

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 الجيلالي بونعامة خميس مليانة
Université Djilali BOUNAAMA de Khemis Miliana
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض

Département de Biologie



Mémoire pour l'obtention du diplôme de master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Bioclimatologie

Etude cartographique de la pluviométrie annuelle Dans le Bassin versant du nord Chélif

Soutenu Par :

Mlle. FETTOUCHE Hadjer

Mlle. MENAD Amira

Devant le Jury :

M^r. Amokrane Athmane

M^r. RATA Mohamed

M^r. YAHAOUI Ibrahim

UDBKM

UDBKM

UDBKM

Président

Promoteur

Examineur

Année universitaire : 2019/2020

المخلص

الهدف من هذه العمل هو تمييز تقلبات هطول الأمطار في حوض تدفق الشمالي لشلف باستخدام الكريجين. الكريجين طريقة الاستيفاء المكاني العشوائي التي تنتبأ بقيمة ظاهرة طبيعية في المواقع غير المسندة إلى عينات من خلال تركيبة خطية غير متحيزة ومتباينة من قيم المواقع المجاورة. هذه الأطروحة مخصصة لدراسة هذه الطريقة.

تهدف هذه الأطروحة إلى التعمق في تقنية الكريجن و كذا توضيح آلية استخدامها. وبالتالي، تم اقتراح وتوضيح منهجية لتنفيذ الكريجين. حيث يتم جمع البيانات المستخدمة من شبكة من 41 مقياساً للمطر خلال الفترة من 1972 إلى 2010. سيسمح هذا التوصيف بإدارة أفضل لعدم اليقين، المرتبط بالطبيعة العشوائية، لهطول الأمطار والتنبؤ بشكل أفضل بالمخاطر التي قد تنشأ. إن التقلبات في التوزيع السنوي لكميات الأمطار ملحوظة بشكل كبير في الجبال الصخرية الشمالية وأقل من ذلك في سهول الشلف الثلاث.

كلمات مفتاحية: شمال الشلف، تساقطات سنوية، كريجين، ظاهرة طبيعية.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est de caractériser la variabilité de la pluie dans le nord du bassin versant de Chélif, en utilisant le krigeage. Le krigeage est une méthode stochastique d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et à variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins. Ce travail se consacre à l'étude de cette méthode. La résolution des équations du krigeage est donc détaillée et commentée. L'analyse variographique, étape préalable au krigeage, est aussi présentée. En plus d'avoir pour objectif l'approfondissement de la théorie du krigeage, ce mémoire vise à expliciter son utilisation. Les données utilisées sont récoltées sur un réseau de 41 pluviomètres dans la période 1972 à 2010. Cette caractérisation permettra de mieux gérer l'incertitude, liée au caractère aléatoire, des précipitations et de mieux prévoir les risques qui peuvent y être engendrés. Les fluctuations dans la répartition annuelle des hauteurs de pluie sont bien remarqué dans les massifs nord et moins pour les trois plaines du Chélif.

Mots clés : Nord chélif, pluies annuelles, krigeage, phénomène naturel

Abstract

The objective of this work is to characterize the variability of rainfall in the northern Chélif watershed using kriging.

Kriging is a stochastic spatial interpolation method that predicts the value of a natural phenomenon at unsampled sites by an unbiased, minimal variance linear combination of observations of the phenomenon at neighboring sites.

The resolution of the kriging equations is therefore detailed and commented on. Variographic analysis, a step prior to kriging, is also presented. In addition to aiming to deepen the theory of kriging,

The data used are collected on a network of 41 rain gauges in the period 1972 to 2010. This characterization will allow better management of the uncertainty, linked to the randomness, of precipitation and better forecast of the risks that maybe generated. The fluctuations in the annual distribution of rainfall amounts are considerable in the northern massifs and less so for the three Cheliff plains.

Keywords: Northern Cheliff, annual rainfall, kriging, natural phenomenon.

Remerciements

Au terme de ce travail, et avant tout, nous remercions Allah qui nous a donné la force, le courage et les moyennes pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions Mr RATA Mohamed pour tout son dévouement lors de nous encadrement, pour tout son aide et ses précieux conseils et ses encouragements incessants, et surtout pour sa patience et sa compréhension.

Un remerciement particulier au Mr Boucefiane AEK pour son aide.

Nous remercions nos membres du jury (Mr Amokrane a et Yahiaoui I) d'avoir accepté de lire et jury ce travail.

A tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

**A mes chers parents qui mon guide durent les moments les plus pénibles de ce long chemin
ma mère mon père, grand merci mes parents.**

A mon encadreur.

A mes enseignants.

A mes chères sœurs : Khaoula, Rahil, Sondos.

A mon cher petit frère : Mohamed Mouadh.

A mon amie Zola.

A mon binôme Amira.

Tous mes amis, mes collègues surtout Meriem et Saida et tous ceux qui m'estiment.

Toute ma famille paternelle et maternelle.



Hadjer

Handwritten signature of Hadjer.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma sincère gratitude :

A Mon exemple éternel mon défunt grand-père, que dieu ait son âme ;

**Aux deux êtres qui me sont très chers dans la vie, mon adorable et joyeuse mère, et
mon père bien aimé,**

Pour leur patience, Leurs encouragements et leur soutien inconditionnel ;

A ma fratrie adorable au quel sans eux ma vie n'aurai pas eu de sens,

**ET que dieu le tout-puissant les protège et les garde ; A toute la famille MENAD et
NAMANE ;**

A tous mes amis sans exception surtout Meriem et Saida ;

À mon binôme, l'unique Hadjer

Et A tous qui m'aiment.



Amira

M. Amira

Sommaire

الملخص

Résumé

Abstract

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre I: Introduction générale

I. Aperçu bibliographique	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Notion du bassin versant.....	3
I.3. Le cycle hydrologique de l'eau :.....	3
I.3.1. Pluviométrie.....	4
I.3.2. Origine des précipitations	4
I.3.2.1. Précipitation de convection.....	4
I.3.2.2. Précipitation orographiques	5
I.3.2.3. Précipitation cycloniques	5
I.4. Répartition de précipitation	6
I.4.1. Inégale répartition dans l'espace.....	6
I.4.1.1 À l'échelle du globe.....	6
I.4.1.2. À l'échelle régionale.....	7
I.4.1.3. À l'échelle locale	8
I.5. Variabilité des précipitations	8
I.5.1. Variabilité temporelle des précipitations	8

I.5.2. Variabilité spatiale des précipitations	8
I.5.3. Influence de l'altitude	8
I.6. Système d'information géographique (SIG).....	9
I.6.1. Structure d'un SIG	9
I.6.2. Cartographie.....	10
I.6.1.1. Cartographie classique	11
I.6.1.2. La cartographie automatique	11
I.6.2. Classification des cartes.....	12
I.6.2.1. Selon le contenu	12
I.6.2.2. Selon l'échelle.....	12
I.7. Nécessite de la cartographie des pluies.....	13
I.8. Géostatistique.....	13
I.8.1. L'interpolation	13
I.8.1.1. Méthodes stochastiques	14
I.8.1.2. Méthodes déterministes	14
I.8.1.2.1. Les triangulations.....	14
I.8.1.2.2. Polygones de Thiessen.....	15
I.8.1.2.3. Méthode des isohyètes (isovaleurs)	16
I.8.1.2.4. Méthodes barycentriques	16
I.9. Simulation géostatistique par krigeage:	17
I.10. La variographie :.....	19
I.10.1. Modélisation de variogramme :	19
I.11. L'application de la géostatistique dans le domaine de la climatologie.....	19

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction	21
II.2. Situation géographique	21
II.2.1. Découpage par sous-région	22
II.3. Climat :	22

II.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen :	22
II.3.2. Pluviométrie	23
II.3.3. Température.....	24
II.3.4. L'Humidité	24
II.3.5. Evapotranspiration potentielle :	24
II.4. Le relief	24
II.5. L'hydrogéologie.....	25
II.6. La géologie	25
II.7. Pluviométrie	26
II.8. Ressources souterraines.....	26
II.8.1. La nappe aquifère des dépôts quaternaire (alluvions) :	26

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.2. Spatialisation/modélisation des valeurs des précipitations	29
III.3. Le choix des stations et des données de précipitations	30
III.4. Méthode de krigeage	32
III.4.1. Analyse variographique	32
III.4.2. Krigeage ordinaire.....	34

Chapitre IV: Résultat et discussion

IV.1. Analyse des séries pluviométriques	37
IV.2.1. La moyenne de la pluviométrie annuelle	39
IV.3. Présentation cartographique de la pluviométrie moyenne annuelle du nord Chélif.....	40
IV.3.1. Type de variogramme annuelle utilisé.....	40
IV.4. Représentation cartographique de changement des régimes pluviométriques annuels dans le nord Chélif.....	40
Conclusion générale	43
Références bibliographique	45
Annexe	49

Liste des abréviations

ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques.

IRD : Institut de Recherche pour le Développement.

ONM : office National de la Météorologie.

UNEP : United Nations Environmental Program

SIG : Système d'Information Géographique.

KO : krigeage ordinaire.

P moy : précipitation moyenne sur le bassin,

A : surface totale du bassin,

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

K : nombre total d'isohyètes,

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

Liste des figures

Figure 1: précipitation de convection.....	5
Figure 2 : précipitation orographique.....	5
Figure 3 : Précipitation cyclonique	6
Figure 4 : Les précipitations en Afrique de l'Ouest. (2014)	7
Figure 5 : Structure d'un SIG.....	10
Figure 6 : Les types de la carte selon l'échelle	12
Figure 7 : Les deux niveaux d'abstraction en interpolation spatiale.....	14
Figure 8 : Exemple d'application de la méthode de Thiessen.....	15
Figure 9 : Localisation du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.....	21
Figure 10 : Diagramme ombrothermique du nord-Cheliff.....	23
Figure 11 : Répartition des stations sur la zone d'étude.	32
Figure 12: Propriétés d'un variogramme.	33
Figure 13: variation des précipitations moyennes annuelles dans le nord-Chéiff.	39
Figure 14: Graphe des précipitations moyennes annuelles enregistrées pour les 41 stations pluviométriques.....	39
Figure 15 : variogramme expérimental de la pluviométrie moyenne annuelle.....	40
Figure 16: Représentation cartographique de changement des régimes pluviométriques annuels dans le nord du Chéiff.	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les Sous-régions du Bassin Cheliff-Zahrez.....	22
Tableau 2 : Caractérisation statistique des 41 stations pluviométriques étudiées.....	49
Tableau 3: Caractérisation géostatistique des 41 stations pluviométriques étudiées.	30

Introduction générale

Introduction générale

En Algérie du Nord où domine un climat de type méditerranéen, les précipitations se caractérisent par une forte variabilité spatiotemporelle. Elles constituent, par ailleurs, le facteur le plus fortement explicatif des régimes hydrologiques des cours d'eau. L'indispensable connaissance spatiale de cet élément, dans toute étude hydroclimatologique, montre l'intérêt d'une cartographie qui soit tout à la fois objective et reproductible. (A. MEBARKI, 2003)

En Algérie, les changements des régimes pluviométriques et les indices climatiques de ces dernières décennies ont eu une influence négative sur la ressource hydraulique et sur le rendement agricole. Ces changements poussent actuellement les décideurs à revoir les types de cultures qui peuvent s'adapter à la nouvelle donne climatologique de certaines régions du pays, comme par exemple la plaine du Bas Chélif. (In Aissaoui A, Messaoudi N, 2015).

L'objectif de ce travail est d'avoir une méthodologie de cartographie des pluies annuelles dans le nord du bassin versant de Chélif par la méthode d'interpolation 'Krigage ordinaire'.

Dans ce cadre, ce travail est structuré par les chapitres suivants :

- Dans le premier chapitre, un aperçu bibliographique ;
- Le deuxième chapitre est consacré pour la présentation de la zone d'étude et ses caractéristiques climatiques et géomorphologiques ;
- Le troisième chapitre on pose la problématique visée avec les grands objectifs soulignés et on explique la démarche méthodologique adoptée dans ce travail ;
- Le quatrième chapitre répond à la problématique posée par une analyse et une interprétation des résultats de cette étude ;

Chapitre I

Aperçu bibliographique

I. Aperçu bibliographique

I.1. Introduction

L'hydrologie est la science de l'eau, de ses propriétés, de ses phénomènes et de sa distribution. Cependant, pour des raisons pratiques, le mot « hydrologie », tel qu'utilise par les scientifiques et les ingénieurs, sera restreint dans son sens par l'exclusion de certains de ses aspects. L'hydrologie est la science qui traite des eaux de la terre de leurs occurrences, circulation et distribution, de leurs propriétés chimiques et physiques, ainsi que de leurs réactions avec l'environnement, incluant leurs relations avec les êtres vivants. (Chow, 1964).

I.2. Notion du bassin versant

Un bassin versant ou bassin hydrologique, est l'unité ou cadre de toute étude hydrologique. C'est un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés exclusivement par les précipitations, et dont les excès en canaux ou en matières solides transportés par l'eau forment, en un point unique dans l'espace, une embouchure ou un exutoire (Roche, 1971). Les limites d'un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux qui le séparent des bassins adjacents. Le bassin versant transforme la pluie en débit de rivière. Cette transformation est : Non linéaire Varie pour un même bassin versant au cours de l'année, d'une saison à l'autre, d'une crue à l'autre. Varie d'un bassin versant à un autre selon les conditions géologique, pédologique, climatique et selon l'occupation du sol. (Legout, 2016).

I.3. Le cycle hydrologique de l'eau :

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables : une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années. (Laborde, 2009)

I.3.1. Pluviométrie

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre) (Yann, 1993).

I.3.2. Origine des précipitations

Les précipitations se produisent lorsque la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère se condense en nuages et retombe sur terre. Elles constituent l'unique «entrée» des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Elles constituent un phénomène physique qui décrit le transfert d'eau dans sa phase liquide (pluie) ou solide (neige, grêle) entre l'atmosphère et le sol. Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. (Sadou S, AssoumaneI D (2007).

On peut classer les précipitations en trois types :

I.3.2.1. Précipitation de convection

Le système convectif apparaît lorsque deux masses d'air de températures différentes rentrent en contact. Plus particulièrement lorsque une masse d'air froide recouvre un sol plus ou moins chaud ou lorsque les basses couches sont chauffées par les radiations solaires; L'air de ces basses couches se dilate alors, s'allège et s'élève sous l'effet de la poussée d'Archimède, il s'élève en se refroidissant jusqu'au niveau de condensation, altitude à laquelle se forme la base du nuage. L'air continue de s'élever en se condensant ainsi jusqu'au niveau d'équilibre thermique, altitude du sommet du nuage. Celui-ci peut atteindre des altitudes de l'ordre de 12 km pour les situations les plus convectives. Ce système est décrit par 03 phases : développement, maturité et dissipation. Ces précipitations sont caractérisées par des orages locaux et violents. Ces précipitations sont éprouvantes pour les réseaux d'assainissement. (Sanchez-Diesma et al. 1970).

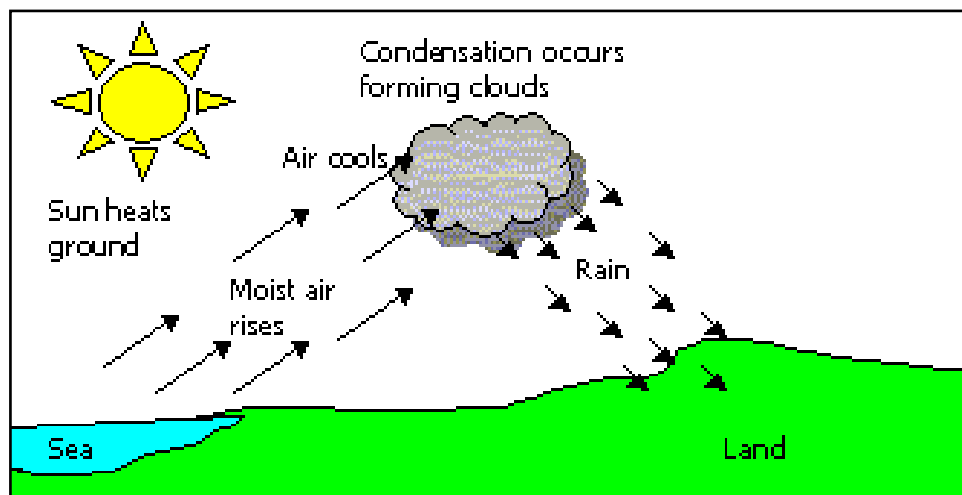


Figure 1: précipitation de convection (coolgeography.co.uk)

I.3.2.2. Précipitation orographiques

La présence d'un relief (une chaîne de montagne par exemple) sur la trajectoire d'une masse d'air provoque l'élévation de celle-ci. Le refroidissement induit peut entraîner la formation d'une couverture nuageuse et déclencher des précipitations (figure2) Ce type de système est relié aux perturbations cycloniques.

Les précipitations, d'intensité et d'extension variables, touchent principalement le versant situé Face au vent. Le versant sous le vent est au contraire plus sec, car l'humidité relative de la masse d'air et donc la pluie est moindre voire nulle lorsqu'elle descend sur le versant sous le vent. Roche M. (1963).

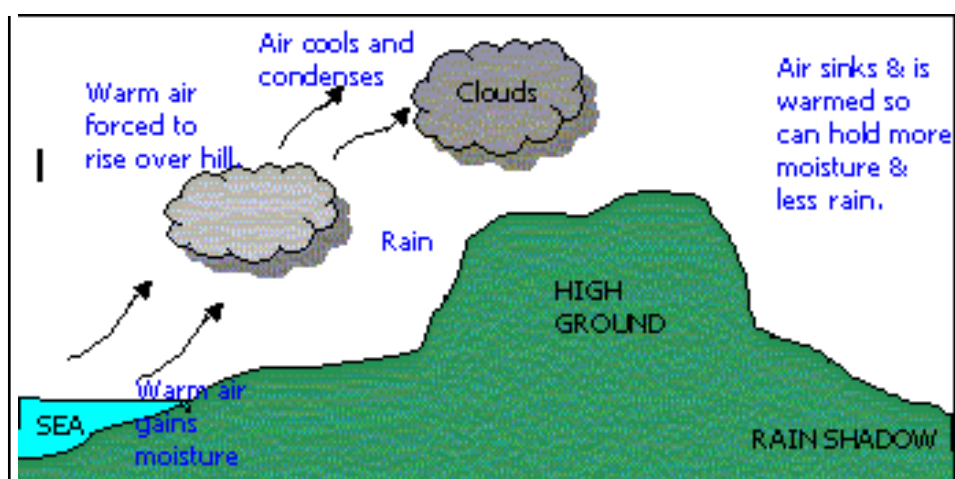


Figure 2 : précipitation orographique (coolgeography.co.uk)

I.3.2.3. Précipitation cycloniques

Ces précipitations sont engendrés au voisinage des surfaces de contact entre deux masses d'air de température et d'humidité différentes, appelé un front. La masse d'air chaud est toujours soulevée en altitude par la masse d'air froid. Suivant que la masse d'air chaud suive ou précède

la masse d'air froid on trouve un front chaud ou froid. Dans le cas d'un front froid, les nuages ont un développement vertical important et les précipitations sont intenses. Dans le cas d'un front chaud, les nuages ont une extension horizontale importante et les précipitations sont plus faibles que pour le front froid (Morel, 1999)

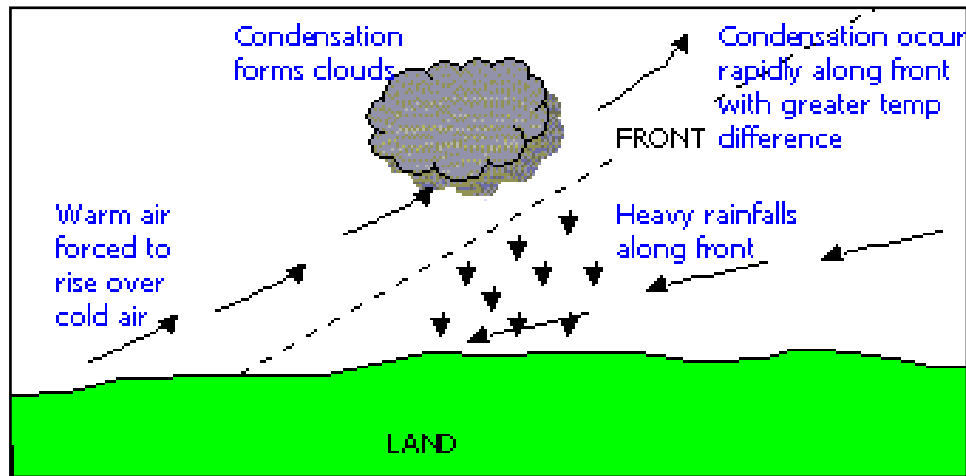


Figure 3. Précipitation cyclonique (coolgeography.co.uk)

I.4. Répartition de précipitation

La grande variabilité des précipitations, à la fois dans l'espace et dans le temps, joue un rôle considérable en hydrologie.

I.4.1. Inégale répartition dans l'espace

L'inégale répartition des précipitations, à laquelle il a déjà été fait allusion, s'observe quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte.

I.4.1.1 À l'échelle du globe

La quantité moyenne de vapeur d'eau contenue sur l'ensemble de la planète correspond, à une lame d'eau de 25mm. Cette valeur diminue régulièrement de l'équateur au pôle, et d'été en hiver, en relation avec la quantité de chaleur disponible pour l'évaporation. La distribution de l'humidité atmosphérique à la surface du globe est en bonne relation avec la répartition de l'évaporation et la circulation de vents dominants. La répartition mondiale des précipitations n'est pourtant pas aussi simple, dans la mesure où l'occurrence de précipitation est étroitement dépendante des conditions locales d'ascendance.

À l'échelle du globe, les zones de précipitations maximales sont les zones équatoriales et les régions de mousson.

À l'opposé, les zones de faibles précipitations sont les zones subtropicales et les régions polaires, pour des raisons toutefois complètement différentes : dans le premier cas l'absence de

précipitations est due à la présence de celles de hauteur pression empêchant toute ascendance de l'air, alors que dans les régions polaires la faiblesse des précipitations résulte de la faible teneur en eau de l'atmosphère dont les températures sont très basses.

I.4.1.2. À l'échelle régionale

À l'échelle de pays comme l'Algérie, les influences orographiques apparaissent vite comme déterminantes. Les régions les plus arrosées sont représentée dans l'Est de l'Atlas Tellien. Elle exprime l'influence simultanée de l'orographie et de la circulation atmosphérique régionale durant toute l'année. La moyenne annuelle atteint 800 mm, le régime pluviométrique se caractérise par un maximum pendant la saison froide, et par des intensités pluviométriques relativement fortes. (Medjerab A, HeniaL. 2005).

C'est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie. Elle est soumise au climat méditerranéen, caractérisé par un été sec et ensoleillé. Les moyennes annuelles des précipitations sont du Sud au Nord très variables de 450 à 1000 mm. (Bahroun S., KhericiBousnoubra H. 2011).

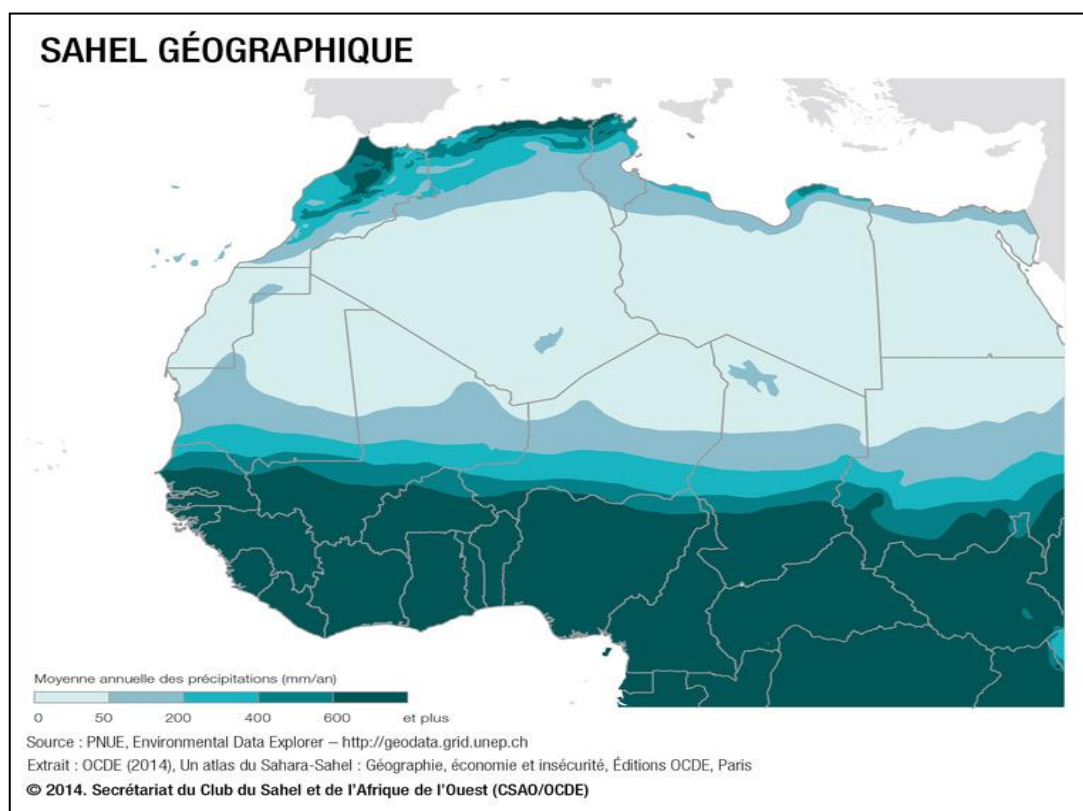


Figure 4. Les précipitations en Afrique de l'Ouest. (2014) (PNLE Environmental Data Explorer)

I.4.1.3. À l'échelle locale

À l'échelle locale, même pour de toutes petites surfaces, la variabilité des précipitations peut être considérable ; elle est toutefois d'ampleur différente suivant les types de pluies, bien plus importante pour des pluies convectives que pour des pluies cycloniques. Or il s'agit là, notamment en ce qui concerne la grève des crues, d'un phénomène d'autant plus fondamental qu'il est difficile à connaître avec précision.

Cette inégale répartition dans l'espace à l'échelle du bassin versant a fait l'objet de nombreuses recherches, dans la mesure où cette préoccupation rejoint la question de la mesure des précipitations. (Robinson M. 2000).

I.5. Variabilité des précipitations

I.5.1. Variabilité temporelle des précipitations

Les précipitations n'ont cessé de fluctuer à toutes les échelles de temps. L'étude de variabilité des précipitations est importante pour toute étude hydrologique. Egalement, elle est d'un apport considérable dans l'étude des changements climatiques. Le climat et plus exactement les précipitations ont connus des variations importantes ; un réchauffement et une baisse des précipitations sont observés depuis la moitié des années 1970 à l'échelle globale et à l'échelle régionale « méditerranée ». la circulation atmosphérique générale joue un rôle déterminant dans la variation du climat méditerranéen (notre zone d'étude) qui se trouve plus influence par l'oscillation nord atlantique (Taibi.2011).

I.5.2. Variabilité spatiale des précipitations

La spatialisation des irrégularités des précipitations peut être approchée par le coefficient de variation (CV) des séries de mesures disponibles. Ce coefficient permet une comparaison entre les stations. La variabilité interannuelle des pluies augmente lorsque l'on se rapproche des régions arides. L'augmentation de la variabilité suit l'accroissement de la longitude et la diminution de la latitudinale. L'altitude atténue cet accroissement (M. Meddi, 2009).

L'analyse du régime pluviométrique à l'échelle spatial parle coefficient de la variation n'a fait que confirme la forte variabilité des précipitations d'Est en Ouest du nord au sud. Qui est liée principalement aux grands ensembles géographiques du pays (Taibi, 2011).

I.5.3. Influence de l'altitude

L'altitude, c'est la hauteur d'un lieu précis par rapport au niveau de la mer.

Plus on monte, plus la température et la pression atmosphérique baissent et influencent les Précipitations. Dans les régions tempérées, la disposition et les caractéristiques du relief jouent beaucoup sur le climat. Les montagnes ont des caractéristiques différentes sur les deux versants. On a plus de précipitations sur le versant balayé par le vent que sur le versant opposé dont l'air est plus sec. Aux pôles et à l'équateur, les reliefs n'influencent pas beaucoup le climat.

L'influence de l'altitude sur la distribution géographique des précipitations est variée. Il y a une hausse des précipitations en fonction de l'altitude dans les stations exposées aux flux pluvieux, avec une variation du gradient de l'Ouest vers l'Est. Quoiqu'il en soit, l'altitude n'est pas toujours le facteur le plus important dans la distribution géographique des précipitations. D'autres facteurs tels que la distance de la station par rapport au sommet, la position du relief par rapport à la mer, la morphologie de l'orographie jouent aussi un rôle important. (Medjerab A, Henia L. 2005)

I.6. Système d'information géographique (SIG)

Un SIG est un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage des données localisées. (PORNON H., 1992).

I.6.1. Structure d'un SIG

La figure n°3 met en évidence quatre groupes de fonctionnalités au-dessous d'une couche d'applications : l'acquisition des données géographiques d'origines diverses, la gestion pour le stockage et la recherche des données, l'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation et enfin la présentation des résultats sous forme cartographique.

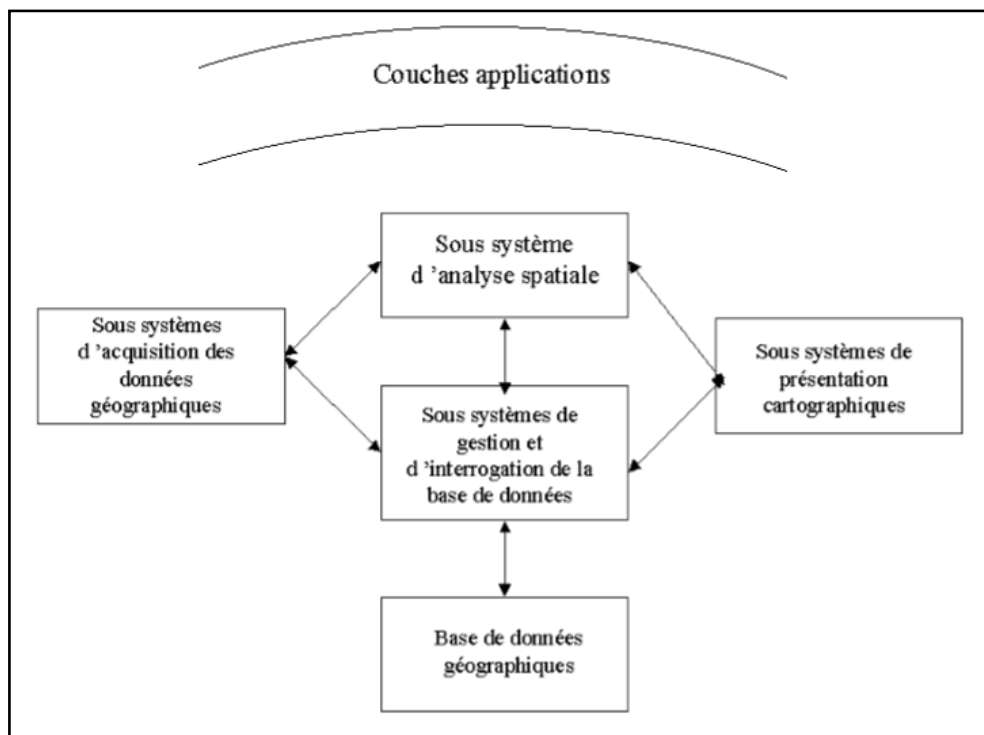


Figure 5 : Structure d'un SIG (Abdelbaki Ch., 2012)

I.6.2. Cartographie

La cartographie a pour but la représentation de la terre ou d'une autre planète sous une forme géométrique et graphique grâce à la conception, la préparation et la réalisation de cartes.

La cartographie est à la fois une science, un art et une technique. C'est une science, car ses bases sont mathématiques, notamment en ce qui concerne la détermination de la forme et des dimensions de la terre puis le report la surfaces courbe de la terre sur un plan (la carte) grâce au système des projections et enfin l'établissement d'un canevas planimétriques et altimétrique l'enjeu est la précision et la fiabilité de la carte. (Poidevin ,1999).

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. Pour cela il existe de nombreuses façons de dériver une prévision pour chaque emplacement ; chaque méthode est connue sous la forme d'un modèle. Avec chaque modèle, des suppositions différentes sont faites concernant les données et certains modèles conviennent mieux à des données particulières (par exemple, un modèle peut prendre en compte une variation locale mieux qu'un autre). Chaque modèle produit des prévisions à l'aide de calculs différents.

I.6.1.1. Cartographie classique

En Algérie du Nord où domine un climat de type méditerranéen, les précipitations se caractérisent par une forte variabilité spatiotemporelle. Elles constituent, par ailleurs, le facteur le plus fortement explicatif des régimes hydrologiques des cours d'eau. L'indispensable connaissance spatiale de cet élément, dans toute étude hydroclimatologique, montre l'intérêt d'une cartographie qui soit tout à la fois objective et reproductible.

Les travaux réalisés auparavant se basaient sur l'interpolation manuelle du contour des isohyètes à partir des données mesurées aux stations, en s'appuyant sur un fond hypsométrique :

La carte pluviométrique de Seltzer P. (1946) a été établie à l'échelle du 1/1000 000, d'après les moyennes brutes de 25 années climatiques, de septembre 1913 à août 1938. (Seltzer P (1946) ;

La carte au 1/500 000 de Gaussen H. (1948) couvre la période 1913-1947. (Gaussen H(1948).

Enfin, la carte au 1/500 000 de Chaumont M. et Paquin C. (1971) représente les précipitations annuelles moyennes ramenées à une période de 50 ans (1913-1963). Chaumont et Paquin C (1971)

Il est indéniable que ces cartes, faisant largement appel à l'expérience et à la connaissance des auteurs du domaine géographique étudié, restent des documents de référence pour la pluviométrie algérienne.

I.6.1.2. La cartographie automatique

La cartographie automatique outre le gain en objectivité concernant le tracé des isohyètes, offre-t-elle des avantages que ne pouvait permettre la cartographie traditionnelle : - les cartes informatisées peuvent être mises à jour assez rapidement au vu de la disponibilité de nouvelles séries d'observation ; elles sont « maniables » au sein d'un Système d'Information Géographique, car correspondant à des couches d'information numérisée. Pour substituer à l'élaboration manuelle de la carte pluviométrique une méthode automatique et opérationnelle, il était nécessaire de rationaliser les différentes étapes de la cartographie (Atlas climatique) en partant de la prise en compte quantitative du « paysage » topographique environnant chaque point de mesure pour reconstituer l'ensemble du champ pluviométrique . Benichou P. et Lebreton O (1987).

C'est dans le cadre d'une telle démarche qu'a vu le jour, en 1993, la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (moyennes de 60 ans : du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989).

Cette carte, réalisée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.) suivant une méthodologie proposée par J-P. Laborde (Université de Nice-Sophia Antipolis), a constitué le premier jalon d'une cartographie basée sur l'utilisation d'outils modernes à l'effet de répondre aux besoins des projeteurs et différents utilisateurs avec les moyens de notre temps. Laborde J-P (1995)

I.6.2. Classification des cartes

Les cartes peuvent être classées de deux manières.

I.6.2.1. Selon le contenu

Carte topographique : Position planimétrique et altimétrique, la forme, la dimension et l'identification des phénomènes concrets fixes et durables existants à la surface du sol.

Carte thématique : Présentant sur un fond repère, des phénomènes qualitatifs ou quantitatifs concrets ou abstraits circonscrits et limités par le choix d'un ou plusieurs sujets particuliers.

I.6.2.2. Selon l'échelle

L'échelle est le rapport entre une distance sur le terrain et cette même distance sur la carte. Elle s'exprime donc sous la forme d'une fraction : 1/50.000 par exemple. Dans cet exemple centimètre sur la carte est égal à 50.000 centimètres sur le terrain.

Les échelles les plus courantes sont :

1/10 000 <	Très grandes échelles ou plan	
1/25 000 <	Grandes échelles	< 1/10 000
1/100 000 <	Moyennes échelles	< 1/25 000
1/500 000 <	Petites échelles	< 1/100 000
	Très petites échelles	< 1/500 000

Figure 6 : Les types de la carte selon l'échelle (M. Vendé-Leclerc, 2014)

I.7. Nécessité de la cartographie des pluies

Les précipitations sont des processus variables aussi bien dans l'espace que dans le temps. Lorsque cette variabilité est caractérisée par une certaine cohérence, celle-ci définit leur structure. En hydrométéorologie, dans le cadre de l'interpolation des champs pluviométriques, il a été montré que les méthodes stochastiques, telles que celles utilisées en géostatistique, donnent de meilleurs résultats que les méthodes déterministes ; du fait qu'elles tiennent compte de la structure spatiale des champs considérés (Lebel, 1984).

Les méthodes géostatistiques sont souvent utilisées pour les problèmes impliquant des transformations non linéaires des variables mesurées. En hydrogéologie, les problèmes inverses sont traités par ces méthodes. Le paramètre inconnu peut être le coefficient de perméabilité, transmissivité, coefficient de dispersion, les conditions aux limites peuvent être identifiées. Les paramètres sont considérés comme étant des variables aléatoires à cause de la nature hétérogène du milieu, en examinant la distribution spatiale des valeurs ponctuelles à l'intérieur du domaine donné et en calculant quelques éléments statistiques de l'estimation (la moyenne, la variance,...), on pourra juger la qualité de la simulation (Kitanidis, 1997).

La méthode de krigeage offre l'avantage d'avoir la variance d'estimation minimale (Laborde, 2000), ce problème de simulation peut être résolu en deux étapes :

- La moyenne et la fonction de variance sont estimées par les observations (données brutes).
- L'estimation du champ (piézométrie ou concentration) est conditionnée par les observations pour obtenir les meilleures réalisations. (G. de Marsily, 1981)

I.8. Géostatistique

I.8.1. L'interpolation

L'interpolation spatiale est un traitement mathématique parfois utile lors de l'étude d'un phénomène naturel qui se déploie continument sur le territoire. La région de l'espace géographique concernée par cette étude est ici appelée « champ » (Sophie Baillargeone ; 2005)

L'interpolation est une procédure d'estimation de la valeur d'une variable dans un endroit déterminé à partir de la connaissance des valeurs d'un certain nombre de points pour permettre de les calculer en chaque point de la zone. Si le point que nous voulons estimer se trouve à l'extérieur du champ des points connus on parle d'extrapolation. (Mourah Nawel, 2010).

Les outils d'interpolation sont divisés généralement en méthodes déterministes et stochastiques :

I.8.1.1. Méthodes stochastiques

Elles supposent une modélisation probabiliste du phénomène, dont les observations résultent de la réalisation de variables aléatoires ; ces méthodes font alors appel à des modèles découlant de l'analyse statistique des données considérées.

I.8.1.2. Méthodes déterministes

Elles supposent une modélisation déterministe du phénomène ; ces méthodes se basent alors sur des propriétés purement mathématiques, généralement géométriques, sans tenir compte du phénomène physique qui nous intéresse.

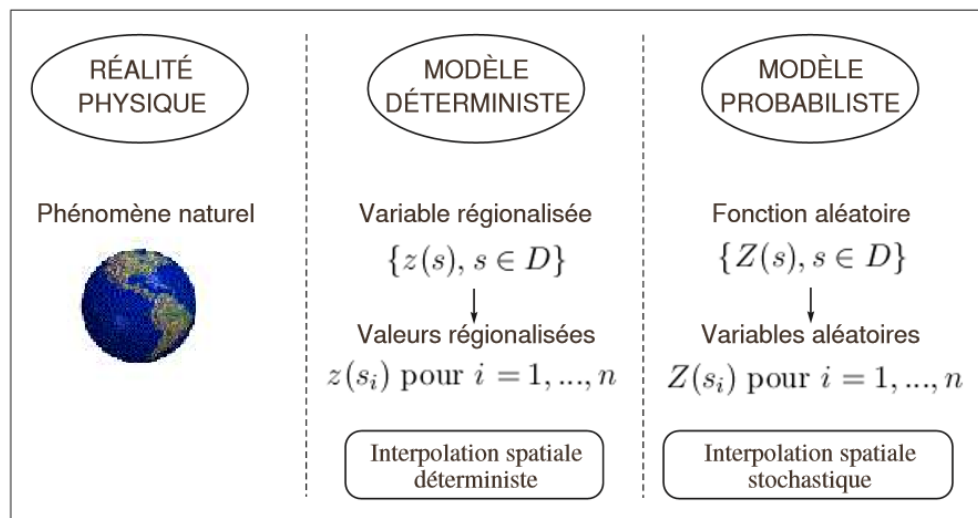


Figure 7 : Les deux niveaux d'abstraction en interpolation spatiale (Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations)

La figure N°8 résume la notation présentée dans cette section. Elle représente du même coup la modélisation d'un phénomène naturel selon les deux niveaux d'abstraction décrits précédemment.

I.8.1.2.1. Les triangulations

C'est une Interpolation à partir d'une triangulation Définition La triangulation consiste à diviser le champ en triangles disjoints dont les sommets sont les sites d'observation. On calcule alors la valeur en un point donné à partir des valeurs des sommets du triangle auquel il appartient. Il existe plusieurs méthodes de triangulation, la plus utilisée étant la triangulation de Delaunay. Notons les propriétés d'une telle triangulation : La triangulation est indépendante de l'ordre de traitement. L'ensemble du domaine n'est pas recouvert : on opère uniquement dans l'enveloppe convexe des sites.

I.8.1.2.2. Polygones de Thiessen

Pour tous les sites d'observation du champ, on définit un polygone d'influence tel que chaque point du polygone est plus proche du point d'observation. L'interpolation par la méthode de Thiessen consiste à affecter à l'ensemble des points d'un polygone donné la valeur de la variable régionalisée correspondante (on parle aussi de plus proche voisin).

Le découpage de Thiessen dépend uniquement de la configuration géométrique et non pas des valeurs observées. Les polygones ne sont pas nécessairement fermés dans certaines directions de l'espace : il faut ainsi limiter la partition aux frontières de D, ou fixer une distance d'influence limite.

En hydrologie la méthode de Thiessen est l'une des plus utilisées pour estimer les précipitations en un point donnée. Elle définit la zone d'influence de chaque pluviomètre comme étant l'ensemble des points au sein du bassin étudié, qui ont pour plus proche station de ce pluviomètre (Fig. 3).

Le facteur de pondération de ce dernier est alors proportionnel à l'aire A_i de ce bassin :

$$a_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

La méthode du polygone de Thiessen est la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne en général de bons résultats. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement).

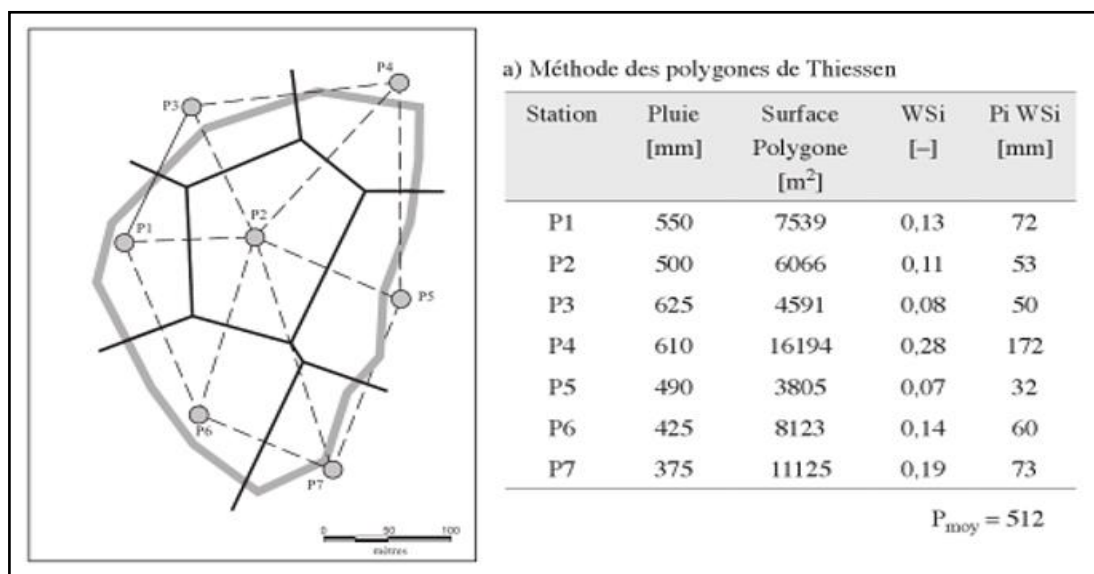


Figure 8 : Exemple d'application de la méthode de Thiessen.

I.8.1.2.3. Méthode des isohyètes (isovaleurs)

Les isohyètes sont des lignes de même pluviosité (isovaleurs de pluies annuelles, mensuelles, journalières, etc.). Grâce aux valeurs pluviométriques acquises aux stations du bassin et aux autres stations avoisinantes, on peut tracer le réseau d'isohyètes. (Musy, 2005).

Lorsque les courbes isohyètes sont tracées, la pluie moyenne peut être calculée de la manière suivante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^K A_i * P_i}{A}$$

P moy : précipitation moyenne sur le bassin,

A : surface totale du bassin,

A_i : surface entre deux isohyètes i et i+1,

K : nombre total d'isohyètes,

P_i : moyenne des hauteurs h de précipitations entre deux isohyètes i et i+1. (MUSY. A, 2005.)

I.8.1.2.4. Méthodes barycentriques

Inverse des distances N'étant pas limitées au voisinage direct du point d'intérêt, les méthodes barycentriques présentent l'avantage de prendre en compte plus de données du champ d'observation. Un poids plus important est affecté aux sites les plus proches, un poids moindre aux sites plus éloignés. L'interpolation par inverse des distances est la méthode barycentrique la plus employée. Elle consiste à attribuer un poids inversement proportionnel à la distance E_i.

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^K A_i * P_i}{A}$$

Les tendances : On cherche à ajuster par moindres-carrés une surface polynomiale aux valeurs observées. Cette surface se présente sous la forme (Bossert.2013):

$$\hat{z}(\vec{s}) = \hat{z}(x, y) = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} a_{ij} x^i y^j$$

$$\begin{pmatrix} x_1^0 y_1^0 & \dots & x_1^0 y_1^p & x_1^1 y_1^0 & \dots & x_1^1 y_1^{p-1} & \dots & x_1^p y_1^0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_n^0 y_n^0 & \dots & x_n^0 y_n^p & x_n^1 y_n^0 & \dots & x_n^1 y_n^{p-1} & \dots & x_n^p y_n^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{0,0} \\ \vdots \\ a_{0,p} \\ a_{1,0} \\ \vdots \\ a_{1,p-1} \\ \vdots \\ a_{p,0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix}$$

I.9. Simulation géostatistique par krigeage:

Dans la technique de krigeage ordinaire, on cherche à établir les résultats permettant de fournir une mesure de la précision des estimés effectués par l'estimateur linéaire d'une valeur réelle h (inconnue) permet de déterminer : (Brochu, 2002)

$$h^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i h_i \dots\dots\dots (1)$$

On définit l'erreur d'estimation :

$$e = h - h^* \dots\dots\dots (2)$$

L'obtention d'une variance d'estimation minimale revient à minimiser l'expression :

$$\begin{aligned} var(e) &= \sigma_e^2 = var[h - h^*] \\ &= var[h] + var[h^*] - 2COV[h, h^*] \end{aligned}$$

.....(3)

Qui peut se réécrire en y substituant l'estimateur linéaire :

$$\sigma_e^2 = var[h] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j cov[h, h_i] - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i cov[h, h_i] \dots\dots\dots (4)$$

Afin d'assurer une absence de biais pour l'estimateur linéaire (éq. 1), il est nécessaire que cette contrainte soit intégrée au modèle.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \dots\dots\dots (5)$$

Cette contrainte signifie que la moyenne locale des observations est constante partout dans le domaine. La minimisation d'une fonction quadratique avec présence d'une contrainte d'égalité (éq. 5) s'effectue par la méthode de Lagrange. Il suffit de former le Lagrangien $L(\lambda)$ qui fait intervenir le multiplicateur de Lagrange μ :

$$L(\lambda) = \sigma_e^2 + 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1) \dots\dots\dots(6)$$

L'équation (6) fournit le krigeage ordinaire lorsque s'annulent toutes les dérivées partielles par rapport à chacun des λ_i ; et par rapport à μ
 Le système de krigeage ordinaire devient :

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \text{cov}[h_i, h_j] + \mu = \text{cov}[h_i, h_j] \dots\dots\dots(7)$$

Avec :

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \dots\dots(8)$$

Qui est la contrainte de non-biais. La variance d'estimation minimale de ce système, ou variance de krigeage σ_k^2 est déterminée par la substitution des équations de krigeage dans l'équation (4) représentant la forme générale de la variance d'estimation :

$$\sigma_k^2 = \text{var}[h] - \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{cov}[h, h_i] - \mu \dots\dots(9)$$

Il est intéressant de visualiser le système de krigeage ordinaire sous forme matricielle :

$$K_0 \cdot \lambda_0 = k_0 \dots\dots (10)$$

Ce système s'écrit, sous forme développée :

$$\begin{pmatrix} \sigma^2 & \text{cov}(h_1, h_2) & \dots & \text{cov}(h_1, h_n) & 1 \\ \text{cov}(h_2, h_1) & \sigma^2 & \dots & \text{cov}(h_2, h_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{cov}(h_n, h_1) & \text{cov}(h_n, h_2) & \dots & \sigma^2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{cov}(h_1, h) \\ \text{cov}(h_2, h) \\ \dots \\ \text{cov}(h_n, h) \\ 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(11)$$

La résolution de ce système permet de calculer les poids de krigeage λ_i , nécessaires à l'estimation d'un point par l'estimateur linéaire (éq. 1) (Laborde, 2000). Après le conditionnement avec les valeurs mesurées, la variance diminue au fur et à mesure qu'on détermine le système de krigeage (évaluation de λ_i et μ).

I.10. La variographie :

C'est la phase qui consiste à établir le variogramme qui permet de résumer toute l'information structurale de la variable régionalisée (Steven et al, 1996).

I.10.1. Modélisation de variogramme :

Le variogramme est un outil servant à décrire la continuité spatiale d'un phénomène. Il repose sur l'idée voulant que deux observations séparées par une faible distance vont en moyenne se ressembler davantage que deux observations séparées par une plus grande distance. La formulation théorique du variogramme $\gamma(r)$ fait appel à la notion de variance (var) appliquée à la différence entre deux observations $h(x)$ séparées par une distance r .

$$\gamma(r) = \frac{1}{2} \text{var}[h(X) - h(X + r)] \dots \dots \dots (12)$$

Cette définition du variogramme repose sur l'hypothèse de stationnarité du second ordre (en réalité, hypothèse intrinsèque). Elle signifie que des configurations de deux points, qui sont identiques par translation, sont considérées statistiquement équivalentes (moyennes et variances identiques). Ainsi, la valeur du variogramme dépend uniquement de la distance entre deux points sans tenir compte de leur position à l'intérieur du domaine.

A priori, les paramètres proposés sont ceux d'un variogramme omnidirectionnel (tolérance de 90°) calculé sur la moitié du champ.

Avant d'ajuster les paramètres il convient tout d'abord de choisir un des quatre modèles théoriques proposés dans Arc-GIS 10.3 (Linéaire, Sphérique, Exponentiel, Gaussien).

La première méthode consiste à modifier manuellement les paramètres et à tâtonner au regard des graphiques.

I.11. L'application de la géostatistique dans le domaine de la climatologie

La géostatistique est une science relativement nouvelle, dérivée de la statistique appliquée, qui traite de problèmes liés aux variables régionalisées. En géostatistique, la variable régionalisée est une variable que l'on observe dans l'espace (ou le temps) et qui fait partie d'une population multi variée, où ses valeurs peuvent entrer en corrélation avec les coordonnées de l'espace (ou du temps). Ce type de procédure est important pour estimer les valeurs de lieux non échantillonnés, en se basant sur des valeurs de données observées dans des lieux connus comme par exemple pour la pluie ou pour la température de l'air. (In Carmello V 2015)

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II. Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction

L'Oued Cheliff qui s'étend sur une distance de 800Km traverse le bassin versant le plus important du pays avec une superficie de 56 227 km². Il est le seul cours d'eau algérien, qui prend sa source dans l'Atlas saharien, près d'Aflou dans les monts du djebel Amour. Deux barrages sont installés le long de cet Oued, Bouguezoul qui décrète les crues en provenance du haut bassin de l'Oued Cheliff et Ghrib dont le comblement de la retenue et ralenti par la décantation des eaux du premier barrage. (Atlas du bassin hydrographique chéloff zahrez)

II.2. Situation géographique

Le Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez couvre une superficie d'environ 56 227 km² (soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord), en longitude entre 0°12" Est et 3°87" Est et en latitude entre 33°91" Nord et 36°58" Nord.

Une région hydrographique limitée naturellement au Nord par la Mer Méditerranée, à l'Ouest par la région Oranie – Chott Chergui, à l'Est par la région Algéroise – Hodna – Sommam et au sud par le Sahara.

Cette région hydrographique est découpée en trois grands sous bassins versants, le bassin du Cheliff est le plus grand du point de vue superficie en Algérie, il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Cheliff-Zahrez. Ce même bassin, limité au Nord par les monts du Dahra et au sud par l'Atlas saharien, comprend au Nord la vallée du Cheliff, au sud les hauts plateaux, allant de Saïda à Tiaret, les plaines de Nahr Ouassel et Ain Ouassera et au centre le massif de l'Ouarezenis.

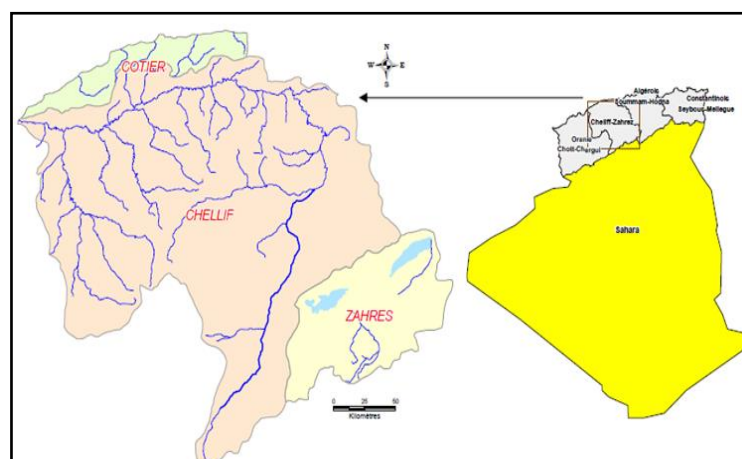


Figure 9 : Localisation du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez

II.2.1. Découpage par sous-région

Vu l'étendue de la région Cheliff Zahrez, il est apparu nécessaire de définir, des sous régions pour mieux cerner l'adéquation ressources - besoins, Ce découpage est basé sur :

Les bassins hydrographiques,

Les infrastructures existantes ou projetées,

Les limites administratives.

Cependant, le bassin du Cheliff dont l'étendue est assez importante maintiendra son découpage classique (Haut, Moyen et Bas Cheliff).

Tableau 1 : Les Sous-régions du Bassin Cheliff-Zahrez

SOUS REGION	BASSIN HYDROGRAPHIQUE	WILAYATS
Sous région 1	Haut Cheliff	Ain Defla, Média, Tissemsilt et Tipaza
Sous région 2	Moyen Cheliff	Chlef
Sous région 3	Mina, Bas Cheliff	Relizane, Tiaret, Mostaganem et Mascara
Sous région 4	Haut plateaux	Djelfa, Laghouat et M'sila

II.3. Climat :

Les plaines du Chélif, en général, ont un climat spécial, de type continental semi-aride, célèbre par sa dureté, malgré la proximité de la mer (50 Km en moyen) (ScetAgri, 1985), et qui a été cité comme une curiosité météorologique (Seltzer, 1946 in Rata, 2010)

II.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen :

Le Diagramme Ombrothermique de Gaussen (1953) ou le diagramme pluviométrique de Gaussen est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période sèche et humide d'une région.

Bagnouls et Gaussen (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation $P \leq 2T$, avec :

P : moyenne mensuelle des précipitations en (mm)

T : moyenne mensuelle des températures en (°C) avec $T = (M+m)/2$.

Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise ($P=2T$), c'est la zone où la courbe de P passe au-dessous de celle de T.

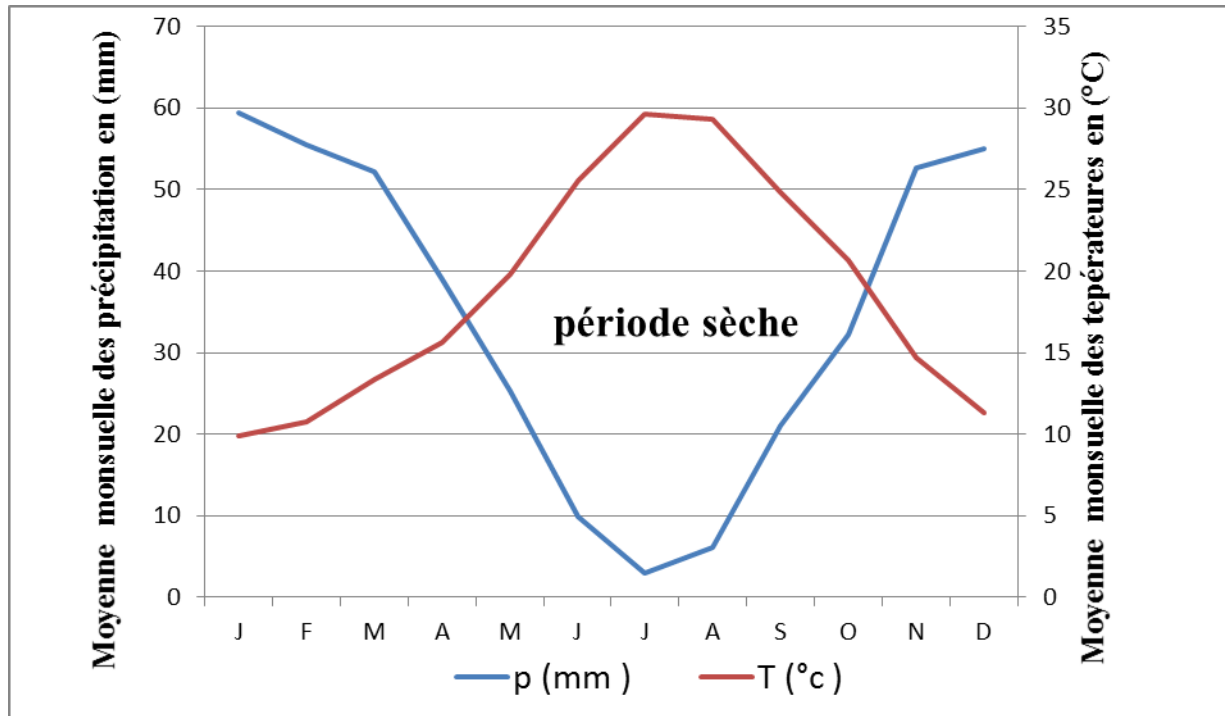


Figure 10 : Diagramme ombrothermique du nord-Cheliff 1990-2014.

D'après les résultats de Diagramme Ombrothermique de Gausson et Bagnouls de la région du Chéiff entre 1990 et 2014, on remarque une longue période de sécheresse. Elle s'étale sur Sept mois allant du mois d'avril au mois d'octobre.

II.3.2. Pluviométrie

Le bassin Cheliff est caractérisé par un moyen annuel de pluies de 148 mm à 746 mm d'une station à une autre. Le coefficient de variation des moyennes annuelles est 30% qui présentent une modeste variabilité.

A L'échelle annuelle, la variabilité spatiale (Entre stations) est supérieur à 51% : Elle est accentuée par :

Automne orageux et les pluies d'été causées par les vents nord-ouest (MEDDI, M 1992) affectant les parties du nord-ouest et sud-ouest du bassin.

Un hiver lourd et les pluies du printemps reçues par les parties montagneuses (Le montagne de Dahra, 1604 m, les montagnes d'El Ouancheriss, 1710 m à 1786 m et les

montagnes de Tiaret où l'altitude excède 1200 m), Comparant à du Cheliff et le bassin de oued Mina.

La variabilité interannuelle pour les stations de ce bassin varie de 17% à 45%. Les stations dans la partie orientale du bassin à un coefficient de variation élevé en comparant à celui du Ouest et les stations localisées dans les sommets.

II.3.3.Température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver .La moyenne annuelle des températures avoisine les 20°C et Août et juillet est les mois le plus chaud avec une moyenne mensuelle de 32-38°C. (Aissaoui A et Messaoudi N ; 2014).

II.3.4.L'Humidité

L'humidité relative de l'air est basse ou modérée tout au long de l'année.

Elle peut composer en certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Elle est importante pendant la saison : hivernale avec souvent un pourcentage supérieur à 75%, elle est plus faible pendant sèche mais reste tout de même assez élevée et s'articule autour de 50 %.

Le mois le plus humide est le mois de décembre, par contre le mois le plus sec est le mois de juillet.

II.3.5.Evapotranspiration potentielle :

La sous-région 02 compte trois (03) stations de mesure ; Cheliff centre, Oued-Fodda et Fodda barrage. La moyenne annuelle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 1550 mm. (Atlas du bassin hydrographique chélif-zahrez)

II.4.Le relief

Le territoire national est constitué de cinq régions hydrographiques. S'étendant du Nord, de la mer méditerranée, avec un littoral de 200 kilomètres, aux chotts du Zahrez au sud, la RHCZ présente un relief compartimenté, reflet de la nette opposition topographique Tell-Hautes Plaines qui la caractérise.

Par ailleurs, à l'opposition topographique par laquelle se caractérise la Région Hydrographique Cheliff-Zahrez, s'ajoute une opposition structurale qui se traduit par un substratum relativement simple au sud, formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent

des massifs calcaires isolés, et un édifice beaucoup plus complexe au nord, constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées de phases tectoniques successives.

Aussi, on distingue de l'amont à l'aval de la RHCZ : l'Atlas Saharien, les hautes plaines, les massifs telliens, la vallée du Cheliff et les massifs côtiers du Dahra au nord.

Les limites du bassin du Cheliff-Zahrez sont très nettes sur la partie tellienne où elles suivent rigoureusement les lignes de crête ; elles sont souvent très floues en ce qui concerne la ligne de partage des eaux le séparant du bassin du Sahara, au sud, car la limite endoréisme – exoréisme est localement imprécise. De ce fait, le calcul de la superficie de la RHCZ diffère souvent d'un opérateur à un autre. (Agence de bassin hydrographique de Cheliff-zahrez)

II.5.L'hydrogéologie

La région se compose de 03 (trois) zones bien distinctes :

- Au Nord, le sillon du Cheliff encadré par les deux chaînes telliennes (Monts du Dahra au Nord et le Massif de l'Ouarsenis au Sud).
- Au Sud, les hautes plaines entre l'Ouarsenis et l'Atlas Saharien.
- Plus au Sud, le bassin du Zahrez.

De nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines, les plus anciennes sont attribuées au jurassique et les récentes correspondent aux alluvions quaternaires. Dans la zone septentrionale de la RHCZ, les deux chaînes telliennes présentent des ressources médiocres et non exploitables directement, les niveaux perméables (calcaires et grès) sont généralement peu développés et encaissés dans de puissantes formations imperméables.

Le sillon du Cheliff est compartimenté en trois cuvettes (Haut, Moyen et Bas Cheliff), séparées par deux seuils : le seuil d'Ain Defla et le seuil d'Oum Drou. (Atlas de bassin hydrologique Chélif-Zahrez).

II.6. La géologie

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sub-littoraux allongés Est - Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle.

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

Au sud, le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes.

Une phase infra-crétacé, compressive donne des plis NE-SW ; Une phase à composante tangentielle intervient après le Sénonien et le Paléocène et serait en partie responsable de l'épi-métamorphisme Une phase datée Aquitano-Burdigaliennne, compressive et profonde génératrice d'un nouvel épi- métamorphisme.

Pendant que les nappes telliennes achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce marqué par une transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quadernaire. Parallèlement, le bassin du Cheliff est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique principalement distensive pour certains auteurs (Y. Gourinard, A.Perrodon, B.Fenet) et polyphasée pour G.Thomas. Cette tectonique continue jusqu'à l'actuel comme en témoigne l'intense activité séismique de la région. (ABH, 2020)

II.7. Pluviométrie

La région est équipée de 26 stations pluviométriques bien réparties dont trois (03) de longue durée, et sont gérées toutes par L'ANRH.

Les précipitations sont très irrégulières dans le temps et dans l'espace ; on distingue deux zones extrêmes ; DAHRA (côtier) et l'OUARSERNIS (Cheliff) avec une moyenne annuelle d'environ 600mm. La plaine incluse entre elles présente une moyenne annuelle d'environ 300mm. (ABH 2020)

II.8.Ressources souterraines

II.8.1.La nappe aquifère des dépôts quadernaire (alluvions) :

Elle s'étend entre les lignes de crêtes des monts rouges et les plateaux de Chlef ; elle se présente sous forme d'une bande élargie sur la ligne Ouled FARES - CHLEF qui se resserre au

seuil de BOUKADIR. Elle se montre peu épaisse à l'est de Chlef, mais large à l'ouest notamment en rive droite de l'oued Cheliff. (Agence nationale de chélif-Zahrez)

Chapitre III

Matériels et méthodes

III. Matériels et méthodes

Ce chapitre détermine les méthodes de collecte, analyse des données pluviométriques et explore des cartes numériques dans le cadre de SIG. La période de données pluviométriques est (1972 et 2010), l'interpolation de cette variable spatiale (moyenne pluviométrique annuelle) est étudiée dans notre zone d'étude par la méthode de krigeage ordinaire.

Les données pluviométriques proviennent de sources différentes. Ces données peuvent être fournies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) et de l'Office National de la Météorologie (ONM).

Le contrôle de la qualité des données pluviométriques est effectué pour s'assurer de l'homogénéité et la fiabilité des séries pluviométriques à utiliser dans une étude bioclimatique.

Trois principaux objectifs :

- Analyse statistique sur les séries pluviométrique annuelles.
- Modélisation géostatistique du variogramme expérimental
- Elaboration d'une carte géostatistique en utilisant l'Arcgis 10.3

III.1. Analyse statistique

L'analyse statistique est l'ensemble des méthodes scientifiques à partir desquelles on recueille, organise, résume, présente et analyse des données qui permettent de tirer des conclusions et de prendre des décisions judicieuses. Dans un sens plus étroit, on emploie le terme statistique pour désigner les données elles même ou des résultats obtenus à partir des données, comme par exemple des moyennes.

III.2. Spatialisation/modélisation des valeurs des précipitations

La première étape dans toute étude spatiale est la définition de la conception expérimentale, ce qui implique le choix de la technique de collecte d'échantillons ainsi que la maille d'échantillonnage. Dans cette étude, les mailles d'échantillonnage peuvent être considérées de type aléatoire, et la répartition des points de collecte est aussi aléatoire.

III.3. Le choix des stations et des données de précipitations

Les données quotidiennes de précipitations ont été obtenues auprès de l'ANRH.

Centaines de stations ont pu être étudiées, avec une assez bonne répartition dans toute la région d'étude. Un premier travail a consisté à vérifier la cohérence des données, ce qui a permis de vérifier que toutes les stations ne présentaient pas une série de données complète. Ainsi, finalement, nous avons retenu les données de précipitations de 41 stations. La période étudiée va de 1972 à 2010.

Tableau 2: Caractérisation statistique des 41 stations pluviométriques étudiées.

Station	Moyenne	étendue	écart-type	variance
11806-	591,75	616,1	143,36	17245,26
11404-	517,62098	499,62	130,39922	16228,472
11501-	442,40779	658,0052	163,8773	19980,938
11509-	623,09458	488	127,71873	16740,065
11510-	432,88497	503,2	123,02853	12041,77
11512-	434,72353	474,8	118,40907	12668,077
11514-	441,31713	417,2	94,158868	8335,5349
11601-	322,83826	288,7	74,278302	5045,8399
11606-	399,04958	357,5	96,863594	7879,056
11607-	449,32505	485,3	143,59616	14948,024
11609-	411,3024	337,6	79,497196	6014,7497
11711-	395,96968	444,9	92,311437	7373,0929
11715-	364,69263	310,1	84,789038	6114,7776
11718-	370,60121	367,3	88,317636	7428,8352
11803-	644,80538	624,7	177,7079	25348,547
11804-	444,4925	380,2	99,345392	9088,6641

11901-	301,82225	320	81,023941	5219,7189
11903-	444,83183	457,1	102,07295	7766,8685
11904-	353,82835	275	75,398872	5274,9613
12004-	365,00828	599,03	106,75562	12409,617
12007-	314,65775	309,2	74,220245	5026,8897
12108-	399,46798	418,1	109,83638	10025,291
12203-	401,20075	364,3	91,104937	7703,7862
12205-	493,5665	509,3	101,48324	8936,1594
12222-	353,07454	305,4	72,365599	4832,7153
12307-	426,53926	330,9319	83,992197	5910,9032
12225-	354,8734	371,7476	90,69765	7526,9076
11603-	432,4185	397,7	102,42222	11184,28
11605-	538,8395	445,1	113,90285	13070,271
12304-	368,3925	441,54	109,45227	9479,0381
12306-	457,02375	690,9	162,50125	26374,174
12201-	361,52675	346,6	90,786366	7667,5408
12308-	337,16575	329,8	88,095388	6987,613
12309-	287,33425	324,3	84,48588	6881,0326
12403-	280,351	275,6	74,912011	5808,6241
12605-	352,5165	338,6	96,933171	8872,0738
12703-	313,0995	603	152,2411	21617,582
12803-	286,5565	273,7	82,534835	6953,601
13503-	298,38325	340	78,471575	5730,5339
13505-	284,10225	225,7	65,9192	3719,4532

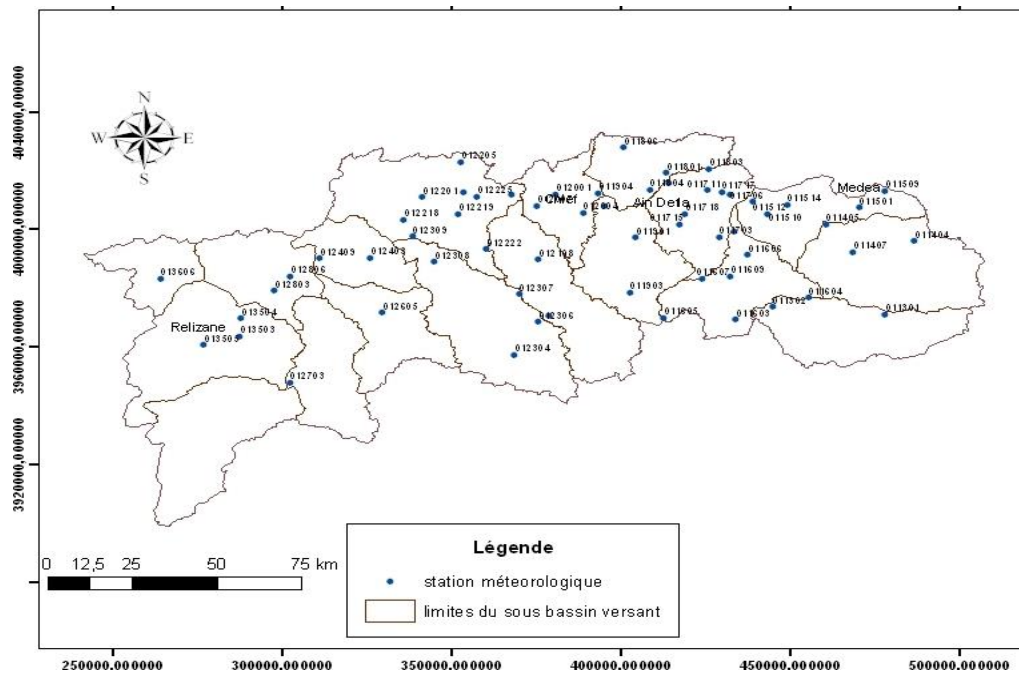


Figure 11 : Répartition des stations sur la zone d'étude.

III.4. Méthode de krigeage

Les méthodes de krigeage se sont développées ces trente dernières années dans l'industrie minière et la climatologie. Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale stochastique qui tient compte à la fois de la configuration géométrique des points observés et de la structure spatiale propre à la variable estimée. On distingue trois principaux types de krigeage : le krigeage simple, le krigeage ordinaire, et le krigeage universel .

La méthode, en général, se construit en 5 temps :

- l'analyse exploratoire (c'est à dire la visualisation des données) ;
- le choix du type de krigeage ;
- l'analyse dite variographique (Baillargeon, 2005) c'est-à-dire l'estimation du variogramme, sa modélisation et le choix d'un modèle ;
- la réalisation des interpolations ;
- l'évaluation de la qualité des estimations le plus souvent par une validation croisée.

III.4.1. Analyse variographique

Pour appliquer ce type d'interpolation par krigeage, il est nécessaire d'explorer la structure spatiale des données afin de vérifier si celles-ci sont bien autocorrélées. L'analyse variographique va nous permettre de mener cette étude à bien. L'outil principal permettant cette analyse est le semi-variogramme qui décrit l'évolution de la semi-variance en fonction de la

distance entre les mesures et permet ainsi de d'étudier le lien spatial entre les données. Il est défini de la manière suivante :

$$\gamma(h) = 1/2 \text{Var} (Z(s + h) - Z(s)) \quad \forall s \in D$$

Où :

- $Z(\cdot)$ est la variable régionalisée étudiée
- s est le vecteur des coordonnées
- h est le vecteur distance
- D est le domaine géographique considéré.

Le graphique 2.1 expose un exemple de variogramme ainsi que les propriétés que l'on peut rencontrer

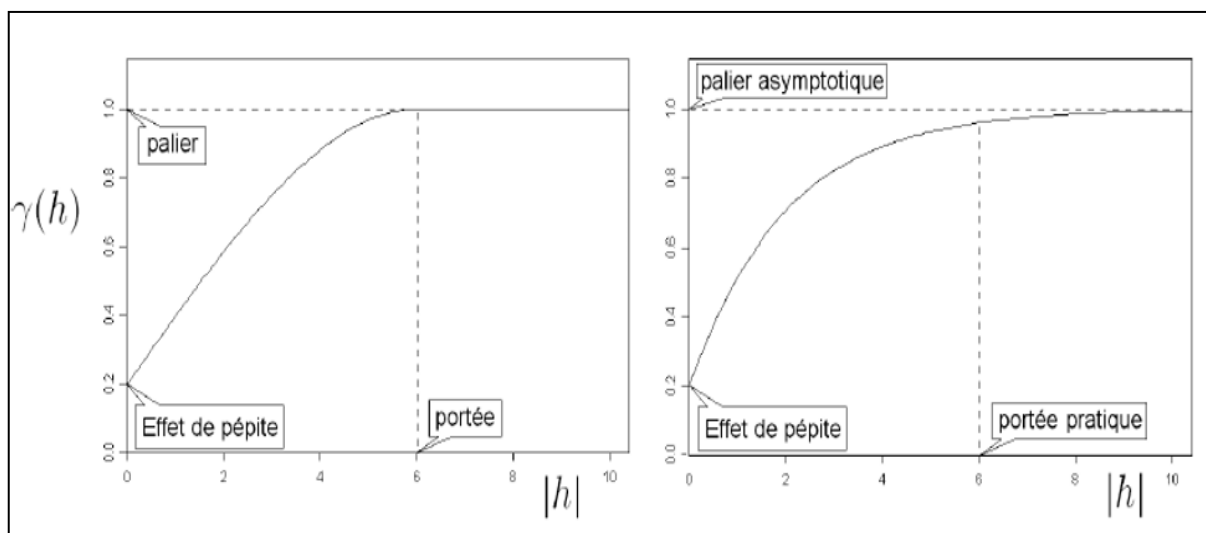


Figure 12 : Propriétés d'un variogramme.

Ces paramètres sont les suivants :

* **Portée (range) a** : Distance deux observations ne se ressemblent plus du tout en moyenne, elles ne sont plus liées (covariance nulle) linéairement. À cette distance, la valeur du variogramme correspond à la variance de la variable aléatoire.

* **Palier (Sill) $\sigma^2 = C_0 + C$** : Variance de la variable aléatoire

Il s'agit de la valeur limite du variogramme pour de grandes valeurs de h .

* **Effet de pépité (nugget effect) C_0** : Variation à très courte échelle, erreurs de localisation, erreurs d'analyse et précision analytique.

L'interpolateur utilisé dans cette étude correspond au krigeage utilisé par la géostatistique pour effectuer l'interpolation des données d'information, ce qui, dans de nombreux cas, est un avantage majeur par rapport aux autres méthodes. Il s'agit d'un processus d'estimation de valeurs de variables distribuées dans l'espace et/ou dans le temps, à partir de valeurs adjacentes considérées comme interdépendantes par le semivariogramme. Pour la modélisation, nous avons considéré les valeurs d'effet pépite, range (plage), sill (seuil), à partir des modèles générés dans l'application modèle. Pour la spatialisation, nous avons utilisé les coordonnées des points (stations pluviométriques) et des valeurs de la variable (données), où l'on peut obtenir une carte de la distribution spatiale, en utilisant l'algorithme d'interpolation déjà mentionné.

III.4.2. Krigeage ordinaire

L'hypothèse du krigeage simple voulant que l'espérance de la fonction aléatoire $Z(\cdot)$ soit connue est rarement vérifiée. Cette méthode a donc été généralisée au cas où l'espérance est inconnue et constante localement, c'est-à-dire sur le voisinage de krigeage. Il s'agit du krigeage ordinaire (Matheron, 1970, p.125), la technique de krigeage la plus fréquemment utilisée selon Gratton (2002). Ce type de krigeage ne requiert pas une hypothèse de stationnarité d'ordre deux.

Ainsi, il sera développé ici sous l'hypothèse plus générale de stationnarité intrinsèque. Le modèle de base de cette méthode s'énonce comme suit :

$$Z(s) = \mu + \delta(s), s \in D \quad (4.2)$$

Avec μ quasi-constante inconnue et $\delta(\cdot)$ fonction aléatoire stationnaire intrinsèque d'espérance nulle et de structure de dépendance connue. Le caractère quasi-constant de μ signifie que l'espérance n'est pas contrainte à demeurer la même partout dans le champ D . Elle doit par contre rester constante à l'intérieur de chaque voisinage de krigeage (Arnaud et Emery, 2000, p.185). Ainsi, une prévision au point s_0 se base sur le modèle vectoriel suivant :

$$Z^* = \mu 1_{(n_0+1)} + \delta^*$$

Avec :

μ : Constante inconnue

$$E[\delta^*] = 0$$

Γ, γ_c : connus

Voici, étape par étape, la résolution des équations du krigeage ordinaire se basant sur (Cressie 1993, p.119).

* Contrainte de linéarité

La prévision $\hat{Z}(s_0)$ doit être une combinaison linéaire des variables aléatoires $Z(s_1)$ à $Z(s_{n_0})$. Elle s'exprime donc sous la forme :

$$\hat{Z}(s_0) = a + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \in V(s_0)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) = a + \lambda t$$

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV. Résultat et discussion

IV.1. Analyse des séries pluviométriques

La stationnarité ou le non stationnarité des séries pluviométriques intéresse beaucoup les utilisateurs de ces dernières dans les différentes applications (hydrologie, agronomie et gestion des ressources hydriques). La détection d'une ou plusieurs ruptures renseigne sur l'évolution pluviométrique dans la région donnée. Cette rupture peut être considérée comme étant due à un changement des paramètres de la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisateurs successives constituent les séries chronologiques étudiée.

Donc le cas de nos données utilisées et par observation préalable, on n'a pas de rupture. (Une série de données dépourvue de ruptures).

Tableau 3 : Caractérisation statistique des 41 stations pluviométriques étudiées.

Station	Moyenne	Etendue	Ecart-type	variance	Coefficient de variation
11806	591,75	616,1	143,36	17245,26	0,24
11404	517,62	499,62	130,39	16228,47	0,25
11501	442,40	658	163,87	19980,93	0,37
11509	623,09	488	127,718	16740,06	0,20
11510	432,88	503,2	123,02	12041,76	0,28
11512	434,72	474,8	118,40	12668,07	0,27
11514	441,31	417,2	94,15	8335,53	0,21
11601	322,83	288,7	74,27	5045,83	0,23
11606	399,04	357,5	96,86	7879,05	0,24
11607	449,32	485,3	143,59	14948,02	0,31
11609	411,30	337,6	79,49	6014,74	0,19
11711	395,96	444,9	92,31	7373,09	0,23
11715	364,69	310,1	84,78	6114,77	0,23
11718	370,60	367,3	88,31	7428,83	0,23
11803	644,80	624,7	177,70	25348,54	0,27
11804	444,49	380,2	99,34	9088,66	0,22
11901	301,82	320	81,02	5219,71	0,26
11903	444,83	457,1	102,07	7766,86	0,22
11904	353,82	275	75,39	5274,96	0,21

12004	365,00	599,03	106,75	12409,61	0,29
12007	314,65	309,2	74,22	5026,88	0,23
12108	399,46	418,1	109,83	10025,29	0,27
12203	401,20	364,3	91,10	7703,78	0,22
12205	493,56	509,3	101,48	8936,15	0,20
12222	353,07	305,4	72,36	4832,71	0,20
12307	426,53	330,93	83,99	5910,90	0,19
12225	354,87	371,74	90,69	7526,90	0,25
11603	432,41	397,7	102,42	11184,28	0,23
11605	538,83	445,1	113,90	13070,27	0,21
12304	368,39	441,54	109,45	9479,03	0,29
12306	457,02	690,9	162,50	26374,17	0,35
12201	361,52	346,6	90,78	7667,54	0,25
12308	337,16	329,8	88,09	6987,61	0,26
12309	287,33	324,3	84,48	6881,03	0,29
12403	280,35	275,6	74,91	5808,62	0,26
12605	352,51	338,6	96,93	8872,07	0,27
12703	313,09	603	152,24	21617,58	0,48
12803	286,55	273,7	82,53	6953,60	0,28
13503	298,38	340	78,47	5730,53	0,26
13505	284,10	225,7	65,91	3719,45	0,23

Le tableau 4 présentée les statistiques descriptives (moyennes, écart-types, coefficient de variation). Les différents coefficients de variation restent en général inférieurs à 50 %. Les stations pluviométriques constituées sont donc homogènes dans l'ensemble.

IV.2.1. La moyenne de la pluviométrie annuelle

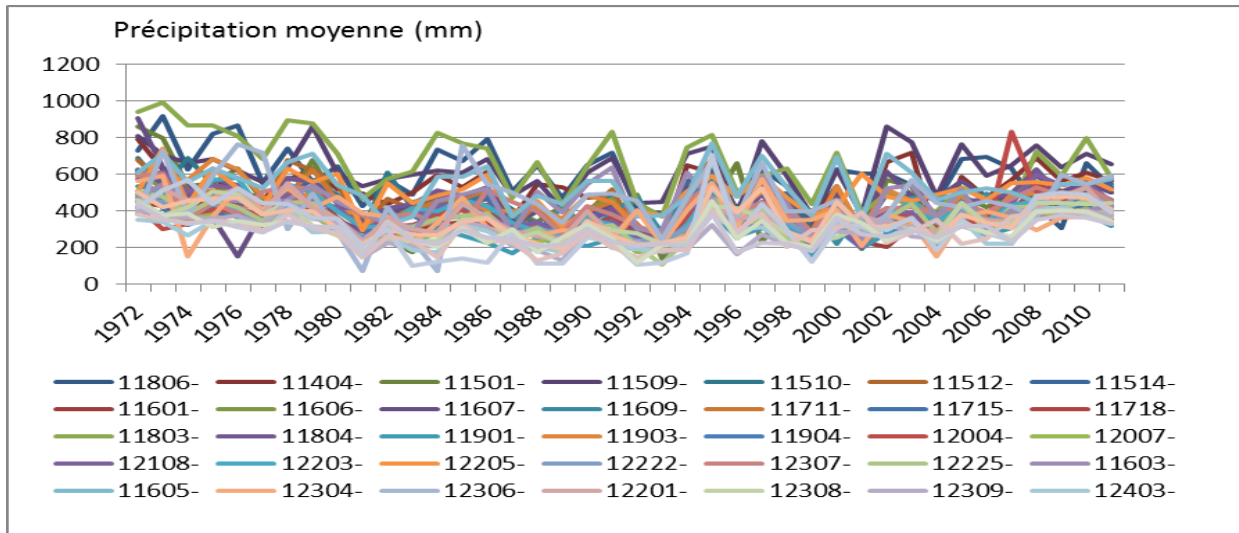


Figure 13 : variation des précipitations moyennes annuelles dans le nord-Chélif.

La figure 14 montre qu’il y a une variabilité très remarquable de précipitation annuelle entre les 41 stations étudiées dans la région du nord Chélif durant la période (1972-2010) qui est du à l’hétérogénéité des données.

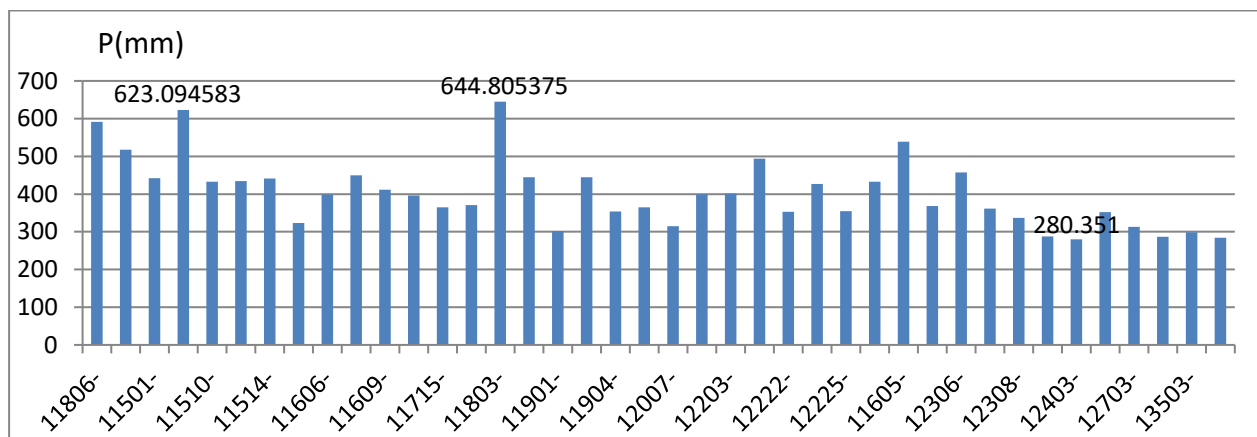


Figure 14 : Graphe des précipitations moyennes annuelles enregistrées pour les 41 stations pluviométriques.

La figure 15 représente un graphe de précipitations moyennes enregistrées sur 41 stations entre la période (1972-2010). On conclure après l’observation que la distribution des pluies est très marquée spatialement dans la zone d’étude, où les précipitations interannuelles sont très importantes que la station SIDI MEDJAHED a enregistré la plus grande quantité des précipitations moyennes atteint 644.8 mm, et MEDEA SECTEUR 623.09 mm, par contre la plus petite quantité est enregistrées à la station Merdja KH PV 280.23 mm qui se trouve à nord-ouest du zone d’étude.

IV.3. Présentation cartographique de la pluviométrie moyenne annuelle du nord Chélif

La géostatistique a été appliquée pour la cartographie de la pluviométrie moyenne annuelle et saisonnière, en se basant sur l'exploitation de la base de données géoréférencée que nous avons établie.

IV.3.1. Type de variogramme annuelle utilisé

☐ Method	Kriging
Type	Ordinary
Output type	Prediction
☐ Model type	Exponential
Range	174,500
Anisotropy	No
Partial sill	8,200
☐ Variogram	Semivariogram
Number of lags	10
Lag size	17,450
Nugget	2,400
Measurement error %	100

Figure 15 : Variogramme expérimental de la pluviométrie moyenne annuelle (1972-2011)

Ce variogramme montre une continuité dans la structure spatiale de la pluviométrie à l'échelle de la zone d'étude. Cette structure modélisée par une fonction exponentielle. Qu'il affiche un faible effet de pépite estimé $C_0 = 2,4$ mm avec une portée de 17,45 Km et palier de 5,800 mm.

IV.4. Représentation cartographique de changement des régimes pluviométriques annuels dans le nord Chélif

La figure (16) représente une variabilité spatiale de la pluviométrie moyenne annuelle dans le nord Chélif occidentale durant une période étalée entre 1972 à 2012.

On remarque que la quantité de précipitation la plus élevée est de 580 enregistrée dans les extrémités Nord-Est de la zone, et que les précipitations sont moyennement faible au centre de la plaine 450 mm qui est caractérisée par des pluies convectives à cause de la température élevée. Cette variabilité est dû à la présence des deux chaines montagneuses, Ouarsenis en sud et Dhahra en Nord, et surfaces d'eaux (Barrage Gargar et Merdja Sidi Abed) ; plus que la présence d'arboriculture qui mène à la création des microclimats dans cette région. Par contre la région ouest de la plaine qui connaît une précipitation faible <350 mm, par ce que cette région est caractérisée par un couvert végétal faible à nu et une géomorphologie plate.

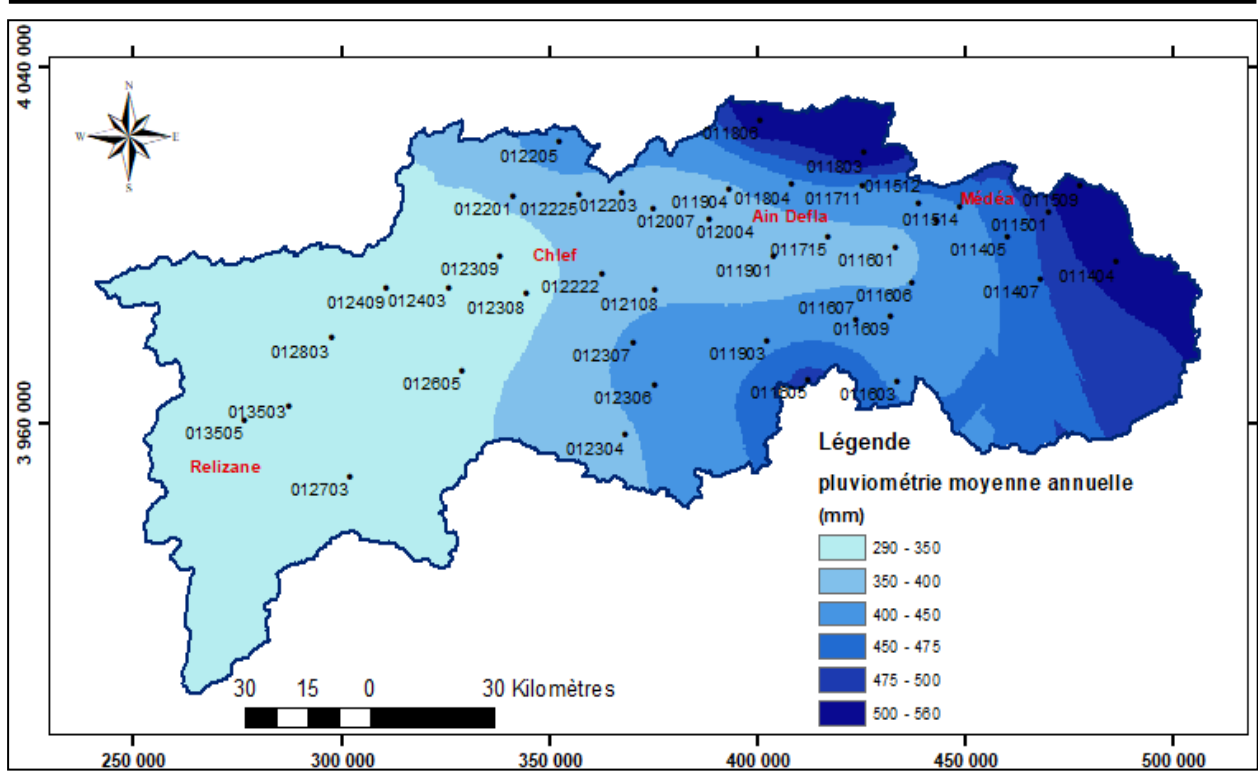


Figure 16 : Représentation cartographique de changement des régimes pluviométriques annuels dans le nord du Chéouiff (1972-2012).

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons fait une étude bibliographique sur les différentes méthodes d'étudier la pluviométrie moyenne annuelle et analysé statistiquement les séries chronologiques. On a basé sur des approches statistiques et cartographiques dont l'objectif est de caractériser la variabilité spatiale des pluies annuelles dans le bassin versant du nord-Chéouli sur la durée de 1971-1972 à 2010-2011 en utilisant le logiciel Arcgis.

Les SIG facilitent l'acquisition systématique de données très différentes, leur intégration et les études concernant par exemple les changements du climat à long ou à court terme. Les analyses temporelles effectuées où on a déterminé la quantité de précipitation la plus élevée est de 580 mm enregistrée dans les extrémités Nord-Est de la zone d'étude. Le coefficient de variation de moyenne annuelle est de 30% ce qui représente une variabilité moyenne.

D'autre part, les données climatologiques et la configuration géographique d'une certaine région constituent une source d'information très importante qui peut être utilisée dans l'amélioration des méthodes de gestion et l'usage rationnel de l'eau dans les régions de culture. Malheureusement c'est une source de données encore sous-estimée.

La cartographie des pluies moyennes annuelles montre que les régions nord-est ont enregistré des hautes moyennes à cause de la densité de couvert végétal et la présence des hautes altitudes par rapport aux trois plaines du Chéouli.

Comme perspective, ce travail sera beaucoup plus intéressant et même valorisé à travers l'application de plusieurs méthodes géostatistiques en intervenant un nombre élevé de données pluviométriques pour toutes les stations de la plaine du bas Chéouli, afin d'étudier tous les indices bioclimatiques liés en plus avec le couvert végétal.

Références bibliographique

Références bibliographique

Références bibliographique

- A.MEBARKI, (2003) Revue : Cartographie automatique des précipitations : application à l'est Algérienne
- ANRH, "Carte pluviométrique de l'Algérie du nord au 1/500000" (2 feuilles, une notice de 49 p.). Ministère de l'Équipement, éd. I.N.C., Alger, (1993).
- Atlas climatique du Fossé Rhénan Méridional (KlimaatlasOberrheinMitte-Süd). REKLIP, IFG - VDF, éd. COPRUR, Strasbourg.
- Bahroun S., KhericiBousnoubra H. (2011). Evaluation de l'indice de vegetation
- BAILLARGEON, S. (2005). — Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations. Thèse de l'Université de Laval (Québec), 137 p. <
- Benichou P. et Lebreton O., "Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques", La Météorologie, 7e série, n°19, (1987), pp. 23-44.
- Bettencourt F.,Mantovani E. C.,Sediyama G. C.,Santos N. T., 2013 : Distribuiçãoespacial da chuvaem fazendas de soja e algodão no extremooeste da Bahia. III Simpósio de geoestatística aplicadaemciênciasagrárias, 1 – 6.
- BROCHU Y. (2002) "Estimation directe des charges hydrauliques d'un aquifère par krigeage", Mémoire de Maîtrise Ès Sciences appliquées, université de Montréal, Canada
- CantatO., 2004. Analyse critique sur les tendances pluviométriques au 20eme siècle en Basse-Normandie : Réflexions sur la fiabilité des données et le changement climatique. Annales de l'Association Internationale de Climatologie, Vol I, 11, p. 13-31.
- CARMELLO.V., 2015 : analyse géostatistique de la distribution spatiale des précipitations sur le versant sud du bassin du fleuve paranapanema, dans le sud du brésil.
- Chaumont et Paquin C., "Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500 000" (4 feuilles et notice). Société de l'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, Alger, (1971).
- Extrait de BOYRIES Pascal, KONE Martine, Découvrir le monde en 64 enquêtes, guide du maître, Editions Magnard, 2011, p. 26 et 27.
- G. de Marsily, (1981) "Hydrogéologie quantitative", Edition Masson, France
- Gausson H., "Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1913-47), échelle 1/500 000" (4 feuilles). I.G.N., Paris, (1948).
- Jácomo C. A., 2011 : Modelosgeoestatísticosespaço tempo aplicadosadadospluviométricos no oeste do estado de São AARNAUD M., et EMERY, x. (2000). — Estimation et interpolation spatiale. Hermes Science Publications, Paris. 221 p.

Références bibliographique

- Laborde J-P. (1995), "Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord". Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 8, pp. 37-46.
- LABORDE, J. P. (2000). — Méthodes d'interpolation et géostatistiques pour la cartographie automatique. Université de Nice, Sophia Antipolis, CNRS – UMR 5651 « Espace », 27 p.
- LABORDE J.P. (2000) "Méthodes d'interpolation et géostatistiques pour la cartographie automatique", notes de cours, université de Nice, France.
- Landim P. M. B., Monteiro R. C., Corsi A. C., 2002 : Introdução a confecção de mapas pelo software SURFER. Rio Claro, 21 p.
- LEBEL, T, 1984. Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant : estimation optimale, génération stochastique et gradex des valeurs extrêmes, thèse docteur-ingénieur, USMGINPG, Grenoble
- LEBLOIS E., BOIS P. (2000). — Méthodes opérationnelles de synthèse climatologique des pluies fortes (évaluation et cartographie). Guide à usage des commanditaires et maîtres d'œuvre. Cemagref, 161 p.
- Lubes H., Gautier F., Masson J-M., Servat E. et Paturol J-E., 1998. Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950-1989. Journal des sciences hydrologiques, 43(6).
- MANSOURI. S (2017) Mémoire de master : Cartographie des pluies annuelles appliquée au bassin des Issers
- Mazzini P. L. F., Schettini C. A. F., 2009 : Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicada a dados hidrográficos costeiros sazonais. Brazilian Journal of Aquat. Sci. Technology, 13, 53-64.
- Medjerab A, Henia L. (2005) , Régionalisation des pluies annuelles
- Mme BOUKLI HACENE.C, Mme RABAH FISSA.A, SIG.
- Mourah N., 2010/2011 : Interpolation Géostatistique Le Krigeage.
- OBLED. C, 1982. Analyse objective et techniques de cartographie des champs de précipitation : Une comparaison objective.
- Pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'el teref (nord-est)
- Paulo. Mémoire de Master en géographie, Presidente Prudente, 109 p.
- Robinson M. (2000), hydrologie continentale, Armand colin
- Roche M. (1963). Hydrologie de surface, Edition Gauthier-Villars, Paris.

Références bibliographique

S.Bilargeon., 2005. Le krigeage : Revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations (mémoire présenté à la faculté des études supérieures de l'université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en statistique pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc). Faculté des Sciences et de Génie Université Laval, Québec.

Sadou S, Assoumane I. D. (2007). Impacts anthropiques sur le cycle de l'eau vers une approche durable, PFE pour l'obtention du diplôme d'ingénieur, département d'hydraulique, Tlemcen

Seltzer P., "Le climat de l'Algérie. Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe", Carbonnel, (1946), 219 p., 2 cartes hors-texte.

TAIBI. S ,2011. Thèse de magister : Analyse du régime climatique au nord de l'Algérie.

BROCHU Y. (2002) "Estimation directe des charges hydrauliques d'un aquifère par krigeage", Mémoire de Maîtrise Ès Sciences appliquées, université de Montréal, Canada

Source :

<http://www.abh-cz.com.dz/bassin.html> (2020)

Annexes

Annexe :

Tableau: Les valeurs moyennes annuelles de précipitation dans le nord Chélif (1972-2010).

STATION	X	Y	P_MM
011405	460402,47	4001983,27	457,79
011501	470264,03	4007602,53	442,41
011509	478010,84	4013328,66	623,09
011510	443270,04	4005405,03	432,88
011512	439017,34	4009581,38	434,72
011514	449021,74	4008687,01	441,32
011601	433426,31	3999655,06	322,84
011711	425454,47	4013497,24	395,97
011715	417311,00	4002046,94	364,69
011803	425903,56	4020829,64	644,81
011804	408451,47	4013695,89	444,49
011901	404261,20	3997469,23	301,82
011904	393441,91	4012490,55	353,83
012004	388770,83	4005865,68	365,01
012007	375186,60	4008237,86	314,66
012108	375677,73	3989955,66	399,47
012203	367625,30	4011990,47	401,20
012205	352640,46	4023230,06	493,57
012222	362820,61	3993647,94	353,07
012225	357563,01	4011369,06	354,87
011806	400921,71	4028175,56	591,75
012201	341490,70	4011118,12	361,53
012308	344798,47	3989147,43	337,17
012309	338431,90	3997733,37	287,33
012403	325880,93	3990562,75	280,35
012409	310974,02	3990350,15	321,28
012803	297746,76	3979279,21	286,56
013503	287521,46	3963791,77	298,38

Annexes

013505	276852,36	3960795,22	284,10
011603	433951,74	3969592,79	432,42
012304	368456,80	3957438,33	368,39
012306	375453,05	3968769,87	457,02
012605	329409,29	3971909,23	352,52
012703	302227,77	3948074,42	313,10
012307	370374,74	3978311,40	426,54
011903	402634,15	3978701,59	444,83
011606	437321,24	3991601,55	399,05
011607	424008,41	3983413,28	449,33
011609	432298,39	3984273,41	411,30
011404	486634,28	3996285,59	517,62
011407	468530,99	3992450,36	473,20
011605	412557,08	3969995,72	538,84