

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieure et de La Recherche scientifique

Centre Universitaire Abdelhafide Boussof - Mila
Institut des Sciences et de la technologie
Département de Génie civil et Hydraulique



*Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER*

Spécialité : Hydraulique urbaine.

THEME

**Cartographie des champs de concentration du nitrate
dans la plaine d'Ain Oussara Djelfa**

Réalisé par :

 TORCHI Rayane
 BOUBEKEUR Asma

Soutenu devant le jury :

 M.BERHAIL Sabri
 M.KEBLOUTI Mehdi
 M.KOUSSA Miloud

Président
Examineur
Encadreur

Année Universitaire : 2020/2021

Résumé :

La plaine de Ain Oussera dans la région centrale des hautes plaines steppiques Algériennes, est un cas typique des régions semi-arides à arides, elle se trouve dans une zone où la mobilisation des eaux superficielles est nulle et les besoins en eau pour les différents usages sont assurés par l'exploitation des eaux souterraines. Ces derniers composant des paramètres physico-chimique reflète d'abord le milieu géologique dans lequel elle circule; et surtout les nitrates sont plus susceptibles de varier dans le temps, parce qu'ils sont plus directement liés aux activités humaines.

Le mémoire sur laquelle nous allons travailler, qui considère que l'utilisation des moyens SIG est importante en utilisant des méthodes géostatistiques (krigeage) pour la cartographie et l'analyse du risque environnemental, à travers une étude de concentration du nitrates « NO_3 » sur la plaine d'Ain oussera. Les méthodes usuelles d'interpolation sont discutées, ainsi que la valeur ajoutée de l'approche géostatistique. A partir des mesures et des informations complémentaires disponibles, la géostatistique permet de cartographier les concentrations sur le domaine d'étude, tout en associant à cette cartographie une estimation de la confiance que l'on peut lui accorder, l'incertitude associée au processus de prédiction spatiale étant inéluctable.

Mots clés : SIG; méthode géostatistique ; la cartographique; l'interpolation; krigeage ; la plaine d'Ain oussera ; concentration des nitrates.

Abstract:

The plain of Ain Oussera in the central region of the Algerian high steppe plains, is a typical case of semi-arid to arid regions, it is located in an area where the mobilization of surface water is zero and the water needs for different uses are ensured by the exploitation of groundwater. These latter components of physico-chemical parameters first reflect the geological environment in which it circulates; and especially nitrates are more likely to vary over time, because they are more directly related to human activities. The memory on which we are going to work, which considers that the use of GIS means is important by using geostatistical methods (kriging) for the mapping and analysis of environmental risk, through a study of the concentration of nitrates « NO_3 » On the plain of Ain oussera. The usual interpolation methods are discussed, as well as the added value of the geostatistical approach. From the measurements and additional information available, geostatistics makes it possible to map the concentrations in the field of study, while associating with this mapping an estimate of the confidence that can be given to it, the uncertainty associated with the process of spatial prediction being inevitable.

Keywords: GIS; geostatistical method; cartographic; interpolation; kriging; the plain of Ain oussera; nitrate concentration.

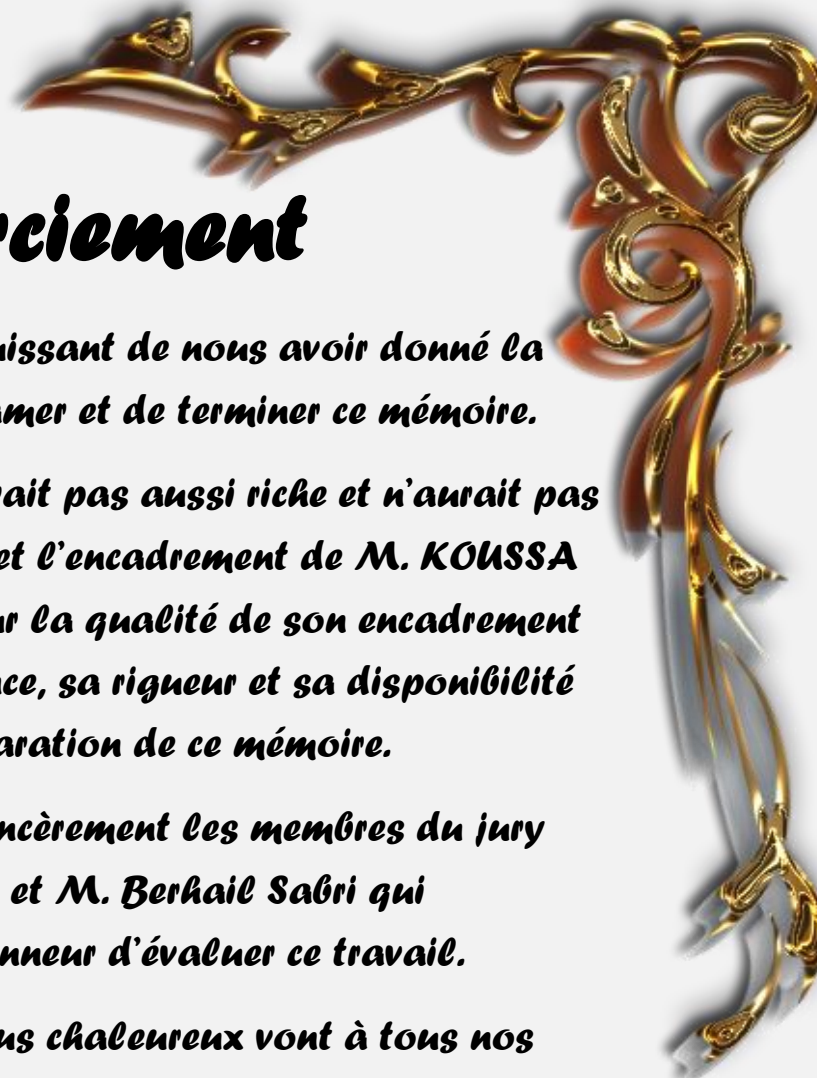
الملخص:

يقع سهل عين وسارة في المنطقة الوسطى من السهول الجزائرية المرتفعة، هو حالة نموذجية للمناطق شبه القاحلة إلى القاحلة، فهو يتواجد في منطقة يكون فيها تعبئة المياه السطحية منعدمة وللاحتياجات المائية في الاستخدامات المختلفة يتم ضمانها من خلال استغلال المياه الجوفية. تعكس هذه العناصر الأخيرة الفيزيائية والكيميائية البيئة

الجيولوجية التي تدور فيها؛ وخاصة عنصر النترات الذي من المرجح أن يتغير بمرور الوقت، لأنه يرتبط ارتباطاً مباشراً بالأنشطة البشرية.

المذكرة التي سنعمل عليها، والتي تعتبر أن استخدام وسائل نظم المعلومات الجغرافية مهم من خلال استخدام الأساليب الإحصائية لرسم الخرائط و تحليل المخاطر البيئية من خلال دراسة تركيز NO_3 في سهل عين وسارة و تمت مناقشة طرق الاستيفاء المعتادة المضافة للنهج الإحصائي التي تتيح للإحصاء الجيولوجي إمكانية تعيين تركيزات النترات و تقديرها في المياه الجوفية الخاصة بمنطقة دراستنا .

الكلمات الرئيسية: نظم المعلومات الجغرافية؛ طريقة الإحصاء الجغرافي؛ رسم الخرائط؛ كريجينج؛ سهل عين وسارة؛ تركيز النترات في المياه الجوفية.



Remerciement

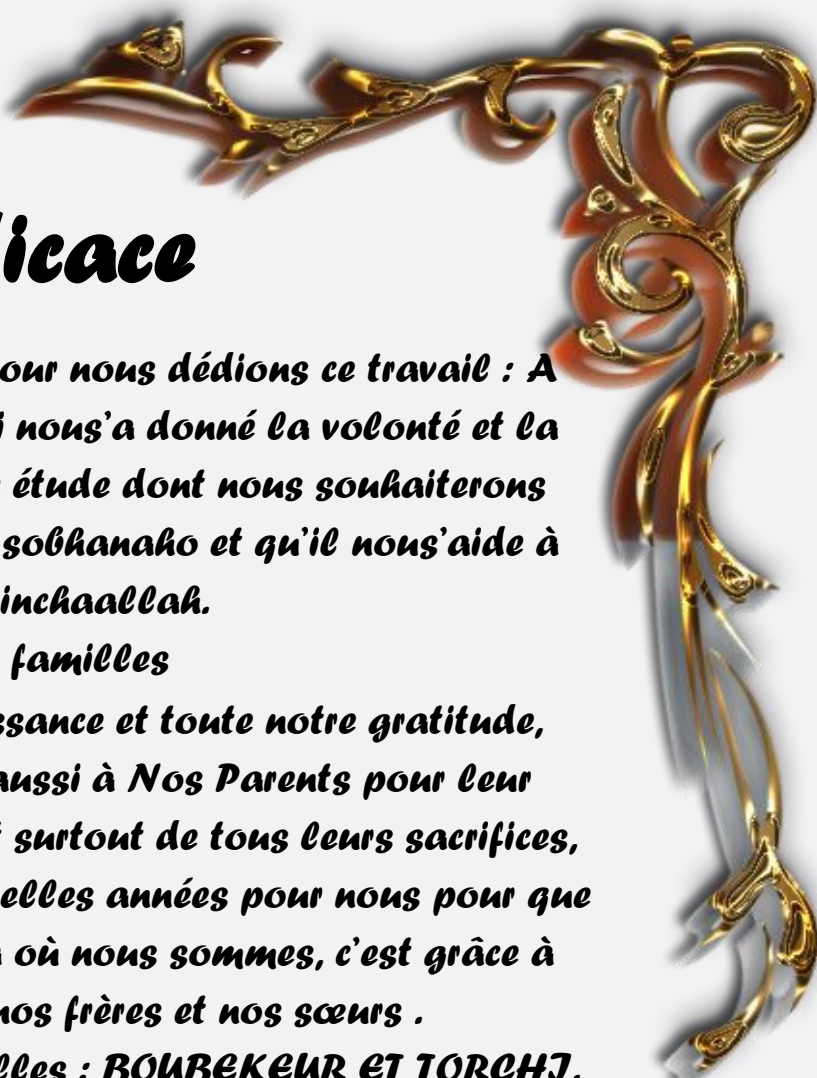
On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la Santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de M. KOUSSA MJLOU, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier sincèrement les membres du jury M. Keblouti Mehdi et M. Berkail Sabri qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.



Nos remerciements les plus chaleureux vont à tous nos camarades au Master 2 Hydraulique urbaine de la Faculté de science et technique de l'Université Abdelhafid Boussouf MJLA, ainsi que tous nos autres camarades de cette Université pour leur présence dans les moments difficiles et les excellents moments que nous avons passés avec eux tout au long de cette année.



Dédicace

Au sens de gratitude et d'amour nous dédions ce travail : A Dieu tout puissant Allah qui nous'a donné la volonté et la puissance pour réaliser cette étude dont nous souhaiterons qu'elle sera acceptée par lui sobhanaho et qu'il nous'aide à continuer inchaallah.

• A nos familles

Avec une profonde reconnaissance et toute notre gratitude, grâce et remerciement vont aussi à Nos Parents pour leur amour, leur encouragement, et surtout de tous leurs sacrifices, pour avoir sacrifié leurs plus belles années pour nous pour que nous puissions nous arriver là où nous sommes, c'est grâce à elles ; et aussi pour nos frères et nos sœurs .

Aussi. Ainsi à toutes les familles : BOUBEKEUR ET TORCHJ.

• A nos amis

A tous mes meilleurs amis : AYMEN; Hilal; RAYANE ; AYA ; WJSSEM ; SAFA; MAJSSA ; SOUHJR ; JMAN; et toute les membres du groupe de master 2 Hydraulique; ainsi à tous les autres qui étaient là pour nous et à tous les autres que nous les connais bien.

• Toute la promotion : M2. Hydraulique Urbaine-2021.

• Tous ce qui nous aime et que nous aimons.



TABLE DE MATIERE

Résumé	
Abstract	
الملخص	
Remerciement	
Dédicace	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	

Chapitre I : Cartographie et interpolation spatiale

Introduction.....	01
I.1. Aperçu sur la théorie de la géostatistique.....	01
I.1.1. les étapes de la géostatistique.....	02
I.2. Variable régionalisée.....	02
I.2.1. But de la théorie des variables régionalisées.....	02
I.3. Fonction aléatoire.....	03
I.3.1. Stationnarité d'ordre 2.....	03
I.3.2. Hypothèse intrinsèque.....	03
I.4. Variogramme théorique et variogramme expérimental.....	04
I.4.1. Propriétés du variogramme.....	04
I.4.2. Modélisation du variogramme.....	04
I.4.3. Paramètre de semi-variogramme.....	06
I.4.4. L'anisotropie.....	07
I.5. Krigage.....	08
I.5.1. Les type de krigage.....	08
Conclusion.....	09

Chapitre II : Système d'Information Géographique

Introduction.....	10
II.1. Définition.....	10
II.2. Concepts d'un SIG.....	10
II.3. Composantes d'un SIG.....	11
II.3.1. Matériel.....	12
II.3.2. Logiciel.....	12
II.3.3. Les données et traitement.....	13
II.3.4. les utilisateurs.....	13
II.3.5. Les méthodes.....	14
II.4. Les modes de représentation de l'information géographique dans un SIG.....	14
II.4.1. Le mode raster.....	14
II.4.2. Le mode vecteur.....	15
II.5. Les fonctions d'un SIG.....	16

II.6.Domaine d'application des (SIG).....	17
II.6.1. Environnement.....	17
II.6.2. L'eau.....	17
II.6.3. Transport.....	17
II.6.4. Sécurité / Défense.....	17
II.6.5. Humanitaire / Contexte d'urgence.....	18
II.6.6. Santé publique.....	18
II.6.7. Télécommunications.....	18
II.6.8. Gaz, Électricité.....	19
II.7.Avantages et contraintes du SIG.....	19
II.8.Les systèmes de projection cartographiques.....	19
II.8.1.Projections cylindrique de Mercator (UTM).....	19
II.8.2.Projection conique de Lambert.....	20
II.8.3.Les projections azimutales.....	21
II.8.4. Choix d'un système de coordonnées.....	21
1.9. Système cartographique en Algérie.....	21
II.9.1 La projection Lambert.....	21
II.9. 2. La représentation cartographique UTM.....	21
Conclusion	22

Chapitre III : les Nitrates dans les eaux souterraines

Introduction.....	23
III.1.Nitrates (NO-3).....	23
III.2.Les nitrates dans les eaux souterraines.....	24
III.3.Effets des nitrates sur la santé.....	25
III.4.Concentrations de nitrates dans l'eau potable.....	27

Chapitre IV : Présentation de la zone d'étude

IV.1.Situation géographique de Djelfa.....	29
IV.2. Caractéristiques physiques.....	29
IV.2.1. Le relief.....	29
IV.3. Géomorphologie.....	30
IV.3.1. Le massif montagneux au sud.....	30
IV.3.2. La plaine.....	30
IV.3.3. Oued touil.....	30
IV.4. la couverture végétale.....	30
IV.5. Elevage et Agriculture.....	30
IV.6. Utilisation des eaux.....	30
IV.7. Réseau Hydrographique.....	30
IV.8. Cadre géologique.....	31
IV.9. Cadre hydrologique.....	32
IV.9.1.La précipitations.....	32
IV.9.2.La température.....	32

Chapitre V : Matériels et méthodes utilisées

Introduction.....	33
V.1. Matériels et logiciels utilisés	33
V.1.1. Matériels.....	33
V.1.2. Carte topographique de la plaine d'Ain oussera à l'échelle de 1/200000.....	33
V.1.3. Les logiciels	33
V.1.4. Données.....	33
V.2. Méthodologie adoptée.....	33
V.3. Démarches et procédures.....	34

Chapitre VI : Résultats et discussions

VI.1. Analyse statistique descriptive des données.....	35
VI.2. Analyse géostatistique (krigeage ordinaire).....	36
VI.2.1. Etude de la structure et la modélisation du variogramme.....	36
VI.2.2. Contrôle de la précision du modèle d'interpolation.....	37
Conclusion.....	37
Conclusion Générale	38
Références Bibliographique	39

Liste des figures

Figure 1 : Les modèles les plus connus de variogramme.....	06
Figure 2 : Paramètres de semi-variogramme.....	07
Figure 3 : Exemple d'un variogramme surfacique montrant la présence d'une anisotropie selon une direction principale.....	08
Figure 4: Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG).....	10
Figure 5 : Composant du SIG.....	11
Figure 6 : Des exemples sur les matériaux du SIG.....	12
Figure 7: Les données du SIG.....	13
Figure 8: Les modes de représentation de l'information géographique dans un SIG.....	14
Figure 9 : Les données raster.....	15
Figure 10 : Les données vecteur.....	15
Figure 11: Les points, les lignes, les polygones.....	16
Figure 12: Projections cylindrique de Mercator.....	20
Figure 13: Projections conique de Lambert.....	20
Figure 14: Projections azimutales.....	21
Figure 15: Le cycle de nitrates	24
Figure 16: Carte situation de la plaine d'Ain Oussera.....	29
Figure 17 : Carte réseau hydrographique de la plaine d'Ain Oussera.....	31
Figure 18 : Schéma structurale des chaines alpines de la Méditerranée occidentale (Delga, 1969).....	32
Figure 19 : Organigramme de réalisation de SIG.....	34
Figure 20 : Répartition spatiale des données inventories.....	35
Figure 21: Histogramme des fréquences de données des nitrates	36
Figure 22: modèle d'ajustement par krigeage ordinaire.....	36
Figure 23 : La carte d'isoteneurs en N03, montre des fortes concentrations dans la partie nord est de (19-32mg/l).....	37

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Valeurs de référence proposées pour les nitrates par différents organismes.....	27
Tableau 2 : Historique de la construction de valeurs guides pour les nitrates et les nitrites.....	28
Tableau 3 : Les différents paramètres de l'analyse statistique descriptive des données.....	35
Tableau 4 : Les statistiques de la moyenne des erreurs d'estimation et l'écart type des erreurs d'estimation de la méthode.....	37

Introduction Générale

Les eaux souterraines constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Dans plusieurs pays, c'est pratiquement la seule source d'approvisionnement. Nous sommes habitués à compter sur les eaux de ruissellement (lacs, rivières, fleuve) pour notre approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus, individus et municipalités se tournent vers cette richesse que constituent les nappes phréatiques. Celles-ci contiennent un volume énorme d'eau exploitable. En milieu urbain ou industriel, les nappes phréatiques peuvent devenir rapidement fragiles à la surexploitation ou à la contamination. Géologues et ingénieurs de géologies commencent à peine à faire l'inventaire de cette ressource et à développer des outils pour une protection et une exploitation rationnelles.

Les prélèvements des eaux souterraines sont favorisés par des subventions qui rendent son utilisation relativement peu coûteuse et découragent la conservation de l'eau. Toutefois, les subventions sur l'eau reposent sur les recettes tirées du pétrole et du gaz et sont menacées par la chute des prix mondiaux des hydrocarbures. Pour protéger ses revenus tirés des hydrocarbures, le gouvernement algérien a proposé de développer ses importantes ressources en gaz de schiste, en utilisant la fracturation hydraulique, ce qui suscitait des inquiétudes quant à la pollution potentielle des eaux souterraines, en particulier celle liée aux eaux souterraines «fossiles», qui est irremplaçable. Une pollution des aquifères a été constatée dans certaines zones, par exemple une intrusion saline sur la côte liée à des prélèvements excessifs et une pollution par les nitrates provenant de l'agriculture, malgré la législation visant à limiter la pollution par les nitrates provenant des activités agricoles.

Le domaine des systèmes d'information géographique (SIG) a débuté dans les années 1960 avec l'émergence des ordinateurs et des premiers concepts de géographie quantitative et informatique. Les premiers travaux sur les SIG comprenaient d'importantes recherches menées par la communauté universitaire. Plus tard, le centre national d'information et d'analyse géographiques, dirigé par Michael Goodchild, a officialisé la recherche sur des thèmes clés de la science de l'information géographique telle que l'analyse spatiale et la visualisation. Ces efforts ont alimenté une révolution quantitative dans le monde de la science géographique et jeté les bases du SIG.

Les SIG permettent aux utilisateurs de créer leurs propres couches de cartes afin de résoudre des problèmes concrets. Les SIG ont également évolué pour devenir un moyen de partage de données et de collaboration, inspirant une vision qui devient aujourd'hui une réalité une base de données SIG qui couvre pratiquement tous les sujets. Aujourd'hui, des centaines de milliers d'organisations partagent leur travail et créent des millions de cartes chaque jour pour raconter des histoires et révéler des modèles, des tendances et des relations sur tous les sujets.

Avec son mouvement vers le cloud et sur le Web, son intégration à l'information en temps réel via l'internet des objets, le SIG est devenu une plateforme pertinente pour presque toutes les activités humaines - un système nerveux de la planète. Alors que notre monde est confronté à des problèmes de population croissante, d'environnement et de pollution, les SIG joueront un rôle de plus en plus important dans la façon dont nous comprenons et traitons ces problèmes et fourniront un moyen de communiquer des solutions en utilisant le langage commun de la cartographie.

Le terme de SIG décrit un système d'information qui intègre, stocke, analyse et affiche l'information géographique. Les applications liées aux SIG sont des outils qui permettent aux utilisateurs de créer des requêtes interactives, d'analyser l'information spatiale, de modifier et d'éditer des données par l'entremise de cartes et d'y répondre cartographiquement. La science de l'information géographique est la science qui sous-tend les applications, les concepts et les systèmes géographiques.

Lorsque vous consultez une carte, vous la transformez en informations en décelant des structures récurrentes, en évaluant des tendances ou en prenant des décisions. Ce processus s'appelle l'analyse spatiale.

Cependant, de nombreux motifs et relations ne sont pas évidents lorsque l'on consulte une carte. Il y a souvent trop de données à trier et présenter de manière cohérente sur une carte. La façon dont vous affichez les données sur la carte peut changer les motifs que vous utilisez. Les outils d'analyse spatiale vous permettent de quantifier les modèles et les relations existant dans les données et d'afficher les résultats sous forme de cartes, tables et graphiques. En allant au-delà de l'analyse visuelle, les outils d'analyse spatiale permettent de répondre à vos questions et de prendre des décisions importantes.

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.

La cartographie est l'ensemble des études et des opérations scientifiques et techniques intervenant dans l'établissement des cartes ou plans, à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation préexistante. Une carte est une représentation géométrique plane, simplifiée et conventionnelle, de tout ou partie de la surface terrestre, dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle l'échelle. Le report de la surface courbe de la terre sur la surface plane de la carte pose deux problèmes difficiles. Le premier est celui de la détermination exacte de la forme et des dimensions de la Terre. Le second est celui de la meilleure correspondance possible entre les points de l'ellipsoïde terrestre

et ceux du plan. La géostatistique est une application de la théorie des fonctions aléatoires à des données localisées dans un espace géographique. Elle étudie les phénomènes naturels répartis dans l'espace (phénomènes régionalisés) et/ou dans le temps (minéralisation, pollution, propriété physique). Les méthodes géostatistiques, telles le krigeage, ont été initialement proposées en exploration minière et pétrolière et elles ont retrouvé leur place en statistiques il y a plus d'une décennie. La géostatistique est classiquement subdivisée en géostatistique linéaire et multi variable, géostatistique non-linéaire, simulations géostatistiques.

Les étapes principales de la création d'un modèle géostatistique sont les suivantes :

1. Examen des données (distribution, tendances, composants directionnels, points aberrants).
2. Calcul des valeurs de semi-variogramme empirique ou de covariance.
3. Adaptation d'un modèle aux valeurs empiriques.
4. Génération des matrices d'équation de krigeage.
5. Résolution de ces dernières pour obtenir une valeur prévue et l'erreur (incertitude) associée pour chaque emplacement de la surface en sortie.

A la suite de cette introduction, notre travail s'organise autour de 6 chapitres :

Chapitre I : 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 II : Système d'Information Géographique

Dans ce chapitre on a présenté qu'est-ce que un SIG et c'est quoi leur fonctionnalité, ses concepts et les composants et les étapes de réalisation.

Chapitre III : les nitrates dans les eaux souterraines

Dans ce chapitre nous verrons la concentration des nitrates dans les eaux souterraines et leur effet pour la santé

Chapitre IV : Présentation de la zone d'étude

Ce chapitre présente la région d'étude ; la situation géographique, géomorphologie, cadre géologique...

Chapitre V : Matériels et méthodes utilisées

Chapitre VI : Résultats et discussions

Résume les résultats de l'intégration des données d'analyse physico-chimique exactement les nitrates dans les eaux souterraines de la plaine d'Ain Oussera dans un système SIG et l'élaboration la carte de répartition d'éléments physico-chimiques étudiés « NO^{-3} » par le krigeage ordinaire.

Chapitre I :

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.

Le terme « cartographie » désigne une représentation schématique d'un ensemble d'informations. Les informations représentées sont minutieusement choisies pour répondre efficacement à la ou aux questions posées. Les cartographies se structurent généralement en plusieurs dimensions. Par exemple, les cartes géographiques intègrent les infrastructures routières et les villes pour répondre aux besoins des usagers. Les informations représentées peuvent être plus ou moins nombreuses selon les besoins. Par exemple, on peut choisir d'y représenter l'altitude, les stations-service ou encore les péages.

Au XXI^e siècle, rares sont les cartographes « purs ». Effectivement, la géographie et l'informatique sont couplées : cet ensemble forme la géomatique. Les géomaticiens sont des professionnels capables de réaliser de la cartographie mais aussi de gérer des systèmes d'information (données, bases de données, architectures informatiques...), spécifiquement appelés des SIG.

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. (Guy BONNEROT)

I.1. Aperçu sur la théorie de la géostatistique :

Le mot géostatistique est un néologisme forgé à l'École des Mines. La géostatistique est née des problèmes rencontrés dans le secteur de la mine : contrôle des teneurs, optimisation de maille, cartographie des ressources, prévision des réserves récupérables, étude de scénarios d'exploitation... (Pierre Chauvet. 1999).

Daniel Krieger, géologue dans les mines d'or, proposa dans les années 60 une méthode statistique pour estimer la teneur d'un bloc de minerai à partir d'échantillons pris autour du bloc à exploiter. Dix ans plus tard, Georges Matheron développa un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs appelé le « variogramme » et une méthode d'estimation basée sur le « variogramme » appelée le « krigeage ». Nous étudierons ces deux méthodes.

Aujourd'hui, la géostatistique s'exprime dans des champs d'applications comme l'océanographie, la météorologie, le génie civil, l'environnement, la géologie, la qualité de l'air et des sols, la santé, etc.

La géostatistique est une méthode d'interpolation relativement récente pour étudier la variabilité spatiale. Elle est basée sur la théorie des variables régionalisées, développé par Krige (1951), Matheron (1965), Journel Huijbregts (1978), et Cressie (1993). La géostatistique est une branche des statistiques appliquées qui mesure la dépendance spatiale et la structure spatiale d'une propriété mesurée (Mulla, 2000). Elle est basée sur la théorie variable régionalisée par laquelle la corrélation spatiale de quelques propriétés peut être traitée (Matheron, 1963). Généralement, l'analyse géostatistique inclut deux phases la première est le modèle spatial (variographie) et la deuxième phase est l'interpolation spatiale (krigeage) (Matheron G. 1962).

I.1.1. les étapes de la géostatistique :

La géostatistique comprend ainsi 2 étapes successives :

- **La première étape** : l'identification d'une fonction de structure ou calcul du variogramme expérimental qui résume l'organisation spatiale du phénomène étudié et la façon dont elle évolue en fonction de la distance. Toute analyse variographique est effectuée comme suit :
 - En premier lieu on vérifie si le phénomène mesuré est isotrope ou non et on observe la stabilisation ou non, à partir d'une certaine distance « a » appelée portée (schéma avec ou sans palier).
 - En deuxième lieu : on ajuste un modèle théorique au variogramme expérimental.
- **La seconde étape** : une fois le variogramme tracé et le modèle mathématique ajusté, reste à passer à la fonction d'interpolation proprement dite. Le krigeage technique d'estimation locale, c'est à dire qui tient compte des voisins qui entourent un point quelconque de l'espace géographique dont on desire estimer la valeur. Il s'agit d'une technique fondée sur un modèle statistique utilisant ces paramètres du variogramme pour obtenir une bonne estimation de la relation entre les points et les données.

On peut donc dire que le krigeage est une méthode très efficace, même si elle implique de longs calculs. Les résultats qu'elle fournit sont comme suit :

- On peut obtenir des valeurs (krigées) relatives à la même échelle de mesure que les valeurs expérimentales.

Il offre aussi comme résultat très important, la possibilité de fournir la variance de l'erreur d'estimation pour chaque point reconstitué, le but de recherche, palliant ainsi le handicap que présentent les méthodes traditionnelles. (Heine, G. W. 1986).

I.2. Variable régionalisée :

Un grand nombre de phénomènes naturels se présentent à l'homme sous forme régionalisée : ils se déploient, ou se distribuent dans l'espace. De tels phénomènes peuvent se caractériser, localement, par certaines grandeurs qui varient dans l'espace, et constituent, par conséquent, des fonctions numériques (ordinaires). Ce sont de telles fonctions numériques que nous appelons des variables régionalisées : il s'agit là d'un terme neutre, purement descriptif, antérieur, en particulier à toute interprétation probabiliste.

Donc une variable régionalisée traditionnellement noté $Z(s)$ peut se définir comme une fonction numérique traditionnellement noté $z(s)$, qui prend ses valeurs dans une région bien délimitée de l'espace appelée champ ou domaine. La notion de variable régionalisée est employée dans de nombreux domaines d'application pour quantifier des grandeurs ou des phénomènes "spatiaux" ainsi, un phénomène est régionalisé s'il se déploie dans un domaine spatial dit montre une certaine structure (autocorrélation spatiale) (Arnaud et Emery, 2000).

I.2.1. But de la théorie des variables régionalisées :

Matheron (1963) a résumé le but de la théorie des variables régionalisées en trois points essentiels :

D'établir les bases théoriques permettant de rendre compte des caractéristiques structurales des phénomènes naturels sous une forme mathématique appropriée. Elle couvre l'ensemble des possibilités allant des surfaces (ou courbes) les plus lisses jusqu'aux plus accidentées. De fournir les moyens pratiques pour la résolution des divers problèmes de l'estimation qui se posent à partir d'un échantillonnage fragmentaire.

I.3. Fonction aléatoire :

Une variable aléatoire est une fonction définie sur l'ensemble des résultats possibles d'une expérience aléatoire, telle qu'il soit possible de déterminer la probabilité pour qu'elle prenne une valeur donnée ou qu'elle prenne une valeur dans un intervalle donné.

Les valeurs possibles d'une variable aléatoire pourraient représenter les résultats possibles d'une expérience, dont la valeur déjà existante est incertaine. Ils peuvent aussi représenter conceptuellement soit les résultats d'un processus aléatoire « objectif » (comme lancer un dé) ou le caractère aléatoire « subjectif » qui résulte de la connaissance incomplète d'une quantité (comme la température qu'il fera dans 5 jours). La signification des probabilités attribuées aux valeurs possibles d'une variable aléatoire ne fait pas partie de la théorie des probabilités, mais est plutôt liée à des arguments philosophiques sur l'interprétation de la probabilité.

Les mathématiques fonctionnent de la même manière quelle que soit l'interprétation. La fonction mathématique décrivant les valeurs possibles d'une variable aléatoire et leur probabilité est connue sous le nom de loi de probabilité ou de distribution de probabilité. Les variables aléatoires peuvent être de trois natures : discrètes, continues ou un mélange des deux. (Cressie N. 1993)

I.3.1 Stationnarité d'ordre 2 :

Du point de vue mathématique, une fonction aléatoire $Z(s)$ est stationnaire du second ordre si :

- L'espérance mathématique existe et ne dépend pas site s :
 $\forall x, E(Z(x)) = m$, constante indépendante de x .
- La covariance entre chaque paire $Z(x)$ et $Z(x+h)$ existe et ne dépend que de h :
 $\forall x, x+h, \text{cov}(Z(x+h), Z(x)) = C(h)$, ne dépend que de h et non de x .
 $C(h)$ et appelé fonction de covariogramme.
- La variance existe en tout site x et est une constante indépendante du site x :
 $\forall x, \text{Var}(Z(x)) = \text{cov}(Z(x), Z(x)) = C(h) = \text{constante}$. (Bogaert p. 2007).

I.3.2.Hypothèse intrinsèque :

Elle se traduit par le fait que pour tout vecteur h , l'accroissement $[Z(X+h) - Z(X)]$ possède une espérance mathématique et une variance indépendante du point x . On a :

L'espérance des écarts est zéro :

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0 \dots\dots\dots (01)$$

La variance des écarts ne dépend que de h :

$$\text{VAR}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h) \dots\dots\dots (02)$$

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).

Toute fonction aléatoire stationnaire d'ordre deux est également intrinsèque (la réciproque est fausse). Autrement dit, l'hypothèse de stationnarité intrinsèque est moins restrictive que la stationnarité du second ordre. L'hypothèse intrinsèque ne requiert pas de connaître l'espérance ni sa covariance de la variable aléatoire.

La fonction la plus utilisée en géostatistique pour décrire la continuité spatiale est le variogramme. La continuité spatiale est réalisée lorsque les valeurs prises entre deux sites proches l'un de l'autre sont similaires. (Walid TABBARA).

I.4. Variogramme théorique et variogramme expérimental

D'après Marcotte, la nature n'est pas entièrement imprévisible. Deux observations situées l'une près de l'autre devraient en moyenne se ressembler d'avantage 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).

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

Le variogramme théorique est défini comme :

$$\gamma(h)= 1/2 \text{ Var}(Z(x+h)-Z(x))= 1/2 E[(Z(x+h) - Z(x))^2] = C(0)-C(h)$$

$$\text{Avec } C(0) = \text{Var}(Z(x)) \text{ et } C(h) = \text{Cov}(Z(x+h), Z(x))$$

On obtient ainsi le variogramme expérimental proposé par Matheron (1962).

$$\gamma(h)= \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=0}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

Où h représente une distance donnée, $Z(x)$ est la valeur de la variable étudiée et $N(h)$ le nombre de paires possibles pour la distance h , $(x_i + h)$; (x_i) points pour lesquels les données sont disponibles. Ainsi, pour chaque distance h retenue, on calcule la valeur de cette équation permet d'établir la différence moyenne entre deux points espacés d'une distance h . Généralement, pour des champs continus, la corrélation décroît avec la distance. À l'inverse, la variation augmente avec la distance (Philippe, 2009).

I.4.1. Propriétés du variogramme :

La définition même du variogramme comme variance des accroissements

$2 \gamma(h)= E [Z(x+h)-Z(x)]^2$, entraîne les propriétés suivantes :

$$\gamma(0)= 0$$

$$\gamma(h)= \gamma(-h) \geq 0$$

En général le variogramme croît à partir de l'origine ; à mesure que h grandit l'écart quadratique moyen entre les 2 variables $Z(x)$ et $Z(x+h)$ tend à croître. Cette croissance, plus au moins rapide,

caractérise ainsi d'une manière statistique la façon dont se détériore l'information apportée par une mesure ponctuelle quand on s'éloigne de ce point connu.

I.4.2. Modélisation du variogramme :

On peut citer :

❖ Modèles avec palier :

Dans ce cas le semi-variogramme est bornée, la fonction aléatoire associée est donc stationnaire de second ordre :

- Modèle pépitique de palier C_0 :

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

C'est un modèle chaotique où il représente une absence de dépendance spatiale du phénomène étudié. Un krigeage avec ce modèle n'est plus possible et on utilise plutôt une méthode d'estimation analytique telle que la méthode de l'inverse des distances ou tout simplement une régression classique (Marcotte, 1988).

- Modèle sphérique d'effet de pépité C_0 , de palier $C_0 + c$ et de portée a :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \times \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & , \text{ si } h \leq a \\ C_0 + C & , \text{ si } h > a \end{cases}$$

❖ Portée asymptotique :

- Modèle exponentiel d'effet de pépité c_0 , de palier $c_0 + c$ et de portée pratique égale à $3a$:

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

- Modèle Gaussien d'effet de pépité C_0 , de palier $C_0 + c$ et de portée pratique égale à $a\sqrt{3}$

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

❖ Modèles sans palier :

Le semi-variogramme n'est pas borné, la fonction aléatoire associée est donc seulement stationnaire intrinsèque (Deutsch and Journel, 1998).

Modèle linéaire sans palier d'effet de pépité C_0 , et de pente m :

$$\gamma(h) = C_0 + mh , \text{ si } h \geq 0$$

- Modèle de puissance d'effet de pépité c_0 , d'exposant v et de facteur d'échelle m :

$$\gamma(h) = C_0 + mh^v , \text{ si } h \geq 0$$

Où la puissance v se situe entre 0 et 2 (Amaud et Emery, 2000).

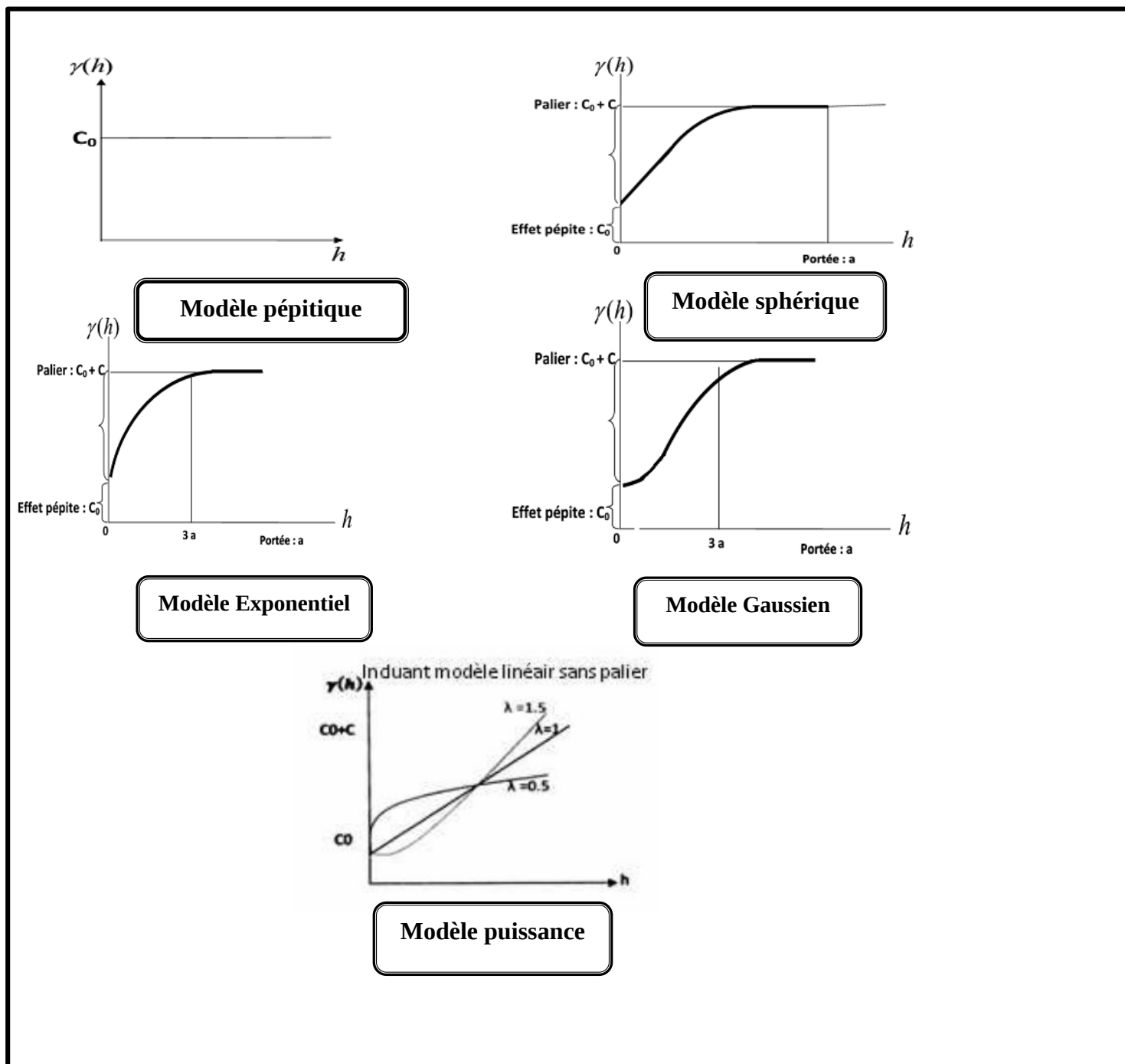


Figure 1 : Les modèles les plus connus de variogramme (Ghibeche 2011)

I.4.3. Paramètre de semi-variogramme :

Pour faire l'analyse spatiale d'une propriété, trois paramètres sont importants à considérer dans ce graphique. Ce sont la constante ou l'effet de pépite, le palier et la portée (Smith, 1993).

- **L'effet de pépite (nugget effect) :** c'est la valeur de $y(h)$ quand $h=0$, correspond

La variance propre de l'échantillon. Il englobe l'incertitude due à l'échantillonnage et aux erreurs de mesure. L'effet pépité doit être estimé par extrapolation des premières valeurs du semi-variogramme. Plus la classe de distance (h) est large, plus on aura un semi-variogramme lisse, mais aussi un effet pépité plus grand. (McBratney, A. B. et R. Webster. 1986)

- **Le palier (sill) :** est la valeur de semi-variogramme qui correspond à la portée. Prendre uniquement la valeur de la variance de l'échantillon conduit à une estimation biaisée du palier, $\gamma(h)$ devient constant avec l'évolution de h . (McBratney, A. B. et R. Webster. 1986)
- **La portée (range) :** La valeur de h pour laquelle $\gamma(h)$ atteint le palier s'appelle la portée, indique la distance à laquelle le semi-variogramme se stabilise autour d'une valeur limite, cette distance mesure la zone d'influence d'une information $z(s)$. En fait, au-delà de la distance h la variable aléatoire $Z(s+h)$ est sans corrélation avec $Z(s)$. La portée tend à augmenter avec la grandeur du jeu de donnée (McBratney, A. B. et R. Webster. 1986)

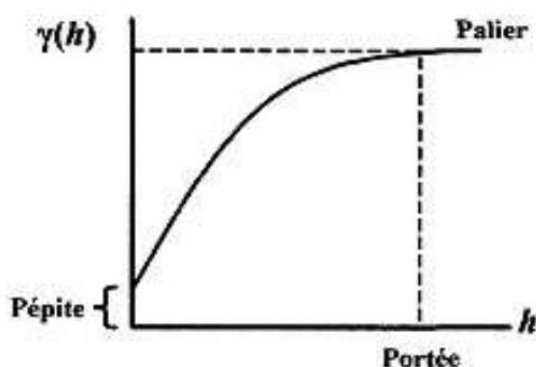


Figure 2 : Paramètre du semi-variogramme. (Ghibeche 2011)

I.4.4. L'anisotropie :

Le phénomène d'anisotropie se présente quand la variabilité spatiale n'est plus la même dans toutes les directions c'est à dire qu'il y a des directions privilégiées vis à vis du phénomène étudié.

L'orientation préférentielle de ces directions incite à rechercher une éventuelle anisotropie dans la variabilité spatiale des propriétés intrinsèques du sol.

Le calcul de l'anisotropie nécessite la construction de deux variogrammes directionnels modélisés. Le premier est construit dans la direction principale de l'anisotropie et le second dans la direction perpendiculaire à la première. Le rapport entre les valeurs des deux portées relatives aux deux variogrammes directionnels donne la valeur de l'anisotropie, étape qui permet de passer par la suite, au krigeage et donc à l'interpolation. (Oliver, M. A. 1990).

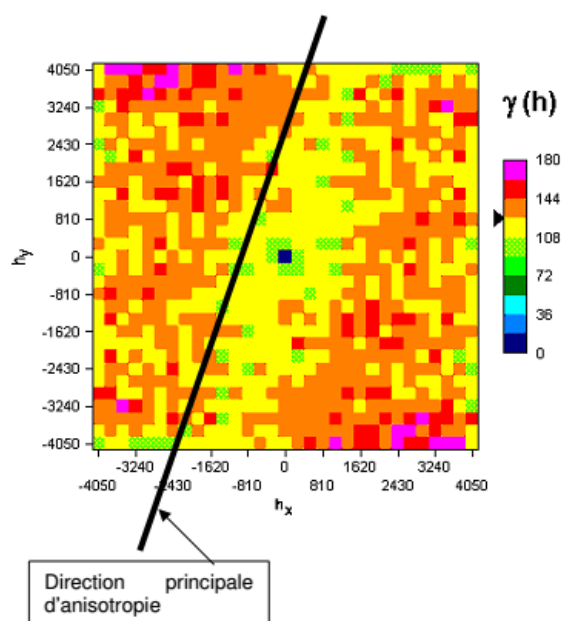


Figure 3 : Exemple d'un variogramme surfacique montrant la présence d'une anisotropie selon une direction principale (Oliver, M. A. 1990).

I.5. Krigeage :

Le terme krigeage provient du nom de famille de l'ingénieur minier sud-africain Danie G. Krige. Il a été formalisé pour la prospection minière par Georges Matheron (1930-2000) au BRGM puis à l'École des mines de Paris. Depuis, le domaine de ses applications a largement été étendu, touchant notamment la météorologie, les sciences de l'environnement et l'électromagnétisme.

Selon les hypothèses sous-jacentes, le krigeage se décline sous plusieurs variantes (simple, ordinaire...) qui toutes utilisent les mêmes principes.

Donc 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 à variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins.

Le krigeage est, en géostatistique, la méthode d'estimation linéaire garantissant le minimum de variance. Le krigeage réalise l'interpolation spatiale d'une variable régionalisée par calcul de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, utilisant l'interprétation et la modélisation du variogramme expérimental. C'est le meilleur estimateur linéaire non-biaisé ; il se fonde sur une méthode objective. Il tient compte non seulement de la distance entre les données et le point d'estimation, mais également des distances entre les données deux-à-deux (Sophie Baillargeon, 2005)

I.5.1. Les type de krigeage :

Il existe trois types de krigeage : Simple, ordinaire et universel.

- **Le krigeage simple :** La théorie du krigeage a d'abord été développée dans un cadre stationnaire de second ordre. Sous cette hypothèse, le krigeage le moins complexe est celui dans lequel la stationnarité postulée est de deuxième ordre et l'espérance de la fonction aléatoire étudiée est supposée connue et constante surtout le champ. Il s'agit du krigeage simple (Matheron, 1970, p.122).

- **Le krigeage ordinaire** : est la méthode la plus générale et la plus couramment utilisée. Il s'agit également de la méthode par défaut. Elle part du principe que la moyenne constante est inconnue. Il s'agit là d'une hypothèse a priori valide, à moins qu'une raison scientifique aille à l'encontre de cette dernière. (Matheron, 1970, p.122).
- **Le krigeage universel** : part du principe qu'il existe une tendance prépondérante dans les données (par exemple, un vent dominant) et qu'elle peut être modélisée par une fonction déterministe, un polynôme. Le polynôme est soustrait aux points initialement mesurés et l'autocorrélation est modélisée à partir des erreurs aléatoires. Une fois que le modèle est ajusté selon les erreurs aléatoires, avant d'effectuer une prévision, le polynôme est réinséré dans les prévisions pour que les résultats soient significatifs. Le krigeage universel n'est à utiliser que lorsque vous savez qu'il existe une tendance dans les données et que vous pouvez en donner une justification scientifique. (Matheron, 1970, p.122).

Conclusion :

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un logiciel informatique capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées.

Ce chapitre de ce manuel présente les trois grands domaines de la statistique spatiale adaptés à l'analyse des données continues, surfaciques ou ponctuelles. La géostatistique, utilisée pour les données continues, est moins directement liée aux travaux de la statistique publique. Il semblait néanmoins utile d'en faire une présentation rapide dans le manuel. D'un point de vue pédagogique, les méthodes géostatistiques illustrent particulièrement bien comment la prise en compte de l'autocorrélation spatiale (à travers le variogramme) permet d'améliorer les estimateurs. D'un point de vue plus opérationnel, sans rentrer dans la complexité des travaux de recherche minière, la géostatistique, via les méthodes de krigeage, est utile pour modéliser des données continues plus simples.

Chapitre II :

Système d'Information Géographique

Introduction

Depuis la deuxième partie de XXème siècle, le développement de l'informatique a entraîné des modifications importantes pour la géographie et la cartographie. La multiplication de données s'est accélérée, grâce à de nouveaux procédés de collectage et d'acquisition. Le traitement des données localisées s'est largement développé, grâce à la saisie numérique des données graphiques, les capacités de stockage des systèmes informatiques et les systèmes de gestion de bases de données. Récemment grâce aux Systèmes d'Information Géographiques (SIG), des nombreuses parties de la cartographie ont été automatisées et les méthodes de production ont entièrement changé, avec pour conséquence une rapidité dans la propagation et l'utilisation des données. Les SIG font appel à de nombreux domaines scientifiques et techniques tels que la géodésie, les systèmes de gestion de bases de données, la télédétection, l'analyse spatiale, les statistiques et la cartographie thématique. Ces derniers ont aussi la particularité d'englober une multitude de méthodes, ce qui leur permet de réaliser plusieurs fonctions : modéliser, saisir, stocker, gérer, consulter, analyser et représenter des objets géographiques, avec la possibilité d'intégrer la composante spatiale des objets ainsi que leurs attributs descriptifs (Chang, K.T. 2016)

II.1.Définition :

Pour définir la notion de système d'information géographique (SIG), on peut d'abord partir de celle, plus générale, de système d'information : système de communication permettant de communiquer et de traiter l'information (norme iso 5127-1-1983). Un SIG est donc, par définition est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace. Un système d'information géographique est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées. C'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. Un système d'information géographique, est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et l'aide à la décision. Historiquement, le SIG est apparu en aval de l'informatisation de la production des cartes, qui a commencé à la fin des années 1960. (Jean Denègre et François Salgé . 2004).

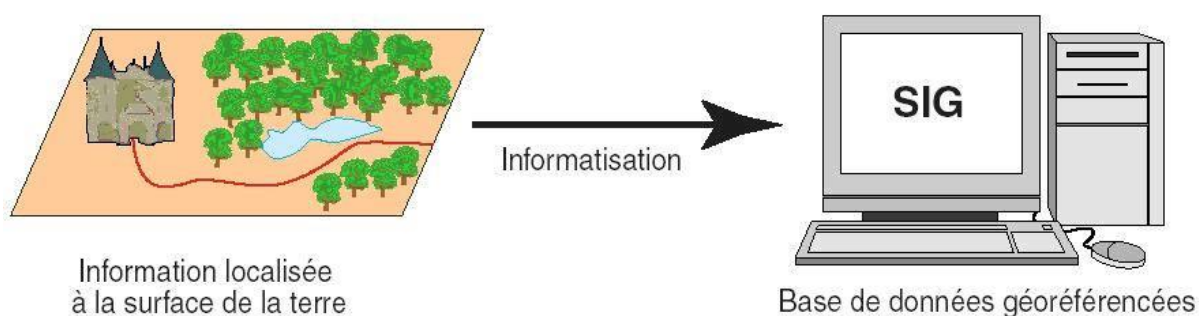


Figure 4 : Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG) (Cours geologie 2011)

II.2.Concepts d'un SIG

Il n'existe pas une seule conception possible des SIG. Les différentes définitions correspondent à des périmètres différents. Les concepts de SIG et géomatique ont évolué dans le passé et continuent à se transformer en fonction des évolutions rapides des techniques informatiques, de la diffusion de la

géomantique dans de nouveaux domaines et des changements dans la société de l'information. Le modèle conceptuel sous-jacent de ce cours est un SIG comme un ensemble de ressources mises à la disposition d'un projet articulé par un corpus plus ou moins intégré de méthodes. L'exposé en découle après des considérations générales, il passe en revue les notions et concepts principaux liés à chaque ressource (BORDIN Patricia, 2002) :

Généralités

- ✚ Limites et définitions des SIG
- ✚ SIG : une représentation de la réalité
- ✚ SIG : un système d'information
- ✚ Histoire des SIG
- ✚ La Géomantique
- ✚ Géomantique, cartographie et géo visualisation

Information

- ✚ Mesurer les phénomènes géographiques
- ✚ Les modèles de représentation traditionnels
- ✚ La modélisation numérique de la réalité géographique
- ✚ Les sources de données
- ✚ Projections et coordonnées

Technologie

- ✚ Les grands domaines fonctionnels
- ✚ Les solutions logicielles SIG et leurs conditions de mise en œuvre
- ✚ SIG & Innovation technique

Organisation et société

- ✚ Le Système d'Information d'une organisation
- ✚ Espace, organisation & information
- ✚ La dimension organisationnelle d'un SIG
- ✚ Vers une typologie des SIG
- ✚ Enjeux sociaux des SIG
- ✚ Les conceptualisations émergentes

II.3.Composantes d'un SIG

Un SIG est un outil particulier puisque pour assurer une opération correcte il fait appel à de nombreux concepts techniques et pratiques et nécessite des connaissances dans plusieurs domaines. Lorsque l'on parle de SIG, il existe 5 composants majeurs :

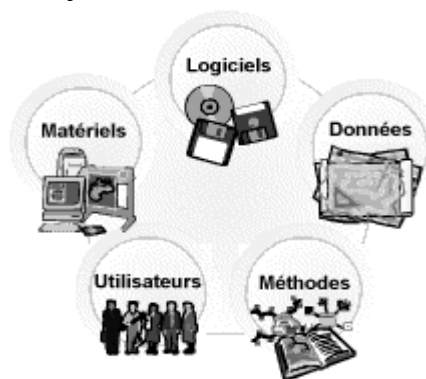


Figure 5 : les composants du SIG

II.3.1. Matériel :

Actuellement, le traitement des données à l'aide des logiciels ne peut se faire sans un ordinateur. En outre, pour faciliter la diffusion des résultats produits par un SIG. On utilise de plus en plus des systèmes client-serveur en intranet, extranet et même en Internet. (Esri, 2009)

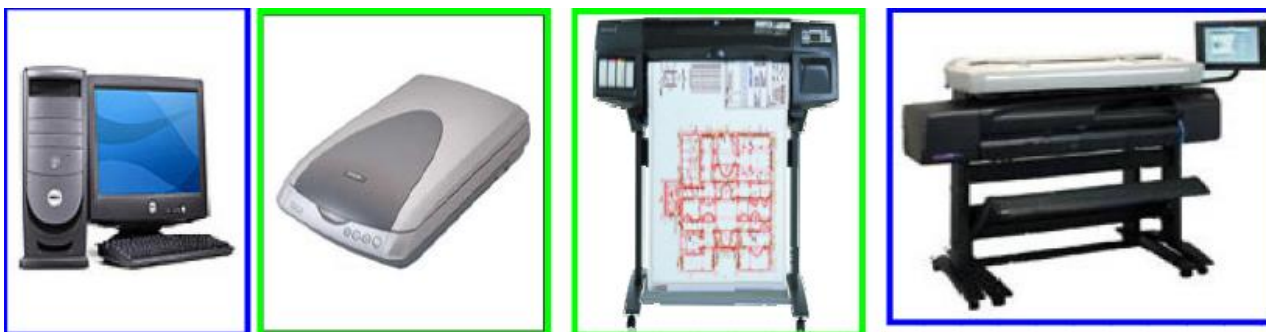


Figure 6 : Des exemples sur les matériaux du SIG (Esri, 2009)

II.3.2. Logiciel :

Ce qui explique la naissance des Systèmes d'Information Géographique (SIG). A la fin des années 60 au Canada, mais seulement dans les années 80 en France, en retard par rapport aux autres pays européens. En 1989. La Société française de Photogrammétrie et de télédétection définissait le SIG comme étant " un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement (géo référencées). L'ensemble des informations géographiques intégrées dans le SIG forment une base de données géographique. Le SIG permet donc de gérer une multitude d'informations de tous types (images satellitaires, photos aériennes, cartes, données chiffrées, bases de données..), de les mettre à jour très rapidement, de faire des requêtes (classiques et spatiales), d'appliquer des règles de topologie et de générer de nouvelles couches d'informations par le biais de ces croisements.

En schématisant, un logiciel SIG est donne un système de gestion de bases de données (SGBD) localisées qui comprend une ou plusieurs couches géographiques qui peuvent entretenir des relations entre elles, être croisées, interrogées...

Il existe aujourd'hui quelques grands éditeurs de logiciels SIG comme le leader ESRI avec sa gamme ArcGIS. Mapinfo. Star, Apic. Géoconcept, Infographe, Ascodes (JSInfo), GIPS (REGAZ-BORDEAUX), AnyGIS (Hitachi), Bentley Microstation. ESRI (2018).

II.3.2.1. Autre logiciel :

1. Les logiciels commerciaux :

ArcGIS, MapInfo, GéoConcept .Géomédia „Manifold.

2. Les logiciels libres :

Qgis, Jump „PostGIS.

3. Logiciels serveur :

ArcGis serveur, GeoMediaWebmap, MapifoXtrem.

4. Logiciels de développement :

ArcGis Engine, GeoObjects, Blue MarbleGeographics

5. Logiciels portable:

ArcPad, Autodesk Onsite, Intellwhere.

II.3.3. Les données et traitement

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données (COURBON Paul, 2007) :

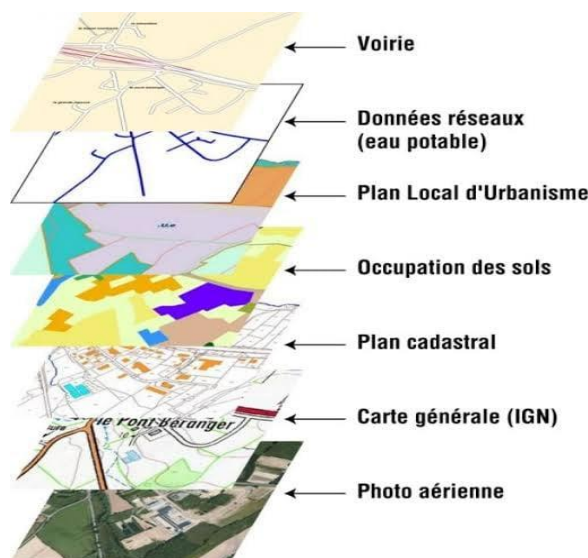


Figure 7 : Les données du SIG (Esri, 2009)

II.3.4. Les utilisateurs

Un S.I.G étant avant tout un outil, ce sont ses utilisateurs (et le personnel qui entretient et gère le système) qui lui permet d'exister et de donner toute l'efficacité dont il peut être porteur comment est constituée la composante humaine d'un S.I.G ?

- ❖ Les techniciens et ingénieurs chargés de la conception, de l'entretien et de la gestion du S.I.G,
- ❖ Les techniciens utilisant quotidiennement le S.I.G dans leur travail,
- ❖ les décideurs utilisant le S.I.G comme moyen d'aide à la décision.

Il Ya 4 types d'utilisateur

1. Utilisateurs occasionnels :

Ce type d'utilisateurs utilise essentiellement les SIG en mode lecture. Ils passent en revue et consultent les données et les cartes des SIG sur internet pour une utilisation au jour le jour. Ils se rendent rarement compte qu'ils utilisent un système de SIG.

2. Utilisateurs de base :

Cette catégorie consiste principalement en des opérateurs et des techniciens de SIG. Ils ont une connaissance limitée de l'outil SIG qu'ils utilisent de manière routinière, une tâche bien définie comme la numérisation de carte et l'association des attributs liés. Ils ont généralement une bonne connaissance de quelques opérations et sont moins conscients de certains autres éléments du système.

3. Utilisateurs intermédiaires :

Ces utilisateurs peuvent utiliser les SIG pour résoudre un problème théorique. Ils sont aptes à la planification et à des opérations de mise en œuvre telles que des extractions, des requêtes et à l'interpolation de données.

4. Utilisateurs avancés :

Ces types d'utilisateurs sont capables de concevoir une stratégie pour l'exécution d'un SIG. Ils peuvent assurer le déroulement serein d'un projet et sont définis comme chefs de projet.

Leur connaissance profonde des principes, des concepts et des fonctions des SIG leur permet d'utiliser efficacement la structure, l'ergonomie et les méthodes afin de répondre aux objectifs des projets.

II.3.5. Les méthodes

Les systèmes de SIG sont conçus et développés pour faciliter les gestions de données et les processus d'aide à la décision d'une organisation. L'activité de toute organisation est basée sur un ensemble de pratiques et de logiques de fonctionnement spécifiques à chaque organisation. Alors que certaines organisations peuvent utiliser les SIG sur une base avec chaque utilisateur développant ses propres normes de travail et méthodes d'analyse, d'autres définissent leur fonctionnement dans le SIG pour améliorer certains aspects de leurs opérations. Les mêmes méthodologies pourraient être appliquées pour n'importe quelle organisation qui fonde sur un ensemble de processus de fonctionnement pour son succès opérationnel, tel que des banques traitant des applications de prêt, des détaillants contrôlant la livraison des marchandises et des approvisionnements, services de réparation et d'entretien, organismes gouvernementaux contrôlant les autorisations et la régularité des processus de conformité, et beaucoup d'autres.

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

La reprise de documents cartographiques existants sur support papier en vue de les introduire dans un SIG, pouvait recourir à des techniques différentes : la digitalisation et le balayage électronique par exemple. Le premier conduit directement à des données cartographiques numériques de type vecteur, la seconde à des données raster

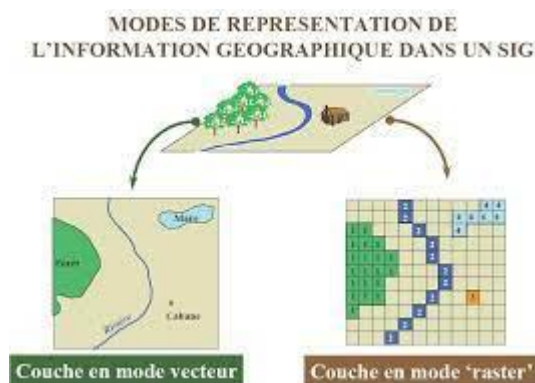


Figure 8 : Les modes de représentation de l'information géographique dans un SIG (Esri, 2009)

II.4.1. Le mode raster :

Le mode raster ou maillé représente l'espace selon un maillage régulier appliqué sur la surface terrestre. Ce maillage se fait sous forme d'une grille formée de cellules de taille prédéterminée aux quelles sont attribuées des valeurs spécifiques. La taille de la cellule s'appelle la résolution spatiale. Le mode raster correspond à une vue du monde où les phénomènes varient de manière continue sous forme de champs, au sens physique du terme, comme un champ magnétique par exemple. La grille raster peut alors être vu comme une grille d'échantillonnage de ce champ continu où chaque pixel est un élément d'un échantillon de la réalité étudiée. Il s'oppose conceptuellement au mode vecteur, fondé sur un découpage a priori du monde en entités bien distinctes, effectué dans un espace discret (au sens mathématique du terme) où chaque polygone est un élément d'un échantillon de la réalité étudiée. A chaque cellule est attribuée une valeur qui peut correspondre à une mesure (pollution, altitude), à une catégorie (type de végétation), à l'identifiant d'un objet (code d'une commune, numéro d'une route, d'une école), à un code couleur issu du scan d'une carte topographique ou à une valeur mesurée par un capteur placé sur un satellite. Dans le mode raster, un objet du monde réel n'est pas explicitement décrit, seule la cellule de la grille existe dans le système. Pour retrouver un objet, il faut demander au système d'afficher toutes les cellules portant le code correspondant à cet objet.

Le mode raster est très utilisé dans le domaine de la télédétection, pour stocker les images qui sont prises sur la surface terrestre. La grille prend alors le nom d'image et les cellules sont appelées des

pixels. Les images satellites combinent, sur plusieurs canaux, des mesures différentes de radiométrie qu'il faut combiner au moyen de compositions colorées. (CCEG).2005.

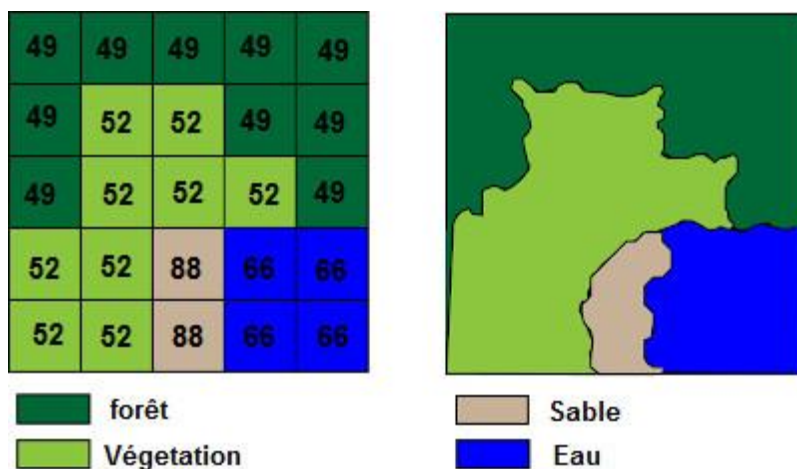


Figure 9 : Les données raster (CCEG).2005

II.4.2. Le mode vecteur

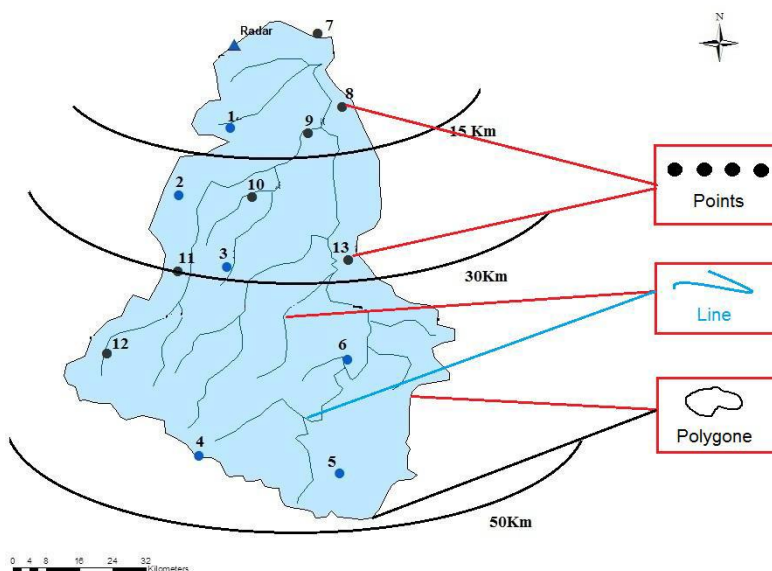


Figure 10 : les données de mode vecteur (CCEG).2005

Le mode vectoriel correspond à une vue discrète du monde, constitué d'entités distinctes, contrairement au mode raster qui correspond à un modèle continu. Dans le mode vecteur les entités du monde réel sont traduites au moyen de formes géométriques exprimant leur contour. Il existe trois grandes formes de base : les points, les lignes et les polygones. Ces formes se traduisent numériquement par des paires des coordonnées (x,y) ou des triplets (x,y,z) dans les SIG 3D. Les structures vectorielles peuvent être plus ou moins complexes. Si les relations géométriques de contiguïté et de connexion ne sont pas prises en compte, on parle d'un modèle spaghetti. Dans le modèle le plus simple, les points sont stockés géographiquement sous formes de paires de coordonnées, les lignes sous forme de séries de paires de coordonnées et les polygones comme des séries de paires de coordonnées dont la dernière est identique à la première (fermeture du contour). Le modèle topologique permet de prendre en compte le fait que deux polygones contigus partagent une ligne et que deux lignes se croisent en un point qui leur est commun. Une manière de construire un modèle vecteur topologique et d'envisager les points comme des éléments de base, les lignes comme des connexions entre ces points et les polygones comme des agencements de lignes connectées entre elles. Dans une structure de données vectorielles, il faut

distinguer les noeuds qui établissent les connexions entre les objets et les sommets qui construisent leur forme. Ce mode est une représentation géométrique sous forme (CCEG).2005:

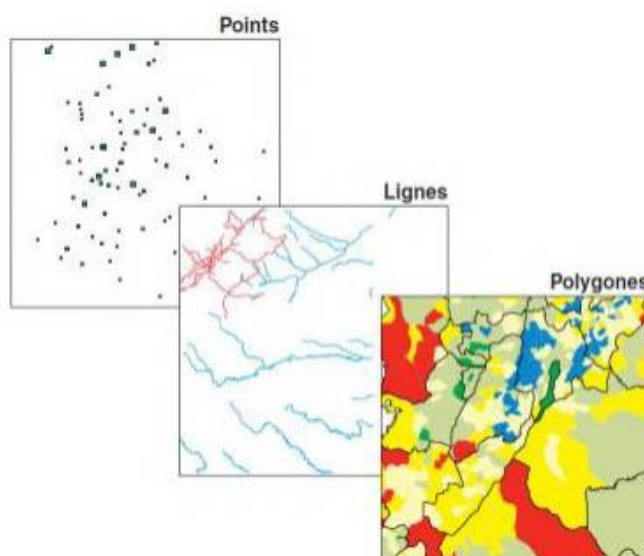


Figure 11 : Les points, les lignes, les polygones (CCEG).2005

II.4.2.1 Les points

Définissent des localisations discrètes d'entités géographiques trop petites pour être représentées sous forme de lignes ou de surfaces (par exemple, un puits, des poteaux téléphoniques et des lignomètres). Les points peuvent aussi représenter des emplacements d'adresses, des coordonnées GPS ou des sommets de montagnes.

II.4.2.2 Les lignes

Représentent la forme et la localisation d'objets géographiques trop étroits pour être décrits sous forme de surfaces (axe de rue et cours d'eau). Elles permettent également de représenter des entités qui ont une longueur mais aucune surface, telles que les iso lignes et les limites administratives. (Les contours sont particulièrement intéressants, comme vous le lirez plus tard, car ils fournissent une des solutions pour représenter des surfaces continues.)

II.4.2.3 Les polygones

Sont des surfaces fermées (figures à nombreux côtés) qui représentent la forme et la localisation d'entités homogènes (états, comtés, parcelles, types de sol et zones d'utilisation du sol). Dans l'exemple ci-dessous, les polygones représentent des parcelles.

II.5. Les fonctions d'un SIG

Les systèmes d'information géographique peuvent être constitués pour répondre à différentes demandes. Comme le système universel n'existe pas. Il faut les adapter selon les objectifs fixés.

Toutefois ils ont en commun des fonctionnalités qui retrouve dans chaque système regroupées en 5 familles sous le terme des « 5A » pour : Abstraction. Acquisition. Archivage. Affichage et analyse Ces termes résument les fonctionnalités que tous les systèmes doivent assurer mais cachent leur diversité : différents modèles mis en œuvre, nombreuses applications, présentations multiples des données, variété des informations et capacités de stockage.

II.6. Domaine d'application des (SIG)

II.6.1. Environnement :

Les SIG ont très tôt utilisés à des fins d'inventaire, de protection ou de gestion des espèces (Inventaire faunistique et floristique...), des espaces (Zone importante pour la conservation des oiseaux –ZICO) et des ressources naturelles (plan de gestion forestière ...).

II.6.2. L'eau

L'appauvrissement des ressources qu'utilisent l'être humain est sujet d'actualité et plusieurs acteurs tentent d'y trouver des solutions pour arriver à une gestion durable. Les SIG sont un des outils qui marquent un grand pas en avant dans le domaine. Par exemple, les applications des systèmes d'information géographique aux ressources en eaux sont multiples ; recherche scientifique en hydrologie, hydroélectricité, protection des écosystèmes aquatiques, gestion des risques environnementaux, augmentation de l'accessibilité à l'eau potable, suivi de la qualité de l'eau, etc. Pour donner un exemple un peu plus précis, l'utilisation des SIG dans les pays où l'eau est peu présente ou mal utilisée permet la mise en place de base de données pour ensuite collecter, manipuler et visualiser les situations. Ces systèmes permettent une cartographie détaillée et une représentation graphique claire permettant de faciliter les interventions de maintenance sur les canalisations, de prévoir les extensions nécessaires au réseau, d'améliorer le rendement du réseau, d'observer la disponibilité de la ressource de même que sa provenance, et enfin de suivre de manière continue son degré de qualité. Ainsi, les SIG sont un moyen d'information facilitant la prise de décision.

II.6.3. Transport

La cartographie est de plus en plus utilisée comme vecteur de diffusion d'informations pour l'aide aux déplacements des voyageurs en urbain et interurbain.

En effet, le système d'information géographique permet de modéliser finement les réseaux de transport (rues, routes, lignes de bus, position des arrêts de bus, etc.) dans des bases de données relationnelles et de rajouter une composante géo-spatiale. Le système d'information géographique offre aussi des fonctions clés pour la mise en place de services d'information voyageurs telles que :

-  la génération de cartes thématiques et interactives,
-  le positionnement d'adresses sur une carte,
-  la recherche d'itinéraires avec visualisation
-  l'affichage des informations routières et transports collectifs (accidents, travaux, niveau De circulation, etc.),
-  la géolocalisation d'arrêt de transport en commun et l'affichage des horaires de
-  Passage des lignes de bus.

II.6.4. Sécurité / Défense

Les SIG sont utilisés dans la défense pour les renseignements, la planification des missions terrain. Les applications militaires ne se limitent pas seulement au réseau de renseignement mais, intègrent aussi les capacités géo spatiales dans les commandements courants (contrôle des effectifs, communication, informatique, surveillance, et reconnaissance terrain). Les experts de la police peuvent se servir d'un SIG pour la planification et la modélisation d'événements. La planification tactique et stratégique ainsi que la cartographie des lieux d'incident font l'objet d'un SIG car, le système d'Information Géographique peut offrir aux agents de police des informations sur les délits commis dans toutes les communes. Exploité à la fois dans le cadre d'événements naturels ou provoqués par l'homme, le SIG fait désormais partie des procédures communes dans les activités de sécurité civile et d'intervention d'urgence. Les régions, les départements, les communes et l'Etat ont recours à un SIG qui leur sert de cadre de travail commun pour organiser et partager les données dans un monde numérique. Au niveau local, régional et national, il est nécessaire d'utiliser un SIG, pour les interventions d'urgence.

II.6.5. Humanitaire / Contexte d'urgence

Depuis plusieurs années, la cartographie et les Systèmes d'information géographique (SIG) ont fait leur apparition dans le monde humanitaire. L'information géographique est essentielle à la bonne compréhension d'une situation. Pendant l'épidémie d'Ebola en 2014, l'utilisation de SIG a permis aux équipes de MSF d'identifier les zones affectées, celles en quarantaine, et de mieux répondre aux

besoins des populations. Cette information géographique est aussi importante pour faciliter les prises de décisions, mais la plupart des endroits où se produisent les crises humanitaires sont bien souvent absents des cartes, ce qui peut rendre plus complexe ces prises de décisions. Afin de cartographier ces zones absentes des cartes, Missing Maps, projet collaboratif et ouvert à tous, met à votre disposition plusieurs outils afin de vous inviter à participer.

II.6.6. Santé publique

L'application des systèmes d'information géographique (SIG) à la santé publique est très prometteuse, car elle pourrait améliorer notre compréhension de l'écologie et des causes de problèmes de santé complexes et orienter la conception et l'évaluation de programmes et stratégies efficaces s'adressant à l'ensemble de la population. Les SIG permettent de créer, à partir d'une énorme quantité de données tabulaires, de fascinantes cartes visuelles qui peuvent donner des renseignements très utiles et focaliser l'attention des décideurs et du public. Il faut surmonter d'importants problèmes méthodologiques pour que les cartes puissent être interprétées et ne soient pas trompeuses. Le problème le plus important est celui du petit nombre, qui survient quand les cas et les dénominateurs qui y sont associés sont sous-divisés entre de nombreuses petites régions géographiques, ce qui produit souvent des taux très instables. La création de cartes est une étape importante de la cartographie de la santé publique, mais il est très important que les praticiens passent de la simple visualisation des données à l'exploration des caractéristiques statistiques des profils spatiaux et à la modélisation structurée du rapport entre les variables prévisionnelles et les variables réponses.

L'utilisation de SIG dans le contexte de la santé publique peut nécessiter des ressources considérables et exige donc un investissement important.

II.6.7. Télécommunications

La convergence des technologies a changé l'industrie des télécommunications, en créant de nouvelles zones de concurrence. Le SIG offre aux sociétés de télécommunications un éventail de solutions qui permettent l'analyse des relations entre la couverture des services, l'édition de résultats de tests, la gestion des dossiers d'incidents, le suivi des requêtes clients et, d'une façon plus générale, tout le reportant de l'entreprise. Que ce soit pour des études en avant-vente, en phase de conception, de déploiement, d'exploitation, de maintenance ou encore d'évolution de réseau, le SIG est un outil d'aide à la décision précis et complet. Comment ?

La technologie SIG permet aux professionnels des télécommunications d'intégrer des données géo localisées dans des processus d'analyse, de gestion de la planification des opérations de réseau, mais aussi de marketing et des ventes, de support au service clientèle, de gestion des données et encore de nombreuses autres tâches de planification et de résolution des problèmes. Un SIG peut intégrer des données géographiques issues de bases de données diverses, vous aidant ainsi à résoudre des problématiques et à fluidifier les tâches quotidiennes. En augmentant l'efficacité de vos actions, les outils du SIG vous aident à conserver l'avantage dans un marché de plus en plus concurrentiel. Il établit une plate-forme commune qui améliore la circulation de l'information et augmente considérablement la communication interne et la collaboration.

Le SIG peut vous aider à être plus efficace dans les actions de :

-  Marketing,
-  La planification du réseau,
-  L'ingénierie et la construction,
-  Chiffre d'affaires – Ventes,
-  Service client et de gestion des équipes.

II.6.8. Gaz, Électricité :

Les SIG violent à maintien des taux interruption des réseaux d'électricité de gaz et techniques aussi réduits que possibles et, en cas de panne, à un rétablissement rapide du réseau concerné. Les SIG visent une performance des ouvrages de production hydroélectrique, de Chancy-Pougny, de Vessy et de la

microcentrale de Ver bois permettant d'optimiser leur propre portefeuille d'approvisionnement en énergie électrique tout en limitant les impacts environnementaux, notamment en matière de migrations piscicoles, de transports de solides et d'éclusées. En plus Les SIG mènent une politique active de développement de la certification de leurs ouvrages afin de valoriser l'énergie produite comme renouvelable, d'origine locale, et respectueuse de l'environnement.

II.7. Avantages et contraintes du SIG

Les avantages :

- ✚ Capacité et fiabilité de stockage
- ✚ Rapidité de restitution des données (gain de temps)
- ✚ Intégration et combinaison de données de sources différentes
- ✚ Précision des processus cartographiques
- ✚ Facilité de mise à jour (Outils de suivi)
- ✚ Analyse des relations spatiales (Intégration, requête spatiale, Combinaison et superposition de cartes)
- ✚ Production de cartes (bon rapport qualité / prix) (Zarouali, 2014)

Les contraintes :

- ✚ Le manque de personnel spécialisé et compétant
- ✚ Coût élevé et problèmes techniques pour l'acquisition des données fiables.
- ✚ Non Standardisation des formats de données.
- ✚ Nécessité d'une mobilisation continue des acteurs (Zarouali, 2014)

II.8. Les systèmes de projection cartographiques :

Une carte est le résultat de la projection, sur la surface plane d'une feuille de papier ou d'un écran numérique, de mesures relatives à la terre, à un corps céleste, à un monde imaginaire. Le plus souvent, la carte est créée en deux étapes : en rapportant d'abord les données du monde physique à une surface sphérique ou ellipsoïdale

(Le modèle géométrique du globe), puis le résultat à un plan. Les caractéristiques de ce modèle sont telles que les valeurs des angles, ou des distances, ou des aires qu'on y mesure sont proportionnelles à celles qu'on mesure dans la réalité. La transformation de la surface courbe sur un plan est connue sous le nom de projection cartographique et peut prendre une multitude de formes différentes, qui toutes engendrent des déformations d'angles, d'aires et/ou de distances. S'il est possible dans une projection cartographique de maîtriser telle déformation, de manière à préserver des caractéristiques spécifiques, d'autres caractéristiques des objets représentés seront nécessairement déformées. Le principal problème en cartographie est qu'il n'est pas Possible de projeter ou de transformer une surface sphérique ou ellipsoïdale sur une surface plane sans générer de déformations. Seul un globe de forme sphérique ou ellipsoïdale convient à la restitution de toutes les caractéristiques liées à la rotondité de la Terre ou d'un corps céleste dans leurs véritables proportions.

II.8.1. Projections cylindrique de Mercator (UTM) :

Les projections cylindriques sont celles qui confèrent une apparence rectangulaire au graticule. Le rectangle peut être vu comme le développement d'une surface cylindrique qui peut, à son tour, être enroulée en un cylindre. Bien que ces projections soient créées de manière purement mathématique, plutôt qu'en introduisant la géométrie d'un cylindre, l'aspect final peut suggérer une construction cylindrique. Une projection cartographique cylindrique peut présenter une ligne ou deux lignes qui sont sans altération d'échelle. Des exemples classiques de projections cylindriques sont la projection de Mercator, conforme (elle conserve localement les angles), et la projection cylindrique équivalente de Lambert (qui conserve les surfaces).

Les projections cylindriques sont souvent employées pour les cartes du monde ; la latitude y est volontairement limitée vers le sud et vers le nord pour éviter la trop grande déformation des régions polaires qu'entraîne cette méthode de projection. L'aspect normal de la projection Mercator (où l'axe

du « cylindre » est dans la direction nord-sud) est employé pour les cartes marines dans le monde entier, alors que son aspect transverse (où l'axe du « cylindre » est orthogonal à la direction nord-sud) est régulièrement employé pour les cartes topographiques et est la projection utilisée pour le système de coordonnées UTM décrit plus haut. (Anoni, A., C. Luzet, E. Gubler, and J. Ihde (Eds.) 2003),

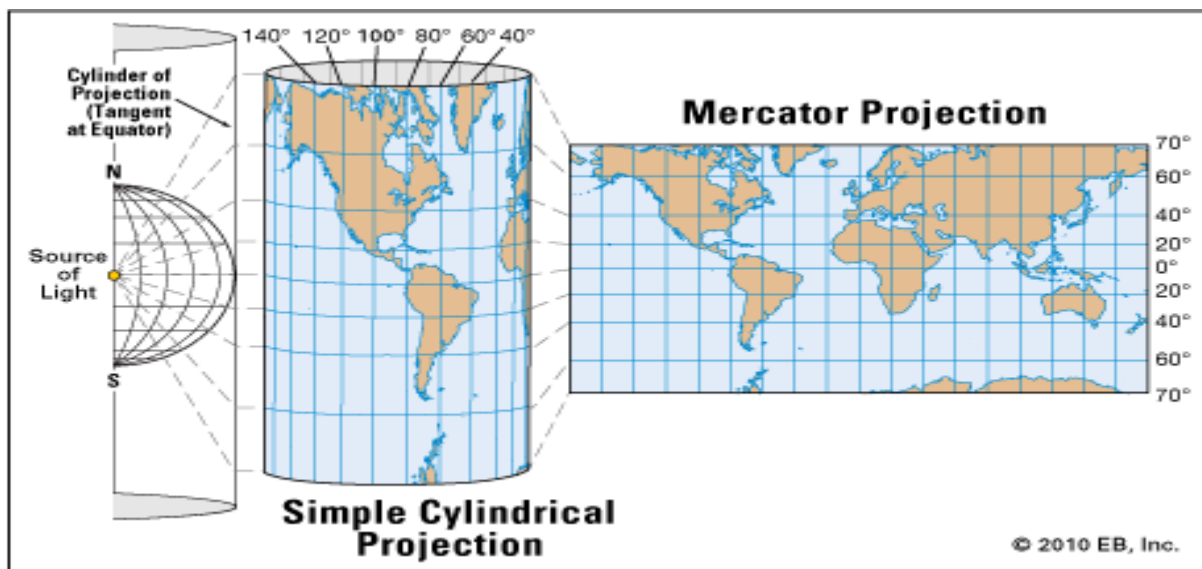


Figure 12 : Projections cylindrique de Mercator (WebLife 2015)

II.8.2. Projection conique de Lambert :

Les projections coniques donnent l'apparence d'une surface conique développée qui pourrait être roulée en un cône. Ces projections sont des constructions mathématiques souvent plus complexes que la projection sur une simple surface conique. On peut y trouver une seule ligne, ou deux lignes, qui soient exemptes d'altérations de l'échelle.

Des exemples classiques de projections coniques sont la projection conique conforme de Lambert et la projection conique équivalente d'Alber. Les projections coniques sont inappropriées pour les cartes du monde et trouvent leur meilleur usage pour les zones qui présentent une elongation dans la direction est-ouest. Cela en fait les projections idéales pour représenter les masses continentales de l'hémisphère nord, telle celles des États-Unis, de l'Europe, ou de la Russie. (Frankich, K. 1982),

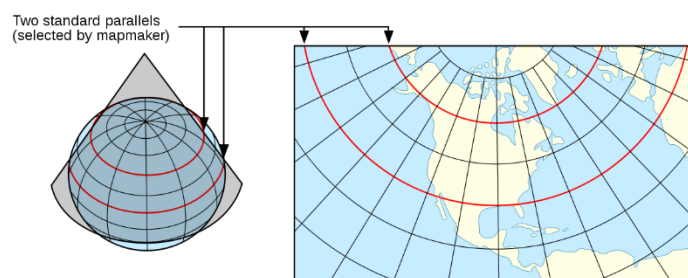


Figure 13 : Projections conique de Lambert (WebLife 2015)

II.8.3. Les projections azimutales

Les projections azimutales sont celles qui préservent les azimuts (c.-à-d. les directions par rapport à une direction donnée, celle du nord dans leur aspect normal). Un point seul ou un cercle peuvent exister sans déformation d'échelle. Les exemples classiques de projections azimutales incluent la projection

stéréographique et la projection azimutale équivalente de Lambert (Snyder, J. P. and M. P. Voxland 1989)

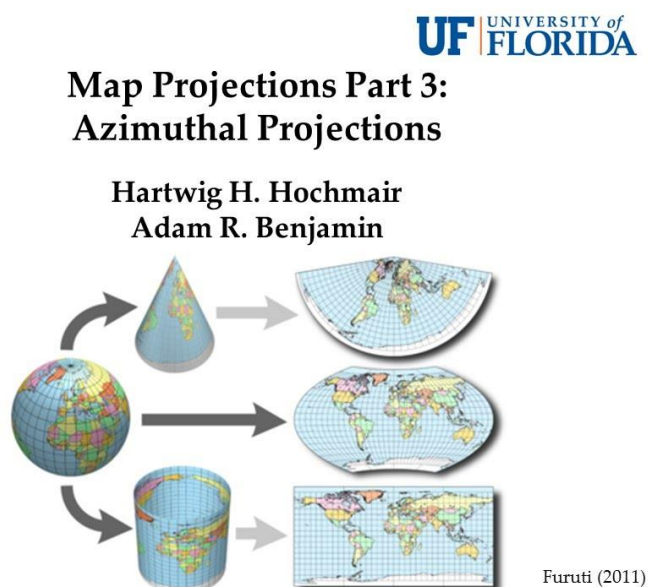


Figure 14 : Projections azimutales (WebLife 2015)

II.8.4. Choix d'un système de coordonnées :

Le sujet projection de la carte est très complexe et même des professionnels qui ont étudié la géographie, la géodésie et toutes autres sciences liées aux SIG ont souvent des problèmes avec la définition correcte des projections de cartes et les systèmes de coordonnées de référence. Habituellement, lorsque vous travaillez avec des SIG, vous avez déjà projeté les données pour commencer. Dans la plupart des cas, ces données seront projetées dans un certain SCR, donc vous n'avez pas besoin de créer un nouveau SCR ou même de projeter les données d'un SCR à un autre. Cela dit, c'est toujours utile d'avoir une idée sur ce que signifient une projection de carte et un SCR. (Flandrin, J., Aymé, A. 1951).

1.9. Système cartographique en Algérie

II.9.1 La projection Lambert :

C'est une projection conforme, conique utilisée pour la cartographie de l'Algérie au 1/50 000 de 1943 à 1960. Un quadrillage kilométrique de couleur rouge appelé "corroyage Lambert " délimitant un carré de 1 km de côté afin de d'identifier les détails planimétriques et altimétriques (I.N.C.T, 2007).

II.9. 2. La représentation cartographique UTM :

La projection de Mercator, l'une des plus anciennes (1569), elle présente des distorsions importantes si on s'éloigne de l'équateur vers les deux pôles (Nord et Sud). Voici quelques caractéristiques de cette projection (I.N.C.T, 2007) :

- ✚ Elle divise le monde en 60 fuseaux, chaque fuseau couvre 6° de longitude.
- ✚ C'est une projection cylindrique transverse conforme c'est-à-dire elle conserve les angles.
- ✚ Les coordonnées rectangulaires (cartésiennes) sont exprimées en mètre ou en Kilomètre.

Pour l'Algérie, c'est la projection UTM qui est utilisée actuellement. Dont chaque zone UTM couvre 6° de longitude.

L'Algérie occupe 04 fuseaux : n°29, n°30, n°31 et n°32 Il y'a donc 4 zones (fuseaux)

Conclusion :

Dans ces lignes, nous allons résumer ce que nous avons fait dans ce chapitre, qui était le sujet {le système d'information géographique}

Le SIG permet de collecter, d'organiser, de gérer, d'analyser, de modéliser et d'afficher des données géo référencées sous forme de plans et de cartes. Avec cet outil, les organisations publiques et privées peuvent analyser et trouver des solutions à leurs projets par l'intégration de l'analyse spatiale des événements. D'une part, le SIG offre la possibilité d'exploiter des bases de données complexes et d'autre part, il permet de les visualiser géographiquement. Compte tenu de son accessibilité et de la multitude d'applications auxquelles il peut répondre, le SIG est indispensable pour répondre aux les enjeux nécessitant une intégration d'informations géographiques.

Chapitre III :

Les nitrates dans les eaux souterraines

Introduction

Le but de l'agriculture est de nourrir une population mondiale sans cesse croissante. Le défi des agriculteurs est donc de produire toujours plus, et de maximiser la productivité et la rentabilité de leurs entreprises. Pour atteindre cet objectif, ils se sont donné différents moyens techniques dont l'un d'eux est l'utilisation des fertilisants inorganiques. (BILLAUDOT F., 1988).

L'emploi intensif des engrais azotés dans les zones agricoles provoque la contamination des aquifères par les nitrates. La migration des produits azotés à travers la zone non saturée est gouvernée par les processus d'écoulement non saturé et le cycle de l'azote dans le sol, compte tenu des conditions hydro-climatiques et pédologiques. Ce sont essentiellement les pratiques agricoles, en terme d'apports azotés et de flux hydriques, qui gouvernent l'apport de nitrates jusqu'à la nappe phréatique. (Dupuy, A., Moumtaz, R. & Banton, O. 1997).

Les ressources en eaux souterraines constituent des réserves en eau importantes aussi bien d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Dans plusieurs régions du monde, elles sont largement exploitées pour couvrir les besoins en eau potable. La préservation de la qualité des eaux souterraines constitue donc une préoccupation majeure et ce pour des raisons de santé publique. (Schoeller, H. 1962).

En Algérie La contamination des eaux souterraines par les nitrates a été mise en évidence par plusieurs études sur différents aquifères (KETTAB, 2005). Elle est souvent liée à l'activité agricole intensive et, d'une façon moindre, à l'élevage (ANRH, 1993)

III.1.Nitrates (NO_3) :

Substances chimiques naturelles qui entrent dans le cycle de l'azote. Le nitrate est beaucoup utilisé dans les engrais inorganiques et les explosifs, comme agent de conservation des aliments et comme substance chimique brute dans divers procédés industriels. Le nitrate représente la plus stable des deux formes de l'azote, mais sous l'action microbienne, il peut être réduit en nitrite (NO_2^-), qui est la forme la plus toxique. Il est présent à l'état naturel partout dans l'environnement. Il est le produit de l'oxydation de l'azote de l'atmosphère (représente 78%) par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau et, dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre. Toutes les sources d'azote sont des sources potentielles de nitrate. Dans l'eau, ces substances peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles, des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles. Normalement, la concentration de nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface est faible, mais elle peut atteindre des niveaux élevés à cause du lessivage des terres cultivées ou de la contamination par des déchets d'origine humaine ou animale. (FOULHOUZER., 1988)

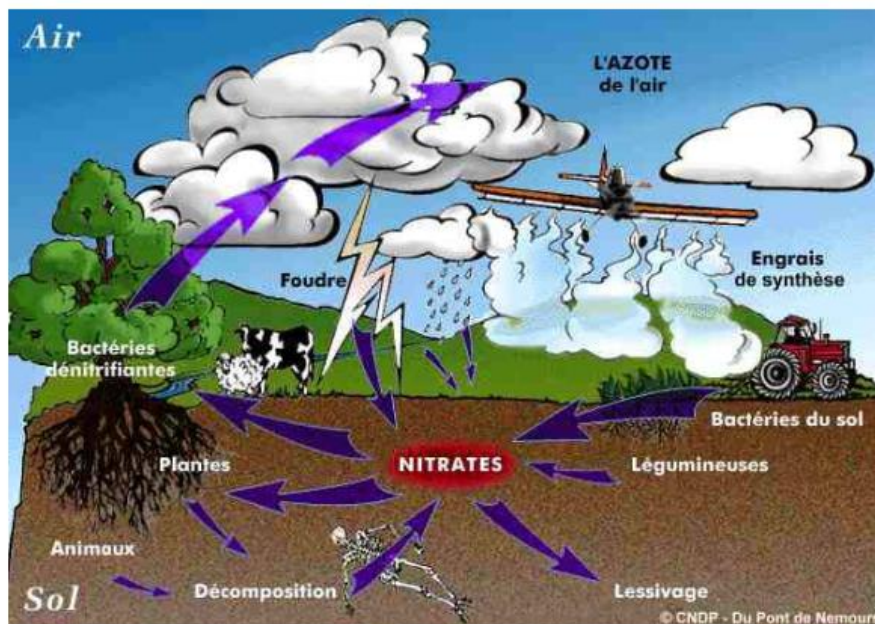


Figure 15 : le cycle de nitrates (ORSRA 2007)

III.2. Les nitrates dans les eaux souterraines :

Les pollutions diffuses d'origine agricole sont une des causes majeures de la détérioration de la qualité des eaux souterraines en zone rurale. Avec les pesticides, les nitrates représentent les principales sources de pollution des aquifères. Dans de nombreuses régions à vocation agricole, le niveau des concentrations en nitrates des eaux souterraines atteint et dépasse fréquemment le seuil de potabilité de 50 mg NO₃/L (11 mg N-NO₃/L). En France, l'augmentation moyenne des concentrations en nitrates dans les nappes a varié localement de 1,8 à 3 mg NO₃/L par an. L'augmentation moyenne observée au cours des vingt dernières années est de 0,3 à 4,1 mg NO₃/L par an (Académie des sciences, 1991).

Cette situation entraîne une détérioration sensible des ressources en eau potable et génère des difficultés croissantes quant à la gestion des ressources. L'utilisation massive et croissante des composés azotés pour la fertilisation (doublement en 20 ans) ainsi que l'exploitation intensive des eaux souterraines pour l'irrigation (1,1 million d'hectares irrigués) ont été le point de départ de la contamination des aquifères par les nitrates (ACADÉMIE DES SCIENCES, 1991). D'un point de vue environnemental, ce fait constitue une problématique sensible de par son extension géographique et sa dynamique. La gestion environnementale de la problématique agricole doit donc être généralisée pour limiter l'augmentation des concentrations de polluant dans les nappes et en réduire l'étendue. Cette gestion fait intervenir plusieurs domaines de compétence dont les principaux sont l'agronomie et l'hydrogéologie. L'agronome intervient au niveau de rétablissement de règles pour les pratiques culturales, tandis que l'hydrogéologie gère la ressource en eau souterraine (CARLOTTI, 1992). Des programmes de recherche sur les processus mis en jeu dans le transfert des polluants agricoles de la zone non saturée vers la zone saturée ont été établis pour répondre au problème de la gestion des aquifères contaminés. En quelques années, la recherche en gestion environnementale est passée de l'échelle du laboratoire (colonnes de sol) à celle de la parcelle cultivée puis à celle du bassin versant. Conjointement à cette évolution, des modèles de simulation numérique ont été développés à chaque échelle. Des modèles numériques globaux représentant le cycle de l'azote dans le

sol ont ainsi été développés dès les années 70 (ex. MEHRAN et TANJI, 1974 ; WATTS et HANKS, 1978), tandis que les premiers modèles de gestion de la problématique agricole, reliés aux pollutions diffuses azotées, sont des modèles empiriques ou semi-empiriques limités à des cas particuliers (ex. SHAFFER et *al.*, 1991). Pour répondre au besoin de généralisation, BANTON et *al.* (1993) ont développé un modèle de gestion environnementale de la problématique agricole basé sur une approche mécaniste des phénomènes (modèle AgriFlux), appliqué au transfert des polluants agricoles au travers de la zone non saturée du sol.

Le modèle AgriFlux permet de calculer les concentrations en nitrates et pesticides ainsi que les flux d'eau à la sortie de la zone non saturée du sol. Le nombre de paramètres requis est limité et concerne essentiellement la nature du sol (texture et structure pédologique, contenu en azote), le cycle de l'azote (constantes de transformation des diverses formes d'azote) et l'assolement (caractéristiques des cultures, pratiques culturales). Une application du modèle a été réalisée par LAROCQUE et BANTON (1995) sur une parcelle agricole expérimentale du Québec montrant l'intérêt de cet outil. Le modèle AgriFlux a aussi été utilisé afin de quantifier les flux d'eau et d'azote de la zone non saturée sur un bassin versant expérimental français de 160 ha (La Jannerie) (DUPUY et *al.* 1997).

Dans cette étude, il a été montré que l'évolution des concentrations dans la zone non saturée n'est pas toujours et directement comparable à celle observée dans la zone saturée. La connaissance des concentrations de nitrates dans les eaux lessivées et des caractéristiques du sol n'est donc pas suffisante pour étudier les concentrations rencontrées dans la nappe. Les conditions hydrogéologiques, telles les limites d'alimentation, l'axe d'écoulement, le débit de la nappe et les flux hydriques issus de la 2NS doivent être intégrées pour l'évaluation des concentrations en nitrates de la zone saturée. Dans ce présent article, les résultats de la modélisation réalisée sur le bassin expérimental de La Jannerie (DUPUY et *al.* 1997) sont repris pour évaluer les concentrations en nitrates susceptibles d'être retrouvées dans la zone saturée.

III.3.Effets des nitrates sur la santé :

L'homme produit naturellement entre 60 et 70 milligrammes (mg) par jour de nitrates qui sont retrouvés dans le sang, les urines, la sueur, les larmes, *etc.* Les apports extérieurs, environ 150 mg par jour, concernent la voie digestive, par ingestion d'eau ou d'aliments. Les apports se répartissent entre 70 à 80 % pour l'alimentation et entre 20 à 30 % pour l'eau¹³. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande de ne pas dépasser pour un adulte une dose journalière admissible (DJA) de 3,65 mg par kilogramme (kg). Pour un adulte de 70 kg, cela correspond à 255 mg de nitrates par jour (cette DJA n'est cependant pas transposable au nourrisson). Pour l'eau, l'OMS retient la valeur de 50 mg/l comme valeur guide. Au-delà de ce seuil, le risque sanitaire concerne les femmes enceintes et les nourrissons. En France, les apports quotidiens varient entre 30 et 300 mg selon les habitudes alimentaires¹⁴. Les aliments constituent la source d'exposition la plus importante. Certains légumes (salades, épinards, betteraves, carottes, *etc.*) peuvent être très chargés en nitrates (de 2 000 à 4 500 mg/kg). Un végétarien absorbe entre 175 et 195 mg de nitrates par jour. D'autres aliments, conservés en saumure tels que les charcuteries, fromages, poissons, *etc.* sont également pourvoyeurs de nitrates. (DUBOZ A., 1992)

- **Effet**
- **directs:**

L'étude de la toxicité des nitrates et de leurs dérivés transformés dans l'organisme, les nitrites et les nitrosamines, a donné lieu à de très nombreuses publications scientifiques, souvent

contradictoires. Historiquement, les nitrates et leurs dérivés ont été incriminés dans la survenue d'une intoxication aigue, l'a méthémoglobinémie, chez les nouveau-nés et dans la survenue de cancers à long terme, en particulier digestifs, dans la population générale. Les acquisitions récentes concernant le métabolisme des nitrates ainsi que l'analyse des données expérimentales et de la littérature épidémiologique accumulée depuis une trentaine d'années montrent cependant que leur toxicité pour l'homme a été largement surestimée. (Direction générale de la santé (DGS) 2005).

➤ **Chez le nourrisson :**

Les nitrates ont été incriminés dans la survenue de la méthémoglobinémie (ou maladie bleue). La formation des nitrites, à partir des nitrates ingérés, est réalisée par la flore bactérienne intestinale. Chez les enfants, les nitrites en excès provoquent une moindre capacité des globules rouges à fixer et transporter l'oxygène d'où une cyanose. L'effet produit est proche de celui lié à l'intoxication par le monoxyde de carbone. Cet effet est bien démontré lorsque les taux de nitrates sont très élevés. Dans son avis du 7 juillet 1998, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France a rapporté qu'aucun cas de méthémoglobinémie n'était décelé chez des nourrissons consommant une eau de teneur inférieure au seuil de 50 mg/l (valeur guide de l'OMS), le risque n'apparaissant qu'au-delà de ce seuil, notamment au-delà de 100 mg/l. Cette maladie n'a donc été observée que dans des cas extrêmement rares. De plus, dernièrement, il a été montré que le risque de méthémoglobinémie était en réalité plus lié à la pollution bactériologique de l'eau, qu'à la présence de nitrates¹⁴. Ceci car la transformation des nitrates en nitrites pourrait également avoir lieu dans l'eau, avant ingestion, quand celle-ci est fortement chargée en microorganismes. En effet, certaines études ont montré, dans le cas d'une consommation d'eaux de puits atteignant près de 40 fois la norme (2 000 mg/kg), l'absence de méthémoglobinémie quand de simples mesures d'hygiène alimentaire (faire bouillir au préalable l'eau du biberon) étaient respectées. Aujourd'hui, en France, un biberon préparé avec l'eau du robinet respectant la réglementation ne présente donc aucun risque sanitaire pour les nouveau-nés. Les cas détectés au cours des années passées ont presque toujours été dus aux nitrates en excès contenus dans l'alimentation solide du nourrisson (soupe de carotte, conserve familiale d'épinards). (Fritsch, P., Saint-Blanquat, G. 1985)

➤ **En population générale :**

Les nitrates ne sont pas directement cancérigènes alors que les nitrites, de forme transitoire et instable, seraient associés à certaines formes de cancers, notamment des cancers digestifs, de l'estomac et de l'œsophage. En effet, dans un milieu acide comme celui de l'estomac, les nitrites réagissent avec différents produits de décomposition des protéines de la viande : polyamines, proline, amines diverses. Il s'ensuit la production de nitrosamines, dont la première cible est l'estomac et dont le pouvoir cancérigène a été montré chez l'homme en exposition professionnelle. Aucune association n'a été établie pour la population générale. Dans sa troisième révision de 1998 sur les limites de qualité pour l'eau, l'OMS ne retient pas l'hypothèse d'un excès de risque de cancers liés aux nitrates et nitrites tant que l'hypothèse n'est pas confirmée par les études épidémiologiques. On note donc que les nitrates des eaux de boisson font l'objet de suspicions dans la recherche d'un lien avec les cancers. Aucune association n'a pu être établie à ce jour entre la consommation prolongée d'une eau de boisson riche en nitrates et la survenue de cancers dans la population générale¹⁴. Plusieurs expertises collectives ont conclu à l'innocuité des nitrates alimentaires et à l'inadéquation de la réglementation actuelle. En revanche, les nitrates des légumes

ont tendance à être innocentés en raison de leur richesse en antioxydants qui inhibent la transformation des nitrates en nitrites. Il est aujourd'hui parfaitement démontré que la consommation de légumes est liée à une incidence moindre des cancers digestifs. Leclerc, (FNCLCC.2005).

➤ **Effets indirects**

L'eutrophisation des eaux, provoquée par des excès de phosphates et de nitrates et à l'origine de la production de toxines par des micro algues, peut constituer un risque indirect pour la santé. Ces toxines sont problématiques pour la santé des baigneurs [Cf. «L'eau»] mais aussi pour celle des consommateurs de crustacés filtreurs (huîtres, moules, crabe, etc.) qui bio accumulent ces toxines et peuvent être à l'origine d'intoxications⁷. En France, on compte principalement trois types de toxines dangereuses : les toxines diarrhéiques, les toxines paralysantes et les toxines amnésiantes. (H., Vincent, P & Vandevenne. 1991).

III.4. Concentrations de nitrates dans l'eau potable :

Pour le paramètre nitrate, l'OMS indique que la valeur guide de 50 mg/L est fondée sur des données épidémiologiques mettant en avant des cas de méthémoglobinémie chez le nourrisson. Cette valeur guide est protectrice pour les nourrissons en cas d'exposition aiguë, mais aussi pour l'ensemble de la population. L'OMS met un accent sur le rôle de la contamination microbiologique de l'eau entraînant une infection du tube digestif qui peut augmenter significativement le risque pour les nourrissons. A cette fin, l'OMS propose une mesure de gestion concernant un dépassement sur la valeur limite dans l'eau pour les nitrates avec une concentration comprise entre 50 et 100 mg/L. Ainsi, sous la double condition d'une salubrité microbiologique des eaux d'une part et d'une surveillance médicale accrue de la population sensible exposée d'autre part (en particulier les nourrissons), une eau présentant une concentration en nitrate comprise entre 50 et 100 mg/L pourrait être temporairement distribuée (OMS, 2007).

Tableau 1 : Valeurs de référence proposées pour les nitrates par différents organismes

Valeur directive 98/83/CE Annexe IB	Valeur guide OMS 2005	Health Canada	US EPA
50mg/l	50mg/l	45mg/l	45mg/l

Tableau 2 : Historique de la construction de valeurs guides pour les nitrates et les nitrites.

Date	Document	Nitrates	Nitrites
1958	International standards for drinking water	L'ingestion d'eau contenant plus de 50 -100mg NO ₃ /l risque de provoquer des méthémoglobinémies chez les nourrissons de moins d'un an	
1963	International standards	Valeur recommandation 45mg NO ₃ /l	
1971	International standards	Valeur recommandation 45mg NO ₃ /l +mention d'une possibilité de formation endogène de composée N-nitrosés	
1984	1 ^{ère} édition guidelines for drinking water quality	Valeur guide: 10mg N-Nitrate /l	Les concentration en N-nitrites doivent etre très inférieur à 1mg/l quand l'eau est bien traitée
1994	2 ^{ème} édition guidelines for drinking water quality	Valeur guide : 50 mg NO ₃ /l	Valeur guide provisoire : 3mg/l
		$(C_{NO3}/50 + C_{NO2}/3) < 1$	
1998	2 ^{ème} édition guidelines for drinking water quality addendum	Valeur guide : 50 mg NO ₃ /l	Valeur guide 3mg/l méthémoglobinémie du nourrisson
		$(C_{NO3}/50 + C_{NO2}/3) < 1$	
2007	3 ^{ème} édition guidelines for drinking water quality	Pas de nouveaux éléments pour Guide 50mg /l pour les nitrates. Un accent sur le role de la microbiologique de l'eau entrainant Digestif qui peut augmenter Risque pour les nourrissons	Revoir la valeur de L'OMS met cependant contamination une infection du tube significativement le

Chapitre IV : Présentation de la zone d'étude

IV.1. Situation géographique de Djelfa

Le secteur d'étude appartient à la grande plaine de Ain-Oussera qui s'insère dans le cadre géographique des hautes plaines Algéroises entre 2°15' et 3°45' de longitude Est et entre 35° et 35°40' de latitude Nord. Notre zone d'étude d'une superficie d'environ 100 Km², est limitée au Nord Est par la commune de Birine et au Sud-Ouest par la commune d'Ain-Oussera qui se trouve à environ 200 km au Sud d'Alger et à 100 km, au Nord de Djelfa. La surface topographique de la région d'étude est relativement plate, l'altitude moyenne est de 660 m.

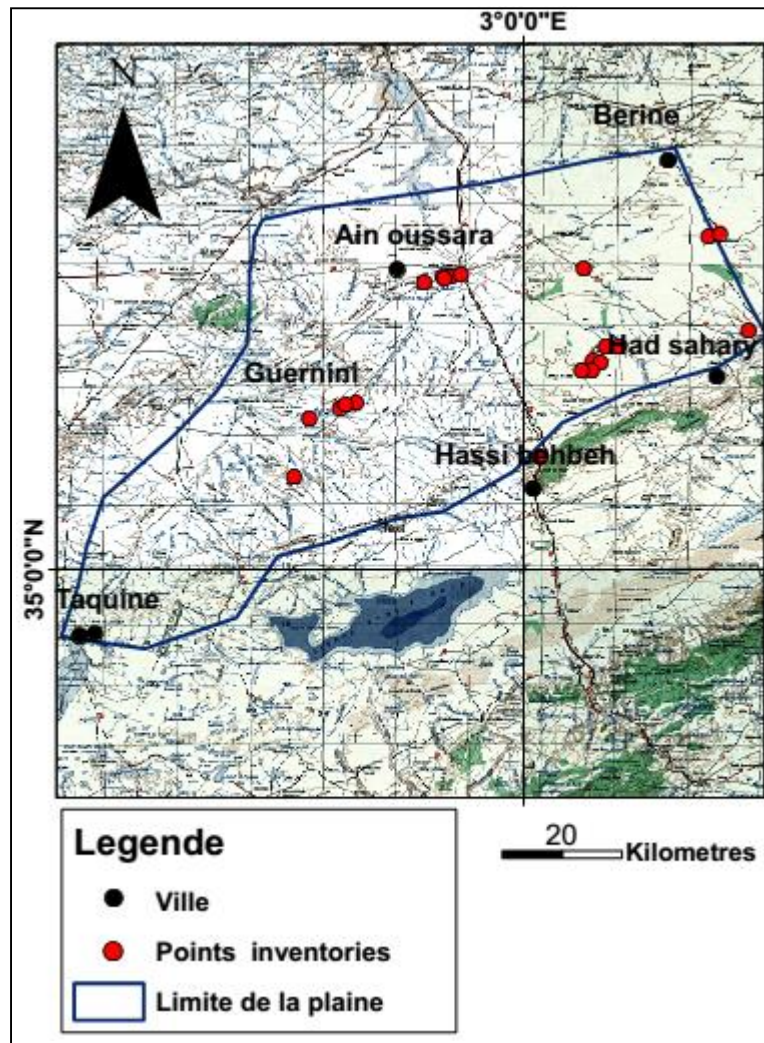


Figure 16 : Carte situation de la plaine d'Ain Oussera (Arc-gis 2021)

IV.2. Caractéristiques physiques

IV.2.1. Le relief

La plaine d'Ain oussera montre un relief relativement peu tourmenté. L'altitude y varie de 700 m à 800 m. elle augmente faiblement du nord vers le sud. A l'Est, en s'approchant de la chaîne des Sebaa Rous, l'altitude dépasse les 900m

La principale agglomération de la plaine est la ville d'Ain oussera qui se situe à environ 200 km au sud d'Alger et 90 km au Nord de Djelfa. La plaine est occupée par 08 communes. Le tableau ci-dessous montre le nombre des habitas en 2014 pour chaque commune.

IV.3. Géomorphologie :

La région d'étude se caractérise par trois individualités géomorphologiques qui sont :

IV.3.1. Le massif montagneux au sud

C'est une série des anticlinaux allongée d'ouest en Est sur un axe, où ses crêtes s'élèvent brusquement au-dessus du plateau steppique, avec des altitudes variant entre 1000 et 1200 m formé par oukat gharbi et chergui Sbaa Rous et djebel Remila.

IV.3.2. La plaine

C'est une surface plate ou modérément ondulée, elle est limitée au sud par le massif montagneux de Djbel Remila, Sbaa Rous et oukat el gharbi et chergui au nord par les crêtes rectilignes de Koudiat Bou Chakeur et Djbel Es Sersou et à l'ouest par oued Touil. L'altitude de la plaine d'Ain Oussera oscille entre 632 m et 900 m et sa superficie est de 3795 km²

IV.3.3. Oued touil

Constitue la limite occidentale de la plaine d'ain oussera, il prend sa source dans l'Atlas saharien dans Djebel Ammour. Il traverse les hautes plaines de la wilaya de Laghouat, Djelfa et Tiaret de Médéa, avec une orientation SW_NE jusqu'à le village de chahbonia pour rejoindre Oued Nahr Ouassel et les affluents d'Oued Feggoussia et continue son écoulement jusqu'à son embouchure dans le barrage de Boughazoul. (Mebrouk .1994)

IV.4. la couverture végétale :

La couverture végétale est très dispersée, la plaine est recouverte par d'alfa et armoise dans les oueds abondent par endroit les lauriers et sur les reliefs se maintiennent quelques forêts clairsemées. (DPAT.2014)

IV.5. Elevage et Agriculture :

La région est vocation pastorale, l'élevage constitue l'activité la plus prédominante (élevage ovin, caprin et le bovin) sur le plan agricole les surfaces irriguées occupent une surface non négligeable et se localisaient dans le plateau de Sersou et sud-Ouest de Birine, il s'agit des cultures annuelles. (DPAT.2014).

IV.6. Utilisation des eaux :

La nappe superficielle de la région d'étude assure 90% des besoins en eau de la population. L'alimentation en eau, inclut la fourniture d'eau pour la population, l'abreuvement du cheptel et l'irrigation des cultures. Une quarantaine de puits ont été recensés dans la région d'étude, 50% seulement sont exploités actuellement, le reste est soit comblé, soit sec. Depuis l'an 2002, dans le cadre du programme de mise en valeur des terres, 40% des puits recensés ont été équipés de motopompes, pour le reste l'exhaure s'effectue avec des moyens traditionnels actionnés à la main ou au moyen d'animaux. VANDEWIELLE A. (1999).

IV.7. Réseau Hydrographique :

L'ensemble des oueds parcourent la plaine d'Ain Oussera fait partie du grand bassin versant Cheliff dont le plus important est Oued Touil. Le réseau hydrographique qui draine la plaine est en générale peu développé. Ainsi que toutes les cours d'eaux se caractérisent par un régime irrégulier à écoulement principale sous orme des crues, leur orientation est conditionnée par le paramètre morpho métrique du bassin versant. Le sens d'écoulement des oueds se fait du sud vers le nord

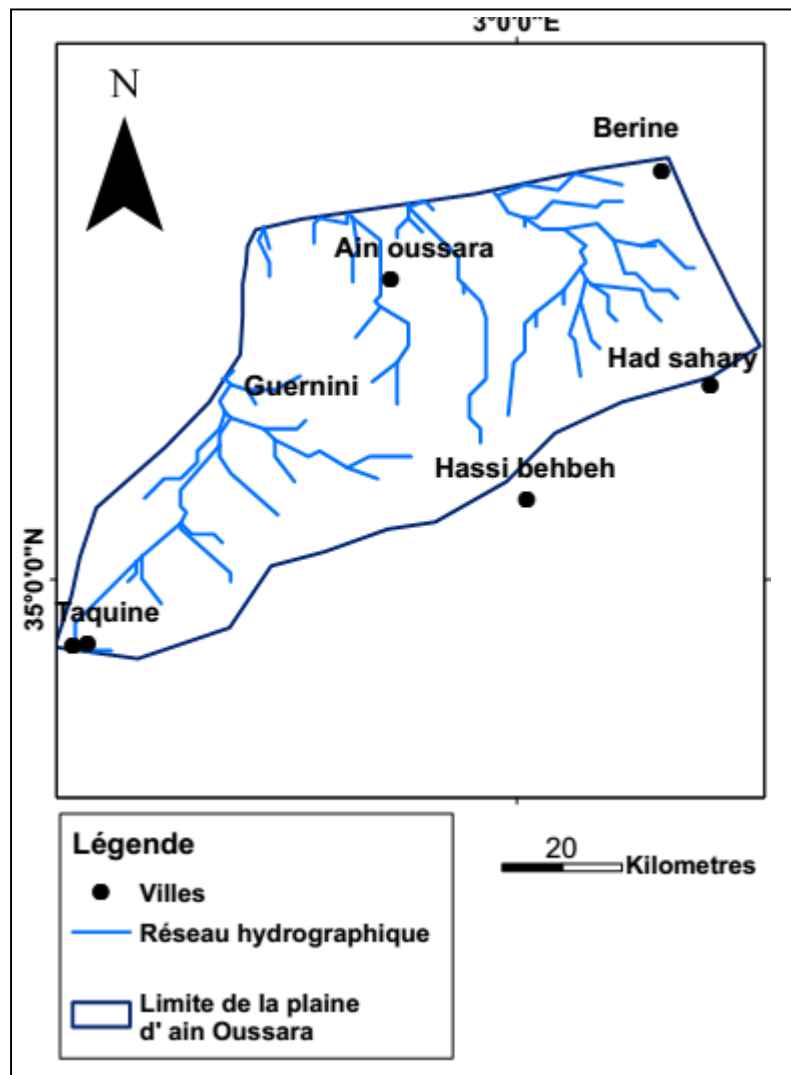


Figure 17 : Carte réseau hydrographique de la plaine d'Ain Oussera (Arc-gis 2021)

IV.8. Cadre géologique :

La région d'Ain-Oussera se situe dans la partie centre des hauts plateaux. La zone d'étude est limitée au Nord par les écailles de Birine et recouverte dans son ensemble par les dépôts alluvionnaires du Plio-Quaternaire. Ces alluvions, peuvent être regroupées en deux grands ensembles ; on trouve de haut en bas Caratini, C. (1970):

- ❖ Ensemble sablo-limoneux de surface à sableux. Il est souvent entrecoupé par une formation d'encroûtements calcaires à matrice sablo-limoneuse. L'épaisseur de l'ensemble peut aller Jusqu'à 12 m.
- ❖ Ensemble sablo-argileux devenant argilo-sableux à la base, certains passages sont très riche en gravillons et en concrétions calcaires.

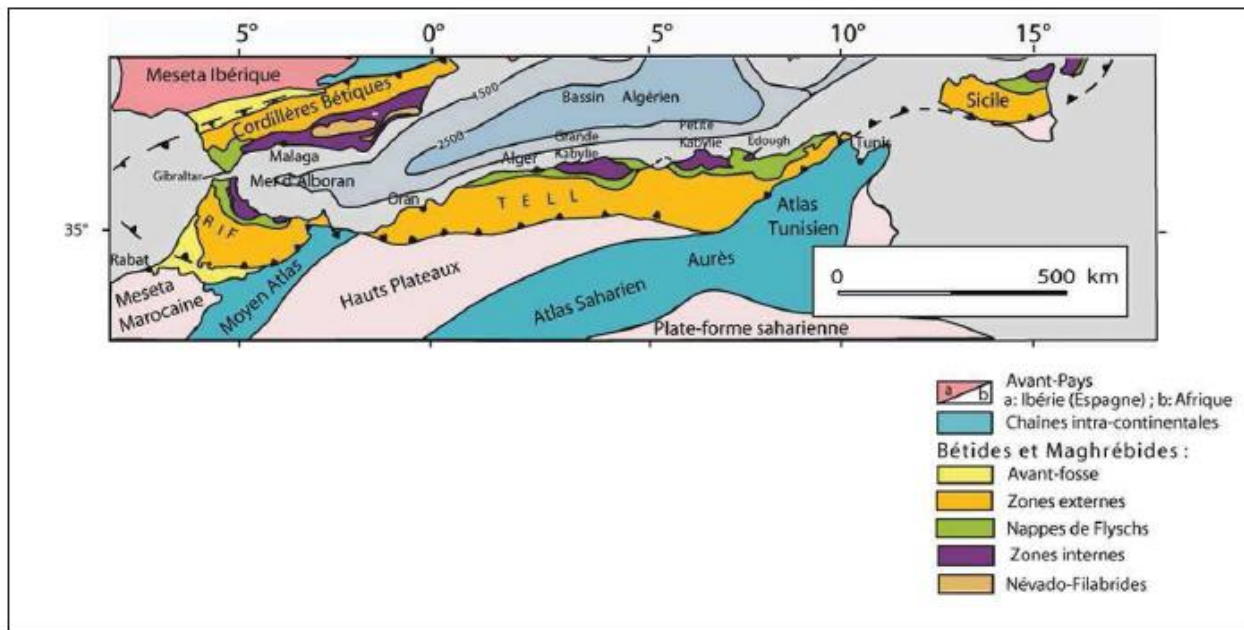


Figure 18 : Schéma structurale des chaines alpines de la Méditerranée occidentale (Delga, 1969).

IV.9. Cadre hydrologique :

Ain Oussera jouit d'un climat continental, froid et assez humide en hiver, très chaud et sec en été. La saison du printemps y est très courte.

IV.9.1.La précipitations

Est très capricieux, si bien qu'elle peut varier du simple au double d'une année à l'autre. Les tempêtes de sable y sont courantes, notamment en été. Trois aspects liés à l'environnement sont à relever au niveau du site à savoir le passage de l'oued à l'Ouest du site, l'élevage à l'intérieur des constructions et le rejet non contrôlé des ordures. Ces aspects peuvent porter atteinte à la santé de la population du site. (AIEA. 1974)

IV.9.2.La température :

Pour l'agglomération d'Ain Oussera L'élément température est jugé déterminant dans le choix : De l'organisation urbaine (création des zones d'ombre et des espaces verts pour générer des micro climats à l'intérieur des îlots d'habitations).

Des matériaux de construction à utiliser.

D'une manière générale la région est caractérisée par deux saisons contrastées de point de vue température un été chaud où la température est très importante. Un hiver froid qui connaît une chute de température avec formation de la gelée blanche La température est marquée par des grands écarts dans ses valeurs saisonnières et même journalières. (AIEA. 1995)

Chapitre V :

Matériels et méthodes utilisées

Introduction :

Un système d'Information Géographique est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. Les enjeux majeurs auxquels nous avons à faire face aujourd'hui (environnement, démographie, santé publique...) ont tous un lien étroit avec la géographie.

De nombreux autres domaines tels que la recherche et le développement de nouveaux marchés, l'étude d'impact d'une construction, l'organisation du territoire, la gestion de réseaux, le suivi en temps réel de véhicules, la protection civile... sont aussi directement concernés par la puissance des SIG pour créer des cartes, pour intégrer tout type d'information, pour mieux visualiser les différents scénarios, pour mieux présenter les idées et pour mieux appréhender l'étendue des solutions possibles.

Les SIG sont utilisés par tous ; collectivités territoriales, secteur public, entreprise, écoles, administrations, états utilisent les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). La création de cartes et l'analyse géographique ne sont pas des procédés nouveaux, mais les SIG procurent une plus grande vitesse et proposent des outils sans cesse innovant dans l'analyse, la compréhension et la résolution des problèmes. Galati, Stephen R. (2006)

v.1 .Matériels et logiciels utilisés**V.1.1. Matériels :**

Les outils que nous pouvons utiliser sont :

➤ **Un micro-portable :**

Dont les caractéristiques suivantes :

✚ **Édition** : Windows 10 Professionnel

✚ **Processeur** : Intel(R) Celeron(R) CPU N2830 @ 2.16GHZ 2.16 GHz Mémoire vive installée 2,00 Go (1,89 Go utilisable)

✚ **Type du système** : Système d'exploitation 32 bits, processeur x64

V.1.2. Carte topographique de la plaine d'Ain oussera à l'échelle de 1/200000.**V.1.1.1. Matériels utilisées dans le bureau****V.1.3. Les logiciels :**

Pour la réalisation de notre étude on a utilisé logiciel SIG l'ArcGis (version. 10.2.2)

V.1.3.1. Arc Gis version 10.2.2 :

ArcGIS 10.2 est une version complète de la plateforme ArcGIS. Elle intègre des fonctionnalités améliorées, une stabilité accrue et une meilleure prise en charge de la connectivité, de la sécurité et de l'adéquation au milieu d'entreprise. (ESRI 2009)

V.1.4. 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 la plaine d'Ain Oussera Djelfa (ANRH).

Au total 21 prélèvements pour les analyses physico-chimiques ont été effectués en 2009.

V.2. Méthodologie adoptée :

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. 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.

V.3.Démarches et procédures

Le schéma suivant montre les différentes démarches et procédures méthodologiques suivies

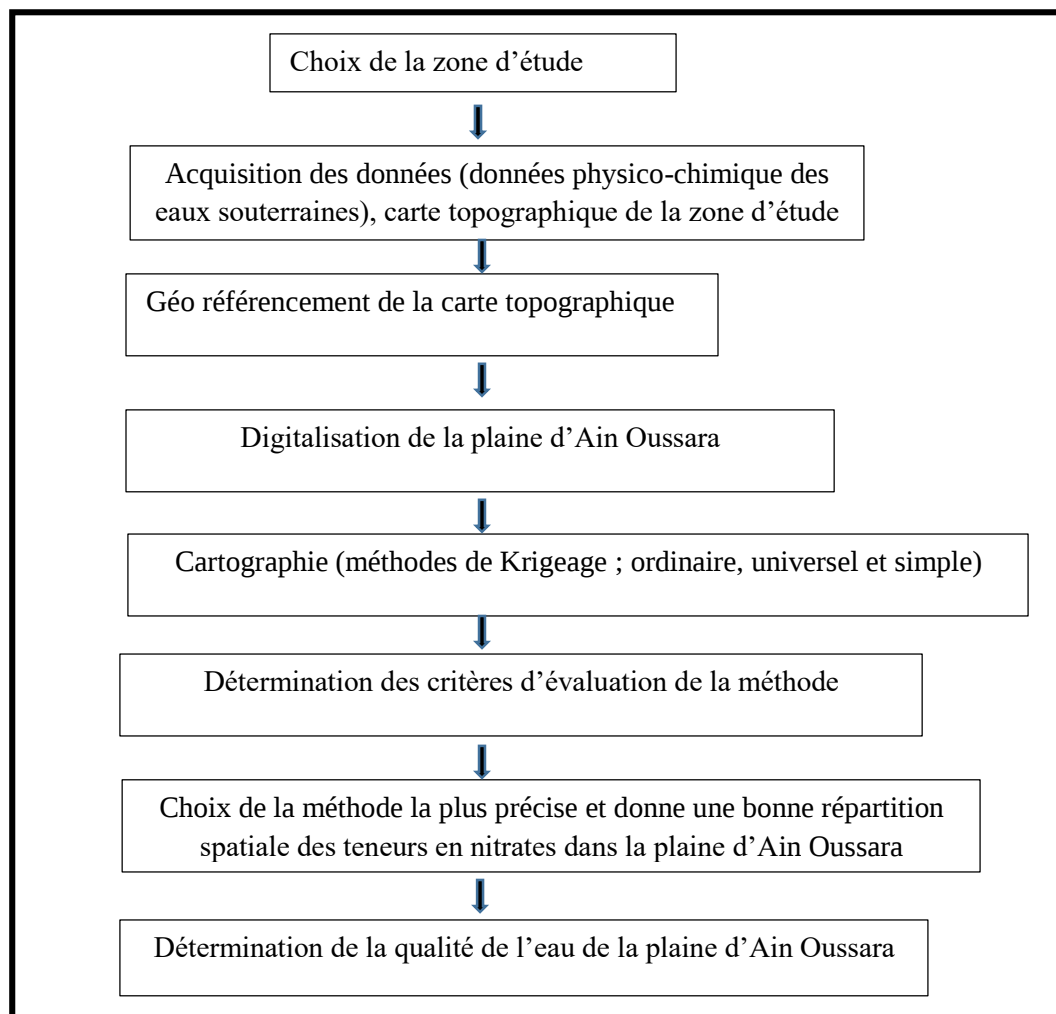


Figure 19 : Organigramme de réalisation de SIG

Chapitre VI :

Résultats et discussions

VI.1. Analyse statistique descriptive des données :

Les différents paramètres sont récapitulés dans le tableau 3

Paramètres	Valeurs
Nombres points inventories	21
Minimum	3.5
Maximum	32
Moyenne	13.643
Ecart type	8.9381
Variance	79.8896
Médiane	11
3 ^{ème} Quartile	18.4
Coefficient d'asymétrie	0.8857
Coefficient d'aplatissement	2.5835
Coefficient de variation	0.6551

Tableau 3 : Les différents paramètres de l'analyse statistique descriptive des données

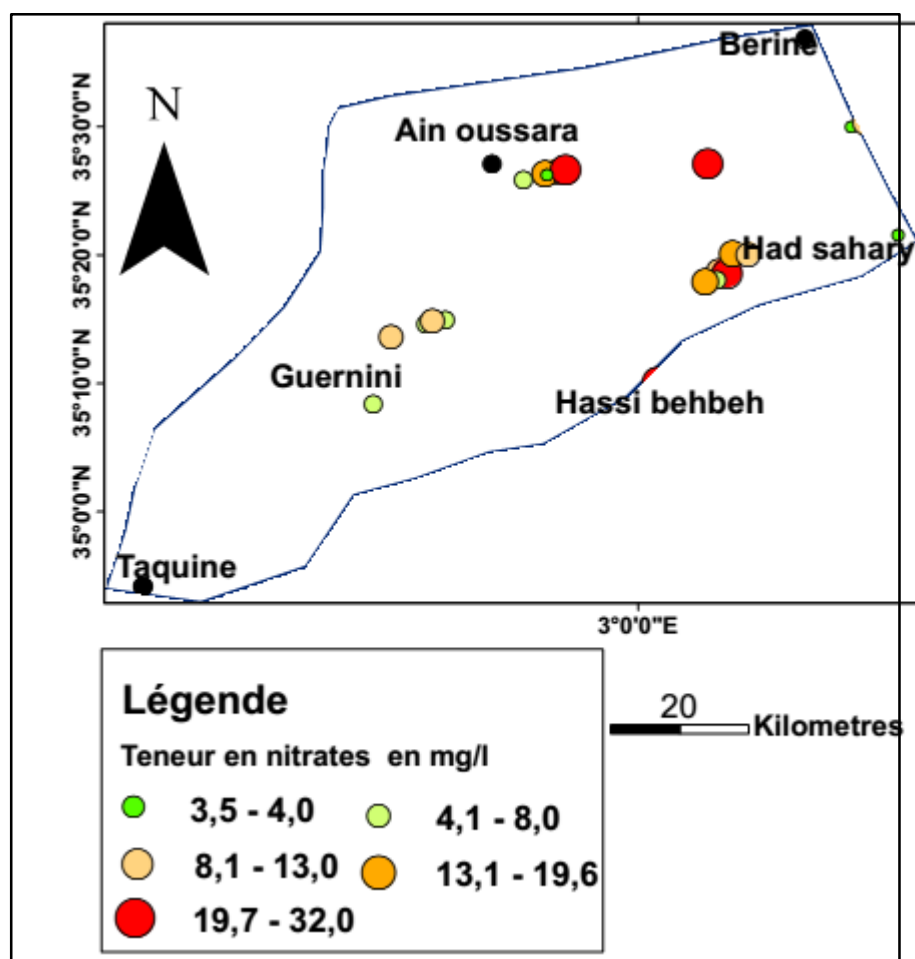


Figure 20 : Répartition spatiale des données inventories

Pour 21 points inventories, nous avons une étendue de 28.5 mg/l, c'est-à-dire une valeur minimale de 3.5 mg/l et une valeur maximale de 32 mg/l. Nous avons une différence entre la médiane (valeur centrée) (11 mg/l) et la moyenne (13.642 mg/l).

Le coefficient de variance traduit une dispersion relative de 65.51%, alors que l'écart type une dispersion absolue de 8.9381. Nos données présentent une légère asymétrie positive de 0,8857. Notre distribution marque un léger coefficient d'aplatissement de 2.5835.

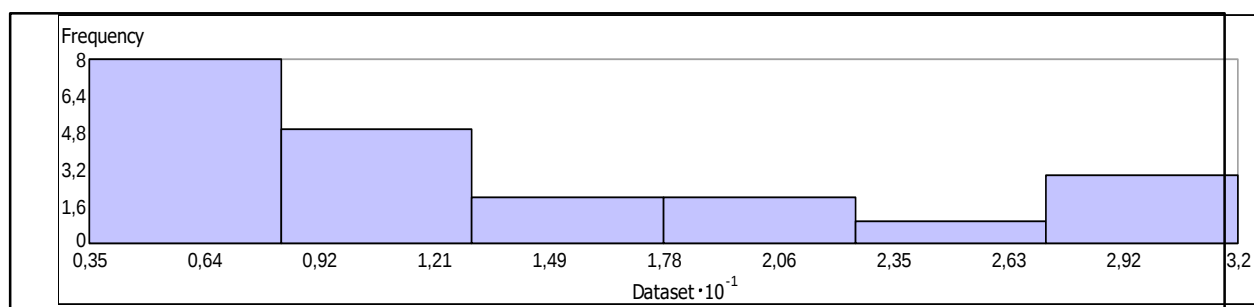


Figure 21 : Histogramme des fréquences de données des nitrates

La figure est un diagramme représentatif de la distribution de fréquences par intervalle de classes des données des nitrates mesurées. L'effectif n n'est pas régulier, on remarquera, 13 points inventories ayant une concentration supérieure à 10 mg/l.

VI.2. Analyse géostatistique (krigeage ordinaire)

VI.2.1. Etude de la structure et la modélisation du variogramme

L'analyse variographique est essentielle pour la mise en application de la méthode d'interpolation choisie. Le calcul du variogramme permettra de tracer les cartes.

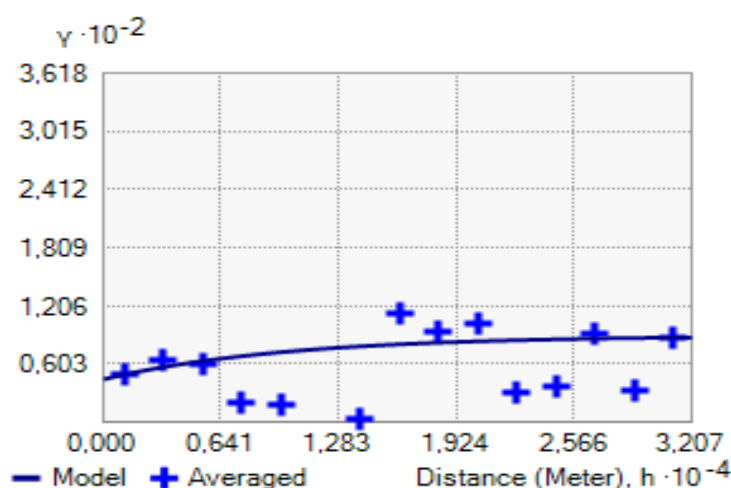


Figure 22 : Modèle d'ajustement par krigeage ordinaire

La figure 22 montre que le variogramme expérimental, cette ajustement affecte les estimations par krigeage ordinaire, Ainsi la fonction d'ajustement de ce variogramme est une fonction Gaussienne, avec un effet de pépité de 60.073 (mg/l), et une portée de 18.029 km.

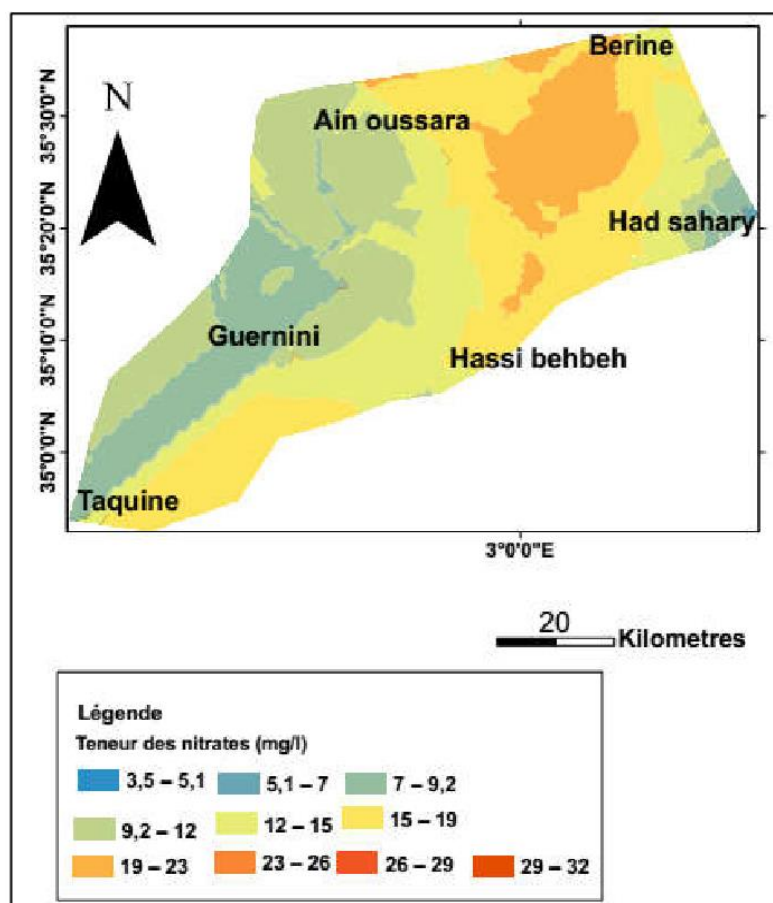


Figure 23 : La carte d'isoteneurs en N3 , montre des fortes concentrations dans la partie nord est de (19-32mg/l)

VI.2.2. Contrôle de la précision du modèle d'interpolation

Cette opération permet de vérifier l'adéquation de la méthode d'interpolation utilisée, Les statistiques de la moyenne des erreurs d'estimation et l'écart type des erreurs d'estimation de la méthode sont récapitulées dans le tableau 4

Tableau 4 : Les statistiques de la moyenne des erreurs d'estimation et L'écart type des erreurs d'estimation de la méthode

Méthode d'interpolation	Moyenne d'erreurs d'estimation	Ecart-type des erreurs
Krigeage ordinaire	0.028	1,025

Les résultats de tableau montrent que le krigeage ordinaire est plus précis au sens statistique, d'interpolation car la moyenne des erreurs d'estimation est proche de zéro et l'écart type des erreurs d'estimation est le plus petit et proche de 1.

Conclusion

Nous venons de voir la méthode de krigeage ordinaire et il en existe encore un grand nombre. Il est difficile de préconiser une méthode plutôt qu'une autre. C'est pourquoi il est conseillé d'utiliser systématiquement le contrôle de la précision du modèle d'interpolation qui donne les moyens de comparer les diverses méthodes.

Conclusion Générale

L'objectif de ce travail a été de créer une carte de la répartition des nitrates à la plaine d'Ain Oussera dans la région de Djelfa. A partir d'un 21 échantillon.

Une recherche bibliographique a permis d'étudier les bases des techniques d'interpolations spatiales et notamment celle du krigeage ordinaire. Cette dernière a été présentée d'un point de vue théorique et appliquée.

L'analyse variographique fait la force et la faiblesse du krigeage. Elle permet en effet à l'instar des méthodes déterministes, de modéliser la structure spatiale de la variable régionalisée (anisotropie, dépendance et corrélation spatiale entre les observations)

Suivant le nombre de sites d'observation, leur dispersion géographique, les modalités de la variable observée, il se peut qu'une méthode d'interpolation soit préférable à une autre. Il n'en reste pas moins que l'utilisateur ne pourra pas faire l'économie de tester plusieurs méthodes d'interpolation et utiliser la validation croisée pour valider ses résultats.

L'étude géostatistiques a mis en évidence la configuration actuelle du réseau de surveillance et la pollution par les nitrates les plages de fortes valeurs se localisent dans la partie nord est de (19-32mg/l) ceci peut s'expliquer par le volume des rejets directes ; des eaux industrielles et urbaines et la nourriture par des doses massives d'engrais chimiques (azote, phosphate et potassium (NPK)).

Références Bibliographique

Références bibliographiques

- A.N.R.H. (1983).** Rapport d'étude hydrogéologique de la nappe d'Ain Oussera. N°83. DHYG.011. 48p. A.N.R.H. Alger.
- AIEA. (1974)-** Isotopes techniques in groundwater hydrology, symposium, Vienna 11-15 Mars.
- AIEA. (1995)-** Les isotopes dans la gestion de l'eau et de l'environnement
- Anoni, A., C. Luzet, E. Gubler, and J. Ihde (Eds.) (2003),** *Map projections for Europe*. Institute for Environment and Sustainability, European Communities
- BALDUCCHI F. (dir.Lacroix A.), 1994.** Le traitement des nitrates dans l'eau potable. Bilan technico-économique. INRA R&A, Grenoble, 31 pages ;
- BILLAUDOT F., 1988.** La pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. Ann. Voir. Environ., 143,6, 172-180.
- Bogaert p. 2007.** Analyse statistique de données spatiales et temporelles. Notes de cours. Université catholique de Louvain Krigeage, Gratton Y., Les Articles de l'IAG [archive]
- BORDIN Patricia, 2002,** SIG concept outils et données, Lavoisier, Paris.
- Caratini, C. (1970).** Etude géologique de la région de Chellala-Reibell. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, Alger, sér.n°40, 2 vol., pp. 1-311.
- Chang, K.T. (2016)** Introduction to geographic information systems. Huitième édition. New
- Chevassus-au-Louis B., Andral B., Feminas A. & Bouvier M. (2012)** *Bilan des connaissances scientifiques sur les causes de prolifération de macroalgues vertes – Application à la situation de la Bretagne et propositions*. Ministère de l'Écologie et Développement Durable et Ministère de l'Agriculture. 147 p.
- Communauté de Communes d'Erdre et Gesvres .(CCEG).2005.** Système d'Information Géographique (SIG)
- COURBON Paul, 2007,** Cinquante ans d'évolution topographique, l'informatique et le traitement des données, XYZ n°112, pp. 29 à 36.
- Cours 3ème Année hydraulique spécialité hydraulique .matière SIG**
- CREATE, 1993.** Rapport sur l'élimination des nitrates de l'eau potable. Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Références bibliographiques

- Cressie N. 1993.** Statistics for Spatial Data. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics. John Wiley & Sons Inc., New York. Revised reprint of the 1991 edition, A Wiley-Interscience Publication. (27/06/2021)
- DeMers, Michael N. (2005).** Fundamentals of Geographic Information Systems. 3rd Edition. Wiley. ISBN: 9814126195. (01/06/2021)
- Direction générale de la santé (DGS) 2005.** L'eau potable en France, 2002-2004. Guide technique Eau et santé,juil., 53p.
- DPAT. (2014).** Monographie de la Wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, 375 p.
- DUBOZ A., 1992** Pollution par les nitrates des eaux destinées à l'alimentation humaine.Causes et conséquences - Traitements possibles. Cons. Gén. GREF, Paris. 23 P.
- Dupuy, A., Moumtaz, R. & Banton, O. (1997).** Contamination nitratée des eaux souterraines d'un bassin versant agricole hétérogène 2. Évolution des concentrations dans la nappe. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 10(2), 185–198
- Fédération nationale des centres de lutte contre le cancer (FNCLCC) 2005.** Le dictionnaire des cancers de A à Z.Définition des nitrates, mise à jour du 20 déc., 1p.
- Flandrin, J., Aymé, A. (1951).** Carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500 000. Service de la carte géologique.
- FOULHOUSER., 1988.** Nitrates et eaux d'alimentation. TSM-Eau, 83, 4, 171-176.(66/61540)
- Frankich, K. (1982),** *Optimization of geographic map projections for Canadian territory*. Simon Fraser University, Vancouver.
- Fritsch, P., Saint-Blanquat, G. (1985)** La pollution par les nitrates. La Recherche. N° 169, pp. 1106-1115.
- Galati, Stephen R. (2006):** Geographic Information Systems Demystified. Artech House Inc. ISBN: 158053533X (1/06/2021).
- Guy BONNEROT, Estelle DUCOM, Fernand JOLY, « CARTOGRAPHIE »,** Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 16 septembre 2021.

Références bibliographiques

- Heine, G. W. 1986.** "A Controlled Study of Some Two-Dimensional Interpolation Methods." COGS Computer Contributions 3 (no. 2) : 60–72.. (27/0/2021).
- Jean Denègre et François Salgé . 2004.** « Les systèmes d’information géographique » 2 ème éditionédition PUF collection Que sais-je ?
- Leclerc, H., Vincent, P & Vandevenne. (1991).** Nitrates dans l’eau de boisson et cancer – Discussion. P. Bull. Acad.Natl Med., 175, 651-666
- Marsily G. 2003.**Les nitrates, p.54-58 in Miquel G., Revol H., Birraux C., office parlementaire d’évaluationdes choix scientifiques et technologiques. La qualité de l’eau et de l’assainissement en France. Assemblée nationale n°705, Sénat n°215, , tome 1, 195p.
- Matheron G. 1962.** Traité de géostatistique appliquée, tome I. In E. Technip (ed.), Mémoires du Bureau de recherches géologiques et minières, no 14. Paris.
- McBratney, A. B. et R. Webster. 1986**"Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates." Journal of Soil Science 37: 617-639.. (27/6/2021).
- Mém. DESS, Fac. Histoire Géographie, Amiens
- Mme C.ZAIDI, M. A.S. MOULLA.** Centre de Recherche Nucléaire de Birine : BP 180 Ain-Oussera 17200, Djelfa
- Mr. Nabed Abdelkader Nadir,** S.I.G appliqué aux sciences de l’eau ,UHBC,Année universitaire 2019/2020.
- Oliver, M. A. 1990.**"Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems." International Journal of Geographic Information Systems 4 : 313-332..(27/06/2021).
- Pierre Chauvet, 1999 .**Aide-mémoire de géostatistique linéaire, Paris, Les Presses de l’École des Mines, août (réimpr. 1993, 1994, 1998, 1999, 2008) (1^{re} éd. 1989), 367 p.(27/06/2021)
- Schoeller, H. (1962).** Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources.
- Snyder, J. P. and M. P. Voxland (1989),** *Album of Map Projection*, US Geological Survey, Professional Page 1453.

Références bibliographiques

Sophie Baillargeon, 2005, Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations, FACULTE DES SCIENCES ET DE GENIE UNIVERSITE LAVAL QUEBEC.

VANDEWIELLE A. (1999)- Le point sur la vulnérabilité et la protection des captages d'eau potable, **Vilaginès R.2003**. Eau, Environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. Éditions Tec & Doc, 2ème éd., 109p.

Walid TABBARA, Geostatistical techniques for spatial interpolation from observations and numerical simulation output, Université Pierre et Marie Curie Paris 6; Supélec, L2S, 3 rue Joliot Curie, Plateau du Moulon.

York: McGraw-Hill Education.

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.