

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTTIFIQUE

Université Saad DAHLAB BLIDA

Faculté de Technologie

Département des sciences de l'eau et de l'environnement



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

THEME :

**Etude De La Variabilité Spatio-Temporelle des Précipitations
Annuelles Dans Le Bassin Versant d'Isser**

Présenté par :

ZOUAOUA Mehdi

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Qualité
Mr : BESSENASSE Mohamed	Président
Mr : MERABTI Abdelaziz	Membre
Mr : KHELFI Mohamed El Amine	Promoteur

Session Septembre 2021

Remerciement

Je tiens à remercier ALLAH tous puissant qui m'a donné la force pour achever cet objectif

Je remercie mon promoteur Mr KHELFI Mohamed El-Amine de m'avoir orienté durant la réduction de ce travail.

Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer ce travail.

تهدف هذه الدراسة بدراسة التباين المكاني والزمني لهطول الأمطار في مستجمع مياه يسر، بهدف تسليط الضوء على وجود تغير مناخي يتجلى في التباين في كمية هطول الأمطار السنوية بين عامي 1975 و 2014. ولهذا حصلنا على إحصائيات كميات الأمطار اللازمة وقمنا بتطبيق النهج الجغرافي الإحصائي (*varogramme*)، *krigeage*). بعد دراسة تجانس البيانات، تم تطبيق الأسلوب الجغرافي الإحصائي من خلال برنامج *ARC GIS*. تم تطبيق الطريقة لكل عقد وكذلك طوال فترة الدراسة بأكملها. قدمت النماذج المتحصل عليها بنية موافقة لقانون *Gauss* وسمحت لنا طريقة *krigeage* بالحصول على خرائط هطول الأمطار السنوية لكل فترة. يوضح تفسير النتائج أن منطقة الدراسة تظهر تقلبات كبيرة في هطول الأمطار.

الكلمات المفتاحية: هطول الأمطار، تغير المناخ، الإحصاء الجغرافي، التقليبية المكانية والزمانية

Résumé

Cette étude s'intéresse à étudier la variation spatio-temporelle des précipitations dans le bassin versant d'Isser, dans le but de mettre en évidence l'existence du changement climatique manifesté par une variabilité dans la quantité des précipitations annuelles entre 1975 et 2014. Pour cela nous avons obtenu les données pluviométriques nécessaires et on a appliqué l'approche géostatistique (variogramme, krigeage). Après étudier l'homogénéité des données, on a appliqué la méthode géostatistique par le biais du logiciel ARC GIS. La méthode est appliquée pour chaque décennie ainsi que pour toute la période d'étude. Les variogrammes ont présenter une structure Gaussienne et le krigeage nous a permet d'obtenir les cartes de précipitations annuelles pour chaque période. L'interprétation des résultats montre que la zone d'étude présente une variabilité pluviométrique importante.

Mots clé : précipitations, changement climatique, géostatistique, variabilité spatio-temporelle.

Abstract

This study is interested in studying the spatio-temporal variation of precipitation in the Isser watershed, with the aim of highlighting the existence of climate change manifested by a variability in the amount of annual precipitation between 1975 and 2014. For this we obtained the necessary rainfall data and we applied the geostatistical approach (variogram, kriging). After studying the homogeneity of the data, the geostatistical method was applied through the ARC GIS software. The method was applied for each decade as well as for the entire study period. The variograms presented a Gaussian structure and the kriging allowed us to obtain the annual precipitation maps for each period. Interpretation of the results shows that the study area exhibits significant rainfall variability.

Keywords: precipitation, climate change, geostatistics, spatio-temporal variability

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etude Bibliographique.....	2
I.1 Le climat	2
I.1.1 Variabilité climatique	2
I.2 Cycle hydrologique	2
I.2.1 Composants de cycle hydrologique	3
I.3 Répartition des précipitations.....	4
I.3.1 Répartition dans l'espace	4
I.3.2 Répartition dans le temps	5
I.4 Données pluviométriques	6
I.4.1 Mesure des précipitations	6
I.4.2 Exploitation des données pluviométriques	6
I.4.3 Tests d'homogénéité.....	7
I.5 Le bassin versant	7
I.5.1 Caractéristiques des bassins versants	7
I.5.1.1 Caractéristiques de forme	7
I.5.1.2 Relief	9
I.6 Système d'information géographique (S.I.G).....	10
I.6.1 Carte	11
I.7 La Géostatistique	12
I.7.1 Variogramme théorique et variogramme expérimental.....	12
I.7.2 Modélisation de variogramme	12
I.7.3 Méthodes d'interpolation	13
I.7.4 Krigeage	13
I.8 Synthèse des travaux sur La géostatistique.....	14

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1 Situation géographique	15
II.2 Climat	15
II.2.1 Température.....	16
II.2.2 Humidité relative.....	16
II.2.3 Le vent.....	16
II.2.4 L'évaporation	17
II.2.5 Précipitations.....	17
II.2.5.1 Stations pluviométriques.....	17
II.2.5.2 Aperçu sur la pluviométrie	19
II.3 Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Isser	20
II.3.1 Sous bassins du bassin versant d'Isser	22
II.4 Réseau hydrographique	24
II.5 Ressources en eau	25
II.5.1 Eaux superficielles	25
II.5.2 Eaux souterraines.....	25
Conclusion.....	26

Chapitre III : Modélisation Géostatistique.

III.1 Méthodologie de travail.....	27
III.2 Caractéristiques statistiques des données	28
III.2.1 Homogénéité des séries pluviométriques	28
III.2.2 Présentation des données statistiques	29
III.3 Application de l'approche géostatistique.....	33
III.3.1 Isotropie et anisotropie.....	33
III.3.2 Modélisation des variogrammes expérimentaux.....	34
Conclusion.....	42
Conclusion générale.....	43
Références.....	51

Liste Des Tableaux

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

Tableau II.1 : Température moyenne mensuelle et annuelle.

Tableau II.2 Humidité relative moyenne mensuelle et annuelle en (%).

Tableau II.3 Vitesses moyennes du vent (m/s).

Tableau II.4 Evaporation moyenne.

Tableau II.5 : Coordonnées des stations pluviométriques.

Tableau II.6 : Précipitations moyennes annuelles (1975-2014).

Tableau II.7 : Répartition altimétrique.

Tableau II.8 Caractéristiques morphométriques du bassin d'Isser.

Tableau II.9 : Caractéristiques morphométriques et physiographiques.

Chapitre III : Modélisation Géostatistique.

Tableau III.1 : Données pluviométriques.

Tableau III.2 : Test de Wilcoxon

Tableau III.3 : Paramètres de modélisation des variogrammes expérimentaux.

Liste Des Figures

Chapitre I : Etude Bibliographique.

Figure I.1 : Schéma du cycle hydrologique (Laborde. J. P, 2009).

Figure I.2: Forme d'un bassin versant (Touaibia. B, 2004).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

Figure II.1 : Carte de la situation géographique du bassin d'ISSER.

Figure II.2 : Carte des stations pluviométriques.

Figure II.3 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Isser.

Figure II.4 : Sous bassins versant d'Isser.

Figure II.5 : Réseau hydrographique du bassin d'Isser.

Chapitre III : Modélisation Géostatistique.

Figure III.1 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période (1975-2014).

Figure III.2 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D1.

Figure III.3 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D2.

Figure III.4 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D3.

Figure III.5 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D4.

Figure III.6 : Variogrammes de surface.

Figure III.7 : Variogramme expérimental pour la période (1975-2014).

Figure III.8 : Variogramme expérimental pour la période D1 (1975-1984).

Figure III.9 : Variogramme expérimental pour la période D2 (1985-1994).

Figure III.10 : Variogramme expérimental pour la période D3 (1995-2004).

Figure III.11 : Variogramme expérimental pour la période D4 (2005-2014).

Figure III.12 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1975-2014).

Figure III.13 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1975-1984).

Figure III.14 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1985-1994).

Figure III.15 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1995-2004).

Figure III.16 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (2005-2014).

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Au cours de ces dernières années, l'intérêt des chercheurs pour le changement climatique et ses effets s'est accru, et le nombre et les sujets d'études qui lui sont liés ont augmenté (Lakhal.A, 2018) en raison de son impact direct sur les phénomènes météorologiques et les phénomènes extrêmes qui en résultent tels que les ouragans et les vagues de chaleur, et les dommages qu'ils laissent sur la réalité agricole et économique des pays.

L'un des éléments les plus importants du climat est la précipitation, c'est un élément qui a été affecté par le changement climatique, et cela entraîne de nombreux risques ,car chaque augmentation dans la quantité de pluie peut provoquer des inondations. D'autre part, chaque diminution de la quantité de pluie peut provoquer des saisons sèches.

Par conséquent, les variations dans les quantités de pluie devraient avoir des études qui s'y intéressent, pour analyser et modéliser ces variations, ce qui nous aide à prendre des précautions et avoir une meilleure gestion des ressources en eau.

Au cours des dernières années, l'Algérie a connu une variation importante dans le régime pluviométrique, cela avait un impact négatif sur l'alimentation des nappes d'eau souterraines et sur le remplissage des barrages, ce qui entraîne des conséquences catastrophiques sur la réalité agricole, économique et sociale du pays.

L'objectif principal de cette étude était d'affiner et quantifier l'organisation spatiale des précipitations annuelles pour une série chronologique de 40 ans dans le bassin d'Isser (Nord-est d'Algérie) en utilisant une approche géostatistique afin de suivre l'évolution spatiale et temporelle.

Ce travail consiste en :

Chapitre 1 : une étude bibliographique portant sur le climat, le cycle de l'eau, les précipitations et la géostatistique.

Chapitre 2 : une présentation de la zone d'étude (situation, pluviométrie, relief, hydrographie, réseau des mesures).

Chapitre 3 : la méthodologie de travail et l'application de l'approche géostatistique, et l'interprétation des résultats obtenus.

En conclusion, une synthèse des principaux résultats obtenus.

Introduction

Le changement climatique est devenu un phénomène observé dans toutes les régions du monde, et ses manifestations sont vues par les gens, en particulier les chercheurs dans le domaine de l'environnement et du climat.

La pluviométrie, étant une composante essentielle du climat, a connu des changements dans l'espace et dans le temps (Lakhal.A, 2018), ce qui a un impact sur la réalité environnementale et agricole de chaque région, ainsi que sur la gestion des ressources en eau.

L'application de l'approche géostatistique permet d'analyser la variabilité spatio-temporelle de beaucoup de phénomènes, dans notre cas, c'est les précipitations.

Dans notre travail il s'agit d'une recherche bibliographique dans le domaine de l'hydrologie, la géostatistique et la cartographie.

I.1 Le climat

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période donnée. Il est effectué à l'aide des valeurs moyennes établies à partir des mesures statistiques, mensuelles et annuelles, ainsi que sur la base des données atmosphériques locales : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. (Baghdadli.I, 2014)

I.1.1 Variabilité climatique

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres caractéristiques statistiques du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels, elle peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe). (ONERC, 2007)

I.2 Cycle hydrologique

Le cycle de l'eau, c'est l'ensemble de cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés des changements d'état physique, 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, 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.J. P ,2009).

I.2.1 Composants de cycle hydrologique

Il existe quatre phases principales du cycle hydrologique, deux phases se déroulent dans l’atmosphère et les deux autres se passent en contact avec la surface terrestre. Ce sont :

➤ Complexe Evaporation-Transpiration

L’évaporation est un processus physique au cours duquel un liquide se transforme en vapeur. Le terme d’évaporation désigne les pertes en eau des nappes d’eau libre sous forme de vapeur (lacs, retenues, mares); alors que l’évapotranspiration regroupe les pertes du sol : absorption de l’eau par le couvert végétal, et restitution à l’atmosphère par transpiration. L’évapotranspiration est liée à un certain nombre de paramètres climatiques tels que: température, vent, humidité, rayonnement etc. (Morell.M, 1999).

➤ Précipitation

On englobe sous le terme de précipitations, toutes les eaux qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie, bruine) que solide (neige, grêle) (Morell. M, 1999).

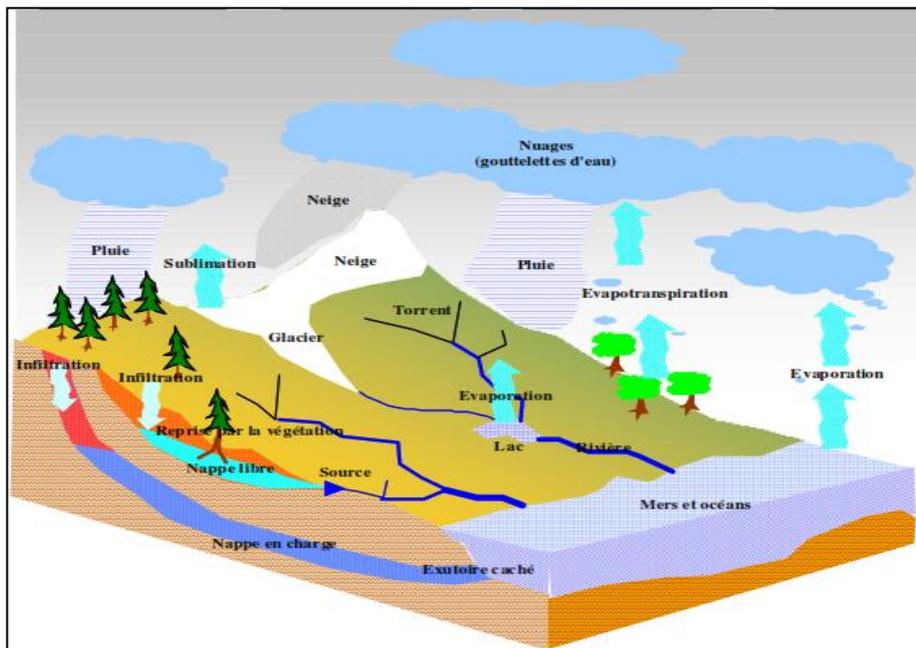


Figure I.1 : Schéma du cycle hydrologique. (Laborde. J. P, 2009)

➤ **Ecoulement de surface**

C'est l'écoulement des eaux à la surface des sols, engendré par la pluie ou la fonte des neiges excessives.

➤ **Ecoulement souterrain**

Une partie des précipitations et des eaux provenant de la fonte des neiges s'infiltré dans le sol. Selon la formation géologique, l'eau souterraine peut alimenter les cours d'eau et peut être puisée par des puits, elle peut rester au même endroit pendant des milliers d'années (Environnement Canada, 2013)

I.3 Répartition des précipitations

Les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité, à la fois dans le temps et dans l'espace, à l'échelle du globe et à l'échelle régionale.

I.3.1 Répartition dans l'espace

Cette variabilité est observée quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte.

➤ **A l'échelle globale**

La quantité moyenne de vapeur d'eau contenu sur l'ensemble de la planète correspond à une lame d'eau de 25 mm. Cette valeur diminue régulièrement de l'équateur au pôle, et la distribution de l'humidité atmosphérique à la surface du globe est en bonne relation avec la répartition de l'évaporation et la circulation des vents dominants. La répartition mondiale des précipitations dépend des conditions locales d'ascendance. À l'échelle du globe, on note que les zones équatoriales sont les zones de précipitations maximales.

Par contre, les zones de faibles précipitations sont les zones subtropicales et les régions polaires.

➤ **A l'échelle régionale**

A l'échelle de pays (Algérie), les influences orographiques sont les plus déterminantes. Les régions de fortes précipitations se situent dans l'Est de l'Atlas Tellien, la moyenne annuelle dans ces régions est de 800 mm, avec un régime pluviométrique caractérisé par un maximum pendant la saison froide, et par des intensités pluviométriques relativement fortes (Medjrab. A et al, 2005). Les moyennes

annuelles des précipitations de la direction Sud/Nord sont très variables, de 450 à 1000 mm. (Bahroun. S et al , 2011).

➤ **A l'échelle locale**

A l'échelle locale, la variabilité de précipitations est considérable, elle est toutefois d'ampleur différente suivant les types de pluies, bien plus importante pour les pluies convectives que pour les pluies cycloniques. Or il s'agit 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.3.2 Répartition dans le temps

La mesure des précipitations dans une station pluviométrique donnée montre qu'il y a une grande variabilité d'une heure à l'autre, d'un jour à l'autre, d'un mois à l'autre et même d'une année à l'autre. Cette variation est soumise à trois séries temporelles de variation à savoir, les variations journalières, aléatoires et cycliques, et des variations à long terme peuvent s'assimiler à des tendances ou à des modifications climatiques (Brahimi. D, 2014).

➤ **Variations aléatoires**

La grande variabilité interannuelle des pluies résulte du fait que, le plus souvent, une part importante de la pluie annuelle se produit lors d'un petit nombre d'événements pluvieux, et que l'occurrence de ces événements est très aléatoire. Il est facile de comprendre que l'occurrence ou l'absence de ces événements pluvieux affecte le total annuel, et l'irrégularité est d'autant plus grande que le nombre d'événements est petit. Ainsi, la variabilité interannuelle est la plus forte dans les régions de faibles précipitations où la pluie ne tombe qu'occasionnellement, que pour des régions où la pluie est fréquente, explique que la fiabilité de l'estimation des précipitations moyennes en climat aride et semi-aride est particulièrement sensible à la longueur des séries d'observations. (Brahimi. D, 2014)

➤ **Variations périodiques**

Il existe des variations des minimums et des maximums pluviométriques à un rythme relativement régulier, et donc on peut l'assimiler à des cycles. Les plus connus sont les cycles diurnes et les cycles annuels.

Les variations diurnes ne sont pas importantes, sauf dans les régions où l'essentiel des pluies est d'origine convective, résultat de la surchauffe de la surface du sol pendant la journée. Ce type de variation caractérise essentiellement le climat tropical humide. (Brahmi.D ,2014)

➤ **Variations séculaires**

L'histoire des climats nous montre que le climat avait été changé au cours des temps passés, et c'est possible que de tels changements peuvent se reproduire. A la fin du 19^{ème} siècle certains chercheurs pensaient qu'un enregistrement continu pendant 35 ans permettait de connaître la pluviométrie annuelle moyenne vraie à 2% près. Cet optimisme n'est plus de cours aujourd'hui. (Robinson. M, 2000)

1.4 Données pluviométriques

1.4.1 Mesure des précipitations

Il existe deux catégories principales d'appareils de mesure des précipitations : les pluviomètres et les pluviographes. Les pluviomètres indiquent la lame d'eau totale précipitée, en mm, et sur des durées généralement égales à 24 heures. Les pluviographes donnent la variation de la lame d'eau précipitée dans le temps, permettant de déterminer l'intensité de la pluie pour différentes durées d'agrégations allant de la minute à 24 heures. Il existe plusieurs types de pluviographes, avec des technologies différentes. Les deux types les plus couramment utilisés sont les pluviographes à augets basculeurs et les pluviographes à peser. Les données pluviométriques utilisées dans notre étude sont obtenues à partir du pluviomètre.

1.4.2 Exploitation des données pluviométriques

L'hydrologie opérationnelle est la discipline responsable à la récolte, le prétraitement, le mode d'archivage des données hydrométéorologiques, les techniques de mesure (manuelle, automatique) et de stockage de l'information primaire.

On appelle la série qui contient les enregistrements de lames d'eau précipitées instantanées une série complète. A partir de la série complète une extraction de trois séries peut être faite (Meylan et al 1999).

- La série de maximum annuel (SMA).
- La série des durées partielles (SDP, série tronquée).
- La série des k des plus grandes valeurs annuelles

I.4.3 Tests d'homogénéité

Dans une analyse des séries chronologiques, il est important de vérifier l'hypothèse que les observations de la chronique sont identiquement distribuées, cela revient encore à vérifier que les observations de la chronique sont homogènes. La vérification de cette hypothèse est nécessaire avant d'entreprendre toute étude d'inférence statistique. Le caractère d'homogénéité des observations d'une série chronologique est donc une hypothèse fondamentale dans une étude statistique.

Il existe beaucoup de tests d'homogénéité, par exemple :

- Tests d'homogénéité de tendance, basés sur la fonction de répartition empirique
- Test d'homogénéité appliqués à une tendance, basés sur les moyennes empiriques.
- Tests paramétriques d'homogénéité.
- Test non paramétrique d'homogénéité.
- Test de la médiane.
- Test des blocs de Wald-Wolfowitz.

Dans notre cas d'étude, c'est le test de wilcoxon qui a été utilisé, ce dernier fait partie des tests non paramétrique d'homogénéité.

I.5 Le bassin versant

Le bassin versant en une section de cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit traverser la section considérée, appelé exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval (Laborde. J. P, 2009).

L'exutoire d'un bassin versant est le point le plus bas du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin. La ligne de crête d'un bassin versant est la ligne de partage des eaux (Morell. M, 1999).

Cependant, le cours d'eau d'un bassin versant peut-être alimenté par les eaux précipitées dans un bassin topographique adjacent, c'est la présence d'un horizon imperméable ou d'écoulements souterrains complexes.

I.5.1 Caractéristiques des bassins versants

I.5.1.1 Caractéristiques de forme

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan

horizontal. Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé, même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques (Touaibia. B, 2004)

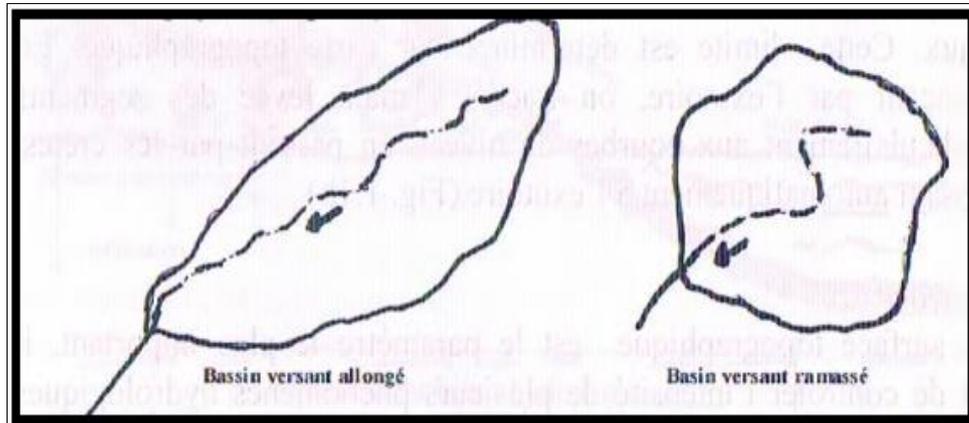


Figure I.2: Forme d'un bassin versant (Touaibia. B, 2004)

En termes de forme, le bassin versant est caractérisé par :

- **La Surface** du bassin versant, **A** en Km²
- **Le périmètre** du bassin versant, **P** en Km
- **Indice de Gravius, Kc** : cet indice est un paramètre de forme, son utilisation pour caractériser la forme du bassin est très répandue en hydrologie. L'idée est simple, c'est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard. C'est ainsi que Gravius, a proposé en 1914, le coefficient de compacité défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface (Wisler et Brater, 1959 ; in Bendjoudi et Hubert, 2002).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (I.1)$$

- **Rectangle équivalent ou rectangle de Gravius** : C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L et l) ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement. Les courbes des niveaux sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle, l'exutoire est l'un de ces petits côtés (Touaibia.B , 2004)

Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement :

$$P= 2(L+l) \quad S=L \times l \quad (I.2)$$

La longueur L et la largeur l en Km sont données par la relation suivante :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right], \text{ et } l = \frac{P}{2} - L. \quad (I.3)$$

I.5.1.2 Relief

➤ Courbe Hypsométrique

La courbe hypsométrique a une grande importance dans l'étude du relief d'un bassin versant. Sur un graphique, on porte en ordonnée l'altitude et en abscisse la surface souvent exprimée en %. Dans la description du bassin versant, la répartition hypsométrique est aussi présentée, montrant la fraction ou le pourcentage de la surface comprise entre deux courbes de niveau consécutives. Sur la courbe hypsométrique, on peut déterminer l'altitude médiane ou $H_{50\%}$. L'altitude moyenne est calculée par la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum S_i \cdot H_i}{S} \quad \text{avec } H_i = \frac{H_{n-1} + H_n}{2} \quad (I.4)$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux consécutives (n-1) et (n) en mètres ;

S_i : Surface partielle comprise entre deux courbes de niveau consécutives n-1 et n en Km^2 ;

S : Surface totale du bassin versant en Km^2

➤ Indice de pente globale I_g

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. Les altitudes correspondantes sont lues la courbe hypsométrique. Il est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad (I.5)$$

➤ Pente du cours d'eau principal

Cette pente correspond au rapport entre la différence d'élévation (ΔH_{cp}) du point le plus haut et du point le plus bas du cours d'eau divisée par la longueur du cours d'eau (L_{cp}).

$$I_c = \frac{\Delta H_{cp}}{L_{cp}} \quad (I.6)$$

➤ **Densité de drainage**

Elle est définie comme le rapport entre la longueur des canaux d'écoulement et la superficie du bassin.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (I.7)$$

➤ **Temps de concentration**

Le temps de concentration (T_c) est le temps mis par une particule d'eau pour parcourir le bassin versant du point le plus éloigné jusqu'à l'exutoire.

La formule utilisée pour le calcul du temps de concentration dans notre cas est la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_T}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{Minutes}) \quad (I.8)$$

S : Surface du bassin versant (Km^2).

L_T : Longueur du talweg principal (Km).

H_{moy} : Altitude moyenne de bassin versant (m).

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant (m).

I.6 Système d'information géographique (S.I.G)

Un système d'information géographique (SIG) est un système permettant de créer, d'organiser et de présenter des données numériques spatialement référencées, autrement dit géoréférencées, ainsi que de produire des plans et des cartes. D'après Joliveau. T, (2013), un S.I.G est l'ensemble des structures, des méthodes, des outils et des données constituées pour rendre compte des phénomènes localisées dans un espace spécifique et faciliter les décisions à prendre sur cet espace.

Le « rapport sur la marche et les effets du choléra dans Paris » était une des premières applications de l'analyse spatiale en épidémiologie en 1832, par le géographe français Charles Picquet.

Le développement des SIG a connu trois périodes principales :

- Fin des années 1950 – milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières cartographies automatiques et naissance de l'éditeur de logiciels SIG.
- Milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique/SIG dans les organismes d'état (armée, cadastre, services topographiques...).
- Depuis les années 1980 : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées, depuis les années 1990, des applications sur internet) et une uniformisation de l'usage de l'information géographique (Zeroili. D et al, 2012).

I.6.1 Carte

La carte est un dessin réduit et à plat du monde ou d'une portion du monde. Elle peut être aussi une représentation sur un fond de carte géographique, d'un phénomène quelconque concret ou abstrait. Cette représentation est faite sur papier ou sur un autre support tel le verre, le bois ou un écran d'ordinateur. Elle est conçue à la main ou par une machine. Les distances sur la carte sont toujours dans le même rapport que sur le terrain, (Poidevin. D, 2010).

Toute carte doit posséder les éléments nécessaires pour sa présentation et sa compréhension. La plupart de ces éléments sont obligatoires, certains sont optionnels selon le type de la carte.

- Le contenu de la carte.
- L'orientation : C'est un élément très important. On oriente vers le Nord.
- L'échelle : elle devrait toujours être présente. Elle permet d'évaluer les dimensions du territoire cartographié. On peut la donner sous forme numérique (1/5000, 1/10000 ...) ou graphique.
- Le cadre.
- La légende : c'est un élément essentiel de la carte, elle définit les symboles employés sur la carte.
- Le titre : Il contient le moins de mots possibles, il doit être visible.
- Les coordonnées : latitude et longitude, sont utiles pour les cartes à petite échelle.
- La date : elle est obligatoire. C'est très utile pour contrôler le degré d'ancienneté de l'information géographique.
- La nomenclature : elle est l'ensemble des noms de lieux ou de faits géographiques écrits sur le fond de carte. Elle est nécessaire sur les cartes de localisation pour lesquelles la liste des noms de lieux constitue une base.

I.7 La Géostatistique

La géostatistique est définie comme l'ensemble des techniques et méthodes permettant d'étudier les phénomènes qui s'étendent dans l'espace, et présentent une organisation ou une structure. L'histoire de la géostatistique est liée à l'estimation des gisements exploités dans les mines, mais son domaine d'application actuel est beaucoup plus large, un phénomène spatialisé peut être étudié en utilisant la géostatistique, comme le domaine de la géologie, télécommunications, biologie, santé et climatologie .

I.7.1 Variogramme théorique et variogramme expérimental

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

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(s+h) - Z(s)) \quad (\text{I.9})$$

Le variogramme mesure la dissemblance entre les valeurs en fonction de leurs séparations (variabilité spatiale). Il décrit la continuité spatiale de la variable régionalisée. Le variogramme théorique est défini comme :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(s+h) - Z(s)) = \frac{1}{2} E \left[(Z(s+h) - Z(s))^2 \right] = C(0) - C(h) \quad (\text{I.10})$$

Avec

$$C(0) = \text{var}(Z(s)) \text{ et } C(h) = \text{cov}(Z(s+h), Z(s)) \quad (\text{I.11})$$

Un variogramme peut se calculer non seulement pour une distance donnée mais aussi pour direction θ donnée $\gamma_\theta(h)$.

I.7.2 Modélisation de variogramme

Le variogramme expérimental n'est pas défini aux distances h pour lesquelles on n'a pas de paires de points de mesures. Il est ajusté à une fonction mathématique appelée modèle de variogramme. Goovaerts, P, 1997 recommande d'utiliser des modèles éprouvés ou des modèles construits à partir de modèles éprouvés. Les types de modèles courants sont :

$$- \text{ Linéaire : } \gamma(h) = \begin{cases} C_0 + \frac{C}{a} h & \text{pour } a \geq h \geq 0 \\ C_0 + C & \text{pour } h > a \end{cases} \quad (\text{I.12})$$

$$- \text{ Sphérique : } \gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) & \text{pour } a \geq h \geq 0 \\ C_0 + C & \text{pour } h > a \end{cases} \quad (\text{I.13})$$

$$- \text{ Gaussien : } \gamma(h) = C_0 + C \left(1 - \exp \left(-\frac{3h^2}{a^2} \right) \right) \quad (\text{I.14})$$

$$- \text{ Exponentiel : } \gamma(h) = C_0 + C \left(1 - \exp \left(-\frac{3h}{a} \right) \right) \quad (\text{I.15})$$

I.7.3 Méthodes d'interpolation

Il existe des méthodes d'interpolation des données du phénomène étudié, ils se divisent en deux types :

- Méthodes déterministes : il existe de nombreuses méthodes déterministes, comme, les méthodes barycentriques, les méthodes d'interpolation par partitionnement de l'espace et les splines.(S. BAILLARGEON,2005)
- Méthodes probabilistes : des méthodes reliées aux lois de probabilité comme le krigeage

I.7.4 Krigeage

Le krigeage est la méthode d'estimation linéaire garantissant le minimum de variance. Le krigeage réalise l'interpolation spatiale d'une variable régionalisée par calcul de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, utilisant l'interprétation et la modélisation du variogramme expérimental (Bogaert, 2007).

À partir des années 1960 se sont développées les techniques appelées de Krigeage avec les travaux de Matheron puis de son équipe de l'école des mines de Paris (Laborde. J. P, 2009).

Le krigeage et le cokrigeage sont l'une des techniques de géostatistique d'estimation locale. Nous cherchons à estimer la valeur d'une variable régionalisée Z en un point s_0 quelconque du champ à partir des mesures observées $Z(s_i)$, $i=1, \dots, n$ (n : nombre de points observés). Le krigeage est un interpolateur exact et optimal, la valeur estimée sur un point de mesure est égale

à la valeur du point de mesure, il minimise la variance sur l'erreur d'estimation (Laborde. J. P, 2000). Il existe trois types de krigeage :

- Le krigeage simple ;
- Le krigeage ordinaire ;
- Le krigeage universel.

I.8 Synthèse des travaux sur La géostatistique

Une étude a été établie en 2018 par (Bouhamza. F), intitulé (Estimation géostatistique des paramètres pétro physiques de la zone 1B -HASSI MESSOUD), Cette étude porte sur la tendance des variations des paramètres porosité et perméabilité, pour pouvoir indiquer les drains les plus favorables à l'exploitation. Après le traitement et l'analyse des données et une analyse géostatistique et modélisation (Variogramme, krigeage), le modèle a pu déterminer les drains les plus favorables à partir des cartes iso-porosité et iso- perméabilité obtenus par krigeage.

L'étude de (Elfani. I, 2020) concernant la Simulation géostatistique des gisements de calcaire avait pour objet de faire une estimation des teneurs en chaux (% CaO) et les réserves du calcaire pur du gisement par deux méthodes, par une méthode d'interpolation géostatistique (krigeage ordinaire KO), par une simulation gaussienne séquentielle. Ainsi que la comparaison entre les résultats de ces deux méthodes. Les résultats montrent que la simulation gaussienne séquentielle et le krigeage ordinaire sont des estimateurs de grande précision, néanmoins des différences existent entre ces deux estimateurs.

En 2015, (BELKEBIR.Y) a utilisé l'approche géostatistique pour étudier l'impact des changements climatiques sur la qualité physicochimique des eaux souterraines (cas plaine de la Mitidja). L'étude géostatistiques a mis en évidence la configuration actuelle du réseau de la pollution par les nitrates d'origine anthropique, ce qui aide à proposer des recommandations et des solutions au problème de pollution par les nitrates.

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons notre zone d'étude, notamment de point de vue localisation, relief et climat.

II.1 Situation géographique

Le bassin d'ISSER se situe au centre Nord de l'Algérie, à 70 km au Sud-Est d'Alger. Il couvre 04 wilayas partiellement qui sont : Médéa, Boumerdes, Bouira et Tizi Ouzou. Il est situé entre les longitudes $3^{\circ} 32' E$ à $3^{\circ} 53' E$ et les latitudes $36^{\circ} 38' N$ à $36^{\circ} 52' N$, avec une superficie de 4116 Km^2 , comme représenté dans la figure (II.1), il est limité :

- A l'Est, par les bassins : Soummam et côtier Algérois.
- Au Sud, par les bassins : Chott el Hodna et Cheliff.
- Au Nord, par la mer Méditerranéenne.
- A l'Ouest, par le bassin côtier Algérois.

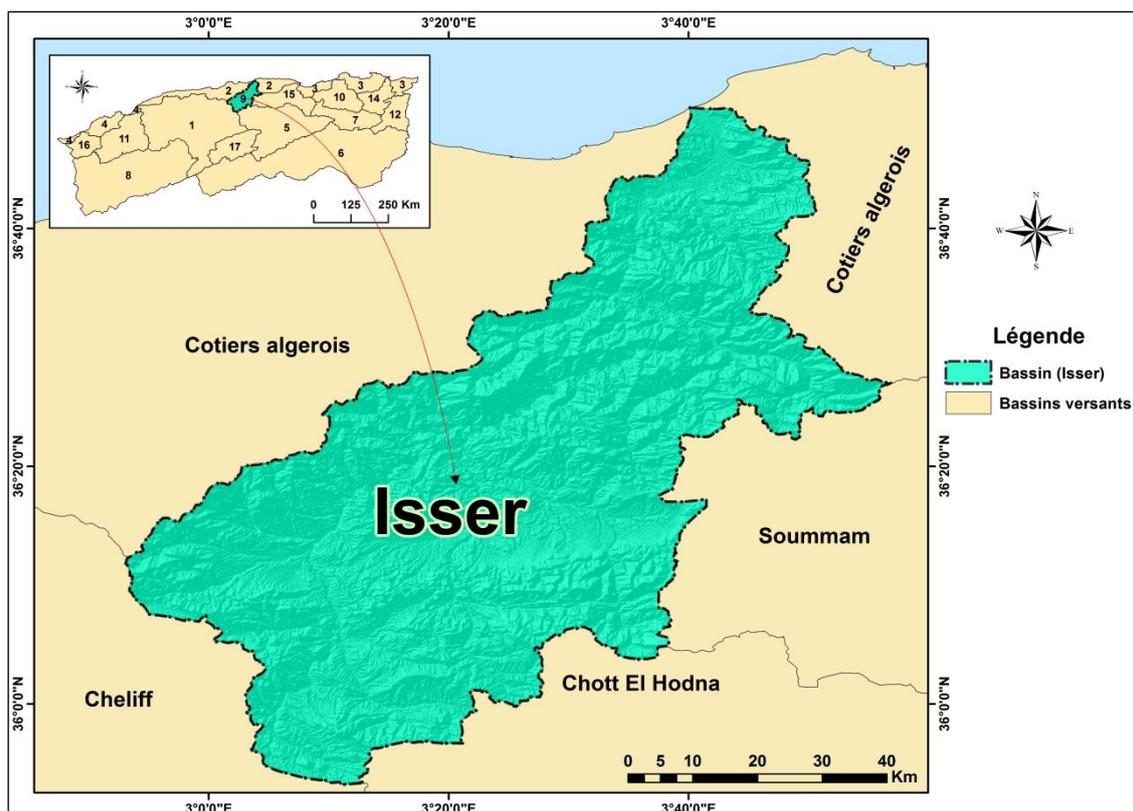


Figure II.1: Carte de la situation géographique du bassin d'ISSER

II.2 Climat

Pour notre étude, les données climatologiques sont fournies à partir de la station météorologique de l'Office National de la Météorologie (O.N.M), de Dar El Beida (1975/2014),

située sur une altitude de 24m. Le climat de notre zone d'étude est méditerranéen, le sirocco en été, des étés chauds et secs et des hivers pluvieux et doux.

II.2.1 Température

La température varie en fonction de l'éloignement à la mer. Les températures maximales sont grandes à l'intérieur par rapport à la côte, Les mois les plus froids sont : Janvier et Février, où la température moyenne minimale varie entre 5°C et 18°C ; les mois les plus chauds sont : Juin, Juillet, et Août, où la température moyenne maximale varie entre 16°C et 31°C. Le tableau II.1 illustre la variation de la température moyenne mensuelle et annuelle.

Tableau II.1 : Température moyenne mensuelle et annuelle

Mois Station		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne Annuelle
		Dar	Max	28,8	24,8	20,3	17,6	16,5	17,1	18,6	20	22,4	26,9	30,6
El	Moy	23,3	19,4	14,9	12,1	10,5	11,4	11,9	14,4	17,6	21,6	24,8	25,5	17,3
Beida	Min	16,8	13,1	9,2	7,3	5,4	6,4	6,7	8,7	11,4	15,4	18,4	18,7	5,4

II.2.2 Humidité relative

C'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau présent dans un volume d'air et la quantité maximale de vapeur d'eau dans le même volume d'air à la même température.

Les valeurs de l'humidité relative enregistrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.2 Humidité relative moyenne mensuelle et annuelle en (%)

Mois Station		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
		Dar	Max	91,8	92,3	93,7	92,8	93,5	94	94	94	93,9	93	91,2
El	Moy	71,8	73,6	77,2	78,3	77,9	77,3	77,2	76	75,6	71,2	69,6	70,2	74,7
Beida	Min	44,6	46,4	49,8	52,7	51,2	52,3	48,7	50,6	49,7	45,7	40,8	44,1	40,8

II.2.3 Le vent

C'est un facteur climatique important, le vent est de direction Nord-sud à Nord-ouest, transporte des masses d'air humide. Les vents secs sont de direction : Sud-Nord pendant l'été et leur

vitesse varie de 2,9 à 3,4 m/s. Le tableau II.3 représente les vitesses moyennes du vent enregistrées.

Tableau II.3 Vitesses moyennes du vent (m/s)

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne Annuelle
Dar El Beida	2,90	3,0	2,90	3,40	3,10	3,30	3,30	3,30	3,10	3,30	3,40	3,10	3,2

II.2.4 L'évaporation

Les valeurs de l'évaporation moyenne sont calculées à partir des observations effectuées au niveau du barrage El Hamiz par l'Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques (2018). Ils sont représentés dans le tableau II.4.

Tableau II.4 Evaporation moyenne

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle	
Hamiz	Mm	126	96	69	54	61	68	83	92	122	149	168	176	105.3
	%	10,0	7,60	5,40	4,30	4,80	5,40	6,50	7,30	9,70	11,8	13,3	13,9	100

La valeur moyenne annuelle de l'évaporation est estimée à 105.3 mm/an. L'évaporation est minimale pendant l'hiver, avec une moyenne mensuelle entre 54 et 68 mm et maximale pendant l'été, avec une moyenne mensuelle qui varie entre 149 et 176 mm.

II.2.5 Précipitations

II.2.5.1 Stations pluviométriques

Le bassin de l'Isser dispose d'un réseau pluviométrique assez dense, constitué par vingt-huit (27) stations d'observations, parmi ces stations, on a utilisé les données pluviométriques de 20 stations à l'intérieur du bassin versant et 07 stations adjacentes pour notre étude. Le tableau II.5 représente les coordonnées des stations pluviométriques.

Tableau II.5 : Coordonnées des stations pluviométriques.

Code	Station	Coordonnées Lambert (Km)		Altitude (m)
		XLNA	YLNA	
90104	SOUAGHI	548,99	312,40	810
90201	EL OMARIA	530,20	329,20	790
90202	MAHTERRE	542,85	342,50	875
90203	TABLAT DRS (A.N.R.H)	554,75	345,80	450
90205	EL OMARIA Pep,	533,35	327,30	658
90301	DJOUAB	566,95	315,55	825
90302	BINI SLIMANE	554,70	326,00	600
90303	BIR RHABALOU	579,70	329,70	641
90304	PONT DE LA TRAILLE	559,15	343,00	370
90314	DECHMYA	578,50	316,35	850
90401	KHABOUZIA	579,15	334,35	720
90402	SOUK EL KHEMIS	584,00	343,40	782
90403	DJEBAHIA	594,80	353,45	520
90406	TAZEROUT	571,10	361,65	450
90413	OULED TOUATI	576,65	347,50	831
90419	BSIBSA	570,25	354,50	820
90502	LAKHDARIA GORGES	579,00	369,50	50
90503	OULED BOUHADDADA	574,55	372,30	425
90510	B, MENAIEL PEPIN	591,00	390,25	27
90512	CHABET EL AMEUR	588,85	371,40	260
011301	Ksar el Boukhari	504,55	288,10	580
011404	Zoubiria Mongorno	513,50	312,80	1000
020632	Reghaia	557,82	382,23	20
021801	Bouassam	620,00	371,50	600
150103	El Hachimia	600,65	325,1	719
050101	Ain Nessissa	583,25	290,35	670
050201	Draa El Hadjar	565,65	271,85	726

Source : A.N.R.H

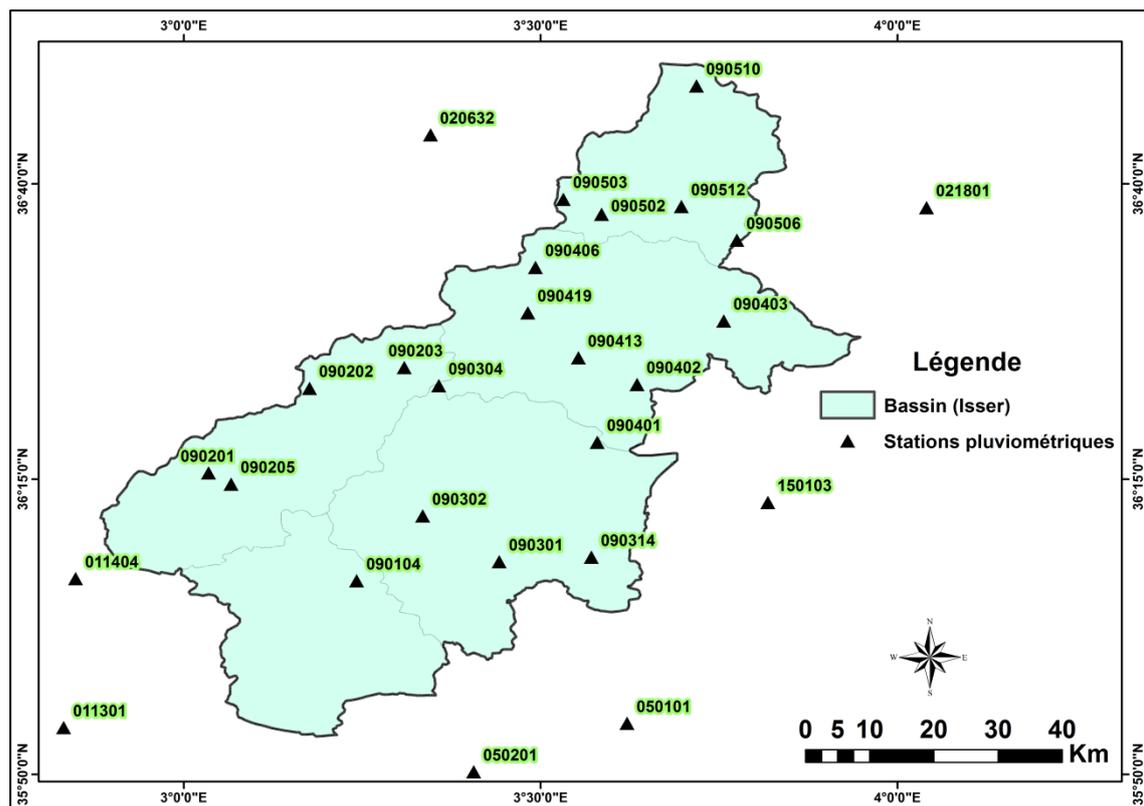


Figure II.2 : Carte des stations pluviométriques

II.2.5.2 Aperçu sur la pluviométrie

Les valeurs moyennes des précipitations enregistrées au niveau des stations pendant la période (1975/2014) sont représentées ci-dessous :

Tableau II.6 : Précipitations moyennes annuelles (1975-2014).

Code	Station	Précipitations moyennes annuelles (mm)
90104	SOUAGHI	344,6
90201	EL OMARIA	469,8
90202	MAHTERRE	653,7
90203	TABLAT DRS (A.N.R.H)	581,8
90205	EL OMARIA Pep,	365,8
90301	DJOUAB	573.1
90302	BINI SLIMANE	385,3
90304	PONT DE LA TRAILLE	484,7
90314	DECHMYA	488,7

90401	KHABOUZIA	414,3
90402	SOUK EL KHEMIS	519,1
90403	DJEBAHIA	607,8
90406	TAZEROUT	771,5
90413	OULED TOUATI	521,8
90419	BSIBSA	713,1
90502	LAKHDARIA GORGES	701,6
90503	OULED BOUHADDADA	770,9
90506	TIZI GHENIF	728,1
90510	B, MENAIEL PEPIN	668,7
90512	CHABET EL AMEUR	701,6

Source : A.N.R.H

Les données montrent que les zones proches de la mer sont caractérisées par une pluviométrie annuelle importante qui dépasse 600 mm, par contre, les zones localisées à l'intérieur montrent une pluviométrie annuelle qui ne dépasse pas 500 mm par an. La valeur maximale de la pluviométrie est enregistrée à la station de Tazerout (771.5 mm), et la station de Souaghi montre la pluviométrie la plus faible (344,6 mm).

II.3 Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Isser

La connaissance et l'analyse des caractéristiques morphométriques du bassin versant nous aide à mieux comprendre son comportement hydrologique et de mieux étudier la particularité du son relief.

Les différentes caractéristiques du bassin versant de l'Isser sont représentées comme suit :

➤ **Courbe hypsométrique**

Le tableau suivant représente la répartition altimétrique du bassin d'Isser :

Tableau II.7 : Répartition altimétrique.

Classe d'altitude (m)	Moyenne (m)	Superficie partielle		
		Km ²	%	% cumulé
1600-1800	1700	2,63	0,06	0

1400-1600	1500	6,38	0,16	0,06
1200-1400	1300	80,02	1,94	0,22
1000-1200	1100	270,18	6,56	2,16
800-1000	900	823,2	20	8,73
600-800	700	1267,2	30,79	28,73
400-600	500	910,2	22,11	59,51
200-400	300	370,15	8,99	81,63
0-200	100	386,04	9,38	90,62
Total		4116	100	100

D'après le tableau ci-dessus, la courbe hypsométrique de notre bassin versant est tracée, elle est représentée dans la figure suivante.

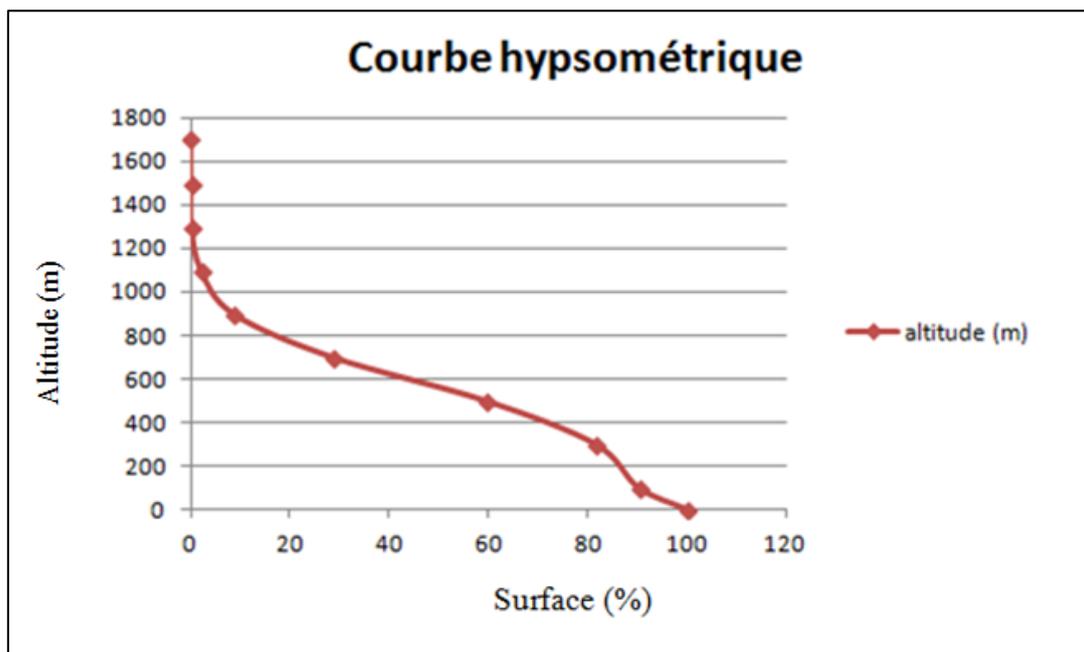


Figure II.3 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'Isser.

Il ressort du tableau II.7 que la répartition des forts pourcentages correspond aux basses altitudes, ce qui montre que notre bassin ne présente pas des contraintes topographiques. Il est caractérisé par des reliefs moyens. La tranche d'altitude la plus dominante est comprise entre 600 et 800 mètres.

➤ **Caractéristiques morphométriques**

Le tableau suivant représente les caractéristiques du bassin d'Isser :

Tableau II.8 Caractéristiques morphométriques du bassin d'Isser

Surface A (Km ²)	4119,8
Périmètre P (Km)	416,15
Kc	1,816
Forme	Allongé
Rectangle équivalent (L×l) (Km×Km)	185,92×22,16
Altitude max (m)	1802
Altitude min (m)	0
Altitude moyenne (m)	659,9
H _{5%} (m)	750
H _{95%} (m)	1670
Ig (m/Km)	4,95
Dg (Km/Km ²)	0,64
Tc (heures)	24,4

II.3.1 Sous bassins du bassin versant d'Isser

Le bassin d'Isser est divisé en 05 sous bassins, comme représenté dans la figure suivante :

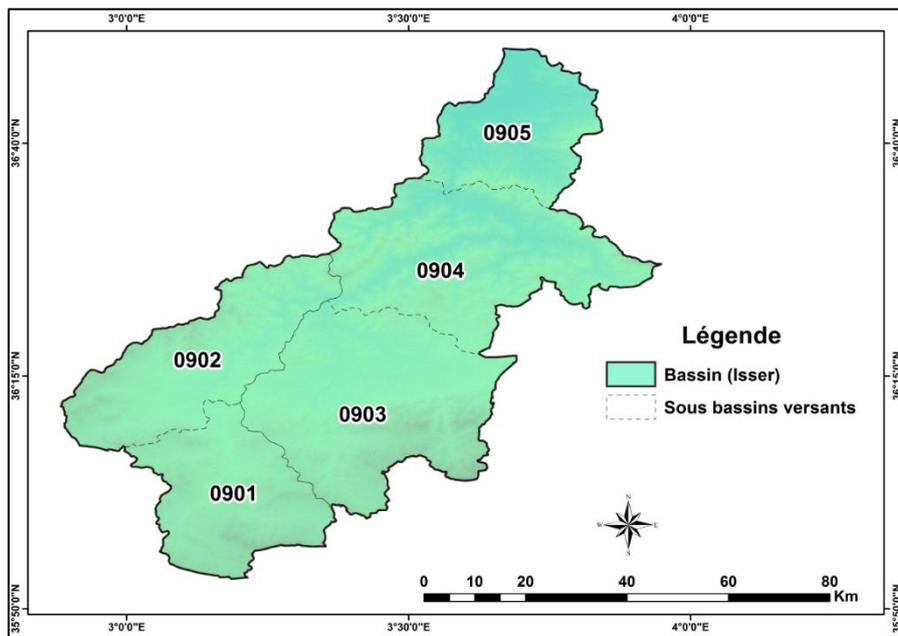


Figure II.4 : Sous bassins versant d'Isser.

Les caractéristiques morphométriques et physiographiques des sous bassins d'Isser sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.9 : Caractéristiques morphométriques et physiographiques

Caractéristiques	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Code	0901	0902	0903	0904	0905
A(Km²)	657,95	773,19	1124,6	1025,2	538,14
P(Km)	131,15	152,46	169,54	180,94	114,67
Kc	1,432	1,535	1,416	1,582	1,384
Forme	Allongé	Allongé	Allongé	Allongé	Allongé
L(Km)	53,21	64,18	68,31	77,19	45,51
I(Km)	12,37	12,05	16,46	13,28	11,82
Altitude maximale (m)	1452	1314	805,87	1242	1000
Altitude minimale (m)	595	352	364	100	0
Altitude moyenne (m)	955	704	616,8	605,6	12
Lcp(Km)	38,2	86	39,4	52	45,5
Tc (Heures)	10,5	16,0	15,2	11,5	58,1

Le SBV 1, se situe au sud, il représente 15, 97% (657,95 Km²) de la superficie totale du bassin Isser. Sa forme est relativement compacte par rapport aux autres sous bassins, il s'étend sur 31,72 Km sur l'axe Est-Ouest et 43,6 Km sur l'axe Nord-Sud. Drainé par le cours d'eau El Kherza, a une longueur de (38,2 Km). Altitudes max et min sont respectivement (1452- 595 m) avec une moyenne d'altitude de 955m. Sa densité de drainage et de l'ordre de 0,75 Km/Km², la pente moyenne est faible 7,11 %.

Le SBV 2, se situe tout à fait au Sud-ouest du bassin, montre une superficie de (773,19 Km²), soit 18,77 % de totale de la surface. Drainé par l'oued El Maleh et oued Yagout ayants respectivement (703,4 et 6 Km). Il a une forme allongé vue (Kc=1,54), son point culminant est à 1314m, il s'étend sur (44,4 Km) sur l'axe NE-SO et (40 Km) sur l'axe NO-SE, il présente un terrain un peu pentu avec une pente moyenne (9,71%).

Le SBV 3, et le plus grand de part de sa taille (27,3%), se trouve au Sud-est du Bassin d'Isser. Son relief est n'est pas trop fort ($I_m = 6,8\%$) avec une altitude moyenne de 611,8 m. Assaini par l'oued Zitouna et Al Halleba (39,4 et 34,7 Km) respectivement. Il a une forme allongée ($K_c = 1,42$), il s'étale sur (44,3 Km) sur l'axe Est-Ouest et (44,13 Km) sur l'axe Nord-Sud.

Le SBV 4, c'est le deuxième le plus grand, sa taille est (1025,2 Km²) soit 24,8% de l'étendue totale du bassin d'Isser. Sa forme est allongée, présente une pente moyenne la plus élevée par rapport aux autres sous bassins ($I_m = 14,42\%$) vue que la différence entre l'altitude maximale et l'altitude minimale est 1142m, l'altitude moyenne est (605,6 m), drainé par trois cours d'eau principaux (oueds : Isser, Soufflat et Bou Hamoud), leurs longueurs sont (77,2, 26,2 et 18,3 Km) respectivement. Ce bassin contient le barrage de Codiât Acerdoune. Il s'étend sur (34,6 Km) sur l'axe Nord- Sud et (52,4 Km) sur l'axe Est-Ouest.

Le SBV 5, forme la pointe du bassin d'Isser, c'est le troisième plus petit bassin, sa superficie est de (538,14 Km²), il représente (13%) de la surface totale du bassin. Il a une forme moyennement allongée, il s'étale sur (32 Km) sur l'axe Nord-Sud et (27,8 Km) sur l'axe Est-Ouest. La mobilisation des eaux faite par le barrage du Beni Amrane. La pente moyenne est (9,54%). Ce sous bassin est drainé par le cours d'eau principale d'Isser, ce dernier se jette en mer Méditerranée (exutoire). L'altitude maximale est (1000 m) alors que l'altitude minimale est (0 m), l'altitude moyenne est de (12 m).

II.4 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin versant d'Isser est dense, dont la mer Méditerranée joue le rôle d'exutoire. Il contient 05 stations hydrométriques et 02 barrages dans le cours d'eau principal (Koudiat Acerdoun et Beni Amrane).

La figure suivante montre le réseau hydrographique présent dans le bassin d'Isser

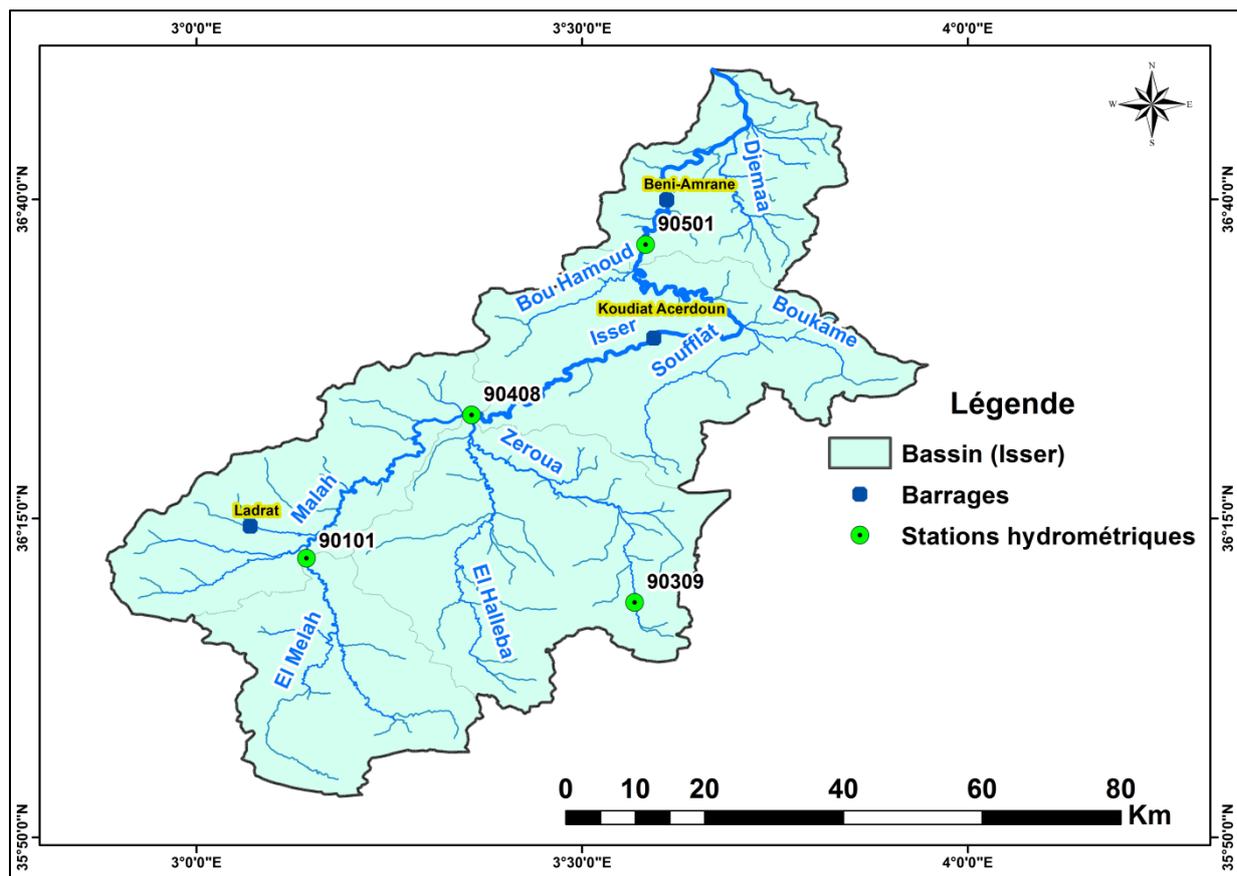


Figure II.5 : Réseau hydrographique du bassin d'Isser.

II.5 Ressources en eau

II.5.1 Eaux superficielles

Il existe au niveau du bassin versant d'Isser des barrages opérationnels pour l'exploitation des eaux superficielles en irrigation et pour la consommation urbaine.

- Barrage Koudiat Acerdoune : La mise en eau de ce barrage était en 2009, destiné à alimenter 14 centres urbains et 34 localités en eau potable, et aussi pour l'irrigation du périmètre de la Mitidja centre et Est.
- Barrage Beni Amrane : C'est un barrage implanté sur l'oued Isser, avec une capacité de 6 Hm³
- Barrage Ladrat : Il est implanté sur l'oued Ladrat, destiné à l'irrigation du périmètre de Ladrat, avec une capacité de stockage de 9Hm³.

II.5.2 Eaux souterraines

Le bassin d'Isser est constitué principalement par les unités hydrogéologiques suivantes :

- Unité hydrogéologique du haut et moyen ISSER.

- Unité hydrogéologique du bas ISSER
- Unité hydrogéologique de la plaine des Arribs
- Unité hydrogéologique de l'oued Mellah

La potentialité des eaux souterraines du bassin d'Isser est estimée à 210 Hm³ (ANRH).

Conclusion

A travers ce chapitre, on a présenté notre zone d'étude de point de vue localisation, climat et caractéristiques hydrologiques.

Le bassin versant d'Isser se caractérise par un climat méditerranéen et un réseau hydrographique dense, il présente une potentialité pluviométrique importante.

Introduction

La géostatistique est l'étude des phénomènes naturels répartis dans l'espace (phénomènes régionalisés) ou dans le temps (dans notre cas, c'est les précipitations). La géostatistique permet le traitement de données spatiales ou temporelles à partir de l'utilisation de modèles probabilistes.

Dans ce chapitre, on va appliquer l'approche géostatistique (variogramme, krigeage), pour obtenir un modèle géostatistique et avoir une estimation sur la variation spatio-temporelle des précipitations dans le bassin versant d'Isser.

III.1 Méthodologie de travail

Notre travail est articulé comme suit :

- L'acquisition des données pluviométrique : les données sont obtenues à partir de l'ANRH. Il s'agit des précipitations annuelles de 27 stations pluviométriques pendant la période (1975-2014). Les données recueillies sont entachées d'erreurs, et cela dû à l'irrégularité des séries chronologiques. Malheureusement, nous ne disposons pas de séries de données parfaitement fiables ou continues. Ces dernières présentent des lacunes à l'échelle mensuelle et annuelle. Avant d'utiliser ces données, notre première étape consiste à supprimer les valeurs mensuelles aberrantes contenant des valeurs anormalement élevées, généralement causées par des erreurs d'entrée dans la base de données. Dans la deuxième étape, nous faisons un comblement des lacunes mensuelles.

L'approche géostatistique sera appliquée sur les données de la période complète (1975-2014), et aussi pour chaque décennie :

D1 : la période (1975-1984).

D2 : la période (1985-1994).

D3 : la période (1995-2004).

D4 : la période (2005-2014).

- Analyse Géostatistique et modélisation (Variogramme, krigeage) à l'aide de logiciel ARC GIS. Le semi-variogramme expérimental est calculé par la moitié des carrés de la différence entre les valeurs appariées et la distance par laquelle ils sont séparés :

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(b_i) - z(b_i + h)]^2 \quad (\text{III.1})$$

$N(h)$ est le nombre de paires dans la classe de distance h .

- Cartographie et interprétation des résultats qui fait l'objet de notre étude. C'est l'interpolation spatiale des précipitations, dont les données observées sont disponibles sur un nombre de stations aussi bien dans la zone d'étude que tout autour de celle-ci, a été réalisée par le Krigeage qui est considéré comme l'outil majeur du calcul géostatistique et de modélisation. C'est une méthode d'interpolation spatiale qui tient compte à la fois de la configuration géométrique des points observés et de la structure spatiale propre à la variable estimée. Cette méthode est utilisée pour l'interpolation des précipitations et la préparation des cartes pluviométriques répartie en quarts décennies.

III.2 Caractéristiques statistiques des données

III.2.1 Homogénéité des séries pluviométriques

Lors d'une analyse statistique, il est important de vérifier l'homogénéité des données. Le test de Wilcoxon est un test d'homogénéité non paramétrique souvent utilisé pour mettre en évidence l'homogénéité des données statistiques.

On considère deux populations X et Y de taille respective N2 et N1

Y étant la série à étudier et X étant la série de base avec N2>N1.

On classe les éléments de ce nouvel échantillon Y U X par ordre décroissant et on associe à chacune des valeurs le rang qu'elle occupe dans cette série

L'hypothèse est vérifiée si : $W_{min} < W_y < W_{max}$

Avec :

$$W_y = \sum_{i=1}^n rang y \quad (III.1)$$

$$W_{min} = \frac{(N_1+N_2+1)N_1-1}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1+N_2+1)}{12}} \quad (III.2)$$

$$Et : W_{max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{min} \quad (III.3)$$

$U_{1-\frac{\alpha}{2}}$: représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de $1 - \frac{\alpha}{2}$.

Les résultats du test sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Test de Wilcoxon

Station	Wmin	Wmax	Wy	Homogénéité
Souagui	344.28	510.72	429	Vérifié
El Omaria	276.36	420.64	309	Vérifié
Mahterre	276.36	420.64	278	Vérifié
Tablat DRS	236.85	378.15	248	Vérifié
El Omaria PEP	276.36	420.64	292	Vérifié
Djouab	316.63	461.36	323	Vérifié
Beni Slimane	316.63	461.36	318	Vérifié
Pont de la Traille	276.36	420.63	280	Vérifié
Dechmya	1480.65	1918.34	1570	Vérifié
Khabouzia	316.63	461.36	323	Vérifié
Souk El Khemis	276.36	420.63	281	Vérifié
Djebahia	276.36	420.63	307	Vérifié
Tazerout	276.36	420.63	295	Vérifié
Ouled Touati	270.29	409.70	295	Vérifié
Bsibsa	276.36	420.63	312	Vérifié
Lakhdaria Gorges	276.36	420.63	301	Vérifié
Ouled Bouhaddada	276.36	420.63	288	Vérifié
Tizi Ghenif	276.36	420.63	323	Vérifié
B.Mnail Pepin	233.93	358.06	258	Vérifié
Chabet El Aneur	276.36	420.63	286	Vérifié

Il ressort du tableau III.2 que le test de Wilcoxon est vérifié pour toutes les stations, ce qui implique que les données pluviométriques sont homogènes.

III.2.2 Présentation des données statistiques

Pour effectuer l'étude, on a calculé la moyenne des précipitations annuelles pour chaque station pluviométrique, pendant la période (1975-2014) et pour chaque décennie. Les moyennes sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.1 : Données pluviométriques.

Station	Période (1975-2014)	D1	D2	D3	D4
SOUAGHI	313,1	357,3	285,8	307,8	301,7
EL OMARIA	479,4	466,3	414,1	486,2	551,2
MAHTERRE	653,7	626,8	564,2	735,4	688,5
TABLAT DRS (A.N.R.H.)	581,8	538,1	531,7	601,2	656,9
EL OMARIA Pep	365,8	402,2	317,7	302,2	440,8
DJOUAB	537,1	479,1	463,2	529,3	677
BINI SLIMANE	385,3	367,8	355,9	379,2	438,4
PONT DE LA TRAILLE	484,7	447,4	453	484,7	553,9
DECHMYA	488,7	495,7	339,9	509,6	609,6
KHABOUZIA	414,3	375,2	313,8	377,2	591,9
SOUK EL KHEMIS	519,1	511,8	456,3	506,2	602,2
DJEBAHIA	607,8	607,9	554,6	548,4	720,4
TAZEROUT	771,5	764	683,9	759,2	878,8
OULED TOUATI	521,8	479,9	576,7	607,7	619,4
BSIBSA	713,1	723	659,3	653,2	816,8
LAKHDARIA GORGES	701,6	710,3	615,2	656,6	824,3
OULED BOUHADDADA	770,9	758,7	695,8	686,7	942,5
TIZI GHENIF	728,1	793,1	652,5	624,5	842,2
B, MENAIEL PEPIN	668,7	634,9	619,7	730,8	772,1
CHABET EL AMEUR	701,6	719,4	613	647,4	826,7

L'analyse des données précédentes est faite à l'aide de logiciel ARCGIS. Les paramètres statistiques et les histogrammes pour chaque période sont présentés dans les figures suivantes :

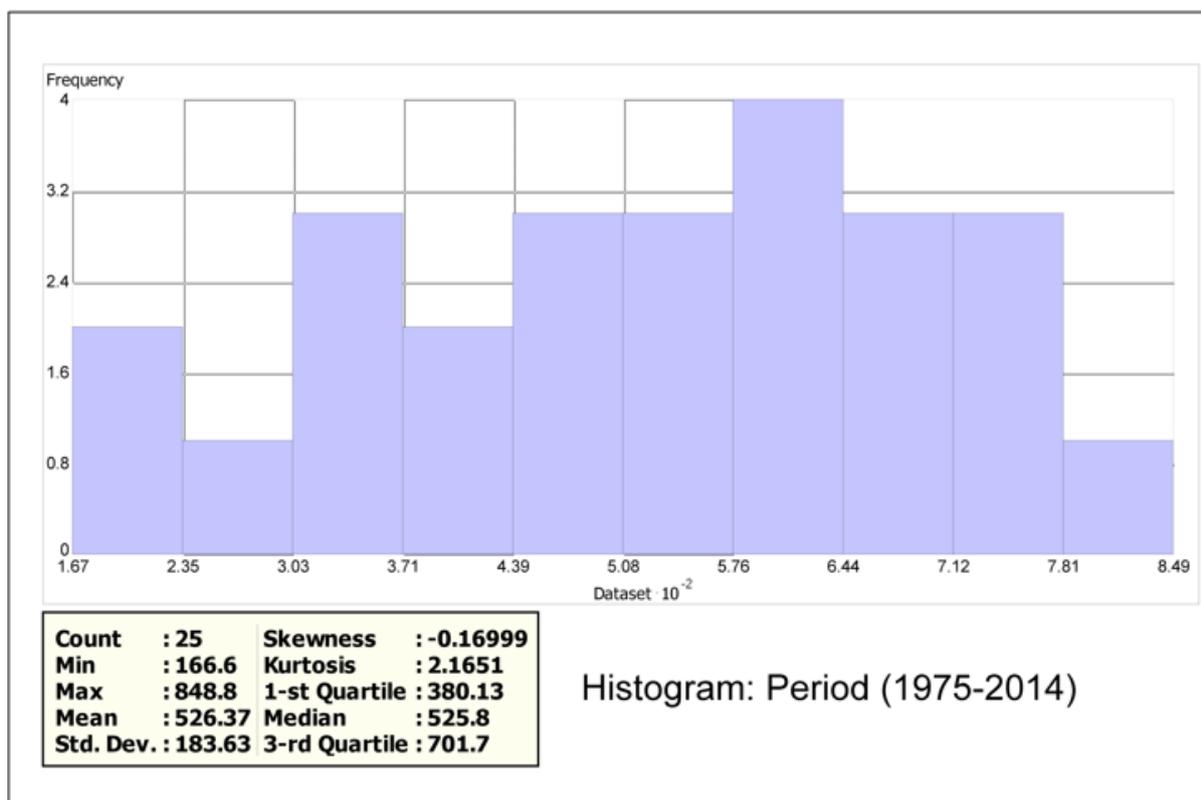


Figure III.1 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période (1975-2014).

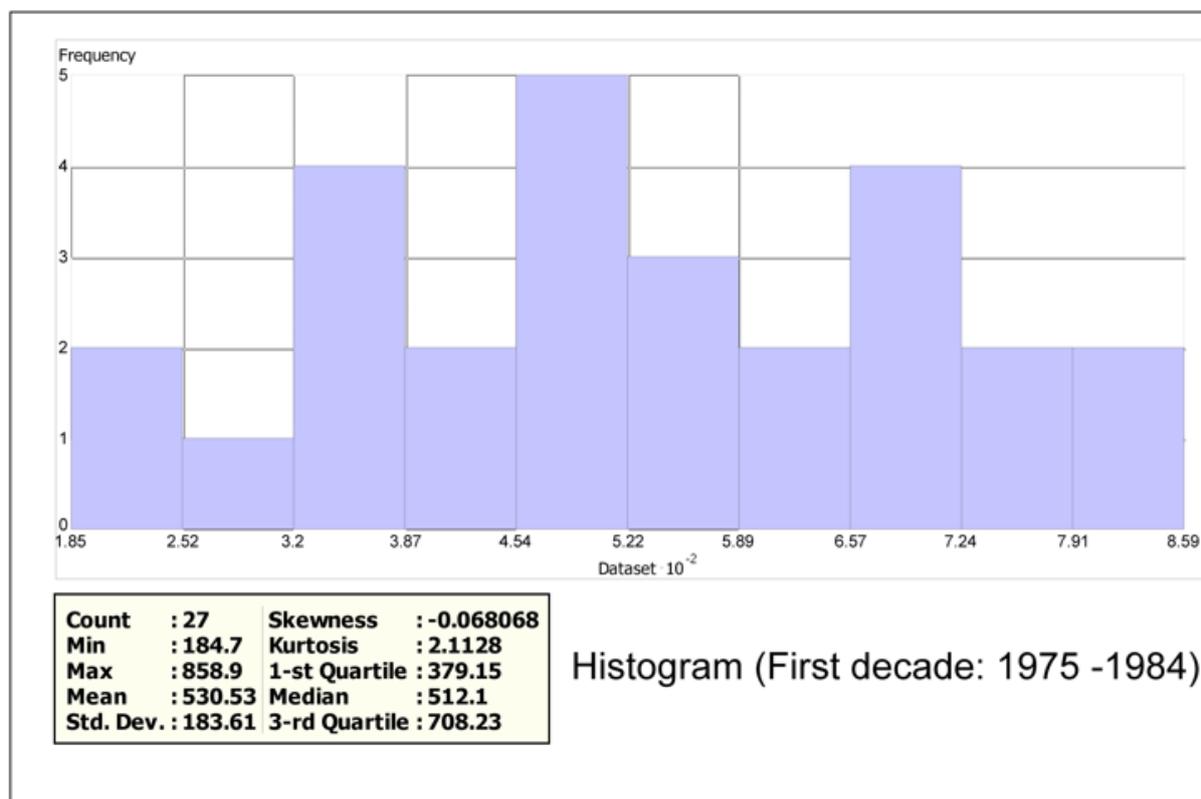


Figure III.2 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D1.

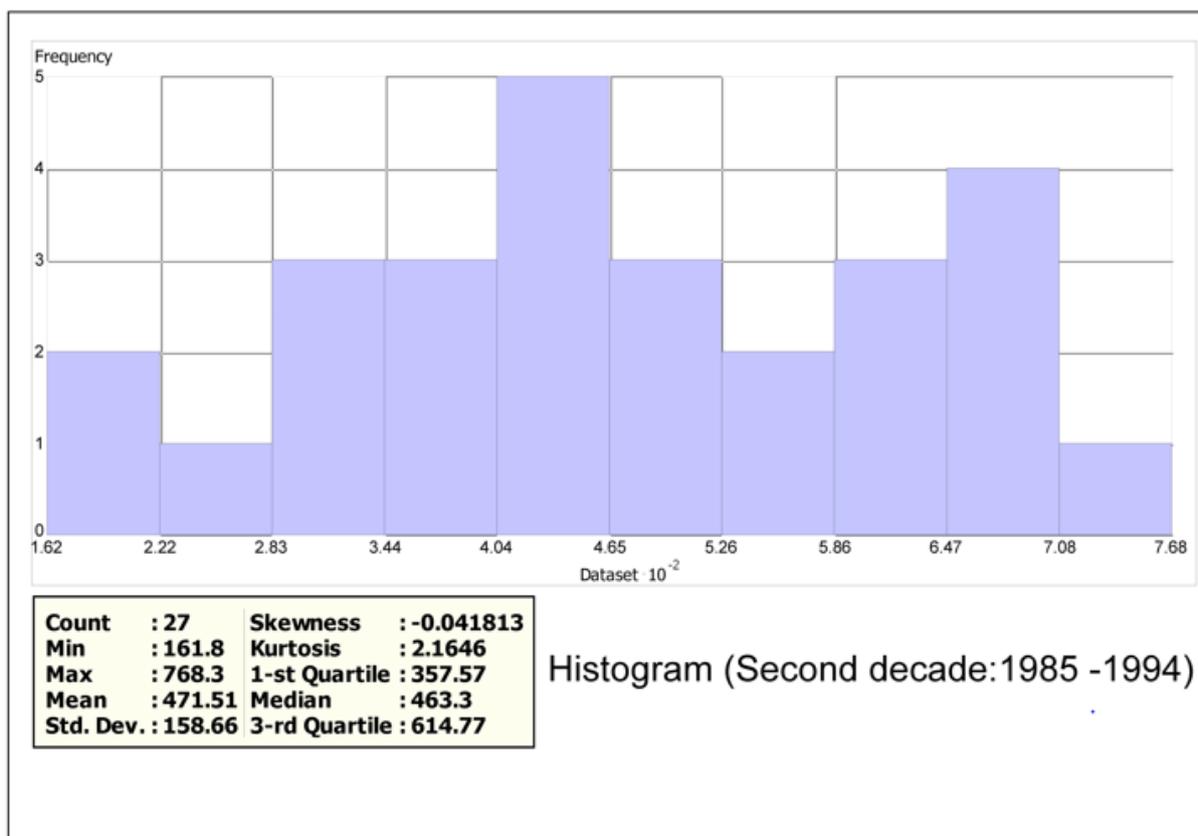


Figure III.3 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D2.

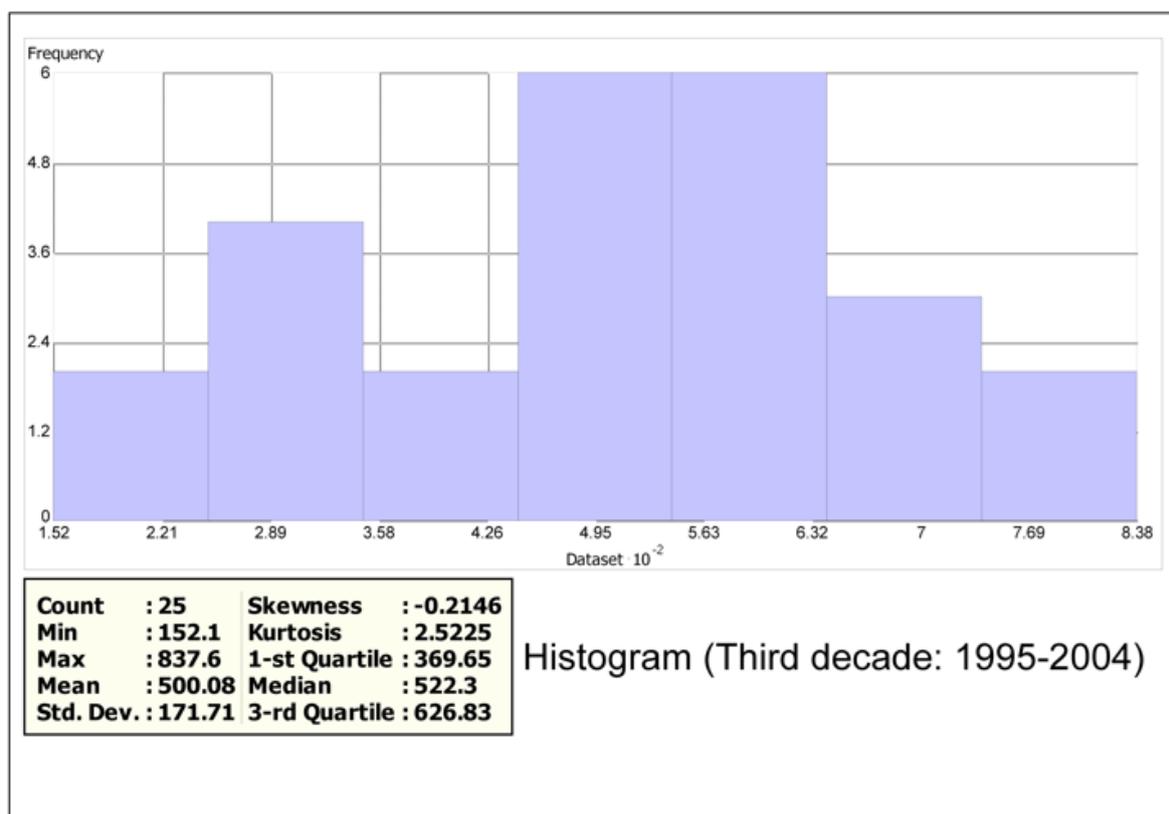


Figure III.4 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D3.

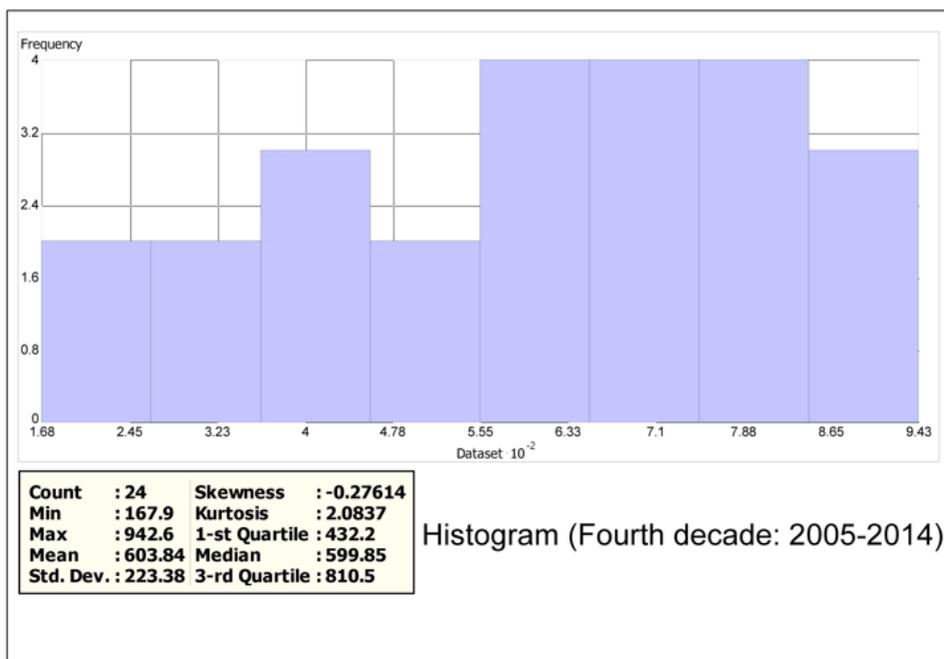


Figure III.5 : Histogramme et paramètres statistiques pour la période D4.

III.3 Application de l'approche géostatistique

III.3.1 Isotropie et anisotropie

Un variogramme peut se calculer non seulement pour une distance donnée mais aussi pour direction θ donnée $\gamma_\theta(h)$. Lorsque le variogramme est calculé pour tout couple de points, dans certaines directions, il révèle parfois des différences de comportement : c'est-à-dire des paliers différents ou des portées différentes, il y'a dans ce cas une anisotropie (Bouhamza.F et al). Dans le cas contraire, on dit qu'il y'a une isotropie et que le variogramme est omnidirectionnel.

Les variogrammes de surface sont présentés dans la figure ci-dessous :

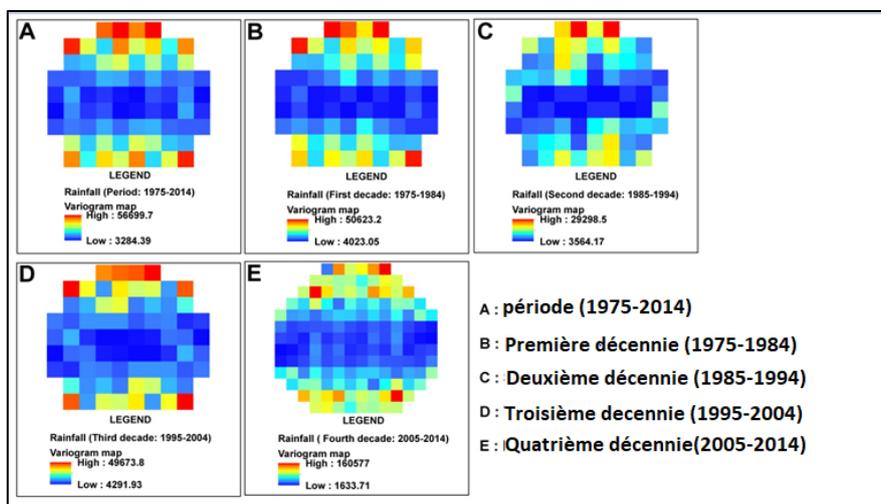


Figure III.6 : Variogrammes de surface.

D'après la figure III.6, il ressort que les variogrammes de surface montrent qu'il n'y a pas une direction où on note une continuité, donc c'est le cas d'isotrope et les variogrammes seront du type omnidirectionnel.

III.3.2 Modélisation des variogrammes expérimentaux

Les variogrammes expérimentaux omnidirectionnels sont calculés avec 05 pas de 10000 m respectivement pour les périodes (1975 à 2014, D1, D2 et D3) et de 07 pas de 8000 m pour la période D4.

Le tableau suivant illustre, numéro et type de la structure, la portée en mètre, les paramètres des modèles adaptés à ces variogrammes expérimentaux de chaque période.

Tableau III.3 : Paramètres de modélisation des variogrammes expérimentaux.

Périodes	Semi-Variogramme expérimental Omnidirectionnel (ESV)		Numéro et type de la structure		Portée (m)	Variance	Validation croisée	
	Nombre des pas	Distance du pas (m)					MES	VES
A-Période 1975/2014	05	10000	1	Effet de pépité	-	2500	0.062	0.96
			2	Modèle Gaussien	50000	20000		
B-Période 1975/1984 Première décennie	05	10000	1	Effet de pépité	-	4500	0.039	0.97
			2	Modèle Gaussien	65000	24000		
C-Période 1985/1994 Deuxième décennie	05	10000	1	Effet de pépité	-	2500	0.078	0.98
			2	Modèle Gaussien	35000	12500		
D-Période	05	10000	1	Effet de pépité	-	4000	0.06	1

1995/2004			2	Modèle Gaussien	50000	15000		
Troisième décennie								
E-Période			1	Effet de pépite	-	4500		
2005/2014	07	8000					0.013	1.13
Quatrième décennie			2	Modèle Gaussien	70000	50000		

Les résultats montrent une variabilité Gaussienne bien structurée, avec un effet de pépite pour toutes les périodes. Il ressort aussi que la distribution des erreurs standardisées est gaussienne avec une moyenne des erreurs standardisées (MES) très proche de zéro et une variance des erreurs standardisées (VES) très proche de l'unité, ce qui implique que les modèles retenus sont robustes.

Les variogrammes expérimentaux obtenus sont représentés dans les figures suivantes :

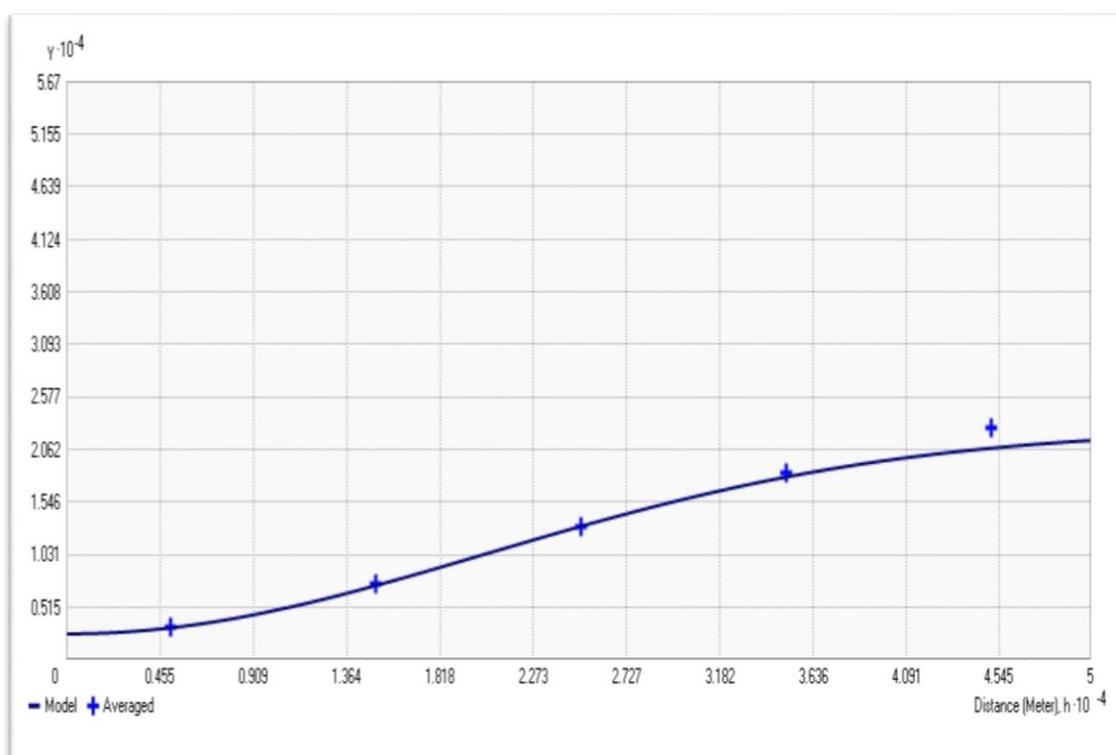


Figure III.7 : Variogramme expérimental pour la période (1975-2014).

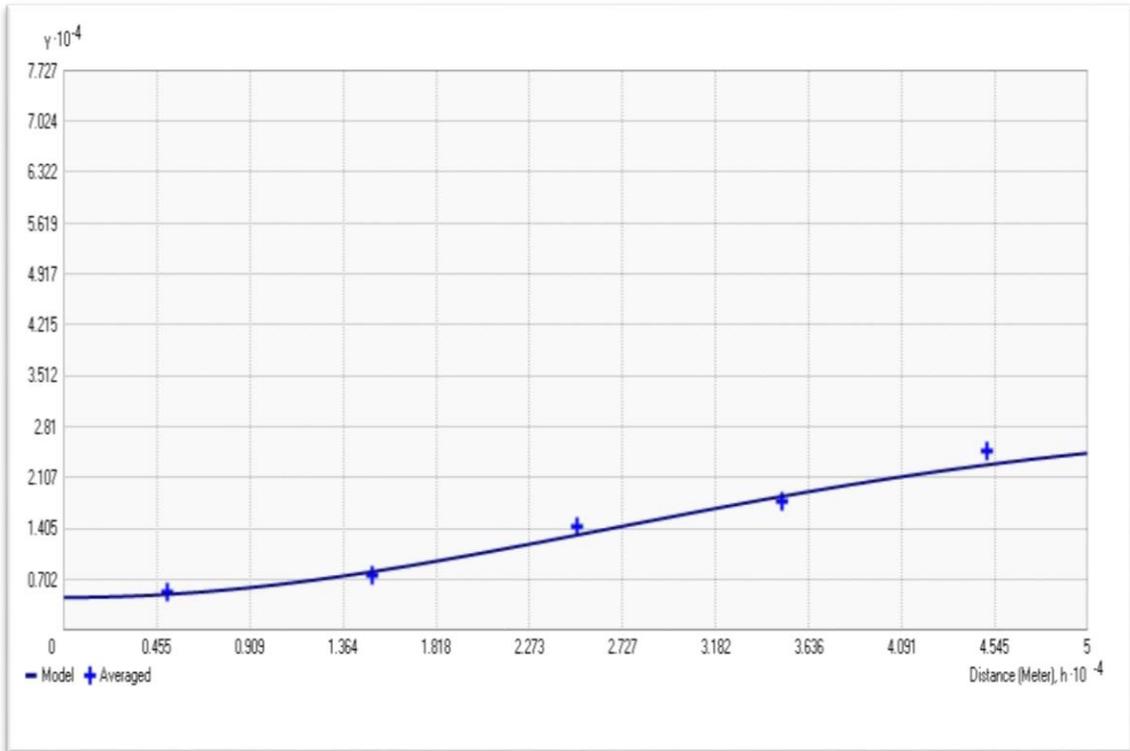


Figure III.8 : Variogramme expérimental pour la période D1 (1975-1984).

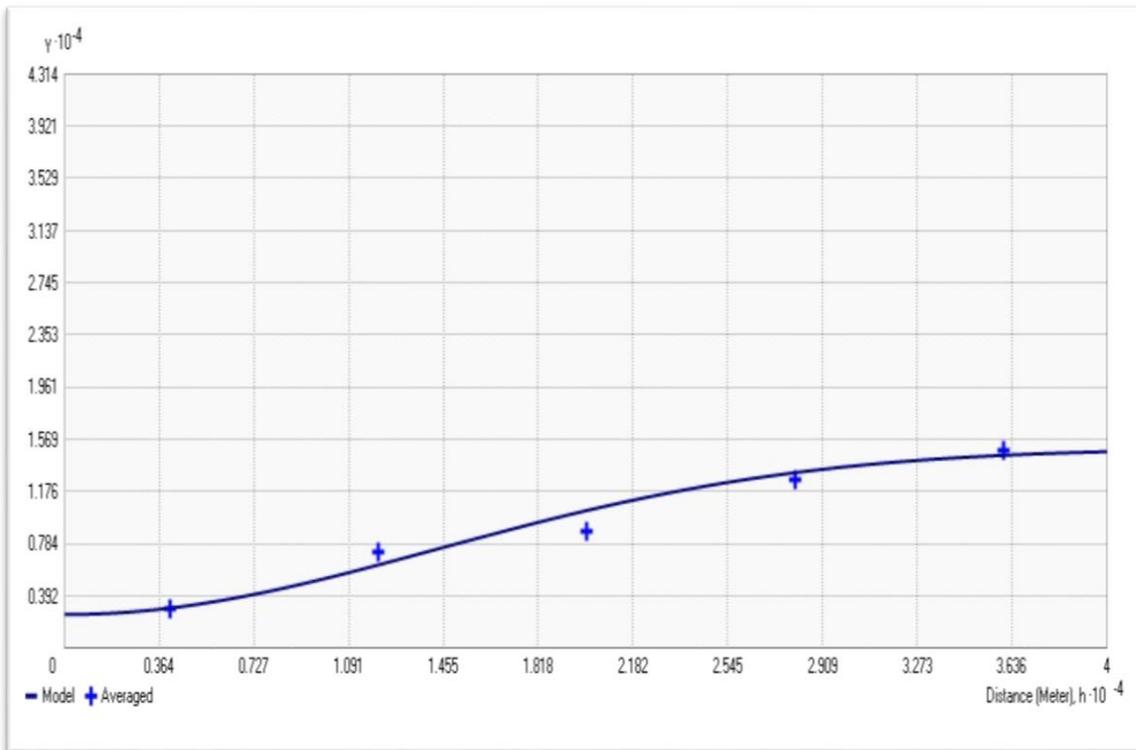


Figure III.9 : Variogramme expérimental pour la période D2 (1985-1994).

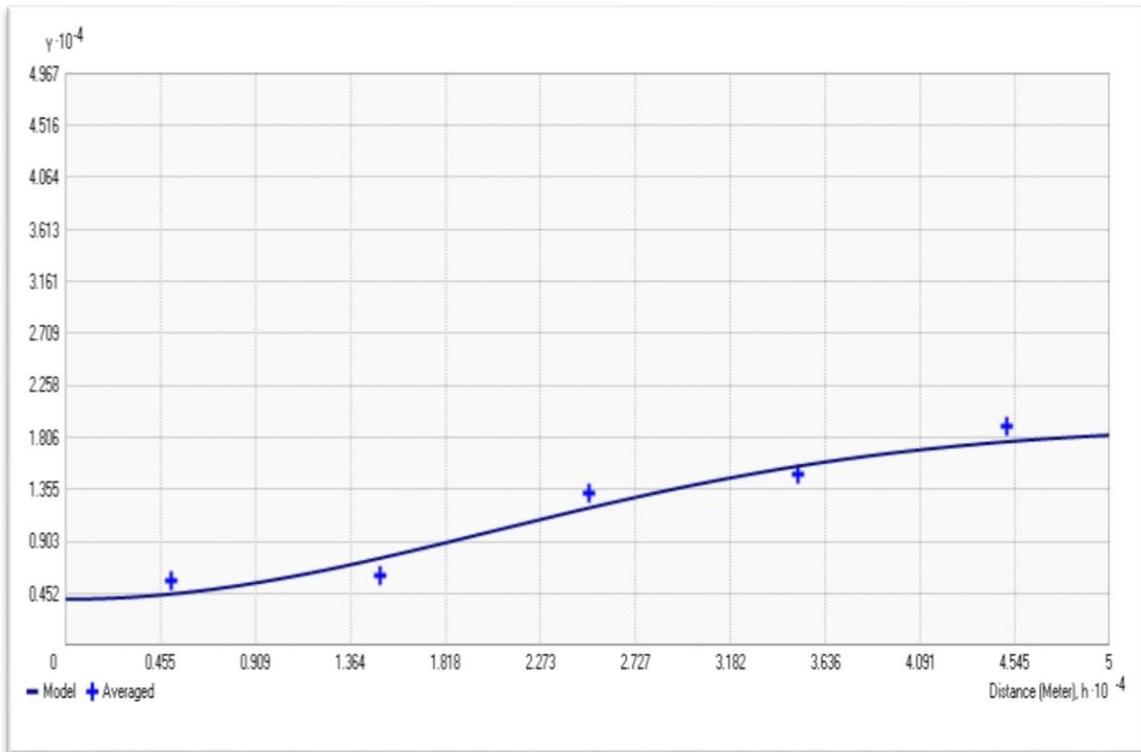


Figure III.10 : Variogramme expérimental pour la période D3 (1995-2004).

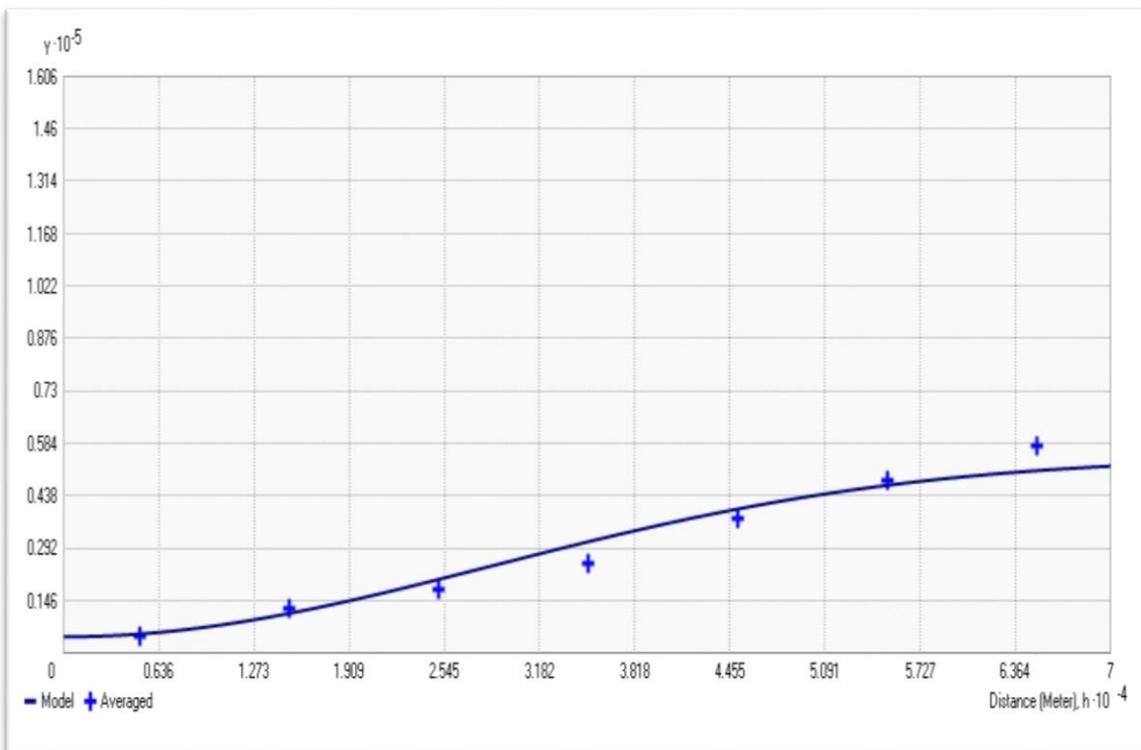


Figure III.11 : Variogramme expérimental pour la période D4 (2005-2014).

Les données obtenues sont traitées à l'aide de logiciel ARC GIS par une interpolation de type krigeage ordinaire, pour obtenir des cartes des isohyètes pour chaque période.

Les cartes obtenues sont représentées ci-dessous :

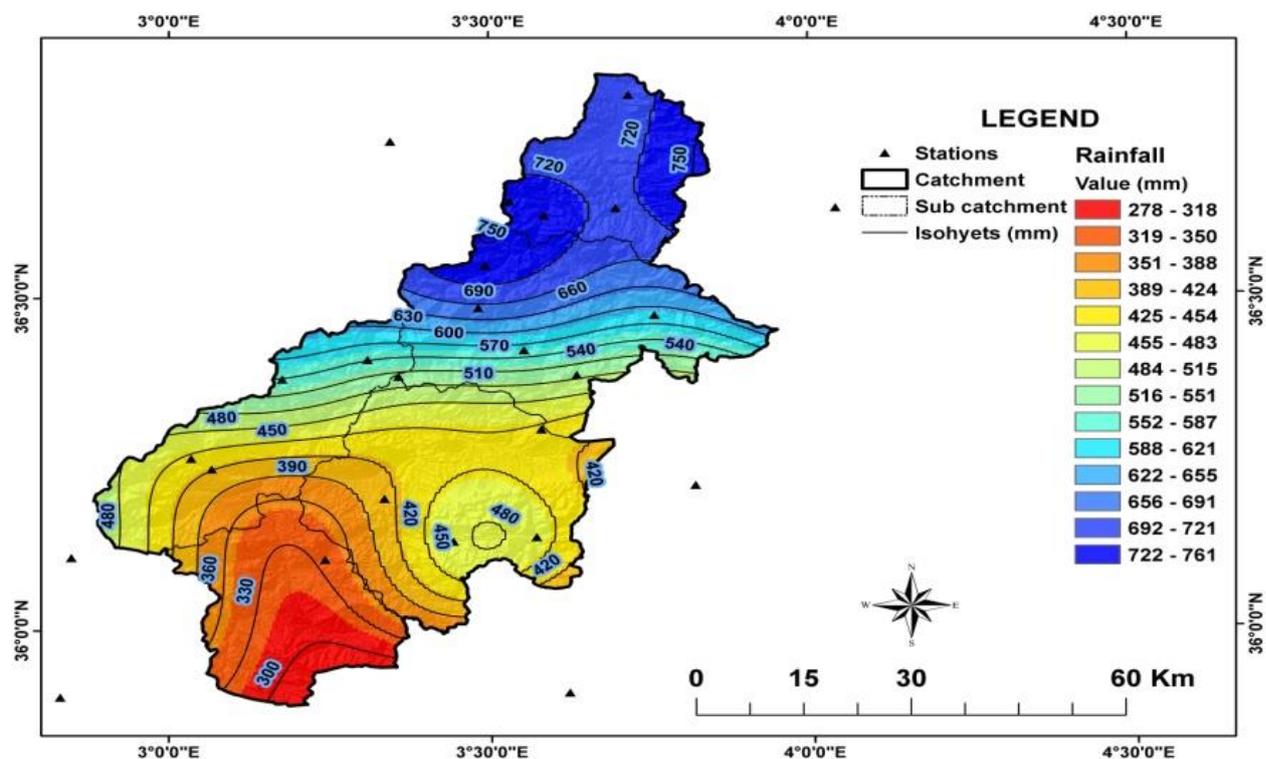


Figure III.12 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1975-2014).

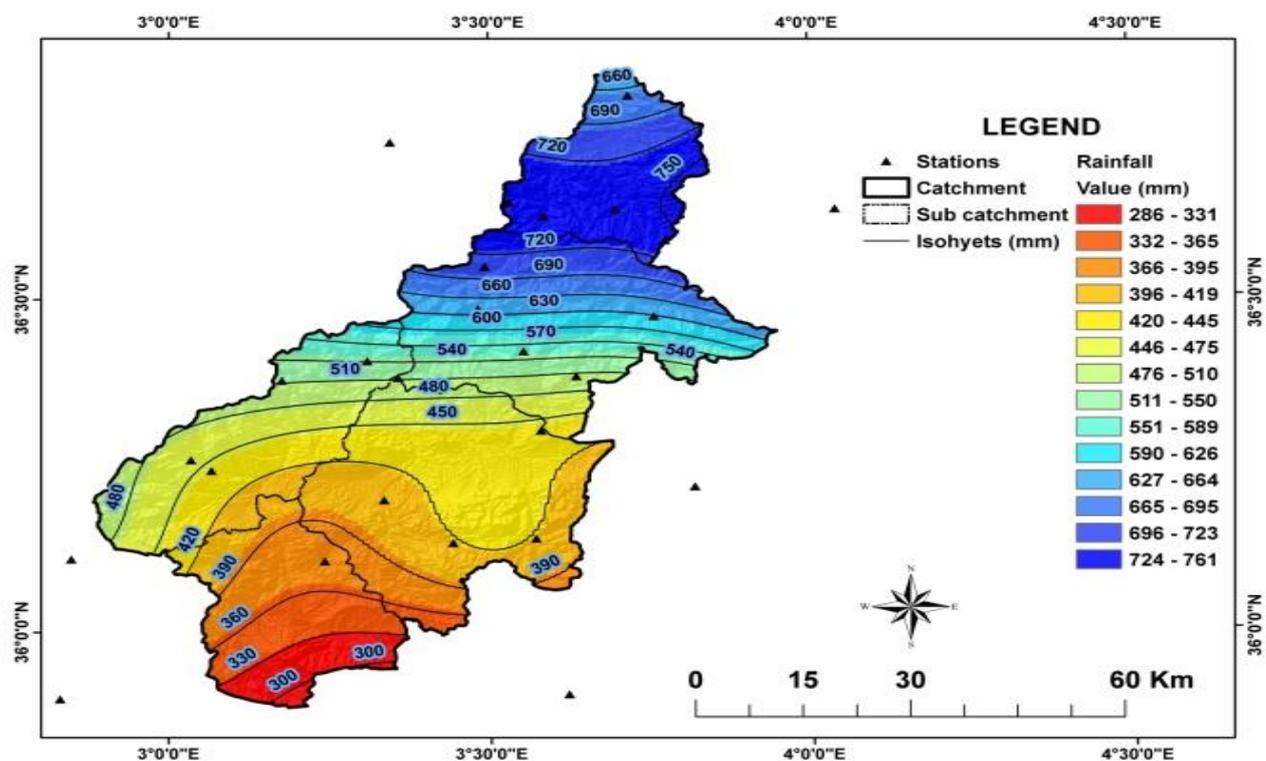


Figure III.13 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1975-1984).

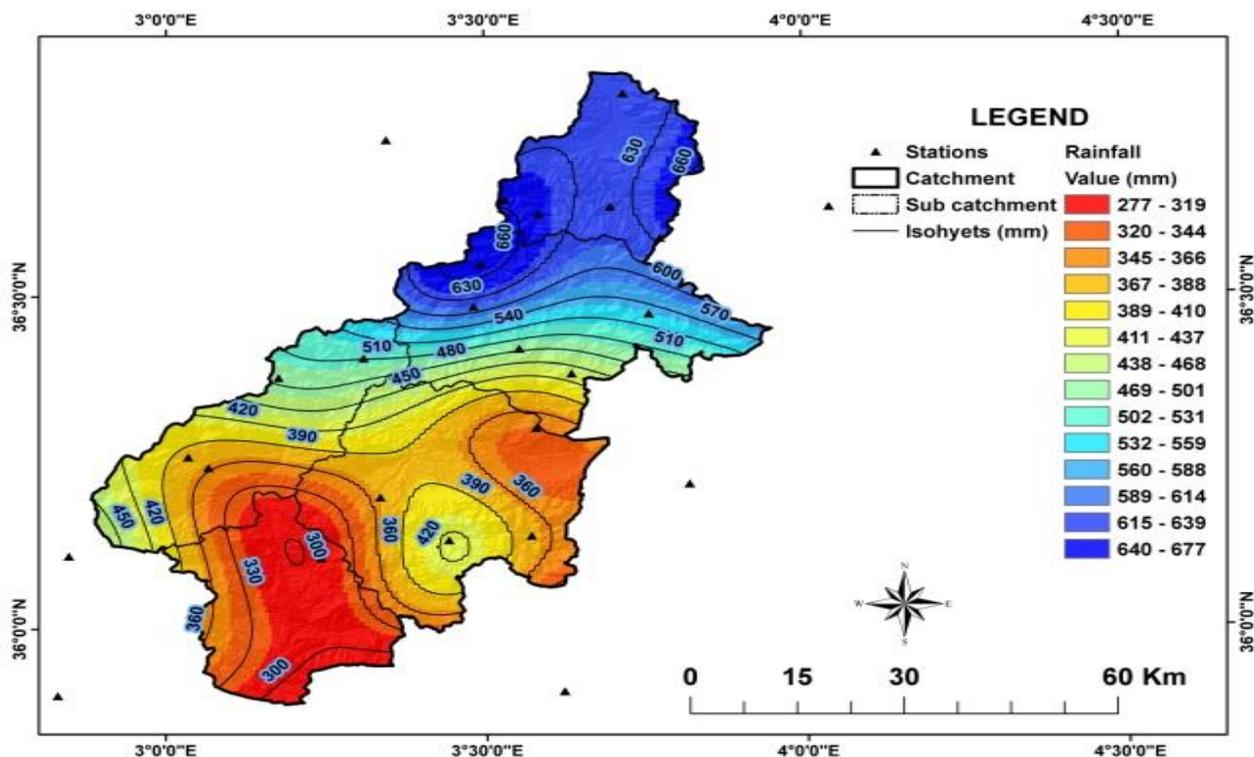


Figure III.14 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1985-1994).

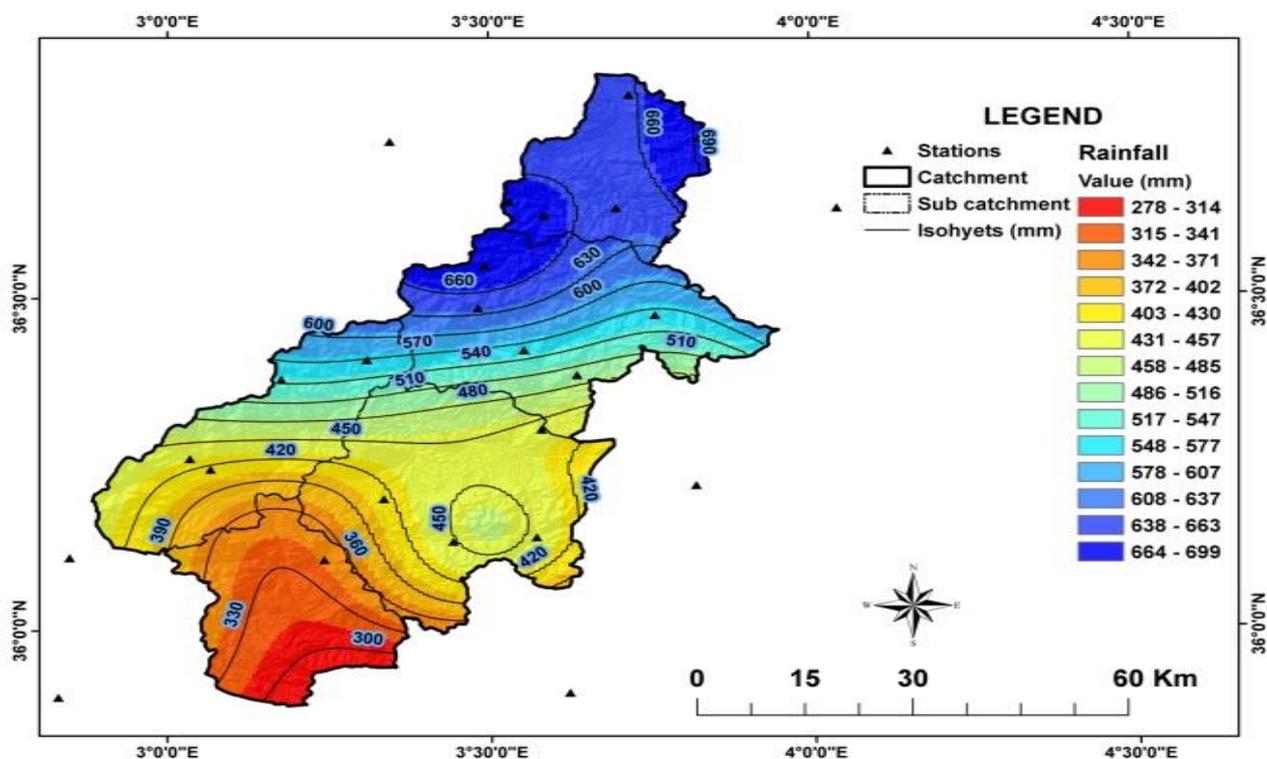


Figure III.15 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (1995-2004).

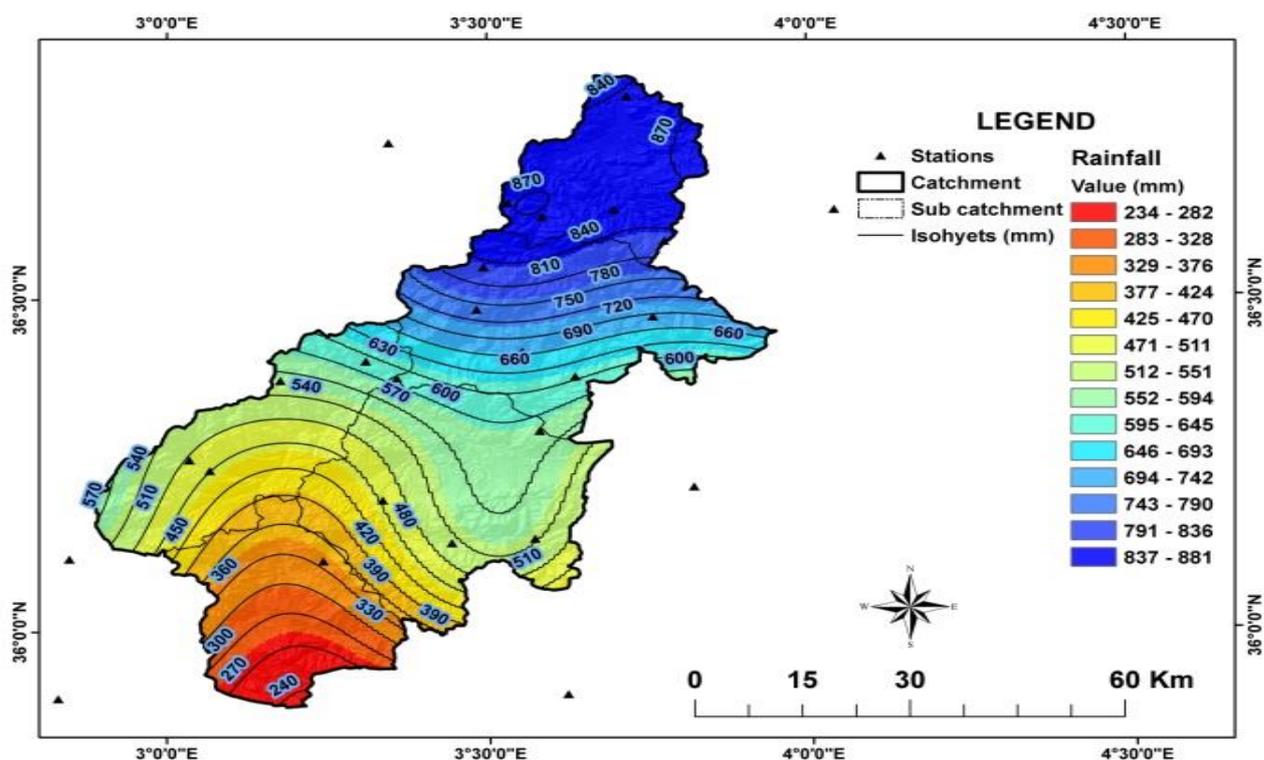


Figure III.16 : Carte des pluies moyennes annuelles pour la période (2005-2014).

- **Période 1975-2014:** La carte montre une dégradation dans la pluviométrie, les zones proche de la mer (Nord du bassin versant) présente une pluviométrie forte, et Plus on va vers le sud, plus la pluviométrie diminue. La partie Sud présente la pluviométrie la plus faible, elle varie entre 278 mm et 350 mm.
- **Période D1/ 1975-1984 :** la carte correspondante montre clairement la variabilité spatiale des précipitations, la zone côtière est plus arrosée que celle du centre, et du sud surtout, ainsi en partant du Nord vers le Sud et d'Est vers l'Ouest la pluie diminue, ce double gradient pluviométrique N_S et E_O souligne le rôle de latitude et longitude, ainsi le relief, avec des altérations au niveau des chaînes telliennes où intervient le rôle important de l'altitude. D'un point de vue spatiale la région la plus pluvieuse, se situe dans le Nord de la région d'étude ou le massif du Djurdjura, et la proximité de la mer. Les stations les plus arrosées sont Tizi Ghenif ,Ouled Bouhaddada, et Tazerout vue leur altitude et leur relief qui coïncide avec l'atlas tellien algérois et djebel Tamesguida, à ces stations la pluviométrie atteint jusqu'au 761 mm. On remarque que la classe 724 mm -761 mm couvre la surface la plus

grande au nord du bassin versant. La zone du centre montre une grande variabilité des précipitations, et la pluviométrie au sud du bassin versant est la plus faible.

- **Période D2/ 1985-1994:** dans cette carte, la totalité du Nord est caractérisée par une pluviométrie supérieure à 570 mm, tandis que la zone des précipitations inférieures à 390 mm couvre une partie importante dans le Sud. La partie centre montre une dégradation de la pluviométrie suivant la direction Nord-Est / Sud-Ouest. L'isohyète 750 mm sont remplacés par des isohyètes plus faibles à leur place (660mm). La superficie de certaines isohyètes a rétréci par rapport à la carte précédente 75-84, ce qui explique la baisse de la pluviométrie dans cette décennie. Les grandes caractéristiques de la pluviométrie sont toujours intactes de point de vue gradient pluviométrique ainsi les régions pluvieuses et les régions sèches, car la carte montre clairement les sommets des isohyètes qui se trouvent aux stations Tizi Ghenif, Ouled Bouhaddada, et Tazerout, alors que le moyen Issers reste toujours moins arrosé que le littoral et les reliefs. Les valeurs minimales présentes dans le Sud sont les mêmes.
- **Période D3/ 1995-2004 :** la carte correspondante à cette période montre une stabilité des valeurs max par rapport à la décennie précédente, la zone qui présente la pluviométrie max se situe toujours au Nord, tandis que la zone des précipitations inférieure à 300 mm est plus petite. La partie centre se caractérise par une pluviométrie entre 450 et 600 mm. Dans cette décennie plusieurs postes pluviométriques ont enregistré une tendance à la hausse (reprise du régime pluviométrique) en particulier dans la partie Nord du bassin par rapport à la décennie précédente (1985–1994), cela est justifié par la moyenne qu'on a enregistré 500.8 mm dans tout le bassin, ainsi les seuils pluviométriques (278mm, 699 mm).
- **Période D4/ 2005-2014 :** les isohyètes des totaux pluviométriques annuels de cette décennie sont très différents de la carte de la décennie précédente, on observe un retour des isohyètes, 720mm et 750mm de la première décennie et atteint un max de 880 mm, un changement pluviométrique très remarquable surtout dans la partie Nord-Ouest du bassin. Au sud, les valeurs minimums sont plus basses (diminution de 270 mm à 230 mm par rapport à la décennie précédente). On compare la présente carte à la carte des trois décennies antérieures, on observe la

persistance à la baisse de la pluviométrie annuelle, et cela clairement dans la partie Sud du bassin alors qu'il y a un retour bien prononcé dans la partie moyenne et Nord du bassin ou les seuils pluviométrique (234, 881 mm). Un écart pluviométrique remarquable.

III.4 Conclusion

À travers ce chapitre, on a appliqué l'approche géostatistique pour analyser la variation spatio-temporelle des précipitations annuelles au niveau du bassin versant d'Isser.

Les données utilisées sont homogènes et les modèles sont isotropes. Les variogrammes ont présenter une structure Gaussienne et le krigeage nous a permet d'obtenir les cartes de précipitations annuelles pour chaque période. L'interprétation des résultats montre que la zone d'étude présente une variabilité pluviométrique importante, la pluviométrie est maximale au Nord et diminue en allant vers le Sud. Pour la cartographie des isohyètes pluviométriques annuelles, il est utile d'obtenir la cartographie de toute la période étudié (1975-2014). La carte de la période entière ne diffère pas trop des précédentes cartes.

Il existe une différence dans la pluviométrie entre la façade Ouest du bassin versant et l'Est du bassin, vue que notre bassin se trouve entre des domaines géographiques contrastés, les chaines des Bibans au Sud et la zone des plaines au centre et djebel Tamasguida, l'atlas tellien algérois et le massif du Djurjura au nord. Cette contrainte explique notre climat, qui apparaît sur le cumul pluviométrique annuelle dans la mesure ou le Nord reçoit plus de précipitation que le Sud. Nous proposons une moyenne de 500 mm (526mm) pour toute la période (1975-2014).

CONCLUSION GENERALE

Notre étude repose sur l'application de l'approche géostatistique pour analyser les séries chronologiques des pluies afin de pouvoir caractériser la variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique au sein du bassin versant de l'Isser.

Situé dans la partie Nord de l'Algérie, ce bassin est équipé de vingt (20) postes pluviométriques gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Alger qui a eu l'amabilité de mettre à notre disposition les mesures de ces stations qui s'étalent de 1975 à 2014 pour l'ensemble des séries.

Le bassin versant d'Isser, est caractérisé par un climat méditerranéen, un été sec et chaud et un hiver pluvieux.

La période prise en considération a été divisée arbitrairement en quatre décennies (ou épisodes) à savoir (1975-1984), (1985-1994), (1995-2004) et (2005-2014) afin d'illustrer l'évolution chronologique des totaux pluviométriques annuelles.

L'homogénéité des données est testée par le test de Wilcoxon, il ressort que le test est vérifié pour toutes les stations, ce qui implique que les données pluviométriques sont homogènes.

La base de données est utilisée sous le logiciel ARGIS10.2 où il a été procédé à une interpolation par krigeage pour générer les cartes thématiques.

L'analyse de la corrélation dans une direction pour chaque décennie par les variogrammes de surface montre qu'il n'y a pas une direction où on note une continuité, donc c'est le cas d'isotrope et les variogrammes seront du type omnidirectionnel.

Les variogrammes expérimentaux omnidirectionnels sont calculés avec 05 pas de 10000 m respectivement pour les périodes (1975 à 2014, D1, D2 et D3) et de 07 pas de 8000 m pour la période D4. Les résultats montrent une variabilité Gaussienne bien structurée, avec un effet de pépité pour toutes les périodes. Il ressort aussi que la validation croisée confirme que les modèles retenus sont robustes, avec une moyenne des erreurs standardisées (MES) très proche de zéro et une variance des erreurs standardisées (VES) très proche de l'unité.

La période (1975-1984) montre une zone Nord plus arrosées que celle du centre et du Sud, de même que la pluie diminue en partant de l'est vers l'ouest, ce qui implique un double gradient pluviométrique N-S et E-O. La moyenne est de 600mm.

Durant (1985-1994), nous remarquons que des isohyètes de valeurs élevées ont disparu (cas de l'isohyète 760 mm) et sont remplacées par des isohyètes de plus faibles valeurs. Tizi Ghenif, Ouled Bouhaddada, et Tazerout restent toujours des régions pluvieuses par rapport au moyen d'Isser. La moyenne pluviométrique durant cette période est de 500mm.

La décennie (1995-2004) présente une certaine stationnarité du régime des pluies même si on décèle une faible augmentation de la moyenne pluviométrique annuelle avec 533mm.

L'épisode (2005-2014) marque le retour des isohyètes 750 mm et 775mm qui atteignent même un maximum de 881mm. Le changement est notable surtout dans la partie NW du bassin tandis que nous constatons une diminution pluviométrique dans la partie sud du bassin où nous enregistrons un minimum de 234 mm. Le contraste est marquant avec un écart pluviométrique est de l'ordre de 600 mm. La moyenne recueillie est de 550mm

Références Bibliographiques

ANRH., 2014. Données pluviométriques et pluviographiques. ANRH, Algérie.

Baghdadli, Ilyas. (2014) L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch. 74pages. Mémoire master. Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen. Faculté De Technologie. Département De l'Hydraulique.

Bahroun S., Kherici Bousnoubra H.(2011). Évaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'el tarf (nord-est algerien), larhyss journal, issn 1112-3680, n° 09, décembre 2011, pp. 171-178.

Baillargeon.S (2005). Le krigeage : revue de la théorie et application de 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 Maitre en sciences (M.Sc.) Faculté Des Sciences et de Génie, Université LAVAL, QUEBEC.

Belkebir Yassine (2015), Approche géostatistique de l'impact des changements climatiques sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines (cas de la Mitidja), Mémoire de Master, Ecole Nationale Supérieure De l'Hydraulique -ARBAOUI Abdellah.

Bouhamza Fatima Zohra, Djeghab Sara (2018) Estimation géostatistique des paramètres pétrophysique de la zone 1B -Hassi Messoud-, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah – Ouargla.

Brahimi Djalal.(2014) Analyse spatio-temporelle des pluies en Algérie. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. Pp 49.

Elfani Idris (2020) Simulation géostatistique des gisements de calcaire par la méthode SGS. Mémoire de Master, Ecole Nationale Supérieure Des Mines et de la Metallurgie Amar Laskri- Annaba.

GIEC, (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse n.4, 114p.

Hubert, P et Bendjoudi, H., 1995. Indépendance d'échelle de la distribution statistique des précipitations extrêmes. Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, France.

Laborde, J.P. (2009). Éléments D'hydrologie De Surface. Ecole Polytechnique De L'université De Nice - SOPHIA ANTIPOLIS 202 p. Edition 2009.

Lakhal , A , (2018). Analyse spatio-temporelle des précipitations dans la zone de la Mitidja), Mémoire de Master, Ecole Nationale Supérieure De l'Hydraulique -ARBAOUI Abdellah.

Marc Morell,(1999) Acquisition et Constitution d'une Information Hydrologique De Base, Editions *H*G*A, Bucarest. 203p.

Medjerab A, Henia L.(2005), Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nordoccidentale, PFE, 63p.

Meylan, P., 2002. Courbes intensité-durée-fréquence (IDF), Proposition d'un modèle global. AIC Ingénieurs conseils SA, Lausanne, pp 1-9.

Poidevin, D., 2010. Manuel de cartographie. Edition ellipse. Artique, les roches, 37230 Fondettes.

Robinson M.(2000), hydrologie continentale, Armand colin. Paris Pp 368.

Touaibia, B., 2004. Manuel pratique d'hydrologie. Edition Madani. Blida. Algérie.

Zeroili, D., Bord, j, P., Ait Moussa, A., 2012. L'apport des systèmes d'information géographique dans la gestion urbaine, Maroc.