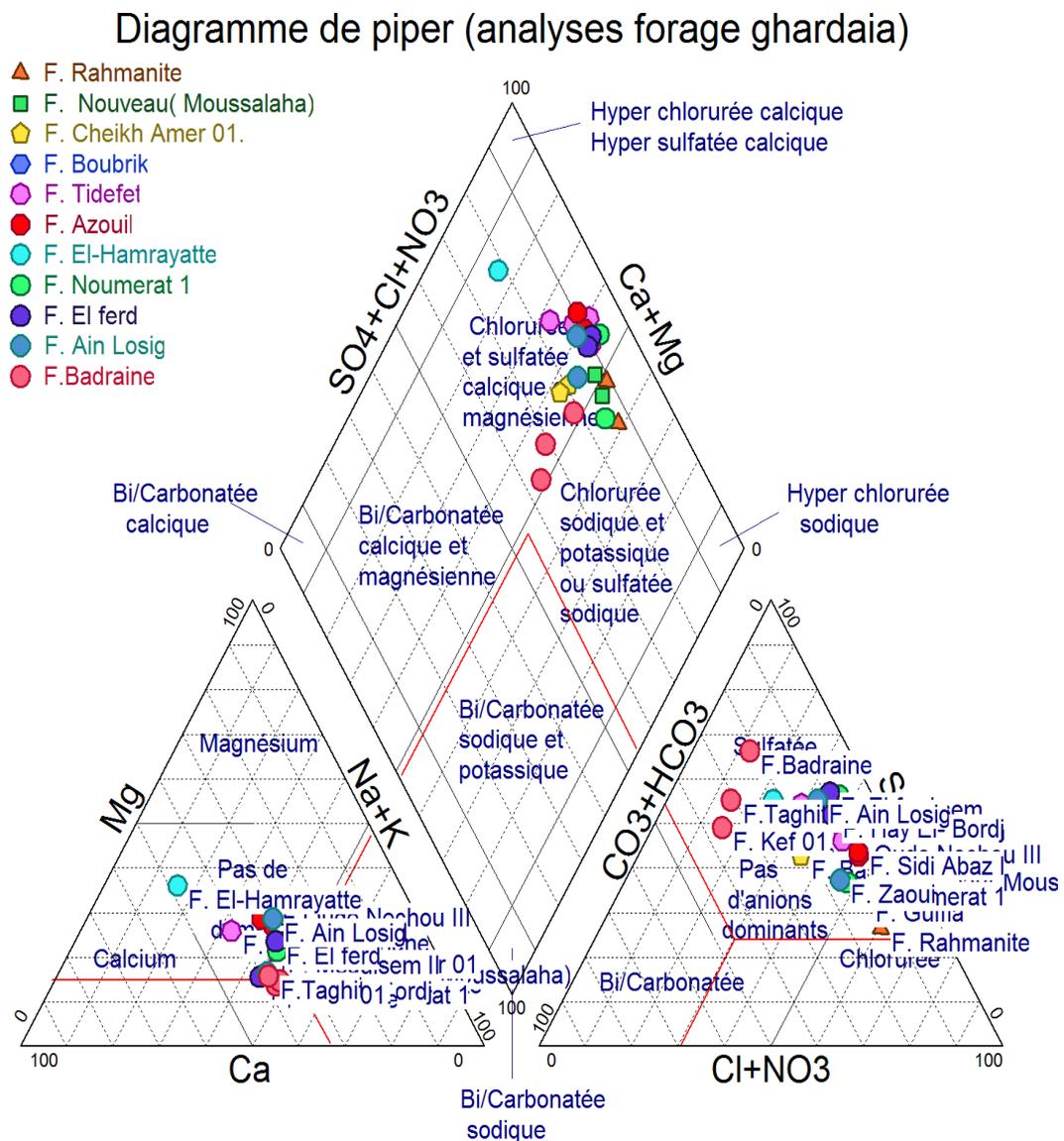


Figure IV-1) : Diagramme de piper (analyse du forage de la willaya de Ghardaïa)

4.3.3. Indices de qualité de l'eau

4.3.3.1 Le PH

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la concentration en ions H^+ , les valeurs du pH dans la région d'étude varient entre 7.4 à 8.23 Ces valeurs sont dans les normes de potabilité.

Tableau N ° (IV-1) Classification pH

pH	spécification
7.2-8.5	Neutralité approchée

4.3.3.2 Le résidu sec (TDS)

Depuis l'échelle le TDS variée du sud vert le nord de la valeur inférieure 320mg/l jusqu'à 1941mg/l \approx 2g/l

4.3.3.3 La dureté de l'eau (TH)

Depuis l'échelle le TH variée du sud vert le nord de la valeur inférieure 11 jusqu'à 82 $^{\circ}$ F

4.3.3.4 Indice de Chlorure (Cl^-)

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la Sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl). Les teneurs en chlorures varient entre 27.56 à 513.35 mg/l

4.3.3.5 Indice de perméabilité (PI)

Cet indice est proposé pour classer l'eau en fonction de son aptitude aux activités d'irrigation il est défini en terme de Na^+ , Mg^{2+} et HCO_3

Les valeurs de PI dans les régions d'étude sont variées entre 0.24 et 0.82 méq/l

4.3.3.6 Indice de Kelly (KI)

Les valeurs de KI dans les régions d'étude sont variées entre 0.23 et 2.62 méq/l donc les eaux de notre secteur d'étude sont aptes pour l'irrigation.

4.3.3.7 Indice d'Adsorption de Wilcox (SAR)

Les valeurs calculées du SAR oscillent entre 5.55 et 27.92 méq/l .En comparant avec la classification de Richards (1953)(tableau III-1), nous constatons que les eaux de nos échantillons sont excellentes(SAR <10)à bonne pour l'irrigation (SAR<18 méq/l). Ces eaux peuvent être utilisées sans danger (absence du danger alcalin pour les cultures).et ainsi le reste est permis et inadapté.

4.4 Interpolation spatiale des données hydrochimiques

4.4.1 Méthode géostatistique par Krigeage

Nous avons utilisé la méthode géostatistique par Krigeage pour produire des cartes et des indices hydrochimique de notre secteur d'étude pour chaque indice de qualité chimique nous avons ajusté un semi-variogramme adéquat avec modification des paramètres du modèle théoriques (sphérique, linéaire, exponentielle...) en minimisant les erreurs entre les données expérimentales et celles du modèle

4.4.2 Calcul des semivariogrammes

Le semi-variogramme est une fonction continue paire, à valeurs positives, croissante et bornés. Une représentation graphique du semi-variogramme est illustrée sur les figures

Le meilleur ajustement du semi variogramme des données des indices de qualité de la nappe albien a été obtenu par le modèle sphérique (figIV-2),

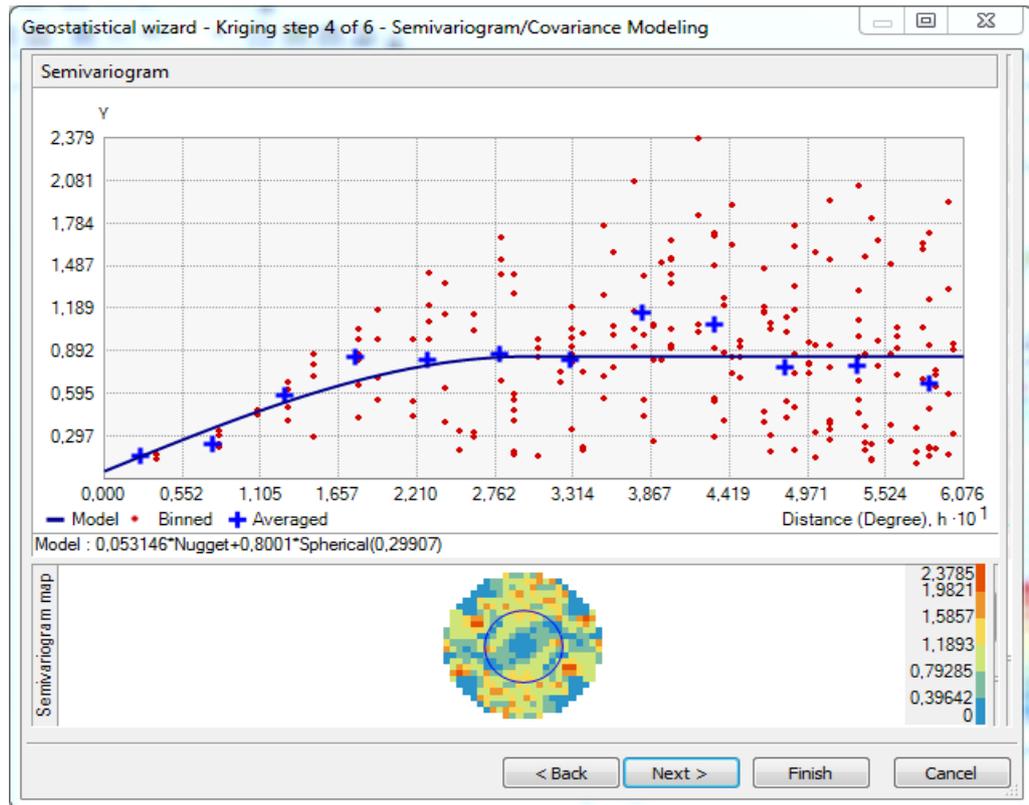


Figure N° (IV-2) : le semi-variogramme expérimental du paramètre Na

4.4.3 Validation des modèles de prédication

Les valeurs obtenues par le modèle présentent une bonne corrélation avec les valeurs réelles la droite de régression a une pente égale à 0,849 (fig IV-3).

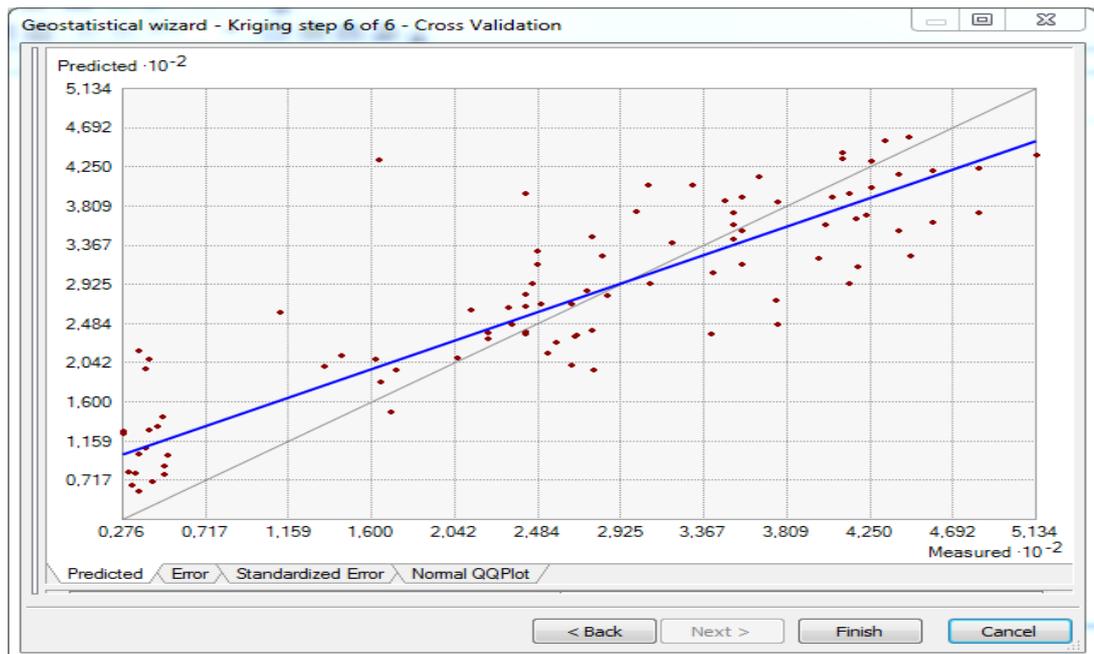


Figure N° (IV-3) : Validation du modèle par corrélation

Les valeurs statistiques figurant dans le tableau IV-4 ci-dessus révèlent que les valeurs ajustées au modèle sont raisonnables, ce qui nous permet de valider ainsi le modèle

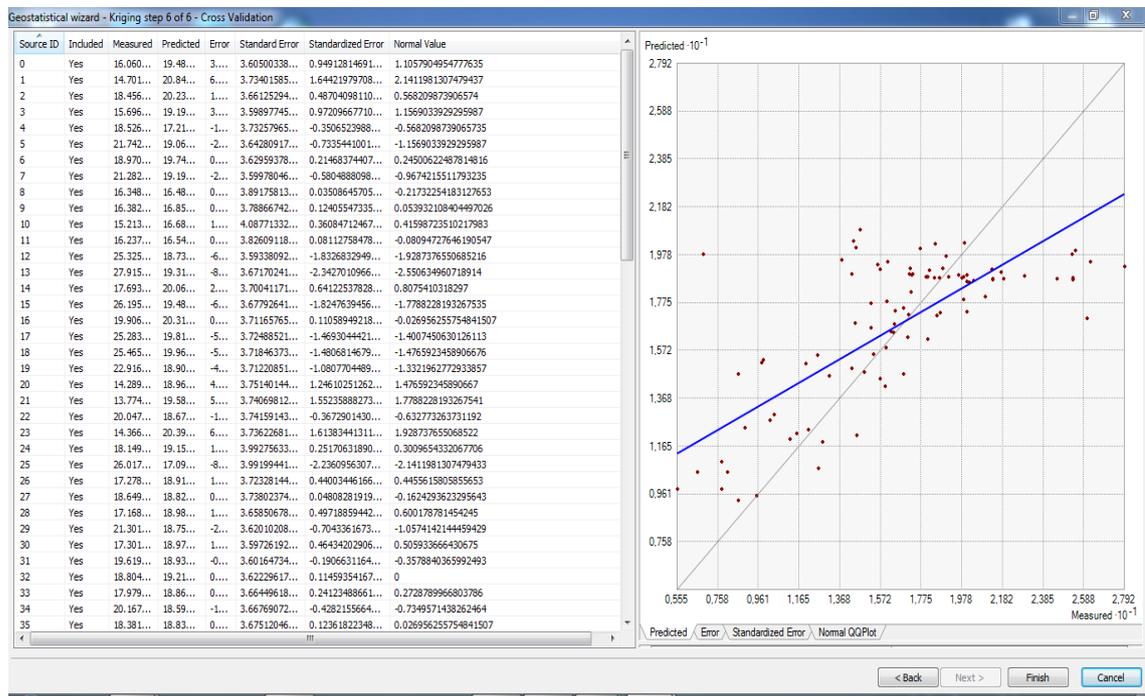


Figure N° (IV-4) : Tableau des erreurs entre expérimentale et modèle

4.5 Cartographies de la répartition spatiale des indices de qualité

4.5.1 Carte interpolée du PH

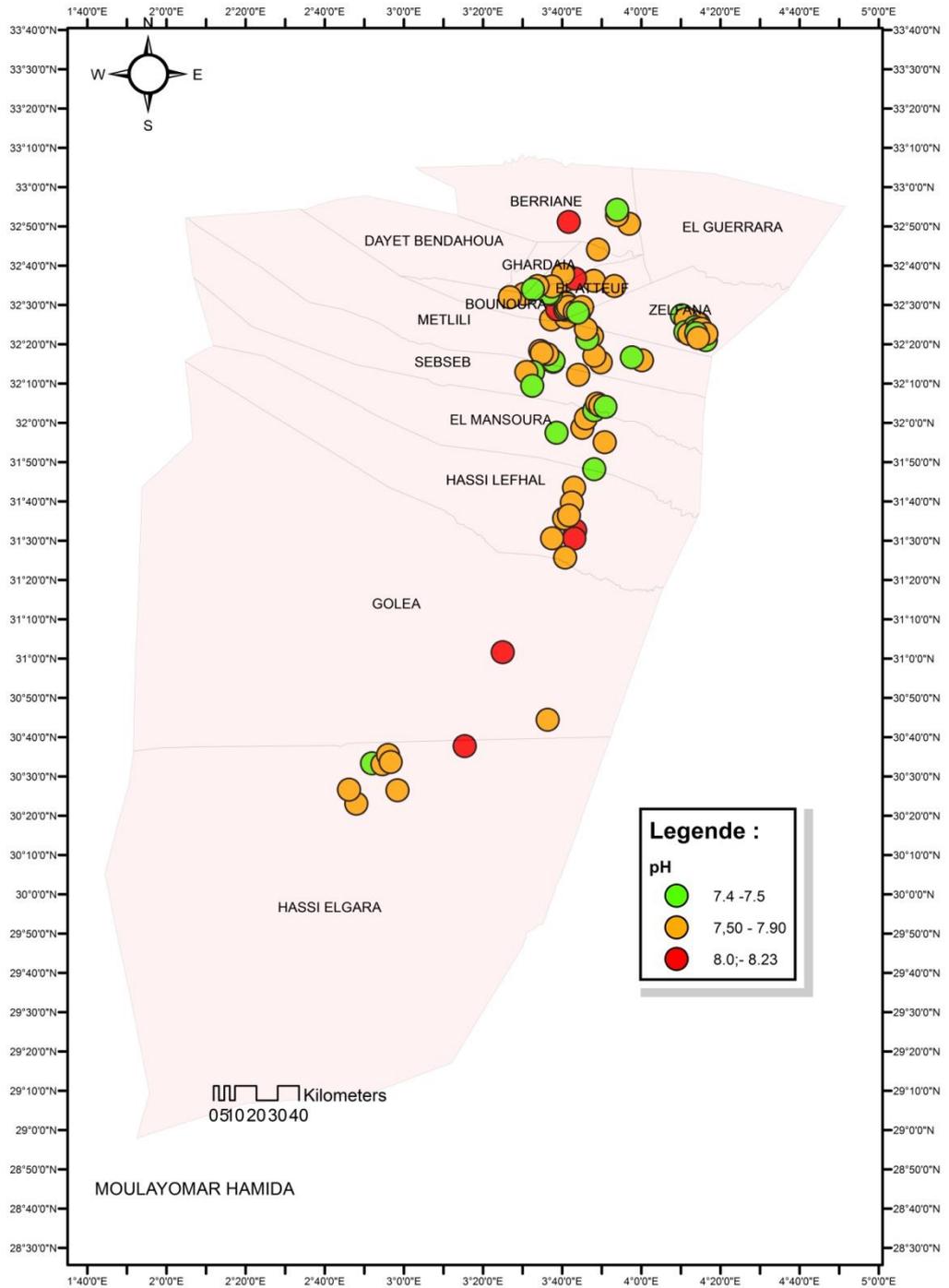
Les valeurs de pH obtenues sur le terrain d'après la carte du pH des eaux souterraines (fig.) :

Les valeurs dans les régions de Meneaa, HassiElgara, HassiLefhal et Mansoura les valeurs de pH sont entre (7.5-7.9) à (8-8.30)

Les valeurs dans les régions de Sebseb, Daia, Ghardaia, AlAteuf sont entre (7.4-7.5)

Les valeurs au Nord dans la région de Berriane sont (8-8.23)

On remarque que les valeurs sont presque égales du Nord au Sud entre 7.4 et 8.23



Carte N°(IV-4) : Carte interpolée du PH

4.5.2 Carte interpolée du Résidu sec (TDS)

Depuis la carte de TDS (total dissolved solide) de la région de Ghardaïa

Chaque échantillon c'est un forage, on a fait une carte de la répartition spatial

Depuis l'échelle le TDS variée du sud vert le nord de la valeur inférieure 320mg/l jusqu'à 1941mg/l \approx 2g/l

Du Sud les régions de Meneaa, HassiElgara, HassiLefhal et Mansoura les eaux souterraines ont des valeurs TDS faible et les valeurs sont variées de 320mg/l à 997.97mg/l et les eaux souterraines sont douces.

En allant au Nord jusqu'à Zelfana, Metlili, Sebseb, Ghardaïa, Bounoura et Zelfana, ElAteuf ...etc ; les valeurs TDS sont très élevées surtout au Bounoura et Ghardaïa les valeurs sont entre 1544.24mg/l et 1941mg/l et les eaux souterraines sont chargées

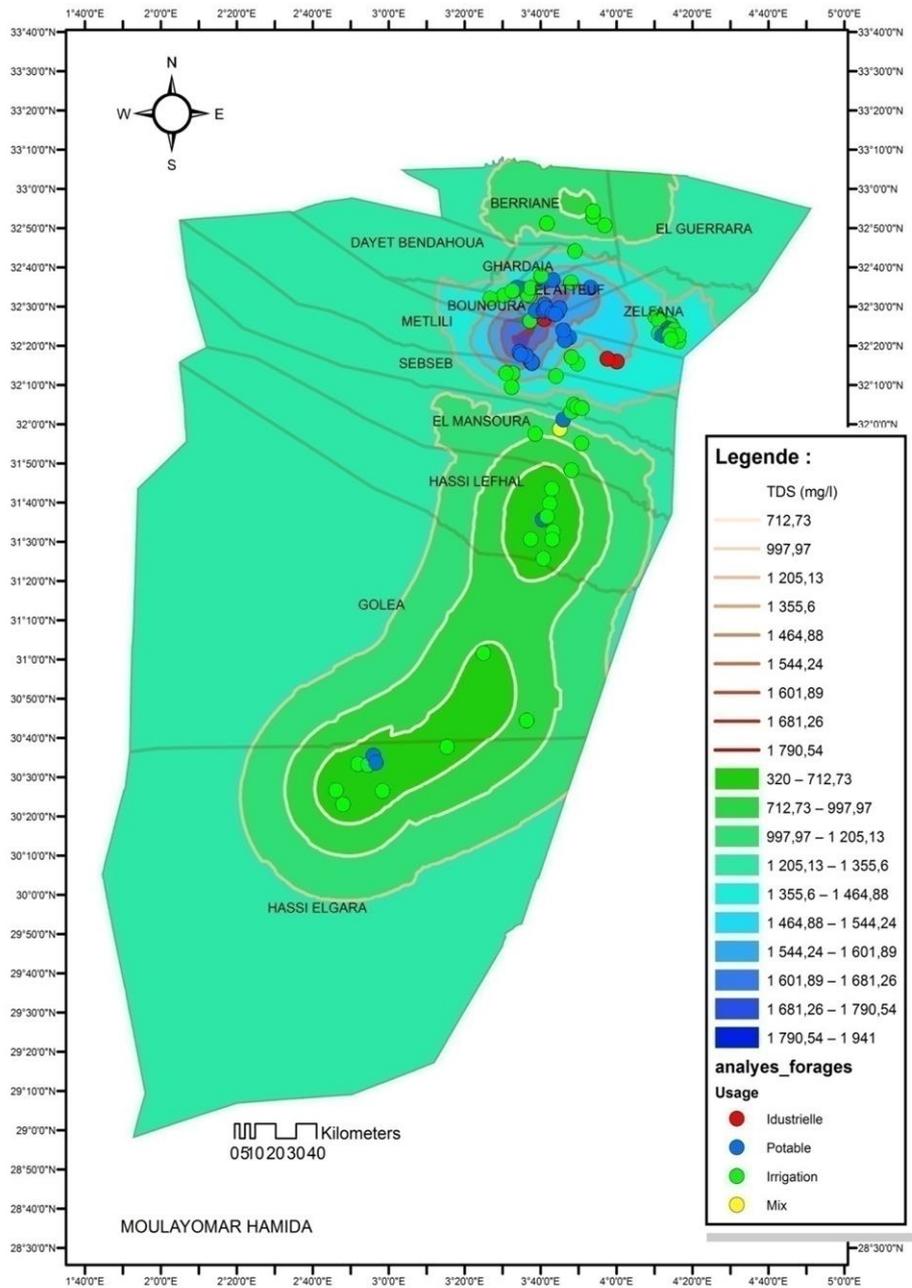
En allant plus au Nord au Berriane les valeurs TDS sont encore faibles inférieure d'1g/l et les eaux souterraines sont aussi douce

vers le Nord Est àGuerrara les valeurs TDS sont élevées et les eaux souterraines sont chargées

Enfin : la répartition de TDS dans le secteur d'étude du sud vert le nord : ou sud les valeurs TDS sont très faibles par rapport au nord et les eaux du sud (Meneaa, HassiElgara, HassiLefhal et Mansoura)sont douces et potables ,

on allant vert le nord dans les régions (Metlili, Sebseb, Ghardaïa, Bounoura,Zelfana et ElAteuf) les valeurs TDS sont très élevées et les eaux sont chargées

On allant plus vert le nord (Berriane) les valeurs de TDS est un peu faible



Carte N°(IV-5) : Carte interpolée de TDS

4.5.3 Carte interpolée de la dureté de l'eau (TH)

Depuis la carte de la dureté de l'eau dans la région de Ghardaïa on remarque que les valeurs de TH varient du Nord vers le Sud

Les valeurs TH dans les régions de HassiElgara, El-Goléa, HassiLefhal et Mansaura sont entre 11°F et 28°F Donc les eaux sont des eaux douce

Les valeurs TH dans les régions de Sebseb, Metlili et daïa sont entre 40.09°F et 47.2°F.

Les valeurs TH dans les régions de Zelfana, Elateuf, Bounoura, Ghardaïa et Elgrrara sont entre +40°F et 82°F.

Les valeurs TH dans la région de Berriane sont entre 11°F et 28.83°F.

Tableau N°(IV-2) : les valeurs du TH (dureté totale)

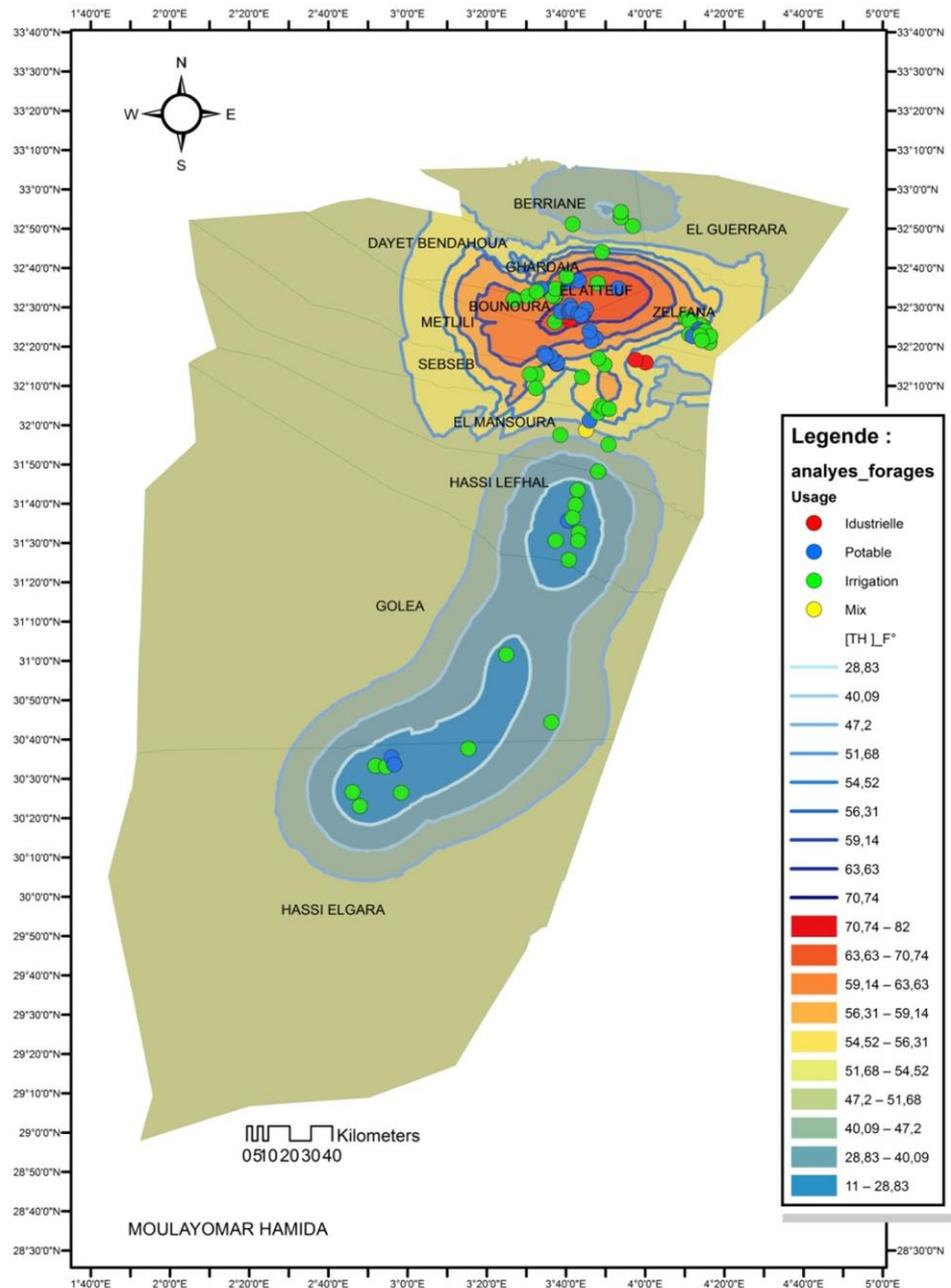
TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	Très douce	L'eaux douce	Moyennement douce	dure	Très dure

En fin d'après le tableau des valeurs du titre hydrométrique (TH)

Les eaux souterraines dans les régions de HassiElgara, El-Goléa, HassiLefhal, Mansaura et Berriane sont douces à moyenne douces.

Les eaux souterraines dans les régions de Sebseb, Metlili et daïa sont moyenne douces à dures.

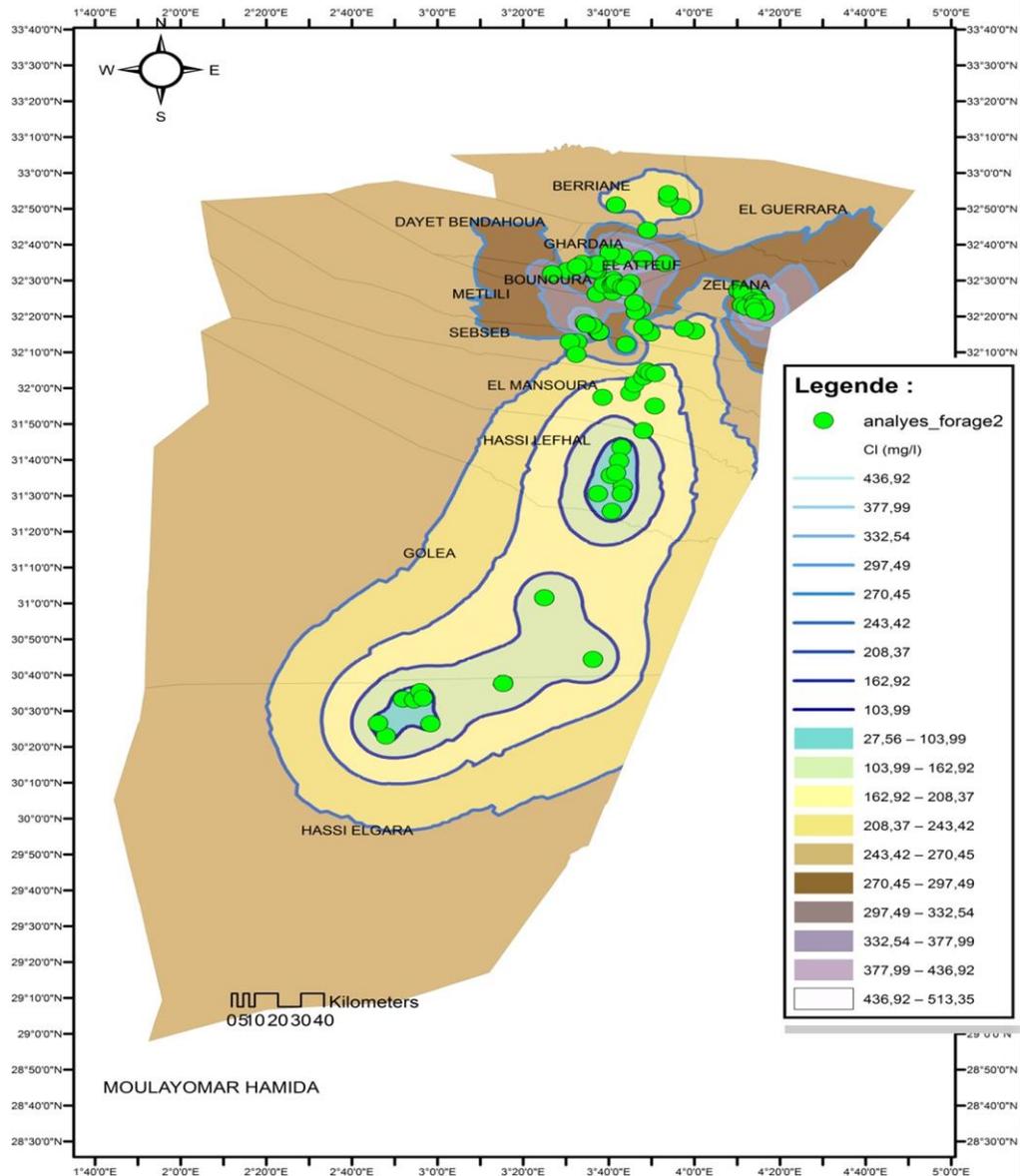
Les eaux souterraines dans les régions de Zelfana, Elateuf, Bounoura, Ghardaïa et Elgrrara sont très dures



Carte N°(IV-6) : Carte interpolée de la TH

4.5.4 Carte interpolée d'indice du Chlore (CI)

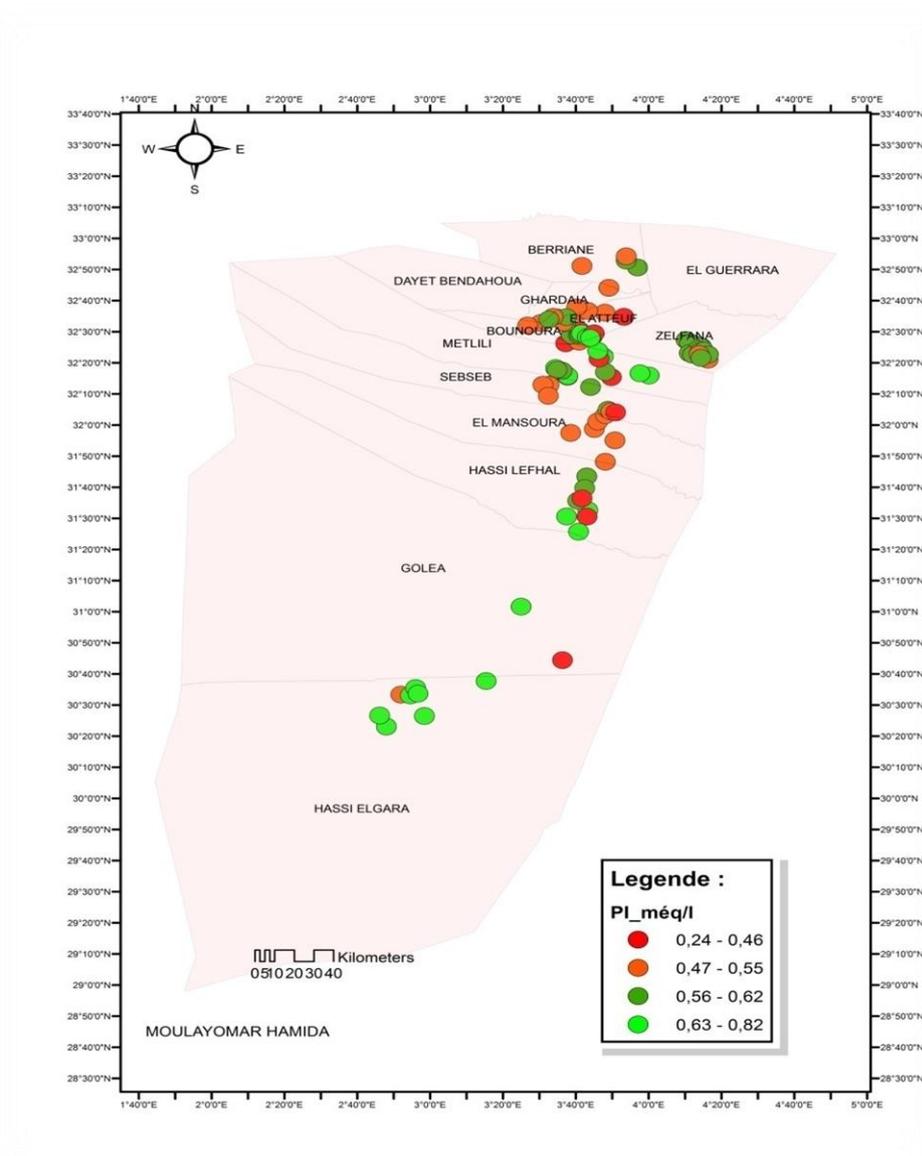
D'après la carte de d'indice du Chlore (CI) dans la wilaya de Ghardaïa les valeurs de CI sont très élevées dans les régions de Metlili, Zelfana, Bounoura(243.42 mg/l-297.49mg/l), un peut élevée dans Sebseb, Mansoura, Berriane, Hassi el f'hel(103.99mg/l-208.37mg/l) ; les valeurs de CI sont faibles à très faibles dans les régions de Meneaa (27.56-103.99mg/l)



Carte N°(IV-7) : Carte interpolée d'indice du Chlore (CI)

4.5.5 Carte interpolée d'indice de perméabilité (PI)

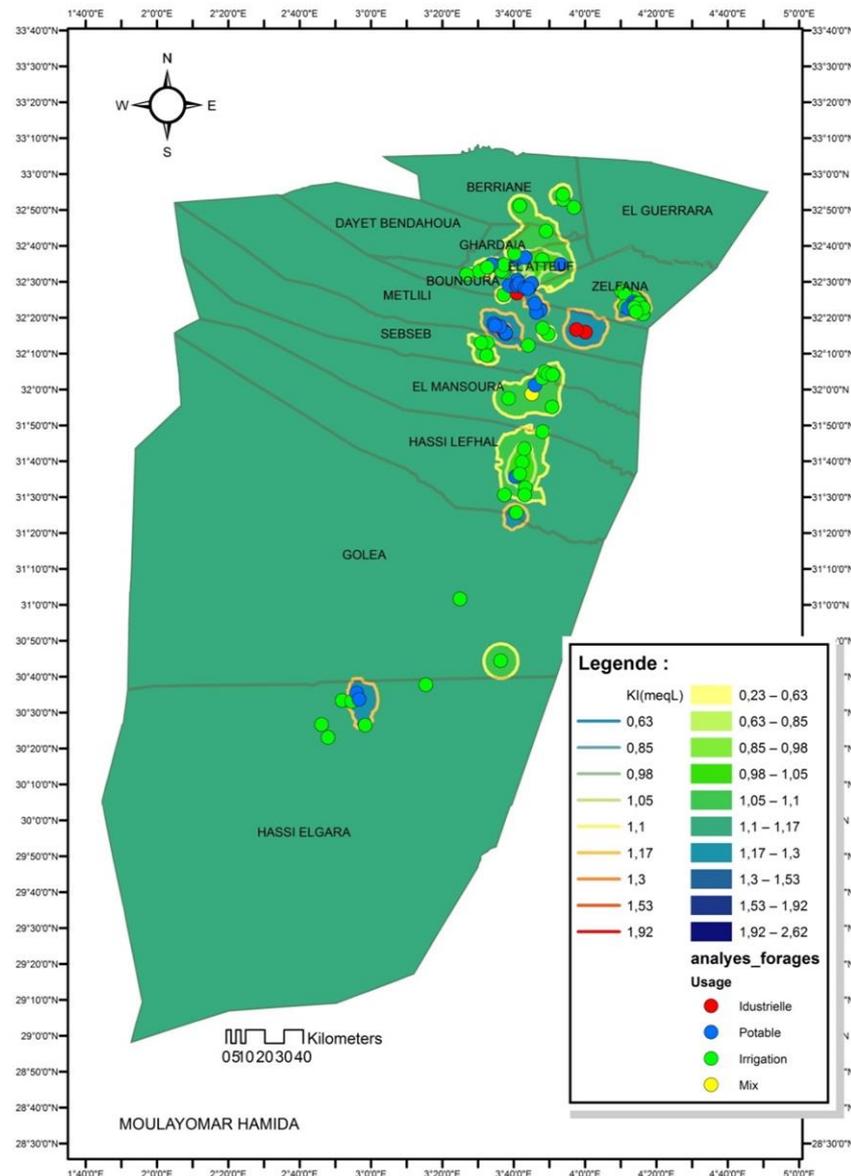
D'après la carte de PI dans la wilaya de Ghardaïa les valeurs de PI sont très élevées dans les régions de Meneaa, HassiLefhal (0.63még/l-0.82még/l) , un peutélevée dans Metlili, Sebseb ,ZelfanaBounoura(0.56még/l-0.62még/l) ; les valeurs de PI sont faibles à très faibles dans les régions de Mansaura, Ghardaïa, Elateuf et Berriane 0.24még/l-0.55még/l)



Carte N°(IV-8) : Carte interpolée d'indice de perméabilité (PI)

4.5.6 Carte interpo d'indices de killy (KI)

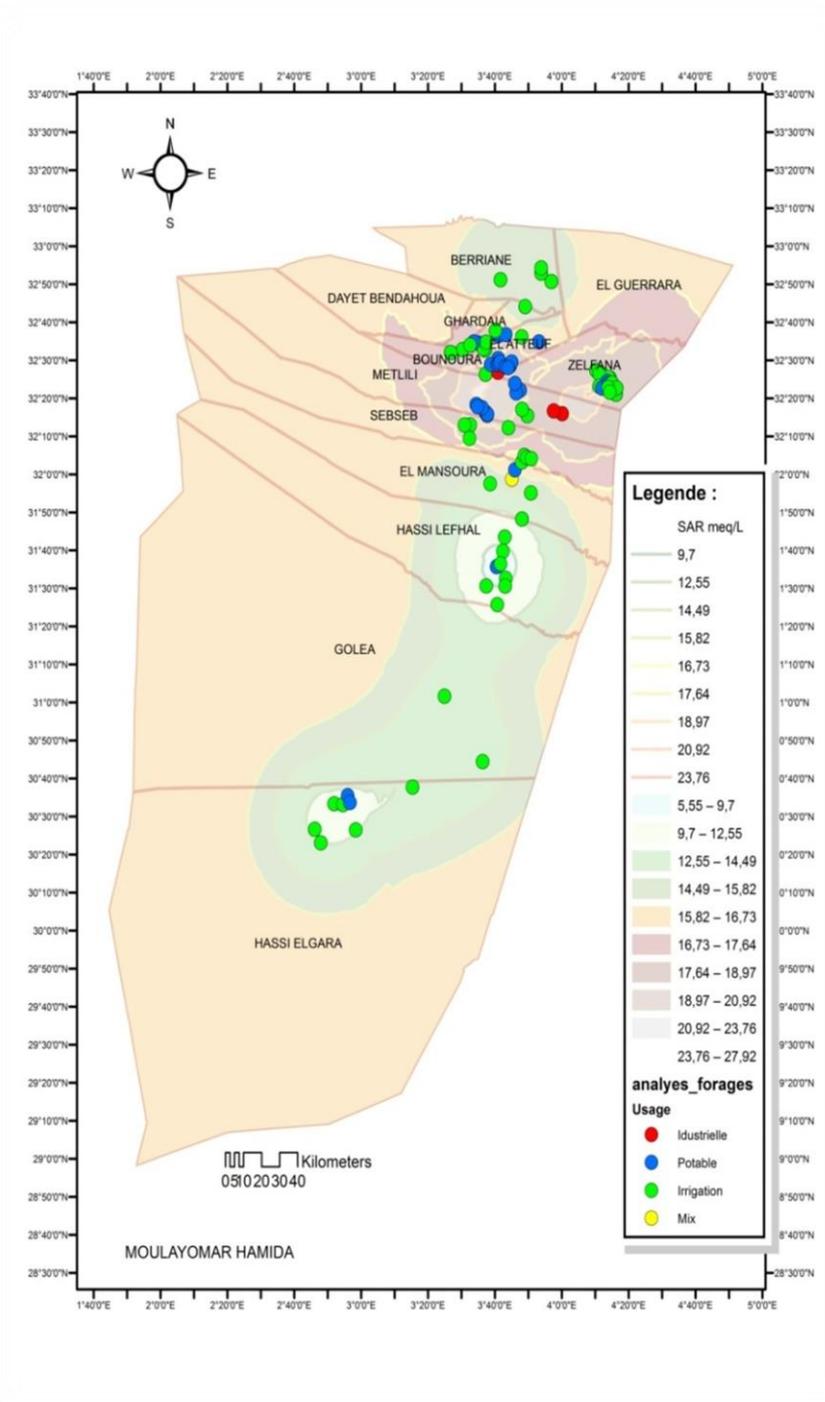
Depuis la carte d'indice de (KI) dans les régions d'étude de la wilaya de Ghardaïa les valeurs sont entre 0.23 et 2.62 donc les eaux souterraines dans toutes les régions d'études sont aptes à l'irrigation (figN°IV-9)



Carte N°(IV-9) : Carte interpolée d'indice de killy (KI)

4.5.7 Carte interpolée d'indice d'Adsorption de Wilcox (SAR)

Depuis la carte de SAR dans la wilaya de Ghardaïa les valeurs de SAR sont faible et dans les régions de Meneaa, HassiLefhal, Sebseb (5.55 m²q/l-14.49 méq/l) , elles sont élevées. dans Metlili, Sebseb ,ZelfanaBounoura, Guerrara (15.82 méq/l -27.92 méq/l) ;



Carte N°(IV-10) : Carte interpolée d'indice de SAR

Conclusion

L'interprétation des analyses chimiques des eaux de la nappe albiensmontre que les eaux de la région de Menia, Hassi el lefhal, Mensora et Sebseb présentent des indices de qualité chimique de faible valeur donc dans les normes de l'acceptable. par contre Metlili ,Zelfana , Guerrara , El Atteuf , Bounoura et Daya sont de valeur un peu élevée donc une qualité chimique un peu médiocre.

Les eaux de la nappe albiens présentent des concentrations proportionnelles en référence des normes algérienne pour les eaux potables. La représentation de ses eaux sur le diagramme de Piper, montre que la dominance le faciès chimiques (chlorurée et sulfatée calcique magnésienne) dans les compagnes des eaux de la région de la wilaya de Ghardaïa.

L'interpolation par la méthode de krigeage par l'ajustement du semi-variogrammea des modèles théoriques nous a permis de réaliser différentes cartes sur la qualité chimique des eaux de la région de la wilaya de Ghardaïa

L'étude de la qualité des eaux de la nappe albiennne dans la région de Ghardaïa établir dans des cartes des indices à l'aide de logicielle ARC-GIS pour connaitre localisation de l'eau douce.

Conclusion
Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'étude hydrogéologique du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa, nous permis d'avoir un aperçu sur l'état quantitatif et qualitatif sur l'évolution piézométrique et géochimique de ces eaux dans la région, ainsi, nous pouvons conclure que : L'étude géomorphologique a mis en évidence trois ensembles différents : la chebka, la plaine de dalledu hamdaet les régions en sablées.

Du point de vue hydrologique, la région de Ghardaïa est tracée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont Oued Zegrir, Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued N'Sa, et oued M'Zab, l'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab. Les écoulements sont temporaires et s'effectue de l'Ouest vers l'Est pour atteindre rarement la dépression de Ouargla.

L'étude climatique nous a montré que la région est soumise à un typiquement saharien, caractérisé par son aridité, marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations et par l'amplitude thermique et les températures très élevées.

L'étude géologique, nous a permis de situer la zone d'étude dans son contexte régional et local. Elle est placée sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara, dont les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques. Le quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plupart des vallées des oueds de la région de Ghardaïa.

L'étude hydrogéologique a montré que la région de Ghardaïa fait partie du grand système aquifère du Sahara Septentrional (SASS), ou le Continental Intercalaire (CI) est le principal aquifère capté avec succès avec plus de 766 forages; soutirant un volume d'eau de plus de 400 millions de mètres cube par an.

L'étude que nous avons effectuée représente la création d'une base de données contenant tous les forages d'exploitation la nappe de l'Albien, sous la plateforme de l'ArcGIS.

Cette étape a été élaborée après une phase de diagnostic et de collecte des données auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et la direction des ressources en eaux de la willaya de Ghardaïa (DRE Ghardaïa), la Direction des Services Agricole (DSA), la

Conclusion Générale

Direction des Petites et Moyennes Entreprises (PME), et le prétraitement et l'assemblage dans un fichier unique sous format Excel. Cette base contient de 94 forages albiens, géoréférencés par GPS, et la conversion des coordonnées géographiques en degré décimaux, et l'adaptation à la projection géographique métrique Universel transverse Mercator (UTM) de l'ellipsoïde (WGS 1984 UTM zone nord 31)

L'étude hydrochimique basée sur les résultats d'analyses effectuées sur plus de 94 échantillons, nous avons pu caractériser les eaux de la nappe du continentale intercalaire par l'étude des caractéristiques physico-chimique;

- Les différentes classifications que nous avons utilisées (Piper Wilcox, SAR,) ont montré que les eaux de la nappe se regroupent en deux types de faciès chimique qui sont prédominant, chloruré sulfaté calcique magnésienne.
- L'étude de la potabilité des eaux de la nappe, elles sont classées potable selon les normes OMS et algérienne.
- L'aptitude à l'irrigation a montré que les eaux des zones situées dans le Nord et Nord-est ont des qualités variées entre Médiocre et admissible, et les eaux de la zone Sud (El-Menia) sont de bonne qualité.

Du point de vue hydrofacies, nous avons pu mettre en évidence 5 types d'eau dans la zone d'étude (HCO_3^- -Ca, SO_4 -Ca, Na-Cl et HCO_3^- Na, SO_4 Na.). Ces faciès sont liés à la nature géologique des terrains.

.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] **DEGREMOT, 1989.** Mémento technique d'eau. Ed. DEREMOT, PARIS.pp 233 - 339 - 358.
- [2] **BANTON, O. et BANGOY, L.M.**1999. Mise en valeur des eaux souterraines. Dans Hydrogéologie, multiscience environnementale des eaux souterraines. Éditeurs : PUQ/AUPELF. Sainte-Foy, Québec, pp. 460
- [3] **EDMUNDS, W.M., SHANDA, P., Hart, P., et Ward, R.S.** 2003. The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study. The Science of the Total Environment, 310: 25-35.
- [4] **BOUDIA .A. BOUAMEUR. A(2017),** Caracterisationhydrochimique et qualite des eaux souterraines de la nappe karstique de saïda ,MémoireMaster Academiqueen Hydraulique , Universitedr.moulaytahar de saïda .pp25 pp67
- [5] **SALAH HAMAD, 2008**Spatial analysis of groundwater level and hydrochemsitry in the south Al Jabal Al Akhdar area using GIS, thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of the degree of Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc (GISc) Salzburg University pp 13-38
- [6] **D. P. A.T., 2010.** Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa, direction de laPlanificationetdel'AménagementduTerritoire, 15^{ème}édition, volumeI,84p.
- [7]**SEBTI KHADIDJA, 2015.** Comparaison entre la qualité des eaux de la nappe phréatique et la nappe albienne de la ville de Zelfana (wilaya de Ghardaïa).Mémoire de Master, Université de Ghardaia.
- [8] **BENGUELIA R. & HADJ BRAHIM A.2018,**Etude hydrogéologique de continental intercalaire dans la région de Ghardaïa. Mémoire Master Académique, Université KasdiMerbahOuargla .
- [9]**FIFATI A. 2012** ,Typologie et caractérisation de la qualitédes aquifères d'une zone aride - Cas de la région de Guerrara (Ghardaïa), Mémoire MAGISTER, Université de Tébessa, Algérie
-

Références bibliographiques

- [10]MUTIN G, 1977. La Mitidja, décolonisation et espace géographique. Ed Office Publ .Université. , Alger, 606 p .
- [11] S.C.G., 1939. Notice explicative des cartes géologiques au 1/500.000. Alger-Nord. Alger-Sud. Bult. duServ. De Cart. Géo. de l'Algérie. Alger, pp 95-99.
- [12]ACHOUR M.,(2014).Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride: cas de la vallée du M'Zab (Ghardaïa–Algérie). Université d'Oran. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister en sciences de la terre.
- [13]OUALI S.,(2005): Etude géothermique du sud de L'Algérie. Mémoire de magistère en géophysique. Université M'Hamed BOUGUERRA BOUMERDES
- [14]UNESCO(1972):Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport final, 78p, 1 carte ; 12 planches. OSS, Tunis ; Tunisie
- [15]OULD BABA SY M., (2005):Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de doctorat, faculté des sciences de Tunis, 271p.
- [16]OSS (2003b):Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie. 229p.
- [17]ANRH (2016). Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ;
- [18] M. MIOURIGH MOHAMMED; Évaluation de la qualité hydro chimique des eaux Souterraines de la vallée du M'Zab : Cas de l'Oued N'Tissa». Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, Option Hydraulique agricole (2011).
- [19] RODIER J., (2005) : Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris, Dunod, 8^{ème} édition
- [20] FRANCK R., (2002):Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, cours Alsace-Bordeaux cedex. P360.
- [21] ALEXEEV V. : Analyse quantitative édition Mir. Moscou 1980.
-

Références bibliographiques

[22] ISO, 1984. Qualité de l'eau. NA 1653, ISO 6058. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4p.

[23] Guide de validation des méthodes d'analyses ANSES/PR3/07/01 version a2015 https://www.anses.fr/fr/system/files/ANSES_GuideValidation.pdf

[24] KOUSSA Miloud ; 2017. Apport d'un système d'information géographique pour la gestion des ressources en eau de la région de Djelfa. Mémoire Doctorat en sciences en : Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra.

[25] ZEKAI Sen, 2015 , practical and applied hydrogéology , Tyrky, El sevier.

[26] FERNANE NorElhoda , KAOUNDA SEIGUE Levy (2016) . Etude hydrochimique et qualité des eaux de la nappe de Bouchegouf (wilaya de Guelma), mémoire de master, université 8 mai 1945, Guelma .

ANNEXES

Annexes

ANNEXE N°01:: Normes physico-chimiques d'une eau potable selon l'OMS et Algérienne

Paramètres physicochimiques	U (Unités)	OMS	Algériennes
PH	-	6.5 à 8.5	6.5 à 8.5
Température	°C	25	25
Conductivité	µS/cm	2800	2800
Turbidité	NTU	5	5
Ammonium	mg/l	0.5	0.5max
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.1	0.1
Sulfate	mg/l	200	400
Potassium	mg/l	20	15
Sodium	mg/l	200	250
Chlorure	mg/l	250	600
Phosphate	mg/l	0.5	0.5
TAC	mg/l	350	400
Calcium	mg/l	200	200
TH⁺	°F ou mg/l	50	500
Réside sec	mg/l		2000max
Fer	mg/l	0.3	0.3
Magnésium	mg/l	150	150
TDS	mg/l	1500	

Annexes

ANNEXE N°02: Résultats des analyses

Nom du for	Latitude	Longitude	X dcml	Y dcml	Prof	h an	pH	Cond	Usage	B I	Turb	Balance	Cations	Anions	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	TAC	THF	IEB	KI meqL	Pi p100	SAR meqL
Bent Isquene 3	03°41'35"	32°28'21"	3.693055556	32.4725	516	8760	0	2,77	AEP	-7	0,26	-0,07	21.514	24.818	142,68	74,84	182	12,5	126	439,6	497,68	17,6	66	0,336	0,836705029	0,483642995	16,06040001
N'tleaa 3 F11	03°37'14"	32°26'17"	3.620555556	32.439055556	450	3650	0	0	IRR	-9	7,06	-0,09	22,527	26,827	187,57	70,95	156,92	19,67	265,96	276,53	699,635	21,8	76	0,06	0,606993973	0,416974992	14,70110035
Zone Industrielle 2	03°40'56"	32°26'49"	3.682222222	32.44694444	505	7300	0	1,98	AEI	-1	0,69	-0,01	24,806	25,119	120,24	98,172	240	11,25	126	330,421	646,9566	192,76	70	-0,151	1,098839998	0,548032999	18,45680046
Bouhraoua 4	03°41'01"	32°30'24"	3.683611111	32.506666667	450	5475	8,11	2,79	AEP	-5	0,77	-0,05	23,253	25,452	158,71	86,5	181,81	12	213,17	425,436	462,75	158,6	75	0,315	0,741446018	0,45995599	15,69690037
Oued Nimel	03°40'57"	32°36'21"	3.6825	32.605833333	500	0	0	0	AEP	-9	0,46	-0,09	24,137	28,964	165,12	69,98	225	13,75	178,12	458,05	617,325	14,6	70	0,215	0,957040012	0,518031001	18,52680016
Chaabet Teill F18	03°38'46"	32°28'51"	3.646111111	32.480833333	500	8760	0	0	AEP	4	1,64	0,04	25,752	23,817	157,11	62,208	287,5	11,25	148	401,32	479,67	14,8	65	-0,13	1,310879946	0,591269016	21,74200058
Melika 1 (EPEG)	03°40'46"	32°28'48"	3.679444444	32.48	433	7300	0	0	AEP	-9	1,22	-0,09	22,988	27,26	131,462	71,92	235	11,25	204,96	425,436	556,827	175,68	62	0,124	1,15546	0,568719983	18,9701004
Melika 2	03°41'06"	32°29'09"	3.685	32.485833333	394	0	0	0	AEP	5	0,52	0,05	27,128	24,409	181,161	68,04	281,25	10	197,64	458,052	382,329	161,04	73	0,033	1,128610015	0,556711972	21,28210068
O. Nechou concession F22	03°48'02"	32°36'08"	3.800555556	32.602222222	500	3650	8,23	2,4	IRR	-8	0,57	-0,08	23,251	27,09	139,47	90,39	195,45	13,75	192,76	397,07	601,686	15,8	72	0,21	0,850300014	0,492190987	16,34889984
Oued Nechou 1	03°43'15"	32°36'43"	3.720833333	32.61194444	500	2920	0	0	AEP	-3	0,52	-0,03	22,495	23,684	144,28	80,67	190,9	13,75	207,4	404,16	418,546	17	69	0,241	0,848632991	0,493690997	16,38249969
SP3	03°53'12"	32°34'48"	3.886666667	32.58	500	5840	8,05	2,2	AEP	-3	0,79	-0,03	24,46	26,104	173,14	94,28	177,27	13,75	204,96	341,22	617,32	141,52	82	0,162	0,662890017	0,430830985	15,21339989
Oued Nimel 2	03°40'13"	32°37'47,9"	3.670277778	32.629972222	500	0	0	0	IRR	-2	0,88	-0,02	23,053	24,231	147,49	85,53	190,9	13,75	185,44	375,801	493,86	146,4	72	0,183	0,819243014	0,482443988	16,2378006
Sidi Aabaz Nov	03°41'34,2"	32°29'29,9"	3.692833333	32.49163889	500	0	0	0	AEP	7	0,56	0,07	30,123	25,989	160,32	66,09	376,92	11,25	207,4	409,83	518,55	17	67	-0,443	1,664770007	0,648603022	25,32550047
Chaabet Ahmed F2	03°37'14"	32°16'16"	3.620555556	32.27111111	500	7300	0	0	AEP	3	0,34	0,03	28,914	27,392	117,03	48,6	433,33	8,75	187,88	273,69	784,945	15,4	49	-1,471	2,616250038	0,746354997	27,91530037
Dakhla 1 F3	03°37'44"	32°15'31"	3.628888889	32.25961111	500	7300	8,3	1,74	AEP	-5	0,43	-0,05	18,277	20,376	110,62	48,6	195,45	10	178,12	276,53	452,705	131,76	48	-0,123	1,22755003	0,588750003	17,69339943
Dakhla 2 F4 (stadie)	03°37'48"	32°15'45"	3.63	32.2625	500	7300	0	1,56	AEP	4	0,35	0,04	25,953	24,15	112,22	41,79	380,77	13,75	207,4	241,08	658,48	17	45	-1,487	2,472369909	0,738942027	26,19589996
Hadika F6	03°36'13"	32°17'29"	3.603611111	32.29138889	400	7300	0	1,95	AEP	-4	0,56	-0,04	21,949	23,897	157,11	63,74	235	11,25	163,48	351,69	535,015	13,4	57	-0,059	1,170029998	0,568512022	19,90600014
GAAGGOUA10	03°34'27"	32°18'19"	3.574166667	32.30527778	450	7300	8,27	2,3	AEP	-1	1,3	-0,01	26,625	27,333	100,32	62,4	373,08	10	163,48	409,83	617,325	13,4	51	-0,426	2,292769909	0,720167994	25,28319931
Laadlaja 2	03°34'51"	32°17'46"	3.580833333	32.29611111	500	0	0	0	AEP	5	0,59	0,05	32,381	29,461	189,17	71,6	384,62	12,5	168,36	417,4939942	616,053998	25	4659042	0,616053998	25,46590042		
Noumerat -moudjahidines	03°47'33"	32°22'03"	3.7925	32.3675	512	8760	8,25	1,19	AEP	4	1,01	0,04	24,088	22,44	144,28	42,76	300	12,5	207,4	374,38	395,08	17	54	-0,266	1,60394001	0,645534992	22,91609955
Oued Metlili 3 Nouveau	03°49'45"	32°15'23"	3.829166667	32.25638889	485	0	0	0	IRR	2	1,89	0,02	21,995	21,233	150,7	87,48	158,461	15	187,88	241,08	535,015	736	74	-0,07	0,665298998	0,434065014	14,28969955
Oued Metlili3(concission)	03°48'09"	32°17'03"	3.8025	32.28416667	521	0	0	0	IRR	-7	0,3	-0,07	13,667	15,604	80,06	45,68	128,57	12,5	207,4	212,71	288,085	146,4	39	0,015	1,022510052	0,562192976	13,77429962
Zaouit S/ Silmane	03°44'3,2"	32°12'13,2"	3.734222222	32.20366667	500	0	0	0	IRR	2	0,62	0,02	21,926	20,998	147,49	46,65	240	11,25	163,48	340,34	411,55	13,4	56	-0,117	1,236220002	0,582268	20,04700089
Oued Dirine	03°46'23"	32°21'22"	3.773055556	32.35611111	480	0	0	0	AEP	-8	5,52	-0,08	20,667	24,057	160,32	68,04	150	21	258,64	282,2	565,47	21,2	68	0,113	0,656888027	0,438953012	14,36610031
Dait el Khair (ATK 13) F1	04°00'08"	32°15'54"	4.002222222	32.265	940	4380	0	1,52	AEI	6	0,67	0,06	19,624	17,244	74,55	73,87	220	10	178,12	110,613	536,25	14,6	49	-2,149	1,482280016	0,633369982	18,14929962
ATK-101	03°57'37"	32°16'39"	3.960277778	32.2775	900	730	8,09	2,49	AEI	1	0,36	0,01	27,034	26,542	115,43	52,48	384,62	8,75	185,44	277,95	740,79	15,2	50	-1,162	2,290630102	0,720753014	26,0170002
Oued Djedari - Gouffa	04°16'17"	32°21'02"	4.271388889	32.35055556	973	8760	0	0	IRR	-9	0,43	-0,09	19,679	23,74	131,58	53,26	190,91	16,66	176,31	365,874	493,86	160,3	55	0,154	1,032840014	0,54341501	17,27820015
Sidi M'hamed (01) 6	04°10'16"	32°27'20"	4.171111111	32.45555556	1000	8760	7,99	1,84	IRR	7	0,24	0,07	21,536	18,755	134,66	58,32	220	17,5	184,63	248,171	411,55	175,68	58	-0,431	1,140099999	0,565614998	18,64940071
Sidi M'hamed (02) 5	04°11'54"	32°26'19"	4.198333333	32.43861111	1000	8760	8	1,74	IRR	-7	2,31	-0,07	19,692	22,884	128,85	56,376	190,909	12,5	153	356,18	490,15	244	55	0,142	1,030679941	0,540440023	17,16889954
Zelfana 12	04°13'43"	32°24'40"	4.228611111	32.41111111	990	0	0	0	AEP	-2	0,38	-0,02	23,928	24,985	134,66	58,32	275	17,5	176,31	414,09	493,86	175,68	58	-0,062	1,425019979	0,616050003	21,30179977
Zelfana 9	04°13'56"	32°24'06"	4.232222222	32.40166667	950	8760	0	0	AEP	2	0,47	0,02	18,531	17,964	125,04	45,68	186,36	16,67	153	306,31	321,009	185,44	50	0,012	1,091609955	0,566540012	17,3015995
Zelfana centre	04°13'18"	32°23'40"	4.221666667	32.39444444	920	8760	0	0	AEP	1	0,37	0,01	21,867	21,562	121,84	59,29	240	18,33	184,63	351,69	407,434	190,32	55	-0,1	1,325019956	0,60216099	19,61910057
Zelfana climatère	04°13'09"	32°23'19"	4.219166667	32.38861111	1000	8760	0	0	AEP	-4	0,33	-0,04	19,143	20,917	128,256	38,88	209,6	16,67	184,63	351,69	370,395	156,16	48	0,038	1,254070044	0,592424989	18,80439949
Hassi Nord F 26	04°14'28,63320"	32°25'14,66724"	4.241287	32.4207409	1000	0	0	0	IRR	-4	0,75	-0,04	21,142	22,735	129,85	62,208	209,6	16,67	176,31	356,18	464,23	180,56	58	0,05	1,091339946	0,554894984	17,97940063
Hassi Nord F 24	04°13'28,63320"	32°25'29,69220"	4.2326401	32.4249145	1000	0	0	0	IRR	-2	0,51	-0,02	22,622	23,573	131,46	57,34	250	18,33	184,63	416,92	415,66	183	56	0,035	1,324149966	0,600701988	20,16720009
Sidi M'hamed 2 F25	04°11'13,412"	32°26'24,30564"	4.1870317	32.4400849	1000	0	0	0	IRR	-4	9,99	-0,04	20,117	21,906	128,25	51,03	210	15	184,63	356,18	416,488	158,6	53	0,053	1,171350002	0,574362993	18,3817997
Fedj Ennam F 27	04°11'09,99060"	32°23'07,40112"	4.1861085	32.3853892																							

Annexes

Houtia 1	03°43'00"	31°43'29"	3,71666667	31,72472222	423	1460	8,4	1,1	IRR	0	0,29	0	4,9356	4,8965	35,27	14,58	41	7,5	135,42	27,56	81,89	111,02	15	-1,541	0,822467029	0,579384029	7,777490139
Hassi Leffrid	03°42'26"	31°39'43"	3,70722222	31,66194444	452	8760	0	0	IRR	-2	0,29	-0,02	5,1754	5,4112	40,08	14,58	41	7,5	152,5	30,48	88,39	118,34	16	-1,297	0,750091016	0,557694972	7,777490139
Milohed	03°43'06"	31°30'34"	3,71833333	31,50944444	425	8760	8,09	1,08	IRR	1	0,35	0,01	6,8996	6,7365	48,096	32,076	39,09	6,25	147,62	34,034	151,45	280,26	25	-0,938	0,487576991	0,429641008	6,553060055
Oued Fhel CEM	03°40'31"	31°35'41"	3,67527778	31,59472222	450	4380	0	0,98	AEP	7	2,07	0,07	5,1561	4,5266	37,67	12,63	47	7,5	137,86	31,9	58,02	134,2	15	-1,485	0,934394002	0,603713989	8,607569695
Zaoula 4	03°41'43"	31°36'26"	3,69527778	31,60722222	430	8760	0	0,78	IRR	4	0,37	0,04	6,95	6,4508	41,683	39,852	33,63	5	137,86	35,453	141,162	134,2	27	-0,591	0,412461013	0,393967986	5,548190117
Rouill	03°37'27,58440"	31°30'35,928"	3,624329	31,50998	440	0	0	0	IRR	-5	0,23	-0,05	4,1644	4,5893	31,26	8,26	39,09	8,75	120,78	35,45	119,56	11	-0,924	0,989118993	0,637068957	8,033789635	
Ben Hamouda NF 7	03°40'44,68620"	31°25'42,87432"	3,6790795	31,4285762	440	0	0	0	IRR	3	0,23	0,03	6,331	5,9308	27,25	9,23	88	15	181,78	27,56	93,01	107,36	11	-4,418	2,412280083	0,815252006	12,62110043
Chaab Ouarqia F1	03°38'36"	31°57'29"	3,64333333	31,95805556	450	3650	0	0	IRR	2	0,63	0,02	13,153	12,739	115,43	30,132	110	5	149,5	134,721	300,019	256,2	41	-0,293	0,755692005	0,478267996	13,1413002
Mansourah - NileF4 (Garet Ouled Ryah1)	03°45'06"	31°58'44"	3,75166667	31,97888889	375	4380	8,34	1,56	Mix	7	0,39	0,07	19,317	16,936	144,288	48,6	180	11,25	140,8	164,501	467,5208	280,6	56	-0,749	0,933184028	0,514540017	16,83639908
Dalet el hadj ahmed	03°50'46"	31°55'04"	3,84611111	31,91777778	391	8760	0	0	IRR	-6	2,45	-0,06	14,095	15,891	112,224	29,16	135,12	8,52	149,5	173,01	411,1384	268,4	40	-0,249	0,955694973	0,532893002	14,90880013
AEP Ain Lessaq	03°46'0,63"	32°1'7,66"	3,766841667	32,01879444	450	0	0	0	AEP	2	0,38	0,02	18,48	17,783	104,208	69,012	166,667	13,75	180,6	161,665	480,2788	268,4	54	-0,667	0,962168992	0,529899001	15,35340023
GHEZAVEL Tamar	03°46'6,4"	31°48'11,53"	3,80177778	31,80320278	450	0	0	0	IRR	4	0,7	0,04	15,282	14,182	88,176	53,46	144,65	7,45	154,7	170,174	328,8284	378,2	44	-0,351	1,02128005	0,548709989	14,53380013
El djedid	03°32'39"	32°12'57"	3,54416667	32,21583333	465	2920	0	0	IRR	-6	0,39	-0,06	16,884	18,993	125,04	51,51	142,85	7,5	136,99	265,75	433,58	114,68	52	0,145	0,809118996	0,483889014	14,4907999
El djedid 2	03°30'57"	32°12'56"	3,51583333	32,21555556	465	0	0	0	IRR	-2	0,37	-0,02	21,046	22,055	158,716	56,376	191,428	6,25	142,69	249,589	594,278	190,32	63	-0,205	0,889981985	0,500279009	17,19750023
Mahsser Lablod	03°48'06"	32°03'10"	3,80166667	32,05277778	450	2555	8,26	2,35	IRR	-3	0,53	-0,03	17,746	19,031	117,03	53,46	168,18	7,5	138,27	265,99	433,58	122	51	-0,001	0,98645103	0,531310022	15,9758997
DAHMANE Ahmed	03°48'48,80772"	32°04'54,21504"	3,81355577	32,0817264	450	0	0	0	IRR	-1	0,27	-0,01	19,828	20,317	128,65	52,64	205	6,25	140,06	253,35	511,52	86	54	-0,27	1,130779982	0,561326027	18,0618
DAHMANE Aelone	03°49'37,54992"	32°04'22,06848"	3,8270972	32,0727968	450	0	0	0	IRR	-9	0,42	-0,09	19,749	23,483	125,049	60,264	191,428	8,75	137,25	205,627	725,151	163,48	56	-0,474	1,032999992	0,539211988	17,06419945
OULED ELHADAR Othmane	03°50'37,54992"	32°04'4,50552"	3,8484994	32,0679182	470	0	0	0	IRR	3	0,42	0,03	20,251	19,177	128,256	82,62	158,461	6,25	132,95	143,23	609,917	187,88	66	-0,746	0,751442015	0,460260987	14,43299961
Zehrette	03°32'26,24532"	32°09'25,42572"	3,5406237	32,1570627	450	0	0	0	IRR	-8	0,47	-0,08	19,597	22,97	121,84	67,06	177,272	11,25	141,22	268,37	617,32	141,25	58	-0,482	0,938444018	0,516575992	16,03849983
Batrka concession	03°30'22"	32°32'48"	3,50611111	32,54666667	379	0	0	0	IRR	-2	0,47	-0,02	23,513	24,556	163,52	64,15	225	11,25	142,29	241,08	740,79	141,52	67	-0,052	0,988272011	0,523401976	18,71269989
Chaab el Hamra F2	03°35'02"	32°34'30"	3,58388889	32,575	450	1095	8,12	1,9	AEP	-9	0,32	-0,09	16,259	19,341	105,81	50,54	153,85	5	129,5	268,02	450,236	11	47	0,098	0,984009981	0,532656014	15,21889973
Hassi Rahal conc. 1 F17	03°26'47"	32°31'59"	3,44638889	32,53305556	450	0	0	0	IRR	-6	0,68	-0,06	21,08	23,728	141,28	66,09	190,9	11,25	106,14	375,8	534,192	17,4	62	-0,189	0,92057699	0,505191028	16,84079933
Laadira D F9	03°37'09"	32°32'43"	3,61916667	32,54527778	500	3650	7,79	1,9	IRR	1	0,44	0,01	23,392	22,725	152,304	59,292	245	10	140,88	307,21	549,419	156,16	62	-0,259	1,157870054	0,562574983	19,86260033
Sidi Ab. El kader F12	03°36'37"	32°32'59"	3,61027778	32,54972222	444	2920	7,92	2,1	IRR	-9	0,4	-0,09	20,384	24,456	126,652	65,12	197,14	5	27,6	285,04	751,079	15,4	58	-0,082	1,027989984	0,520410001	17,21570015
LAADIRA1	03°37'25"	32°34'42"	3,62361111	32,57833333	500	0	0	0	IRR	2	0,37	0,02	22,568	21,838	128,25	61,23	250	10	131,04	248,171	609,5	146,4	57	-0,59	1,319399953	0,594901025	20,04080009
El Moudjahidine O1 F6	03°33'46"	32°34'48"	3,56277778	32,58	500	0	0	0	AEP	-3	0,57	-0,03	20,591	21,899	144,28	58,32	190,9	11,25	200,08	221,226	581,109	16,4	60	-0,377	0,942251027	0,521080017	17,10129929
Rmada	03°32'36,9"	32°33'57,2"	3,54358333	32,56588889	500	0	0	0	IRR	-3	0,41	-0,03	18,013	19,239	110,62	55,4	177,27	8,75	138,54	221,226	515,26	153,72	50	-0,272	1,067759991	0,550671995	16,43540001
Oued Laroul 2 F11	03°56'56"	32°50'39"	3,94888889	32,84416667	500	4380	0	2,32	IRR	-8	0,44	-0,08	14,399	17,001	91,38	35,96	152,3	10	187,88	233,99	338,29	261,08	38	-0,042	1,196009994	0,593644977	15,69769955
Oued Nechou 3	03°49'4,4"	32°44'5,5"	3,81788889	32,73486111	500	0	0	0	IRR	-7	0,89	-0,07	15,61	17,876	110,62	45,68	135,75	16,67	231,8	245,33	329,24	183	46	0,085	0,868521986	0,516948998	14,25279999
Triba 1	03°53'52"	32°52'51"	3,89777778	32,88083333	500	0	0	0	IRR	7	0,45	0,07	16,914	14,778	96,192	54,43	168,181	12,5	187,88	258,1	205,775	248,88	46	-0,049	1,116580009	0,570533991	15,94110012
Triba 3	03°53'52"	32°54'13"	3,89777778	32,90361111	500	0	0	0	IRR	-1	0,61	-0,01	13,805	13,972	88,17	52,48	107,14	16,67	231,8	241,08	154,33	170,8	44	0,252	0,751749029	0,493824989	11,99289989
Balouh Omar B/Al	03°41'41,6"	32°51'7,9"	3,69488889	32,85219444	500	0	0	0	IRR	-5	0,48	-0,05	12,772	14,041	91,382	38,88	107,14	13,75	224,48	232,57	172,851	163,48	39	0,236	0,822495997	0,514412999	12,53890038
100 Logements F1	03°43'11"	32°28'18"	3,71972222	32,47166667	500	7300	0	0	AEP	6	0,98	0,06	30,8	27,164	161,92	70,95	380,77	12,5	195,2	445,28	535,015	16	70	-0,344	1,635120034	0,643278003	25,3362999
Amml Hamou F2	03°44'32"	32°28'26"	3,74222222	32,47388889	500	7300	0	0	AEP	-1	0,89	-0,01	25,144	25,408	163,52	69,98	250	13,75	217,16	432,52	452,6975	17,8	70	0,08	1,070659995	0,547541976	19,76490021
Complexe. Omnisports F4	03°46'01"	32°23'52"	3,76694444	32,39777778	580	5475	8,18	2,3	AEP	5	1,07	0,05	20,517	18,603	109,01	52,48	240	12,5	219,6	319,07	275,73	18	49	-0,195	1,48616004	0,634683013	19,84620094
El Ateuf 2	03°44'20"	32°28'36"	3,73888889	32,47666667	423,2	7300	8,04	3,06	AEP	-7	1,27	-0,07	25,275	28,97	168,33	49,57	281,25	22	244	482,16	535	20	62	0,059	1,29073	0,594752014	21,86809921
El Hamra F11	03°45'03"	32°29'29"	3,75033333	32,49138889	500	5475	0	0	AEP	-8	4,46	-0,08	17,295	20,162	166,73	75,81	55,56	12,5	268,4	163,08	535	22	73	0,405	0,229075998	0,241338	6,855340004
Zarzatu	03°43'58"	32°28'01																									

Annexes

ABOUTALEB Mohamed	03°36'20.8337"	30°44'25.4148"	3,605787139	30,740393	380	0	0	0	IRR	7	0,38	0,07	8,3377	7,24	105,811	6,804	53,75	6,25	132,98	35,453	189,725	224,48	29	-1,498	0,477290004	0,392399997	9
BENAOUISSA Djamaa 1	02°58'24.1979"	30°26'29.1336"	2,973388306	30,441426	250	0	0	0	IRR	-1	0,7	-0,01	7,0466	7,2301	57,715	6,804	79,23	6,25	135,42	48,216	175,32	246,44	17	-1,652	1,228010058	0,632122993	12
Nebka Khelder 2	02°46'8,7661"	30°26'37,9896"	2,769101694	30,443886	200	0	0	0	IRR	7	0,23	0,07	5,6019	4,8485	40,08	9,72	60	7,5	134,2	41,12	67,9	11	14	-1,416	1,204820037	0,651952982	10

Résumé :

Dans la wilaya de Ghardaïa les eaux souterraines de la nappe Albien représentent la source principale vitale pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation ainsi que l'industrie. Le captage se fait par la réalisation des forages albiens de différentes profondeurs tout dépend des zones, et l'exploitation soit par pompage ou jaillissante, d'un débit variable selon la profondeur de la nappe albienne.

L'étude et le traitement de la base de données des forages de notre wilaya s'effectuent par une analyse géostatistique utilisant le système d'information géographique (SIG) sous logiciel ArcGIS dernière édition 10.5 par ce module ArcCatalog, ArcMap, et ArcScene.

Nous avons pu élaborer plus de 10 cartes thématiques numériques concernant les ressources en eaux de la wilaya.

Mots clés : Ressources en eaux, Géostatistique, ArcGis, Forage

ملخص:

تعتبر المياه الجوفية العميقة ألبيان في ولاية غارداية المورد الرئيسي للتزود بمياه الشرب. السقي الفلاحي وكذلك الاستعمال الصناعي تستخرج عن طريق حفر آبار ارتوازية بأعماق مختلفة حسب المناطق حيث تستغل تدفقا أو عن طريق الضخ وبصبيب متعدد حسب عمق الطبقة المائية

من خلال دراسة و تحليل قاعدة بيانات آبار الولاية وذلك بإخضاعها للتحليل الجيوإحصائي باستعمال الآليات الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية SIG بواسطة برنامج نظام المعلوماتية الجغرافية بإصدارها الأخير 10.5 بامتداداته Arc catalogue ArcMap, ArcScene
تمكنا من إنتاج أكثر من 10 خرائط موضوعية رقمية تخص الموارد المائية للمنطقة

الكلمات المفتاحية: موارد مائية. جيوإحصائي. مجموعة من برامج معالجة البيانات الجغرافية المكانية. آبار ارتوازية نظام المعلومات الجغرافية.

Summary:

In the wilaya of Ghardaia, groundwater from the Albian water table represents the main vital source for drinking water supply and irrigation as well as for industry. Catchment is done by carrying out albian boreholes of different depths all over the areas, and exploitation either by pumping or gushing, with a variable rate depending on the depth of the albian aquifer.

The study and processing of the database of boreholes in our wilaya are carried out by a geostatistical analysis using the geographic information system (GIS) under ArcGIS software latest edition 10.5 by this ArcCatalog, ArcMap, and ArcScene module.

We were able to develop more than 10 digital thematic maps concerning the water resources of the wilaya.

Key words: Water resources, Geostatistics, ArcGis, Drilling.