

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Réf.....

Center Universitaire  
Abdelhafid Boussouf – Mila –

Institut des sciences et de la technologie

Département de Science et technique

Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Hydraulique urbain

*L'influence de nombre des postes pluviométriques  
sur les méthodes d'interpolation spatiale, cas du  
bassin versant Seybouse (Nord-Est de l'Algérie)*

Préparé par :

**BOUMENDJEL Omayma.**

**DJOUAMBI Rayane.**

Soutenu devant le jury

**Dr. KOUSSA.M**

**Dr. BERHAIL.S**

**Dr. KABLOUTI.M**

**Président**

**Examineur**

**Encadreur**

**Année universitaire : 2020/2021**



# *Dédicaces*

*Nous dédie ce mémoire*

*À nos chers parents nos mères et nos pères*

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.*

*À nos frères.*

*À nos amies et nos camarades.*

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du*

*Primaire, du moyen, du secondaire ou de*

*L'enseignement supérieur.*

*Boumendjel Omayma*

*Djouambi Rayane*



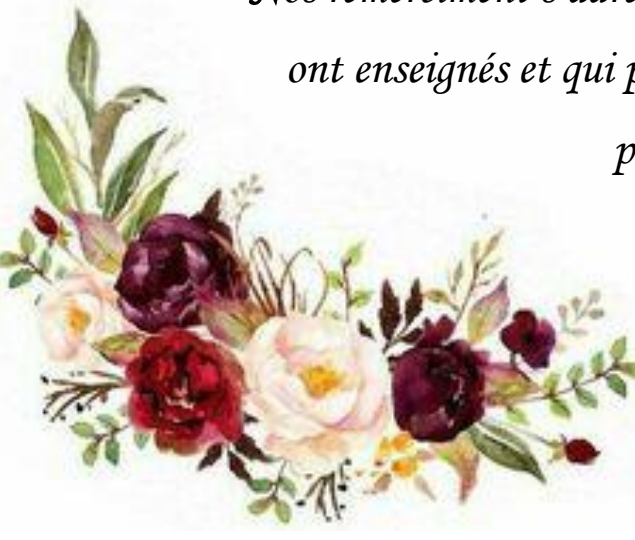


# *Remercîment*

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

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

*Nos remerciements s'adressent également à tous les professeurs qui nous ont enseignés et qui par compétences nous ont soutenus dans la poursuite de nos études.*



## Sommaire

Liste des figures  
 Liste des tableaux  
 Abréviations  
 Résumé

Introduction général	01
----------------------	----

### Chapitre I : Bibliographie

I.1. Introduction	03
I.2. La cartographie et l'hydrologie	03
I.2.1. Définition de la cartographie	03
I.2.2. L'utilité des cartes hydrologiques	03
I.3. Etudes sur l'interpolation spatiale des variables pluviométriques	04
I.4. Généralités sur les paramètres climatiques	05
I.4.1. Les précipitations	05
I.4.1.1. Définition	05
I.4.1.2. Mécanismes de formation des précipitations	05
I.4.1.3. Types de précipitations	05
• Les précipitations convectives	05
• Les précipitations orographiques	06
• Les précipitations frontales de type cyclonique	07
I.4.1.4. Mesures de la hauteur d'eau précipitée	07
• Le pluviomètre	07
• Le pluviographe	08
I.5. Les méthodes d'interpolations spatiales	09
I.5.1. Définition de l'interpolation spatiale	09
I.5.2. Principe d'interpolation spatiale	09
I.5.3. Les techniques d'interpolation spatiale	10
A) Les méthodes déterministes	11
A.1. TIN : Interpolation par triangulation irrégulière	11
A.2. Polygone de Thiessen	12
A.3. Spline	13
A.4. IDW : Pondération inverse à la distance	13
A.5. Analyse de tendance de surface	14
B) Les méthodes géostatistiques	14

B.1. Krigeage	14
• Krigeage simple	15
• Krigeage ordinaire	15
• Krigeage universel ou à tendance externe	16
• Krigeage par point et Krigeage par bloc	17
I.6. Conclusion	17

## Chapitre II : Description de site

II.1. Introduction	19
II.2. Présentation de la zone d'étude	19
II.2.1. Les grands ensembles physiques du bassin de la Seybouse	20
a) La zone des hautes plaines (haute Seybouse)	21
b) Le domaine sud-Tellien	21
c) Le domaine Tellien du Nord La Basse Seybouse	21
II.3. Géologie de bassin versant de la Seybouse	22
II.4. Typologie de sol	23
II.5. Climatologie	24
II.5.1. Les précipitations	25
II.6. Topographie	26
II.6.1. Relief altitude	26
II.6.2. Les pentes	28
II.7. Réseaux hydrographiques de bassin versant de la Seybouse	28
II.8. Réseaux de mesures pluviométriques	29
II.9. Diagnostic du réseau de mesure	31
II.10. Synthèse	33

## Chapitre III : Collecte et critique des données

III.1. Introduction	35
III.2. Critique des donnés	35
III.3. Présentation des données	36
III.4. Comblement des lacunes	37
III.4.1. Méthodes de comblement des lacunes	37
III.4.2. Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire	38
III.4.2.1. Cas des pluies journalières maximales de la station de Guelma	42
III.4.2.2. Cas des pluies journalières maximales de la station d'Ain Makhoulouf	43
III.4.2.3. Cas des pluies journalières maximales de la station d'el Kerma	43

III.4.2.4. Cas des pluies journalières maximales de la station Bordj Sabath	44
III.4.2.5. Cas des pluies journalières maximales de la station de Mechroha	44
III.4.2.6. Cas des pluies journalières maximales de la station de Bouchegouf	45
III.4.2.7. Cas des pluies journalières maximales de la station de Madjaz Amar	45
III.5. Vérification de l'homogénéité	48
III.5.1. Test de Wilcoxon	48
III.5.1.1. Cas des pluies journalières maximales de la station de Héliopolice	50
III.6. Vérification des valeurs singulières	53
III.6.1. Détection des valeurs singulières	53
III.6.2. Test de Grubbs et Beck	54
III.7. Conclusion	55

#### Chapitre IV : Analyse fréquentielle

IV.1. Introduction	57
IV.2. Présentation du logiciel Hyfran Plus	57
IV.3. Paramètres empiriques	58
IV.4. Paramètres de dispersion et de forme	59
IV.5. Ajustement des lois de probabilité	60
IV.5.1. Les lois d'ajustements	60
IV.5.1.1. Loi de Gumbel	60
IV.5.2. Test d'adéquation	61
IV.5.2.1. Test de khi-deux	61
IV.6. Ajustements des pluies journalières maximales	62
IV.6.1. Application de test de khi-deux	63
IV.7. Synthèse	65

#### Chapitre V : résultats et discussions

V.1. Introduction	67
V.2. Présentation du logiciel Arc gis	67
V.3. Les données Swat	69
V.4. Un échantillon des pluies analysé	72
V.5.1. Application de la méthode d'interpolation spatiale (IDW) sur les pluies de période de retour 2 ans.	73
V.5.2. Application de la méthode d'interpolation spatiale (RBF) sur les pluies de période de retour 2 ans	74



## Sommaire

---

V.5.3. Application de la méthode d'interpolation spatiale (KO) sur les pluies de période de retour 2 ans	75
V.5.4. Application de la méthode d'interpolation spatiale (KU) sur les pluies de période de retour 2 ans	76
V.6. Résultats de l'évaluation et observations	77
V.7. Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les pluies de différences périodes de retour (krigeage ordinaire)	77
V.8. Discussion	81
Conclusion générale	83

Références bibliographiques

Annexes

## Liste des figures :

**Chapitre I :**

<b>Figure (01)</b>	Précipitation convectives	06
<b>Figure (02)</b>	Précipitation orographique	06
<b>Figure (03)</b>	Précipitation frontal	07
<b>Figure (04)</b>	Principe de fonctionnement d'un pluviomètre	08
<b>Figure (05)</b>	Principe de fonctionnement d'un pluviographe à augets	08
<b>Figure (06)</b>	Principe d'interpolation spatiale	10
<b>Figure (07)</b>	Schéma des méthodes d'interpolation spatiale	11
<b>Figure (08)</b>	Création d'un réseau triangulaire : la triangulation de Delaunay	12
<b>Figure (09)</b>	Interpolation par la méthode de Thiessen (Plus proche voisin)	13
<b>Figure (10)</b>	Pondération inverse à la distance	14
<b>Figure (11)</b>	Krigeage simple et tendance et résidus correspondants	15
<b>Figure (12)</b>	Krigeage ordinaire et tendance et résidus correspondants	16
<b>Figure (13)</b>	Krigeage par régression et tendance et résidus correspondants	17

**Chapitre II :**

<b>Figure (14)</b>	Situation géographique du bassin versant de la Seybouse en Algérie	20
<b>Figure (15)</b>	Carte hydrogéologique du bassin versant de la Seybouse	23
<b>Figure (16)</b>	Carte des sols du bassin versant de la Seybouse	24
<b>Figure (17)</b>	Carte simplifiée des domaines bioclimatiques du bassin Seybouse	25
<b>Figure (18)</b>	Carte des précipitations moyennes annuelles de l'Est Algérien	26
<b>Figure (19)</b>	Modèle numérique de terrain du bassin versant de la Seybouse	27
<b>Figure (20)</b>	Carte des pentes du bassin versant de la Seybouse	28
<b>Figure (21)</b>	Réseau hydrographique du bassin	29
<b>Figure (22)</b>	Localisation des stations pluviométriques sur les principaux sous bassin de la Seybouse	31

**Chapitre III :**

<b>Figure (23)</b>	Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelles station Héliopolice – Guelma	42
<b>Figure (24)</b>	Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelles station Héliopolice – Ain Makhlouf	43
<b>Figure (25)</b>	Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelles station Kef Morad – El kerma	43



<b>Figure (26)</b>	Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelles station Héliopolice – Bordj Sabath	44
<b>Figure (27)</b>	Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelles station Héliopolice – Mechroha	44
<b>Figure (28)</b>	Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelles station Héliopolice – Bouchegouf	45
<b>Figure (29)</b>	Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelles station Héliopolice – Madjaz Amar	45

**Chapitre IV :**

<b>Figure (30)</b>	Interface de logiciel Hyfran-plus	57
<b>Figure (31)</b>	Ajustement de la loi de Gumbel sur la Pjmax annuelles de la station Ain Berda	63

**Chapitre V :**

<b>Figure (32)</b>	Interface de logiciel Arc gis 10.3	67
<b>Figure (33)</b>	Réseau météorologique (station Swat)	69
<b>Figure (34)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée IDW (Donnée pluviométrique)	73
<b>Figure (35)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée IDW (Donnée pluviométrique + Donnée Swat)	73
<b>Figure (36)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée RBF (Donnée pluviométrique)	74
<b>Figure (37)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée RBF (Donnée pluviométrique + Donnée Swat)	74
<b>Figure (38)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée KO (Donnée pluviométrique)	75
<b>Figure (39)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée KO (Donnée pluviométrique + Swat)	75
<b>Figure (40)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée KU (Donnée pluviométrique)	76
<b>Figure (41)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée KU (Donnée pluviométrique + Swat)	76
<b>Figure (42)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 2ans)	78
<b>Figure (43)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 5 ans)	78
<b>Figure (44)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 10 ans)	79
<b>Figure (45)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 20 ans)	79
<b>Figure (46)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 50 ans)	80
<b>Figure (47)</b>	Répartition de Pjmax annuelle interpolée ( P.R.100 ans)	80

**Liste des tableaux :**

**Chapitre I :**

<b>Tableau 01</b>	Etudes sur l'interpolation spatiale des variables pluviométriques	04
-------------------	---	----

**Chapitre II :**

<b>Tableau 02</b>	Répartition par surface des sous-bassins de la Seybouse	22
<b>Tableau 03</b>	Répartition Altimétrique du bassin (donnée d'ANRH)	27
<b>Tableau 04</b>	Les stations pluviométriques de bassin versant de la Seybouse	30
<b>Tableau 05</b>	Nombre de pluviographe selon Niemczynowicz	32
<b>Tableau 06</b>	Nombre de pluviographe selon Shiling	32
<b>Tableau 07</b>	Nombre de pluviographe selon Paturel et al (1986)	33

**Chapitre III :**

<b>Tableau 08</b>	Le réseau de mesure existant dans le bassin versant – Seybouse –	36
<b>Tableau 09</b>	Matrice d'évaluation du coefficient de corrélation de couples de stations des pluies journalières maximales annuelles	39
<b>Tableau 10</b>	Série des PJ max annuelles disponible	40
<b>Tableau 11</b>	Série des 36 années des PJ max annuelles reconstitué	46
<b>Tableau 12</b>	Série des pluies journalières maximales de la station Hélioplice	50
<b>Tableau 13</b>	Application de la méthode de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies maximales journalières de la station Hélioplice	51
<b>Tableau 14</b>	Résultats de Test de Wilcoxon sur les stations de bassin versant de la Seybouse	52
<b>Tableau 15</b>	Test de représentativité de Grubbs et Beck	54

**Chapitre IV :**

<b>Tableau 16</b>	Les paramètres empiriques de chaque station	58
<b>Tableau 17</b>	Les paramètres de dispersion et de forme de chaque station	59
<b>Tableau 18</b>	Ajustement de la loi de Gumbel (station Ain Berda)	62
<b>Tableau 19</b>	Résultats de test de khi-deux pour toutes les stations	64
<b>Tableau 20</b>	Les pluies de différentes périodes de retour	65

**Chapitre V :**

<b>Tableau 21</b>	Caractéristique statistiques des stations étudiées (Pjmax annuelle)	68
<b>Tableau 22</b>	Le réseau de mesure (SWAT)	69
<b>Tableau 23</b>	Série des Pjmax annuelles disponibles	70
<b>Tableau 24</b>	Les pluies à différents périodes de retour	71
<b>Tableau 25</b>	Les pluies à différents périodes de retour	71
<b>Tableau 26</b>	Erreur d'estimation moyenne globale pour les quatre méthodes (données pluviométriques)	77
<b>Tableau 27</b>	Erreur d'estimation moyenne globale pour les quatre méthodes (données pluviométriques + données SWAT).	77

## **Abréviations :**

**ABH :** Agence des bassins hydrauliques.

**ANRH :** Agence national des ressources hydrauliques.

**CV :** Coefficient de variation.

**IDW:** Pondération inverse à la distance.

**KO:** Krigeage ordinaire.

**KU:** Krigeage Universel.

**Pjmax:** Pluie journalière maximale.

**RBF:** Radial basic fonction.

**SAD:** Système d'aide à la décision.

**SIG :** Système d'information géographique.

**TIN :** Interpolation par triangulation irrégulière.

## Résumé

L'étude de la variabilité spatiale des pluies dans le bassin versant Seybouse, est faite en suivant deux approches méthodologiques: la première est statistique, basée sur le calcul des paramètres statistiques, la deuxième approche est basée sur la cartographie automatique qui est abordée par les méthodes géostatistiques les plus récentes telles que le krigeage. Dans cette étude, l'analyse statistique avec la loi de Gumbel nous a permis d'estimer les pluies de différentes périodes de retour, après nous avons essayé d'étudier l'influence de nombre de postes pluviométriques sur les méthodes d'interpolation spatiale. Les résultats ont montrés qu'il y a une relation entre le nombre des postes et les méthodes d'interpolation spatiale.

**Mots clés :** Bassin versant Seybouse ; pluie journalière maximale ; donnée swat ; méthodes d'interpolation spatiale.

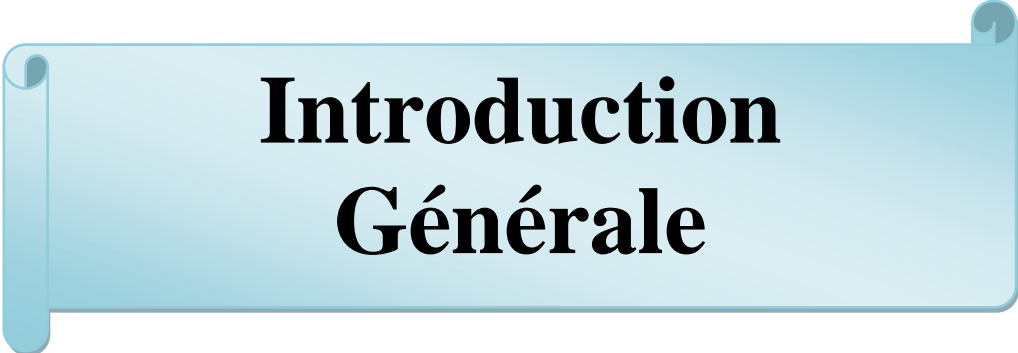
## Abstract

The study of rainfall variability in the Seybouse watershed is carried out by following two methodological approaches: the first is statistical, based on the calculation of statistical parameters; the second approach is based on automatic mapping which is approached by the methods most recent geostatistics such as kriging. In this study, statistical analysis with Gumbel's law allowed us to estimate the rains of different return periods, after which we tried to study the influence of the number of rainfall stations on the spatial interpolation methods. The results showed that there is a relationship between the number of stations and the spatial interpolation methods.

**Keywords:** Seybouse basin; maximal rain; swat data; spatial interpolation methods.

## المخلص

يتم إجراء دراسة تغيير هطول الأمطار في مستجمعات المياه في سيبوس بإتباع نهجين: الأول إحصائي، بناءً على حساب المعلمات الإحصائية، ويستند النهج الثاني على الرسم التلقائي للخرائط الذي يتم تناوله بواسطة الأساليب الحديثة في الإحصاء الجيولوجي مثل krigage. في هذه الدراسة، سمح لنا التحليل الإحصائي بقانون Gumbel بتقدير الأمطار لفترات العود المختلفة، وبعد ذلك حاولنا دراسة تأثير عدد محطات قياس الأمطار على طرق الاستيفاء المكاني. أظهرت النتائج وجود علاقة بين عدد المحطات وطرق الاستيفاء المكاني. الكلمات المفتاحية : الحوض المائي سيبوس, أمطار قصوى, بيانات سوات, طرق الاستيفاء المكاني..



# **Introduction Générale**



### Introduction générale

La climatologie est la science du climat. Elle s'appuie sur l'analyse de la distribution statistique de variables météorologiques, principalement la température et les précipitations.

Durant les dernières années, un changement climatique a été constaté au niveau planétaire. Ce changement s'est traduit par une augmentation de la température moyenne, une plus forte variabilité de la pluviométrie et une augmentation de l'occurrence des conditions extrêmes telles que les inondations, les sécheresses, les tsunamis ...etc (GIEC, 2007).

Une bonne connaissance des paramètres climatologique tels que la pluie, la température l'évaporation et l'évapotranspiration constitue le seul moyen pour une bonne compréhension du comportement de n'importe quel phénomène hydrologique ex : inondation, sécheresse...etc. Ainsi, il devient impératif de connaître les techniques appropriées pour obtenir le maximum d'information sur les échantillons, évaluer la qualité des conclusions déduites et quantifier le risque provenant d'une généralisation à partir de données partielles.

Parmi les paramètres choisis, nous avons porté l'accent sur le paramètre le plus important dans un cycle hydrologique la pluviométrie. Selon la disponibilité des données, nous avons choisi la période 1970-2005 pour l'étude des pluies. Après un fastidieux travail de traitement des séries pluviométriques (comblement des lacunes et homogénéisation des séries hétérogènes), l'étude et l'analyse des pluies durant la période 1970-2005, est abordée en se basant sur une approche méthodologique.

Parmi les techniques qui sont disponibles pour une bonne amélioration de la connaissance de n'importe quel paramètre climatique on trouve l'interpolation spatiale. L'objectif de notre travail est d'étudier l'influence de nombre des postes pluviométrique sur l'interpolation spatiale, puis utiliser la meilleure méthode pour la création des cartes pour des pluies de différentes périodes de retour.

Ce travail est organisé de la manière suivant :

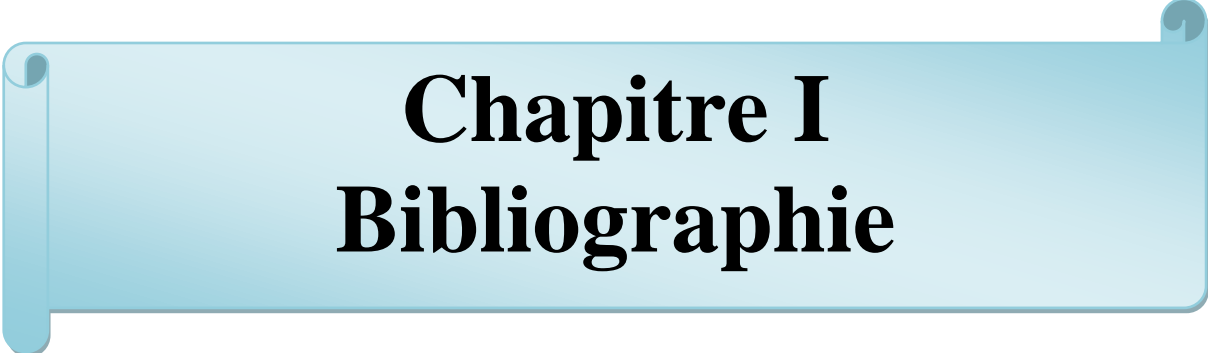
Chapitre I : Bibliographie

Chapitre II : description du site

Chapitre III : Collecte et critique des données

Chapitre IV : Analyse fréquentielle

Chapitre V : résultats et discussion



# **Chapitre I**

## **Bibliographie**

## **Bibliographie**

### **I.1. Introduction**

La disponibilité des données pluviométriques et hydrométrique est essentielle pour la plupart des analyses hydrologiques soit pour redire les événements de précipitations extrêmes tels que les crues et les inondations soit pour estimer la quantité et la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, on les utilise aussi pour la conception et la gestion des systèmes de ressources en eau. Mais en Algérie, l'implantation insuffisante des stations de mesure et le manque d'uniformité dans la distribution du réseau de mesure empêche l'accès à des données de bon qualité et sans erreurs. Pour cela on nécessite d'autres techniques telles que l'interpolation spatiale.

### **I.2. La cartographie et l'hydrologie**

Dans toutes les sciences de la terre et leurs applications, la cartographie tient naturellement une place éminente, comme méthode de recherche aussi bien que comme mode irremplaçable d'expression et de diffusion des connaissances. Il en est ainsi en hydrologie, la science qui s'intéresse à tous les aspects du cycle de l'eau, et aussi contribue à la connaissance et la gestion des ressources en eau et à leur durabilité en rapport avec les bassins versants environnementaux [1].

#### **I.2.1. Définition de la cartographie**

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

#### **I.2.2. L'utilité des cartes hydrologiques**

Les cartes hydrologiques ne remplacent aucune des techniques actuellement en usage, elles les complètent seulement et leur permettent de donner de meilleurs résultats.

- Elles aident les hydrogéologues à résoudre les problèmes d'alimentation des nappes.
- Aider à mieux comprendre et à mesurer plus exactement les phénomènes hydrologiques.

- Les cartes font ressortir des types de bassins et permettent de mieux choisir les sites de stations de jaugeage. Elles facilitent l'extrapolation de leurs résultats aux régions voisines. Les planimétrages, les analyses morpho métriques fondées sur la carte permettent de comparer avec précision des bassins voisins et, connaissant des réactions hydrologiques de l'un d'entre eux, de prévoir celles des autres [2].

### I.3. Etudes sur l'interpolation spatiale des variables pluviométriques

L'interpolation est une méthode ou une fonction mathématique qui estime les valeurs à des endroits où aucune valeur mesurée n'est disponible [3]. Il existe de nombreuses méthodes d'interpolation spatiale des précipitations malgré leurs variables d'efficacité et de facilité d'utilisation, le choix de l'une ou de l'autre dépend de l'objectif de l'étude, mais aussi du contexte territorial de la zone (surface, densité du réseau, etc.)[4].

**Tableau (01) :** Etudes sur l'interpolation spatiale des variables pluviométriques

Région	Variable	Méthode d'interpolation	Source
Suisse	Précipitation	KO, KI	[5]
Russie	Précipitation	Pondéré localement Régression polynomiale	[6]
L'île de Norfolk	Précipitation	KR, IDW, TP, moyenne surfacique	[7]
Centre des États- Unis	Précipitation	KU, interpolation optimale, KO, TP, distance carrée inverse	[8]
Inde	Précipitation	CK, KS	[9]
Afrique de sud	Précipitation	IDW, KS, CKO, KU	[10]
Allemagne	Précipitation	IDW, TP, KO, CKO, KOR	[11]
Annaba (Algérie)	Précipitation	IDW, KO, CRS	[12]

## **I.4. Généralités sur les paramètres climatiques**

### **I.4.1. Les précipitations**

#### **I.4.1.1. Définition**

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,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants.

#### **I.4.1.2. Mécanismes de formation des précipitations**

La formation des précipitations nécessite la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. La saturation est une condition essentielle à tout déclenchement de la condensation. Divers processus thermodynamiques sont susceptibles de réaliser la saturation des particules atmosphériques initialement non saturées et provoquer leur condensation :

- Saturation et condensation par refroidissement isobare (à pression constante).
- Saturation et condensation par détente adiabatique.
- Saturation et condensation par apport de vapeur d'eau.
- Saturation par mélange et par turbulence [13].

#### **I.4.1.3. Types de précipitations**

Il existe différents types de précipitations : les précipitations convectives, les précipitations orographiques et les précipitations frontales.

– **Les précipitations convectives** : Elles résultent d'une ascension rapide des masses d'air dans l'atmosphère. Elles sont associées aux cumulus et cumulo-nimbus, à développement vertical important, et sont donc générées par le processus de Bergeron (Fig.1). Les précipitations résultantes de ce processus sont en général orageuses, de courte durée (moins d'une heure), de forte intensité et de faible extension spatiale.

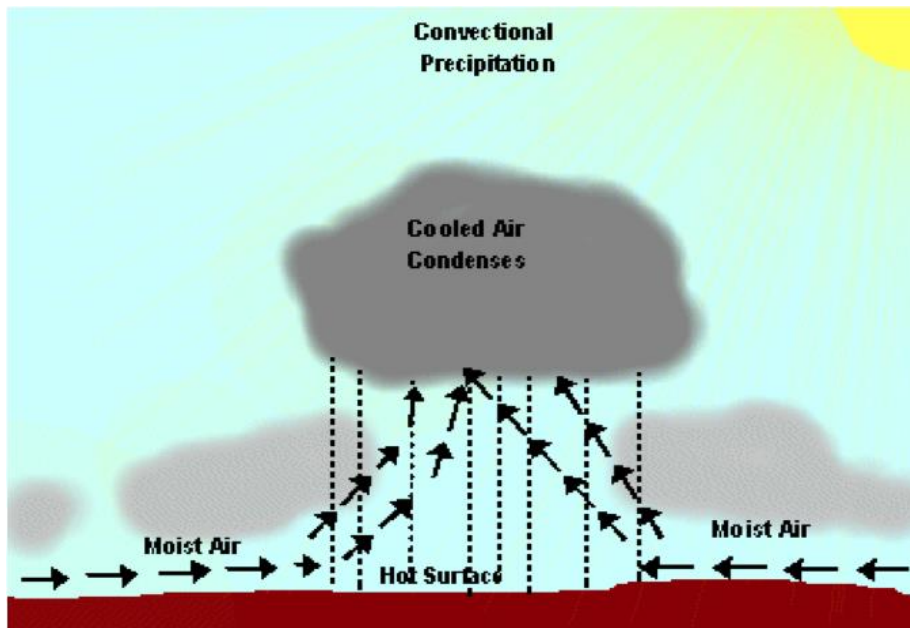


Figure (01) : Précipitation Convectives

- **Les précipitations orographiques :** Ce type de précipitations résulte de la rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique particulière (Fig.2) Par conséquent, ce type de précipitations n'est pas « spatialement mobile » et se produit souvent au niveau des massifs montagneux.

Les caractéristiques des précipitations orographiques dépendent de l'altitude, de la pente et de son orientation, mais aussi de la distance séparant l'origine de la masse d'air chaud du lieu de soulèvement. En général, elles présentent une intensité et une fréquence assez régulières.

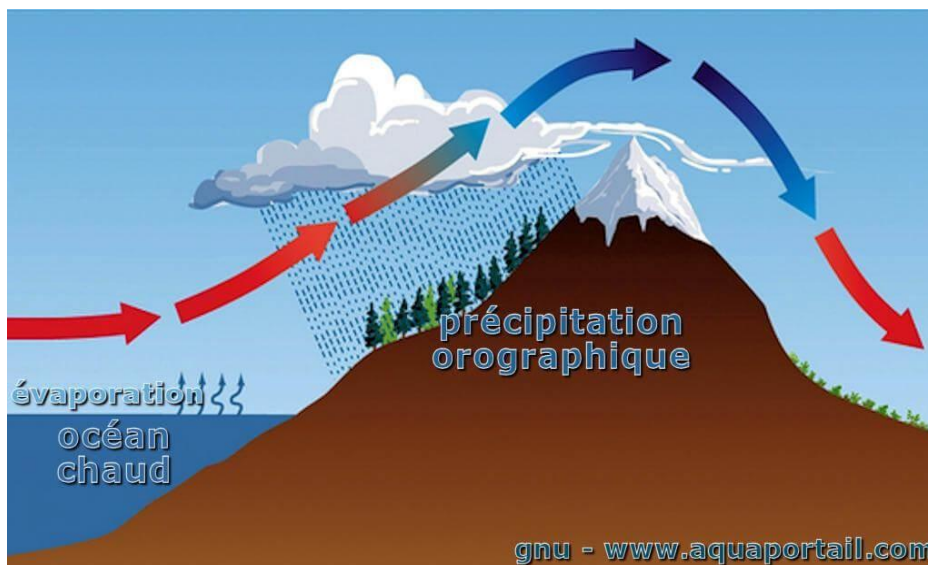


Figure (02) : Précipitation orographique



- **Les précipitations frontales ou de type cyclonique** : Elles sont associées aux surfaces de contact entre deux masses d'air de température, de gradient thermique vertical, d'humidité et de vitesse de déplacement différents, que l'on nomme « fronts ». Les fronts froids (une masse d'air froide pénètre dans une région chaude) créent des précipitations brèves, peu étendues et intenses. Du fait d'une faible pente du front, les fronts chauds (une masse d'air chaude pénètre dans une région occupée par une masse d'air plus froide) génèrent des précipitations longues, étendues, mais peu intenses.

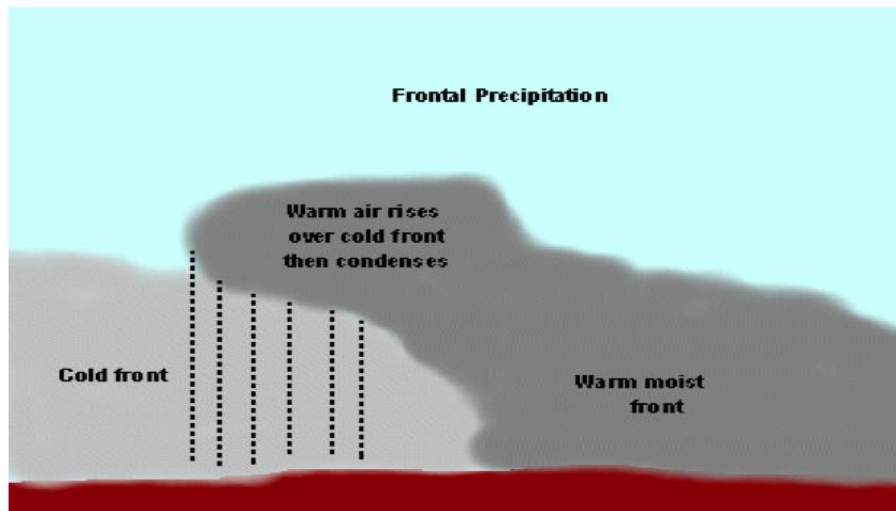


Figure (03) : Précipitation Frontal

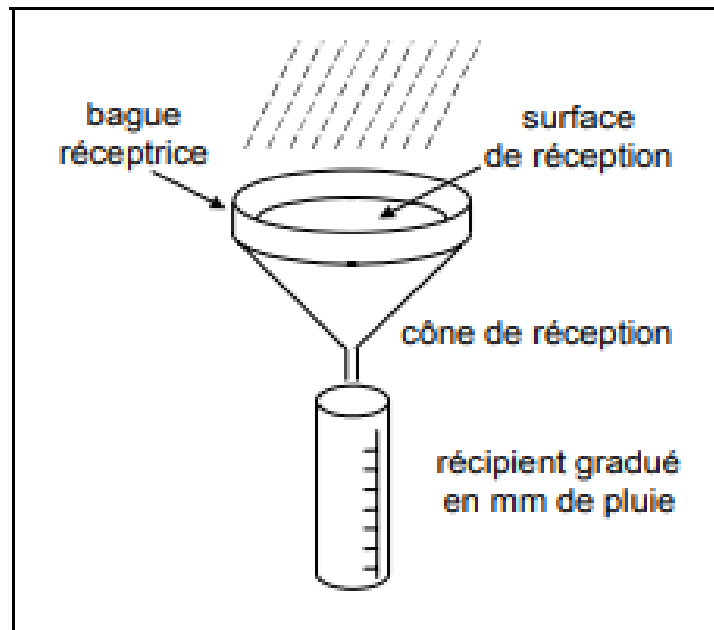
#### I.4.1.4. Mesures de la hauteur d'eau précipitée

Comme les précipitations varient selon différents facteurs (déplacement de la perturbation, lieu de l'averse, influence de la topographie, etc.), leur mesure est relativement compliquée. Quelle que soit la forme de la précipitation, liquide ou solide, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement en hauteur de précipitation ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps. La précision de la mesure est au mieux de l'ordre de 0,1 mm.

En Suisse, toute précipitation supérieure à 0,5 mm est considérée comme pluie effective.

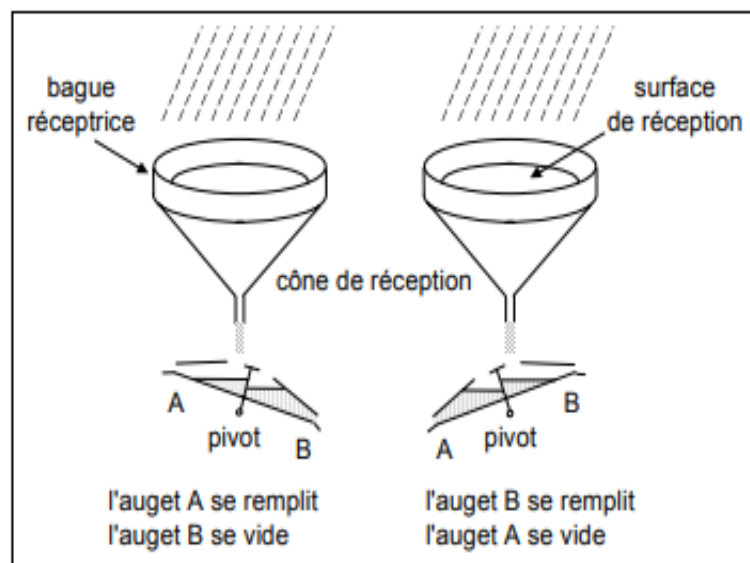
Nous Cite deux appareils de mesures fondamentaux :

- **Le pluviomètre** : Instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés.



**Figure (04) :** Principe de fonctionnement d'un pluviomètre

- **Le pluviographe :** Instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit les intensités.



**Figure (05) :** Principe de fonctionnement d'un pluviographe a augets

## **I.5. Les méthodes d'interpolations spatiales**

### **I.5.1. Définition de l'interpolation spatiale**

L'interpolation spatiale est le processus d'utiliser des points avec des valeurs connues pour des valeurs estimées à d'autres points inconnues. Les outils d'interpolations de surface créent une surface continue (ou prévision) à partir des valeurs des points échantillonnés.

À partir d'observations géo-référencées, pas nécessairement réparties régulièrement, on cherche à estimer les valeurs prises par le paramètre observé en d'autres points de l'espace. On parle alors d'estimation spatiale : c'est une procédure consistant à estimer la valeur d'une grandeur en un site à partir d'échantillons de cette grandeur récoltés dans d'autres sites [14]. Ce besoin, s'applique à de nombreux domaines où la connaissance de la distribution spatiale de phénomènes est importante : altimétrie, gravimétrie, météorologie, géologie, minéralogie, etc.

### **I.5.2. Principe d'interpolation spatiale**

L'interpolation est le procédé qui vise à cartographier une variable  $V_0$  à des positions dans l'espace où aucun échantillon n'est disponible en utilisant un jeu de données d'échantillons dont la position dans l'espace et la valeur de la variable  $V_0$  sont connues (Fig. 6).

Ces échantillons peuvent provenir d'une campagne d'échantillonnage sur le terrain ou peuvent être des informations issues de capteurs fixes ou mobiles à l'intérieur d'une parcelle.

Généralement, un ensemble d'informations est disponible au sein d'une parcelle (les échantillons) et l'objectif est de construire une carte de cette information sur la totalité de la parcelle [15]. Bien sûr, il n'est de toute façon pas possible de collecter des informations sur chaque centimètre carré de parcelle par échantillonnage.

C'est pour cela que les méthodes d'interpolation ont tout leur intérêt. Plusieurs techniques d'interpolation existent mais il est quelquefois difficile de comprendre les avantages et inconvénients de chacune des approches.

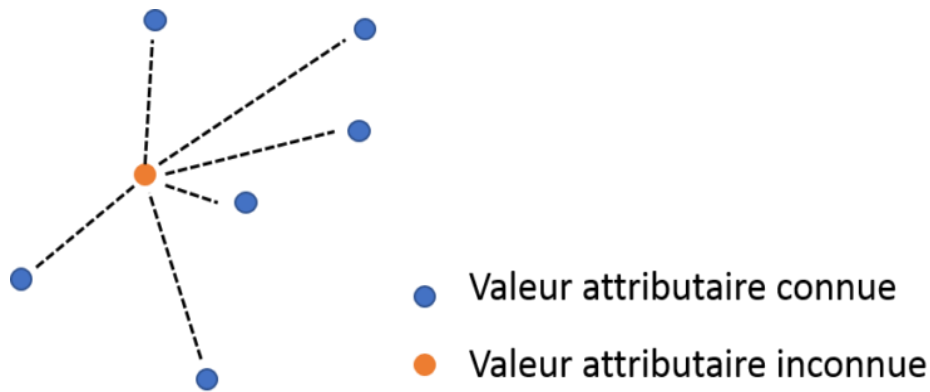


Figure (06) : Principe d'interpolation spatiale

### I.5.3. Les techniques d'interpolation spatiale

Les techniques d'interpolation spatiale peuvent être séparées en deux principales catégories : les approches déterministes et les approches géostatistiques.

#### - Les méthodes déterministes

Ces méthodes n'essent pas de capturer la structure spatiale des données. Elles utilisent seulement des équations mathématiques prédéfinies pour prédire des valeurs à des positions où aucun échantillon n'est disponible (en pondérant les valeurs attributaires des échantillons dont la position dans la parcelle est connue).

Les méthodes déterministes regroupent les approches **TIN**, **IDW**, **Spline** et d'analyses de tendance de surface.

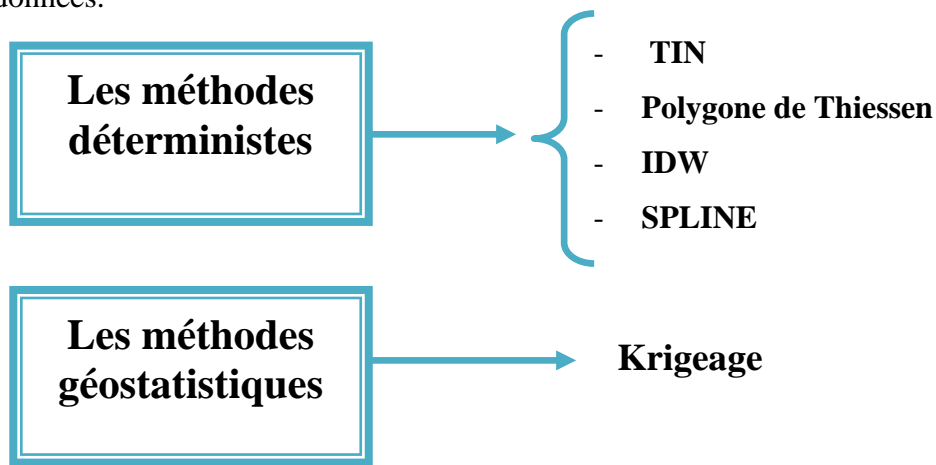
#### - Les méthodes géostatistiques

Ces méthodes cherchent à ajuster un modèle spatial aux données. Cela permet de générer une valeur prédite à des positions non échantillonnées dans la parcelle (comme les méthodes déterministes) et de fournir aux utilisateurs une estimation de la précision de cette prédiction. Les approches géostatistiques regroupent le **krigeage** et ses dérivés.

Toutes les méthodes d'interpolation sont basées sur le fait que les données spatiales sont auto-corrélées. En fait, **“everything is related to everything else, but near things are more related than distant things”** (Tobler, 1970). Tout est relié à tout le reste, mais les choses proches partagent plus de caractéristiques que des choses distantes.

Les méthodes d'interpolation peuvent être utilisées pour prédire des valeurs à des positions spécifiques dans l'espace ou peuvent être utilisées sur une grille d'interpolation sur l'ensemble de la parcelle considérée.

Cette grille est composée de pixels régulièrement espacés dont la taille peut dépendre de la précision recherchée dans la carte interpolée ou bien de la structure spatiale du jeu de données.



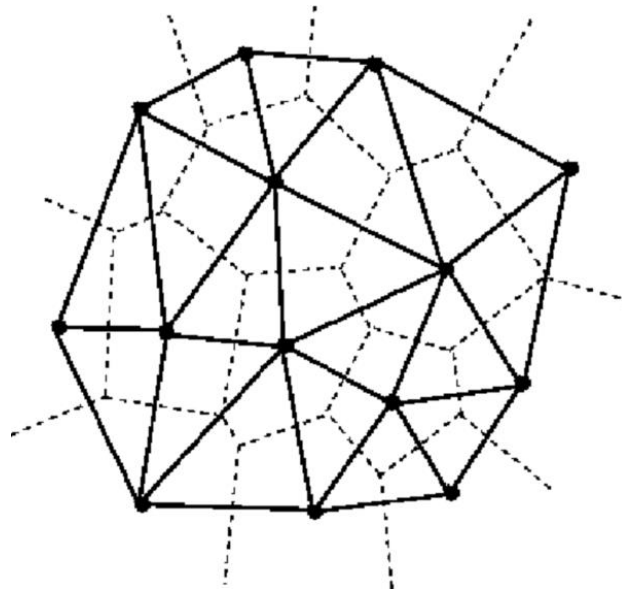
**Figure (07) :** Schéma des méthodes d'interpolation spatiale.

## **A. Les méthodes déterministes**

### **A.1. TIN : Interpolation par triangulation irrégulière**

L'approche par TIN est peut être l'une des techniques d'interpolation spatiale les plus simples. Cette approche s'appuie sur la construction d'un réseau triangulaire (un cas particulier de tessellation) basé sur la position spatiale des échantillons disponibles. Plusieurs méthodes de triangulation peuvent être utilisées mais celle de Delaunay est la plus utilisée (Fig.8).

Cette méthode a pour objectif de créer des triangles qui ne se chevauchent pas (et aussi équilatéral que possible) et dont le cercle circonscrit contient seulement les trois sommets qui ont donné naissance au triangle. Une fois que le réseau est opérationnel, chaque nouvelle observation  $z_i$  pour laquelle une nouvelle valeur attributaire doit être prédite, est associée à un triangle T dans lequel cette observation se trouve. Cette valeur attributaire est calculée en pondérant les valeurs attributaires des sommets du triangle T [16].



**Figure (08) :** Création d'un réseau triangulaire: la triangulation de Delaunay

Il est clair que la précision de cette méthode dépend du nombre d'observations dans la parcelle, et plus particulièrement de la densité de ces observations. Quand les échantillons sont regroupés spatialement, les valeurs attributaires des observations voisines seront relativement bien prédites. Par contre, pour des échantillons isolés, les triangles construits seront beaucoup plus grands ce qui rendra la prédiction sur des observations voisines assez imprécise. Il faut se rappeler que la valeur à prédire de chaque nouvelle observation  $z_i$  dépend uniquement de la valeur attributaire des sommets du triangle dans lequel se trouve  $z_i$ .

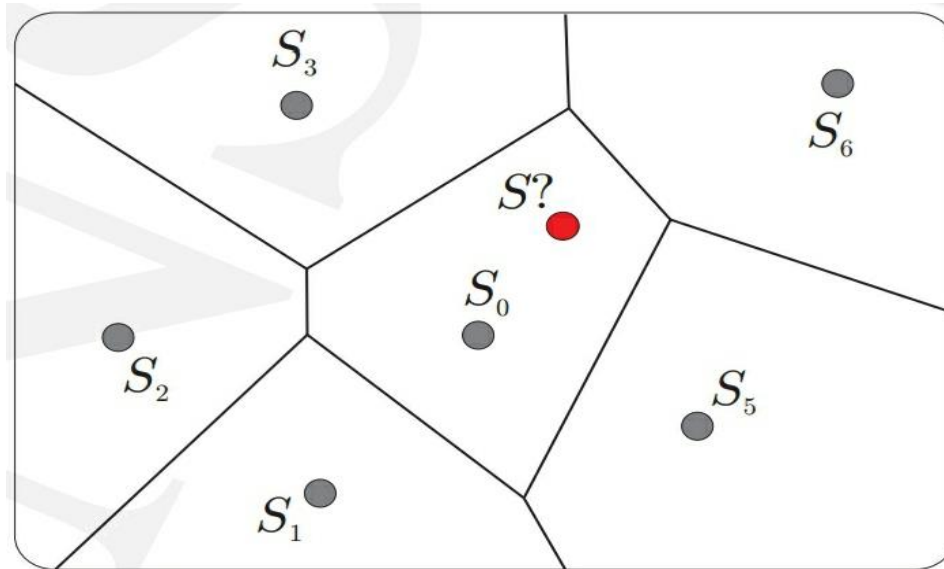
Effectivement, cette technique d'interpolation ne participe pas vraiment au lissage des données. La technique TIN est disponible sur de nombreux logiciels et est efficace d'un point de vue du temps de calcul. Elle peut être utilisée lorsqu'un très grand nombre d'observations est disponible tout en ne demandant pas un gros espace mémoire. A noter que le réseau qui a été créé est aussi intéressant parce qu'il donne une information sur l'aire d'influence de chaque observation. Dans ce cas, d'autres tessellations comme les polygones de Thiessen sont particulièrement intéressants.

## A.2. Polygone de Thiessen

Nous avons abordé précédemment l'utilisation des polygones de Thiessen dans le cas de l'estimation globale. 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).



On obtient alors une surface discontinue ; ces discontinuités n'ont rien à voir avec de possibles discontinuités réelles, mais sont simplement liées à la configuration géométrique des observations. On trouve dans la littérature différentes méthodes pour palier ce problème de discontinuités (méthode de Sibson par exemple basée sur l'interpolation par combinaison linéaire des valeurs aux sommets voisins) [17].



**Figure (09)** : Interpolation par la méthode de Thiessen (Plus proche voisin)

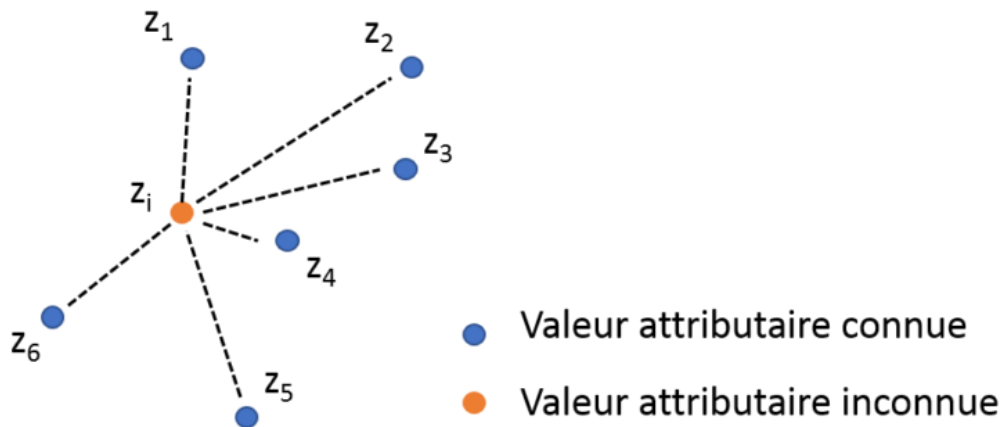
### A.3. Spline

L'outil Spline utilise une méthode d'interpolation selon laquelle les valeurs sont déterminées à l'aide d'une fonction mathématique qui réduit la courbure globale des surfaces et restitue une surface lisse passant exactement par les points en entrée [18].

### A.4. IDW : Pondération inverse à la distance

L'outil Pondération par l'inverse de la distance (**IDW**) utilise une méthode d'interpolation qui évalue les valeurs des cellules en calculant la moyenne des valeurs des points d'échantillonnage dans le voisinage de chaque cellule de traitement.

Plus un point est proche du centre de la cellule en cours d'analyse, plus il a d'influence (ou poids) sur la procédure de calcul de la moyenne. Comme la méthode TIN, l'approche par IDW est relativement facile à mettre en place et est largement disponible sur les logiciels d'usage (QGIS, ArcGIS, SAGA GIS...) et sur les langages de programmation (R, Python, Matlab...).



**Figure (10)** : Pondération inverse à la distance.

### A.5. Analyse de tendance de surface

La Tendance de  $S$  est une interpolation polynomiale globale qui ajuste une surface lisse définie par une fonction mathématique (un polynôme) aux points d'échantillonnage en entrée. La surface de tendance évolue graduellement et capture des structures à échelle grossière dans les données.

Toutes les approches déterministes décrites précédemment sont largement reportées et utilisées parce qu'elles sont relativement simples à comprendre et à mettre en place. Néanmoins, toutes ces méthodes prennent seulement en compte la distance spatiale entre les observations pour réaliser les prédictions.

## B. Les méthodes géostatistiques

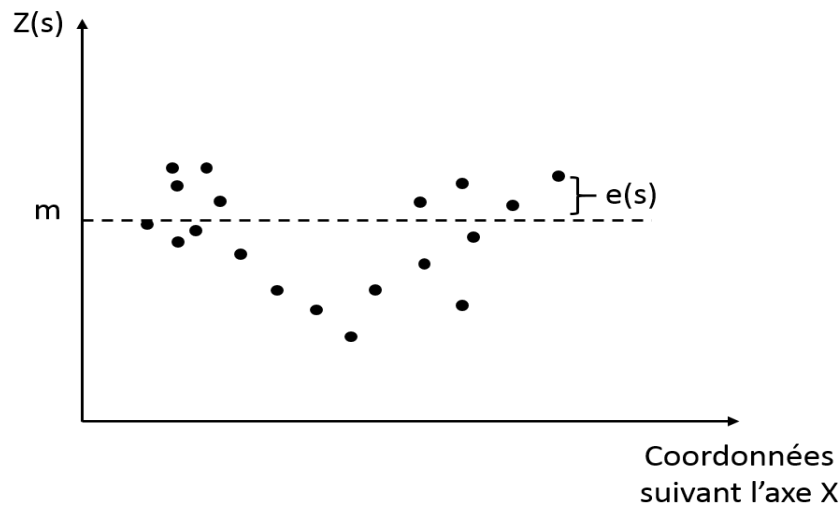
### B.1. Krigeage

La géostatistique est une science de plus en plus utilisée pour cartographier les variables régionalisées. Une des méthodes géostatistiques est le krigeage, qui a pour avantage de restituer la continuité spatiale du variable à référence spatiale dans l'expression cartographique [19].

Les méthodes de krigeage considèrent que le processus qui a donné naissance aux données peut être séparé en deux composantes principales : une tendance déterministe (les variations à large échelle) et une erreur auto-corrélée (les résidus):  $Z(s)=m+e(s)$  où  $Z(s)$  est la valeur attributaire à la position  $s$  dans la parcelle,  $m$  est la tendance déterministe qui ne dépend pas de la position des données dans l'espace et  $e(s)$  qui est le terme d'erreur auto-corrélée (qui dépend de la position  $s$ ).

➤ **Krigeage simple**

Comme le nom le laisse à penser, le krigeage simple est la méthode dérivée du krigeage la plus facile à mettre en œuvre. Ici, la tendance déterministe,  $m$ , est connue et considérée constante sur la totalité de la parcelle d'étude (Fig. 11).



**Figure (11) :** Krigeage simple et tendance et résidus correspondants

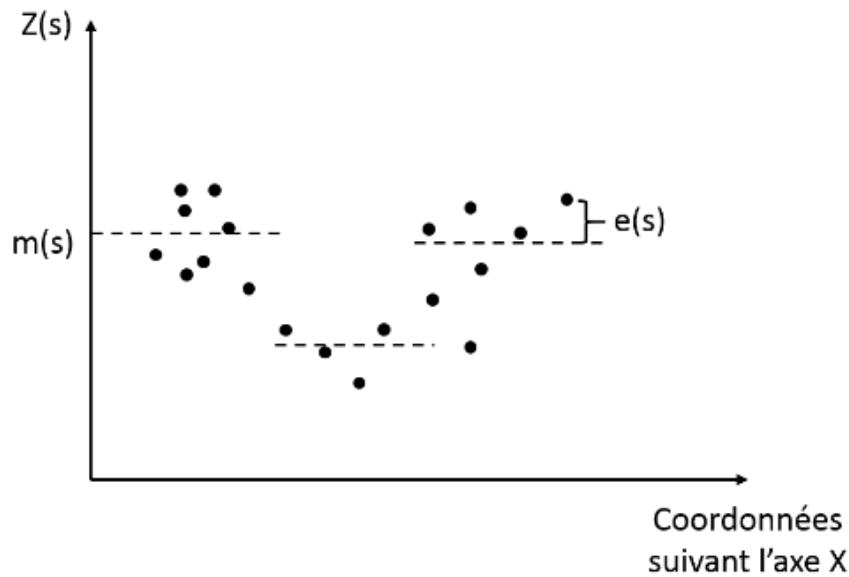
Cette méthode est globale parce qu'elle ne prend pas en compte les variations locales de cette tendance. Néanmoins, s'il n'y a pas de changements brusques dans les attributs de la variable d'intérêt (ou s'il n'y a pas de raisons qu'il n'y en ait), cette hypothèse peut être viable et pertinente.

Comme la tendance est connue, le terme d'erreur auto-corrélée est lui aussi connu ce qui rend la prédiction plus simple à faire. Il doit être compris que, ici, les valeurs prédites ne peuvent pas s'étendre au-delà des valeurs des échantillons initiaux.

➤ **Krigeage ordinaire**

Cette méthode est peut-être l'approche de krigeage la plus largement reportée. Contrairement au krigeage simple, cette technique considère que la tendance est constante mais seulement au niveau d'un voisinage local (Fig. 12).

Cette hypothèse est intéressante parce qu'elle assure de prendre en compte les variations locales au sein d'une parcelle. Le krigeage ordinaire peut être exprimé de la façon suivante :  $Z(s)=m(s)+e(s)$   $Z(s)=m(s)+e(s)$ . Ici, la tendance dépend de la position spatiale des observations ( $m(s)$ ). Cette tendance constante est considérée inconnue et doit être déterminée à partir du voisinage de données correspondant.



**Figure (12) :** Krigeage ordinaire et tendance et résidus correspondants

Pour cette méthode, il est nécessaire de définir l'étendue du voisinage : le nombre d'observations voisines qui seront prises en compte pour chaque prédiction.

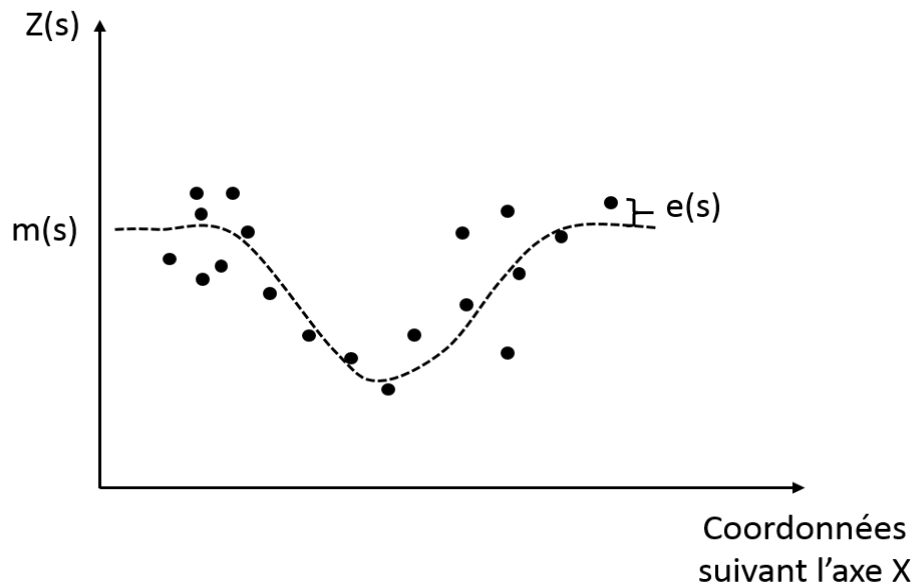
Comme la tendance n'est pas considérée connue et qu'elle doit être déterminée par les données elles-mêmes, il peut arriver que, par construction, l'étendue des valeurs prédites soient plus larges sur celle des échantillons de départ.

#### ➤ **Krigeage universel ou à tendance externe**

Le krigeage par régression a plusieurs noms : *le krigeage universel* ou *le krigeage avec une tendance externe*. Cette méthode est similaire au krigeage ordinaire dans le sens où la tendance n'est pas constante sur la totalité de la parcelle mais dépend de la position des observations dans l'espace.

Néanmoins, ici, la tendance est modélisée par une fonction plus complexe, elle n'est pas simplement considérée constante au sein d'un voisinage local (Fig. 13).

L'objectif est le même que précédemment : enlever la tendance des données pour que les résidus auto-corrélés puissent être étudiés. A la fin de l'interpolation, la tendance est rajoutée aux résidus interpolés.



**Figure (13) :** Krigeage par régression et tendance et résidus correspondants

### ➤ Krigeage par point et krigeage par bloc

Toutes les méthodes de krigeage mentionnées précédemment ont pour vocation de prédire la valeur d'une variable d'intérêt à des positions où aucun échantillon n'est disponible. Ces positions peuvent être considérées comme des points dans l'espace (ou plus précisément comme des pixels de la grille d'interpolation avec un pixel = une valeur). Par conséquent, ces approches de krigeage peuvent être comprises comme des méthodes de krigeage par point.

Quand l'incertitude de la prédiction est relativement large, on pourrait vouloir chercher à lisser les résultats interpolés en réalisant un krigeage sur une surface plus large qu'un tout petit pixel. Ce type de krigeage est connu sous le nom de krigeage par bloc.

Cela a l'avantage de diminuer la variance de l'erreur de prédiction parce que l'information est plus grossière (elle est prédite sur un support spatial plus grand).

Bien évidemment, avec le block kriging, il y a un risque de perdre de l'information utile mais quand l'incertitude est forte, cette approche peut être très pertinente.

## I.6. Conclusion

De nombreuses techniques d'interpolation s'offrent à l'hydrologue. Tel que les méthodes statistiques et les méthodes déterministes mais les méthodes statistiques, qui tiennent compte de la structure spatiale des champs de pluie, donnent de meilleurs résultats que les méthodes déterministes.



# **Chapitre II**

## **Description du site**



## II.1. Introduction

Le bassin Seybouse est l'un des plus grands bassins hydrographique de l'Est Algérien, nous s'intéressons dans cette étude à l'analyse de la variation spatiale de la pluviométrie, ce qui nécessite la connaissance approfondie des caractéristiques physiques et morpho métriques de la zone d'étude. Ce chapitre est consacré à la définition de la zone d'étude, nous allons décrire sa situation géographique, ces caractéristiques morpho métriques (surface, relief, ...etc.) En suite nous allons présenter les stations pluviométriques et hydrométriques étudiées.

## II.2. Présentation de la zone d'étude.

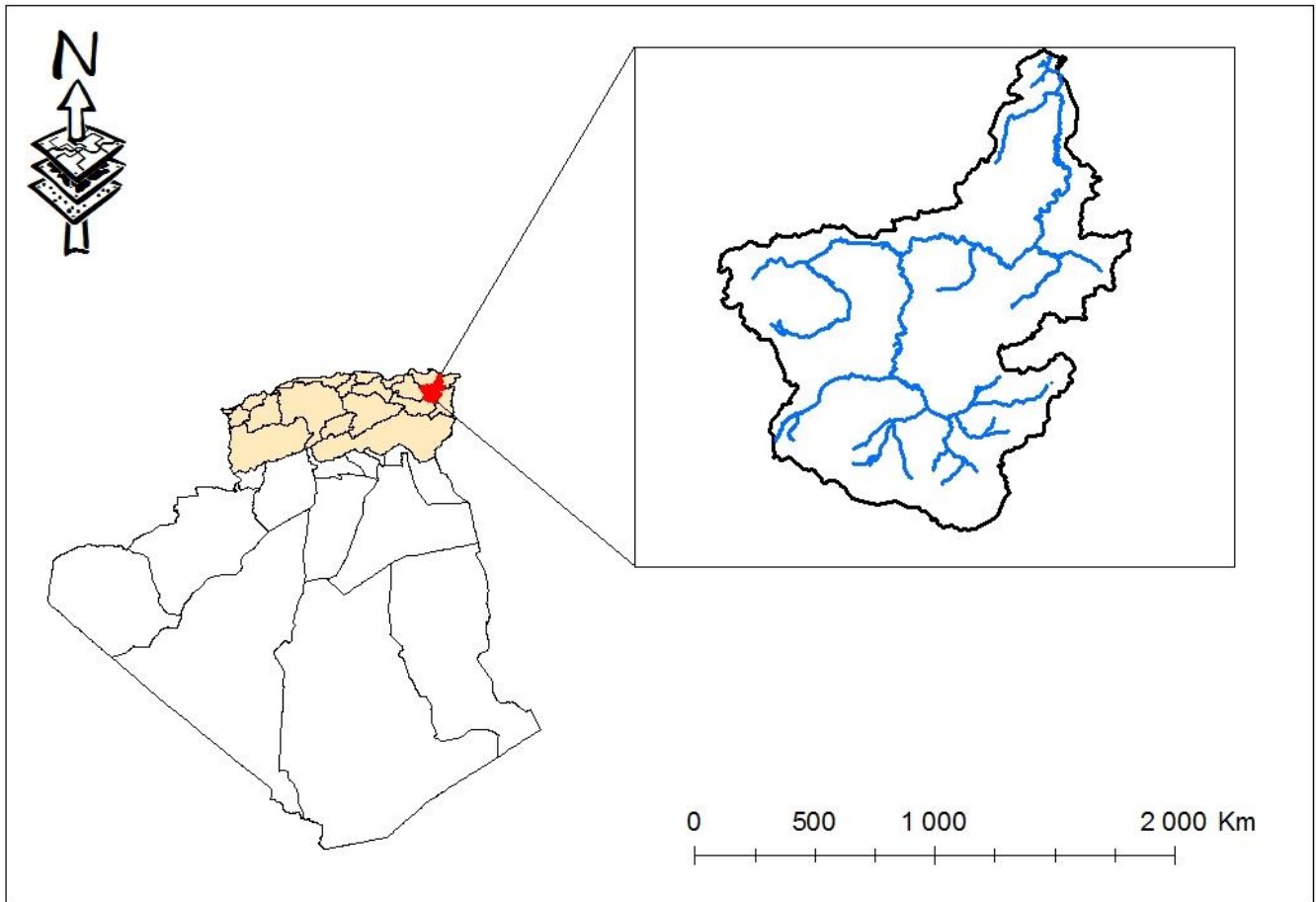
Le bassin versant de la Seybouse est le troisième plus large bassin de l'Algérie ayant une aire de 6471 km<sup>2</sup>, situé au cœur de la Numidie au Nord-Est de l'Algérie, entre 06°47'02" et 07°58'47" de longitude Est et entre 35°47'49" et 36°55'43" de latitude Nord (Figure 14).

Il s'inscrit dans le territoire de sept wilayas, il occupe la partie centrale de la wilaya de Guelma, la majorité de la wilaya d'Annaba et la partie Ouest de la wilaya d'El Taref, ses limites naturelles sont :

- Au Nord : la mer méditerranée,
- Au Sud : les monts de Mahouna, Ain larbi et Sedrata,
- A l'Ouest : le massif de l'Edough, les monts de Houara et Débagh,
- A l'Est : le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja et les monts de Nador N'bail.

La Seybouse est un des Oueds les plus importants d'Algérie avec une longueur totale de 138 km et un réseau hydrographique de plus de 4000 km. La région d'étude comporte deux grands barrages : Foum El Khanga, Hammam Debegh.

Le bassin possède trois parties: les hautes plaines (haute Seybouse), le tell méridional (moyenne Seybouse) et le tell septentrional (basse Seybouse).



**Figure (14):** Situation géographique du bassin versant de la Seybouse en Algérie

### **II.2.1. Les grands ensembles physiques du bassin de la Seybouse**

Le bassin de l'oued Seybouse couvre trois grands domaines physiques et bioclimatiques :

- le domaine des Hautes Plaines au Sud ;
- le domaine sud-Tellien ;
- le domaine Tellien du Nord qui comprend la Seybouse maritime : bassin de l'oued Ressoul, oued Dardar et la zone des plaines littorales.

Ces grands ensembles physiques présentent des caractéristiques topographiques qui les différencient nettement.

**a) La zone des Hautes Plaines (haute Seybouse)**

Elle intègre en totalité le bassin du Haut Cherf. C'est une zone au relief plat, parsemée de plaines (plaine de Sedrata, plaine d'Ain Babouche, plaine de Tamlouka) avec un encadrement montagneux imposant :

- djebel Tiffech (1164 m);
- djebel El Guelaa au Nord de Ain Beida (1135 m);
- djebel Sidi Reghiss (1635 m);
- Chebk et Sellaoua, d'orientation SW –NE avec djebel El Hamra (1188m), Koudiat El Bouib (1117 m);
- Djebel Terraguelt (1156 m).

Le bassin-versant du Cherf aval est une zone de transition entre les Hautes Plaines et le Tell, les altitudes diminuent mais le relief devient compartimenté.

**b) Le domaine sud-Tellien**

Il couvre une superficie importante qui correspond assez étroitement sur le plan morpho structural à la chaîne numidique. A ce domaine appartiennent plusieurs sous-bassins, le bassin aval de l'oued Cherf ; le bassin de l'oued Bouhamdane ; les affluents de la Seybouse dans la vallée de Guelma (oued Halia, oued Bou Sorra, oued Zimba, affluents de rive gauche dans la vallée de Guelma) ; le bassin de l'oued Mellah; la Moyenne Seybouse avec des reliefs encadrant la vallée de Guelma (courbe qui encadre la vallée= 200 à 300 m). Sur le versant Nord, les altitudes augmentent progressivement jusqu'à 583 m (Kef Es Soud), et Kef El Mansour (932 m).

Le Versant Sud est plus étendu, plus vaste spatialement, et présente des altitudes plus élevées : Il correspond au versant Nord des Monts de la Medjerdah. Le djebel Mahouna culmine à 1051 m (Koudiat Ed Drizina).Le versant Nord des Monts de la Medjerdah est occupé par les affluents de la Moyenne Seybouse, et le bassin de l'oued Mellah.

**c) Le domaine Tellien du Nord La Basse Seybouse**

Présente un relief dissymétrique avec une zone de moyennes montagnes, relativement accentué sur la rive gauche de l'oued Seybouse. A l'extrême Nord Ouest, le massif de l'Edough, est à une altitude de 1008 m [20]. (Kef Seba) (LOUAMRI, 2013).

**Tableau (02) : Répartition par surface des sous-bassins de la Seybouse.**

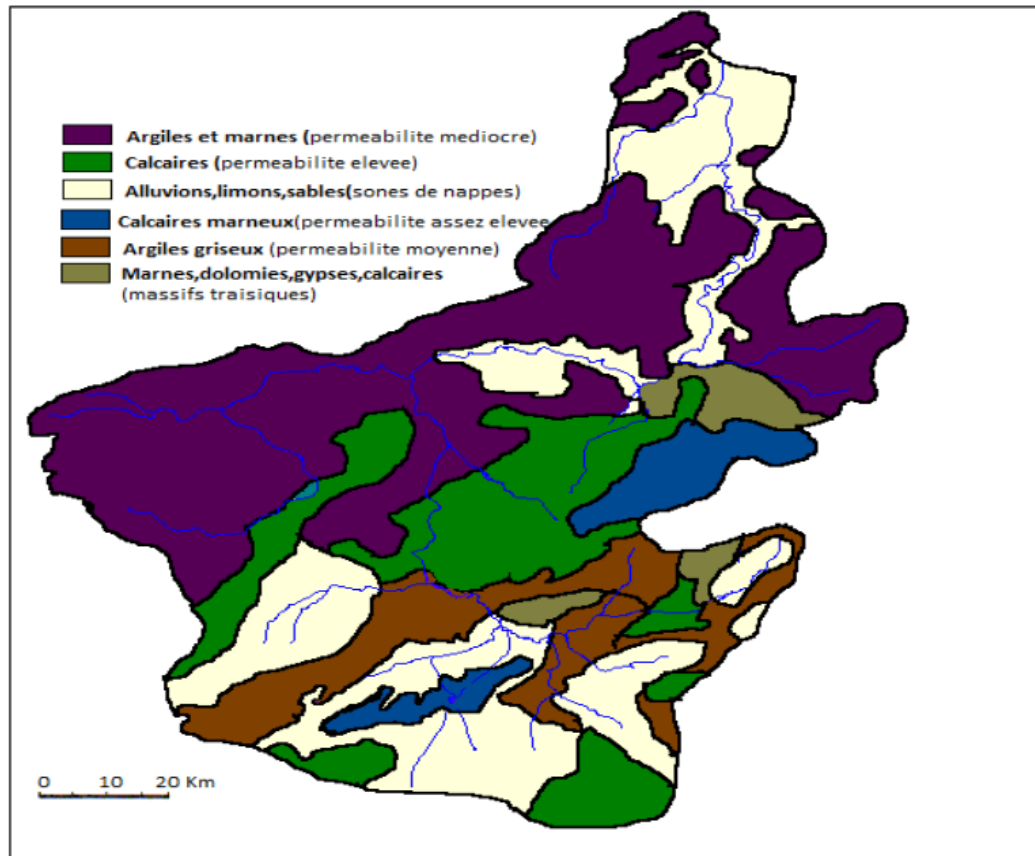
Sous – bassins	Superficie (km <sup>2</sup> )	Caractère général
14-01	1739	Haute Seybouse
14-02	1166	Moyenne Seybouse
14-03	1226	
14-04	818	
14-05	555	
14-06	1066	Basse Seybouse
Total	6570	/

### II.3. Géologie de bassin versant de la Seybouse

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du tell d'Algérie Nord – Orientale. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne.

La structure de Tell est essentiellement due à des mouvements tertiaires, surtout miocènes. Globalement cette région d'étude se distingue par trois types de roches :-Roche dure : calcaire, Sable.-Roche moyennement dure : Marnes, calcaire marneux,-Roche tendre : Argilo-calcaire, Argile, Alluvions, formation quaternaires.

La Seybouse prend sa source dans les hauts plateaux du Selloua et Heracta. Dans la partie haute du bassin, elle traverse des terrains très fracturés et quelques dépressions renfermant une nappe alluviale permettant une régulation des ruissellements d'eau; elle draine ensuite les bas reliefs. Lorsque l'Oued atteint la plaine d'Annaba, il rejoint la Meboudja et dépose une charge importante de sédiments et provoque des inondations avant de se déverser dans la Méditerranée [21].

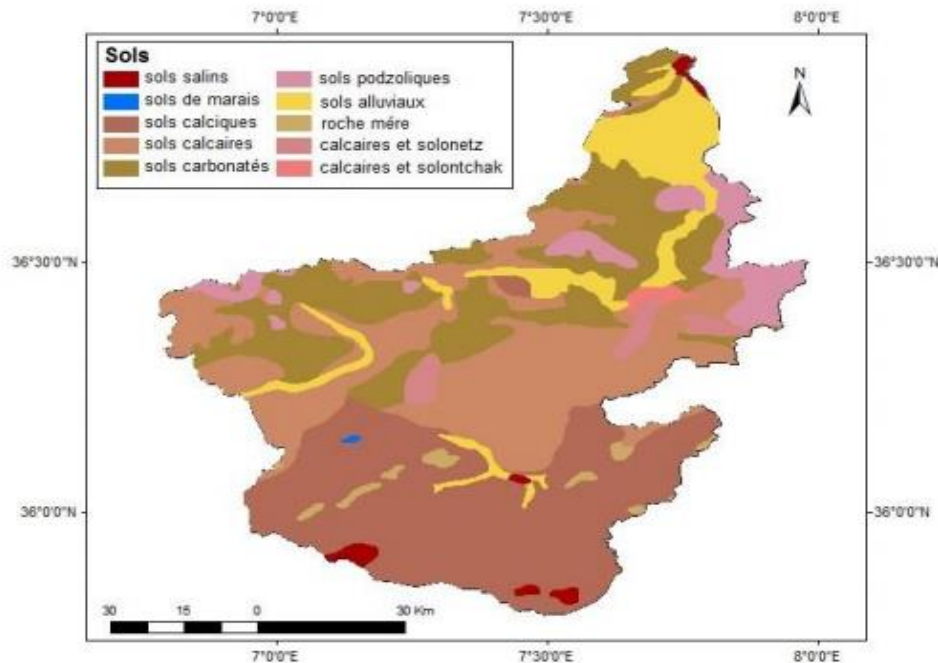


**Figure (15) :** Carte hydrogéologique du Bassin versant de la Seybouse (ABH, 2014)

#### II.4. Typologie de sol

D'après la carte de typologie des sols du bassin de la Seybouse on distingue plusieurs types :

- Sols podzoliques, sols carbonatés et Sols alluviaux se localisent principalement au nord et au milieu du bassin.
- Associations des roches calcaires et solontchak, roches calcaires et solonetz qui occupent une petite partie de la moyenne Seybouse.
- Sols calciques, Roches mères et roches de marais qui se répartissent dans la basse Seybouse
- Sols calcaires qui s'étendent sur le sud et le milieu de la région d'étude -Sols salins qu'on trouve au nord et au sud du bassin



**Figure (16) :** Carte des sols du bassin versant de la Seybouse (ABH, 2014)

## II.5. Climatologie

En plus des facteurs morphologiques et géologiques, les facteurs climatiques du bassin versant, jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau.

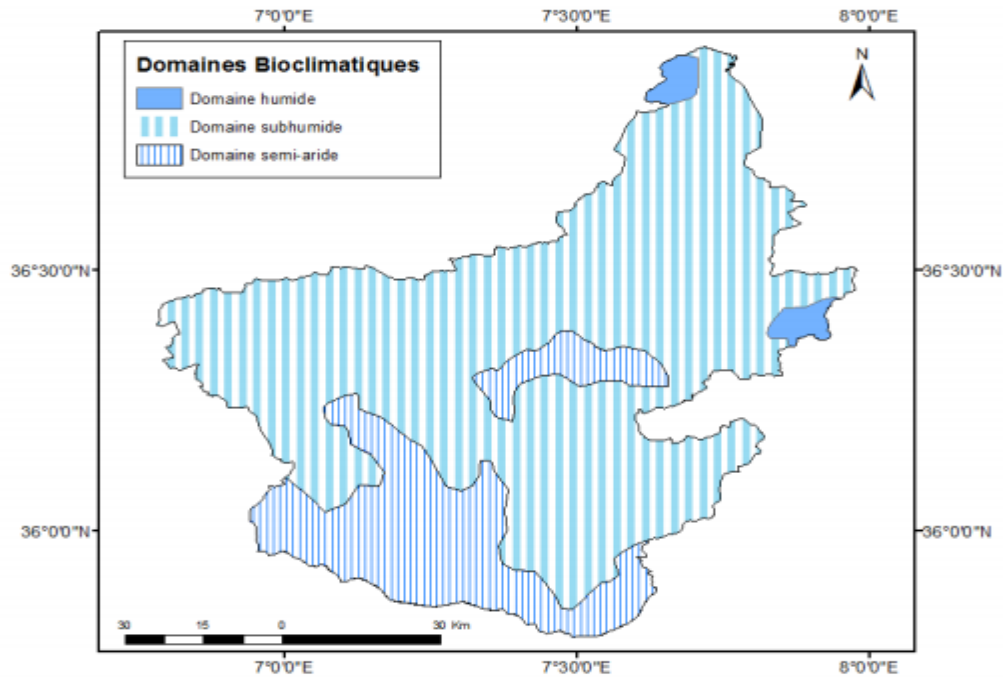
Le bassin de la Seybouse se trouve dans la zone subtropicale et soumis aux influences des climats sahariens, méditerranéens et aux descentes polaires.

- Sahariens : car elles se manifestent par les hautes pressions tropicales (Anticyclone saharien), par le Sirocco (Chehili) qui souffle en été, c'est un vent chaud et sec qui est redouté par les agriculteurs il est synonyme de sécheresse.

- Méditerranéens : pour le régime des pluies en hiver et la sécheresse estivale.

- Polaires : des masses d'air froides en provenance de Sibérie ou du pôle viennent lécher la partie Nord du Maghreb en hiver. En revanche, le climat est de type tempéré et ensoleillé (BOUCHELAGHEM, 2007).

Les étages bioclimatiques sont identifiés sur la base de la carte simplifiée des domaines bioclimatiques établie par (COTE, 1998) pour le Nord-est algérien.



**Figure (17)** : carte simplifiée des domaines bioclimatiques du bassin Seybouse (COTE, 1998)

Les observations météorologiques réalisées sur les régions de la Seybouse montrent que le bassin englobe trois domaines bioclimatiques à savoir le domaine subhumide qui domine la plus grande surface du bassin, le domaine semi-aride qui domine la basse Seybouse et le domaine relativement humide qui domine la haute Seybouse.

### II.5.1. Les précipitations

Les précipitations surtout liquides constituent le facteur essentiel qui joue un grand rôle dans le comportement hydrologique des cours d'eau (intensité, continuité de l'écoulement). Du fait que :

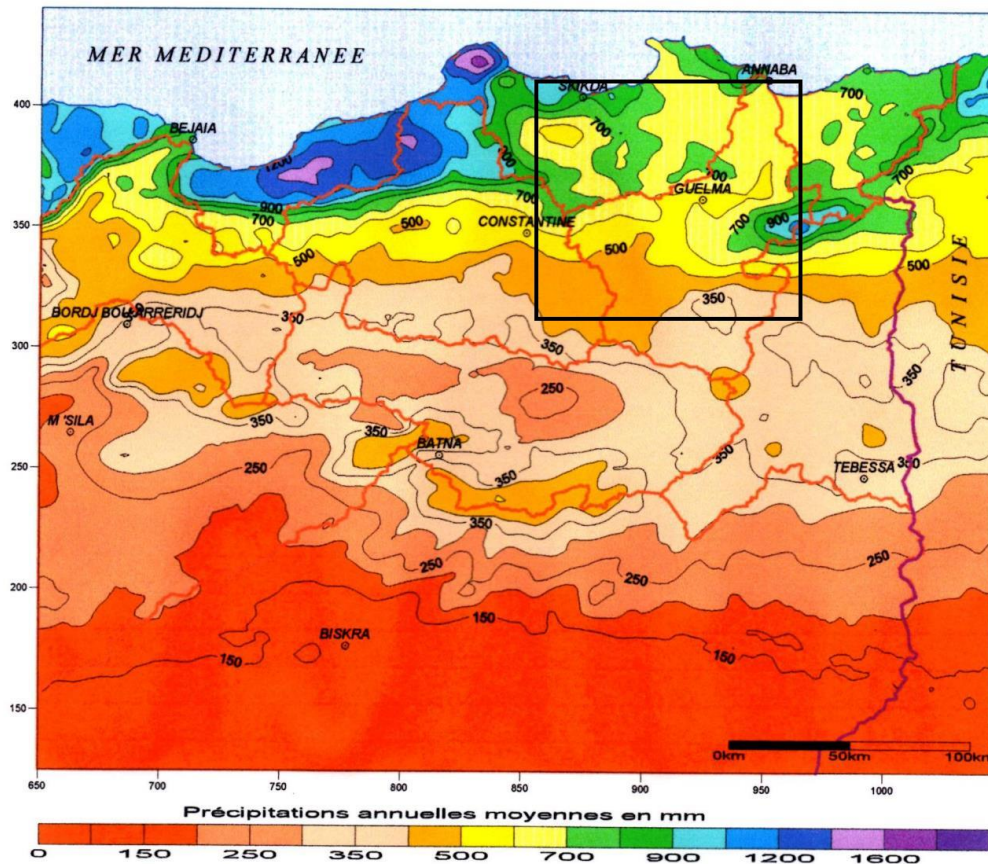
- Leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale.
- Leur répartition mensuelle et saisonnière influence directement les régimes hydrologiques.
- Leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices les crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des autres paramètres physiques cités ci-dessous et climatique, telle que les températures et l'évapotranspiration surtout.



Le bassin de la Seybouse est caractérisé par un climat méditerranéen et semi-aride avec une pluviométrie moyenne qui varie entre 400 mm et 700 mm.

Les précipitations peuvent atteindre 1.100 mm à El Tarf et Annaba; l'infiltration annuelle moyenne est d'environ 162 mm, tandis que le ruissellement représente 79 mm/an [22].



**Figure (18) :** Carte des précipitations moyennes annuelles de l'Est Algérien. (Extrait ANRH).

## II.6. Topographie

### II.6.1. Relief et altitude

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonctions de l'altitude.

Le relief est indiqué par les courbes de niveau joignant les points d'égale altitude. Il est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique.

Dans la description d'un bassin versant, on donne également sa répartition hypsométrique, c'est-à-dire la fraction où le pourcentage de la surface totale comprise entre les différentes courbes de niveau.

Le bassin de la Seybouse atteint 1600 m à son point culminant au sommet de Djebel Sidi

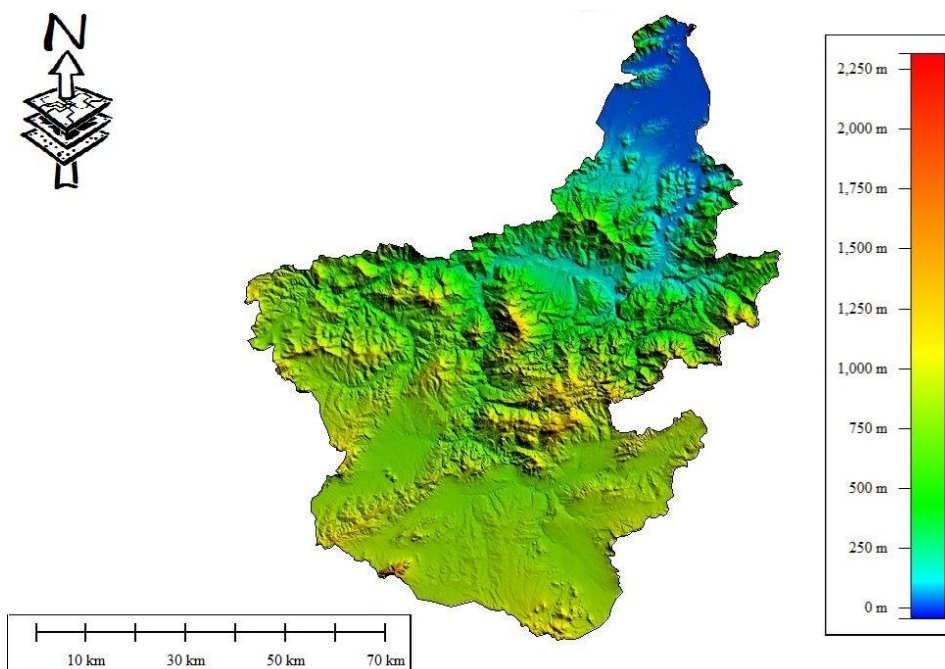


Reghis à la limite sud du bassin versant, tandis que le point le plus bas 0,00m correspond à la station hydrométrique de Mirbek.

La distribution des altitudes est représentée dans le Tableau suivant :

**Tableau (03) : Répartition Altimétrique du bassin (donnée de ANRH)**

Altitude(m)	S.Partielle Si (Km <sup>2</sup> )	S.Cumulée (Km <sup>2</sup> )	Si (%)	Si.Cumulée (%)	Altitude moy hi(Km)	Dénivelée Di (m)	Volume montagneux ((Si+Si+1)/2).hi (Km <sup>3</sup> )
1600		0		0			0
	5.86		0.09		1.5	200	
1400		5.86		0.09			0.586
	17.28		0.26		1.3	200	
1200		23.14		0.35			2.900
	159.41		2.43		1.1	200	
1000		182.55		2.78			20.569
	2867.85		43.65		0.9	200	
800		3050.4		46.43			323.295
	1693.42		25.77		0.7	200	
600		4743.82		72.2			779.422
	844.92		12.86		0.5	200	
400		5588.74		85.06			1033.256
	478.78		7.29		0.3	200	
200		6067.52		92.35			1165.626
	502.48		7.65		0.1	200	
0		6570		100			1263.752
<b>Total</b>	<b>6570</b>		<b>100</b>				



**Figure (19) : Modèle Numérique de terrain du bassin versant de la seybouse**

### II.6.2. Les Pentes

La pente topographique est un élément capital dans le comportement hydrologique du bassin. L'approche de ce paramètre est abordée avec des indices fréquemment utilisés par les hydrologues, leur but est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

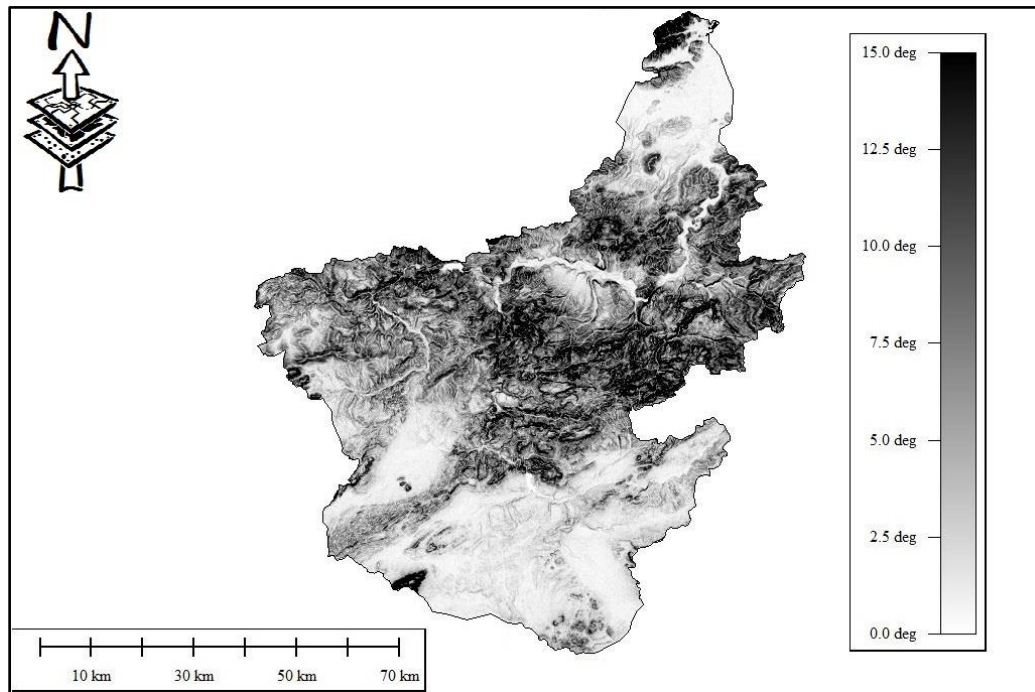


Figure (20) : Carte des pentes du bassin versant de la Seybouse.

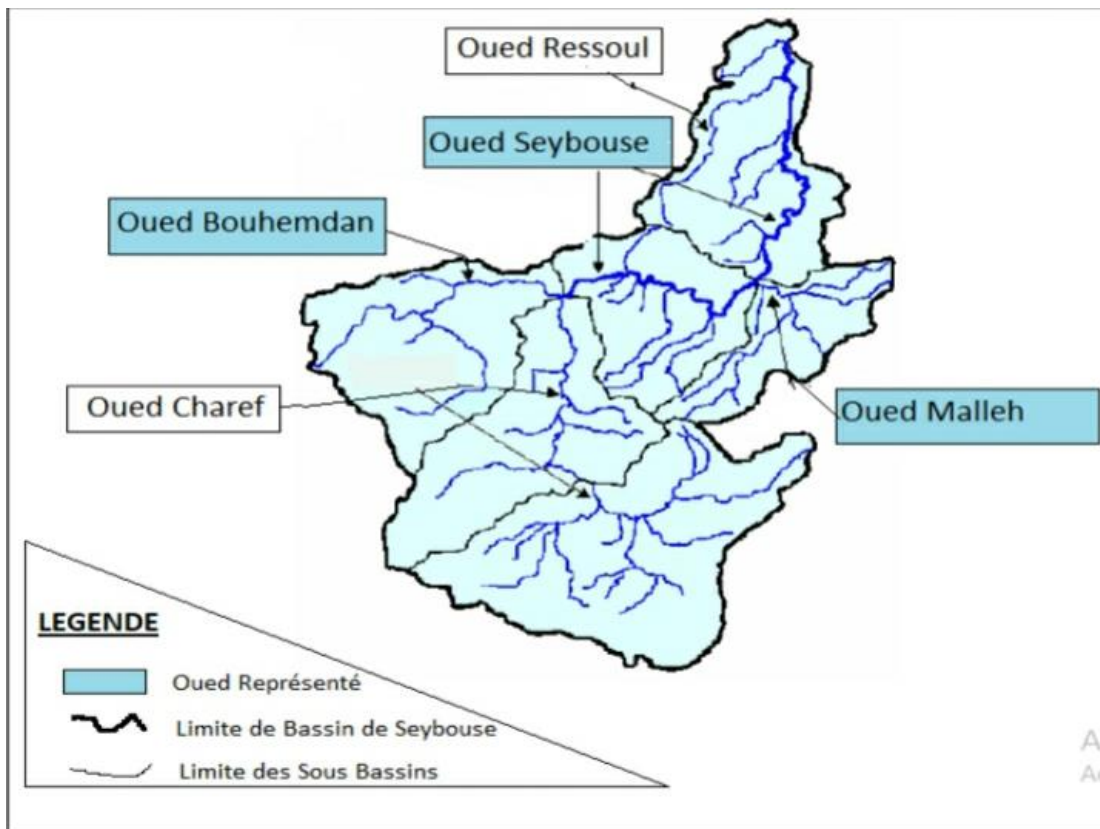
### II.7. Réseaux hydrographiques de bassin versant de la seybouse

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et converge vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

Le réseau hydrographique du bassin de la Seybouse possède un régime hydrologique de type pluvial, fortement dominé par les précipitations sur l'ensemble de l'année avec un chevelu hydrologique de plus de (3.000Km).

Quarante deux oueds ont une longueur supérieure à 10Km, dont deux : le Cherf (88.61Km), et le **Bouhamdane** (37.49Km), se réunissent à Medjez Amar pour donner naissance à l'**oued Seybouse**

(134.74Km), qui serpente vers le Nord en parcourant la basse plaine d'Annaba, souvent inondée au moment des crues, avant de se jeter dans la baie d'Annaba par l'estuaire de **Sidi Salem** (BOUCHELAGHEM, 2007).



**Figure (21)** : Réseau hydrographique du bassin (ABH, 2014)

## II.8. Réseaux de mesures pluviométriques

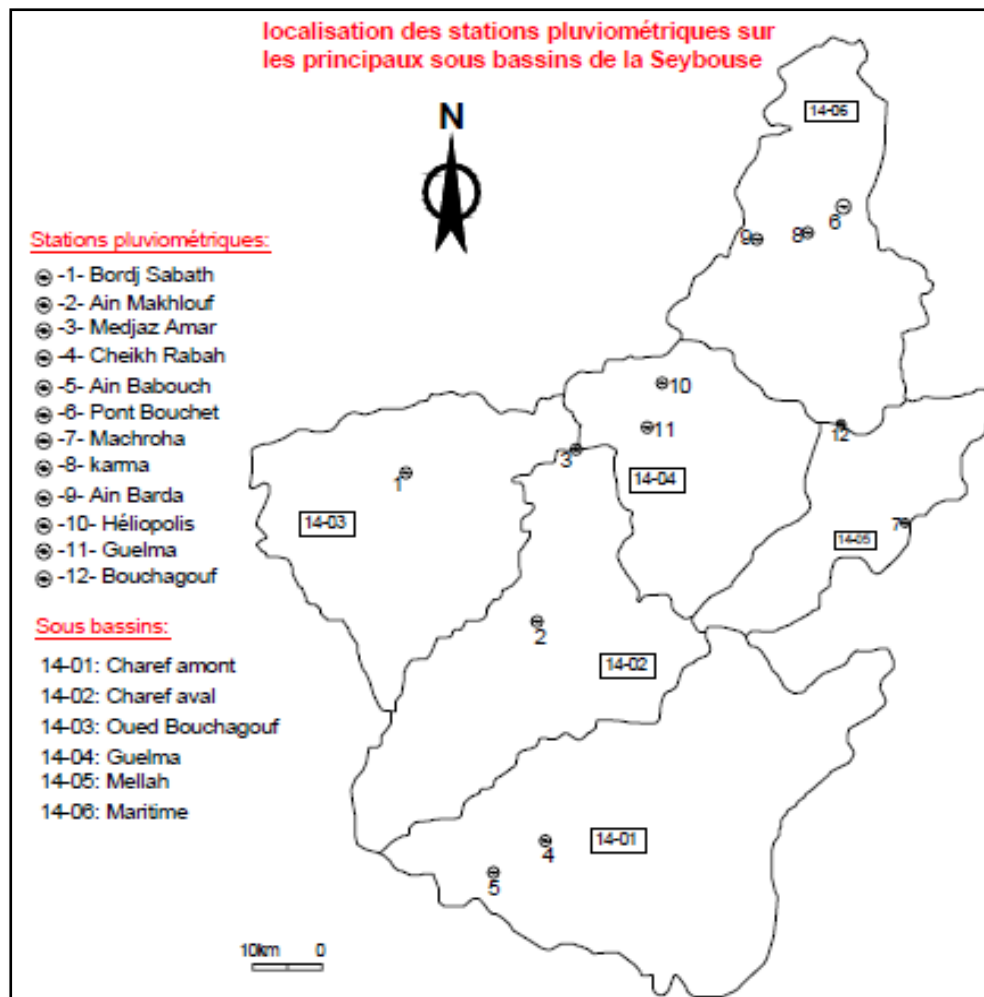
Le réseau pluviométrique comprend douze stations pluviométriques réparties sur l'ensemble de la surface de bassin versant de la Seybouse, ce qui correspond à une densité moyenne d'un poste pour 572 km<sup>2</sup> (figure 22).

Le tableau ci-dessous présente la liste des stations pluviométriques existant dans le bassin qui fait l'objet de la zone d'étude.

Les séries de données pluviométriques utilisées dans cette étude ont été fournies par l'ANRH de Constantine.

**Tableau (04)** : Les stations pluviométriques de bassin versant de la Seybouse.

N°	Nom de station	Code	coordonnées			Période d'observation
			X (km)	Y (km)	Z(m)	
01	Kef Morad	140111	953.298	389.544	-	36
02	Ain barda	140606	937.288	387.737	55	36
03	Ain Makhlouf	140205	909.02	336.820	834	26
04	Boucheghouf	140505	948.726	362.494	800	26
05	Bordj Sabath	140302	888.736	355.020	525	26
06	El Karma	140609	943.694	394.665	71	33
07	Héliopolise	140403	924.841	366.790	780	36
08	Guelma	140412	923.812	361.249	760	26
09	Machroha	140502	961.150	351.550	750	34
10	M'djaz Amar	140313	913.054	359.067	428	28
11	Pont Bouchet	140631	946.976	402.826	47	36
12	Les salines	030624	952.790	406.114	-	36



**Figure (22) :** localisation des stations pluviométriques sur les principaux sous bassin de la seybouse

## II.9. Diagnostic du réseau de mesure

Le bassin de la Seybouse comporte six sous bassins versants, dans notre étude en prend que les zones urbain lors du choix de nombre et de l'emplacement de station pluviométrique. Nous allons analyser la suffisance du réseau d'observation en appliquons plusieurs lois qui proposent le nombre de stations de mesure optimale par sous bassin versant, nous avons obtenu les résultats suivants :

Les lois appliquées lors du choix de nombre de pluviographes :

- a) Niemczynowicz Un pluviographe par 1 km<sup>2</sup>

**Tableau (05) :** Nombre de pluviographe selon Niemczynowicz.

Sous – bassins	Superficie (km <sup>2</sup> )	Nombre de pluviographe	Nom de sous-Bassin	Caractère général
14-01	1739	1739	Charef amont	Haute Seybouse
14-02	1166	1166	Charef aval	Moyenne Seybouse
14-03	1226	1226	Oued Bouchagouf	
14-04	818	818	Guelma	
14-05	555	555	Mellah	
14-06	1066	1066	Maritime	Basse Seybouse
<b>Total</b>	<b>6570</b>	<b>6570</b>	/	/

b) Shiling propose de déterminer le nombre de pluviographe à l'aide de formules :

$$N_p = A^{0.5} \quad \text{avec } A \text{ surface du BV en Km}^2$$

**Tableau (06) :** Nombre de pluviographe selon Shiling.

Sous – bassins	Superficie (km <sup>2</sup> )	Nombre de pluviographe	Nom de sous-Bassin	Caractère général
14-01	1739	42	Charef amont	Haute Seybouse
14-02	1166	34	Charef aval	Moyenne Seybouse
14-03	1226	35	Oued Bouchagouf	
14-04	818	28	Guelma	
14-05	555	24	Mellah	
14-06	1066	33	Maritime	Basse Seybouse
<b>Total</b>	<b>6570</b>	<b>196</b>	/	/

c) Paturol et al (1986) estime le nombre de pluviographe à l'aide de formule :

$$N_p = 2.5955 A^{0.457} \quad \text{Avec } A \text{ surface du BV en Km}^2.$$

**Tableau (07) :** Nombre de pluviographes selon Paturel et al (1986).

Sous – bassins	Superficie (km <sup>2</sup> )	Nombre de pluviographe	Nom de sous-Bassin	Caractère général
14-01	1739	79	Charef amont	Haute Seybouse
14-02	1166	65	Charef aval	Moyenne Seybouse
14-03	1226	67	Oued Bouchagouf	
14-04	818	56	Guelma	
14-05	555	47	Mellah	
14-06	1066	63	Maritime	Basse Seybouse
<b>Total</b>	<b>6570</b>	<b>377</b>	/	/

## II.10.Synthèse

D'après ce que nous avons analysé, nous pouvons voir que :

- Le nombre de pluviomètres qui fonctionnent dans le bassin versant de la Seybouse est insuffisant pour déterminer le phénomène pluviométrique.
- hétérogénéité dans la répartition des stations de mesure sur l'ensemble du bassin versant.
- Le pas de temps des mesures est aussi inadapté.

La validité de la portée de toute étude hydrologique dépend principalement de disponibilité d'une longue série de pluies de bonne qualité. Dans le cas où prévisions hydrologiques ou études sur les risques de pluie, les modèles proposés nécessitent un enregistrement de données complet qui contient autant d'informations importantes que possible. Donc, la série de données tronquées sur les précipitations doit être comblée. Il est Nécessaire ensuite pour être traité et analysé à travers les tests statistiques les plus célèbres.

# **Chapitre III**

## **Collecte et critique des données**



### III.1. Introduction

L'objectif principal de ce chapitre est d'étudier et de vérifier la fiabilité des données par les modèles de simulation et de prévision. En effet, les données observées sont la seule méthode pour étudier et comprendre le comportement des phénomènes naturels. Ils doivent donc comprendre les techniques nécessaires à l'analyse et à la critique de ces données afin d'obtenir le maximum d'informations sur l'échantillon et d'assurer leur qualité, donc il faut que les séries temporelles (chronologique) collectées au niveau des stations de mesure sont analysées et traitées statistiquement.

Les étapes pour vérifier et corriger nos données incluent le remplissage (comblement) des données des sites incomplets, la détection d'éventuelles anomalies dans les observations, la vérification de l'homogénéité, et enfin la détection des valeurs singulières de ces dernières.

### III.2. Critique des données

Les types de problèmes le plus souvent rencontrés lors du traitement des données en hydrologie sont :

- Le manque de données : station non existante ;
- Non continuité des données : manque d'enregistrements à une station ;
- La mauvaise qualité des données, qui peut dépendre de deux causes :
  - Données inconsistantes : lorsqu'elles sont entachées d'une erreur systématique due à des instruments de mauvaise qualité ou non calibrés.
  - Données non homogènes : lorsqu'il se produit à un moment donné, un changement de l'emplacement de l'appareil qui affecte la mesure (déplacement de la station de mesure ou changement d'appareil).

Afin de garantir la qualité des données, nous devons suivre les étapes suivantes :

- Combler les lacunes des séries observées si elles existent.
- Détecter et corriger les valeurs douteuses.
- Vérifier l'homogénéité des données. [23]

### III.3. Présentation des données

Les séries de données utilisées dans notre étude ont été gracieusement offertes par l'Agence nationale des ressources hydrique (ANRH), les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau (08) :** Le réseau de mesure existant dans le bassin versant – Seybouse –

Nom de station	Code	Coordonnées			Type de mesure	Période d'observation
		X (km)	Y (km)	Z (km)		
Kef Morad	140111	953.298	389.544	-	Cumul journalier	36
Ain barda	140606	937.288	387.737	55	Pas de temps variable	36
Ain Makhlouf	140205	909.02	336.820	834	Cumul journalier	26
Boucheghouf	140505	948.726	362.494	800	Cumul journalier	26
Bordj Sabath	140302	888.736	355.020	525	Cumul journalier	26
El Karma	140609	943.694	394.665	71	Cumul journalier	33
Héliopolice	140403	924.841	366.790	780	Cumul journalier	36
Guelma	140412	923.812	361.249	760	Pas de temps variable	26
Machroha	140502	961.150	351.550	750	Cumul Journalier	34
M'djaz Amar	140313	913.054	359.067	428	Pas de temps variable	28
Pont Bouchet	140631	946.976	402.826	47	Pas de temps variable	36
Les salines	030624	952.790	406.114	-	Pas de temps variable	36

### III.4. Comblement de lacunes

#### III.4.1. Méthodes de comblement des lacunes

L'estimation des valeurs manquantes est une étape nécessaire avant d'aborder la problématique de l'homogénéisation. En effet, la présence de plusieurs valeurs manquantes dans les séries des pluies constitue un handicap majeur pour calculer les valeurs des pluies mensuelles, saisonnières et annuelles. Et par la suite un handicap majeur dans l'homogénéisation des séries de pluies.

Nous pouvons estimer les valeurs manquantes ou erronées à une station à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique. Plusieurs méthodes sont proposées pour cela:

- Remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche.
- Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines. Cette méthode est utilisée lorsque les valeurs moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas plus de 10 % des valeurs moyennes annuelles des stations de référence [23].
- Remplacer la valeur manquante par une moyenne pondérée par la tendance annuelle des stations pluviométriques par exemple, soit :

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\bar{P}_x}{\bar{P}_i} P_i \right]$$

**P<sub>x</sub>** : Donnée manquante de précipitation (par exemple) à estimer.

**n** : Nombre de stations de référence.

**P<sub>i</sub>** : Précipitation à la station de référence.

**P<sub>x</sub>** : Précipitation moyenne de la station.

**P<sub>i</sub>** : Précipitation moyenne de la station de référence.

- Remplacer la valeur manquante par la moyenne interannuelle de la série considérée.

### III.4.2. Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire

- **Principe de base**

Pour notre cas sept stations pluviométrique présentent des lacunes à l'échelle des pluies journalières maximales (Tab.9), pour combler ces lacunes nous avons utilisé la méthode de régression linéaire, cette méthode consiste à estimer les valeurs manquantes d'une série pluviométrique lacunaire à partir des observations d'une autre station de série continue et homogène, pour que cette méthode soit efficace il faut que la régression soit linéaire et que les variables confrontées suivant une loi normale, On estime la variable y à partir de la variable x par la droite:

$$Y = a x + b$$

La variable x est observé n fois de la station de référence, et la variable y observée k fois avec  $n > k$ , soit le nombre de couples (x, y), on se propose, à partir de ces couples d'établir la droite de régression de y en x puis, à partir des valeurs de x reconstituer les (n - k) valeur de y non observée.

Soient le  $\bar{x}_k; \bar{y}_k; k\sigma_x ; k\sigma_y$  les moyennes et les écarts-types déterminés à partir des k couples ainsi que le coefficient de corrélation r correspondants:

La régression de (y) en (x) s'écrit :

$$Y_j = r k \left( \frac{k\sigma_y}{k\sigma_x} \right) * (x_j - \bar{x}_k) + \bar{y}_k$$

Ainsi les (n - k) valeurs de y qui manquent seront reconstitués. Le nombre d'années "efficace" ou " fictives "dit aussi l'efficacité de l'extension [E] d'observation 'n', dans lesquelles on aurait la même confiance que si elle avait été réellement faites pendant « n » est donnée une matrice d'évaluation du coefficient de corrélation.

**Tableau (09) :** Matrice d'évaluation du coefficient de corrélation de couples de stations des pluies journalières maximales annuelles.

<b>Coef R<sup>2</sup></b>	<b>Ain Makhlouf</b>	<b>Bordj Sabath</b>	<b>Boucheouf</b>	<b>El kerma</b>	<b>Guelma</b>	<b>Mechroha</b>	<b>Madjaz Amar</b>
<b>Ain Berda</b>	0.32	0.33	0.35	0.54	0.52	0.14	0.37
<b>Pont Bouchet</b>	0.48	0.51	0.51	0.61	0.60	0.29	0.69
<b>Les Salines</b>	0.34	0.52	0.30	0.41	0.30	0.12	0.21
<b>Hélioplice</b>	<b>0.81</b>	<b>0.76</b>	<b>0.64</b>	0.46	<b>0.85</b>	0.37	<b>0.78</b>
<b>Kef Morad</b>	0.43	0.50	0.53	<b>0.71</b>	0.62	0.18	0.54

**Tableau (10) :** Séries des PJ max annuelles disponible.

Année	Station						
	Héliopolice	Kef Morad	Guelma	Mechroha	Bordj Sabath	Ain Makhlouf	El kerma
1970	18	39	-	40	-	-	-
1971	67	70	-	85	-	-	41.8
1972	92.4	82.2	-	144	-	-	62.4
1973	39	68.2	-	73	-	-	41.2
1974	52.5	53.7	-	78	-	-	-
1975	36.4	34	-	-	-	-	-
1976	51.2	72.4	-	40.4	-	-	82.2
1977	31.7	51.2	-	48.6	-	-	20.6
1978	51	73.2	-	41.9	-	-	78.8
1979	31.4	25	-	62.1	-	-	35.7
1980	50.9	27.4	42	25.1	46	45	32.2
1981	33.3	35.5	41.7	36.4	30.7	26	43
1982	39.3	71	46	54.6	39.4	30.5	67.2
1983	94.6	38.5	74.5	67.1	61	60	42.3
1984	72.1	54	58.7	65.1	109.5	110	44.7
1985	40.4	36	22.9	-	33.2	24	34
1986	43	33.3	48.4	65.7	47.3	40.5	35.8
1987	22.7	22.1	25	49.9	28.4	30	21.7
1988	54.6	38.5	39.5	23.2	31.4	34	53.2
1989	33.3	36.2	33.8	38	37.9	37	41.5
1990	37.3	55.3	44	35.3	38.3	30	69.9
1991	58.8	64.2	44	41.6	48.3	48	59.3
1992	108.6	145.6	82	40	89.6	81.5	86.5
1993	46.6	47.5	48	16.3	43.5	66	41.5
1994	54.5	42.5	35.5	44.4	48	62	47.7
1995	41.5	30.7	38	48.5	55	13.2	38.1
1996	24.7	34.1	15	42.9	24.4	8.6	29
1997	46	48.5	51	26.3	42.6	55.5	43.6

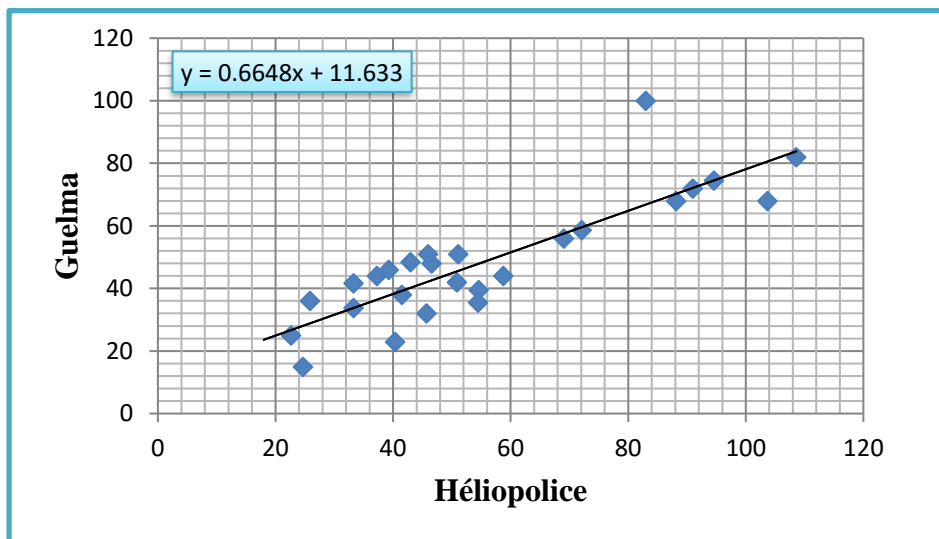
<b>1998</b>	69.1	47.2	56	72.6	29.4	62.5	62.8
<b>1999</b>	83	87	100	55.4	63.83	71.2	63.2
<b>2000</b>	45.7	42.3	32	44.1	42.94	41.1	24.8
<b>2001</b>	25.9	47.3	36	35	31.85	25.1	32.7
<b>2002</b>	88.2	75.5	68	65.1	66.74	75.62	106.3
<b>2003</b>	51.1	61	51	57.4	45.97	45.57	48.3
<b>2004</b>	91	53.8	72	65.9	68.31	77.89	45.8
<b>2005</b>	103.7	33.6	68	48.3	75.42	88.18	32.5

<b>Année</b>	<b>Station</b>				
	<b>Ain Berda</b>	<b>Pont Bouchet</b>	<b>Les Salines</b>	<b>Boucheougouf</b>	<b>Madjaz Amar</b>
<b>1970</b>	44.2	43.39	42.5	-	-
<b>1971</b>	63.7	57.1	50	-	-
<b>1972</b>	50.4	68.32	57.4	-	-
<b>1973</b>	60.2	32.83	85.8	-	-
<b>1974</b>	39	35.51	23.6	-	-
<b>1975</b>	27	54.81	17.8	-	-
<b>1976</b>	35.3	48.9	19.4	-	-
<b>1977</b>	73	48.9	42.1	-	-
<b>1978</b>	27	57.7	27.2	-	51.6
<b>1979</b>	70	34	88.3	-	31.8
<b>1980</b>	27.5	30	43	51.8	51.3
<b>1981</b>	41	38.4	55.2	37.9	41.9
<b>1982</b>	87	114.6	43.1	46.2	63.8
<b>1983</b>	54	57.3	73.6	44.3	60.9
<b>1984</b>	38	83.7	84.2	58.7	79.5
<b>1985</b>	33	22.3	16.4	31.4	28.8
<b>1986</b>	41	23.6	42.1	37	46.9
<b>1987</b>	18.5	26.2	26.7	30	48.1
<b>1988</b>	78	47.4	64.2	40.6	45.7
<b>1989</b>	45	54	49	35.4	49.3

1990	54	45	45	33.6	44.1
1991	71.5	58	43	47.3	57.3
1992	93	71	63	74.1	81.3
1993	42.5	32.8	46.5	46.8	49
1994	51.5	32.8	61.4	31.8	44.1
1995	38	44.5	67	41.4	63.1
1996	24	48.5	44.4	52.5	16.8
1997	52.5	43	46.8	52	45.7
1998	38	60	36.9	55.7	49.8
1999	63.2	82.8	48.2	120	85.5
2000	24.8	28.7	62.3	38.2	42.8
2001	32.7	39	56.8	25.9	30.6
2002	106.3	101	40.4	62.5	58.1
2003	48.3	38.7	26.2	63.7	51.38
2004	45.8	82.9	74.2	48.4	72.53
2005	46	61.8	39.6	82.7	79.26

### III.4. 2.1. Cas des pluies journalières maximales de la station de Guelma

Pour estimer les valeurs manquantes de la station de Guelma, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station de Héliopolice (station de base) et la station de Guelma (fig.23 ; tableau.11).

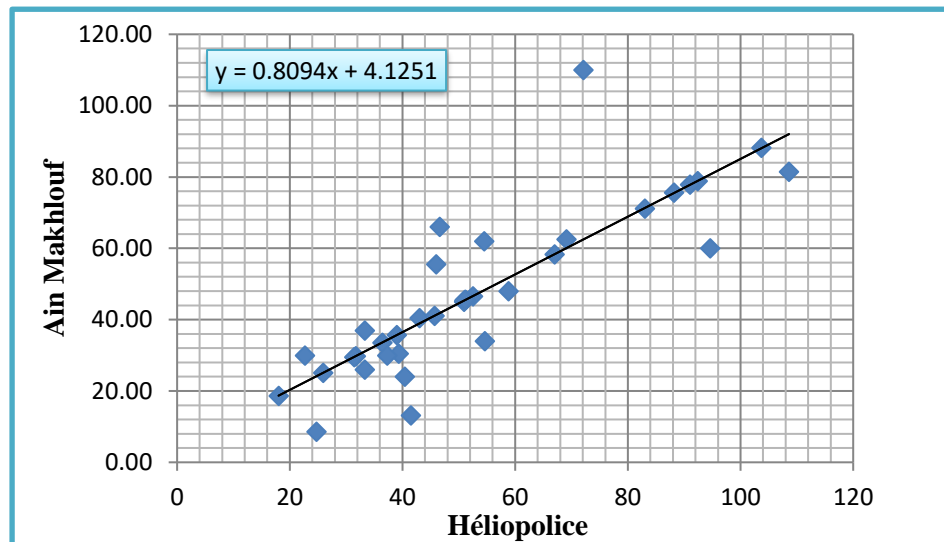


**Figure (23) :** Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station Héliopolice – Guelma.



### III.4. 2.2. Cas des pluies journalières maximales de la station d'Ain Makhlouf

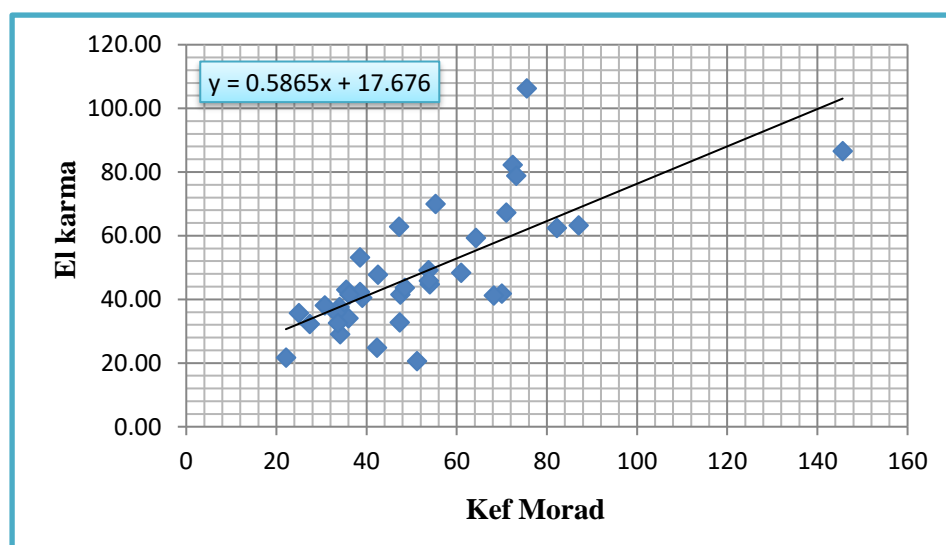
Pour estimer les valeurs manquantes de la station d'Ain Makhlouf, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station Héliopolice (station de base) et la station d'Ain Makhlouf (Fig.24; tableau.11).



**Figure (24) :** Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station Héliopolice – Ain Makhlouf.

### III.4. 2.3. Cas des pluies journalières maximales de la station d'el kerma

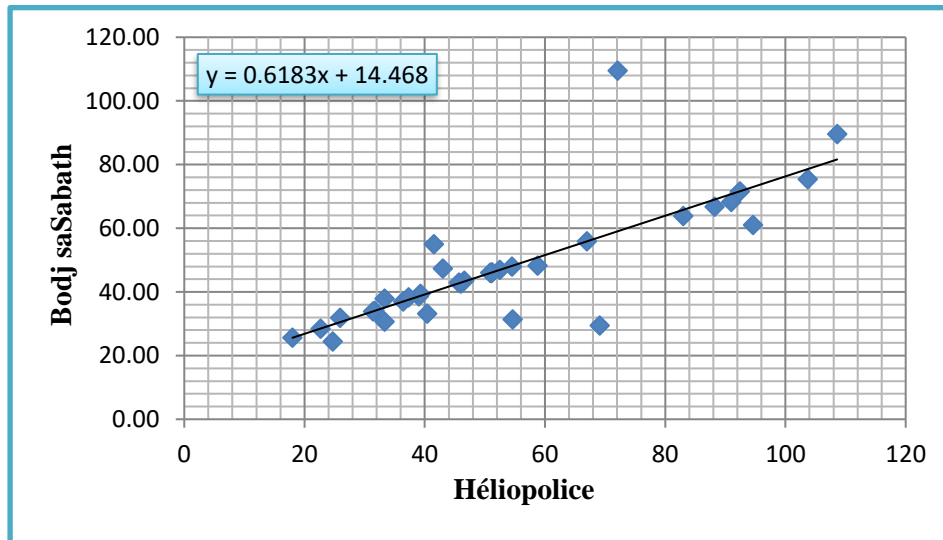
Pour estimer les valeurs manquantes de la station d'el kerma, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station Kef Morad (station de base) et la station d'el karma (Fig.25; tableau.11).



**Figure (25) :** Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station Kef Morad – El karma.

### III.4. 2.4. Cas des pluies journalières maximales de la station Bordj Sabath

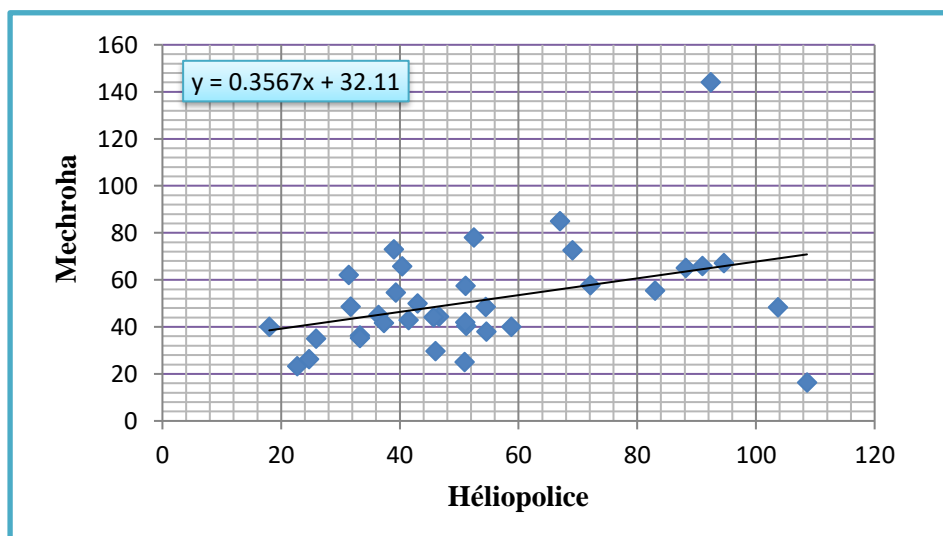
Pour estimer les valeurs manquantes de la station Bordj Sabath, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station Héliopolice (station de base) et la station de Bordj Sabath (Fig.26; tableau.11).



**Figure (26) :** Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station **Héliopolice – Bordj Sabath.**

### III.4. 2.5. Cas des pluies journalières maximales de la station Mechroha

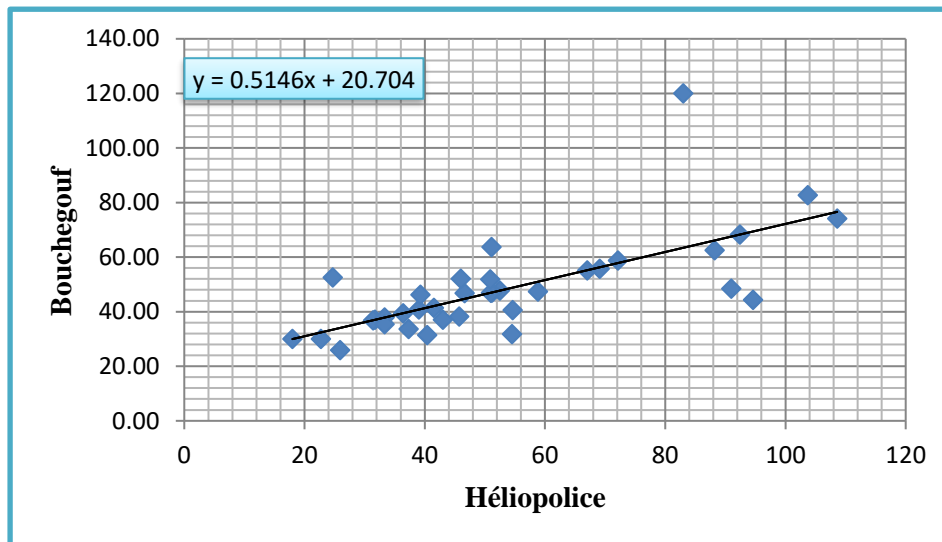
Pour estimer les valeurs manquantes de la station Mechroha, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station Héliopolice (station de base) et la station de Mechroha (Fig.27; tableau.11).



**Figure (27) :** Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station **Héliopolice – Mechroha**

### III.4. 2.6. Cas des pluies journalières maximales de la station Bouchegouf

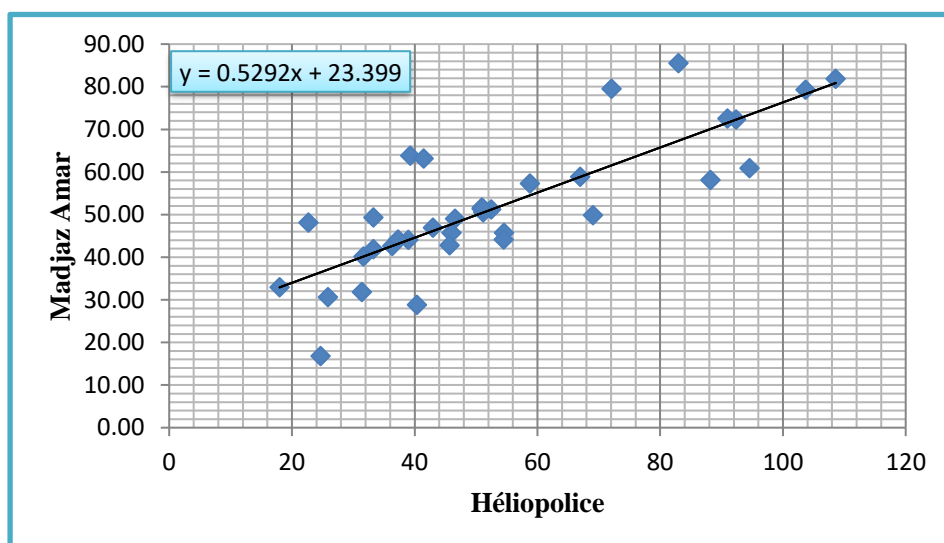
Pour estimer les valeurs manquantes de la station Bouchegouf, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station Héliopolice (station de base) et la station de Bouchegouf (Fig.28; tableau.11).



**Figure (28) :** Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station **Héliopolice – Bouchegouf**

### III.4. 2.7. Cas des pluies journalières maximales de station Madjaz Amar

Pour estimer les valeurs manquantes de la station Madjaz Amar, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station Héliopolice (station de base) et la station de Madjaz Amar (Fig.29; tableau.11).



**Figure (29) :** Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station **Héliopolice – Madjaz Amar**

**Tableau (11) :** Série des 36 années des PJ max annuelles reconstitué.

Année	Station						
	Héliopolice	Kef Morad	Guelma	Mechroha	Bordj Sabath	Ain Makhlouf	El kerma
<b>1970</b>	18	39	<b>23.58</b>	40	<b>25.59</b>	<b>18.69</b>	<b>40.53</b>
<b>1971</b>	67	70	<b>56.12</b>	85	<b>55.88</b>	<b>58.33</b>	41.8
<b>1972</b>	92.4	82.2	<b>72.98</b>	144	<b>71.57</b>	<b>78.88</b>	62.4
<b>1973</b>	39	68.2	<b>37.53</b>	73	<b>38.57</b>	<b>35.68</b>	41.2
<b>1974</b>	52.5	53.7	<b>46.49</b>	78	<b>46.92</b>	<b>46.60</b>	<b>49.14</b>
<b>1975</b>	36.4	34	<b>35.80</b>	<b>45.07</b>	<b>36.97</b>	<b>33.58</b>	<b>37.59</b>
<b>1976</b>	51.2	72.4	<b>45.63</b>	40.4	<b>46.11</b>	<b>45.55</b>	82.2
<b>1977</b>	31.7	51.2	<b>32.68</b>	48.6	<b>34.06</b>	<b>29.77</b>	20.6
<b>1978</b>	51	73.2	<b>45.49</b>	41.9	<b>45.99</b>	<b>45.39</b>	78.8
<b>1979</b>	31.4	25	<b>32.48</b>	62.1	<b>33.88</b>	<b>29.53</b>	35.7
<b>1980</b>	50.9	27.4	42	25.1	46	45	32.2
<b>1981</b>	33.3	35.5	41.7	36.4	30.7	26	43
<b>1982</b>	39.3	71	46	54.6	39.4	30.5	67.2
<b>1983</b>	94.6	38.5	74.5	67.1	61	60	42.3
<b>1984</b>	72.1	54	58.7	<b>57.77</b>	109.5	110	44.7
<b>1985</b>	40.4	36	22.9	65.7	33.2	24	34
<b>1986</b>	43	33.3	48.4	49.9	47.3	40.5	35.8
<b>1987</b>	22.7	22.1	25	23.2	28.4	30	21.7
<b>1988</b>	54.6	38.5	39.5	38	31.4	34	53.2
<b>1989</b>	33.3	36.2	33.8	35.3	37.9	37	41.5
<b>1990</b>	37.3	55.3	44	41.6	38.3	30	69.9
<b>1991</b>	58.8	64.2	44	40	48.3	48	59.3
<b>1992</b>	108.6	145.6	82	16.3	89.6	81.5	86.5
<b>1993</b>	46.6	47.5	48	44.4	43.5	66	41.5
<b>1994</b>	54.5	42.5	35.5	48.5	48	62	47.7
<b>1995</b>	41.5	30.7	38	42.9	55	13.2	38.1
<b>1996</b>	24.7	34.1	15	26.3	24.4	8.6	29
<b>1997</b>	46	48.5	51	29.6	42.6	55.5	43.6

<b>1998</b>	69.1	47.2	56	72.6	29.4	62.5	62.8
<b>1999</b>	83	87	100	55.4	63.83	71.2	63.2
<b>2000</b>	45.7	42.3	32	44.1	42.94	41.1	24.8
<b>2001</b>	25.9	47.3	36	35	31.85	25.1	32.7
<b>2002</b>	88.2	75.5	68	65.1	66.74	75.62	106.3
<b>2003</b>	51.1	61	51	57.4	45.97	45.57	48.3
<b>2004</b>	91	53.8	72	65.9	68.31	77.89	45.8
<b>2005</b>	103.7	33.6	68	48.3	75.42	88.18	32.5

Année	Station				
	Ain Berda	Pont Bouchet	Les Salines	Bouhegouf	Madjaz Amar
<b>1970</b>	44.2	43.39	42.5	<b>29.96</b>	<b>32.92</b>
<b>1971</b>	63.7	57.1	50	<b>55.15</b>	<b>58.84</b>
<b>1972</b>	50.4	68.32	57.4	<b>68.20</b>	<b>72.28</b>
<b>1973</b>	60.2	32.83	85.8	<b>40.76</b>	<b>44.03</b>
<b>1974</b>	39	35.51	23.6	<b>47.70</b>	<b>51.17</b>
<b>1975</b>	27	54.81	17.8	<b>39.42</b>	<b>42.66</b>
<b>1976</b>	35.3	48.9	19.4	<b>47.03</b>	<b>50.48</b>
<b>1977</b>	73	48.9	42.1	<b>37</b>	<b>40.17</b>
<b>1978</b>	27	57.7	27.2	<b>46.92</b>	51.6
<b>1979</b>	70	34	88.3	<b>36.85</b>	31.8
<b>1980</b>	27.5	30	43	51.8	51.3
<b>1981</b>	41	38.4	55.2	37.9	41.9
<b>1982</b>	87	114.6	43.1	46.2	63.8
<b>1983</b>	54	57.3	73.6	44.3	60.9
<b>1984</b>	38	83.7	84.2	58.7	79.5
<b>1985</b>	33	22.3	16.4	31.4	28.8
<b>1986</b>	41	23.6	42.1	37	46.9
<b>1987</b>	18.5	26.2	26.7	30	48.1
<b>1988</b>	78	47.4	64.2	40.6	45.7
<b>1989</b>	45	54	49	35.4	49.3

<b>1990</b>	54	45	45	33.6	44.1
<b>1991</b>	71.5	58	43	47.3	57.3
<b>1992</b>	93	71	63	74.1	81.3
<b>1993</b>	42.5	32.8	46.5	46.8	49
<b>1994</b>	51.5	32.8	61.4	31.8	44.1
<b>1995</b>	38	44.5	67	41.4	63.1
<b>1996</b>	24	48.5	44.4	52.5	16.8
<b>1997</b>	52.5	43	46.8	52	45.7
<b>1998</b>	38	60	36.9	55.7	49.8
<b>1999</b>	63.2	82.8	48.2	120	85.5
<b>2000</b>	24.8	28.7	62.3	38.2	42.8
<b>2001</b>	32.7	39	56.8	25.9	30.6
<b>2002</b>	106.3	101	40.4	62.5	58.1
<b>2003</b>	48.3	38.7	26.2	63.7	51.38
<b>2004</b>	45.8	82.9	74.2	48.4	72.53
<b>2005</b>	46	61.8	39.6	82.7	79.26

### III.5. Vérification de l'homogénéité

Toutes les données ont subis un contrôle et critique statistique basée sur la technique d'homogénéisation, pour but de détecter et d'ajuster les variations qui peuvent se traduire par des points de rupture dans les séries chronologiques.

#### III.5.1. Test de Wilcoxon

C'est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs des observations, au lieu de la série de leurs valeurs.

Si l'échantillon  $X$  est issue d'une même population  $Y$ , l'échantillon  $X \cup Y$  (union de  $X$  et de  $Y$ )

En est également issu.

On procède ainsi :

Soit une série d'observation de longueur  $N$  à partir de laquelle on tire deux échantillons  $X$  et  $Y$  :  $N_1$  et  $N_2$  sont respectivement les tailles de ces échantillons, avec  $N = N_1 + N_2$  et  $N_1 \leq N_2$ .

En classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite, nous ne

Intéresserons qu'au rang de chacun des éléments des deux échantillons dans cette série. Si une Valeur se répète plusieurs fois, on lui associe le rang moyen correspondant. [23]

On calcule ensuite la somme  $W_x$  des rangs des éléments du premier échantillon dans la série

$$\text{Commune : } W_x = \sum \text{Rang } x.$$

Wilcoxon a constitué une série homogène, la quantité  $W_x$  est comprise entre deux bornes  $W_{max}$  et  $W_{min}$  donnée par les formules suivantes :

$$W_{min} = \frac{(N_1+N_2+1)N_1-1}{2} - U_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{N_1N_2+(N_1+N_2+1)}{12}}$$

$$W_{max} = (N_1+N_2+1) N_1 - W_{min}$$

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  Représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondante à

$1-\frac{\alpha}{2}$  [au seuil de confiance de 95% nous avons]  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}=1,96$ .

Nous utilisons le test de **Wilcoxon** pour vérifier l'homogénéité des données de pluies journalières maximales pour toutes les stations qui possèdent des séries continues.

Dans la suite du travail, à titre explicative, nous allons détailler les calculs pour la station Héliopole, Pour le reste des stations nous allons faire une synthèse des résultats.

### III.5.1.1. Cas des pluies journalières maximales de la station Hélioplice

Les données sont reportées sur le Tableau suivant :

**Tableau (12) : Série des pluies journalières maximales de la station Hélioplice**

<b>Années</b>	<b>Pluie journalière maximal</b>	<b>Années</b>	<b>Pluie journalière maximal</b>
<b>1970</b>	18	<b>1987</b>	22.7
<b>1971</b>	67	<b>1988</b>	54.6
<b>1972</b>	92.4	<b>1989</b>	33.3
<b>1973</b>	39	<b>1990</b>	37.3
<b>1974</b>	52.5	<b>1991</b>	58.8
<b>1975</b>	36.4	<b>1992</b>	108.6
<b>1976</b>	51.2	<b>1993</b>	46.6
<b>1977</b>	31.7	<b>1994</b>	54.5
<b>1978</b>	51	<b>1995</b>	41.5
<b>1979</b>	31.4	<b>1996</b>	24.7
<b>1980</b>	50.9	<b>1997</b>	46
<b>1981</b>	33.3	<b>1998</b>	69.1
<b>1982</b>	39.3	<b>1999</b>	83
<b>1983</b>	94.6	<b>2000</b>	45.7
<b>1984</b>	72.1	<b>2001</b>	25.9
<b>1985</b>	40.4	<b>2002</b>	88.2
<b>1986</b>	43	<b>2003</b>	51.1
		<b>2004</b>	91
		<b>2005</b>	103.7

Nous formons ensuite le (Tab : 13) pour faciliter les calculs. On commence par diviser notre série pluviométrique en deux échantillons de longueurs  $N_1=17$  valeurs et  $N_2 =19$  valeurs, dans la première colonne, on porte le premier échantillon X; dans la deuxième colonne, on porte le deuxième échantillon Y; dans la troisième et la quatrième colonne, on porte



Respectivement les rangs et les valeurs classées de la série originale et, dans la cinquième colonne, l'origine de la valeur de la série, c'est à-dire on note si elle provient de l'échantillon X ou de Y.

**Tableau (13) :** Application de la méthode de **Wilcoxon** pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies maximales journalières de la station **Hélioplice**

Année	Donnés	X	Y	Rang	XUY	Origine	$\Sigma$ Rang(X)
1970	18	18	22,7	1	18	X	1
1971	67	67	54,6	2	22,7	Y	
1972	92,4	92,4	33,3	3	24,7	Y	
1973	39	39	37,3	4	25,9	Y	
1974	52,5	52,5	58,8	5	31,4	X	5
1975	36,4	36,4	108,6	6	31,7	X	6
1976	51,2	51,2	46,6	7	33,3	X	7
1977	31,7	31,7	54,5	8	33,3	Y	
1978	51	51	41,5	9	36,4	X	9
1979	31,4	31,4	24,7	10	37,3	Y	
1980	50,9	50,9	46	11	39	X	11
1981	33,3	33,3	69,1	12	39,3	X	12
1982	39,3	39,3	83	13	40,4	X	13
1983	94,6	94,6	45,7	14	41,5	Y	
1984	72,1	72,1	25,9	15	43	X	15
1985	40,4	40,4	88,2	16	45,7	Y	
1986	43	43	51,1	17	46	Y	
1987	22,7		91	18	46,6	Y	
1988	54,6		103,7	19	50,9	X	19
1989	33,3			20	51	X	20
1990	37,3			21	51,1	Y	
1991	58,8			22	51,2	X	22
1992	108,6			23	52,5	X	23
1993	46,6			24	54,5	Y	
1994	54,5			25	54,6	Y	
1995	41,5			26	58,8	Y	
1996	24,7			27	67	X	27
1997	46			28	69,1	Y	
1998	69,1			29	72,1	X	29

<b>1999</b>	83			30	83	<b>Y</b>	
<b>2000</b>	45,7			31	88,2	<b>Y</b>	
<b>2001</b>	25,9			32	91	<b>Y</b>	
<b>2002</b>	88,2			33	92,4	<b>X</b>	<b>33</b>
<b>2003</b>	51,1			34	94,6	<b>X</b>	<b>34</b>
<b>2004</b>	91			35	103,7	<b>Y</b>	
<b>2005</b>	103,7			36	108,6	<b>Y</b>	

Somme Rang  $x = 286$

$X = 17$  ;  $Y = 19$

$W_{min} = 252.15$

$W_{max} = 376.85$

Sachant que  $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$  pour un niveau significatif  $\alpha = 5\%$ . On vérifie l'inégalité

$W_{min} < \Sigma \text{Rang } x < W_{max}$

C'est-à-dire que :  $252.15 < 286 < 376.85$

L'inégalité est donc vérifiée, et notre série donc est homogène.

**Tableau (14) : Résultats de Test de Wilcoxon sur les stations de bassin versant De la seyhouse**

Nom de la station	Test de Wilcoxon			L'inégalité	Observation
	$W_{min}$	$W_{max}$	$\Sigma \text{Rang } (x)$		
<b>MECHROHA</b>	215.92	339.08	336	$215.92 < 336 < 339.08$	Homogène
<b>AIN BERDA</b>	252.15	376.85	311	$252.15 < 311 < 376.85$	Homogène
<b>PONT BOUCHET</b>	252.15	376.85	300	$252.15 < 300 < 376.85$	Homogène
<b>LES SALINES</b>	252.15	376.85	293	$252.15 < 293 < 376.85$	Homogène

<b>GUELMA</b>	252.15	376.85	301	$252.15 < 301 < 376.85$	Homogène
<b>BOUCHEGOUF</b>	252.15	376.85	287	$252.15 < 287 < 376.85$	Homogène
<b>AIN MAKHOLOUF</b>	252.15	376.85	280	$252.15 < 280 < 376.85$	Homogène
<b>MADJAR AMAR</b>	252.15	376.85	260	$252.15 < 260 < 376.85$	Homogène
<b>BORDJ SABATH</b>	252.15	376.85	310	$252.15 < 310 < 376.85$	Homogène
<b>KEF MORAD</b>	252.15	376.85	313	$252.15 < 313 < 376.85$	Homogène
<b>EL KERMA</b>	252.15	376.85	297	$252.15 < 297 < 376.85$	Homogène

### III.6. Vérification des valeurs singulières

#### III.6.1. Détection des valeurs singulières

Il arrive souvent que des erreurs se glissent dans les données de base et en faussent complètement le contenu. Cela peut se produire lors de la mesure, de la transmission, du codage, du stockage ou du décodage de la valeur observée, ou du fait de la valeur intégrée après avoir comblé les lacunes.

Par conséquent, il est très important de détecter ces erreurs graves avant tout traitement afin qu'une analyse plus détaillée puisse être effectuée pour déterminer si ces données suspectes sont exceptionnelles et doivent donc être éliminées, ou s'il s'agit de données anormales, et doivent donc, au contraire, être soigneusement conservées.

### III.6.2. Test de Grubbs et Beck

Ce test détecte les valeurs aberrantes d'une distribution normale. Les données testées sont les valeurs minimales et maximales. Ce test est largement utilisé en raison de sa simplicité. Il permet de détecter la singularité de la séquence en calculant les statistiques suivantes:

$$X_{max} = (\bar{x} + s * k)$$

$$X_{min} = (\bar{x} - s * kn)$$

Avec :

$\bar{x}$  : La moyenne.

$s$  : La racine de variance.

$kn$  : Valeur statistique du test de Grubbs et Beck, tabulée pour différentes tailles d'échantillons et de niveaux de signification.

**Tableau(15):** Test de représentativité de **Grubbs et Beck**.

Nom de station	Héliopolice	Kef Morad	Guelma	Mechroha	Bordj Sabath	Ain Makhlouf
Xmax	121.38	118.03	98.26	115.55	99.67	112.19
Xmin	14.13	13.73	3.71	11.10	4.42	17.14
Kn	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82
Nom de station	El kerma	Ain Berda	Pont Bouchet	Les Salines	Boucheouf	Madjaz Amar
Xmax	102.08	107.18	111.78	101.52	98.43	95.76
Xmin	5.55	8.02	9.04	4.12	1.82	7.77
Kn	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82

**III.7 Conclusion**

Certains tests statistiques sont utilisés pour ajuster les précipitations journalières maximales. Les échantillons considérés proviennent de différentes régions de la ville d'Annaba et Guelma. Les données manquantes sont estimées par des méthodes de régression linéaire et une moyenne arithmétique, après avoir utilisé des tests appropriés pour vérifier l'homogénéité et la détection des valeurs singulière.



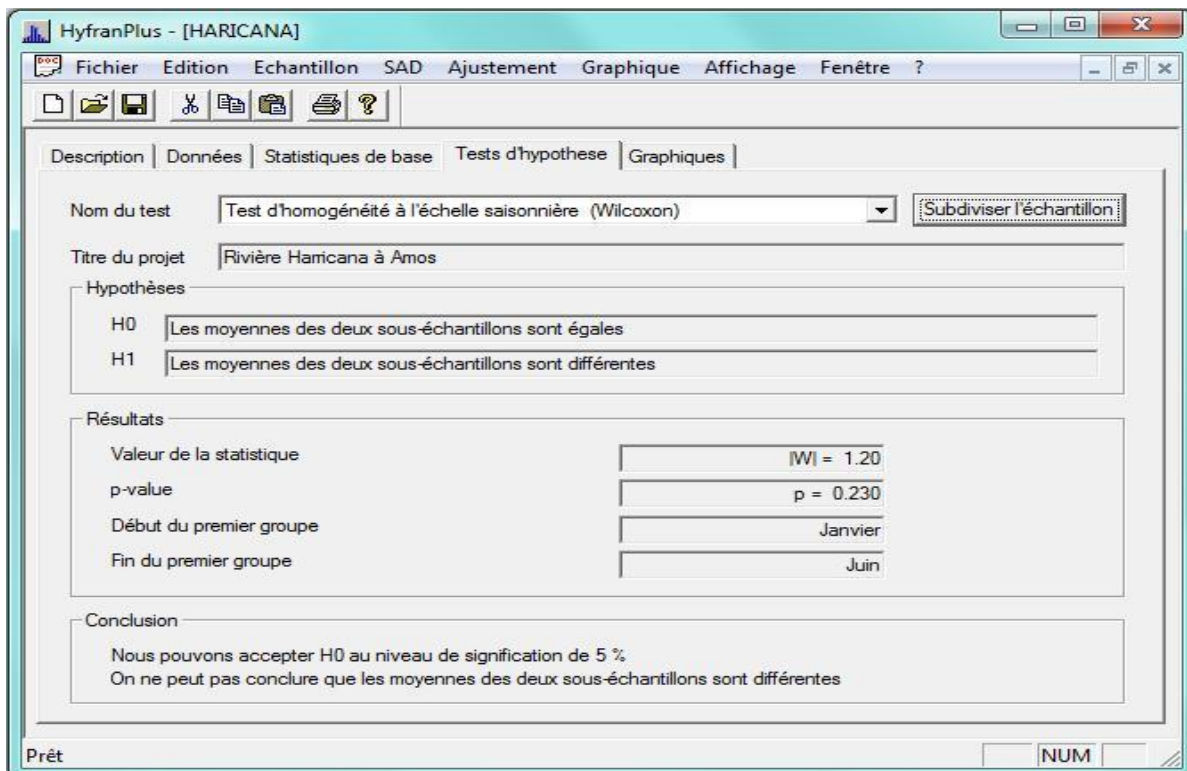
**Chapitre IV**  
**Analyse fréquentielle**

## IV.1. Introduction

Une bonne compréhension de la pluviométrie dans une zone permet d'obtenir des valeurs plus ou moins précises de précipitations mesurées. Avant d'être utilisées dans n'importe quelle étude hydrologique les séries de précipitations nécessitent un certain traitement pour déterminer les valeurs centrales et extrêmes. Afin d'atteindre sa valeur, divers processus sont nécessaires, comme la création d'une série de valeurs mesurées et l'ajustement des lois statistiques les plus connues. Dans ce chapitre, nous allons utiliser la loi de GUMBEL pour estimer les pluies de différentes périodes de retour.

## IV.2. Présentation du logiciel Hyfran Plus

Le logiciel HYFRAN-PLUS permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité. [24] Un Système d'Aide à la décision (SAD) a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevée. HYFRAN a été développé par l'équipe du Pr. Bernard Bobée titulaire de la chaire en hydrologie statistique (1992-2004) Figure (30).



**Figure (30) :** Interface de logiciel Hyfran-plus

## IV.3. Paramètres empiriques

Tableau (16): Les paramètres empiriques de chaque station

station	Nombre d'observation	Moyenne Arithmétique	Moyenne Géométrique	Moyenne Harmonique	Médiane
<b>Kef Morad</b>	36	52.15	48.11	44.73	47
<b>Ain barda</b>	36	49.58	45.79	42.27	45
<b>Ain Makhlouf</b>	36	47.53	41.89	35.62	45
<b>Boucheghouf</b>	36	48.30	45.85	43.85	46
<b>Bourdj Sbath</b>	36	47.62	44.74	42.31	44
<b>El Karma</b>	36	48.27	45.01	42.08	42.5
<b>Héliopolise</b>	36	53.63	48.74	44.24	48
<b>Guelma</b>	36	42.88	40.96	39.17	44.5
<b>Machroha</b>	36	51.76	47.66	43.78	48
<b>M'djaz Amar</b>	36	51.78	49.34	46.57	49
<b>Pont Bouchet</b>	36	51.37	47.52	44.10	47.5
<b>Les salines</b>	36	48.70	44.89	40.73	45.5



#### IV.4. Paramètres de dispersion et de forme

**Tableau (17):** Les paramètres de dispersion et de forme de chaque station

<b>Station</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Variance</b>	<b>Cv</b>
<b>Kef Morad</b>	22	145	23.4	545.77	0.450
<b>Ain barda</b>	18	106	20.5	417.19	0.145
<b>Ain Makhlouf</b>	08	110	22.9	525.79	0.486
<b>Boucheghouf</b>	25	120	17.9	315.95	0.373
<b>Bourdj Sbath</b>	24	109	18.5	340.58	0.392
<b>El Karma</b>	20	106	19.1	364.12	0.400
<b>Héliopolice</b>	18	108	24.1	577.22	0.452
<b>Guelma</b>	15	100	18.2	326.87	0.386
<b>Machroha</b>	16	144	22.8	515.97	0.443
<b>M'djaz Amar</b>	16	85	15.7	244.28	0.306
<b>Pont Bouchet</b>	22	114	21.4	458.90	0.420
<b>Les salines</b>	16	88	18.8	350.83	0.388

## IV.5. Ajustement des lois de probabilité

### IV.5.1. Les lois d'ajustements

Il existe plusieurs lois d'ajustement dans l'hydrologie telle que la loi log normal, la loi exponentielle mais dans ce chapitre nous allons utiliser seulement la loi de Gumbel.

#### IV.5.1.1. Loi de Gumbel

C'est une loi très importante, qui sert dans l'analyse fréquentielle des valeurs extrêmes, et sera notamment l'ingrédient essentiel, en hydrologie opérationnelle, de la méthode du Gradex pour le calcul des crues de projet.

Pour l'étude des pluies extrêmes (ou n'importe quel autre événement d'une rare fréquence), on constitue un échantillon de N valeurs, chacune d'elles représentant la précipitation journalière la plus forte d'une des N années. [25]

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \text{ Ou } F(x) = \text{fréquence au non dépassement} = \text{FND} = F.$$

Et  $\alpha, \beta$  = coefficients d'ajustement.

Par un changement de variable  $y = \alpha(x-\beta)$ , la loi de Gumbel est :

$$F(x) = F(y) e^{-e^{-y}}$$

Où y est la variable réduite de Gumbel, liée à la probabilité attachée à la valeur x, et  $F(y)$  = fréquence au non dépassement de la variable réduite y. L'équation  $y = \alpha(x-\beta)$  présentée sous forme :  $x = \frac{1}{\alpha}y + \beta$  est l'équation d'une droite qui représente la loi de Gumbel sur du papier à l'échelle de probabilité Gumbel.

Le papier de probabilité Gumbel porte en graduation d'abscisse deux (2) échelles :

- Une échelle de fréquence au non dépassement FND;
- Une échelle arithmétique de la variable réduite y.

A chaque valeur de y de la seconde échelle correspond, sur le papier échelle, la valeur de la fréquence au non dépassement calculée par l'expression :  $F(x) = e^{-e^{-y}}$  L'ordonnée, sur le papier de probabilité Gumbel, représente, sur une échelle arithmétique, la variable étudiée x.

La représentation graphique de l'échantillon des valeurs extrêmes sur papier Gumbel est obtenue en portant en ordonnées les valeurs de  $x$  et en abscisses les fréquences expérimentales au non dépassement :

$$F_i(x) = \frac{(ni-0.5)}{N}$$

Les valeurs de  $1/\alpha$  et  $\beta$  sont déterminées en utilisant :

- Soit la méthode des moindres carrés qui minimise la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et les valeurs estimées par le modèle considéré;
- Soit la résolution d'un système d'équations formé avec les moments des deux premiers ordres.

L'estimation des paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  par la méthode des moments donne :

$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$  et  $\beta = \mu - \frac{0.5772}{\alpha}$  Ou  $\mu$  et  $\sigma$  sont respectivement la moyenne et l'écart-type de la série étudiée. Une fois les paramètres de la droite de Gumbel déterminés, on trace la droite en calculant trois valeurs de  $x$  à partir de la valeur de  $y$  en utilisant l'équation de la variable réduite de Gumbel. L'estimation de la valeur que prendrait la variable étudiée pour une probabilité donnée peut se faire soit par la lecture directe du graphe, soit en la calculant grâce à la formule :

$$X_T = \frac{1}{\alpha} y + \beta$$

$$y = -\text{Ln} (-\text{Ln} (F(x)))$$

## IV.5.2. Test d'adéquation

### IV.5.2.1. Test de khi-deux

Le test de khi-deux permet de tester l'adéquation d'une série de données à une famille de lois de probabilité ou de tester l'indépendance entre deux variables aléatoires, aussi il permet de juger la qualité de l'ajustement d'une distribution théorique à une distribution expérimentale.

On calcule le Khi Deux de Pearson selon les équations suivantes :  $v = k - 1 - r$  Où:  $v$ =nombre de degrés de liberté et  $k$ =nombre de classes.

$r$  = nombre de paramètres qui définissent exactement la loi théorique.

$\chi^2 = (F_{oi} - F_{ti})^2 / F_{ti}$  avec  $F_{oi}$  : Nombre de valeurs pour chaque classe

$F_{ti}$  : Nombre de valeurs théoriques pour chaque classe ( $F_{ti} = N (F_{NDi} - F_{NDi} - I)$ )

Si  $\chi^2 < \chi_{v,\alpha}^2$  (d'après la table de khi – deux) le test est vérifié.

#### IV.6. Ajustements des pluies journalières maximales

Dans la suite du travail, à titre explicative, nous allons détailler les calculs pour la station AIN BERDA pour le reste des stations seulement des synthèses des résultats voir (Annexe 01).

**Tableau(18) : Ajustement de la loi de Gumbel (station Ain Berda).**

N°	Années	$P_{jmax}$	Valeurs ordonnées	Fréquence. expér	Variable de Gumbel	Valeurs Théorique	Valeurs. expér	Bornes .Inf	Bornes .Sup
1	1970	44,2	18.50	0.01	-1.453	17.36	18.50	6.82	23.97
2	1971	63,7	24.00	0.04	-1.156	22.09	24.00	13.11	27.99
3	1972	50,4	24.80	0.07	-0.981	24.88	24.80	16.76	30.43
4	1973	60,2	27.00	0.10	-0.846	27.03	27.00	19.52	32.35
5	1974	39	27.00	0.13	-0.732	28.85	27.00	21.83	34.01
6	1975	27	27.50	0.15	-0.631	30.46	27.50	23.85	35.51
7	1976	35,3	32.70	0.18	-0.537	31.95	32.70	25.67	36.93
8	1977	73	33.00	0.21	-0.450	33.34	33.00	27.35	38.28
9	1978	27	35.30	0.24	-0.367	34.66	35.30	28.92	39.60
10	1979	70	38.00	0.26	-0.287	35.94	38.00	30.41	40.90
11	1980	27,5	38.00	0.29	-0.209	37.19	38.00	31.83	42.19
12	1981	41	38.00	0.32	-0.132	38.41	38.00	33.19	43.49
13	1982	87	39.00	0.35	-0.056	39.62	39.00	34.51	44.80
14	1983	54	41.00	0.38	0.019	40.82	41.00	35.80	46.14
15	1984	38	41.00	0.40	0.095	42.02	41.00	37.07	47.50
16	1985	33	42.50	0.43	0.171	43.24	42.50	38.31	48.90
17	1986	41	44.20	0.46	0.248	44.47	44.20	39.55	50.35
18	1987	18,5	45.00	0.49	0.327	45.72	45.00	40.78	51.84
19	1988	78	45.80	0.51	0.407	46.99	45.80	42.01	53.39
20	1989	45	46.00	0.54	0.489	48.31	46.00	43.25	55.01
21	1990	54	48.30	0.57	0.574	49.66	48.30	44.51	56.71
22	1991	71,5	50.40	0.60	0.663	51.07	50.40	45.80	58.49
23	1992	93	51.50	0.63	0.755	52.54	51.50	47.12	60.38
24	1993	42,5	52.50	0.65	0.852	54.09	52.50	48.49	62.38
25	1994	51,5	54.00	0.68	0.955	55.72	54.00	49.92	64.52

26	1995	38	54.00	0.71	1.065	57.47	54.00	51.43	66.83
27	1996	24	60.20	0.74	1.183	59.36	60.20	53.04	69.33
28	1997	52,5	63.20	0.76	1.312	61.41	63.20	54.76	72.08
29	1998	38	63.70	0.79	1.454	63.68	63.70	56.65	75.13
30	1999	63,2	70.00	0.82	1.614	66.22	70.00	58.75	78.58
31	2000	24,8	71.50	0.85	1.797	69.14	71.50	61.14	82.56
32	2001	32,7	73.00	0.88	2.013	72.59	73.00	63.94	87.28
33	2002	106,3	78.00	0.90	2.280	76.84	78.00	67.36	93.12
34	2003	48,3	87.00	0.93	2.631	82.43	87.00	71.84	100.85
35	2004	45,8	93.00	0.96	3.157	90.81	93.00	78.48	112.46
36	2005	46	106.30	0.99	4.270	108.53	106.30	92.44	137.15

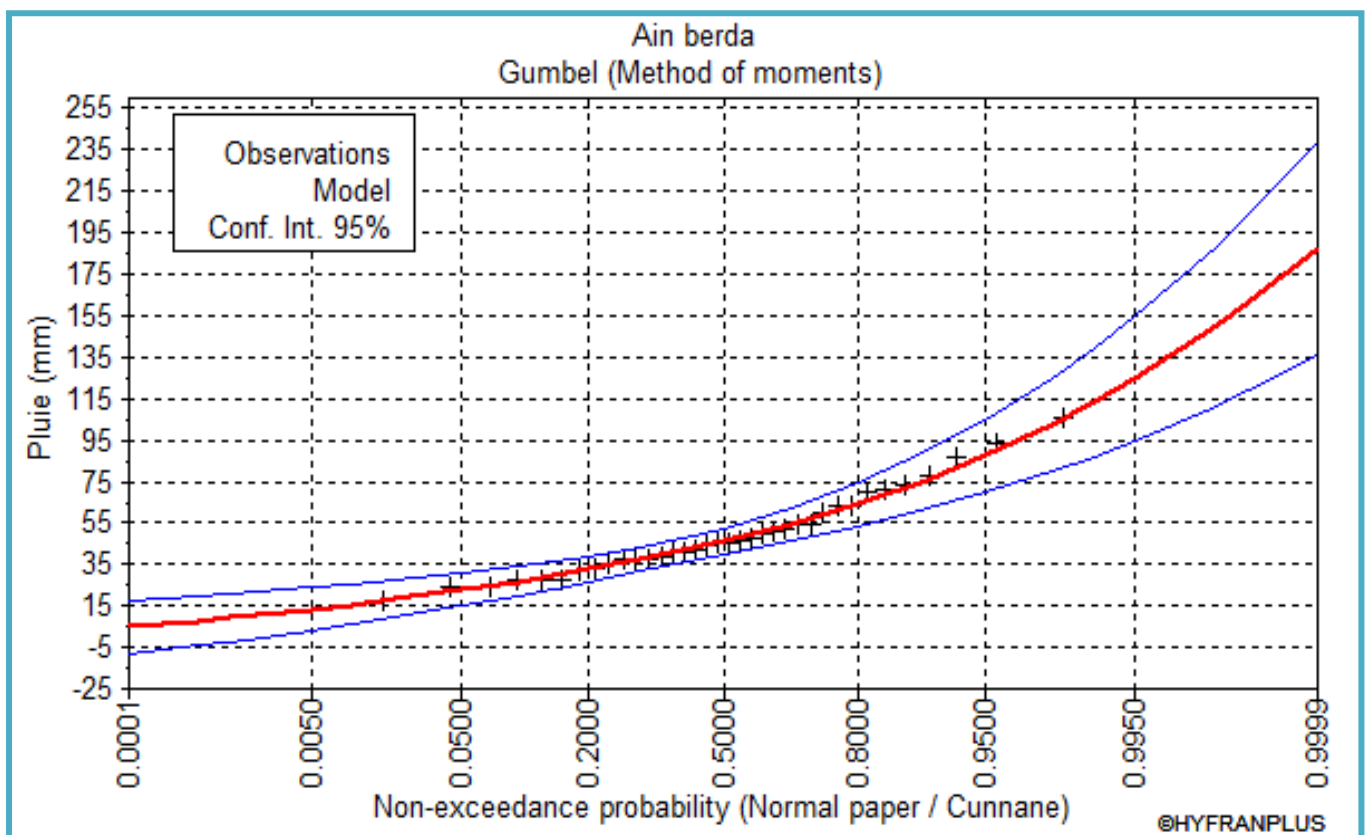


Figure (31) : Ajustement de la loi de Gumbel sur les Pjmax annuelles de la station Ain Berda

#### IV.6.1. Application de test de khi-deux

Pour vérifier l'adéquation de l'ajustement de la loi de Gumbel avec la moyenne et l'écart type calculés, on exécute le test de Khi Deux de Pearson pour un seuil de signification de signification de 95%. Nous commençant par deviser notre échantillon en 8 classes :  $v = k - 1 - r = 8 - 1 - 2 = 5$  et  $\chi^2 = 3.11$  D'après le tableau de Pearson on trouve :

$$\chi_{5,95}^2 = 11,07 \quad / \quad \chi^2 = 3.11 < \chi_{7,95}^2 = 11,07 \text{ donc le test est vérifié.}$$

**Tableau (19) : Résultats de test de khi-deux pour toutes les stations**

<b>Station</b>	$\chi^2$	$\chi_{5,95}^2$	<b>Vérification</b>
<b>Kef Morad</b>	4.00	11.07	Vérifier
<b>Ain barda</b>	3.11	11.07	Vérifier
<b>Ain Makhlouf</b>	7.11	11.07	Vérifier
<b>Boucheghouf</b>	7.56	11.07	Vérifier
<b>Bourdj Sbath</b>	7.11	11.07	Vérifier
<b>El Karma</b>	8.44	11.07	Vérifier
<b>Héliopolise</b>	6.22	11.07	Vérifier
<b>Guelma</b>	8.89	11.07	Vérifier
<b>Machroha</b>	3.56	11.07	Vérifier
<b>M'djaz Amar</b>	7.56	11.07	Vérifier
<b>Pont Bouchet</b>	5.78	11.07	Vérifier
<b>Les salines</b>	9.78	11.07	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation sur les pluies journalière maximales annuelles des stations de bassin versant – Seybouse - avec l'examen visuel et le test de khi – deux les données de toutes les stations s'ajustent bien à la loi de Gumbel, sur un intervalle de confiance à 95%.

Après nous avons utilisé la loi de Gumbel pour estimer les pluies de différentes périodes de retour.

**Tableau (20):** Les pluies à différentes périodes de retour

Station	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>Kef Morad</b>	48	68.70	82.30	95.40	112	125
<b>Ain barda</b>	46	64.10	76.10	87.50	102	114
<b>Ain Makhlouf</b>	43.4	63.70	77.10	90.00	107	119
<b>Boucheghouf</b>	44.9	60.70	71.10	81.10	94.10	104
<b>Bourdj Sbath</b>	44.1	60.40	71.20	81.60	95	105
<b>El Karma</b>	44.7	61.50	72.70	83.40	97.3	108
<b>Hélioplice</b>	49.3	70.60	84.60	98.10	116	129
<b>Guelma</b>	44	60.00	70.70	80.80	94.00	104
<b>Machroha</b>	47.7	67.80	81.10	93.80	110	123
<b>M'djaz Amar</b>	48.7	62.60	71.70	80.50	91.9	100
<b>Pont Bouchet</b>	47.4	66.30	78.90	90.90	106	118
<b>Les salines</b>	45.3	61.90	72.80	83.40	97	107

#### IV.7. Synthèse

Les pluies journalières maximales annuelles de 12 stations de bassin versant Seybouse, ont été testées avec la loi de Gumbel, les résultats de test d'adéquation de khi-deux et l'examen visuel montrent que les données de toutes les stations s'ajustent bien avec la loi proposée pour un intervalle de confiance égal à 95 %.

Ensuite la loi de Gumbel est utilisée pour l'estimation des pluies de différentes périodes de retour, ces dernières sont ensuite utilisées dans le prochain chapitre pour la création des cartes pour le bassin versant de la Seybouse.



**Chapitre V**  
**Résultats et discussions**



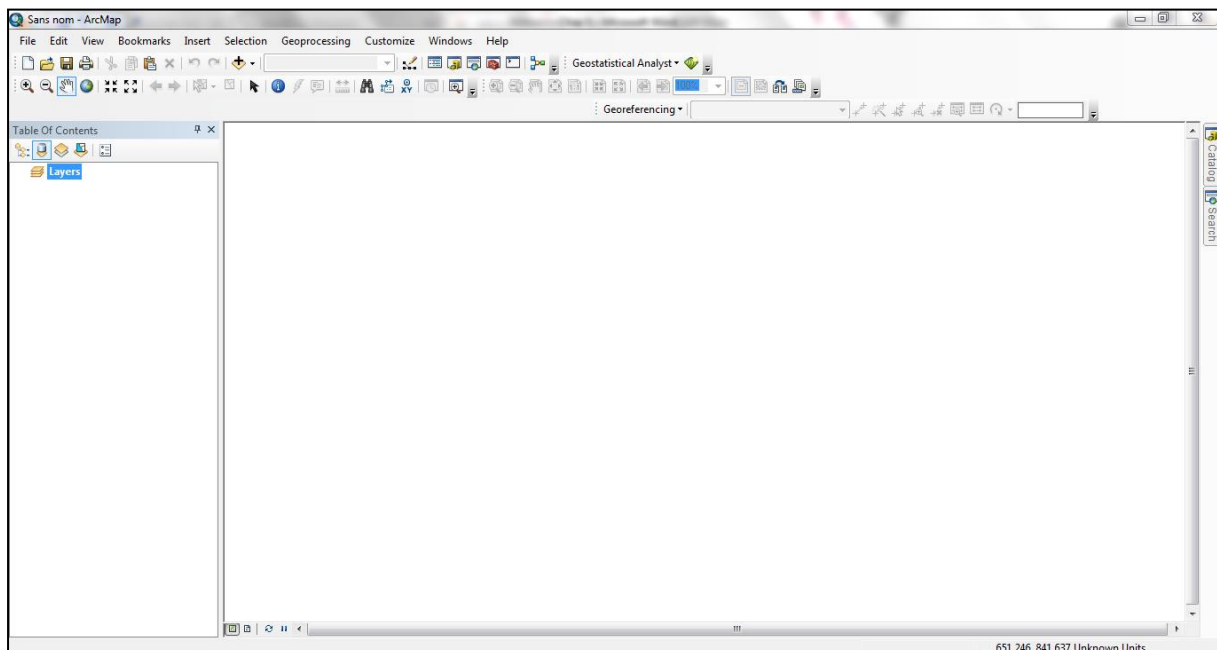
## V.1. Introduction

L'étude de nombreux phénomènes hydrologiques développés dans l'espace est basée sur des données obtenues de temps en temps ; par conséquent, les changements point à point de la plupart des propriétés observables à la surface de la Terre sont irréguliers, ce qui ne peut pas être décrit par des fonctions mathématiques simples. Cependant, la théorie des variables régionalisées considère la structure spatiale dans le calcul d'interpolation des phénomènes.

Dans ce chapitre nous avons essayé d'étudier l'influence de nombre des postes pluviométriques sur la qualité des résultats d'interpolation spatiale, pour cela et en raison de nombre insuffisant des postes pluviométriques dans la zone d'étude les données de sept stations pluviométriques téléchargées en ligne [26], ont été utilisées.

## V.2. Présentation du logiciel Arc gis

ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Ce système est composé de différentes plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG, qu'ils soient bureautiques, web, ou mobiles, de collaborer et de partager l'information géographique. [27]



**Figure (32):** Interface de logiciel Arc gis 10.3

- ArcGIS vous permet de :
- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes
  - Rassembler les informations géographiques
  - Créer et gérer des bases de données géographiques
  - Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale
  - Créer des applications basées sur la carte
  - Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation.[28]
- L'ARC-GIS est un outil qui peut traiter les problèmes de n'importe quel domaine tel que :
- Hydrologie
  - Statistique
  - Géologie et Géostatique
  - Cartographie
  - Biologie

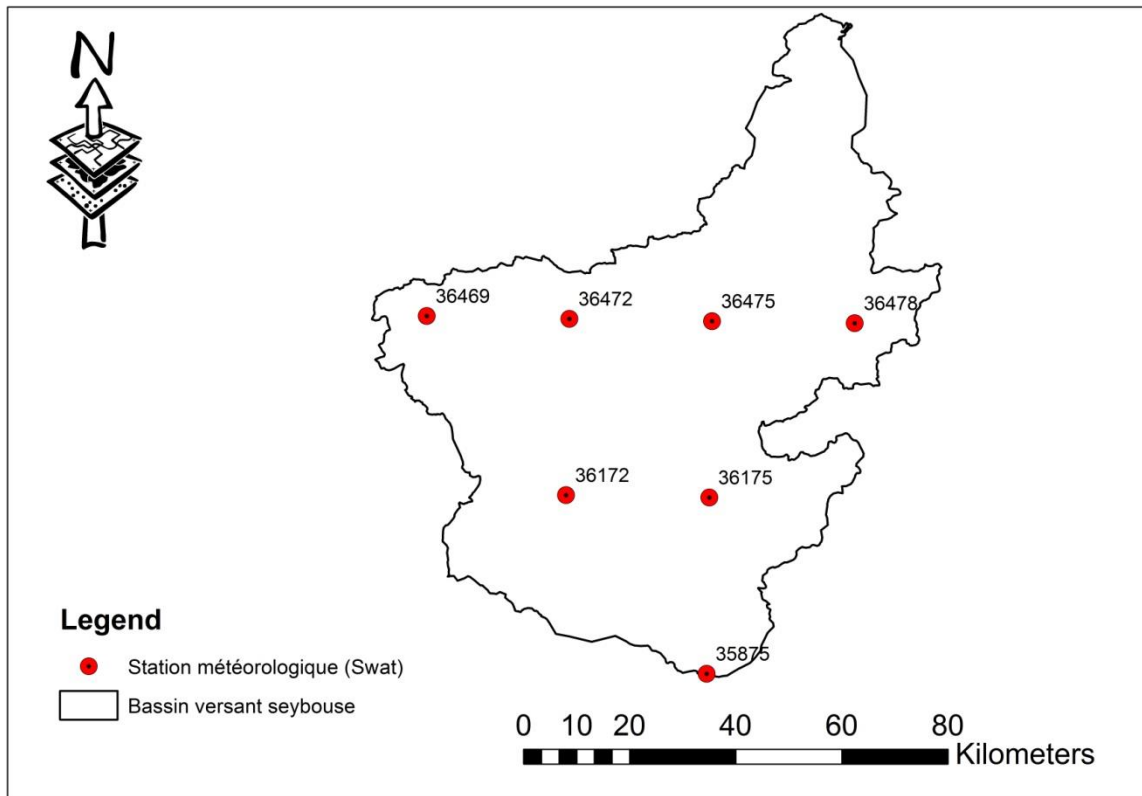
Dans ce chapitre nous avons utilisé le logiciel ARC-GIS 10.03, pour la création des cartes des paramètres climatologique (Pjmax annuelle)

**Tableau (21) :** Caractéristique statistiques des stations étudiées (Pjmax annuelle).

Sous Bassin	Sous Bassin 01		Sous Bassin 02		Sous bassin 03		Sous bassin 04	
<b>Station</b>	<b>140111</b>		<b>140205</b>		<b>140302</b>	<b>140313</b>	<b>140103</b>	<b>140112</b>
<b>Moyenne (mm)</b>	52.15		47.53		47.62	51.78	53.63	42.88
<b>Ecart-type (mm)</b>	23.4		22.9		18.5	15.7	24.1	18.2
<b>Min (mm)</b>	22		08		24	16	18	15
<b>Max (mm)</b>	145		110		109	85	108	100
<b>Cv</b>	0.450		0.486		0.392	0.306	0.452	0.386
Sous Bassin	Sous Bassin 05		Sous Bassin 06					
<b>Station</b>	<b>140505</b>	<b>140502</b>	<b>140606</b>	<b>140609</b>	<b>140631</b>	<b>030624</b>		
<b>Moyenne (mm)</b>	48.30	51.76	49.58	48.27	51.31	48.70		
<b>Ecart-type (mm)</b>	17.9	22.8	20.5	19.1	21.4	18.8		
<b>Min (mm)</b>	25	16	18	20	22	16		
<b>Max (mm)</b>	120	144	106	106	114	88		
<b>Cv</b>	0.373	0.443	0.145	0.400	0.420	0.388		

### V.3. Les données Swat

Pour notre cas en raison du manque des stations météorologiques dans le bassin versant Seybouse, nous avons utilisé les données de pluie estimées par Global weather data (swat) de l'année 1980 à l'année 2005.



**Figure(33) :** Réseau météorologique (station Swat).

**Tableau(22) :** Le réseau de mesure (SWAT).

<b>n</b>	<b>Nom</b>	<b>longitude</b>	<b>latitude</b>
<b>1</b>	35875	7,5	35,8
<b>2</b>	36172	7,2	36,1
<b>3</b>	36175	7,5	36,1
<b>4</b>	36469	6,9	36,4
<b>5</b>	36472	7,2	36,4
<b>6</b>	36475	7,5	36,4
<b>7</b>	36478	7,8	36,4

**Tableau (23) : Séries des PJ max annuelles disponible (SWAT)**

<b>Année</b>	<b>35875</b>	<b>36172</b>	<b>36175</b>	<b>36469</b>	<b>36472</b>	<b>36475</b>	<b>36478</b>
<b>1980</b>	27,08	33,19	27,02	40,93	42,87	36,87	34,83
<b>1981</b>	85,68	55,02	80,62	72,61	74,27	77,52	96,24
<b>1982</b>	36,74	52,12	44,81	70,64	64,39	51,35	39,12
<b>1983</b>	31,98	27,35	31,35	34,83	37,39	39,44	39,32
<b>1984</b>	46,64	75,94	75,74	111,29	87,25	78,63	66,79
<b>1985</b>	31,09	46,06	53,62	61,57	60,43	64,85	61,80
<b>1986</b>	22,29	27,68	27,45	41,80	46,36	39,97	31,11
<b>1987</b>	43,59	26,92	26,86	37,31	34,77	46,56	53,07
<b>1988</b>	31,37	38,82	35,40	48,06	46,72	40,86	39,73
<b>1989</b>	33,26	36,48	40,25	36,14	39,82	42,99	48,35
<b>1990</b>	46,13	48,20	46,73	49,81	46,86	37,83	38,59
<b>1991</b>	60,69	61,28	63,67	55,36	76,64	83,72	67,65
<b>1992</b>	33,10	39,57	50,40	74,19	77,41	67,99	62,72
<b>1993</b>	40,68	54,68	48,37	51,37	58,51	54,16	41,37
<b>1994</b>	32,37	35,44	38,10	53,40	57,39	48,90	39,61
<b>1995</b>	50,54	60,80	74,50	71,35	63,13	74,39	79,32
<b>1996</b>	30,86	31,18	35,67	32,61	37,90	40,13	35,49
<b>1997</b>	28,77	41,08	39,47	67,39	53,39	35,80	33,96
<b>1998</b>	32,19	36,68	39,75	45,61	45,95	45,80	44,47
<b>1999</b>	25,50	23,41	32,10	50,08	34,25	34,78	39,55
<b>2000</b>	26,18	55,08	58,27	62,02	73,03	72,65	67,32
<b>2001</b>	28,92	30,14	28,10	36,04	36,56	36,77	31,88
<b>2002</b>	39,24	33,59	33,97	33,53	34,98	35,79	36,19
<b>2003</b>	51,59	48,61	76,61	42,16	54,34	72,69	89,17
<b>2004</b>	51,32	47,55	53,06	66,11	64,43	55,09	53,17
<b>2005</b>	21,86	25,38	29,74	39,27	38,71	41,97	47,38

Après nous avons utilisé la loi de Gumbel pour estimer les pluies de différente période de retour.

**Tableau (24):** Les pluies à différentes périodes de retour (Station Swat)

Station Météorologique	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>35875</b>	35,3	47,6	55,8	63,6	73,7	81,2
<b>36172</b>	39,4	51,1	58,9	66,3	75,9	83,2
<b>36175</b>	42,6	57,4	67,2	76,5	88,7	97,7
<b>36469</b>	49,9	65,8	76,3	86,4	99,5	109
<b>36472</b>	50,4	64,2	73,3	82,1	93,5	102
<b>36475</b>	49	63,3	72,7	81,7	93,4	102
<b>36478</b>	47,3	63,2	73,8	83,9	97	107

**Tableau (25):** Les pluies à différentes périodes de retour (Station pluviométrique)

Station pluviométrique	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>140111</b>	45,9	67,9	82,4	96,4	114	128
<b>140606</b>	46	65,4	78,2	90,5	106	118
<b>140205</b>	45,3	67,2	81,6	95,5	114	127
<b>140505</b>	45,9	63,5	75,1	86,3	101	112
<b>140302</b>	45,4	63,2	75	86,3	101	112
<b>140609</b>	44,2	61,4	72,7	83,5	97,5	108
<b>140403</b>	51,6	73,7	88,4	102	121	134
<b>140412</b>	45,6	62,8	74,2	85,1	99,2	110
<b>140502</b>	42,8	56	64,8	73,3	84,2	92,3
<b>140313</b>	49,1	64	73,9	83,4	95,6	105
<b>140631</b>	48,3	69,6	83,8	97,4	115	128
<b>030624</b>	47,1	61	70,3	79,2	90,7	99,3

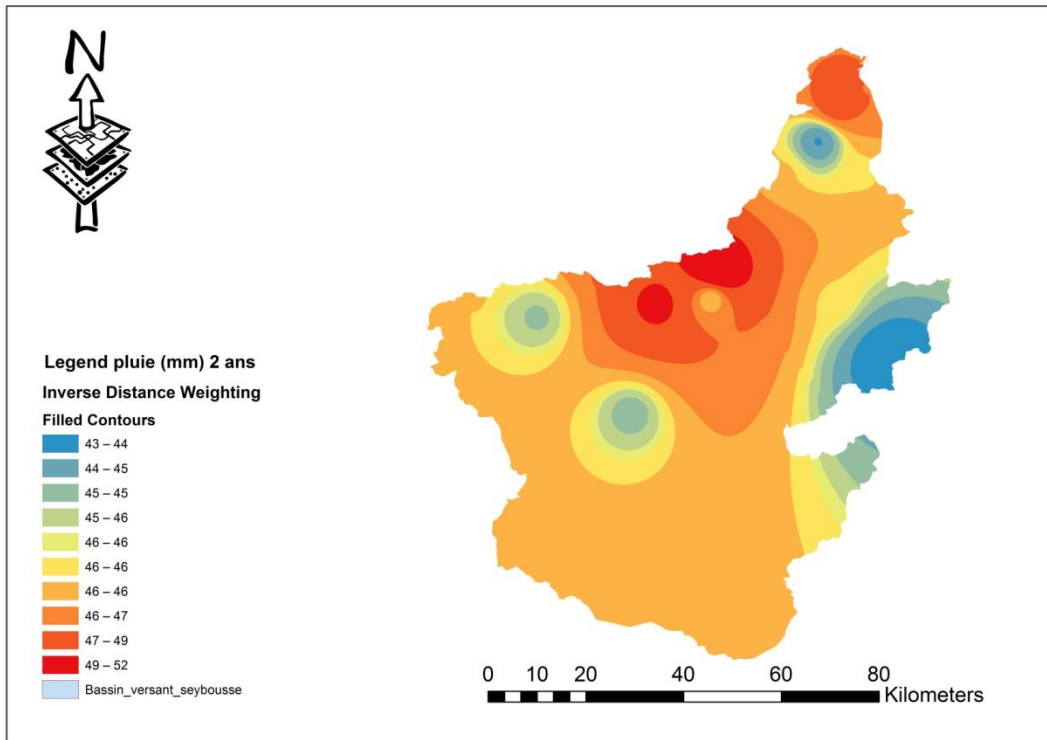
**Remarque :** Dans ce chapitre nous avons utilisé seulement les données Pluviométriques de l'année 1980 à l'année 2005.

#### V.4. Un échantillon des pluies analysé

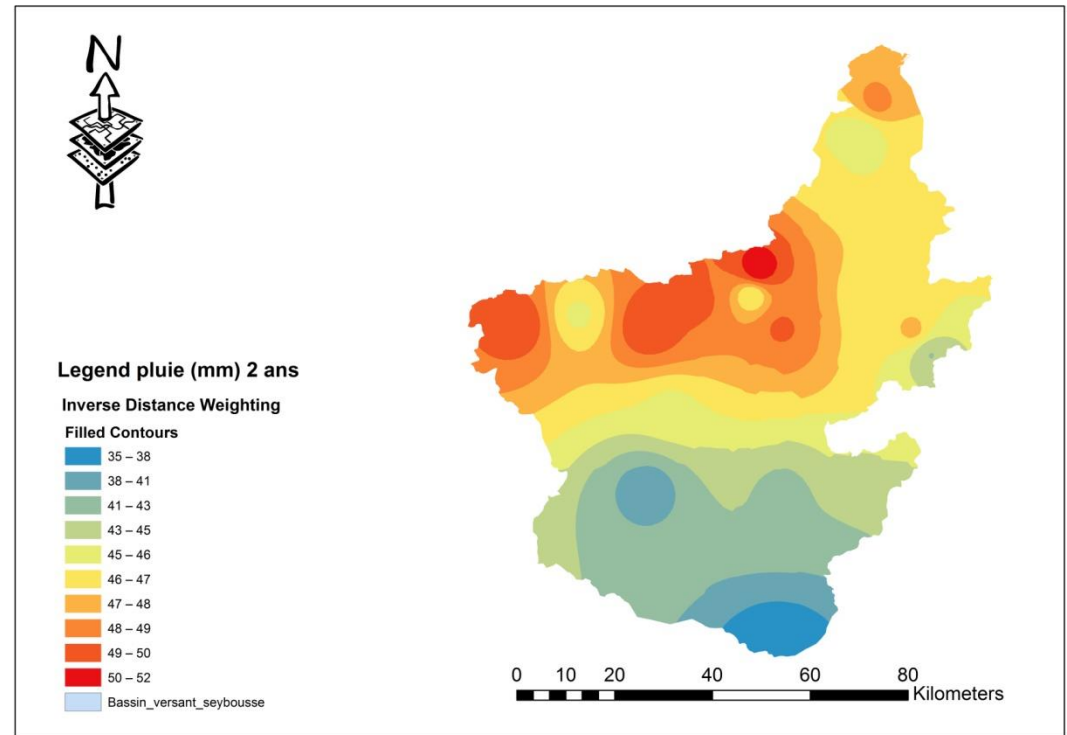
L'objectif de l'évaluation de la méthode d'interpolation spatiale est de faire une carte basée sur la profondeur de précipitation du pluviomètre du BV Seybouse. Afin d'obtenir un ensemble représentatif de résultats, ces interpolations ont été effectuées sur les précipitations journalières maximales de l'année 1980 à 2005 (soit 25 ans). Les journalières maximales annuelle sur le pluviomètre est de 8,6 à 144 mm.

Nous avons utilisé quatre méthodes pour interpoler, il s'agit des méthodes de l'inverse des distances (IDW) et radial basic fonction (RBF) pour les méthodes **déterministes**, et pour les méthodes **stochastiques** le krigeage ordinaire (KO) et le krigeage universel (KU).

V.5.1. Application de la méthode d'interpolation spatiale (IDW) sur les pluies de période de retour 2 ans

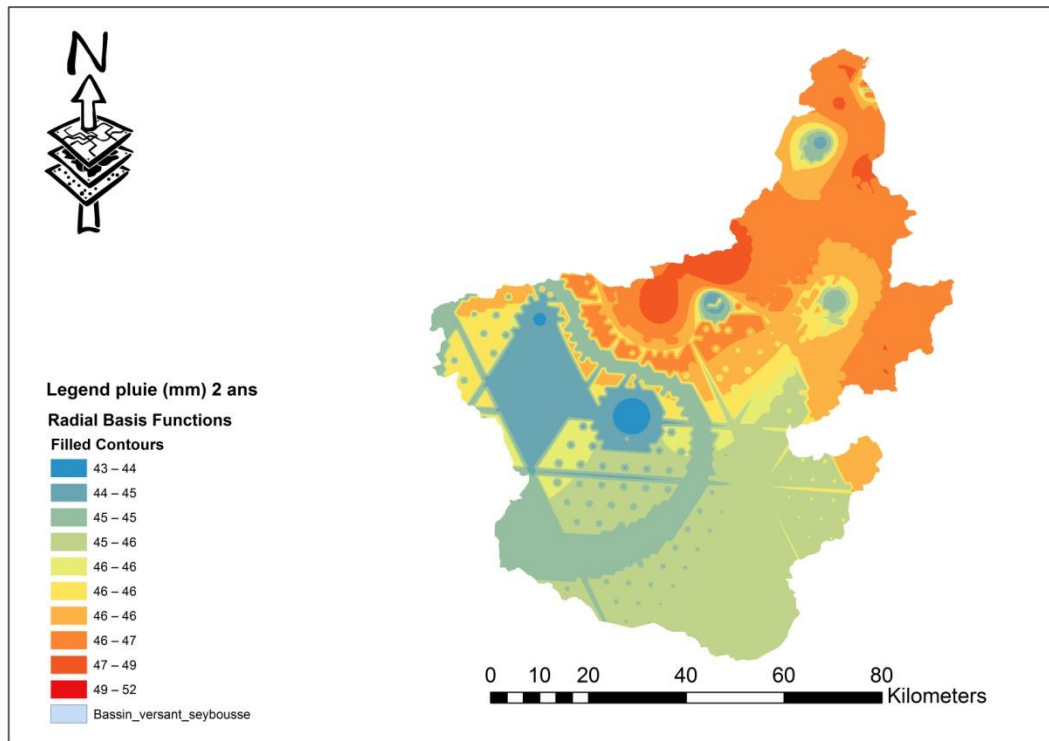


**Figure (34) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée IDW (Donnée pluviométrique).

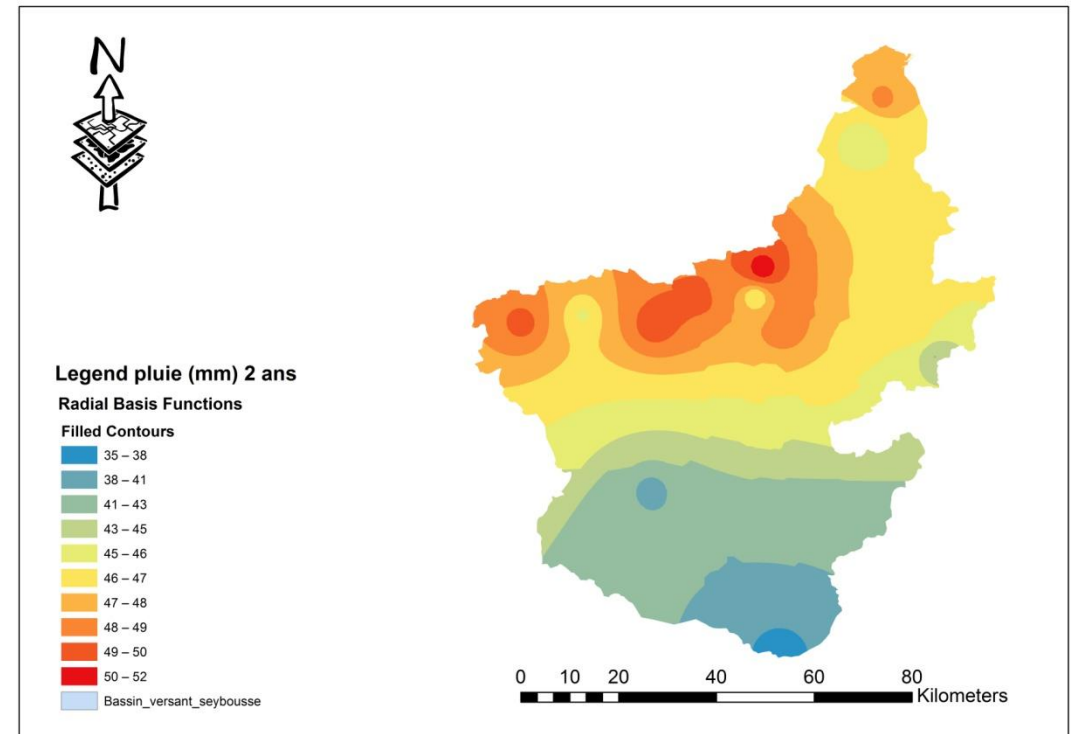


**Figure (35) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée IDW (Donnée pluviométrique + Donnée Swat)

V.5.2. Application de la méthode d'interpolation spatiale (RBF) sur les pluies de période de retour 2 ans



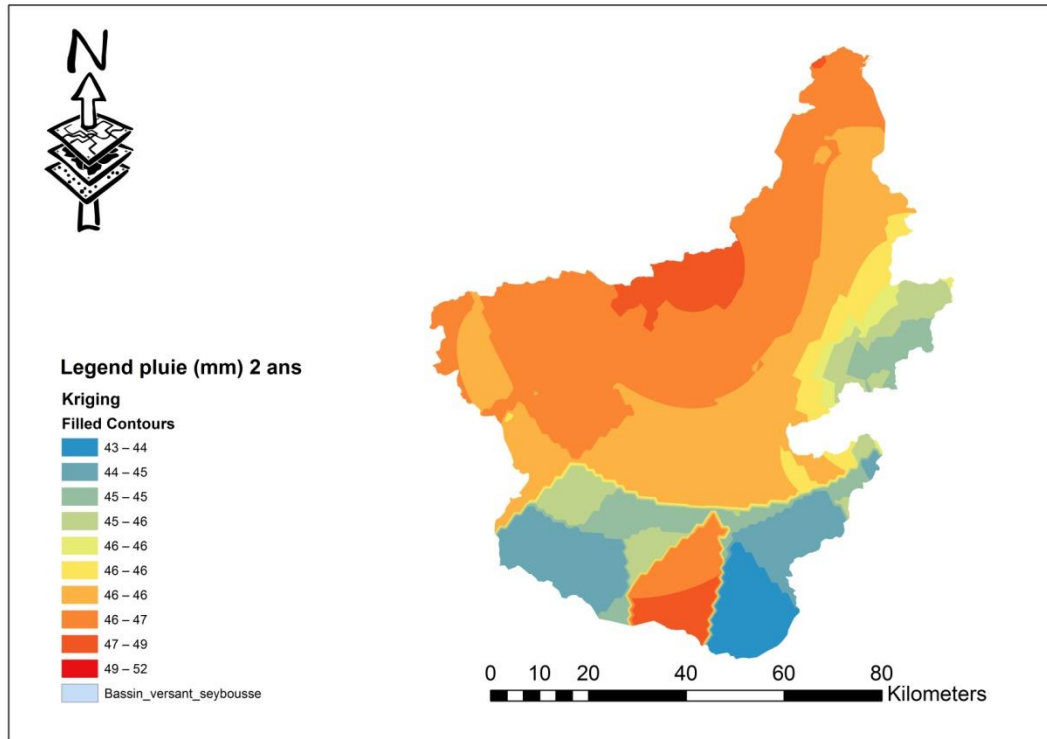
**Figure (36) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée RBF (Donnée pluviométrique).



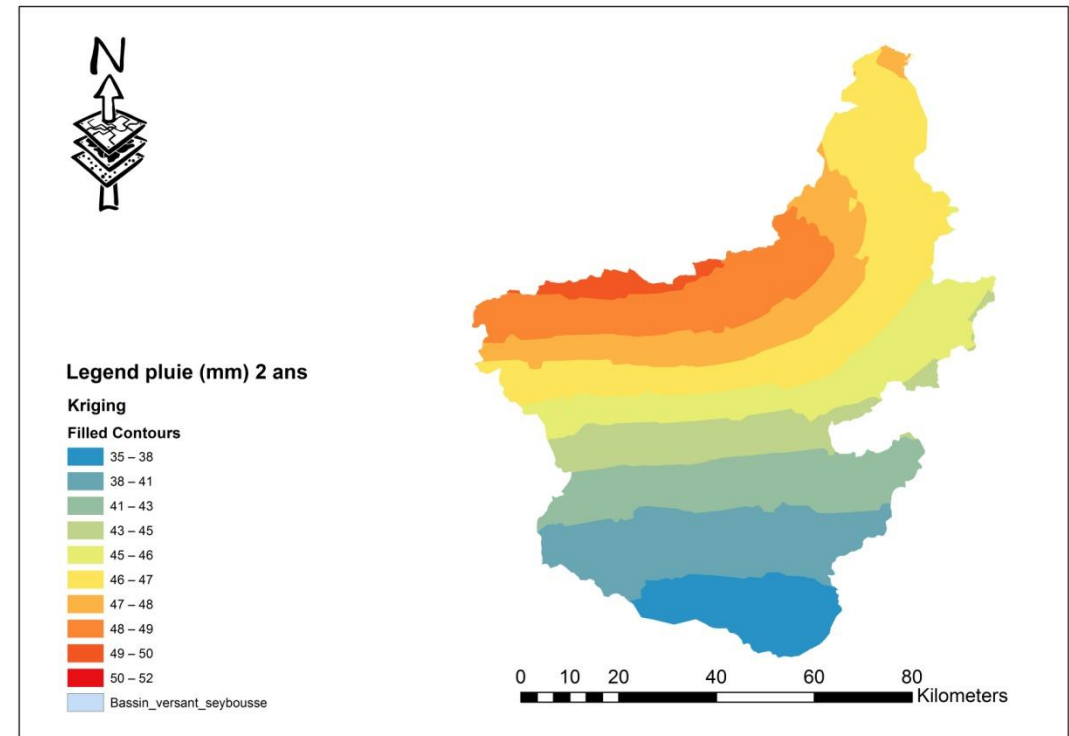
**Figure (37) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée RBF (Donnée pluviométrique + Swat)



V.5.3. Application de la méthode d'interpolation spatiale (KO) sur les pluies de période de retour 2 ans

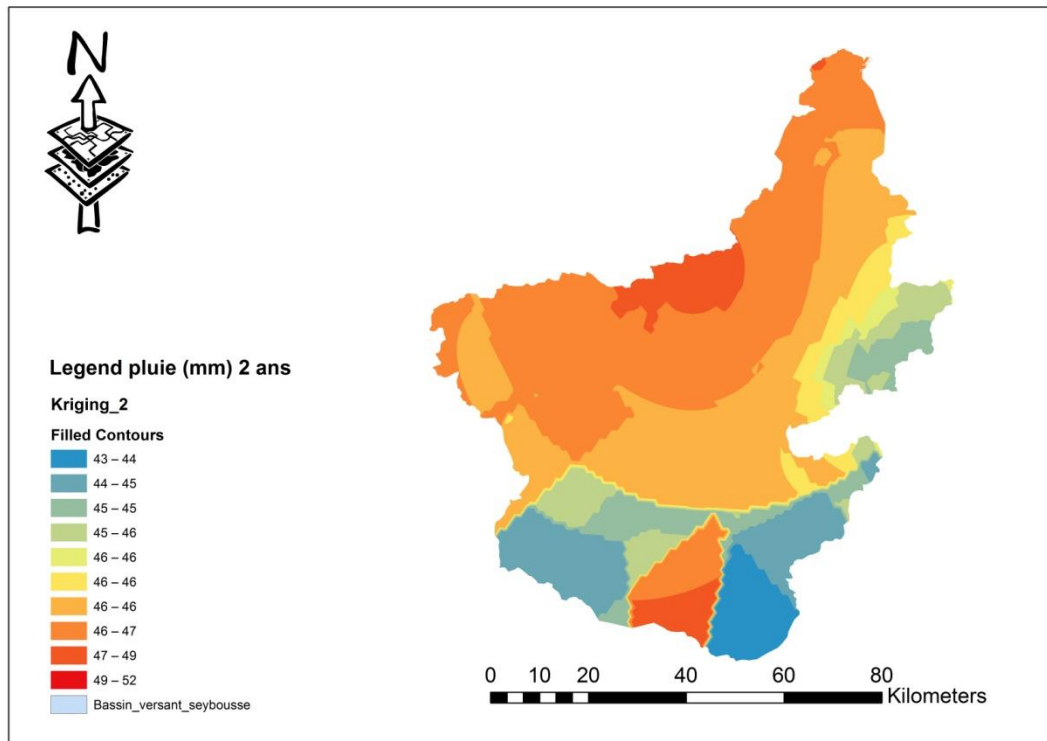


**Figure (38) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée KO (Donnée pluviométrique).

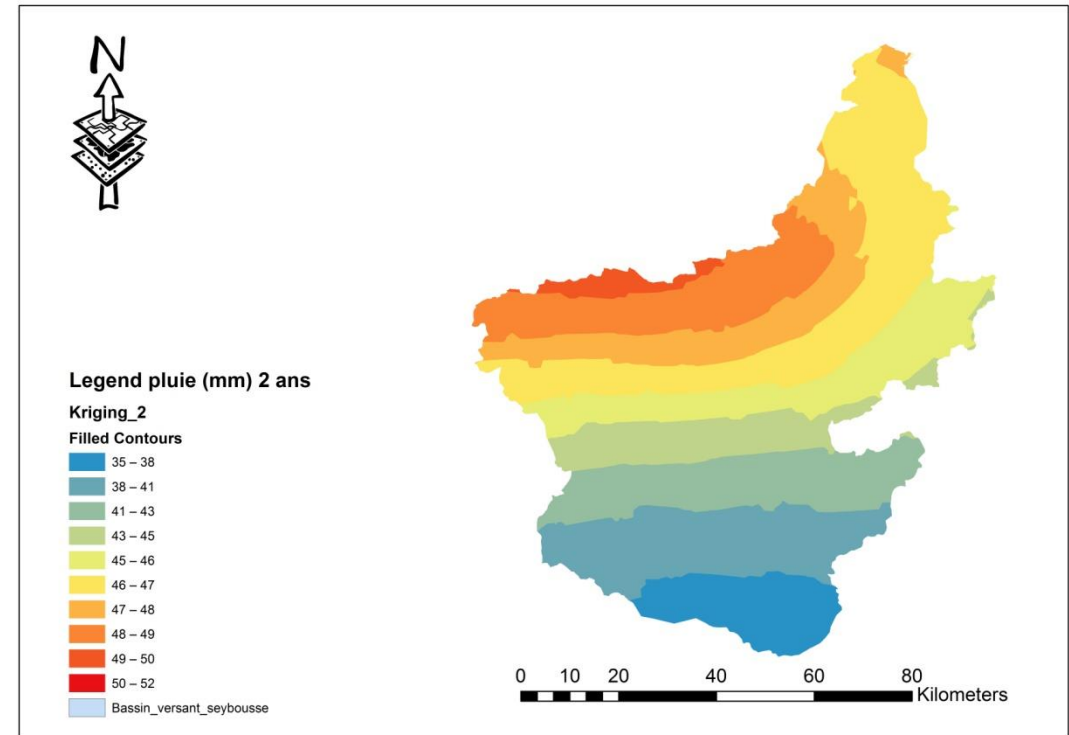


**Figure (39) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée KO (Donnée pluviométrique + Swat)

V.5.4. Application de la méthode d'interpolation spatiale (KU) sur les pluies de période de retour 2 ans



**Figure (40) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée KU (Donnée pluviométrique).



**Figure (41) :** Répartition de Pjmax annuelle interpolée KU (Donnée pluviométrique + Donnée Swat)

**Tableau (26)** : Erreur d'estimation moyenne globale pour les quatre méthodes (données pluviométriques)

<b>Méthode</b>	<b>IDW</b>	<b>RBF</b>	<b>KO</b>	<b>KU</b>
Mean	0.44	0.16	0.21	0.21
Root mean square	2.75	2.57	2.48	2.48

**Tableau (27)** : Erreur d'estimation moyenne globale pour les quatre méthodes (données pluviométriques + données SWAT).

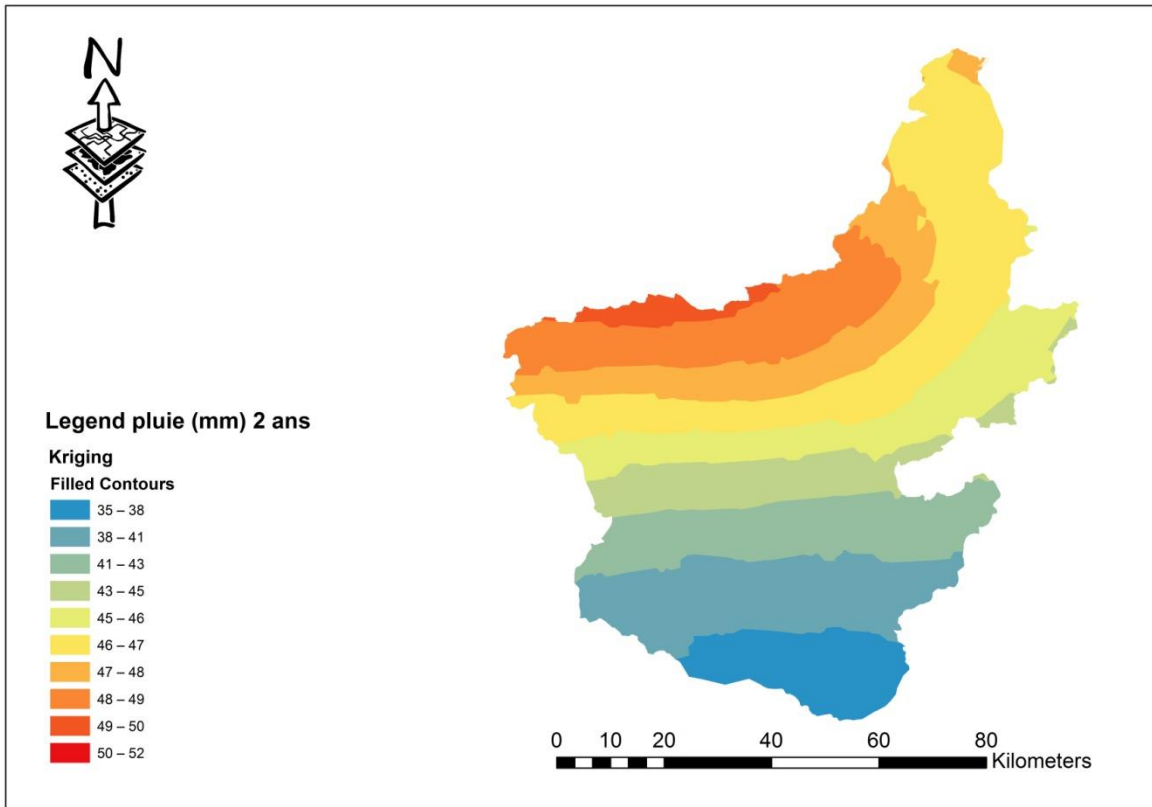
<b>Méthode</b>	<b>IDW</b>	<b>RBF</b>	<b>KO</b>	<b>KU</b>
Mean	0.76	0.41	0.017	0.017
Root mean square	3.65	3.43	2.65	2.65

## **V.6. Résultats de l'évaluation et observations**

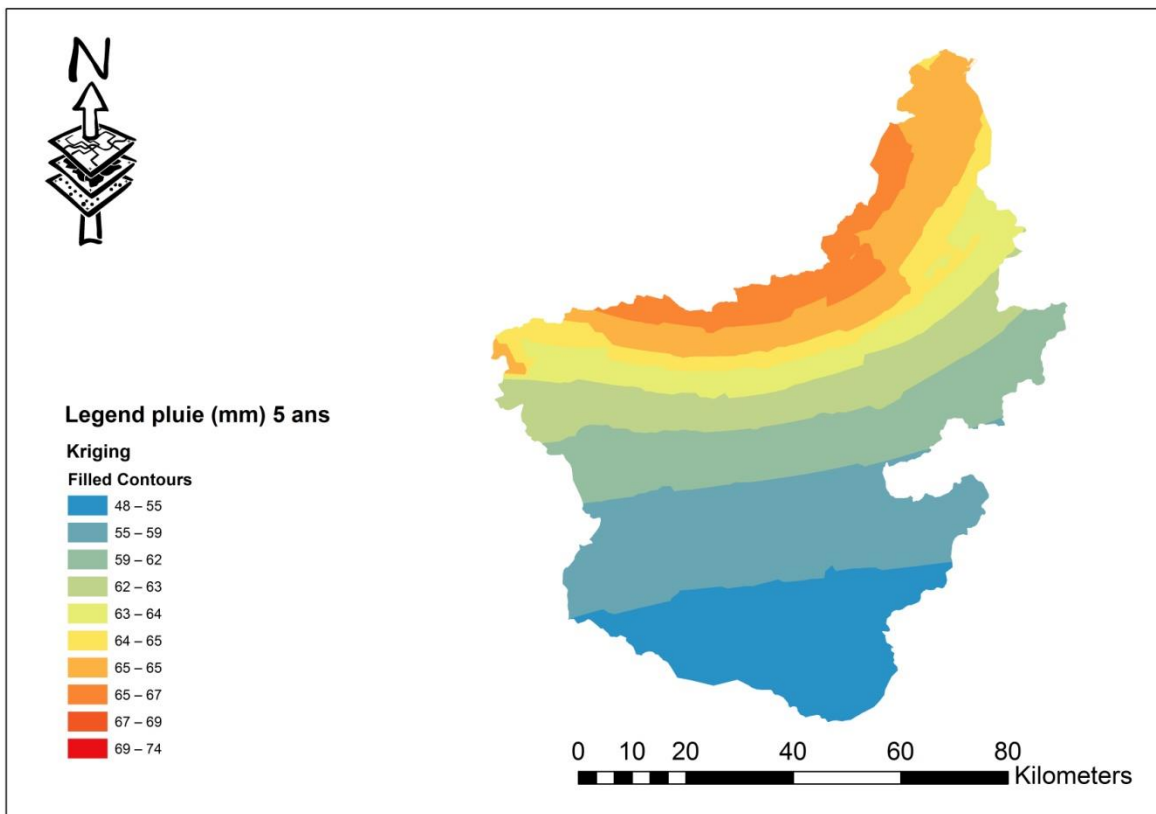
Les moyennes des erreurs absolues entre valeurs observées et valeurs estimées sur les pluies journalières maximales annuelles montrent que la différence d'estimation entre les méthodes reste entre (2-4) mm, pour une hauteur d'eau précipitée comprise entre (8.6-144 mm). Nous constatons que les quatre méthodes d'interpolation donnent des erreurs d'estimations moyennes globales les plus proche. Tableau (26)

Pour le reste du travail, nous avons utilisé la méthode de krigeage ordinaire et les données pluviométriques et les données SWAT pour la création des cartes de différentes périodes de retour.

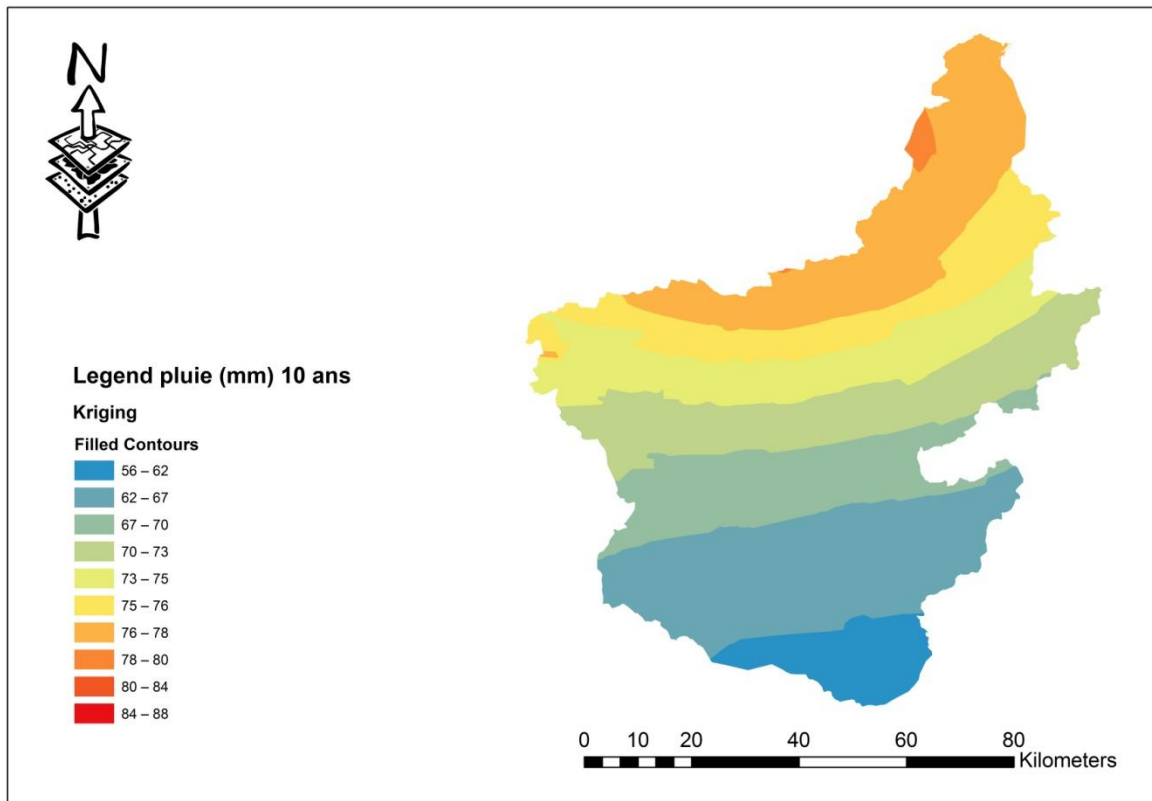
## **V.7. Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les pluies de différentes périodes de retour (krigeage ordinaire)**



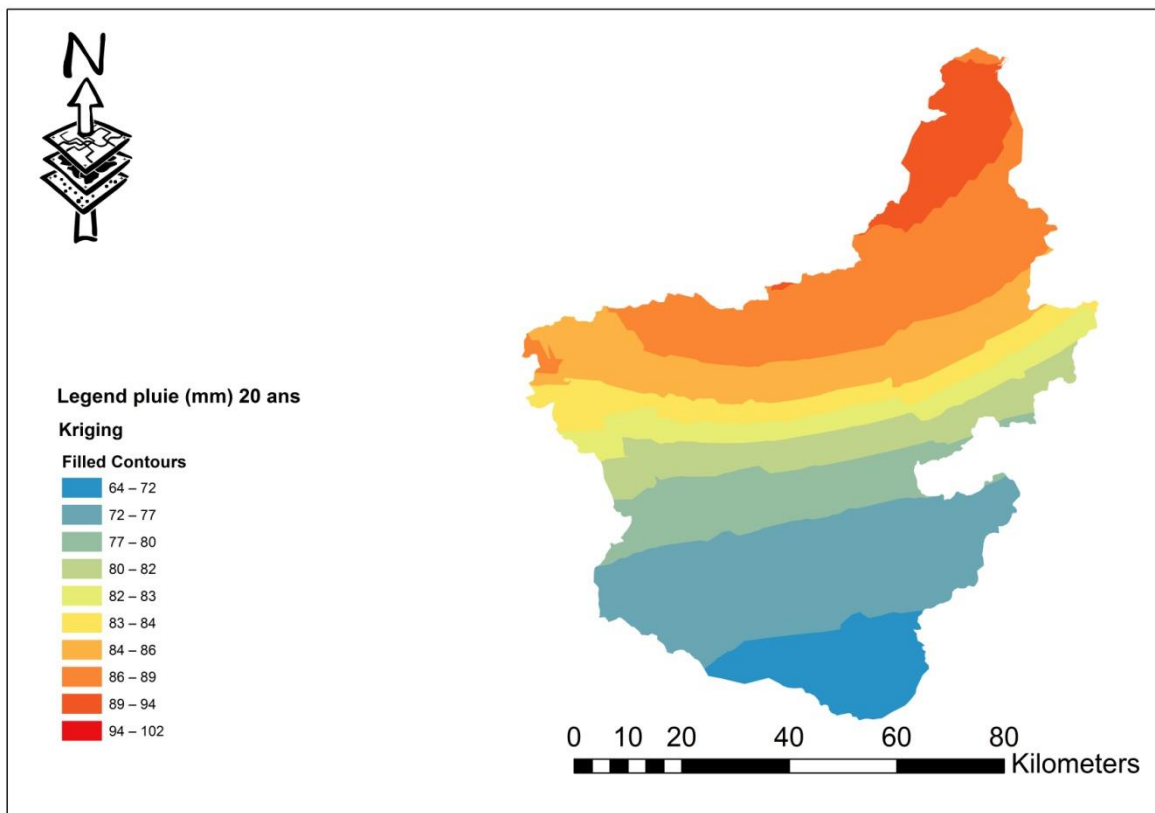
**Figure (42):** Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 2 ans).



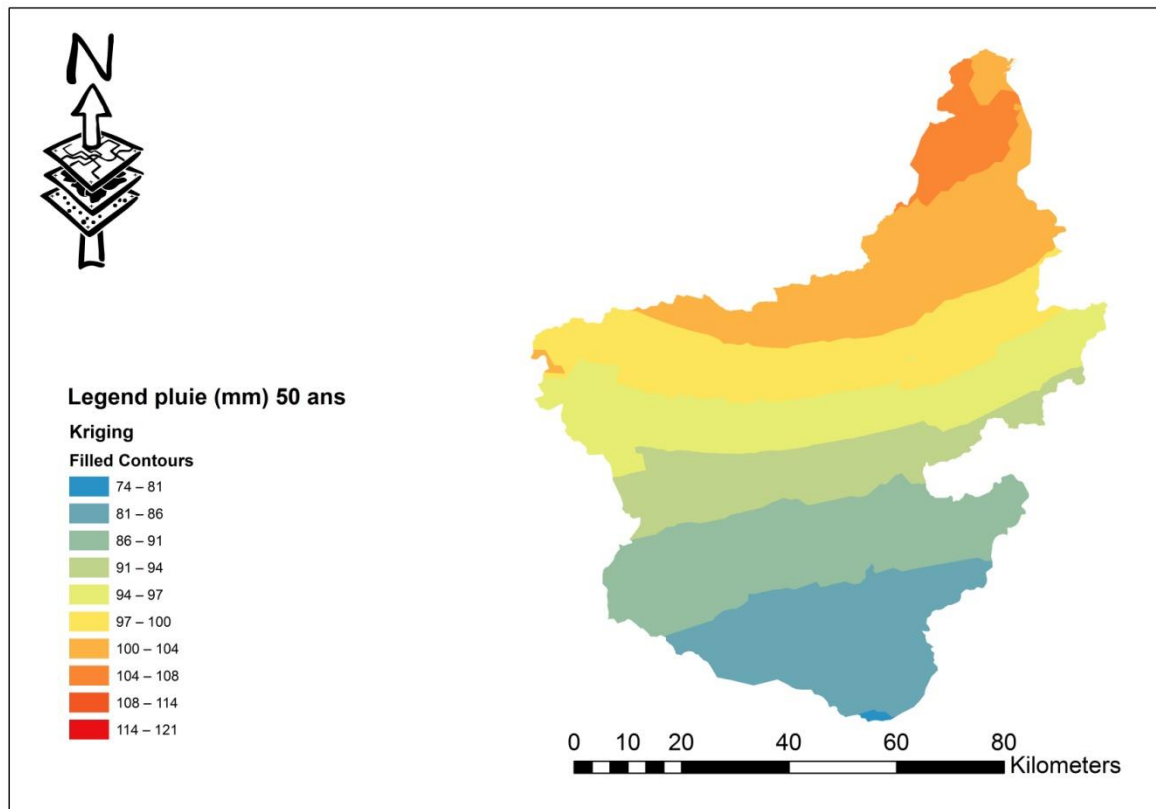
**Figure (43):** Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 5 ans).



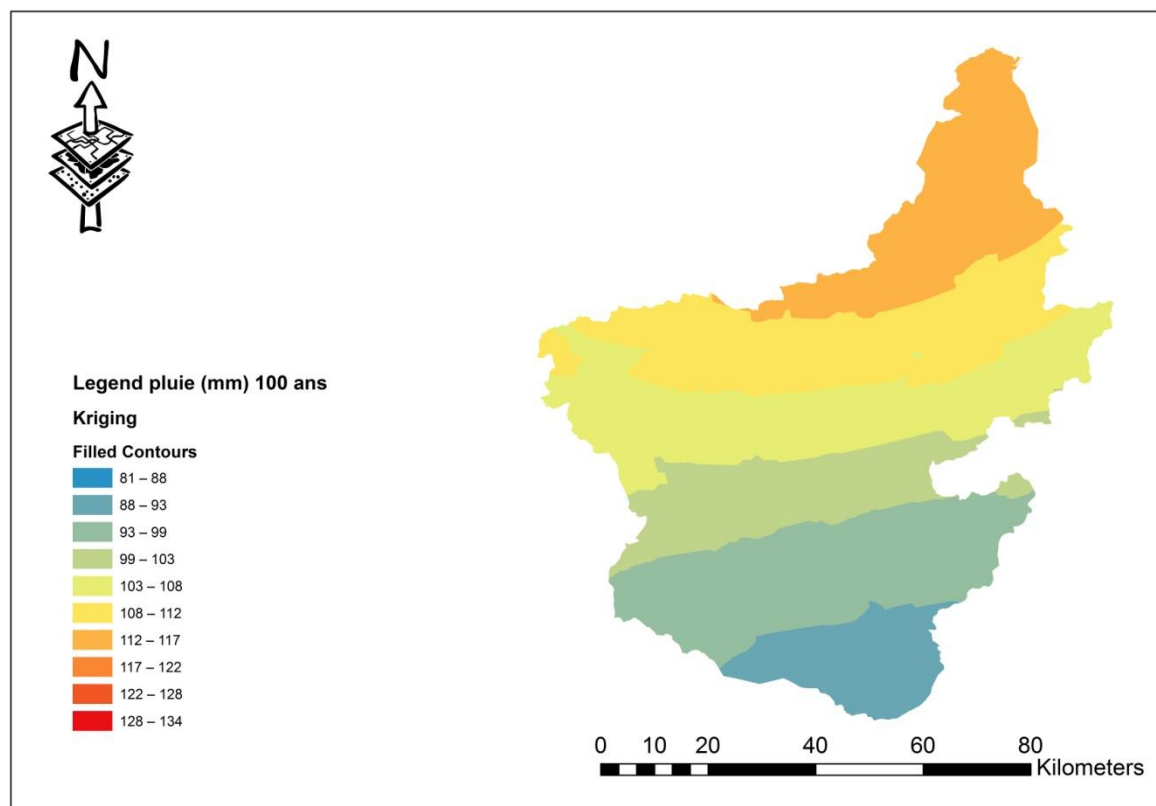
**Figure (44):** Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 10 ans).



**Figure (45):** Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 20 ans).



**Figure (46):** Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 50 ans).

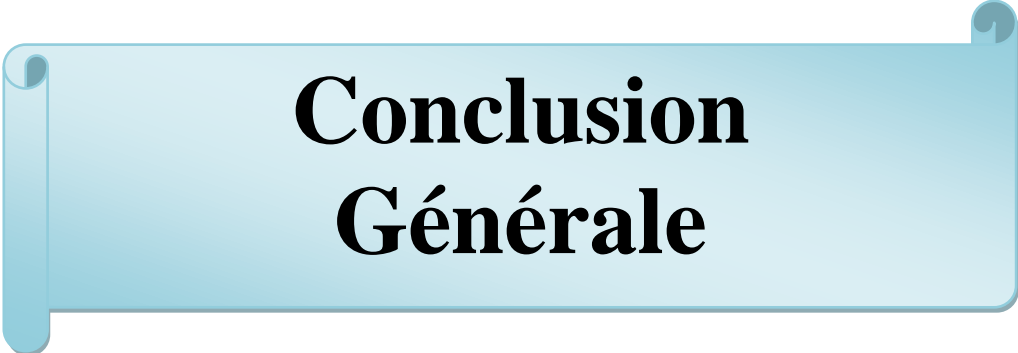


**Figure (47):** Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 100 ans).

## V.8. Discussion

Dans ce chapitre nous avons essayé d'étudier l'influence de nombre des postes pluviométriques sur la qualité des résultats d'interpolation spatiales, pour cela les données de sept stations téléchargées ont été utilisées. Le nombre des postes pluviométriques est clairement influencé surtout sur les méthodes stochastiques.

Enfin la méthode de Krigeage ordinaire et les deux données pluviométrique et SWAT sont utilisées pour la création des cartes de différentes périodes de retour. Le gradient croissant Sud-Nord se présenter presque dans toutes les périodes de retour (Figure: 42,43, 44, 45, 46, 47), avec des gradients allant de 35 mm à 140 mm.



# **Conclusion Générale**



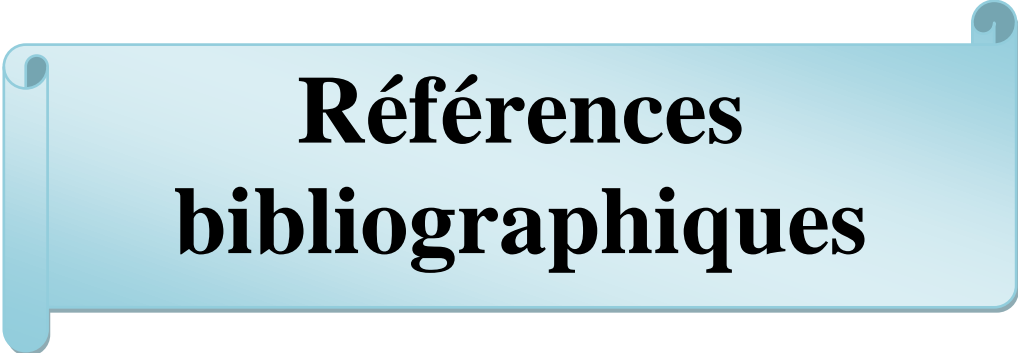
### Conclusion générale

Notre étude a porté sur le thème l'influence des postes pluviométriques sur les méthodes d'interpolation spatiale, après l'utilisation de la meilleure méthode pour améliorer la connaissance de l'information pluviométrique dans le bassin versant de la Seybouse.

En partant des séries des pluies journalières maximales annuelles enregistrées par les pluviomètres au niveau des 12 stations existantes dans le bassin versant Seybouse, on est arrivé à faire une analyse fréquentielle, cette dernière nous a permis d'obtenir des pluies de différentes période de retour, ensuite nous avons utilisé les données pluviométrique de sept station climatique fournit par Global Weather Data For Swat pour étudier l'influence de nombre des postes pluviométriques sur les méthodes d'interpolation spatiale.

Les résultats de l'interpolation spatiale avec les données pluviométrique et aussi en utilisant les données fournit par Global Weather Data For Swat ont montré que le nombre des postes pluviométriques est clairement influencé surtout sur les méthodes stochastiques.

Enfin la création des cartes pour les pluies de différentes périodes de retour en utilisant la méthode de Krigeage ordinaire, nous a donné une bonne information de la répartition spatiale des pluies dans le bassin de la Seybouse.



**Références  
bibliographiques**

### Références bibliographiques

- [1]: [fr.wikipedia.org/wiki/Hydrologie](http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrologie)
- [2]: La cartographie hydrologique détaillée et son intérêt pour l'étude des régimes fluviaux – par J.TRICART – Professeur a la faculté des lettres, directeur du centre de géographie appliquée(1), Université de Strasbourg et des laboratoires de géographie physique et de cartographie.
- [3]: Baillargeon.S. Kriging review of the theory and application to the interpolation of precipitation data. Thesis University of Laval (Quebec) 2005.137 p.
- [4]: F.Renard, J.Comby Evaluation of rainfall spatial interpolation methods in urban area for a better. Management of extreme rain events: the case of the urban area of Greater Lyon. The houile Blanche 2006; 06:75-78.
- [5]: Atkinson PM, Lloyd CD Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging. J Geogr INF Decision Anal 1998; (2)2:65-76.
- [6]: Rajagopalan B, Lall U Locally weighted polynomial estimation of spatial precipitation. J Geogr INF Decision Anal, 1998; 2(2):44-51.
- [7]: Dirks KN, Hay JE, Stow, CD, Harris D High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of rainfall data. J Hydro 1998; 208: 187-193.
- [8]: Tabios GQ, Salas JD A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. Water Resour Bull 1985 (3):365-380.
- [9]: Krishana Murthy B R, G Abbaiah Geostatistical analysis for estimation of mean rainfalls in Andhra Pradesh, India .international Jornal of geology 2007; 3:35-51.

## Références bibliographiques

---

- [10]: M.Coulibaly, S.Becker Spatial interpolation of annual precipitation in South Africa Comparison and evaluation of methods 2007; 32:494-502.
- [11]: S.Krahenmann; B.Ahrens On daily interpolation of precipitation backed with secondary information 2010; 4:29-35.
- [12]: Spatial Interpolation of Annual Precipitation in Annaba- Algeria - Comparison and Evaluation of Methods Mehdi Keblouti, Lahbassi Ouerdachia , Hamouda Boutaghane . *A Laboratory of hydraulics and hydraulic constructions, Badji Mokhtar University, P.O.BOX 12, Annaba 23000,Algeria.*
- [13]: <http://echo2.epfl.ch/e-drologie> – chapitre 3 – Précipitation
- [14]: Interpolation spatiale – Pierre Bosser – Ecole national de sciences Géographiques – Département positionnement terrestre et spatial.
- [16]: <http://www.aspexit.com> Interpolation-de-donnees-spatiales
- [17]: Interpolation spatiale ([Pierre.Bosser@ensg.ere](mailto:Pierre.Bosser@ensg.ere))
- [18]: Comparaison des méthodes d'interpolations-aide/ArcGIS – <http://desktop.argis.com>
- [19]: Etude comparative entre les méthodes d'interpolations pour la cartographie des nitrates : cas d'application les eaux souterraines de Djelfa, Algérie – Miloud koussa – Département des sciences et techniques, centre universitaire de Mila – Algérie.
- [20]: Kef Seba (LOUAMRI ,2003) BOUCHELAGHEM.E. Caractérisation du peuplement Odontalgique du bassin versant des Oueds : Cherf – Seybouse. P12, P13. COTE M. 1998. Les régions bioclimatiques de l'Est Algérien. Rhumel. Vol. 6. p. 57-71.

## Références bibliographiques

---

[21]: L. Jabri, A. Hani, R. Laouar, J. Mania, J. Mudry et A. Louhi “Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria” *Environmental Geology*,” September 2003, Volume 44, Issue 6, pp 738-744

[22]: Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellègue and the Institutional and Economic Instruments for Sustainable Water Management in the Mediterranean Basin ; “ Institutional framework and decision-making practices for water management in Algeria :Towards the development of a strategy for water pollution prevention and control in the Seybouse River Basin” March 2009.

[23]: BERHAIL Sabri | Préservation et protection contre les crues et inondations | Centre Universitaire de Mila | 2021 | CHAPITRE 3 : Techniques d'homogénéisation des séries climatiques – page 30 –

[24]: **HYFRAN-PLUS | PROF - Université de Moncton**

<https://www.umoncton.ca › prof › node ->

[25]: ANALYSE EST MODÉLISATION hydrologique **Master I : hydraulique urbaine Centre universitaire Abdelhafid Boussouf Mila**

[26]: **<https://globalweather.tamu.edu/>**

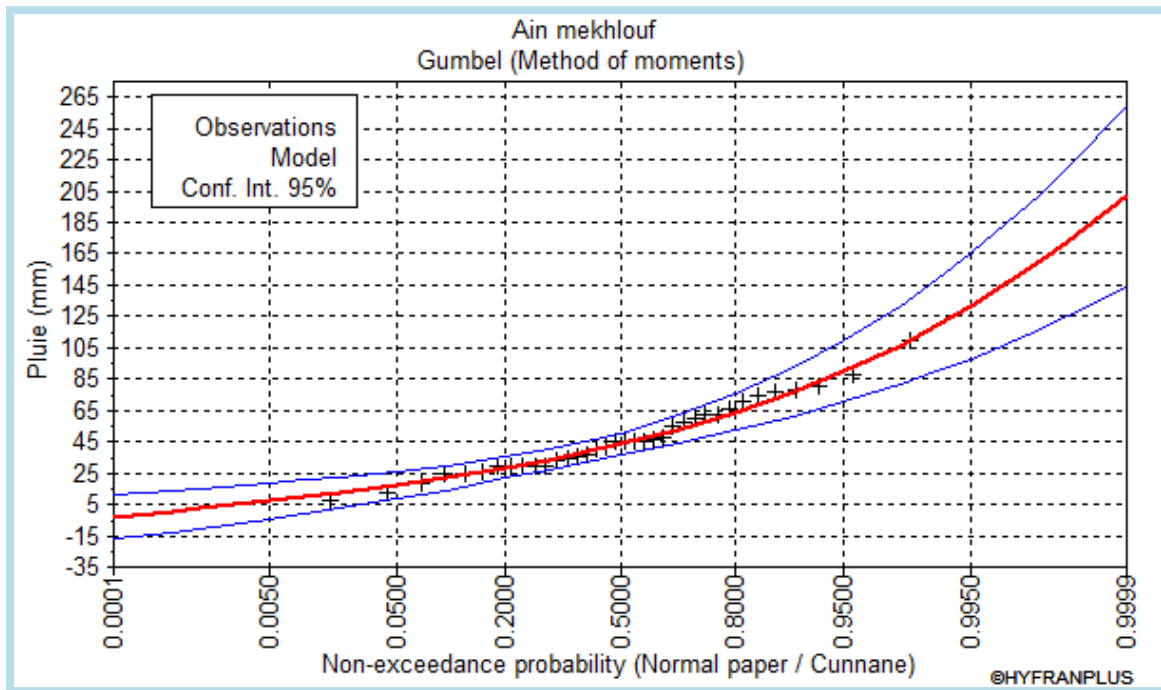
[27]: **<https://fr.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>**

[28]: Qu'est-ce que ArcGIS - **<https://resources.arcgis.com › articles ->**



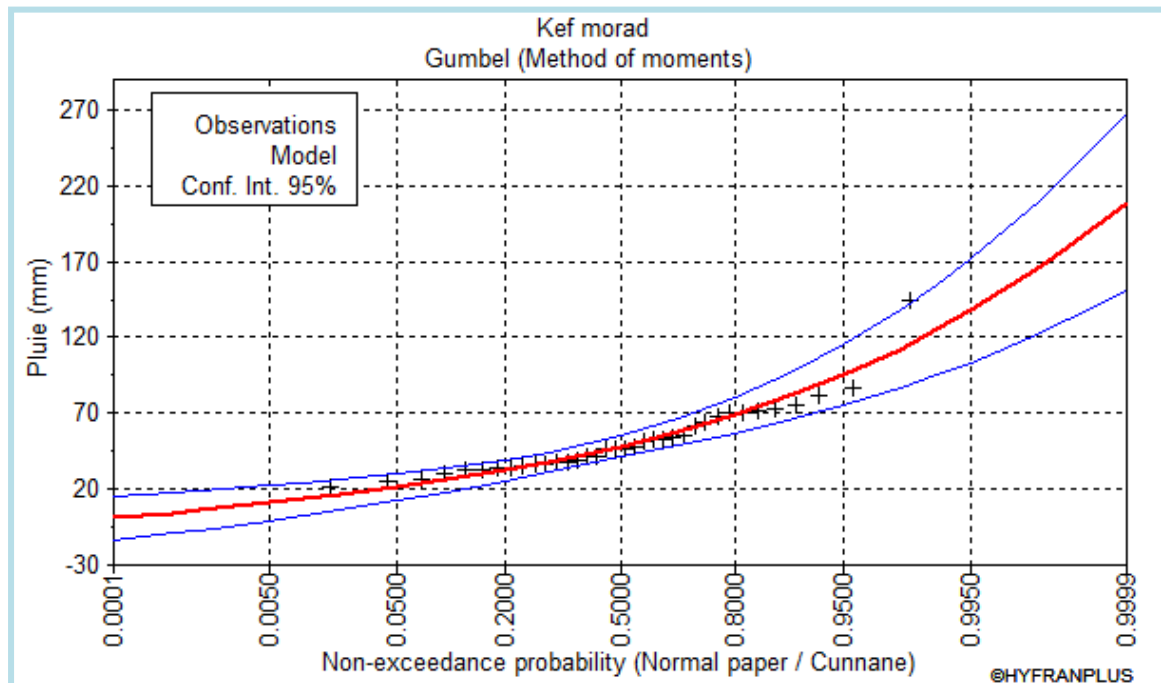
# **Annexes**

### Station Ain Makhlouf (140205)



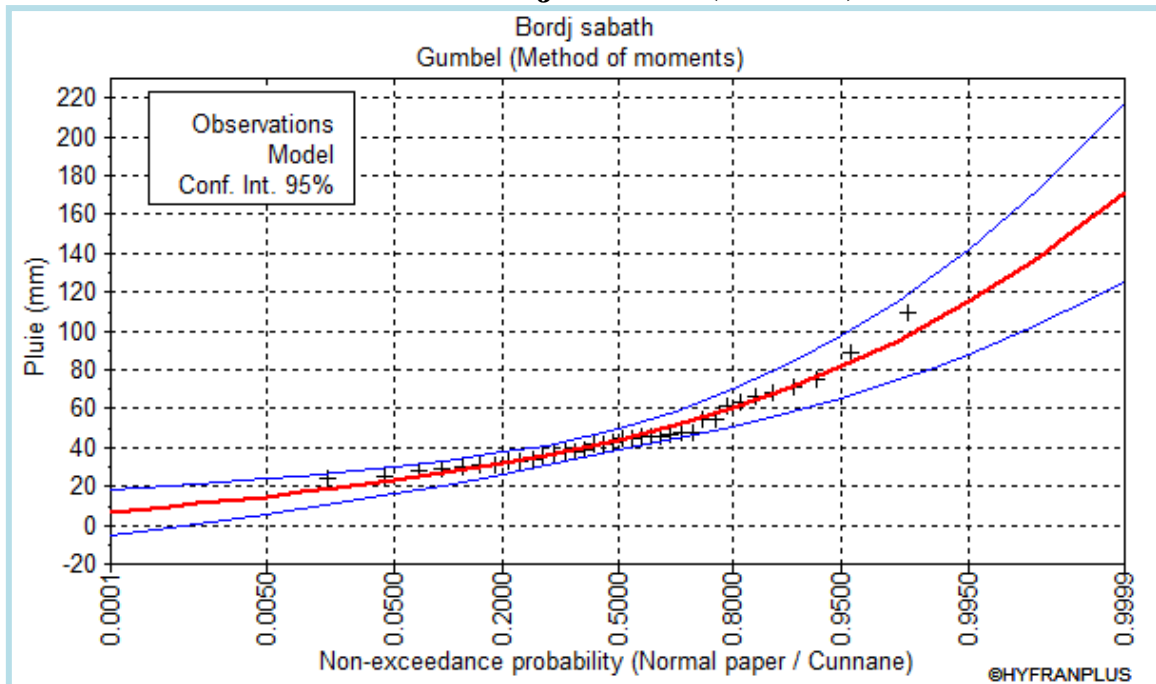
### Loi de Gumbel

### Station Kef Morad (140111)



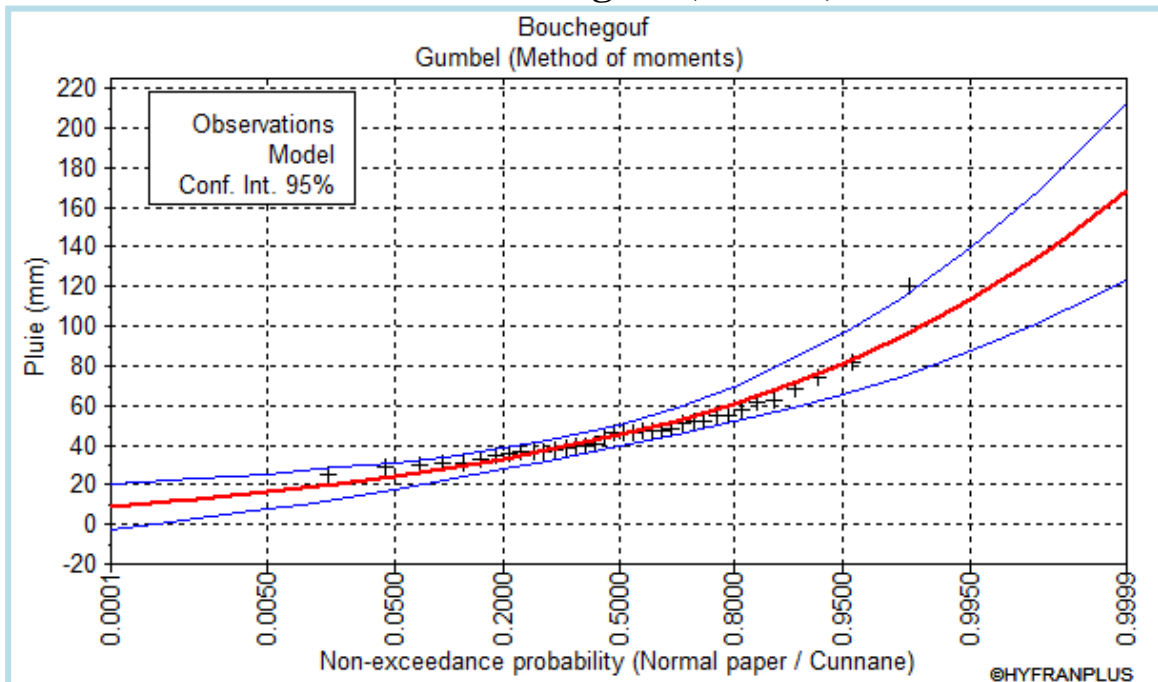
### Loi de Gumbel

### Station Bordj Sabath (140302)



**Loi de Gumbel**

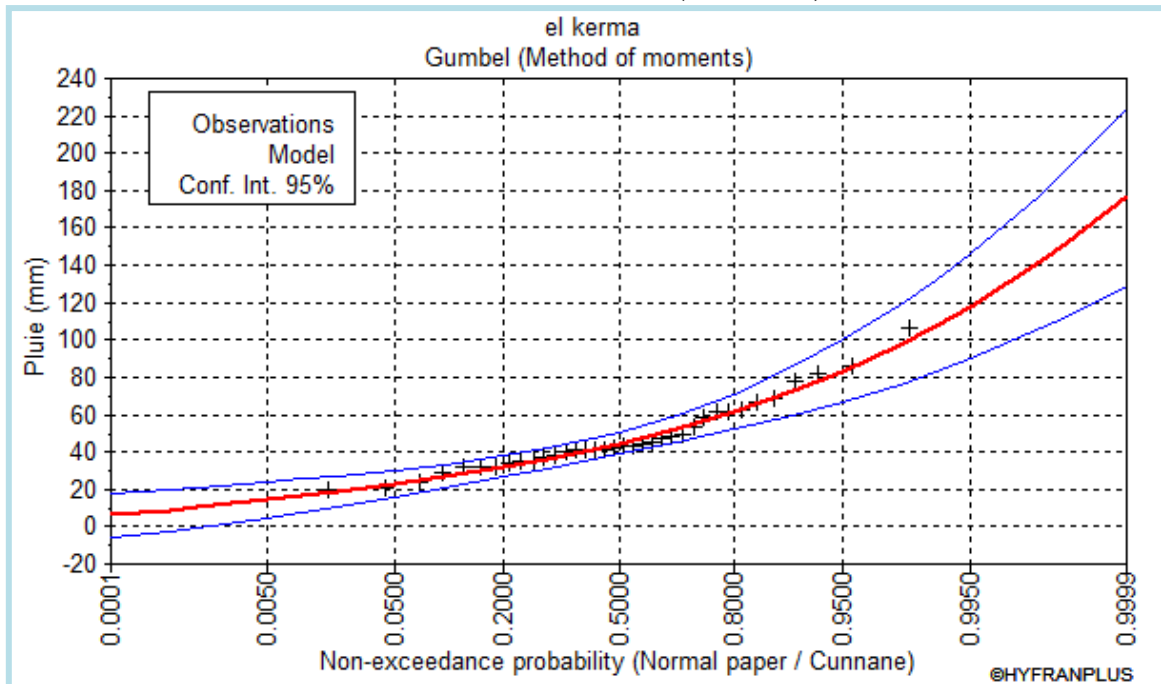
### Station Bouchegouf (140505)



**Loi de Gumbel**

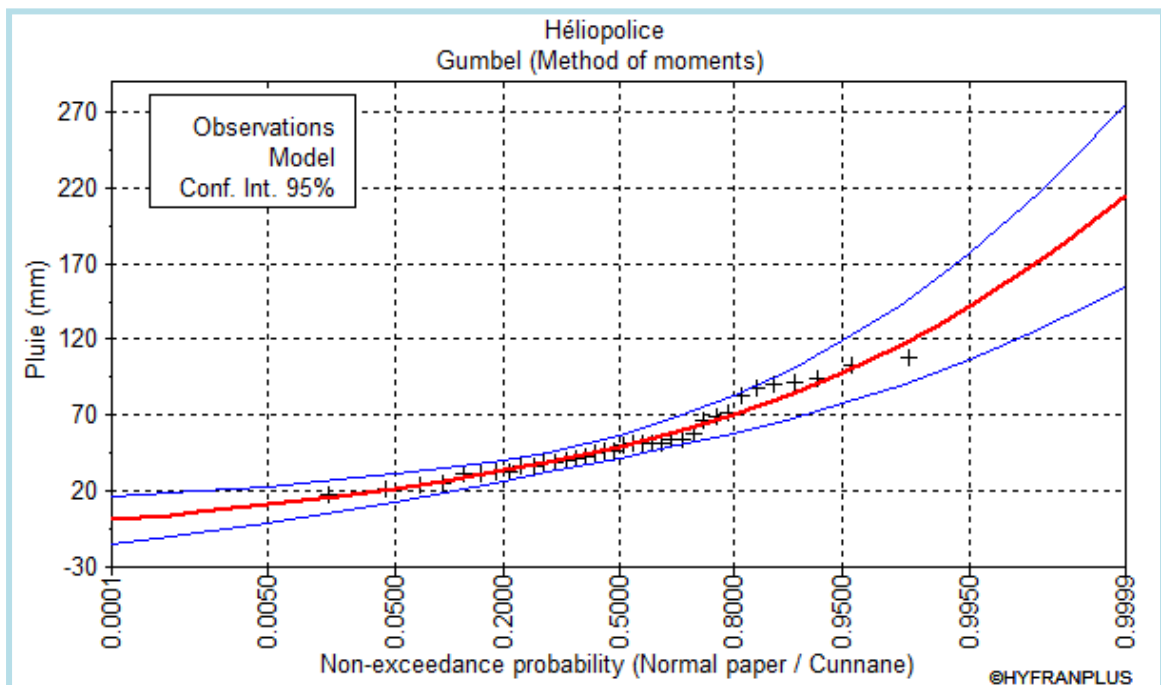


### Station El Kerma (140609)



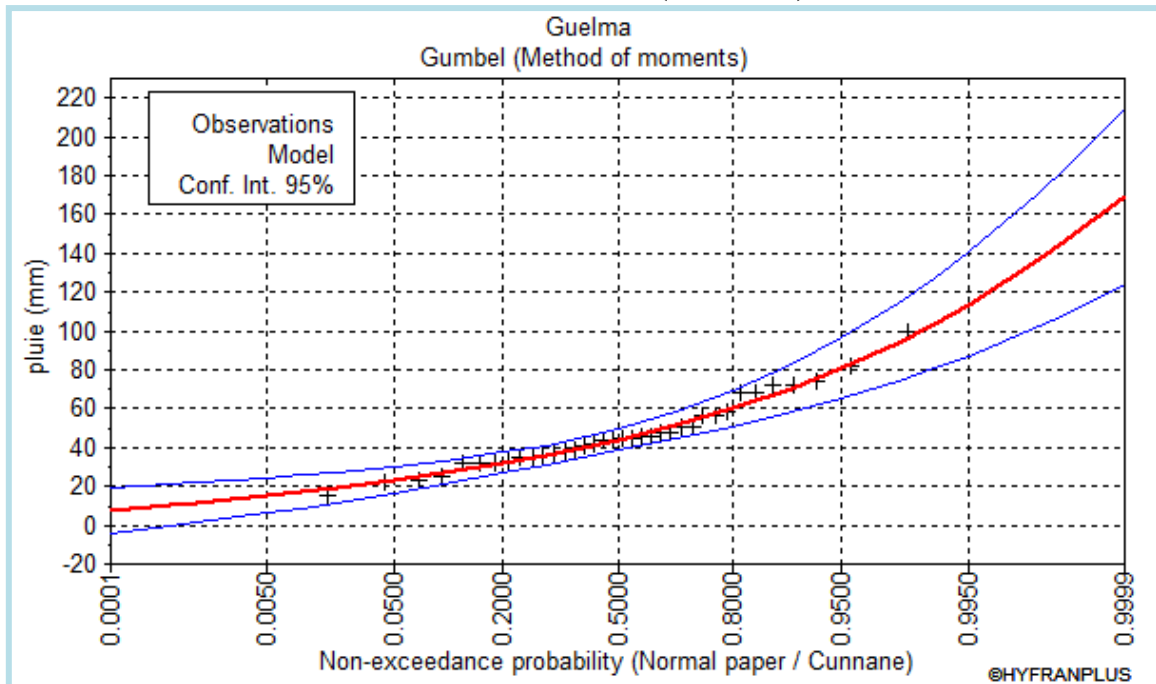
### Loi de Gumbel

### Station Héliopolice (140403)



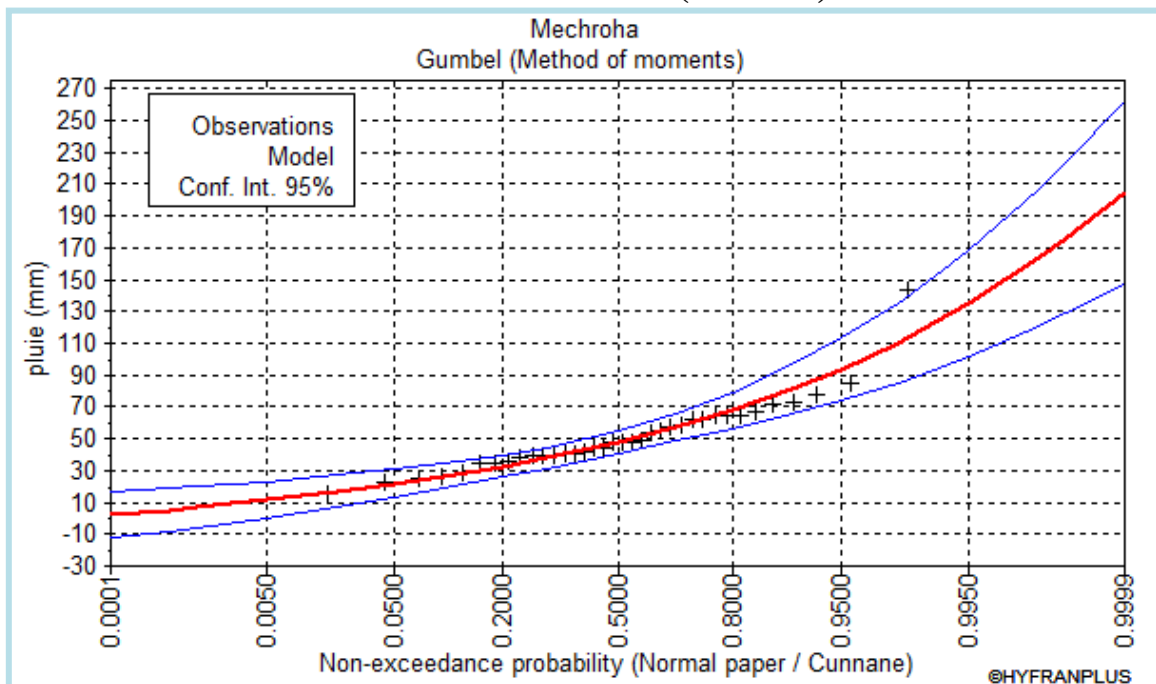
### Loi de Gumbel

### Station Guelma (140412)



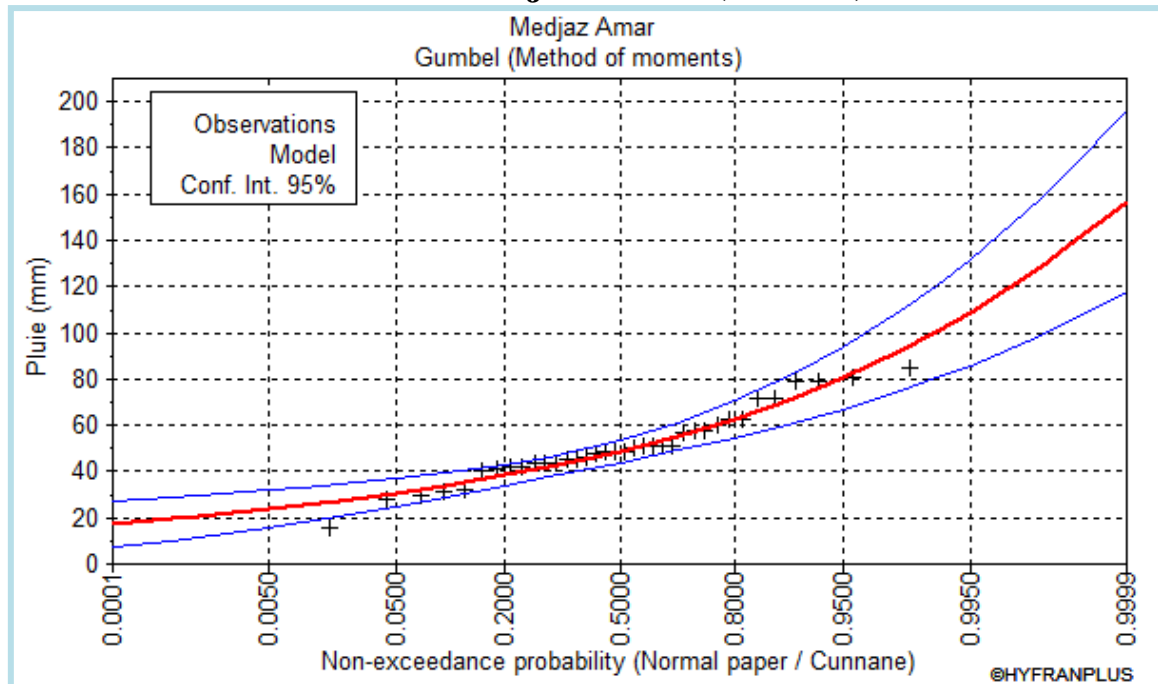
**Loi de Gumbel**

### Station Mechroha (140502)



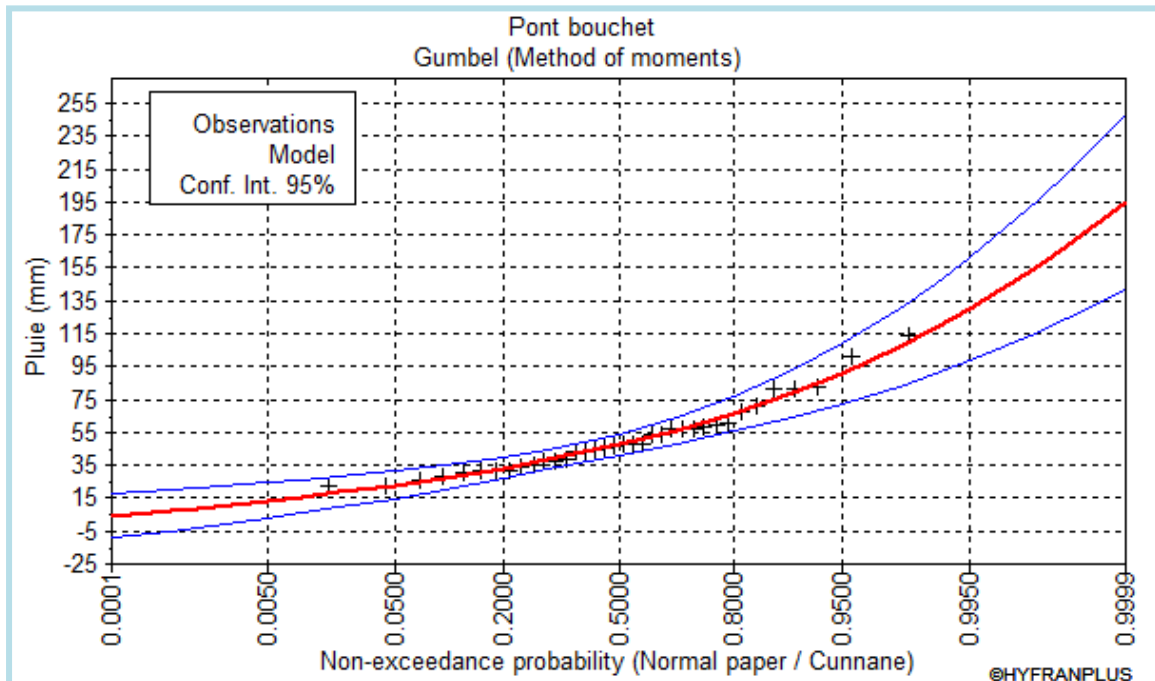
**Loi de Gumbel**

### Station Madjaz Amar (140313)



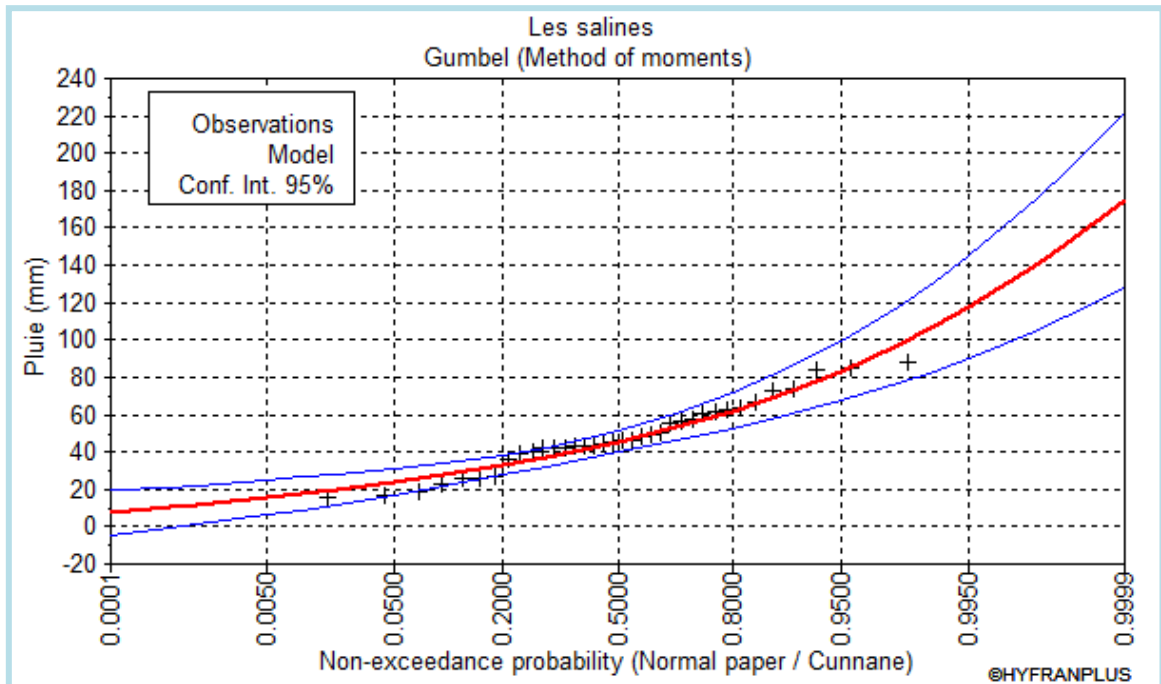
Loi de Gumbel

### Station Pont Bouchet (140631)



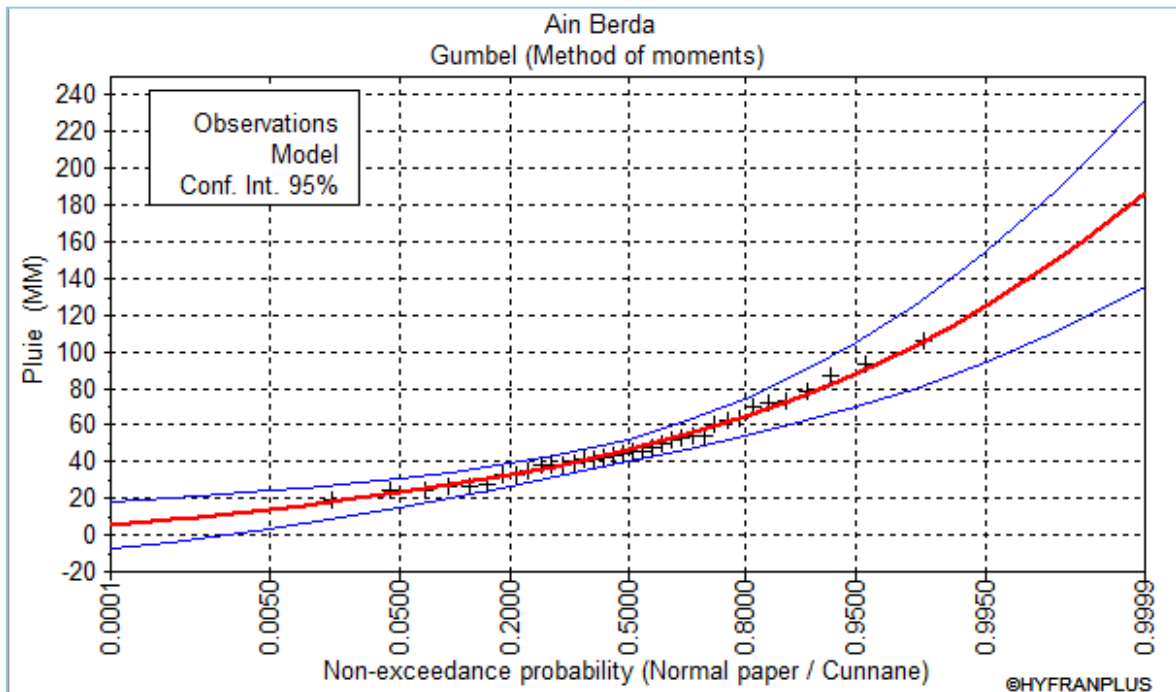
Loi de Gumbel

### Station Les Salines (030624)



### Loi de Gumbel

### Station Ain Berda (140606)



### Loi de Gumbel











