

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 :.....

Centre Universitaire
Abdelhafid Boussouf Mila

Institut des sciences et de la technique

Département de Sciences et technique

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

Spécialité: Hydraulique urbain

***Régionalisation des paramètres climatiques, cas
du bassin versant Kébir-Rhumel, Nord-Est de
l'Algérie.***

Préparé par :

**SEKHERI Romaiassa
MESKINE Aicha**

Soutenu devant le jury

Dr. KOUSSA.M

Président

Dr. BERHAIL.S

Examineur

Dr. KEBLOUTI.M

Promoteur

Année universitaire : 2019/2020



Dédicaces Dédicaces

Je dédie ce modeste travail ma chère mère,

A mon père qui m'ont toujours soutenu

Pour tous ce qui ont fait pour que je puisse

Les honorer, et leur patience durant ma vie.

A mes très chers frères et à mes chères sœurs

A toute ma famille

A mes chers amis.



Remerciement Remerciement

Nous tenons dans un premier temps à remercier toutes les différentes personnes qui nous ont suivie et aidée dans notre travail.

Avant tout, nous Remercions dieu le tout-puissant de nous avoir donné la force de faire ce travail, de nous avoir guidé vers la réussite dans notre vie. et nous avoir protégé jusqu'à ce qu'on atteigne notre but.

Nous tenons à remercier notre encadreur monsieur Keblouti Mehdi pour son soutien, son suivi attentif et ses précieux conseils durant toute la durée de la préparation de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse également à tous les professeurs qui nous ont enseignés et qui par leurs compétences nous ont soutenus dans la poursuite de nos études.

Nos vifs remerciements vont aussi aux membres du jury Dr. BERHAÏL.S et Dr. KOUSSA.M qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Enfin nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la concrétisation de ce mémoire.

Sommaire

Liste des figures.	
Liste des tableaux.	
Abréviation.	
Résumé.	
Introduction général.....	1
Chapitre I : bibliographie	
I.1. Introduction	3
I .2. Définition de la régionalisation	3
➤ Quelques applications.....	3
I .2.1 Régionalisation des précipitations dans l'état du Paraná (brésil) en lien avec la température de Surface de la mer	4
I .2.2 Régionalisation des lois de distribution des pluies mensuelles en Tunisie	4
I.2.3 Régionalisation du débit pluvial et paramètres climatique dans la ville du Tipaza	4
I .3 Généralités sur les précipitations	5
I .3.1 Définition	5
I.3.2 Mécanismes et types de précipitations	5
I.3.2.1 Les type de précipitations	5
A) La précipitation convective	5
B) La précipitation frontale	6
C) La précipitation orographique	7
I.3.2.2 Mesures de la précipitation	7
▪ Le pluviomètre	7
▪ Le pluviographe	8
I.3.2.3 Analyse des précipitations sur l'ensemble d'un bassin versant	8
I.4. Méthode	8
I.4.1 Méthode de Horton	8
I.4.2 Méthode des moyennes arithmétiques	8
I.4.3 Méthode des isohyètes	9
I.4.4 Méthode des deux axes	9
I.5 Méthode par interpolation spatiale.....	11
I.5.1 Définition	11

I.5.2 Présentation des méthodes de spatialisation	11
I.5.2.1 Méthode stochastique	12
I.5.2.1.1 Technique de krigéage	12
▪ Krigeage simple	12
▪ Krigeage ordinaire	13
▪ Krigeage universel	14
I.5.2.1.2 Méthode des surfaces de tendance	14
I.5.2.2 Méthode de déterministe	14
I.5.2.2.1 Polygone de thiessen	14
I.5.2.2.2 Méthode d'inverse de distance	15
I.5.2.2.3 Méthode de spline	15
I.6. Conclusion	16
Chapitre II : présentation de bassin versant Kèbir-Rhumel	
II.1 Présentation de la zone étude.....	18
II.2. Géologie de bassin versant du kebir-Rhumel.....	19
II.3 Climatologie	20
II.3.1 Les précipitations	21
II.4. Topographie	22
II.5. Les réseaux hydrographique de bassin versant kebir el-rhumel	24
a) Oued Rhumel	24
b) Oued Endja	24
c) Oued El Kebir	24
II.5.1 Réseau de mesures pluviométriques	24
II.5.2 Diagnostic du réseau de mesure	26
II.8. Synthèse	28
Chapitre III : collecte et critique des données	
III.1 Introduction.....	30
III.2 Critique des données	30
III.3 Présentation des données	31
III.4 comblement de lacunes	32
III.4.1 Méthodes de comblement des lacunes	32
III.4. 2 Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire	33
• Principe de basse	33
III.4. 2.1 Cas des pluies journalières maximales de la station Ain Fekroun	35

III.4. 2.2 Cas des pluies journalières maximales de la station de Zighoud	36
III.4. 2.3 Cas des pluies journalières maximales de la station de Hamala	37
III.5 Vérification de l'homogénéité.....	38
III.5.1 Le test de Wilcoxon	38
III.5.1.1 Cas des pluies journalières maximales de la station KOUDIAT TINDART (100208).....	39
III.6 Vérification des valeurs singulières	43
III.6.1 Détection des valeurs singulières	43
III.6.2 Test de Grubbs et Beck	44
III.7 Conclusion	45

Chapitre IV : Analyse fréquentielle

IV.1.Introduction	47
IV.2. Présentation du logiciel « Hydrognomon ».....	47
IV.3 Ajustement des lois de probabilité.....	47
IV.3.1 Les lois d'ajustements	47
IV.3.1.1 La loi log Normal	47
IV.3.1.2 Loi de GUMBEL	48
IV.3.1.3 loi Exponentielle	49
IV.3.2 Test d'adéquation.....	49
IV.3.2.1 Test De Kolmogorov-Smirnov.....	49
IV.4 Ajustements des pluies journalières maximales.....	50
IV.4.1 Ajustement des lois de probabilité	51
IV.4.2 Test d'adéquation de l'ajustement	52
IV.5 Synthèse.....	54

Chapitre V : résultats et discussion

V.1 Introduction	56
V.2 Arc-gis	56
V.2.1 Domain d'utilisation Arc-Gis	56
V.3 Evaluation des méthodes d'interpolation spatiale sur le bassin versant Kébir- Rhumel	56
V.3.1 Un échantillon des pluies analysé.....	57
V.3.2 Principe de l'évaluation par validation croisée	57

Sommaire

V.3.3 Résultats de l'évaluation et observations	57
V.4 Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les pluies de différentes périodes de retour	58
V.5 Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les températures	62
V.6 L'évapotranspiration	66
V.6.1 Données utilisées	66
V.6.2 Formule de Thornthwaite.....	67
V.6.3 Calcul d'évapotranspiration	67
V.6.4 Application de la méthode d'interpolation spatiale sur l'évapotranspiration	69
V.7.Discussion	74
Conclusion générale	76

Références bibliographiques.

Annexes

Liste des figures

Liste des figures:

Chapitre I :

Figure (01) : Précipitation convective	6
Figure (02) : Précipitation frontale.....	6
Figure (03) : Précipitation orographique.....	7
Figure (04) : Schéma de la méthode des deux axes.....	11
Figure (05) : Schéma des méthodes d'interpolation spatiale.....	12

Chapitre II :

Figure(06) : Situation géographique du bassin versant Kébir–Rhumel.....	19
Figure(07) : Les grands domaines géologiques et hydrologiques (Mebarki, 2005)....	20
Figure(08): Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Mébarki A, 2005).....	21
Figure(09): Carte des précipitations moyennes annuelles de l'Est Algérien (Extrait ANRH).....	22
Figure(10): Modèle Numérique de terrain du bassin versant Oued Rhumel.....	23
Figure(11): Carte des pentes pour le bassin versant kébir-Rhumel.....	23
Figure(12) : Réseau hydrographique et localisation des stations pluviométriques.....	25

Chapitre III :

Figure(13) : Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station El kheng –Ain Fekroun.....	36
Figure(14): Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle stationEl-Milia –Zighoud.....	36
Figure(15): Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle stationEl Milia–Hamala.....	37

Chapitre IV :

Figure(16) : principe du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV pour $n=4$	49
Figure(17) : loi log Normale	51
Figure(18): loi Exponentielle.....	51
Figure(19) : loi de Gumbel	51
Figure(20) : fonction de densité (03 lois).....	51

ChapitreV :

Figure(21): Carte de P_{jmax} annuelle interpolée (période de retour 2 ans).....	58
Figure(22) : Carte de P_{jmax} annuelle interpolée (période de retour 5ans).....	58

Liste des figures

Figure(23) :Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 10 ans).....	59
Figure(24) :Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 20 ans).....	59
Figure(25) :Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour50 ans).....	60
Figure(26) :Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour100 ans).....	60
Figure(27) :Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour200 ans).....	61
Figure(28) :Carte de Pjmax annuelle interpolée (période de retour500 ans).....	61
Figure(29) :Carte de température interpolée (mois d’octobre).....	62
Figure(30) : Carte de température interpolée (mois de janvier).....	62
Figure (31) :Carte de température interpolée (mois d’avril).....	63
Figure(32) : Carte de température interpolée (mois de juillet).....	63
Figure(33) :Carte de température interpolée (saison d’automne).....	64
Figure(34) :Carte de température interpolée (saison d’hiver).....	64
Figure(35) :Carte de température interpolée (saison de printemps).....	65
Figure(36) :Carte de température interpolée (saison d’été).....	65
Figure(37) : Réseau météorologique (station swat).....	66
Figure(38) :Carte d’évapotranspiration interpolée (mois d’octobre).....	69
Figure(39) : Carte d’évapotranspiration interpolée (mois janvier).....	69
Figure(40) : Carte d’évapotranspiration interpolée (mois d’avril).....	70
Figure(41) : Carte d’évapotranspiration interpolée (mois de juillet).....	70
Figure(42) : Carte d’évapotranspiration interpolée (saison d’automne).....	71
Figure(43) :Carte d’évapotranspiration interpolée (saison d’hiver).....	71
Figure(44) :Carte d’évapotranspiration interpolée (saisons des printemps).....	72
Figure(45) :Carte d’évapotranspiration interpolée (saison d’été).....	72

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Chapitre II :

Tableau 01: Superficie des sous bassins du réseau hydrographique du Kebir-Rhumel avec les ressources potentielles superficielles.....	18
Tableau 02 : Le réseau de mesure existant dans le bassin versant kébirRhumel.....	25
Tableau 03 : Nombre de pluviographe selon Niemczynowicz.....	26
Tableau 04 : Nombre de pluviographe selon Shiling.....	27
Tableau 05 : Nombre de pluviographes selon Paturel et al (1986).....	27

Chapitre III :

Tableau 06: Le réseau de mesure existant dans le bassin version Kébir-Rhumel	31
Tableau 07 : Matrice évaluation d'évaluation du coefficient de corrélation de couples de stations des pluies journalières maximales annuelles.....	34
Tableau 08: Séries des PJ max annuelles disponible.....	34
Tableau 09 : Série des 33 années des PJ max annuelles reconstitué.....	37
Tableau 10 : Série des pluies journalières maximales de la station de KOUDIAT TINDART(100208)	39
Tableau 11 : Application de la méthode de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies maximales journalières de la station de KOUDIAT TINDART	40
Tableau 12: Résultats de Test de Wilcoxon sur les stations de bassin version Kébirn – Rhumel	42
Tableau 13: Test de représentativité de Grubbs et Beck	45

Chapitre IV :

Tableau 14 : Classement des valeurs par ordre croissant (station Beni Aziz).....	50
Tableau 15 : Résultats de test de Klomogrov Smirnov	52
Tableau 16 : les pluies de déférentes périodes de retour.....	53

ChapitreV :

Tableau 17 : Caractéristique statistiques des stations étudiées (Pjmax annuelle).....	56
Tableau 18 : Erreur d'estimation moyenne globale pour les quatre méthodes.....	57
Tableau 19 : Le réseau de mesure (SWAT).....	67
Tableau 20 : Les coefficients de k.....	67
Tableau 21 : les valeurs d'ETP pour toutes les stations.....	68

Abréviations :

ANRH : Agence nationale des ressources hydrique.

Cv : coefficient de variation.

TSM : température de surface de la mer.

AST : Analyses en Surfaces de Tendence.

BV : bassin versant.

Np : Nombre de pluviographe.

PJ max : Pluie journalières maximales.

FD: Fréquence Dépassement.

ESRI: Environmental System ResearchInstitute.

SIG: Système d'Information Géographique.

IDW: Inverse Distance Weighting.

RBF: Radial Basis Functions.

KO: Krigeage ordinaire.

KU: Krigeage universel.

ETP: L'évapotranspiration Potentielle.

ETR: L'évapotranspiration Réelle.

Résumé

La disponibilité des données climatiques sont fondamentale pour la plupart des analyses hydrologiques (la conception des systèmes, la gestion, les ressources en eau). Il existe plusieurs méthodes d'interpolation spatiale, malgré leur efficacité et leur facilité d'utilisation des variables, le choix de l'une de ces méthodes dépend des objectifs que l'on se fixe, et principalement du contexte territorial de la zone d'étude (superficie, densité du réseau,.....). L'objectif de cette étude est de mieux comprendre la répartition spatiale des paramètres climatiques (les pluies, la température et l'évapotranspiration) pour le bassin versant Kébir-Rhumel.

Abstract

The availability of rainfall data is fundamental for most hydrological analysis and for the design and management of water resources systems. There are many methods of spatial interpolation despite their effectiveness and ease of use variables, the choice of one or the other depends on the aim of the study, but also on the territorial context of the area (surface, network density, etc.). The aim of this study is to better understand the spatial distribution of climatic parameters (rainfall, temperature, and evapotranspiration) for the Kébir-Rhumel watershed.

الملخص

إن توفر البيانات المناخية أمر أساسيا للعديد من الدراسات الهيدرولوجية (قياس المنشآت، تسيير المياه إلخ) ، هناك العديد من الطرق للاستفتاء المكاني على الرغم من كفاءتها وسهولة استخدام متغيراتها، إلا أن اختيار إحداها مربوط على أهداف تحدد بشكل أساسي من خلال البيانات الإقليمية للمنطقة (المساحة، محطات القياس إلخ) ، الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو فهم التوزيع المكاني لبعض العناصر المناخية (أمطار، حرارة، نتح) للحوض المائي كيبير- رمال.

A large, stylized graphic of a water splash, rendered in shades of blue and white. The splash is centered on the page and has a white outline. The text "Introduction générale" is overlaid on the splash in a black, italicized serif font.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Les données climatologiques telles que (les pluies, la température, l'évaporation et l'évapotranspiration) sont des données très importantes qui sont fréquemment requises pour la gestion des ressources en eau, la modélisation hydrologique et écologique, l'évaluation de la recharge et la planification de l'irrigation. Ces données sont normalement enregistrées sous forme de données d'observation par le biais de réseaux de stations climatologique conçus de manière exhaustive. Cependant, les relevés de précipitations sont souvent incomplets en raison du manque de données sur les précipitations dans la période mesurée ou la faible densité de réseau de mesure dans la région d'étude.

La bonne connaissance des paramètres climatologique constitue le seul outil pour une bonne compréhension du comportement de n'importe quel phénomène hydrologique ex : inondation, sécheresseetc. 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.

Il existe plusieurs techniques statistiques de traitement des processus distribués dans l'espace et échantillonnés de manière plus ou moins aléatoire sont donc un outil privilégié pour l'hydrologue qui cherche soit pour obtenir une bonne représentation de n'importe quel paramètre climatique (ex: cartographie), soit pour calculer les valeurs moyennes sur des surfaces.

Parmi ces techniques qui sont disponibles pour une bonne présentation des paramètres climatiques, on trouve l'interpolation spatiale. L'objectif de notre travail est de faire une analyse comparative est de déterminer la meilleure méthode d'interpolation spatiale, cette dernière est ensuite utilisée pour la création des cartes des pluies, température et d'évapotranspiration pour le bassin versant Kébir-Rhumel,

Notre travail de recherche est organisé de la manière suivante :

Chapitre I : Bibliographie ;

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude;

Chapitre III : Collecte et critique des données;

Chapitre IV : Analyse fréquentielle;

Chapitre V : Résultats et discussion.

A dynamic splash of blue water with many bubbles and droplets, set against a light blue background. The splash is contained within a blue, irregularly shaped frame that resembles a stylized arrow or a splash itself. The text is overlaid on this splash.

Chapitre I :
Méthode d'interpolation
spatiale

Chapitre I : Bibliographie

I.1. Introduction

Dans les pays en voie de développement, la disponibilité de l'information hydrologique (données pluviométriques et hydrométrique) est très difficile. Elle possède en plus des erreurs traditionnelles dites systématiques, des incertitudes supplémentaires dues au manque d'uniformité dans la distribution du réseau de mesure, à la quasi-inexistence d'observations sur les bassins de faible superficie, à la faible quantité des données enregistrées et en fin au manque chronique de moyens financiers qui fréquemment paralyse l'implantation de nombre suffisant des stations de mesure et augmente les défaillances des séries continues.

I.2. Définition de la régionalisation

La régionalisation des variables hydrologiques tente d'utiliser les informations existantes dans une région pour mieux les estimer et les étendre en des lieux où les données sont inexistantes. On peut régionaliser des paramètres climatiques tels que l'exposant climatique (b), le coefficient de variation (cv), et les pluies à différents périodes de retour, les débits extrêmes, des débits, température, l'évaporation, l'évapotranspiration [1].

➤ Quelques applications

Plusieurs études qui ont utilisé la régionalisation des paramètres climatiques pour une bonne connaissance de l'information de ces paramètres dans toute la zone étudiée. La qualité des résultats obtenus par la régionalisation dépend en premier lieu de la disponibilité et la qualité des données utilisées.

En outre, la régionalisation peut avoir d'autres champs d'application, qui sont : prévision de récoltes pluviales, estimation des apports pour l'irrigation, faisabilité de barrages hydro-agricoles, évaluation de la production hydroélectrique, simulation de fonctionnement de systèmes d'eau aménagés, protection contre les crues, ou encore cartographie et plans d'exposition aux risques.

Néanmoins, le problème que pose la régionalisation des paramètres hydrologiques est donc l'élaboration de méthodes qui permettent, compte tenu de l'information disponible, d'aboutir

À des descriptions régionales de la ressource, directement utilisable par les différents acteurs de l'eau.

I.2.1 Régionalisation des précipitations dans l'état du Paraná (brésil) en lien avec la température de Surface de la mer

Situé dans une zone de transition entre le climat tropical et subtropical, (LIMBERGER et AL) ont essayé de faire une analyse de la variabilité des précipitations associées aux anomalies de température de surface de la mer (TSM). Une méthode de classification par groupements a été appliquée à un ensemble de données sur les précipitations provenant de 330 postes pluviométriques pour la période de 1977 à 2016. Les résultats montrent que cinq régions pluviométriques sont homogènes et toutes présentaient des modèles similaires de corrélation linéaire avec la TSM globale, mais avec une intensité d'association différente [2].

I.2.2 Régionalisation des lois de distribution des pluies mensuelles en Tunisie

Le but a été de régionaliser les lois de distribution des pluies mensuelles dans tout le territoire tunisien, pour cela deux lois ont été utilisées, La loi log-normale mixte et la loi des fuites. Les résultats obtenus donnent un bon aperçu de la distribution des lois les mieux ajustées dans toute la Tunisie [3].

I.2.3 Régionalisation du débit pluvial et paramètres climatique dans la ville du Tipaza

L'objectif consiste en une approche cartographique du débit spécifique pluvial en passant par la régionalisation de l'exposant climatique et de l'intensité moyenne maximale dans la ville de Tipaza, afférente à une durée de l'averse pour une probabilité donnée.

À la connaissance de l'auteur de ce mémoire, le Mexique n'a pas encore été l'objet de telles études; ainsi, une première partie de ces travaux a été consacrée à tester l'applicabilité des trois méthodes choisies sur un grand secteur se trouvant dans la partie centrale du Mexique. Cet objectif a permis d'identifier l'approche à privilégier pour la régionalisation sur le bassin versant non-jaugé visé par cette étude.

I.3 Généralités sur les précipitations

I.3.1 Définition

Les précipitations constituent un élément très important du cycle hydrologique. Une région ne recevant aucune précipitation pendant une période prolongée subit une sécheresse, tandis qu'à l'opposé, une région qui reçoit un excès de précipitation subira des inondations qui peuvent devenir très dévastatrices, les problèmes surviennent lorsque les précipitations tombent en volume ou avec une intensité extrême ; il peut y avoir pénurie ou surabondance.

I.3.2 Mécanismes et types de précipitations

Une précipitation se définit comme toute forme d'eau liquide ou solide qui provient de l'atmosphère et atteint la surface de la terre. Les précipitations incluent la pluie, la neige, la grêle, le verglas, la brume, la rosée, la bruine ou crachin, ... La condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère se produit lorsque l'humidité relative atteint 100% et qu'il y a présence de particules autour desquelles la précipitation se condense. Le poids des petites gouttelettes les entraînent vers le bas et, dans leur descente, il y a des collisions entre elles pour augmenter leur poids par coalescence.

I.3.2.1 Les types de précipitation

Les types de précipitation sont classés selon le mécanisme qui a servi à les générer. Nous y retrouvons les types suivants :

A) La précipitation convective

Qui se définit comme le procédé de transfert de chaleur d'une place à une autre par le déplacement actuel d'un gaz ou d'un liquide chaud. Ce type de précipitation se produit grâce au soulèvement d'une masse d'air humide. Nous y retrouvons les orages électriques. Le tout débute avec le soleil qui réchauffe le sol, lequel absorbe les rayons et les transforme en rayons infrarouges qui réchauffent l'air et le force à se soulever. Une fois déplacé, l'air chaud est remplacé par une masse d'air plus froid, cette dernière étant de nouveau réchauffée. Ce processus se répète jusqu'à ce que l'air déplacé atteigne une altitude où la température se trouve sous le point de rosée et qu'il y ait condensation de la vapeur d'eau.

Lorsque la condensation se produit, il y a dégagement de chaleur latente de condensation qui réchauffe à son tour la masse d'air en soulèvement. Cet emmagasinement se continue tant qu'il y a de l'humidité disponible ou que la quantité d'humidité accumulée dans le système convectif demeure suffisamment importante pour que le système en dégage plus qu'il en reçoit.

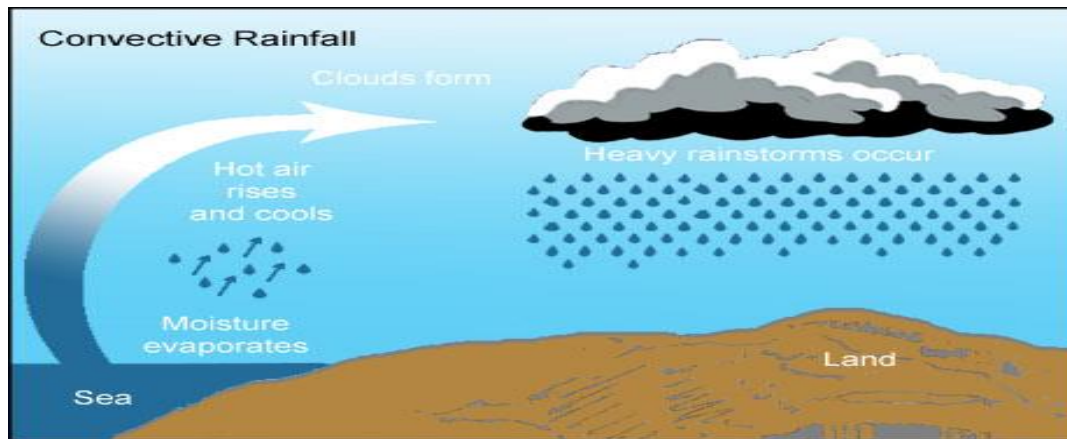


Figure (01) : Précipitation convective.

B) La précipitation frontale

Qui se produit dans un système à basse pression est associée à un front froid. Comme le système à basse pression est étendu et que la circulation de l'air qui est refroidi de façon adiabatique s'effectue sur une superficie de grande dimension, la précipitation elle-même couvre aussi une superficie de grande dimension. L'intensité de l'averse se situe de faible à moyenne. De plus, à cause de l'étendue d'une averse de ce type, sa durée peut être longue pour toute zone au-dessus de laquelle elle se déplace.

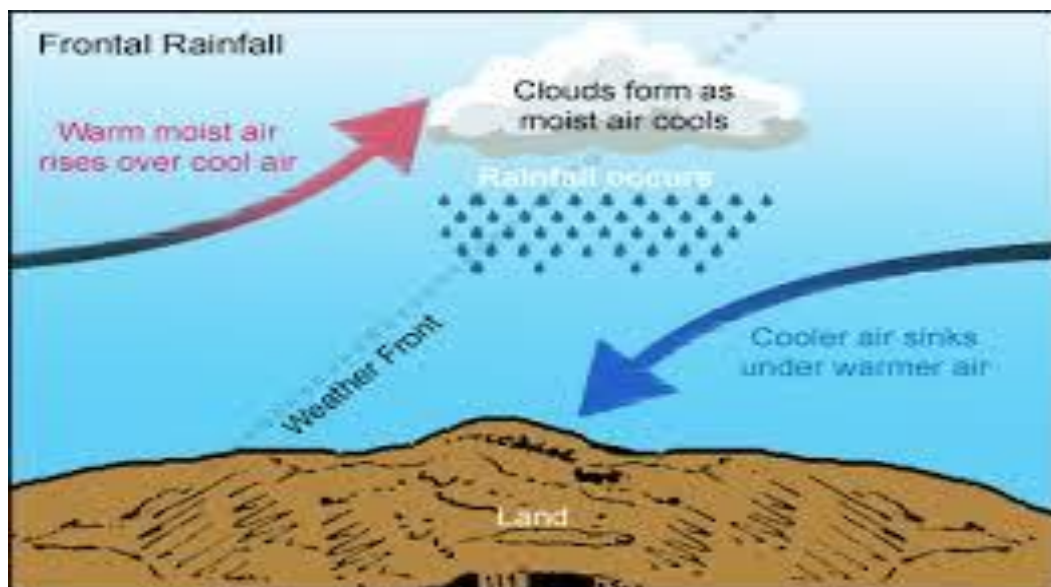


Figure (02) : Précipitation frontale.

C) La précipitation orographique

Se produit à cause du soulèvement mécanique d'une masse d'air chaud au-dessus de montagnes, ce qui cause un refroidissement adiabatique. Il s'agit d'une précipitation stationnaire, parce que c'est en un point du soulèvement de la masse d'air humide qu'est atteint le point de rosée. C'est un système de basse pression qui cause le déplacement de la masse d'air humide. La durée peut être longue, et l'intensité varie de moyenne à forte. Son étendue est de forme longue mais étroite.



Figure (03) : Précipitation orographique.

I.3.2.2 Mesures de la précipitation

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 [4].

▪ 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.

▪ 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.

I.3.2.3 Analyse des précipitations sur l'ensemble d'un bassin versant

Pour évaluer le volume total des précipitations sur un bassin ou une région qui correspond à une averse ou à une période de temps déterminée il faut mesurer la hauteur de pluie.

Les données proviennent généralement de plusieurs postes pluviométriques, la répartition géographique de la hauteur de pluie est donc loin d'être homogène pour un même épisode pluvieux.

Le problème de la représentation d'une mesure ponctuelle pour estimer une moyenne géographique est aussi présent. Car plus la station est éloignée, moins son rôle est déterminant en ce qui concerne l'estimation du volume moyen.

✓ Il existe plusieurs méthodes pour estimer la précipitation moyenne dans un bassin versant.

I.4.Méthode 1

I.4.1 Méthode de Horton

La formule (1) permet de mesurer la hauteur de précipitation couverte par une averse ; l'enregistrement a été réalisé au centre de celle-ci :

$$P = P_{\max} \cdot e^{-K \cdot A^n} \dots\dots\dots (1)$$

Où :

P : Précipitations moyennes à un instant donné (mm).

P_{max} : Précipitation maximales au centre de l'averse (mm).

A : Superficie couverte par l'averse (Km²).

K, n : Paramètres de l'averse.

I.4.2 Méthode des moyennes arithmétiques

La méthode la plus ancienne, employée pour calculer la pluie moyenne dans un bassin versant, en utilisant les valeurs enregistrées dans plusieurs stations du bassin durant une période fixe de temps, elle est donnée par la formule (2) :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

Où :

P : Précipitations moyennes à un instant donné (mm).

n: Nombre de stations.

P_i : Précipitations enregistrées dans la station « i » en (mm).

I.4.3 Méthode des isohyètes

La méthode la plus simple pour calculer la moyenne des pluies à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité. L'objectif est de faire des lignes d'égaies précipitations (isohyètes) au moyen des enregistrements disponibles dans les stations du bassin et d'autres stations avoisinantes.

La hauteur des précipitations sur le bassin est donnée par la formule (3) :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \bar{P}_i}{S} \dots\dots\dots (3)$$

Où :

S_i : Superficie comprise entre l'isohyète « i » et l'isohyète et « i+1 »

\bar{P}_i : Hauteur moyenne des précipitations entre « i » et « i+1 » en (mm).

Elle est donnée par la formule (4) :

$$\bar{P}_i = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \dots\dots\dots (4)$$

P_i : Hauteur des précipitations de l'isohyète « i » en (mm).

I.4.4 Méthode des deux axes

Cette méthode repose sur l'hypothèse que l'importance relative d'une station dans l'évaluation de la hauteur moyenne de pluie dépend de la proximité de la station par rapport au centre géographique du bassin. Ce centre géographique est déterminé de la façon suivante : Tracer une ligne droite allant du point le plus bas du bassin (embouchure) jusqu'au point le plus éloigné suivant le cours d'eau principal et sa prolongation virtuelle ;

Tracer la médiatrice de ce segment, et la partie de cette médiatrice comprise entre les limites du bassin est l'axe mineur ;

Le segment de médiatrice de cet axe, à l'intérieur du bassin est l'axe majeur ;

Le point d'intersection des deux axes (majeur et mineur) est le centre géographique du bassin.

Par cette méthode, si «M» est une station pluviométrique, son coefficient de pondération est proportionnel à l'angle « α_m » formé par le point « M » et les extrêmes les plus éloignés des axes, la hauteur des précipitations est donnée par la formule (5) :

$$P = \sum_{k=1}^n w_k \cdot p_k \quad \dots\dots\dots (5)$$

Où :

$$W_k = \alpha_i \cdot \left(\sum_{k=1}^n \alpha.k \right)^{-1} \quad \dots\dots\dots (6)$$

P_K : Précipitation enregistrée sur la station « K » en (mm).

W_K : Coefficient de pondération pour la station « K ».

n : Nombre total de stations.

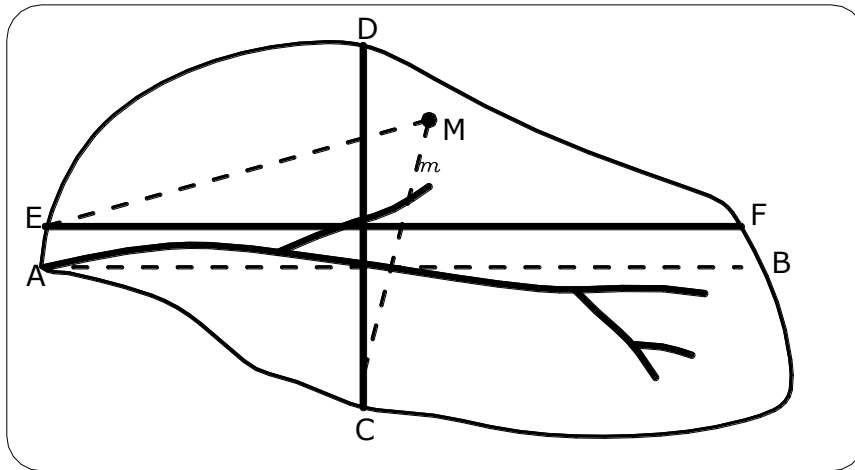
$$\alpha_m = \cos^{-1} \cdot \frac{l_1^2 + l_2^2 - a^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Où :

l₁ et **l₂** : Les distances entre le point « M » et la première et deuxième extrémités des deux axes.

a : La distance entre les deux extrémités des axes.

Le schéma de la méthode des deux axes est donné par la figure (4).



Figure(04) : Schéma de la méthode des deux axes.

I.5 Méthode par interpolation spatiale

I.5.1 Définition

L'interpolation spatiale est une procédure d'estimation des valeurs à partir des valeurs avoisinantes observées connues, pour la spatialisation de la pluie sont nombreuses, ainsi que d'une complexité et d'une efficacité très variables. La sélection de l'une ou l'autre est logiquement conditionnée par la représentativité espérée des résultats que l'on obtiendra.

I.5.2 Présentation des méthodes de spatialisation

Il existe une multitude de méthodes d'interpolation spatiale, allant de la plus basique à la plus évoluée. Ces techniques sont en général regroupées en deux catégories, bien que d'autres typologies existent. La première catégorie regroupe les méthodes d'interpolation déterministes qui ne modélisent pas la variable régionalisée par une fonction aléatoire, au contraire de la deuxième catégorie des méthodes stochastiques, où toute valeur régionalisée est considérée comme le produit d'une variable aléatoire [5].

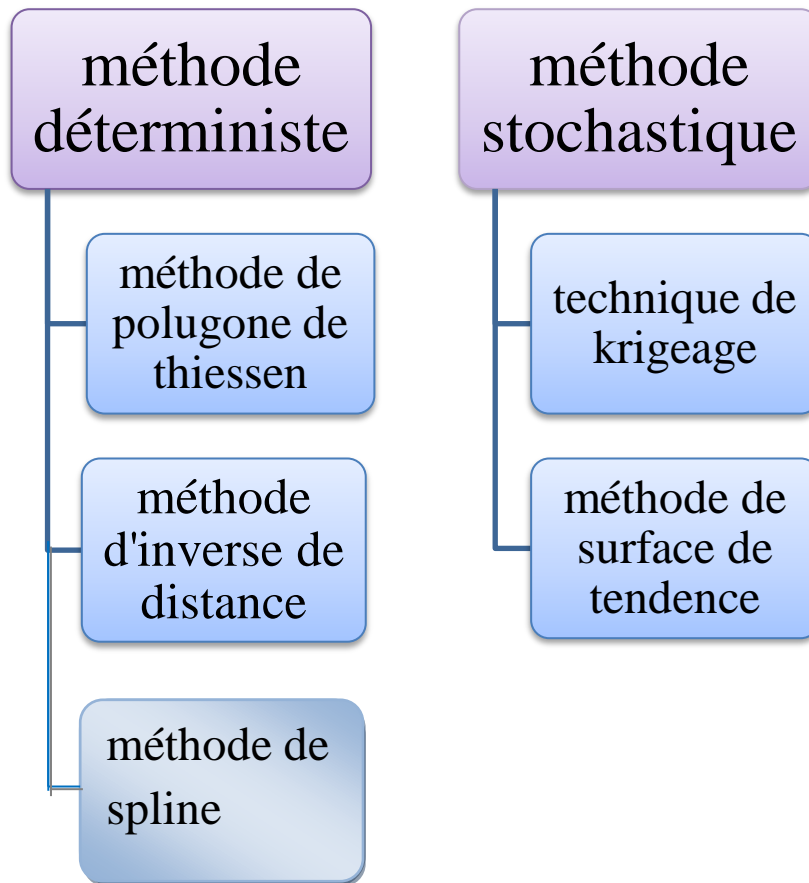


Figure (05) : Schéma des méthodes d'interpolation spatiale.

I.5.2.1 Méthode stochastique

I.5.2.1.1 Technique de krigeage

Le **krigeage** est, en géostatistique, la méthode d'estimation linéaire garantissant le minimum de variance. Le krigeage réalise l'interpolation spatiale d'une variable régionalisée par calcul de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, utilisant l'interprétation et la modélisation du variogramme expérimental. C'est le meilleur estimateur linéaire non-biaisé ; il se fonde sur une méthode objective. Il tient compte non seulement de la distance entre les données et le point d'estimation, mais également des distances entre les données deux-à-deux. Les méthodes de krigeage se sont développées ces trente dernières années dans l'industrie minière et la climatologie.

Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale stochastique qui tient compte à la fois de la configuration géométrique des points observés et de la structure spatiale propre à la variable estimée. On distingue trois principaux types de krigeage : le krigeage simple, le krigeage ordinaire, et le krigeage universel [4].

- **Krigeage simple**

Soit Z une fonction aléatoire stationnaire d'ordre 2. Son espérance m et sa matrice de covariance pour les sites d'échantillonnage sont supposées connues. On suppose sans perte $m=0$. On cherche le krigeage de Z en un point .

Écriture du krigeage simple :

1. Par linéarité, le problème devient la recherche des poids λ_i , dépendants du point d'estimation, tels que ;
2. L'autorisation est assurée dans le cas stationnaire;
3. L'universalité est assurée par hypothèse : ;
4. L'optimalité suppose :

Le système de krigeage simple s'écrit matriciellement :

Où K est la matrice de covariance aux sites d'échantillonnage :

λ est la matrice des poids de krigeage :

Et la matrice de covariance du point krigé avec les sites d'échantillonnage.

▪ Krigeage ordinaire

L'espérance m est supposée inconnue (mais définie).

Écriture du krigeage ordinaire :

1. La linéarité donne ;
2. L'autorisation est assurée dans le cas stationnaire;
3. L'universalité ne permet pas de supposer $m=0$, et donne ;
4. L'optimalité est réalisée par la méthode du multiplicateur de Lagrange. Soit μ ce paramètre, on obtient le système de krigeage ci-après

Le système de krigeage ordinaire s'écrit matriciellement :

La variance d'estimation en krigeage ordinaire.

On peut utiliser la même démarche pour évaluer l'espérance inconnue. Soit son estimateur M^* .

Écriture du krigeage de l'espérance

1. La linéarité donne ;
2. L'autorisation est assurée ;
3. L'universalité impose, donc
4. L'optimalité se résout par multiplicateur de Lagrange (noté μ_M) en le système ci-après.

▪ **Krigeage universel**

Le modèle supposé est $Z(x)=Y(x)+m(x)$, comportant une dérive $m(x)$ déterministe et un résidu $Y(x)$ voulu stationnaire (résidu vrai), et d'espérance nulle. La difficulté est de séparer les deux composantes m et y dans la régionalisez. Cette dichotomie peut représenter une opposition explicative entre basses et hautes fréquences, entre tendance régionale et anomalies.

La dérive est supposée décomposable selon un nombre connu de fonctions de base , généralement des monômes des coordonnées, avec $f_0=1$ la fonction constante unité.

Les coefficients a_l sont inconnus. Le modèle de dérive calculé par les algorithmes ci-après ne décrit pas forcément la tendance du phénomène, mais une approximation à l'échelle de travail.

Les hypothèses sur le résidu Y sont appelés sous-jacents sur Z .

Krigeage universel à modèle sous-jacent stationnaire d'ordre 2Modifier.

Ce modèle est interprétable comme ayant une force de rappel autour de la dérive. La covariance est posée.

I.5.2.1.2 Méthode des surfaces de tendance

Il est possible de réaliser des ajustements de surfaces d'équations polynomiales à partir de données enregistrées ponctuellement. En effet, si les données se rapportent à des surfaces, il est possible de considérer dans la plupart des cas un point représentatif de chacune des surfaces. Les interpolations polynomiales sont aussi couramment appelées « Analyses en Surfaces de Tendance » (AST). La méthode d'interpolation spatiale par AST s'apparente à une technique de lissage spatial qui élimine les variations locales pour retenir une surface qui rend compte au mieux de la variabilité spatiale globale de la variable analysée [6].

I.5.2.2 Méthode de déterministe

I.5.2.2.1 Polygone de thiessen

La méthode du polygone de Thiessen permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin sur une carte topographique. Les stations disponibles étant reportées sur une carte géographique, on trace une série de segments de droites reliant les stations adjacentes. On élève des perpendiculaires au centre de chacune des droites (médiatrices) ; les intersections de ces perpendiculaires déterminent des polygones. Dans chaque polygone, la hauteur de précipitation choisie est celle relevée à la station située à l'intérieur de celui-ci. Les côtés des polygones et/ou la ligne de partage des eaux représentent les limites de l'aire (et du poids) accordée à chaque station. L'aire de chaque polygone A_i est déterminée par planimétrie ou numériquement.

La précipitation moyenne pondérée p_{moy} pour le bassin, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations P_i de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire A_i), le tout divisé par la surface totale A du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit

$$P_{moy} = \frac{\sum p_i \cdot A_i}{A} \dots \dots \dots (8)$$

Avec :

P_{moy} : Précipitation moyenne sur le bassin,

A : aire totale du bassin ($=\sum A_i$),

P_i : précipitation enregistrée à la station i ,

A_i : superficie du polygone associée à la station i .

I.5.2.2 Méthode d'inverse de distance

La méthode de l'inverse des distances prend en compte un plus grand nombre de données, en affectant une pondération plus élevée aux valeurs proches qu'aux valeurs éloignées

Cette méthode présente en théorie plusieurs points faibles, car les valeurs interpolées sont toujours comprises entre la valeur minimale et la valeur maximale, et elle ne tient compte que de la distance entre les sites d'observation et le point à estimer, et non de la configuration géométrique des sites d'observation entre eux. Cela implique que la représentativité de l'interpolation est directement corrélée à la densité du réseau (ce qui n'est d'ailleurs pas spécifique à cette méthode).

I.5.2.3 Méthode de spline

Une spline est une règle souple utilisée en dessin et en cartographie afin de tracer des courbes lisses passant par des points préalablement positionnés. En mathématiques, spline est une famille de fonctions régulières minimisant l'énergie de flexion sous des contraintes d'ajustement à des données ponctuelles. Deux catégories de fonctions splines peuvent être identifiées. La première regroupe les splines d'interpolation qui passent exactement par les valeurs observées aux pluviomètres et fournissent ainsi une interpolation exacte, et les lissages qui passent aux environs de ceux-ci, à utiliser quand les valeurs pluviométriques sont connues avec une certaine imprécision (interpolation inexacte) [6], [7], [8].

Pour ces différentes raisons, Seuls les splines d'interpolation seront utilisées dans ce travail.

A la différence des méthodes barycentriques, ce type d'interpolation ne s'effectue pas point par point mais suggère plutôt d'ajuster une surface sur tout le champ D. La spline d'interpolation est une fonction \hat{Z} de la forme suivante :

$$\hat{Z}(s) = \hat{Z}(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + \sum_{i=1}^n b_i e(s, s_i), \quad s \in D \quad \dots (9)$$

Avec : $e(s, s_i) = |S - s_i| 2 \ln(|S - s_i|)$, qui minimise l'énergie de réflexion

I.6. Conclusion

Les mesures de pluie sont très importantes pour de nombreuses applications hydrologiques telles que les opérations d'aménagement, de gestion des eaux et de prévention des risques naturels (inondation....). Les méthodes d'interpolation spatiale (stochastique ou géostatistique), ont été développées et appliquées à des différentes disciplines. Ils sont des variables spécifiques. De nombreux facteurs, notamment la taille de l'échantillon, le plan d'échantillonnage et les propriétés des données affectent les méthodes d'estimation. Il n'y a pas de résultats cohérents sur la façon dont ces facteurs influent sur la performance des interpolateurs spatiaux.

A large, stylized graphic of a water splash, rendered in shades of blue and white. The splash is centered on the page and has a white outline. The text is overlaid on the splash.

Chapitre II :
Description de site

II.1 Présentation de la zone étude

Le bassin versant Kèbir-Rhumel centré à 36° de latitude Nord et à 7° de longitude est l'un des plus importants et grands bassins d'Algérie, s'étendant sur une superficie de 8815 Km², il se compose de 7 sous-bassins hydrographiques et possède une façade maritime d'environ 7 Km². Le bassin est limité au Nord par les deux bassins côtiers Constantinois Ouest et Centre, Et au Sud par le bassin des hauts plateaux constantinois, à l'Ouest les bassins de l'Algérois-HODNA-SOUMMAM et à l'Est le bassin de la Seybouse. Le bassin du Kèbir-Rhumel compte trois barrages : HAMMAM-GROUZ, BENI-HAROUN et BERLA, dont deux sont en exploitation actuellement et sur lesquels notre étude va porter [4].

Le bassin du Kebir-Rhumel couvre six wilayas « Oum EL Bouaghi, Skikda, Constantine, Mila, Sétif, Jijel ». Le territoire de ce bassin comprend les plaines de Fadj M'zala, AIN M'LILA et celles d'El KHROUB au niveau du côté Sud du bassin, et les massifs de «Skikda-Jijel» au Nord du bassin [10] (fig.06).

Les sous bassins dans le grand bassin Kebir-Rhumel représenté dans le tableau suivant :

Tableau (01): Superficie des sous bassins du réseau hydrographique du Kebir-Rhumel avec les ressources potentielles superficielles.

Code de sous bassin	Superficie (Km ²)	Nom de sous bassin
10-01	1067	Oued Déhamcha-Kébir amont
10-02	1102	oued Kébir amont-Endja
10-03	1230	Oued Kébir amont
10-04	1150	Oued Rhumel-Séguen
10-05	1832	Oued Bumerzoug
10-06	1091	Oued Rhumel-Smendou
10-07	1339	Oued Kébir maritime

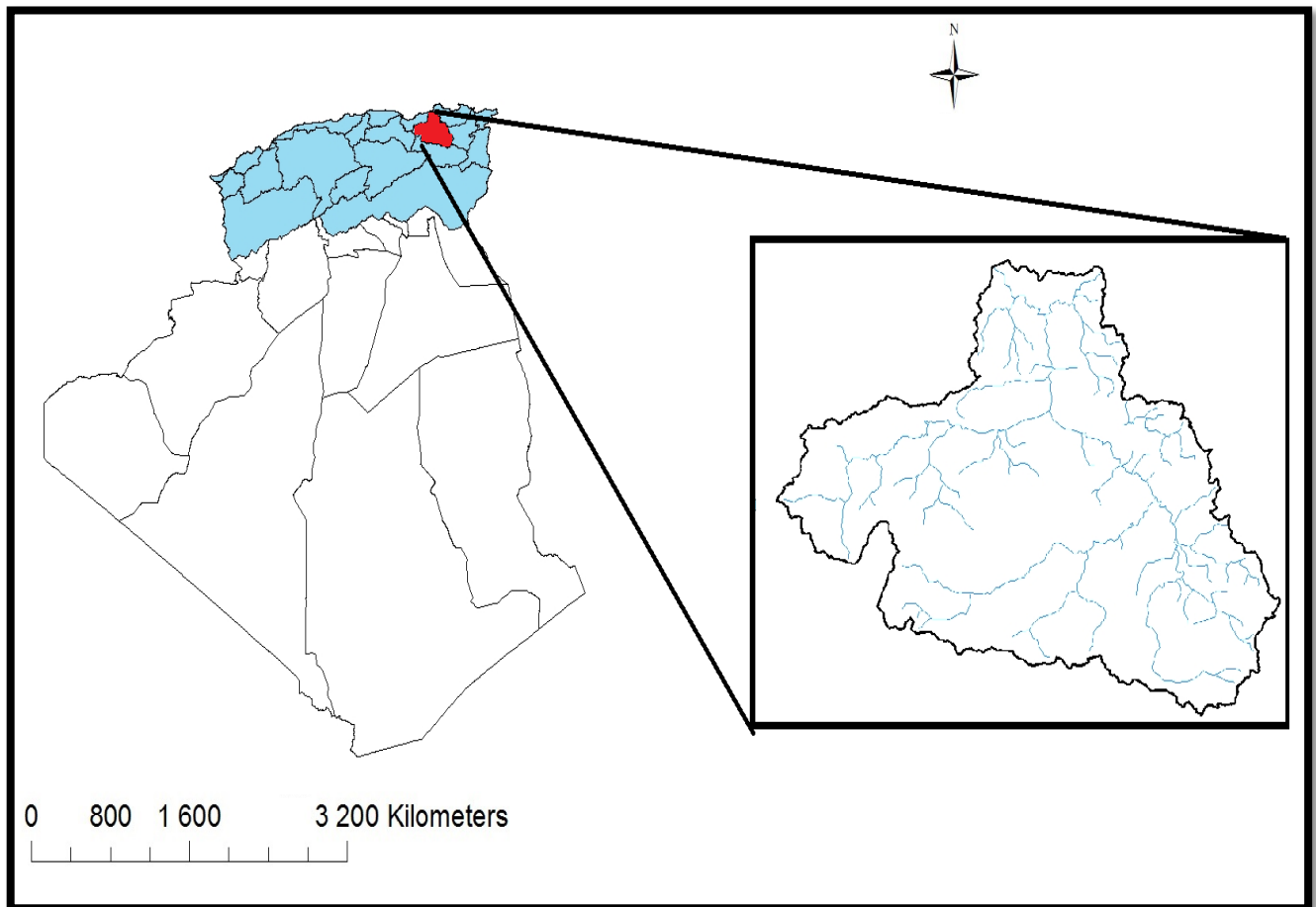


Figure (06) : Situation géographique du bassin versant Kébir–Rhumel.

II .2.Géologie de bassin versant du kebir-Rhumel

L'histoire géologique du bassin du kebir-Rhumel est particulièrement mouvementée et marquée par un empilement d'unités structurales du Nord au Sud la carte géologique montre en relief l'existence d'une mosaïque de terrains et de structures plus ou moins complexes dont le résultat se traduit par une grande diversité des ressources souterraines tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

En effet, à l'opposition topographique par laquelle se caractérise le bassin, s'ajoute une opposition structurale qui se traduit par un substratum relativement simple au Sud formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent des massifs calcaires isolés, et d'un édifice beaucoup plus complexe au nord constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées durant les phases tectoniques successives (**Kerdoud, 2006**) (**fig.07**).

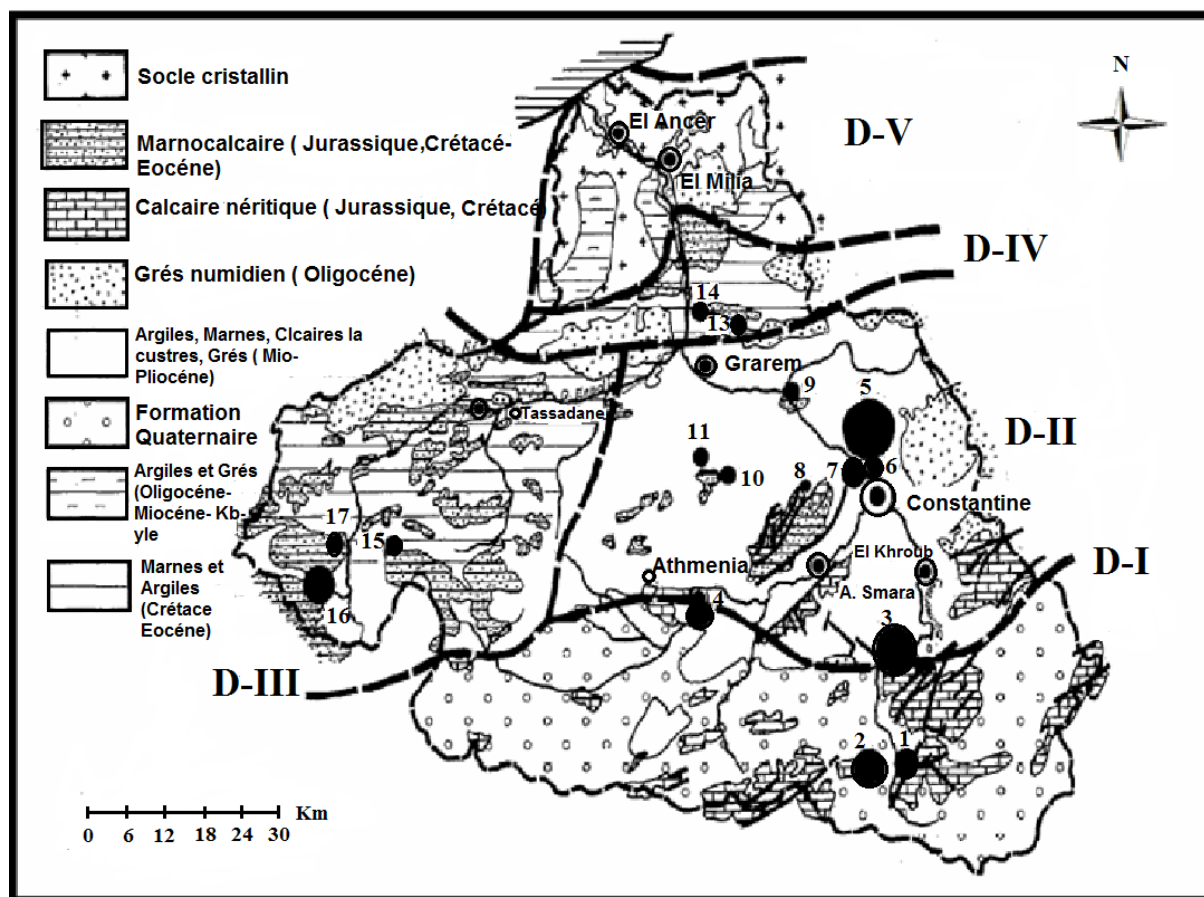


Figure (07) : Les grands domaines géologiques et hydrologiques (Mebarki, 2005).

II.3 Climatologie

Le facteur du milieu le plus important est certainement le climat. Il a une influence directe sur la faune et la flore (Metallaoui, 2010). Le Nord du bassin versant du kebir-Rhumel s'avère être une zone humide et pluvieuse alors que le Sud est d'un climat semi-aride à aride. Selon Kerdoud, (2006), cette opposition trouve son origine dans de multiples causes :

Le Nord influencé par un climat méditerranéen, le Sud par un climat de type continental.

—La répartition des ensembles montagneux dont les contrastes renforçant cette disparité géographique voir la (fig.07).

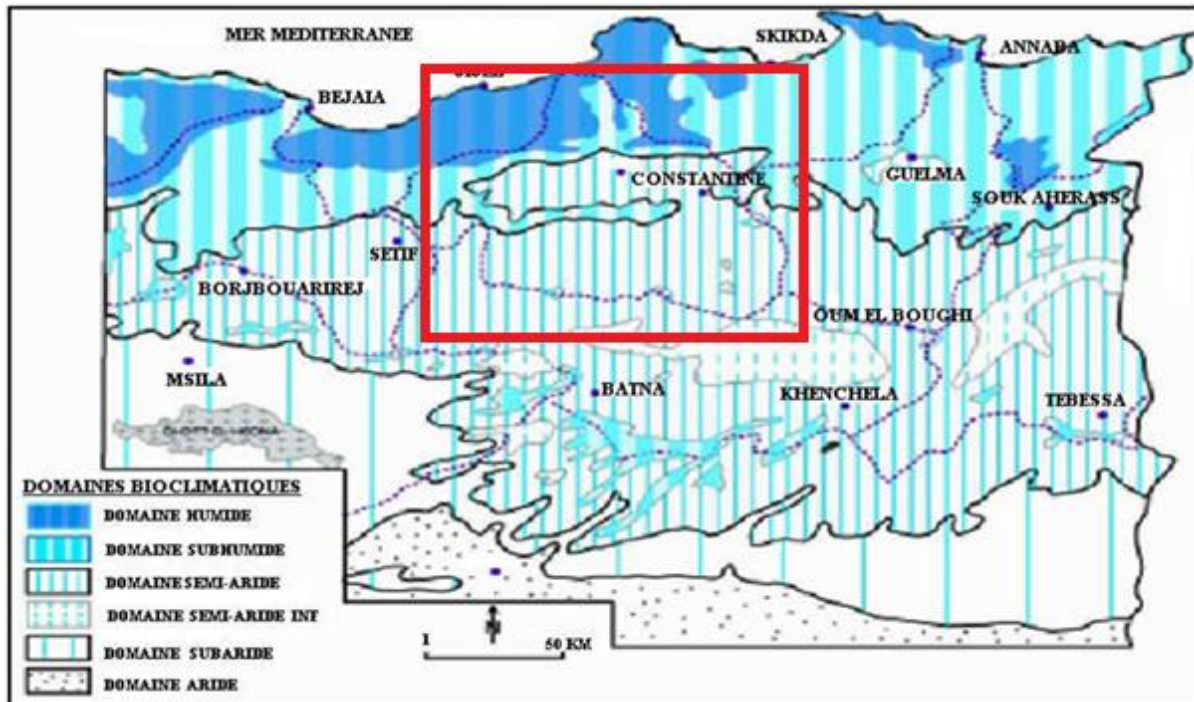


Figure (08): Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Mébarki A, 2005).

II.3.1 Les précipitations

La Pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime du cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. Les précipitations constituent ainsi un paramètre climatique essentiel dont l'intensité, la continuité et la périodicité sont l'origine même de l'écoulement, de sa localisation et de sa violence (Kerdoud, 2006). D'un caractère torrentiel (Sahli, 2012) le réseau hydrographique du Kebir-Rhumel est doté d'une forte variabilité inter-mensuelle et interannuelle de la pluie avec une nette décroissance de la pluviosité du Nord (450mm³ /an en moyenne) est au Sud (320 mm /an en moyenne) (fig.09).

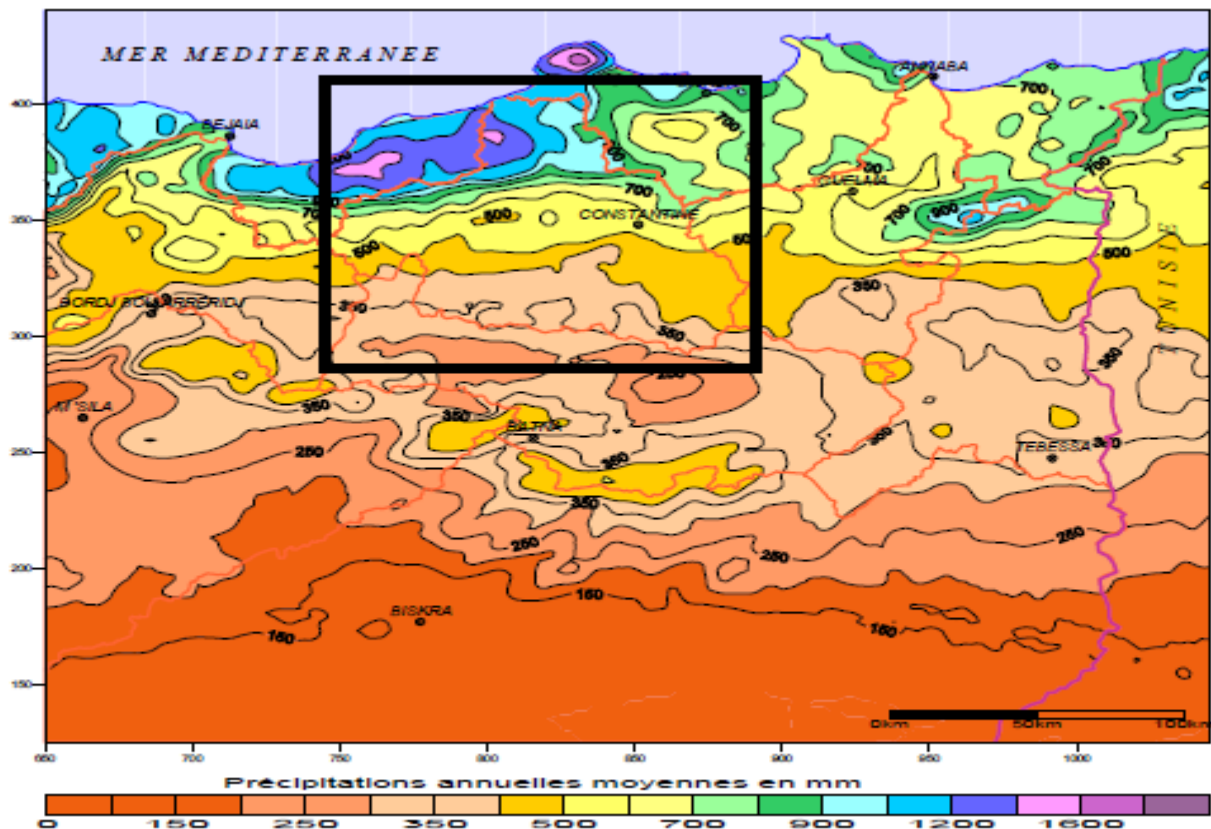


Figure (09): Carte des précipitations moyennes annuelles de l'Est Algérien. (Extrait ANRH).

II.4. Topographie

L'analyse du modèle numérique du terrain montre que les altitudes varient entre 3 et 1736m ; en revanche, l'altitude moyenne relevée est de 743m. L'importance de l'écart, entre ces valeurs extrêmes, exprime un contraste topographique important au niveau du bassin-versant de l'Oued Kébir-Rhumel.

A l'échelle des sous-bassins, les valeurs des altitudes moyennes varient entre 450 et 805m, ce qui explique que les unités hydrologiques du bassin étudié soient installées sur différents étages altimétriques. C'est le sous-bassin de l'Oued Rhumel qui se situe sur les hauteurs du bassin versant du Kébir-Rhumel, à l'inverse du sous-bassin côtier maritime qui correspond à la plus basse unité du même bassin (fig.10).

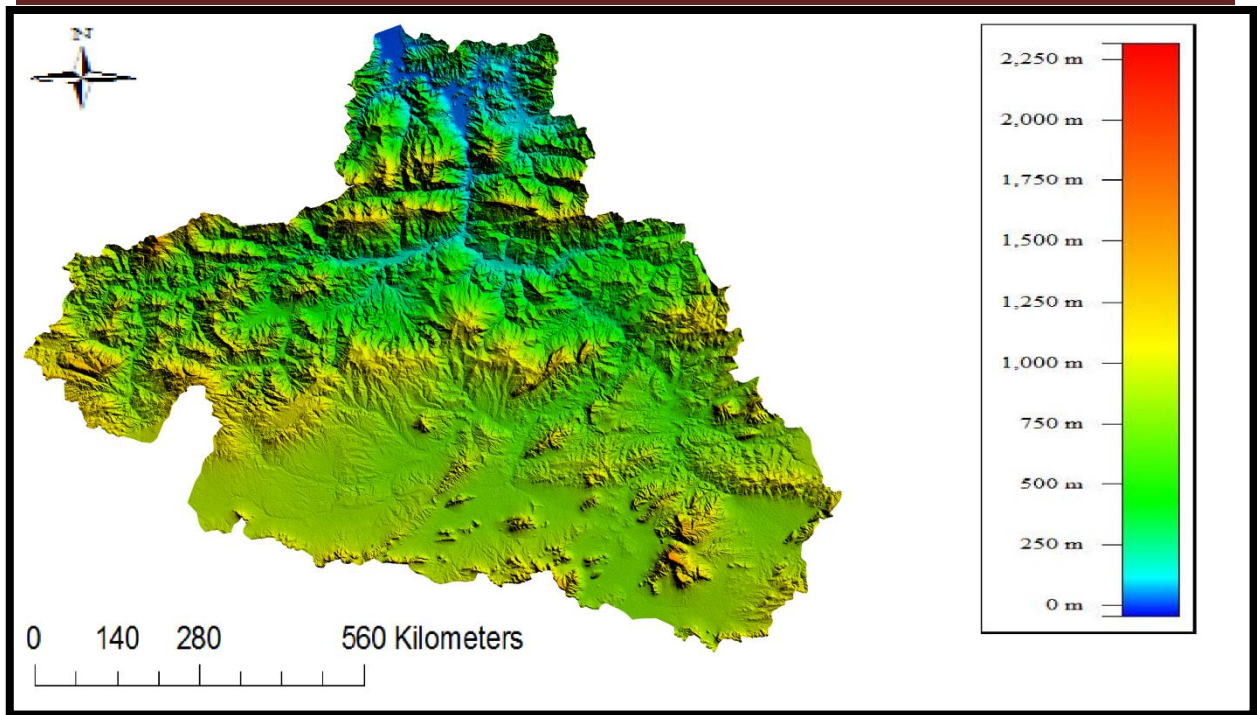
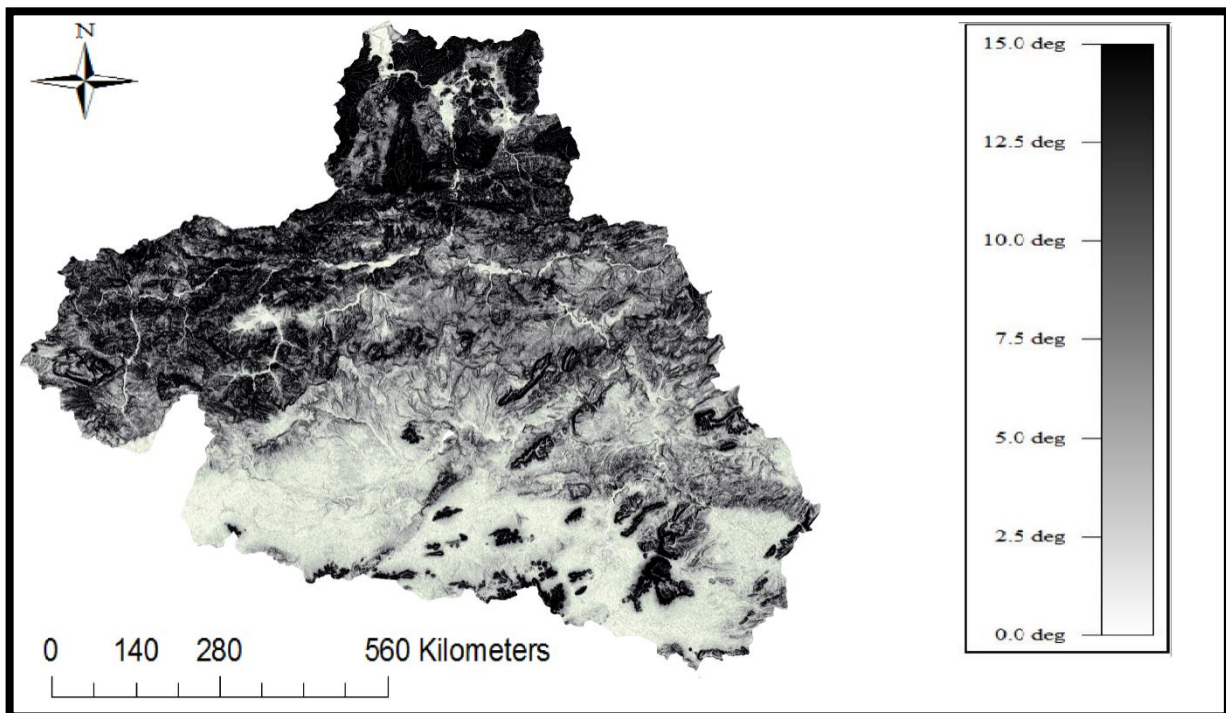


Figure (10):Modèle Numérique de terrain du bassin versant Oued Rhumel.

Les valeurs illustrées dans la figure 06montrent que les pentes supérieures à 15 % occupent presque la moitié de la superficie du bassin-versant de l'Oued Kébir-Rhumel (49,23%). Ces classes semblent occuper essentiellement les régions septentrionales et se prolongent, d'est en ouest, dans le bassin moyen. La proportion importante de ces dernières donne au bassin étudié un caractère montagneux caractérisé par des escarpements à pentes raides voir (**fig.11**).



Figure(11):Carte des pentes pour le bassin versant kébir-Rhumel.

II.5. Les réseaux hydrographique de bassin versant kebir-Rhumel

C'est l'un des principaux réseaux hydrographiques du pays par la longueur de son parcours, le nombre de ses affluents et la superficie de son bassin. Les oueds Rhumel, Endja, El Kebiret Boumerzoug sont les principaux cours d'eau du bassin.

a) Oued Rhumel

D'un linéaire de plus de 123 km c'est l'oued le plus important du bassin. Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes (région de Bellaa Wilaya de Sétif), entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja et prend ensuite le nom de El Kebir.

b) Oued Endja

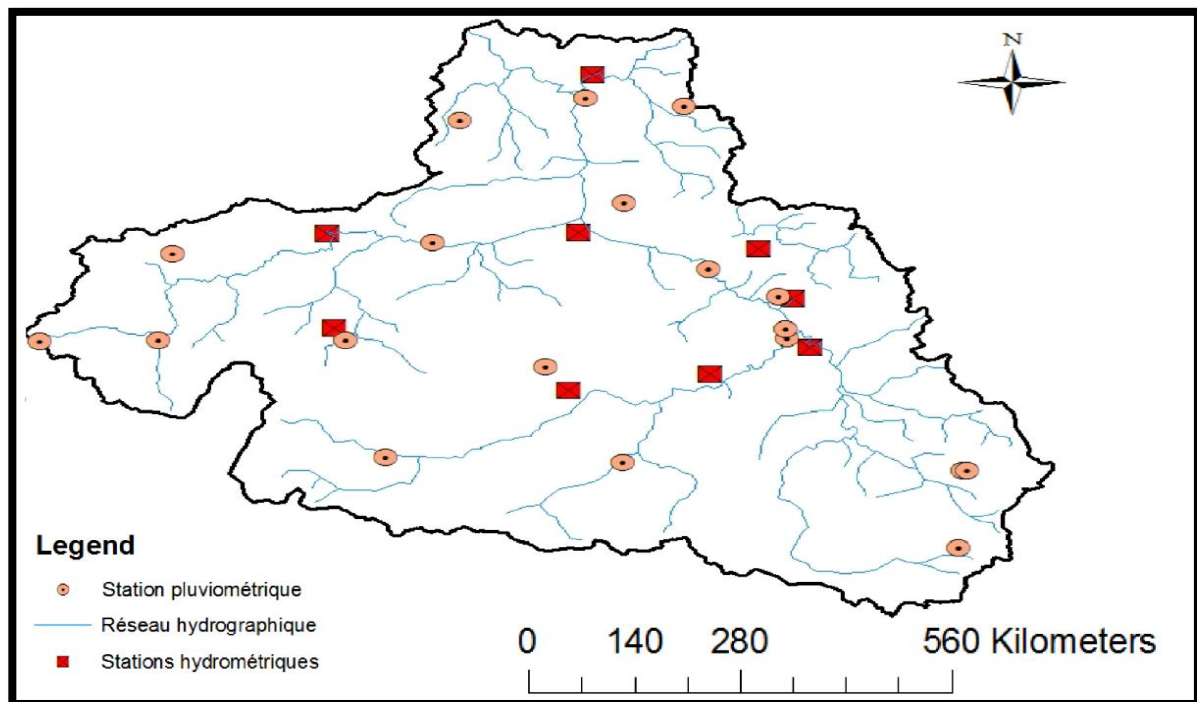
D'un linéaire de 15 km, il prend naissance à la confluence de l'oued Kebir et de l'oued Redjas. Son lit à une morphologie très intéressante du point de vue hydrogéologique.

c) Oued El Kebir

Il naît de la confluence des deux oueds, Rhumel et Endja, a près de 56 km de long et se déverse dans la mer.

II.5.1 Réseau de mesures pluviométriques

Le réseau pluviométrique comprend dix-sept stations pluviométriques réparties sur l'ensemble du bassin d'une façon irrégulière, ce qui correspond à une densité moyenne d'un poste pour 519 km². Les séries de données pluviométriques ont été fournies par l'ANRH de Constantine (**fig.12**).



Figure(12) : Réseau hydrographique et localisation des stations pluviométriques.

Tableau (02) : Le réseau de mesure existant dans le bassin versant kébir-Rhumel.

Code station	Nom de la station	Coordonnées des stations [UTM]			Nombre d'années d'observations
		X[km]	Y[km]	Z[km]	
100104	Bniaziz	764200,00	355650,00	770000	32
100110	hammam	763300,00	338800,00	710000	32
100206	Mechta seradj	800000,00	360300,00	350000	32
100208	Koudiattendart	789150,00	340350,00	635000	32
100303	tadjenanet	796150,00	318000,00	845000	32
100401	boumalek	817150,00	337000,00	830000	32
100402	tlaghma	829050,00	319250,00	750000	32
100410	Constantine ANRH	850350,00	344750,00	595000	32
100511	fourchi	849850,00	346600,00	775000	32
100603	Hammabouziane	848500,00	352800,00	460000	32

100620	El kheneg	838500,00	357450,00	300000	32
100503	Ain fakroun	876600,00	305500,00	920000	32
100703	hamala	826050,00	369700,00	660000	32
100706	El milia	819300,00	389700,00	100000	32
100708	Oud messaouda	802200,00	384200,00	585000	32
100613	ziari	746900,00	337500,00	1130000	32

II.5.2 Diagnostic du réseau de mesure

Le bassin de kebir-Rhumel comporte sept 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 :

Niemczynowicz Un pluviographe par 1 km².

Tableau (03) : Nombre de pluviographe selon Niemczynowicz.

Nom de bassin versant	Superficie de bassin versant (Km ²)	Nombre de pluviographe
Oued Déhamcha-Kébir amont	1067	1067
oued Kébir amont-Endja	1102	1102
Oued Kébir amont	1230	1230
Oued Rhumel-Séguen	1150	1150
Oued Boumerzoug	1832	1832
Oued Rhumel-Smendou	1091	1091
Oued Kébir maritime	1339	1339
total	8811	8811

Shiling propose de déterminer le nombre de pluviographe à l'aide de formules : $N_p = A^{0.5}$
Avec A surface du BV en Km².

Tableau (04): Nombre de pluviographe selon Shiling.

Nom de bassin versant	Superficie de bassin versant (Km ²)	Nombre de pluviographe
Oued Déhamcha-Kébir amont	1067	33
oued Kébir amont-Endja	1102	33
Oued Kébir amont	1230	35
Oued Rhumel-Séguen	1150	34
Oued Boumerzoug	1832	43
Oued Rhumel-Smendou	1091	33
Oued Kébir maritime	1339	37
total	8811	248

Paturol et al (1986) estime le nombre de pluviographe à l'aide de formule : $N_p = 2.5955 A^{0.457}$
Avec A surface du BV en Km².

Tableau (05): Nombre de pluviographes selon Paturol et al (1986).

Nom de bassin versant	Superficie de bassin versant (Km ²)	Nombre de pluviographe
Oued Déhamcha-Kébir amont	1067	63
oued Kébir amont-Endja	1102	64
Oued Kébir amont	1230	67
Oued Rhumel-Séguen	1150	65
Oued Boumerzoug	1832	80
Oued Rhumel-Smendou	1091	63
Oued Kébir maritime	1339	70
total	8811	472

II.8. Synthèse

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

- ✓ Le nombre de pluviomètres qui fonctionnent dans le bassin versant kébir-Rhumel est insuffisant pour cerner le phénomène pluviométrique.
- ✓ L'hétérogénéité dans la répartition des stations de mesure dans toute la superficie du bassin versant.
- ✓ Le pas de temps des mesures est aussi inadapté.

La crédibilité de la portée de n'importe quelle étude hydrologique, dépend en premier lieu de la disponibilité des longues séries pluviométriques avec une bonne qualité. Dans le cas de la prévision hydrologique ou les études du risque pluvial, les modèles proposés exigent un historique complet de données qui contient le maximum d'informations significatives. À cet égard, les séries des données pluviométriques tronquées doivent être comblées. Il est nécessaire par la suite de les traiter et l'analyser par les tests statistiques les plus connus.

A graphic featuring a dynamic splash of water in shades of blue and white, with numerous droplets and ripples. The splash is contained within a white, irregular shape that resembles a stylized arrow or a wide 'V' with a horizontal bar across its middle. The entire graphic has a soft blue glow.

Chapitre III :
Collecte et critique des
données

III.1 Introduction

L'étude et le contrôle de la fiabilité des données utilisées par les modèles de simulation et de prévision élaborés dans cette mémoire constituent le principal objectif de ce chapitre. En effet le seul outil dont dispose l'hydrologue pour étudier et comprendre le comportement d'un phénomène naturel c'est les données observées, il est donc impératif de connaître les techniques nécessaires d'analyse et de critiques de ces données afin de tirer le maximum d'informations de l'échantillon et de garantir leur qualité, de ce fait il est indispensable d'effectuer une analyse et un traitement statistique sur les séries chronologiques recueillies au niveau des stations de mesures.

Les étapes à suivre pour vérifier et corriger nos données consiste, à combler les données des stations lacunaires, à détecter d'éventuelles anomalies des observations, à vérifier l'homogénéité et enfin détecter les 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, déplacement de poste pluviométrique ;
- Non continuité des données : présentation des lacunes dans la série ;
- 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) [12].

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

- Comblent les lacunes des séries observées si elles existent.
- Détecter et corriger les valeurs douteuses.
- Vérifier l'homogénéité et les valeurs singulières des données.

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 (06):Le réseau de mesure existant dans le bassin version **Kébir-Rhumel**.

Code station	Nom de la station	Coordonnées des stations [UTM]			Type de mesure	Nombre d'années d'observations
		X [km]	Y [km]	Z [km]		
100104	beniaziz p	764200	355650	770000	Pas de temps variable	25
100110	HAMMAM	763300	338800	710000	Cumul journalier	24
100206	MECHTAT SERADJ	800000	360300	350000	Pas de temps variable	30
100208	KOUDIAT TINDART	789150	340350	635000	Cumul journalier	32
100303	TADJENANT	796150	318000	845000	Cumul journalier	32
100401	BOUMALE K.M.C	817150	337000	830000	Cumul journalier	32
100402	TELERGHMA	829050	319250	750000	Cumul journalier	28
100410	CONSTANTINE (ANRH)	850350	344750	595000	Pas de temps variable	29
100503	AIN FAKROUN	849850	849850	849850	Pas de temps variable	24
100511	FOURCHI	849850	346600	775000	Pas de temps variable	32
100603	HAMMA BOUZIANE	848500	352800	460000	Pas de temps variable	31
100619	ZIGHOUD	833100	389000	/	Cumul journalier	15
100620	EL KHENEG	838500	357450	300000	Cumul journalier	32
100703	HAMALA	826050	369700	660000	Cumul journalier	22

100706	EL MILIA	819300	389700	100000	Cumul journalier	32
100708	OUED MASAOU DA	802200	384200	585000	Cumul journalier	32
100613	ZIARI	746900	337500	1130000	Pas de temps variable	32
100306	BIR EL ARCH	804843	331705	/	Cumul journalier	11
100404	MECHTA MELHA (MCHIRA)	821933	314925	/	Cumul journalier	09
100527	OULED NACEUR	876800	320700	/	Cumul journalier	28

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 [12].
- Remplacer la valeur manquante par une moyenne pondérée par la tendance annuelle des stations pluviométriques par exemple, soit :

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{P_x}{P_i} P_i \right] \dots \dots \dots (10)$$

P_x : Donnée manquante de précipitation (par exemple) à estimer.

n : Nombre de stations de référence.

P_i : Précipitation à la station de référence.

P_x : Précipitation moyenne de la station.

P_i : 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 seulement trois stations pluviométrique présentent des lacunes à l'échelle des pluies journalières maximales (tableau III .03), 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:

$$Y = a x + b \dots \dots \dots (11)$$

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 :

$$Y_j = r_k \left(\frac{k\sigma_y}{k\sigma_x} \right) * (x_j - \bar{x}_k) + \bar{y}_k \dots \dots \dots (12)$$

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

Coef R ²	EL hamma	Fourchi	El kheng	Constantine ANRH
EL hamma	1	0.0211	0.1199	0.5048
Fourchi	0.0211	1	0.0447	0.0054
El kheng	0.1199	0.0447	1	0.0366
Constantine (ANRH)	0.5048	0.0054	0.0366	1

Tableau (08): Séries des PJ max annuelles disponible.

Année	Station				
	Zighoud	Ain FEKROUN	EL KHENG	HAMALA	EL MILIA
1980	-	37	39,1	61,5	92,8
1981	-	13	38,4	46,6	51,7
1982	-	30	63,4	90	112
1983	-	36	54	101,5	112,3
1984	-	50	44,3	159	154,3
1985	-	10,5	59,9	48,6	125
1986	-	63,7	36,1	54,4	45,1
1987	-	25,58	22,8	36,5	38,9
1988	-	52	36,8	39,3	52,2
1989	-	35,4	48	82,5	74,2
1990	-	44	45,4	61	210,3
1991	-	72,3	45	62	45
1992	-	61,6	23,6	70,5	80,9
1993	-	43,6	50,2	85	46,5

1994	-	42,5	40,5	73,3	57,7
1995	-	63	72,3	58,3	59,9
1996	-	18	35,4	62,5	58,3
1997	-	22,5	35,7	64	82,9
1998	66,5	43	57,8	57,6	67,5
1999	63,8	61	31,1	38,7	67,7
2000	70,4	29	75,6	42,7	72
2001	36	26,52	55,9	40,3	44,5
2002	59,4	71,15	40,5	61,5	70,5
2003	63,1	-	36,5	46,6	67,7
2004	102,7	-	17,6	-	91,3
2005	58,8	-	56,7	-	53,7
2006	60,7	-	39,1	-	63,3
2007	109,4	-	38,4	-	46,9
2008	70,7	-	63,4	-	55,7
2009	70,7	-	54	-	90,7
2010	73,5	-	44,3	-	88,3
2011	55,1	-	59,9	-	70,4

III.4. 2.1 Cas des pluies journalières maximales de la station Ain Fekroun

Pour estimer les valeurs manquantes de la station de Ain Fekroun, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station d'El Kheng (station de base) et la station de Ain Fekroun (fig : (13) ; tableau : (08)).

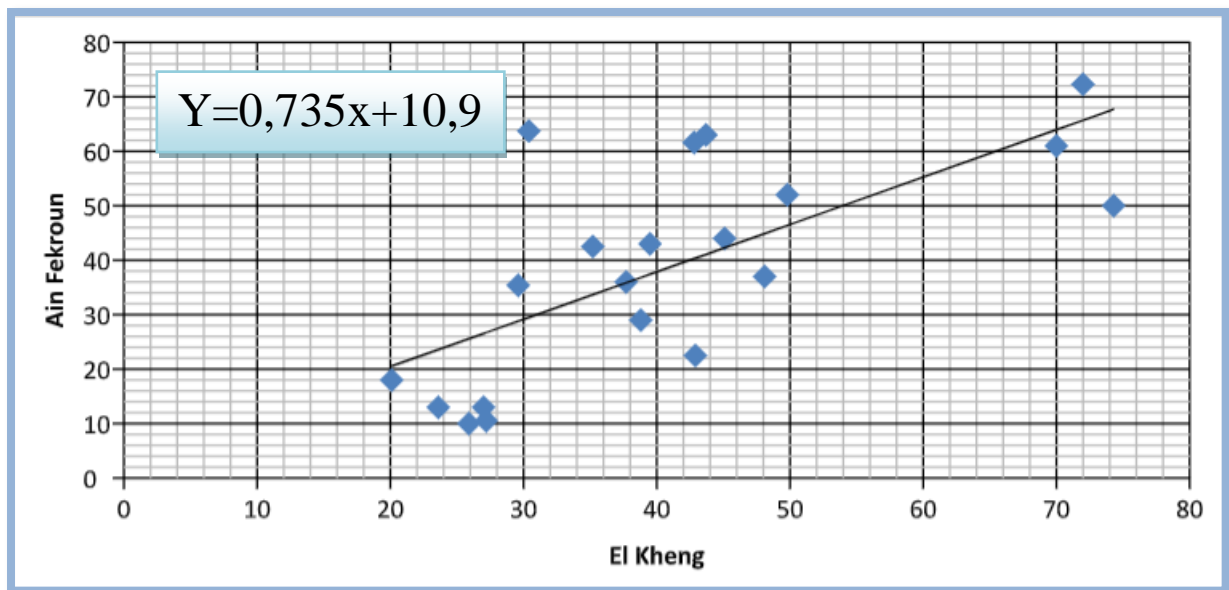
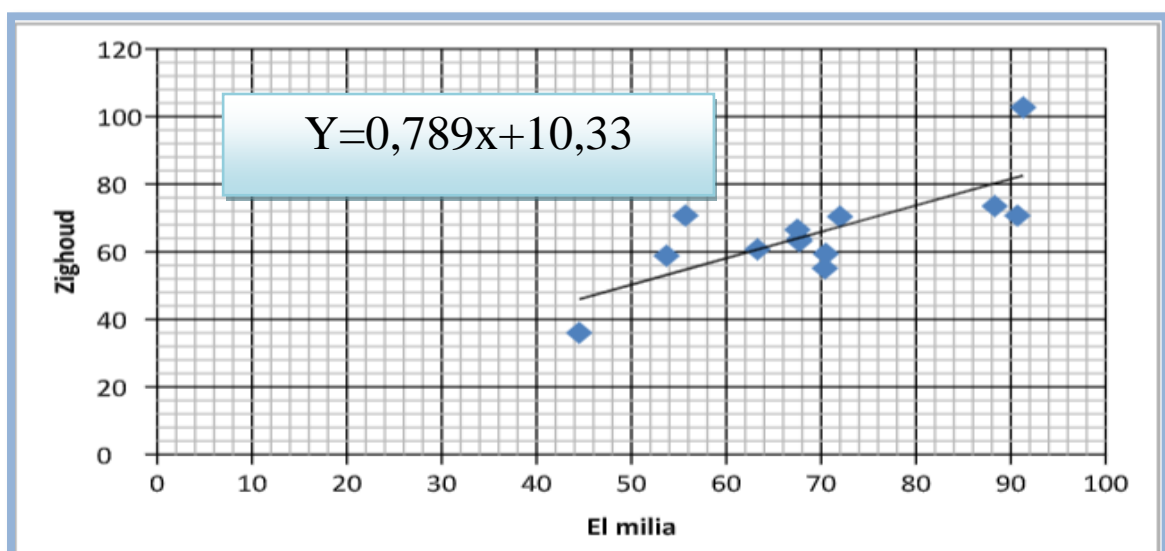


Figure (13) : Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station **El kheng –Ain Fekroun.**

III.4. 2.2 Cas des pluies journalières maximales de la station de Zighoud

Pour estimer les valeurs manquantes de la station d'el kheng, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station d'El Milia (station de base) et la station de Zighoud

(fig : 14; tableau : 08).



Figure(14):Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station **El-Milia –Zighoud.**

III.4. 2.3 Cas des pluies journalières maximales de la station de Hamala

Pour estimer les valeurs manquantes de la station de Hamala, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire entre la station d'El Milia (station de base) et la station de Hamala

(fig : 15; tableau : 09).

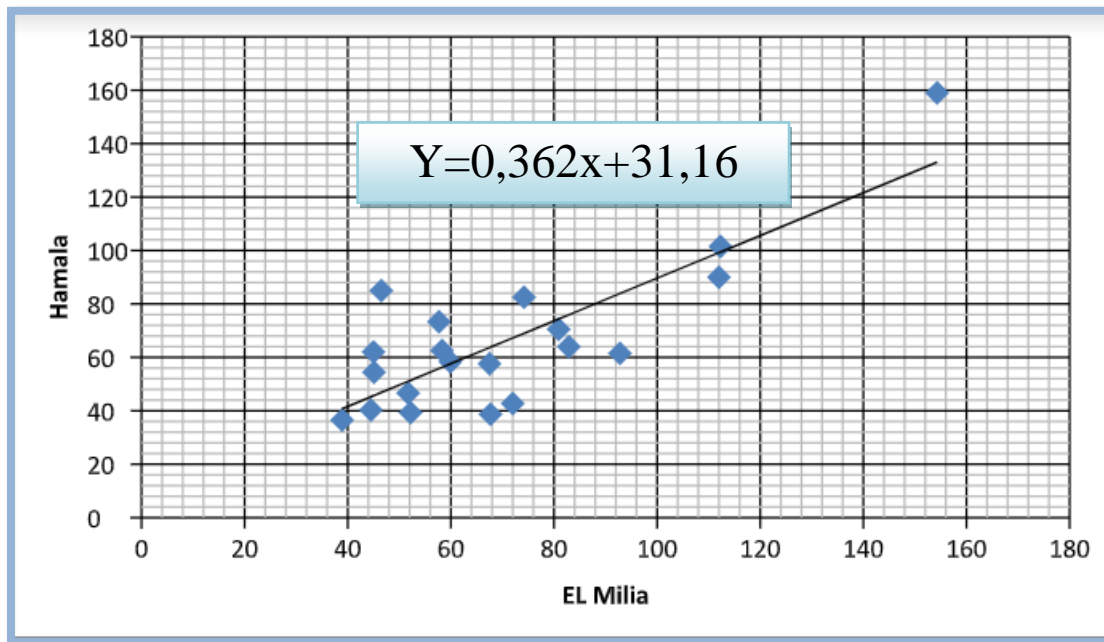


Figure (15): Régression linéaire simple des pluies journalières maximales annuelle station **EL-Milia–Hamala**.

Tableau (09) : Série des 33 années des PJ max annuelles reconstitué.

Année	station				
	Zighoud	Ain fekroun	EL KHENG	HAMALA	EL MILIA
1980	83,70	28,5	39,1	61,5	92,8
1981	51,60	18	38,4	46,6	51,7
1982	98,70	24	63,4	90	112
1983	98,94	60	54	101,5	112,3
1984	131,75	63	44,3	159	154,3
1985	108,86	16,8	59,9	48,6	125
1986	46,44	80	36,1	54,4	45,1
1987	41,60	16,2	22,8	36,5	38,9
1988	51,99	30	36,8	39,3	52,2
1989	69,17	20	48	82,5	74,2
1990	175,49	42	45,4	61	210,3
1991	46,36	31	45	62	45
1992	74,41	17,6	23,6	70,5	80,9

1993	47,53	41	50,2	85	46,5
1994	56,28	31	40,5	73,3	57,7
1995	58,00	125	72,3	58,3	59,9
1996	56,75	18	35,4	62,5	58,3
1997	75,97	33,8	35,7	64	82,9
1998	66,5	40	57,8	57,6	67,5
1999	63,8	56	31,1	38,7	67,7
2000	70,4	25	75,6	42,7	72
2001	36	80	55,9	40,3	44,5
2002	59,4	39	40,5	61,5	70,5
2003	63,1	38	36,5	46,6	67,7
2004	102,7	33	17,6	82,6	91,3
2005	58,8	18	56,7	52,6	53,7
2006	60,7	25,5	39,1	60,2	63,3
2007	109,4	33	38,4	47,1	46,9
2008	70,7	28,5	63,4	54,2	55,7
2009	70,7	24	54	82,2	90,7
2010	73,5	41	44,3	80,2	88,3
2011	55,1	22	59,9	65,9	70,4

III.5 Vérification de l'homogénéité

Toutes les données ont subies 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.

Dans une analyse des séries chronologiques, il est important de vérifier l'hypothèse que les observations de la chronique sont identiquement distribuées, cela revient encore à vérifier que les observations de la chronique sont homogènes.

III.5.1 Le 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 (de pluie par exemple) 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 Avec 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 nous 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. On calcule ensuite la somme W_x des rangs des éléments du premier Échantillon dans la série 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:

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)}{2} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \dots \dots \dots (13).$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min} \dots \dots \dots (14).$$

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ 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] $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$ [12].

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 de KOUDIATTINDART, Pour le reste des stations nous allons faire une synthèse des résultats.

III.5.1.1 Cas des pluies journalières maximales de la station KOUDIATTINDART(100208)

Les données sont reportées sur le Tableau suivant :

Tableau (10) : Série des pluies journalières maximales de la station de KOUDIATTINDART(100208).

Année	Pluie journalière maxima	Année	Pluie journalière maxima
1980	48	1996	31,1
1981	32,2	1997	34,6
1982	26,6	1998	61,6
1983	24,3	1999	71,5
1984	46,2	2000	21,5
1985	26,6	2001	15
1986	69	2002	38,2
1987	39,2	2003	35,9
1988	36,7	2004	48,8
1989	27,1	2005	34

1990	41,7	2006	46
1991	53	2007	23,5
1992	47,2	2008	44
1993	29,5	2009	37,3
1994	25,1	2010	35,1
1995	39,2	2011	31,9

Nous formons ensuite le (Tab : III.11) pour faciliter les calculs. On commence par diviser notre série pluviométrique en deux échantillons de longueurs $N_1=15$ valeurs et $N_2 =17$ 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 séries 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 (11) : Application de la méthode de **Wilcoxon** pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies maximales journalières de la station de **KOUDIAT TINDART**

Données	X	Y	Rang	XUY	Origine	Σ Rang (x)
48	48	39,2	1	15	y	
32,2	32,2	31,1	2	21,5	y	
26,6	26,6	34,6	3	23,5	y	
24,3	24,3	61,6	4	24,3	x	4
46,2	46,2	71,5	5	25,1	x	5
26,6	26,6	21,5	6	26,6	x	6
69	69	15	7	26,6	x	7
39,2	39,2	38,2	8	27,1	x	8
36,7	36,7	35,9	9	29,5	x	9
27,1	27,1	48,8	10	31,1	y	
41,7	41,7	34	11	31,9	y	
53	53	46	12	32,2	x	12
47,2	47,2	23,5	13	34	y	
29,5	29,5	44	14	34,6	y	
25,1	25,1	37,3	15	35,1	y	
39,2		35,1	16	35,9	y	

31,1		31,9	17	36	y	
34,6			18	36,7	x	18
61,6			19	37,3	y	
71,5			20	38,2	y	
21,5			21	39,2	x	21
15			22	39,2	Y	
38,2			23	41,7	x	23
35,9			24	44	y	
48,8			25	46	y	
34			26	46,2	x	26
46			27	47,2	x	27
23,5			28	48	x	28
44			29	48,8	y	
37,3			30	53	x	30
35,1			31	61,6	y	
31,9			32	69	x	31

Somme Rang x = 248

X = 15 ; Y = 17

Wmin = 195,0969

Wmax = 299,9030

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

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

C'est-à-dire que : $195,0969 < 248 < 299,9030$

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

Tableau (12):Résultats de Test de **Wilcoxon** sur les stations debassin version
Kébir-Rhumel.

Nom de station	Test de wilcoxon			l'inégalité	Observation
	Wmin	Wmax	Σ Rang (x)		
100208	195,0969	299,9030	248	195,0969<248<299,9030	Homogène
100401	195,0969	299,9030	198	195,0969<198<299,9030	Homogène
EL MILIA	195,0969	299,9030	259	195,0969<259<299,9030	Homogène
MECHTAT SERADJ	195,0969	299,9030	193	195,0969<193<299,9030	Homogène
TADJENANT	195,0969	299,9030	277	195,0969<277<299,9030	Homogène
TELERGHMA	195,0969	299,9030	264	195,0969<264<299,9030	Homogène
HAMMA BOUZIANE	195,0969	299,9030	288	195,0969<288<299,9030	Homogène
EL KHENEG	195,0969	299,9030	207	195,0969<207<299,9030	Homogène
HAMALA	195,0969	299,9030	278	195,0969<278<299,9030	Homogène
EL MILIA	195,0969	299,9030	259	195,0969<259<299,9030	Homogène

OUED MASAOUDA	195,0969	299,9030	208	195,0969<208<299,9030	Homogène
ZIARI	195,0969	299,9030	225	195,0969<225<299,9030	Homogène
100410	195,0969	299,9030	248	195,0969<248<299,9030	Homogène
100404	195,0969	299,9030	220	195,0969<220<299,9030	Homogène
100511	195,0969	299,9030	229	195,0969<229<299,9030	Homogène
100503	195,0969	299,9030	234	195,0969<234<299,9030	Non Homogène
100619	195,0969	299,9030	237	195,0969<237<299,9030	Homogène
100104	195,0969	299,9030	321	195,0969<321<299,9030	Non Homogène
100110	195,0969	299,9030	226	195,0969<226<299,9030	Homogène
100306	195,0969	299,9030	228	195,0969<228<299,9030	Homogène

III.6 Vérification des valeurs singulières

III.6.1 Détection des valeurs singulières

Il arrive fréquemment que des erreurs se glissent dans les données de base et en dénaturent complètement le contenu. Cela peut se produire au cours de la mesure, de la transmission, du codage, du stockage ou du décodage des observations, ou à cause des valeurs intégrées après le comblement des lacunes.

Il est important donc avant tout traitement de détecter les erreurs grossières de ce genre, afin que l'on puisse effectuer une analyse plus fine pour décider si cette donnée douteuse est aberrante et doit donc être éliminée, ou si c'est une donnée exceptionnelle, qui par conséquent doit être au contraire précieusement conservée.

III.6.2 Test de Grubbs et Beck

Ce test détecte les valeurs aberrantes des distributions normales. Les données testées sont les valeurs minimales et maximales. Ce test est très utilisé pour sa simplicité, il peut détecter les points singuliers de la série en calculant les statistiques suivantes :

$$X_{\max} = (\bar{x} + s * kn) \dots \dots \dots (15).$$

$$X_{\max} = (\bar{x} - s * kn) \dots \dots \dots (16).$$

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.

Au niveau de risque de 5%, l'approximation polynomiale suivante a été proposée par [12]:

Tableau(13): Test de représentativité de Grubbs et Beck.

Code de station	100104	100110	100206	100208	100303	100306	100402	100401	100410	100404
x min	138,76	123,96	54,42	74,61	61,51	52,34	62,46	89,45	121,54	85,12
x max	0	0	13,21	1,73	5,95	0	0	0	0	0
kn	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
Code de station	100511	100503	100527	100620	100613	100603	100619	100703	100706	100708
x min	102,19	102,15	51,35	109,05	78,50	87,16	153,62	130,80	175,87	181,58
x max	0	0	0	0	10,34	4,82	0	0,10	0	13,97
kn	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78

III.7 Conclusion

Plusieurs tests statistiques ont été utilisés pour ajuster les pluies journalières maximales. Les échantillons considérés proviennent de diverses régions de la ville de Constantine. Les données manquantes ont été estimées par la méthode de régression linéaire et la moyenne arithmétique, après l'homogénéité et la détection de valeurs singulières ont été vérifiées à l'aide de tests appropriés.

A large, stylized graphic of a water splash, rendered in shades of blue and white. The splash is centered and has a soft, glowing blue outline. The water droplets are captured in mid-air, creating a dynamic and refreshing visual. The background of the splash is a light, hazy blue.

Chapitre IV :
Analyse fréquentielle

IV.1.Introduction

L'évaluation des risques hydrologiques nécessite avant tout la caractérisation de l'aléa pluviométrique. La bonne connaissance de la pluviométrie d'une région, permet d'avoir des valeurs plus au moins exacte de pluie mesuré.

Les séries des pluies disponibles nécessitent un certain traitement pour déterminer les valeurs centrales et les valeurs extrêmes. Afin d'arriver à ses valeurs, il faut faire des différents traitements comme la création de séries de mesures et l'ajustement aux lois statistiques les plus connues.

Dans ce chapitre nous allons appliquer une analyse fréquentielle avec les lois les plus connues en hydrologie (loi log Normale, loi de GUMBEL, loi Exponentielle) sur les pluies journalières maximales annuelles.

IV.2. Présentation du logiciel « Hydrognomon »

Hydrognomon est un logiciel conçu pour le traitement et l'analyse de séries chronologiques hydrologiques. Ses fonctions principales comprennent l'analyse statistique, la régression et le remplissage des séries chronologiques, les tests, les courbes intensité-durée-fréquence, la construction et les calculs de courbes de débit-décharge, l'hydrométrie, la simulation hydrologique des bassins hydrographiques, les calculs d'évaporation et d'évapotranspiration...ect.

IV.3.Ajustement des lois de probabilité

IV.3.1 Les lois d'ajustements

IV.3.1.1 La loi log Normal

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.

La loi de GALTON résulte de la loi normale, mais rendue dissymétrique par un changement de variable.

On prend comme variable gaussienne, non pas la variable étudiée x mais son Logarithme népérien ou une fonction Linéaire de ce logarithme.

On présente généralement la loi log-normale sous forme de :

$$FD(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^\infty e^{-\frac{1}{2}u^2} \dots \dots \dots (17)$$

Avec :

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \dots \dots \dots (18)$$

L'équation de la variable réduite $U = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}$, présentée sous la forme :

$$\ln x = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x} \dots \dots \dots (19)$$

Est l'équation d'une droite tracée sur papier à probabilité log normale (papier GALTON) qui est un système de coordonnées dont l'abscisse est échelle une Gaussienne et l'ordonnée est en échelle Logarithmique.

IV.3.1.2 Loi de GUMBEL

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 [14].

La fonction de répartition de la loi de GUMBEL est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}} \dots \dots \dots (20)$$

Avec : F(x) = Fréquence non dépassement de la valeur x

α, x_0 = coefficients d'ajustement.

Par un changement de variable:

$$y = \alpha(x-x_0) \dots \dots \dots (21)$$

La loi de GUMBEL s'écrit :

$$F(x) = F(y) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots(22)$$

Où y est la variable réduite de Gumel, liée à la probabilité attachée à la valeur x.

F(y)=Fréquence de non-dépassement de la variable réduite y.

L'équation $y = \alpha(x-x_0)$ présentée sous la forme :

$$x = \frac{1}{\alpha}y + X_0 \dots\dots\dots (23)$$

IV.3.1.3 loi Exponentielle

Une loi exponentielle correspond au modèle suivant :

X est une variable aléatoire définissant la durée de vie d'un phénomène. Si l'espérance de vie du phénomène est E(X) et si la durée de vie est sans vieillissement, c'est-à-dire si la durée de vie au-delà de l'instant T est indépendante de l'instant T, alors X a pour densité de probabilité [15] :

$$\begin{cases} F(t) = \frac{1}{E(x)} * e^{-\frac{t}{E(x)}} \\ F(t) = 0 \text{ si: } t < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(24)$$

IV.3.2 Test d'adéquation

IV.3.2.1 Test De Kolmogorov-Smirnov

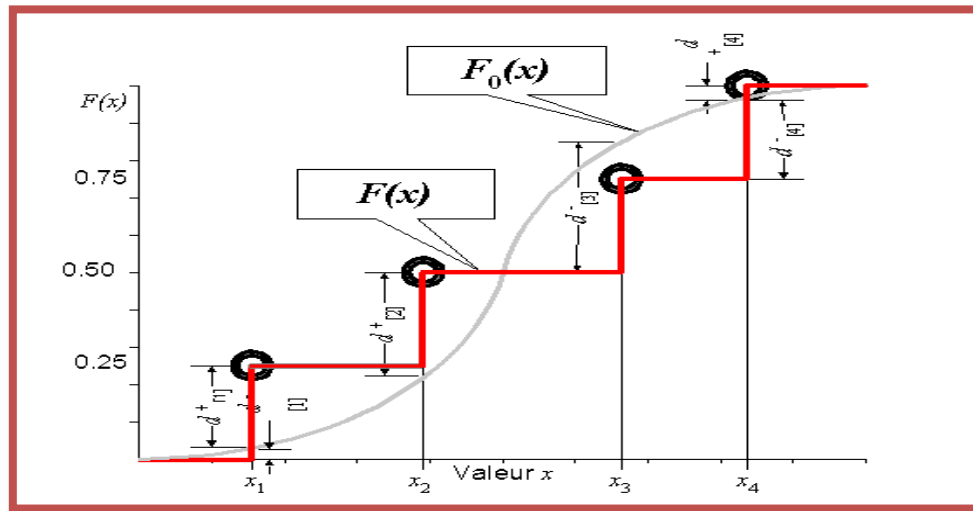
Le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV consiste à mesurer, pour une variable continue, le plus grand écart entre la fréquence « théorique » F0 (jc) et la fréquence expérimentale f(x). Il s'agit, à la base, d'un test de conformité et non pas d'un test d'ajustement: il consiste à vérifier si une distribution expérimentale peut être jugée identique à une distribution de référence, connue a priori.

H0: F(x)= F0(x), $\forall x$;

Test bilatéral: H1 : F (x) \neq F0 (x), pour au moins une valeur x ;

Tests unilatéraux: H1: F(x) > F0(x) ou F(x) < F0 (jc), pour au moins une valeur x.

Ce test est généralement utilisé en version bilatérale.



Figure(16) : principe du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV pour $n=4$

IV.4 Ajustements des pluies journalières maximales

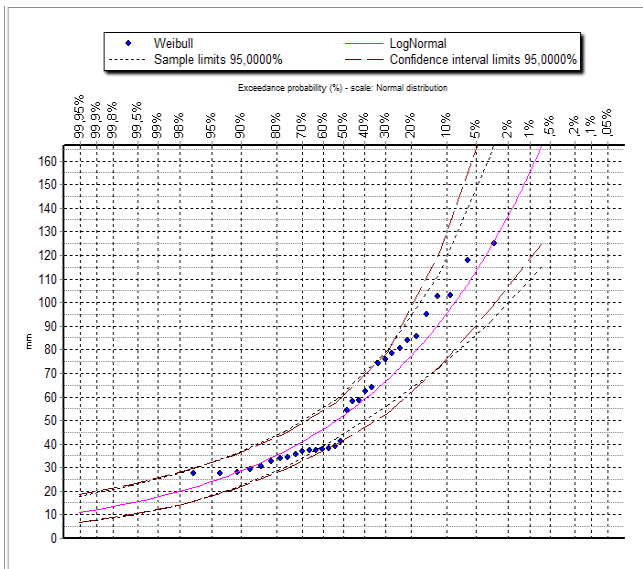
Dans la suite du travail, à titre explicative, nous allons détailler les calculs pour la station BENI AZIZ Pour le reste des stations seulement des synthèses des résultats voir (Annex01).

Tableau(14) : Classement des valeurs par ordre croissant (station Beni Aziz).

N°	Années	P_{jmax}	Valeurs ordonnées	Fréquence. expér	Variable de Gumbel	Valeurs Théorique	Valeurs. expér	Bornes .Inf	Bornes .Sup
1	1980	84.00	27.50	0.02	-1.425	13.35	27.50	-2.62	23.11
2	1981	74.00	27.60	0.05	-1.119	20.27	27.60	6.77	28.98
3	1982	62.50	28.00	0.08	-0.936	24.39	28.00	12.26	32.59
4	1983	85.50	29.10	0.11	-0.794	27.59	29.10	16.43	35.46
5	1984	118.00	30.60	0.14	-0.674	30.31	30.60	19.92	37.97
6	1985	58.00	32.50	0.17	-0.566	32.74	32.50	22.99	40.27
7	1986	95.00	33.92	0.20	-0.466	34.99	33.92	25.76	42.46
8	1987	41.00	34.38	0.23	-0.372	37.11	34.38	28.33	44.57
9	1988	125.30	35.49	0.27	-0.282	39.15	35.49	30.73	46.66
10	1989	32.50	36.83	0.30	-0.194	41.13	36.83	33.01	48.74
11	1990	39.00	37.30	0.33	-0.108	43.07	37.30	35.20	50.83
12	1991	102.80	37.46	0.36	-0.023	44.99	37.46	37.31	52.96
13	1992	76.10	37.63	0.39	0.062	46.91	37.63	39.36	55.14
14	1993	78.40	38.16	0.42	0.147	48.83	38.16	41.37	57.38

15	1994	29.10	39.00	0.45	0.234	50.79	39.00	43.35	59.70
16	1995	64.20	41.00	0.48	0.322	52.77	41.00	45.32	62.11
17	1996	28.00	54.18	0.52	0.412	54.81	54.18	47.30	64.63
18	1997	80.50	58.00	0.55	0.505	56.91	58.00	49.28	67.27
19	1998	58.60	58.60	0.58	0.602	59.09	58.60	51.30	70.06
20	1999	27.50	62.50	0.61	0.703	61.37	62.50	53.37	73.02
21	2000	27.60	64.20	0.64	0.809	63.77	64.20	55.51	76.18
22	2001	30.60	74.00	0.67	0.922	66.32	74.00	57.74	79.57
23	2002	103.20	76.10	0.70	1.043	69.06	76.10	60.10	83.26
24	2003	37.63	78.40	0.73	1.175	72.03	78.40	62.62	87.29
25	2004	54.18	80.50	0.77	1.320	75.31	80.50	65.36	91.77
26	2005	37.30	84.00	0.80	1.483	78.97	84.00	68.38	96.82
27	2006	36.83	85.50	0.83	1.668	83.16	85.50	71.81	102.64
28	2007	37.46	95.00	0.86	1.887	88.09	95.00	75.79	109.53
29	2008	38.16	102.80	0.89	2.156	94.16	102.80	80.65	118.06
30	2009	33.92	103.20	0.92	2.509	102.13	103.20	86.97	129.32
31	2010	35.49	118.00	0.95	3.036	114.03	118.00	96.33	146.21
32	2011	34.38	125.30	0.98	4.151	139.19	125.30	115.91	182.10

IV.4.1 Ajustement des lois de probabilité



Figure(17) : loi log Normale

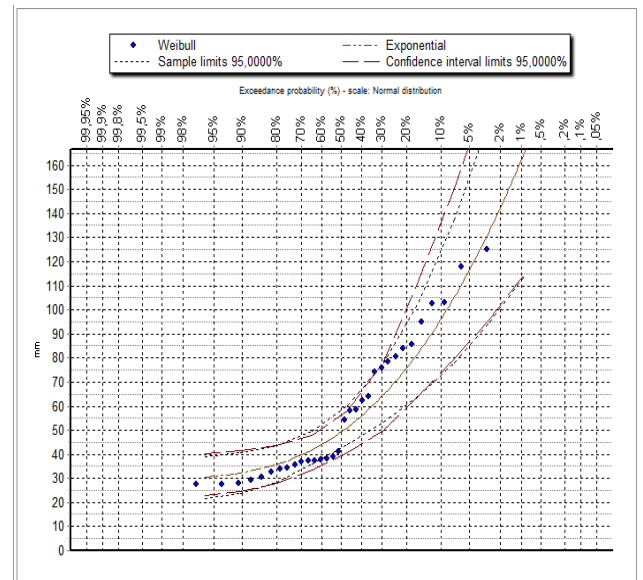
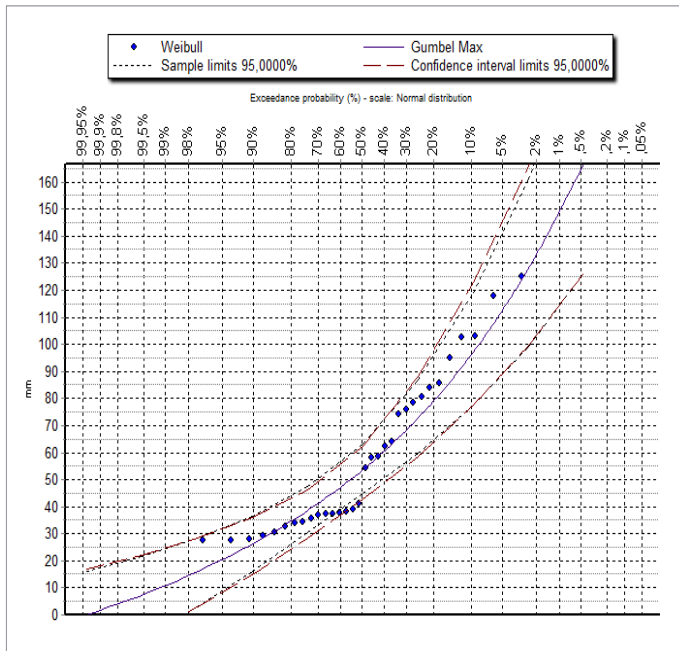
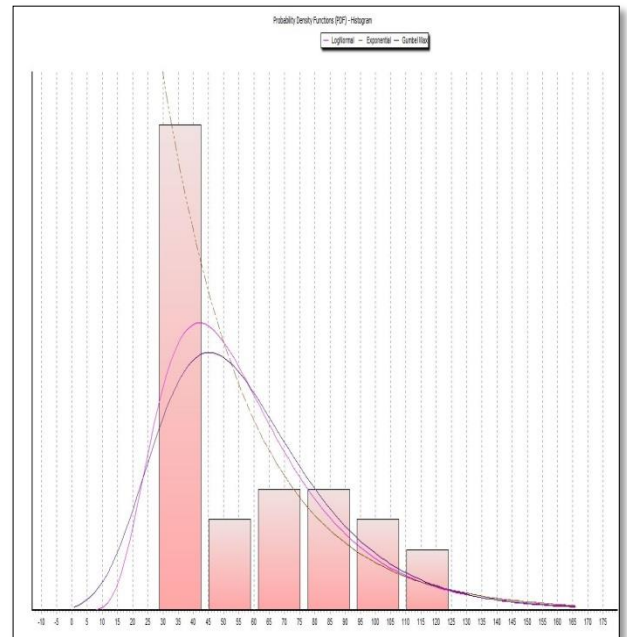


Figure (18):loi Exponentielle



Figure(19) : loi de Gumbel.



Figure(20): fonction de densité (03lois)

IV.4.2. Test d'adéquation de l'ajustement

Pour vérifier l'adéquation de l'ajustement des trois lois utilisées avec la moyenne et l'écart type calculés, nous avons utilisé le test de Kolmogorov Smirnov pour un seuil de signification de 95%.

Tableau(15) : Résultats de test de Kolmogorov Smirnov.

Loi	Gumbel	LogNormal	Exponentielle	dn	Observation
station	d max	d max	d max		
100110	0,1384	0,12556	0,15489	0.23424	Vérifier
100206	0,15905	0,11225	0,1252	0.23424	Vérifier
100208	0,05201	0,04736	0,14895	0.23424	Vérifier
100303	0,11241	0,10392	0,178	0.23424	Vérifier
100306	0,12872	0,10816	0,14145	0.23424	Vérifier
100401	0,09723	0,07888	0,06478	0.23424	Vérifier
100402	0,19163	0,17246	0,2075	0.23424	Vérifier
100410	0,11823	0,10659	0,07426	0.23424	Vérifier
100404	0,17742	0,10551	0,14866	0.23424	Vérifier
100511	0,14218	0,10148	0,09066	0.23424	Vérifier

100603	0,07071	0,06755	0,10326	0.23424	Vérifier
100620	0,07096	0,07455	0,10725	0.23424	Vérifier
100703	0,08401	0,0852	0,1251	0.23424	Vérifier
100706	0,10888	0,09778	0,07125	0.23424	Vérifier
100708	0,11781	0,1098	0,14207	0.23424	Vérifier
100613	0,10599	0,08898	0,16133	0.23424	Vérifier
100104	0,18815	0,18832	0,17232	0.23424	Vérifier
100503	0,06959	0,08596	0,13505	0.23424	Vérifier
100527	0,14998	0,15534	0,21661	0.23424	Vérifier
100619	0,11544	0,1103	0,07713	0.23424	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation sur les pluies journalière maximales annuelles des stations de bassin versant Kébir-Ruhmelavec l'examen visuel et le test de Klomgrov Smirnov, les données de toutes les stations s'ajustent bien aux lois log normal, Gumbel et à la loi exponentielle 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(16): les pluies de déférentes périodes de retour.

Station	2	5	10	20	50	100	200	500	d max	dn
100110	40,4283	65,51	82,1163	98,0455	118,664	134,115	149,509	169,819	0,1384	0.23424
100206	39,6423	65,6505	82,8702	99,3877	120,768	136,789	152,752	173,813	0,15905	0.23424
100208	36,0208	47,6098	55,2827	62,6428	72,1697	79,3087	86,4217	95,806	0,05201	0.23424
100303	32,0952	40,9302	46,7797	52,3907	59,6536	65,0961	70,5188	77,6729	0,11241	0.23424
100306	25,0195	38,0611	46,6957	54,9783	65,6992	73,733	81,7375	92,2979	0,12872	0.23424
100401	35,6598	51,8134	62,5085	72,7674	86,0466	95,9975	105,912	118,993	0,09723	0.23424
100402	25,4357	41,5439	52,2089	62,439	75,6809	85,6038	95,4905	108,534	0,19163	0.23424
100410	47,7338	69,8962	84,5697	98,6449	116,864	130,516	144,119	162,065	0,11823	0.23424
100404	27,1323	50,8545	66,5608	81,6265	101,128	115,741	130,301	149,51	0,17742	0.23424
100511	33,639	54,2248	67,8543	80,9281	97,8508	110,532	123,167	139,836	0,14218	0.23424
100603	43,5598	56,652	65,3202	73,6349	84,3975	92,4625	100,498	111,1	0,07071	0.23424
100620	43,3713	63,0941	76,1523	88,678	104,891	117,041	129,146	145,117	0,07096	0.23424
100703	61,48	82,2958	96,0776	109,297	126,409	139,232	152,008	168,864	0,08401	0.23424
100706	70,6986	102,278	123,186	143,242	169,202	188,656	208,038	233,61	0,10888	0.23424
100708	92,827	119,479	137,125	154,052	175,961	192,379	208,738	230,319	0,11781	0.23424
100613	42,4105	53,2478	60,4229	67,3056	76,2144	82,8903	89,5419	98,3173	0,10599	0.23424
100104	53,5831	79,1604	96,0948	112,339	133,365	149,121	164,819	185,531	0,18815	0.23424

100503	41,3657	59,6177	71,7021	83,2938	98,2981	109,542	120,744	135,524	0,06959	0.23424
100527	22,9595	31,484	37,128	42,5419	49,5496	54,8009	60,033	66,9358	0,14998	0.23424
100619	68,1789	93,836	110,823	127,118	148,209	164,015	179,762	200,538	0,11544	0.23424

IV.5 Synthèse

Les pluies journalières maximales annuelles de vingt stations de bassin versant Kébir-Ruhmel, Ont été testées avec les lois (Gumbel, Log Normale et Exponentielle), les résultats de test d'adéquation de Kolmogorov Smirnov et l'examen visuel montrent que les données de toutes les stations s'ajustent bien avec les trois lois proposées. Ensuite nous avons choisi la loi de Gumbel pour le calcul des pluies de différentes périodes de retour.

A large, stylized graphic of a water splash, rendered in shades of blue and white. The splash is centered and has a jagged, star-like shape. The text is overlaid on the central part of the splash.

Chapitre V :
Résultats et discussions

V.1 Introduction

L'étude de nombreux phénomènes hydrologiques qui se développent dans l'espace, reposent sur des données acquises ponctuellement ; ainsi, les variations d'un point à un autre de la plupart des propriétés observables à la surface de la terre sont irrégulières qu'aucune fonction mathématique simple ne peut les décrire. Cependant la théorie des variables régionalisées prend en compte la structure spatiale dans les calculs d'interpolation du phénomène.

V.2 ARC-GIS

L'Arc Gis 10.3 est un système d'information géographique développé par la société ESRI (Environmental System Research Institute). C'est un outil pour gérer, visualisé, Cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale. Arc Gis se décline en trois licences aux fonctionnalités croissantes : Arc View, Arc Editoret Arc Info [16].

IV.2.1 Domain d'utilisation ARC-GIS

ARC-GIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ARC-GIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ARC-GIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. L'ARC-GIS est un outil qui peut traiter les problèmes de n'importe quel domaine tel que :

- ✚ Hydrologie,
- ✚ Statistique,
- ✚ Géologie,
- ✚ Géostatique,
- ✚ Cartographie,
- ✚ Biologie,

Dans ce chapitre nous avons utilisé le logiciel ARC-GIS 10.04, pour la création des cartes des paramètres climatologique (Pjmax annuelle, température et l'évapotranspiration).

Tableau (17) : Caractéristique statistiques des stations étudiées (P_{jmax} annuelle).

Sous bassin	Sous bassin 01		Sous bassin 02		Sous bassin 03		Sous bassin 04			
Station	100104	100110	100206	100208	100303	100306	100402	100401	100410	100404
moyenne (mm)	58.34	45.09	33.82	38.18	33.74	26.00	29.01	38.66	51.85	23.33
écart-type (mm)	28.93	28.37	7.41	13.11	9.99	9.48	12.03	18.27	25.07	22.23
Min (mm)	27.50	15.60	21.00	15.00	14.40	16.00	22.10	17.70	18.56	10.00
Max (mm)	125.30	173.00	39.85	71.50	59.00	48.00	56.00	83.50	139.00	81.00
Cv	0.50	0.63	0.22	0.34	0.30	0.36	0.41	0.47	0.48	0.95
Sous bassin	Sous bassin 05			Sous bassin 06			Sous bassin 7			
Station	100511	100503	100527	100620	100613	100603	100619	100703	100706	100708
moyenne (mm)	37.47	44.76	24.54	47.04	44.43	45.99	72.95	65.35	76.57	97.78
écart-type (mm)	23.29	20.65	9.64	22.31	12.26	14.81	29.02	23.55	35.72	30.15
Min (mm)	16.20	10.50	10.20	18.80	22.40	17.60	36.00	36.50	38.90	56.00
Max (mm)	125.00	104.83	57.10	117.00	74.90	76.90	175.49	159.00	210.30	160.00
Cv	0.62	0.46	0.39	0.47	0.28	0.32	0.40	0.36	0.47	0.31

V.3. Evaluation des méthodes d'interpolation spatiale sur le bassin versant Kébir-Rhumel

D'après les études bibliographiques le krigeage générerait les interpolations les plus justes. Dans cette étude on va essayer de calculer l'erreur des méthodes d'interpolation spatiale utilisées dans le bassin versant, en effet, parmi toutes ces méthodes, y en a-t-il une qui donnerait globalement de meilleurs résultats lors de l'estimation de la pluviométrie, c'est à dire une méthode dont la distance entre le champ de pluie observée et le champ estimé la plus faible. Ainsi, les quatre méthodes retenues vont maintenant être évaluées sur le bassin versant Kébir-Rhumel, à partir d'échantillon de pluie. Il s'agit des méthodes de l'inverse des distances et radial basic fonction pour les méthodes déterministes, et pour les méthodes stochastiques le krigeage ordinaire et le krigeage universel.

V.3.1 Un échantillon des pluies analysé

L'évaluation des méthodes d'interpolation spatiale porte sur la réalisation de cartes fondées sur les hauteurs d'eaux précipitées issues des pluviomètres du bassin versant Kébir-Rhumel. Afin d'avoir un ensemble de résultats représentatifs, ces interpolations sont effectuées sur les pluies journaliers maximales annuelles de l'année 1980 à l'année 2011, soit 31 années. Les journalières maximales annuelles sur les pluviomètres s'échelonnent de 10 à 210.3 mm.

V.3.2 Principe de l'évaluation par validation croisée

Le but est de mettre en évidence la méthode fournissant des données interpolées les plus proches de la réalité. Dans cet objectif, une méthode du type JACKKNIFEAPPROCHE qui compare un échantillon de valeurs de pluie de base à un échantillon de valeurs tests lors d'un même épisode pluvieux peut être utilisée. Les valeurs de l'échantillon de base servent à estimer les valeurs tests qui sont ensuite comparés aux valeurs observées. Cependant, cette méthode peut être optimisée pour obtenir une évaluation par validation croisée. Cette dernière consiste à réduire l'échantillon test à un seul pluviomètre, le reste des pluviomètres forme l'échantillon de base (méthode de type one out). Ensuite, à tour de rôle, chaque pluviomètre est utilisé en tant qu'échantillon test, et sa valeur estimée peut ainsi être comparée à sa valeur observée.

Tableau (18) : Erreur d'estimation moyenne globale pour les quatre méthodes.

Méthode	IDW	RBF	KO	KU
Mean	-1.75	-0.80	-0.40	-0.40
root mean square	11.76	11.90	10.93	10.93

V.3.3 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 (10-12) mm, pour une hauteur d'eau précipitée comprise entre (10-213 mm).

Nous constatons que les quatre méthodes d'interpolation donnent des erreurs d'estimations moyennes globales les plus proches. Tableau (18)

Pour le reste du travail, nous avons utilisé la méthode de **krigeage ordinaire** pour la cartographie des paramètres climatologique (pjmax, température, évapotranspiration).

V.4 Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les pluies de différentes périodes de retour (krigeage ordinaire)

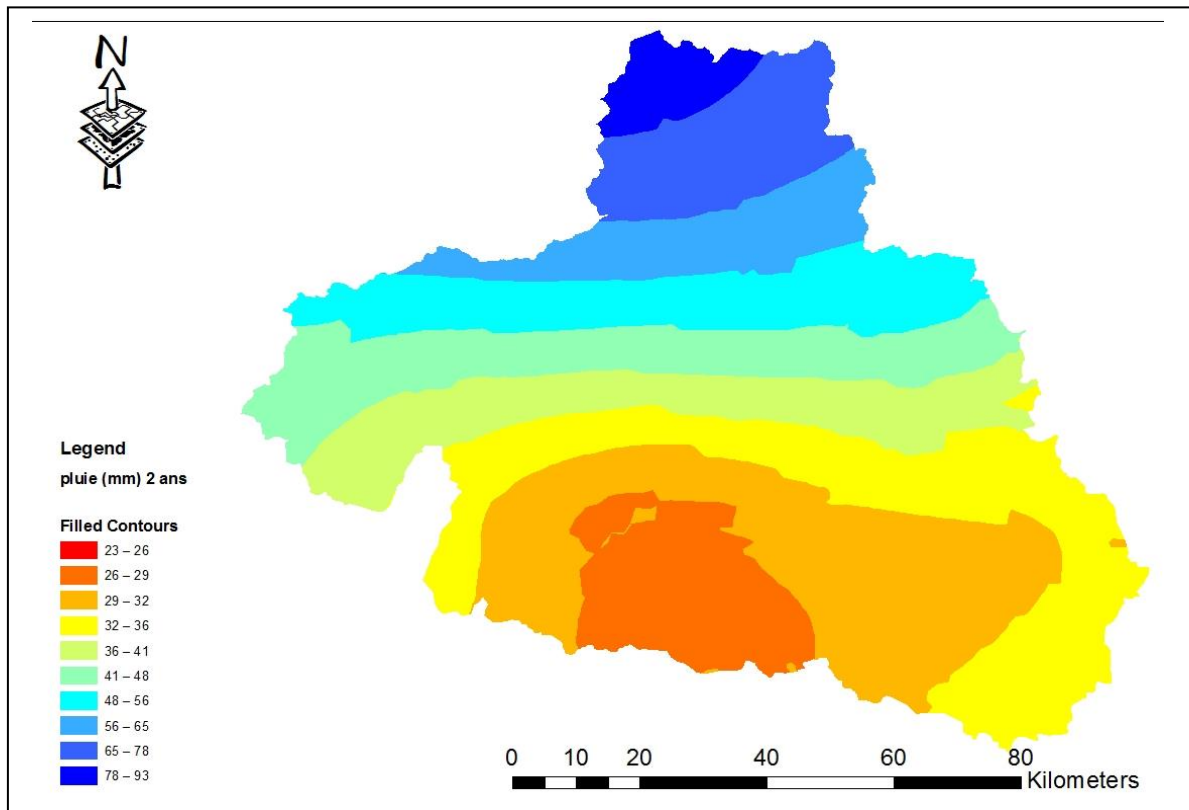
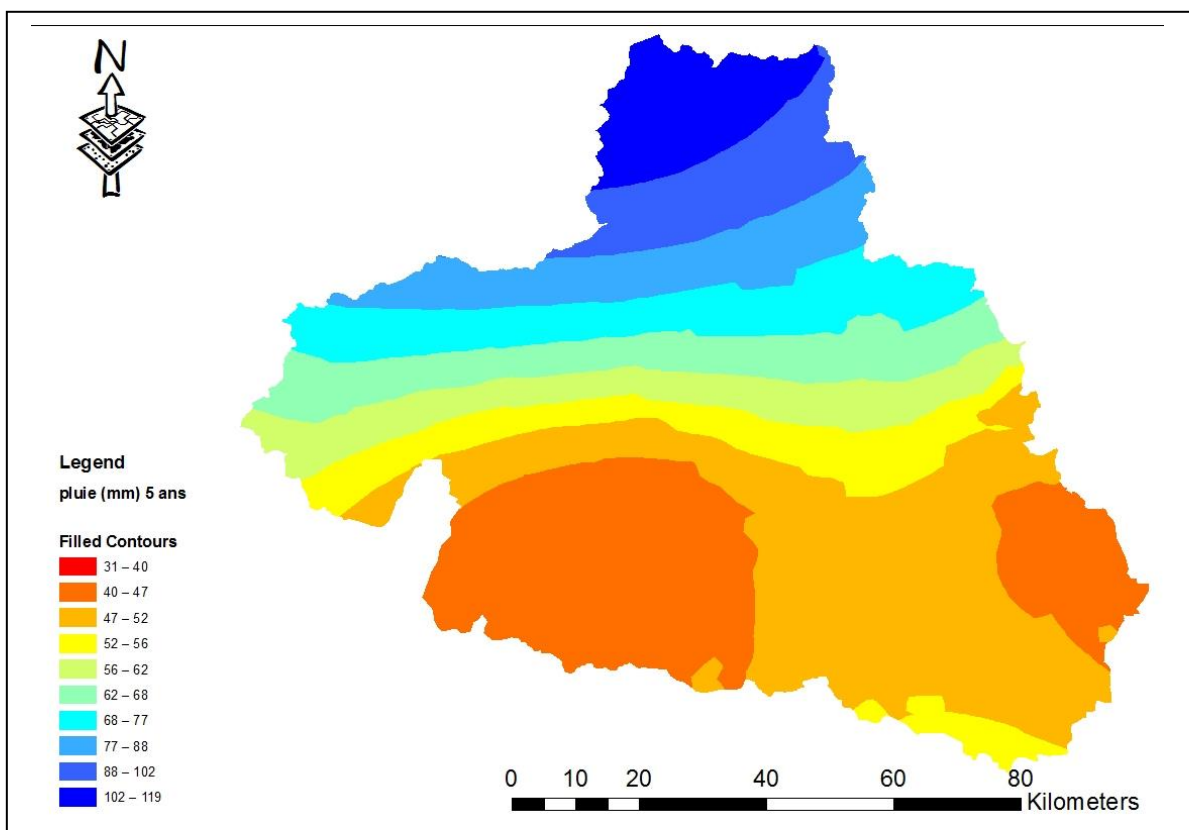
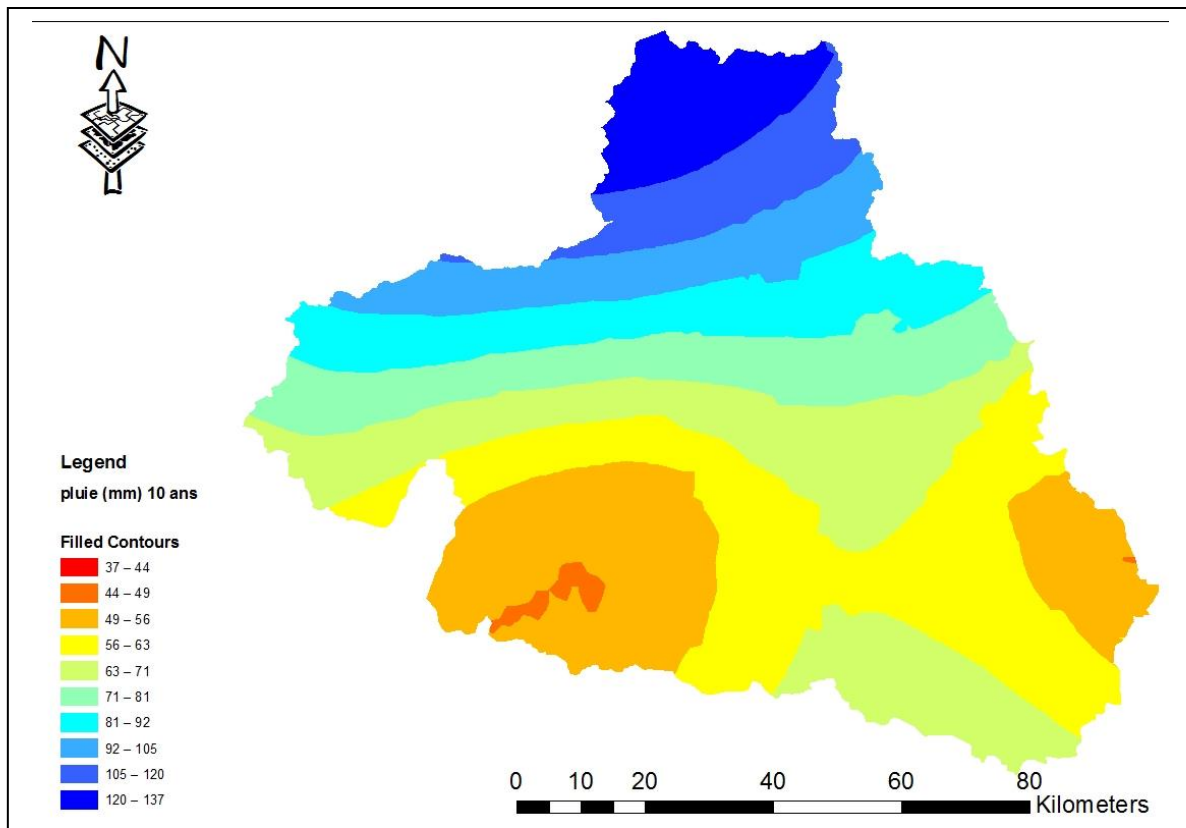


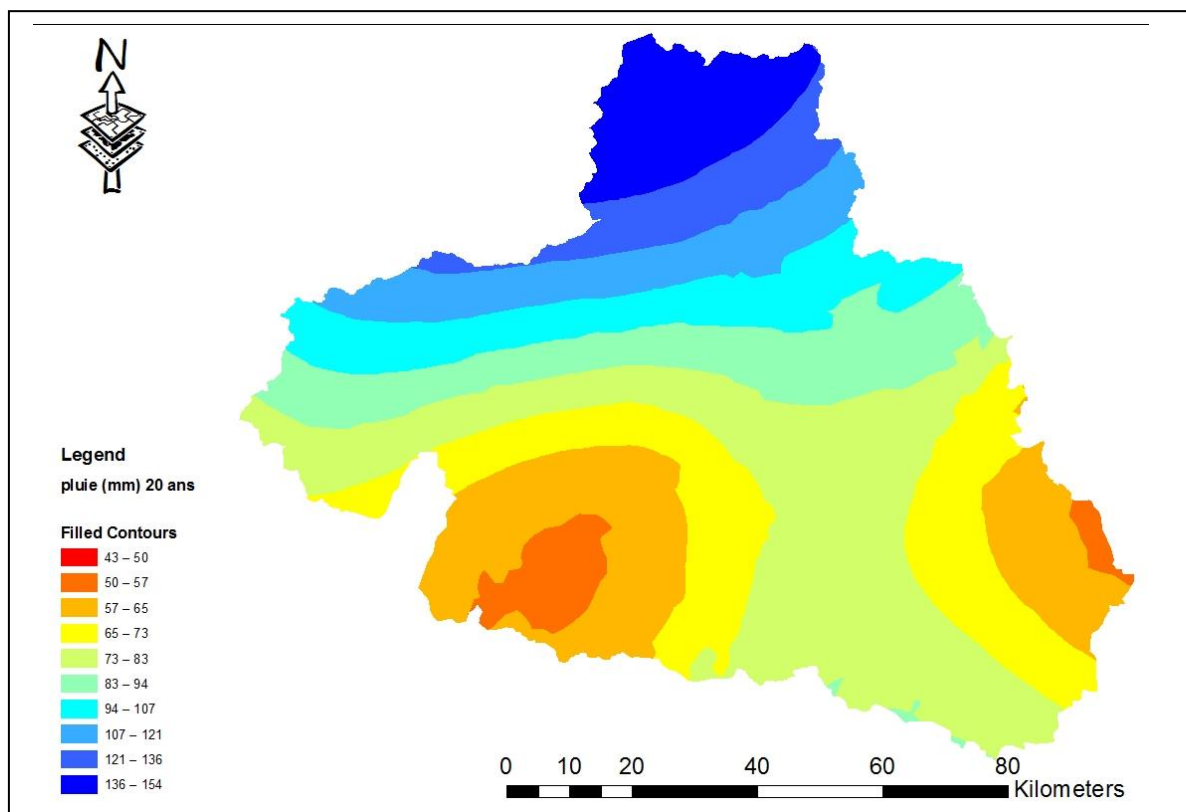
Figure (21): Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 2 ans).



Figure(22) : Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 5ans).



Figure(23) : Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 10 ans).



Figure(24) : Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 20 ans).

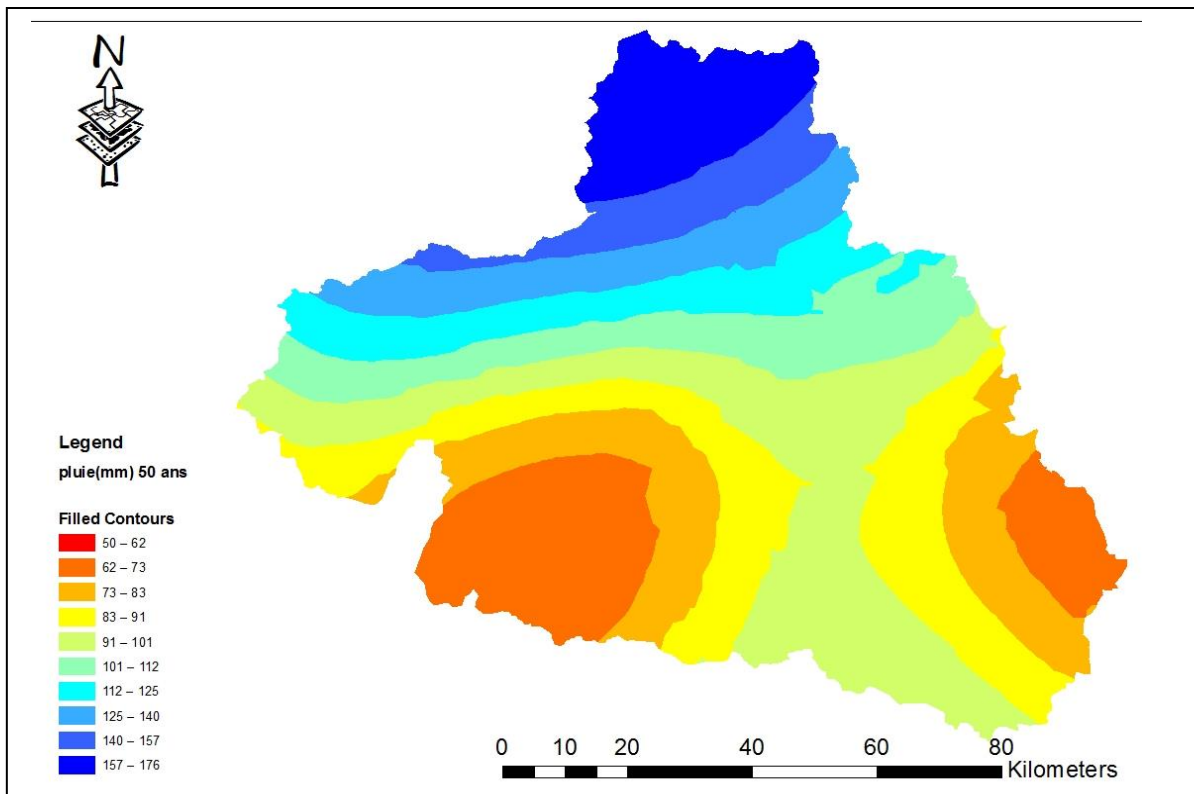
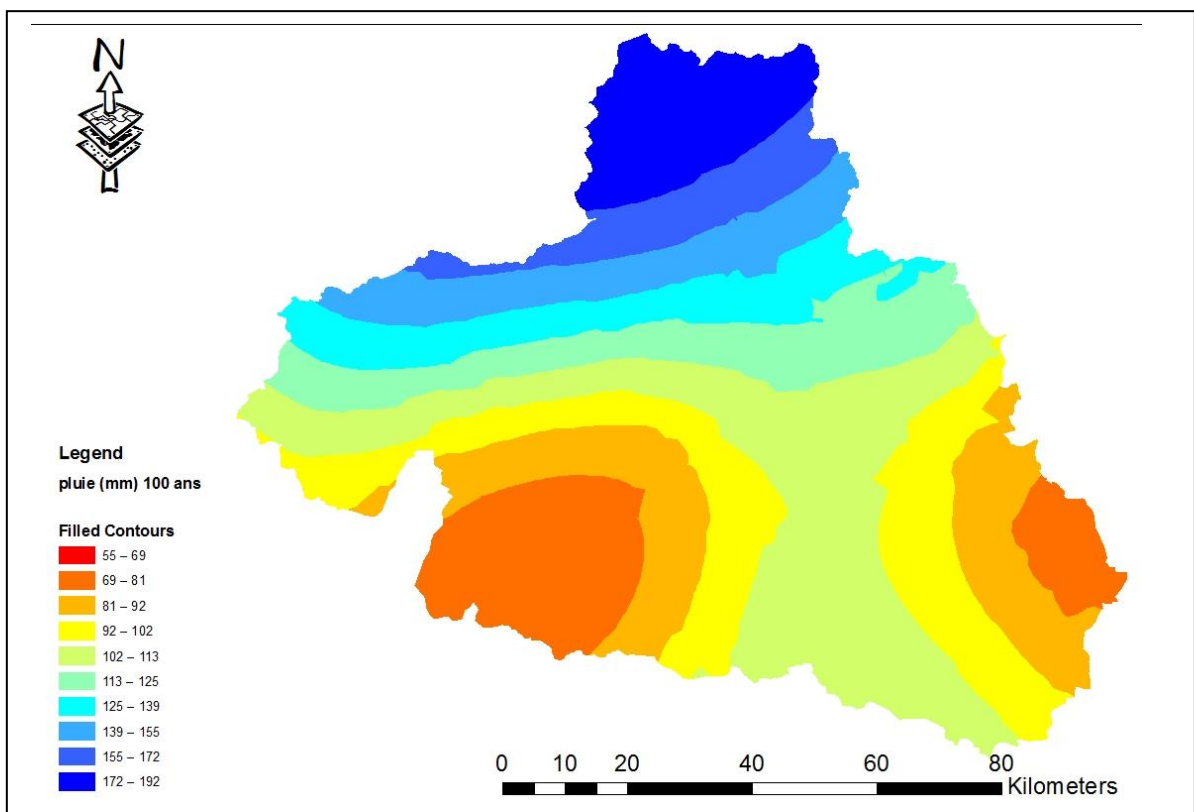
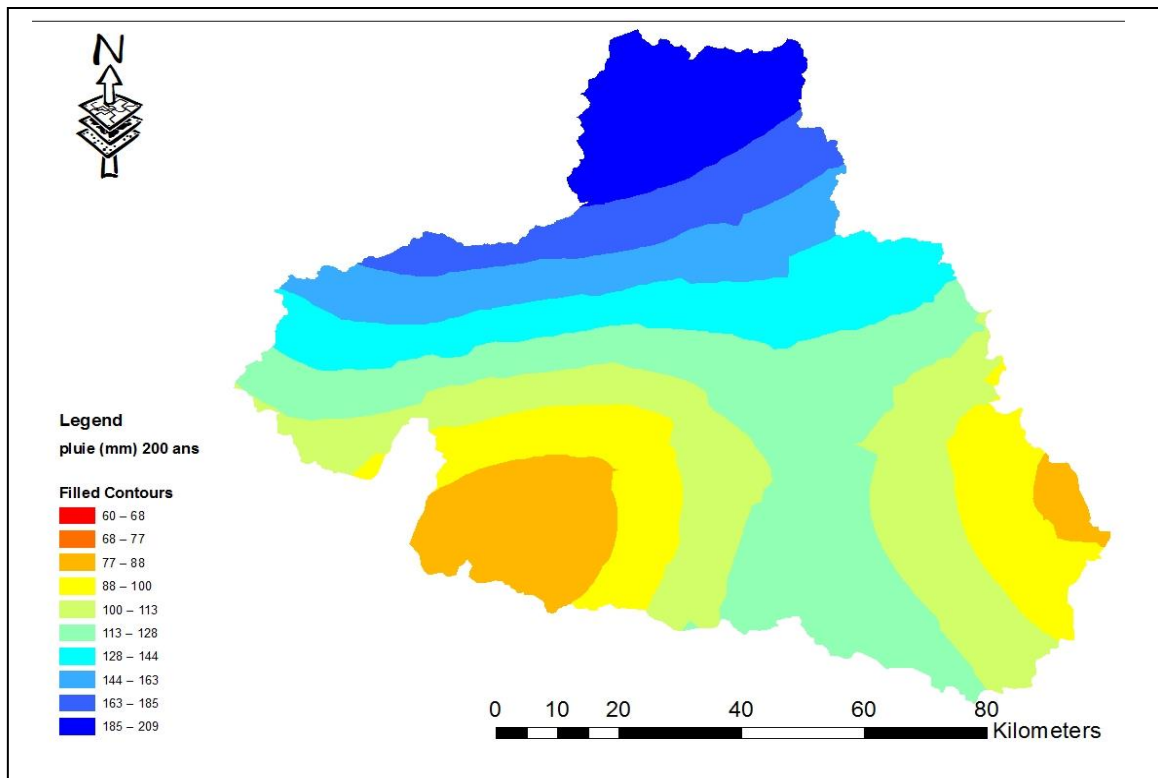


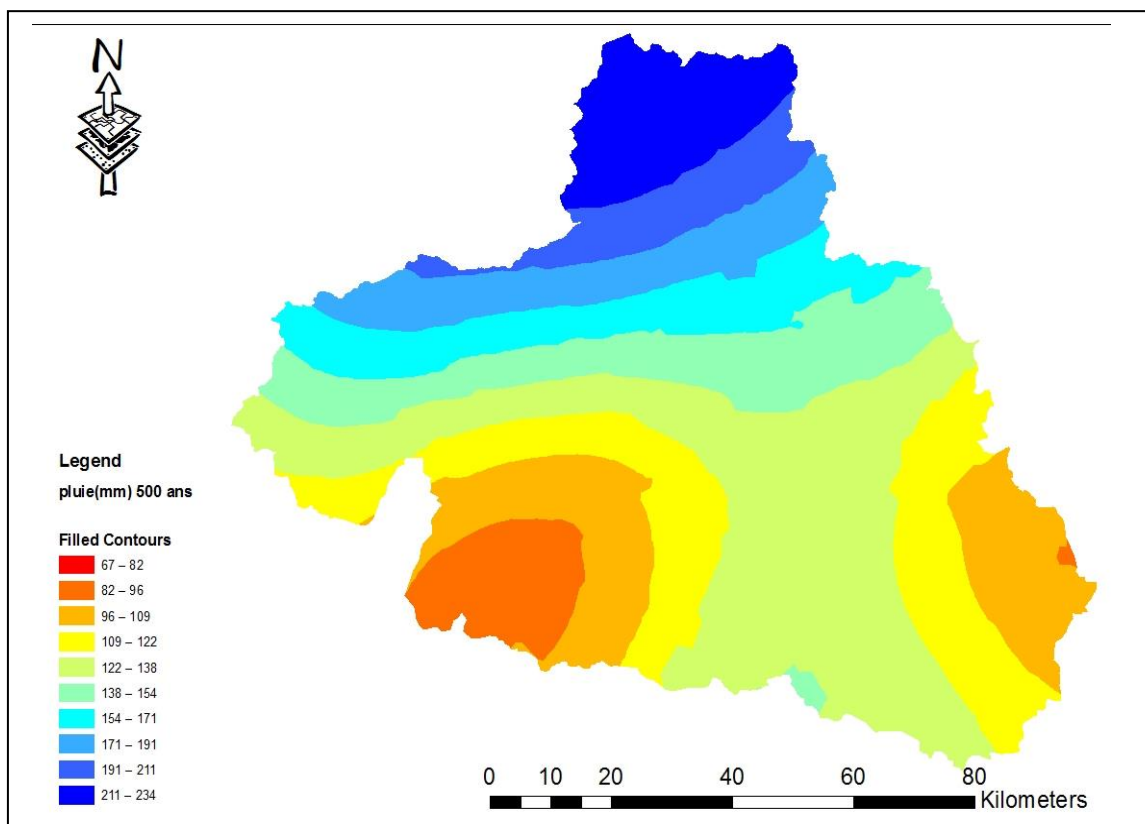
Figure (25): Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 50 ans).



Figure(26) : Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 100 ans).



Figure(27) : Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 200 ans).



Figure(28) : Répartition de Pjmax annuelle interpolée (période de retour 500 ans).

V.5 Application de la méthode d'interpolation spatiale sur les températures (KO)

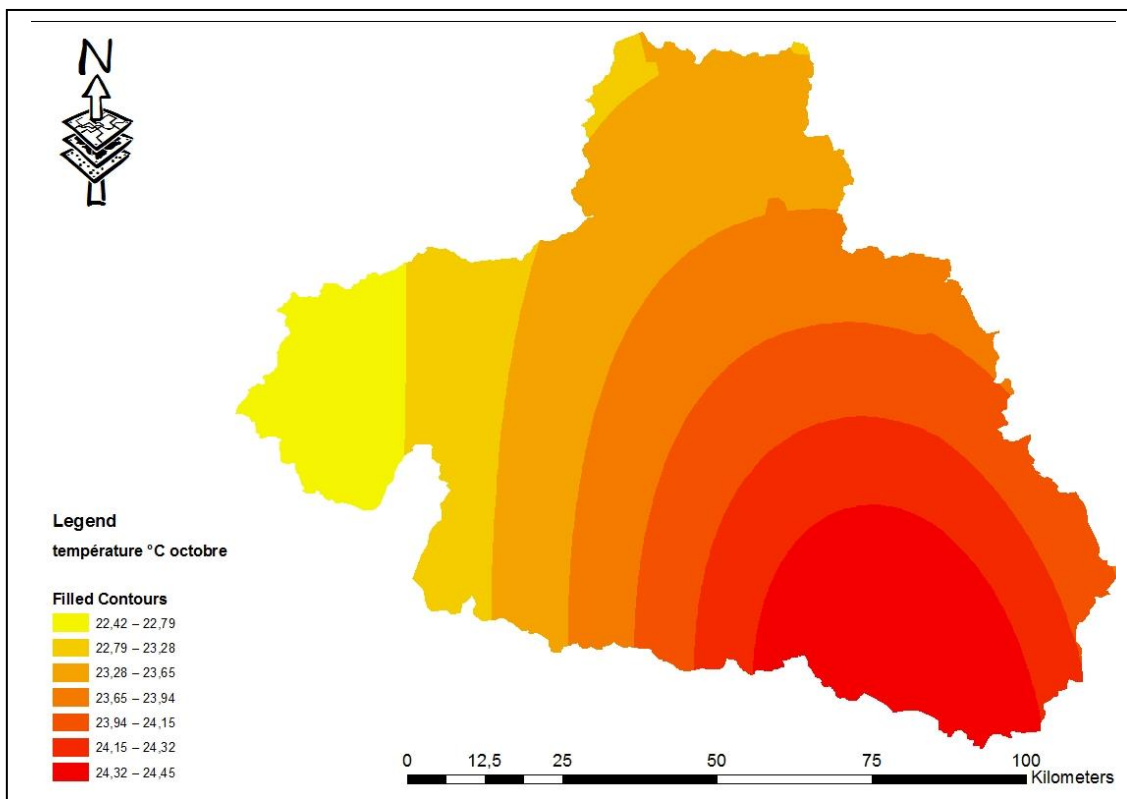
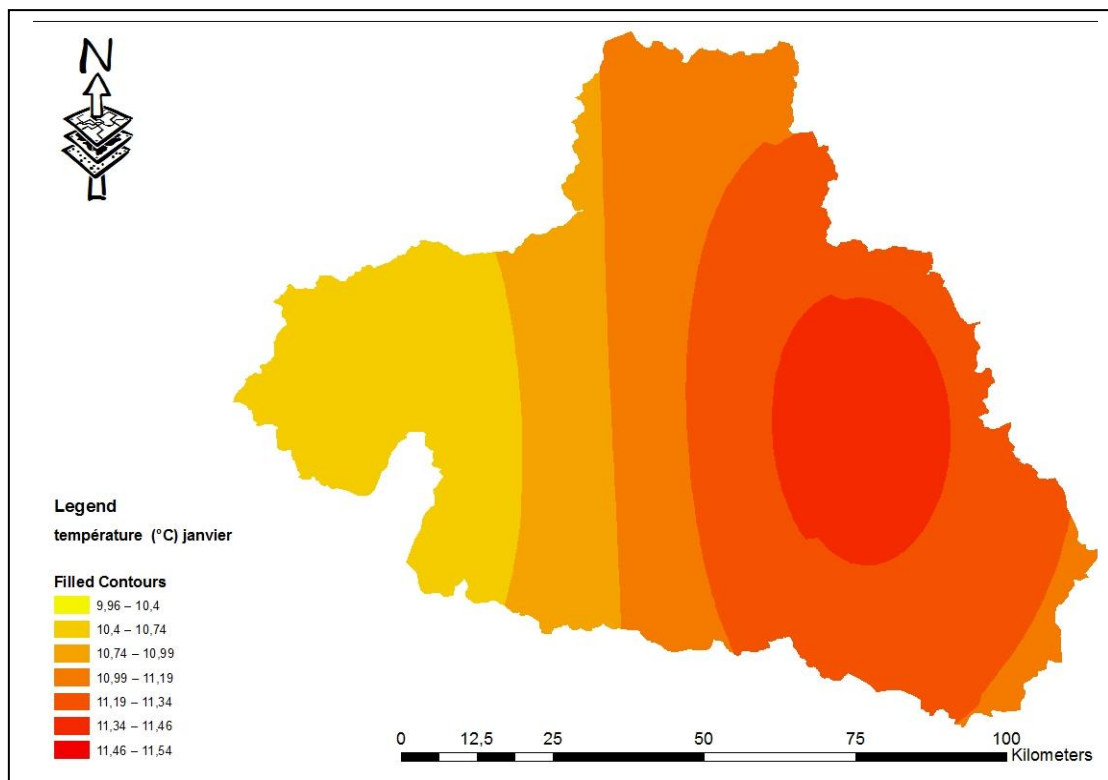


Figure (29): Répartition de température interpolée (mois d’octobre).



Figure(30) : Répartition de température interpolée (mois de janvier).

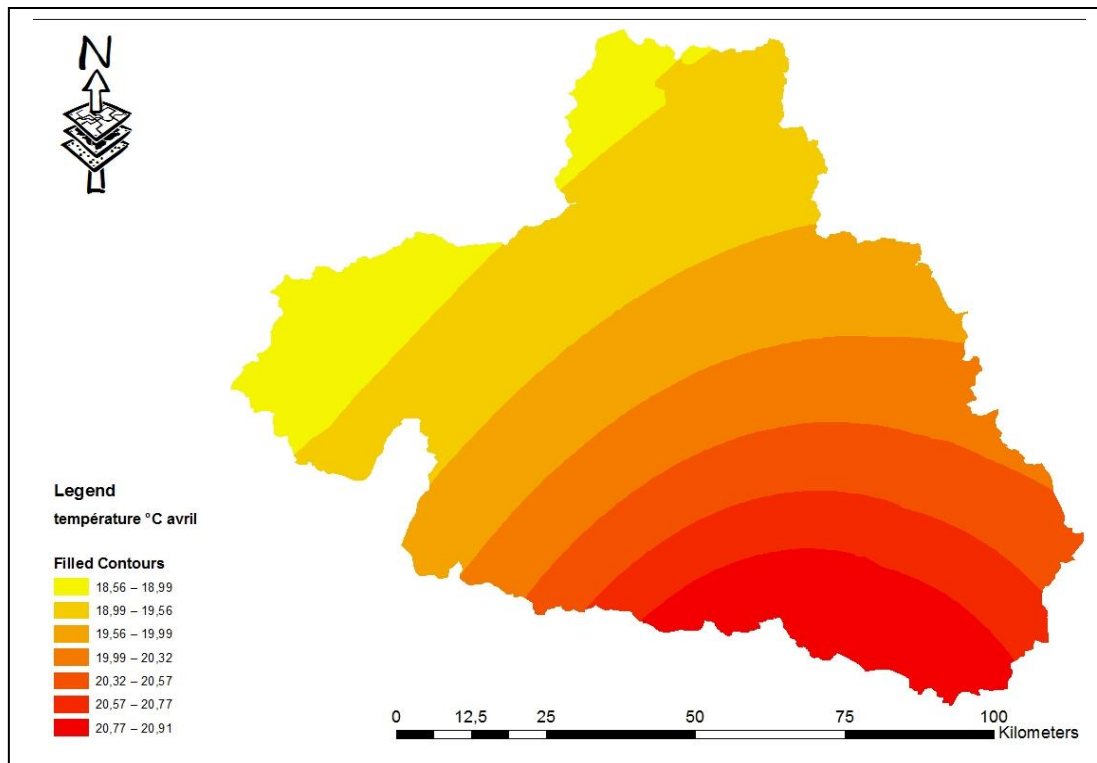
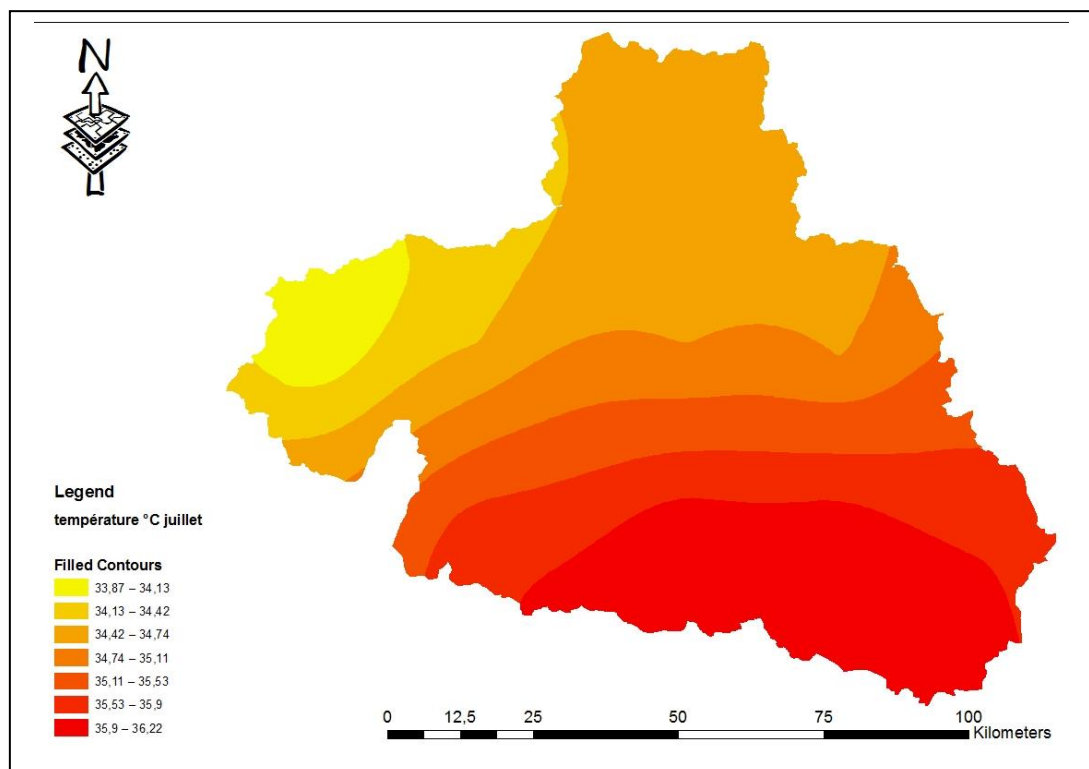


Figure (31): Répartition de température interpolée (mois d’avril).



Figure(32) : Répartition de température interpolée (mois de juillet).

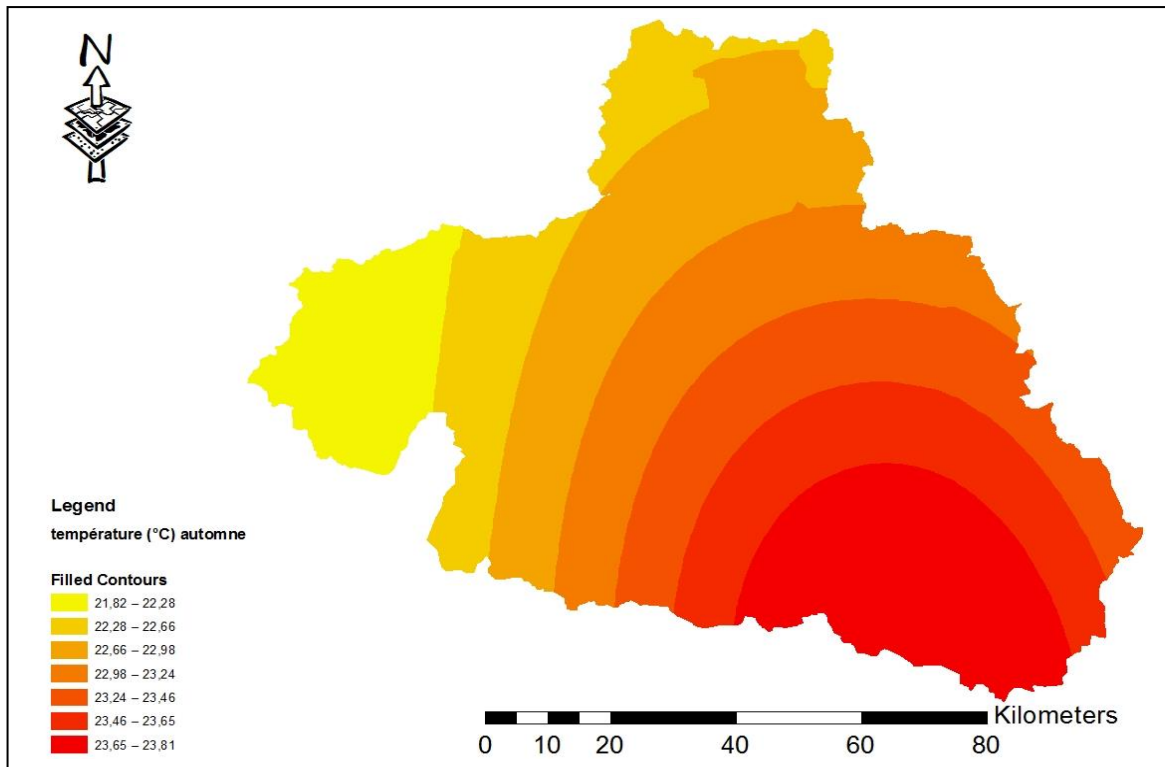


Figure (33): Répartition de température interpolée (saison d’automne).

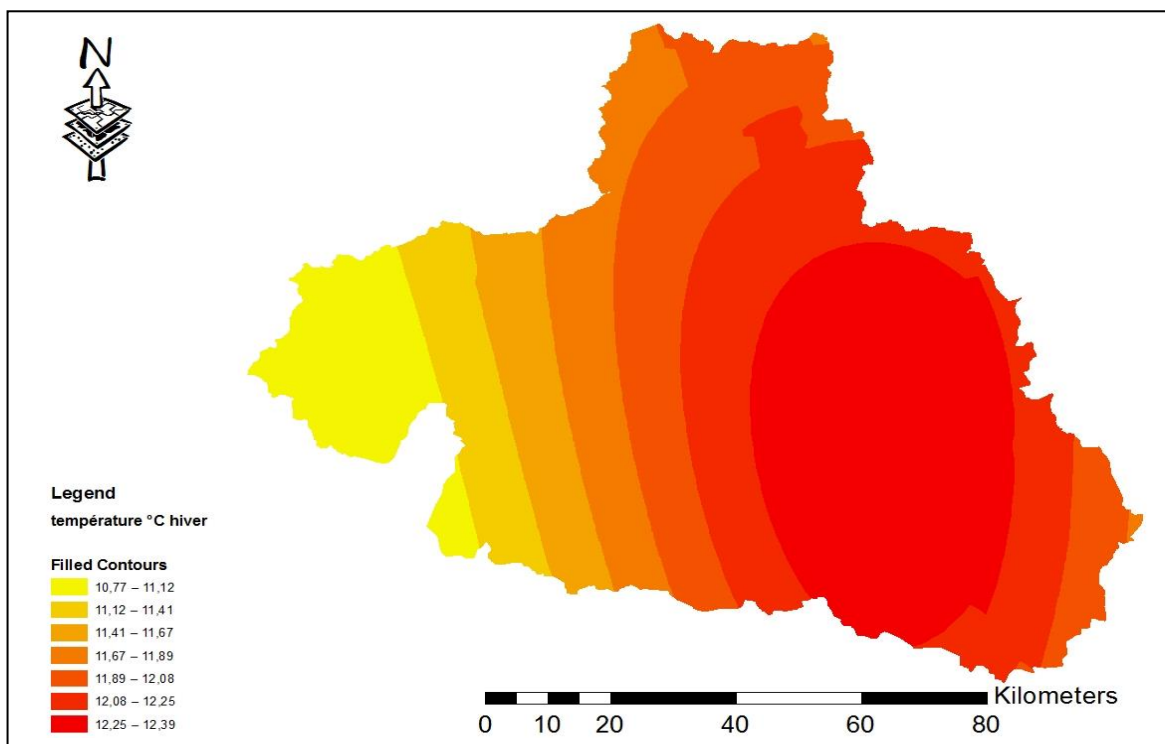


Figure (34): Répartition de température interpolée (saison d’hiver).

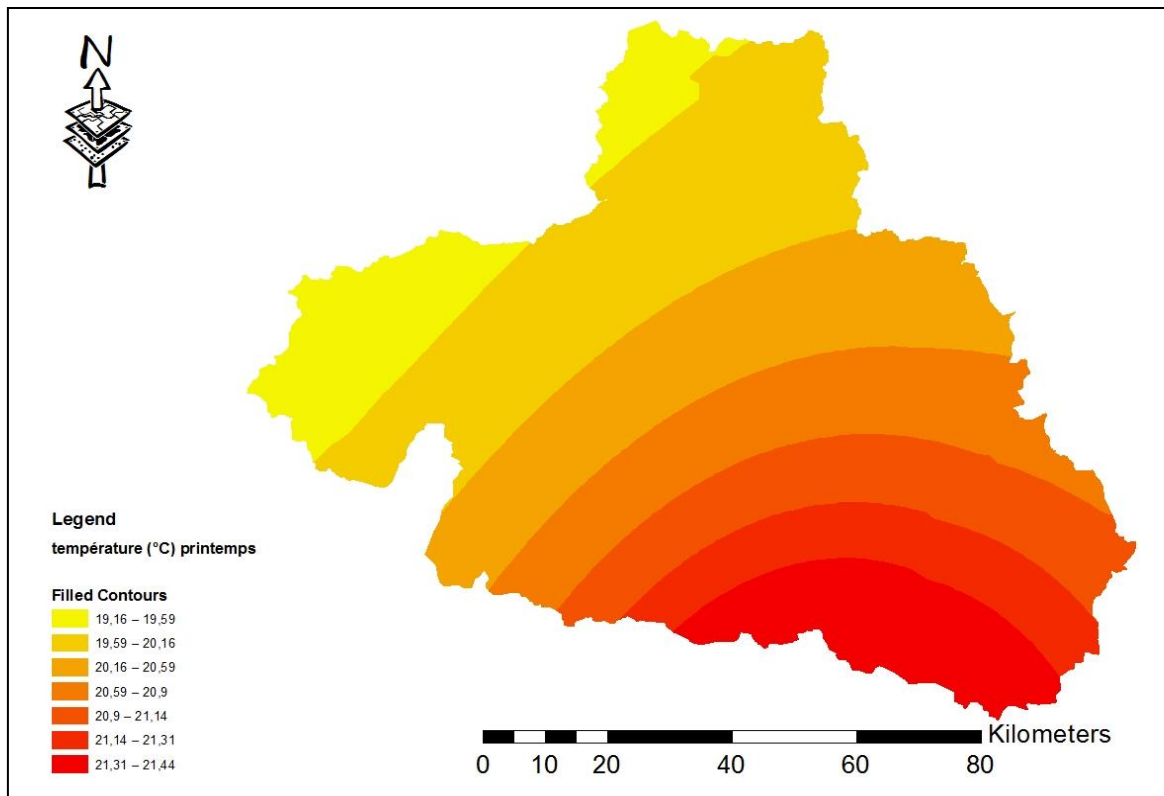


Figure (35): Répartition de température interpolée (saison de printemps).

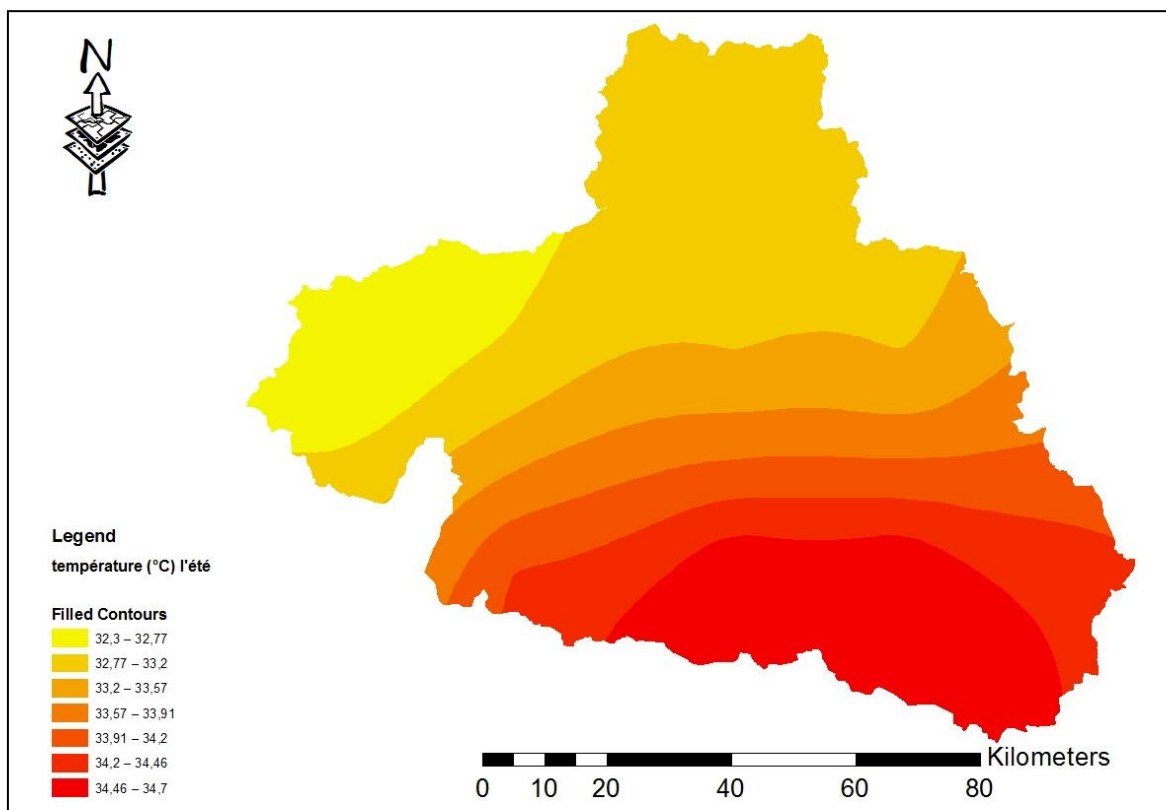


Figure (36): Répartition de température interpolée (saison d'été).

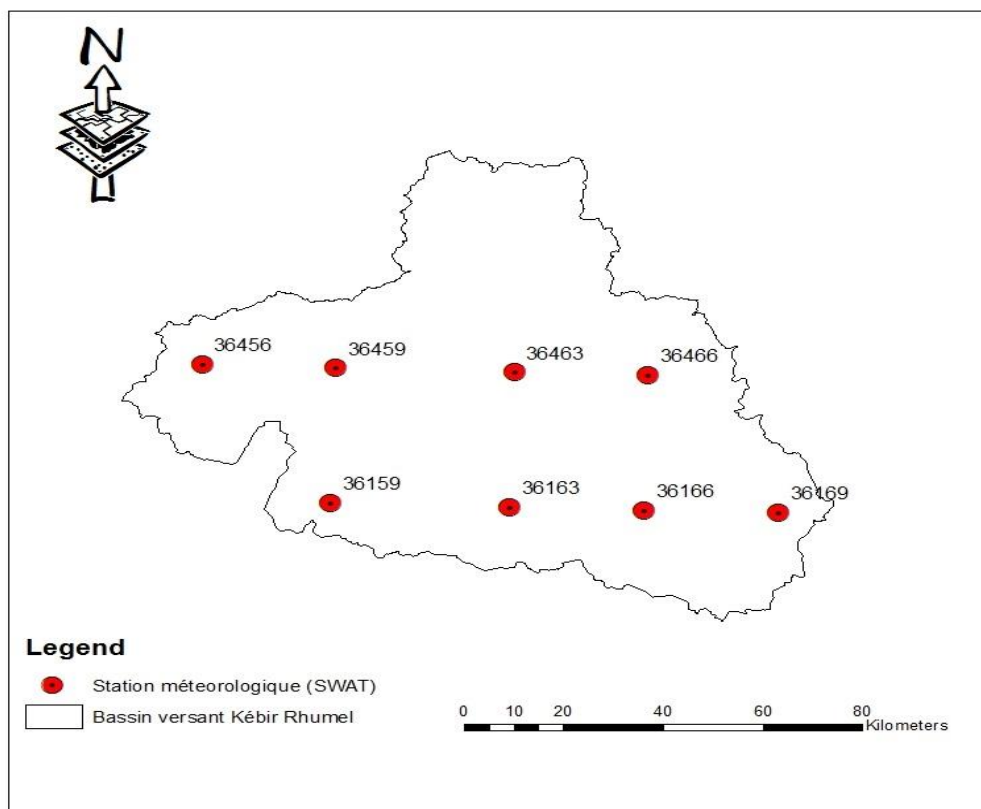
V.6 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation et de la transpiration des plantes depuis la surface terrestre et océanique vers l'atmosphère. L'évaporation représente le mouvement de l'eau vers l'air à partir de sources telles que le sol, l'interception de la canopée et les plans d'eau. La transpiration explique le mouvement de l'eau dans une plante et la perte subséquente d'eau sous forme de vapeur à travers les stomates de ses feuilles dans les plantes vasculaires. L'évapotranspiration est une partie importante du cycle de l'eau. Il existe deux types [13] :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP).
- L'évapotranspiration réelle (ETR).

V.6.1 Données utilisées

Pour notre cas en raison du manque des stations météorologiques dans le bassin versant Kebir Rhumel, et pour le calcul de température et l'évapotranspiration nous avons utilisé les données de température estimées par Global weather data for swat [19] et la formule de Thornthwaite. (Figure(37) ; Tableau(19)).



Figure(37) : Réseau météorologique (station swat).

Tableau(19) : Le réseau de mesure (SWAT).

Station	Longitude	Latitude	Période d'observation
36159	5.9	36.1	1979-2012
36163	6.3	36.1	1979-2012
36166	6.6	36.1	1979-2012
36169	6.9	36.1	1979-2012
36456	5.6	36.4	1979-2012
36459	5.9	36.4	1979-2012
36463	6.3	36.4	1979-2012
36466	6.6	36.4	1979-2012

V.6.2 Formule de Thornthwaite

THORNTHWAITE a proposé également une formule basée essentiellement sur les températures de l'air [13] :

$$\text{Avec : ETP} = 16 * \left(10 \frac{t}{I}\right)^a * K \dots \dots \dots (25)$$

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \dots \dots \dots (26)$$

$$\text{et : } I = \sum_{I=1}^{12} I \dots \dots \dots (27)$$

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5 \dots \dots \dots (28)$$

t : est la température moyenne mensuelle du mois considéré ;

Etp : est l'évapotranspiration potentielle du considéré (en mm d'eau) ;

K : est un coefficient d'ajustement mensuel.

Tableau (20) : Les coefficients de k.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
K	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88

V.6.3 Calcul d'évapotranspiration

Dans la suite du travail, à titre explicative, nous allons détailler les calculs pour le mois de janvier de la station 36159, Pour le reste des stations seulement des synthèses des résultats.

$$I = \sum_{l=1}^{12} \left(\frac{10.4}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{12.36}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{16.16}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{20.02}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{25.5}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{31.70}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{35.76}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{35.04}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{29.1}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{23.3}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{15.8}{5} \right)^{1.5} + \left(\frac{11.1}{5} \right)^{1.5} = 119.05$$

$$I = 119.05$$

$$a = \frac{1.6}{100} I * 119.05 + 0.5$$

$$\text{Et: } a = 2.40388$$

$$\text{ETP} = 16 * \left(10 \frac{10.4}{119.05} \right)^{2.40388} * 0.9$$

$$\text{Donc : } \text{ETP} = 9,83 \text{ mm.}$$

Tableau(21): les valeurs d'ETP pour toutes les stations.

Mois	Jan	Fev	Mai	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
36159	9.83	14.44	32.96	58.34	116.40	196.53	268.32	242.59	139.23	76.79	27.10	11.29
36163	10.63	15.18	33.84	59.80	118.77	198.93	272.56	247.53	142.53	79.94	28.69	12.27
36166	10.90	15.30	34.00	60.17	118.84	198.31	271.66	247.53	142.96	81.34	29.52	12.81
36169	10.80	14.91	33.14	58.84	116.95	195.19	267.40	244.32	141.48	80.98	29.53	12.83
36456	11.00	15.07	32.54	54.98	106.80	175.92	242.60	222.61	132.24	76.94	28.91	12.84
36459	11.70	15.79	33.54	56.49	109.26	179.08	247.91	228.11	135.79	79.89	30.29	13.66
36463	12.32	16.38	34.41	57.49	110.74	180.96	250.84	231.46	138.20	82.24	31.47	14.38
36466	12.60	16.55	34.52	57.57	110.53	180.77	249.72	230.80	138.51	82.98	32.13	14.86

V.6.4 Application de la méthode d'interpolation spatiale sur l'évapotranspiration (KO)

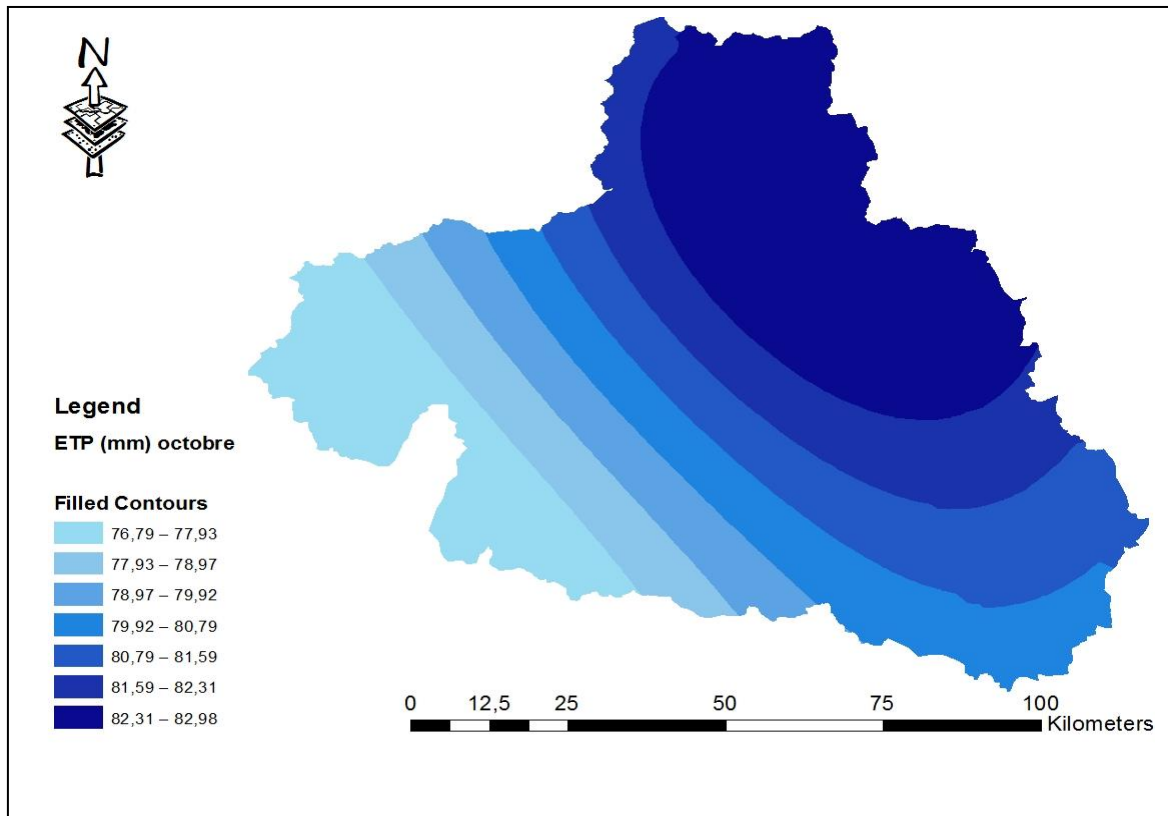
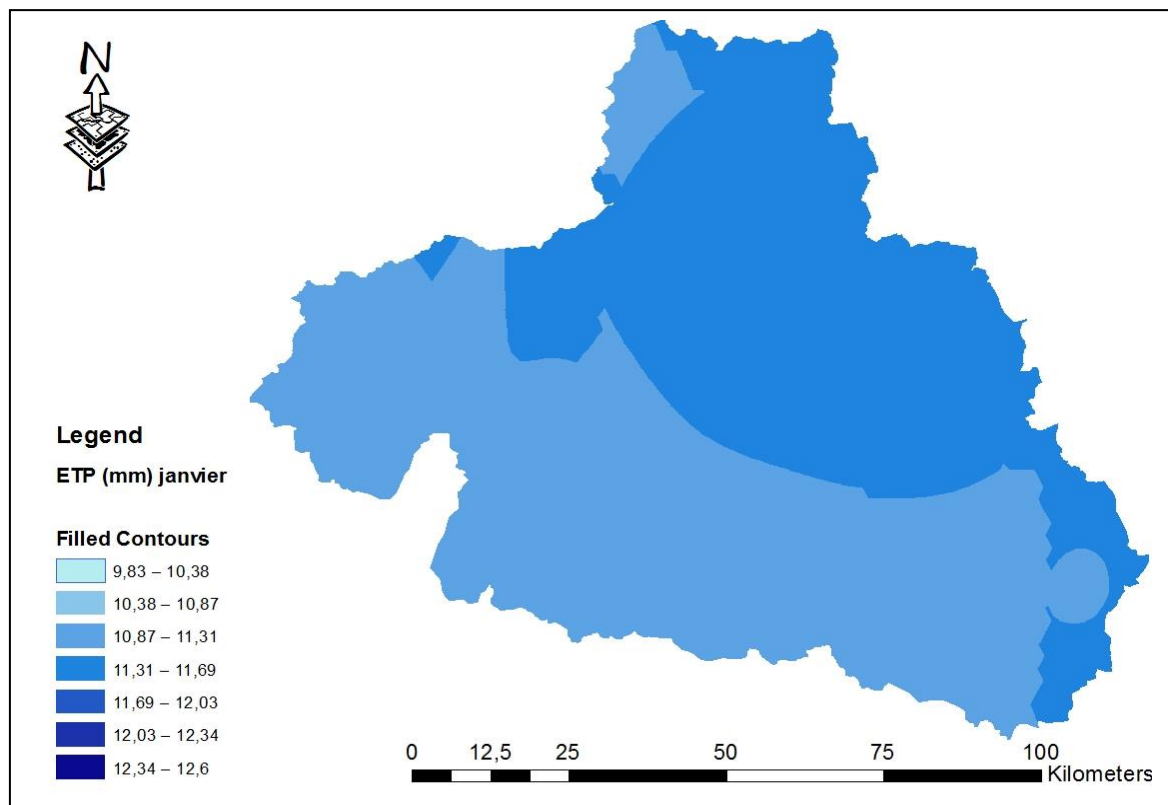
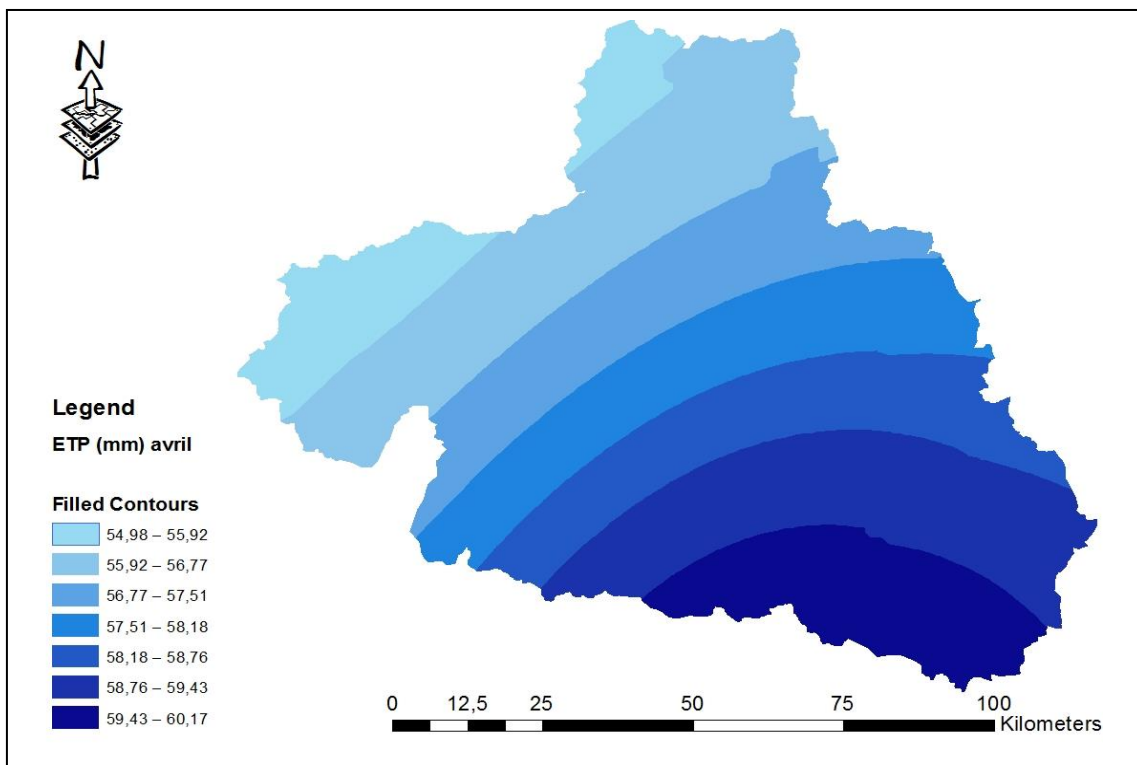


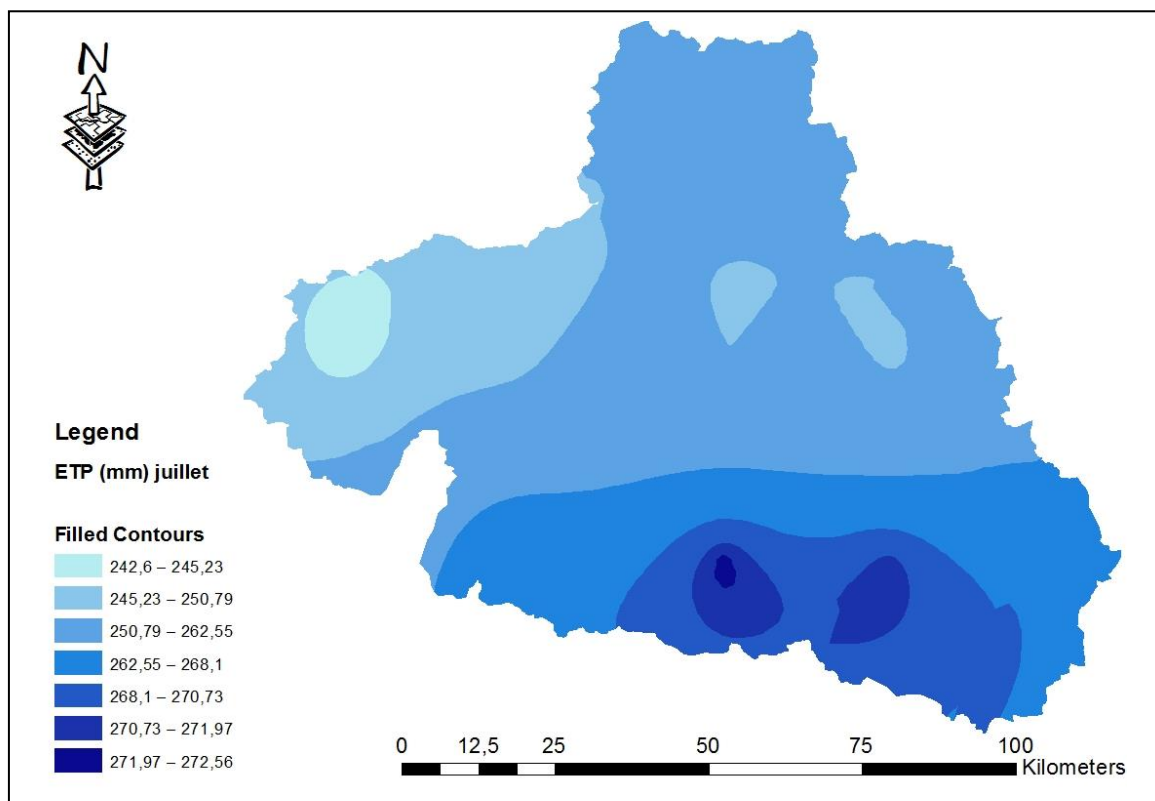
Figure (38): Répartition d'évapotranspiration interpolée (mois d'octobre).



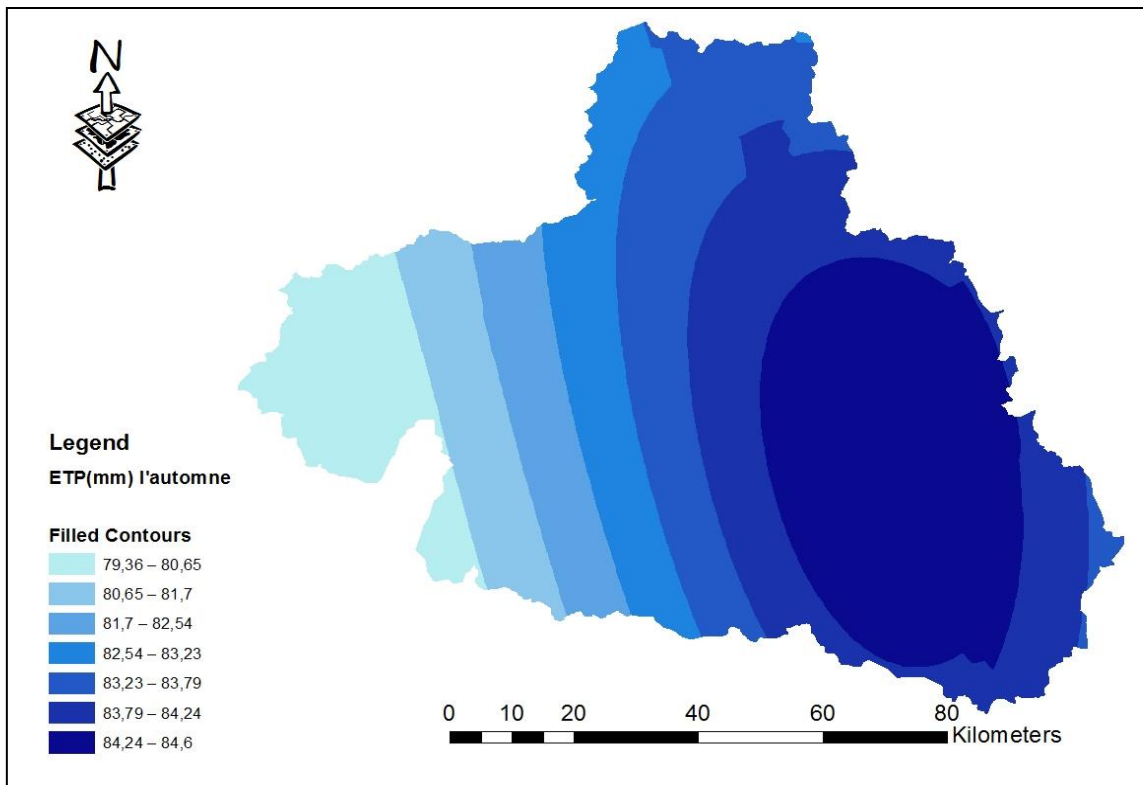
Figure(39) : Répartition d'évapotranspiration interpolée (mois janvier).



Figure(40) : Répartition d'évapotranspiration interpolée (mois d'avril).



Figure(41) : Répartition d'évapotranspiration interpolée (mois de juillet).



Figure(42) : Répartition d'évapotranspiration interpolée (saison d'automne).

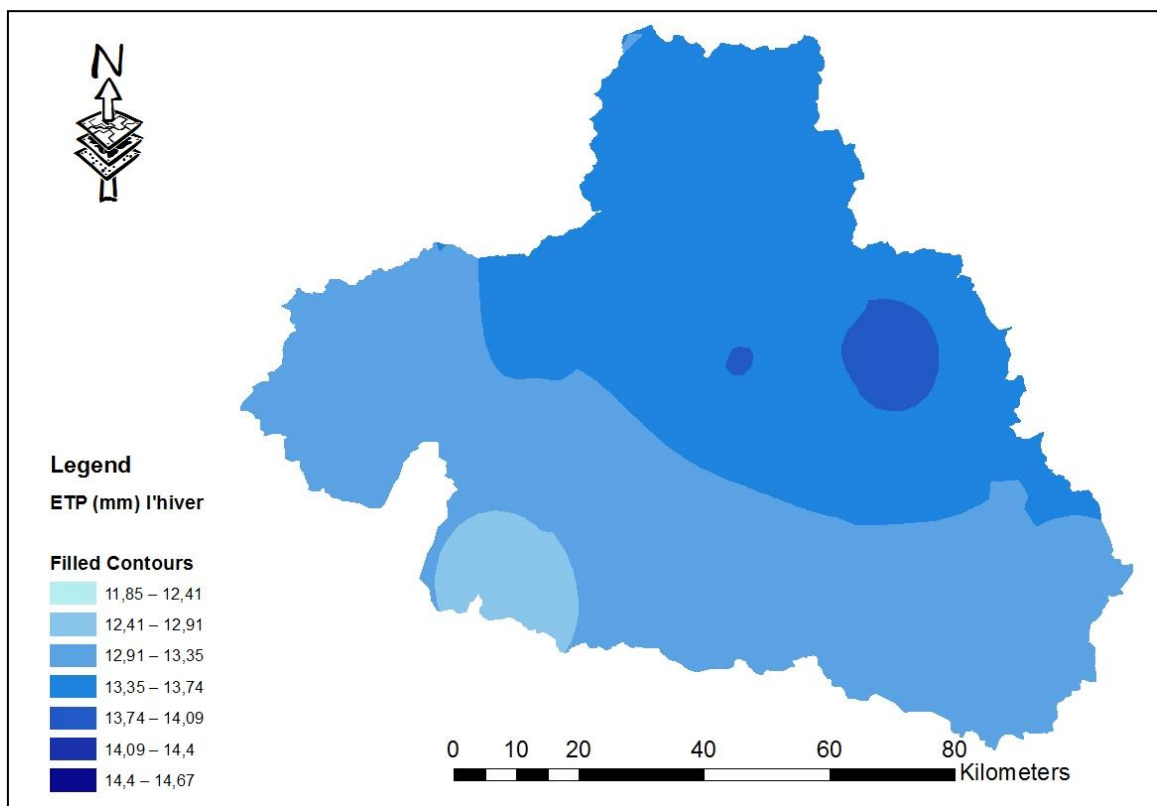
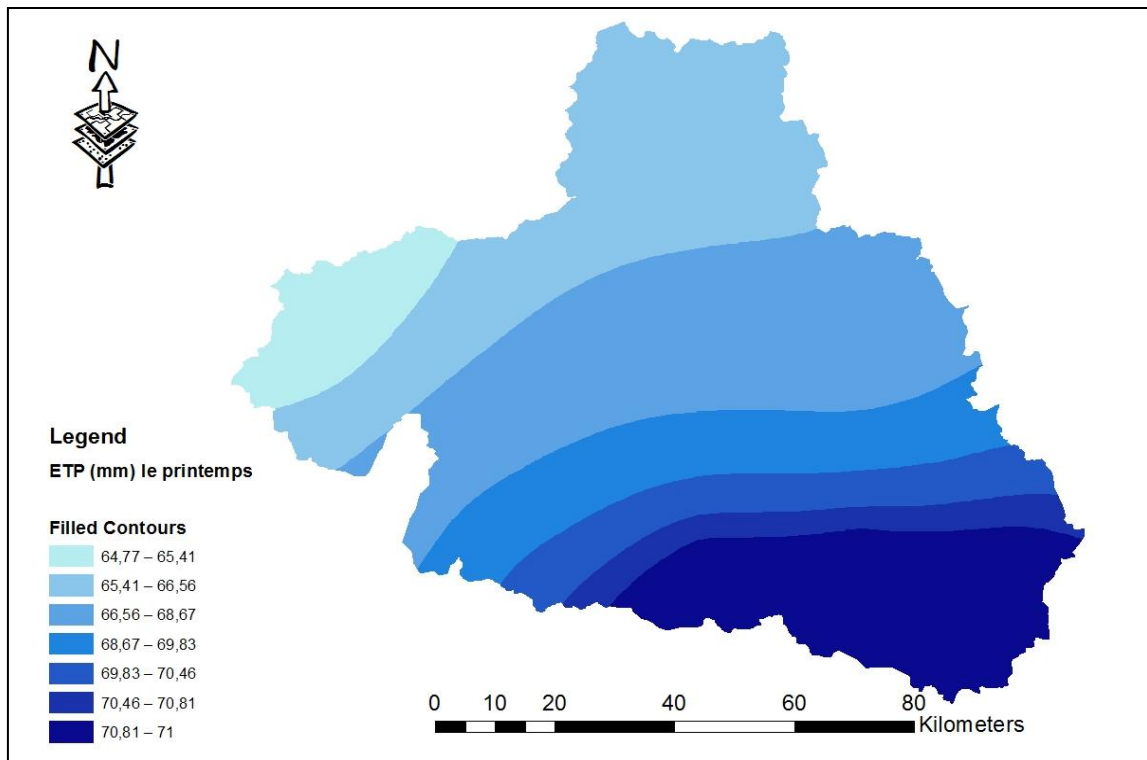


Figure (43): Répartition d'évapotranspiration interpolée (saison d'hiver).



Figure(44): Répartition d'évapotranspiration interpolée (saisons des printemps).

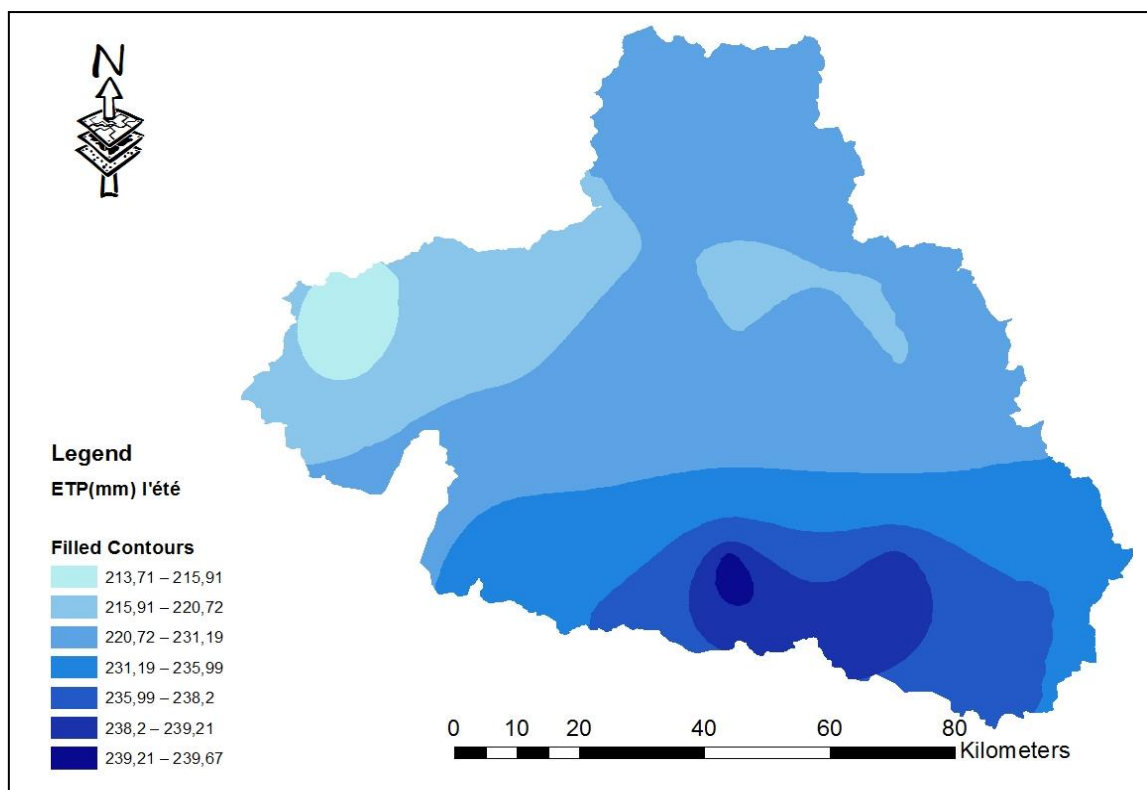


Figure (45): Répartition d'évapotranspiration interpolée (saison d'été).

V.7.Discussion

La création des cartes des paramètres climatiques pour les pluies de différentes périodes de retour, la température et l'évapotranspiration dans le bassin versant Kébir-Rhumel en utilisant l'interpolation spatiale nous a permis de mieux comprendre la répartition des valeurs de ces paramètres dans toute la surface de bassin versant. Pour la pluie journalière maximale le gradient croissant Sud-Nord se présenter presque dans toutes les périodes de retour (**Fig:21, 22, 23, 24, 25, 26, 27,28**), avec des gradients allant de 10 mm à 210.20 mm (1980-2011). Concernant la température le gradient croissant Nord –Sud domine toutes les saisons (**Fig:29, 30, 31, 32, 33, 34, 35,36**) avec des températures moyennes de 9 C° jusqu'à 37C° (1980-2011). Pour l'évapotranspiration le gradient croissant Nord-Ouest vers le SUD-EST présent dans toutes les cartes saisonnière avec des valeurs moyennes comprises entre 10 et 273 mm.

A large, stylized graphic of a water splash, rendered in shades of blue and white. The splash is centered on the page and has a white outline. The text "Conclusion générale" is overlaid on the splash in a black, italicized serif font.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude a porté sur le thème de la régionalisation des paramètres climatiques, où on a essayé plus ou moins d'arriver à une approche appréciable en utilisant des outils statistiques et géostatistiques.

En partant des séries des pluies journalières maximales annuelles enregistrées par les pluviomètres au niveau des 20 stations existantes dans le bassin versant Kébir-Rhumel, 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 de température de huit station climatique fournit par Global WeatherDataFor Swat pour calculer l'évapotranspiration.

Enfin une analyse comparative a été faite entre les méthodes d'inverse des distances et radial basic fonction pour les méthodes déterministes, et pour les méthodes stochastiques le krigeage ordinaire et le krigeage universel, les résultats de cette comparaison montrent que le krigeage donne des erreurs d'estimation moins par rapport aux autres méthodes.

La création des cartes des paramètres climatiques tels que les pluies de différentes période de retour, la température et l'évapotranspiration nous a donné une bonne compréhension de la répartition spatiale de ces paramètres dans tout le bassin de kébir-Rhumel.



Références bibliographiques:

- [1] **LE Barbe, L ; Servat, E (1992)** ; Application au Développement. Huitièmes journées Hydrologiques de l'Orstrom. Edition Ostrom, France. 571p.
- [2] **L Limberger, D.F Ely (2019)** ; Régionalisation des précipitations dans l'état du paraná (brésil) en lien avec la température de surface de la mer. XXXIIème Colloque Internationale de l'AIC Thessaloniki - Grèce 29 mai au 1 juin 2019.
- [3] **A Merzougui, Mohamed Slimani (2012)** ; Régionalisation des lois de distribution des pluies mensuelles en Tunisie. Hydrological Sciences Journal.57(4).
- [4] **J.P. Laborde, (2009)**; cours éléments d'hydrologie de surface université de Nice - Sophia Antipolis, 202 p.
- [5] **Baillargeon, S. (2005)** ; Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations. Thèse de l'Université de Laval (Québec), 137 p.
- [6] **Hutchinson M., (2003)a**. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines : I. Two dimensional smoothing of data with short range correlation, Proceedings of DIC 1997 in Ispra, Italy, pp. 78-92.
- [7] **Hutchinson M., (2003)b**. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines: II. Analysis of topographic dependence, Proceedings of DIC 1997 in Ispra, Italy.
- [8] **Aarnaud M., et Emery, X. (2000)** ; Estimation et interpolationspatiale. Hermes Science Publications, Paris. 221 p.
- [9] **Mitasova H. et Mitas L., (1993)**; Interpolation by regularized spline with tension: I. theory and implantation, Mathematical Geology, 25,6 ; pp. 641-655.
- [10] **Abdeddaim. H, (2008)** ; contribution a l'étude de l'influence de la structure du réseau hydrographique sur le risque hydrologique « cas des bassins de l'est de l'Algérie ». Thèse de doctorat, université Mohamedkhider – Biskra, 276 p.
- [11] **Agence de bassin hydrographique constantinois_Sybousse_Mellegeue, (2002)**; le bassin du KEBIR-RHUMEL. Article 45 p.

Références bibliographiques

[12] **Kaddour.DJ Et Boudefar .Ou, (2016)** ; contribution à la régionalisation des paramètres climatiques dans la ville de Annaba mémoire du diplôme de master,Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila, 76 p.

[13] **Berhail Sabri, Cours instrument de mesure en hydrologie,(2018)** ; Mesure des paramètres climatiques, Master 01 hydraulique urbaine, Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila, 11p.

[14] **Hydrologie générale** ; Analyse fréquentielle – EPFL,Article.

[15] <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Loi%20exponentielle/fr-fr/>

[16] **Ibtissem Triki, Imen Hentati, Nadia Trabelsi, Moncef Zairi, (2014)** ; Evaluation de techniques d'interpolation spatiale de a piézométrie à l'aide de l'extension Geostatistical Analyst d'ArcGIS. Article 63 p.

[17] -http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/ArcGIS/fr-fr/#Le_syst.C3.A8me_ArcGIS.

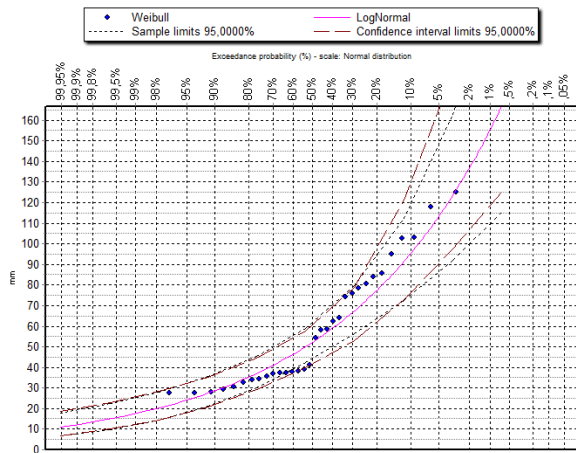
[18] <https://globalweather.tamu.edu/>.



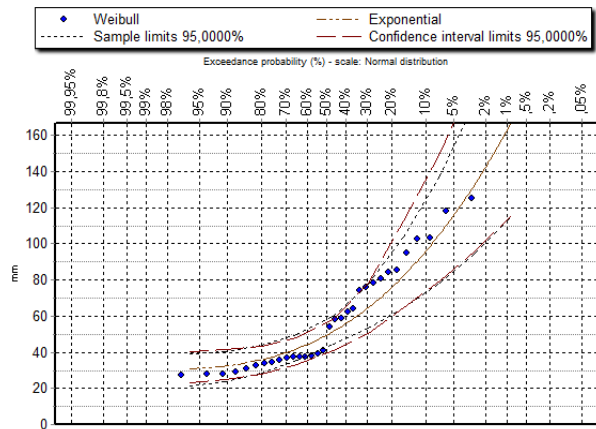
Annexes

Annexe(01) :

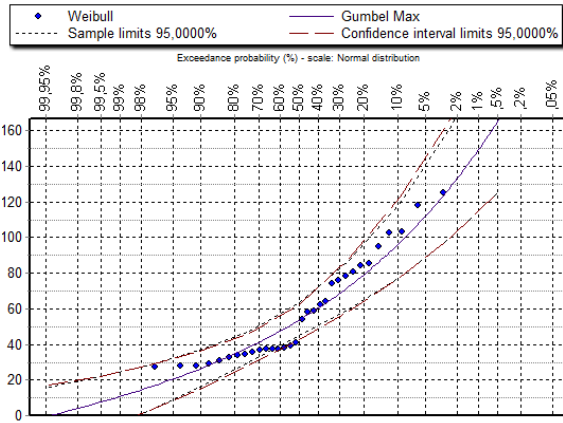
Station de BENIAZIZ P (100104)



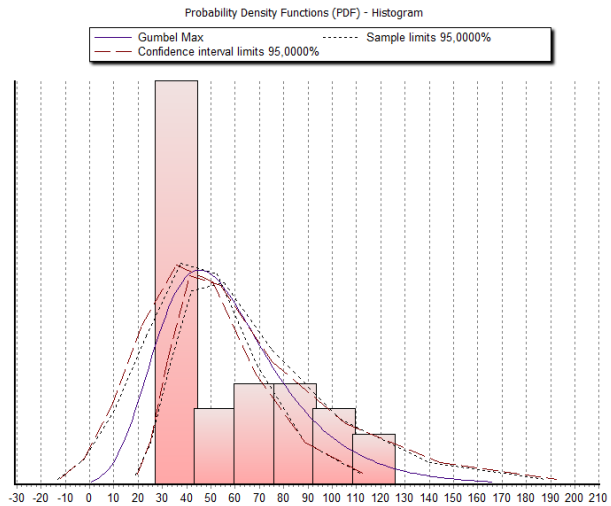
Loi log normal



Loi exponentiel

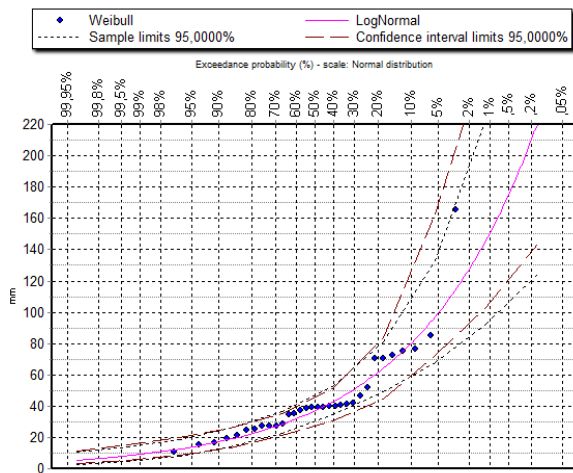


Loi Gumbel

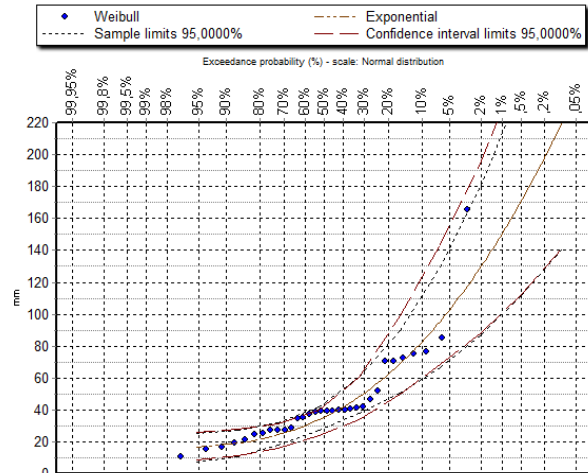


Histogramme

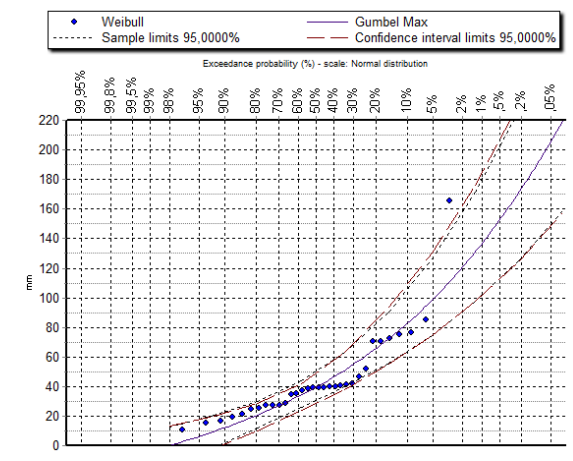
Station de MECHATAT SERADJ (100206)



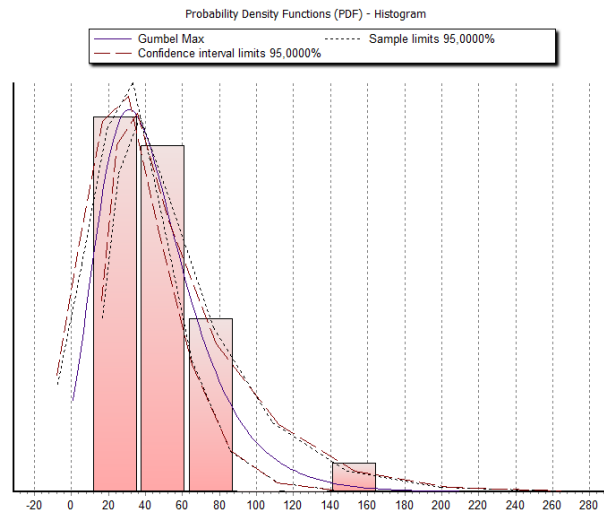
Loi log normal



Loi exponentiel

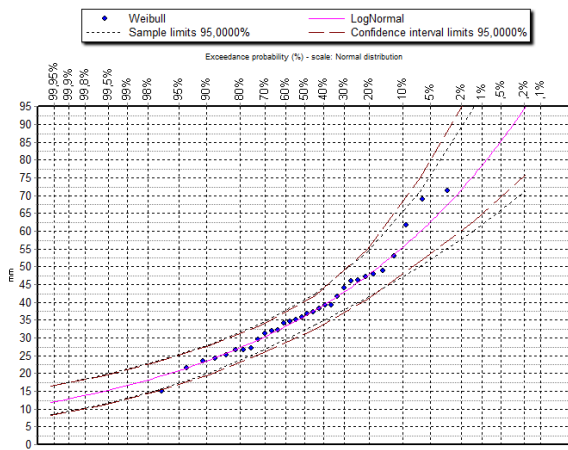


Loi Gumbel

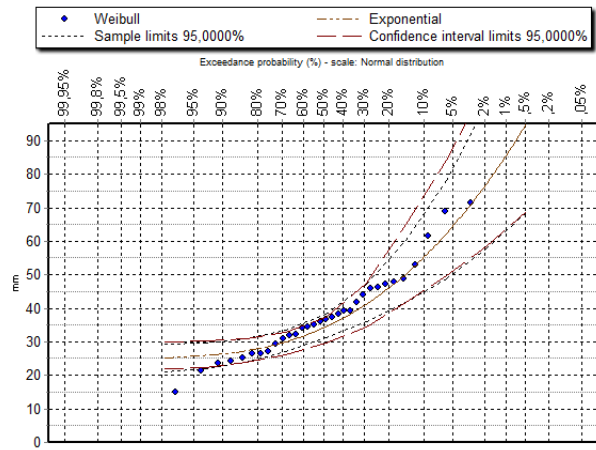


Histogramme

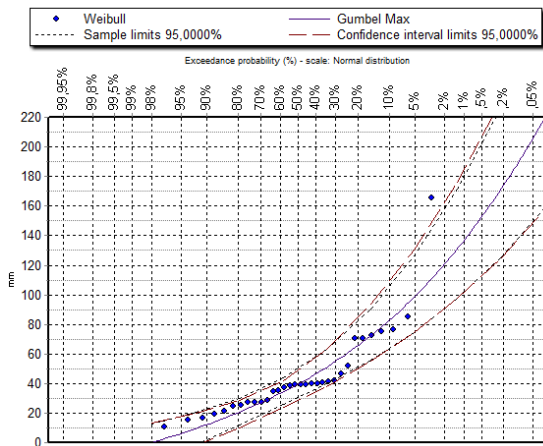
Station de KOUDIAT TINDART(100208)



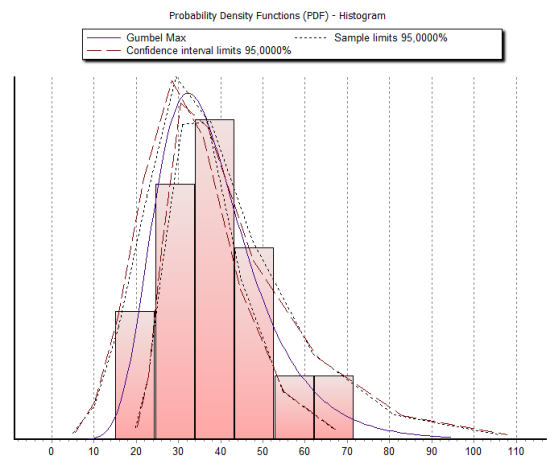
Loi log normal



Loi exponentiel

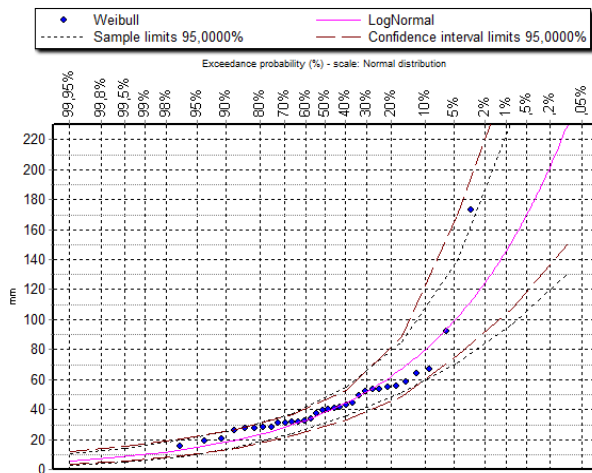


Loi Gumbel

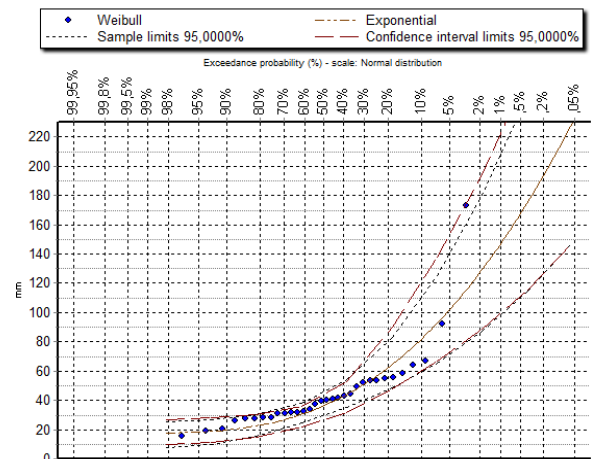


Histogramme

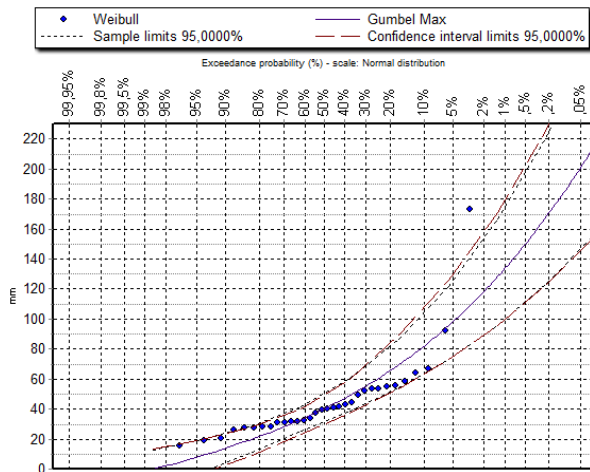
Station de HAMMAM (100110)



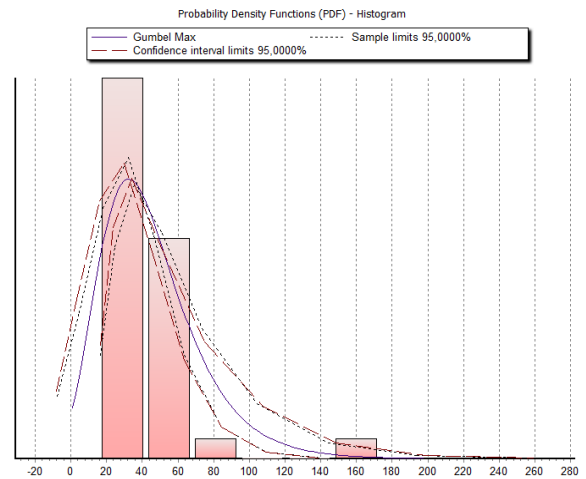
Loi log normal



Loi exponentiel

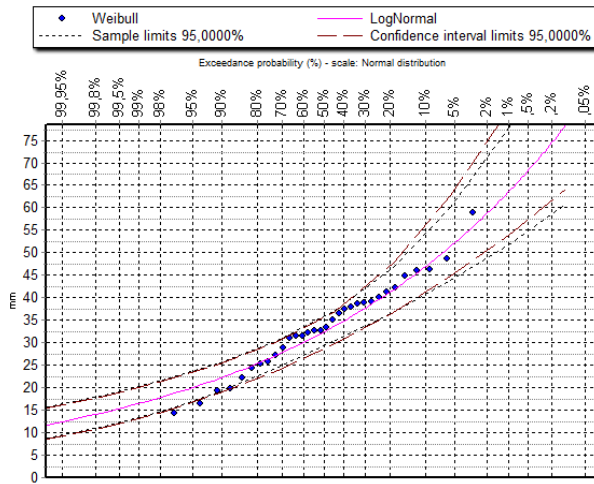


Loi Gumbel

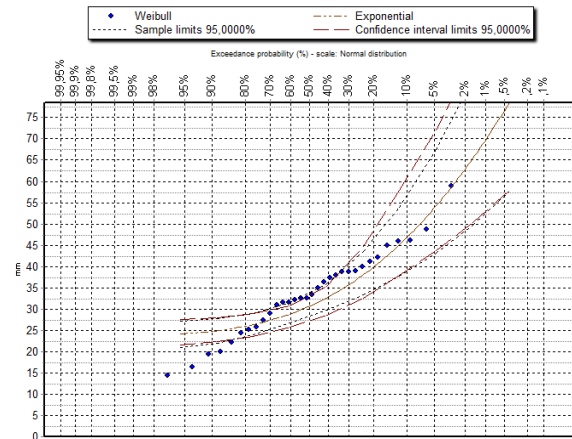


Histogramme

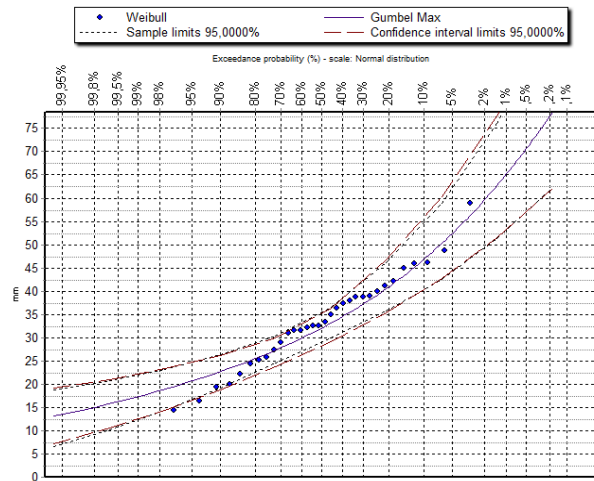
Station de TADJENANT (100303)



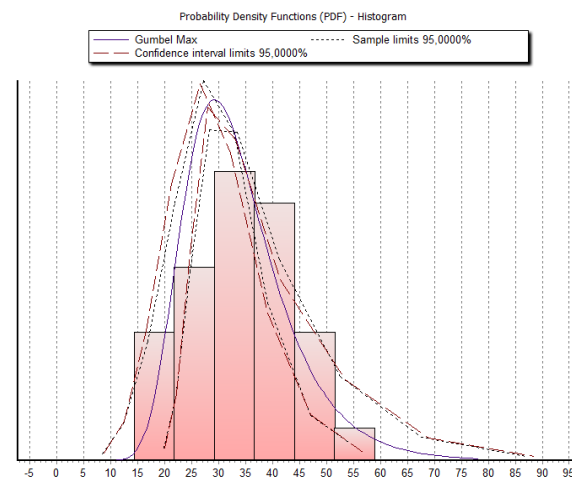
Loi log normal



Loi exponentiel

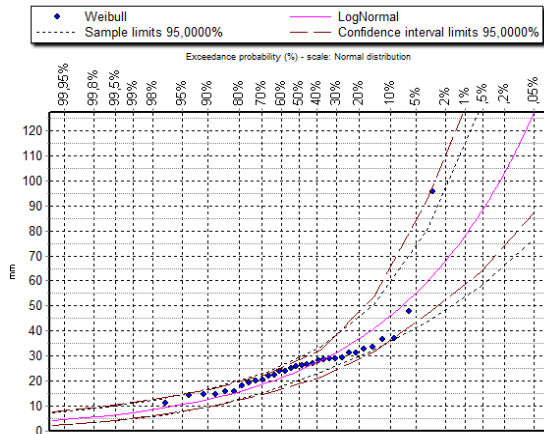


Loi Gumbel

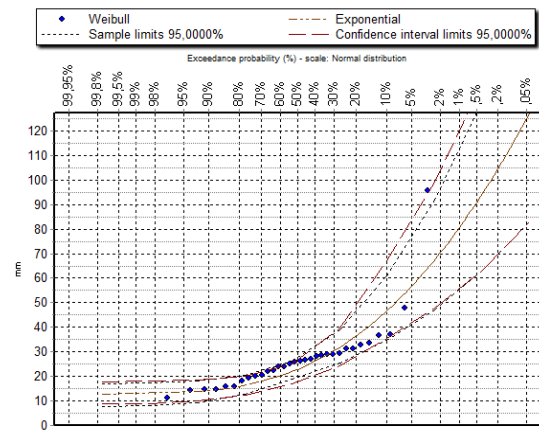


Histogramme

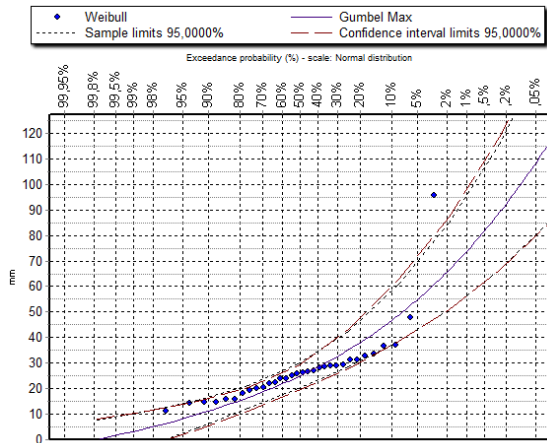
Station de BIR EL ARCH (100306)



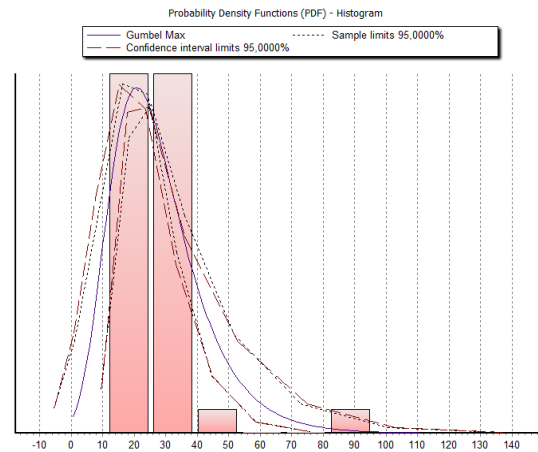
Loi log normal



Loi exponentiel

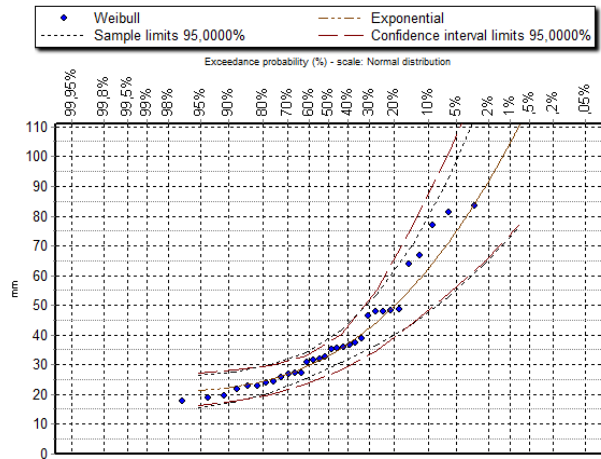
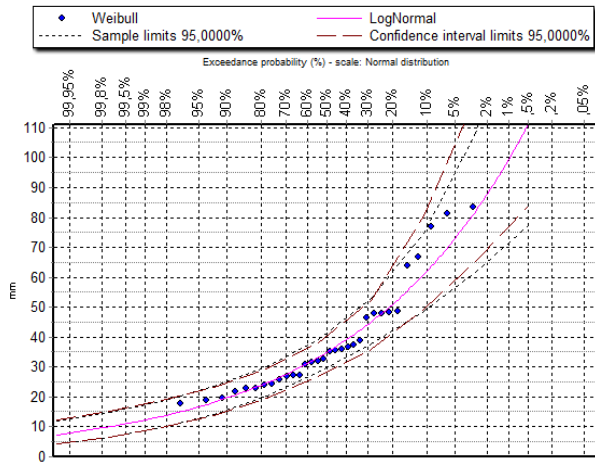


Loi Gumbel

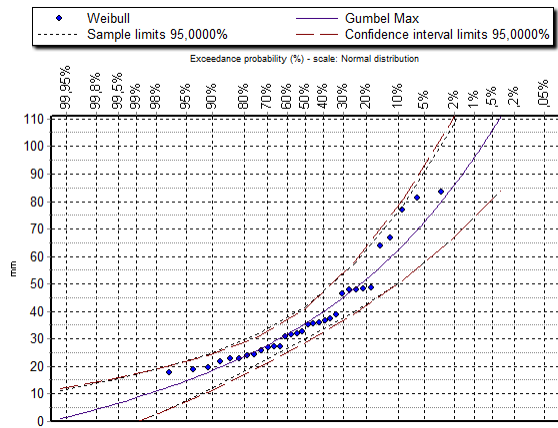


Histogramme

Station de BOUMALEK M.C (100401)

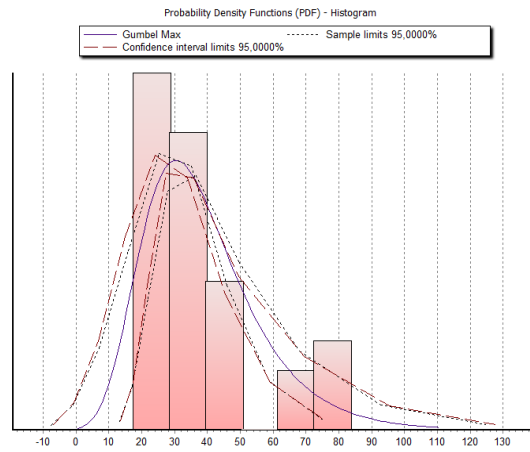


Loi log normal



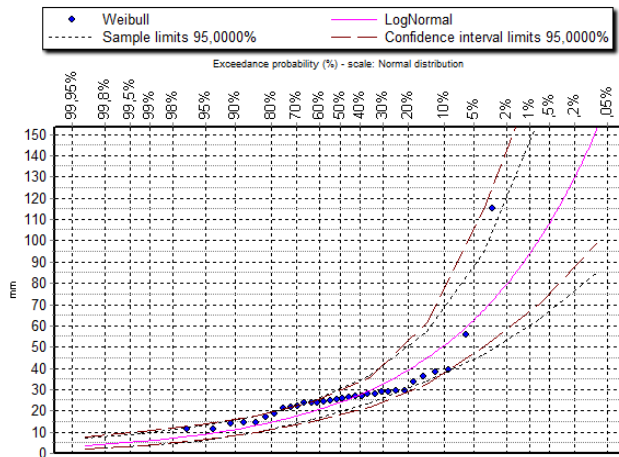
Loi Gumbel

Loi exponentiel

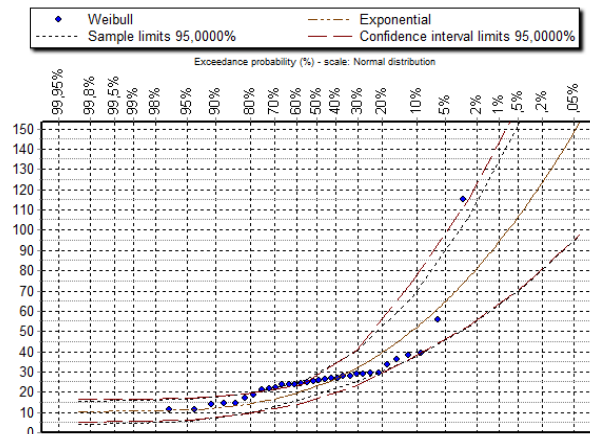


Histogramme

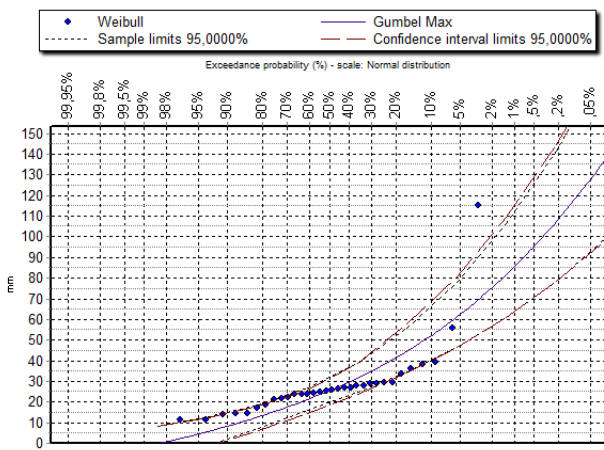
Station de TELERGHMA (100402)



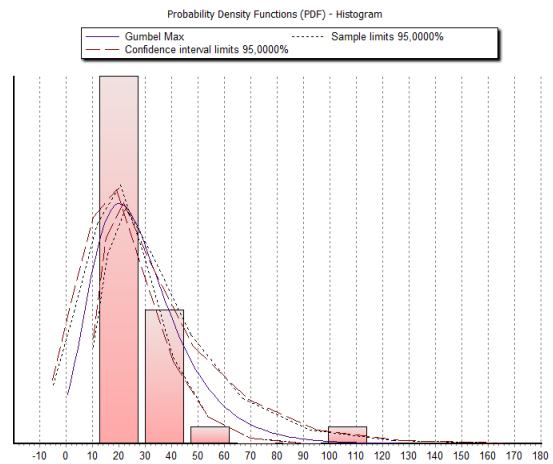
Loi log normal



Loi exponentiel

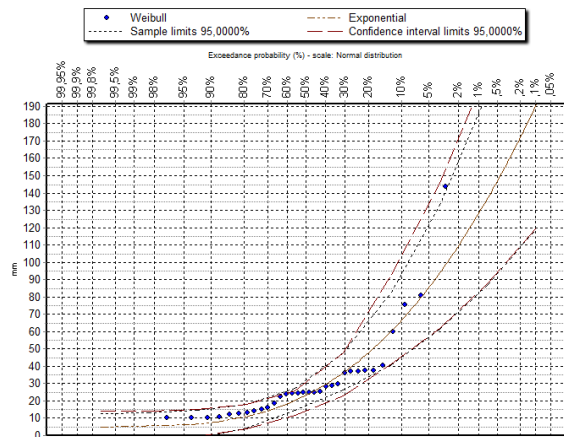
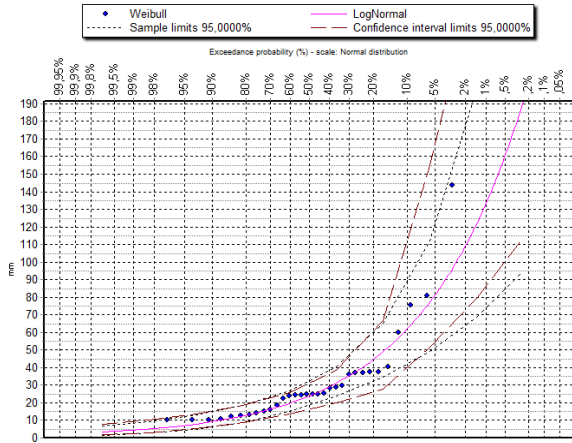


Loi Gumbel

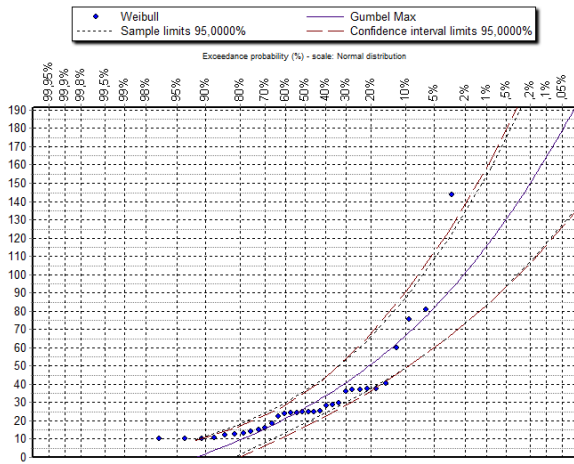


Histogramme

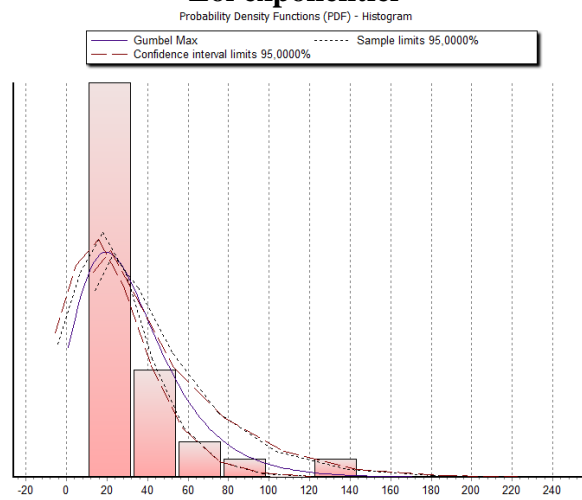
Station de MECHTA MELHA (MCHIRA) (100404)



Loi log normal



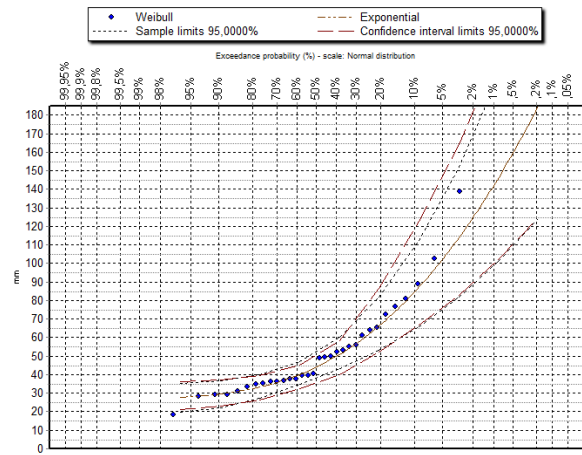
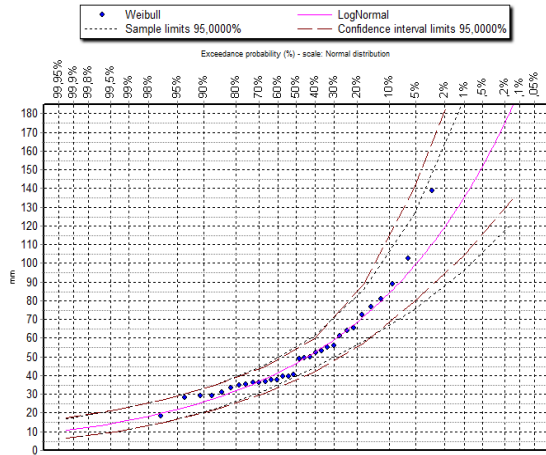
Loi exponentiel



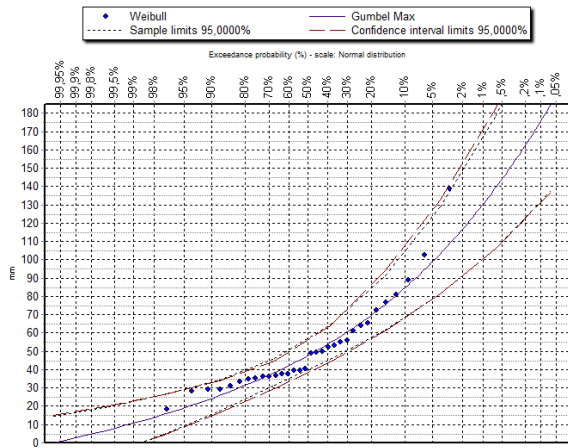
Loi Gumbel

Histogramme

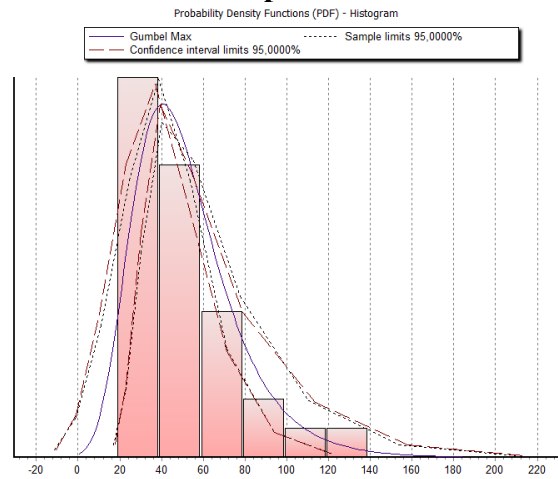
Station de CONSTANTINE (ANRH) (100410)



Loi log normal



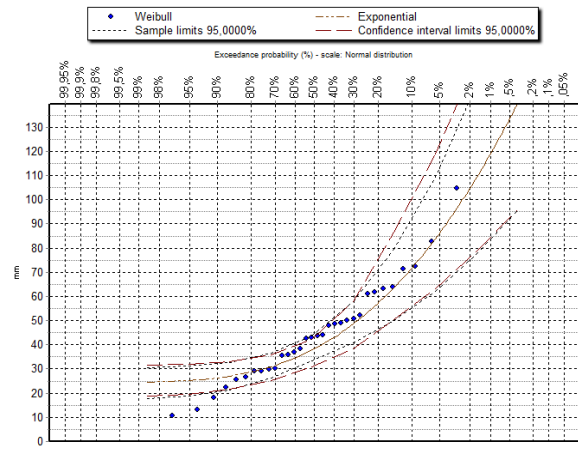
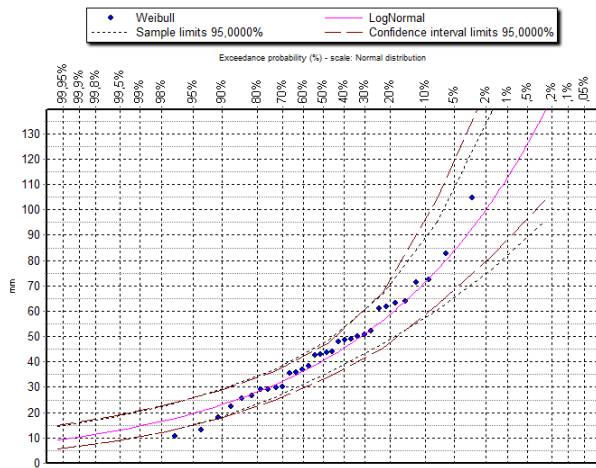
Loi exponentiel



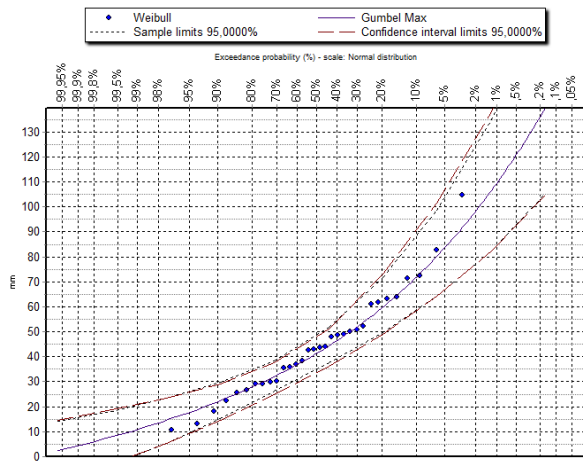
Loi Gumbel

Histogramme

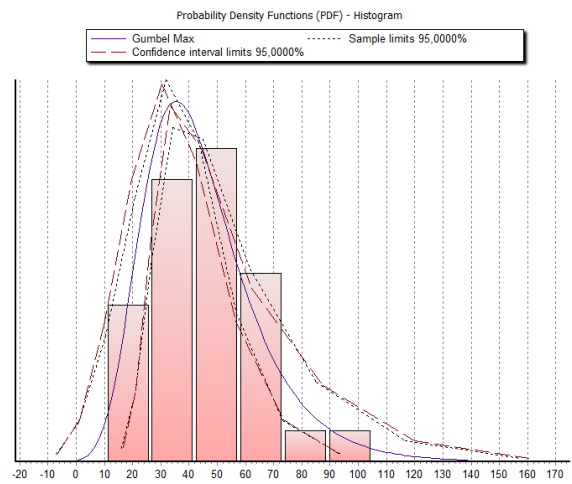
Station d'AIN FAKROUN (100503)



Loi log normal



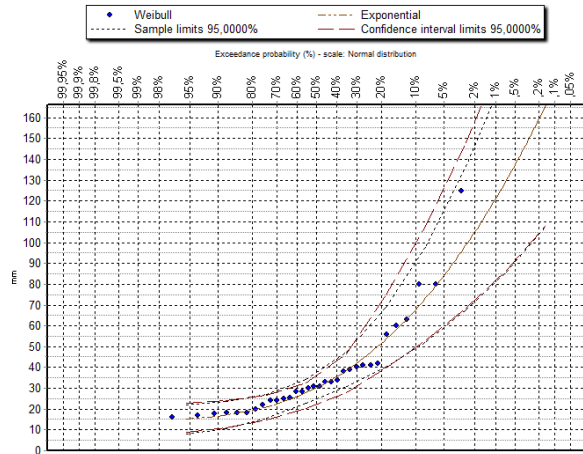
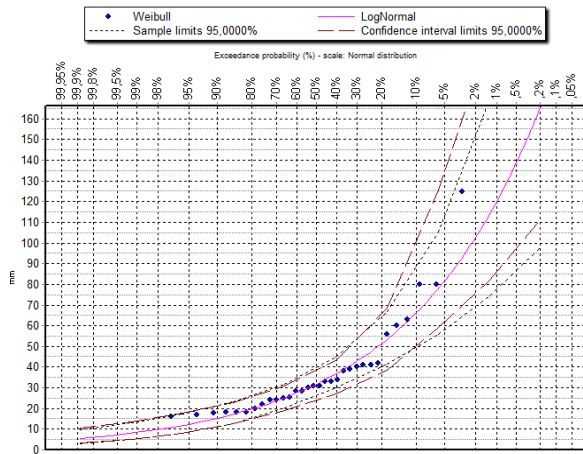
Loi exponentiel



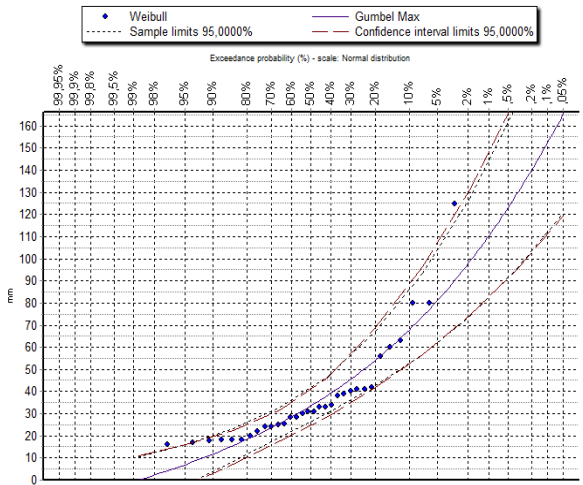
Loi Gumbel

Histogramme

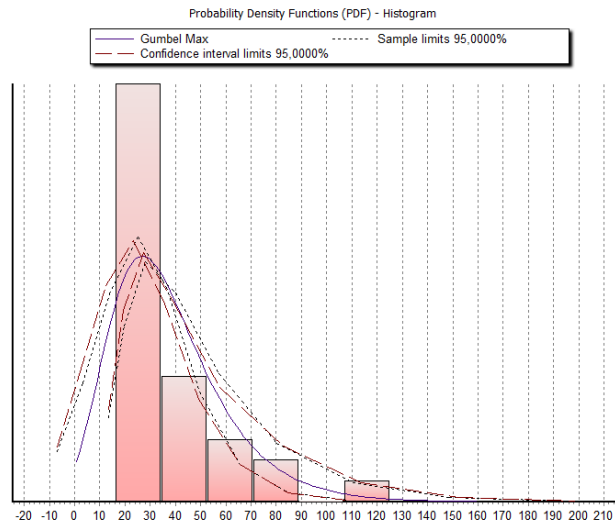
Station de FOURCHI (100511)



Loi log normal



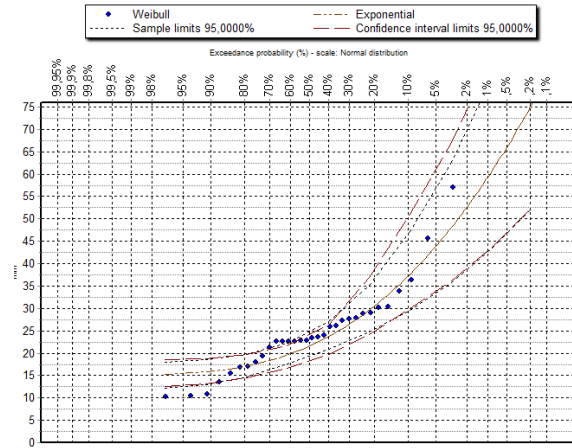
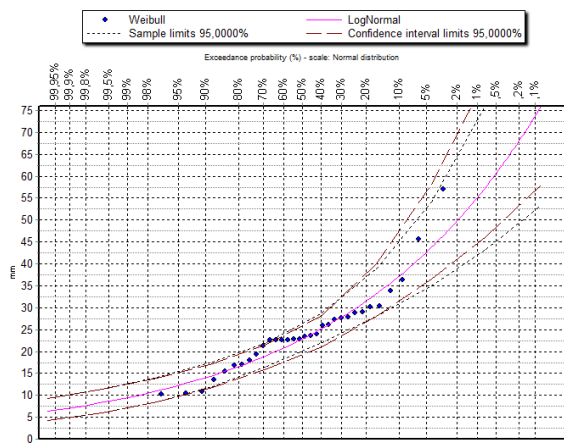
Loi exponentiel



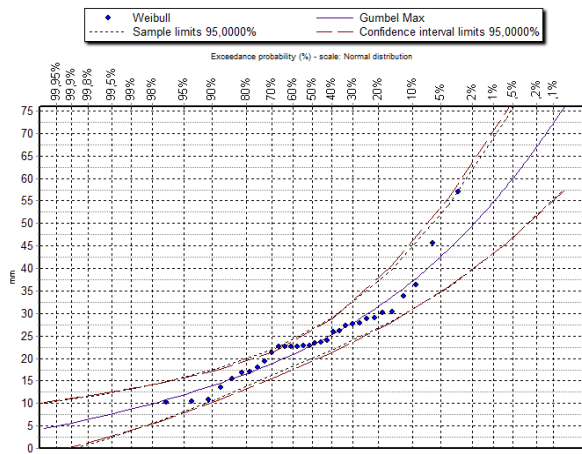
Loi Gumbel

Histogramme

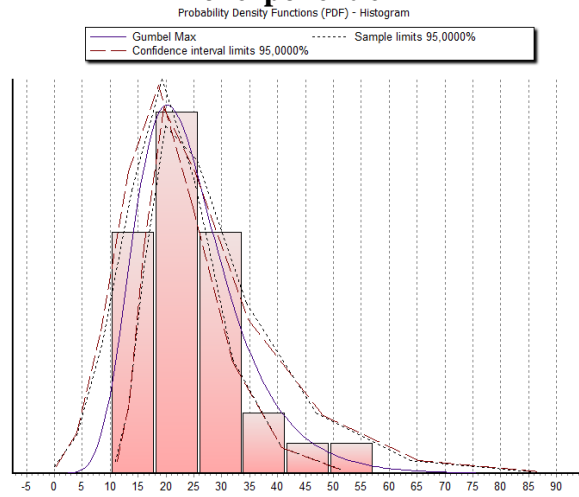
Station d'OULED NACEUR (100527)



Loi log normal



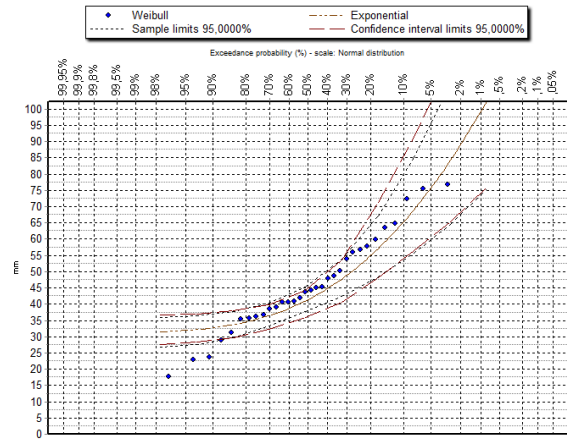
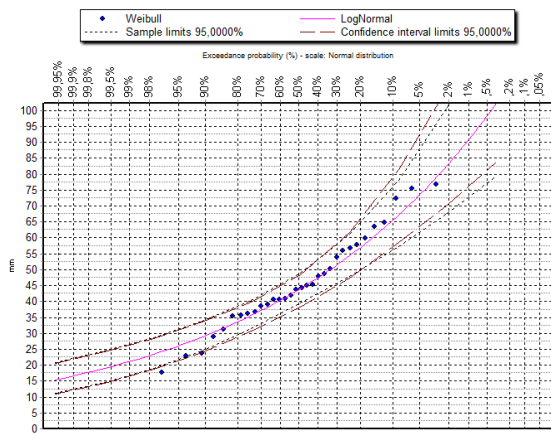
Loi exponentiel



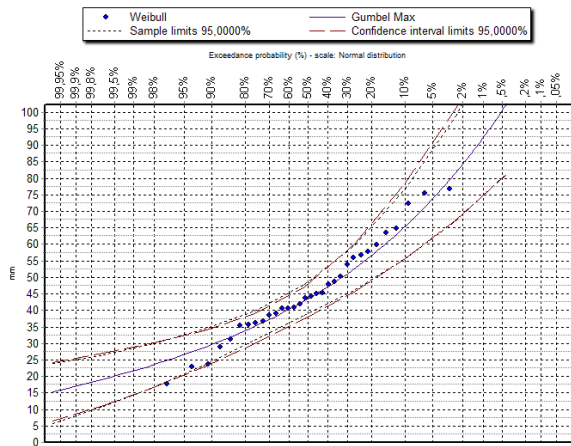
Loi Gumbel

Histogramme

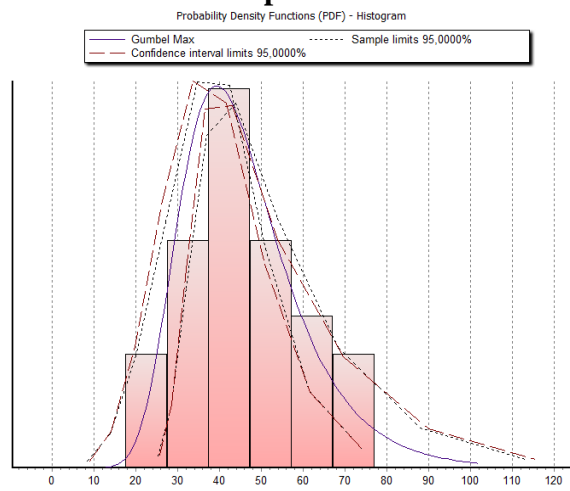
Station de HAMMA BOUZIANE (100603)



Loi log normal



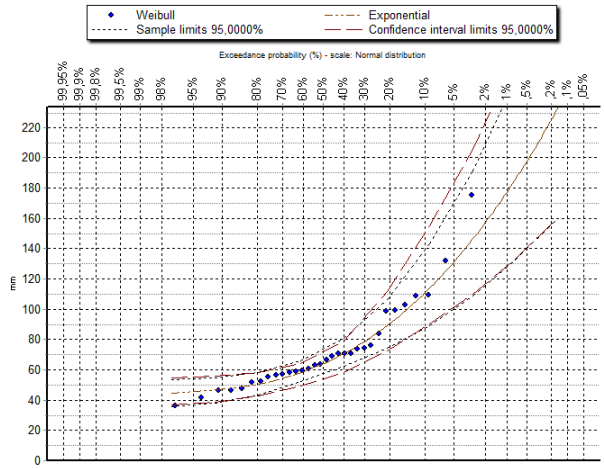
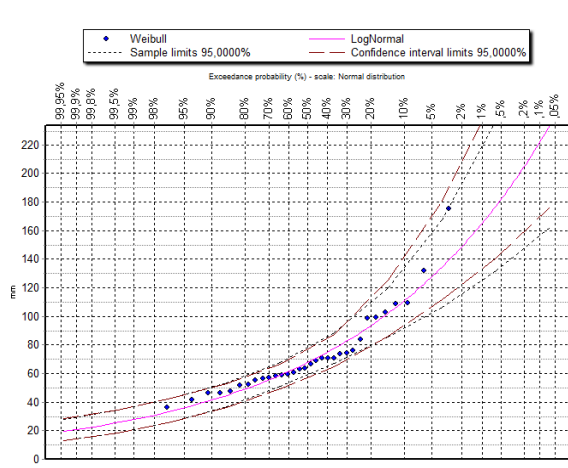
Loi exponentiel



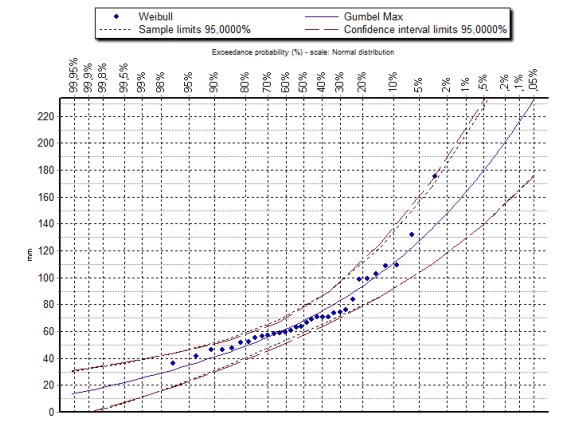
Loi Gumbel

Histogramme

Station de ZIGHOUD (100619)

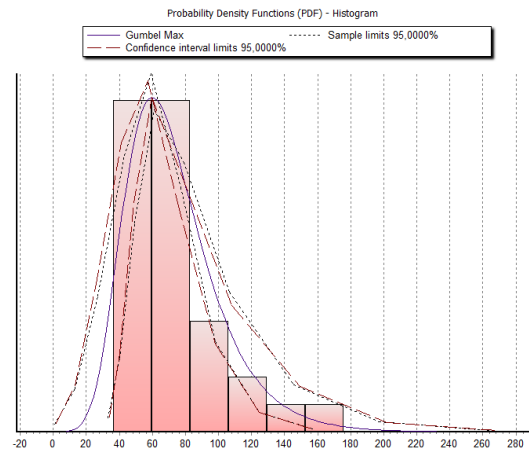


Loi log normal



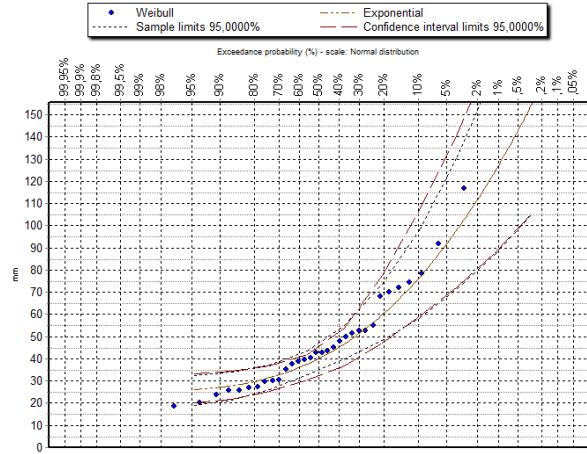
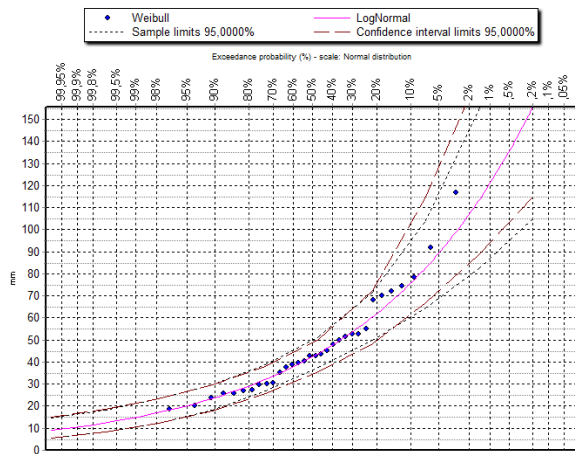
Loi Gumbel

Loi exponentiel

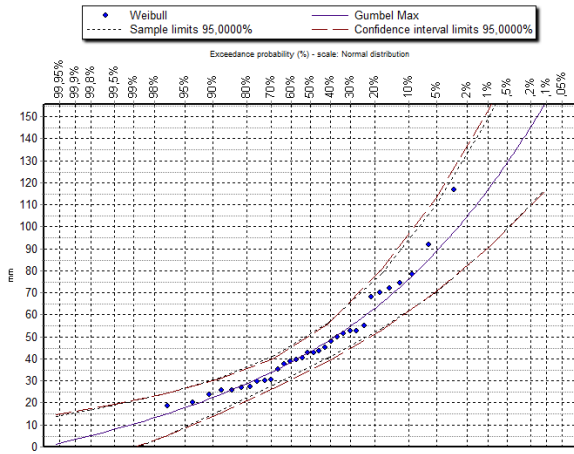


Histogramme

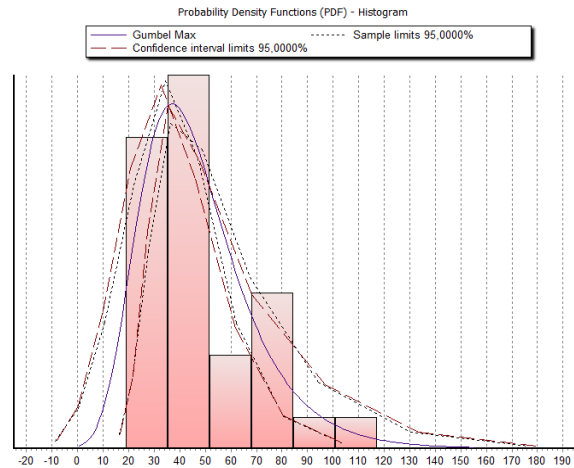
Station d'EL KHENEG (100620)



Loi log normal



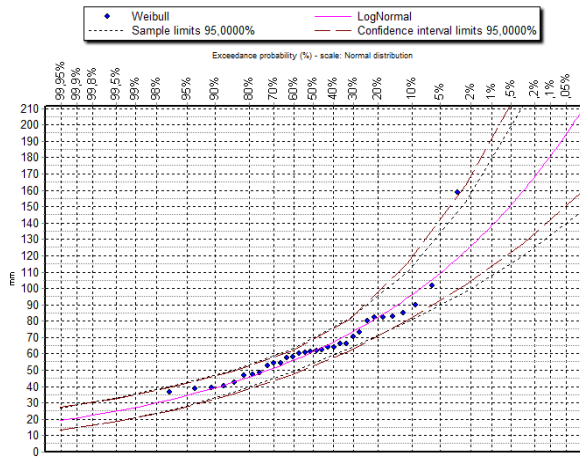
Loi exponentiel



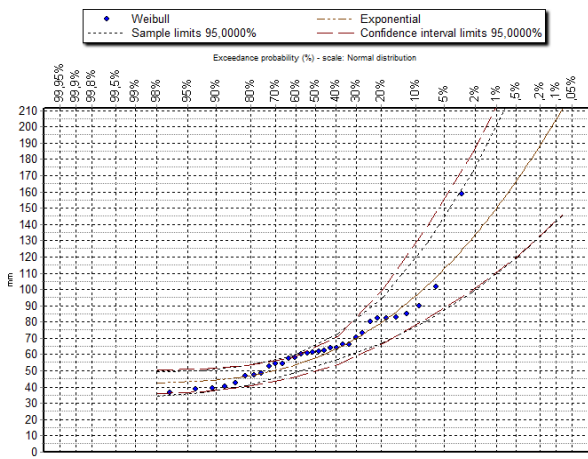
Loi Gumbel

Histogramme

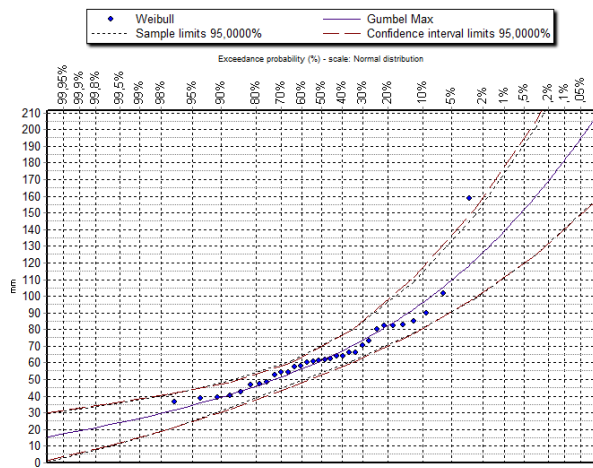
Station de HAMALA (100703)



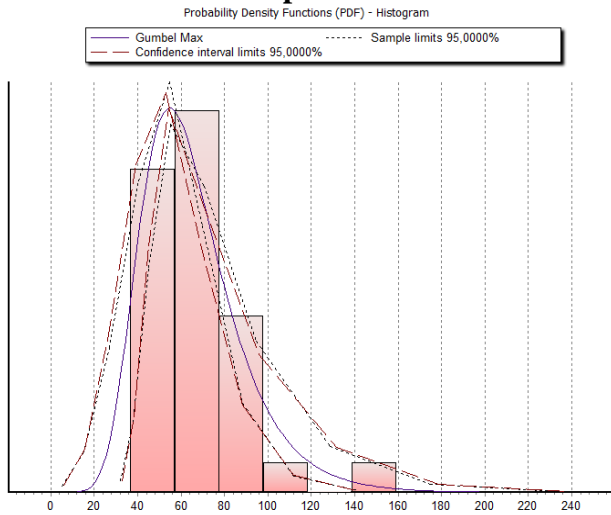
Loi log normal



Loi exponentiel

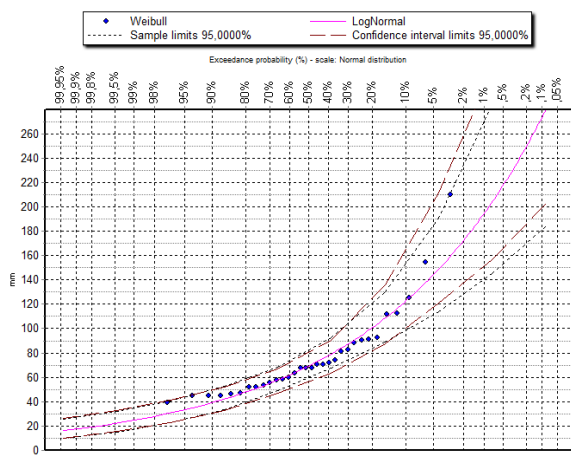


Loi Gumbel

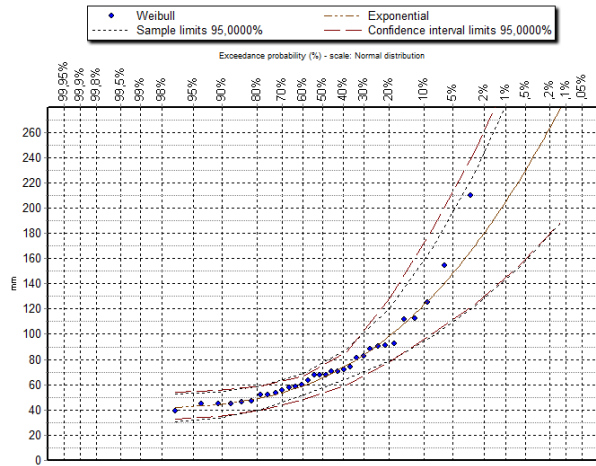


Histogramme

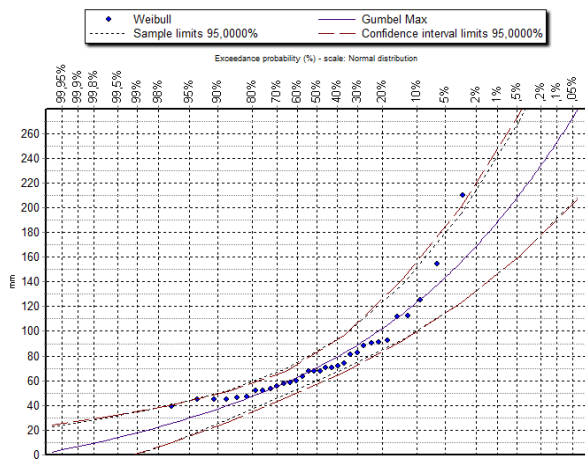
Station d'EL MILIA (100706)



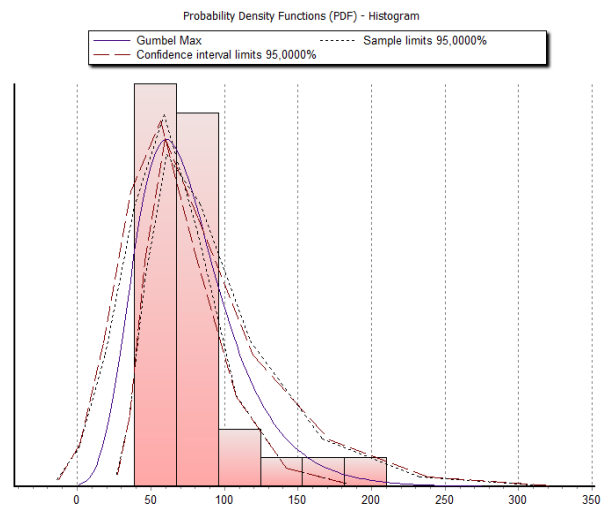
Loi log normal



Loi exponentiel

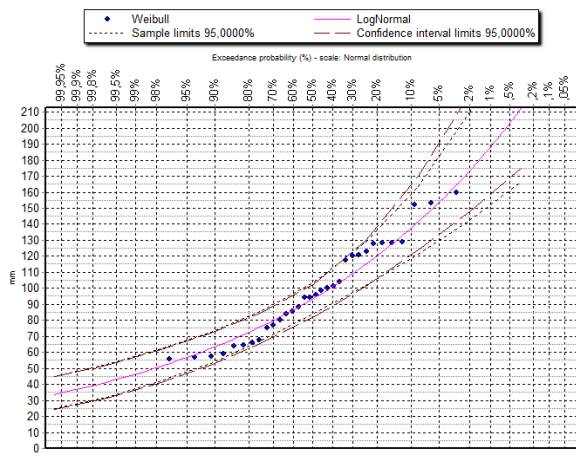


Loi Gumbel

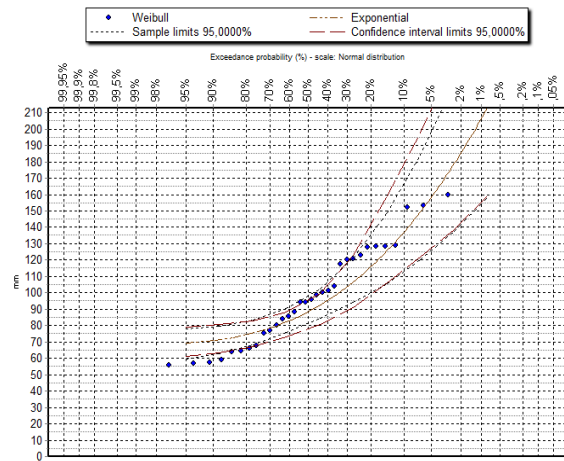


Histogramme

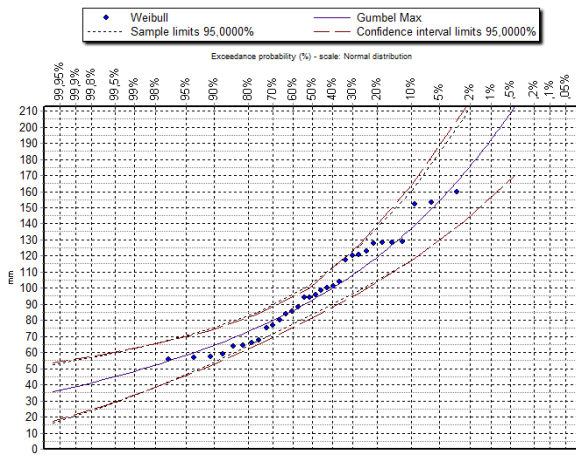
Station d'OUED MASAOUA (100708)



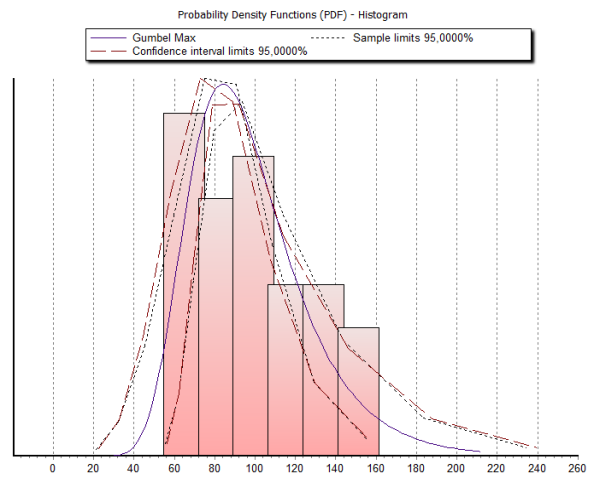
Loi log normal



Loi exponentiel



Loi Gumbel



Histogramme