

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE d'ORAN 2

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Thème

Pour l'obtention du diplôme de Master « L.M.D »

En Sciences de la Terre

Option : Hydrogéologie

Utilisation de l'analyse géostatistique dans un SIG pour la cartographie de la qualité des eaux souterraines dans la plaine de Ghriss (Wilaya de Mascara)

Présenté par :

Mr : Lezghem Lakhdar Younes

Devant le jury composé de :

M^r BAICHE A.	Professeur,	Université d'Oran 2	Président
M^{elle} ABLAOUI H.	Maitre de Conférences,	Université d'Oran 2	Examinatrice
M^{elle} DAKKICH.	Maitre de Conférences,	Université d'Oran 2	Encadreur

Année 2021/2022

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques.

BD : Base de Données.

DRE : Direction des Ressources en Eau.

ESRI : Institue Recherche sur les Systèmes Environnementaux.

FAO: Food and Agriculture Organisation.

SQL : Structured Query Langage.

MBDG : Modèle d'une Base de Données Géographique.

SGBD : Système de Gestion de Base de Données.

SI : Système d'information.

SIG : Système d'Information Géographique.

Liste des figures

Liste des figures :

Fig.I.1 : Processus de réponse aux questions.....	5
Fig.I.2 : Architecture et interaction entre un SIG de bureau et un SIG mobile.....	6
Fig.I.3 : Fonctionnement de base d'un SIG.....	6
Fig.II.1 : Exemple de variogramme	10
Fig.III.1 : Situation géographique de la zone d'étude.....	13
Fig.III.2 : Limites géographiques de la plaine de Ghriss.....	14
Fig.III.3 : Carte géologique de la plaine de Ghriss (Benfetta. H. 1997).....	15
Fig.III.4 : précipitation annuelle, (1990 à 2008) à la station de Matemore.....	20
Fig.III.5 : Diagramme ombrothermique.....	21
Fig.III.6 : les nappes principales de la plaine de Ghriss (Bacoussa2004).....	24
Fig.III.7 : Carte piézométrique de la plaine de Ghriss [basses eaux, 2009].....	28
Fig.IV.1 : Localisation de la zone d'étude par ArcGIS	30
Fig.IV.2 : Organigramme des étapes suivies pour l'analyse géostatistique.....	33
Fig.IV.3 : analyse exploratoire des données hydrochimique par histogramme.....	39
Fig.IV.4 : Transformations des données à Log K.....	36
Fig.IV.7 : Légende semi-variogramme expérimentaux et théorique	42
Fig.IV.8 : Semi-variogramme théorique(Exponentiel).....	43
Fig.IV.11 : Cartes de prédiction de la distribution spatiale des substances chimiques des eaux souterraines paramètres Ca, Mg, Na, K.....	47
Fig.IV.12 : Cartes de prédiction de la distribution spatiale des substances chimiques des eaux souterraines paramètres Cl, No3, So4, Hco3.....	48
Fig.IV.13 : Cartes de prédiction de la distribution spatiale des substances chimiques des eaux souterraines paramètres Co3, Ph, TDS, Ec.....	49

Liste des tableaux

Liste Des Tableaux :

Tableau 1 : Répartition de la précipitation moyenne annuelle (1990-2008)	19
Tableau 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle et température moyenne mensuelle	20
Tableau 3 : Répartition mensuelle d'humidité relative de l'air	21
Tableau 4 : Répartition mensuelle de la tension de vapeur	22
Tableau 5 : Vitesse du vent (m/s) Station météo Matemore (2007)	22
Tableau 6 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne (2007) Station de matmore.....	22
Tableau 7 : Les éléments chimique de la zone d'étude.....	31
Tableau 8 : Semi-variogramme théoriques et leurs paramètres	46
Tableau 9 : EMQ calculé pour les trois modèles de semi-variogramme théorique	46

Liste d'abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Chapitre I : Généralités sur SIG

I.1. Introduction	1
I.2. Qu'est-ce qu'un SIG	3
- I.2.1. Définition des SIG	3
- I.2.2. Historique	3
- I.2.3. Disciplines liées aux SIG	4
- I.2.4. Les composants des SIG	4
- I.2.5. Questions auxquelles un SIG peut répondre	5
- I.2.6. Type de SIG	6

Chapitre II Analyse Géostatistique

II.1. Introduction	12
II.2 Semi-variogramme.	13
II.3 Modèles de semi-variogramme.	13
II.4. Introduction au krigeage	14
II.5. Les systèmes de krigeage	15
- II.5.1. Le krigeage ordinaire	15
- II.5. 2. Krigeage simple	15
- II.5.3. Krigeage u inverse	15

Chapitre III Descriptions de la zone d'étude

III.1 Introduction	16
III.2. Aspect géomorphologique de la zone d'étude	16
- III.2.1. Situation géographique	16
- III.2.2. Aspects géomorphologiques	17
III.3. Géologie	17
III.3.1. Cadre géologique du secteur d'étude	17
- III.3.1.1. Les monts de Beni Chougrane	18
- III.3.1.2. Les monts de Saida	18
- III.3.1.3. La plaine proprement dite	18
III.3.2. Le secondaire	18
- III.3.2.1. Trias	18
- III.3.2.2. Le Tertiaire	19
- III.3.2.3. Quaternaire	20
III.4. Conclusion	21

III.5. Introduction (climatologique)	21
III. 5.1. Caractères climatique	21
- III.5.1.1. La pluviométrie	21
- III.5.1.2. la température	22
III.6.1. Introduction (Hydrogéologique)	23
III.6.2. Etude des nappes	23
- III.6.2.1. Le quaternaire (nappe superficielle).....	23
- III.6.2.2. Nappes des calcaires lacustres, sables et grés du Pliocène.....	23
- III.6.2.3. Nappe calcaro-dolomitique du Jurassique supérieur.....	24
III.6.3. Limites des nappes.....	25
- III.6.3.1. Limites horizontales.....	26
- III.6.3.2. Limite des épontes.....	26
III.6.4. Fonctionnement du système aquifère	28
- III.6.4.1. Nappe superficielle.....	29
- III.6.4.2. La nappe des calcaires lacustres, sables et grés du Pliocène.....	30
- III.6.4.3. La nappe des calcaires et dolomies du Jurassique supérieur	30
III.6.5. Piézométrie de la zone d'étude.....	30
- III.6.5.1. Carte piézométrique de la plaine de Ghriss.....	31
- III.6.5.2. Evaluation des paramètres hydrodynamiques.....	31
III.6.6. Conclusion (Hydrogéologique).....	32

Chapitre IV Mise en œuvre et Application

IV.1. Collecte des données	34
IV.2 Méthode d'analyse	36
- IV.2.1 Analyse exploratoire des données par Histogramme	37
- IV.2.2 Vérifier la normalisation des données et transformation	37
- IV.2.3 Calcul du semi-variogramme expérimental	38
- IV.2.4 Semi-variogramme théorique	39
- IV.3 Génération de la carte finale de la distribution spatiale des éléments hydrochimiques de la plaine de Ghriss	43
- IV.4. Discussion des résultats et conclusion	47
Conclusion générale	52
Référence bibliographique	

Résumé :

La plaine de Ghriss fait partie des plaines intérieures de l'Ouest algérien. Elle contient un important potentiel hydrique constitué de trois aquifères, qui constituent la principale ressource, pour satisfaire les besoins en eau de la région de Ghriss, située au Nord-Ouest algérien.

L'objectif de ce travail est de réaliser une cartographie de la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de la plaine de Ghriss. La distribution spatiale et la prédiction des paramètres chimiques des eaux souterraines ont été développées en utilisant l'analyse géostatistique dans un Système d'Information Géographique (SIG). La méthode de krigeage ordinaire a été appliquée pour établir la carte de la distribution spatiale de la chimie des eaux souterraines. Le meilleur modèle de semi-variogramme théorique est choisi pour chaque paramètre en fonction de l'erreur quadratique moyenne (EMQ).

Dans la plaine de ghriss, les éléments chimiques Ca^+ et Mg^+ sont concentrés dans les régions du centre et de l'est, ce qui indique la présence d'eau potable. Au sud, la concentration de No_3 est élevée, ce qui indique une mauvaise qualité de l'eau.

Mots clés : Qualité des eaux souterraines, Plaine de Ghriss, SIG, Analyse géostatistique, krigeage ordinaire, distribution spatiale.

Abstract :

The plain of ghriss is part of the interior plains of western Algeria, it contains in underground a significant water potential consisting of 3 aquifers which constitute the main water resource of the state of Mascara.

This preliminary study aims to try to develop a tool for decision support and simulation of water resources management using geostatistics and characteristic kriging in the form of a geographic information system in the Plain of ghriss, where data is collected and processed on ArcGis for groundwater mapping.

The best theoretical semi-variogram model is chosen for each parameter based on the root mean square error (RMS).

In the plain of Gharis, the chemical elements Ca^+ and Mg^+ are concentrated in the central and eastern regions, which indicates the presence of drinking water. In the south, the concentration of No_3 is high, indicating poor water quality.

Introduction Générale

Introduction :

Le système aquifère de la plaine de Ghriss renferme la principale ressource pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole dans la région de Mascara. La cartographie de la qualité des eaux souterraines est un outil important pour la gestion de cette ressource naturelle et la prise de décision.

Dans les méthodes géostatistiques, la technique de krigeage est largement utilisée. Cette technique est applicable à des cas tels que la détermination du niveau de nappe phréatique, l'estimation de la distribution hydrochimique des propriétés du sol et autres estimations (Kumar and Remadevi (2006); Ahmadi and Sedghamiz (2007); Shamsudduha (2007). (Krigeage des niveaux d'eau souterraine - Une étude de cas. Journal d'hydrologie spatiale, 6, 81-94).

Les systèmes d'informations géographiques (SIG) sont conçus pour recueillir, stoker, traiter, analyser, gérer et présenter des données spatiales et géographiques. Le rôle des logiciels SIG dans l'analyse de la distribution spatiale des eaux souterraines a été étudié par de nombreux auteurs tels que Mehrjardi et al. (2008).

Les objectifs du présent travail sont d'étudier les applications de divers modèles spatiaux et transformation de données pour prédire et interpréter la tendance générale de la distribution spatiale des eaux souterraines dans la plaine de Ghriss, située au Nord-Ouest de l'Algérie.

Dans cette étude, la technique de krigeage ordinaire dans le cadre d'un logiciel SIG (ArcGIS Geostatistical Analyst) est utilisée.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les SIG.
- Le second chapitre donne un aperçu sur les méthodes d'analyse géostatistique.
- Le troisième chapitre décrit la zone d'étude avec ses aspects géologiques et hydrogéologiques.

Le quatrième chapitre est consacré à l'application et la mise en œuvre de la méthode de krigeage utilisées dans cette étude.

CHAPITRE I

Généralités Sur SIG

I.1. Introduction

L'avènement des systèmes d'information géographique SIG a été d'un grand secours pour les utilisateurs de données à référence spatiale ; cet événement a même provoqué un bouleversement dans les méthodes de travail, facilitant ainsi les approches, et accélérant la diversité des solutions.

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques généralités sur les SIG. Qu'est-ce qu'un SIG ? De quoi est-il composé ? Quelles sont ses domaines d'application ?

I.2. Qu'est-ce qu'un SIG

I.2.1. Définition des SIG

(GIS : géographique information system pour les Anglo-Saxons).

S (Système) : Un système relie un ensemble d'objets et d'activités pour qu'ils interagissent dans un but unique [21].

I (Information) : Élément de connaissance concernant un phénomène et qui, pris dans un contexte déterminé, a une signification particulière.

G (Géographique) : Le mot géographie est un mot Grec : Géo=terre et graphie =écrire, c'est une science qui décrit les relations de l'homme avec la terre [1].

SIG : Le système d'information géographiques (SIG) est un outil d'aide à la décision permettant l'acquisition des données numériques (télédétection, photographie aérienne, numérisation, etc.), l'archivage, l'analyse, le stockage et la diffusion des données à référence spatiale [14].

I.2.2. Historique

On cite souvent comme première application des SIG, l'étude menée avec succès par le docteur John Snow pendant l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854 : ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il déterminait que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination [12].

Maguire et al. (1991) distinguent trois périodes principales dans l'évolution des SIG

- ✓ Fin des années 1950- milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières cartographies automatiques ;
- ✓ Milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique/SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...) ;
- ✓ Depuis les années 1980 : croissance du marché des logiciels, développement des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées, avec depuis les années 1990, des applications sur Internet) et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...).

I.2.3. Disciplines liées aux SIG

Les Systèmes d'Informations Géographiques sont le résultat de la combinaison et de la fusion de disciplines multiples :

- La géographie : qui fournit les méthodes d'analyses et d'organisation spatiales.
- La cartographie : qui donne les méthodes de représentation de l'espace géographique.
- La télédétection : qui offre les techniques d'acquisition et de traitement de données.
- La photogrammétrie : qui explique des photographies aériennes.
- La géodésie : qui fait des localisations très précises.
- La mathématique : qui met à la disposition des spécialistes en Systèmes d'Informations Géographiques les différentes méthodes de calcul matriciel, de calcul différentiel et intégral, de trigonométrie, de géométrie, d'interpolation et d'extrapolation des courbes [13].
- La statistique : qui offre la possibilité d'analyse et d'interprétation des mesures.
- L'informatique : qui permet de faire l'infographie et la conception et de réaliser des bases de données.
- Le génie civil : qui est liée aux applications en transport et en génie urbain ... etc.

I.2.4. Les composants des SIG

Un SIG est constitué de six composants majeurs :

a. Matériels

Les SIG peuvent tourner sur un grand nombre de systèmes, depuis les serveurs de réseau jusqu'aux ordinateurs de bureau, (le traitement de données se fait à l'aide des logiciels sur un ordinateur du bureau ou sur un ordinateur durci directement sur le terrain).

b. Logiciels

Le logiciel du SIG fournit les fonctions et les outils nécessaires pour stocker, analyser, et afficher l'information géographique. On peut dire que le logiciel disponible est spécifique à l'application. Tous les logiciels SIG sont généralement conformes à toutes ces fonctionnalités, mais leur technique de traitement (interface utilisateurs) peut être différente.

c. Données

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

I.2.6. Type de SIG

Un projet SIG peut être réalisé sur un matériel de bureau ou bien sur des matériels décentralisés (SIG mobile), tel que le SIG mobile qui est en étroite relation avec un SIG de bureau comme le montre la fig.I.2.



Fig.I.2 : Architecture et interaction entre un SIG de bureau et un SIG mobile [3]

1. SIG bureau

Le SIG est un ensemble organisé globalement comprenant des éléments (données équipements, procédures, ressources humaines) qui se coordonnent, à partir d'une référence spatiale commune, pour concourir à un résultat. C'est donc un système de gestion et d'aide à la décision. Ce Système d'Information Géographique traite d'informations localisées et ainsi apporte une dimension géométrique aux SI classiques (fig.I.3). L'accès à ces informations se fait à travers des fonctions d'identification et de requête ; cet accès procède par l'interrogation d'une base de données géographique située sur le serveur d'un ordinateur de bureau.

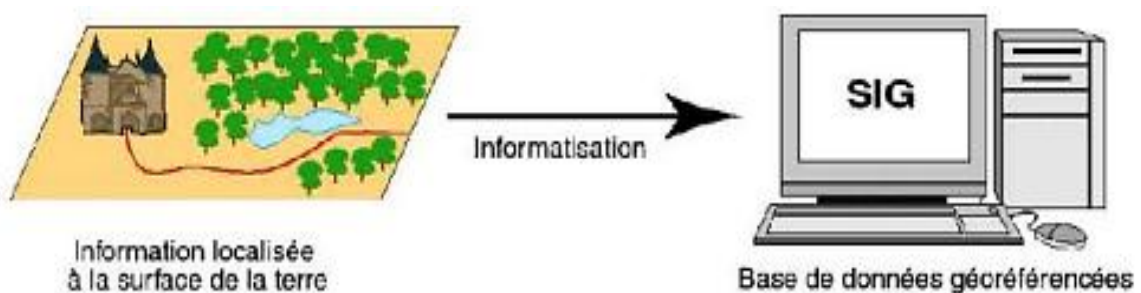
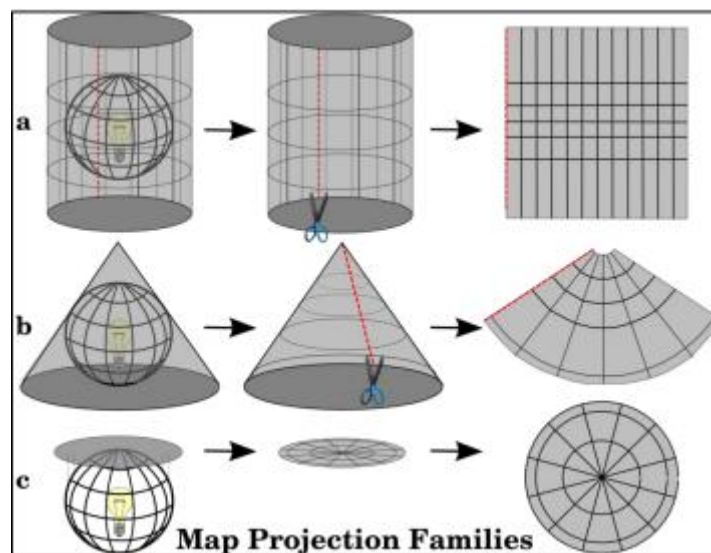
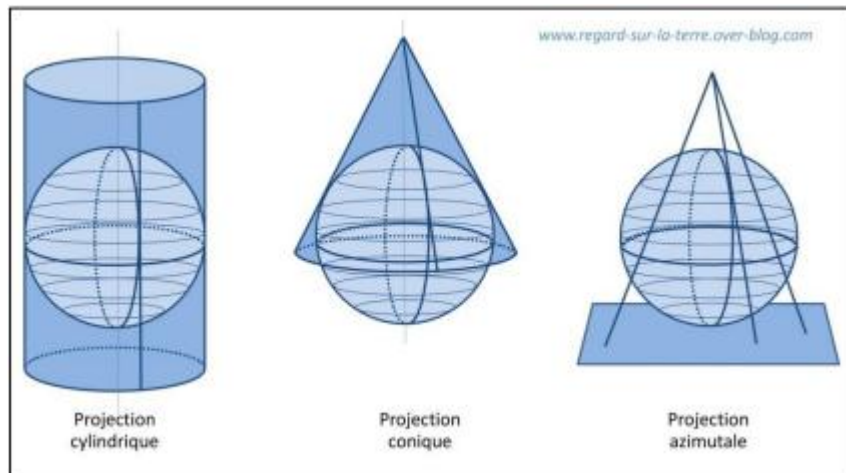
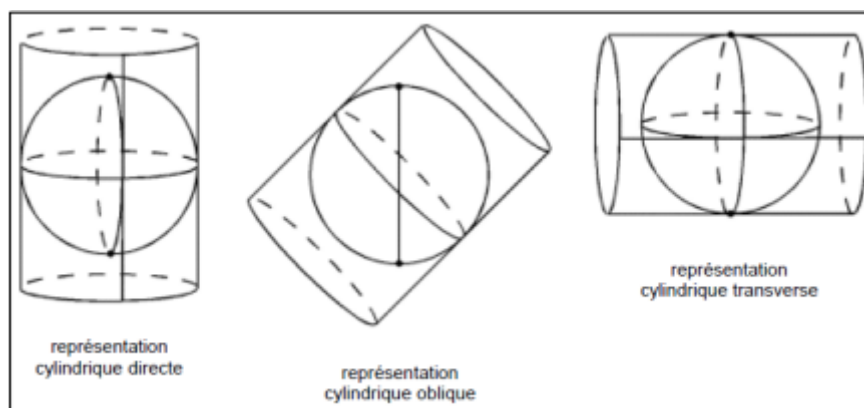


Fig.I.3 : Fonctionnement de base d'un SIG

I.3.2. types de Projection :

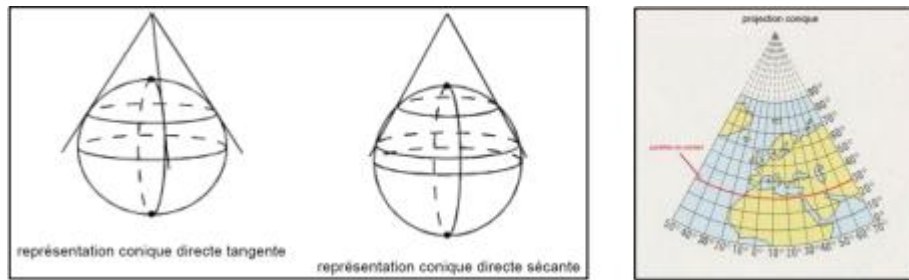


Projection cylindrique : La surface de projection est un cylindre tangent ou sécant au modèle de la Terre. Les projections UTM, utilisent ce type de projection.



Chapitre I _____ Généralités Sur SIG

Projection conique : La surface de projection est un cône tangent ou sécant. Les projections Lambert et Lambert-93 utilisent ce type de projection.



Projection azimutale équivalente de Lambert : est une manière de projeter une sphère sur un plan, et en particulier, une façon de représenter entièrement la surface de la Terre sous la forme d'un disque. C'est donc une projection cartographique azimutale conçue (parmi d'autres) en 1772 par le mathématicien alsacien Johann Heinrich Lambert.

Chapitre II
Analyse
Géostatistique

II.1 Introduction

L'analyse géostatistique est utilisée pour modéliser la distribution de la chimie des eaux souterraines. La géostatistique peut être considéré comme un ensemble de méthodes mathématiques qui permet, à partir de données géo référencées (localisation X, Y et Z), de comprendre les phénomènes et de les représenter spatialement. L'analyse des données à partir de laquelle sont modélisés les phénomènes permet notamment leur interpolation, c'est-à-dire la prédiction d'une variable en un point non mesuré. Elle permet également de fournir un niveau d'incertitude de l'interpolation au niveau local. La géostatistique traite des données spatialement auto-corrélées qui ont une structure de base ou modèles spatiaux qui peuvent se manifester dans une analyse de (semi) variogramme.

Le (semi) variogramme est une caractérisation de la corrélation spatiale des données.

II.2 Semi-variogramme

Le variogramme est défini pour toute fonction aléatoire intrinsèque et dépendant uniquement de l'inter distance h, alors que la fonction de covariance ne l'est que pour le cas d'une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2. De plus, l'estimation du variogramme n'est pas biaisée par la moyenne, au contraire de la covariance.

Théoriquement, pour calculer le semi-variogramme, la formule suivante est couramment utilisée :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

où $\gamma(h)$ est la valeur du semi-variogramme pour la distance de décalage (h), $n(h)$ est le nombre total de paires de variables séparées par une distance de décalage (h), et $Z(x)$ est la valeur de la variable.

L'étude de la structure par le variogramme consiste à suivre l'évolution de « variation quadratique moyenne de l'accroissement de la fonction $Z(x)$ en fonction de h d'amplitudes croissante.

Propriétés du variogramme :

En général, le variogramme peut être présenté sous forme graphique : Le graphe de $\gamma(h)$ a les caractéristiques suivantes.

1. Il passe par l'origine (pour $h=0$; $Z(x+h) = Z(x)$).
2. C'est en général une fonction croissante de h.
3. Dans la plupart des cas, il croît jusqu'à une certaine limite appelée "palier", puis il s'aplatit.
4. La distance à laquelle le variogramme atteint le palier est appelée "Portée".

Lorsque la distance h dépasse la portée, il n'y a plus de corrélation entre les échantillons séparés par cette distance h. La portée du variogramme fournit une définition plus précise de la notion de zone d'influence.

Anisotropies

Lorsque le variogramme est calculé pour tout couple de points, dans certaines directions, il révèle parfois des différences de comportement : c'est-à-dire des paliers différents et/ou des portées différentes, il y a dans ce cas une anisotropie. On en distingue deux principaux types : l'anisotropie géométrique et l'anisotropie zonale.

Anisotropie géométrique (Elliptique)

Dans le cas de deux variogramme directionnels qui ont les mêmes paliers et des portées différentes, on dit qu'il y a une anisotropie géométrique. Pour déterminer une éventuelle présence anisotropie géométrique, on trace l'ellipse des portées.

Anisotropie zonale (stratifiée)

On dit qu'il y a une anisotropie zonale lorsque deux variogramme directionnels ont des paliers et des portées différentes.

II.3 Modèles de semi-variogramme

Différents modèles théoriques ont été élaborés pour tenir compte des traits caractéristiques du comportement du variogramme. Les composantes sont définies par un palier C et éventuellement une portée a et des paramètres de formes. On distingue les modèles sans paliers et modèles avec palier. Les composantes γ_i les plus fréquemment utilisées sont :

- Sphérique : $\gamma(h) = C \left[\frac{3|h|}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|^3}{a^3} \right) \right]$
- Gaussien : $\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-|h|^2/a^2\right) \right]$
- Exponentiel : $\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-|h|/a\right) \right]$
- Effet de pépite.

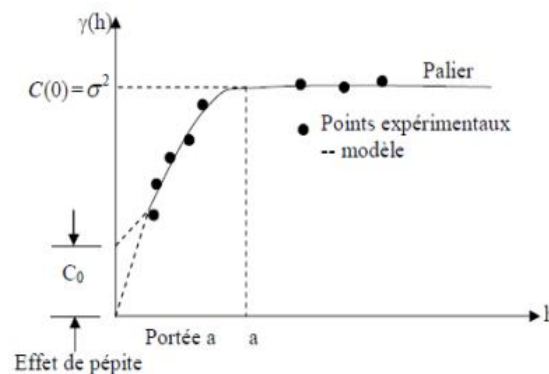


Fig.II.1 : Exemple de variogramme.

III.4. Introduction au krigeage

II.4.1. Krigeage

Le krigeage est une méthode d'interpolation issue de la géostatistique. Le terme krigeage, « kriging » en anglais, provient du nom de famille de l'ingénieur minier Sud-africain Daniel Gerhardus Krige. Il a été formalisé pour la prospection minière par George Matheron (1930-2000) à l'Ecole des Mines de Paris. Depuis, le domaine de ses applications a largement été étendu, touchant notamment la météorologie, les sciences de l'environnement, etc.

Le krigeage est donc une méthode d'interpolation spatiale, parfois considérée comme la plus juste d'un point de vue statistique, qui permet une estimation linéaire basée sur l'espérance mathématique et aussi sur la variance de la donnée spatialisée.

A ce titre le krigeage se base sur le calcul, l'interprétation et la modélisation du variogramme, qui est une appréciation de la variance en fonction de la distance entre données. En pratique, le krigeage est le nom donné à l'élaboration de l'estimation local, ça concerne l'estimation d'une portion bien circonscrite du champ de la variable régionalisée étudiée grâce à des données disponibles bien délimitées.

Nous devons donc, définir une quantité à estimer appliquée à la variable régionalisée, l'estimateur et l'erreur d'estimation.

L'estimateur serait une combinaison linéaire des données disponibles dont nous ne connaissons pas les poids, car justement, ce sont ces poids qui restent les inconnues du problème d'estimation locale. Ils seront définis grâce à la méthode classique basée sur le formalisme probabiliste, ainsi déterminés, ces poids seront par la suite affectés aux données. (CHAUVET, 1999).

L'équation générale de la méthode de krigeage a la forme suivante :

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_0^i Z(x_i)$$

Où λ_0^i est le poids associé à chaque point de données i ($i=1, 2, 3, \dots, n$), $Z(x_i)$ est la valeur observée au point x_i , $Z^*(x_0)$ est la valeur prédite au point x_0 , et n est le nombre d'échantillons points. Avec :

$$\sum_{i=1}^n \lambda_0^i = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

Les valeurs des poids λ_0^i , sont estimées en minimisant la variance de krigeage (σ^2) donnée par :

$$\sigma^2 = 1/N \sum_{i=1}^n (Z^*(x) - Z(x))^2$$

Pour la comparaison entre les différents modèles de variogramme et la transformation des données, l'erreur moyenne quadratique (EMQ) est calculée avec la formule suivante :

$$EMQ = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2$$

EMQ est utilisé pour choisir le meilleur modèle en comparant sa valeur, et la plus petite valeur d'EMQ indique le modèle le plus adapté aux données.

II.5 Méthodes de krigeage

Le krigeage effectue le calcul de la variance d'estimation minimale pour tout estimateur linéaire. Dans le cadre stationnaire, il y a deux formes particulières de krigeage, selon que la moyenne du processus est connue ou non : soit le krigeage simple et le krigeage ordinaire. Ce dernier est, de loin, le plus fréquemment utilisé. (Marcotte, 2003)

II.5.1 Krigeage simple : Parfois on connaît la moyenne "m" du champ à estimer ou du moins on en possède un estimé fiable. On peut alors former un estimateur sans biais sans imposer la contrainte que la somme des poids soit égale à 1.

II.5.2 krigeage ordinaire : Le krigeage ordinaire est la méthode la plus générale et la plus couramment utilisée. Il s'agit également de la méthode par défaut. Elle part du principe que la moyenne constante est inconnue. Il s'agit là d'une hypothèse a priori valide, à moins qu'une raison scientifique aille à l'encontre de cette dernière.

II.5.3 Krigeage universel : Le krigeage universel part du principe qu'il existe une tendance prépondérante dans les données et qu'elle peut être modélisée par une fonction déterministe, un polynôme. Le polynôme est soustrait aux points initialement mesurés et l'auto-corrélation est modélisée à partir des erreurs aléatoires. Une fois que le modèle est ajusté selon les erreurs aléatoires, avant d'effectuer une prévision. Le krigeage universel n'est à utiliser que lorsque vous savez qu'il existe une tendance dans les données et que vous pouvez en donner une justification scientifique.

Chapitre III
Descriptions de la
zone d'étude

Chapitre III ———— Descriptions de la zone d'étude

III.1 Introduction

Avant d'entreprendre toute étude concernant un bassin versant, nous devons étudier sa morphologie, en déterminant ses limites, sa superficie, son périmètre, la répartition des altitudes et talwegs et d'autres paramètres caractéristiques.

L'étude géologique est la base principale de toute étude hydrogéologique. En effet la connaissance de la nature des terrains est indispensable pour l'interprétation des résultats de paramètres hydrodynamiques, et celle de la composition physico-chimique des eaux souterraines.

III.2. Aspect géomorphologique de la zone d'étude

III.2.1. Situation géographique

La plaine de Ghriss se localise au Nord-ouest du territoire Algérien, elle s'étend sur une superficie de 605 Km² (Fig.II.1).

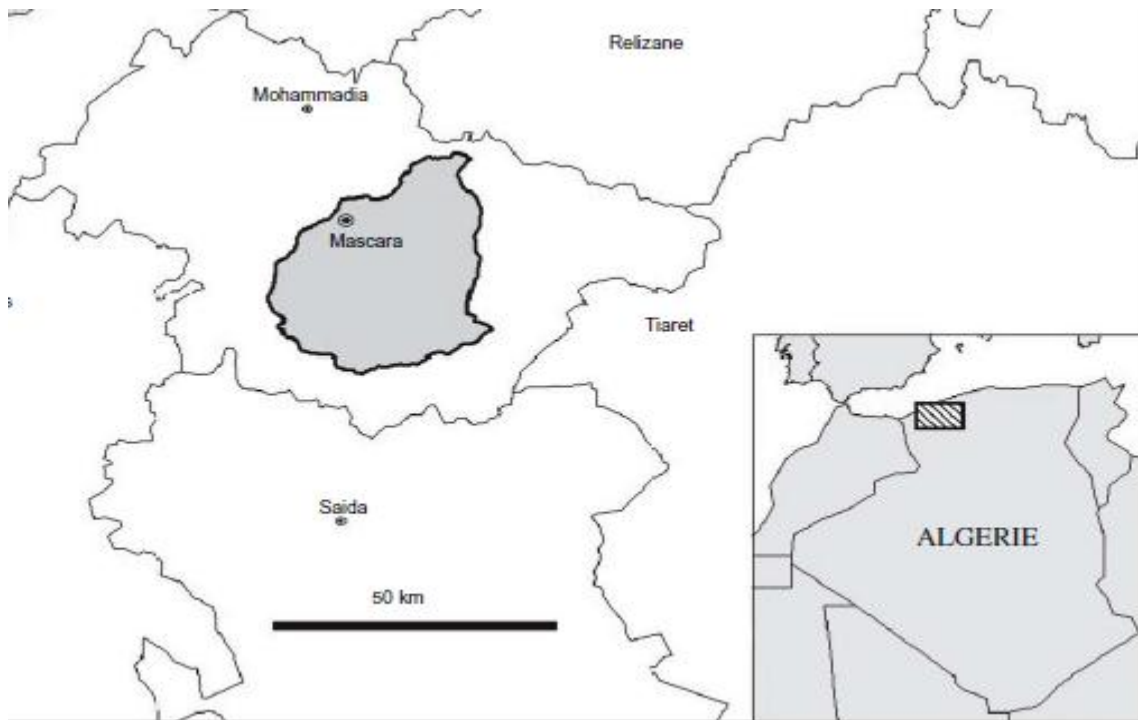


Fig.III.1 : Situation géographique de la zone d'étude

La plaine Ghriss fait partie de bassin hydrologique de la Macta. C'est une étendue plate de 470 m d'altitude moyenne, surplombée par des reliefs de bordure élevés jusqu'à 1100 m d'altitude au sud (montagne de Nesmoth).

Les limites géographiques de la plaine de Ghriss sont présentées comme suit (Fig.III.2) :

- Limite Nord : Les monts de Beni chougrane.
- Limite Sud : Les monts de Saida.
- Limite Est : Le plateau de Tighenifine.
- Limite Ouest : Les monts de Bouhanifia.

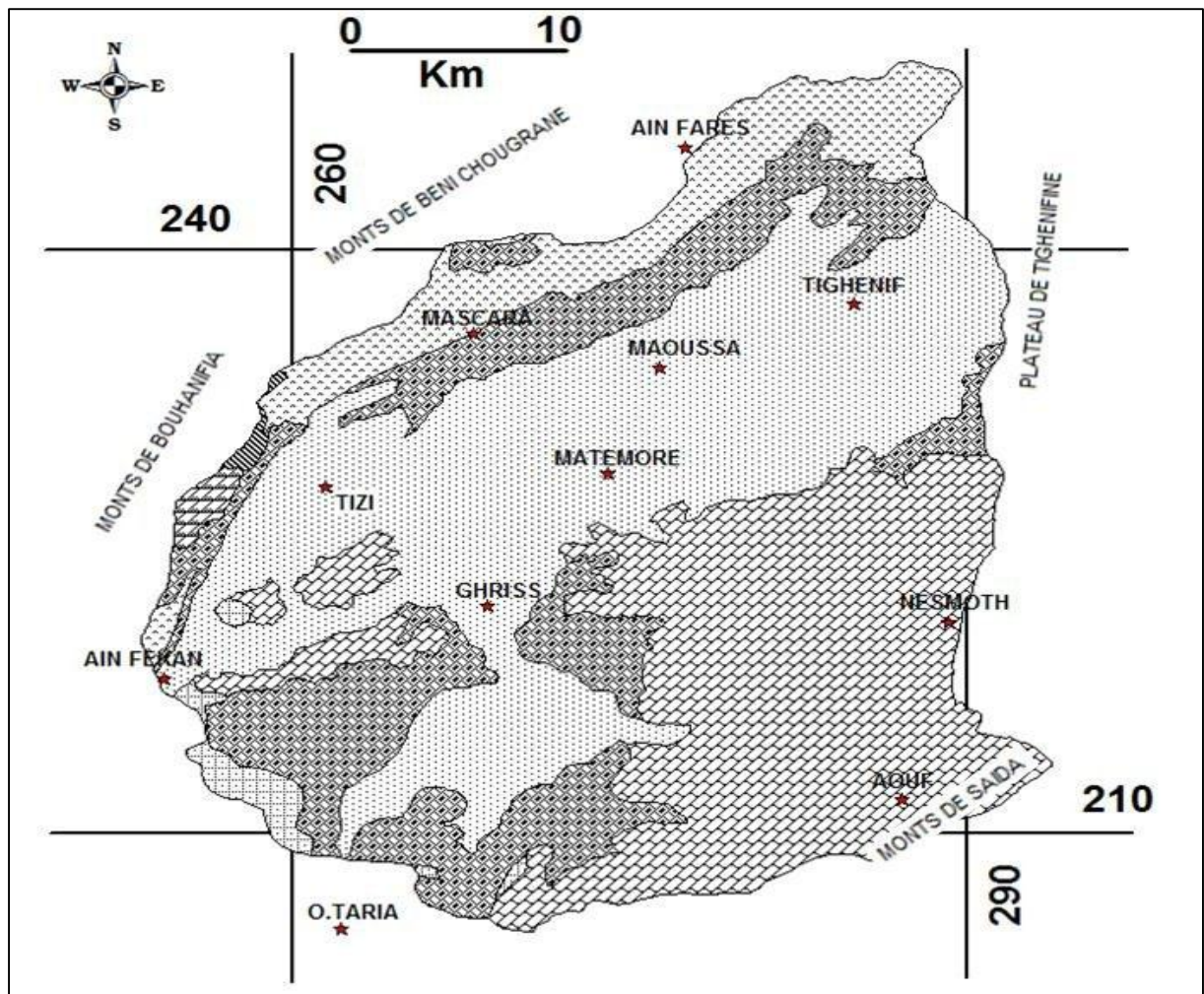


Fig.III.2 : Limites géographiques de la plaine de Ghriiss

III.2.2. Aspects géomorphologiques

La morphologie de la zone d'étude présente différents aspects : Au Nord et à l'Ouest des pieds montagneux formants de bas-reliefs. Au centre, des témoins d'un autre environnement et des monticules rocheux assez élevés. Au Sud, d'importants massifs d'aspect tabulaire et coiffés de sommets dépassant 1000 mètres (montagnes de Nesmoth). A l'Est, un relèvement du sol forme le col de Tamazougha entre Tighennif et la vallée d'oued Haddad.

III.3. Géologie

III.3.1. Cadre géologique du secteur d'étude

Le secteur d'étude fait partie du domaine géologique tellien Oranais. Il concerne le bassin versant de Ghriiss (Souris seau 1973) (Fig.II.3). Les reliefs de la plaine de Ghriiss sont représentés par les monts de Saida au Sud et les monts de Béni Chougrane au Nord.

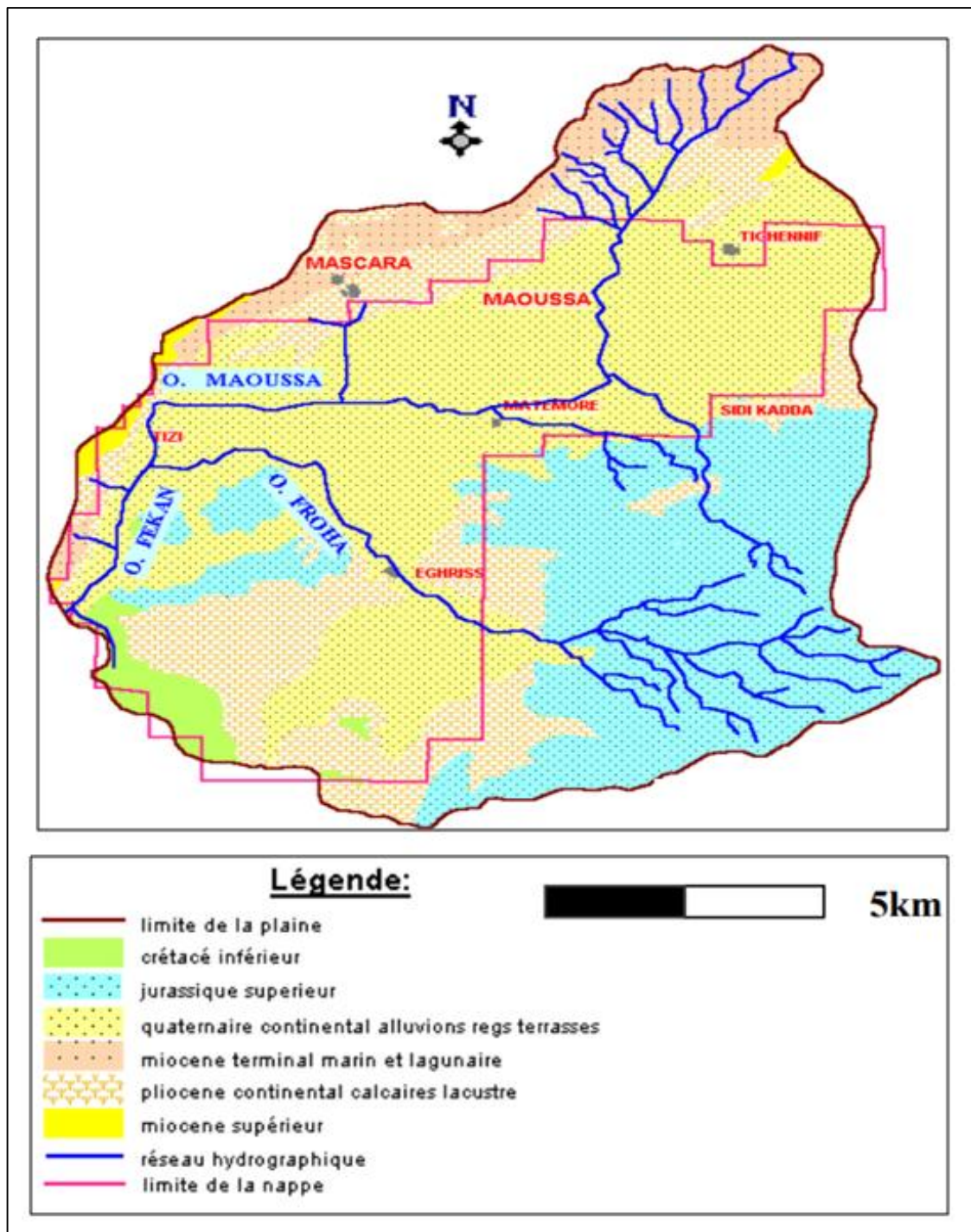


Fig.III.3 : Carte géologique de la plaine de Ghriss (Benfetta. H. 1997).

III.3.1.1. Les monts de Beni Chougrane

Ils sont allongés en arc de cercle dans la direction Sud-Sud -Ouest et Nord-Nord-est. Ils représentent les vestiges de l'ancien sillon méditerranéen effondrés et charriés. Le transport de ces vestiges a donné naissance à deux types de formation :

- Le crétacé moyen et supérieur, formés de marries et de calcaires gris à semelle de Trias gypseux et salifère qui recouvre, en contact anormal, les terrains du Miocène anté-nappe.

Chapitre III ————— Descriptions de la zone d'étude

- Le Nummulitique (Eocène et Oligocène), formés de marnes et de bancs de grés, qui recouvre, en contact anormal, soit le crétacé, première nappe, soit le Miocène anté-nappe. Sur ces deux formations allochtones, se sont déposées en deux phases différentes, l'une sur l'autre, les formations du Miocène post-nappe et du Pliocène. Les assises du Néogène, légèrement ondulées par la tectonique récente, couvre actuellement la presque totalité de la bordure méridionale des monts du Beni Chougrane.

III.3.1.2. Les monts de Saida

Les monts de Saida constituent la bordure Sud de la plaine. Ils ont la forme d'un plateau rectiligne et continu de Sidi Kada, à l'Est jusqu'à Tizi vers l'Ouest.

De faibles ondulations modulent en reliefs. Ces ensembles s'enfoncent légèrement vers le Nord ce qui favorise l'écoulement et le drainage des eaux vers la plaine.

Ils ont subi une tectonique cassante, avec mise en place de horsts comme le Djebel Enflouss. Cet ensemble calcaro-dolomitique a un pendage faible (10 ° vers le Nord)

La bordure Sud des montagnes de Saida fait partie intégrante des hauts plateaux, zones rigides entre le sillon atlasique au Sud, déformés à l'éocène et bordés au Nord par un bassin sédimentaire Néogène dans lequel se sont mises en place les nappes telliennes.

III.3.1.3. La plaine proprement dite

La plaine de Ghriss est une cuvette d'effondrement dont la subsidence est marquée par la flexure des couches du Néogène en bordure des monts de Beni Chougrane. De nos jours, celle-ci se poursuit par l'alluvionnement argilo sableux de l'oued Moussa.

En plan structural, la plaine correspond à un fossé d'effondrement à substratum Jurassique et remplissage Plio-Quaternaire. En profondeur, on trouve parfois un conglomérat de base, puis un remplissage d'argile et marnes grises et vertes, marines du Miocène inférieur et moyen. Au centre de la plaine, la subsidence favorise l'accumulation d'une grande épaisseur de calcaires lacustres. Après assèchement complet du lac, l'érosion reprend et des argues briques détritiques continentales se déposent au Quaternaire. Cette formation est bien représentée à Khaldia.

Autour de l'Oued Moussa, on observe une terrasse alluviale de quelques mètres de sables fins et graviers, qui a pu atteindre Tighennif et dans laquelle, on a découvert des restes de faune du Quaternaire moyen (Hipparition Steffens) actuellement après chaque crue, des sables argileux fins se déposent entre Moussa et Tizi.

III.3.2. Le secondaire

III.3.2.1. Trias

Il est inconnu dans le bassin versant. On le rencontre dans les monts de Beni Chougrane à la base des nappes du Crétacé et en accident diasporique, au Sud, dans la vallée de l'oued Taria. Il est toujours gypseux parfois salifère, accompagné de roches vertes, ophites et gabbro de dolomies, cargneules et brèches fétides et marnes bariolées.

Chapitre III ————— Descriptions de la zone d'étude

- **Callovo-Oxfordien** : Il affleure au Sud du bassin, dans la vallée de l'oued Taria. C'est un ensemble de bancs gréseux peu épais, alternant avec de puissantes séries d'argiles et de marnes jaunes et vertes. Son épaisseur est de l'ordre de 250 mètres.
- **Lusitanien** : Il affleure dans la partie Sud des montagnes de Sidi Kada et a été rencontré en sondage dans la plaine. Il est composé d'une alternance de bancs gréseux et dolomitique, qui font corniches à l'affleurement de passage argilo-marneux, également épais la puissance totale de la formation est de l'ordre de 150 mètres.
- **Jurassique supérieur** : Il comprend le Kimméridgien supérieur et Purbeckien. Il affleure largement tout le long de la bordure méridionale de la plaine. Il constitue également le substratum résistant effondré. Au sommet on trouve des calcaires gris à pâte fine, Zoogénies, riches en périmées.

Et polypiers, exploités en carrière dans les Djebel Enfouss et Bon Rhaddou. La formation se poursuit avec des calcaires dolomitiques. On observe des petits niveaux de marnes noires qui ralentissent l'infiltration des eaux et peuvent donner naissance à des résurgences perchées. La puissance totale de la formation doit dépasser 350 mètres.

- **Crétacé inférieur** : Attribué hauterivien, il affleure en amont à l'ouest de Djebel Enfouss et dans le Sud-ouest de la plaine du Guerdjoum. Il est représenté par des calcaires gréseux devenant plus argileux en profondeur et de grés fin argileux.

III.3.2.2. Le Tertiaire

- **Eocène** : Il affleure dans la bordure ouest de la plaine. Il est représenté par une alternance de bancs métriques gréso-calcaires et de couches argilo-marneuses de plusieurs mètres d'épaisseur.
- **Oligocène** : Il affleure à Beni Chougrane et à l'Est de Tighennif. Cette formation présente les mêmes faciès que la précédente qu'elle recouvre en discordance. Elle est constituée de couches argilo-marneuses avec de bancs de grés. A la base s'intercale un conglomérat de base polygénique. Peu épais.
- **Miocène** : Il affleure dans les monts de Beni Chougrane, faute d'indice paléontologique sûr. Nous ne pourrions individualiser le Miocène inférieur et moyen marneux de Miocène supérieur marno-sableux (B.SOURISSEAU 1972) C'est un ensemble monotone, épais, à prédominance de marnes vertes avec des passages très riches en macrofaunes de gastéropodes et de lamellibranches et conglomérat de base polygénique sous la plaine, il est composé de terrains qui ont comblé les fosses d'effondrement du Jurassique supérieur. Dans le Djebel Ouilles le Miocène marin disparaît et passe à une formation continentale argilo-sableuse rouge dite de Bou Hanifia., sur cet ensemble marneux reposent en concordance des sables fins argileux à concrétions calcaires. Sable et des calcaires récifaux massifs à lithothamnium, qui affleurent en lambeaux au Djebel Ouilles et au Nord d'El-Bordj. Ces deux dernières formations sont attribuées au Miocène supérieur terminal (Saharien). Elles sont absentes dans le sous-sol de la plaine.

Chapitre III ————— Descriptions de la zone d'étude

- **Pliocène** : On le rencontre dans les monts Beni Chougrane et sous le recouvrement de la plaine. Il est alors sub-affleurant sous une couche mince de limons. A la base, on observe des grés marins transgressifs qui ont été déposés par La mer de l'astien. Au sommet, les grés passent à des sables consolidés, de plage et dunaires de couleur jaune. L'épaisseur de cette formation varie entre 40 et 100 mètres y compris les sables de désagrégation en surface. Ils affleurent à proximité de Mascara et de Khalouia, puis plongent vers la plaine dans laquelle, ils se biseautent dans le Djebel Oucilles, leur épaisseur est de l'ordre de 10 mètres. Directement sur les grés et sables, ou séparés par une faible épaisseur d'argile sableuse rouge détritique. Reposent des calcaires blancs crayeux à traces d'oxygène de manganèse et de fer. Ces calcaires lacustres très érodés sur le plateau de Mascara, affleurent sur toute la bordure des Beni Chougrane. A Ce niveau, une grande flexure les fait plonger sous la plaine où leur épaisseur augmente rapidement. Vers l'Ouest et le Sud l'épaisseur des calcaires lacustres diminue puis devient nulle. A l'Ouest de mascara, la formation devient moins calcaire et plus argileuse la couleur blanche est remplacée par celle des marnes jaunes et vertes. En bordure des montagnes de Sidi Kada, les formations lacustres sont absentes. Elles sont remplacés par de grandes épaisseurs d'éléments roulés de nature calcaire et calcaro-dolomitique, reliés par un ciment argilo-carbonaté.

III.3.2.3. Quaternaire

Au Moulay en, on a observé sur toute la bordure ouest et Nord de la plaine, des argiles rouges détritiques qui surmontent les calcaires lacustres. Au Quaternaire moyen une terrasse alluviale de sables fins, accompagnés de quelques petits graviers décimétriques, a envahi la région comprise entre Moussa et Tighennif.

- **Actuel** : Les sols, de la plaine sont principalement formés par des sables limoneux et argileux dont l'épaisseur ne dépasse pas 6 mètres. La nature de ces dépôts dépend de facture : du transport et de la roche mère sous-jacente .ces formation sont le support agricole de la région
- **Tectonique** : Le bassin versant de la plaine de Ghriss, n'est le siège d'aucun phénomène tectonique majeur (absence de Trias) les seuls phénomènes tectoniques connus sont les failles d'effondrement du substratum Jurassique, dont le jeu se poursuit de nos jours, et l'origine par faille des sources d'Ain Fekan (B. SOURISSEAU, 1972). Les assises du Néogène, légèrement ondulées par la tectonique récente recouvrent actuellement la presque totalité de la bordure méridionale des montagnes de Beni Chougrane. La bordure Sud du bassin (les monts de Saida) ont subi une intense tectonique Cassante dont subsistent quelque témoins (horsts djebel Enfunss et ben Rhadou). Le massif calcaro-Dolomitique des montagnes de Sidi Kada est surtout affecté par une tectonique cassante suivant deux directions principales de failles qui sont les reflets des mouvements du socle sous-jacent (proximité de la mole granitique de Tif frit). (B. sourceaux 1972)

III.4. Conclusion

La plaine de Ghriss constitue un fossé d'effondrement à caractère subside. Le substratum calcaro-dolomitique jurassique est morcelé par un réseau de failles très redressé. Il résulte une tectonique en dernier. On distingue un affaissement en marches d'escaliers depuis les reliefs du Sud en direction du Nord. Des anomalies transversales provoquent des fossés effondrés de direction Nord Sud (Froha) et des hauts fonds (Mascara, Matamore). Les formations marneuses et argileuses plastiques du Miocène ont oblitéré en grande partie le substratum accidenté. Toutefois, la persistance de la tectonique continue à diriger la sédimentation, si bien que les calcaires lacustres du Pliocène, sont développés dans les zones effondrées avec réduction des épaisseurs au voisinage des blocs surélevés.

III.5.Introduction (climatologique) :

Les conditions climatiques plus que d'autres facteurs jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des eaux souterraines. En effet, les précipitations qui sont de loin les plus importantes agissent directement sur la recharge et le renouvellement des eaux de la plaine de Ghriss.

Les températures atmosphériques ont une grande influence sur le régime d'écoulement ou l'évaporation favorise ainsi le déficit.

III. 5.1. Caractères climatique :

III.5.1.1. La pluviométrie :

Dans la plaine de Ghriss la répartition des pluies est irrégulière est insuffisante pour le développement des cultures céréalières, elle est de l'ordre de 450 mm/an. Les mois de novembre, décembre et janvier sont les mois les plus pluvieux de l'année, tandis que les mois de juin, juillet et août sont les plus chauds.

Tableau 1 : Répartition de la précipitation moyenne annuelle (1990-2008) a la station météorologique de Matamore.

Année	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008
Pluie (mm)	22.9	22.3	25	29	20	24.5	25.5	32	32	31.5

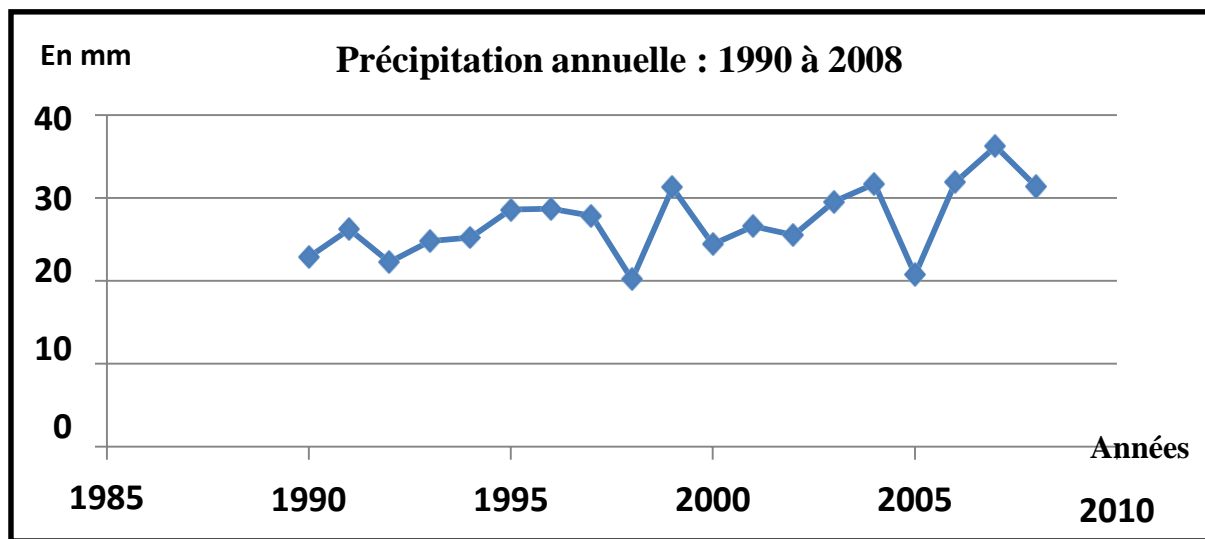


Fig.III.4 : précipitation annuelle, (1990 à 2008) à la station de Matemore

III.5.1.2.la température :

La zone de La plaine de GHRISS se caractérise par des températures variables, par des hivers froids et des étés chauds. Les éléments essentiels de ce facteur ont été relevés à partir de la station météorologique de matmore (mascara).Elle en ressort que :

Le mois d'aout est le plus chaud avec 27,8 C°.

Le mois de décembre est le plus froid avec 8 ,9 C°.

Synthèse climatique : La plaine de GHRISS est caractérisée par un climat méditerranéen sec en été et chauds en été.

Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN 1953 :

Le digramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN permet de calculer la durée de la saison sèche en portant pour la station donnée, la pluviométrie moyenne mensuelle (P) et la température moyenne mensuelle (T) sur le même graphe. Ils sont construits en portant en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations sur un axe placé à gauche et les températures sur un second axe placé à droite. L'échelle de la pluviométrie Est double de celle de la température (P=2T).

Tableau2 : Pluviométrie moyenne mensuelle et température moyenne mensuelle (1990-2008) à la station de Matemore :

MOIS	JNV	FEV	MRS	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
P (mm)	37.1	34.01	32.95	29	25.61	5.29	3.27	5.7	18	33.5	46.22	41.09
T (°c)	8.66	10.28	12.55	13.95	18.12	23.3	26.9	26.86	22.77	17.78	12.38	9.61

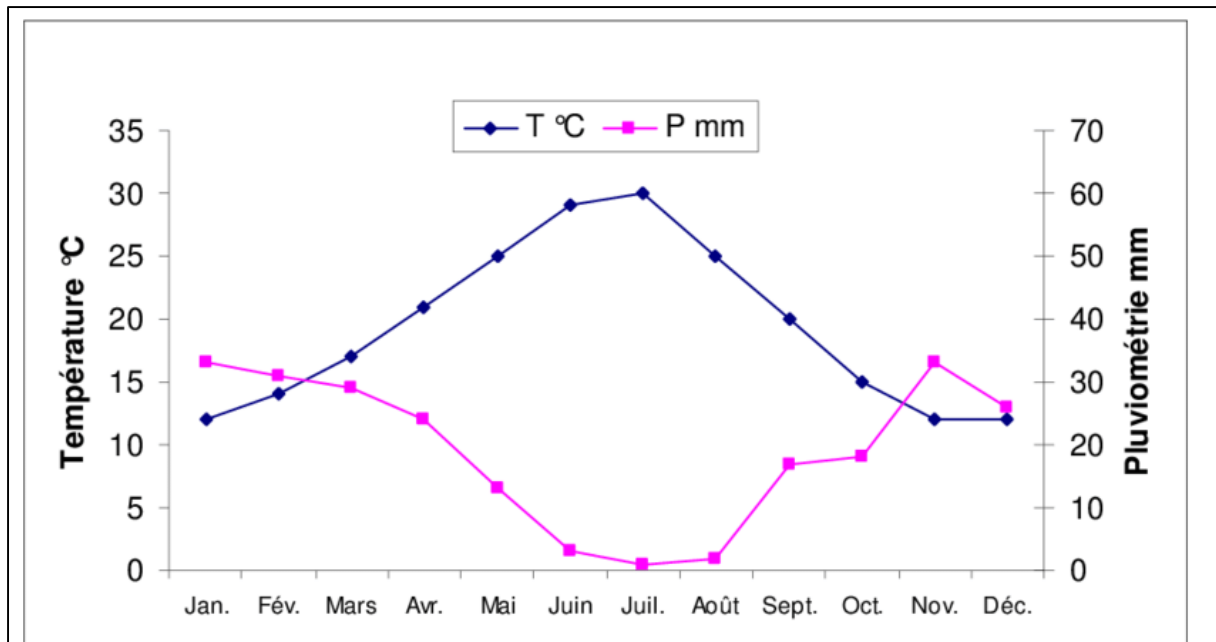


Fig.III.5 : Diagramme ombrothermique

III.5.1.3. Humidité relative

Humidité relative de l'air décroît du littoral vers l'intérieure.

Il a été enregistré au niveau de Mascara une humidité moyenne mensuelle qui se situe aux environs de 70%.

La distribution mensuelle d'humidité de l'air est donnée par le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Répartition mensuelle de humidité relative de l'air en %(station de Matemore ,2007)

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Matmore	78.6	80.6	74.5	72.8	67.8	61.4	54.4	57.2	63.3	70.2	75.7	80.2	69.7

III.5.1.4. Tension de vapeur

La répartition moyenne mensuelle de la tension de vapeur d'eau est donnée par le tableau N°4.

Tableau 4 : Répartition mensuelle de la tension de vapeur d'eau (mbar) (station de Matemore) (2007)

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Matmore	8.4	8.8	9.4	10.6	12.7	15.7	18.5	19.1	16.7	13.5	10.6	8.8	12.7

Les valeurs moyennes minimales et maximales de la tension de vapeur d'eau se situent respectivement au mois de Janvier et Août.

Chapitre III ————— Descriptions de la zone d'étude

III.2.5. Vitesse du vent

Les valeurs mensuelles et annuelles de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station climatologique de Mascara sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Vitesse du vent (m/s) Station météo Matmore (2007)

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Matmore	2.7	3	3.1	3.1	3.1	3	2.8	2.7	2.7	2.4	2.5	2.6	2.5

Les vitesses du vent sont relativement faibles et homogènes durant toute l'année.

La moyenne annuelle est de 2.5 m/s.

III.5.1.6. Evaporation

L'évaporation est l'un des phénomènes les plus importants du cycle hydrologique.

Il permet l'alimentation en vapeur d'eau de l'atmosphère par les cours d'eau, les lacs ainsi que les végétaux.

C'est le déficit humidité dans l'air ambiant qui provoque l'évaporation.

Cette fonction constitue une perte directe à partir des écoulements et des plans d'eau.

En Algérie, la hauteur d'eau évaporée annuellement par une surface d'eau libre est presque toujours supérieure à la quantité de pluie tombée sur la même surface.

Les valeurs de l'évaporation mensuelle sont estimées à partir de la formule de l'évaporation de la surface d'eau libre des retenues en Algérie, elle est donnée par la formule suivante :

$$E = 0.233 n (e_s - e_a) (1 + 0.39 V)$$

- E – Evaporation en mm
- e_s - Tension de vapeur d'eau saturante correspondante à la température de la surface en mb
- e_a - Tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère en mb ;
- V – Vitesse du vent en m/s
- N – Nombre de jours du mois considéré.

Le calcul de valeurs de l'évaporation est donné par le tableau suivant :

Tableau 6 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne(2007) Station de matmore.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Mascara	27	41.1	7.2.1	97.7	133.2	163	178.7	161.8	109	69.3	38.3	23.6	1114.8

L'examen de ce tableau montre que l'évaporation est importante pendant la période allant de Mai à Septembre et devient plus faible du mois d'octobre à Février.

Conclusions

Avec un climat continental à grands écarts de température et aux précipitations moyennes, la plaine de Ghriss s'insère dans l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par :

- La diminution de la précipitation du Sud au Nord.
- L'irrégularité des précipitations saisonnières.
- Une large période de sécheresse ayant favorisée la surexploitation et la vulnérabilité des ressources.

III.6.1. Introduction (Hydrogéologique) :

Nous tenterons de dégager l'étude hydrogéologique des nappes de la plaine de Ghriss qui a pour but l'identification des différentes nappes. L'évaluation de leurs ressources en eaux souterraines, leurs caractéristiques hydrodynamiques, leur distribution dans l'espace et enfin la possibilité de leur exploitation. La plaine de Ghriss est une identité hydrogéologique indépendante, formée par une superposition de couches perméables aquifères séparées par des formations imperméables qui retiennent ou mettent en charge ces nappes (Ben fetta. H ,1997).

III.6.2. Etude des nappes

Il existe trois principaux aquifères au niveau de la plaine de Ghriss.

- Les alluvions du Quaternaire
- Les calcaires lacustres, les grés et les sables du Pliocène.
- Les calcaires dolomitiques et les dolomies du Jurassique.

III.6.2.1. Le quaternaire (nappe superficielle)

Le Quaternaire représente un aquifère superficiel qui s'étend sur toute la plaine de Ghriss. Il est formé de dépôts alluvionnaires et par terrains d'altération des roches sous-jacentes comprenant des calcaires blancs altérés, poreux et fissures, des argiles caillouteuses, des graviers et sables de désagrégation, enfin des débris de calcaires dolomitiques.

III.6.2.2. Nappes des calcaires lacustres, sables et grés du Pliocène

Les formations du Pliocène constituent un ensemble perméable. Ce dernier se localise au niveau des monts Beni Chougrane et sous le recouvrement de la plaine.

En contact direct avec les grés et les sables ou séparés par une faible épaisseur d'argiles - sableuses rouges détritiques, reposent des calcaires blancs crayeux qui affleurent sur toute la bordure des monts Beni Chougrane.

A l'Est de Moussa, la formation devient moins calcaire et plus argileuse. La couleur blanche est remplacée par celle des marnes qui sont jaunes et vertes.

III.6.2.3. Nappe calcaro-dolomitique du Jurassique supérieur

L'impluvium de cette nappe qui correspond au kimméridgien et au Portlandien, occupe toute la partie Sud de la plaine de Ghriss. Il est constitué par la formation Carbonatée, fissurée et karstique. Le substratum est formé par la roche seine résistante de cette même formation.

Les calcaires et dolomies présentent une perméabilité élevée tout aux moins dans les parties altérées. Les fissures jouent un rôle d'aqueducs.

Dans la stratification des bancs calcaréo-dolomitique, il a été observé de petits niveaux de marnes noires qui ralentissent l'infiltration des eaux et peuvent donner naissance à des émergences perchées. Le mur imperméable de l'aquifère est constitué par des assises marneuses du sommet du Lusitanien.

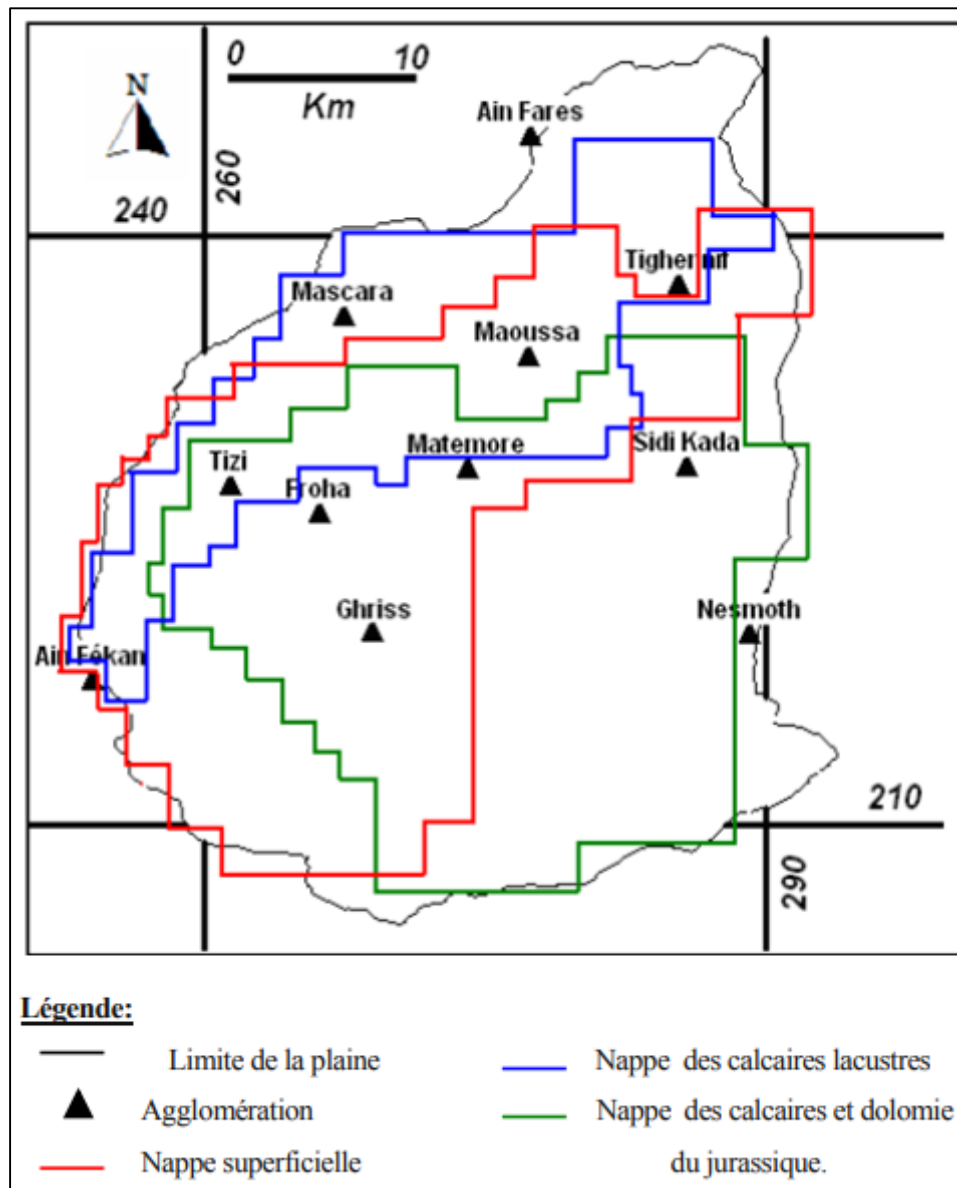


Fig.III.6 : les nappes principales de la plaine de Ghriss (Bacoussa2004)

III.6.3. Limites des nappes

III.6.3.1. Limites horizontales

- a) **Nappe alluvionnaire** : Cette nappe est limitée géologiquement par l'interruption de cette formation sur les bordures.
- b) **Nappe des calcaire et grés du pliocène** : Cette nappe est limitée hydro géologiquement par une ligne de partage des eaux souterraines au Sud et Sud-Est au Nord. Cette nappe est limitée géologiquement par le biseautage de cette dernière sous les marnes Miocène.
- c) **Nappe du Jurassique supérieur** : Cette nappe est limitée hydro géologiquement par une ligne de partage des eaux souterraines au Sud et Sud-Est au Nord. Cette nappe est limitée géologiquement par le biseautage de cette dernière sous les marnes Miocène.

III.6.3.2. Limite des épontes

- a) **Nappe Alluvionnaire** : Le mur de cette nappe est constitué par les marnes bleues du Miocène. Le toit correspond à la surface lithologique de la nappe.
- b) **Nappe des calcaires et grés du Pliocène** : Le toit de cette nappe est libre au Nord et captif sous les marnes miocène dans la plaine.
- c) **Nappe du Jurassique supérieur** : Le toit de cette nappe est constitué par les marnes Miocène au Nord dans la plaine et par la surface libre piézoélectrique au Sud. Le mur est formé par les argiles Callovo-oxfordienne et la roche saine de dolomies.

III.6.4. Fonctionnement du système aquifère :

III.6.4.1. Nappe superficielle

Cette nappe s'étend presque sur la totalité de la plaine avec une superficie de 650 m². Elle est uniforme et continue dans toute la partie abaissée et remblayée de la plaine. Hétérogène et discontinue sur les reliefs des bordures, elle est renfermée dans les dépôts alluvionnaires et dans les terrains d'altération des roches sous-jacentes. L'aquifère est constitué par des sables, des grés, des calcaires blancs altérés, poreux et fissurés, des sables de désagrégation, des argiles sableuses et détritiques. Ce qui entraîne des variations locales des paramètres hydrauliques. La nappe est limitée géologiquement par l'interruption de l'aquifère sur les bordures. (B.Sourisseau, 1972).

- Alimentation de la nappe superficielle :

Cette nappe superficielle est alimentée par l'infiltration des eaux de pluies, dont on a vu qu'elle était importante. Le taux d'infiltration efficace est estimé à environ 20% des précipitations sur la plaine. A cela viennent s'ajouter les retours à la nappe sur les zones irriguées évaluées en première approximation à 10% des débits prélevés pour l'agriculture. La nappe reçoit par ailleurs une partie des eaux de crue et la totalité des débits de base des oueds Moussa et Froha, Qui se perdent entre l'entrée de ces oueds dans la plaine et l'exutoire de l'oued Fekan, de plus

Chapitre III ————— Descriptions de la zone d'étude

de nombreux thalwegs récoltent le ruissellement sur les monts Beni Chougrane et les montagnes de Saida, et viennent aboutir aux bordures de la nappe phréatique, apportant un débit d'alimentation parfois important. L'exutoire naturel de la nappe phréatique est constitué en majorité par les sources d'Ain Fekan. Une partie du débit souterrain poursuit son écoulement en profondeur à l'aval du bassin.

III.6.4.2. La nappe des calcaires lacustres, sables et grés du Pliocène

Est une nappe libre dans les monts Beni Chougrane, captive sous la plaine et localisée à la moitié occidentale de la plaine sur une superficie de "125,1 Km²" l'aquifère est constitué par une formation hétérogène de grande extension. L'artésianisme de la nappe est favorisé par la différence de perméabilité, diminution vers Ain Fekan, Tizi. En profondeur, cette nappe s'individualise de la nappe superficielle par la variation verticale de la perméabilité, il y aurait donc mise en charge importante.

- Alimentation de la nappe calcaire et grés du Pliocène :

Cette nappe est alimentée par les affleurements de Beni Chougrane où l'on estime le taux d'infiltration efficace à 12 % des précipitations. Dans la plaine les calcaires lacustres se trouvent à une charge supérieure à la fois à la nappe phréatique et aux dolomies du Jurassique.

À l'Est les grés de Tighennif sont également mis en charge dès que l'on atteint la plaine. Le principal exutoire naturel de cet aquifère est donc constitué par la nappe phréatique vers laquelle les eaux du Pliocène percolent à travers leur toit marneux. Une percolation en profondeur vers le Jurassique est peu probable et en tous cas de faible importance en raison de l'épaisse formation de marnes vertes qui sépare les deux couches.

L'oued Moussa constitue également un exutoire pour la partie libre de Tighennif dont le drainage constitue le débit de base de l'oued.

III.6.4.3. La nappe des calcaires et dolomies du Jurassique supérieur

Cette nappe est localisée dans la partie supérieure des calcaires dolomitiques qui sont fissurés et karstiques, son impluvium est vaste. Il occupe toute la partie Sud de la plaine. Le cheminement des cours d'eau s'effectue au niveau des fissures karstiques.

Le toit est constitué par une épaisse formation de marnes vertes au Nord (entre 100 et 500m) passant vers le Sud-Est et l'Ouest des argiles rouges moins épaisses (20 à 25 m).

- Alimentation de la nappe du Jurassique :

La nappe du Jurassique est exploitée par de nombreux forages. Destinés aussi bien à l'alimentation, elle est limitée hydro géologiquement par une ligne de partage des eaux souterraines au Sud et Sud - Est. Le compartiment occidental, ou aval est alimenté par les affleurements des Djebels Enfouss et Bou Ghaddou. Là, l'aquifère est caractérisé par une perméabilité en grande importance, mise en évidence en deux points et communique directement avec la nappe phréatique sur une grande superficie : Ain Fekan constituent l'exutoire naturel de la nappe.

III.6 .5. Piézométrie de la zone d'étude

III.6.5.1. Carte piézométrique de la plaine de Ghriss

La distribution des charges hydrauliques d'une nappe est représentée par la morphologie de la surface piézométrique. Cette dernière est figurée par le sens des lignes équipotentielles. La surface piézométrique est définie par l'ensemble des courbes d'égalité de niveaux piézométriques qui correspondent à des lignes équipotentielles.

La carte piézométrique de la plaine de Ghriss a été établie à partir des relevés des niveaux statiques de 27 puits dans la période des basses eaux en Mai 2009.

La carte piézométrique indique un écoulement général vers le Sud-Ouest. La profondeur de la surface piézométrique varie de 370 à 570m.

La nappe superficielle est alimentée à l'Est par les plateaux de Tighennif où une partie du débit souterrain poursuit son écoulement pour alimenter l'oued Moussa, toutefois au sud-ouest à Ain Fekan les lignes de courant convergent vers Ain Fekan et alimentent ces sources.

Plus au nord, les forages constituent un exutoire des eaux souterraines de la plaine ainsi que les monts de Beni chougane au sud-ouest.

Au nord de Tizi le gradient hydraulique devient fort et les lignes de courant tracent une zone d'alimentation dans cette partie.

À l'Est au sud de Sidi Kada une autre zone d'alimentation s'étend avec un gradient hydraulique fort où ces eaux sont drainées par l'oued de MOUSSA, et une partie s'écoule vers le sud, vers Nesmoth. Au centre de la plaine, à Matemore et Moussa, les lignes de courant convergent et le gradient hydraulique devient relativement faible, indiquant une zone d'exploitation (pompage).

III.6.5.2. Evaluation des paramètres hydrodynamiques

L'expression généralisée de la loi de Darcy dégage trois grands groupes de paramètres de l'écoulement de l'eau souterraine dans les aquifères.

A) Transmissivités : La transmissivité est le produit du coefficient de perméabilité (K) par l'épaisseur de l'aquifère (b). Elle s'exprime en (m^2/s). La répartition des valeurs de la transmissivité établie par (Souriceau 1974) est assez homogène sur la partie basse de la plaine de Ghriss. Elle est plus forte dans la moitié Sud ($10^{-3} m^2/s$) que dans la moitié Nord ($5 \times 10^{-4} m^2/s$). Pour le Pliocène, la transmissivité est de [10^{-5} à $4,85 \times 10^{-3} m^2/s$] (Souriceau 1974). La transmissivité est variable. Elle augmente dans le sens de l'écoulement des eaux. Plus on se rapproche de Ain Fekan, plus la nappe du substratum Jurassique est fissurée et karstique. Elle est comprise entre [10^{-4} et 10^{-2}] (Souriceau 1974).

B) Coefficient d'emmagasinement : C'est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par l'unité de la surface de l'aquifère à la variation de charge hydraulique correspondante. Pour la nappe libre, le coefficient d'emmagasinement est établi par

Chapitre III ———— Descriptions de la zone d'étude

“Souriceau “ est compris entre [0.1 et 0,25], ceci implique que la nappe libre à une porosité élevée. Pour la nappe des calcaires lacustres, le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de 3 à 5×10^{-3} . Pour la nappe des calcaires dolomitiques du Jurassique le coefficient d'emmagasinement est environ de 3×10^{-3} à 0,05 (Souriceau 1974).

C) Perméabilité : C'est le volume d'eau gravitaire traversant le sol, en l'unité de temps, sous l'effet de l'unité de gradient hydraulique, et par unité de section. Elle s'exprime en (m/s).

Les perméabilités verticales d'après (Souriceau 1974) sont :

- Marnes blanches : $K = 10^{-7}$ m/s
- Argues rouges : $K = 10^{-8}$ m/s
- Marnes vertes $K = 10^{-10}$ m/s

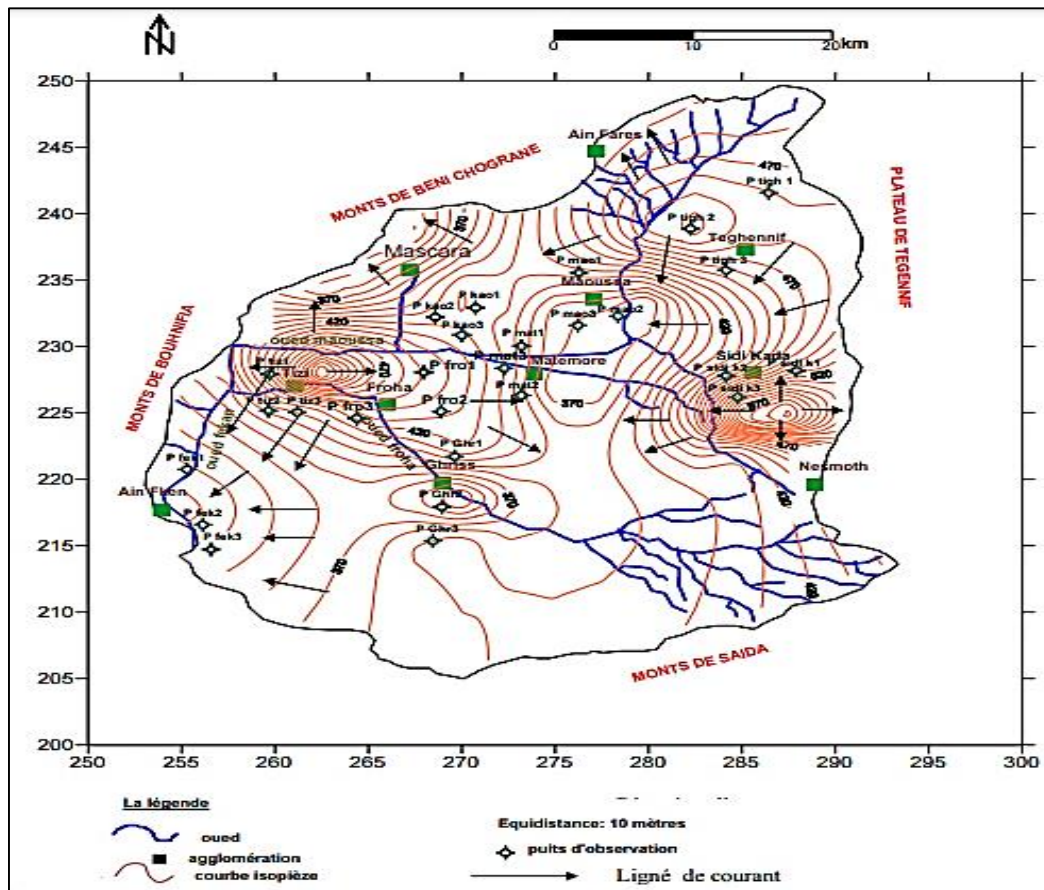


Fig.III.7 : Carte piézométrique de la plaine de Ghriss [basses eaux, 2009].

III.6.6. Conclusion (Hydrogéologie)

Le bassin versant de la zone d'étude est représenté par les trois principales nappes suivantes :

- Nappe du Quaternaire alluvionnaire qui s'étend sur une superficie de 605 Km².
- Nappe des calcaires lacustres, des grés et sables de Pliocène, qui occupent une superficie de 125,1Km².

Chapitre IV
Mise en œuvre et
Application

IV.1. Collecte des données

Les données hydro chimiques des eaux souterraines utilisées dans cette application ont été recueillies auprès de l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de la wilaya de Mascara. Ces données correspondent aux analyses chimiques de 60 puits sélectionnés de la nappe pliocène durant la période juillet à novembre 2002. Le tableau III.1 montre les données relatives à ces points d'eau.

Les 60 puits utilisés dans cette étude, sont illustrés sur la carte de localisation présentée dans la figure IV.1

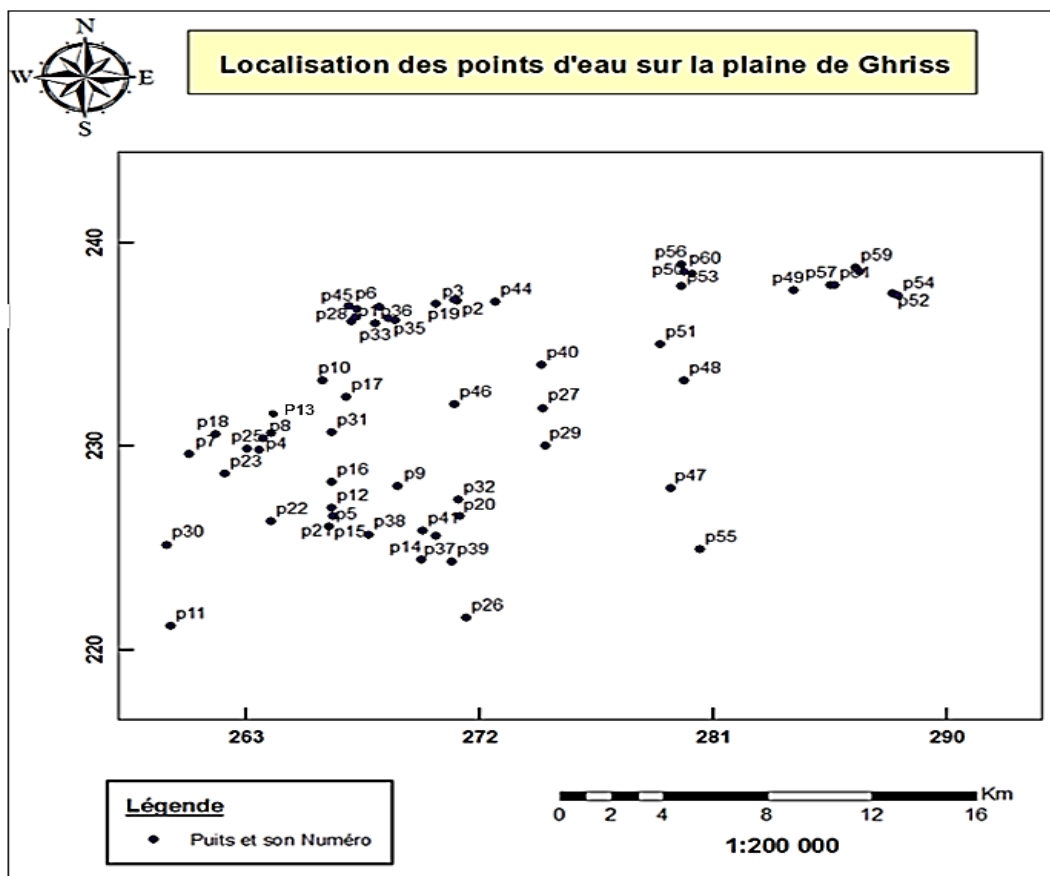


Fig.IV.1. Localisation des puits étudiés sur la zone d'étude avec le logiciel ArcGis.

Chapitre IV ————— Mise en œuvre et Application

N° puits	Y(m)	X(m)	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3 mg/l	Hco3 mg/l	NO3 mg/l	P H	EC	TDS
p1	267,10	236,10	71,8	85,0	79,4	2,2	260,9	156,4	54,0	258,2	31,3	8,8	1500	930
p2	271,13	237,16	80,0	63,4	134,4	1,0	186,0	84,0	0,0	368,0	42,6	8,2	1460	905
p3	270,35	236,98	79,0	97,0	89,6	2,0	211,0	106,0	11,0	312,0	54,2	8,4	1460	905
p4	263,54	229,80	127,9	127,6	229,6	5,0	443,7	299,0	29,5	278,0	16,0	8,4	2800	1736
p5	266,23	226,05	70,0	94,3	51,0	1,0	148,0	96,0	0,0	309,0	84,3	8,3	1300	806
p6	267,00	236,90	80,0	57,0	81,0	2,0	126,0	96,0	0,0	336,0	63,0	7,9	1120	771
p7	260,83	229,63	110,0	100,0	146,0	8,0	395,0	168,0	0,0	263,0	13,6	8,0	1900	1442
p8	263,70	230,38	100,5	100,0	184,3	4,0	400,0	144,0	0,0	326,0	58,1	8,3	1700	1290
p9	268,86	228,05	64,4	61,1	59,4	2,6	129,0	53,0	0,0	339,0	31,0	7,6	900	683
p10	265,95	233,22	108,9	97,4	161,5	5,2	400,0	160,0	0,0	241,0	72,6	7,8	2000	1518
p11	260,13	221,20	86,7	87,7	51,0	2,0	208,0	72,0	0,0	374,0	35,8	8,0	1100	835
p12	266,34	226,98	58,0	55,4	34,4	2,0	82,0	29,0	0,0	374,0	4,8	8,0	700	501
p13	231,00	264,45	80,2	100,6	161,3	7,0	348,0	150,0	8,0	244,0	26,1	8,4	1600	1214
p14	269,75	224,43	79,0	100,0	46,0	1,0	148,0	84,0	0,0	356,0	84,3	8,3	1430	887
p15	266,23	226,05	52,0	94,3	51,0	1,0	148,0	96,0	0,0	309,0	84,3	8,3	1300	806
p16	266,33	228,25	57,0	56,2	54,2	2,8	95,0	34,0	6,0	397,0	9,7	8,4	800	573
p17	266,89	232,43	144,0	115,8	242,0	9,8	511,0	250,0	0,0	357,0	79,4	7,8	2750	1705
p18	261,85	230,60	92,0	95,0	127,0	5,0	420,0	153,3	0,0	245,4	19,0	7,9	1810	1122
p19	271,05	237,18	148,0	117,1	200,0	2,4	486,0	190,0	0,0	300,0	67,8	7,8	2720	1686
p20	271,23	226,55	73,2	14,8	42,4	3,9	65,7	37,3	37,3	291,4	25,2	8,3	952	590
p21	266,38	226,55	49,0	59,0	23,0	2,0	59,0	55,0	0,0	339,0	13,6	8,3	840	521
p22	264,00	226,30	60,0	76,0	62,0	4,0	142,0	72,0	11,0	315,0	15,5	8,5	1180	732
p23	262,23	228,65	120,0	130,0	189,0	3,0	566,0	200,0	10,0	278,0	25,2	8,4	2680	1662
p24	263,96	230,63	135,0	97,0	230,0	3,0	549,0	230,0	0,0	282,0	20,4	7,7	2730	1693
p25	263,08	229,88	125,0	128,0	207,0	3,0	536,0	220,0	0,0	258,0	15,2	8,2	2790	1730
p26	271,50	221,60	60,0	79,2	28,9	2,4	139,0	73,0	0,0	296,0	29,0	8,2	1030	639
p27	274,45	231,88	80,0	66,0	154,0	4,0	304,0	94,0	16,0	247,0	5,8	8,4	1500	930
p28	267,23	236,33	98,0	65,0	138,0	5,0	266,0	120,0	0,0	220,0	79,4	8,2	1510	936
p29	274,53	230,03	56,1	73,3	63,0	3,9	197,0	55,0	0,0	329,0	16,5	8,3	1100	835
p30	259,95	225,18	129,0	125,0	240,0	0,5	600,0	260,0	17,0	270,0	16,5	8,4	2700	2049
p31	266,30	230,68	103,9	95,0	150,0	4,4	427,0	163,0	0,0	317,0	16,5	8,2	2000	1518
p32	271,18	227,38	66,0	54,8	42,4	1,8	95,0	38,0	0,0	352,0	25,2	8,0	800	573
p33	268,75	236,15	125,0	95,0	184,5	7,0	441,0	228,0	0,0	365,0	49,2	8,1	2350	1457
p34	268,13	236,83	91,0	66,3	97,1	7,5	159,6	154,4	0,0	271,6	60,0	8,2	1550	961
p35	268,50	236,25	125,0	95,0	170,0	0,8	452,0	180,0	0,0	339,0	38,7	8,1	2240	1389
p36	268,00	236,00	118,9	89,0	140,6	7,0	268,0	168,0	0,0	332,0	92,0	8,2	2080	1290
p37	270,33	225,60	124,0	120,0	196,0	2,0	574,0	152,0	0,0	280,0	58,1	8,2	2740	1699
p38	267,73	225,68	35,0	43,0	30,0	4,0	35,9	26,0	12,9	271,6	25,8	8,5	727	451
p39	270,95	224,35	39,0	58,0	14,0	2,0	75,3	26,0	13,9	264,3	14,7	8,5	719	446
p40	274,42	233,98	114,0	100,0	161,0	1,0	414,0	144,0	0,0	262,0	24,2	8,3	2230	1383

Chapitre IV ————— Mise en œuvre et Application

p41	269,83	225,85	39,0	61,8	14,0	1,0	47,6	63,6	12,6	277,7	18,2	8,4	744	461
p42	256,68	225,75	87,0	85,0	95,0	8,0	250,0	130,0	0,0	230,0	53,3	9,0	1400	868
p43	256,48	225,85	95,0	115,0	220,0	11,0	530,0	210,0	0,0	262,0	65,0	8,6	2400	1488
p44	272,60	237,10	65,0	60,8	66,1	2,6	136,0	96,0	0,0	272,0	20,3	8,6	1200	744
p45	267,28	236,75	84,4	61,0	48,6	1,0	104,5	122,1	0,0	243,7	60,0	8,8	1500	930
p46	271,03	232,05	53,1	85,3	150,0	6,0	388,0	106,0	0,0	279,0	13,6	8,3	1500	1139
p47	279,35	227,92	58,0	59,5	12,0	1,0	51,0	37,0	7,0	378,0	19,4	8,1	955	592
p48	279,90	233,24	135,0	100,0	240,0	4,0	530,0	196,0	14,0	228,0	19,4	7,7	2810	1742
p49	284,10	237,65	48,0	40,6	71,8	4,5	146,2	57,3	0,0	267,4	11,7	7,1	700	434
p50	280,18	238,47	70,6	57,7	81,0	3,0	136,0	96,0	6,0	301,0	5,8	8,6	1200	744
p51	278,96	234,98	80,0	79,8	104,0	4,0	279,0	101,0	11,0	267,0	11,6	8,8	1500	930
p52	287,90	237,50	85,0	80,0	145,0	3,2	374,0	120,0	0,0	372,0	64,9	7,9	2000	1240
p53	279,77	237,87	120,0	103,0	230,0	3,0	520,0	190,0	0,0	258,0	43,6	8,1	2580	1600
p54	288,10	237,40	135,0	101,0	239,0	13,0	528,0	252,0	0,0	255,0	50,4	8,1	2800	1736
p55	280,50	224,95	145,0	98,0	225,0	3,0	524,0	168,0	0,0	245,0	89,1	8,0	2720	1686
p56	279,77	238,90	118,0	83,0	136,0	8,0	351,0	145,0	6,0	351,0	43,6	8,4	2000	1240
p57	285,50	237,90	123,0	85,0	110,0	3,0	363,0	134,0	0,0	258,0	60,0	7,8	2170	1345
p58	286,65	238,55	125,0	95,0	156,0	3,0	405,4	108,4	0,0	260,6	62,0	8,1	2230	1383
p59	286,50	238,77	115,0	93,0	161,0	3,0	451,0	108,0	0,0	255,0	82,3	8,0	2160	1339
p60	279,87	238,58	145,0	102,0	218,0	4,0	550,0	180,0	0,0	301,0	84,4	8,3	2700	1674
p61	285,67	237,90	110,0	80,0	110,0	5,0	334,0	168,0	0,0	258,0	15,5	7,9	1940	1202

IV.2. Méthode d'analyse

La distribution spatiale des paramètres chimiques des eaux souterraines est analysée à l'aide d'un logiciel SIG. La version 10.8 du logiciel ArcGis a été utilisée dans cette étude. Dans cette recherche, la classification des valeurs de concentration pour identifier la qualité de l'eau potable l'eau suit l'approche de McNeely et al (1979).

La procédure d'application de la méthodologie dans le cadre du logiciel SIG : ArcGis pour l'analyse spatiale de la chimie des eaux souterraines de la plaine de Ghriss est illustrée à la Fig. IV.2.

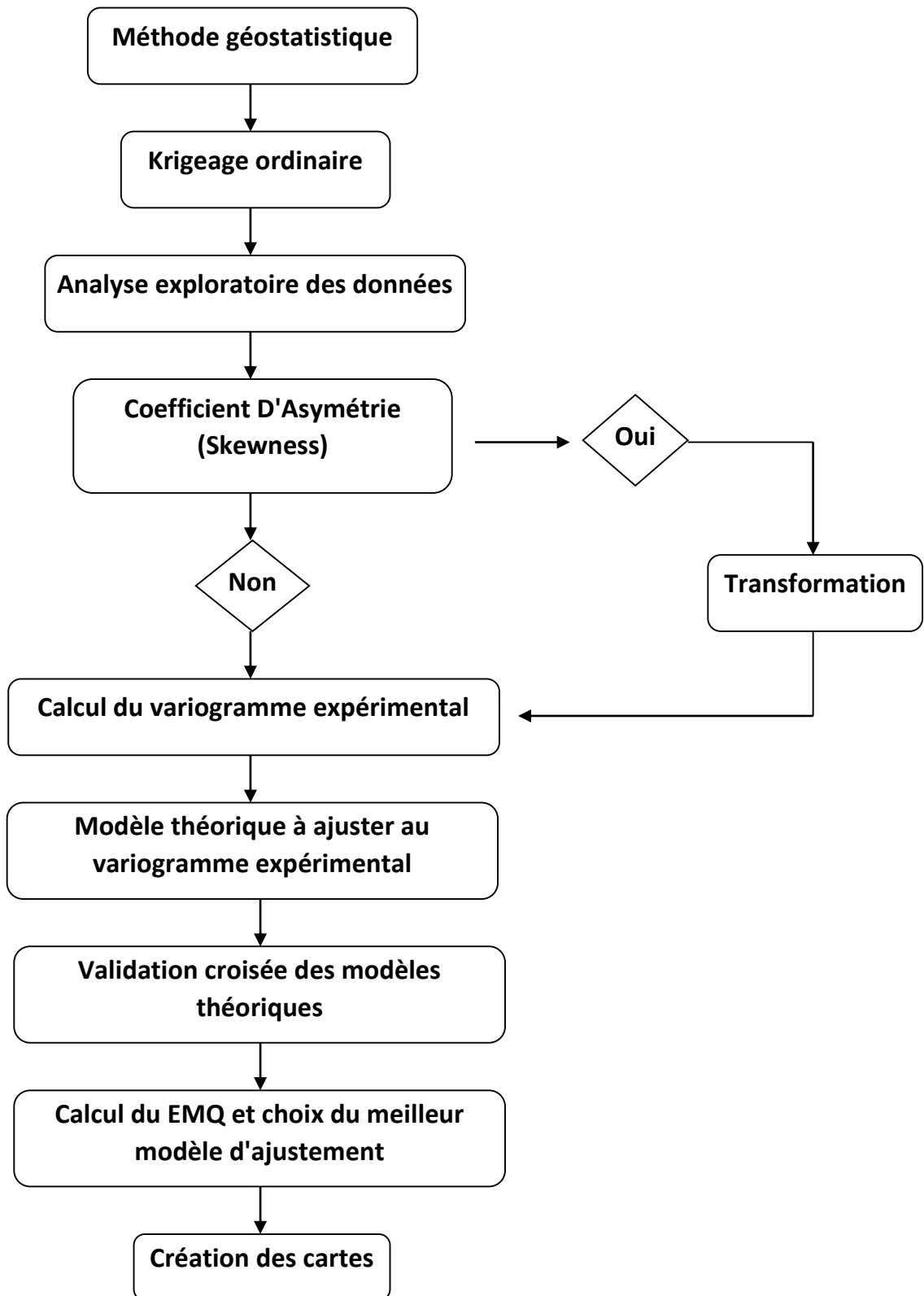


Fig.IV.2 : Organigramme des étapes suivies pour l'analyse géostatistique.

Afin d'appliquer l'organigramme de la méthodologie adoptée, les étapes suivantes ont été suivies :

1. Analyse exploratoire des données.
2. Vérifier la normalisation des données et transformation.
3. Calcul du semi-variogramme expérimental.
4. Choix d'un semi-variogramme théorique pour ajuster l'expérimental.
5. Calcul des paramètres du semi variogramme théorique.
6. Calcul du EMQ et validation croisée.

Génération de la carte finale de la distribution spatiale des éléments hydrochimiques de la plaine de Ghriss.

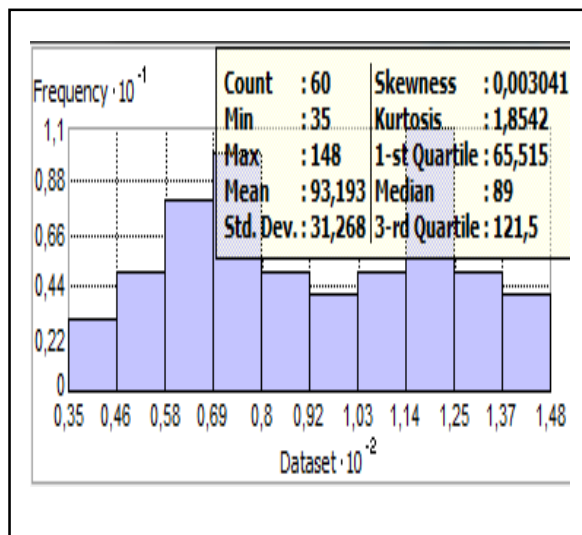
IV.2.1. Analyse exploratoire des données par Histogramme

Une analyse exploratoire des données spatiales à l'aide de l'outil "AEDS" (ESDA : Exploratory Spatial Data Analysis), disponible sur le logiciel ArcGis, a été réalisée. Cet outil permet la visualisation, l'analyse et l'étude de la distribution spatiale des données hydrochimique des eaux souterraines.

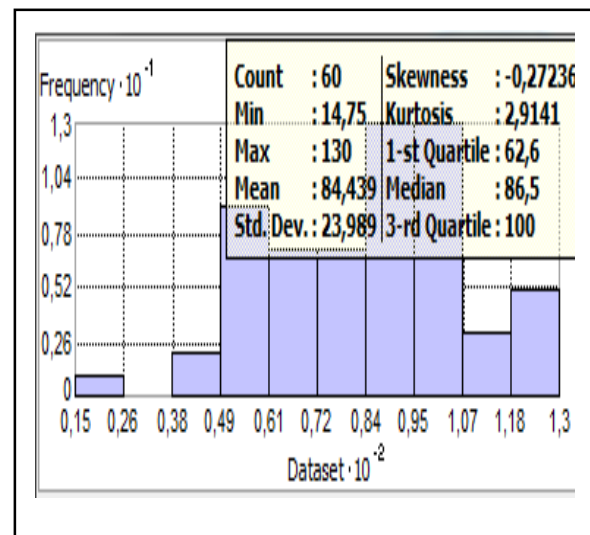
Parmi les outils disponibles pour l'exploration des données, l'outil exploration par histogramme est choisi. Cet outil donne une description détaillée de la distribution de fréquences des données hydrochimique de la zone d'étude.

Les histogrammes, de la figure IV.3, sont des graphiques à barres qui indiquent la fréquence à laquelle les valeurs des données hydrochimiques tombent dans certaines classes.

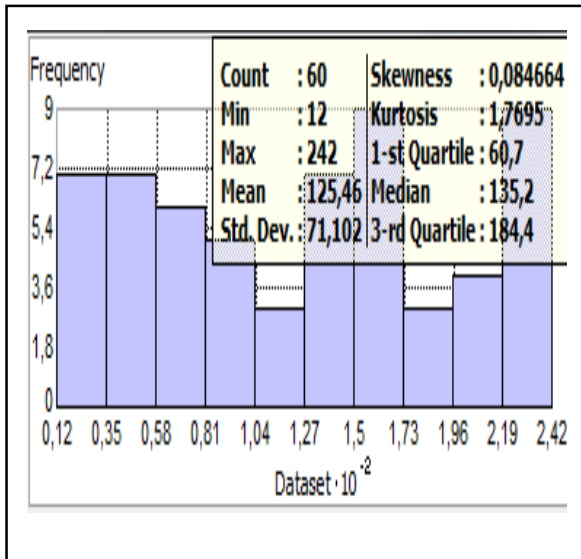
Ca⁺



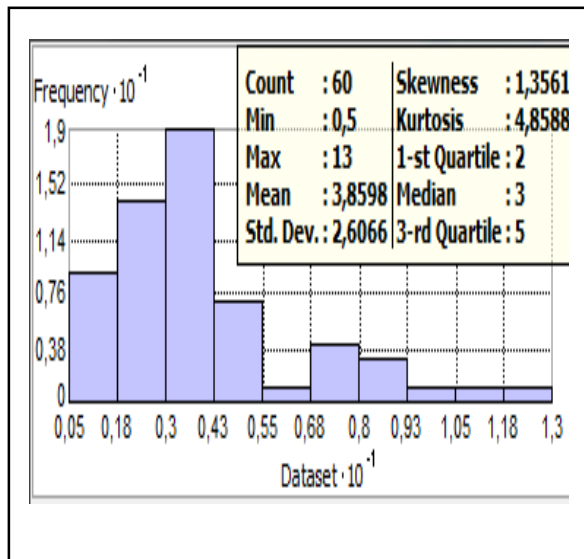
Mg⁺



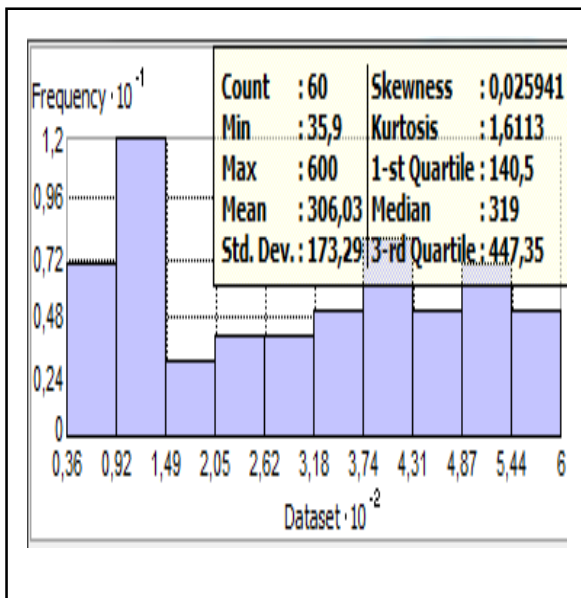
Na+



K+



Cl-



No3-

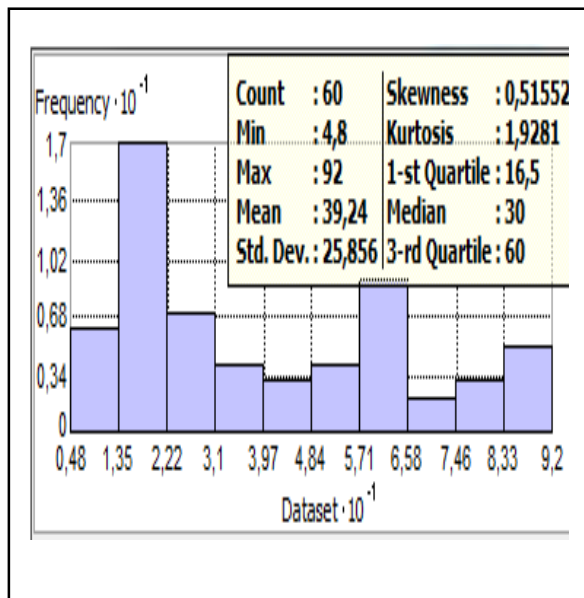
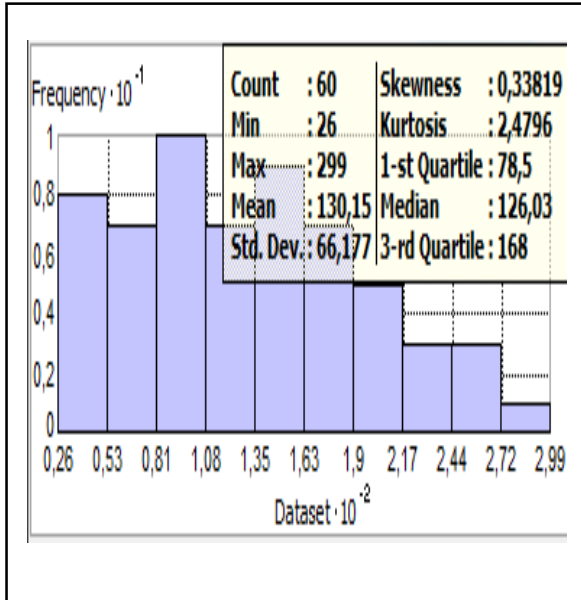
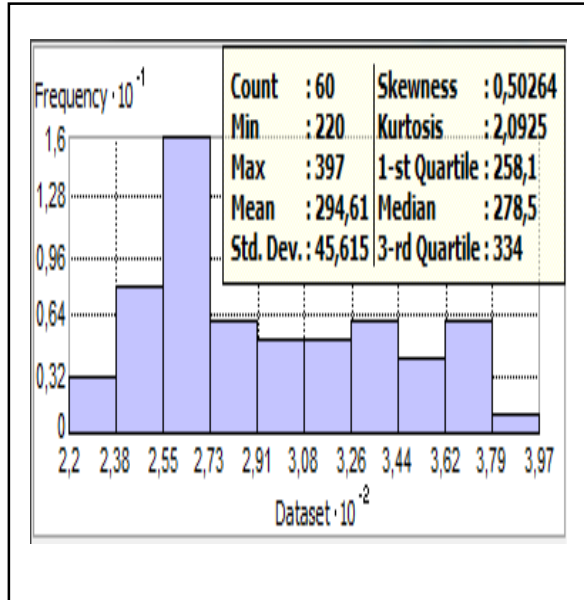


Fig.IV.3 : analyse exploratoire des données hydrochimique par histogramme.

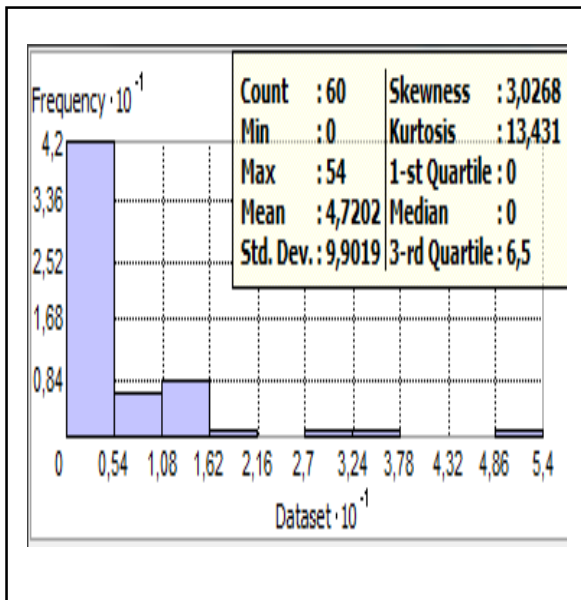
So4-



Hco3-



Co3-



Ph

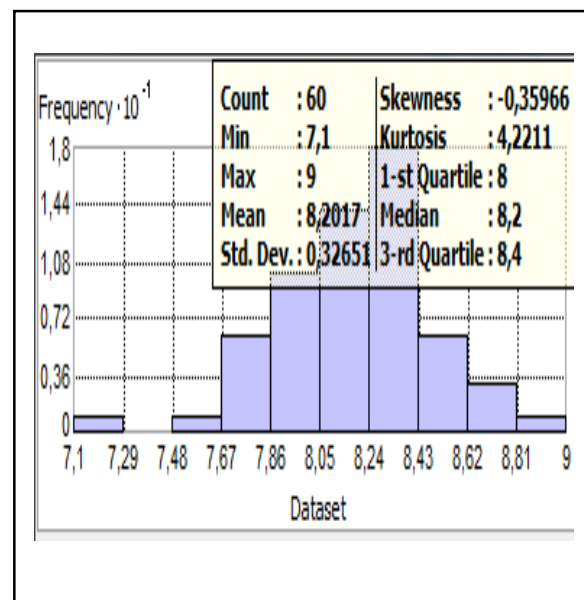
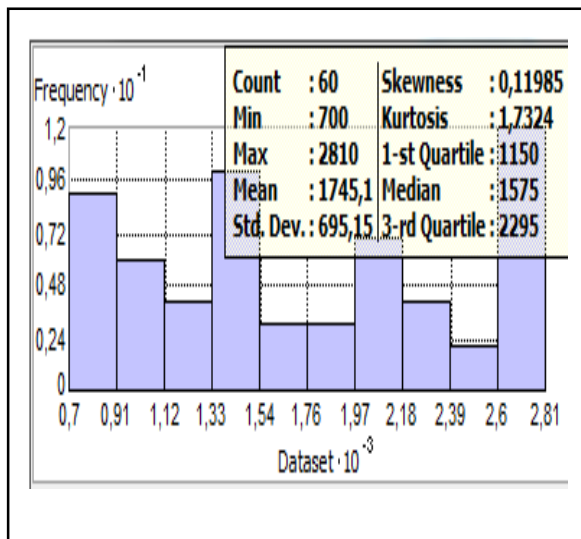


Fig.IV.4 : analyse exploratoire des données hydrochimique par histogramme.

Ec



TDS

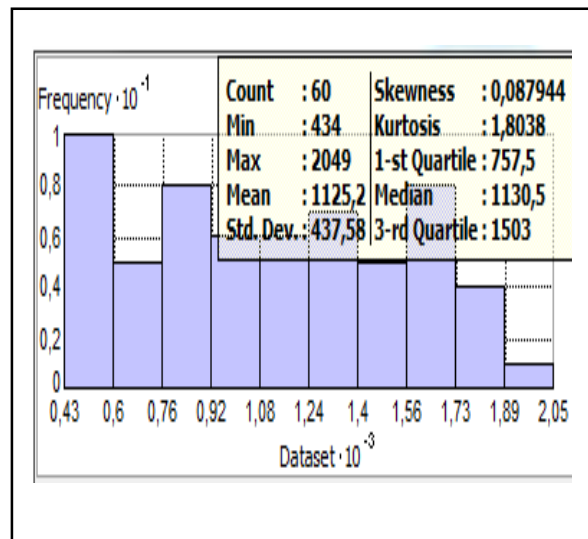


Fig.IV.5 : analyse exploratoire des données hydrochimique par histogramme.

Les tableaux des statistiques présentés sur les cartes de la figure IV.3, nous renseigne sur les valeurs de distribution relatives à chaque paramètre hydrochimique de la plaine de Ghriss, à savoir : la moyenne, la médiane, les premier et troisième quartiles, le coefficient d'asymétrie (skewness), le coefficient d'aplatissement (Kurtosis).

Certaines méthodes de krigeage fonctionnent mieux si les données sont approximativement distribuées normalement (la courbe en forme de cloche). Une distribution de valeur normale suppose qu'elle possède un coefficient d'asymétrie nul.

Dans cette étude, tous les éléments chimiques sont caractérisés par un coefficient d'asymétrie presque nul. À l'exception des deux paramètres : CO₃ et K. Ces deux paramètres nécessiteront par la suite une transformation normale pour procéder à l'interpolation par la suite.

IV.2.2. Transformation des données avec distribution non normale

Les transformations des données initiales peuvent être utilisées pour rendre les données normalement distribuées et satisfaire l'hypothèse d'une variabilité égale pour tous l'ensemble. Deux types de transformations sont disponible dans les outils histogramme de Geostatistical Analyst, notamment la Box Cox (également connue sous le nom de transformation exponentielle) et logarithmique.

Chapitre IV ————— Mise en œuvre et Application

En procédant à la transformation du paramètre potassium "K" avec la fonction logarithmique de l'outil histogramme de Geostatistical Analyst de ArcGis, on obtient une distribution normale de cet paramètre (Voir la figure IV.4)

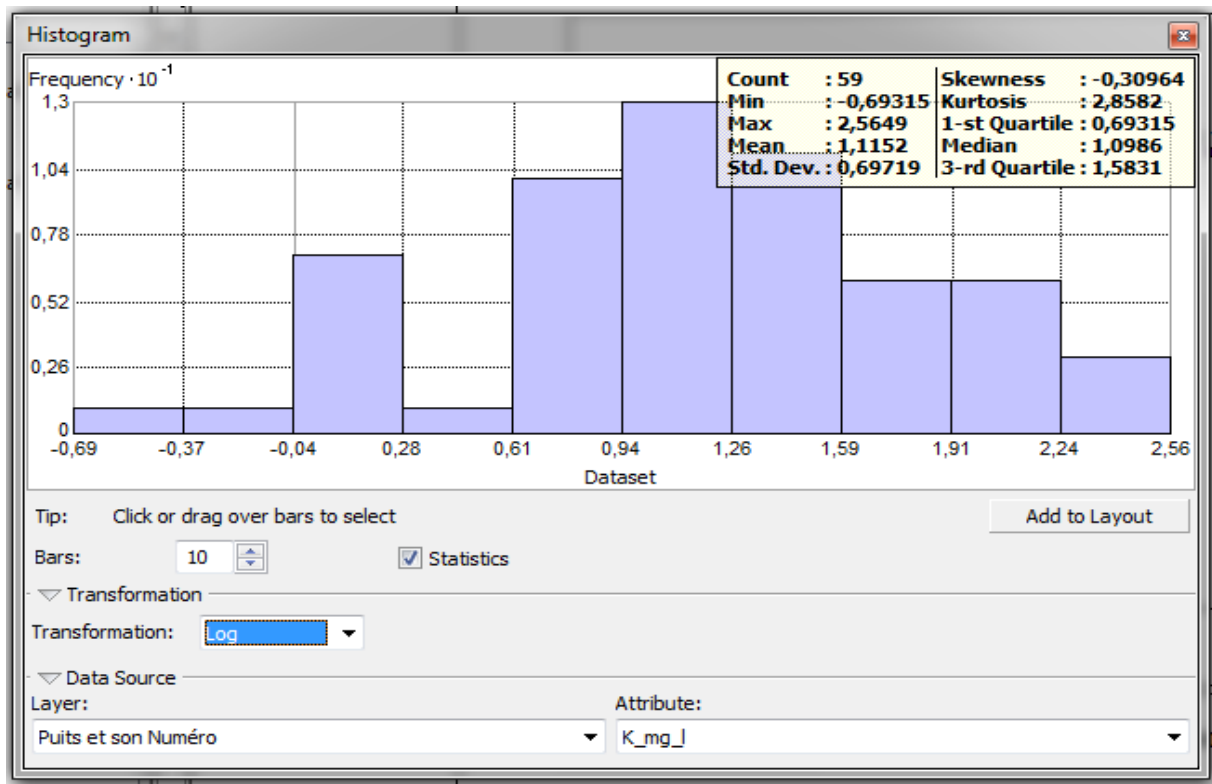


Fig. IV.6 : Transformation logarithmique du paramètre "K"

Pour le paramètre le trioxyde de carbone "CO₃", la plus part des données ont la valeur zéro, les autres valeurs sont très distinctes et pour cette raison aucune des deux transformations disponibles dans le logiciel ne peut être appliqué pour transformer la distribution de ces données en distribution normale. Cet élément ne peut être donc, traiter et interpoler via les méthodes géostatistiques.

IV.2.3. Semi-variogramme expérimental et théorique

Le semi-variogramme expérimental, des données hydrochimiques des eaux souterraines de la plaine de Ghriss, et sa modélisation a été effectué à l'aide du logiciel ArcGis. La figure IV.6 présente cette étape de calcul et modélisation avec la légende suivante :

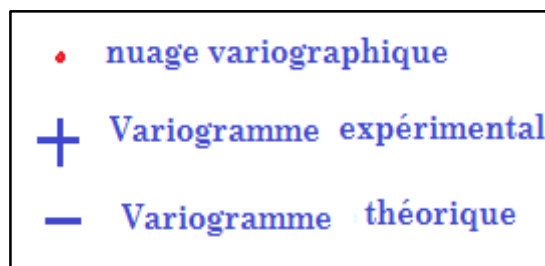
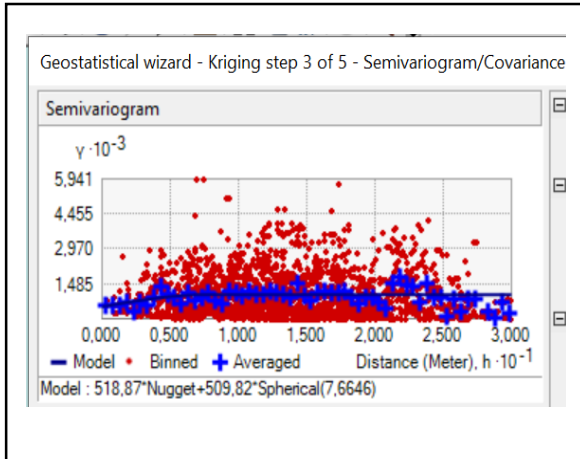
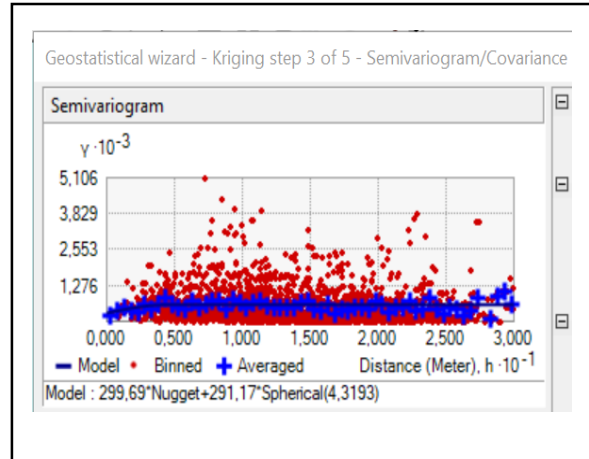


Fig.IV.7 : Légende semi-variogramme expérimentaux et théorique

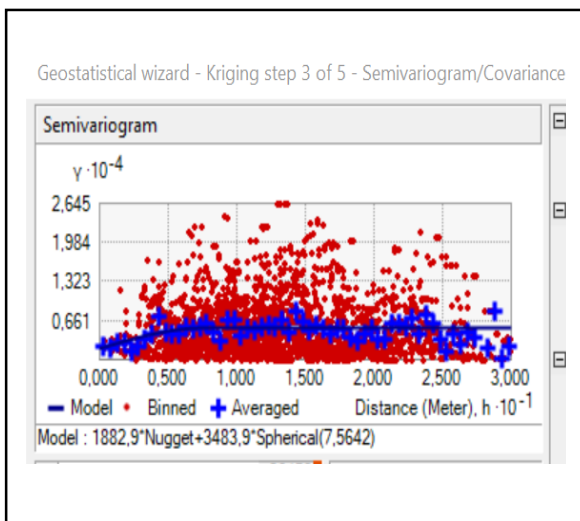
Ca+



Mg+



Na+



K+

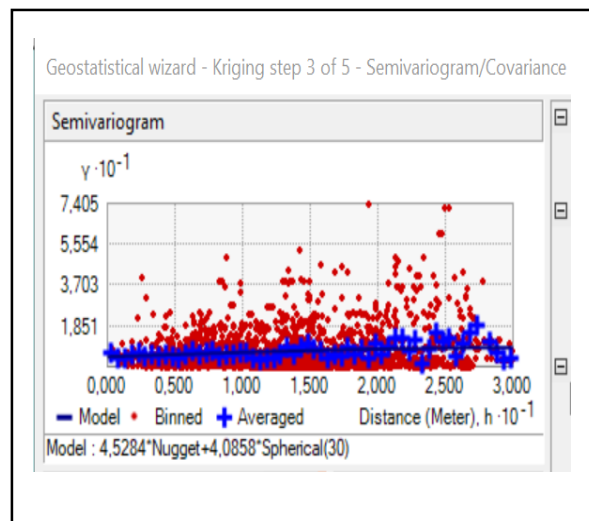
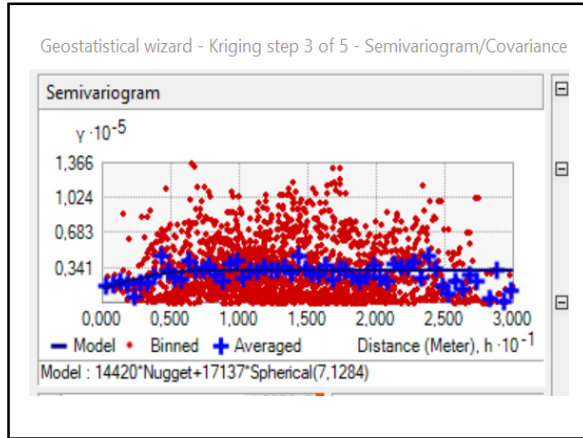
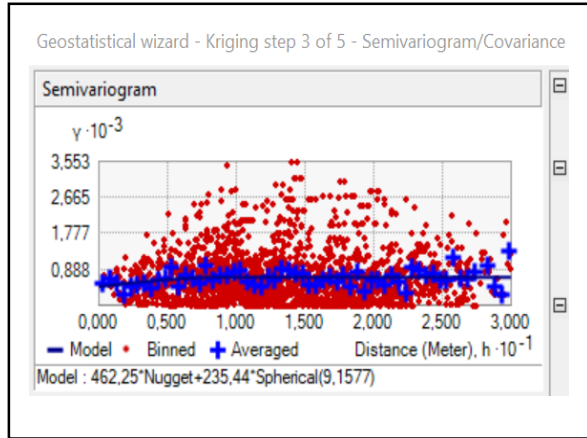


Fig.IV.8 : Semi-variogramme expérimentaux et théoriques des éléments hydrochimiques de la plaine de Ghriss.

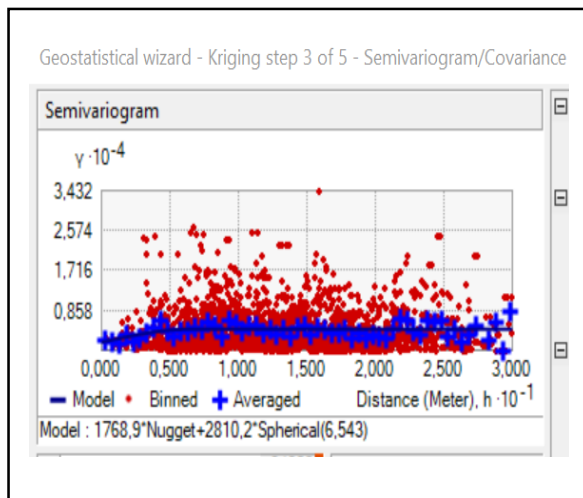
Cl-



No3-



So4-



Hco3-

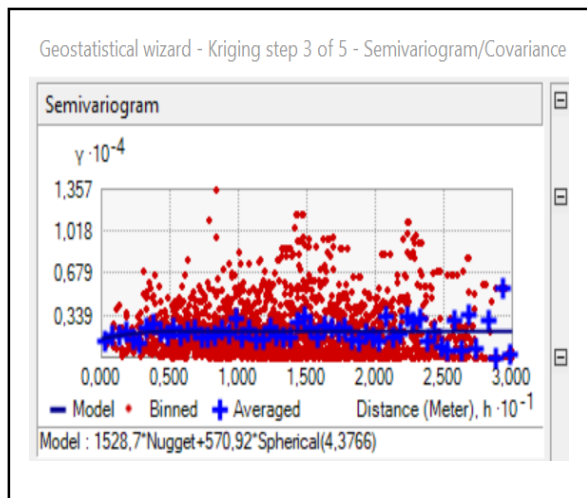
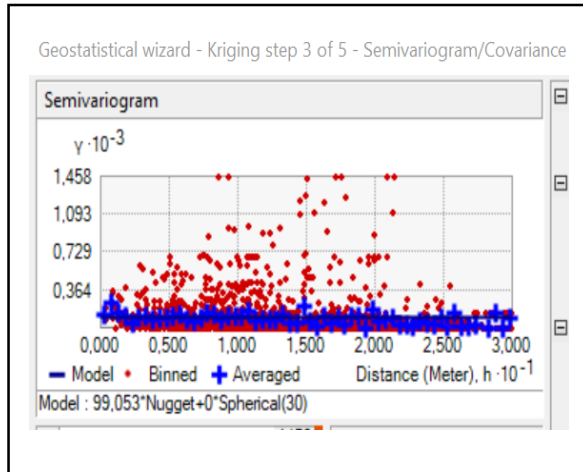
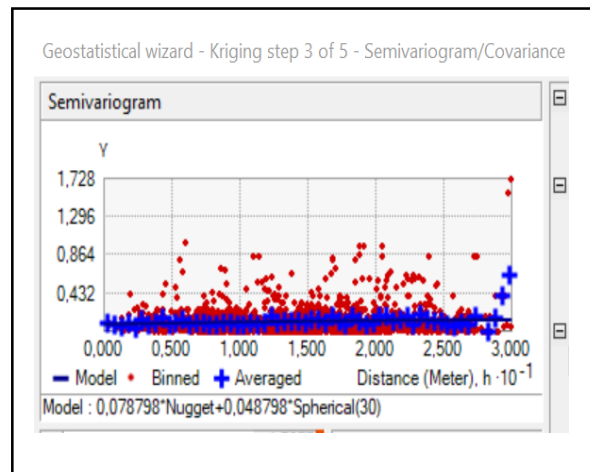


Fig.IV.9 : Semi-variogramme expérimentaux et théoriques des éléments hydrochimiques de la plaine de Ghriiss.

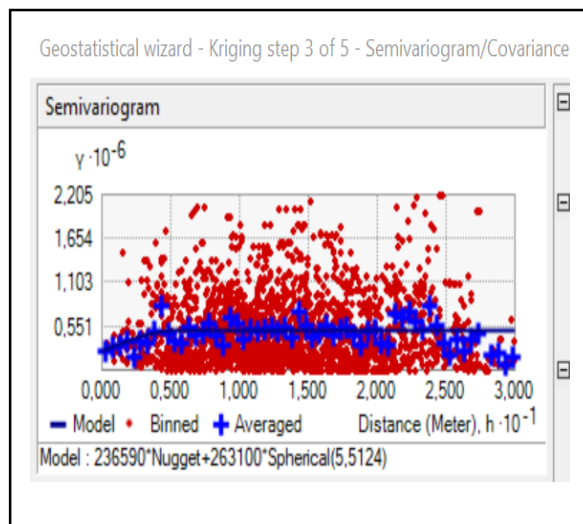
Co3-



Ph



Ec



TDS

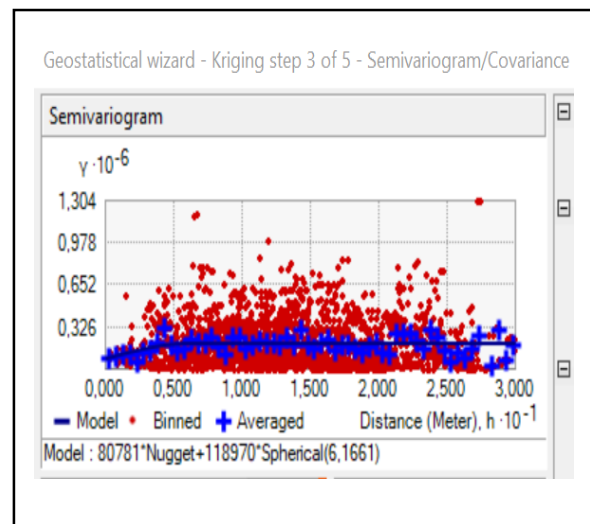


Fig.IV.10 : Semi-variogramme expérimentaux et théoriques des éléments hydrochimiques de la plaine de Ghriss.

Chapitre IV ————— Mise en œuvre et Application

IV.2.4. Modèles du semi-variogramme théorique

Trois modèles de semi-variogramme théoriques ont été testés pour ajuster le modèle expérimental. La figure 8 présente l'ajustement d'un modèle théorique 'sphérique' au modèle expérimental.

Le tableau suivant présente les modèles théoriques testés et leurs paramètres :

Paramètre Hydrochimique	Pas de calcul (Lag)	Modèle Sphérique			Modèle Exponentiel			Modèle Gaussien		
		Effet de pépité	Palier	Portée	Effet de pépité	Palier	Portée	Effet de pépité	Palier	Portée
Ca	500m	427,86	602,25	500m	484.57	567.08	498	542.63	485.99	499
Mg	500m	299.69	291.16	380	283.32	306.96	386	327.44	262.84	390
Na	500m	1882.9	3483.9	164	1832.9	3640.1	163	2173.9	3210.1	180
K	500m	0.35	0.14	1	0.35	0.14	0.99	0.37	0.13	0.66
Cl	500m	14419	17137	500	14194	17714	497	15977	15696	498
SO4	500m	1768	2810	280	1982	2626	279	1830	2759	291
Hco3	500m	1528	570	188	1390	788.9	186	1160	924.12	153
NO3	500m	462.25	235.43	120	461.50	237.38	118	481.43	216.85	110
PH	500m	0.078	0.048	2	0.073	0.049	1.85	0.085	0.050	1.70
CE	500m	236589	263095	500	234815	274169	500	267569	235019	500
SDT	500m	80780	118966	500	82902	119419	500	87499	113045	500

Tableau 8 : Semi-variogramme théoriques et leurs paramètres.

IV.2.5. Calcul de l'Erreur Moyenne Quadratique (EMQ) et validation croisée :

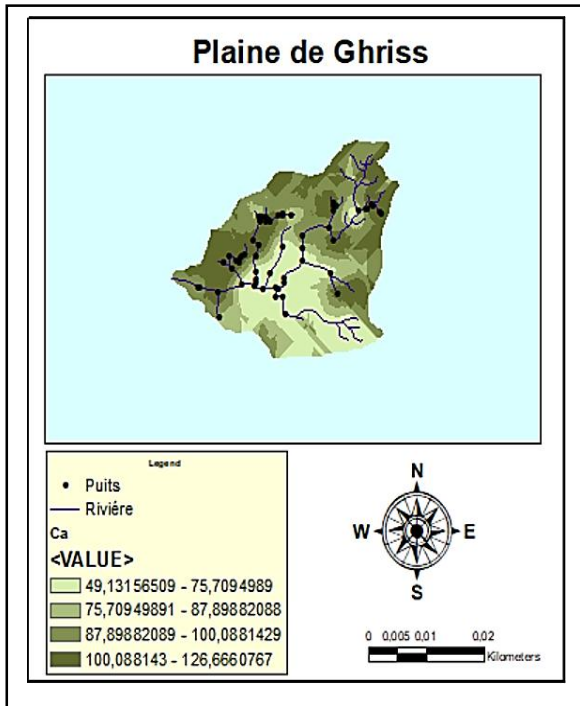
Le modèle théorique le plus adéquat correspond à une erreur quadratique moyenne (EMQ) la plus petite. L'étape de la validation croisée du logiciel ArcGis, permet de calculer les EM correspondants à chaque modèle. Le tableau 9, résume les résultats pour les trois modèles.

Paramètre Hydrochimique	EMQ du modèle Sphérique	EMQ du modèle Exponentiel	EMQ du modèle Gaussien
Ca	29,74	29.74	29.83
Mg	22.09	22.06	22.00
Na	66.51	64.11	66.85
K	2.59	2.59	2.60
Cl	159.26	158.07	159.05
SO4	57.51	56.98	57.94
Hco3	45.26	44.76	45.04
NO3	24.80	24.99	24.70
PH	0.32	0.32	0.33
CE	659.02	659.11	656 ?74
SDT	411.04	408.70	411.34

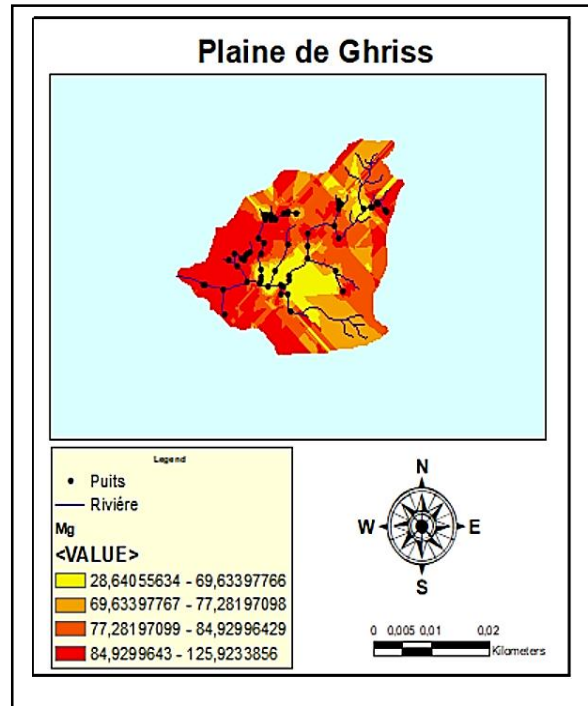
Tableau 9 : EMQ calculé pour les trois modèles de semi-variogramme théorique.

IV. 3. Génération de la carte finale de la distribution spatiale des éléments hydrochimiques de la plaine de Ghriss :

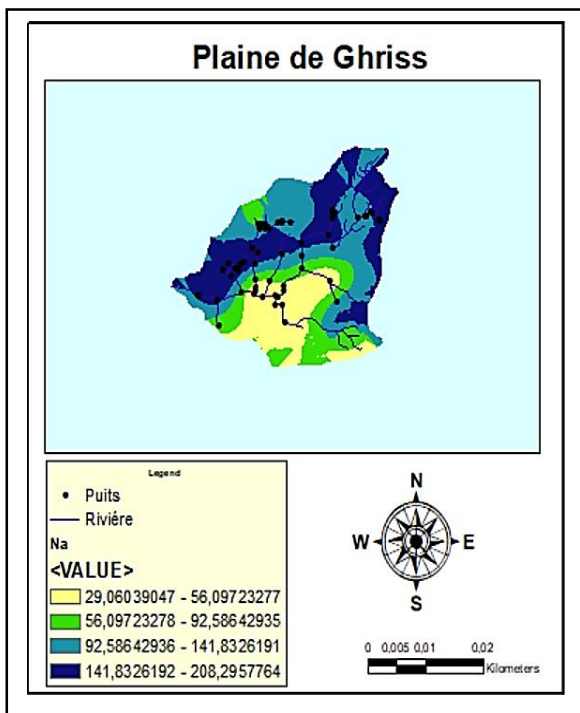
Ca+



Mg+



Na+



K+

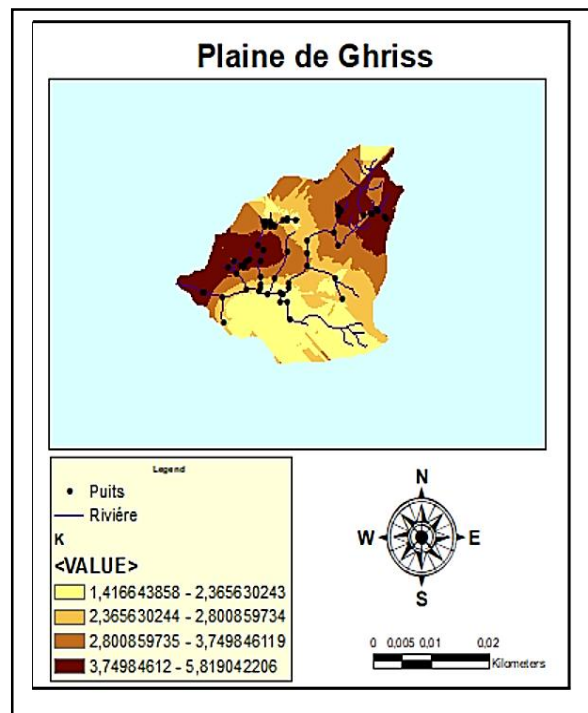
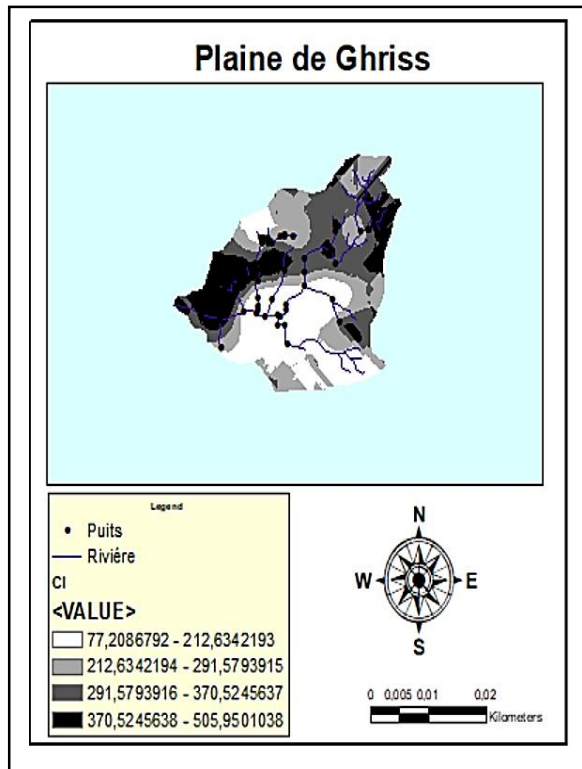
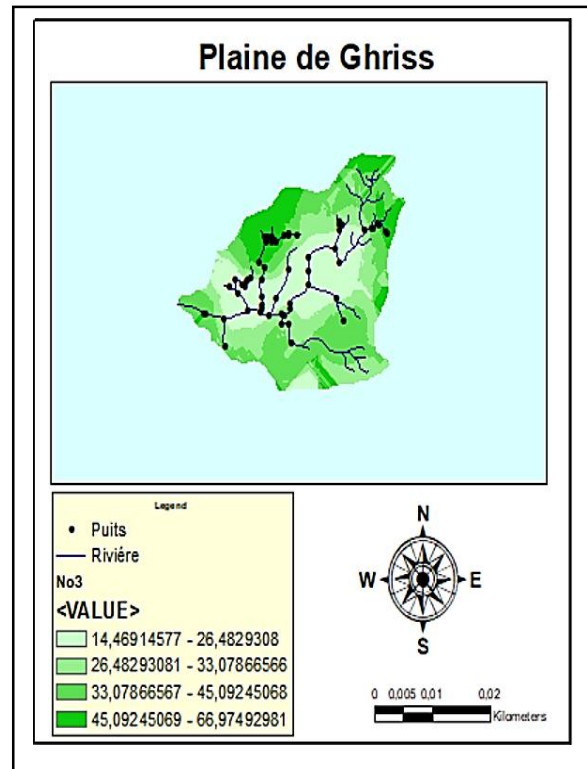


Fig.IV.11 : Cartes de prédiction de la distribution spatiale des substances chimiques des eaux souterraines paramètres Ca, Mg, Na, K.

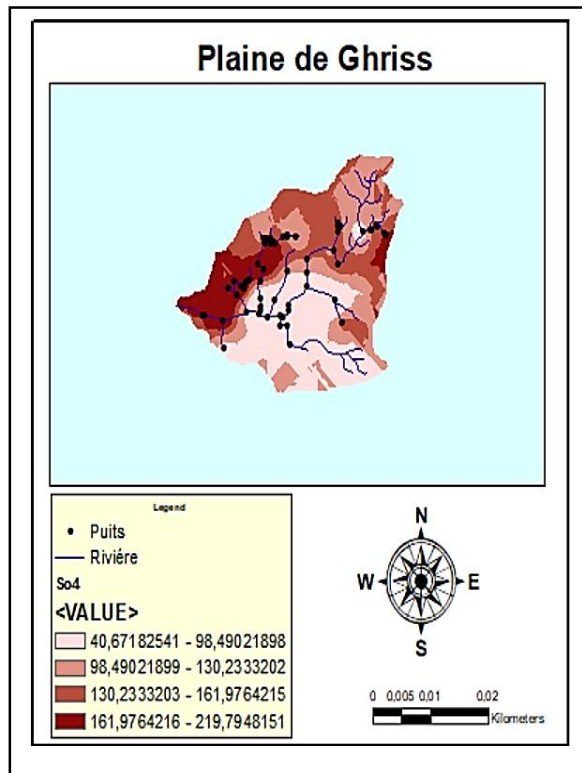
Cl-



No3-



So4-



Hco3-

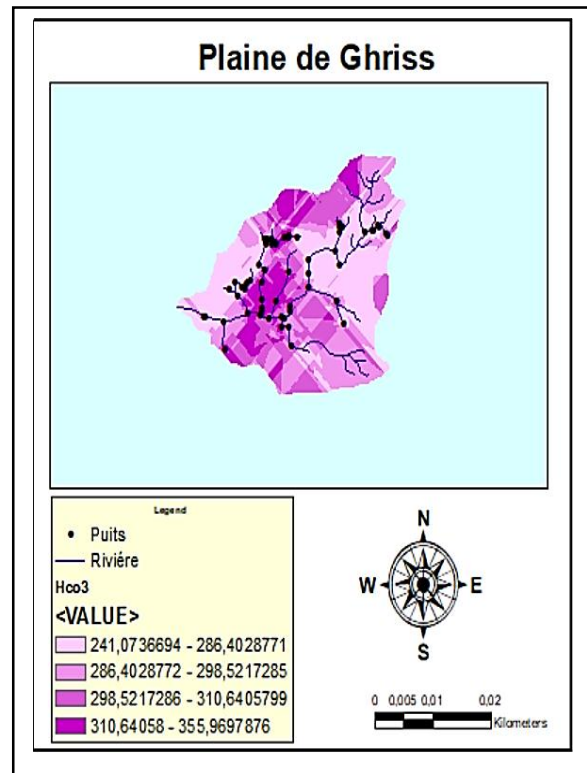
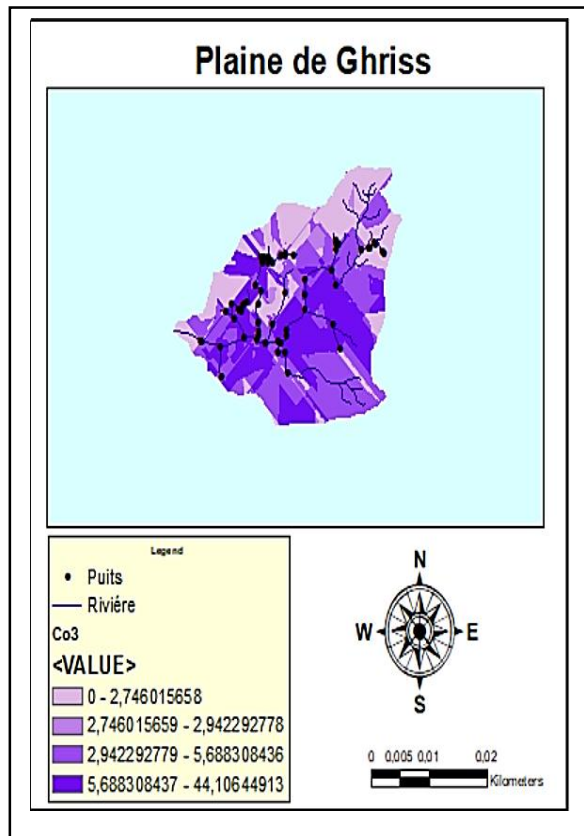
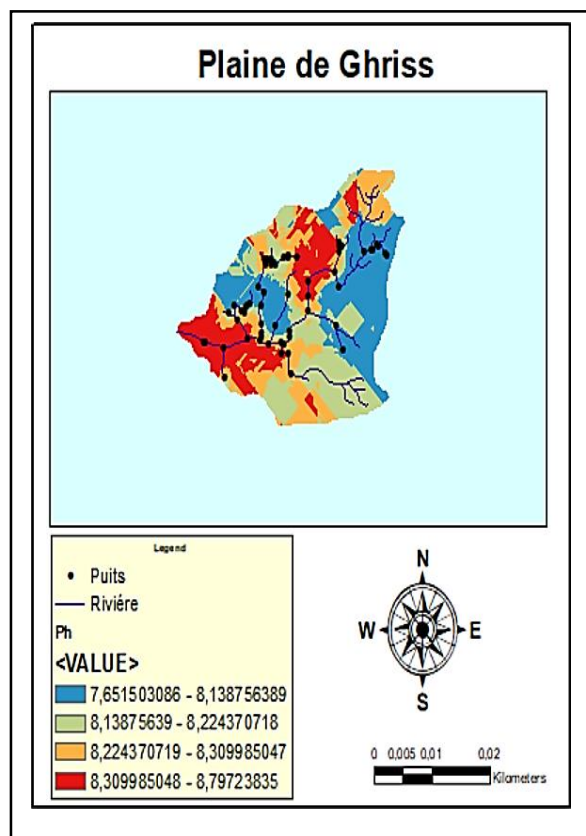


Fig.IV.12 : Cartes de prédiction de la distribution spatiale des substances chimiques des eaux souterraines paramètres Cl, No3, So4, Hco3

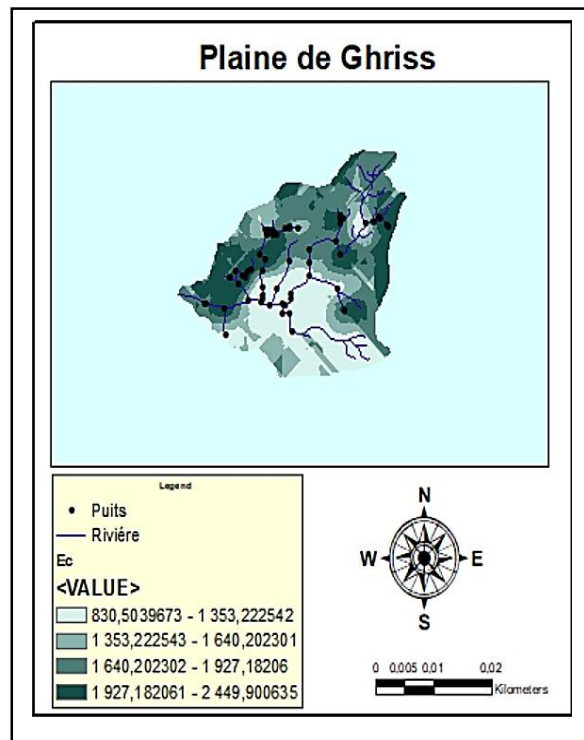
Co3-



Ph



Ec



TDS

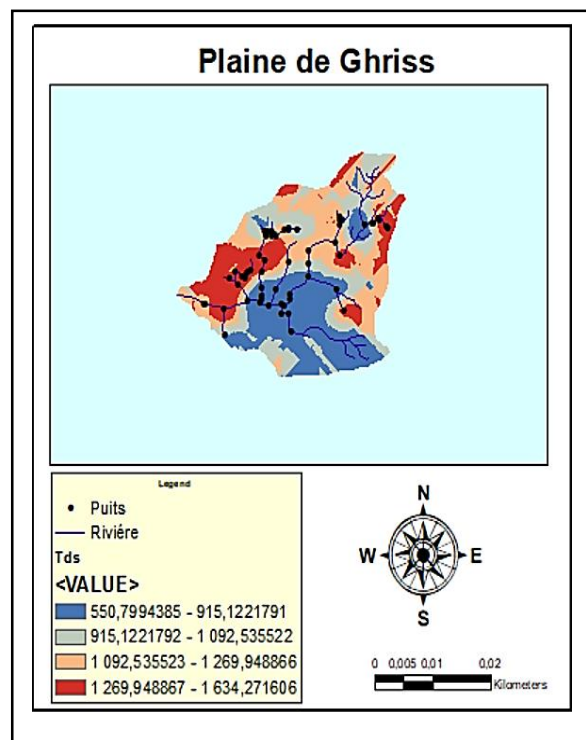


Fig.IV.13 : Cartes de prédiction de la distribution spatiale des substances chimiques des eaux souterraines paramètres Co3, Ph, TDS, Ec.

IV.4. Discussion des résultats et conclusion :

La distribution spatiale de la chimie des eaux souterraines est représentée sur les cartes des figures IV.7 a IV.9 :

Les cartes de concentration sont présentées à Les figures, la couleur foncée représente des concentrations élevées, tandis que la couleur claire représente faibles concentrations.

- La concentration en Ca^+ dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 39 mg/l à 126 mg/l avec une moyenne et un écart type de 65 et 121 mg/l, respectivement.
- La concentration en Mg^+ dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 28 mg/l à 125 mg/l avec une moyenne et un écart type de 62 et 100 mg/l, respectivement.
- La concentration en Na^+ dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 29 mg/l à 209 mg/l avec une moyenne et un écart type de 60 et 184 mg/l, respectivement.
- La concentration en K^+ dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 1.4 mg/l à 5.8 mg/l avec une moyenne et un écart type de 2 et 5 mg/l, respectivement.
- La concentration en Cl^- dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 77 mg/l à 505 mg/l avec une moyenne et un écart type de 140 et 447 mg/l, respectivement.
- La concentration en No_3^- dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 35 mg/l à 148 mg/l avec une moyenne et un écart type de 16 et 60 mg/l, respectivement.
- La concentration en So_4^- dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 14 mg/l à 67 mg/l avec une moyenne et un écart type de 78 et 168 mg/l, respectivement.
- La concentration en Hco_3^- dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 40 mg/l à 220 mg/l avec une moyenne et un écart type de 254 et 334 mg/l, respectivement.
- La concentration en Co_3^- dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 0 mg/l à 45 mg/l avec une moyenne et un écart type de 0 et 6.5 mg/l, respectivement.
- La concentration en Ph dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 7 mg/l à 8 mg/l avec une moyenne et un écart type de 8 et 8.4 mg/l, respectivement.
- La concentration en Ec dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 830 mg/l à 2450 mg/l avec une moyenne et un écart type de 1150 et 2295 mg/l, respectivement.
- La concentration en Tds dans les eaux souterraines de la zone d'étude varie de 550 mg/l à 1635 mg/l avec une moyenne et un écart type de 757 et 1503 mg/l, respectivement.

Conclusion Générale

Conclusion :

La présente étude, qui a porté sur la plaine de Ghriss, située au Nord-Ouest de l'Algérie, a abouti aux conclusions suivantes :

L'étude géostatistique de la nappe phréatique de Grace permet de dire que l'eau est caractérisée par une forte minéralisation et la présence de trois formes prédominantes, à savoir, le chlorure de magnésium, le chlorure de calcium et le bicarbonate de magnésium.

Dans les cartes de distribution chimique des eaux souterraines, la direction de la distribution a été spécifiquement identifiée à l'est.

A l'exception des concentrations de Cl^- et de NO_3^- , les paramètres chimiques des eaux souterraines diminuent. Concernant la norme d'eau potable, les puits échantillonnés sont à la fois potables et non potables. Les types de roches influencent les facteurs, ainsi que les activités humaines telles que l'agriculture et les fosses septiques qui expliquent la présence de Cl^- et de NO_3^- .

La technique de krigeage est un outil utile pour cartographier la distribution des concentrations chimiques. Une transformation logarithmique de certains paramètres est appliquée pour réduire l'asymétrie des données (par exemple Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- et salinité) avant l'application du krigeage. Le meilleur modèle semi-variable basé sur l'EMQ varie pour chaque paramètre de qualité de l'eau. De plus, la dépendance spatiale des paramètres de qualité des eaux souterraines peut être étudiée en utilisant le rapport de la variance de la masse rocheuse au seuillage moyen.

La plupart des paramètres ont une forte dépendance spatiale, à l'exception du NO_3^- et de la température. NO_3^- a une dépendance spatiale modérée, tandis que la température a une faible dépendance spatiale. Les modèles ajustés sont souvent ajustés en fonction du coefficient de corrélation entre les valeurs mesurées et prédites de chaque paramètre. Cependant, la température est un paramètre qui nécessite une étude plus approfondie.

Les eaux souterraines de l'aquifère appartiennent majoritairement à la classe des eaux bonne et se présentent au centre et au nord de la plaine. Elles présentent des recharges latérales et des drainages verticaux à partir de l'aquifère karstique. Les eaux de moindre qualité se révèlent notamment à l'est, au nord et au sud et semblent être contaminées par les activités agricoles par les formations salifères.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUE**

Références Bibliographique

1. **B (2009) Ground water** potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques.
2. **BEKKOUSSA, B., (2009)**. Modélisation du transfert et de la propagation des nitrates dans les eaux souterraines de la plaine de Ghriss. Thèse de doctorat, Université d'Oran, Algérie (155 p).
3. **BOSCA, C., (2002)**. Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean. Magazine Science, training & Technologie, 13-17.
4. **BOUZERRA F. et SAIBI H., (2000)**. Contribution à l'étude hydrogéologique du Plateau de Mostaganem. Approche de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Mem. Uni. Houari Boumediene, Alger.
5. **DEBIECHE, T. H., (2002)**. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et minéraux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse- Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat, U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté, France (199 p).
6. **GRINE, R. (2009)**. Les perspectives hydrogéologiques de la cuvette hodneenne. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister en sciences de la terre. Spécialité : Hydrogéologie, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene. 130 p.
7. **HUNEAU, F. (2000)**. Fonctionnement hydrologique et archives paléo climatiques d'un aquifère profond méditerranéen, étude géochimique et isotopique du bassin miocène de Valréas (Sud-Est de la France). Thèse de doctorat, université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France, (192 p).
8. **MAGUIRE D.J., GOODCHILD M.F., R. D. (1991)**. Géographique Information System.
9. Maryland Bodrud-Doza, et al, Caractérisation de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'indices d'évaluation de l'eau, de statistiques multi variées et de géostatistiques dans le centre du Bangladesh. Sci de l'eau. (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.wsj.2016.05.001>
10. **MATARI, A. & DOUGUEDROIT, A., (1995)**. Chronologie des précipitations et des sécheresses dans l'ouest Algérien. Les stratégies pour le contrôle des sécheresses. 9eme Conférence régionale afro-asiatique des Irrigations et du Drainage. Alger, 5 et 6 juin 1995 : 266–278.
11. **MATHERON G., (1970)**. La théorie des variables régionalisées et ses applications. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5, p212.
12. **MEBARKI, A. (1982)**. Le bassin du Kabîr Rhume : Ressources en eau, aménagement en Algérie. Mentouri de Nancy II.
13. **NARAYAN, L. (1999)**. Remote Sensing and its Applications, India: University Press.
14. **RIGAUX, P. (2001)**. Spatial data bases with application to GIS. Éd 2 nid. San Francisco.
15. **ROCHE. Maguire D.J., Godchild M.F., R. D. (1991)**. Géographique Information System.
16. **ROGNANT, L. (2000)**. Application à la représentation de MNT et à la fusion de MNT radar. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier (Grenoble). 431 p
17. **SOURISSEAU, B., (1972)**. Etude hydrogéologique de la plaine de Ghriss. Rapport Agence Nationale des Ressources Hydraulique, Alger, Algérie.
18. **ZEROUALI A., EL MESLOUHI M.R., (1994)**. Elaboration de la vulnérabilité moyennant la méthode DRASTIC et le système d'information géographique (SIG).