

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Génie civil et hydraulique
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: هندسة مدنية و الري
المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en sciences en : Hydraulique

Spécialité (Option) : Sciences hydrauliques

Intitulé

**Apport d'un système d'information géographique pour
la gestion des ressources en eau de la région de Djelfa**

Présentée par :
Koussa Miloud

Soutenue publiquement le 14/10/2017

Devant le jury composé de :

Dr. Debebeche Mahmoud
Dr. Bouziane M Tewfik
Dr. Remini Boualem
Dr. Saad hamoudi Abed Elamir

Professeur
Professeur
Professeur
Professeur

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

Université de Biskra
Université de Biskra
Université de Blida
Université de Chlef

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Bouziane M. Tewfik, professeur à l'université de Biskra, pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique. La qualité de sa formation et de ses conseils, le soutien et la confiance qu'il m'accordé durant toute la période de ma recherche.

Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués vont à Monsieur Debebeche Mahmoud, Professeur à l'université de Biskra pour avoir accepté de juger ce travail et me faire l'honneur de présider le jury de ma thèse.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Boualem Remini Professeur à l'université de Blida, pour avoir accepté d'examiner mon travail et de faire partie du Jury de ma thèse.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur Saad Hamouqi Abedelamir Professeur à l'université de chlef, pour avoir accepté de juger ce travail et de faire partie du Jury de ma thèse.

Mes vifs remerciements vont également aux membres de ma famille qui m'ont bien soutenu durant l'élaboration de ce travail.

Mes remerciements vont également à tous qui ont participé de près ou de loin pour que j'arrive à ce merveilleux instant à savoir tous mes enseignants et mes collègues.

Dédicace

A tous ceux que j'aime

Liste des figures

Figure 1 Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG)

Figure 2 : Composant de SIG

Figure 3 : Types des données raster

Figure 4: Type de données vecteurs

Figure 5 : Les types de données vecteurs

Figure 6 : Les fonctions d'un SIG

Figure 7: Les types de coordonnées cartographiques

Figure 8: Projection Lambert en Algérie.

Figure 9 : Fuseaux de la projection UTM en Algérie

Figure 10 : Situation géographique de la région de Djelfa

Figure 11: Extrait de la carte géologique de l' Algérie du Nord (source : service de la carte géologique .1952)

Figure 12: Légende : Extrait de la carte géologique de l' Algérie du Nord (source : service de la carte géologique .1952)

Figure 13: La variation de précipitation annuelle en (mm).

Figure 14: Variation des précipitations moyennes mensuelles en (mm) (1975-2015) .

Figure 15: Coefficient de variation des précipitations moyennes mensuelles en (mm)

Figure 16: Variation des précipitations moyennes saisonnières

Figure 17 : Variation des températures moyennes mensuelles

Figure 18 : Diagramme ombrothermique pour la période 2004-2014

Figure 19 : Abaque de Martonne. Station de Djelfa

Figure 20 : Climagramme d'Emberger . Station de Djelfa

Figure 21: Représentation graphique des composantes du bilan hydrique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite

Figure 22: Paramètres du semi- variogramme

Figure 23 : Modèle avec palier

Figure 24 : Modèle Sphérique

Figure 25 : Modèle Exponentiel

Figure 26: Modèle Gaussien

Figure 27 : Carte de répartition des point inventories

Figure 28 : Organigramme de réalisation de SIG

Figure 29 : Variation du pH des eaux souterraines de Djelfa en 2009

Figure 30 : Variation des résidus secs des eaux souterraines de Djelfa en 2009

Figure 31 : Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines de Djelfa en 2009

Figure 32 : Histogrammes des éléments physiques des eaux de la région de Djelfa

Figure 33 : Histogrammes expérimentaux des éléments chimiques étudiés

Figure 34: Carte de variation spatiale de la conductivité électrique, validation croisée et variogramme expérimental

Figure 35: Carte de variation spatiale du pH, validation croisée et variogramme expérimental

Figure 36 : Carte de variation spatiale du Résidus secs, validation croisée et variogramme expérimental

Figure 37: Carte de variation spatiale de Na^+ , validation croisée et variogramme expérimental

Figure 38 : Carte de variation spatiale de Mg^+ , validation croisée et variogramme expérimental

Figure 39 : Carte de variation spatiale de Ca^+ , validation croisée et variogramme expérimental

Figure 40 : Carte de variation spatiale de K^+ , validation croisée et variogramme expérimental

Figure 41: Carte de variation spatiale de HCO_3^- validation croisée et variogramme expérimental

Figure 42: Carte de variation spatiale Cl^- , validation croisée et variogramme expérimental

Figure 43: Carte de variation spatiale SO_4^{2-} validation croisée et variogramme expérimental

Figure 44: Carte de variation spatiale NO_3^- validation croisée et variogramme expérimental

Figure 45: Représentation de la page d'accueil de la base des données sous arc catalog

Figure 46 : Organigramme de réalisation de la carte d'érosion de la région de Djelfa

Figure 47: Réseau hydrographique de la région de Djelfa

Figure 48 : Différentes Classes des pentes dans la région de Djelfa

Figure 49 : La carte de l'ensemble géomorphologique de Djelfa

Figure 50: Les grandes occupations des sols de la région de Djelfa

Figure 51 : La carte du facteur topographique dans la région de Djelfa

Figure 52 : La carte du facteur d'occupation du sol C

Figure 53 : La carte du facteur d'érodibilité du terrain de la région de Djelfa

Figure 54 : Carte des risques érosifs à partir de l'équation USLE de Wischmeier de la région de Djelfa

Listes des tableaux

- Tableau 1 :** *Variation des précipitations moyennes mensuelles en (mm) ONM Djelfa (1975-2015).*
- Tableau 2 :** *Variation des précipitations moyennes saisonnières. ONM Djelfa (1975-2015)*
- Tableau 3 :** *Température moyenne mensuelle en °C . ONM Djelfa (1975-2015)*
- Tableau 4 :** *Température moyennes saisonnières en (°C) . ONM Djelfa (1975-2015)*
- Tableau 5 :** *Températures et précipitations moyennes mensuelles dans la station de Djelfa. Durant la période (1975-2015). ONM Djelfa.*
- Tableau 6 :** *Valeurs moyenne mensuelles et annuelles de la gelée .ONM Djelfa (1975 - 2012)*
- Tableau 7 :** *Humidité moyenne mensuelle . ONM Djelfa (1975 – 2012)*
- Tableau 8 :** *Calcul de l'ETP par la méthode de Thornthwaite. Région de Djelfa*
- Tableau 9 :** *Calcul de l'ETR par la méthode de Turc. Région de Djelfa*
- Tableau 10 :** *Bilan hydrologique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Région de Djelfa*
- Tableau 11 :** *Bilan de l'eau par la méthode de Turc mensuelle à Djelfa (1975-2015).*
- Tableau 12 :** *Résultats de calcul des composants de l'équation du bilan hydrique*
- Tableau 13 :** *Tableau13 : Statistique des éléments physiques étudiés*
- Tableau 14 :** *Tableau 14 : Statistique des éléments chimiques étudiés*
- Tableau 15 :** *Caractéristiques des variogrammes expérimentaux des paramètres étudiés*
- Tableau 16:** *Résultats d'ajustement des paramètres physiques*
- Tableau 17 :** *Résultats d'ajustement des paramètres Chimiques*
- Tableau 18 :** *Matériel utilisé*
- Tableau 19:** *Surfaces et périmètres des bassins versants*
- Tableau 20 :** *Répartition des surfaces en fonction des classes de pente*
- Tableau 21 :** *Distribution de facuer d'érodibilité en fontion de différents facies adaptée par Stone et Hilborn (2000)*
- Tableau 22:** *Distribution spatiale deDes principales valeurs de du facteur c en fonction de couvert végétal. (Sadiki et al, 2004)*
- Tableau 23 :** *Tableau 23 : Distribution spatiale de Des principales valeurs de du facteur c en fonction de couvert végétal. (Masson ,1971)*
- Tableau 24 :** *Distribution spatiale des principales valeurs de C en fonction du couvert végétal*
- Tableau 25 :** *Répartition des classes du facteur topographique dans la région de Djelfa*
- Tableau 26 :** *Répartition des classes du facteur C dans la région de Djelfa*
- Tableau 27 :** *Répartition des classes du facteur d'érodibilité K dans la région de Djelfa*

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Système d'information géographique

Introduction.....	1
I. Système d'information géographique (SIG)	1
I.1. Définition	1
I.2. Concepts d'un SIG	3
I.3. Composantes d'un SIG	3
I.3.1. Matériels	4
I.3.2. Les logiciels	4
I.3.2.1. Autres logiciels de SIG.....	5
I.3.3. Les données et traitement	5
I.3.3.1. La base de données à caractère spatial et thématique	5
I.3.3.2. Le système de gestion de base de données (SGBD)	5
I.3.3.3. Système de représentation cartographique	6
I.3.3.4. Système de saisie numérique.....	6
I.3.3.5. Système d'analyse spatiale	6
I.3.3.6. Système de traitement d'image.....	7
I.3.3.7. Système d'analyse statistique	7
I.3.4. Les utilisateurs	7
I.3.5. Les méthodes	7
I.4. Les modes de représentation de l'information géographique dans un SIG	7
I.4.1. Le mode raster.....	7
I.4.2. Le mode vecteur.....	8
I.4.2.1. Les points	9
I.4.2.2. Les lignes	9
I.4.2.3. Les polygones	9
I.5. Les fonctions d'un SIG	9
I.5.1. L'Abstraction ou modélisation.....	11
I.5.2. L'Acquisition de données	11
I.5.3. L'Analyse ou Géotraitement	11
I.5.4. L'Affichage ou Géovisualisation	12

I.5.5.Archivage	12
I.6 Les phases de développement d'un SIG.....	12
I.6.1.L'analyse	12
I.6.2.La conception	13
I.6.3.La réalisation	13
I.7.Domaine d'application des (SIG).....	13
I.7.1.Environment	13
I.7.2.Gaz, Electricité et Mines	13
I.7.3.Transports	14
I.7.4.Eau	14
I.7.5.Sécurité / Défense	14
I.7.6.Humanitaire / Contexte d'urgence.....	14
I.7.7.Santé publique.....	15
I.7.8.Sports.....	15
I.7.9.Télécoms	15
I.7.10.Géomarketing et géostratégie.....	15
I.8.Avantages et contraintes du SIG	16
I.8.1. Avantages	16
I.8.2. Contraintes	16
I.9.Les systèmes de projection cartographiques	16
I.9.1.Projections cylindrique de Mercator (UTM).....	16
I.9.2.Projection conique de Lambert	17
I.9.3.Les systèmes de coordonnées.....	17
I.9.4.Choix d'un système de coordonnées	17
I.10. Système cartographique en Algérie.....	18
I.10.1 La projection Lambert.....	18
I.10. 2. La représentation cartographique UTM	18
Conclusion.....	19
 Chapitre II : Présentation de la région d'étude	
II.1.Situation géographique de Djelfa.....	20
II.2. Caractéristiques physiques.....	21
II.2.1. Le relief	21
II.3. Végétation	21

II.3. 1. Les forêts	21
II.3. 2. Les reboisements	21
II.3. 3. Les formations steppiques	21
II.3.4. Les cultures.....	22
II.4. Sols.....	22
II.4.1. Sols squelettiques	22
II.4.2. Sols accumulations calcaires et gypseuses.....	22
II.4.3. Sols salés	22
II.4.4. Sols à vocation agricole	22
II.5. Géologie.....	23
II.5.1. Historique des études de reconnaissance dans la région de Djelfa.....	23
II.5.2. Lithostratigraphie.....	24
II.5.2.1. Le Trias.....	24
II.5.2.2. Le jurassique – Crétacé inférieur indifférencié	24
II.5.2.3. Le barrémien.....	24
II.5.2.4. L'Aptien.....	24
II.5.2.5. L'Albien inférieur.....	25
II.5.2.6. L'Albien supérieur.....	25
II.5.2.7. Le Cénomaniens.....	26
II.5.2.8. Le turonien.....	27
II.5.2.9. Le sénonien.....	27
II.5.2.10. Le Moi – pliocène.....	27
II.5.2.11. Le Quaternaire ancien.....	27
II.5.2.12. Le Quaternaire récent.....	27
II.6. Les ressources en eaux.....	30
II.6.1. Les eaux superficielles	30
II.6.2. Les eaux souterraines	30
II.7. La population	30
II.8. La production animale	30
Chapitre III : Cadre Climatique	
Introduction.....	31
III.1. Les précipitations	31
III.1.1 la précipitation annuelle	31

III.1.2. Précipitations moyennes mensuelles	32
III.1.3. Précipitations moyennes saisonnières	34
III.2. La température	34
III.2.1. Température moyenne mensuelle	35
III.2.2. Température moyenne saisonnière.....	36
III.3. Relation entre précipitation et température	36
III.4. Les indices climatiques	37
III.4.1. Indice de Martonne ou d'aridité	37
III.4.2. Le quotient Q_2 d'Emberger.....	38
III.5. Régime des vents.....	39
III.6. Les gelées	40
III.7. La neige	40
III.8. L'humidité relative	40
III.9. Estimation des paramètres du bilan hydrologique	41
III.9. 1. Evapotranspiration	41
III.9. 2. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	41
III.9. 3. Bilan hydrologique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite.....	43
III.9. 4. L'évapotranspiration potentielle par la formule de Turc (mensuelle).....	44
III.10. Calcul du ruissellement et l'infiltration	45
Conclusion.....	46

Chapitre IV : Cartographie et interpolation spatiale

Introduction.....	47
V.1. Aperçu sur la théorie de la géostatistique.....	47
IV.2. Variable régionalisée	48
IV.2.2. But de la théorie des variables régionalisées.....	48
IV.3. Fonction aléatoire	48
IV.3.1 Stationnarité d'ordre 2.....	49
IV.3.2. Hypothèse intrinsèque.....	49
IV.4. Variogramme théorique et variogramme expérimental	50
IV.4. 1. Propriétés du variogramme.....	50
IV.4. 2. Modélisation du variogramme	51
IV.4. 2.1. Modèle avec palier.....	52
IV.4. 2.2. Portée asymptotique.....	52

IV.4. 3. L'anisotropie	53
IV.5. Krigeage.....	54
IV.5.1.Les types de krigeage.....	54

Chapitre IV : Matériels et méthodes utilisées

Introduction.....	55
V.1. Matériels et logiciels utilisés	55
V.1.1.Matériels V.1.1.1. Matériels utilisées dans le bureau	55
V.1.2. Les logiciels	56
V.1.2.1. Arc Gis version 10.2.2.....	56
V.1.2.2. Global Mapper version 15.1	56
V.1.3. Données	56
V.2. Méthodologie adoptée.....	58

Chapitre VI : Résultats et discussions

V.2.1.Analyse statistique : paramètres statistiques et histogrammes expérimentaux.....	59
VI.2.1.1. Statistiques des éléments physico-chimiques.....	59
VI.2.1.3.Interprétations des résultats statistiques	62
VI.3. Analyse variographique	63
VI.4. Etablissement des cartes de variabilité spatiale par krigeage.....	64
VI.4.1. Paramètres physico-chimiques.....	64
VI.4.2. Interprétation des résultats de paramètres physiques	67
VI.4.3. Paramètres Chimiques.....	68
VI.4.3.2. Interprétation des résultats	70
VI.4.3.4. Interprétation des résultats des anions.....	73
VI.5. Elaboration d'une base de données.....	74
Conclusion.....	76

Chapitre VII : Spatialisation de l'érosion hydrique dans la région de Djelfa

Introduction.....	77
VII.1. Les ressources en eau superficielle.....	77
VII.2. Choix d'un modèle pour l'étude.....	77
VII.3. Expression de L'USLE.....	78

VII.4. Données utilisée et méthodes appliquées.....	78
VII.4.1. Méthodologie appliquée	79
VII.4.2. Elaboration des cartes thématiques.....	79
VII.4.3. La pente	80
VII.4. 4. L'érosivité de pluie « R ».....	82
VII.4. 5. L'image SRTM et le facteur « LS ».....	82
VII.4. 6. Erodibilité des sols « K ».....	82
VII.4. 7. Le facteur d'occupation du sol « C ».....	83
VII.4. 8. Le facteur pratiques anti-érosives « P ».....	85
VII.5.Elaboration des cartes thématiques des facteurs de l' USLE.....	85
VII.5.1.Le facteur d'érosivité de pluie R.....	85
VII.5.2.Le facteur topographique LS.....	85
VII.5.3.Le facteur d'occupation du sol C.....	86
VII.5.4. Facteur d'érodibilité du sol.....	88
Conclusion.....	90

Introduction générale

Introduction générale

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont apparus à la fin des années 1960. L'idée était simple, il s'agit d'utiliser de grandes possibilités de calcul des ordinateurs pour saisir, gérer et analyser toute sorte d'information spatiale. Ils possèdent plusieurs synonymes tels que : Systèmes d'Information à Référence Spatiale (SIRS), systèmes d'information à base géographique...

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

Les notions d'analyse spatiale de l'information géographique interviennent dans toutes les disciplines ayant trait à des phénomènes se déroulant dans l'espace géographique : l'aménagement du territoire, la gestion de l'environnement, l'analyse d'un réseau routière, l'implantation des ouvrages, l'étude du paysage, les études d'impact, la climatologie...etc.

D'un point de vue plus fondamental, le traitement progressif de mesures ou d'observations dénommées *données*, conduisant à un résultat dont on est capable d'évaluer la précision et la portée, créer une information qui est enrichit notre connaissance du monde réel.

L'analyse spatiale représente donc le noyau dur de processus de décision. La rigueur apportée à son élaboration est, de ce fait la condition nécessaire mais néanmoins pas suffisante pour toute décision concernant la gestion de n'importe quel phénomène.

L'avènement de SIG a ouvert la voie à l'analyse spatiale grâce à laquelle il est plus aisé d'établir des corrélations entre variables.

De rechercher des relations fonctionnelles et de dériver des indices plus proches de notre compréhension d'un phénomène.

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

Plus généralement, on résume les fonctions de la carte par :

- ✓ La connaissance d'un lieu.
- ✓ La représentation spatiale d'objets
- ✓ La représentation d'inventaires thématiques
- ✓ La représentation des phénomènes au moyen des signes (direction d'écoulement de nappe... etc.).

Le terme "géostatistique" désigne l'étude statistique des phénomènes naturels liés à l'espace. G.Matheron, 1962 fut le premier à utiliser de façon extensive ce terme et on retiendra sa définition qui précise l'outil probabiliste employé: « La géostatistique est l'application du formalisme des fonctions aléatoires à la reconnaissance et à l'estimation des phénomènes naturels. Un phénomène naturel peut souvent être caractérisé par la répartition dans l'espace d'une ou plusieurs variables dites régionalisées.

De nos jours, on ne peut parler de caractérisation morphologique d'une région donnée sans faire intervenir la notion de modèles numériques du terrain (MNT).

Un modèle numérique de terrain est une représentation numérique d'une région donnée par un champ d'altitudes. Sa qualité va dépendre du nombre de points de saisie, de leur distribution spatiale, de la continuité spatiale du phénomène dans la zone à traiter et du mode d'interpolation des points

Un modèle numérique de terrain est une représentation numérique simplifiée de la surface d'un territoire, en coordonnées altimétriques (le plus souvent exprimées en mètres par rapport au niveau de la mer) et planimétrique, calée dans un repère géographique.

Les ingénieurs utilisent les MNT pour différentes études. Ils peuvent étudier la pente du relief, l'exposition, les altitudes et déterminer le champ de visibilité du poste de vigie.

C'est dans ce contexte que vient notre travail dont l'utilisation d'un moyen SIG pour:

- Elaborer une base de données très riche permettant la manipulation, la mise à jour de ces données ainsi que la visualisation
- Présenter un outil SIG qui peut permettre d'une part l'établissement des cartes thématiques utiles pour contrôler la qualité des eaux souterraines

- Conception des plans d'informations spatiaux et temporels pour la gestion des ressources en eau dans La région de Djelfa
- Et d'autre part à démontrer l'intérêt que peut apporter un outil tel que le S.I.G pour cartographier des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de perte en sol, afin de protéger les constructions de stockage contre l'envasement

Notre travail s'organise au tour de sept chapitres :

Chapitre I : Système d'information géographique

Dans ce chapitre on a présenté l'outil SIG en mettant le point sur ses fonctionnalités, ses composantes et les étapes de réalisation

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

Ce chapitre est réservé à la présentation de la région d'étude ; la situation géographique, la structure géologique, le sol et végétation.....

Chapitre III : Cadre climatique

Ce chapitre est consacré à l'étude de différents paramètres climatiques ; précipitation, température, types de vents, humidité ; régime climatique

Chapitre IV : Cartographie et interpolation spatiale

Ce chapitre est une synthèse sur la méthode de la géostatistique et l'interpolation spatiale et un aperçu sur les méthodes de krigeage

Chapitre V : Méthodes et matériels utilisés

Chapitre VI : Résultats et discussions

Résume les résultats de l'intégration des données d'analyse physico - chimique des eaux souterraines de la région de Djelfa dans un système SIG et l'élaboration des cartes de répartition des différents éléments physico-chimiques étudiés dans ce travail.

Chapitre VII est une contribution à la Spatialisation de l'érosion hydrique des sols dans la région de Djelfa.

Chapitre I

Systeme d'information géographique

Introduction

Il y a quelques années la mise en place de SIG paraissait réservée aux grandes structures. Aujourd'hui les progrès informatiques et les possibilités offertes en matière de gestion et d'analyse, conduisent à la généralisation de l'outil à tous les échelons du territoire.

Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) jouent un rôle prépondérant. En effet, des leur apparition au début des années 1970, les SIG sont devenus parmi les meilleurs outils utilisés pour l'inventaire, la planification et la gestion des ressources naturelles grâce à leurs capacités de cartographie numérique et de suivi des phénomènes naturels.

La combinaison et la superposition données climatiques, géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques sont devenues nécessaires pour faire le point de l'évolution des systèmes aquifères dans le temps et dans l'espace ainsi que l'analyse des répercussions de l'exploitation sur les ressources hydrogéologiques des nappes d'eau.

I. Système d'information géographique (SIG)

I.1. 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. (Smaida, 2008),

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. (figure 1)

Un Système d'Informations Géographiques est :



Un ensemble de données numériques
Localisées géographiquement

Structurées à l'intérieur d'un système de
traitement informatique

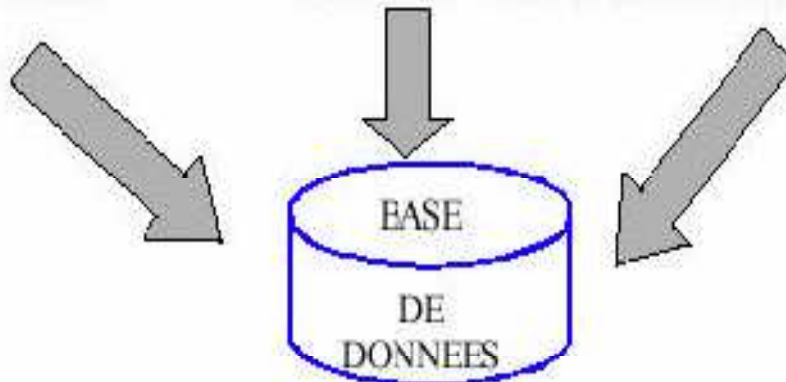
Comprenant des modules fonctionnels
Permettant de :



Créer et modifier

d'interroger

de représenter cartographiquement



Selon des critères
Sémantiques et
spatiaux



Figure 1: Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG), (Ager, 2000). (Source Smaida, 2008)

I.2. 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

Au départ il s'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.

I.3. Composantes d'un SIG

Les systèmes d'information géographique sont composés de cinq éléments (figure 2)



Figure 2: Composant de SIG (Gillot,2009)

I.3.1. Matériels

Le matériel informatique nécessaire pour faire tourner un SIG inclue des unités communes à n'importe quel système de gestion automatisé de base de données, un ordinateur central, plusieurs unités de disques pour enregistrer des données et des programmes, un système de bandes magnétiques pour la sauvegarde de données, des unités de visualisation de graphique en couleur, et autres éléments périphériques commun aux ordinateurs.

Un SIG possède, en outre, plusieurs composantes spécifiques, incluant: un convertisseur analogique/numérique ou un scanner, qui est employé pour convertir l'information géographique des cartes sous forme numérique; un traceur, qui imprime les cartes et d'autres sorties graphiques du système, et pour finir, une table à digitalise a option (Esri, 2009)

I.3.2. Les logiciels

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 et ses modules (Arc View, Arc Edit et Arc Info). D'autres, plus modestes ou moins répandus, tels qu'Idrissi, Map Info, Gress, Caris, etc.

❖ L'environnement Arc-Gis

ArcGIS Desktop est un outil de création et de gestion d'informations destiné aux professionnels SIG. Il comprend une suite d'applications intégrées : ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox et Model Builder (Esri, 2009). En utilisant conjointement ces applications et ces interfaces, on peut effectuer les principales tâches SIG, de la plus simple à la plus complexe, y compris la cartographie, l'analyse géographique, la gestion des données, la visualisation et les géotraitement. ArcGIS peut se décomposer en trois modules à fonctionnalités croissantes : ArcView, ArcEditor et ArcInfo

▪ ArcView

Offre des outils de cartographie, d'utilisation des données et d'analyse complète, accompagnés de fonctions de mise à jour et de géotraitement simples.

▪ ArcEditor

Propose des fonctions de mise à jour avancée pour les fichiers de formes et les géodatabases, en plus de toutes les fonctions d'ArcView.

- **ArcInfo**

C'est le fleuron d'ArcGIS Desktop qui regroupe l'ensemble des fonctions. Tout en reprenant les fonctionnalités d'ArcView et d'ArcEditor, il intègre le géotraitement avancé et reprend les anciennes applications d'ArcInfo Workstation.

I.3.2.1. 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

I.3.3. Les données et traitement

Les données sont peut-être la composante la plus importante d'un SIG. Un SIG peut intégrer stockées dans un SGBD. Intégration des données spatiales et des données attributaires est une fonctionnalité clé d'un SIG. (Smaida, 2008)

I.3.3.1. La base de données à caractère spatial et thématique

Le cœur d'un SIG est la base de données géographique (BDG) ou Géodatabase constituée d'un ensemble numérique de cartes et informations associées. Comme cette base de données décrit des objets de surface et de sub-surface de la terre, elle est constituée de deux composantes : une base de données décrivant les objets spatiaux (localisation, forme et géométrie) et une autre définissant les caractéristiques thématiques (attributs) de ces objets

I.3.3.2. Le système de gestion de base de données (SGBD)

Ce terme désigne un type de logiciels permettant de gérer les données d'une base, c'est-à-dire les structurer, les mettre à jour, et faciliter leurs accès.

Les SGBD classiques sont dBase, Access, FoxPro, Oracle... Beaucoup de SIG contemporains recourent à des SGBD conventionnels afin d'assurer l'accès à un plus grand nombre de fonctions de gestion.

En plus d'enregistrer et de gérer les données, on souhaiterait bien sûr les analyser. Le caractère spatial de ces données fait en sorte que des outils spécifiques sont nécessaires (ex.: calculs de superficie, de distance, de pente, analyse croisée d'information, etc.). Seules des fonctions propres aux SIG permettent d'effectuer ces tâches. (Smaida, 2008).

I.3.3.3.Système de représentation cartographique

Autour de la base de données gravitent plusieurs systèmes. Le plus élémentaire est celui de la représentation cartographique.

Ce dernier permet de sélectionner des éléments de la BDG et de les représenter cartographiquement sur de nombreux supports (écran, imprimantes, tables traçantes) et dans différents formats graphiques. .(Smaida, 2008).

Dans la plupart des S.I.G., ces outils de représentation sont très sommaires et font appel à des logiciels spécialisés, tels qu' Arc-Gis, Arc-Info et Arc-View.

I.3.3.4.Système de saisie numérique

La première phase consiste à rechercher, récupérer et collecter l'information géographique relative au type d'application en question. La deuxième phase consiste à saisir cette information et à l'importer sous forme numérique dans la base de données. La saisie numérique d'une information à caractère spatial, tels que les documents cartographiques, constitue un autre système de base. Celui-ci permet de convertir l'information analogique d'une carte sur support papier en une information numérique. Les modes de saisie de l'information localisée sont multiples. On cite entre autres ? Saisie par numérisation ou digitalisation à l'aide de la table de digitalisation (Arc-Gis, Arc-Info et Arc View) ? Saisie par balayage ou scannerisation (Arc-View et Arc-Gis) ? Saisie par importation des fichiers, déjà sous forme numérique. .(Smaida, 2008).

I.3.3.5.Système d'analyse spatiale

L'analyse spatiale de l'information est une extension des capacités d'interrogation des bases de données, en prenant en compte la localisation des observations.

En effet l'interrogation d'une base de données, fonctionne parfaitement, si les caractéristiques considérées concernent les mêmes entités, sinon l'interrogation est impossible.

Pour cette opération, un SIG est nécessaire car il permet de considérer le recouvrement spatial d'entités.

Cette procédure, appelée recouvrement ou superposition, correspond à l'opération manuelle de superposition d'une carte transparente et d'une seconde carte.

L'exemple le plus simple consiste à combiner dans une requête la présence conjointe de deux caractéristiques spécifiques à deux ensembles d'objets spatiaux distincts.

Par exemple, trouver toutes les zones hydrogéologiques d'affectation résidentielle et dont le sol est très apte à l'agriculture.

I.3.3.6. Système de traitement d'image

Il permet le traitement des images de télédétection et qui inclut des procédures d'analyse statistique. Le traitement d'image permet de transformer le contenu originel d'une image de télédétection en une information ou contenu thématique exploitable à l'aide de procédures de classification.

I.3.3.7. Système d'analyse statistique

Il s'agit à la fois des procédures d'analyse statistique classiques concernant la dimension thématique et des procédures statistiques d'analyse de la dimension spatiale.

I.3.4. Les utilisateurs

Comme tous les utilisateurs de systèmes d'information géographique ne sont pas forcément des spécialistes, un tel système propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet. N'importe qui peut, un jour ou l'autre, être amené à utiliser un SIG. Le niveau de compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques, est généralement celui de technicien supérieur. Mais afin d'assurer une bonne qualité d'interprétation des résultats de l'analyse des données et des opérations avancées, celles-ci sont généralement confiées à un ingénieur disposant d'une bonne connaissance des données manipulées et de la nature des traitements effectués par les logiciels. Enfin, des spécialistes sont parfois amenés à intervenir sur des aspects techniques précis (Saidi, 2013)

I.3.5. Les méthodes

La mise en œuvre et l'utilisation d'un SIG ne peut s'effectuer sans l'application de méthodes, de règles et de procédures. Ces méthodes permettent une utilisation rigoureuse et cohérente du matériel, des logiciels et des données du SIG par l'ensemble des utilisateurs et cela afin de répondre aux objectifs fixés au préalable dans tout projet (Didon, 1990)

I.4. Les modes de représentation de l'information géographique dans un SIG

I.4.1. Le mode raster

La structure des données raster est une abstraction du monde réel où les données spatiales sont divisées de manière régulière en ligne et en colonne. Un raster est une grille régulière qui se compose de cellules ou, dans le cas de l'imagerie, de pixels, il y a un nombre déterminé de lignes et de colonnes, chaque cellule a une valeur numérique et une certaine taille géographique (Athan, 2010)

La discontinuée du modèle de données raster lui qualifié pour certains types d'opérations spatiales telle que la superposition, le calcul de superficie, ou la modélisation de simulation (figure 3)

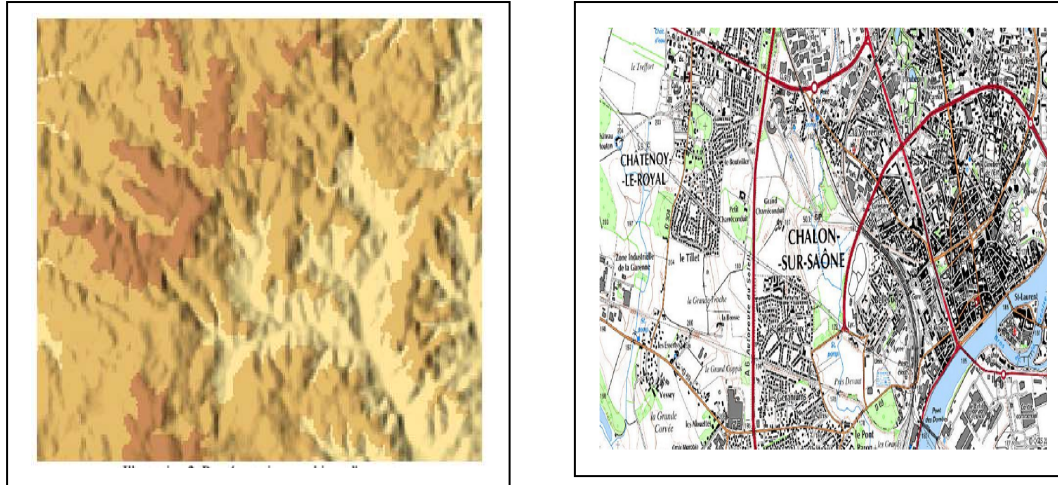


Figure 3: Types des données raster. (Guillaume,2012)

I.4.2. Le mode vecteur

La structure de données vecteur est une abstraction du monde réel où les données de position sont représentées sous forme de coordonnées. (figure 4)

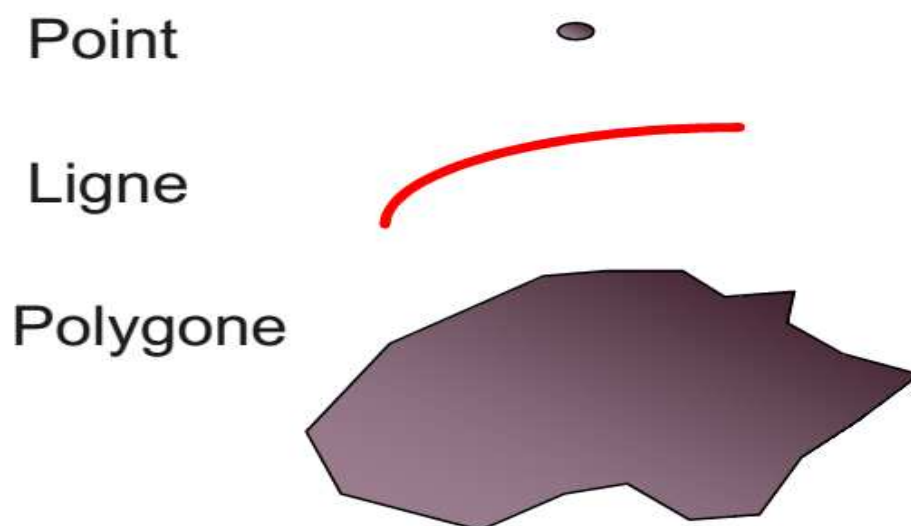


Figure 4: Type de données vecteurs (Guillaume,2012)

Les SIG utilisent trois objets géométriques qui sont le point, la ligne et polygone (figure 16) :

I.4.2.1. Les points

Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés (Habert, 2000)

I.4.2.2. Les lignes

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveaux. (Habert, 2000)

I.4.2.3. Les polygones

Les polygones se sont des espaces clos. Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols (Habert, 2000)

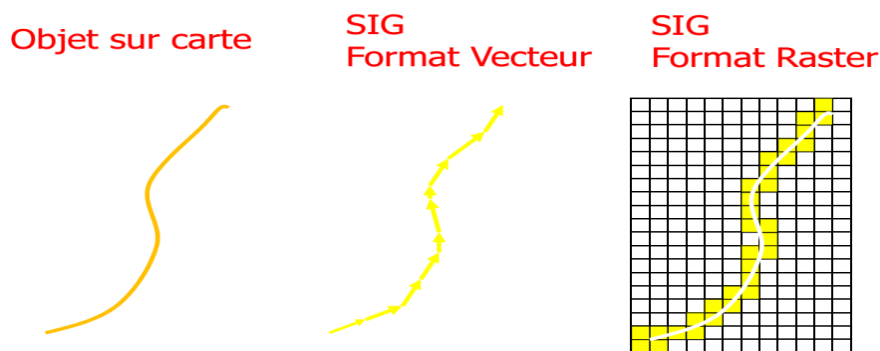


Figure 5: Les types de données vecteurs (Habert, 2000)

I.5. Les fonctions d'un SIG

Les systèmes d'information géographique peuvent répondre à différents besoins.

Comme le système universel n'existe pas, il faut les adapter selon les objectifs fixés.

Toutefois ils ont en commun des fonctionnalités que l'on retrouve dans chaque système regroupées en 5 familles sous le terme des « 5A »: Abstraction, Acquisition, Archivage, Affichage et Analyse (Marmounier, 2002).

Ces termes résument les principales fonctionnalités pour chaque SIG : différents modèles mis en œuvre, nombreuses applications, présentations multiples des données, variété des informations et capacités de stockage (figure 6).

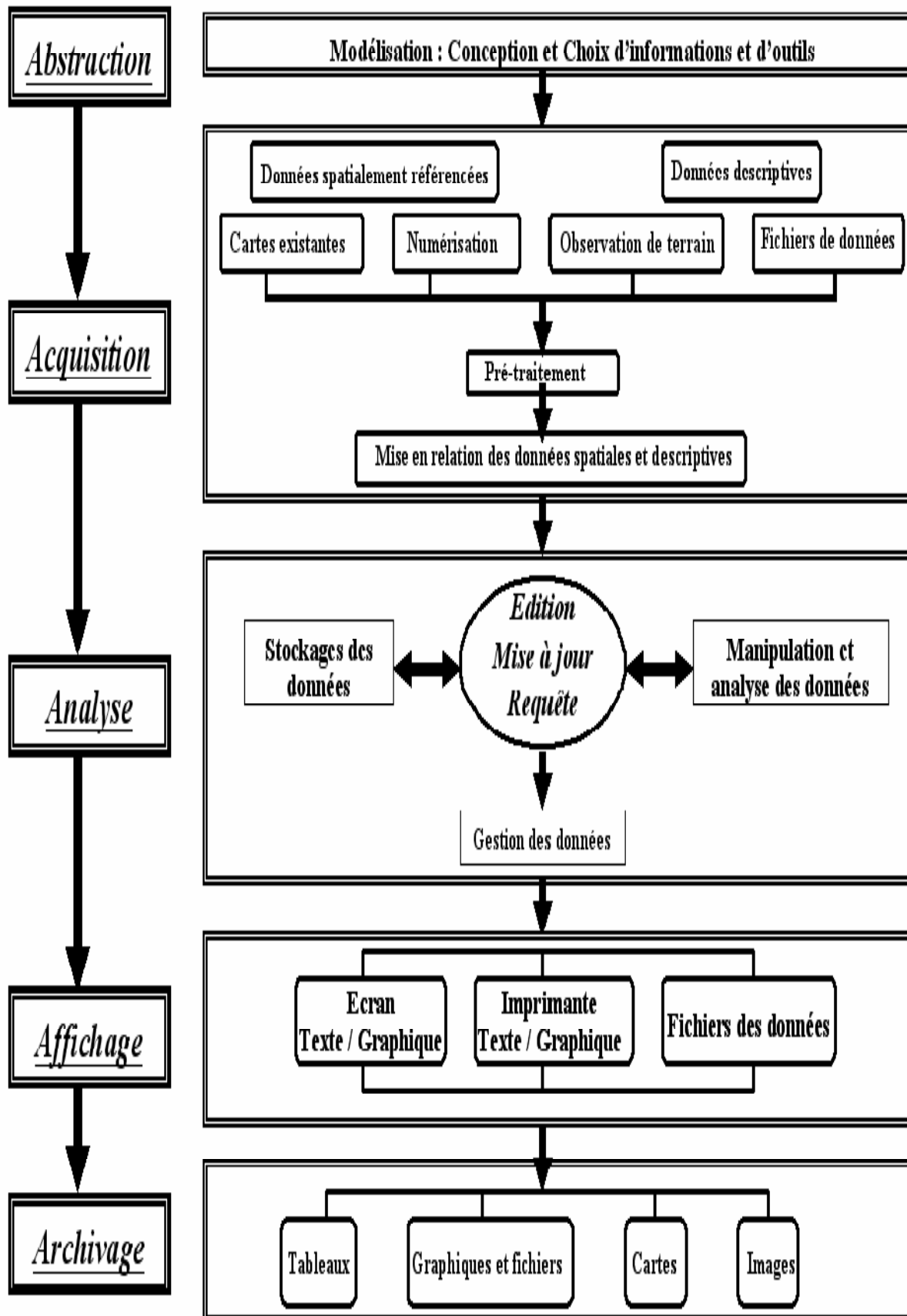


Figure 6: Les fonctions d'un SIG (Smaida, 2008)

I.5. 1. L'Abstraction ou modélisation

Dans cette phase on cherche à reproduire la réalité du terrain d'une manière informatiquement compréhensible. Il est donc nécessaire de préciser les éléments et la nature d'informations à traiter. Les choix portent sur la nature de l'information, sur les éléments du territoire à identifier et sur la manière de les dessiner. Ces choix sont effectués en fonction des objectifs à atteindre et des problématiques à résoudre. Le monde réel est ainsi modélisé en fonction des besoins, ce qui permet de définir précisément le contenu du système. Les SIG gèrent plusieurs types d'informations (données géométriques); certaines sont dites « vectorielles » telles que les cartes digitalisées, d'autres sont dites « raster » telles les photographies aériennes. Cependant, ils peuvent accepter des éléments sans forme tels que des données textuelles ou numériques sans géométrie. La modélisation doit préciser l'information qui devra être accessible et rechercher la forme la plus adaptée (Smaida, 2008)

I.5.2. L'Acquisition de données

Il y a plusieurs sources d'acquisition de données, soit à partir des photos aériennes, de levés topographiques, de GPS, de cartes numériques. Si ces données sont incompatibles avec les logiciels de SIG, il faut les convertir et les rendre compatibles avec les autres ensembles des données. La superposition des couches d'informations ainsi que les autres fonctions de SIG ne sont possibles que lorsque toutes les couches des données spatiales sont référencées dans un même système de projection et de coordonnées. La façon la plus courante d'introduire des données dans un SIG est la numérisation des fonds des cartes imprimées avec une table à numérisation. Ces données peuvent être de quatre types différents: les données raster, les données vecteurs, les grilles ou MNT (Modèle Numérique de Terrain) et les données sans géométrie (Smaida, 2008)

I.5.3. L'Analyse ou Géotraitement

Cette étape est la plus importante et la plus fonctionnelle d'un projet SIG. Elle consiste à exploiter les données numériques stockées dans la base de données et comporte deux phases. La première, c'est l'interrogation des données et se présente sous forme de questions tels que ; « qu'y a-t- il au lieu (x ; y). », « où est ... » ou « quelle est la distance entre les points A et B ». La deuxième phase porte sur l'intégration et le traitement des données. Elle consiste à créer des nouvelles informations spatiales.

Les jeux de données géographiques peuvent être constitués de mesures brutes, d'informations interprétées et compilées par des analyses ou d'informations provenant

d'autres sources de données. Les possibilités offertes par la mise à disposition de renseignements géométriques et de renseignements sémantiques concernent la mise en relation mutuelle d'objets localisés ayant certaines propriétés. Les différentes relations que l'on peut mettre en œuvre concernent la proximité, la topologie ou la forme. (Smaida, 2008)

I.5.4. L’Affichage ou Géovisualisation

L'information géographique, manipulée dans un SIG, est dotée, souvent, d'une géométrie. Elle décrit un territoire qui peut être visualisé dans sa totalité ou partiellement selon une échelle variable. (Smaida, 2008)

I.5.5. Archivage

Les données à stocker dans un SIG sont de deux types : Les données spatiales issues de la numérisation des cartes imprimées. Elles sont appelées couches d'informations ou thèmes. Les données non spatiales; représentent les éléments descriptifs attribués à la base spatiale tel que les coordonnées (x; y; z) d'un point d'eau et son nom ou le nom et l'échelle d'une carte. (Smaida, 2008)

I.6 Les phases de développement d'un SIG

La réalisation d'un projet SIG nécessite plusieurs étapes à fin de fournir un outil d'aide à la décision capable de répondre aux attentes des décideurs et des planificateurs intéressés par la l'application.

On peut résumer ces étapes en trois principales phases, à savoir l'analyse, la conception et la réalisation :

I.6.1.L'analyse

Cette étape nécessite la compréhension du monde réel, sans perdre de vue le système d'information que l'on veut établir, ainsi que les problèmes à résoudre avec ce système, avant de se lancer dans un tel développement.

I.6.2.La conception

Il s'agit dans cette étape de convertir les composantes du monde réel en un modèle conceptuel compréhensible par l'ordinateur. Cette transformation demande, par ailleurs, une recomposition du résultat de l'analyse, dans un formalisme abstrait, guidé par la méthode de modélisation choisie, comme par exemple l'établissement d'un modèle relationnel.

I.6.3.La réalisation

Après la conception, on transforme le modèle conceptuel obtenu en une réalisation informatique tel qu'un Système d'Information Géographique. Cette étape consiste à choisir des structures, à concevoir des programmes ou encore à 'intégrer d'autres.

I.7.Domaine d'application des (SIG)

Il est délicat de donner une classification des applications par thèmes. En effet, les thèmes ne correspondant pas forcément à des domaines équivalents. Certains regroupent une large gamme d'applications tandis que d'autres sont très spécialisés mais représentent un enjeu économique ou technique important pour la géomatique.

I.7.1.Environnement

L'environnement reste l'un des principaux domaines d'application des Systèmes d'Information Géographiques, avec de nombreux exemples d'utilisation qui s'étendent de la surveillance de la qualité des eaux, la prévision du risque incendie, la localisation et le suivi de l'évolution d'espèces animales et/ou végétales, l'étude de l'anthropisation d'un milieu ou bien l'étude d'un couvert végétal. Les SIG sont, entre autres, beaucoup utilisés dans le domaine de l'agriculture (contrôle et prévision de la production agricole, érosion), la foresterie (gestion des ressources forestières) ou l'océanographie (observation des ressources halieutiques, gestion des espèces).

I.7.2.Gaz, Electricité et Mines

Les SIG sont utilisés dans le cadre de la gestion de réseaux de gaz et d'électricité et permettent, par exemple, de connaître à tout moment les caractéristiques de chaque tronçon d'un réseau de distribution ou du réseau entier d'acheminement.

Les SIG permettant ainsi de cataloguer et de géolocaliser toute conduite de gaz et/ou d'électricité dans un tissu urbain. Dans le cadre de l'exploration minière, les SIG vont permettre une connaissance précise de la structure géologique des sols, la prospection minière, la contrainte des terrains, les caractéristiques des tracés de la ressource (localisation des pipelines), l'implantation et les caractéristiques des concessions exploitées.

I.7.3.Transports

L'utilisation de l'information géographique par un transporteur va permettre à ce dernier de gérer sa flotte de véhicules en fonction de zones de desserte, du trafic ou des perturbations de l'infrastructure (bouchons etc.). Les SIG va par ailleurs permettre une

optimisation des tournées (calcul du plus court chemin, prise en compte des gabarits du matériel roulant en fonction des caractéristiques techniques de la voie etc.). Un SIG va donc permettre de gérer, d'analyser et de planifier l'utilisation d'un réseau.

I.7.4.Eau

Les SIG sont très utilisés dans le domaine de la cartographie et la gestion des ressources en eau, dans un cadre de préservation. Ils sont notamment utilisés par les Syndicats d'Aménagement des Eaux, les services Assainissement des collectivités ou les Parcs Naturels afin de localiser les caractéristiques d'un bassin versant, les caractéristiques morphologiques d'un cours d'eau, de recenser les aménagements humains ou de prévoir l'évolution de celui-ci, en prenant compte la faune et la flore s'y trouvant.

I.7.5.Sécurité / Défense

Les SIG sont très utilisés dans le domaine militaire ou dans un contexte de sécurité/défense (grands groupes spécialisés).

Dans un contexte d'opérations et d'interventions, la connaissance du territoire est primordial voir déterminant.

Les SIG sont donc très utile dans ce cadre, car utilisant des données diverses tels que les photos satellitaires ou les renseignements terrains stockés dans des bases de données (permettant l'organisation logistique de missions). Les SIG sont également très utilisés dans le cadre de veilles stratégiques.

I.7.6.Humanitaire / Contexte d'urgence

L'apport de la géomatique est notable dans le monde de l'action humanitaire. Comment trouver le meilleur acheminement d'une aide alimentaire d'un aéroport à l'autre extrémité d'un pays en prenant en compte les zones de rébellion, les éboulements de terrain ou les ravages d'une inondation ? Comment planifier de manière rapide et efficace des populations sinistrées ou en proie au danger dans des zones de refuges proches ? Comment établir une cartographie précise de l'implantation des mines antipersonnelles ? Qu'il s'agisse de l'aide directe aux victimes, des opérations logistiques ou d'aides plus générales aux zones sinistrées (reconstruction, reconstruction des territoires etc.), les SIG se révèlent plus qu'utiles.

I.7.7.Santé publique

Les SIG peuvent également être utilisés dans le secteur de la santé publique. De la surveillance des eaux de baignade selon des critères physico-chimiques à la cartographie de

l'offre de soins dans une région, la connaissance territoriale par les SIG permettant ainsi des décisions et des actions précises sur les zones concernées. Les SIG permettent également, en temps réel, d'organiser les secours: trouver l'hôpital le plus proche d'un lieu d'accident de la route, de trouver le chemin le plus rapide pour l'acheminement d'organes (prise en compte des embouteillages, des sens de circulation etc).

I.7.8.Sports

Les SIG sont un outil efficace en matière de gestion des infrastructures sportives ou concernant la connaissance des pratiques sportives. Du recensement des clubs de football à la localisation des lieux de pratiques sportives de pleine nature, de la localisation des personnes pratiquants la randonnée à l'étude des temps de parcours domicile-lieu de pratique, de la recherche du meilleur emplacement d'un nouveau gymnase à des études d'accessibilité, les SIG permettent une connaissance pratique des pratiques sportives.

I.7.9.Télécoms

Les SIG vont permettre à de nombreuses infrastructures et sociétés de télécommunications (téléphonie par exemple) de connaître à tout moment l'état de leur réseau, la zone de couverture de leur service, de localiser les incidents et prévoir des interventions (acheminement d'équipes etc.). Sans parler d'un impératif commercial passant par la connaissance précise de la localisation de potentiels clients ou d'abonnés.

I.7.10.Géomarketing et géostratégie

Utiliser l'information géographique va être essentiel pour une entreprise soucieuse de son développement. Cette dernière va pouvoir définir son offre de services ou de produits en fonction, entre autres, de la localisation de ses clients et prospects. La géolocalisation va donc se révéler essentielle, qu'il s'agisse de l'implantation d'un nouveau magasin et la conquête de nouveaux marchés (implantation de la concurrence, étude de zones de chalandise, analyse du profit en fonction de critères sociodémographiques d'un territoire etc.).

Tous ces domaines ne sont bien entendu pas les seuls à faire appel aux SIG. Comme le démontre si bien une étude récente, près de 80% des données statistiques sont des données territoriales et donc cartographiables.

Les SIG sont également très utilisés dans le monde de la recherche (universités, académies etc.), dans le domaine de l'architecture, des études statistiques pures et/ou démographiques, de la télédétection, de la climatologie etc.

I.8. Avantages et contraintes du SIG

I.8.1. Avantages

- Capacité de stockage, combinaison de données de sources différentes et rapidité de restitution des données ;
- Précision des processus cartographiques et facilité de mise à jour (outil de suivi) ;
- Analyse des relations spatiales (intégration, requête spatiale, combinaison et superposition de cartes) et production des cartes (Zarouali, 2014)

I.8.2. Contraintes

- Coût élevé et problèmes techniques pour l'acquisition des données fiables ;
- Non standardisation des formats de données
- Nécessité d'une mobilisation contenue des acteurs (Zarouali, 2014)

I.9. Les systèmes de projection cartographiques

Un système de projection cartographique permet de convertir une portion de l'ellipsoïde en une surface plane. Les projections transforment les coordonnées sphériques (Latitude/Longitude) en coordonnées cartésiennes (X, Y métriques).

Cette transformation trigonométrique est souvent accompagnée par une déformation de l'espace transposé. Trois types de projections sont associés aux différents systèmes géodésiques : la projection cylindrique, la projection conique et la projection azimutale.

I.9.1. Projections cylindrique de Mercator (UTM)

La projection se fait sur un cylindre tangent à l'équateur. Comme les méridiens ne sont pas concourants dans la projection de Mercator, les déformations sont assez importantes aux pôles. La projection de Robinson permet d'atténuer un peu ces déformations. La projection Universal Transverse Mercator se fait sur un cylindre tangent à un méridien. C'est le système qu'on va utiliser dans ce qui suit pour toutes les cartes. Ce système divise le monde en 60 fuseaux, dont chacun couvre 6° de longitude.

I.9.2. Projection conique de Lambert

C'est une projection conforme sur un cône tangent à un parallèle. La projection Lambert est une projection conique conforme. Ceci signifie que l'altération angulaire est toujours nulle mais il n'y a pas conservation des surfaces. Les méridiens sont représentés par des droites concourantes au pôle, les parallèles passent par des cercles centrés sur le pôle.

I.9.3. Les systèmes de coordonnées

Les géoréférences constituent le fondement du système vectoriel des SIG. Chaque point de la donnée est représenté par à une paire de coordonnées (X, Y). On distingue deux catégories de coordonnées géographiques :

Les coordonnées planes ou cartésiennes, exprimées en mètres ou en Km et les coordonnées sphériques (figure 7) .

Les premières sont basées sur l'ellipsoïde international WGS84, ayant pour méridien d'origine le méridien de Greenwich et exprimées en degrés.

Les secondes sont basées sur l'ellipsoïde de Clarke 1880, et ayant pour méridien d'origine le méridien de Paris et exprimées en grades

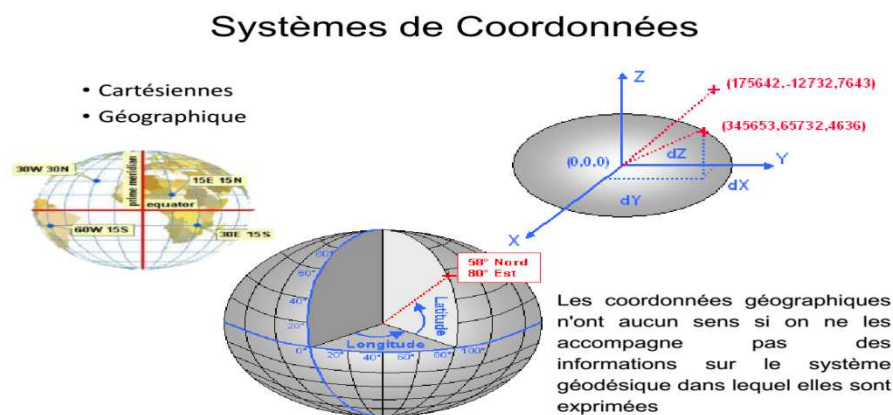


Figure 7: Les types de coordonnées cartographiques (Thériault, 1995)

I.9.4. Choix d'un système de coordonnées

Le choix du système de référence et de coordonnées pour le SIG, est toujours délicat car il s'agit d'avoir un compromis entre la simplicité d'acquisition et de mise à jour des données, mais aussi la capacité à étendre le domaine d'étude.

Dans la phase d'inventaire des points d'eau, on a utilisé les coordonnées géographiques données par GPS. Pendant la phase de numérisation des cartes on a utilisé des coordonnées planes de type UTM, puisque il s'agit d'une zone d'étude relativement vaste (assemblage de cartes topographique). Les coordonnées Lambert ne sont pas utilisées pour éviter les erreurs de conversion entre Lambert Nord et Lambert Sud. Toutes les cartes thématiques sont éditées en coordonnées planes de type UTM. Le choix a été basé sur les

possibilités de travail à plus grande échelle qu'offre ce système. Le passage d'un système à l'autre est facilité par des logiciels de transformation de coordonnées tels que Arcgis . et le logiciel CoordTrans

I.10. Système cartographique en Algérie

I.10.1 La projection Lambert

Durant la période coloniale, l'Algérie a utilisé la projection Lambert. Dans le but de minimiser les déformations (altérations linéaires), l'Algérie a été découpée en deux zones (I.N.C.T, 2007) :

- Une projection appelée "Lambert Nord" qui couvre le nord de l'Algérie
- Une projection appelée "Lambert Sud" qui couvre le sud de l'Algérie

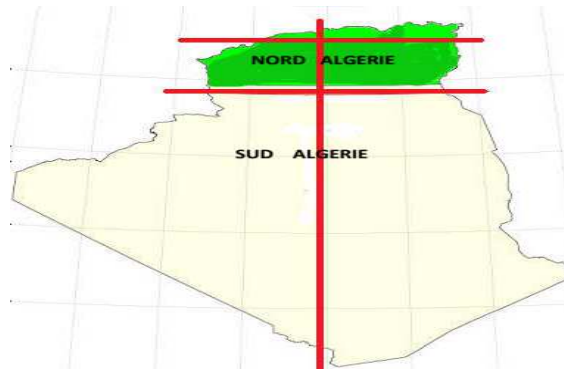


Figure 8 : Projection Lambert en Algérie.

I.10. 2. La représentation cartographique UTM

La représentation cartographique plane en vigueur adopté par l'Algérie en 2003 est l'UTM (Universel Transverse Mercator). L'Algérie s'étale de l'Ouest à l'Est sur quatre fuseaux : le 29 30, 31 et 32 soit de 9° à l'Ouest du méridien d'origine et à 12° à l'Est du méridien d'origine. (I.N.C.T, 2007)

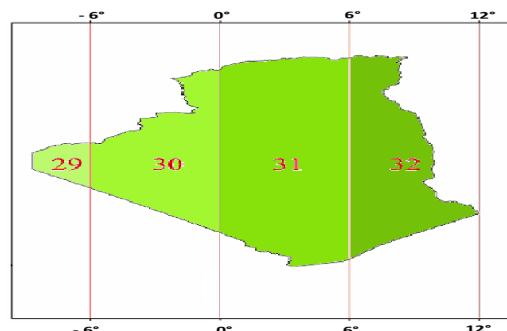


Figure 22: Fuseaux de la projection UTM en Algérie (I.N.C.T, 2007)

Conclusion

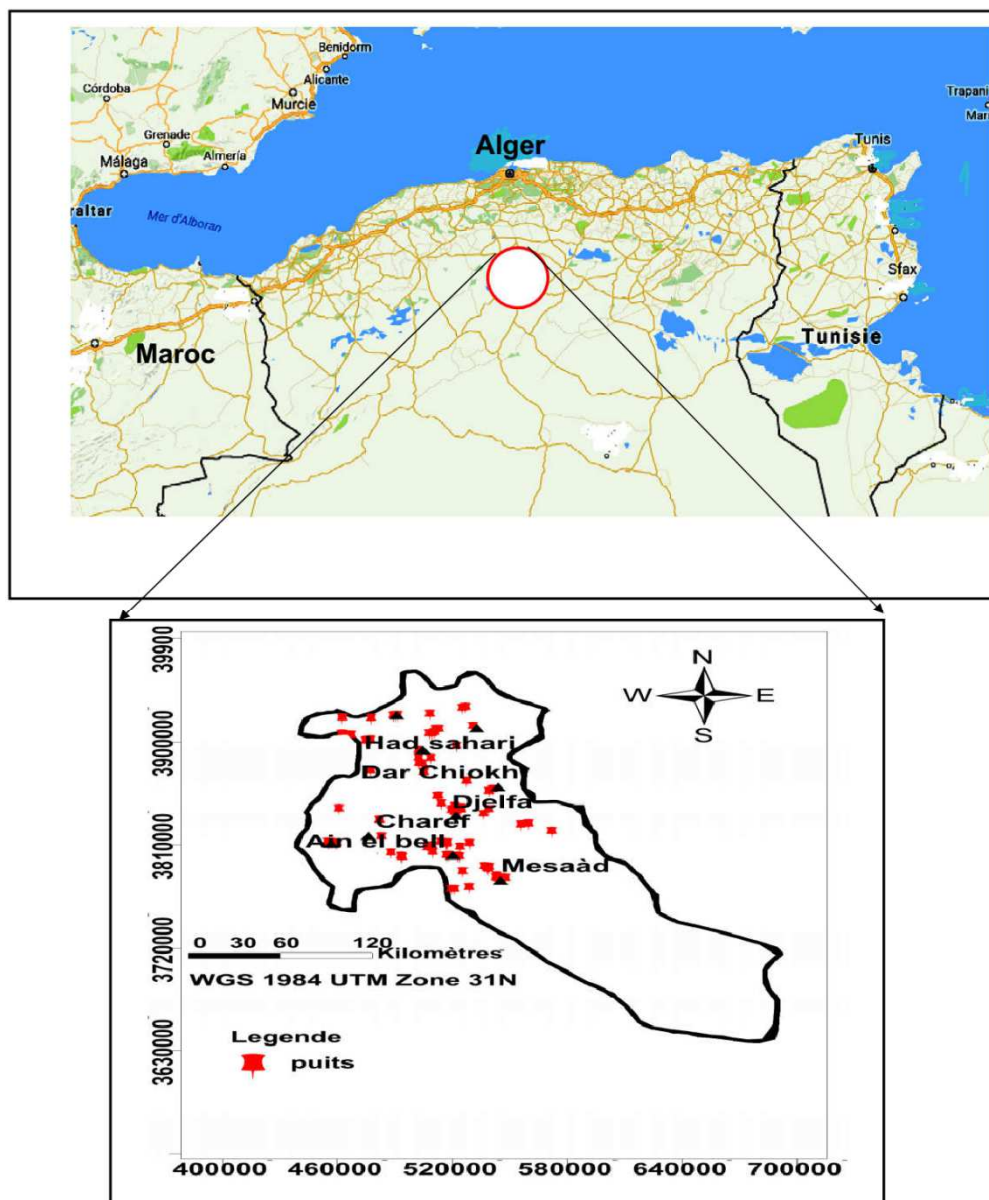
Un Système d'information géographique est, comme son nom l'indique, un outil informatisé dédié à la gestion de l'information géographique. Ce type de système permet d'apporter à chacun l'information dont il a besoin pour décider et agir au mieux dans de meilleurs délais. C'est un outil de représentation d'une réalité, de compréhension des phénomènes et des conditions dans lesquelles ils se réalisent, de simulation d'alternatives et de leur effet. Ils permettent de traiter rapidement et efficacement des volumes importants de données et souvent en temps réel. La mise à disposition de données à jour contribue à faciliter la mise en œuvre d'applications utilisant l'information géographique et permet d'assurer des résultats de qualité.

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

II.1. Situation géographique de Djelfa

La Figure 10 montre la situation géographique de la wilaya de Djelfa, cette dernière située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au Sud de l'Atlas tellien en venant du Nord dont le chef lieu de wilaya est à 300 Km au Sud de la capitale (D.P.A.T.2012). La Wilaya de Djelfa est comprise environ entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33° et 35°30' de latitude Nord. Elle est délimitée, à l'Ouest par les wilayas de Tiaret et de Laghouat, à l'Est par les wilayas de Biskra et de M'sila, et au Sud par les wilayas d'Ouargla, d'El oued de Ghardaïa, au Nord par les wilayas de Tissemsilt et de Médéa



II.2. Caractéristiques physiques

II.2.1. Le relief

La wilaya de Djelfa est formée du Nord au Sud par plusieurs lignes de reliefs qui sont :

I.2.1. 1. La plaine d'Ain Ouassera avec une altitude moyenne de 850 m. (ANRH ,1993)

Cette zone est compartimentée en trois secteurs séparés par des collines érodées : la vallée de l'Oued Touil à l'Ouest, la plaine de Birine à l'Est et le plateau de Ain Ouessara au Centre d'une superficie de l'ordre de 500000 ha. (ANRH ,1993)

II.2.1.2. Les dépressions de Zahrez El Gharbi et El Chargui avec une altitude de 850 m ;

II.2.1.3. Les monts de Ouled Naïls, les plaines de Maïaleba et Mouilah à l'Est du chef lieu d'une altitude de 900 à 1200 m ;

I.2.1.4. Au sud, il y a un plateau dont l'altitude varie de 400 à 800 m, ce vaste plateau comporte dans sa partie Nord-Est le Djebel Boukhil avec 1422 m d'altitude. (ANRH ,1993)

II.3. Végétation

II.3. 1. Les forêts

Les forêts occupent les chaînes de montagnes du Senulba, du Djebel Azreg et du Djebel Boukahil. Les forêts sont claires et aérées par manque de sous bois conséquent et l'inexistence de maquis. Les principales essences forestières sont le pin d'Alep, le châêne vert et le génévrier du phénicien (Arar) (D.G.F, 2009).

II.3. 2. Les reboisements

Les espèces ont été utilisées sont : Tamarix, Retama retam, Atriplex canescens, Atriplex nummularia, Olivier de bohême, Medicago arboria et quelques espèces de graminées. En plus à ces arbustes, on a les arbres : Pin d'Alep, Chêne vert ; Chêne liège ; Cèdre de l'Atlas cypré, Chêne afarés (D.G.F, 2009)

II.3. 3. Les formations steppiques

Formation à base de graminées vivace (alfa, sparte, drin) et à base de chamaephyte vivaces (armoïse blanche, armoïse champêtre, zefzef...). (D.G.F, 2009).

Globalement les superficies utilisées comme parcours représentent 82 % des superficies totales de la wilaya avec 1.844.049 ha. (D.G.F, 2009)

II.3.4. Les cultures

La céréaliculture pluviale est constituée essentiellement de blé et de l'orge en zone humide. Les cultures irriguées sont les maraichages, les fruitiers et les céréales. Les cultures par épandage de crues sont très importantes (D.G.F, 2009).

II.4. Sols

II.4.1. Sols squelettiques

Ce sont des sols peu évolués de très faible profondeur et sont soumis à une érosion continue (ANRH ,1993)

II.4.2. Sols accumulations calcaires et gypseuses

Ces sols riches en calcaire et en gypse, sous leurs différentes formes (croûte, encroûtement, diffus, etc...). (ANRH ,1993)

II.4.3. Sols salés

Ces sols peuvent être différenciés en deux catégories :

- Sols excessivement salés : ils occupent le centre des dépressions des Zahrez et sont dépourvus de toute végétation.

Ces zones sont exploitées dans la collecte du sel de table

- Les sols modérément salés : ils sont situés à la périphérie des sebkhas et portant une végétation steppique spécifique utilisée comme pâturage. (ANRH ,1993)

II.4.4. Sols à vocation agricole

Selon leurs situations, nous distinguons les sols : (ANRH ,1993)

- Des plaines de l'atlas saharien
- Des vallées
- D'épandage de crue - Des dayas et des lits des Oued
- Les dayas du Sud
- Les dayas du Nord

II.5. Géologie

La région de Djelfa fait partie des monts des Ouleds Nails qui forment la partie centrale de l'atlas saharien, qui est d'orientation grossière Sud-ouest et Nord- Est. (ANRH ,1993)

Nous rencontrons ces monts justes après la traversée des chotts des Zahrez. Les formations rencontrées sont d'âge de fin jurassique, crétacée, tertiaire et quaternaire. Ils sont limités au Nord par les hauts plateaux et au Sud par la plate forme saharienne. (figure 2). (ANRH ,1993)

II.5.1. Historique des études de reconnaissance dans la région de Djelfa

La première reconnaissance stratigraphique et tectonique de l'Atlas saharien en tant qu'objectif pétrolier a été effectuée par les géologues de la S N. Repal en 1949 et 1949

En mars 1952, le service de la colonisation et de l'hydraulique a implanté un sondage profond dans la zone synclinal de Zahrez en bordure de la route Alger – Djelfa, à 8 km au sud de Hassi bahbah. (A.N.R.H, 1993).

Le sondage dit " Ain Malakoff" avait pour objectif de reconnaissance les grés Albien éventuellement du Barrémien. (A.N.R.H, 1993).

Le 3 juillet 1953 la reconnaissance a été arrêt le cénomanien à la profondeur de 1945 m. la limite de puissance théorique de l'appareil étant largement dépassée. (A.N.R.H, 1993).

Au cours de ce forage des indices de pétrole ont été rencontrés dans le Cénomano -Turonien à différents niveaux. Cette présence d'indices a posé alors un problème pétrolier.

Une première connaissance a été effectuée dans la région en juillet 1953 par JM AYME pour mettre en évidence la nécessité d'une étude précise des variations de faciès et d'épaisseur de Cénomanien – Turonien. (A.N.R.H, 1993).

D'autre part une structure a été reconnue au SW DE Hassi bahbah (Periclinal d'Atef el Makem).

Le 12 octobre 1953, le service de la colonisation et de l'hydraulique a implanté un deuxième forage au centre du périclinal d'Atef el Makem dans le but d'atteindre les grés Albien à une profondeur raisonnable.

Au cours de ce sondage la zone à indices rencontrée à Ain Malakoff a été de nouvelles traversées (A.N.R.H, 1993).

II.5.2. Lithostratigraphie

II.5.2.1. Le Trias

Le Trias n'affleure pas dans le secteur étudié. Nous le rencontrons au Nord à proximité de l'oued Mellah (Rocher de sel) et au niveau de Bordj Douis, nous forme de Diapir.

Il constitue essentiellement d'une série d'argiles, parfois bariolées à évaporites. (A.N.R.H, 1993).

II.5.2.2. Le jurassique – Crétacé inférieur indifférencié (Portlandien – Berriasien)

Le portlandien – Berriasien apparaît sous un pendage fort et présente un aspect de bancs massifs, escarpés de couleur noirs, intercalés de niveaux plus tendres. (A.N.R.H, 1993).

II.5.2.3. Le barrémien

Cette formation se présente soit sous forme de grandes étendues planes de couleur grise tachetés de blancs, soit sous forme de banc à grandes chevrons maillés (Diaclases), ou en bandes continues très nombreuses.

Il est à pendage assez fort, cette formation forme d'imposantes falaises grises, très abruptes pour les niveaux les plus durs (Djebel Tafara- Kef en Nasseur), parfois elle forme des crêtes ainsi que des combes. A pendage faible elle se traduit par de vastes surfaces pénéplinaires où la roche sub - affleurante le plus souvent (secteur d'Oued Roumi). (A.N.R.H, 1993).

Concernant la lithologie, cette formation correspond à un énorme ensemble gréseux ou argileux – gréseux. Les grés sont souvent à grains grossiers, en général mal classés, tendres. Leur couleur peut être blanchâtre, beige mais souvent rougeâtre. Ils sont en général assez friables, souvent à ciment argileux parfois quand les bancs sont très durs, ils présentent à la cassure un ciment siliceux compact. (A.N.R.H, 1993).

Parfois les bancs sont séparés par des argiles rougeâtre à versicolores gréseuses.

Les grés comportent du bois sicilien assez rare. On y rencontre aussi des stratifications obliques, entre croisées. (A.N.R.H, 1993).

La limite inférieure correspond à l'ensemble carbonaté inférieur du fin du jurassique.

La limite supérieure, correspond à la disparition des grés argileux et des argiles gréseuses.

II.5.2.4. L'Aptien

Forme une bande étroite, continue bien visible dans le paysage. Parfois elle est discontinue quand elle est cachés par le Quaternaire et sa couleur et grise blanchâtre. (A.N.R.H, 1993).

Entre la masse des grés, cette formation rompt brutalement la monotonie du paysage et forme ressaut net séparant les deux formations qui l'encadrant. D'une façon générale elle affleure bien mais peut disparaître sous les recouvrements quaternaires. (A.N.R.H, 1993).

L'Aptien est essentiellement carbonatée. Il est formé de marnes verdâtre à grisâtre, marno – calcaire ou calcaires marneux noduleux à coquilles de gastéropodes et autre débris, calcaire parfois fin ou grossier légèrement dolomitisé ou pas.

Parfois on rencontre des bancs de calcaire fin argileux, ou gréseux. La couleur en général est grisâtre à gris blanchâtre. (A.N.R.H, 1993).

La limite inférieure est matérialisée par l'apparition des marnes ou calcaires et la limite supérieure à la disparition complète de la séquence carbonatée. L'épaisseur moyenne est 50 m.

II.5.2.5. L'Albien inférieur

Cette formation forme des surfaces aplanies, tachetées des couleurs grises et blanches. Lorsque la base marno – calcaire est peu visible ou disparaît, on risque de la confondre avec l'ensemble sous –jacent de la barre, mais la stratification permet de la distinguer aussi du quaternaire. (A.N.R.H, 1993).

Il s'agit d'un ensemble de grés massifs en général, parfois fins intercalées par des passées d'argile grisâtre à rougeâtre.

Parfois on a une alternance de petits bancs de grés à dominance argileuse. Les grandes stratifications entrecroisées y sont présentes et rencontrons des débris de bois sicilien

La limite inférieure est prise au toit de la série sous – jacente carbonatée, c'est-à-dire dès l'apparition de l'argilo – gréseux et la limite supérieure dès l'apparition des calcaires ou marnes de la série sus – jacente. L'épaisseur moyenne est d'environ 350 m. (A.N.R.H, 1993).

II.5.2.6. L'Albien supérieur

Cette formation se présente sous forme de bandelettes sombres espacées. On remarque une certaine continuité dans le paysage. (A.N.R.H, 1993).

Elle constitue une partie de la grande structure de synclinal. Les conditions s'affleurent sont assez bonnes. Cette formation forme une succession de collines, ressaut bien visible dans le

paysage. Cette formation peut être interrompue par l'érosion qui souvent est favorisée par un accident tectonique original. (A.N.R.H, 1993).

L'albien supérieur est représenté par les calcaires et marne qui dominent alternativement dans cette série de calcaires fins, parfois marneux, noduleux. Les marnes sont grises, verdâtres et jaunâtre passant quelque fois à des marno – calcaires grises.

Les calcaires sont grisâtres, parfois argileux, mais souvent coquilles. A la cassure, le ciment est argileux ou carbonaté.

La structure des bancs est parfois massive, mais souvent noduleux ou se débitant en plaquettes. (A.N.R.H, 1993).

La limite inférieure paraît très nette. Elle correspond bien à la limite morphologique. Elle est marquée par la disparition de la séquence argilo – gréseuse et l'apparition de la séquence carbonatée. (A.N.R.H, 1993).

La limite supérieure est difficile à matérialiser car nous notons parfois la continuité dans le régime sédimentaire entre l'albien supérieur et le Cénomaniens inférieur. Cependant il faut noter une prédominance relative des faciès marneux sur les faciès calcaires, dans le Cénomaniens, ceci d'une part, et d'autre part la disparition des strombus. L'épaisseur est égale en moyenne à 200 m.

II.5.2.7. Le Cénomaniens

C'une combe grisâtre à lamination blanches, elle est bien nette mais généralement recouverte par le quaternaire où la végétation.

Les conditions d'affleurement sont médiocres. Son épaisseur est relativement importante et les faibles pendages de ses couches. (A.N.R.H, 1993).

Souvent déterminent une vaste aire où les affleurements sont partiellement cachés sous le manteau alluvial et les atterrissements.

Cette série est formée essentiellement par des marnes jaunes à jaunes verdâtres avec parfois des argiles jaunâtres. (A.N.R.H, 1993).

Le gypse est toujours présent soit disséminé, soit en bancs massifs, fibreux mais souvent saccharoïde de couleur blanchâtre, bleuâtre.

On y trouve aussi des intercalaires des bancs calcaires fins, peu épais et rarement marno – calcaire jaunâtre à grisâtre. La limite inférieure est représenté par la limite supérieure de l'Albien supérieur.

La limite supérieure est matérialisée par la grande falaise sus- jacente.

II.5.2.8. Le turonien

Il apparaît sous forme d'un ensemble de corniches, dont la base est marquée par un grande falaise. Cette formation est continuée s'interrompant parfois au niveau des grands accidents important. Elle est de couleur blanchâtre.

Elle se présente essentiellement comme une grande falaise dominant le reste des formations sous – jacentes, par la suite de l'inversion des reliefs. Elle forme l'ossature de la grande structure de Djelfa.

C'est un élément morphologique important et facilement reconnaissable du fait de son bon affleurement. Cette formation est formée essentiellement de calcaire sub – lithographique de couleur blanche claire ou grisâtre. A la base, ce calcaire est massif à silex et à beaucoup de débris de rudistes. (A.N.R.H, 1993).

II.5.2.9. Le sénonien

Elle est formée d'alternance de barres calcaire fins à débris de coquilles, avec des combes marneuses jaunes de 100 m d'épaisseur et plus, mais parfois elle est peu épaisse.

Dans Djelfa le niveau supérieur présente un conglomérat massif à éléments de calcaire très grossiers (10 cm et plus) fins à couleur grise, jaunâtre et parfois rosâtre. (A.N.R.H, 1993).

II.5.2.10. Le Moi – pliocène

C'est une grande étendue, masse de grandes taches parfois planes grisâtre, parfois formant des buttes, il est discordant sur les séries sous –jacentes

Il est bien représenté puisqu'il affleure dans toute la région de Djelfa.

Il est constitué de marne, argiles rouges à jaunes verdâtre, de bancs de calcaires peu épais à massifs, de conglomérats à élément calcaires et de gypse.

L'épaisseur de Moi - pliocène à difficile a évaluée. (A.N.R.H, 1993).

II.5.2.11. Le Quaternaire ancien

Il apparaît en terrasses grises. Il est situé au flanc et au Djebel Djellal El Rharbi, formant des terrasses dans le paysage, C'est un quaternaire consolidé, compact et discordant.

II.5.2.12. Le Quaternaire récent

Apparaît en taches irrégulières de couleur grise ou gris clair et il est discordant.

Présente dans toute la région d'étude, il donne l'aspect des veines, car il suit d'allure des Oueds ou des dépressions et il est discordant.). (A.N.R.H, 1993).

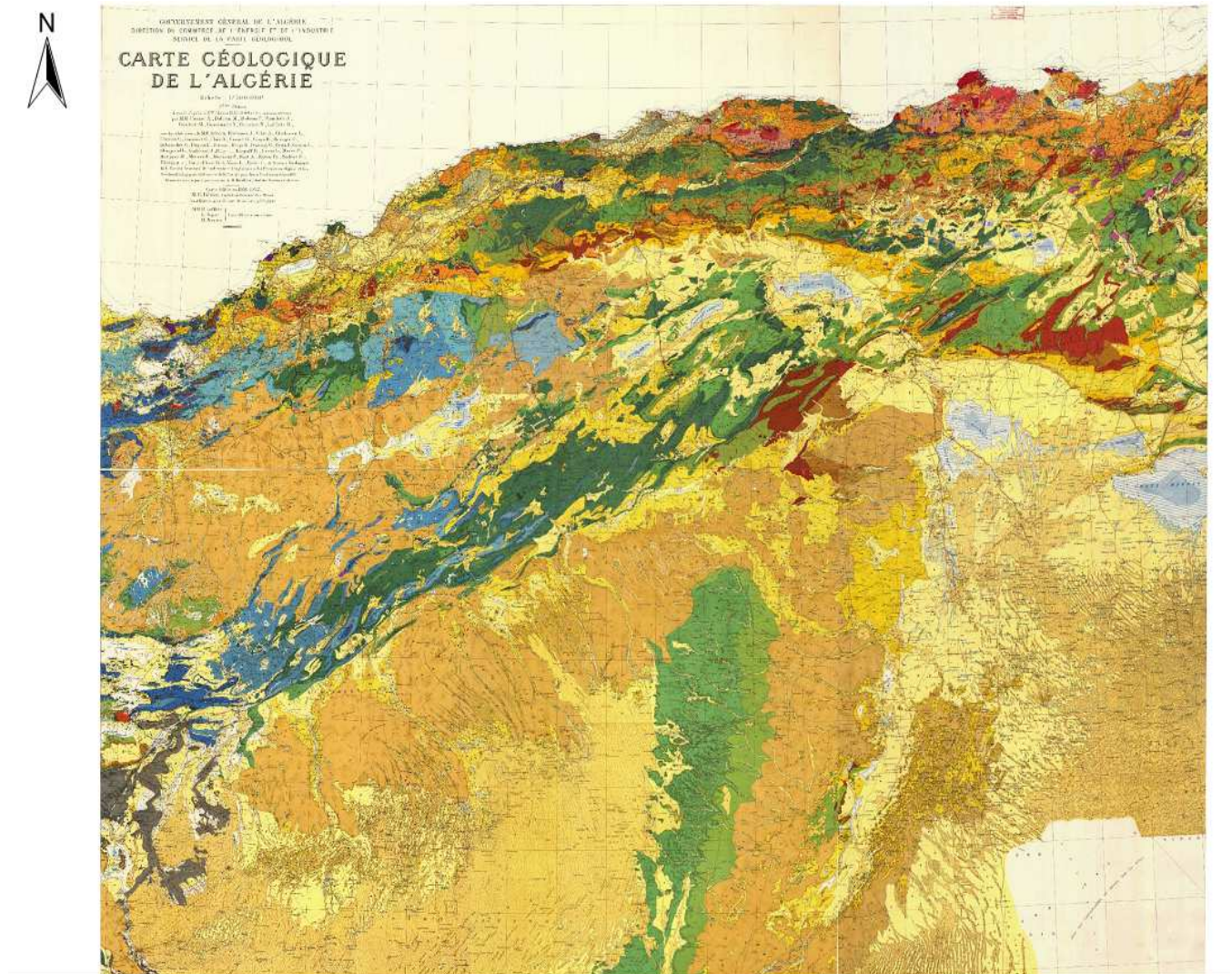


Figure 11 : Extrait de la carte géologique de l' Algérie du Nord (source : service de la carte géologique .1952. (ANRH., 2012)

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

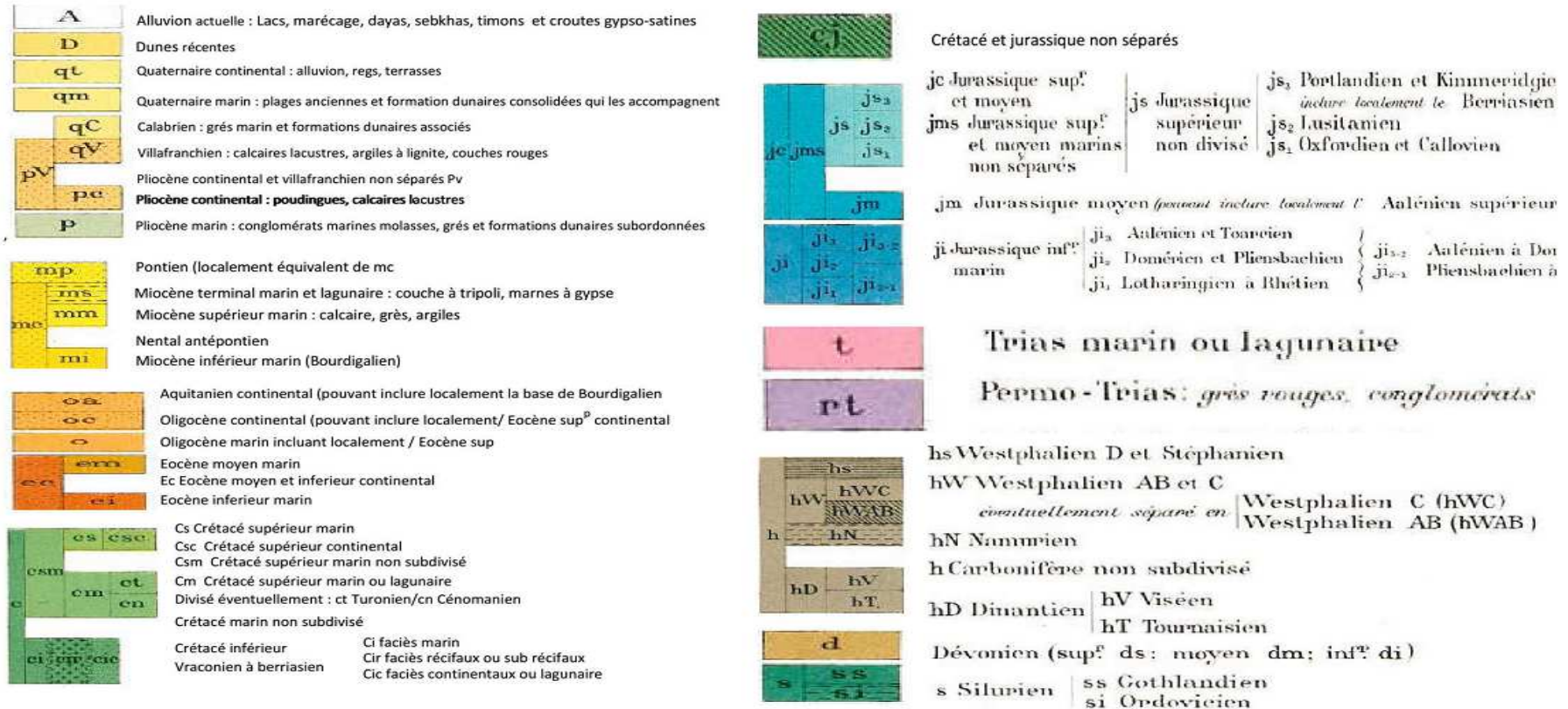


Figure 12 : Légende : Extrait de la carte géologique de l' Algérie du Nord (source : service de la carte géologique .1952) . (ANRH., 2012)

II.6. Les ressources en eaux

II.6.1. Les eaux superficielles

Le réseau hydrographique de la wilaya est en grande partie endoïque. Il est constitué principalement : (D.P.A.T.2012)

- Au Centre, le bassin fermé des chotts qui collecte, outre les eaux de la dépression des Oued Nail
- Au Sud, le bassin de l'Oued Djedi qui collecte les eaux de ruissellement du versant Sud de l'Atlas saharien.
- Au Nord, le bassin versant du haut Cheliff qui chaîne les dépressions de la région de Ain Oussera

II.6.2. Les eaux souterraines

Les nappes les plus connues sont : (D.P.A.T.2012)

- Les nappes alluviales de l'Oued Touil et de l'Oued Ouark
- Le synclinal de Djelfa
- Les nappes de Zahrez

II.7. La population

La Wilaya de Djelfa est occupée par la grande confédération des Ouleds Naïl, qui regroupe plusieurs tribus. La population de la wilaya est de 805297 habitants (O.N.S, 1998), avec une forte concentration dans l'agglomération chef lieu qui englobe 601170 habitants soit 69,22 % de la population. La densité de population est de 26 habitants/Km² (D.P.A.T, 2012)

II.8. La production animale

Au niveau de la wilaya de Djelfa, l'élevage ovin est le plus pratique, avec une proportion de 87.9% du cheptel total, suivi par l'élevage caprin avec 10.20% et celui de l'élevage bovin évalué à 1.16%. (D.P.A.T, 2012)

L'élevage équin et camelin représente de faibles proportions, soit respectivement 0.48% et 0.25% du cheptel de la wilaya.

Les productions animales dans la wilaya de Djelfa se rapportent aux viandes rouges généralement d'origine ovines, aux viandes blanches, aux œufs et au lait. Les produits de l'élevage, les plus courants, sont la laine et les peaux d'ovins. (D.P.A.T, 2012)

Chapitre III

Cadre Climatique

Introduction

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre.

Aussi, la bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, et de ses caractéristiques est importante pour la compréhension de l'évolution des éléments climatiques et du comportement hydrologique des cours d'eau.

Pour étudier le climat de la région on s'est basé sur la station climatologique de chef lieu de Djelfa du fait qu'elle possède les données complètes.

Dans ce chapitre nous allons déterminer les caractéristiques climatiques à savoir :

1. Etude de la précipitation

- La précipitation moyenne annuelle
- La précipitation moyenne mensuelle
- La précipitation saisonnière

2. Etude de la température

- La température moyenne mensuelle

III.1. Les précipitations

Toutes les précipitations se forment à partir du refroidissement de la vapeur d'eau et de sa condensation. Leur état, solide ou liquide, à leur contact avec le sol, dépend de la température intérieure et extérieure des nuages, de leur teneur en eau ainsi qu'à la vitesse des courants ascendants qui y règnent.

Les précipitations sont caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon les lieux, les Jours, les mois et aussi les années.

Les précipitations s'évaluent en hauteur d'eau équivalente (mm) sur une période donnée (ex : mm par an, par mois).

III.1.1 la précipitation annuelle

L'histogramme de la variation de la précipitation annuelle (figure 13) montre que :

- L'année la plus humide est 1977 avec une précipitation annuelle de 480 mm d'environ.
- L'année la plus sèche est 1999 avec une précipitation annuelle de 181 mm d'environ.

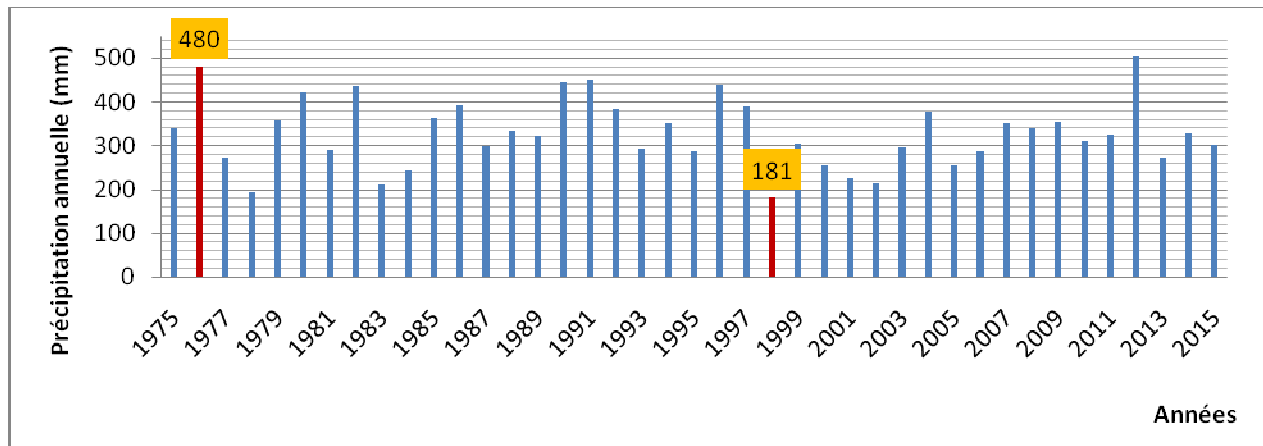


Figure 13 : La variation de précipitation annuelle en (mm). ONM Djelfa (1975-2015)

III.1.2.Précipitations moyennes mensuelles

Le tableau 1 et la figure 14 montrent que :

- Le mois le plus pluvieux est celui du mois de Janvier avec une valeur de **34.98 mm**.
- Le mois le plus sec est celui du mois de juillet, avec une valeur de **17.68 mm**.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout
P_{moy}(mm)	25.8	26.78	30.63	29.17	34.98	30.12	28.95	29.88	34.39	20.05	17.68	20.29
Max	7	117	81	97	117	74	75	87	122	74	278	78
Min	1	1	1	4	2	1	1	1	2	1	1	1
Ecart type	19,1	25,81	20,21	17,81	26,1	20,80	23,92	20,99	26,48	17,99	42,94	18,63
Coef de variation	0,74	0,96	0,66	0,61	0,75	0,69	0,83	0,70	0,77	0,90	2,43	0,92

Tableau 1: Variation des précipitations moyennes mensuelles en (mm) .ONM Djelfa (1975-2015)

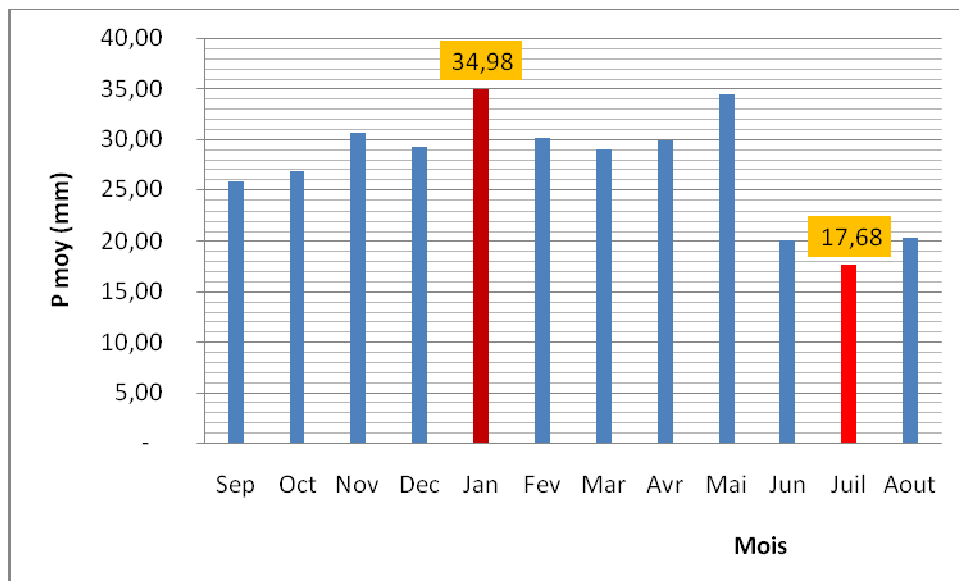


Figure 14: Variation des précipitations moyennes mensuelles en (mm) (1975-2015) . ONM Djelfa

Le coefficient de variation défini comme étant le rapport de l'écart type sur la moyenne des précipitations enregistrées.

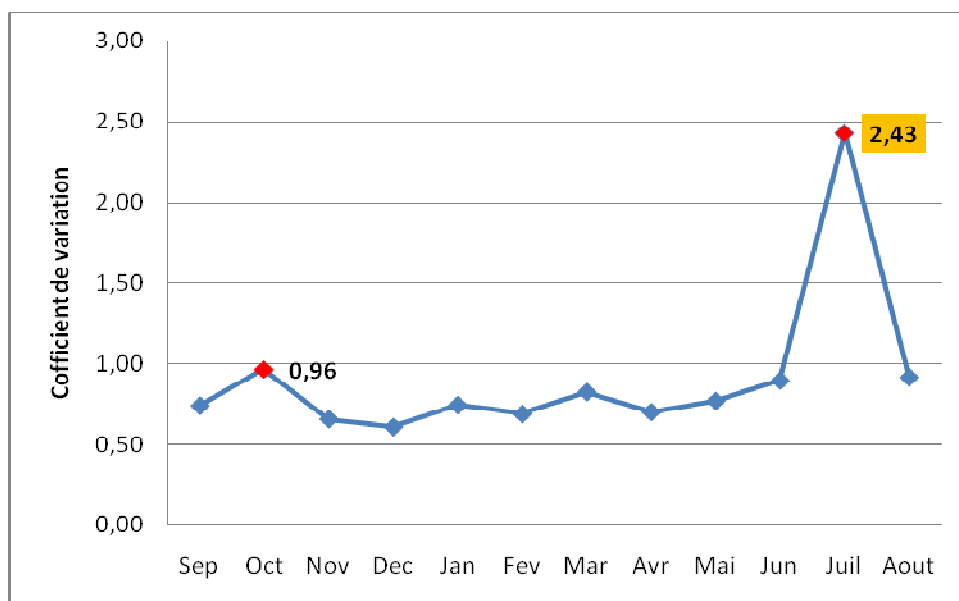


Figure 15 : Coefficient de variation des précipitations moyennes mensuelles en (mm) ONM Djelfa (1975-2015)

Le calcul du coefficient de variation pour la série de données de la station de Djelfa (figure 15), montre que les plus fortes valeurs concernent les mois de juillet et octobre, par contre les dispersions des pluies mensuelles les plus faibles se situent en saison sèche dont le coefficient de variation atteint une valeur minimale en décembre égale à 0.61 ceci peut être expliqué par la faiblesse des précipitations estivales.

III.1.3. Précipitations moyennes saisonnières

L'analyse du tableau 2 et la courbe de la figure 16 des précipitations moyennes saisonnières de la station de Djelfa montre que :

- L'hiver est la saison la plus humide avec une précipitation moyenne saisonnière de 94.27 mm d'environ.
- L'été est la saison la plus sèche avec une précipitation moyenne saisonnière de 58.02 mm d'environ.

Mois	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total
Précipitations moyennes saisonnières (mm)	83.22	94.27	93.22	58.02	328.73
Précipitations moyennes saisonnières (%)	26.37	28.68	28.36	17.4	100

Tableau 2 : Variation des précipitations moyennes saisonnières. ONM Djelfa (1975-2015)

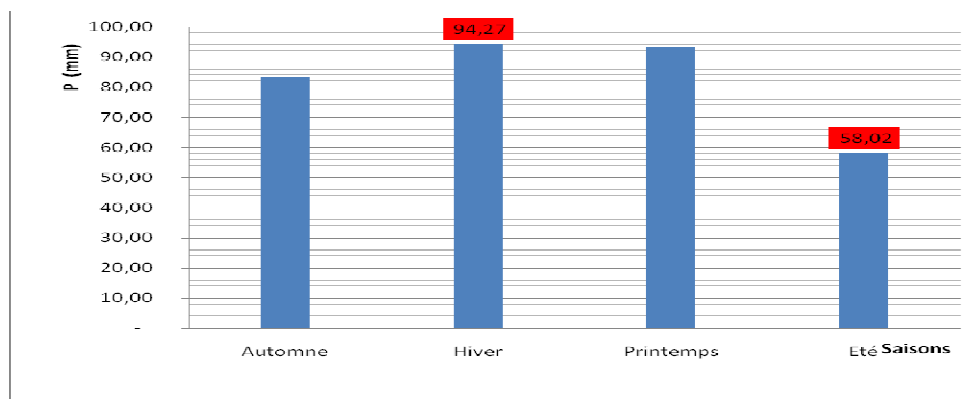


Figure 16 : Variation des précipitations moyennes saisonnières . ONM Djelfa (1975-2015)

III.2. La température

La température de l'air est un facteur climatique très important qui contrôle le climat de la région. La variation spatiale et temporelle de la température dépend de l'altitude, le relief, la densité de la couverture végétale, la proximité de la mer, les masses d'air dominantes et le degré d'urbanisation et de pollution.

La température constitue avec les précipitations l'élément majeur qui régit le climat d'une région. La mesure de la température est très facile par des instruments comme le thermomètre (les plus courants sont les thermomètres à mercure,)

III.2.1. Température moyenne mensuelle

Les températures moyennes mensuelles sont calculées par différentes méthodes.

Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode de la sommation des extrêmes et le calcul de leur moyenne arithmétique « $M+m/2$ ».

Le tableau 3 représente les températures moyennes maximales et minimales ainsi que les températures moyennes mensuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	T _{moy}
T _{min} (°C)	16,90	12,10	6,60	1,20	2,10	2,50	6,00	10,00	10,30	12,90	18,30	23,50	10.2
T _{max} (°C)	23,90	19,20	11,30	8,90	7,60	9,30	12,90	15,80	21,00	25,90	29,00	36,50	18.44
T _{moy} (°C)	20,4	15,65	8,95	5,05	4,85	5,9	9,45	12,9	15,65	19,4	23,65	30	14.32

Tableau 3: Température moyenne mensuelle en °C . ONM Djelfa (1975-2015)

T_{min}: Moyenne mensuelle des températures minimales °C.

T_{Max}: Moyenne mensuelle des températures maximales °C.

T : Température moyenne mensuelle. $T_{moy} = (T_m + T_M) / 2$

Le tableau 3 et la figure 17, montre que les températures mensuelles de notre zone d'étude atteignent leur minima au mois de décembre, avec une valeur de 1.2°C.

Les maxima sont observés au mois Aout, avec une valeur de 36.5°C. La moyenne des minima est de 10.2 °C et celle des maxima est de 18.44°C, pour une moyenne arithmétique « $(M+m) / 2$ » est de 14.32°C.

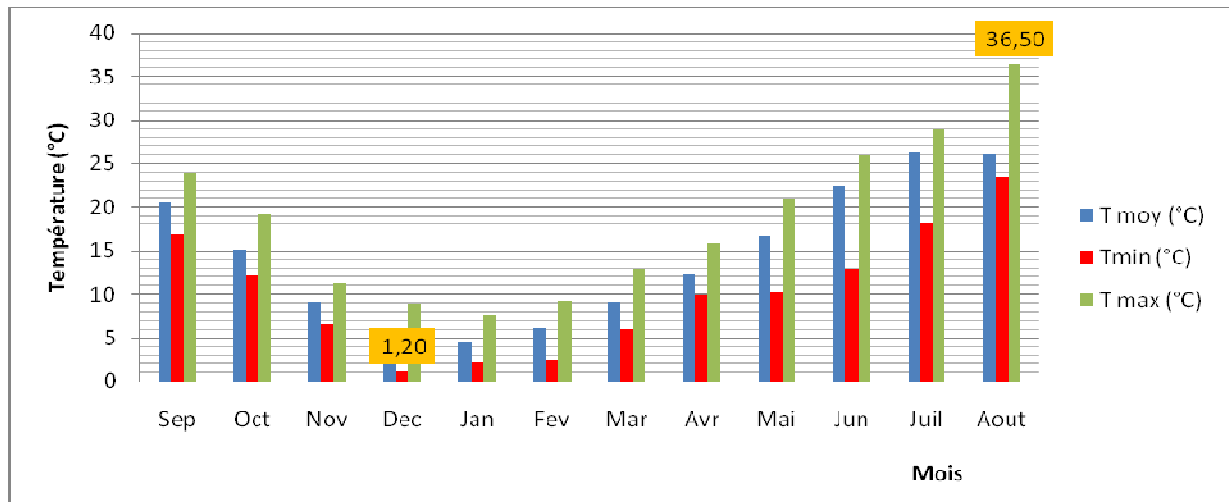


Figure 17: Variation des températures moyennes mensuelles. ONM Djelfa (1975-2015)

III.2.2. Température moyenne saisonnière

Le tableau 4 montre les variations moyennes saisonnières de la température pour la station de Djelfa durant la période « 1975 – 2015 »

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
T (°C)	15	5.26	12.67	24.35

Tableau 4 : Température moyennes saisonnières en (°C) . ONM Djelfa (1975-2015)

III.3. Relation entre précipitation et température

La combinaison des températures et des précipitations, est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs qui correspondent selon la définition basée sur le comportement de la végétation.

Selon, un mois est dit sec si le total moyen des précipitations est inférieur ou égale au double de la température moyenne ($P \leq 2T$).

Cette relation permet d'établir le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS sur les quels la température est portée sur une double échelle de celle des précipitations.

- Si la courbe des températures passe au dessus de la courbe des précipitations nous avons un mois sec.
- Si la courbe des températures passe au dessous de la courbe des Précipitations nous avons un mois humide.

Le tableau 5 et la figure 9 représentent les températures et les précipitations moyennes mensuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
P _{mov} (mm)	25.8	26.78	30.63	29.17	34.98	30.12	28.95	29.88	34.39	20.05	17.68	20.29
T (°C)	20,4	15,65	8,95	5,05	4,85	5,9	9,45	12,9	15,65	19,4	23,65	30

Tableau 5 : Températures et précipitations moyennes mensuelles dans la station de Djelfa. Durant la période (1975-2015). ONM Djelfa.

Le diagramme ombrothermique est représenté dans la figure 8t :

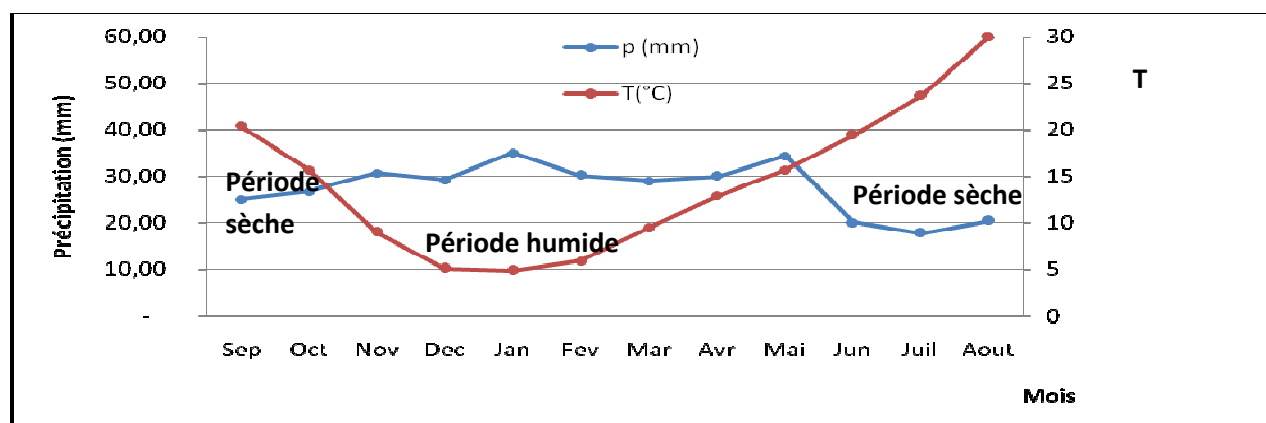


Figure 18: Diagramme ombrothermique pour la période 2004-2014. Station de Djelfa

On considèrera qu'un mois est sec si la courbe des températures est supérieure à l'histogramme des précipitations (et inversement).

Dans notre cas, nous constatons que la période sèche s'étale depuis le mois de mai jusqu'au le mois de octobre et la période humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'au le mois de mai.

III.4. Les indices climatiques

III.4.1. Indice de Martonne ou d'aridité

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (I_a).

Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude.

Ce paramètre se calcule selon la formule suivante

$$I_a = \frac{P}{T + 10} \dots\dots\dots 1$$

Avec :

I_a : Coefficient d'aridité

P : La précipitation moyenne annuelle en mm.

T : La température moyenne annuelle en °C.

Les valeurs de l'indice permettent déterminer le climat selon le classement ci-dessous,

Quand :

$I < 5$ le climat est hyperaride

$5 < I < 7.5$ le climat est désertique

$7.5 < I < 10$ le climat est steppique

$10 < I < 20$ le climat est semi-aride

$20 < I < 30$ le climat est tempéré

$I > 30$ le climat est humide.

L'application numérique donne $I = 13.51$

L'indice d'aridité est entre **20** et **30** d'où cette intervalle est déterminé le climat des zone semi – aride avec un écoulement temporaire. (figure 19)

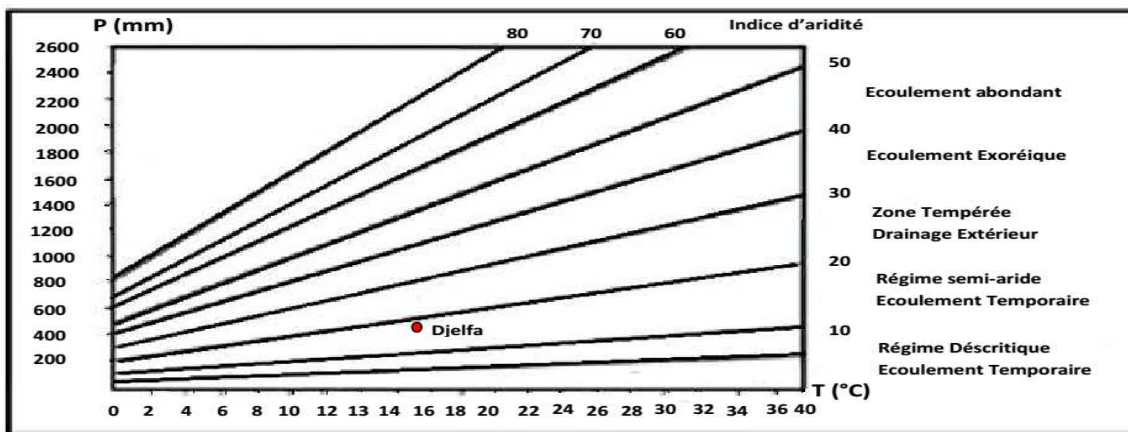


Figure 19 : Abaque de Martonne. Station de Djelfa

III.4.2. Le quotient Q_2 d'Emberge

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L. Emberger (figure 11) sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station de Djelfa avec en abscisse la moyenne de la température minimale (en °C), et en ordonnée Q_2 donné par la formule suivante

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2} \dots\dots\dots 2$$

D'où :

Q_2 : Le quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : La précipitation moyenne annuelle en mm.

M : La moyenne des maximales du mois le plus chaud en degré Kelvin (K°)

m : La moyenne des minimales du mois le plus froid en degré Kelvin (K°).

L'application numérique donne : $Q_2 = 31.90$

En Algérie Djebail. S, (1984), a montré que la dernière formulation ou quotient pluviométrique (Q_2) peut s'écrire :

$$Q_2 = 3.43 * \left(\frac{P}{(M - m)} \right) \dots\dots\dots 3$$

Le Q_2 de la zone d'étude est égal à **31.94** correspondants à l'étage semi - aride à variante thermique hiver frais (figure 20).

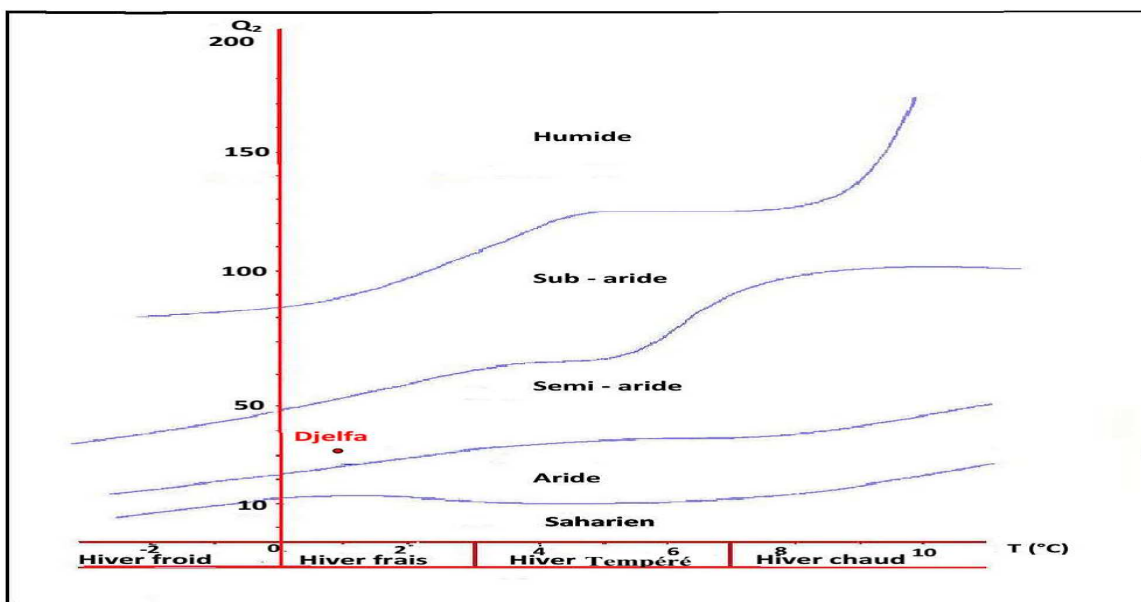


Figure 20 : Climagramme d'Emberger . Station de Djelfa

III.5. Régime des vents

Les vents dominants proviennent essentiellement de l'Ouest et du Nord-Ouest en hiver, du Sud Ouest en été. Ces derniers sont parfois violents, du fait de leur circulation sur des espaces ouverts sans aucun obstacle physique favorisant ainsi le phénomène de la désertification. Ce fait est plus ressenti au niveau de la partie centrale de la wilaya avec des accumulations sableuses plus importantes qu'en d'autres endroits.

D'autres parts, la principale caractéristique des vents dominants est matérialisée par la fréquence du sirocco d'origine désertique chaud et sec, dont la durée peut varier d'une zone à une autre de 20 à 30 jours/ans (D.P.A.T, 2012)

III.6. Les gelées

Ce phénomène lié à la baisse extrême des températures, constitue le facteur climatique le plus contraignant de la région, notamment via à via de l'activité agricole.

Durant les saisons d'hiver et de printemps des gelées blanches sont observées dont la fréquence varie entre 60 à 40 jours/ans suivant les régions les plus exposées à ce phénomène, C'est dans les parties Nord et centre de la wilaya (où se trouvent les meilleures terres agricoles) que ce manifeste fortement ce phénomène avec respectivement une moyenne de 66.2 et 31.2 jours/ans, alors qu'au Sud celle-ci n'est seulement que de 3.2 jours/ans. (D.P.A.T, 2012)

Mois	Sep	Oc	Nov	Dé	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Juin	Juil	Aout
Moy gelées)	0	0	2.9	9.3	11.1	6.8	3.3	0.6	0	0	0	0

Tableau 6 : Valeurs moyenne mensuelles et annuelles de la gelée .

ONM Djelfa (1975 - 2012)

III.7. La neige

Les enneigements, saisonniers et variables, enregistrés au niveau de la wilaya varient en moyenne de 3 à 10 jours/an et tombent essentiellement sur la partie centrale de la wilaya.

L'épaisseur est de 10cm à 30 cm. (D.P.A.T, 2012).

III.8. L'humidité relative

Ce paramètre est conditionné par la direction des vents et la différence de température.

Les résultats du tableau 7 montre qu'un minimum est atteint au mois de Juillet avec une valeur de 35% durant la saison sèche (Juin à Août), l'humidité relative ne dépasse pas les 50%, alors que pendant la saison froide on enregistre des valeurs plus élevées avec un maximum de 76.04 % au mois de Janvier.

Mois	Sep	Oc	Nov	Dé	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Juin	Juil	Aout
H_r (%)	52.05	62.24	71.86	76.07	76.04	67.57	62.71	56.85	51.6	43.47	35	39.05

Tableau 7 : Humidité moyenne mensuelle . ONM Djelfa (1975 – 2012)

I II.9. Estimation des paramètres du bilan hydrologique

La connaissance du bilan hydrologique d'une région à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, infiltration et l'évaporation

III.9. 1.Evapotranspiration

On appelle évapotranspiration l'ensemble des phénomènes qui renvoient l'eau de pluies vers l'atmosphère (Collin.J, 2004).

III.9. 2. Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte d'eau d'un couvert végétal en plein développement sous les conditions optimum d'alimentation en eau sans l'influence d'aucun facteur limitant.

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques.

Cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type de climat de la région.

a- La formule de C.W.Thornthwaite

Cette formule a été établie en 1948 et tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle. La formule de l'ETP est la suivante:

$$ETP_{corrigé} = 16 \left(\frac{10T}{1} \right)^a * k \dots\dots\dots 4$$

Où:

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T: température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

a: Coefficient calculé par la formule suivante:

$$a = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5 \dots\dots\dots 5$$

I : Indice thermique annuel qui est égal à la somme des douze valeurs de l'indice thermique

mensuel. Cet indice est calcule par la formule suivante:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5} \dots\dots\dots 6$$

k : Coefficient de correction, qui dépend de la latitude.

Les résultats de calcul de l’ETP par cette méthode sont présentés dans le tableau (8)

Mois	Sep	Oc	Nov	Dé	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Juin	Juil	Aout
T (°C)	20,4	15,65	8,95	5,05	4,85	5,9	9,45	12,9	15,65	19,4	23,65	30
i	8.24	5.53	2.4	1.01	0.95	1.28	2.6	4.14	5.53	7.64	10.28	14.7
ETP (mm)	93.6	62.4	26.54	11.05	10.4	14.02	28.83	46.42	62.4	86.67	117.36	168.87
k	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
ETP _r (mm)	96,41	60,53	22,82	9,39	9,05	11,92	29,69	50,60	75,50	104,87	144,35	195,89

Tableau 8 : Calcul de l’ETP par la méthode de Thornthwaite. Région de Djelfa

b- La formule de Turc (moyenne annuelle)

Turc L adapte à la famille des courbes D ou ETR = f (P,T) établie à partir des observations

faites sur 254 bassins versants situés sous tous les climats du globe, l’expression suivante (Réméniéras G.,1980) :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \dots\dots\dots 7$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle .

Pouvoir évaporant de l’atmosphère : L= 300+25T +0.05T³

T : Température moyenne annuelle (°C)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

Les résultats sont consignés dans le tableau 9

Paramètre	Précipitation (mm)	Température (°C)	L	ETR (mm/an)	ETR (%)
Valeur	328.73	14.32	804.82	318.26	96.81

Tableau 9 : Calcul de l’ETR par la méthode de Turc. Région de Djelfa

III.9. 3. Bilan hydrologique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite

Cette méthode fait ressortir quatre paramètres: ETP, ETR, déficit agricole (Da) et l’excédent (Ex). A partir de ce dernier paramètre on aboutira au ruissellement et à l’infiltration. Tous ces paramètres, reposent sur l’estimation de la réserve facilement utilisable(RFU).

La RFU est la qualité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique.

Le bilan hydrologique établi mensuellement selon la méthode de Thornthwaite a l'avantage d'estimer pour chaque mois l'évapotranspiration réelle (ETR), le réserve facilement utilisable RFU, le déficit agricole (Da) et l'excédent (Ex) .

La réserve facilement utilisable RFU est calculée par la formule de Hallaire (1960) :

$$RFU = \frac{1}{3} * Da * He * Pr \dots\dots\dots 8$$

Avec :

RFU: réserve facilement utilisable en (mm).

Da: densité apparente du sol, (Hallaire propose de prendre D = 1.4)

He: Capacité de rétention:

He = 5% pour un sol sablo limoneux , He= 10% pour un sol limoneux

He=20% pour un sol argilo limoneux

Pour notre cas et vu la nature du sol, on a adopté le dernier cas. He = 30% soit 0.30

P: Profondeur de la terre parcourue par les racines en (m).

P = 0.4 m. La RFU_{max} calculée est égale à 56 mm et la RFU_{min} = 0.

L'application de la méthode de Thornthwaite a donné les résultats qui ont été représentées dans le tableau 10 et la figure 11

Mois	Sep	Oc	Nov	Dé	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Juin	Juil	Aout
P(mm)	25,8	26,78	30,63	29,17	34,98	30,12	28,95	29,88	34,39	20,05	17,68	20,29
ETP (mm)	96,41	60,53	22,82	9,39	9,05	11,92	29,69	50,6	75,5	104,9	144,35	195,89
P-ETP (mm)	-70,61	-33,75	7,81	19,78	25,93	18,2	-0,74	-20,72	-41,11	-84,8	-126,67	-175,6
ETR (mm)	25,8	26,78	22,82	9,39	9,05	11,92	28,95	29,88	34,39	20,05	17,68	20,29
RFU (mm)	0	0	7,81	27,6	53,5	56	55,26	34,54	0	0	0	0
Da (mm)	70,61	33,75	0	0	0	0	0	0	41,11	84,82	126,67	175,6
Ex (mm)	0	0	7,81	19,78	25,93	18,2	0	0	0	0	0	0

Tableau 10 : Bilan hydrologique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Région de Djelfa

L'analyse des résultats du tableau 10 et la courbe de la figure 21 montre que :

- ✓ A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations, elle représente le double des précipitations
- ✓ La RFU commence à se reconstitue au mois de Novembre, atteint son maximum au mois de Mars et s'épuise au mois de Mai au mois d'Octobre.

✓ Un excédent de 71.72 mm est enregistré pendant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et avril.

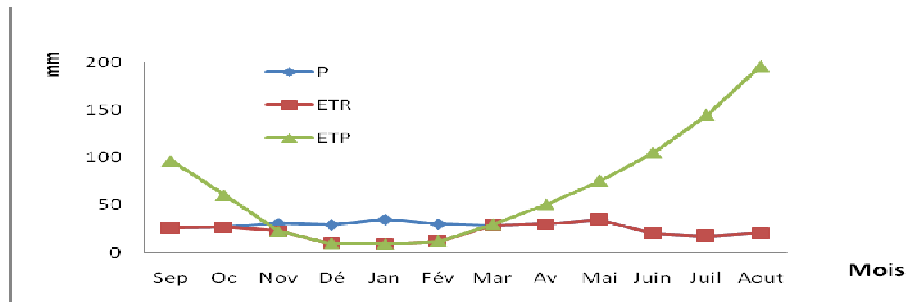


Figure 21: Représentation graphique des composantes du bilan hydrique

Selon la méthode de C.W. Thornthwaite

III.9. 4. L'évapotranspiration potentielle par la formule de Turc (mensuelle)

Cette formule nécessite la connaissance de la température de l'air et la radiation globale ou la durée d'insolation. Elle est valable pour une humidité relative de l'aire Hr Supérieure à 50%. Les résultats sont regroupés dans le tableau 11

$$ETP = 0.40 \frac{T}{T + 15} (I_g + 50)k \dots\dots\dots 9$$

Où :

ETP : évapotranspiration moyenne mensuelle en mm

T : température moyenne mensuelle en °C, I_g : la radiation solaire globale, moyenne des mois considérés en calories/cm²/j, K : coefficient = 1, Si Hr > 50%, Pour les mois de Juin, Juillet et Août l'humidité relative est inférieure à 50% dans notre donc on doit calculer le coefficient d'ajustement K par la formule suivante :

$$k = \left(1 + \frac{50 - H_r}{70} \right) \dots\dots\dots 10$$

Paramètre	Sep	Oc	Nov	Dé	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Juin	Juil	Aout
P(mm)	25,8	26,78	30,63	29,17	34,98	30,12	28,95	29,88	34,39	20,05	17,68	20,29
T(°C)	20,4	15,65	8,95	5,05	4,85	5,9	9,45	12,9	15,65	19,4	23,65	30
Ig(cal/cm2/j)	501.66	350.38	258.44	200.96	226.5	374.73	424.8	500.2	599.14	630.8	652.7	580.8
ETP(mm)	127.16	81.77	46.26	25.28	27.023	47.96	73.40	101.75	132.6	167.4	208.11	193.44
ETR(mm)	25,8	26,78	22,82	9,39	9,05	11,92	28,95	29,88	34,39	20,05	17,68	20,29
déficit(mm)	101.36	54.99	15.63	0	0	17.84	44.45	71.87	98.21	147.35	190.76	173.15
Excédent(mm)	0	0	0	3.89	7.95	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 11 : Bilan de l'eau par la méthode de Turc mensuelle à Djelfa (1975-2015).

III.10. Calcul du ruissellement et l'infiltration

a- Estimation du ruissellement

Le ruissellement est défini comme la fraction des eaux à l'écoulement par gravité en surface du sol, Tixeront et Berkhaloff (1961), ont donné la relation permettant de calculer une valeur approchée du ruissellement (les résultats obtenus sur les bassins Tunisiens donnent une erreur inférieure à 10% si les précipitations ne dépassent pas les 600 mm. Avec :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP_{\text{corrigé}})^2} \dots\dots\dots 11$$

R : ruissellement en (mm)

P : précipitations annuelles en (mm)

ETP : Evapotranspiration potentielle corrigé moyenne annuelle en (mm).

b- Estimation de l'infiltration :

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et du sous-sol, sous l'action de la gravité et effets de la pression.

La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir des autres paramètres à l'aide de la formule du bilan hydrologique donnée par :

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - (ETR + R) \dots\dots\dots 12$$

P : précipitation moyenne annuelle (en mm)

ETR : évapotranspiration en (mm)

I : infiltration en (mm)

Les résultats sont résumés dans le tableau 12

Précipitation (mm)	ETP _{corrigé} (mm)	ETR (mm)	Ruissellement (mm)	Infiltration (mm)
328.73	811.54	257	17.97	53.76

Tableau 12 : Résultats de calcul des composants de l'équation du bilan hydrique de la région de Djelfa

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'analyser des divers facteurs climatiques, la région de Djelfa est caractérisée par un climat semi – aride, avec une précipitation moyenne annuelle de 328.73 mm et une température moyenne annuelle 14.32 °C.

L'étude des indices climatiques à confirmé l'appartenance de la région de influencé Djelfa au climat semi – aride par des vents dominants est matérialisée par la fréquence du sirocco d'origine désertique chaud et sec, dont la durée peut variée d'une zone à une autre de 20 à 30 jours/an.

Chapitre IV

Cartographie et interpolation spatiale

Introduction

L'association entre cartographie et informatique, s'est développée dès la fin des années 60 avec l'apparition des logiciels d'aide à l'établissement des cartes. Ainsi, la cartographie numérique est née et a permis d'effectuer un très grand nombre de travaux classiques par ordinateur.

En effet, avec le mariage de la cartographie et de l'informatique, se traduisant par un développement croissant et rapide du matériel et des logiciels, on a confié à l'ordinateur l'une des tâches les plus fastidieuses du cartographe est la gestion de l'information géographique numérisée.

L'ordinateur est devenu alors l'auxiliaire précieux du géographe et son assistant pour la production cartographique et l'analyse spatiale. C'est alors que le concept de « Système d'Information Géographique » le S.I.G est né.

Un système d'information géographique se définit à l'heure actuelle de manière générale comme un environnement informatisé de traitement d'information spatiale numérique et multivarié (Burrough, 1998 ; Caloz et Collet, 1997).

Le système d'information géographique ou système d'information géospatial se réfère donc autant aux concepts de l'analyse spatiale qu'aux outils informatiques, à savoir les équipements et les logiciels.

Le système d'information géographique prend en compte les dimensions des variables qui peuvent être d'ordre thématiques, spatiales et/ou temporelles.

L'aspect temporel constitue un domaine de recherche en plein développement dans les S.I.G (Bédard et al ,1996).

IV. Aperçu sur la théorie de la géostatistique

La géostatistique désigne l'étude des phénomènes naturels (Journel, 1977). Elle peut s'appliquer à toutes les sciences de la nature et, plus généralement, à n'importe quelle discipline manipulant des données localisées dans l'espace et nécessitant des modèles décrivant la dépendance spatiale entre ces données (Aubry, 2000 ; Douaoui et al., 2006).

La géostatistique est une méthode d'interpolation relativement récente pour étudier la variabilité spatiale, elle est basée sur la théorie des variable régionalisée (Mulla, 2000), développé par Krige (1951), Métheron (1963) et Cressie, (1993).

Généralement, l'analyse géostatistique inclut deux phases : le premier est le modèle spatial (variographie), et la deuxième phase est l'interpolation spatiale (krigeage).

IV.2. Variable régionalisée

Une variable régionalisée traditionnellement noté $Z(s)$ peut se définir par deux caractères (Arnaud et Emery, 2000) :

- ✓ Elle est irrégulière : ceci traduit le fait que les valeurs numériques peuvent varier énormément d'un point à autre ;
- ✓ Elle est structurée, les valeurs $Z(x)$ et $Z(x+h)$ prises aux points x et $(x+h)$ ne sont pas indépendantes.

Du point de vue mathématique une V.R est une fonction $Z(X)$ donnant la valeur au point (x) (de l'espace 1,2 ou 3 dimensions) d'une caractéristique Z du phénomène naturel étudié. Généralement ces fonctions ont un comportement spatial (ou temporel) bien trop complexe pour se laisser décrire d'expression analytique classique. C'est pour cela, il a été proposé des hypothèses de travail telles que la stationnarité et hypothèse intrinsèque pour faciliter la compréhension et le formalisme de telles fonctions. On appelle variable régionalisée ; une réalisation particulière présentant une structure spatiale où un certain déterminisme inconnu, mais non quelconque (Yahiaoui, 1991).

IV.2.2. But de la théorie des variables régionalisées

Une variable régionalisée quantifie des grandeurs mesurées sur l'espace géographique.

L'espace dans lequel cette variable prend ses valeurs est appelé champ.

IV.3. Fonction aléatoire

Dans l'espace étudié, nous disposons d'un certain nombre d'échantillons. Ainsi au point x_i la valeur mesurée de notre variable (teneur, densité...).

Une variable aléatoire (V.A) est une variable qui prend un certain nombre de valeurs numériques selon une certaine loi de probabilité pour toutes les implantations (X) intérieures au gisement.

La première hypothèse importante consiste à considérer $Z(x_i)$ comme une réalisation de la variable aléatoire $Z(x_i)$.

La seconde hypothèse consiste à regrouper l'ensemble des variables aléatoires $Z(x_i)$ dans une fonction, la fonction aléatoire (F. A) $Z(x)$.

La fonction aléatoire $Z(x)$ permet de traduire mathématiquement le double caractère de la variable régionalisée $Z(x)$.

IV.3.1 Stationnarité d'ordre 2

La stationnarité d'ordre 2 concerne seulement les accroissements de la fonction aléatoire.

Dans ce cas, en plus de la constance de l'espérance mathématique

Une fonction aléatoire est strictement stationnaire si la loi de probabilité du phénomène qu'elle décrit est invariante par translation dans le champ de point.

Autrement dit, cette homogénéité spatiale autorise à remplacer la moyenne de plusieurs réalisations par la loi de distribution unique dont on dispose.

Ainsi, une fonction aléatoire stationnaire est d'ordre 2 lorsque :

- L'espérance mathématique ne dépend pas de x :

$$\forall x, E(Z(x)) = m, \text{ constante indépendante de } x \dots \dots \dots (13)$$
- La covariance entre $Z(x)$ et $Z(x+h)$ ne dépend que de h :

$$\forall x, x+h, \text{ cov}(Z(x+h), Z(x)) = C(h), \text{ ne dépend que de } h \text{ et non de } x \dots \dots \dots (14)$$

$C(h)$ est appelé fonction de covariogramme
- La variance existe en tout site x et est une constante indépendante du site x :

$$\forall x, \text{ Var}(Z(x)) = \text{ cov}(Z(x), Z(x)) = C(h) = \text{constante} \dots \dots \dots (15)$$

IV.3.2. Hypothèse intrinsèque

On dit qu'une fonction aléatoire $Z(s)$ est intrinsèque quand ses accroissements $Z(x+h) - Z(x)$ sont stationnaires d'ordre 2. C'est-à-dire que

- L'espérance des écarts est zéro :

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0, \forall x, \text{ et } h \text{ fixé} \dots \dots \dots (16)$$
- La variance des écarts ne dépend que de h :

$$\text{Var}(Z(x+h) - Z(x)) = E[(Z(x+h) - Z(x))^2] = 2\gamma(h) \dots \dots \dots (17)$$

Cette hypothèse permet de dire que la variabilité entre les valeurs prises en deux points différents ne dépend que de h (la distance entre ces points).

IV.4. Variogramme théorique et variogramme expérimental

Deux observations situées l'une près de l'autre devraient en moyenne se ressembler davantage que deux observations éloignées. La différence entre les valeurs prises par deux variables aléatoires est $Z(x)-Z(x+h)$. C'est également une variable aléatoire dont on peut calculer la variance. Cette variance devrait être plus petite lorsque les points sont rapprochés (les valeurs se ressemblent plus en moyenne) et plus grande lorsque les points sont éloignés. On appelle variogramme la demi-variance de cette différence. (Matheron, 1963).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}(Z(x+h) - Z(x)) \dots\dots\dots(18)$$

Le variogramme décrit la continuité spatiale de la variable régionalisée c'est-à-dire la dissemblance entre les valeurs en fonction de leurs séparations.

IV.4. 1. Propriétés du variogramme

Le variogramme est une fonction de h , croissante et souvent caractérisé par quatre paramètres (figure 22) :

- l'effet pépité : C_0
- le palier : $C + C_0$
- la portée : a

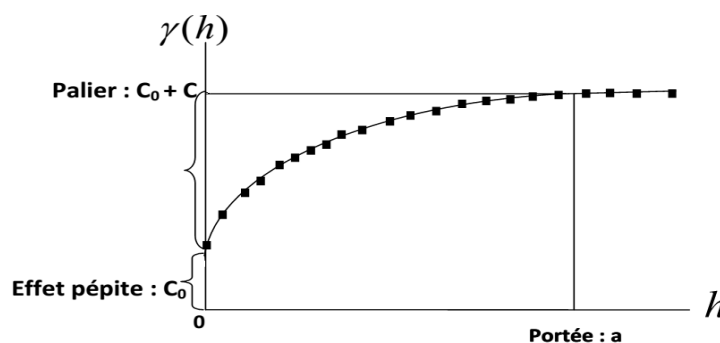


Figure 22: Paramètres du semi- variogramme

Si le variogramme présente un saut abrupt à l'origine (effet de pépité), cela indique une absence partielle de corrélation entre les valeurs prises en deux sites très proches. C'est-à-dire qu'il y a une faible ressemblance entre les valeurs régionalisées très voisines. (Arnaud et Emery , 2000) .

Le palier (sill): Ce paramètre définit le comportement à l'infini du variogramme qui pourra être ou non, borné autour d'une valeur (palier) égale à la variance sur l'ensemble des données, dans ce cas, la stationnarité d'ordre 2 est vérifiée.

Il faut noter que le comportement d'un variogramme pour une valeur élevée du palier (h) indique que le champ a une variance infinie, et qu'une fonction de covariance n'existe pas; seule l'hypothèse intrinsèque est acceptable, en effet quand $VAR\{Z\}$ est finie, le variogramme

arrive à une asymptote égale à cette variance, que l'on appelle "palier" du variogramme. La valeur de palier donne ainsi la distance en deçà de laquelle les mesures sont corrélées et au delà de laquelle elles sont indépendantes

La portée : Dans un grand nombre des cas pratiques, la corrélation entre deux points variables

$Z(x)$ et $Z(x+h)$ s'affaiblit aux grandes distances.

Soit en pratique : $C(h) \approx 0$ dès que $(h) > a =$ portée, la distance à partir de laquelle on peut considérer $C(h) \approx 0$ est appelée « portée ». (Wackernagel, 1993).

L'effet de pépite : Parfois le variogramme (figure 22) présente une ordonnée à l'origine non nulle qu'on appelle effet de pépite qui correspond à une forte concentration locale d'une teneur(en l'occurrence l'or). On dit alors que la variable est très irrégulière car entre deux points expérimentaux très proches il y a un écart de variance au moins égale à l'effet de pépite C (Delhomme, 1976) qui est dû à la fois aux erreurs de mesure et au microrégionalisation (ou microvariabilité) que l'échantillonnage n'a pas pu cerner.

IV.4. 2. Modélisation du variogramme

Pour pouvoir bien exploiter le variogramme et d'en tirer le maximum d'informations sur la structure spatiale du phénomène, il est nécessaire d'approximer le graphe du variogramme par un modèle théorique connu. (Hamouni, 2006).

Il y a 4 types de modèles d'ajustement du variogramme à savoir : Modèle linéaire, Modèle exponentiel, Modèle gaussien, Modèle Sphérique

L'ajustement des variogrammes expérimentaux aux modèles théoriques est une étape importante dans la détermination et l'interprétation des paramètres de régionalisation (Marc et al, 2008)

D'après la figure 22 on peut citer :

IV.4. 2.1.Modèle avec palier

- Modèle pépitique de palier C_0 . (figure 23)

Modèle représente une absence de dépendance spatiale du phénomène étudié, un krigage avec ce modèle n'est plus possible et on utilise plutôt une méthode d'estimation analytique telle que la méthode de l'inverse des distance ou simplement une régression classique (Marcotte, 1988)

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , \text{ Si } h = a \\ C_0 & , \text{ Si } h > a \end{cases} \dots\dots\dots(19)$$

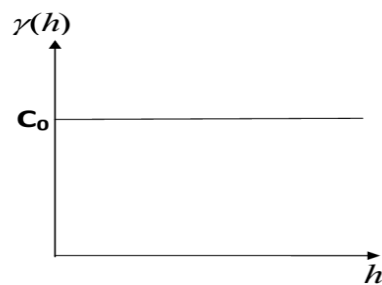


Figure 23 : Modèle avec palier

- Modèle sphérique d'effet de pépité C_0 , de palier $C_0 + C$ et de portée a : (figure 24)

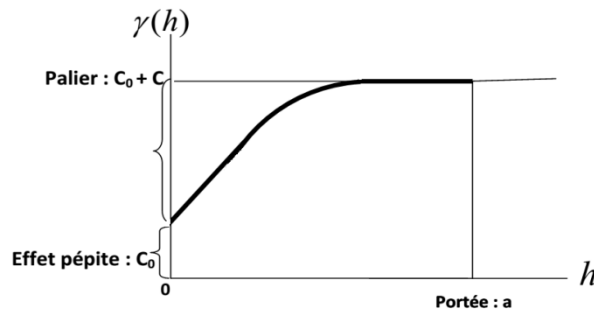


Figure 24 : Modèle Sphérique

IV.4. 2.2.Portée asymptotique

- Modèle exponentiel d'effet de pépité C_0 de palier $C_0 + C$ et de portée pratique égale à $3a$ (figure 25)

$$\gamma(h) = C_0 + \left(C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \right) , \text{ Si } h \geq 0 \dots\dots\dots(20)$$

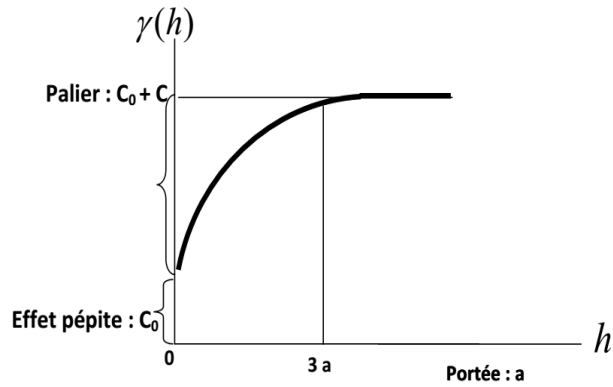


Figure 25 : Modèle Exponentiel

- Modèle Gaussien d'effet de pépité C_0 de palier C_0+C et de portée pratique égale à $a\sqrt{3}$: (figure 26)

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right], \text{ Si } h \geq 0 \dots\dots\dots(21)$$

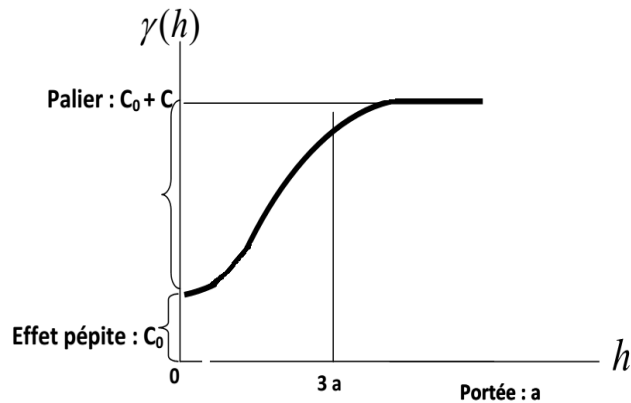


Figure 26: Modèle Gaussien

IV.4. 3. L'anisotropie :

Les variogrammes directionnels avec des classes distance sont calculés, dans différentes classes de direction en fonction de l'orientation du vecteur. Dans la pratique, on ajoute au choix ; du pas de distance et du pas d'angle et on reparti les couples en différentes classes selon ces deux critères. Ces calculs sont indispensables pour analyser l'anisotropie des données (Gascuel-Odeux et al, 1990). On parle de phénomène d'anisotropie lorsque la variabilité n'est pas la même dans toutes les directions et par conséquent, l'existence d'une direction privilégiée vis-à-vis du phénomène étudiée (Freycon V.Sebastien B, 1991).

L'établissement des variogrammes selon les deux directions permet de déterminer le rapport d'anisotropie après ajustement des variogrammes expérimentaux.

IV.5. Krigeage

Le krigeage est une méthode stochastique d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et la variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins. (Baillargeon, 2005)

La méthode du Krigeage dérive son nom de l'ingénieur de mines qui dans les années 50 a commencé à appliquer ce type d'interpolation aux recherches minières,

La méthode a connu successivement une grande diffusion et plusieurs variantes ont été définies dans les dernières années. Krige a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. (Azzouzi, 1993).

En 1963 Matheron a formalisé l'approche en utilisant les corrélations entre les forages pour estimer la répartition spatiale, Le krigeage est une méthode d'estimation d'un phénomène connu en un certain nombre de points (Delhomme, 1976).

IV.5.1. Les types de krigeage

Les trois types de krigeage classique sont : le krigeage simple, le krigeage ordinaire et le krigeage universel :

- Le Krigeage universel est utilisé dans le cas des phénomènes non stationnaires où l'hypothèse intrinsèque n'est plus vérifiée et par conséquent la moyenne n'est plus constante, elle est fonction de x , appelée dérive $m(x)$ (Azouzi, 1993)
- Le Krigeage simple s'effectue donc dans la condition de non biais où l'espérance mathématique est supposée être constante égale à m .
- Le krigeage ordinaire : la technique la plus fréquemment utilisée selon Gratton (2002)

De la revue de ce chapitre ;

Le krigeage est une méthode d'interpolation intéressante, de plus puisqu'il s'agit d'une méthode stochastique, le krigeage permet d'estimer des erreurs de prévision et de tenir compte de la structure de dépendance spatiale des données.

L'estimation des erreurs qu'il produit est plus fiable que celle produites par les autres méthodes stochastiques, car les postulats de base du krigeage modélisent mieux la réalité pour des données à référence spatiale (Baillargeon, 2005).

Chapitre VI

Matériels et méthodes utilisées

Introduction

Les SIG sont des systèmes d'informations (SI) dont l'objectif est de décrire un territoire de façon à améliorer sa connaissance et à permettre la description et l'analyse des phénomènes naturels ou humaines qui s'y produisent. Il est donc un outil décisionnel, permettant de stocker, d'extraire, de traiter et de présenter les données cartographiques et internes à un organisme.

Pour toute étude ayant un lien avec la gestion de la région, une description du milieu s'avère nécessaire : ressources eau, végétation, occupation du sol, climat, relief et exposition.

Certains facteurs devront apporter les éléments nécessaires pour répondre aux problèmes de gestion d'un territoire.

V.1. Matériels et logiciels utilisés

Le travail a été réalisé en utilisant un ensemble d'outils matériels et logiciels qui sont :

V.1.1. Matériels

V.1.1.1. Matériels utilisés dans le bureau

Les outils mis à notre disposition sont :

- ❖ **Un micro-portable** dont les caractéristiques suivantes :
 - ✓ Processeur: Intel (R) Core (TM) i34030U CPU @1.90 GHz 1.90 GHz
 - ✓ RAM: 4.00 Go.
 - ✓ Type de système : Système d'exploitation Windows 7 (64 bits).
- ❖ **Modèle numérique du terrain MNT ou (DEM)**

De nos jours, on ne peut parler de caractérisation morphologique d'une région donnée sans faire intervenir la notion de modèles numériques du terrain.

Un modèle numérique de terrain est une représentation numérique d'une région donnée par un champ d'altitudes. Sa qualité va dépendre du nombre de points de saisie, de leur distribution spatiale, de la continuité spatiale du phénomène dans la zone à traiter et du Mode d'interpolation des points (Derouiche A, 1994)

Un modèle numérique de terrain est une représentation numérique simplifiée de la surface d'un territoire, en coordonnées altimétriques (le plus souvent exprimées en mètres par rapport au niveau de la mer) et planimétrique, calée dans un repère géographique (Ramos F, 2003)

Les ingénieurs utilisent les MNT pour différentes études. Ils peuvent étudier la pente du relief, l'exposition, les altitudes et déterminer le champ de visibilité.

❖ Des sites web

Google Earth

Google Earth est un site web de cartographie qui offre une représentation visuelle précise de la surface de la terre entière en utilisant les images satellites, photographies aériennes, et des données SIG. Il est disponible sur le Web en une version gratuite et une autre payante avec des fonctionnalités améliorées (Karen, 2008).

V.1.2. Les logiciels

Pour la réalisation de notre étude on a utilisé deux logiciels SIG l'ArcGis (version. 10.2.2) et ses sous logiciels l'ArcMap, l'ArcCatalog et l'ArcToolbox. Ainsi que le logiciel global mapper (version. 15.1)

V.1.2.1. Arc Gis version 10.2.2

Un logiciel SIG contient de nombreuses nouvelles fonctions et de nombreux outils utilisé pour les traitements sur les données raster et vectorielles, l'un des aspects les plus importants est l'établissement des cartes du milieu physique de et les dérivés du modèle numérique de terrain de la zone d'étude (ESRI., 2009)

Arc gis est un logiciel conçu pour gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale. Se décline en trois licences aux fonctionnalités et prix croissants : l'Arc Map, l'Arc Catalog et l'Arc Toolbox.

V.1.2.2. Global Mapper version 15.1

Global Mapper est un logiciel commercial de SIG spécialisé en traitement de données et qui offre la possibilité d'accès à de nombreux formats. Edité par Blue Marble, Global Mapper peut être utilisé comme un SIG centrale ou intégrant un SIG global. Il permet un accès direct à nombre de ressources satellites

V.1.3. Données

Pour effectuer cette étude, les données d'analyse physico- chimique des points d'eau inventories sont collectées de l'agence nationale des ressources hydrauliques de la wilaya de Djelfa (ANRH) .

Au total 91 prélèvements pour les analyses physico-chimiques ont été effectués en 2009 et ce sont les seules données complètes.

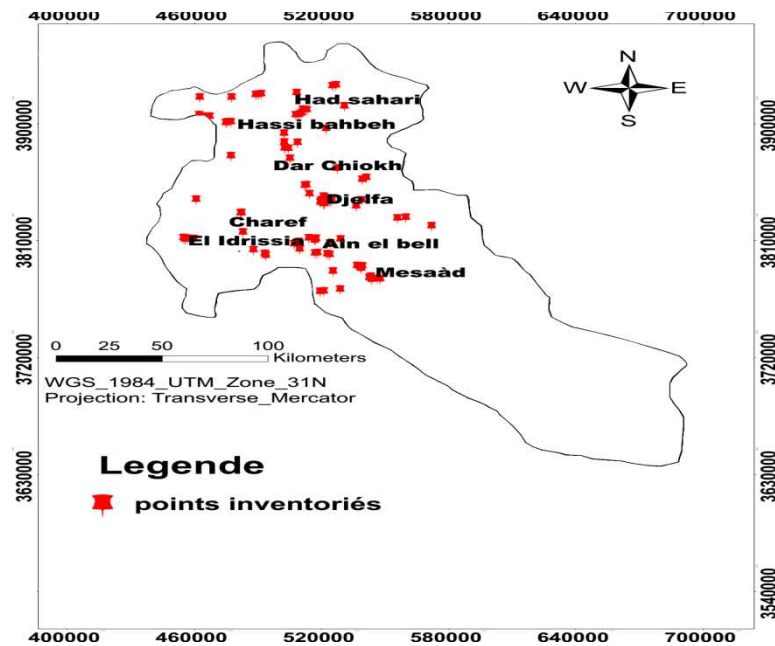


Figure 27 : Carte de répartition des point inventories

V.2. Méthodologie adoptée

Arcgis est un système regroupant des logiciels clients (ArcView , ArcEditor, ArcInfo et ArcExplorer) et des logiciels serveurs (ArcSDE et ArcIMS). Ce logiciel est développé par la société ESRI (Environmental Systems Research Institute), permettant de visualiser, d'interroger, d'analyser et de mettre en page les données. Il fournit des outils interactifs pour explorer, sélectionner, afficher, éditer, analyser, symboliser et classifier les données ou pour créer automatiquement, mettre à jour ou gérer les métadonnées

Dans la présente étude, la réalisation du SIG est effectuée en considérant les données de la campagne réalisée en 2009 par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH 2013) de la wilaya de Djelfa. La figure 27, montre la variabilité spatiale de différents points inventoriés sur le territoire de Djelfa.

La figure 28 décrit l'organigramme général de différentes étapes essentielles adopté dans la présente étude pour la réalisation du SIG. La conversion des données permet d'obtenir une base numérique complète des données. L'examen de sources existantes sous forme numérique et papier permettra de déceler toutes lacunes de données.

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. (Chapman

D et al. 1996). Dans notre zone d'étude, la température a présenté une variation d'un point à un autre mais reste acceptable pour les normes de la potabilité.

Les données de sources diverses sont inventoriées à partir de plusieurs organismes, sur terrain et par numérisation des cartes existantes. Ces données sont traitées sous une plateforme multi-logiciel (Arcgis, Global Mapper, Excel) afin d'élaborer une base de données très riche permettant la manipulation, la mise à jour de ces données ainsi que la visualisation.

Dans notre étude et pour estimer la structure spatiale on a utilisé le variogramme expérimental qui permet d'évaluer la variation des données en fonction de la distance et qui doit ajuster par un modèle théorique (sphérique, exponentiel, gaussien ou puissance).

Une fois le variogramme est établi le logiciel arc gis donne la possibilité de lancer le krigeage pour cartographier de nos données. En effet le krigeage est une méthode d'interpolation dans le but de représenter la variation spatiale de différents paramètres étudiés.

Dans le cas de notre étude, la réalisation du SIG s'est fait comme suit :

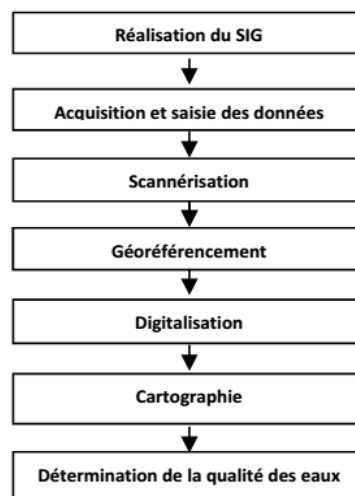


Figure 28 : Organigramme de réalisation de SIG

Chapitre VI

Résultats et discussions

V.2.1. Analyse statistique : paramètres statistiques et histogrammes expérimentaux

Les traitements statistiques permettent de décrire la distribution des données et caractériser statistiquement la variable étudiée (loi de distribution et moyenne) et leur dispersion (coefficient de variation, variance).

VI.2.1.1. Statistiques des éléments physico-chimiques

Le tableau 13 et la figure 29, 30, 31 et 32 illustrent les résultats statistiques calculés sur les données de la zone d'étude.

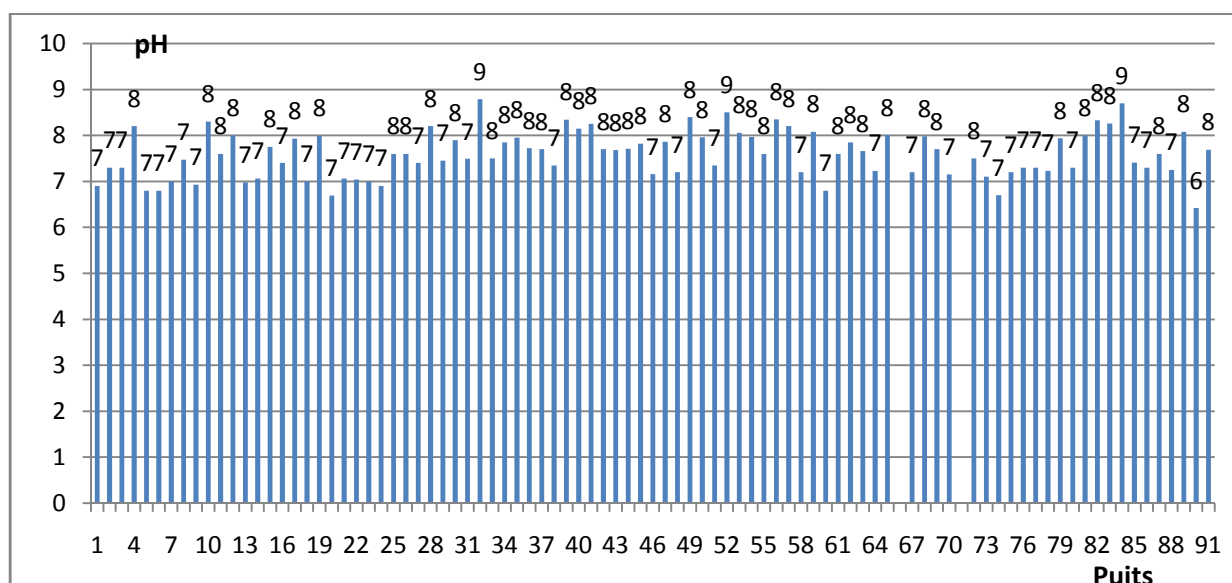


Figure 29 : Variation du pH des eaux souterraines de Djelfa en 2009

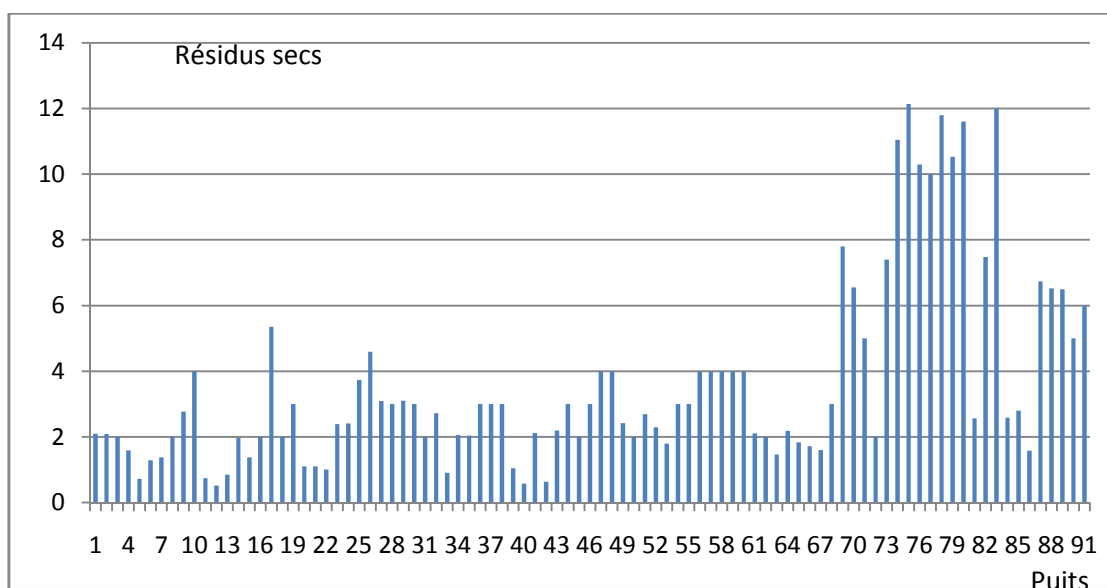


Figure 30 : Variation des résidus secs des eaux souterraines de Djelfa en 2009

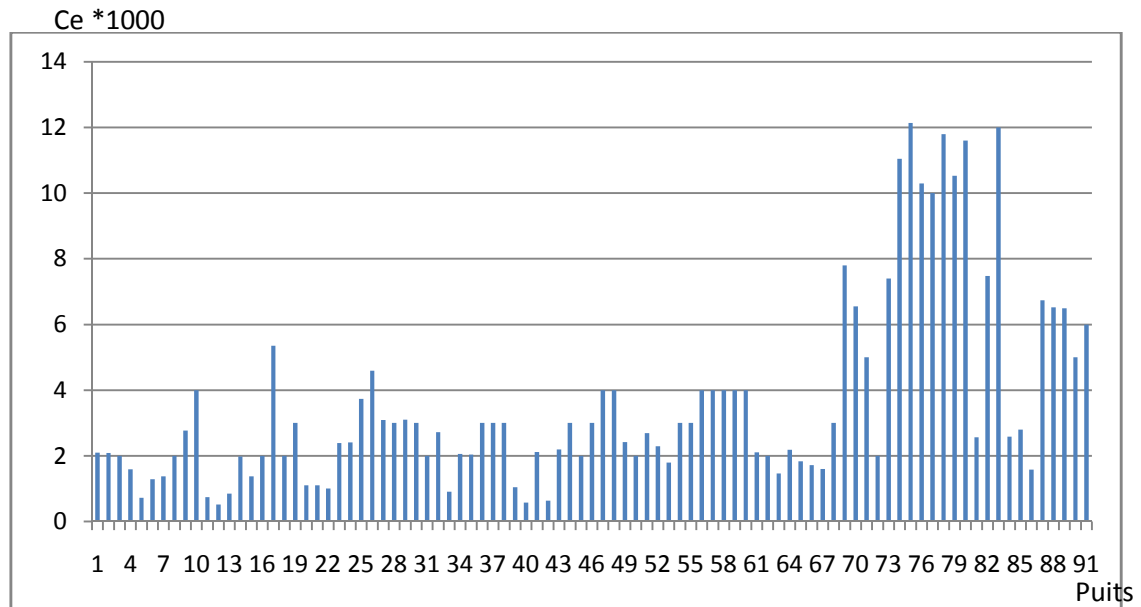
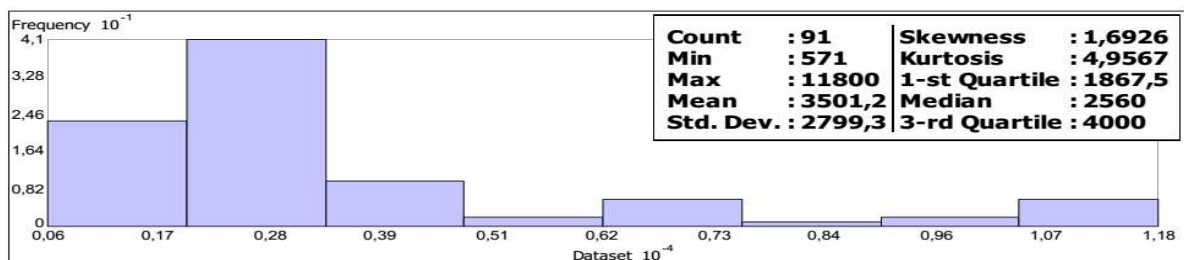


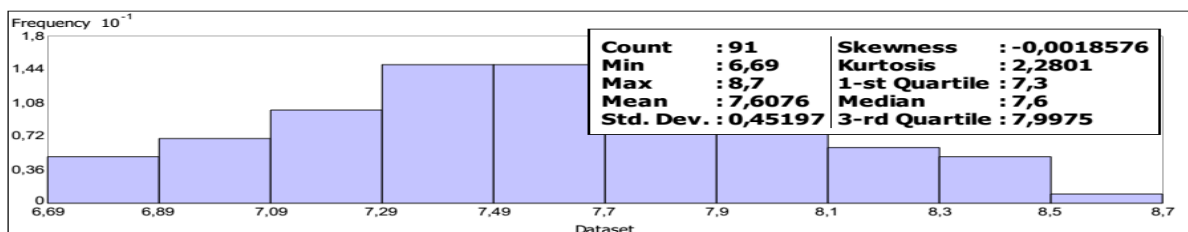
Figure 31: Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines de Djelfa en 2009

Paramètre	Conductivité électrique (µs/cm)	pH	Résidus secs (mg/l)
Maximum	11800	8.7	3120
Minimum	571	6.96	7.05
Ecart type	2799.3	0.4529	562.19
Moyenne	3501.2	7.6076	903.6
Coefficient de variation	0.8	0.0594	0.622
Taille de l'échantillon	91	91	91
Valeur guide de l'O.M.S	2800	6.5-8.5	1500-2000

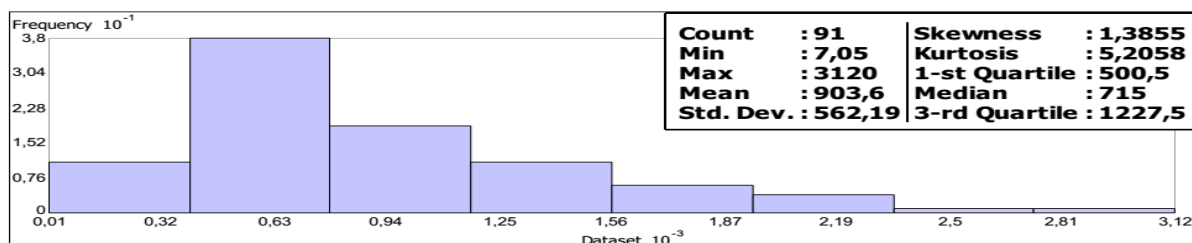
Tableau13 : Statistique des éléments physiques étudiés



Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: CE



Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: Ph



Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: R#sec

Figure 32 : Histogrammes des éléments physiques des eaux de la région de Djelfa

Parmi les 91 sites de prélèvements répartis sur l’ensemble de la région Djelfa, les sites de conduisent à de fortes minéralisation.

60 des 91 sites mesurés conduisent à des concentrations moyennes supérieures à la valeur de la potabilité de l’OMS (2800µs/cm).

L’analyse des paramètres physiques montre que le pH a une faible variabilité avec un coefficient de variation 0.0594 (5.94 %), tandis que ceux de la conductivité électrique et les résidus secs (respectivement 80% et 62 %) sont des grandeurs élevées, signe de variabilité importante.

D’après les valeurs moyennes des éléments physique du tableau 13, on remarque que les eaux de la région de Djelfa sont trop minéralisées est dépassent les normes de l’OMS (2800µs/cm).

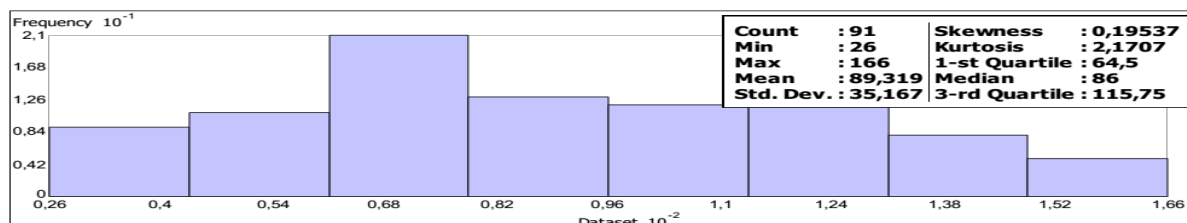
Le tableau 14 et la figure 33, illustrent les résultats statistiques calculés de différents éléments chimiques majeurs disponibles de la région de Djelfa.

Unité (mg/l)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
Maximum	166	75.3	173	9.3	23	195	20	210
Minimum	26	5	15	1.6	125	28	1.95	95
Ecart type	35.14	16.5	45.01	2.318	27.16	32.385	3.90	31.27
Moyenne	89.32	35.76	81.91	5.517	69.05	136.19	9.66	152.83
Coefficient de variation	0.393	0.461	0.549	0.420	0.393	0.237	0.403	0.204
Taille de l’échantillon	91	91	91	91	91	91	91	91
Valeur guide de l’O.M.S (mg/l)	120	50/150	200	12	200	250	50	610

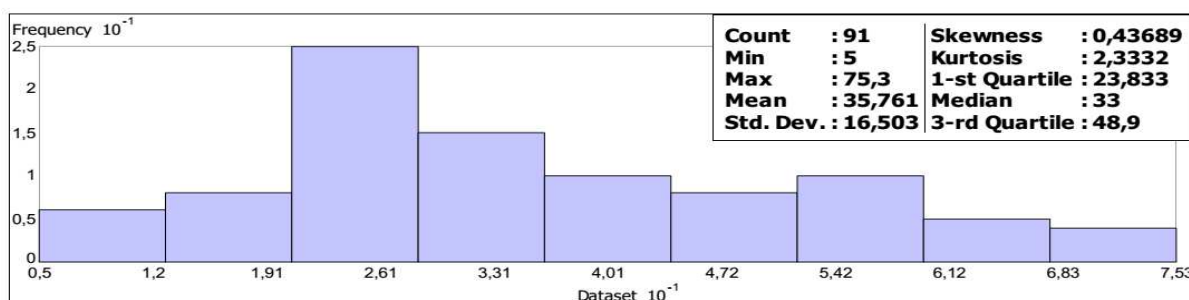
Tableau 14 : Statistique des éléments chimiques étudiés

VI.2.1.3. Interprétations des résultats statistiques

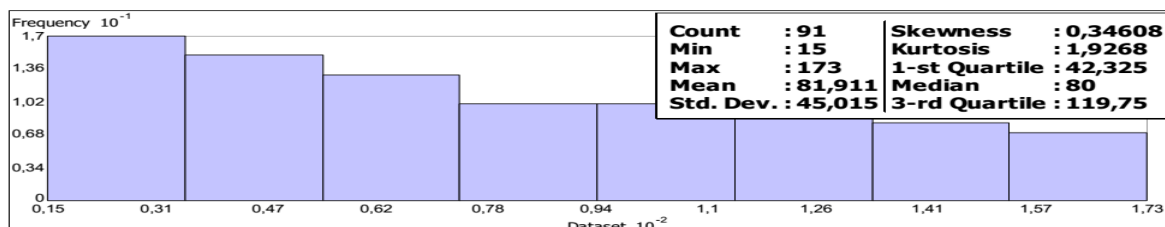
La statistique des éléments chimiques montre que les sulfates et les bicarbonates ont une faible variabilité (23% et 20 %). par contre les autres paramètres ont une variabilité élevée (39 % et plus).



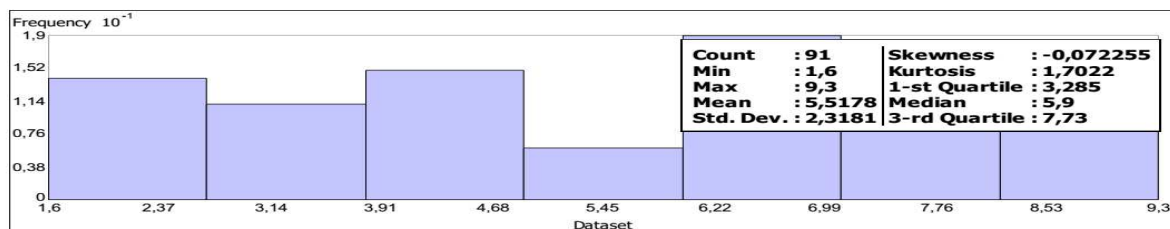
Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: Ca



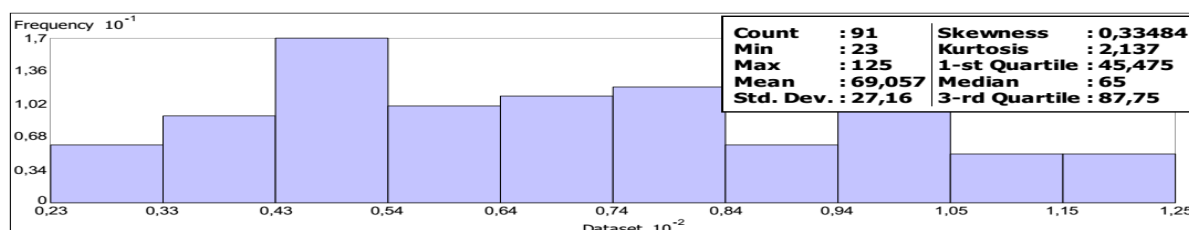
Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: Mg



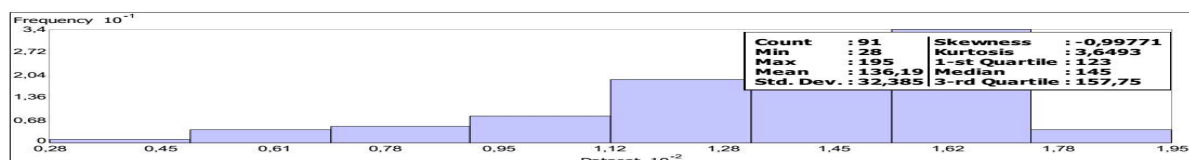
Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: Na



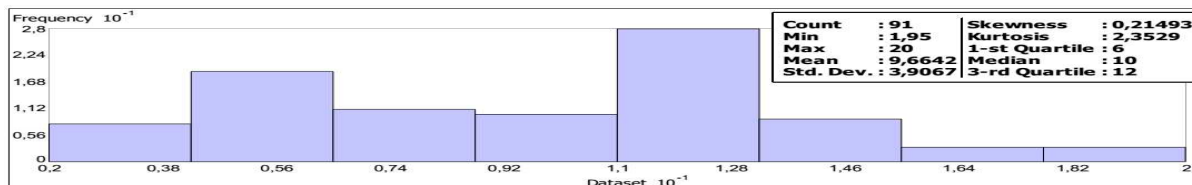
Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: K



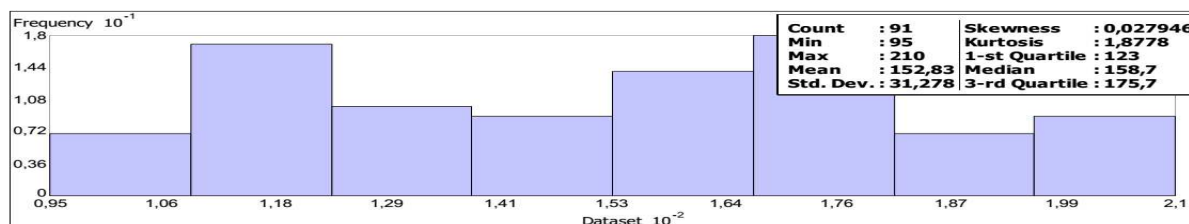
Dataset : ورقة 1\$ Events Attribute: Cl



Dataset : 1\$ ورقة Events Attribute: SO4



Dataset : 1\$ ورقة Events Attribute: NO3



Dataset : 1\$ ورقة Events Attribute: HCO3

Figure 33 : Histogrammes expérimentaux des éléments chimiques étudiés

Les teneurs en résidus secs et le pH sont en concordance avec les normes de potabilité de l’OMS (varie entre 6.5 et 8.5). Les résidus secs ont des valeurs comprises entre 1500-2000 mg/l. Le tableau 14 indique que les teneurs chimiques des eaux souterraines de Djelfa sont généralement dans les normes de l’OMS

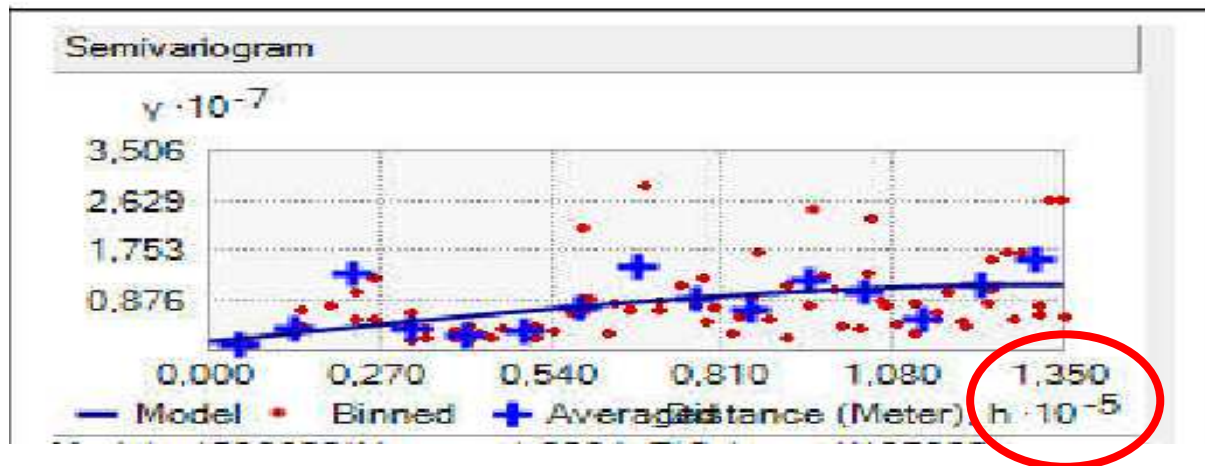
VI.3. Analyse variographique

Les résultats des variogrammes expérimentaux sont récapitulés au tableau 15

Paramètre	Portée (km)	Palier	Effet pépite	Nombre de classes	Distance de classe (km)	Largeur de classe	Type de kigeage	Angle de direction	Type de variogramme
Cond	135	1.008	0.1598	15	9	3	ordinaire	126°	Sphérique
pH	48.5	1.7	1.09	12	6	3	ordinaire	293°	Sphérique
R.sec	78.5	3.67	2.49	12	6.5	3	ordinaire	23.4°	Exponentiel
Na ⁺⁺	16.8	1.044	0.943	12	15	3	ordinaire	112°	Exponentiel
Ca ⁺⁺	120	1.06	1.033	12	10	3	ordinaire	10.5°	Exponentiel
Mg ⁺⁺	24.8	0.177	0.124	12	10	3	ordinaire	81.9°	Exponentiel
K ⁺	30	0.126	0.394	12	5	3	ordinaire	305°	Sphérique
Cl ⁻	39	0.588	0.087	12	10	3	ordinaire	313°	Exponentiel
HCO ₃ ⁻	20	0.967	0.486	12	5	3	ordinaire	215°	Sphérique
NO ₃ ⁻	15.66	0.876	0.804	12	5	3	ordinaire	39.4	Exponentiel
SO ₄ ⁻	60	0.707	0.476	12	5	3	ordinaire	134	Sphérique

Tableau 15: Caractéristiques des variogrammes expérimentaux des paramètres étudiés

Les variogramme définis sur les valeurs des différentes caractéristiques sur l'ensemble de la région de Djelfa. D'après les résultats du tableau 15, on remarque que il ya une auto – corrélation régionale entre les différentes couples des éléments jusqu'aux des valeurs limites de portées pour chaque éléments que sont indiqués dans le tableau 15. Si on prend le cas de la conductivité électrique on remarque qu'il ya une auto – corrélation régionale entre les couples de la conductivité électrique au – delà distance de 135 km. A cette valeur limite il n' ya pas de corrélation entre les couples de cette variable.



VI.3.1.Vérification de résultats de l'ajustement

Cette opération permet de vérifier l'adéquation entre les données et le modèle variographique utilisé. Cette étape sert à valider les choix qui ont été faits dans les étapes de l'analyse variographique.

Le principe du test est de voir la différence entre la valeur vraie et l'estimation qui en a été fait, plus les points sont proches et dense près de la droite $y = x$ (la bissectrice) plus que l'estimation est meilleure.

La qualité du modèle est d'autant meilleure que :

- La moyenne des erreurs d'estimation et des erreurs réduites (standardisées) est plus proche de 0, ce critère assure l'absence de biais,
- La variance des erreurs d'estimation est plus faible, ce critère traduit la robustesse de l'estimateur et renseigne sur la précision de l'estimation,
- La variance des erreurs standardisées est plus proche de 1, ce critère indique que l'écart-type de krigeage reflète correctement la précision de l'estimation,
- La moyenne des erreurs relatives est plus proche de 0, ce critère traduit la bonne précision de l'estimateur,

- La corrélation entre $Z(si)$ et $Z^{\wedge}(si)$ est plus proche de 1 et le nuage de corrélation plus resserré.

VI.4. Etablissement des cartes de variabilité spatiale par krigéage

VI.4.1. Paramètres physico-chimiques

Les figures 34, 35 et 36 illustrent les cartes obtenues par krigéage pour les trois paramètres étudiés (conductivité électrique , Ph et résidus secs) , ainsi que la validation croisée et ses statistiques : (Moyenne de l'erreur (Mean), écart type de l'erreur (Root-Mean-Square), moyenne de l'cart -type de krigéage (Average Standard Error), moyenne de l'erreur réduite (Mean Standardized), écart type de l'erreur réduite (Root-Mean-Square Standardized) où on voit globalement que l'écart type de l'erreur réduite se rapproche bien de 1 et les moyennes de l'erreur réduite et de l'erreur sont faibles donc la précision de l'estimation est bonne.

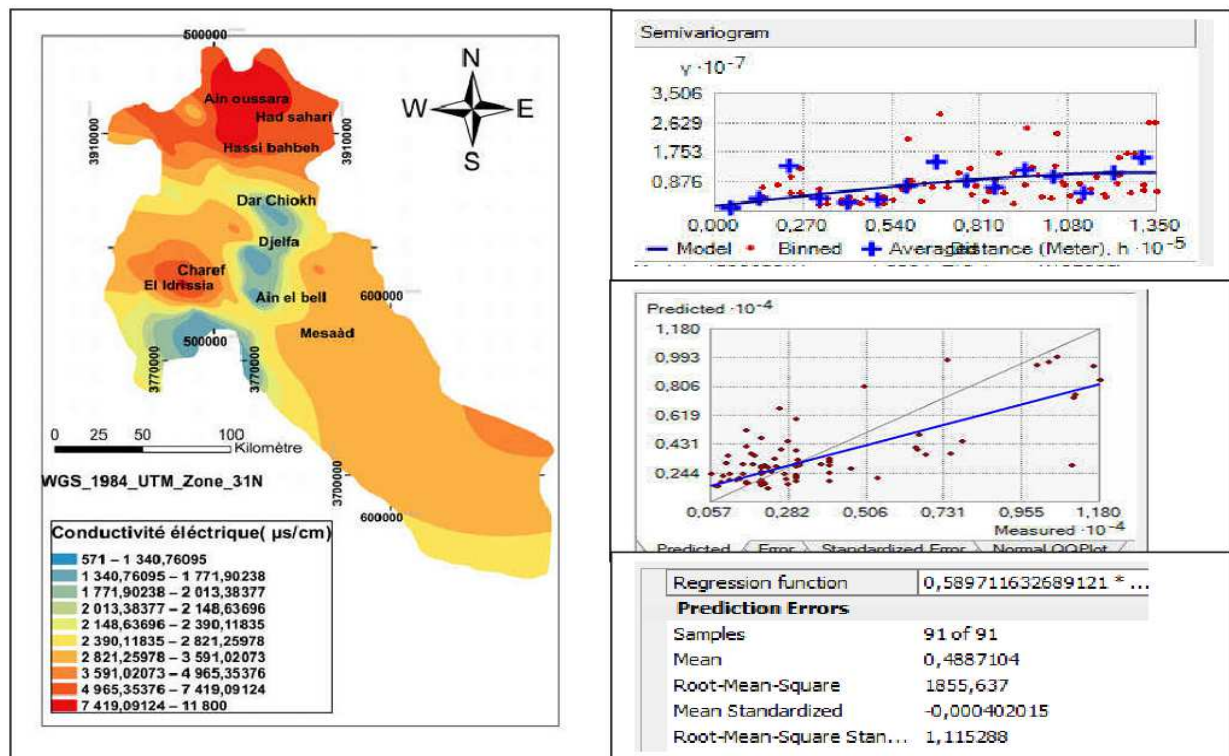


Figure 34: Carte de variation spatiale de la conductivité électrique, validation croisée et variogramme expérimental

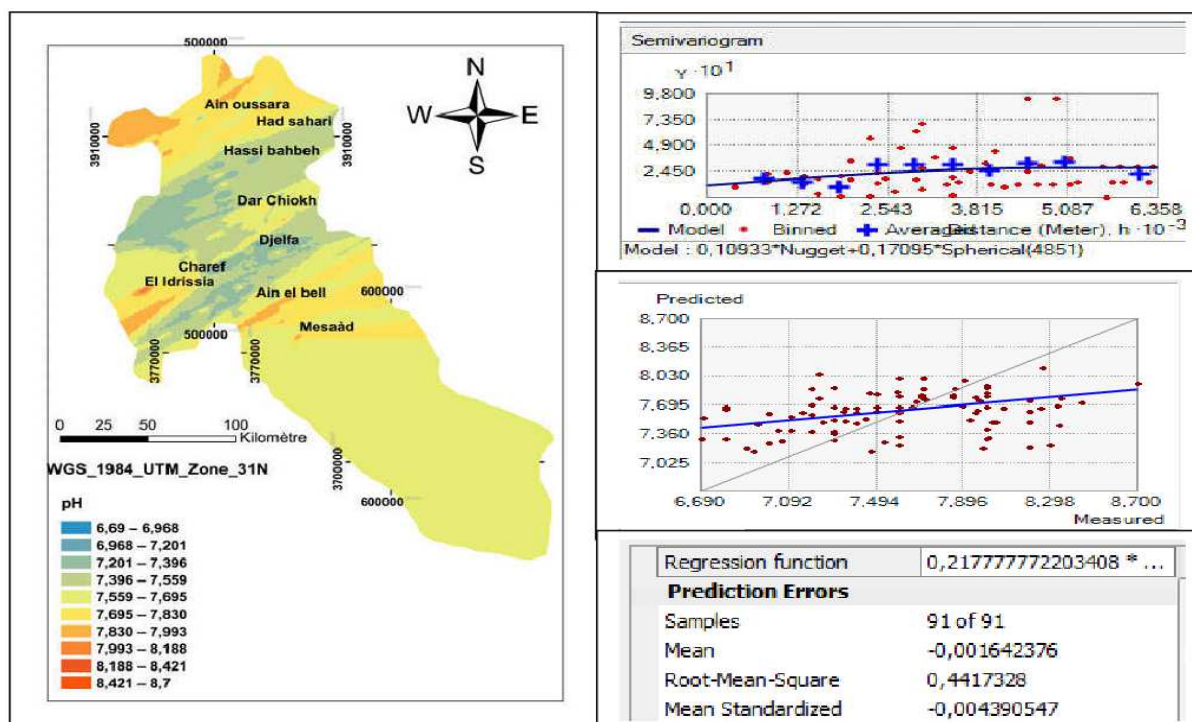


Figure 35: Carte de variation spatiale du pH, validation croisée et variogramme expérimental

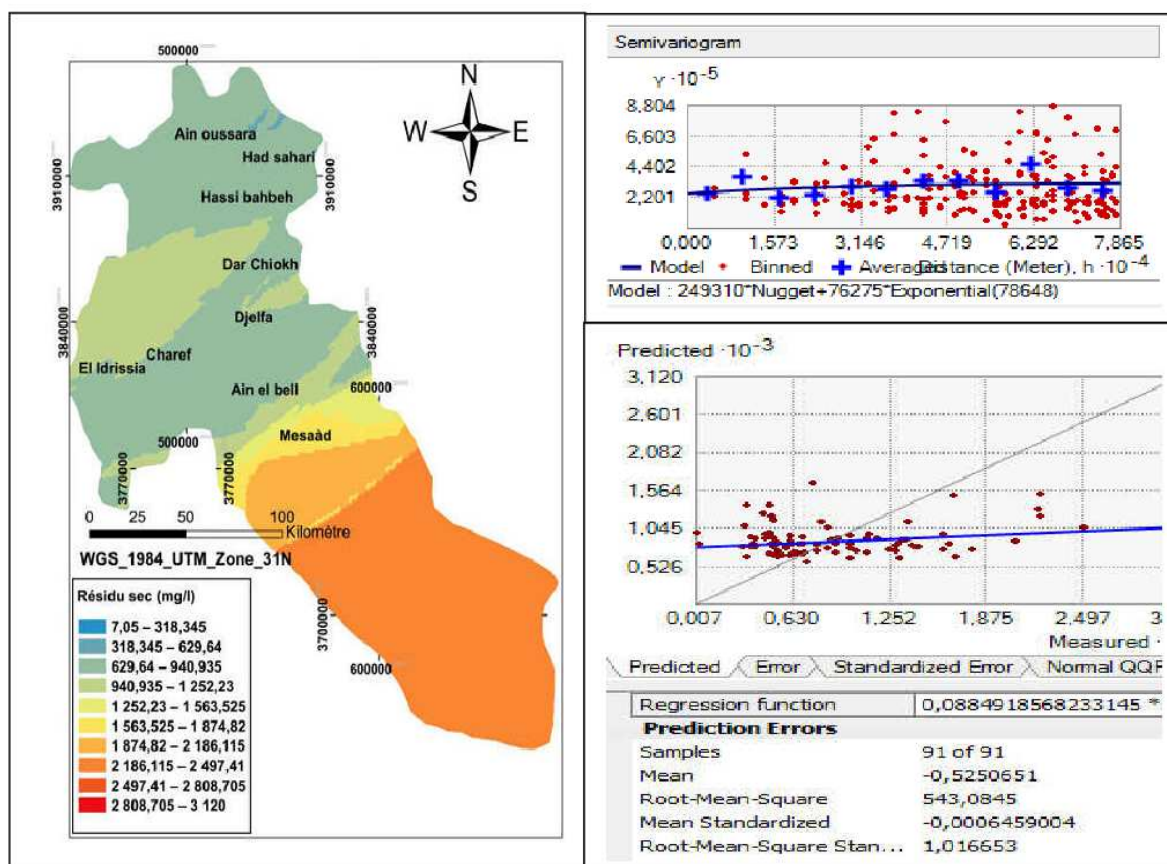


Figure 36 : Carte de variation spatiale du Résidu secs, validation croisée et variogramme expérimental

Paramètres ajustement	Ce	pH	Résidus secs
Moyenne de l'erreur (Mean),	0.4887104	0.001642	0.5250
Nombre de points	91	91	91
moyenne de l'erreur réduite (Mean Standardized)	-0.0004020	0.004390	0.00064
écart type de l'erreur réduite (Root-Mean-Square Standardized)	1.115288	1.0023	1.016

Tableau 16 : Résultats d'ajustement des paramètres physiques

VI.4.2. Interprétation des résultats des paramètres physiques

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, la conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau

La carte de la variation spatiale de la conductivité électrique (figure 35), montre que les eaux de notre région d'étude ont une minéralisation élevée par rapport à la norme de potabilité de OMS, avec des valeurs oscillant entre 571 et 11800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Cette forte minéralisation pourrait s'expliquer par :

- L'infiltration des eaux usées dans la nappe phréatique. (Matini et al, 2009)
- Ces valeurs importantes semblent résulter du lessivage de la roche réservoir au sein de laquelle les eaux séjournent. (Nouayti et al, 2015).

Le pH est un indicateur de la qualité de l'eau (Rodier., 1978). Selon (Nisbet et al, 1970), la nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes du pH

Le pH des eaux variait entre 6.69 et 8.7. L'intervalle de valeurs de pH recommandé par l'OMS est 6,5 – 8,5.

L'analyse de ces eaux a dévoilé que le pH est proche de la neutralité, au niveau de l'ensemble des points d'eau, les valeurs moyennes du pH au niveau de la zone d'étude ont été dans les normes de potabilité de l'eau souterraine

La carte de la variation spatiale des résidus secs montre que dans le sud de la région les valeurs des résidus secs dépassent les normes guide de l'OMS (1500mg/l).

Ces fortes teneurs de résidus secs pourraient s'expliquer par la nature géologique des terrains et l'activité humaines.(Ghibeche, 2011)

VI.4.3. Paramètres Chimiques

Les carte de la répartition spatiale et la modélisation des variogrammes expérimentaux avec la validation croisée et ses statistique des erreurs son représentés dans les figures ci- dessous

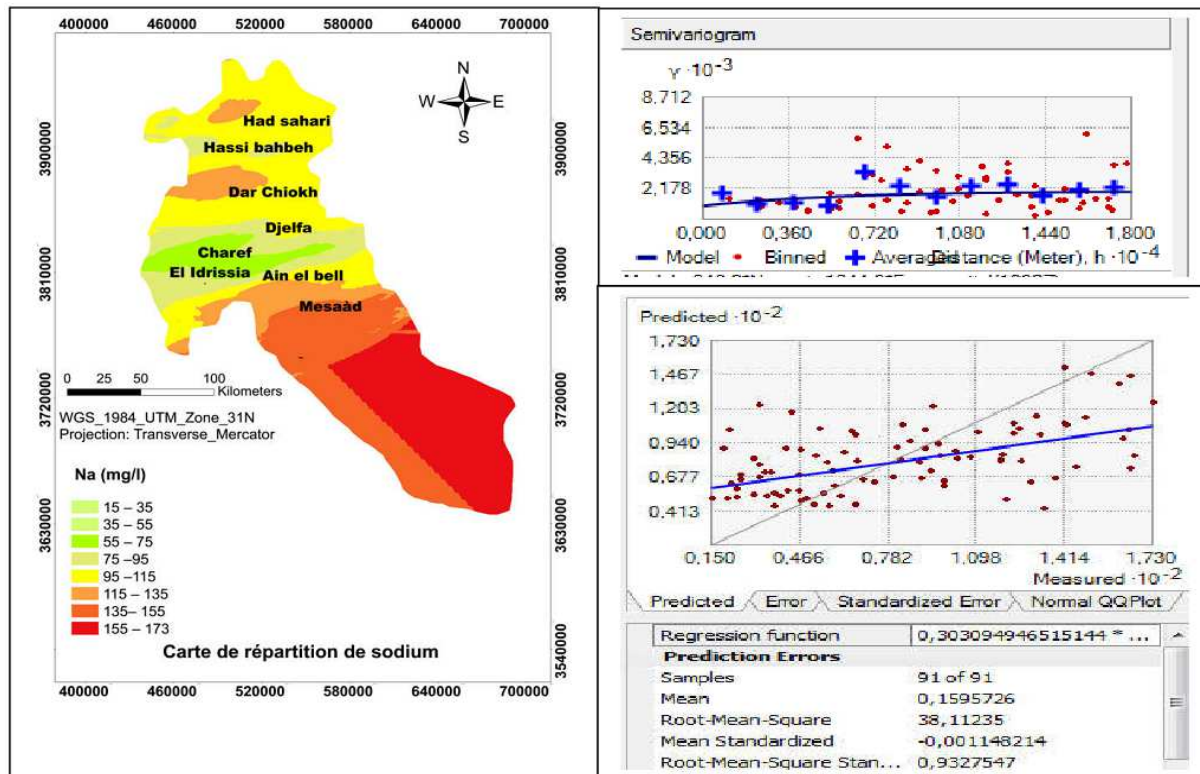


Figure 37: Carte de variation spatiale de Na^+ , validation croisée et variogramme expérimental

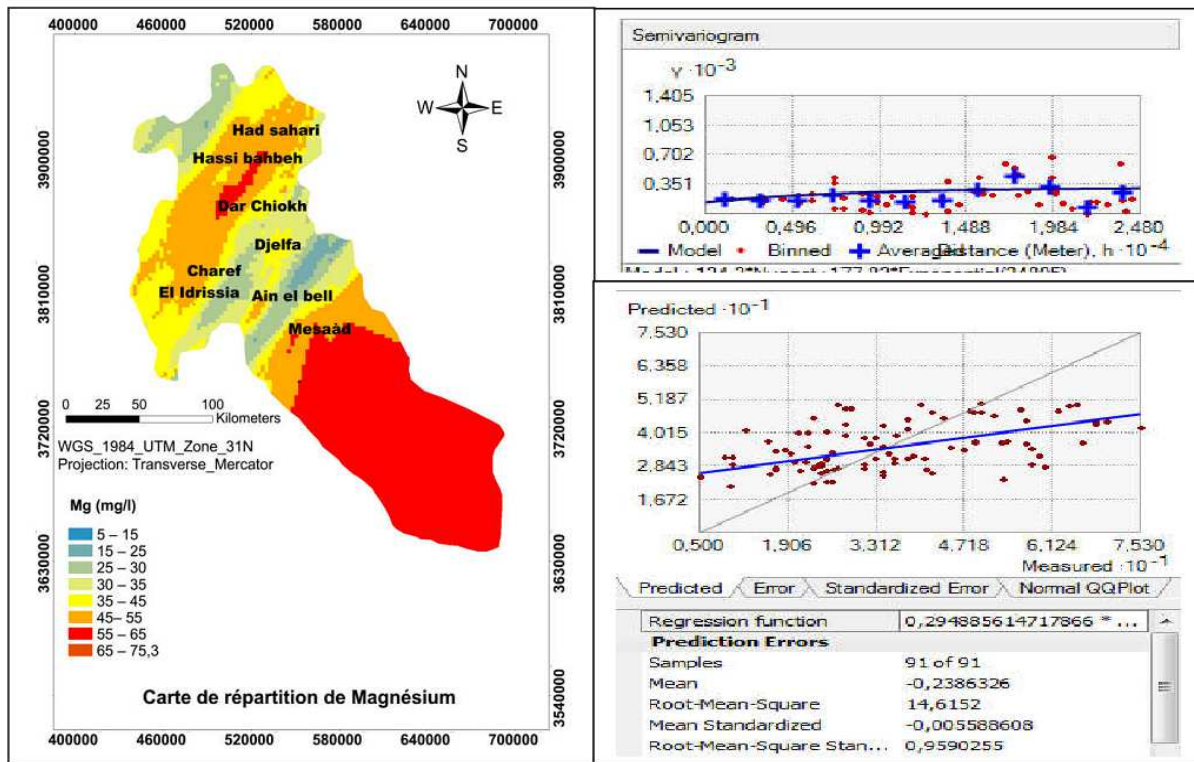


Figure 38 : Carte de variation spatiale de Mg^+ , validation croisée et variogramme expérimental

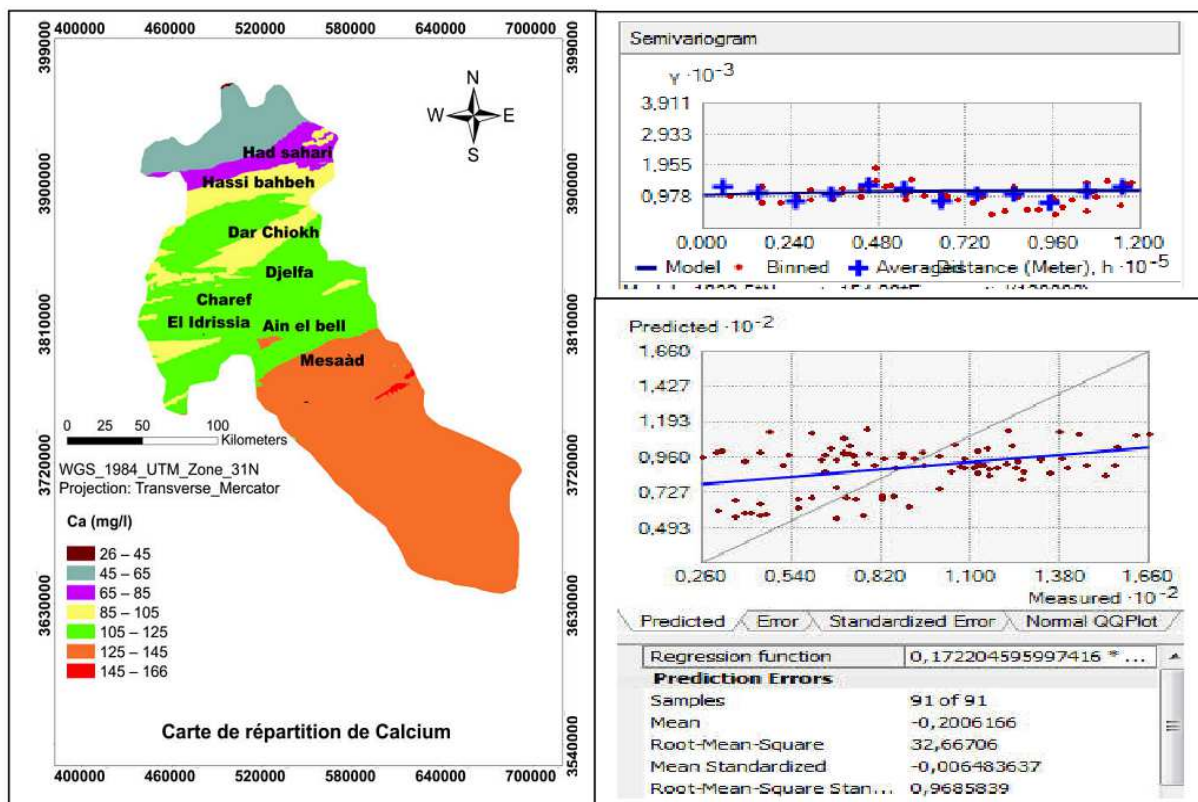


Figure 49 : Carte de variation spatiale de Ca^+ , validation croisée et variogramme expérimental

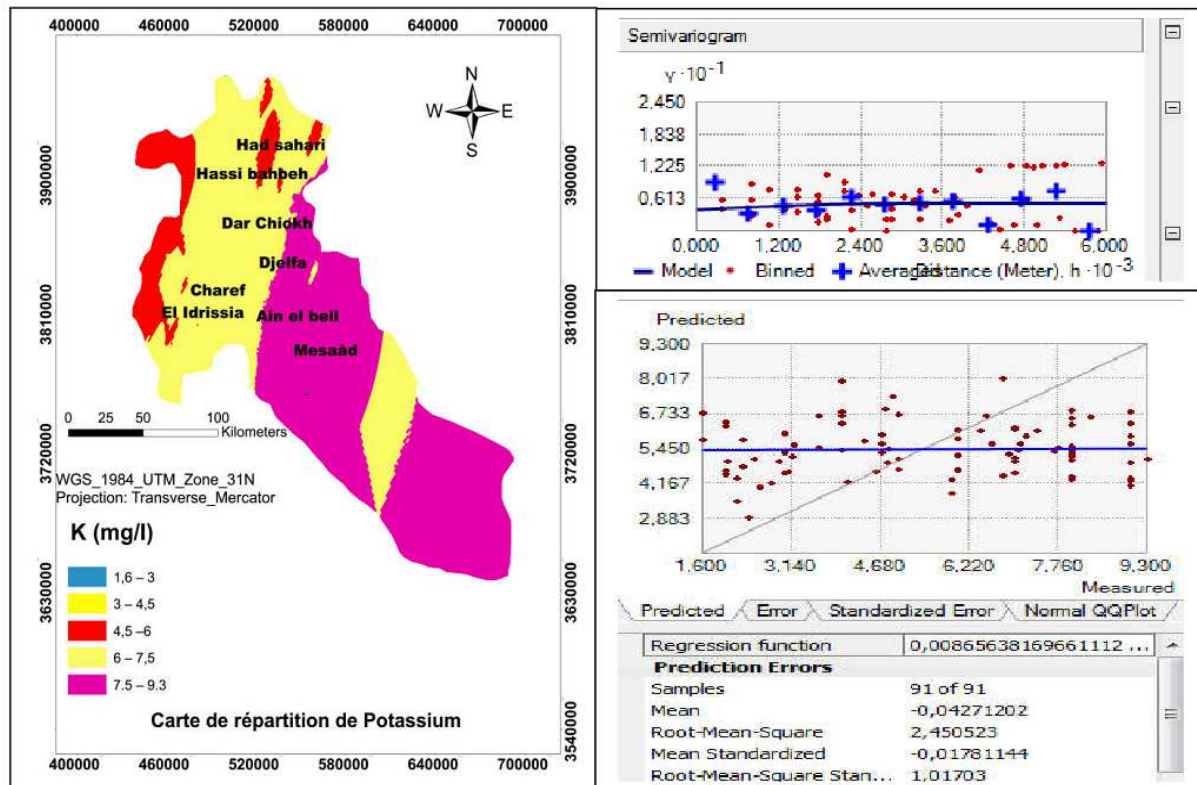


Figure 40 : Carte de variation spatiale de K^+ , validation croisée et variogramme expérimental

VI.4.3.2. Interprétation des résultats

Les cartes krigées de différents cations illustrées dans les figures 37, 38, 39, 40, (Sodium, Potassium, Magnésium et Calcium) montrent que les eaux souterraines de notre région d'étude ont une grande variation des teneurs.

Le sodium présente au Sud de la région des teneurs très élevées et supérieures aux normes de l'OMS (150 mg/l). Les teneurs anormalement élevées peuvent provenir de la dissolution des sels, ou de la percolation à travers des terrains salés ou de l'infiltration d'eaux saumâtres (Rodier et al, 2009). Dans les eaux souterraines non polluées et sans contact avec des évaporites, la teneur en sodium se situe entre 1 et 20 mg/l (Matthess et al, 1994).

La carte de magnésium montre que les valeurs sont au-dessus des valeurs guide de potabilité (50 mg/l), et sont comprises entre 5 et 75 mg/l à l'exception des zones de centre, Sud et des frontières Nord de la région. La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

D'après Bermond et al, 1979, le magnésium provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates

Le potassium se rencontre sous forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais tels que la corrollite et la sylvinite. On le trouve également dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate. Le potassium est un élément indispensable à la vie et notamment à la croissance des végétaux.

L'agriculture, il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium. (Pesson, 1979)

La teneur en potassium est presque constante dans les eaux naturelles. Celle-ci ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l selon OMS.

Sa concentration dans les points d'eau contrôlés variait entre 1.6mg/ et 9.3 mg/l ; elle ne dépassait pas les normes de potabilité.

Le calcium provient de l'hydrolyse des minéraux silicatés présents dans ce sol.

Les teneurs élevées en calcium et surtout dans le Sud de la région pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques . (Rodier, 2009)

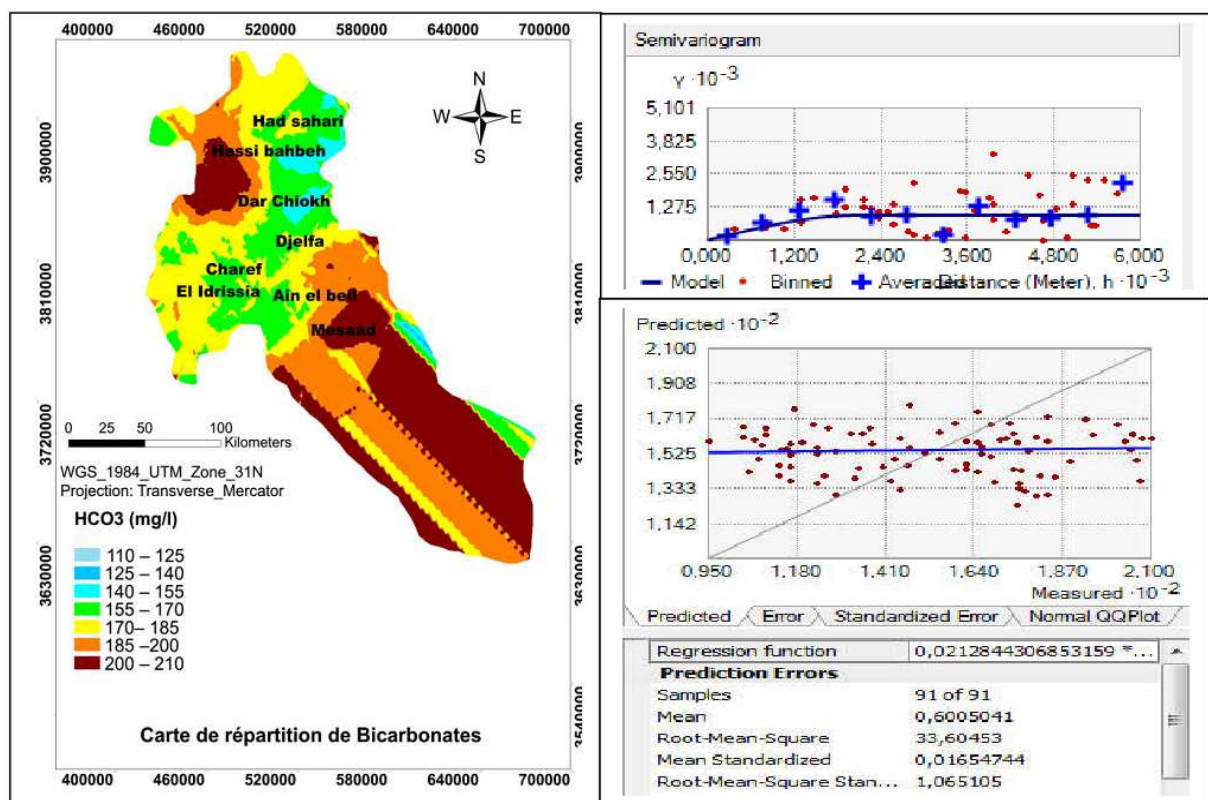


Figure 41: Carte de variation spatiale de HCO_3^- , validation croisée et variogramme expérimental

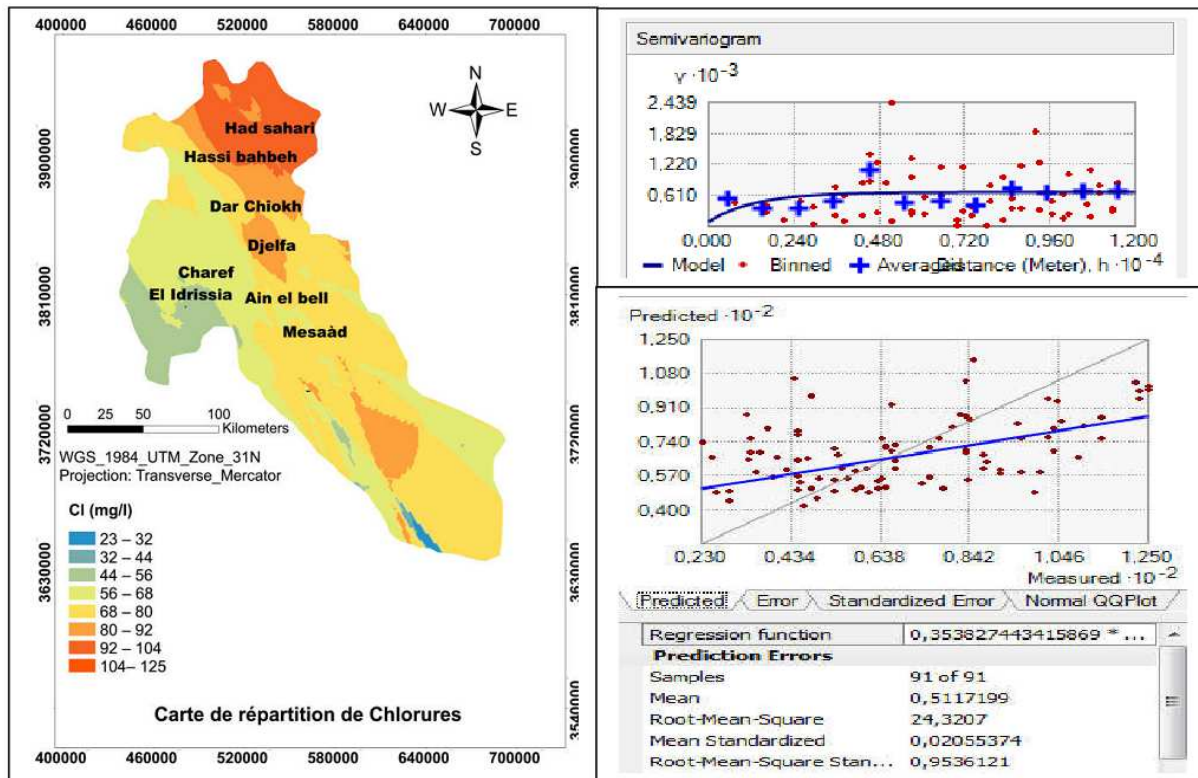


Figure 42: Carte de variation spatiale Cl⁻, validation croisée et variogramme expérimental

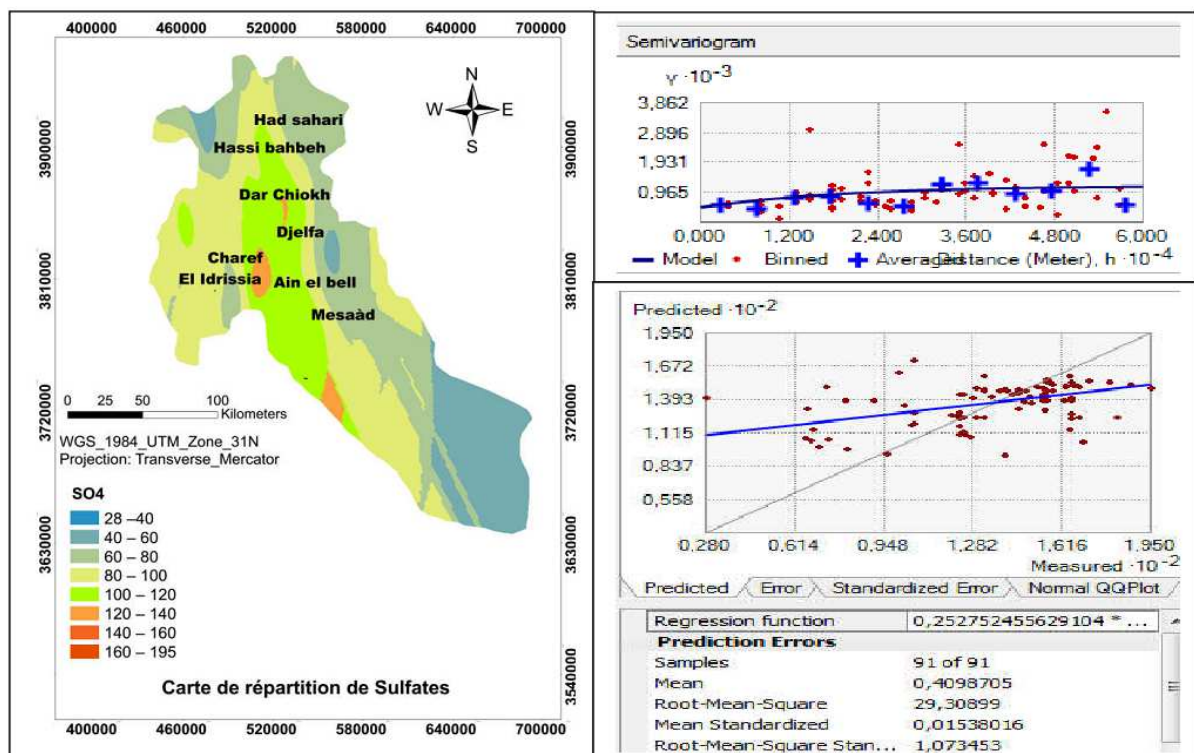


Figure 43: Carte de variation spatiale SO₄²⁻, validation croisée et variogramme expérimental

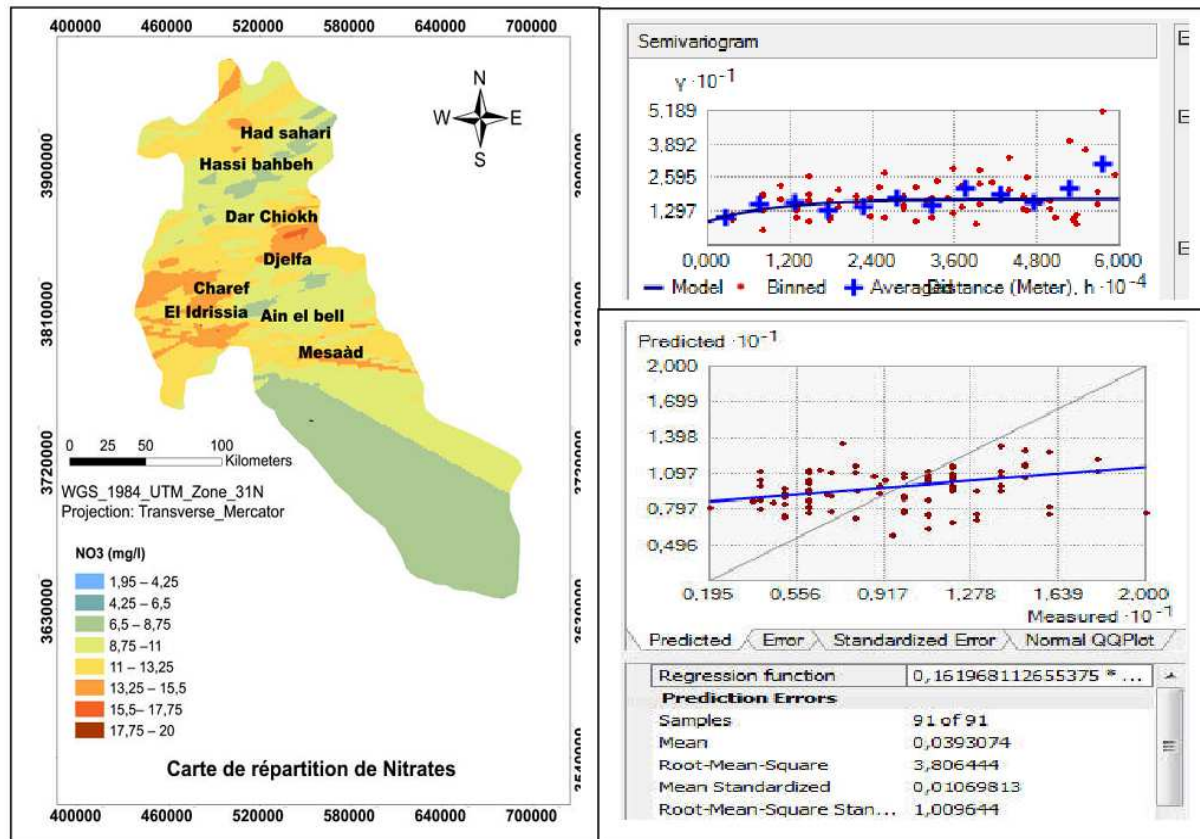


Figure 44: Carte de variation spatiale NO_3^- , validation croisée et variogramme expérimental

VI.4.3.4. Interprétation des résultats

Les teneurs en ions chlorures des eaux souterraines sont généralement de l'ordre de 10 à 20 mg/l, mais ils peuvent atteindre plus de 100 mg/l au contact de certaines formations géologiques. La carte d'évolution des chlorures montre qu'il y a une forte teneur et dépassent la valeur limite acceptable pour la potabilité 200 mg/l à l'Ouest (Zahrez elchergui) et au Nord Est (Zahrez elgharbi) et au Sud, se qu'indique l'influence de Sebka sur les eaux souterraines et peuvent aussi être reliés aux rejets humains, en particulier l'urine et certains produits d'entretien. (Abdoulaye, 2014)

Du fait de la solubilité élevée des sulfates, l'eau souterraine en conditions normales peut en contenir jusqu'à 1,5 g/L (Matthess et al., 1994). L'oxydation des sulfures ainsi que la dégradation de la biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre.

L'interprétation de la carte des sulfates montre que celle-ci croit de l'Est au Sud Ouest elles oscillaient entre 28/ à 195 mg/l et restent dans les normes de potabilité (250 mg/l).

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que la teneur en CO₂ de l'air et du sol dans le bassin d'alimentation. (Matthess et al, 1994). Les teneurs en bicarbonates des points étudiés variaient globalement entre un minimum de 110 mg/l et un maximum de 210 mg/l, cette fourchette de valeurs reste inférieure à la norme de potabilité (610 mg/l)

Les ions nitrate (NO⁻³) sont présents dans la nature où ils font partie du cycle de l'azote. Ils représentent la forme la plus soluble de l'azote. Principalement utilisés comme engrais inorganiques pour la croissance des plantes et la synthèse de composés azotés organiques, les nitrates en excès peuvent se retrouver rapidement dans les eaux souterraines. (OMS ,1993). Les déchets contenant de l'azote organique représentent aussi une source de nitrates obtenus à partir de différents processus bio-chimiques (ammonification et nitrification). Les concentrations en nitrates dans les eaux analysées variaient entre 1.25 mg/l et 20 mg/l, toutes ces concentrations sont inférieures à la valeur guide de l'OMS qui est de 50 mg/l pour la potabilité de l'eau ainsi que Ces résultats impliquent l'absence de signes de pollution dans notre région d'étude.

Paramètres ajustement	Na	Mg	Ca	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
Moyenne de l'erreur (Mean),	0.159	0.238	0.20	0.04	0.6	0.51	0.4	0.03
Nombre de points	91	91	91	91	91	91	91	91
moyenne de l'erreur réduite (Mean Standardized)	0.001 1	0.0055	0.006	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
écart type de l'erreur réduite (Root-Mean-Square Standardized)	0.993	0.959	0.968	1.01	1.065	0.95	1.07	1.009

Tableau 17 : Résultats d'ajustement des paramètres Chimiques

VI.5. Elaboration d'une base de données d'analyse physico- chimique des eaux souterraines pour la région de Djelfa sous forme de SIG

Une base de données est un ensemble d'enregistrement de fait, d'événements et de phénomène qui surviennent dans un modèle réel ou dans un système.

Elle représente le cœur du SIG qu'on se propose d'élaborer et organise les données en couches thématiques et en représentation spatiale.

Il s'agit d'une banque de données, spatiales et sémantiques, hydrogéologiques et autres données qui sont en relation avec les ressources en eau.

Elle prend en charge le stockage et la gestion des données spatiales informatisées dans les tables du système de gestion de bases de données relationnelles (ESRI, 2009).

A partir d'un simple click sur une zone choisie du bassin versant dans laquelle s'affiche un tableau de deux colonnes contenant les données et des informations propres à cette zone avec une possibilité d'enrichir et d'actualisé cette base de données.

Le SIG, la base de données et la géostatistique demeurent des outils et des méthodes bien adaptés à cette problématique. En effet, à partir des caractéristiques physiques et chimiques de forages, une base de données est d'abord créée sous Arc catalogue.

Ces données sont ensuite exploitées sous Arcmap pour générer des modèles variographiques qui servent de base pour faire de l'interpolation spatiale.

Les cartes réalisées à partir de cette interpolation constituent des outils d'aide à la décision quant aux futurs sites d'implantation des forages.

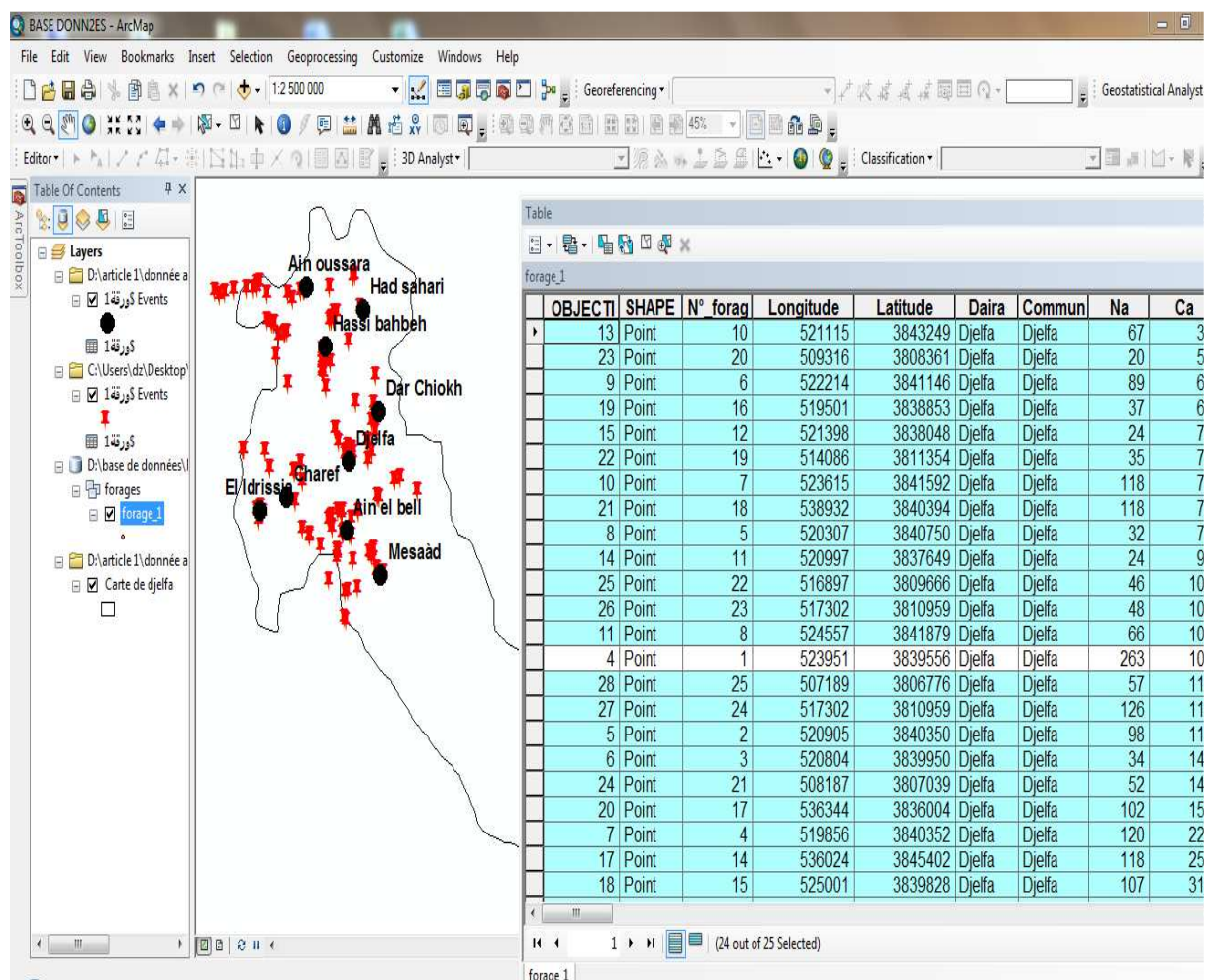


Figure 45: Représentation de la page d'accueil de la base des données sous arc catalog

Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre la méthode de krigeage qui est la méthode d'interpolation la plus adaptée pour une bonne représentation spatiale, leur but est avant tout d'aboutir à une carte esthétique des valeurs estimées en produisant des surface à aspect très lisse.

Il existe encore un grand nombre et il reste difficile de préconiser une méthode plutôt qu'une autre. C'est pourquoi il est conseillé d'utiliser systématiquement la validation croisée qui donne les moyens de comparer les diverses méthodes.

L'étape de l'estimation par krigeage est relativement rapide si l'étude variographique a été correctement menée, ainsi qu'il permet de mesurer la précision de l'estimation fournie

L'élaboration d'une base de données pour la région de Djelfa facilite la gestion des ressources en eau. En effet, dans cette base de données, on a adopté des structures spécifiques permettant de saisir, de traiter, d'analyser, d'interroger les données et de représenter graphiquement les résultats de la façon souhaitable

Chapitre VII

Spatialisation de l'érosion hydrique dans la région de Djelfa

Introduction

L'utilisation des différents paramètres et des indices géomorphologiques d'un bassin versant, présente un résultat très indispensable, et ce afin de caractériser l'environnement physique et leur influence sur l'écoulement des eaux de surface.

L'objectif de cette partie du travail est de présenter un outil SIG qui peut permettre d'une part l'établissement des cartes numérisées utiles pour comprendre le comportement hydrologiques des bassins versants, cela économise du temps de travail par rapport aux méthodes qui utilisent également des cartes topographiques. Ces cartes pourraient constituer un document de base pour tout aménagement hydraulique proposé, et d'autre part à démontrer l'intérêt que peut apporter un outil tel que le SIG pour cartographier des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de perte en sol, afin de protéger les constructions de stockage contre l'envasement des petits barrages de : Chebika , Tekersane, Hadjia, Kreireche , dans la région de Djelfa.

VII.1. Les ressources en eau superficielle

Les ressources en eau superficielles au niveau des sous bassins versants de la région de Djelfa sont d'une moindre importance, il s'agit, quelques petits barrages : (Chebika, Tekersane, Hadjia, Kreireche). Ces ouvrages sont destinés uniquement à l'irrigation des périmètres agricoles.

VII.2. Choix un modèle pour l'étude

Il existe différentes méthodes pour évaluer l'érosion du sol, qu'elle soit laminaire ou en sillon dans un segment de pente. Ici, de manière brève, sont présentées les trois méthodes les plus importantes en termes d'applicabilité dans les bassins versants :

- * MUSLE qui a la même équation de l'USLE, mais avec la différence de plusieurs améliorations pour vérifier les facteurs ;
- * La Méthode Onstad Foster (Onstad & Foster, 1975) ;
- * La RUSLE, de même que l'USLE ;
- * SWAT : Soil and Water Assessment Tool (Arnold & Williams, 1995 ; Neistch *et al.*, 2002) ;
- * MHYDAS : Modélisation hydrologique Distribuée des Agro-systèmes (Moussa *et al.*, 2002).

La plupart des modèles ont été développés pour répondre à un objectif particulier : gestion de la ressource en eau sur des bassins versants de taille moyenne (quelques centaines de km²) dans HYDROTEL, transfert de polluants dans SWAT et prise en compte des particularités du milieu agricole dans MHYDAS.

Chapitre VII Spatialisation de l'érosion hydrique dans la région de Djelfa

L'équation bien connue USLE a été utilisée car c'est le modèle qui demande le moins de données-sources et il a été appliqué largement à toutes les échelles.

Il est question de choisir pour notre étude un modèle qui permette, grâce aux SIG, la spatialisation de l'érosion hydrique à l'échelle plus grand et non plus des parcelles. Il s'agit ici d'avoir une connaissance de la répartition spatiale de l'érosion sur notre région. USLE reste applicable que pour des données moyennes sur 20 ans et ne prend pas en considération les phénomènes de transport et de sédimentation (Roose , 1994)

VII. 3. Expression de l' USLE

L'Equation universelle de pertes en sol (Wischmeier & Smith 1978), USLE est composée de six facteurs qui permettent d'obtenir une estimation de l'érosion (A) en (tonnes/hectares/an) par la multiplication de chacun des facteurs :

$$A = LS.K.R.P.C.....22$$

R (MJ/mm / ha. H. an), est le facteur de l'érosivité des pluies ; il correspond à la moyenne annuelle des sommes des produits de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité en 30 mn consécutives ; **K** (t. H / MJ. mm), est l'érodibilité des sols ; il est fonction de la texture du sol, du taux d'humus, de la structure de la couche superficielle du sol ainsi que de sa perméabilité ; **LS**, est un facteur sans dimension qui représente l'inclinaison (S) et la longueur de pente (L) ; **C**, est un facteur sans dimension ; c'est l'occupation du sol ou l'indice de couverture végétale et de pratiques culturales ; **P**, facteur sans dimension, est un rapport qui tient compte des techniques culturales antiérosives telles que le labour en courbes de niveau.

VII.4. Données utilisée et méthodes appliquées

Le tableau 18 résume le matériel et les données nécessaires à l'élaboration de cette étude.

Documents	Logiciels
1- Une image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de résolution 30 m obtenue sur le site : http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp .	1- Arcgis version 10.2.2
2- Une carte d'occupation de sol de Djelfa 1/100000.	2- Global mapper version 15.1
3- Une carte lithologique de Djelfa : 1/100000	
4- Une carte topographique : 1/25000	
5- Précipitations enregistrées entre 1975 et 2015 (ONM ,2014)	

Tableau 18 : Matériel utilisé

VII.4.1. Méthodologie appliquée

La méthodologie utilisée s'appuie sur l'estimation des paramètres de l'équation universelle de perte en sol (USLE) et l'établissement de documents cartographiques permettant de bien appréhender les zones à risques et d'urgence d'intervention.

En appliquant l'équation USLE aux valeurs obtenues par croisement sous Arcgis, où nous avons introduit le produit de ces différents paramètres obtenus (R, K, LS, C et P) à travers l'option Spatial Analyst Tools > Map algebra > Raster Calculator : $R * K * LS * C * P$.

Les résultats obtenus, correspondent aux zones de notre région exposées à l'érosion hydrique des sols. L'essentiel du travail a été réalisé suivant l'organigramme méthodologique de la figure 46 :

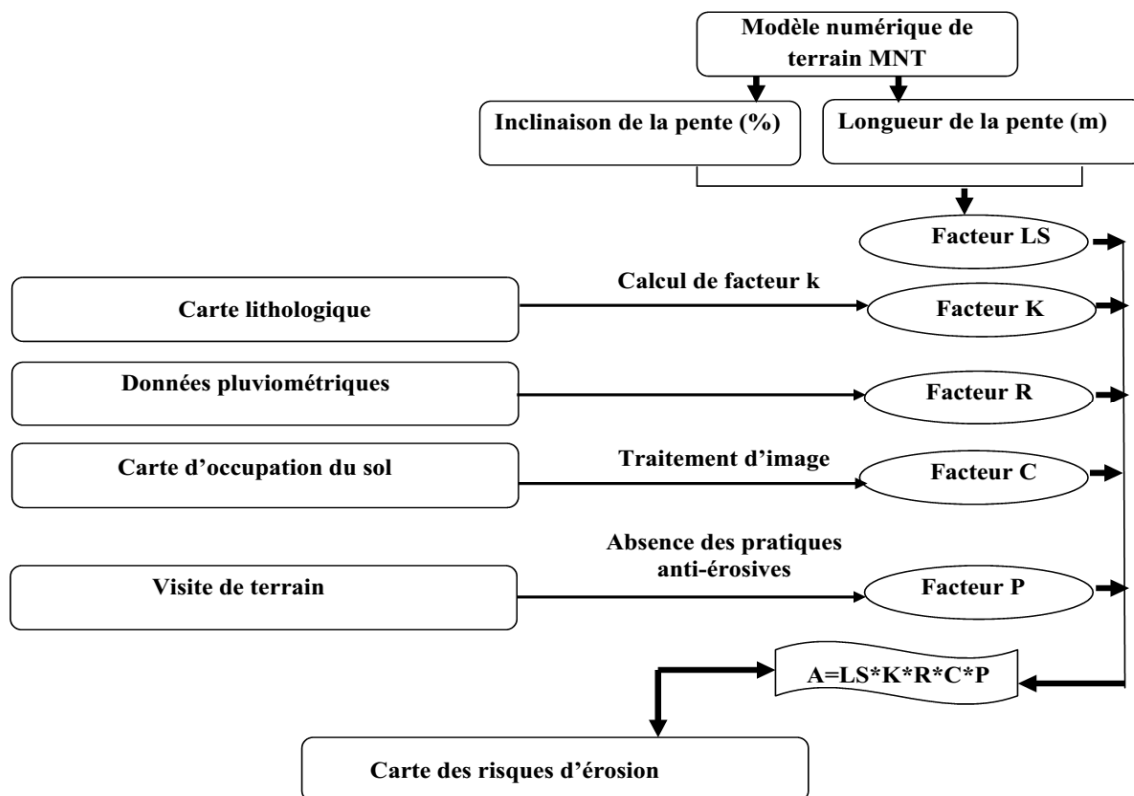


Figure 46. Organigramme de réalisation de la carte d'érosion de la région de Djelfa

VII.4.2. Elaboration des cartes thématiques

La figure 47 et le tableau 19 , illustrent les différents résultats des caractéristiques du réseau hydrographique la zone d'étude.

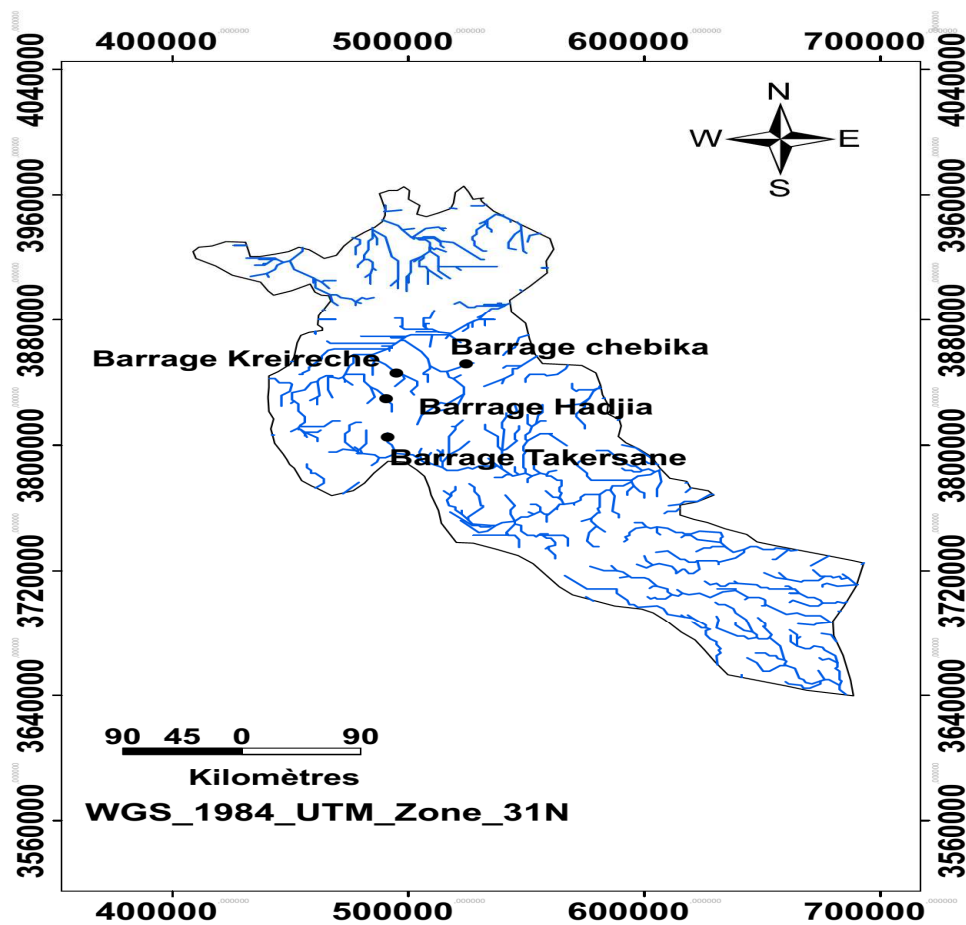


Figure 47. Réseau hydrographique de la région de Djelfa

Non : barrage	Barrage de Hadjia	Barrage de Tekersane	Barrage de Kreireche	Barrage de Chebika
Paramètre				
Surface (km ²)	138	66	325	82
Périmètre (km)	49	34	73	34

Tableau 19 : Surfaces et périmètres des bassins versants

VII.4.3. La pente

L'extraction automatique de ces paramètres géomorphologiques et hydrométriques est une technique très adaptée actuellement, en particulier que ces techniques, favorisent à l'hydrographe un gain de temps et d'effort.

Il faut souligner que, malgré tous ses mérites et les remarquables contributions des modèles numériques de terrain, Bien qu'elle constitue une donnée très puissante d'analyse,

Chapitre VII Spatialisation de l'érosion hydrique dans la région de Djelfa

l'informatique ne peut suffire à elle seule à résoudre tous les problèmes d'aménagement. Il faudrait des démarches complémentaires s'appuyant sur la réalité de terrain.

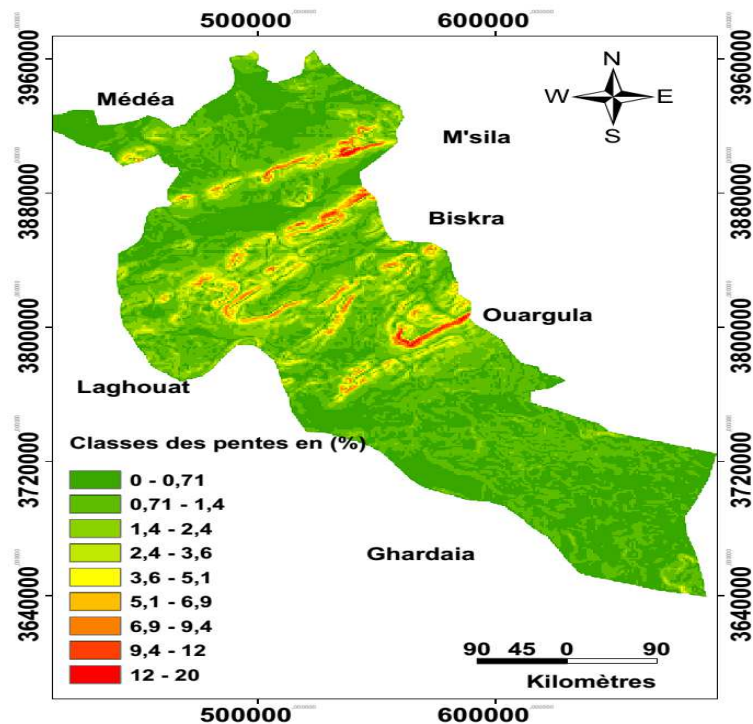


Figure 48. Différentes Classes des pentes dans la région de Djelfa

La carte des pentes (figure 48) a été dérivée du modèle numérique de terrain (MNT) de la région d'étude. Le tableau 20 indique les différentes classes de pentes. Des études antérieures (PNUE/PAM/PAP, 2000 ; Mollenhauer, 1980) ont montré que l'érosion devient active sur des pentes supérieures à 3 %.

Classe des pentes (%)	Surface (km ²)	Surface (%)
0 – 0.71	12840	37,06
0.71 – 1.4	12950	37,39
1.4 - 2,4	5482	13,46
2.4 – 3.6	2379	6,24
3.6 – 5.1	1030,47	3
5.1 – 6.9	531,3	1,6
6.9 – 9.4	270,9	0,81
9.4 - 12	117,8	0,35
12 -20	88,34	0,1

Tableau 20 : Répartition des surfaces en fonction des classes de pente

L'analyse de résultats de tableau 3, indique que les zones à pente faible couvrent 94.15 % de la superficie totale de la région soit 33651 km², alors que celles à pente élevée et très élevée occupent 5.85 % superficie soit 2038.81 km², correspondent à une zone mixte qui regroupe le haut de piémont et les montagnes

VII.4.4. L'érosivite de pluie « R »

La pluie est l'élément moteur de l'érosion, sans précipitation il n'y a pas d'érosion hydrique. En Algérie, les études d'aménagement hydrotechniques butent sur le problème de manque de donnée. L'ingénieur a utilisé les méthodes empiriques disponibles pour évaluer le facteur d'érosivité. Roose (1977) a développé une formule alternative qui n'implique que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer le facteur R.

$$R = 0.0295.P \dots\dots\dots 23$$

VII.4.5. L'image SRTM et le facteur « LS »

Le facteur topographique (LS) est calculé à partir de la longueur des pentes (L) et de leur inclinaison (S), déterminées à partir de l'image SRTM (résolution 30 m), le facteur LS est calculé dans Arcmap : l'option Spatial Analyst Tools > Map algebra > Raster Calculator

VII.4.6. Erodibilité des sols « K »

Certains auteurs (Wischmeier & Smith 1978), ont trouvé une corrélation entre ce facteur et les paramètres liés à la structure des sols.

$$1000K = 2.1 \times 10^{-4} \times M \times 1.14(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(cp - 3) \dots\dots 24$$

M : produit du pourcentage de limon compris entre 0.002 et 0.1 mm par le pourcentage de tout ce qui n'est pas de l'argile. Le produit (% sable fin + % limon). (100 - % Argile).

Les valeurs de K pour chaque unité de sol (tableau 21), ont été estimées en utilisant les données de la carte pédologique de la région de Djelfa et les analyses des différents types de sols. (Stone et Hilborn, 2000)

Facies	Valeur moyenne de K
Limono-argileux, argile	0.15
Limono-argileux, sable	0.1
Limon argilo-sableux, argile	0.1
Sable limoneux	0.06
Sable limoneux, sableux	0.05
Sable	0.01

Tableau 21 : Distribution de facies d'érodibilité en fonction de différents facies adaptée par Stone et Hilborn (2000)

La figure 49, illustre l'ensemble de structure géologique de la région de Djelfa, les valeurs du facteur K, adoptées dans notre étude varient de 0,014 à 0.042 en fonction de la lithologie du terrain.

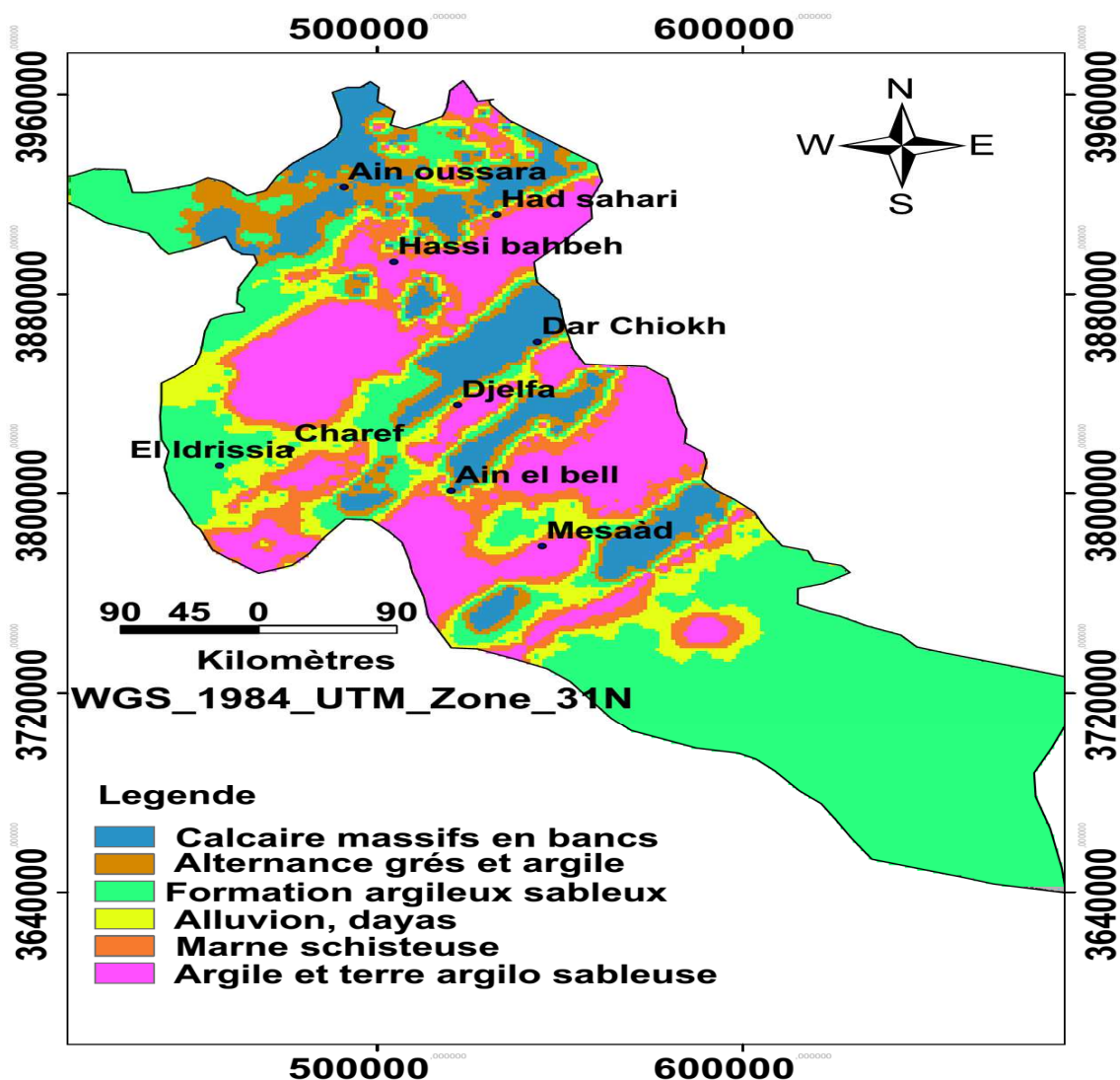


Figure 49. La carte de l'ensemble géomorphologique de Djelfa

VII.4.7. Le facteur d'occupation du sol « C »

Les valeurs affectées aux différents modes d'utilisation de sols se basent sur les résultats des travaux effectués par de (Sadiki *et al.* , 2004) en Maroc, qui son illustrés dans le tableau 22 et les résultats obtenus par Masson (1971) en Tunisie qui sont résumés au tableau 23

C	Type de couvert végétal
0.058	reboisement dense
0.13	Forêt moyennement dense
0.17	matorral dégradé, parcours dense
0.18	reboisement clair
0.2	matorral clair, parcours dense,
0.22	Matorral très dégradé
0.32	steppes à alfa
0.7	céréaliculture
1	Terrain nu

Tableau 22 : Distribution spatiale de Des principales valeurs de du facteur c en fonction de couvert végétal. (Sadiki *et al.* , 2004

C	Type de couvert végétal
0.01	Pâturages améliorés
0.1- 0.01	Assolement céréaliier + fourrages
0.2	Fourrages
0.4	Assolement céréaliier
0.7	Blé d'hiver
0.9	Arboriculture fruitière
1	Terre nue, jachère nue

Tableau 23 : Distribution spatiale de Des principales valeurs de du facteur c en fonction de couvert végétal. (Masson ,1971)

Chapitre VII Spatialisation de l'érosion hydrique dans la région de Djelfa

Le tableau 24, résume les valeurs de C adoptées pour la région d'étude, celles qui proviennent de la consultation de deux tableaux précédents et la carte d'occupation du sol de la région de Djelfa (figure 50).

Valeur de C attribuée	Type de couvert végétal
0.7	Agriculture, céréaliculture
0.32	Parcours
0.058	Reboisement
0.02	Chott
0.15	Incultes et parcours
0.13	Foret
1	Incultes

Tableau 24: Distribution spatiale des principales valeurs de C en fonction du couvert végétal dans la région de Djelfa

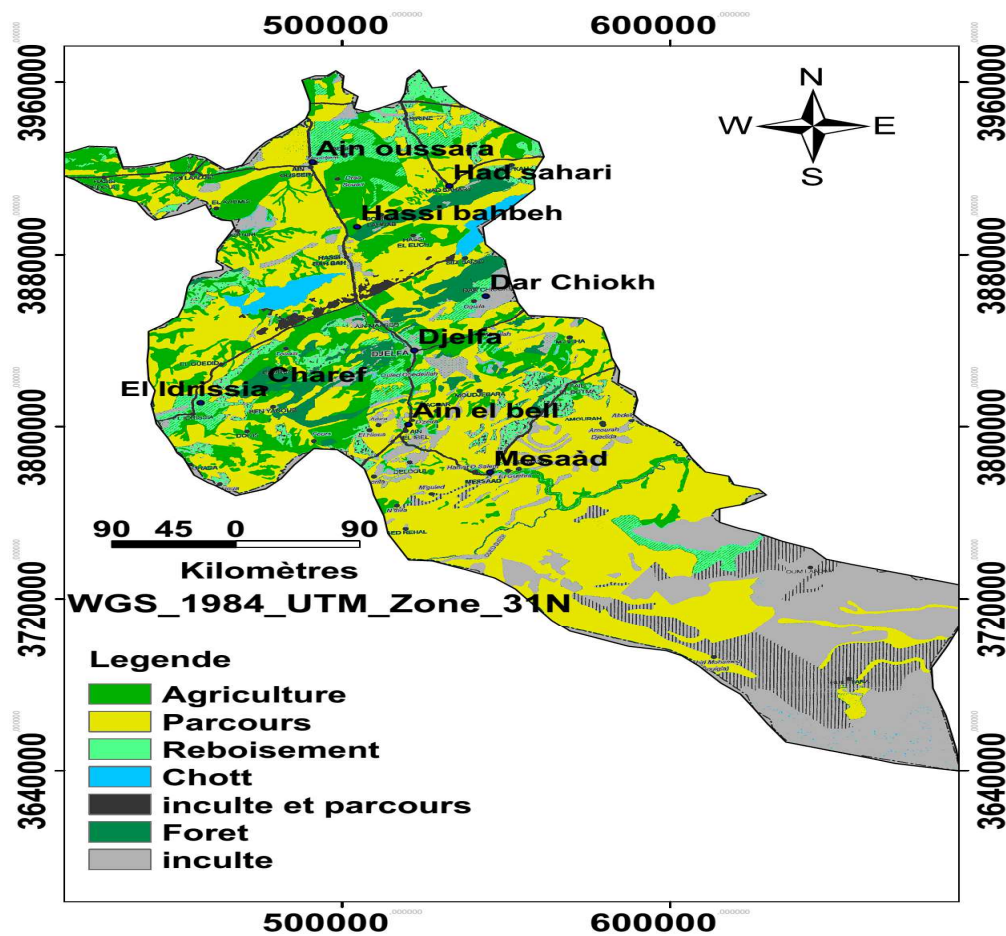


Figure 50 : Les grandes occupations des sols de la région de Djelfa

VII.4.8. Le facteur pratiques anti-erosives « P »

Les valeurs de P sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente. Dans toute la surface de la région d'étude, il n'y a pas d'aménagements antiérosifs spectaculaires. Dans ce contexte, la valeur $P = 1$ a été attribuée à toute la superficie

VII.5.Elaboration des cartes thématiques des facteurs de l' USLE

VII.5.1. Le facteur d'érosivité de pluie R

La valeur moyenne de l'érosivité des pluies sur la période 1975 à 2015, a été obtenue en utilisant de la formule de Roose (1977) : $R = 0.0295.P$

Où : R : agressivité des pluies ; P : pluviométrie moyenne annuelle

Dans notre cas $R \approx 10\text{t/ha/an}$

VII.5.2. Le facteur topographique LS

Il existe plusieurs façons de calculer le facteur LS, notamment en utilisant des approximations sur SIG à partir de la carte d'accumulation des flux

Le tableau 7 montre que, plus de 97.98% des valeurs sont comprises entre 0.03 et 0.84 et correspondent aux zones de faible pente, et possédant des valeurs de LS très faibles (donc peu sensible au phénomène érosif). Au centre de la région, les terrains pentus, possédant un facteur LS élevé et les valeurs comprises entre 2 à 9 qui correspondent uniquement 647.28 km² de la surface totale.

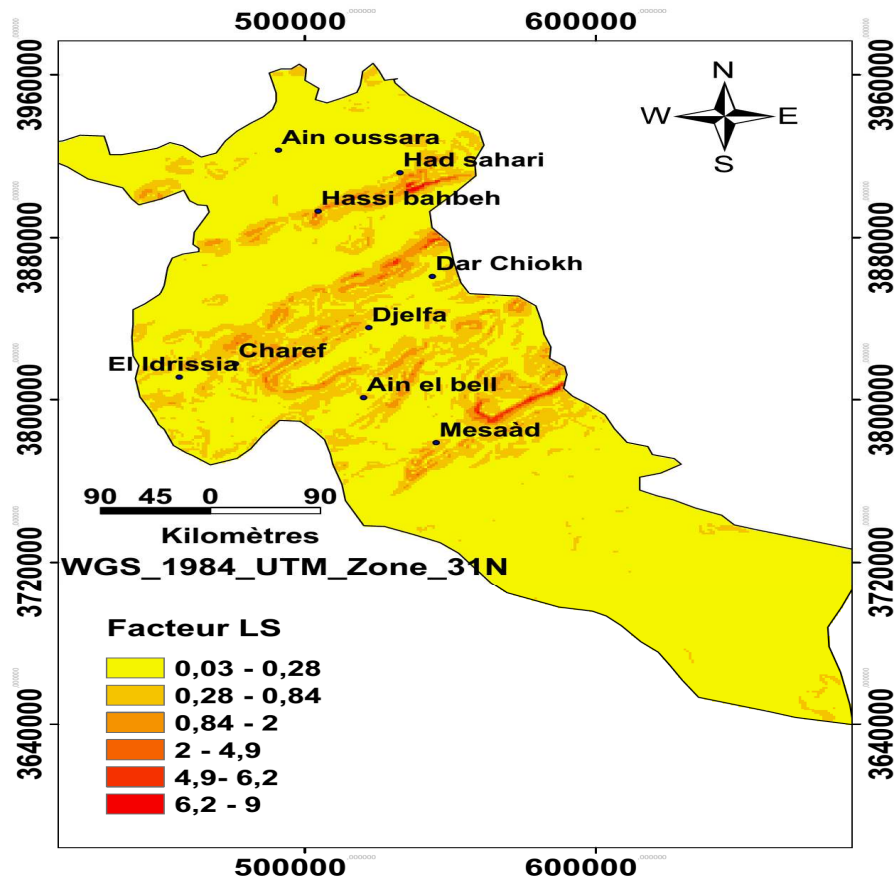


Figure 51. La carte du facteur topographique dans la région de Djelfa

Valeur de LS	Surface (km ²)	Surface (%)
0.03-0.28	32210.3	90.25
0.28-0.84	2732.85	7.65
0.84-2	311.45	0.87
2-4.9	157.58	0.44
4.9-6.2	178.43	0.49
6.2-9	99.2	0.27

Tableau 25 : Répartition des classes du facteur topographique dans la région de Djelfa

VII.5.3. Le facteur d'occupation du sol C

Les résultats obtenus (figure 52), montrent que 77.71 % de la superficie de la région d'étude présente un taux de couverture végétale très faible et seulement. Ceci est expliqué essentiellement par la dominance des terrains de parcours dégradés et les zones de cultures qui sont considérés très sensibles à l'érosion. Le tableau 26, montre la répartition de superficie de la région d'étude en fonction au coefficient de couverture végétale.

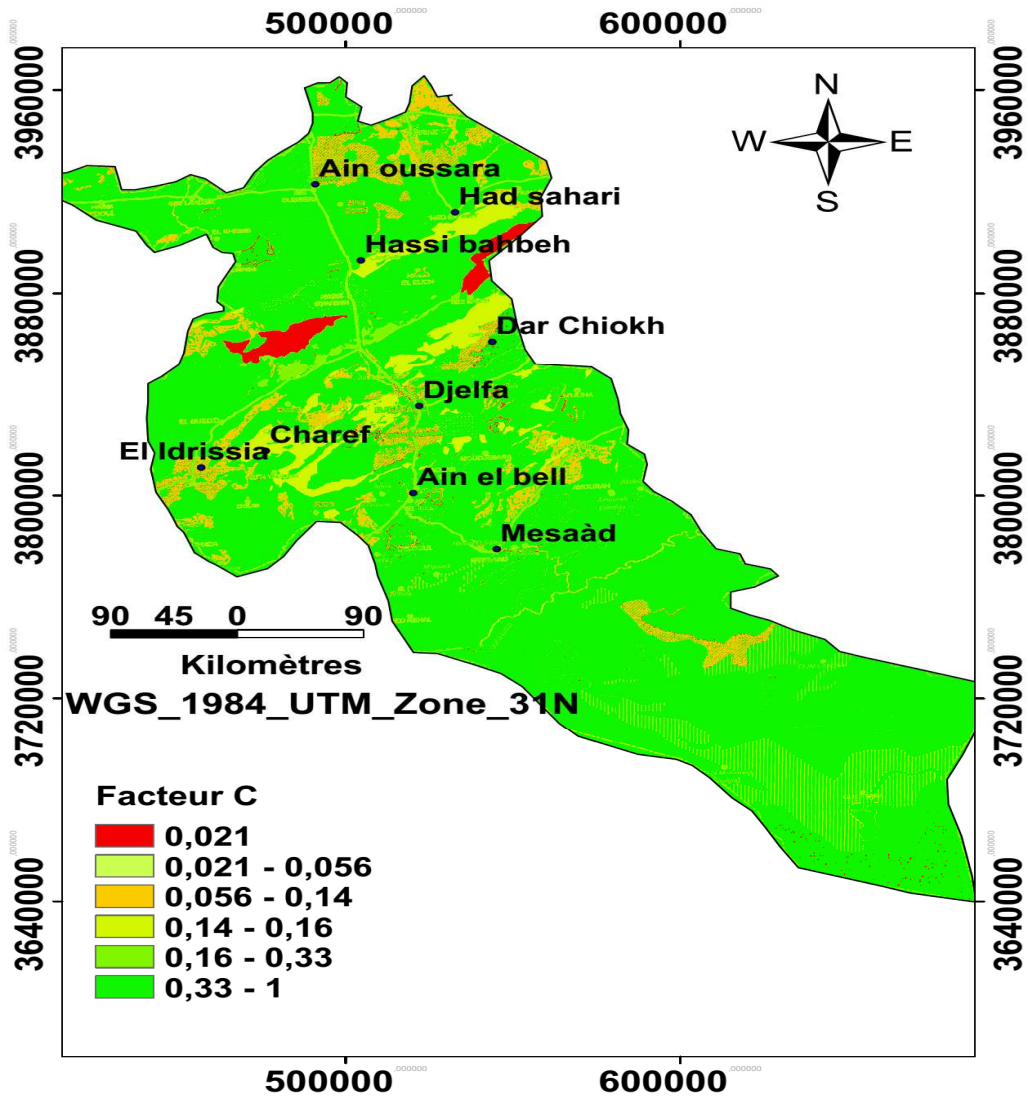


Figure 52 : La carte du facteur d'occupation du sol C

Classes du facteur C	Surface (km ²)	Surface (%)
<0.021	498.64	1.4
0.021-0.055	2593.40	7.26
0.055-0.16	1730.17	4.84
0.16-0.33	3130.49	8.77
0.33-1	27737.11	77.71

Tableau 26 : Répartition des classes du facteur C dans la région de Djelfa

VII.5..4. Facteur d'érodibilité du sol

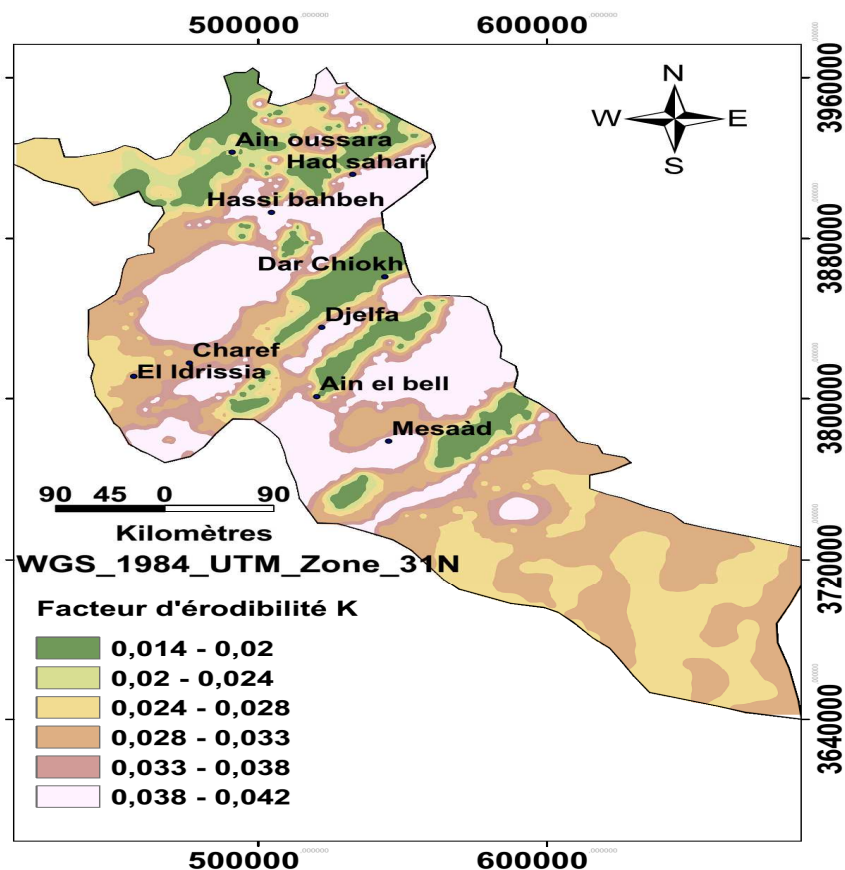


Figure 53 : La carte du facteur d'érodibilité du terrain de la région de Djelfa

Les résultats obtenus (Figure 53), montrent que la zone de Hassi behbeh, El idrissia, chef lieu de Djelfa et Ain el bel possèdent une érodibilité très élevée atteignant des valeurs comprises entre 0,038 et 0,042 avec une superficie de 40 %, suivie d'une érodibilité forte (0,024-0,038) avec 46 %

Classes de K	Surface en km2	Surface (%)
0.014-0.019	2141,38	6
0.019-0.024	2498,28	7
0.024-0.028	5710,42	16
0.028-0.033	7851,75	22
0.033-0.038	2855,18	8
0.038-0.042	14632,8	41

Tableau 27 : Répartition des classes du facteur d'érodibilité K dans la région de Djelfa

Le croisement des données s'effectue par la multiplication des valeurs des cinq facteurs R, K, LS, C et P dans la "calculatrice raster" du module *Spatial Analyst* d'Arcgis. Le résultat de cette multiplication est une couche « raster » (figure 54), donnant la carte de risque d'érosion sur l'ensemble de la région d'étude.

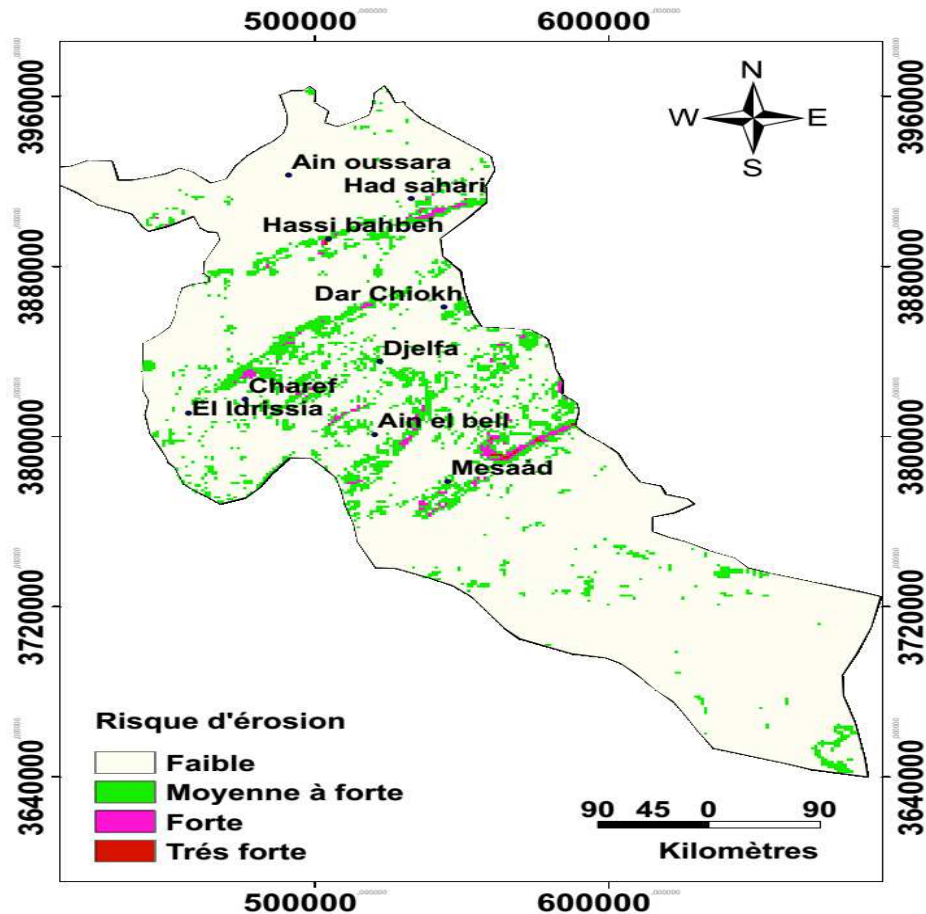


Figure 54: Carte des risques érosifs à partir de l'équation USLE de Wischmeier de la région de Djelfa

La lecture de la carte des classes d'érosion montre une répartition éparpillée de degrés d'érosion, ce qui montre clairement l'impact cumulé des différents facteurs responsables de l'érosion.

Les risques d'érosion sont élevés au centre de la région d'étude, la concentration des forts risques de vulnérabilité à l'érosion s'explique par : la dominance des sols peu évolués (calcaire et terre argileux –sableux), manifestant une érodibilité élevée atteignant (0.038-0.42), et d'autre part la région se trouve dans la zone des fortes érosivités,

La forte pente au centre de la région d'étude de (6.9%-20%), conduit à des pertes importantes, malgré la présence de la forêt et terrain agricole

Par recours aux autres cartes thématiques, on observe dans cette zone centrale, des valeurs du facteur topographique élevées traduits par des altitudes et pentes élevées.

Une validation rigoureuse de notre modèle et les cartes produites nécessite la mise en correspondance de nos cartes à risque (sur quelques zones représentatives) avec des observations sur le terrain, Des recherches poussées sur l'érodibilité des sols, l'érosivité des pluies apporterait des informations complémentaires permettant d'affiner la carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique

Conclusion

Les résultats obtenus, sous forme de carte de risque d'érosion, montrent que l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'informations géographiques, elle permet d'élaborer des documents graphiques pouvant constituer des outils d'aide à la décision et délimiter, à échelle moyenne, les zones à risque d'érosion hydrique et les facteurs déterminants de la dégradation des terres, afin de protéger le milieu naturel, d'éviter la pollution de l'eau, l'envasement des barrages (Chebika, Tekersane, Hadjia, Kreireche).

Les résultats montrent que les sols de Djelfa subissent l'effet de plusieurs facteurs favorisant le phénomène d'érosion à savoir l'importance des pentes, le faible couvert végétal et l'érodibilité des sols.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'eau est l'une des clefs essentielles du développement durable, dans la substance de tous les organismes vivants, animaux, végétaux et de la biosphère car elle est indispensable pour assurer la vie sur notre planète ainsi pour la santé et le progrès socio-économique des sociétés dans le respect de l'environnement.

Le problème de la gestion des ressources en eau est crucial dans la région de Djelfa car l'eau douce reste globalement mal gérée, gaspillée et à risque de polluer et les solutions de remplacement ne sont pas nombreuses.

La région de Djelfa comme les zones semi – aride, sont caractérisées par la rareté de ses ressources en eau et la forte irrégularité aussi bien spatiale que temporelle des précipitations.

Pour une meilleure caractérisation des eaux, on a besoin des informations détaillées ; fiable et bien organisées sur l'état qualitatif. Dans cette optique le travail présenté dans ce document :

D'une part est une contribution à la régionalisation des paramètres physico – chimiques dans le cadre de SIG qui a permis de produire une série de thèmes spatiaux sous forme de cartes numériques.

Les systèmes d'information géographiques (SIG), la géostatistique et diverses méthodes statistiques ont été utilisées comme des outils et des techniques bien adaptées à cette problématique et présentant une meilleure approche pour l'analyse spatiale de l'information et les travaux de cartographie.

Pour l'application de cette nouvelle technique de SIG nous avons choisi les analyses physico-chimiques des éléments majeurs des eaux souterraines de Djelfa, il est vraie que ces données anciennes (2009), et que notre objectif n'était pas exactement l'étude de la qualité des eaux, mais nous avons mis l'accent sur la mise en œuvre de l'utilisation des techniques des SIG à la cartographies et l'aide à la décision.

Le sodium présente au Sud de la région des teneurs très élevées et supérieures aux normes de l'OMS (150 mg/l). La carte de magnésium montre que les valeurs sont au-dessus des normes admissibles de l'OMS (50 mg/l), et sont comprises entre 5 et 75 mg/l à l'exception des zones de centre, Sud et des frontières Nord de la région, par contre les teneurs élevées en calcium restent surtout dans le Sud. La teneur en potassium variait entre 1.6mg/ et 9.3 mg/l ; elle ne dépassait pas les normes de potabilité.

L'interprétation de la carte des sulfates montre que celle-ci croit de l'Est au Sud Ouest elles oscillaient entre 28/ à 195 mg/l et restent dans les normes de l'OMS

Conclusion générale

Les teneurs en bicarbonates des points étudiés variaient globalement entre un minimum de 110 mg/l et un maximum de 210 mg/l, cette fourchette de valeurs reste inférieure à la norme de l'OMS

Les concentrations en nitrates dans les eaux analysées variaient entre 1.25 mg/l et 20 mg/l, toutes ces concentrations sont inférieures à la valeur guide de l'OMS qui est de 50 mg/l pour la potabilité de l'eau ainsi que ces résultats impliquent l'absence de signes de pollution dans notre région d'étude.

D'autre part le présent travail montre les capacités des systèmes d'information géographiques et les modèles numériques de terrain dans le calcul des paramètres qui influencent sur l'écoulement des eaux de surface.

Il faut signaler que, malgré tous ses mérites et les remarquables contributions des modèles numériques de terrain, bien qu'elle constitue une donnée très puissante d'analyse, des phénomènes d'érosion et problème d'aménagement hydraulique.

Le dernier chapitre est une contribution à la mise en place d'une méthodologie permettant la spatialisation de l'érosion hydrique des sols dans la région de Djelfa.

Cette méthodologie s'est basée sur l'Equation Universelle de Pertes en Sol, empiriquement élaborée par Wischmeier et Smith en 1978 et même donnant la quantité de terre (en t/ha/an) susceptible d'être décapée par l'érosion hydrique.

Les facteurs de l'équation caractérisant le processus érosif sont l'agressivité des précipitations, l'érodibilité des sols, l'inclinaison et la longueur de pente, la couverture végétale et les pratiques de conservation des sols.

Le calcul et la cartographie de chaque facteur ont été mis en œuvre en intégrant une pondération permettant de hiérarchiser la contribution de chacun d'entre eux au phénomène d'érosion.

Ces paramètres, intégrés dans un SIG, sous forme de couche d'information thématique, sont ensuite multipliés pixel par pixel.

La cartographie obtenue par la spatialisation de l'USLE est une carte de l'érosion potentielle donnant les quantités de sols pouvant être détachées pour chaque pixel d'un secteur donné.

Références bibliographiques

- Abdoulaye** Demba N'diaye, Khadijettou Mint Mohamed Salem, Mohamed Brahim El Kory, Mohamed Ould Sid' Ahmed OuldKankou, Michel Baudu., 2014. Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal, J. Mater. Environ. Sci. 5 (1).pp 320-329.
- A.N.R.H., 1993.** Synthèse des études et exploitation des données existantes su le synclinal de Djelfa pp.45 – 90.
- Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R. and King, K.W.** SWAT. 1996: Soil and Water Assessment Tool. User's Manual USDA Agriculture Research Service Grassland. Soil and Water Research Laboratory, 808 East Blackland Road Temple, TX 7602, 190 p.
- Arnaud M** et Emery X., 2000. Estimation et interpolation spatiale : méthodes déterministes et méthodes géostatistiques .Hermes Sciences Publications. Paris. France.221p
- Athan T.,** 2010. Quantum GIS, Manuel Utilisation, Version 1,3.'Mimas' Quantum GIS Développement Team.10p.
- Aubry Ph.** (2000). Traitement des variables régionalisées en écologie, Apports de géomantique et de la géostatistique, Thèse doctorat, Université Claude BERNARD – Lyon 1. 509 p.
- Azouzi B .,** 1993. Contribution à la cartographie automatique des grandeurs hydrogéologiques, Application à la Mitidja. Thèse de Magistère, Ed. INA d'El Harrach, Alger. 163p
- Baillargeon S.,** 2005. Le krigeage, revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale des données de précipitations. , Thèse pour l'obtention du grade de Maître sciences, Ed. Université Laval, Canada. West Lafayette, IN, 43 p.
- Bédard Y.,** 1982. Recommandations relatives à l'implantation d'un système d'information sur le territoire pour des fins de gestion municipale. Thèse de maîtrise, université de Laval. Québec.
- BermondR.** et Perrdon C., 1979. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris. 259p.
- Burrough P.A.,** 1986. Principles of geographical information systems for land ressources assessment.Oxford University Press. New York.
- Chapman D.,** Kimstach V .,1996. Selection of water quality variables.Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp59-126

- Colloz R** et **Collet C.**, 1997. Geographic information systems (GIS) and remote sensing in aquatic botany : methodological aspects ,*Aquatic botany* ,58:209-228.39-C.P.C.S.(1967)- Classification française des sols ,INRA.Paris .96p.
- Cressie N.** ,1993. Statistics for spatial data. New York .900p.
- Delhomme JP .**, 1976. Applications de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. Thèse de Doc.Ing. Ecole des Mines de Paris. Université de Paris VII. 130p,
- Derouiche A.**, 1994. Tests et limites d'application d'un modèle numérique de terrain de type DEMIURGE à des fins hydrologiques, Mémoire de fin d'étude d'ingénieurs, ESIER / ORSTOM.
- Didon. E .**, 1990 . Système d'information géographique ; Concepts, Fonctions, Applications. Laboratoire commun de télédétection. CEMAGREF/ENGREF. Montpellier 44p.
- D.G.F.2009.** Direction générale des forets.Algerie.
- Douaoui A.**, Herve N. et Walter CH. (2006). Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *GEODERMA*, 134, 217-230.
- D.P.A.T., 2012.** Monographie de la Wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPTA). pp 6-22.
- ESRI., 2009.** An overview of linear referencing.Arc GIS 9.1 Web help topic. 40p.
- Foster G.R. and Lane L.J.1987. User requirements: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). NSERL Report No. 1, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN, 43 p.
- Freycon .A**, Sebastien.B. 1991. La théorie des variables régionalisées, repartition spatiale, méthodologie et traitement statistique,Séminaire Montpellier.
- Ghibeche I., 2011.** Contribution à la régionalisation stochastique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines des le cadre de SIG –cas application à la région de Djelfa. Mémoire de Magister en sciences agronomique Al harrach-Alger.pp48.71.
- Gilliot J-M. 2000** : Introduction aux Systèmes d'Information Géographiques (SIG) : Traitement de l'information géographique. Institut Nationale Agronomique Paris - Grignon, 139p.
- Gratton Y,2000.** Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale.INRS-EAU-ENVIRONNEMENT.Québec.Canada.
- Guillaume. D.** 2012. Aide mémoire SIG et Quantums GIS.p7

- Habert É., 2000.** Qu'est-ce qu'un système d'information géographique. IRD. 9p.
- Hamouni M., 2006.** Contribution à la détermination des unités homogènes du sol par différentes approches de cartographie numérique. Thèse de magistère. INA d'Alger .120p.
- I.N.C.T., 2007.** Rapport final de l'Algérie. IUGG 2007 Perugia - XXIV IUGG General Assembly.
- Journel A.G. (1977).** Géostatistique minière. Centre de géostatistique. Ecole des mines; Fontainebleu, 737 p.
- Marcotte G., 1988.** Traité de géostatistique appliquée. Tome II : Le krigeage. Mémoire du bureau de recherches géologiques et minières. No.24. Ed. B.R.G.M. Paris .171p.
- Marmonier P., 2002.** L'information géographique. Ecole nationale des sciences géographiques, Marne La vallée, France.46p.
- Masson, j. m. 1971. l'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthode expérimentale pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Thèse – Université des Sciences et Techniques de Languedoc. 213 p
- Masson, J. M. 1971.** L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthode expérimentale pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Thèse – Université des Sciences et Techniques de Languedoc. 213 p.
- Matheron G., 1963.** Traité de géostatistique appliquée, Tome II : Le Krigeage. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. No.24, Ed. B.R.G.M, Paris. 171p
- Matthess G.** Geol. Mijnbouw,. 1994. In Forstner U ET Wittmann GTW Metal pollution in the Aquatic Environment, pp355-359
- Mollenhauer, K. 1980.** Land use in water protection areas. In: De Boodt M, Gabriels D, eds. Assessment of erosion. New York : John Wiley et Sons: 271-284
- Moussa, R., Voltz, M., and Andrieux, P. 2002.** "Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events." Hydrol. Processes, 16(2) : 393–412.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. C., Kiniry, J. R., Williams, J. R. & King, K. W. 2002a.** Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, USA
- O.M.S, «Directives de qualité pour l'eau de boisson».** 2nd Ed., Vol 2, Critères d'hygiène et documentation à l'appui, (2000), 1050p
- O.N.S., 1998.** Annuaire statistique de l'Algérie. Numéro 18, Edition 1998.

- Onstad, C. A.** , Foster, G. R. 1975. Erosion modeling on a watershed, Trans. ASAE, 18 :288-292
- Pesson P.**1979. Pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques. pp97-101
- Rodier J.** ,2009 . L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. 1579p.
- Roose E.**1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO*, 70p.
- Roose, E.** 1977. Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et Documents, n° 78. Paris : Orstom éditions
- Sadiki A.**, Bouhlassa S., Auajjar J., Faleh A., Macaire J.J (2004) - Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab, *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, n°26, pp 69-79.
- Saidi .M.M** ., 2013 . Apport des logiciels SIG dans la morphométrie des bassins versants l'exemple d'ArcGIS. Guide méthodologique d'utilisation. U niversité Cadi A yyad M arrakech.
- Smaida. H.**, 2008. Apports du système d'information géographiques pour une approche intégrée dans l'étude et la gestion des ressources en eau du système aquifère de la région de Sidi Bouzid. Tunisie centrale.pp.1-27.
- Stone, R.P.**, Hilborn, D. 2000. Equation universelle des pertes en terre (USLE).
- Thériault M.** 1995 : Systèmes d'information géographique, concepts fondamentaux, Notes et documents de cours, numéro 12, LATIG, Département de géographie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec,G1K 74p.
- Wischmeier W.H.** et Smith D.D., 1978. Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning Science. U.S. Dept. Agriculture. Agric. Handbook 537, 60 p.
- Weckernagel H.**, 1993. Cours de géostatistique multivariable. Rapport technique. Centre de géostatistique. Ecole de mines de Paris. 43p.
- Yahiaoui .A** ., 1991. Variographie des débits prélèves, application à la Mitidja. 89p, Thèse d'ingénieur, Ed. INA d'El Harrach, Alger.
- Zerouali M.**, 2005. Création d'une base de données du réseau d'assainissement de Chetouane et réalisation des cartes numérisées à l'aide d'un SIG, mémoire pour obtention d'un diplôme d'ingénieur d'Etat en Hydraulique, Université de Tlemcen.

Annexe

Annexe 1 : Analyses physico-chimiques des eaux souterraines de Djelfa en (mg/l). année2009

N puits	X(m)	Y(m)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	NO3	HCO3	CE(ms/cm)	R.sec	Ph
1	523951	3839556	108	26	263	/	274	402	25	268	2	1 390	7
2	520905	3840350	114	78	98	30	111	549	15	251	2	1 289	7
3	520804	3839950	140	31	34	2	64	297	28	151	10	664	7
4	519856	3840352	220	27	120	11	118	490	10	311	2	1 285	8
5	520307	3840750	74	10	32	/	34	73	/	213	1	500	7
6	522214	3841146	63	17	89	/	83	214	/	95	1	890	7
7	523615	3841592	73	58	118	14	114	355	12	195	1	885	7
8	524557	3841879	108	28	66	12	83	245	35	110	12	690	7
9	524752	3840179	325	75	119	5	160	921	traces	266	3	1 632	7
10	521115	3843249	32	36	67	3	75	124	16	180	9	474	8
11	520997	3837649	95	21	24	1	49	148	3	177	1	500	8
12	521398	3838048	70	17	24	1	35	140	2	122	1	380	8
13	536626	3845900	360	72	43	3	157	880	6	232	26	1 702	7
14	536024	3845402	252	5	118	5	167	432	19	232	18	1 165	7
15	525001	3839828	318	79	107	6	327	755	9	165	28	1 976	8
16	519501	3838853	68	34	37	12	59	210	18	83	1	505	7
17	536344	3836004	155	89	102	7	198	591	9	110	2	1 328	8
18	538932	3840394	73	58	118	14	114	355	12	195	1	885	7
19	514086	3811354	72	26	35	7	45	180	1	114	7	526	8
20	509316	3808361	53	19	20	8	39	106	1	116	5	330	7
21	508187	3807039	146	54	52	7	78	375	1	195	13	996	7
22	516897	3809666	100	24	46	5	65	196	2	145	9	557	7
23	517302	3810959	102	31	48	0	56	169	11	303	1	700	7
24	517302	3810959	112	19	126	0	43	217	0	371	1	730	7
25	507189	3806776	112	22	57	3	55	195	6	305	1	639	8
26	543736	3779681	138	70	165	20	253	465	18	222	2	/	8
27	543192	3781883	162	92	161	30	243	630	20	204	2	1 650	7
28	546435	3780175	122	50	541	11	734	538	16	174	4	2 210	8
29	542639	3780634	466	122	291	4	1 035	751	/	117	5	3 120	7
30	547634	3779872	244	157	173	16	392	958	10	227	3	2 205	8
31	519867	3756231	158	85	189	22	399	387	0	201	2	1 501	7
32	518760	3757338	220	340	678	32	1 500	1 152	18	248	70	4 300	9
33	538760	3787992	77	24	43	8	60	158	4	145	8	468	8
34	538162	3789145	156	182	165	16	122	1 150	30	104	3	2 500	8
35	539214	3789692	60	24	54	7	40	176	7	176	8	434	8
36	525356	3785731	72	20	125	7	84	218	11	281	12	800	8
37	513061	3787064	152	80	276	10	384	619	12	247	28	1 800	8
38	528815	3771921	305	105	187	12	368	854	0	275	3	2 213	7
39	524056	3807251	83	16	80	6	67	186	7	119	1	470	8
40	518899	3800847	190	62	101	11	165	507	4	259	20	1 400	8
41	518047	3799999	112	103	133	4	229	475	11	143	2	1 250	8
42	523791	3798584	138	75	162	11	189	627	7	105	2	1 410	8
43	522793	3799237	132	62	94	8	119	480	48	62	16	992	8
44	517046	3799703	192	92	123	7	130	824	5	774	20	17	8
45	513573	3791064	204	85	97	23	160	551	7	255	21	1 502	8
46	513770	3790263	232	92	93	15	212	677	24	248	23	1 600	7
47	514067	3789413	188	85	133	8	198	648	6	199	22	1 202	8
48	542934	3818435	373	131	1 910	13	2 880	1 055	35	281	114	/	7
49	544531	3817782	28	32	1 520	7	1 650	670	19	646	71	4 500	8
50	540271	3792187	164	84	260	9	235	542	18	500	26	1 650	8
51	539866	3790490	143	72	175	6	244	346	15	307	21	1 242	7

52	536815	3790149	47	20	83	5	53	138	7	176	8	490	9
53	501381	3792998	192	76	216	9	405	615	18	104	27	1 590	8
54	487910	3802135	87	39	59	3	63	307	7	128	1	679	8
55	519413	3770248	70	10	32	2	34	45	6	159	1	328	8
56	507630	3775882	206	156	236	26	306	1 124	12	163	34	2 195	8
57	493696	3798020	127	85	134	5	188	614	15	214	2	1 306	8
58	493300	3799320	26	9	19	8	29	28	15	95	1	300	7
59	521062	3770444	145	70	126	12	281	548	8	147	2	1 370	8
60	509706	3802673	66	38	36	8	53	158	16	224	1	580	7
61	529014	3810384	70	41	58	12	87	212	16	81	1	620	8
62	571932	3820690	172	34	52	9	75	435	12	126	13	850	8
63	559706	3827342	64	10	42	4	34	67	5	208	7	/	8
64	555805	3826545	72	5	25	2	36	65	4	205	6	350	7
65	502455	3885101	176	93	180	37	410	442	5	210	2	1 593	8
66	504339	3880146	212	198	186	37	241	1 338	4	20 530	2 306	7	
67	505116	3872595	116	68	310	61	324	650	14	236	3	1 770	7
68	502455	3884550	184	92	115	4	254	570	15	98	21	/	8
69	502606	3882181	224	92	100	6	285	619	12	161	24	1 499	8
70	502641	3880401	112	64	223	35	244	503	15	293	2	1 435	7
71	505062	3885457	249	60	114	4	230	613	37	189	23	1 532	
72	477278	3874428	124	53	145	4	275	301	4	231	2	1 110	8
73	522200	3895494	100	68	30	3	80	185	2	311	12	778	7
74	508654	3884881	39	27	21	12	38	128	2	132	6	444	7
75	512150	3851976	113	41	138	2	260	307	5	113	16	1 100	7
76	512852	3852224	30	22	65	/	73	100	/	116	8	450	7
77	514329	3845471	96	33	32	3	53	154	0	233	8	508	7
78	456956	3811052	88	21	25	3	45	106	4	274	8	478	7
79	457827	3813080	104	72	659	9	771	572	20	330	37	2 468	8
80	454875	3811486	78	31	22	6	45	187	11	176	8	/	7
81	455551	3811248	121	60	206	5	354	345	10	137	2	1 350	8
82	455662	3810607	44	12	39	3	29	129	8	85	1	310	8
83	459237	3810542	92	57	83	7	83	442	14	165	1	915	8
84	459788	3810638	111	107	129	4	427	226	16	183	2	1 301	9
85	456382	3806157	84	51	241	5	309	324	7	208	19	1 090	7
86	490120	3921937	31	23	249	49	246	258	12	205	2	1 036	7
87	489070	3921740	41	16	241	52	239	267	16	173	2	997	8
88	491470	3922182	46	17	193	29	209	142	32	192	2	1 100	7
89	486517	3920798	80	61	158	6	252	267	8	168	15	998	8
90	489270	3921538	100	41	152	6	243	294	4	201	16	996	6
91	470801	3898297	39	26	42	2	70	76	13	119	1	55	8

Annexe 2 : Précipitations moyennes annuelles dans la région de Djelfa

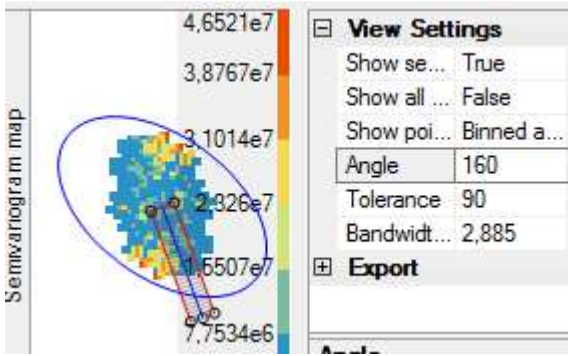
Station de Djelfa	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jun	juil	aoù	Annuelle
1975	62	17.5	54	14	17	40	46	28	51	5	18.9	17	370.4
1976	72	44	61	23	8	61	19	20	52	74	47	29	510
1977	4	4	48	29	41	9	2	13	68	17	25	12	272
1978	20.7	44	25	7	33	7	9	16	24	6.1	2	1	194.8
1979	39.7	27.1	20.4	26.9	50	67	29	28	14	4.6	1.6	47.9	356.2
1980	34.6	7.4	56.7	97.1	28.7	32.5	68.5	34.8	18.6	35	1.8	3.4	419.1
1981	73.3	12	1	33.5	6.2	45.2	36.4	67.4	5.3	7	10.6	33	330.9
1982	10.5	60.1	75.1	31.8	44.9	42.1	20.3	72.7	48	17.3	4.6	7	434.4
1983	0.7	2	17.6	11.3	35	15.5	15.2	19.6	25.6	15.5	8.6	45.7	212.3
1984	4.2	66.3	29.7	36.7	30.3	5	38	0.6	8.7	19	0.9	4.2	243.6
1985	39.6	31.7	30.8	51.9	48.1	12	65.1	1.3	59.4	13.3	9.7	0.5	363.4
1986	18.9	34.9	80.5	34.7	23.3	46.9	75.1	12.8	36.3	12.6	5.5	11.8	393.3
1987	3.7	8.6	55.1	23.4	58.5	34.4	13.6	22.7	12.4	21.8	41.4	3.1	298.7
1988	25.6	8.6	19.5	37.4	18.3	38	13.8	32.4	62.2	54.8	1.4	21.5	333.5
1989	10.6	3	41.2	18.1	13.6	8	9.1	36.1	50.4	52.6	6.5	72.4	321.6
1990	14.2	4	13.6	34.6	117	0.3	30	65.4	84.4	61	12.6	10.3	447.4
1991	32.5	117	19.5	21.6	23.5	51.7	74.2	38.8	34.5	15.7	9.4	13.1	451.5
1992	18.7	1.4	23.8	21.4	59.5	10.6	56.7	48.6	122	5.6	10.6	1.1	380
1993	25	5	19	15	8	71.1	40.2	13.5	39	12	16	27.6	291.4
1994	96	78	28	8	50	52	20	7	10	1	4	17	371
1995	13.2	49	3.9	30	46	13	50	11	6	46	6.4	13	287.5
1996	16	3	1	27	91.8	74	58	57	51	27	5	28	438.8
1997	77	11	55	17	39	5	1	87	43	9	2	45	391
1998	28	5	3	9	7	26	5	35	38	2	3.5	19	180.5
1999	25	28.7	26	68.5	61	24	25.1	9.1	3.4	13	2.6	16.6	303
2000	63	8	15	23.1	68.2	38.4	1	10	27	3.2	0.4	1.5	258.8
2001	78	28	12	17	60	12	2	3.7	3	4.7	0.4	22.8	243.6
2002	7.6	15.3	37.9	36.1	11	5.3	2	38.2	4.9	5.9	13	35.6	212.8
2003	6.3	41.4	41.3	54	53.3	45.3	13	17.8	14.8	2.8	5	0.3	295.3
2004	38.1	28	39.4	42	6	0.5	29.2	33	97.4	3.7	7.3	51.4	376
2005	63.6	48.8	18.5	25.5	2	20.5	12.5	6.8	1.4	35.1	12.2	22	268.9
2006	17.3	0.7	18.9	41	49.6	43.4	3.1	47.3	36.5	1.1	19.2	9.9	288
2007	32.2	38.3	70	3.5	4.8	26.6	72.6	28.8	31	16.3	12.8	18.2	355.1
2008	44.8	74.4	9.8	24	6.1	3.4	5.3	0.4	33.8	33.4	24.1	77.8	337.3
2009	68.7	4.5	27.4	29.8	72.2	44	47.6	54.5	12.3	10.7	15.3	0.9	387.9
2010	10	52.5	11.4	9.1	16.2	60.6	18.6	34.6	44.8	28.8	5.3	19.3	311.2
2011	10.1	29.7	21.9	19.2	12.3	37.2	32.8	56.3	32.1	26.9	30.2	19.9	328.6
2012	0.8	9	37	48.8	8.2	30.8	1.7	24.6	16.2	24.3	278	22.6	502
2013	16	12	19	47	51.7	42	11	38.2	12.2	7.8	13	4	273.9
2014	12	17.5	29	18	20	17	72	24.6	45	45	17.9	11	328
2015	17	19	39	28	36	15	42	26	33	27	12	9	303

Annexe3 : températures moyenne annuelles dans djelfa C°

Station de Djelfa	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout
1975 T°C	19,9	12,9	7,5	4,9	3,7	5	7	10	13,9	19,8	25,9	23,9
1976 /	16,9	12,1	6,6	7	3,3	4,8	6	10,9	15,4	12,9	24,3	24,4
1977 /	20,1	15,1	9,3	7,6	5,8	7,9	10,5	13	15,3	20,4	18,3	23,5
1978 /	21	12,2	6,7	8,7	3,9	9	8,5	11,6	15,2	22,3	25,5	26,4
1979 /	18,7	15,6	6,9	6,1	7,6	6,9	8,4	10	16,8	22	23	25
1980 /	21,4	13,3	9,2	3	5	7	9	10,8	14	22,5	25,1	36,5
1981 /	20,4	16,6	9	7,8	3	5,6	11,8	13	14,8	23,1	25,4	23,5
1982 /	21,3	13,9	8,2	3,8	5,9	6,2	8,5	10,9	16	24,9	26,9	26,1
1983 /	21,4	15,3	11,3	5,3	3,6	5,5	8,9	13,9	17,2	22,9	26,8	25,8
1984 /	20,6	13,6	8,9	5	4,8	4,9	7,4	13,9	14	22	26,9	25,1
1985 /	20,1	14,5	11	5,6	3,2	9,3	6,8	13,7	15,5	24,9	27,6	25,9
1986 /	20,6	14,9	8,2	4,6	4,6	6,6	7,5	10,8	20	22,1	24,7	26,3
1987 /	22,9	17,1	8,6	7,7	4,2	6,2	9,2	15,2	17,2	23,7	26,2	27,2
1988 /	19,6	15,9	10,4	4,1	6,5	6,1	9,1	13,5	17,9	21,6	27,4	26,5
1989 /	21,5	15,7	11,3	8,9	3,9	6,1	10,5	10,9	17,4	20,9	26,1	25,8
1990 /	23,9	16,2	9,6	4,2	4,6	8,9	9,8	11,3	16,9	24,5	25,5	24,5
1991 /	21,5	13,6	8,5	4,1	2,1	4,6	9,3	10,2	13,1	22,4	26,5	25,4
1992 /	21,6	14,8	9,1	5,8	3,1	5,1	7,2	10,4	15,7	18,5	23,7	25,4
1993 /	19,7	16,2	9,2	5,7	3,2	4,2	8,5	11,3	17,4	24,4	27,2	26,3
1994 /	19,8	14,6	10,3	6,1	5,2	7,9	10,8	10,8	10,3	16	28,2	28
1995 /	19,6	15	10,7	8,2	5,1	8,3	8,1	10,7	19,6	22,3	27,1	25,4
1996 /	18,4	13	9,6	7,1	6,7	4,1	7,9	10,9	15,1	19	24,6	25,4
1997 /	19,1	14,5	9,5	6,2	3	7,5	8,4	11,1	17,7	23,3	26,3	25,8
1998 /	22	12,4	9	4,1	4	6,3	8,7	12,4	15,1	23,2	27,6	28,5
1999 /	21,5	17,5	7,5	1,2	4	3,7	8,2	13,4	20,4	25,1	26,4	28,4
2000 /	20,5	13,2	9,8	6,7	3	6,9	10,2	13,3	19,3	22,5	27,4	25,2
2001 /	21,6	19,2	8,8	5,3	4	5,8	12,9	12,4	16,9	25,3	28	26,9
2002 /	20	15,8	9,9	7,3	6	7,1	10,3	12,5	17,6	24,2	25,6	24,5
2003 /	20,9	16,6	9,2	4,2	4	4,9	9,8	13,1	18	24,6	28,4	26,2
2004 /	20,6	17,5	7,5	5	6	8,1	10,1	11,2	13,2	22,9	26,3	26,7
2005 /	20,1	16,3	9	4,8	2,8	3,5	10,3	13	21	23	29	26
2006 /	19,5	18,4	10	5,8	2,8	5	10,5	15	19	25	28	26
2007 /	21,6	15,7	8,6	4,7	6,5	7,9	7,5	12	17	24	27	25
2008 /	21,3	14,2	7,2	4,2	6,2	7,5	9,8	14	17	22	28	27
2009 /	18,9	14,9	10,2	7,9	4,5	5,3	9,3	10	18	25	28	26
2010 /	20,9	15,2	9,7	7,4	6,5	7,8	10,4	13,8	15,4	22,2	28,8	26,4
2011 /	23,1	14,1	9,1	5,6	6,1	4,8	8,4	14,8	17,2	21,4	25,9	26,7
2012 /	21,2	15,8	10,1	5,8	4,3	2,5	9,2	11,2	19,2	25,9	28,5	28,3
2013 /	20,5	13,2	9,8	6,8	2,2	6,4	9,4	13,3	19,3	22,5	27,4	25,2
2014 /	18	16	7	7,7	4,6	7	10,1	15,8	16,9	24,3	25,8	26,9
2015	21	16	7,3	6,8	4,2	2,8	10,1	15	12	20	22	28

Résultats de la vriographie et le Krigeage

1) Conductivités électriques Ce



-Variogram

Semivariogram
 Number of lags 20
 Lag size 8,000
 Nugget 1.116605150993
 Measurement error % 100

-Model type

Exponential
 Range 160,000
 Anisotropy Yes
 Minor range
 129,903.5149971126
 Direction
 129.55078125
 Partial sill
 10.391846958073

2) ph



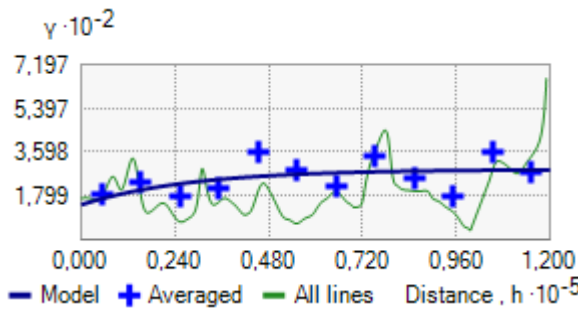
Variogram

Semivariogram
 Number of lags 12
 Lag size 10,000
 Nugget 0.18479071334
 Measurement error % 100

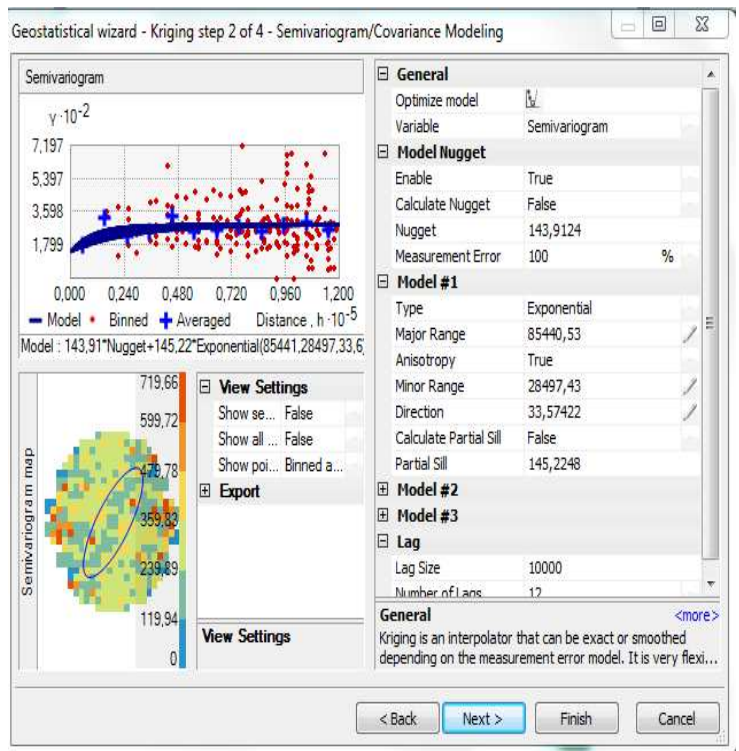
-Model type Exponential

Range 120,000
 Anisotropy Yes
 Minor range
 51,535.11829318173
 Direction
 153.28125
 Partial sill 0.036567295613

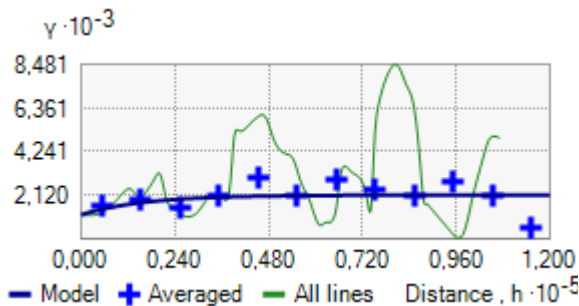
3) Magnesium Mg⁺² :



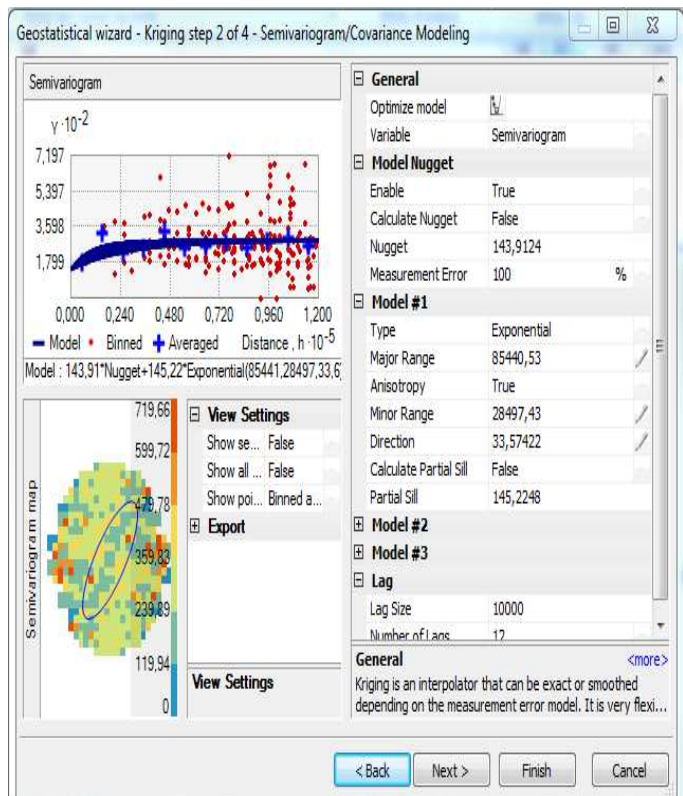
Semivariogram
 Number of lags
 12
 Lag size
 10,000
 Nugget
 143.912384819638
 Measurement error %
 100
-Model type
 Exponential
 Range
 85,440.52956775858
 Anisotropy
 Yes
 Minor range
 28,497.426065311236
 Direction
 33.57421875
 Partial sill
 145.224802978234



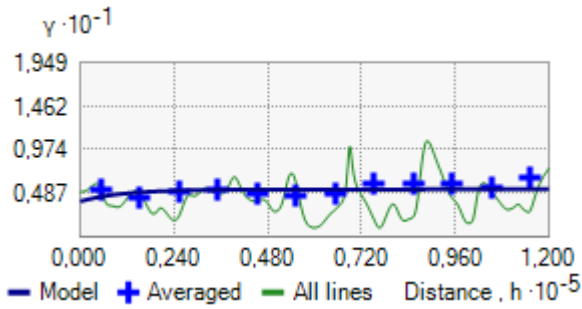
4) Sodium Na⁺



Variogram
 Semivariogram
 Number of lags 12
 Lag size 10,000
 Nugget
 1,177.049045525037
 Measurement error %
 100
-Model type Exponential
 Range 120,000
 Anisotropy Yes
 Minor range
 40,024.22673568945
 Direction
 73.828125
 Partial sill
 958.0844577568

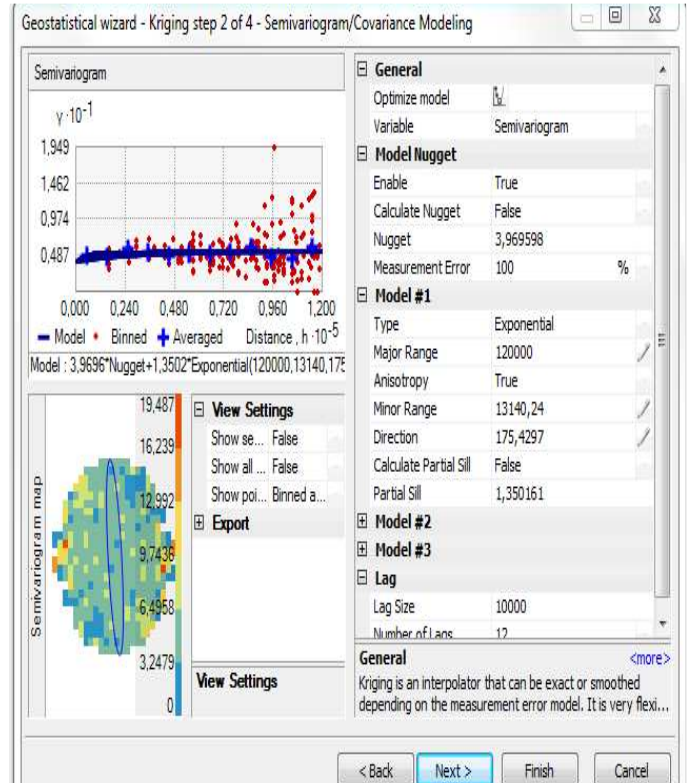


5) Potassium K^+

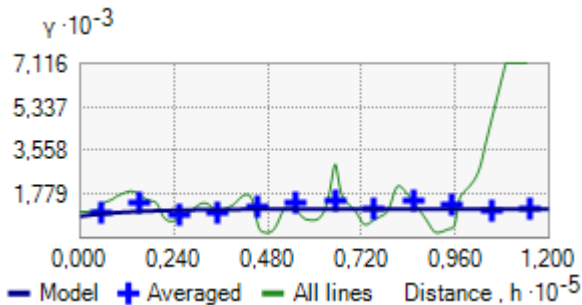


Variogram

Semivariogram
 Number of lags
 12
 Lag size
 10,000
 Nugget
 3.969598361062
 Measurement error %
 100
-Model type
 Exponential
 Range
 120,000
 Anisotropy
 Yes
 Minor range
 13,140.24261187823
 Direction
 175.4296875
 Partial sill
 1.35016062852

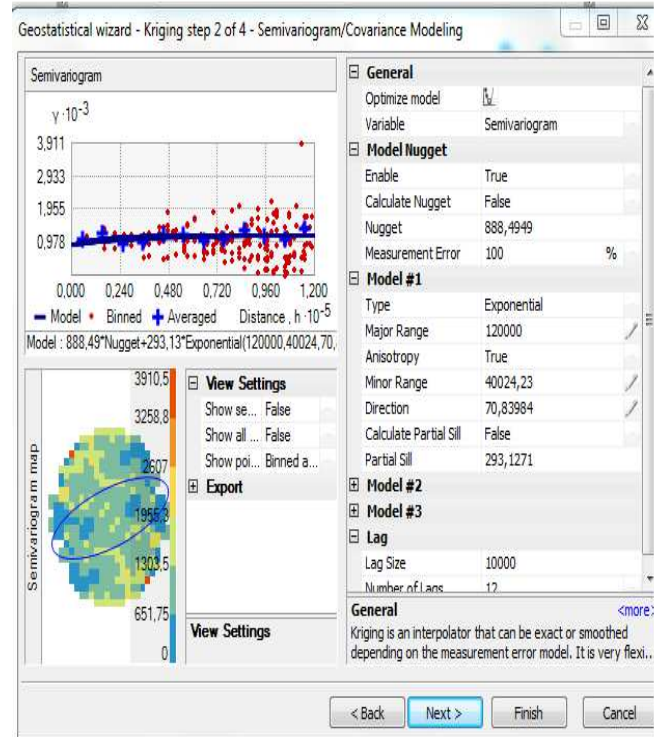


6) Calcium Ca^{++}



-Variogram Semivariogram

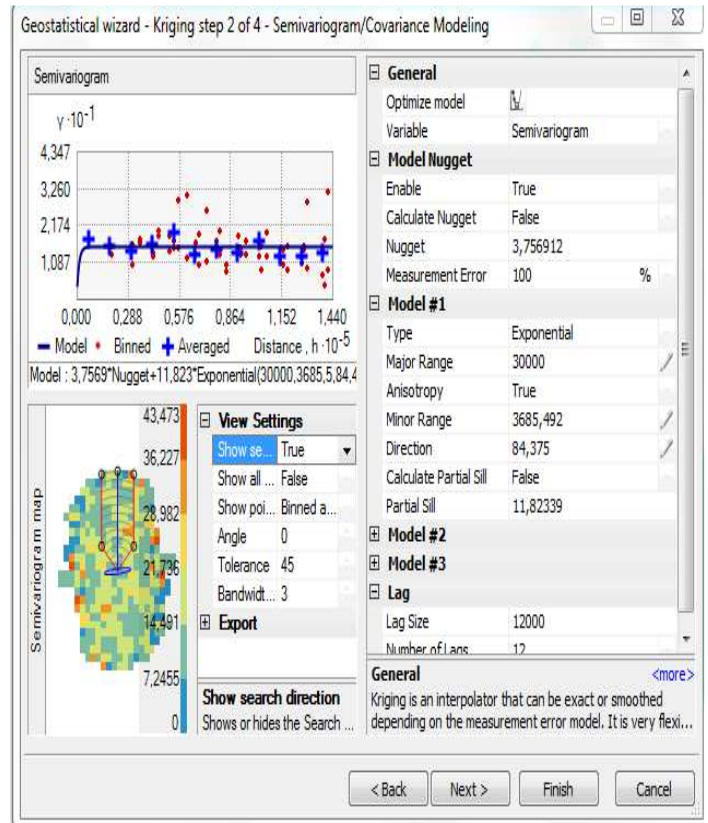
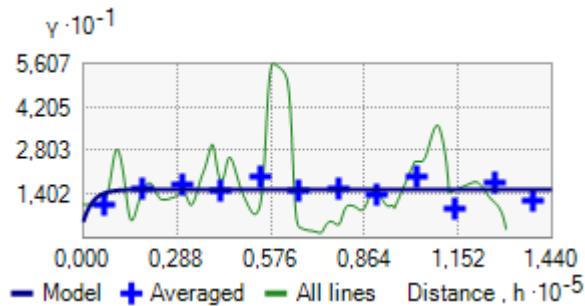
Number of lags 12
 Lag size 10,000
 Nugget 888.494928146789
 Measurement error % 100
-Model type Exponential
 Range 120,000
 Anisotropy Yes
 Minor range 40,024.22673568945
 Direction 70.83984375
 Partial sill 293.12705778692



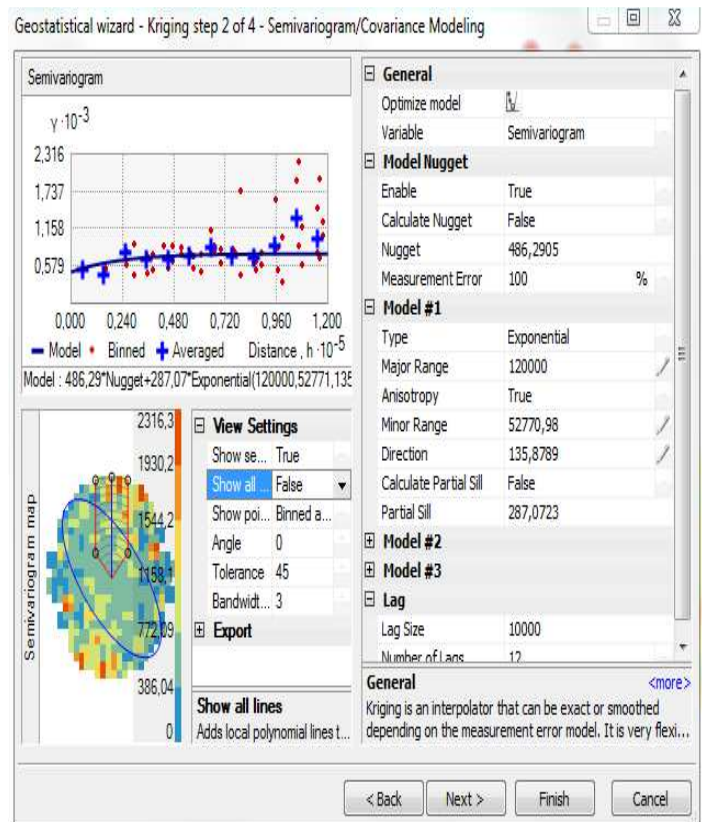
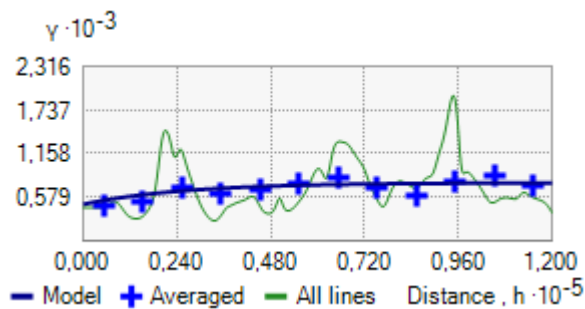
7) Nitrates NO⁻³

Variogram Semivariogram

Number of lags 12
 Lag size 12,000
 Nugget 5.181394838244
 Measurement error % 100
-Model type Exponential
 Range 19,815.10670453144
 Anisotropy Yes
 Minor range 6,609.036029450388
 Direction 78.3984375
 Partial sill 10.420647536517



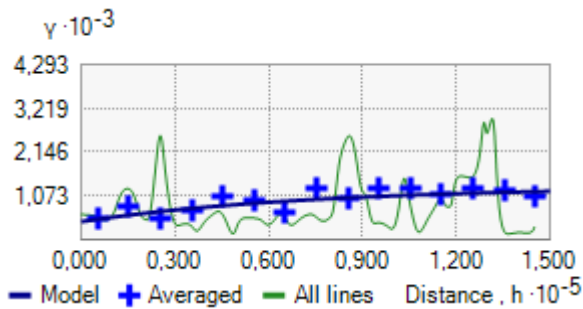
8) Chlorures Cl



-Variogram Semivariogram

Number of lags 12
 Lag size 10,000
 Nugget 486.290512430172
 Measurement error % 100
-Model type Exponential
 Range 120,000
 Anisotropy Yes
 Minor range 52,770.98285203172
 Direction 135.87890625
 Partial sill 287.072260862138

9) Sulfates SO_4^{2-}

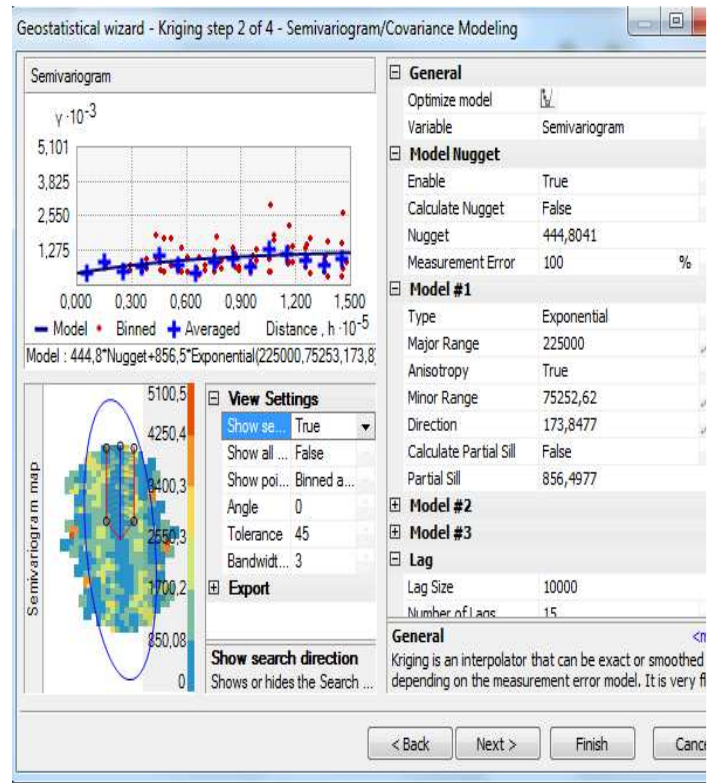


-Variogram

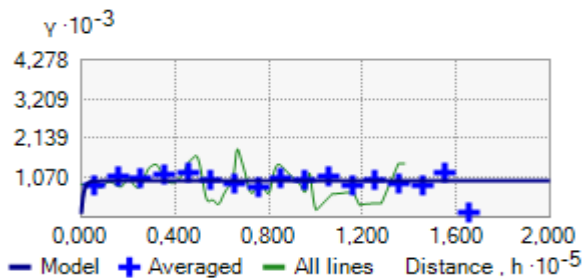
Semivariogram
 Number of lags 15
 Lag size 10,000
 Nugget 444.80410223802
 Measurement error % 100

-Model type

Exponential
 Range 225,000
 Anisotropy Yes
 Minor range
 75,252.618845704
 Direction 173.84765625
 Partial sill 856.497688090081



10) Bicarbonates HCO_3^-

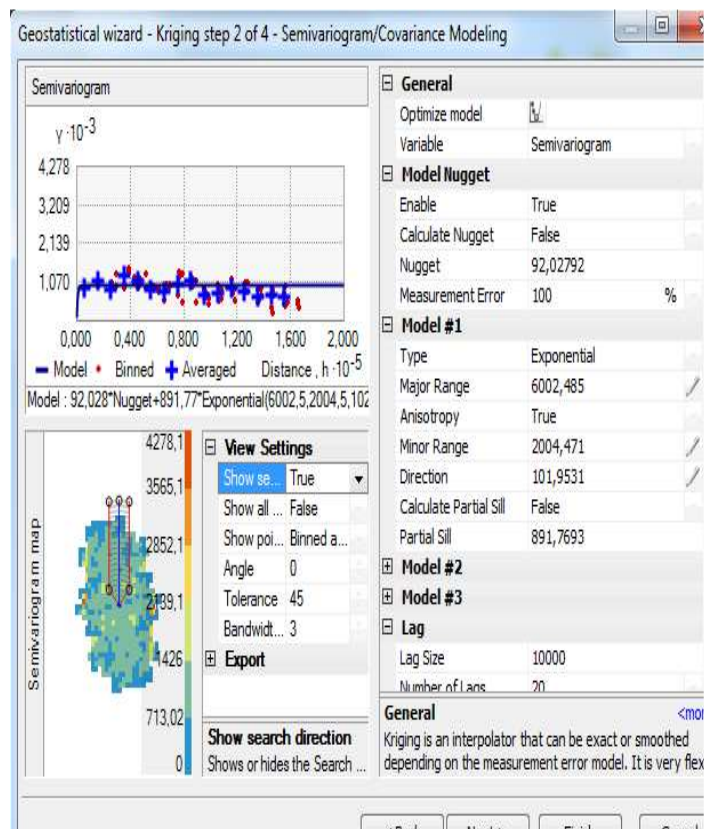


Variogram

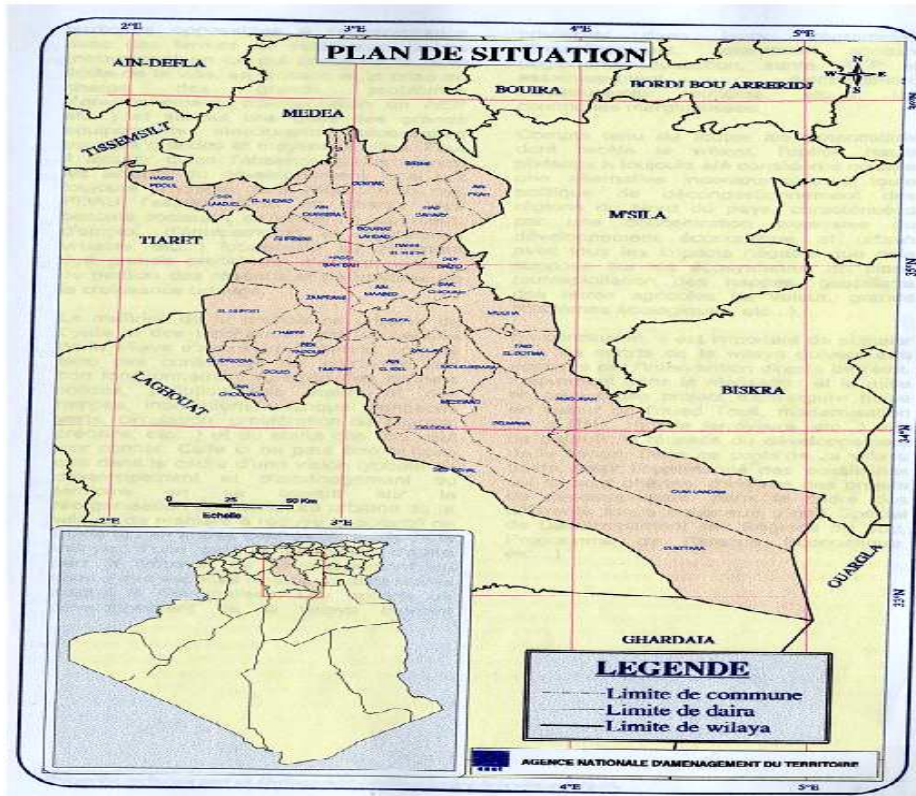
Semivariogram
 Number of lags
 20
 Lag size
 10,000
 Nugget
 92.027922829275
 Measurement error %
 100

-Model type

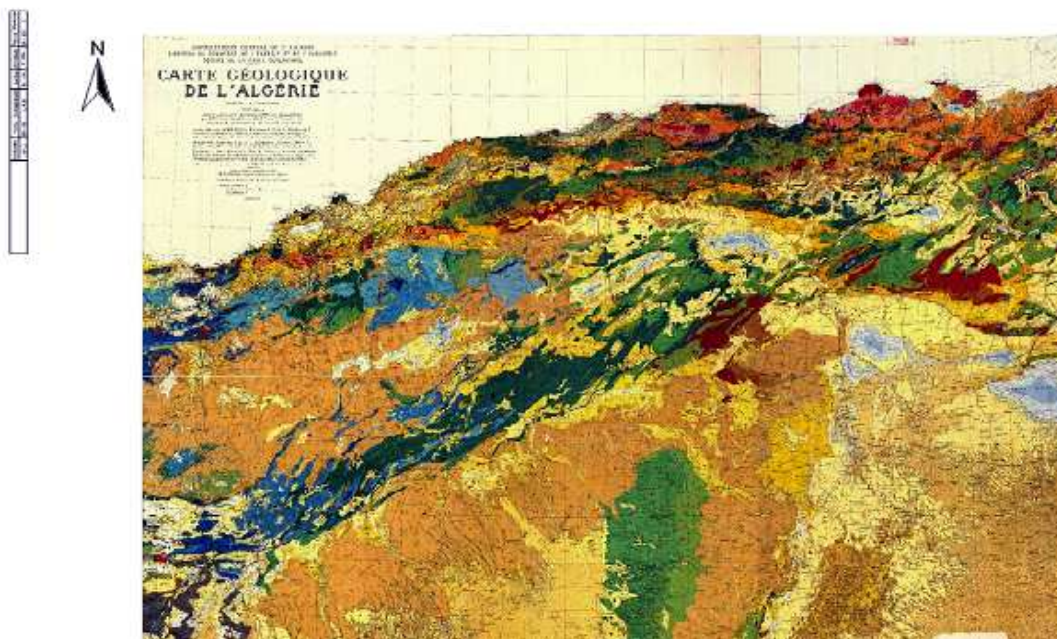
Exponential
 Range
 6,002.485429365033
 Anisotropy
 Yes
 Minor range
 2,004.470502578199
 Direction
 101.953125
 Partial sill
 891.769347785964



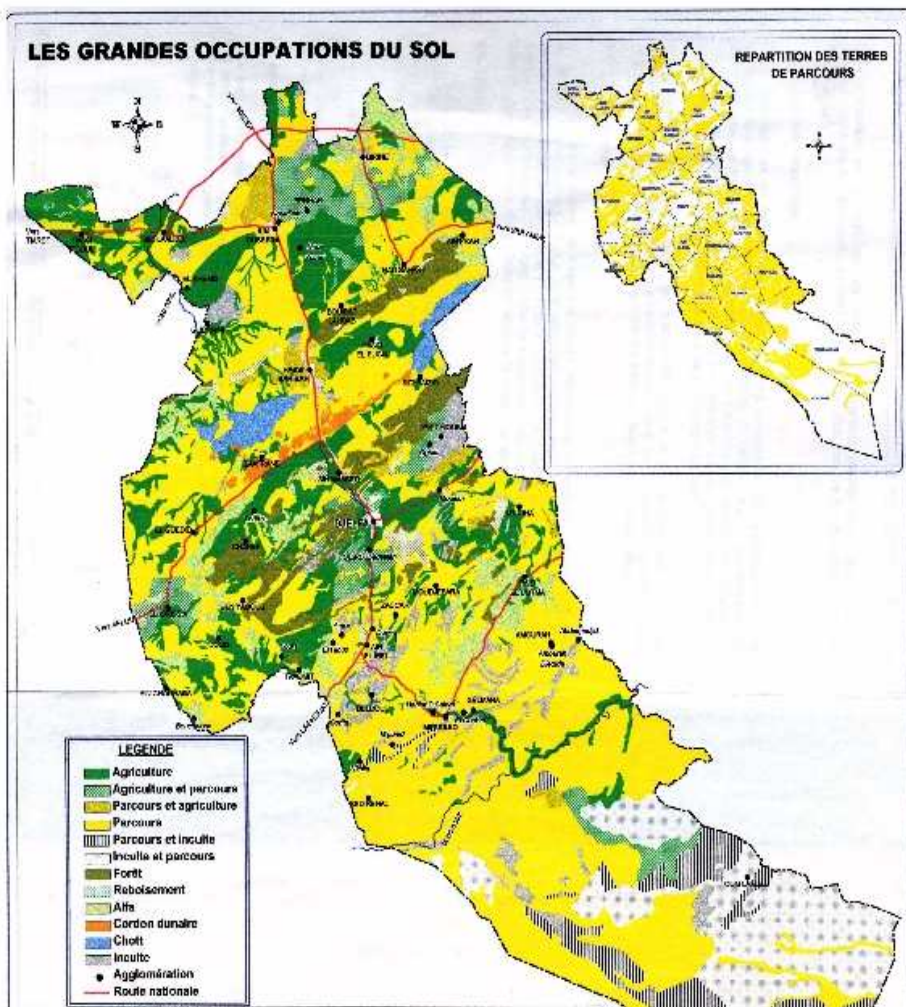
Annexe 6



Plan de situation de Djelfa. Source : ANRH Djelfa



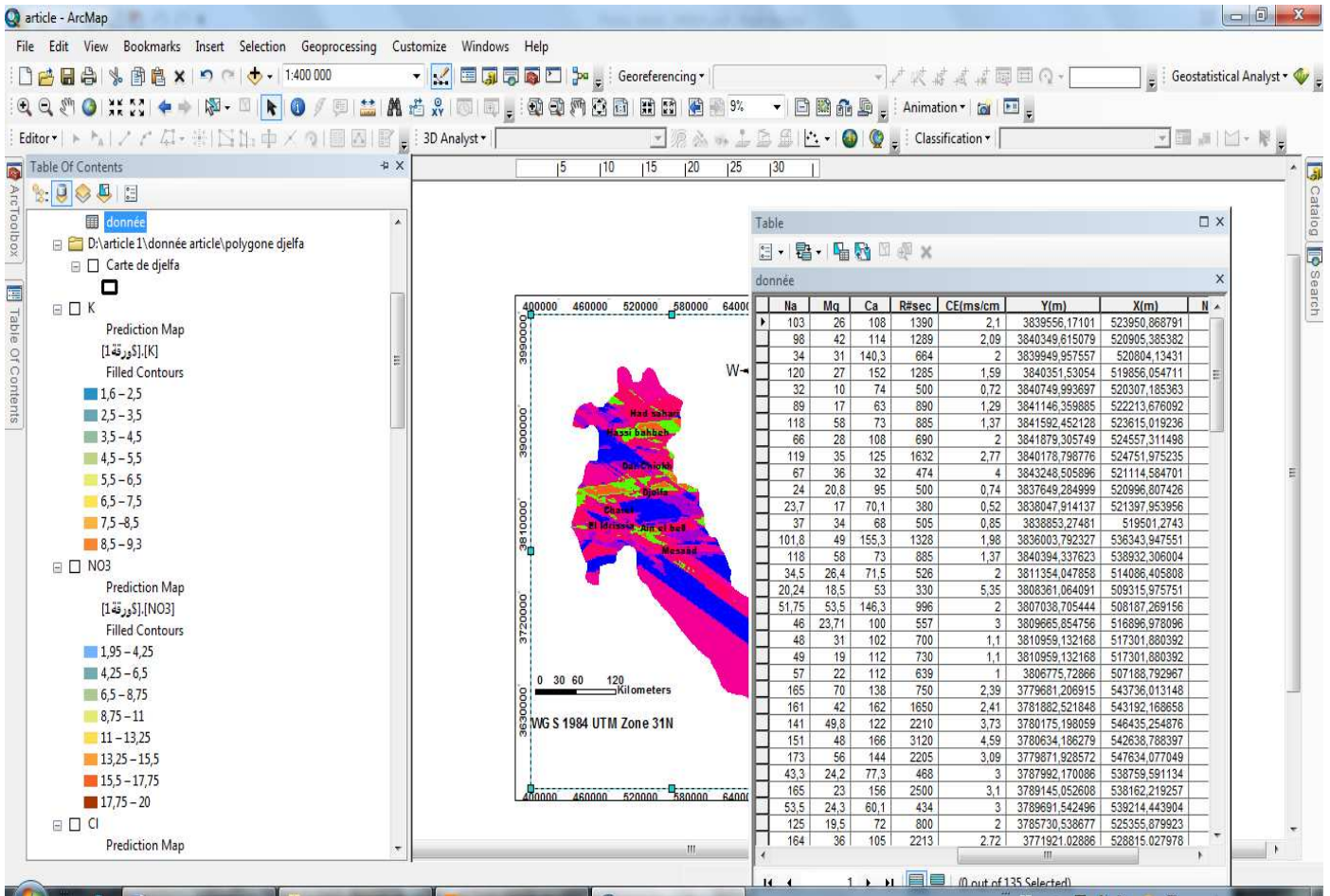
Carte géologique de l'Algérie. Source : ANRH Djelfa



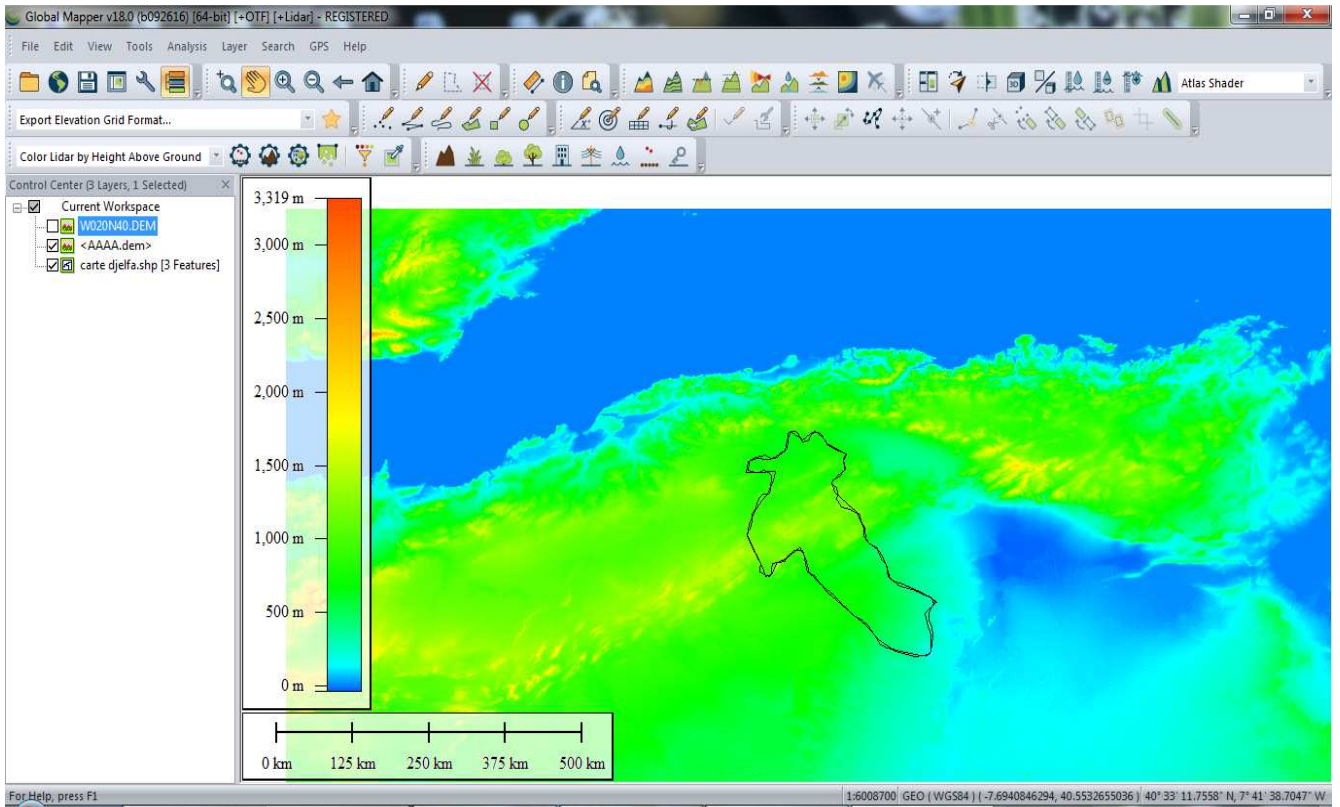
Carte d'occupation de sol de Djelfa .Source : ANRH Djelfa



Carte de l'ensemble géomorphologique de Djelfa. Source : ANRH Djelfa



Interface du logiciel Arcgis 10.2.2



Interface du logiciel Global mapper

		IRR3	618															
	Messaad	Messaad F4	582 000	398 000														
	Messaad	Messaad F5	577 650	396 250														
Selmana	Salmana	Salmana F1	576 750	396 550														
	Gahra	Gahra F1	588 350	399 500														
	Gahra	Gahra F2	684 620	289 175	164	76	201	15	180	600	/	355	20	22	1 365	1 450	8	
	Bordj	Bordj F1	685 700	286 000														
Guettera	Guettera	Guettera F2	546 800	386 800														
	Guettera	Guettera F3	547 400	372 100														
	Bouigla	Bouigla F1	547 594	371 783	158	85	189	22	399	387	0	201	0	2	1 463	1 501	7	
Sed Rahal	Sed Rahal	Sed Rahal F3 bis	546 485	372 887	220	340	678	32	1 500	1 152	27	248	18	70	4 358	4 300	9	
	Sed Rahal	Sed Rahal CASSAR	551 650	400 300														
	Sed Rahal	Sed RahalF4	566 400	403 600	77	24	43	8	60	158	/	145	4	8	501	468	8	
Deldoul	Deldoul	Deldoul F1	565 800	404 750	156	182	165	16	122	1 150	0	104	30	3	1 922	2 500	8	
	Deldoul	Deldoul UP1	566 850	405 300	60	24	54	7	40	176	/	176	7	8	509	434	8	
	Deldoul	Deldoul UP2	553 000	401 300	72	20	125	7	84	218	/	281	11	12	814	800	8	
	Deldoul	Deldoul UP3	540 700	402 600	152	80	276	10	384	619	/	247	12	28	1 740	1 800	8	
	Gorita	Gorita F1	556 500	387 500	305	105	187	12	368	854	0	275	0	3	1 686	2 213	7	
	Meguied	Meguied F1	556 650	386 650														
	Meguied	Meguied F3	550 550	385 850														
	Dayet el Tolba	Dayet el Tolba F2	552 600	386 000														
	Deldoul	Deldoul F2	565 000	401 700														
AIN EL IBEL	Ain El Ibel	Dayet el Tolba	'Dayet el Tolba F3	551 650	123 400	83	16	80	6	67	186	9	119	7	1	564	470	8
		Mtiriha	'Mtiriha F2	546 500	416 400	190	62	101	11	165	507	/	259	4	20	1 242	1 400	8
		Ain El Ibel	Ain El Ibel F1	545 650	415 550	112	103	133	4	229	475	traces	143	11	2	1 248	1 250	8

	Ain El Ibel	Ain El Ibel F3	551 400	414 150	138	75	162	11	189	627	0	105	7	2	1 263	1 410	8
	Ain El Ibel	Ain El Ibel F4	546 750	415 000													
	Ain El Ibel	Ain El Ibel F5	545 250	417 250													
	Ain El Ibel	Ain El Ibel F6	550 400	414 800	132	62	94	8	119	480	/	62	48	16	1 090	992	8
	Ain El Ibel	Ain El Ibel F7	544 650	415 520	192	92	123	7	130	824	/	774	5	20	15	17	8
	Ain El Ibel	Ain El Ibel UP1	541 200	406 600	204	85	97	23	160	551	/	255	7	21	1 324	1 502	8
	Ain El Ibel	Ain El Ibel UP2	541 400	405 800	232	92	93	15	212	677	/	248	24	23	1 745	1 600	7
	Ain El Ibel	Ain El Ibel UP3	541 700	404 950	188	85	133	8	198	648	/	199	6	22	1 338	1 202	8
	Melaga	Melaga F1	540 400	419 300													
	Amra	Amra F1	551 800	122 400													
	Ksar Dzira	Ksar Dzira F2	545 000	123 000													
	Ain Roumia	Ain Roumia	550 000	129 000													
	Oued Seddar	Oued Seddar F1	552 100	121 450													
	Orivic	Orivic F1	571 200	135 000													
Moudjbarra	Moudjbarra	Moudjbarra F1	570 500	134 650	373	131	1 910	13	2 880	1 055	/	281	35	114	7 843	/	7
	Moudjbarra	Moudjbarra F2	572 100	134 000	28	32	1 520	7	1 650	670	11	646	19	71	4 912	4 500	8
	Moudjbarra	Moudjbarra F3	567 900	407 800	164	84	260	9	235	542	/	500	18	26	1 600	1 650	8
	Moudjbarra	Moudjbarra UP1	567 500	407 100													
	Moudjbarra	Moudjbarra UP2	567 500	406 100	143	72	175	6	244	346	/	307	15	21	1 281	1 242	7
	Moudjbarra	Moudjbarra UP3	564 450	105 750	47	20	83	5	53	138	6	176	7	8	483	490	9
	Moudjbarra	Moudjbarra F4	568 500	409 250													
	Ain Naga	Ain Naga F1	568 300	408 000													
	Ain Naga	Ain Naga F2	529 000	408 500	192	76	216	9	405	615	/	104	18	27	1 676	1 590	8
Taadmit	Taadmit	Taadmit F1	523 600	410 750													
	Taadmit	Taadmit F2	515	417 600	87	39	59	3	63	307	0	128	7	1	646	679	8

			500															
	Behamed	Behamed F1	547 100	385 800	70	10	32	2	34	45	0	159	6	1	354	328	8	
	Ksar Nthila	Ksar Nthila F2	535 300	391 400	206	156	236	26	306	1 124	2	163	12	34	2 133	2 195	8	
	Morhma	Morhma F1	521 300	413 500	127	85	134	5	188	614	2	214	15	2	1 321	1 306	8	
	Fours	Fours F1	520 900	414 800	26	9	19	8	29	28	0	95	15	1	391	300	7	
	Fours	Fours F2	225 550	412 250														
	Taadmit	Taadmit F3	524 300	411 900														
	Taadmit	Taadmit F4	530 460	407 815														
	Dayet el Tolba	Dayet el Tolba F1	548 750	386 000	145	70	126	12	281	548	0	147	8	2	1 361	1 370	8	
	El Hiouhi	El Hiouhi F1	537 300	418 200	66	38	36	8	53	158	0	224	16	1	594	580	7	
	Taadmit	Taadmit F5	556 000	126 750														
	Zaccar	Zaccar F1	556 600	126 550	70	41	58	12	87	212	0	81	16	1	769	620	8	
	Zaccar	Zaccar F2	599 500	137 000	172	34	52	9	75	435	/	126	12	13	833	850	8	
FEIDH EL BOTMA	Feidh El Botma	Feidh El Botma	Feidh El Botma F1	598 250	136 650													
		Feidh El Botma	Feidh El Botma F2	586 350	143 600													
		Feidh El Botma	Feidh El Botma F3 bis	587 250	143 610	64	10	42	4	34	67	/	208	5	7	474	/	8
		Feidh El Botma	Feidh El Botma F4 bis	583 350	142 800	72	5	25	2	36	65	/	205	4	6	403	350	7
		Ain Ouled Zid	Ain Ouled Zid F2	610 700	414 500	160	81	95	5	135	641	/	99	6	2	1 184	1 210	8
		Amoura	Amoura	Amoura F1	607 600	417 000												
	Abdel Madjid		Abdel Madjid F1	615 200	418 900	261	57	155	11	504	424	0	173	17	2	1 508	1 561	8
	Amoura		Amoura F2	643 400	350 000													
	Oum Laadham	Oum Laadham	Oum Laadham F1	624 666	359 812	266	119	179	5	243	1 088	/	111	4	3	1 953	2 101	8
		Oum El hachim	Oum El hachim	529 800	201 200	176	93	180	37	410	442	0	210	5	2	1 500	1 593	8

		Zc1 bis	689														
	El Idrissia	'El Idrissia Zc2 bis	484 141	126 171													
	El Idrissia	'El Idrissia Zc3 bis	484 799	125 913													
	El Idrissia	'El Idrissia Zc4 bis	484 750	126 381													
	El Idrissia	El Idrissia Zc5	486 793	126 495	92	57	83	7	83	442	6	165	14	1	907	915	8
	El Idrissia	'El Idrissia Zc6	487 344	126 592	111	107	129	4	427	226	36	183	16	2	1 356	1 301	9
	El Idrissia	'El Idrissia Zc7	487 865	126 891													
	El Idrissia	'El Idrissia Zc8	496 685	131 328													
	El Idrissia	'El Idrissia Zc9	491 933	131 489													
	El Idrissia	'El Idrissia Zc10	483 950	127 850													
	El Idrissia	'El Idrissia IRR1	483 950	122 100	84	51	241	5	309	324	/	208	7	19	1 320	1 090	7
	Boucif	Boucif F1	483 600	404 600													
	Ain Chouhada	Ain Chouhada F1	483 150	403 900	148	169	291	4	398	751	0	168	/	3	2 157	2 005	8
Ain Chouhada		Ain Chouhada F2	492 900	394 700													
Bouchkioua		Bouchkiou a F1	497 250	402 700													
Ain Chouhada		Ain Chouhada F3	500 550	419 200	200	94	230	7	209	916	/	170	5	26	1 800	2 128	8
Zaouia		Zaouia F2	500 350	420 350	52	2	23	2	18	43	/	115	4	3	210	170	8
	Douis	Douis	500 550	419 200	107	97	55	/	62	615	0	73	/	2	1 228	1 570	7
Douis		Douis F1 bis	518 000	238 750													
Douis		Douis F2	518 000	238 750													
AIN OUESSARA	Ain Ouessera	Ain Ouessera F2	518 550	239 100	31	23	249	49	246	258	0	205	12	2	1 134	1 036	7
		Ain Ouessera F3	517 350	238 000	41	16	241	52	239	267	0	173	16	2	1 069	997	8

			400														
	Birine	Birine UP 2	552 400	244 550	39	23	86	2	44	106	/	223	4	7	459	498	8
	Birine	Birine UP 3	554 000	245 200	68	47	97	3	110	180	/	183	12	11	685	612	8
	Daiet Dzeira	Daiet Dzeira F1	558 500	248 750													
	Horabet	Horabet	553 450	272 800													
	Benhar	Benhar F2	535 500	239 200	1 476	354	3 917	54	304	5 236	0	116	31	12	9 311	9 520	8
	Benhar	Benhar Up1	536 850	223 900	166	73	113	6	211	422	/	299	10	19	1 318	1 230	8
	Benhar	Benhar Up2	537 800	223 500	74	40	81	7	85	129	/	269	25	10	710	700	7
	Benhar	Benhar Up3	536 600	222 400	86	50	108	5	125	281	/	250	8	13	904	900	8
	Benhar	Benhar Up4	535 250	222 150	82	57	96	6	172	250	/	159	18	12	811	774	7
	Benhar	Benhar Up5	538 500	226 350	44	49	96	7	123	165	/	201	20	11	732	686	8
	Benhar	Benhar UP6	540 300	226 250	56	52	91	5	140	184	/	108	11	12	799	646	8
	Draa Souary	Draa Souary	507 800	149 100													
CHAREF	Charef	Charef F1	509 450	146 550	294	121	37	14	61	1 086	0	237	22	3	1 587	2 052	7
	Charef	Charef F2	510 150	146 450													
	Charef Hadjia	Charef F3 (Hadjia)	509 750	146 800	88	29	15	4	42	122	/	165	20	7	515	502	8
	Charef	Charef F4	514 200	151 900													
	Hammam charef	Hammam charef F1	514 200	151 200	168	93	475	30	695	520	0	256	27	36	2 232	2 310	8
	Hammam Charef	Hammam Charef F2	515 674	141 872	118	30	264	9	380	225	11	261	19	22	1 375	1 322	9
	Benyagoub	Benyagoub F2	508 800	127 150													
	Benyagoub	Benyagoub F3	510 500	132 000	104	66	30	5	58	273	/	262	24	12	750	876	8
	Benyagoub	Benyagoub F4	509 600	131 850													
	Benyagoub	Benyagoub F5	505 700	130 200													
	Gueddid	Gueddid F1	515 362	130 841													
	Gueddid	Gueddid F 4	491 750	148 100	110	59	171	5	266	393	/	116	13	18	1 241	1 088	8

		Chioukh F8	386														
Mliliha	Mliliha	Mliliha F1	591 500	151 600													
	Mliliha	Mliliha F2	591 900	152 400													
	Mouilah	Mouilah F1	556 000	163 200													
	Mouilah	Mouilah F2	568 400	164 100													
	Mouilah	Mouilah F3	569 197	167 204	212	68	13	5	135	883		31		19	1 362	1 590	
Sidi Baizid	Sidi Baizid	Sidi Baizid F1	567 250	194 700													
	Sidi Baizid	Sidi Baizid F2	568 900	194 600	551	43	87	4	169	1 160	/	254	8	34	2 093	2 742	7
	Djaima	Djaima F1	562 750	175 900													
	Sed Oum Droua	Sed Oum Droua F1	554 850	181 200	51	36	118	5	209	296	0	128	9	1	914	896	8

Résumé:

Dans la matière de la gestion des ressources, les Systèmes d'Information Géographiques se présentent comme des technologies efficaces. Ayant un large domaine d'application, ils ont montré une grande efficacité dans la matière de la gestion des ressources. Ils offrent des outils appropriés pour la combinaison de données spatiales ainsi que des modèles sur un même support graphiques. En Algérie, les régions steppiques où la demande croissante et de la dégradation de la qualité de l'eau. L'accès généralisé à l'eau potable, l'irrigation, l'expansion urbaine, le développement industriel sont autant de facteurs qui font augmenter ces pressions. L'utilisation des différents paramètres et des indices géomorphologiques d'une région, présente un résultat très indispensable, et ce afin de caractériser l'environnement physique et leur influence sur l'écoulement des eaux de surface.

C'est dans ce contexte que vient notre travail dont l'utilisation un moyen SIG pour:

- Elaborer une base de données très riche permettant la manipulation, la mise à jour de ces données ainsi que la visualisation
- Présenter un outil SIG qui peut permettre d'une part l'établissement des cartes thématiques utiles pour contrôler la qualité des eaux souterraines
- Conception des plans d'informations spatiaux et temporels pour la gestion des ressources en eau dans La région de Djelfa
- Et d'autre part à démontrer l'intérêt que peut apporter un outil tel que le S.I.G pour cartographier des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de perte en sol, afin de protéger les constructions de stockage contre l'envasement

Mots clés : SIG, interpolation, cartographie des eaux de Djelfa, Erosion hydrique, Méthodes géostatistiques, krigéage

Abstract:

The Djelfa region characterized by a semi-arid climate. The quality of groundwater is among the problems that are becoming increasing concern in the region. The physico-chemical characteristics of water are severely affected by high salinity of them. This research is devoted to the use of geographic information systems GIS, for drawing maps of the main parameters that can reveal the spatial variation of physical and chemical characteristics of water to achieve a good estimate of its quality. Mapping is the first step in the creation of geographic information systems. The aim of our work is to present a tool for decision making that can establish useful maps to study the water quality of the Djelfa region.

Key words: GIS, Interpolation, mapping of subterranean waters in the region of Djelfa, erosion, kriging

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو استعمال نظم المعلومات الجغرافية لوضع اسس جديدة في تسيير الموارد المائية في منطقة انشاء حرائط رقمية لمختلف المكونات الكيميائية و الفيزيائية للمياه الجوفية يساعد الجلفة اعتمادا على علم الجيو احصاء. على تسيير و تقدير نوعي لخصائص هذه المياه.

كما اعتمدنا على نموذج التضرس الرقمي لاجل دراسة هيدرولوجية للمنطقة و تحديد المناطق المعرضة لظاهرة الحث المائي لاجل حماية منشآت تخزين المياه السطحية و المتمثلة في سدسو كل من سد حاجية و سد كيريش و سد تكرسانة و النتائج المحصل عليها بينت فعالية نظم المعلومات الجغرافية في هذا الميدان. الشبكة من ظاهرة التوحد.

الكلمات المفتاحية: نظم المعلومات الجغرافية- المياه السطحية و الجوفية للجلفة- الجيو احصاء- الكريجينج

