

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد تلمسان

UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de
Master en Hydraulique.

Option : Ouvrages Hydrauliques

Méthodologie d'interpolation spatiale de mesure
de précipitation (étude du cas)

Présenté par :

Elhacen Mohamed Mahmoud Bane

Soutenu le : 24/12/2020, Devant les membres du Jury :

- Mm BENSAOULA Fouzia Pr
Président

- Mr BOUANANI Abderrezak PR
Examineur

- Mm LALLAM Faiza MCB
Encadreur

-Mr DEBBAL Mohammed Zakaria MAA
Co-encadreur

Promotion : 2019-2020

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH pour m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour réussir et de m'avoir éclairci le chemin tout au long de ma vie. Tous mes respects et ma reconnaissance vont à ma famille surtout les parents, source de ma motivation et de mes espoirs, je leur dédie mon travail.

Je remercie encore l'Encadreur Mm LALLAM FAIZA, d'avoir proposé le sujet et pour avoir suivi mon travail Je remercie tout particulièrement les membres du jury :

- Mm BENSAOULA Fouzia Pr
Président
- Mr BOUANANI Abderrezak PR
Examineur
- Mm LALLAM Faiza MCB
Encadreur
- Mr DEBBAL Mohammed Zakaria MAA
Co-encadreur

Précisément. A Tous Mes enseignants tout au long de mes études. A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui m'ont encadré, à tous ceux qui m'ont encouragé, à tous ceux qui m'ont accordé confiance, à tous ceux qui m'ont montré leur intérêt à vous tous MERCI !!

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Celle qui a souffert pour moi et qui s'est sacrifiée corps et âme pour m'offrir un milieu favorable pour ma croissance morale :

Ma mère.

Mon père qui m'a soutenu et veillé à mon éducation.

A ma chère sœur Mouna, que Dieu les protège.

A mes très chers frères Teyeb, Mohamed, Sidi, que Dieu les protège.

A toute ma grande famille.

A mes chères et fidèles Amis Mostafa, Mohamed, Cheikh

A tous mes enseignants de tous les cycles d'étude.

A ceux qui m'ont connue de près ou de loin.

ملخص

إن أهداف هذا العمل ذات شقين:

-من ناحية، هو دراسة التباين المكاني لمتوسط هطول الأمطار السنوي في موريتانيا على مدى 40 عامًا (1971 ، 2011).

-ومن ناحية أخرى استخراج خرائط بواسطة طريقتين (طريقة ثيسين وطريقة متساوية).

-قمنا بمعالجة وتحديد فترة الدراسة بعد جمع البيانات.

تحت التحليل 6 محطات إحصائية تمثل متوسط هطول الأمطار السنوي 166.65 ملم

توضح المقارنة بين طريقتين الاستيفاء (طريقة ثيسين وطريقة متساوية) أن طريقة التساوي أفضل من طريقة ثيسين

الكلمات المفتاحية: موريتانيا متوسط هطول الأمطار السنوي, طريقة ثيسين وطريقة متساوية

Résumé

Nous avons traité et déterminé la période d'étude après la collecte des données. En cours d'analyse 6 statistiques de stations représentant la moyenne annuelle des précipitations sont de 166,65 mm

Les but de ce travail sont doubles: d'une part, il s'agit d'une étude Variation spatiale de la pluviométrie annuelle moyenne dans le Mauritanie sur une période de 40 ans (1971, 2011), afin de développer cette Cartes par deux méthodes de Thiessen et isohyètes.

La comparaison entre les deux méthodes d'interpolation (méthode de Thiessen et isohyètes) montre que la méthode des isohyètes est la meilleure que la méthode de Thiessen

Mots clés : Mauritanie, pluviométrie annuelle moyenne, Méthodes de Thiessen et isohyètes.

Abstract

The goals of this work are twofold: on the one hand, it is a study of the spatial variation of average annual rainfall in Mauritania over a period of 40 years (1971, 2011), in order to develop this Maps by two Thiessen and isohyets methods.

We processed and determined the study period after data collection. Under analysis 6 station statistics representing the average annual precipitation are 166.65 mm

The comparison between the two interpolation methods (thiessen method and isohyets) shows that the isohyets method is better than the thiessen method

Key Word: Mauritania, rainfall, Thiessen and isohyetes methods

LA LISTE DES ABREVIATIONS :

ONM : office National de la Météorologie.

SIG : Système d'Information Géographique

MT : Méthode de Thiessen

MI: Méthode des Isohyètes

WMO: World Meteorological Organization

Et al: ET alia (And others)

Sommaire

Introduction générale	12
Partie I : Aperçu théorique	13
I-1.DEFINITIONS ET RAPPELS DE METEOROLOGIE:.....	14
I-2.Rappels sur les mesures de pluie.....	15
I-3.HOMOGENEISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES.....	16
I-4 La mesure des précipitations sur une surface.....	17
I-4-1. Erreurs sur la mesure	18
I-4-2.Les appareils de mesure.....	18
I-4-2.1. DEFINITION	18
I-5. Les lacunes dans les séries pluviométriques :	19
I-6. CARTOGRAPHIE	20
I-6.1. DEFINITION :	20
I-6.2. PROJECTION CARTOGRAPHIQUE :	20
I-6.3. SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) :	21
I-6.3.1. DEFINITION :	21
I-6.3.2. FONCTIONNALITES :	22
I-6.3.3. STRUCTURE :	22
I-7. METHODE D'ETUDE DES CARACTERISTIQUES SPATIALES DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES	23
I-7.1. INTERPOLATION SPATIALE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES :.....	23
I-7.1.2. CHOIX DE LA TECHNIQUE D'INTERPOLATION :.....	24
I-7.1.3. CARACTERISTIQUES DES METHODES D'INTERPOLATION :.....	25
I-7.1.4. LES METHODES DE L'INTERPOLATION :.....	26
I-7.1.4.1. METHODE DE THIESSEN.....	26
I-7.1.4.2. Méthode des isohyètes.....	27
I-7.1.4.3. Interpolations polynomiales.....	28
Partie II : présentation de la zone d'étude	30
II-1. Situation et climat de la zone d'étude.....	31
II-1.2. Climatologie de la zone d'étude.....	32
II-1.2.3. Pluviométrie	33
II-2. Relief	34
II-3. Géologie	35
II-4. Ressources en eau	36

II-4.1. Eaux de surface	36
II-4.2. Eaux souterraines.....	38
Partie III : outil, méthode et discussion des résultats	41
III-1.Introduction	42
III-2. Instrument de mesure de précipitations.....	42
III-3. Homogénéisation des données pluviométriques	42
III-4. Combler les lacunes en développant les données	42
III-4-1. Méthode d'Estimation des données manquantes	43
III-5. Analyse des données pluviométriques	43
III-5-1. Choix des stations pluviométriques	43
III-5-2. Interpolation	44
III-5-3. Représentation cartographique des données	44
III-6. Collecte et traitement des données de la pluviométrie	45
III-6-1. Cartographie de la pluviométrie moyenne annuelle.....	46
III-6-1-1. Présentation du logiciel ArcGis	46
III-6-1-2. Cartographie numérique de la pluviométrie moyenne annuelle de la méthode Thiessen	47
III-6-1-3. Cartographie numérique de la pluviométrie moyenne annuelle de la méthode isohyètes	50
III-6-1-4. La comparaison des résultats de deux méthodes appliquées	54
Conclusion :	55

Liste des figures

Figure1: Pluviographe, augets basculeurs et système d'enregistrement

Figure 2 : la projection

Figure 3 : structure de SIG

Figure 4 : Principe de l'interpolation

Figure 5 : Localisation géographique de la zone d'étude (mapinfo)

Figure6 : logiciel arcgis

Figure 7: feature vertices to point

Figure 8: create thiessen polygones

Figure 9 : Carte de la moyenne de la pluviométrie annuelle (élaboré par la méthode de Thiessen)

Figure 10: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation*

Figure 11 : carte élaboré par spline.

Figure 12 : carte élaboré par isohyètes.

Figure 13 : layer

Figure 14 : carte de la moyenne de la pluviométrie annuelle (élaboré par la méthode des isohyètes)

Liste des tableaux

Tableau 01 : Données pluviométriques des stations météorologiques (1971-2011)

Tableau 02 : les Stations pluviométriques

Tableau 03 : la pluviométrie annuelle de 6 stations

Tableau 04: Analyse Statistiques de données de la pluviométrie moyenne annuelle

Tableau 05 : Calcul de Pmoy (Méthode de Thiessen)

Tableau 06 : Calcul de Pmoy (Méthode des isohyètes)

Introduction générale

Pluviométrie mesure l'ensemble des précipitations sous forme de pluie, de grêle ou de neige qui se produisent sur une aire géographique et pendant une période données.

La pluviométrie est un facteur écologique essentiel. Avec la température, elle conditionne les climats terrestres, la nature et le fonctionnement des écosystèmes, leur productivité primaire, etc. Elle est, très probablement, le facteur le plus important conditionnant le développement des sociétés humaines et un enjeu géopolitique qui, bien qu'il soit souvent passé sous silence, est fondamental.

Dans notre zone d'étude (Mauritanie) le climat est chaud et désertique dans le centre nord, alors qu'il est semi-désertique dans le sud en raison des moussons d'été qui apportent quelques pluies entre juin et début octobre. Sur la côte, les brises marines modèrent la chaleur, mais le climat n'est tempéré que dans la partie nord, également affectée par un courant marin froid. Dans tout le pays, les vents peuvent apporter des tempêtes de sable.

Le domaine sahélien connaît des précipitations annuelles comprises entre 150 et 600 mm, alors que le domaine saharien se caractérise par une pluviométrie annuelle comprise entre 50 et 150 mm.

Les objectifs de ce travail sont :

- Détermination de la précipitation annuelle moyenne sur l'ensemble d'un bassin versant.
- Exploré des cartes à l'aide d'utilisation de logiciel ArcGis 10 par l'estimation de la pluviométrie annuelle par méthode de Thiessen et des isohyètes

Partie I : Aperçu théorique

I-1.DEFINITIONS ET RAPPELS DE METEOROLOGIE:

On englobe sous le terme de précipitations, toutes les eaux météoriques, ou hydrométéores, qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie) que solide (neige, grêle).

L'atmosphère est la masse d'air qui entoure la Terre. [1]

Sa limite supérieure ne peut pas être définie physiquement ou chimiquement; on estime actuellement que l'atmosphère s'étend sur quelques 1 500 Km. Toute fois, comme il y a raréfaction progressive de l'air à mesure qu'on s'élève en altitude, on admet couramment que l'atmosphère météorologique a une épaisseur de 30 Km. [1]

Il a été mis en évidence dans l'atmosphère, un certain nombre de couches caractérisées par leur profil thermique vertical ; en particulier, sur la figure 1 de l'annexe 1, la troposphère au sein de laquelle la température décroît régulièrement de 6.5C en moyenne par kilomètre d'altitude. La température croît ensuite dans la stratosphère (inversion de gradient), à partir de la limite thermique que représente la tropopause. [1]

La troposphère a une épaisseur variable suivant le lieu et le jour, de 7 à 8 Km aux Pôles (température au sommet de l'ordre de - 50°C) et de 17 à 18 Km à l'Equateur (température de l'ordre de - 80°C). [1]

La troposphère est le siège de nombreux mouvements: vents horizontaux et courants ascendants ou descendants verticaux

C'est dans la troposphère que se produisent les phénomènes météorologiques intéressant le globe, en particulier les nuages, origines des pluies, les vents etc. [1]

L'air atmosphérique est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau.

La quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air atmosphérique est variable selon la température. Le tableau ci-dessous fournit pour certaines températures la quantité maximale d'eau que peut contenir un Kilogramme (un peu moins d' 1 m3) d'air sec à la pression de 1 000 hPa (hecto Pascal, équivalent aux anciens millibars. [1]

Emmagasinement temporaire de l'eau infiltrée sous forme d'humidité dans le sol, que peuvent utiliser les plantes. Il peut y avoir percolation vers les zones plus profondes pour contribuer au renouvellement des réserves de la nappe souterraine. Un écoulement à partir de cette dernière peut rejoindre la surface au niveau des sources ou des cours d'eau. L'évaporation à partir du sol, des cours d'eau, et la transpiration des plantes complètent ainsi le cycle [1]

Le cycle de l'eau est donc sujet à des processus complexes et variés parmi lesquels nous citerons les précipitations, l'évaporation, la transpiration (des végétaux), l'interception, le ruissellement, l'infiltration, la percolation, l'emmagasinement et les écoulements souterrains qui constituent les principaux chapitres de l'hydrologie. Ces divers mécanismes sont rendus possibles par un élément moteur, le soleil, organe vital du cycle hydrologique [1].

I-2.Rappels sur les mesures de pluie

La mesure pluviométrique remonte à l'antiquité et semble présente en Chine dès l'an mille avant notre ère (Bonnin, 1984).

L'Hôte, 1991, retrace succinctement un historique de la mesure des pluies, inspiré en grande partie de Biswas, 1970, Il cite des exemples en Inde au IV^e siècle avant notre ère, à des fins de taxation agricole, en Palestine (entre -200 et +200), en Chine (de -220 à +1250) et en Corée (de 1441 à 1907). Il faudra toutefois attendre le XVI^e siècle pour assister en France et dans maints pays d'Europe à une multiplication d'expériences et de résultats de mesures. [2]

L'analyse de la pluviométrie mauritanienne depuis 1941 a pour objet, d'une part l'étude de la variabilité interannuelle des précipitations, et d'autre part la détermination de l'intensité territoriale du déficit des années de sécheresse, notamment des années 1970. En mettant en évidence les disparités régionales, elle souligne les conséquences de la sécheresse sur le milieu naturel, mais aussi sur les mouvements de population à l'échelle nationale. [4]

Le réseau de mesures pluviométriques en Mauritanie est caractérisé par deux facteurs limitant : la faible densité du réseau sur tout le territoire mais plus spécialement dans le nord et le nord-est du pays, et les lacunes fréquentes dans certaines stations qui rendent parfois les données inutilisables. Seize stations ont été retenues, treize sont professionnelles et représentent la totalité des stations de ce niveau en Mauritanie. Pour analyser les nuances

spatiales dans le comportement pluviométrique depuis 1941, nous divisons le pays en six régions représentées par une ou plusieurs stations : le Nord (Bir Mogrein et Zouérate), le Tagant (Tidjikja), le Trarza (Nouakchott, Boutilimit, Méderdra, Rosso), le Brakna (Aleg, Bogue, Kaédi), le Hodh (Tamchekett, Aioun, Kiffa, Néma, Timbédra), le Sud (Sélibaby). Pour mieux évaluer les variations de la pluviométrie annuelle, nous utilisons l'indice pluviométrique moyen (IPM) défini par Nicholson et al. (1988). Celui-ci représente une variable centrée réduite, calculée sur les hauteurs pluviométriques annuelles (Paturel et al. 1995). [4]

La mesure ponctuelle des pluies à de faibles pas de temps est réalisée à l'aide d'un pluviomètre enregistreur ; l'estimation des précipitations tombant sur une surface fait appel soit à un réseau dense de pluviomètres enregistreurs, soit à un radar, soit à la complémentarité existant entre ces deux instruments de mesure.

Plus récemment, certains chercheurs font appel à l'imagerie satellitaire. D'autres auteurs envisagent dans certains cas, de remonter aux quantités précipitées en associant mesures de débits à l'aval d'un bassin versant et modélisation pluie-débit (Blanchet, 1993) ; cela nécessite cependant des bassins versants dont la réponse hydrologique est stable, en particulier, des sites très imperméabilisés et finement équipés pour la mesure de débit [2].

I-3.HOMOGENEISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Comme il a déjà été dit: avant d'effectuer toute étude statistique même simple (calcul d'une moyenne) sur une série de données pluviométriques annuelles par exemple, il y a lieu de vérifier si cette série fait bien partie d'une même population statistique, ou s'il y a plusieurs populations, du fait :

- d'un déplacement du site d'observation;
- d'une erreur d'appareillage pendant X années; etc.

Pour ne pas avoir effectué ces vérifications préliminaires, on risque de travailler sur une série non homogène, comprenant des éléments de plusieurs populations statistiques réunies. A plus forte raison, lorsqu'on s'intéresse à la pluie moyenne sur un bassin ou une région, Il peut très bien se faire que par exemple pendant les 5 premières années on ait seulement les postes A, B et C, puis pendant 5 ans A, B, C et D, puis pendant 10 ans A, B, D et E etc. Les moyennes

calculées sur 20 ans en A, 10 ans en B, et 10 ans en E, n'auront pas les mêmes significations si les 10 premières années ont été en moyenne plus fortes que les 10 dernières (exemple de la sécheresse actuelle au Sahel). Aussi définissons nous deux types d'homogénéisations: - l'homogénéisation du premier ordre, par laquelle on vérifie que la série correspond bien à une seule population mère; - l'homogénéisation du second ordre, dans laquelle on détermine sur une même période commune la plus longue les caractéristiques statistiques de chaque station, en particulier la moyenne interannuelle sur 20 ans, l'écart-type et l'estimation des données manquantes[1].

I-4 La mesure des précipitations sur une surface

Les informations que l'on recherche lors d'une étude hydrologique sont le volume et la répartition spatiale de la pluie tombant entre deux instants donnés sur la surface d'un bassin versant. Le volume d'eau de pluie rapporté à la surface du bassin définit la lame d'eau moyenne reçue par ce dernier. La répartition spatiale des hauteurs d'eau peut être représentée sous forme cartographique ou à l'aide d'une courbe de répartition des hauteurs en fonction des surfaces touchées.

Suivant la nature du phénomène pluvieux (orage, front...), la taille du bassin versant et le pas de temps adopté pour l'étude, l'estimation que procurera une mesure ponctuelle pourra être très variable. En effet une telle mesure sera peut-être représentative de la lame d'eau moyenne en cas d'événement homogène mais sera très incertaine en cas d'événement hétérogène. Une telle information, par ailleurs ne procure aucune indication quant à la répartition spatiale des intensités de pluie.

Les réseaux denses de pluviomètres ont été développés dans le but d'améliorer la connaissance de cette répartition et la précision des estimations de lames d'eau moyennes.

Par la suite sont apparus les radars puis les satellites météorologiques, dont les mesures de natures indirectes, doivent être associées, du moins pour le moment, à une référence au sol [5].

I-4-1. Erreurs sur la mesure

Un examen attentif des bordereaux et fichiers de données peut permettre de détecter des anomalies « à l'œil ».

Deux types d'erreurs peuvent être rencontrés :

- **Les erreurs aléatoires** : elles affectent la précision des données (ce sont des erreurs que peut subir un enregistrement au niveau des opérations par lesquelles il devra passer telle que la collecte, l'inscription, la transmission, l'impression, le calcul des cumuls, moyenne...)

- **Les erreurs systématiques** : elles affectent la fiabilité des données. L'origine des erreurs systématiques est le plus souvent liée à la calibration de l'appareil de mesure qui n'est pas parfaite ou à un phénomène extérieur qui perturbe la mesure (erreur d'appareillage, changement d'observateur, modification de l'environnement immédiat du poste de mesure...).

Des méthodes plus élaborées et des tests statistiques sont nécessaires pour mettre en évidence l'existence d'erreurs systématiques [5].

I-4-2. Les appareils de mesure

I-4-2.1. DEFINITION

Le pluviomètre est un instrument météorologique destiné à mesurer la quantité de précipitations (surtout la pluie) tombée pendant un intervalle de temps donné en un endroit¹. L'un des plus communs dans les stations météorologiques, il en existe différents types, certains à mesure directe et d'autres automatiques. Ces derniers peuvent être reliés à des enregistreurs en continu de la hauteur d'eau des précipitations et sont alors appelés pluviographes.

Les données obtenues par le pluviomètre, comme toutes les mesures, sont sujettes à certaines erreurs dues aux conditions environnementales, à la conception de l'appareil et à sa position par rapport aux obstacles environnants. Cependant, l'utilisation d'un réseau de tels instruments permet de planifier les cultures, les besoins en irrigation, le potentiel hydro-électrique et

même d'émettre des avis aux populations en cas de pluies torrentielles. Ils peuvent également servir à l'étalonnage d'un radar météorologique en comparant les quantités obtenues par les deux instruments [3].

I-5. Les lacunes dans les séries pluviométriques :

Les données pluviométriques mesurées directement sur le terrain par les services météorologiques nationaux ont l'avantage de fournir souvent de longues séries d'observations indispensables à la détection des changements climatiques, mais elles présentent en contrepartie certaines limites comme par exemple souvent la présence de valeurs manquantes. Ces lacunes peuvent être la conséquence de différents problèmes d'enregistrement, comme une défaillance mécanique dans le cas des pluviomètres automatiques, une absence temporaire d'observateurs dans le cas de pluviomètres manuels ou encore l'arrêt temporaire et/ou définitif de la mesure. Ces lacunes prennent une importance considérable dans des régions où la densité de pluviomètres est faible comme dans la plupart des pays africains par exemple, où les densités recommandées par l'Organisation Météorologique Mondiale, soit au moins une station pour 575 km² en plaine et pour 250 km² en zone montagneuse sont loin d'être atteintes (WMO, 2008). Les lacunes dans les séries temporelles sont un réel problème pour de nombreuses applications scientifiques qui nécessitent des séries continues complètes. On peut citer pour exemple, les hydrologues pour qui les précipitations quotidiennes sont nécessaires en entrée des modèles de pluie-débit (Obled et al. 2009), les climatologues qui les utilisent dans l'étude des sécheresses (Usman et Reason, 2004 ; Gitau, 2011 ; Gitau et al. 2012).

Les analyses des précipitations sont réalisées à partir d'une méthodologie construite autour de régressions linéaires. Une procédure mise en place permet de tirer le meilleur parti possible des séries non lacunaires, et effectue une post-correction des biais d'estimation. La qualité des reconstitutions est évaluée en considérant les caractéristiques pluviométriques saisonnières, calculées à partir de définitions agro-climatiques courantes (Camberlin et al. 2014 ; Boyard-Micheau et al, 2013). Ces définitions sont basées sur des seuils empiriques de précipitations à atteindre en sommant les pluies quotidiennes, ce qui nécessite, par conséquent, d'avoir des séries ininterrompues. Il est donc indispensable de connaître l'effet du comblement de ces

lacunes sur le calcul des descripteurs clés. La qualité de la reconstitution des précipitations est testée selon deux approches distinctes. La première approche, plutôt classique, consiste à comparer les séries de pluies quotidiennes observées et estimées afin de vérifier la capacité du modèle à reproduire l'occurrence des jours pluvieux ainsi que la quantité de précipitations journalières. [4]

I-6. CARTOGRAPHIE

I-6.1. DEFINITION :

La cartographie est la réalisation et l'étude des cartes géographiques et géologiques. Elle est très dépendante de la géodésie, science qui s'efforce de décrire, mesurer et rendre compte de la forme et des dimensions de la Terre. Le principe majeur de la cartographie est la représentation de données sur un support réduit représentant un espace généralement tenu pour réel.

La création cartographique est également étudiée, ses méthodes commentées. Des analyses mathématiques comparent par exemple les distorsions des projections cartographiques, tandis que les théories de l'information graphique donnent des conseils quant au style nécessaire à un message graphique clair.

De nos jours, 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. [6]

I-6.2. PROJECTION CARTOGRAPHIQUE :

La projection cartographique est le processus qui consiste à transformer et à représenter sur une surface bidimensionnelle (plane) des points situés sur la surface sphérique tridimensionnelle de la terre. Ce processus fait appel à une méthode directe de projection géométrique ou à une méthode de transformation calculée mathématiquement [7]

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 [7].



Figure 2 : la projection [7]

I-6.3. SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) :

I-6.3.1. DEFINITION :

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un logiciel informatique capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées. Le SIG permet d'acquérir, d'organiser, de gérer, de traiter et de restituer des données géographiques sous forme de plans et cartes (cartographie intuitive et évolutive). Il s'agit d'un système de gestion entrepreneurial qui permet à toute organisation (entreprise ou collectivité) de gérer spatialement son activité.

Dans un SIG (Système d'Information Géographique), les objets peuvent être identifiés sous forme de points (villes, entreprises, exploitations agricoles ...), d'arcs ou de lignes (routes, chemins de fer ...) et de polygones ou de surfaces (communes, occupation du sol ...). [8]

I-6.3.2. FONCTIONNALITES :

En tant qu'outils, les SIG comportent des fonctions de saisie des données géographiques sous forme numérique (Acquisition), de gestion de ces données (Archivage), de manipulation. Les fonctions liées à l'abstraction reviennent à configurer le SIG pour un but donné. Le module d'abstraction regroupe donc essentiellement les fonctions de définition des données. Le schéma conceptuel de données définit les classes d'objets, les attributs, les relations de construction et les relations de composition pertinents pour l'application considérée, en tenant compte du modèle conceptuel des données. [9]

I-6.3.3. STRUCTURE :

Un Système d'information géographique contient des données alphanumériques et des données spatiales. Dans un SIG, les données sont stockées soit sous format vectoriel, soit sous format raster. Le format vectoriel gère les points, les lignes et les polygones, les vecteurs sont complétés par des informations alphanumériques. Les données raster sont stockées sous formes de cellules formant une maille. Ces données sont aussi complétées par des données alphanumériques telles que la moyenne, le max, la min, la somme de grandeurs géographiques.

Pour indiquer les données vectorielles on utilise les arbres ou les graphes [10]

STRUCTURE DU SIG ?



- **Du matériel** (ordinateurs, périphériques, réseaux...)
- **Des logiciels** (Logiciels SIG du marché, développements spécialisés)
- **Des données** (génériques, spécifiques)
- **Du savoir faire** (procédures, méthodes..)
- **Une problématique** (décrire, stocker, comparer, comprendre, communiquer, simuler..)

Une problématique... pour répondre à des besoins !

- ❖ Organiser des connaissances thématiques
- ❖ Analyser le territoire
- ❖ Améliorer et simplifier la communication (partenaires , grand public..)
- ❖ Donner du sens pluridisciplinaire
- ❖ Prévoir, simuler, modéliser
- ❖ Décider

Figure 3 : structure de SIG

I-7. METHODE D'ETUDE DES CARACTERISTIQUES SPATIALES DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

I-7.1. INTERPOLATION SPATIALE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES :

En analyse numérique (et dans son application algorithmique discrète pour le calcul numérique), l'interpolation est une opération mathématique permettant de remplacer une courbe ou une fonction par une autre courbe (ou fonction) plus simple, mais qui coïncide avec la première en un nombre fini de points (ou de valeurs) donnés au départ. Suivant le type d'interpolation, outre le fait de coïncider en un nombre fini de points ou de valeurs, il peut aussi être demandé à la courbe ou à la fonction construite de vérifier des propriétés supplémentaires. Le choix des points (ou valeurs) de départ est un élément important dans l'intérêt de la construction [11].

L'interpolation spatiale est le processus d'utilisation des points avec des valeurs connues pour des valeurs estimées à d'autres points inconnus.

Par exemple, pour faire une carte des précipitations (pluie) de votre pays, vous ne trouverez pas assez de stations météo réparties uniformément pour couvrir l'entier de la région. L'interpolation spatiale peut estimer la température à des endroits sans données enregistrées en utilisant des relevés de températures connus dans des stations météo à proximité

Les données d'altitude, de précipitations, d'accumulation de neige, de table d'eau et de densité de population sont d'autres types de données qui peuvent être calculées par interpolation [12].

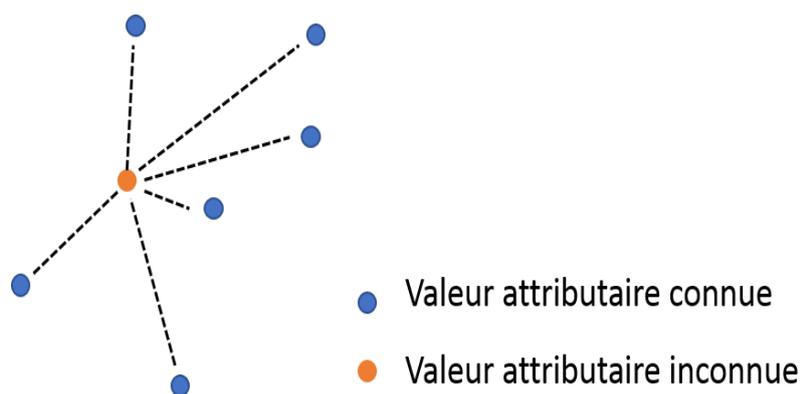


Figure 4 : Principe de l'interpolation [12]

I-7.1.2. CHOIX DE LA TECHNIQUE D'INTERPOLATION :

De nombreuses techniques d'interpolation s'offrent à l'hydrologue. Creutin et Obled (1982) en ont étudiées quelques-unes afin de comparer leurs performances en termes d'interpolation de valeurs ponctuelles. Parmi celles-ci, ils ont distingué les méthodes statistiques (le champ de pluie est considéré comme la réalisation d'un processus aléatoire à deux dimensions, l'estimateur est optimal en ce sens qu'il minimise la variance d'estimation), et les méthodes déterministes (la formulation mathématique de la fonction d'interpolation et les critères d'optimalité sont choisis arbitrairement). Leurs conclusions, confirmées par celles de Tabios III et Salas (1985), et étendues au calcul des valeurs moyennes sur une surface par Lebel *et s/* (1987), montrent que les méthodes statistiques, qui tiennent compte de la structure spatiale des champs de pluie, donnent de meilleurs résultats que les méthodes déterministes. En outre, elles permettent de calculer la variance de l'erreur d'estimation.

L'interpolateur linéaire optimal de krigeage permet en outre de procéder à l'interpolation à partir de la connaissance d'une seule réalisation du processus aléatoire.

Toutefois, son application nécessite la vérification d'hypothèses strictes, et lorsque l'on s'intéresse aux petits pas de temps (inférieurs à l'heure), on atteint les limites de ce genre de méthodes.

Ainsi, Bergaoui (1987), travaillant sur les données de 9 pluviographes d'un bassin urbain de 200 ha situé en région parisienne, observe qu'en deçà d'un pas d'intégration de 30 mn, les corrélogrammes calculés montrent une forte dispersion des points expérimentaux, et une décroissance très rapide (à une distance comprise entre 1 et 1.5 km), rendant la modélisation difficile.

Barancourt *et al*' (1992), constatant que la diminution du pas d'intégration entraine l'apparition de valeurs nulles, et la non-vérification des hypothèses de stationnarité nécessaires au krigeage, proposent de distinguer dans l'analyse de structure :

- le problème lié à la régionalisation des surfaces de pluie (intermittence) ;
- le problème lié à la variabilité en soi des précipitations.

Barancourt (1990), à partir de l'analyse des données de 97 pluviographes d'un réseau situé dans les Cévennes, procède à la modélisation des champs de pluie horaires en tenant compte de ces deux aspects, et montre sa supériorité par rapport à une approche linéaire classique [13]

I-7.1.3. CARACTERISTIQUES DES METHODES D'INTERPOLATION :

Dans le cas général, la variable régionalisée ne peut être représentée par une fonction mathématique explicite. Cependant, elle présente une structuration spatiale bien définie, avec une corrélation des valeurs prises en deux sites proches. Ceci rend possible la prévision d'une valeur inconnue à partir d'observations. On parle ainsi d'interpolation pour l'estimation de cette valeur. On parle d'extrapolation lorsque le site inconnu est situé hors des limites du domaine géographique engendré par l'échantillonnage des sites d'observation.

Elles se divisent usuellement en deux groupes, selon les modèles mathématiques sur lesquels elles reposent :

- **Méthodes déterministes** : elles reposent sur des propriétés purement mathématiques, généralement géométriques, sans tenir compte du phénomène physique qui nous intéresse.
- **Méthodes stochastiques** : elles font appel à des modèles probabilistes et découlent de l'analyse statistique des données considérées. On parle alors de techniques géostatistiques.

On différencie également ces méthodes selon qu'elles soient globales ou locales. Une méthode globale consiste à calculer la moyenne de la variable généralisée sur le champ à partir de l'ensemble des observations disponibles ; une méthode locale réalise une estimation de cette moyenne sur une partie plus réduite du champ, voire en un site ponctuel. Une méthode exacte conserve les valeurs des échantillons originaux, contrairement à une méthode approchée. Enfin, on parle d'effet d'écran lorsqu'une observation commande l'impact d'une autre observation lors de l'interpolation. L'influence de l'observation « écrantée » sera alors :

- nulle dans le cas d'un écran total,
- peu élevée dans le cas d'un écran partiel,
- modérée dans le cas d'un écran faible. [14]

I-7.1.4. LES METHODES DE L'INTERPOLATION :

I-7.1.4.1. METHODE DE THIESSEN

C'est une méthode purement géométrique. Elle suppose que la pluie en tout point est celle enregistrée au poste pluviométrique le plus proche. Les stations étant géoréférencées, la lame d'eau précipitée interannuelle annuelle est calculée pour chaque station pluviométrique sur n années d'observations communes. Il faudrait délimiter la zone d'influence de chaque poste pluviométrique et calculer la surface correspondante.

La précipitation P_{moy} est calculée par l'expression suivante

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S}$$

S_i : Surface d'influence du pluviomètre i en Km^2

P_i : Précipitation au poste i en mm

S : Surface du bassin versant en Km^2

Principe de la méthode

- Les stations pluviométriques sont reportées sur le bassin versant selon leurs coordonnées géographiques (X, Y) ;
- Des séries de droites sont tracées reliant les postes pluviométriques 2 à 2, sans s'entrecouper, formant ainsi des triangles ;
- Au milieu de chaque côté du triangle, une médiatrice est tracée ;

- L'intersection des médiatrices des triangles délimite la zone d'influence de chaque poste pluviométrique, une fois jointe entre elles ;
- La surface affectée à chaque poste pluviométrique est planimètre, permettant de calculer la précipitation moyenne P_{moy} sur l'ensemble du bassin

I-7.1.4.2. Méthode des isohyètes

Cette méthode nécessite la connaissance des isohyètes tracées dans le bassin étudié. Ces courbes représentent des lignes joignant les lieux où tombe la même quantité de précipitation. Le réseau des isohyètes étant connu, les superficies internes au bassin comprises entre des isohyètes successives doivent être mesurées. Le calcul de la précipitation moyenne dans le bassin se fait selon la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{1}{S_t} \sum_{i=1}^{m-1} S_i \frac{(P_i + P_{i+1})}{2}$$

S_i est la superficie entre deux isohyètes successives P_i et P_{i+1}

S_t est la surface totale du bassin m est le nombre d'isohyètes représentées dans le bassin

I-7.1.4.3. Interpolations polynomiales.

L'idée générale est d'approcher la fonction $R(\bar{x})$ par un polynôme $\overset{*}{R}(\bar{x})$ dont le nombre n de paramètres sera égal au nombre n de points \bar{x}_i où l'on connaît $R(\bar{x}_i)$. Les valeurs des n paramètres du polynôme seront calculés en résolvant le système de n équations :

$$R(\bar{x}_i) = \overset{*}{R}(\bar{x}_i)$$

Pour être plus concret, supposons que l'on connaisse les valeurs $R(\bar{x}_i)$ en 25 points \bar{x}_i de coordonnées (x_i, y_i) et que l'on décide de prendre pour $\overset{*}{R}(\bar{x})$ un polynôme de Lagrange :

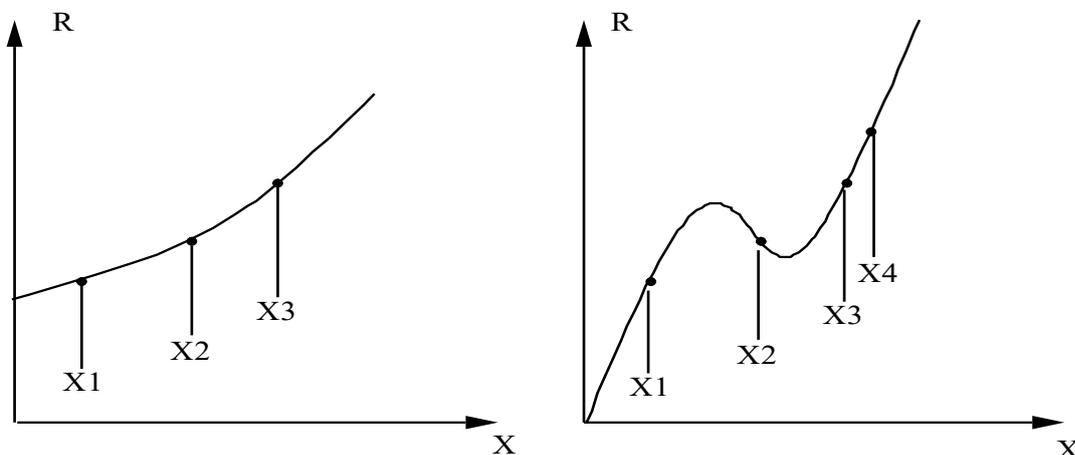
$$\overset{*}{R}(\bar{x}) = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^p a_{ij} x^j y^k$$

En prenant $m = n = 4$, on obtiendra 25 équations du type : $\overset{*}{R}(\bar{x}) = \sum_{j=0}^4 \sum_{k=0}^4 a_{ij} x^j y^k$

Qui permettront de calculer les 25 paramètres a_{jk} .

On dispose ainsi d'une méthode d'interpolation globale, mais dont les résultats dépendent du choix des formes polynomiales retenues (polynômes de Lagrange, polynômes d'Hermitte...). En effet, si l'on n'y prend pas garde, les surfaces polynomiales ont tendance à "osciller" car leur degré et leur complexité augmentent avec le nombre de points de mesure. Pour illustrer cela, supposons que la fonction ne dépende que de l'abscisse \bar{x} .

On peut alors approcher $R(\bar{x})$ par : $\overset{*}{R}(\bar{x}) = \sum_{j=0}^{n-1} a_j x^j$



Le schéma précédent illustre clairement les anomalies que peut provoquer l'interpolation polynomiale : avec trois points, on ajuste une parabole (à droite), mais l'introduction d'un quatrième point pourtant intuitivement conforme à l'interpolation parabolique conduira à une interpolation par une courbe de degré trois (à gauche) très hasardeuse.

Ces techniques d'interpolation polynomiale ne peuvent être efficaces qu'en prenant des précautions dans le choix des formes polynomiales, en effectuant les interpolations sur des zones restreintes (sur un sous-ensemble des \vec{x}_i) et en assurant la continuité des interpolations aux frontières des zones.

Partie II : présentation de la zone d'étude

II-1. Situation et climat de la zone d'étude

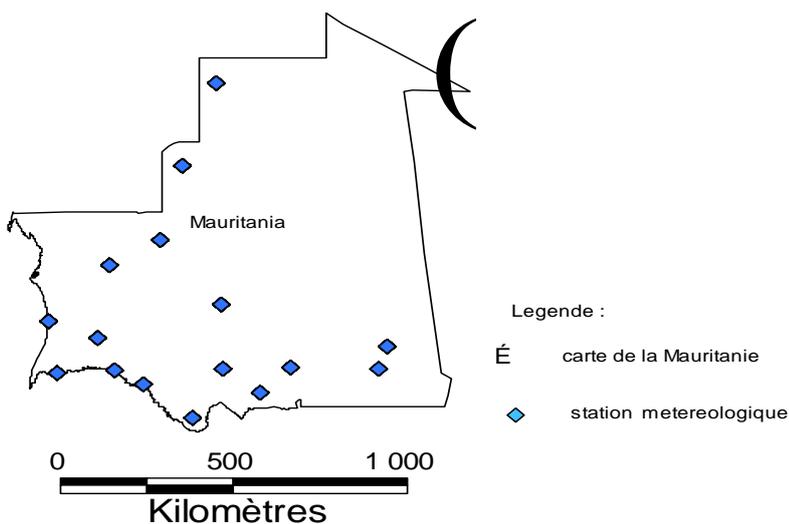
II-1.1. La situation géographique de la zone d'étude (Mauritanie)

La Mauritanie possède des frontières avec le Sahara occidental au nord (majoritairement contrôlé par le Maroc, mais dont la souveraineté n'est pas reconnue), l'Algérie au nord-nord-est, le Mali à l'est et au sud-sud-est, enfin le Sénégal au sud-ouest.

Celles-ci ont été tracées par les colonisateurs français et espagnols ce qui explique la droiture des lignes.

La Mauritanie se divise en 4 régions naturelles :

- le long de la côte atlantique s'étend un grand désert sablonneux, le Sahara ;
- la région centrale est parsemée de plateaux escarpés ;
- à l'est s'ouvrent de larges cuvettes dunaires ;
- le fleuve Sénégal a creusé une vallée le long de la frontière sud du pays.[15]



II-1.2. Climatologie de la zone d'étude

La Mauritanie, pays totalement désertique dans sa partie nord et sahélien dans sa partie sud, se caractérise par un climat généralement chaud et sec marqué par des hivers relativement doux (avec des températures minimales moyennes de 19 à 23°C) et des périodes d'hivernage très courtes (environ trois mois). En saison sèche, les températures dépassent le seuil de 40°C dans la quasi-totalité des régions du pays (exception faite de Dakhlet Nouadhibou).

Plus de la moitié septentrionale du territoire national est désertique et faiblement peuplée. La zone sahélienne s'étend d'Ouest en Est sur une bande de 200 km traversant le pays sur sa partie sud. Au Centre et au Nord, le relief est constitué de massifs montagneux tels ceux de l'Adrar et du Tagant qui culminent de 400 à 800 mètres.

A l'exception de la plaine alluviale du fleuve Sénégal, au Sud, le reste du pays est constitué, en grande partie, d'alignements dunaires qui, lorsqu'il pleut, se couvrent de pâturages et favorisent la pratique d'une agriculture pluviale itinérante.

Le problème de l'évolution climatique, et en particulier la diminution des précipitations, s'est manifesté de façon cruelle au cours des trois dernières décennies. Il a été en effet constaté un mouvement réducteur constant des pluies d'origine tempérée, s'enfonçant moins profondément à l'intérieur des tropiques, accompagné simultanément par une rétrogradation lente des pluies d'origine tropicale apportées par la mousson du sud. Face à cette manifestation il était légitime de se poser la question de savoir si ce processus va se poursuivre ou non et pour combien de temps. La réponse réside dans l'observation du climat.

En Mauritanie, on distingue globalement trois types de climat :

- un climat tropical sec de type sahélo-soudanais caractérisé par huit mois secs dans l'extrême sud du pays à pluviométrie supérieure à 400 mm ;
- un climat subdésertique de type sahélo-saharien au centre du pays caractérisé par une forte amplitude thermique et une pluviosité comprise entre 200 et 400 mm ;
- un climat désertique de type saharien au nord caractérisé par une pluviosité inférieure à 200 mm/an.

Sur le littoral, la température est nuancée par la présence de l'alizé maritime qui adoucit le

climat. Il existe de nombreuses baies (Saint Jean, Arguin, Lévrier), d'îles (Tidra Toufet, Arguin) caps (Tafarit, Tagarit,) et des affleurements (Elmounane, Aguila) [16].

II-1.2.3. Pluviométrie

Le domaine sahélien connaît des précipitations annuelles comprises entre 150 et 600 mm, alors que le domaine saharien se caractérise par une pluviométrie annuelle comprise entre 50 et 150 mm.

Nous avons choisi quelques endroits de la zone d'étude pour voir la différence des niveaux de précipitation voir tableau suivant l'analyse pluviométrique sur les quatre régions qui sont Zouerate, Nouakchott, Rosso, et kiffa calculée sur une période s'étalant de 1971 à 2011

D'après le tableau on remarque que la saison des pluies commence d'août à septembre et un peu d'octobre

L'analyse pluviométrique montre que août est le mois le plus pluvieux pour les trois régions Nouakchott, kiffa et Rosso (34,1902439mm 95,9365854mm 98,1926829mm 14,878125mm) mais pour la région Zouerate septembre est le plus pluvieux on note que les quatre régions sont différentes à cause de leurs situations géographiques.

Pour les régions de Nouakchott et Zouerate par rapport à kiffa et Rosso elles sont moins pluvieuses

Tableau 01 : Données pluviométriques des stations météorologiques (1971-2011)

paramètre mois	Moyenne des précipitations mensuelles (mm)			
	Station Nouakchott	Station kiffa	Station Rosso	Station Zouerate
Janvier	0,78536585	0,64	4,73125	3,42352941
Février	2,2195122	0,43513514	2,265625	1,95625
Mars	1,29512195	0,45789474	1,59615385	1,7
Avril	0,3097561	0,15	0,108	1,03548387
Mai	0,02564103	4,67297297	0,72413793	0,41923077
Juin	1,3	19,9947368	7,80714286	4,56666667
Juillet	8,43170732	54,7560976	38,8368421	2,15517241
Aout	34,1902439	95,9365854	98,1926829	14,878125
Septembre	32,6195122	60,1341463	71,335	27,0611111
Octobre	3,97179487	14,2162162	16,6117647	6,15666667
Novembre	1,0325	1,38536585	0,75	1,77586207
décembre	3,54	2,86388889	2,96153846	2,61111111

II-2. Relief

La Mauritanie couvre une superficie de 1 031 000 km². Pays essentiellement désertique, à l'exception de la vallée inondable du fleuve Sénégal au sud, elle s'étend sur les deux tiers de sa superficie dans le Sahara.

Le relief, arasé, est constitué de sédiments, de débris rocheux (regs) et de dépôts sableux (dunes) d'où émergent, ça et là, comme des îles au milieu d'un océan immobile, des massifs de faible altitude, le plus souvent de forme tabulaire, témoignage d'un passé géologique plus humide. Un reg immense et plat s'étale dans l'extrême nord sur le rebord de la grande dépression de Taoudenni qui occupe le centre du Sahara. Il en est de même, à l'est, de la Majabat al-Koubra, le long de la frontière malienne.

Au centre, le massif de l'Adrar, composé de plissements orientés nord - sud-ouest, s'élève à 500 m d'altitude en moyenne (825 m au piton du Teniagouri) dans des paysages grandioses (passe d'Amodjar).

Le Guelb er Richat, curiosité géologique exceptionnelle en forme de bulle éclatée d'une quarantaine de kilomètres de diamètre, complète l'Adrar à l'est. Le relief réapparaît plus au sud avec le massif Tagant, qui se prolonge jusqu'à la vallée du Sénégal par l'étroit massif de l'Assaba (464 m) et les montagnes de l'Afollé (600 m). Le Dhar Tichit, un mince affleurement rocheux envahi par les sables, joint le Tagant au Dhar Oualata, près de la frontière malienne. Nouakchott, près de l'océan, se trouve au centre d'une plaine, envahie autrefois par la mer. "Mauritanie" Emmanuel Buchot. Sources utilisées : Encarta et Wikipedia [17].

II-3. Géologie

Au centre et au nord du pays, le relief est constitué par les massifs montagneux de l'Assaba, du Tagant et de l'Adrar qui culminent à 400 et 500 mètres. Les parties les plus hautes sont, en général, constituées de roches dures qui forment des falaises abruptes. À l'exception de la plaine alluviale du Sénégal, appelée Chemama, large de 10 à 25 kilomètres, le reste du pays est constitué en grande partie d'alignements dunaires tels ceux de la grande région de sable qui s'étend à l'Est du Tagant et de l'Adrar.

La Mauritanie peut être subdivisée en quatre domaines géologiques majeurs

- Le bouclier archéen de Reguibat au nord;
- La ceinture des Mauritanides frappant le nord-ouest et le nord-ouest du Néoprotérozoïque, pliée et poussée au cours de l'orogénèse varisque;
- Le bassin de Taoudeni couvrant la majeure partie du centre et du sud de la Mauritanie, avec des sédiments principalement continentaux du néoprotérozoïque au phanérozoïque;
- et les parties du bassin du Sénégal (un «terminal continental») dans le sud-ouest, avec des sédiments marins et continentaux du Jurassique à l'âge récent, mais principalement du tertiaire au quaternaire

Les dunes de sable du Sahara couvrent environ 50% de la surface de la Mauritanie

II-4. Ressources en eau

II-4.1. Eaux de surface

Les principales ressources en eau de surface sont réparties dans quatre grandes zones naturelles:

- La zone de la vallée du fleuve Sénégal
- La zone de l'arc des Mauritanides
- La zone de l'affolé et des hodhs
- La zone de l'Adrar

Vallée du fleuve Sénégal

Le bassin versant de la vallée inférieure du fleuve Sénégal couvre une superficie de 75 000 km² et est totalement influencée par les ressources en eau de surface.

Le barrage de Manantali :

- capacité de stockage de 11 milliards de m³ dont 8 milliards m³ utile.
- apport de 40% à 60% des ressources du fleuve ce qui permet de garantir un débit régulier de 300 m³/s à Bakel.

Le Barrage de Diama : En service depuis 1986, il a pour fonction de :

- Arrêter la remontée des eaux marines dans le fleuve en saison sèche
- Créer avec les endiguements des deux rives un réservoir dont le volume est de 250 millions de m³ ou de 535 millions m³ selon la cote de gestion soit de +1,5m IGN ou 2,5m IGN.
- Le remplissage des lacs de Guiers et du R'Kiz ainsi que certaines dépressions comme l'Aftout Es Sahel ;
- Le maintien des conditions écologiques acceptables dans le bassin du fleuve Sénégal.

Les mares et les lacs du Brakna

Il existe dans cette région un nombre important de mares et de lacs qui présentent un grand intérêt économique pour les populations riveraines.

- Lac d'Aleg : 3800 Km² de bassin versant ;

- Lac de Male : 955 Km² de bassin versant ;
- Mare de Gadel : 410 Km² de bassin versant ;
- Mare de Choggar : 190 Km² de bassin versant.

AFFOLE et les 2 HODHS

Les principaux cours d'eau dans cette zone sont :

- Lehbile 143 Km² de bassin versant ;
- Lembramda 68 m² de bassin versant;
- M'bremida 85 Km² de bassin versant ;
- Guellab 94 Km² de bassin versant ;
- Fouerini 80 Km² de bassin versant ;
- Goatlebgar 63 Km² de bassin versant.

ZONE ADRAR

Le réseau hydrographique de l'Adrar est structuré dans sa majeure partie autour des deux principaux oueds :

- L'oued Séguelil (7500 km²)
- l'oued Abiod (2500 km²).
- et l'oued Amdar, affluent de Séguelil sur lequel un barrage est construit en 1986 par le génie rural qui permet le stockage de 160 000 m³ d'eau.

Le taux de ruissellement sur les bassins versants est relativement faible, l'infiltration directe devait être dans ce cas d'une certaine importance.

Cette infiltration intervient en premier lieu pour combler le déficit hydrique du sol qui est quasi- permanent en dehors de quelques jours pluvieux de l'année.

L'infiltration efficace arrivant jusqu'à la nappe reste inconnue. Son estimation permettra d'évaluer les ressources en eau renouvelables des nappes alluviales de la région.

II-4.2. Eaux souterraines

Les ressources en eau souterraines sont influencées par la configuration géologique. Elles sont réparties en unités hydrogéologiques, celle que nous proposons pour la Mauritanie s'articule par les provinces hydrogéologiques de l'ouest à l'est et correspond :

- Au Bassin Côtier Sénégal-mauritanien
- A la Chaîne des Mauritanides
- Au Socle précambrien et la dorsale Regueïbatt
- Au Bassin de Taoudeni

BASSIN COTIER (SENEGALO-MAURITANIEN)

Le Bassin Sénégal-mauritanien est limité à l'ouest par l'Océan Atlantique, à l'est par l'arc des mauritanides. Il s'étendait au nord depuis le Sahara Occidental jusqu'au sud en Guinée Bissau.

Dans ce bassin les eaux sont contenues dans les nappes suivantes :

- Nappes du Continental Terminal (CT)
- Nappes de Boulanouar
- Nappe de Benichab
- Nappes de Trarza
- Nappe d'Aleg et Kaédi
- Nappe des Alluvions de la Vallée du Fleuve Sénégal

NAPPE DE BOULANOUARE

Elles se situent dans les formations argileuses et saleuses. Deux nappes sont exploitées, la nappe phréatique à eau douce et pour une épaisseur de l'ordre de 30 m et la nappe sub-phréatique a eau chargée et dont l'épaisseur est de l'ordre de 65m.

Ces deux nappes sont séparées par un niveau argileux de l'ordre de 20 m de puissance.

Le débit cumulé de ces deux nappes peut être de l'ordre de 230 m³/h, 5500 m³/j, jusqu'à 2066.

Il faut signaler que sous le Continental Terminal, le Maestrichtien offre des possibilités d'approvisionnement en eau dans toute la région de Boulanouar.

NAPPE DE BENICHAB

Elle est contenue dans des grès argileux, peu perméable, l'eau est exceptionnellement douce (200mg/l). L'épaisseur varie de 90m au Nord- Est et 200 m à Benichab.

La nappe d'eau douce est en contact avec une nappe à eau saumâtre à l'Ouest et se termine au biseau sec à l'Est du fait de la remontée des socles.

La zone concernée par la nappe de Benichab est séparée par celle de Boulanouar par une vaste zone salée.

NAPPES TRARZA

-Elles recèlent des ressources très importantes contenues dans un ensemble multicouche mais les caractéristiques hydrodynamiques, et chimiques sont différentes d'une nappe à l'autre.

-Ces aquifères qui sont du continental terminal sont exploités dans les zones centrale et ouest du Trarza. Ils sont assez bien exploités notamment dans le champ captant d'Idini. Son caractère fossile demeure à élucider.

CHAINE DES MAURITANIDES

Les ressources en eau de la chaîne des Mauritanides sont liées au caractère discontinu de la formation.

La zone d'Akjoujt au Nord est la mieux connue. Les débits sont de l'ordre de 30 m³/h dans un ensemble fissuré de roches vertes, le résidu sec est de l'ordre 1150 mg/l.

Au Sud, dans le secteur SE du Brakna et Nord du Gorgol, les valeurs de la transmissivité sont faibles (0.1 - 3 m²/h) et les débits peuvent atteindre 3 m³/h. La salinité reste acceptable, 470mg/l à Sangrafa et 1050 mg/l à Magta-Lahjar

DORSALE DE RGUEIBATT (SOCLE PRECAMBRIEN)

Ce domaine est constitué essentiellement de roches métamorphiques et magmatiques dont l'hydrogéologie est caractérisée par la discontinuité des aquifères. Toutefois, l'altération superficielle et la fracturation peuvent donner naissance à des aquifères continus de surface.

Ces aquifères revêtent parfois une certaine importance au niveau des oueds. L'infiltration des eaux de crues permet leur recharge.

La région de F'Derik a fait l'objet de nombreuses recherches. Les profondeurs des forages varient de 25 à 300m. Les niveaux statiques sont compris entre 13 et 80m, les débits de 3 à 10 m³/h.

Plus au Nord, tous les sondages exécutés dans la zone ont trouvé de l'eau à des profondeurs comprise entre 6 et 40m. Les eaux sont le plus souvent saumâtres.

BASSIN DE TOUDENNI

Bassin de Taoudenni s'étendait sur plus de 2 000 000 km², en Mauritanie, au Mali et en Algérie, Par extension il occuperait une partie du Niger, du Sénégal, et du Burkina Faso. Les deux grands ensembles de terrain (sédimentaires anciens et récents) contiennent les aquifères qui correspondraient plutôt aux appellations des régions administratives en Mauritanie.

AQUIERE DE L'ADRAR

La région de l'Adrar a fait l'objet de plusieurs campagnes de reconnaissances hydrogéologiques. Les résultats obtenus sur des forages de 20 à 220m de profondeur, ont été relativement positifs, dans les grès d'Agueni, les calcaires d'Atar et ceux de Toueiderguit. Ces succès sont liés soit aux grands accidents tectoniques, soit à des zones karstifiées. Quatre zones peuvent se distinguer [18].

Partie III : outil, méthode et discussion des résultats

III-1.Introduction

Dans ce chapitre, nous introduisons des instruments et des méthodes et nous utilisons la carte numérique dans un cadre de SIG. La période de données pluviométriques est (1971 et 2011). L'interpolation de cette variable spatiale (moyenne pluviométrique annuelle) est étudiée dans notre zone d'étude par deux méthodes de Thiessen et des isohyètes. Collecte de données sur les précipitations via office national de météorologie

III-2. Instrument de mesure de précipitations

La pluviométrie elle se mesure en mm. 1mm d'eau correspond à un volume de 1 litre par mètre carré. Ainsi une bonne pluie de 10 mm représente un faible niveau dans votre pluviomètre mais 10 L d'eau par m² soit 100 000 Litres d'eau par hectare

III-3. Homogénéisation des données pluviométriques

Erreurs systématiques et lacunes dans la chaîne des précipitations corrections requises. La tâche consiste à vérifier l'homogénéité et à comparer station de référence

III-4. Comblent les lacunes en développant les données

Le but de cette commande est de combler les lacunes de la matrice de données.

La disposition des variables est, comme toujours, selon les colonnes et notes suivantes

Lignes. Dans cette matrice de données, certaines valeurs manquantes seront remplacées par unTexte contenant la lettre A (Exemple: "Lacune"). Justification deLe calcul est suffisant pour le moment pour savoir combien de composants principaux doivent être prélevésLe calcul est à la discrétion de l'utilisateur.

III-4-1. Méthode d'Estimation des données manquantes

On peut estimer une donnée manquante dans une série soit :

- en la remplaçant par la valeur de la station la plus proche
- en estimant sa valeur par la moyenne de celles des stations voisines. Cette méthode est utilisée lorsque les précipitations moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas de plus de 10% des précipitations moyennes annuelles aux stations de référence.
- en estimant sa valeur par la tendance annuelle des stations pluviométriques

$$P_x = \frac{1}{n} \sum \frac{P_{x,a}}{P_{i,a}} \cdot P_i \quad \text{pour } i \neq x$$

Où n est le nombre de stations de référence ;

P_i , a précipitation moyenne annuelle à la station i

P_x , a précipitation moyenne annuelle à la station x

P_i précipitation observé à la station i

III-5. Analyse des données pluviométriques

III-5-1. Choix des stations pluviométriques

Notre zone d'étude contient 16 stations, qui sont couvertes par l'ensemble de notre zone

Répartition assez bonne dans toute la zone d'étude.

Après avoir vérifié la cohérence des données, ce qui a permis de vérifier toutes les stations n'ont pas fourni un ensemble de données complet.

Enfin, nous avons conservé les données de précipitations de 6 stations

Nombre de station	Station météorologique
1	Nouakchott
2	Kiffa
3	Rosso
4	Tidjikdja
5	NEMA
6	Zouerate

Tableau 02 : les Stations pluviométriques

III-5-2. Interpolation

L'interpolation spatiale est un traitement mathématique utile et nécessaire lors de l'étude d'un phénomène naturel qui se d'emploie continûment sur le territoire. De ce fait, il devient déterminant de bien choisir la méthode d'interpolation qui sera retenue lors de l'estimation spatiale».

Nous interpolons les données de précipitations par deux méthodes d'interpolation spatiale pour comprenez leurs principes de base et comparez les Thiessen et les méthodes isohyètes. Ceci est d'autant plus important que l'on sait que les mêmes nombres peuvent être produire différentes cartes selon les choix précédents, ce qui donne une relative clarté Cartographie

III-5-3. Représentation cartographique des données

La cartographie est la méthode la plus appropriée pour une bonne représentation spatiale Du phénomène naturel. La cartographie numérique a été réalisée grâce à l'utilisation de techniques et Outils du système d'information géographique (SIG). Cartographie impliquée Précipitations de deux méthodes d'interpolation (méthode Thiessen et méthode des isohyètes). C'est le logiciel Arc Gis choisi pour développer des cartes pluviométriques en chaque période en raison de ses nombreuses performances et du fait qu'elle permet Exploiter les données directement depuis et contenir une base de données Access une unité statistique géographique très développée.

III-6. Collecte et traitement des données de la pluviométrie

Les données sur les précipitations ont été collectées auprès d'office national de météorologie, sous forme de plannings mensuels cumulés chaque année, il existe des stations qui contiennent des données très hétérogènes d'un point de vue Fiabilité des mesures de temps de surveillance et des stations contenant des chaînes Données incomplètes

Les données perdues sont étendues de plusieurs manières avec

Le programme HYDROLAB, le but de ces méthodes est d'estimer les valeurs

Précipitations non enregistrées de certaines stations basées sur des observations

Station, nous avons comblé ces lacunes. Ainsi, la moyenne annuelle de chacun est calculée (tableau).

Les résultats sont représentés d'une part dans un fichier contenant la matrice

L'original (Resbt.xls), où les écarts sont remplacés par leurs estimations,

Nous avons utilisé les données pluviométriques de 6 stations (tableau).

L'étalonnage sur 40 ans (1971 à 2011) montre une bonne homogénéisation

Nombre de station	Station météorologique	Moyenne de précipitations annuelle (Pi)mm
1	Nouakchott	89,35
2	Kiffa	251,8
3	Rosso	232,33
4	Tidjikdja	99,47
5	NEMA	235,5
6	Zouerate	55,49

Tableau 03 : la pluviométrie moyenne de 6 stations

Nous avons analysé les statistiques de précipitations pour 6 stations, selon le tableau, Ces précipitations sont caractérisées par une moyenne de 166,65 mm et un maximum 251,8 mm qui apparaît à la station de Kiffa au Sud Notre zone d'étude, avec un minimum de 55,49 mm enregistré dans Zouerate au Nord ces résultats ont confirmé que la partie nord de notre zone d'étude, moins de précipitations que les régions du sud

Paramètre statistique	Pluviométrie (mm)
Minimum	55,49
Maximum	251,8
Moyenne	166,65

Tableau 04: Analyse Statistiques de données de la pluviométrie moyenne annuelle

III-6-1. Cartographie de la pluviométrie moyenne annuelle

III-6-1-1. Présentation du logiciel ArcGis



Figure 6 : logiciel arcgis

Le logiciel ArcGis est un logiciel d'information géographique qui a été développé par la société américaine ESRI. ArcGis a développé différentes gammes de produits:

- SIG Bureautique: ArcView, ArcEditor, ArcInfo,
- SIG Serveur: ArcIMS, ArcGis Server, ArcGis Image Server,
- SIG pour développeurs: Extensions afin de développer SIG Bureautique,
- SIG Nomade: ArcPad et ArcGis pour travail de terrain.

L'application utilisée ici est principalement SIG Bureau. Grâce à sa boîte à outils, Spatial Analyst, des outils sont disponibles afin de créer, compiler et modifier les différents fichiers sur lesquels nous travaillons. Voici les applications utilisées dans le cadre de ce projet:

-A partir d'un fichier Excel avec des coordonnées en lambert93, positionner les données sur le MNT,

-Utilisation d'outils de conversion de couches,

-Utilisation d'outils permettant de tracer les polygones de Thiessen,

-Utilisation d'outils afin d'intersecter différentes couches,

-Utilisation de la BD Carthage afin de calculer les longueurs des cours d'eau,

-Calcul des surfaces des bassins délimités,

-Utilisation de HEC Géo Ras pour l'étude d'inondabilité.

III-6-1-2. Cartographie numérique de la pluviométrie moyenne annuelle de la méthode Thiessen

La méthode des polygones de Thiessen permet une estimation des valeurs pondérées en tenant compte de chaque station pluviométrique. Il attribue à chaque pluviomètre une zone d'influence qui représente sa surface, exprimée en%, comme facteur de pondération de la valeur locale.

Les différentes zones d'influence sont déterminées par la division géométrique du bassin sur une carte topographique. Les stations disponibles sont tracées sur une carte géographique, une série de segments de ligne droite sont tracés reliant les stations voisines. Nous élevons les droites perpendiculaires au centre de chacune des droites (bissectrices perpendiculaires); Les intersections de ces lignes verticales définissent des polygones. Pour chaque polygone, la hauteur des précipitations enregistrées à la station à l'intérieur est sélectionnée. Les côtés des polygones et / ou des bassins versants représentent les limites de la zone (et le poids) donné

pour chaque station. L'aire de chaque polygone A_i est déterminée en mesurant le plan ou numériquement.

Ensuite, le P_{moy} pour le bassin est calculé en prenant la somme des précipitations P_i pour chaque station, multipliée par le facteur de poids (région A_i), et le tout divisé par la surface totale A du bassin. Les précipitations moyennes sur le bassin s'écrit:

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S}$$

S_i : Surface d'influence du pluviomètre i en Km^2

P_i : Précipitation au poste i en mm

S : Surface du bassin versant en Km^2

III-6-1-2-1. Approche et résultats

Les instructions ci-dessous décrivent comment créer des polygones de Thiessen pour des entités linéaires.

1. Dans ArcMap, exécutez l'outil Feature Vertices To Points (Sommets d'entités vers points).
2. Dans la boîte de dialogue Feature Vertices To Points (Sommets d'entités vers points), faites les sélections qui conviennent dans les listes déroulantes Input Features (Entités en entrée) et Point Type (Type de point), puis cliquez sur OK.

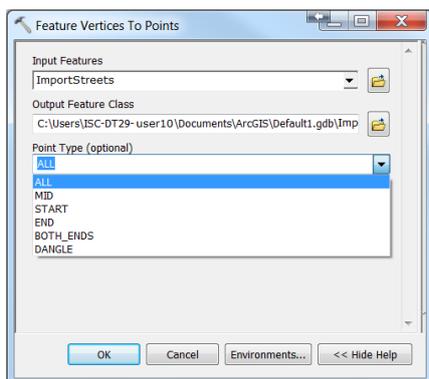


Figure 7 : feature vertices to point

3. Après avoir converti les entités linéaires en points, appliquez l'outil Create Thiessen Polygons (Créer des polygones de Thiessen) au jeu de données d'entités ponctuelles en sortie. Pour plus d'informations sur cet outil, voir Créer des polygones de Thiessen

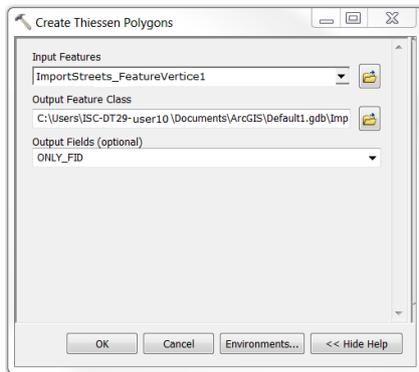


Figure 8 : create thiessen polygones

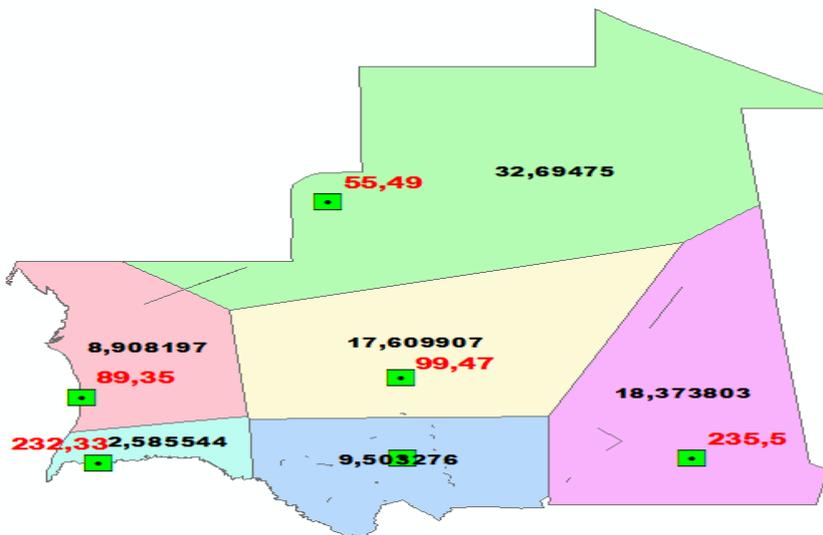


Figure 9. Carte de la moyenne de la pluviométrie annuelle (élaboré par la méthode de Thiessen)

Nombre de station	Station météorologique	Moyenne de précipitations annuelle (Pi)mm	Surface (Si) cm^2	Si*Pi
1	Nouakchott	89,35	8,90	795,215
2	Kiffa	251,8	9,50	2392,1
3	Rosso	232,33	2,58	599,41
4	Tidjikdja	99,47	17,60	1750,67
5	NEMA	235,5	18,37	4326,135
6	Zouerate	55,49	32,69	1813,9681

Tableau 05 : Calcul de Pmoy (Méthode de Thiessen)

Calcul de la pluie moyenne à partir de l'équation (1) ci-dessus :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S} = 130,2711011 \text{ mm}$$

Pmoy=130, 2711011mm

La méthode Thiessen permet, lors d'une étude hydrologique, de déterminer la station de mesure du niveau d'eau la plus proche de la zone d'étude.

III-6-1-3. Cartographie numérique de la pluviométrie moyenne annuelle de la méthode isohyètes

La méthode exacte de calcul des précipitations moyennes à partir de toutes les mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations de précipitations dans ou à proximité du bassin dépend de l'utilisation d'isohyètes.

Les lignes isothermes sont des lignes de la même précipitation (égale annuelle, mensuelle, quotidienne, etc.) Grâce aux valeurs de mesure de densité obtenues dans les stations du bassin et dans d'autres stations voisines, nous pouvons tracer une grille isohyète comme nous le faisons avec les courbes de niveau. Il doit être tracé avec une probabilité maximale en tenant compte de la zone, de la grille, de la qualité de la mesure, etc.

Lorsque les courbes isohyètes sont tracées, les précipitations moyennes peuvent être calculées comme suit:

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n SiPi}{S}$$

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin,

S : surface totale du bassin

Si : surface entre deux isohyètes i et $i+1$,

Pi : moyenne des hauteurs h de précipitations entre deux isohyètes i et $i+1$.

III-6-1-3-1. Approche et résultats

La ligne de contour sur la carte représente des lignes, droites ou courbes, qui décrivent l'intersection de la surface en interpolant un ou plusieurs plans horizontaux et en formant des gradients sur la variable ou le paramètre estimé, pour interprétation graphique. Par exemple, isohyète, isotherme et isotherme, représente respectivement la précipitation, la température et la pression dans une unité de temps à la surface.

Dans cet article, il montre la procédure d'isolement (lignes isothermes, isothermes, isothermes) dans Arc GIS, basée sur des stations météorologiques réparties

Pour créer une isolation, il est essentiel d'avoir une couche de stations météorologiques en points (au moins trois recommandés), géoréférencés et projection spécifique.

Si les informations météorologiques se trouvent dans une feuille de calcul Excel, vous pouvez ajouter ArcMap à l'aide de l'outil d'ajout de données XY, puis exporter la table sous forme de fichier de forme (cliquez avec le bouton droit sur Calque> Données> Exporter les données).

Pour insérer une extension Spatial Analyst requise, accédez à la boîte à outils:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation

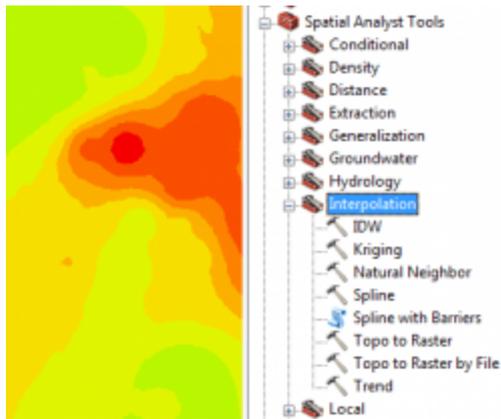


Figure 10: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation*

Dans cette section, vous trouverez un ensemble d'outils d'exécution, visualisés par ArcGIS Resource Center comme suit:

Spline utilise une méthode d'interpolation qui estime les valeurs à l'aide d'une fonction mathématique qui minimise la courbure de la surface globale, résultant en une surface lisse qui passe exactement par les points d'entrée.

Enfin, il procède à la création de restrictions avec l'outil suivant

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Contour

Dans la boîte de dialogue, renseignez les données, sélectionnez les données raster générées précédemment (spline), Output polilyne features définissent le répertoire de sortie pour enregistrer le fichier de forme et Intervalle de contour vous permet de définir un intervalle d'isolation, cela dépend de la surface, du contraste et des paramètres selon les normes techniques.

Si vous avez besoin de polygones vectoriels, il est nécessaire de reclasser les données raster (Outils d'analyse spatiale> Reclassifier> Reclassifier), puis de les convertir en vecteur (Outils de transformation> Du raster> Raster en polygone). Ce qui est intéressant, c'est qu'Arc GIS dispose d'une boîte à outils puissante qui nous permet d'atteindre une cible de différentes manières.

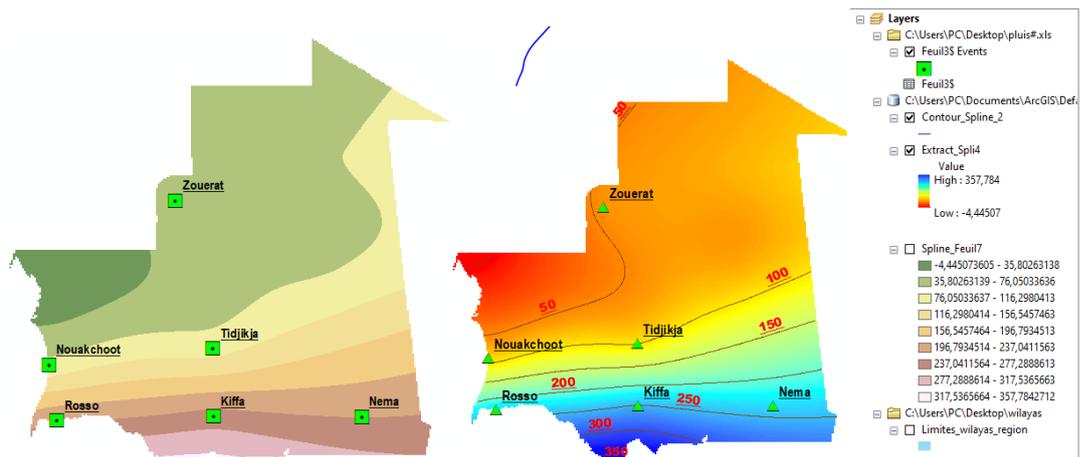


Figure 11 : carte élaboré par spline. Fig12 : carte élaboré par isohyètes. Fig13 : Layer

D'après la Figure 13. Déterminez que les précipitations dans le sud sont plus importantes de nord dans notre zone d'étude. Et Kiffa a montré des précipitations Plus grand (plus de 250 mm). D'autre part, le nord et le centre (Les régions de Zouerate, Nouakchott et Tidjikdja) ont enregistré de faibles précipitations moyennes moins de 81,43 mm.

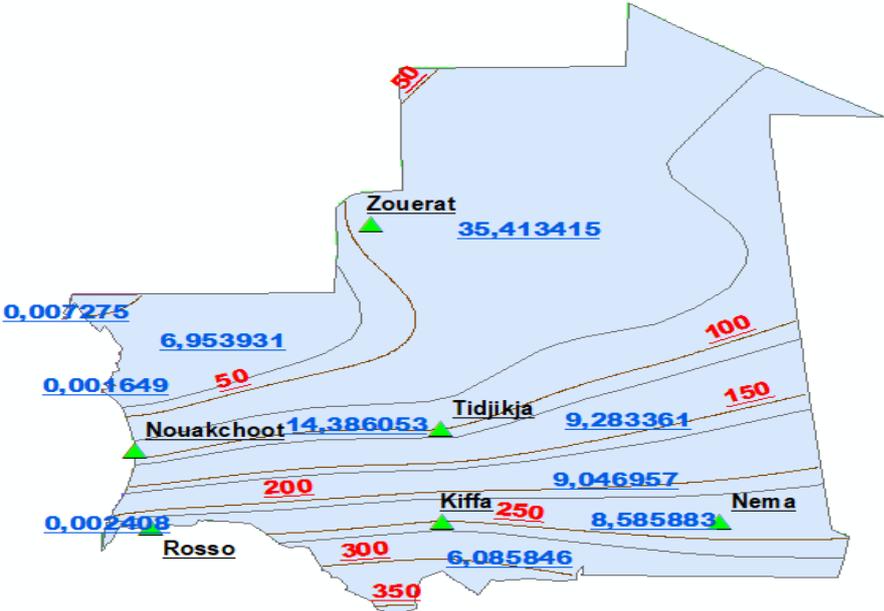


Figure 14 : carte de la moyenne de la pluviométrie annuelle (élaboré par la méthode des isohyètes)

Inter - isohyètes		Surface BV comprise entre deux isohyètes	Pluie moyenne entre deux isohyètes	Si*Pi
inf.	sup.	[km ²]	[mm]	
0	50	6,95	25	173,75
50	100	35,41	75	2655,75
100	150	14,38	125	1750
150	200	9,28	175	1624
250	300	9,04	275	2486
300	350	6,08	325	1976
Totaux		81,14		10713

Tableau 06 : Calcul de Pmoy (Méthode des isohyètes)

La précipitation moyenne annuelle est calculée selon la formule suivante.

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n SiPi}{S} = 132,03\text{mm}$$

$$P_{moy} = 132,03\text{mm}$$

III-6-1-4. La comparaison des résultats de deux méthodes appliquées

Les résultats obtenus ne diffèrent pas beaucoup. Cependant, il faut rappeler que pour un tel creux dont les hauteurs ne sont pas homogènes et les stations mal réparties dans l'espace,

Le choix entre la méthode Thiessen et la méthode des isohyètes n'a pas à être discuté. La deuxième méthode doit être utilisée lorsque le densimètre est dense. C'est plus efficace.

Conclusion :

Le but exacte de ce travail est de créer une base Données numériques sur les précipitations annuelles sur la Mauritanie pendant 40 ans (1971 et 2011) et produit deux cartes Précipitation en appliquant deux méthodes de Thiessen et isohyètes. Afin de faire une comparaison par validation croisée et d'autres paramètres Statistiques pour déterminer la meilleure méthode d'exécution.

La collecte et le traitement des données de précipitations sont observés sur 6 des 16 stations hydrométriques sont situées dans notre région de l'étude. L'analyse statistique montre que la pluviométrie annuelle moyenne est À partir de 166,65.

Cartographie des précipitations à travers les deux approches statistiques géographiques dans le cadre d'un système d'information géographique par deux méthodes de Thiessen et isohyètes

Comparaison du polygone d'Isohyète et de Thiessen

Le polygone de Thiessen et Méthode Isohyètes.

-Pas très précis.

-Si un bassin est ajouté ou supprimé, le polygone doit être entièrement redessiné.

-Les caractéristiques topographiques ne sont pas prises en compte.

-Les caractéristiques orographiques ne sont pas prises en compte.

-Méthode précise, mais très laborieuse.

-Pour chaque tempête, un isohyète distinct doit être dessiné.

-Si c'est fait sur une base annuelle, le travail sera très laborieux et prend du temps.

-Utile pour les études de projet et les études de tempête.

Bibliographies :

[1] **DC Yann L'HOTE, Janvier 1993** « Mesure et étude des précipitations en hydrologie » Université de MONTPELLIER II USTL

[2] **Christian Roux, 1996.** <<Analyse des précipitations en hydrologie urbaine>>. Exemple de la Seine-Saint-Denis. Hydrologie. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Français

[3] **WIKIPEDIA, Pluviomètre** <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pluviom%C3%A8tre#Types>

[4] **Joseph BOYARD-MICHEAU et Pierre CAMBERLIN,** RECONSTITUTION DE SÉRIES DE PLUIES QUOTIDIENNES EN AFRIQUE DE L'EST : APPLICATION AUX CARACTÉRISTIQUES DES SAISONS DES PLUIES

[5] **Amachnoug Hamid,** Agadir, Maroc <<chapitre 3 de l'hydrologie>>

<http://amachnoug-hamid.e-monsite.com/pages/cours-de-geologie/les-cours-de-la-geologie.html>

[6] **WIKIPEDIA, Cartographie** <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cartographie>

[7] **Définition détaillée de la cartographie** <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/92-195-x/2011001/other-autre/mapproj-projcarte/m-c-fra.htm>

[8] **Définition d'un SIG** <http://www.sig-geomatique.fr/sig-sig.html>

[9] **Jean Denegre, François salge, dans SIG, 2004** <<Architecture général et fonctionnalités des SIG>> <https://www.cairn.info/les-systemes-d-informations-geographique--9782130539230-page-63.htm#>

[10] **WIKIPEDIA, Structures de données dans un SIG**

https://fr.wikipedia.org/wiki/Structures_de_données_dans_un_SIG

[11] **WIKIPEDIA, Interpolation numérique**

https://fr.wikipedia.org/wiki/Interpolation_numérique

[12] Analyse Spatiale (Interpolation)

https://docs.qgis.org/2.8/fr/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

[13] **Valérie THAUVIN, 1992** THESE présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc pour obtenir le diplôme de DOCTORAT sous le thème : ETUDE DE LA REPARTITION SPATIALE DES PRECIPITATIONS EN MILIEU SAHELIEN A L'AIDE DU RESEAU DENSE DE PLUVIOGRAPHES DE L'EXPERIENCE EPSAT-NIGER

[14] **Pierre Bosser, Année Scolaire 2011-2012** <<Ecole Nationale des Sciences Géographiques département Positionnement Terrestre et Spatial>>

http://cours-fadpublic.ensg.eu/pluginfile.php/1513/mod_resource/content/1/inter2d.pdf

[15] **WIKIPEDIA, Mauritanie** wikipedia.org

[16] **Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, CLIMAT DE LA MAURITANIE** <https://www.environnement.gov.mr/fr/index.php/climat-de-la-mauritanie>

[17] **WIKIPEDIA, RELIEF** wikipedia.org

[18] **Bassirou DIAGANA**, Hydrogéologue Expert Agrée en ressources et en environnement, <<Les Ressources en eau en Mauritanie>>

[Notes sur les ressources en eau de la Mauritanie - Programme ...](#)

[www.pseau.org > outils > ouvrages > egire_diagana_les_r...](http://www.pseau.org/outils/ouvrages/egire_diagana_les_r...)