

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF -M'SILA



Faculté de Technologie / Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme : MASTER

FILIERE : Hydraulique.....Option : Ouvrage hydraulique

THEME

Analyse Fréquentielle des pluies maximales journalières

Application sur le bassin versant du Hodna

Dirigé Par :

Mr. DJERBOUAI S

Réalisé Par :

**SAOUD Asma
ZIGHED Chems Elmaali**

Promotion: 2019/2020

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, (الله) de nous donné la puissance, la volonté et le courage pour établir ce modeste travail de recherche.

Nos plus vifs remerciements vont aux :

- ✓ Notre encadreur Monsieur DJERBOUALS Professeur à l'université Mohamed Boudiaf M'sila, pour sa disponibilité, son professionnalisme et surtout, pour son savoir faire et ses efforts pour mener à bien ce travail.
- ✓ Membres de jury qui nous fait feront l'honneur d'évaluer notre travail.
- ✓ Monsieur BENCHAA MOHAMED SALEH , doctorant à l'université Badji Mokhtar- Annaba..
- ✓ Mes collègues de promotion.

Dedicate

I dedicate this modest work:

- ✓ To my mother
- ✓ To my father
- ✓ To my sister
- ✓ To my brothers

Dedicace

A tous ceux qui me sont chers.

SOMMAIRE

Remercîments

Dédicaces

Table des matières

Table des tableaux

Liste des tableaux

Introduction générale1

Chapitre I :

Présentation de la zone d'étude

Introduction	2
I. Caractéristique physique de la zone d'étude	2
I.1. Situation géographique du bassin versant Hodna	2
I. 2. Relief	3
I.3. Géologie	4
 a- Le traïs	4
 b- Le jurassique et le carbonate	4
 c- Le crétacé	5
 d- Le Paléocène.....	5
 e- Le néogène	5
 f- Le quaternaire	5
I.4. Réseau hydrographique	5
I. 5. Climat.....	7
 a- Température	7
 b-Température.....	8

c- Le vent	8
d- Humidité	8
I.6. Le couvert végétal	9
I .7.Les potentialités en eau dans le bassin du Hodna	9
I .7. 1.Les eaux souterraines	9
I .7. 2.Les eaux souterraines Eaux superficielles	11
I .8. Présentation des stations pluviométriques utilisées dans cette étude.....	12
I .7.Conclusion.....	14

Chapitre II :

Étude théorique sur les lois de probabilité et estimation des paramètres

Introduction	Erreur ! Signet non défini.5
II.1.L'analyse fréquentielle.....	Erreur ! Signet non défini.5
II.2. Rappel de quelque notion de probabilité	16
La probabilité au non-dépassement.....	16
La probabilité au dépassement.....	16
II.3.Notions de fréquence et période de retour	17
II.4.La vérification des hypothèses de base	18
II.4.1.Hypothèse d'indépendance (Test de Wald-wolf witz)	18
II.4.2.Hypothèse de stationnarité(test de kendall)	18
II.4.3.Hypothèse d'homogénéité(test de Wilcoxon).....	19
II.5. Les lois d'ajustement	20
II.5.1 : La loi des extrêmes généraliser (GEV).....	20
II.5.1.1. la loi de Gumbel (GEV type 3)	21
II.5.1.2. La loi de Fréchet (GEV type 2).....	21
II.5.1.3. La loi de Wei bull (GEV type 3)	21

II.5.2.Loi log-normale (ou log-normale ou de Gibrat-Gauss)	21
II.5.3.La loi Gamma	22
II.6.Méthodes d'estimation des paramètres.....	22
II.6.1.la méthode des moments	22
II.6.2.La méthode du maximum de vraisemblance	22
II.6.3.Ajustement graphique.....	23
II.7.Critères de sélection de lois.....	23
II.7.1. critères statistiques.....	24
II.7.1.1.test de khi deux.....	24
II.7.1.2.Représentation graphique	25
II.7.1.3.Critère d'akaike et Bavésien	25
II.7.1.4.Parcimonie	26
II.7.2. critères hydrométéorologiques	26
II.7.2.1. Information régionale.....	26
II.7.2.2. Cohérence spatiale	27
II.7.2.3. Cohérence temporelle	27
Conclusion	27

Chapitre III :

Application aux données pluviométriques de la zone d'étude

Introduction	28
III .1. Présentation du logiciel d'Ajustement statistique Hyfrane plus	28
III .2.Techniques d'échantillonnage.....	39
III .2.1.MAXAN	39
III .3.Application aux données des stations	29

III .3.1.Statistique descriptive des séries utilisées	29
III .3.2.Tests d’hypothèses	34
III .3.3.Estimation des paramètres des lois.....	36
III .4. L’ajustement des lois	37
III .4.1.L’ajustement de loi Gumbel	37
III .4.2. L’ajustement de loi GEV	40
III .4.3. L’ajustement de loi Weibull	42
III .4.4. L’ajustement de loi Log normale	47
III .4.5. L’ajustement de loi Gamma	48
III .5.Sélection des lois	50
III .5.1.Test de Pearson khi- Deux(x^2)	50
III .5.2.Représentation graphique	52
III .5.3.Critère d’information d’Akaike et Bavésien	56
III .6. Récapitulatif des modèles d’ajustement des stations.....	58
III .7. Quantiles estimés sur les stations	59
Conclusion.....	61

Conclusion générale

Références bibliographiques

Résumé

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Codes et coordonnées des stations pluviométriques.....	3
Tableau. II.1 Les valeurs de la constante a se diffèrent selon les formules.....	7
Tableau III.1 Statistique descriptive de la pluie maximale sur les stations étudiées.....	33
Tableau III.2 Les différents résultats des tests d'hypothèses sur les données de différentes Stations.....	34
Tableau III.3 Valeurs des paramètres estimés pour les distributions de Gumbel ,GEV, Weibull, log- normale ,Gamma , par la méthode d'estimation.....	36
Tableau II.4 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Gumbel et celles des échantillons	37
Tableau III.5 Comparaison entre les caractéristiques de la loi GEV et celles des échantillons	40
Tableau III.6 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Weibull et celle des échantillons	42
Tableau III.7 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Log Normale et celle s des échantillons	47
Tableau III.8 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Gamma et celle s des échantillons	48
Tableau III.9 Résultats d'ajustement des séries pluviométriques aux lois statistiques(Test de Pearson Khi-Deux	51
Tableau III.10 Résultats des d'Akaike et celle de Bayésien sur nos stations	56
Tableau III.11 Récapitulatif des modèles d'ajustement des stations du bassin hodna.....	58
Tableau III.12 Hauteur pluviométriques (mm) pour différentes périodes de retour par la loi Log –normale.....	59
Tableau III.13 Hauteur pluviométriques (mm) pour différentes périodes de retour par la loi Gumbel	60
Tableau III.14 Hauteur pluviométriques (mm) pour différentes périodes de retour par la loi Gamma	60
Tableau III.15 Hauteur pluviométriques (mm) pour différentes périodes de retour par la loi GEV.....	61

LISTE DES FIGURES

Figure I.1	Situation du bassin versant Hodna. (Google Earth Pro	3
Figure I.2	Le relief du bassin versant du Hodna.....	4
Figure I.3	La carte géologie du bassin versant du Hodna (Adoui, 2013)	5
Figure I.4	Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna	8
Figure I.5	Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord (Remini, 2009)	10
Figure I.6	Les eaux souterraines de Bassin du Hodna.....	11
Figure I.7	Les eaux superficielles de Bassin du Hodna(Originale).....	12
Figure. III.1	le logiciel HYFRAN-Plus	28
Figure. III.2	série chronologique des pluies maximales annuelles	32
Figure II.3	Représentation graphique de la loi Gumbel	39
Figure II.4	Représentation graphique de la loi GEV	42
Figure II.5	Représentation graphique de la loi Weibull	45
Figure II.6	Représentation graphique de la loi Log normale	47
Figure II.7	Représentation graphique de la loi Gamma	50
Figure II.8	Comparaison graphique entre les différentes distributions sur les stations.....	55
Figure III.9	Représentation graphique des pourcentage d'ajustement des différentes lois.....	59

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le déséquilibre climatique a conduit la planète à une grande menace environnementale et pour le bien-être humain, appelé changement climatique, ce dernier, manifeste par des pics de températures (vague de chaleur), des sécheresses et des inondations ..., les inondations constituant à travers les cinq continents un risque majeur. L'Algérie comme beaucoup d'autres pays du monde, est marquée par plusieurs inondations dévastatrices et catastrophiques sur l'ensemble de son territoire national.

Dans l'intérêt de la gestion de ces inondations il est devenu de plus en plus important de faire l'analyse d'occurrence de ces événements extrêmes, pour cela on fait appel à l'analyse fréquentielle.

L'analyse fréquentielle des pluies est appliquée par l'étude des propriétés statistiques des pluies maximales journalières sur une zone donnée. Ces statistiques sont basées sur plusieurs lois de probabilités.

Ce travail a été élaboré dans le but de choisir parmi ces cinq lois (GEV, Gumbel, Weibull, Log-normal, Gamma), celle qui s'ajuste mieux avec nos données pluviométriques enregistrées dans le bassin versant de l'hodna.

Notre travail débutera par, la présentation de la zone d'étude, ainsi que la description du Climat de la région d'étude.

Dans le deuxième chapitre, on a rappelé brièvement de quelques notions théoriques de probabilité, et on a présenté les fonctions théoriques des lois de distribution statistique utilisées, et leurs ajustements détaillés.

Le troisième chapitre comporte :

-Application des différentes lois (GEV, Gumbel, Weibull, Log-normal, Gamma) et sur les données pluviométriques de dix stations du bassin versant de l'hodna.

-Analyse et interprétation des résultats obtenus.

Et pour finir, une conclusion a été faite pour synthétiser l'ensemble des résultats obtenus.

Chapitre I :
Présentation de la zone d'étude

Introduction

Le chapitre est consacré à une description générale du bassin versant étudié afin de déterminer les caractéristiques géographiques, physiographiques et géologiques, ces caractéristiques nécessaires et importantes pour la compréhension des mécanismes et de la pluviométrie des zones concernés par l'étude.

I. Caractéristique physique de la zone d'étude

I.1. Situation géographique du bassin versant Hodna

Le Bassin versant d'El-Hodna avec une zone de drainage de 26 000 km² est le cinquième Bassin de l'Algérie, L'altitude des sommets d'El-Hodna diminuant de l'Est à l'Ouest. Ils oscillent entre 1000 et 1900 m, tandis que dans le Sud seulement quelques sommets de l'Atlas saharien atteignent 1200 m. La situation de ce bassin entre deux ensembles de montagnes du nord et du sud, organise comme un bassin endoréique autour d'un bol plat de 400 m d'altitude.

Au centre de cette région, le lac salé nommé «Chott El-Hodna» (1150 km²), elle reçoit l'eau et les sédiments de l'ensemble des oueds de la région. Le bassin versant d'El-Hodna est divisé en 23 sous-bassins, le 24ème et le centre du Chott El-Hodna. Cependant, ces sous-bassins peuvent être regroupés en 08 Sous-bassins hydrographiques (**HASBAIA et al., 2012**).

Le bassin versant d'El-Hodna hydrologiquement fermé, correspond à une dépression comme il en existe sur les hauts plateaux d'Afrique du nord.

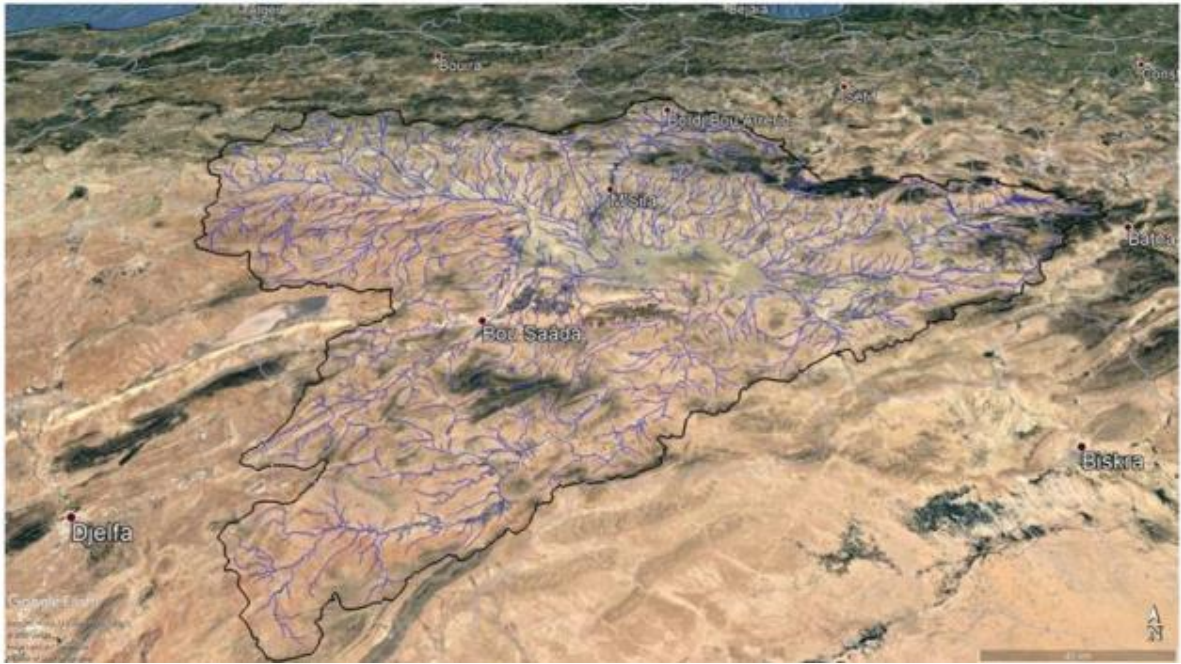


Figure I.1 Situation du bassin versant Hodna. (Google Earth Pro)

I. 2. Relief

Le relief est l'ensemble des irrégularités du sol qui se mesurent par rapport au niveau de la mer. Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Le bassin du Hodna est divisé en quatre unités géomorphologiques : La région montagneuse, la plaine du Hodna, le Chott Sebkhia et la région du R'mel. D'une altitude variable de 1400 à 1800 m qui relie l'atlas tennisien à l'atlas saharien, le Chott Sebkhia occupe une superficie de 100 km². S'étend de Boussaada à M'doukal, la région du R'mel présente un paysage de dunes et de steppes sableuses.

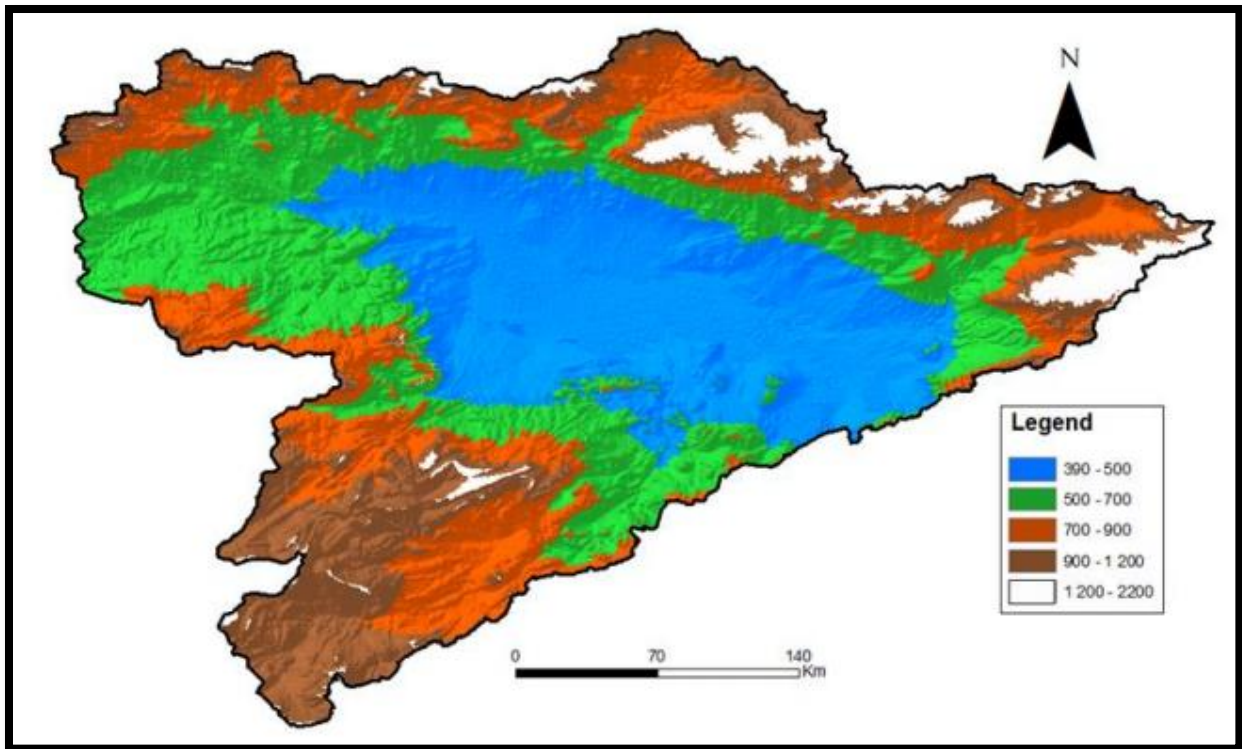


Figure I.2 Le relief du bassin versant du Hodna

I.3. Géologie

La géologie du Hodna est assez complexe en raison de la position de la cuvette au contact des atlas tellien et Saharien. Le substratum géologique, outre son importance dans le façonnement du relief, joue un rôle essentiel dans la distribution des sols comme matériaux originaux des sols (roche mer). Le bâti géologique du Hodna comporte des formations d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire. La description lithologique du Hodna est obtenue essentiellement des travaux de (Savorin ,1920) et d'Emberger ,1964) où on distingue :

a- Le trias : dans les régions qui entourent la dépression du Hodna où les affleurements triasique sont assez nombreux mais n'apparaît qu'en certains points du bassin ; ils sont présentés principalement par des argiles, marnes et minéraux de néoformation, des lambeaux calcaro-dolomique, ainsi que des roches volcaniques.

b- Le jurassique et le carbonate : occupants des surfaces réduites du bassin.

c- Le crétacé : le crétacé inférieur présente une alternance de faciès marno-gréseux et argilo gréseux de fortes épaisseurs.

d- Le Paléocène : il présente en deux types de formation

-**Formation autochtones** : représentées par l'éocène de faciès marnes et gypses à passées jaunâtre due à l'alternance de la pyrite.

-**Formations allochtones** : qui sont les terrains argilo-marne-gypseux d'âge éocène et oligocène emballées de façon anarchique au miocène.

e- Le néogène : il occupe une grande superficie du Hodna d'âge miocène inférieur et moyenne (marnes gris) et pliocène (plaine de M'sila).

f- Le quaternaire : c'est l'âge pendant lequel ont été formés les chotts salés des hauts plateaux et de Sahara. Le quaternaire ancien est présenté par des dalles calcaires conglomérique surmontant localement des argiles sableuse roses.

La structure tectonique actuelle des monts du Hodna c'est formée au cours de diverses phases tectonique du système alpin de l'aire anticlinale de Meharga (sud de chott), avec orientation Est-West (épandages dépassant rarement 30°).

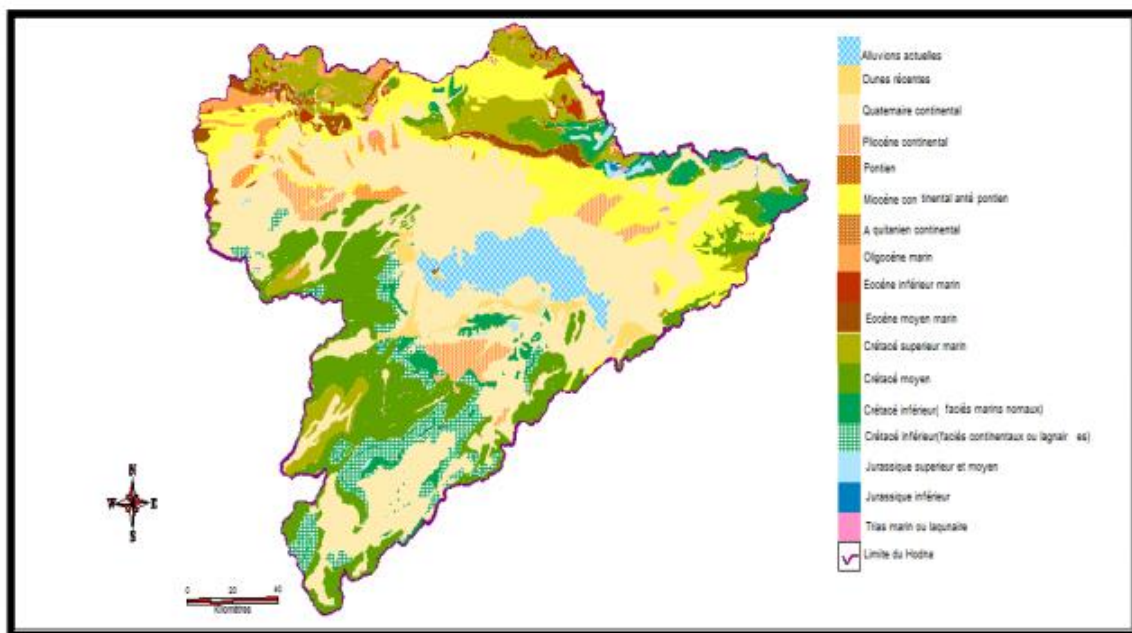


Figure I.3 La carte géologie du bassin versant du Hodna (Adoui, 2013)

I.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents, permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire). **(Blagoune.2012)**

Le réseau hydrographique est tout diversifié, mais il se distingue par sa dégradation et le régime des oueds Hédéens se caractérise aussi par l'existence d'un grand nombre d'années sèche entrecoupé par un petit nombre d'année humide avec crues violentes.

l'irrégularité , la faiblesse des étiages et l'ampleur des crues réduisent considérablement l'intérêt des eaux de surface pour l'agriculture , la plus grande partie des volumes annuels coule au moment des crues, ensuite pendant le reste de l'hiver et il n'en reste guère pour les mois secs qui sont ceux au cours des quels l'agriculture est demandeuse .

Pour la majorité, ce sont des Oueds à écoulement temporaire. On peut citer d'Ouest en Est les oueds suivants:

- Oued Elham, dont le bassin présent 1/5 ou 1/6 de la totalité du bassin hydrologique du Hodna ,ouedTarga, l'un de ses affluents est particulièrement salé, surtout pendant l'étiage (50 g/l résidu sec).

Le régime de cet oued est permanent:

- Oued Lougmane dont le régime est permanent
- Oued Ennafida. le régime est temporaire
- Oued Nakrar dont le régime est temporaire
- Oued Barika sur lequel existe un barrage de dérivation. Cet oued draine les monts du Belazema, son régime est permanent.

Oued Bitam dont le régime est temporaire. Par contre dans la zone Sud du chott Hodna. il n'existe que deux oueds importants:

- Oued Boussaâda et son affluent Maitar. Son régime est temporaire
- Oued Mellah ou oued M'cif plus en aval, rejoint le chott à l'ouest de Guelalia. Au Nord, les oueds prennent naissance au mont du Hodna et s'acheminent vers le Chott, sur les formations lithologiques des plaines et hautes plaines.

La période des sécheresses étant longue, ces oueds restent longtemps à sec.

Tous les oueds, permanents ou non, ont des crues secondaires et fortes, les eaux se déversant dans le chott sont estimées à 150 hm³ par an pour une année moyennement pluvieuse.

Les oueds les plus importants sont centrés au Nord et à l'Est de chott : Oued El ham, Oued Ksob, Oued Barika Oued Maitar qui débouche dans la plaine à Boussaâda, et Oued M'cif qui jette dans le chott près de Guellallia .

I. 5. Climat

C'est l'ensemble des conditions météorologiques d'une région, caractérisé par plusieurs paramètres climatiques qui sont les éléments déterminants de l'écoulement : la pluviométrie, la température, le vent et l'humidité.

a-Pluviométrie

est le facteur générateur de l'écoulement, son analyse nécessite tout d'abord la connaissance de l'état du réseau de mesure et de collecte de données.

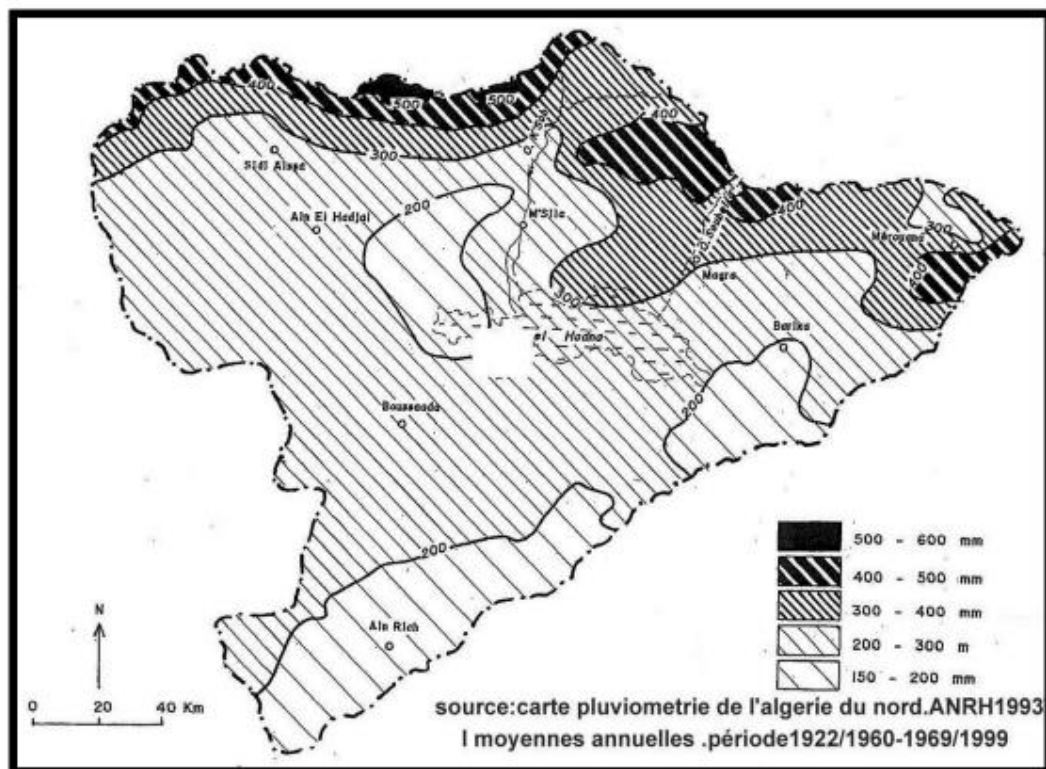


Figure I.4 Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna**b-Température**

C'est une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. Il est lié essentiellement à l'altitude et les conditions locales. Dans le bassin de Hodna les températures maximales moyennes suivent en général une répartition géographique : en plaine entre 24°C et 27 °C, dans les hauts plateaux et dans les zones d'altitude entre 19°C et 21°C. Les températures minimales moyennes varient entre 9°C et 12°C et entre 6°C et 9°C en plaine et en altitude respectivement.

Le gradient thermique annuelle en fonction de l'altitude est de 0,75°C pour une augmentation de 100 m d'altitude, comparé au gradient moyen admis en Algérie qui est de 0,55°C/100m (**Bouthelja, 2005**).

c- Le vent

C'est un facteur favorisant l'évaporation, il transporte les couches d'air saturées qui sont près des surfaces de l'eau ou des sols pour être remplacées par des couches d'air plus au moins sec.

Les vents dominant sont ceux de l'ouest et du nord-ouest, ils sont fréquent pendant la période hivernale, et relayés par les vents du sud (sirocco) pendant la saison estivale (juin, juillet, août) avec un nombre de jours variant entre 25 et 34 par ans (**Bouthelja, 2005**)

D'après les données des deux stations climatiques de l'Office Nationale de Météorologie, à Ghezel (M'sila) et à Bordj Bou Arreridj, c'est dans la période allant d'avril à août que les moyennes mensuelles sont les plus élevées, avec des valeurs supérieures à 4,5 m/s à M'sila et 3 m/s à BBA. Les écarts entre les vitesses moyennes mensuelles, en plus de la moyenne annuelle (4.32 et 2.95 m/s) à M'sila sont plus importants qu'à BBA (**Grine, 2009**).

d- Humidité

L'humidité de l'air joue un rôle dans l'évaporation. Plus l'air n'est moins humide, il est apte à absorber de l'humidité supplémentaire. Le bassin du Hodna est caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride. Une pluviométrie d'automne, d'hiver et de printemps avec une fréquence d'averses printanières qui engendrent des crues violentes quelquefois

accompagnées de grêle. Une sécheresse d'été marquée avec une irrégularité des précipitations dans l'espace et dans le temps(**Bouteldja,2005**).

La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm au Nord et de 200 mm au Sud. Les températures maximales moyennes oscillent entre 24°C et 27°C en plaine, 19°C et 21°C dans les hauts plateaux et dans les zones d'altitude. Les températures minimales moyennes varient entre 9°C et 12°C en plaine, 6°C et 9°C dans les zones d'altitude.

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée d'après la formule de Turc varie entre 1085 et 1362 mm ; pour la majeure partie du bassin elle est de 1250 mm environ. L'évaporation moyenne annuelle mesurée à la station M'Sila (bac classe A américain) après sa correction pour l'évaporation sur de grande surface libre est de 2120 mm (**Hedjazi,2009**).

I.6. Le couvert végétal

Il couvert végétal influe beaucoup sur les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface. En effet, l'évapotranspiration par les végétaux est très importante, elle varie selon la nature des végétaux (forêts, cultures, prairies).

La répartition du couvert végétal et la part de chaque type de couvert dans chaque sous bassin versant dépend des caractéristiques physico-géographiques de chaque bassin, des caractéristiques climatiques qui en déroulent et de l'influence de l'action anthropique. Pour le bassin du Hodna on distingue:

- Des superficies forestières dominantes Djebels Messaad (33 814ha), Medjedel (16 321ha), Slim (14 916ha), Maadhid (6 448ha), Hammam El Dalaa (16 819ha), Boussaâda (3 739ha) à base de Pin d'Alep et Genévrier de Phénicie.
- Des superficies agricoles dans la plaine de M'sila qui propice aux cultures maraîchères (15 125ha), aux céréales (741 945ha) et les arbres fruitiers (14 170ha) (**Zeroual S .2016**).

I .7.Les potentialités en eau dans le bassin du Hodna

I .7. 1.Les eaux souterraines

Les potentialités globales en eau sont évaluées à 19.4 milliards de m³/an.Les ressources n eau souterraine contenues dans les nappes du Nord Algérie (ressources renouvelables) sont

estimées à près de 2 Milliards de m³/an. Les ressources superficielles y sont estimées à 12 milliards de m³/an .

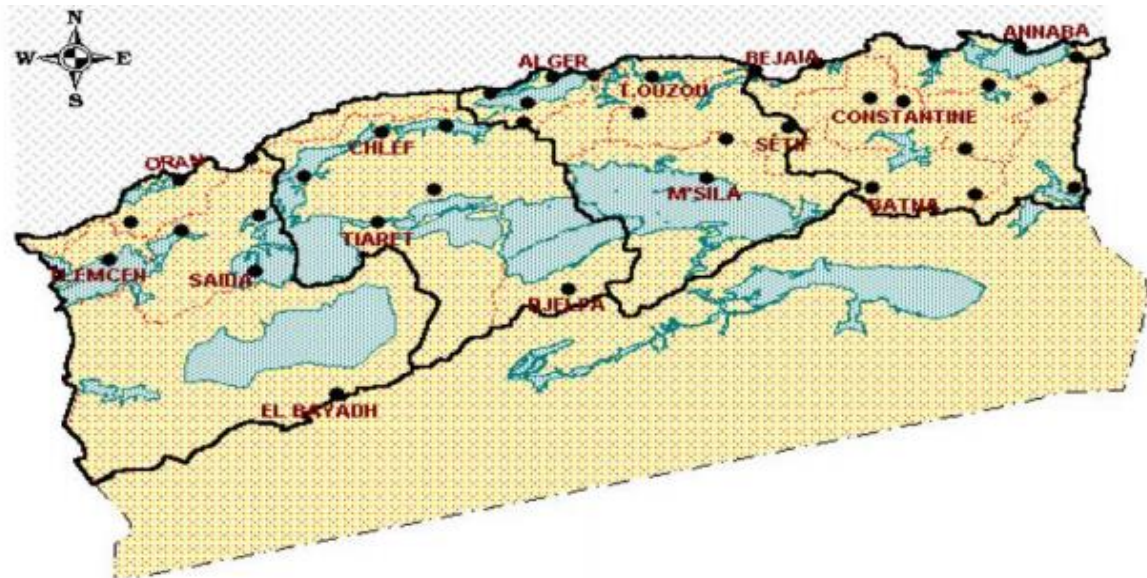


Figure I.5 Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord (Remini, 2009).

Pour le Bassin du hodna par les études hydrogéologiques et géophysiques réalisées au niveau de bassin la potentialité des eaux souterraines reparties comme suit :

- Nappe de chott El Hodna
- Nappe de Ain Riche
- Nappe de Zahrez Oriental
- Nappe de Monts du Hodna
- Nappe de Birin

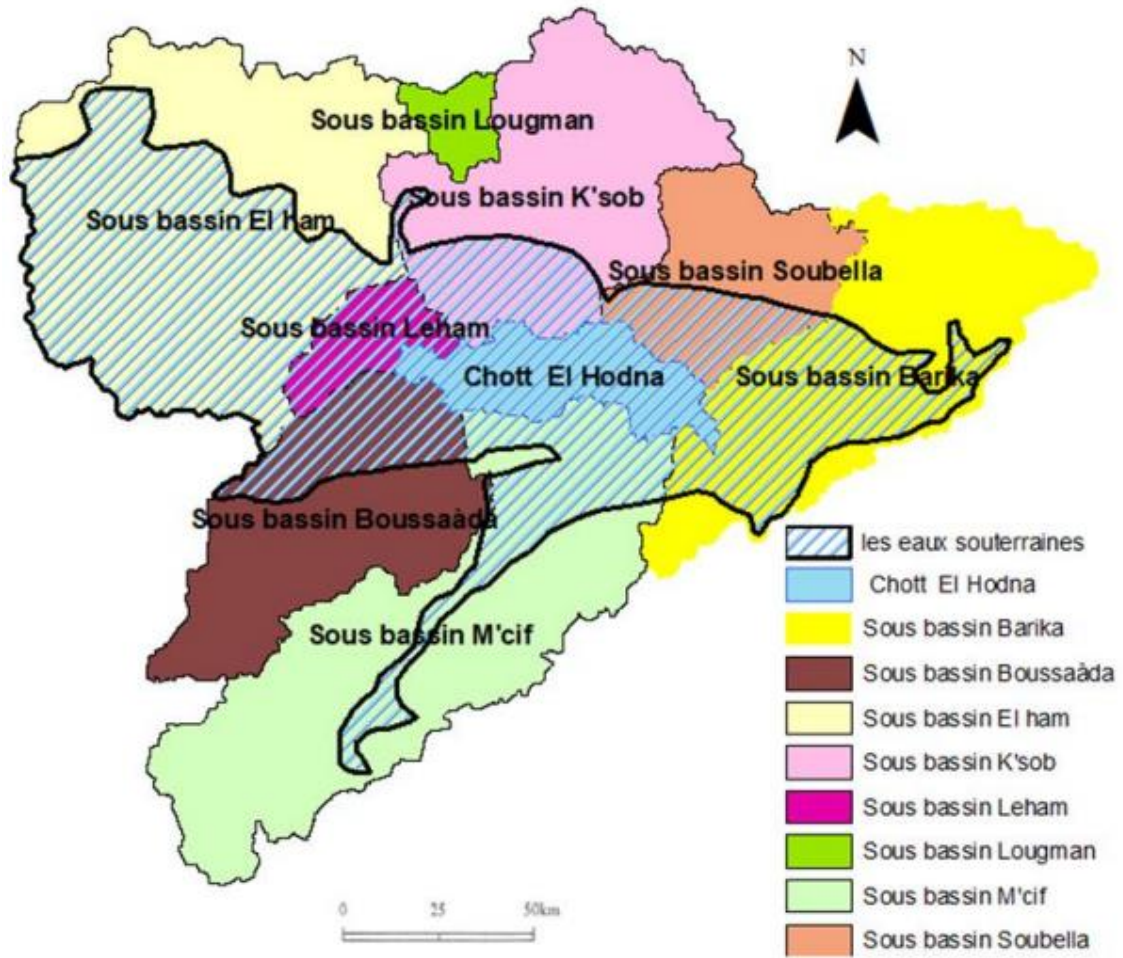


Figure I.6 Les eaux souterraines de Bassin du Hodna

I.7. 2. Les eaux souterraines Eaux superficielles

La carte suivant représente les principaux sources d'eaux superficielles dans le Bassin du Hodna.

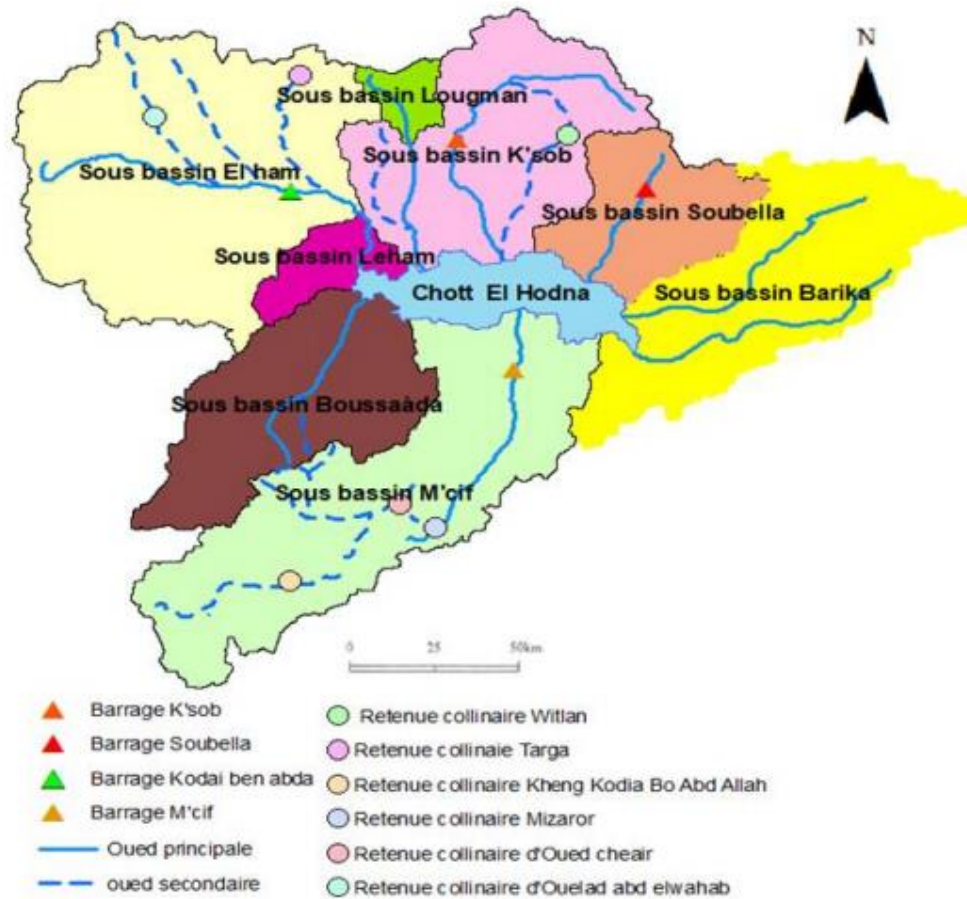


Figure I.7 Les eaux superficielles de Bassin du Hodna(Originale).

I .8. Présentation des stations pluviométriques utilisées dans cette étude

Dans le tableau suivant, on présentera les stations pluviométrique retenue pour notre étude qui sont sous la dépendance de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH),les périodes d'observations des pluies journalières maximales et leur équipement

Tableau I.1 : Codes et coordonnées des stations pluviométriques.

Code	Nom de station	Coordonnées géographiques			Période d'observation
		X(km)	Y(km)	Z(m)	
05-18-01	BANIOU	649.35	236.7	416	1998-2001
05-07-01	M'SILA	666.15	268.91	518	1968-2002

05-10-05	KSOB BARRAGE	668.5	282.25	600	1943-2009
05-17-03	SLIM	594.9	178.2	1080	1967-2005
05-07-03	ROCAD SUD	624.75	260.6	433	1952-2004
05-11-11	SID OUADAH	721.2	268.75	720	1974-2004
05-12-01	MEROUANA	790.75	263.65	1000	1914-2008
05-07-02	AIN KHERMNE	631.2	240.45	500	1914-2003
05-10-09	TARMOUNT	643.00	281.30	602	1973-2002
05-09-06	MEDJANA	316.2	688.45	1024	1943-2008
05-09-04	BORDJ LAGHDIR	657.45	178.2	790	1943-2009
05-09-05	BORDJBOU ARRERIDJ	309.95	685.8	922	1913-2009
05-09-01	MEDJAZ	289.65	673.35	636	1974-2009

Source (ANRH)

Où :

X : Longitude.

Y : Latitude.

Z : Altitude.

Conclusion

Le Bassin versant du Hodna avec une zone de drainage de 26 000 km² est le cinquième Bassin de l'Algérie, il est divisé entre 23 sous bassins. Son relief est caractérisé par des séries de montagnes au Nord et au Sud en organisant le bassin autour d'une cuvette fermée.

Le réseau pluviométrique de la région d'étude est constitué de 13 stations pluviométriques réparties sur l'ensemble du bassin, dont la station de Slim est la plus élevée, avec 1080m d'altitude, et la station de Baniou est la plus basse avec 416m d'altitude.

Chapitre II :
Étude théorique sur les lois de probabilité et
estimation des paramètres

Introduction

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique permettant l'identification d'un phénomène probabiliste à partir d'un phénomène passé, et pour ce la on fait couramment appel aux lois de distribution statistiques, mais le choix d'une loi d'ajustement est toujours resté un débat ouvert, certaines personnes préfèrent utiliser des lois qui s'ajustent bien avec les données observées, même si le nombre de paramètres est important. Pour cela on utilisera dans notre travail des lois de deux et de trois paramètres.

Nous débuterons dans ce chapitre par la présentation de quelques notions de probabilité, puis les hypothèses de base d'ajustement statistique et on terminera par la présentation de quelques fonctions de distributions des valeurs maximales.

II.1. L'analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un *événement* de valeur donnée (**Meylan et Musy, 1999**).

C'est un ensemble de méthodes statistiques permettant d'étudier des phénomènes se produisant de façon aléatoire, donc en présence d'incertitudes. Avec le développement des mathématiques et des probabilités, il y a eu cette nouvelle conception de la statistique introduisant la notion d'induction, c'est à dire, à partir des résultats d'expérience, on peut utiliser des modes de raisonnement probabilistes pour expliquer et connaître la structure interne d'un phénomène observé.

Les phénomènes hydrologiques tels que les précipitations et les écoulements sont à caractère incertain vu le grand nombre de mécanismes et processus qui interviennent dans leur formation. Ils constituent donc un champ d'application idéal pour ces méthodes statistiques. Analyse Fréquentielle pour l'Hydrologie.

II.2. Rappel de quelque notion de probabilité

Lorsqu'on analyse des données relatives à un groupe d'individus ou d'objet, il est souvent impossible d'examiner tous les éléments du groupe appelé « population », on examine donc une petite partie du groupe appelée « échantillon ».

- **La population** est un nombre infini de valeurs qui définissent le phénomène.
- **L'échantillon** est un sous-ensemble fini de n valeurs de la population.

Sur chaque population on peut définir une fonction de répartition $F(x)$ qui varie sur un intervalle de $[0,1]$.

Elle est définie par :

- **La probabilité au non-dépassement** : (probabilité de tirer au hasard une valeur X inférieure ou égale à la valeur (x))

$$FND = F(x) = P(X \leq x)$$

- **La probabilité au dépassement** : (probabilité de tirer au hasard une valeur X , supérieure ou égale à la valeur (x)).

$$FD = 1 - FND = 1 - F(x) = P(X \geq x)$$

Dans la pratique, la fonction $F(x)$ est estimée à partir d'échantillons limités en taille, on dispose de plusieurs formules empiriques aidant à calculer la fonction de répartition dite en générale, $F^*(x)$ est représentée par des expressions de type :

$$F^*(x) = k - \frac{a}{2a} + 1$$

Avec :

K : le rang des observations (ordre décroissant)

n : la taille d'échantillon

a : la constante de formule utiliser.

Tableau. II.1 Les valeurs de la constante a se diffèrent selon les formules

A	Nom	Formule
0	Weibull	$\frac{r}{n+1}$
0.5	Hazen	$\frac{r-0.5}{n}$
0.375	Gauss	$\frac{r-0.44}{n+0.12}$
-0.40	Cunnane	$\frac{r-0.4}{n+0.2}$

Ces formules donnent des résultats voisins si n est grand ou pour les valeurs centrales de la distribution.

La formule utilisée dans notre travail est celle de Hazan :

$$F(x) = \frac{(r-0,5)}{n}$$

Avec :

n : numéro d'ordre et N =la taille d'échantillon.

II.3. Notions de fréquence et période de retour

Le temps de retour correspond à la moyenne de l'intervalle de récurrence du premier dépassement de la variable étudiée, et ce, sur un grand nombre d'occurrence. Rappelons que l'intervalle de récurrence correspond à la période séparant deux occurrences de l'événement considéré. Le temps de retour noté T a pour formule :

$$T = \frac{1}{1-F(x)}$$

Où $F(x)$ correspond à la probabilité au non dépassement. Par suite, le temps de retour représente l'inverse de la probabilité au dépassement correspondant à T . Ce qui est logique,

puisque pour une faible probabilité au dépassement, le temps de retour est fort, ce qui correspond à l'occurrence d'un événement rare.

II.4. La vérification des hypothèses de base

L'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon nécessite que les observations soient :

- Indépendantes (absence d'auto corrélation).
- Identiquement distribuées (homogène et stationnaire)

II.4.1.Hypothèse d'indépendance (Test de Wald-wolf witz)

On dit qu'il n'y a pas d'auto corrélation dans les séries des données (pluies journalières maximales).si l'intensité d'une pluie n'est pas influencée par celle observée l'année précédente .alors on constate que la série est « indépendante ».

Pour vérifier l'hypothèse d'indépendance des observations ,le test utilisé est celui de Wald-wolf witz.c'est un test nom paramétrique , qui nous permet de comparer les hypothèses suivantes on considère n variable aléatoire $X_1 X_2.....X_n$:

$H_0 : X_1 X_2 X_n$ sont indépendantes

$H_1 X_1 X_2: X_n$ sont dépendante

La statistique de Wald-Wolf witz R se calcule comme suit

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} (X_i X_{i+1} + 1) + X_i X_N$$

II.4.2.Hypothèse de stationnarité(test de kendall)

Si les caractéristiques statistiques (moyenne, variance...)des séries des données qui les décrivaient ne varient pas (absence de tendance à la hausse ou à la baisse) dans le temps .on dit que les phénomènes étudiés sont « stationnaires »

Nous avons utilisé le test de (kendall ,1975) pour procéder à la vérification de l'hypothèses suivant :

H_0 : Les caractéristiques statistiques des variables aléatoires sont constantes

H_1 : Les caractéristiques statistiques des variables aléatoires ne sont pas constantes dans le temps.

Soit n variable aléatoire $X_1 X_2 \dots X_n$ classé par ordre chronologique la statistique S de ce test s'exprime par l'équation suivante :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

La fonction $\text{sgn}(X)$ fait référence au signe de la variable et prend les valeurs 1.0 ou -1 selon que la variable soit positive. Nulle ou négative.

Sous l'hypothèse nulle, la statistique s'exprime comme suite :

$$V\{S\} = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_t (t-1) + (2n+5)]$$

Avec :

T : nombre d'observation identique dans l'échantillon.

II.4.3. Hypothèse d'homogénéité (test de Wilcoxon)

Lorsque les données proviennent d'un échantillon homogène, donc on ne trouve pas de différence significative dans la moyenne de sous-échantillon. Autrement dit, si les données qui constituent un échantillon, proviennent de la même population (prise dans les mêmes conditions) alors on dit que l'échantillon est « homogène ».

Le test utilisé pour la vérification de cette hypothèse est le test non paramétrique de **(Wilcoxon, 1945)**. Qui utilise la série des rangs des observations.

Le principe de ce test est de permettre la comparaison et la vérification des moyennes de deux sous-échantillon si elles sont significativement différentes. On divise la série des données (pluies journalières maximal par exemple) en deux échantillon on note respectivement $X_1 X_2 \dots X_n$ et $X_{n+1} X_{n+2} \dots X_m$ de moyenne respective μ_1 et μ_2 ce test permet de comparer les hypothèses suivantes :

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

La statistique du test utilisé (W) est exprimée suit :

$$W = \frac{[V - 0,5m(n + 1) + 0,5]}{\sqrt{\text{Var}(R)}}$$

Avec :

$$V = \sum_i^m R_i s(R_i)$$

R_i est le rang du classement de la pluie i avec les données de pluie combinées triées en ordre croissant.

$S(R) = 0$, si la donnée est dans la série L (facteur multiplicateur)

Si la donnée est dans la série 2 $S(R_i)$ à l'unité.

II.5. Les lois d'ajustement

Les lois d'ajustement permettent statistique et la détermination de certaine caractéristique des phénomènes. Dans cette partie nous présentation quelque loi de distribution statistique

II.5.1 : La loi des extrêmes généralisés (GEV)

Quand le nombre d'éléments extrêmes devient très important, on est amenée a utilisés les trois lois de distribution des extrêmes qui sont des cas particuliers d'une seul distribution appelée « distribution généralisées des valeurs extrêmes GEV » mise sous la forme :

$$F(x) = e^{-[1+k(x-\frac{u}{a})]^{-1/k}}$$

Avec trois paramètres interviennent :

$u \in R$ paramètre de positions (localisation),

$a > 0$ paramètre d'échelle,

$k \in \mathbb{R}$ paramètres de forme.

Selon les valeurs de paramètre de forme $K=0, K < 0$ et $K > 0$, on peut définir les types des lois de distribution respectivement :

II.5.1.1. la loi de Gumbel (GEV type 3) $G(x) = e^{-e^{-(x-\frac{u}{a})}}$

cette fonction de distribution s'intéresse plus particulièrement aux extrême des valeurs proches de 1 de la fonction de distribution.

II.5.1.2. La loi de Fréchet (GEV type 2) $G(x) = \begin{cases} 0, & x \leq u \\ e^{-\left(\frac{x-u}{a}\right)^k}, & x > u \end{cases}$

II.5.1.3. La loi de Weibull (GEV type 3) $G(x) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{x-u}{a}\right)^k}, & x < u \\ 1, & x \geq u \end{cases}$

II.5.2. Loi log-normale (ou log-normale ou de Gibrat-Gauss)

La loi log-normale est préconisée par certains hydrologues dont V.-T. Chow qui la justifient en argumentant que l'apparition d'un événement hydrologique résulte de l'action combinée d'un grand nombre de facteurs qui se multiplient. Dès lors la variable aléatoire $X = X_1 X_2 \dots X_r$ suit une loi log-normale. En effet le produit de r variables se ramène à la somme de r logarithmes de celles-ci et le théorème central-limite permet d'affirmer la log-normalité de la variable aléatoire, qui est sous la forme suivante :

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - u)^2}{2\sigma^2}\right]$$

II.5.3. La loi Gamma

La loi gamma est une loi paramétrique (λ paramètre de forme et α paramètre d'échelle), avec λ et $\alpha > 0$

La fonction de densité de probabilité de gamma est :

$$F(x) = \frac{a^\lambda}{\Gamma(\lambda)} X^{\lambda-1} \exp^{-ax}$$

II.6.Méthodes d'estimation des paramètres

II.6.1.la méthode des moments

Elle a pour principe d'égaliser les K premiers moments estimés de la population exprimés en fonction de K paramètres aux K premiers moments non centrés de l'échantillon. On obtient un système d'équations à résoudre du type :

$$\alpha_1 (\gamma_1, \dots, \gamma_1) = \alpha_1$$

$$\alpha_k (\gamma_1, \dots, \gamma_k) = \alpha_k$$

Cette méthode consiste à estimer d'après l'échantillon autant de moments que la loi a de paramètres et à égaliser ces estimations aux valeurs théoriques qui ne sont fonctions que des paramètres à estimer. On obtient alors un système de n équations à n inconnues. Les estimations ainsi obtenues sont généralement consistantes mais non efficaces (**Roche et al, 2012**).

II.6.2.La méthode du maximum de vraisemblance

Elle a pour principe de choisir comme estimation de tout paramètre γ , la valeur la plus vraisemblable c'est-à-dire celle qui a la plus forte probabilité de provoquer l'apparition des valeurs réellement observées dans l'échantillon.

On appelle fonction de vraisemblance, la probabilité ou la densité de probabilité relative aux valeurs observées $X_1 X_2 \dots X_n$ exprimée en fonction du ou des paramètres de la population. Pour un échantillon aléatoire et pour une population définie par un seul paramètre γ , la fonction de vraisemblance est :

$$L(x) = f(x_1, \gamma) f(x_2, \gamma) \dots f(x_n, \gamma)$$

$$L(x) = \prod f(x_i, \gamma)$$

Les estimateurs du maximum de vraisemblance correspondent par définition au maximum de cette fonction. La recherche de ce maximum peut être réalisée en annulant la dérivée de la fonction par rapport à γ (Roche et al, 2012).

$$\frac{d L(\gamma)}{d \gamma} = 0$$

La méthode du maximum de vraisemblance donne des estimations correctes et efficaces et souvent absolument correctes.

II.6.3. Ajustement graphique

Cette méthode consiste à porter dans un graphique les valeurs x de l'échantillon en fonction de leur fréquence expérimentale, les axes de ce graphique étant gradués de façon à ce que les points soient alignés si le choix de la loi est correct.

Graphiquement, on fait passer une droite dans le nuage de points et on détermine ainsi deux paramètres. Des lois à trois paramètres pourront aussi être ajustées, le troisième paramètre servant à provoquer l'alignement mais par tâtonnements. (Laborde, 2009).

II.7. Critères de sélection de lois

Il existe plusieurs facteurs pour faire le choix d'une loi de probabilité adéquate, pour représenter une variable donnée (phénomène météorologique), et pour cela on peut classer ces facteurs en deux catégories :

- facteurs statistiques (test de khi deux, représentation graphique, test d'Akai et bayésien ...),
- facteurs hydrométéorologiques (information régionale, cohérence spatiale, cohérence temporelle).

Dans cette partie on parlera sur certains facteurs statistiques et les facteurs hydrométéorologiques

II.7.1. critères statistiques

Pour faire le bon choix et la sélection de la loi théorique qui s'adapte bien avec nos données,

On est amené à utiliser les principaux critères statistiques suivant (on parlera juste sur les critères utilisés dans notre travail).

II.7.1.1. test de khi deux

Depuis la création de test de khi deux par Karl Pearson, il est le test le plus utilisé pour pouvoir juger la qualité d'ajustement d'une distribution théorique à une distribution Expérimentale.

L'utilisation de ce test est basée sur la division de l'intervalle de variation en k classe ($k > 4$) avec chaque classe contient théoriquement plus de 5 données expérimentales, puis on calcule les effectifs de ces classes par la forme suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (u_i - u'_i)^2 / u'_i$$

Avec :

u_i : Effectifs observés ($i=1, 2, \dots, k$)

u'_i : Effectifs théoriques.

La variable χ^2 suit une loi dite la loi de khi deux χ^2 , à un degré de liberté v avec :

$$V = k - p - 1,$$

K : nombre de classes,

P : nombre de paramètres estimés d'après l'échantillon.

La formule de χ^2 donne une mesure de l'écart qui existe entre les effectifs théoriques et les effectifs observés dans l'échantillon.

II.7.1.2. Représentation graphique

Présentation graphique sur un papier de probabilité normale permet d'évaluer visuellement l'adéquation des valeurs de l'échantillon, et de la distribution ajustée, ainsi, elle permet la comparaison entre les différentes lois ajustées sur un même ensemble de données .lorsque ces différent ajustement sont représentés sur le même graphe.

L'axe des abscisses d'un graphe correspond aux probabilités au non dépassement, et l'axe des données à la variable aléatoire étudiée. On trouve sur les figures (chapitre 3) les valeurs estimées des quantiles des lois considérées reliées par un trait continu (courbe d'ajustement), ainsi que les observations de l'échantillon.

Les observations sont d'abord classées en ordre décroissant, et une probabilité empirique au non dépassement PK a été attribuée à chaque élément.

II.7.1.3.Critère d'akaïke et Bavésien

Après ajustement de plusieurs lois de distribution candidats et avoir réalisés les tests d'adéquation les plus connus (khi-deux). Le problème du choix de la loi la plus adéquate se pose au modélisateur pour prendre en charge à la fois l'optimisation et la parcimonie des modèles.

Deux critères de sélection des lois adéquats seront adoptés pour et par la présente contribution. Il s'agit des fameux critères basés sur la vraisemblance : le critère d'information (d'Akaike ,1974), désigné par *AIC* et le critère d'information (**Bayésien** ,**Schwarz** ,1978), désigné *par BIC*. Les deux critères sont donnés respectivement par la relation:

$$AIC = -2 \log(L) + 2 P$$

$$BIC = -2 \log(L) + 2 \log(N)$$

Avec :

L : fonction de vraisemblance de la distribution

P : nombre de paramètre

Le meilleur modèle d'ajustement est celui qui présente les valeurs minimales des critères *AIC* et *BIC* (Rao et Hamed, 2001).

Le critère *BIC* tend le mieux à pénaliser les distributions à trois paramètres que son homologue *AIC*. Une fois les deux critères présentent des conclusions non en concordance, le critère *BIC* est considéré prioritaire par principe de parcimonie (Soro et al., 2010).

II.7.1.4. Parcimonie

Le principe de parcimonie est de chercher une loi qui possède un nombre de paramètres Minimum de façon à diminuer l'incertitude engendrée par l'estimation des paramètres.

Pour cela les distributions utilisées dans notre travail possèdent deux à trois paramètres.

II.7.2. critères hydrométéorologiques

Pour la validation des résultats, il faut prendre en compte tous les informations disponibles sur le processus étudié.

II.7.2.1. Information régionale

La sélection de la meilleure distribution pour représenter une variable à un bassin est effectué dans une optique régionale. Lorsqu'une loi est retenue pour le bassin étudié et elle est aussi retenue pour les bassins voisins on la considère comme la meilleure loi d'adéquation.

II.7.2.2. Cohérence spatiale

Pour les bassins versants situés dans la même région hydrologique, les précipitations moyennes sur une surface diminuent avec l'augmentation de la superficie de la surface, et aussi, les apports (débit, volume) qui augmentent avec la taille de bassin. Pour conserver la cohérence spatiale de ces variables sur bassins versants, il est préférable que les quantiles de la distribution choisie respectent ce comportement (le choix de la distribution ne peut

Repose seulement sur ce critère).

II.7.2.3. Cohérence temporelle

Les lois choisies doivent respecter l'évolution temporelle des précipitations, et les Équivalents en eau pour conserver la cohérence temporelle dans un même bassin versant.

Conclusion

La sélection de la distribution la plus adéquate pour l'ensemble des séries étudiées correspondant a :

- Vérifier les hypothèses de bases (hypothèse d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité)
- Choisir les méthodes d'estimations (maximum de vraisemblance, méthode des moments).
- Appliquer le test d'adéquation Khi Deux sur les observations qui permet de sélectionner les lois accepter.
- Comparer les lois d'adéquations a partir de la représentation graphique (adéquation des courbes d'ajustement aux données).
- Choisir les meilleures distributions selon les critères d'AIS et BIS qui on la valeur la plus faible.

Chapitre III :
Application aux données pluviométriques de
la zone d'étude

Introduction

Dans cette partie du mémoire, nous allons procéder à l'ajustement des pluies maximales journalières de la région d'étude aux différentes lois d'ajustement dans le but de trouver la loi de probabilité qui s'adapte le mieux avec les données de la région.

Cinq lois de probabilités ont été choisies : Gumbel , GEV ,weibull ,log –normale et Gamma.

L'ajustement à été fait en utilisant le logiciel Hyfran-plus.

III .1. Présentation du logiciel d'Ajustement statistique Hyfran- plus

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

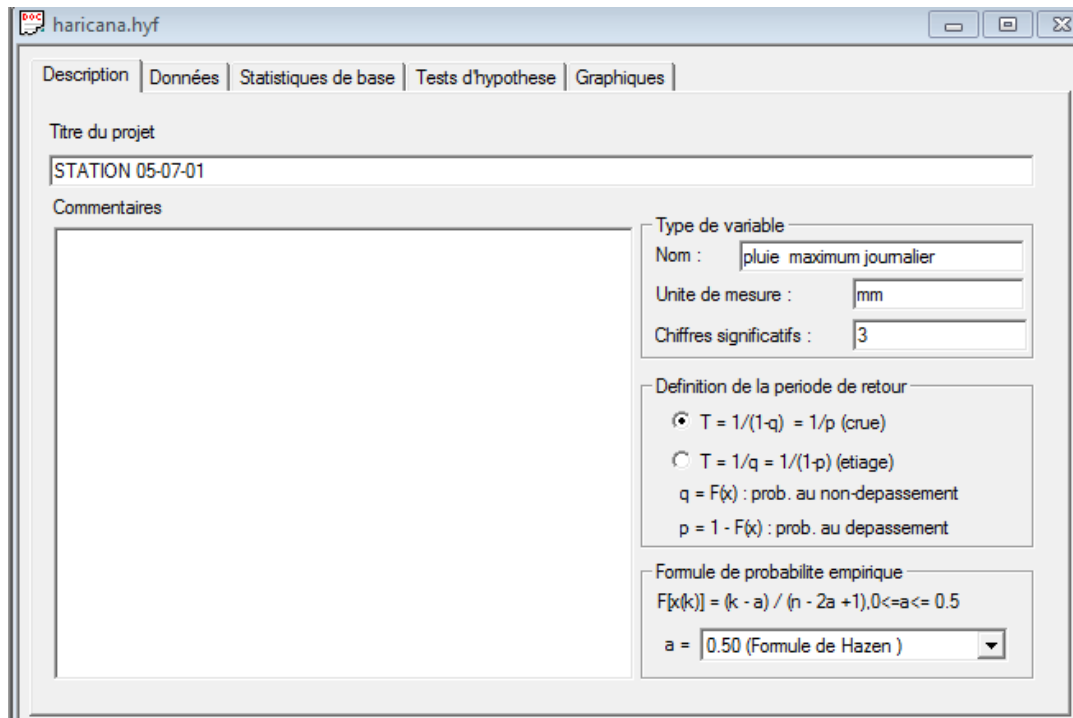


Figure. III.1 le logiciel HYFRAN-plus

III .2. Techniques d'échantillonnage

La technique utilisée dans notre travail est la suivante :

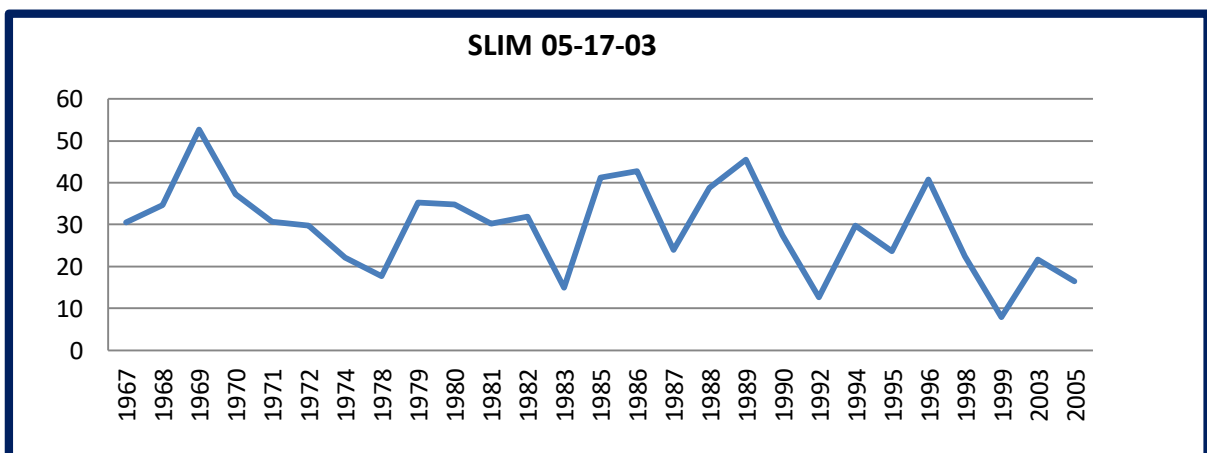
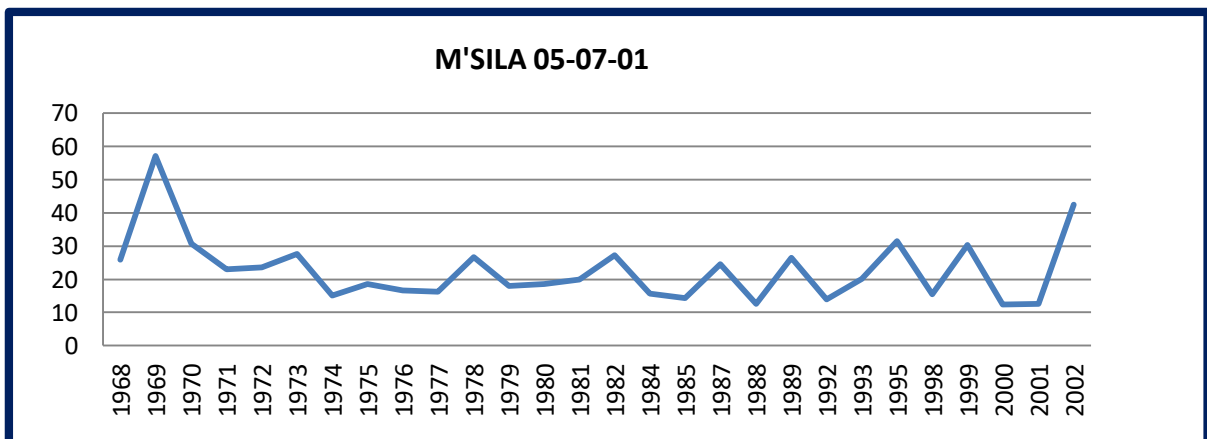
III .2.1.MAXAN

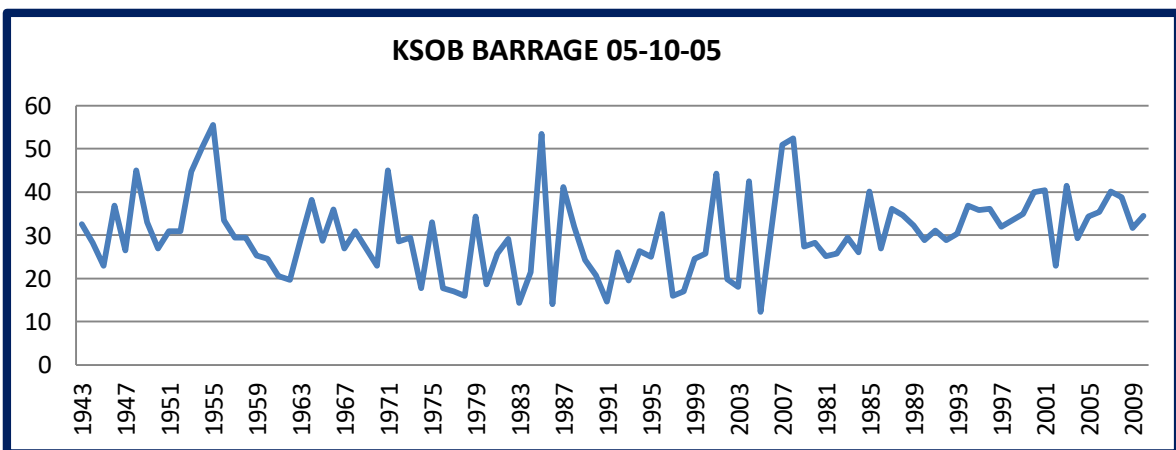
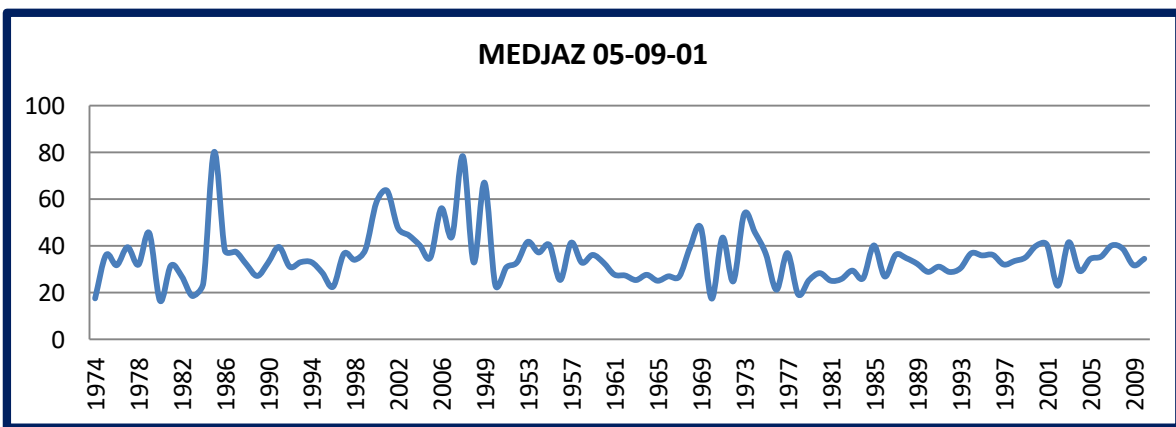
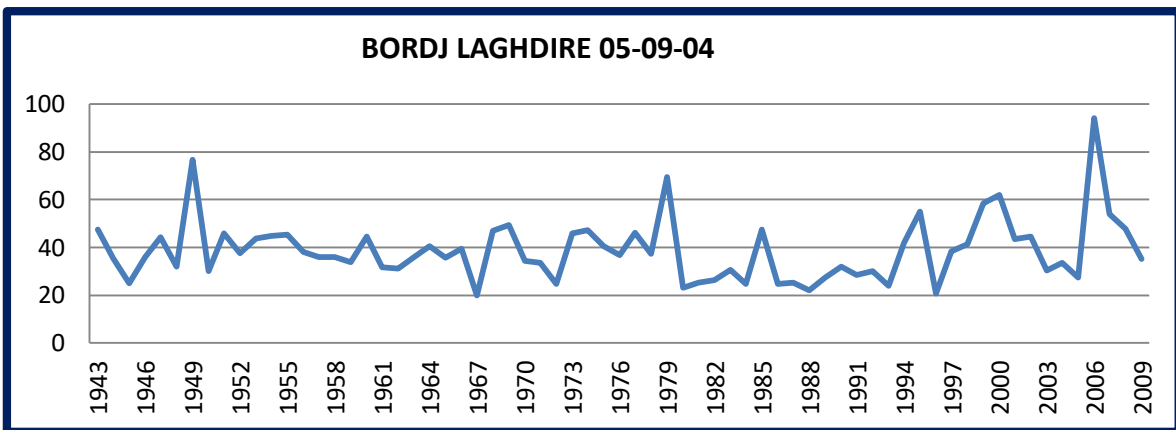
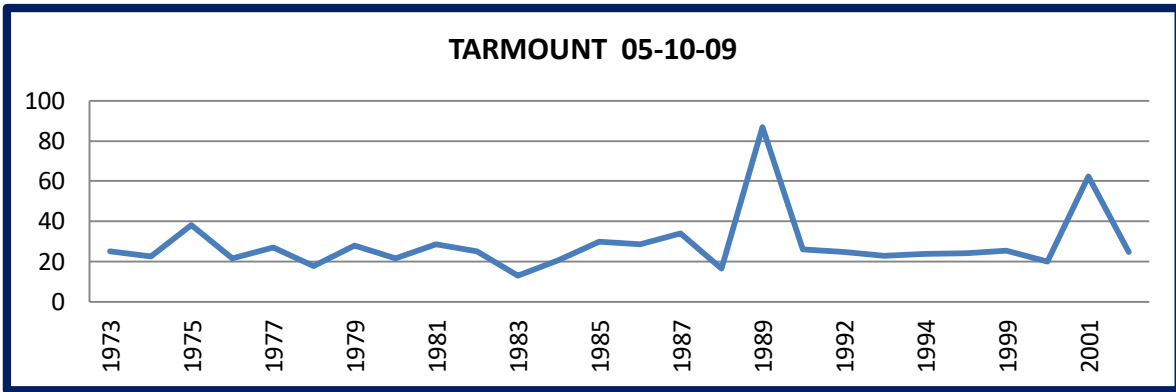
L'étude statistique des événements extrêmes est basée sur l'analyse des échantillons formés de valeurs maximales annuelles (**MAXAN**), ces échantillons sont facilement déductible de la série de durée complète .cette approche permet aussi une exploitation directe du modèle fréquentiel ajusté.

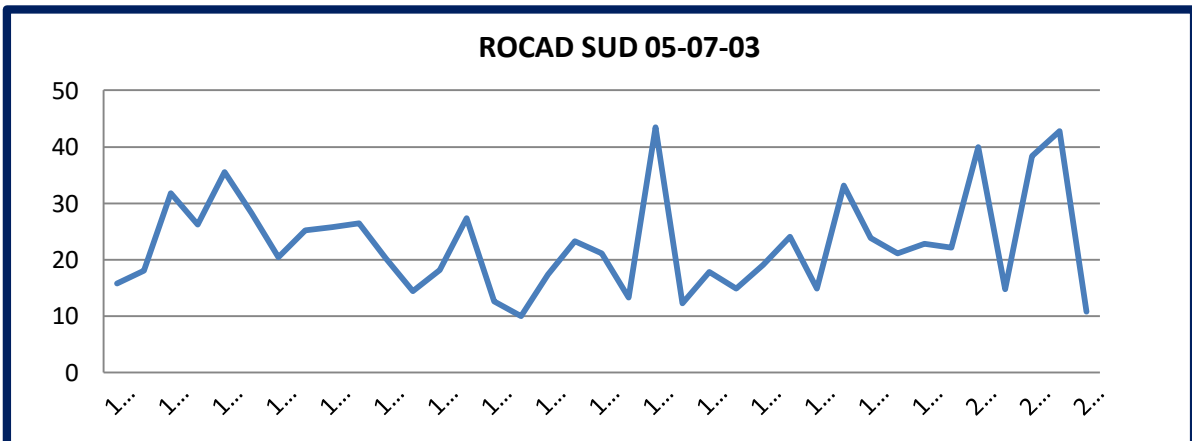
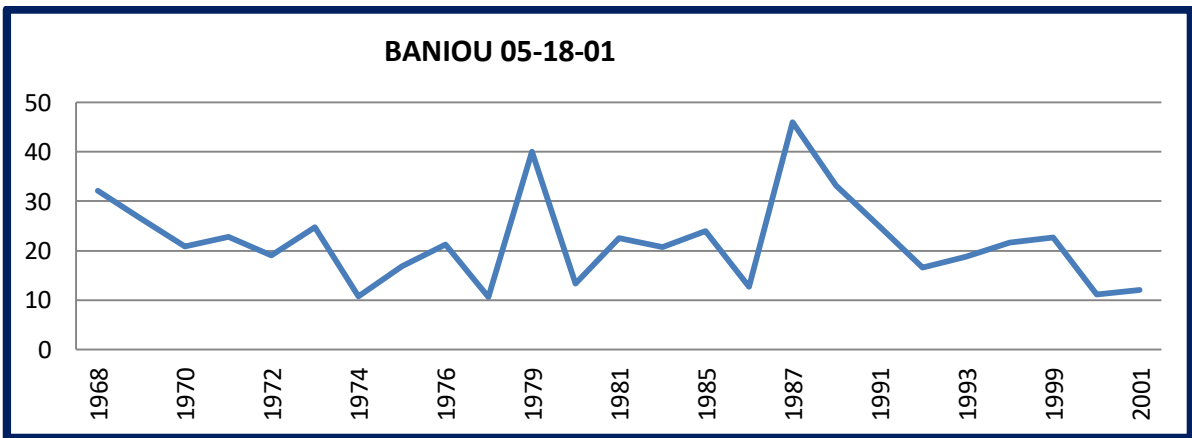
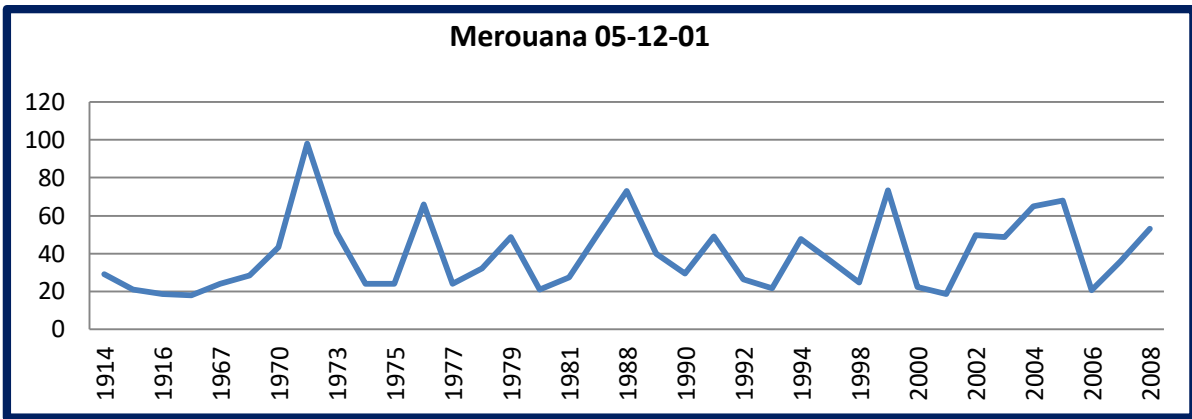
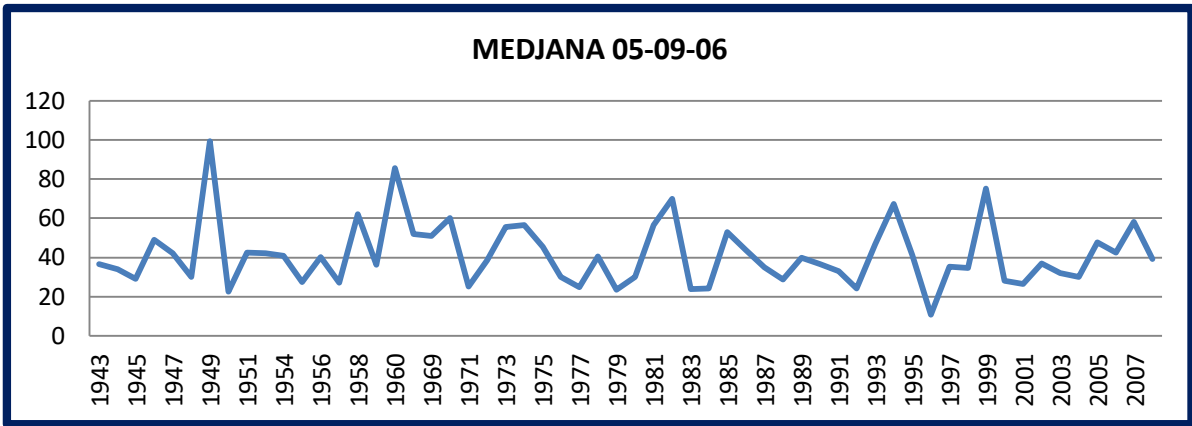
III .3. Application aux données des stations

III .3.1. Statistique descriptive des séries utilisées

Les séries des précipitations journalières maximales annuelles utilisées dans les différents périodes d'observation sont données par le figure ci- dessous :







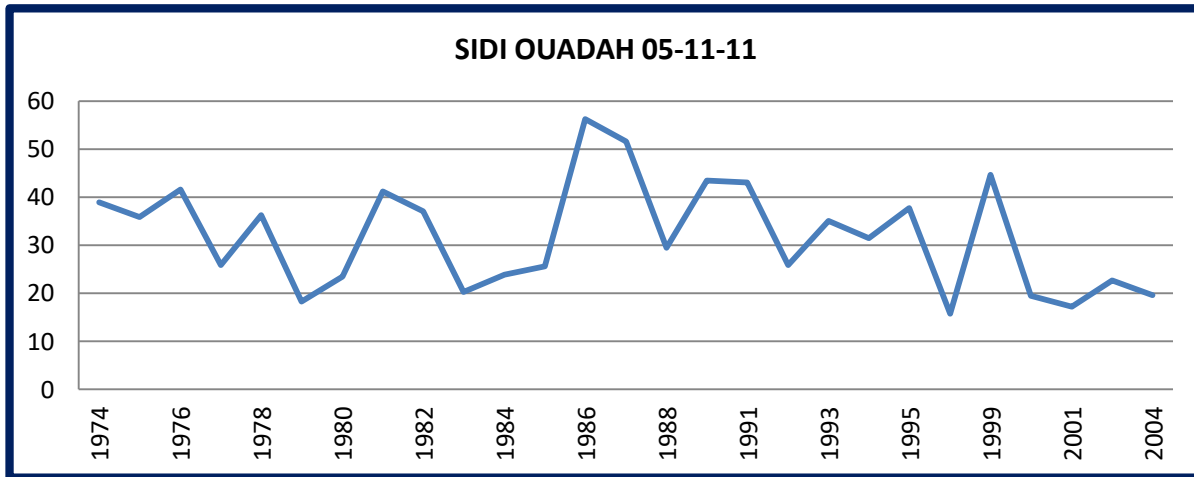
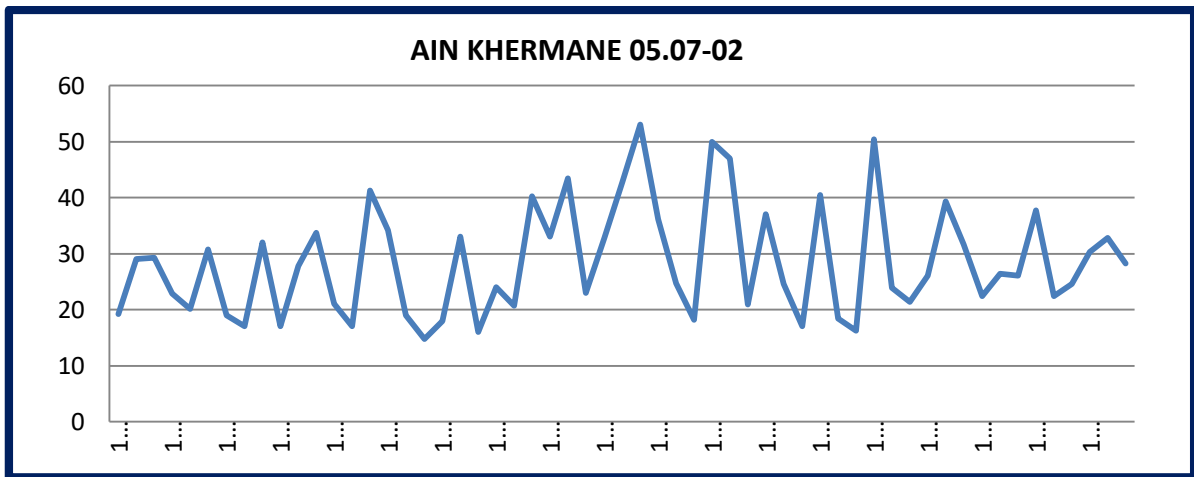
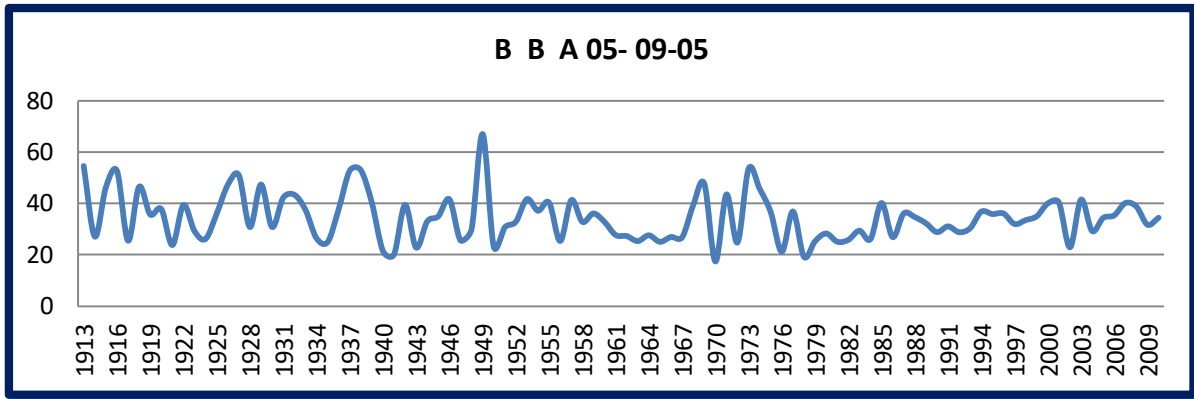


Figure. III.2 série chronologique des pluies maximales annuelles pou toutes les stations

Le figure ci – dessus montre que les maximums annuels observes varient d’une années à une autre , avec une grande différence entre les valeurs minimales et les valeurs maximales

A fin de pouvoir donner une idée sur l'échantillon, on a effectuée une analyse exploratoire de nos séries des pluies journalières maximales annuelles que l'on résume dans le tableau suivant :

Tableau III.1 Statistique descriptive des séries étudiées

STATIONS	BANIOU	KSOB BARRAGE	M'SILA	SLIM	ROCAD SUD	SIDI OUADAH	MEROUAN	AINKHERMINE	TARMOUNT	MEDJANA	BORDJ LAGHDIRE	B B ARRERIDJ	MEDJAZ
Nombre d'observation	25	67	28	27	37	27	37	57	26	58	67	98	36
Minimum	10.6	12.2	12.4	8.00	10.0	15.7	18.0	14.8	13.0	10.7	19.9	17.4	16.5
Maximum	46.0	55.5	57.2	52.7	43.5	56.2	98.0	53.0	87.0	99.3	94.2	67.0	80.1
Moyenne	21.8	29.1	22.7	29.5	22.9	31.9	39.2	28.4	28.4	41.2	38.8	34.5	37.9
Ecart type	8.86	10.4	9.89	10.7	8.92	11.1	19.5	9.82	14.9	16.4	13.2	9.14	14.5
Médiane	21.2	27.4	20.0	30.2	21.1	31.5	32.0	26.1	24.9	37.8	36.1	33.9	34.5
Coefficient de variation (Cv)	0.405	0.359	0.435	0.362	0.390	0.347	0.497	0.346	0.526	0.398	0.340	0.265	0.384

Coefficient d'asymétrie (Cs)	106	0.744	1.82	0.0004	0.79 6	0.35 8	1.08	0.71 7	3.01	1.28	1.61	0.74 2	1.35
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.55	2.91	6.11	2.36	2.69	2.02	3.35	2.56	10.2	4.78	6.73	3.55	4.50

Le tableau fait ressortir un coefficient de variations CV (Écart-type sur la Moyenne) des pluies maximales élevé pour stations les de Baniou, M'sila, Kosob barrage, Slim , Rocard sud , Sidi ouadah , Merouana Ain khermane , Tarmount ,Medjana, Boudj laghdire et Medjaz comparative a celui de la station Bordj Bou arreridj ceci a pour effet d'un grand étalement de la distribution empirique .

III .3.2. Tests d'hypothèses

Le logiciel **HYFRAN-plus** permet de réaliser une analyse fréquentielle complète pour n'importe quelle variable pour laquelle on dispose d'observations indépendances (absence d'auto corrélation) et identiquement distribuées (homogénéité , stationnarité et d'indépendance).

Donc ,l'étude de l'indépendance et de la stationnarité des séries précède l'ajustement de la distribution des séries de pluies maximales journaliers . les tests statistiques de stationnaire (Kendall) , homogénéité de (Wilcoxon) et d'indépendance (Wald-Wolfowitz) sont appliqués à chaque série utilisé .

Tableau III.2 Les différents résultats des tests d'hypothèses sur les données de différentes stations

STATIONS	Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz)		Test de stationnarité (Kendall)		Test d'homogénéité (wilcoxon)	
	Statistique	p-value	Statistique	p-value	Statistique	p-value
BANIOU	0.464	0.643	1.00	0.315	0.301	0.763
M'SILA	0.493	0.622	1.44	0.149	0.968	0.333
KSOB BARRAGE	1.19	0.234	<u>2.05</u>	<u>0.0403</u>	<u>2.40</u>	<u>0.0165</u>
SLIM	1.29	0.198	<u>1.98</u>	<u>0.0477</u>	1.12	0.262
ROCADSUD	0.198	0.843	0.157	0.875	0.0762	0.939
SIDI OUADAH	0.656	0.512	1.21	0.227	0.317	0.751
MEROUANA	0.782	0.434	1.52	0.129	1.54	0.124
AINKHERMNE	0.453	0.650	1.51	0.132	1.79	0.0734
TARMOUNT	1.07	0.284	0.154	0.877	1.13	0.258
MEDJANA	0.452	0.652	0.396	0.692	0.787	0.431
BORDJ LAGHDIRE	0.758	0.449	0.233	0.816	0.898	0.369
B.B ARRERIDJ	0.0632	0.950	1.23	0.218	<u>2.02</u>	<u>0.0436</u>
MEDJAZ	1.36	1.36	<u>2.97</u>	<u>0.00299</u>	<u>2.38</u>	<u>0.0175</u>

Le test de Wald – wolfowitz à vérifie l'indépendance des données au seuil supérieur à 5 %, pour toutes nos stations .Alors on peut conclure qu'il n'y pas d'auto corrélation enter les observations des stations précédentes.

Le test de kendall à éprouver l'hypothèse de stationnarité pour toutes les stations mis a par les trois stations de Ksob barrage Slim et Medjaz . l'Alors l'hypothèse nulle est acceptée au seuil de 5 %, pour les autres stations .

Le test de wilcoxon a vérifié l'homogénéité des données à niveau de sinification de 5 % ,pour dix stations : Baniou ,M'sila ,Kosob barrage Rocad sud , Sidi ouadah , Merouana , Aine khermane , Tarmount , Medjana et Bordj laghdire .

Sur la base des résultats obtenues par le tableau ci –dessus ,on est amenée à éliminé trois stations de notre travail , et travaillé sur dix stations seulement .

III .3.3. Estimation des paramètres des lois

Le tableau III.3 représente les résultats numérique des estimation obtenue la méthode le Maximum de Vraisemblance (MVS) pour toutes les distribution (Gumbel ,GEV, Weibull log- normale ,Gamma ,)

Tableau III.3 Paramètres des différentes distributions pour les dix stations.

Lois statistiques	Gumbel		GEV			Weibull		Log- normale		Gamma	
	μ	α	α	K	μ	α	C	M	δ	α	γ
BANIOU	17.82	6.878	6.878	-0.041	17.779	24.613	2.651	3.009	0.394	0.313	6.847
M'SILA	18.60	6.583	5.424	-0.301	17.724	25.671	2.424	3.049	0.379	0.302	6.881
KSOB BARRAGE	24.264	8.388	8.344	0.0192	24.396	32.630	2.983	3.308	0.357	0.281	8.207
ROCAD SUD	18.780	6.983	6.707	-0.045	18.687	25.774	2.774	3.059	0.384	0.312	7.148
SIDI OUADAH	26.530	9.397	9.611	0.1275	27.300	35.678	3.218	3.402	0.358	0.265	8.464
MEROUANA	30.492	13.895	10.211	-0.502	27.470	44.495	2.190	3.558	0.467	0.120	4.717
AIN KHERMANE	23.856	7.635	7.167	-0.105	23.490	31.804	3.110	3.290	0.337	0.317	9.020

TARMOUNT	23.249	7.596	6.597	-0.205	22.562	32.210	2.053	3.264	0.377	0.217	6.187
MEDJANA	33.963	12.456	12.232	-0.016	33.933	46.367	2.629	3.646	0.384	0.172	7.104
BORDJ LAGHDIRE	30.161	7.571	7.639	-0.072	32.786	43.320	2.952	3.609	0.310	0.264	10.262

III .4. L'ajustement des lois

Les quantités maximales journalières de précipitation sont déterminées à partir de la fonction de distribution les graphes montrent en ordonnés (pluie journalières maximales à et en abscisse la probabilité au nom dépassement (fonction de probabilité).

III .4.1.L'ajustement de loi Gumbel

Comparaison entre les caractéristiques de la loi et celles des échantillons

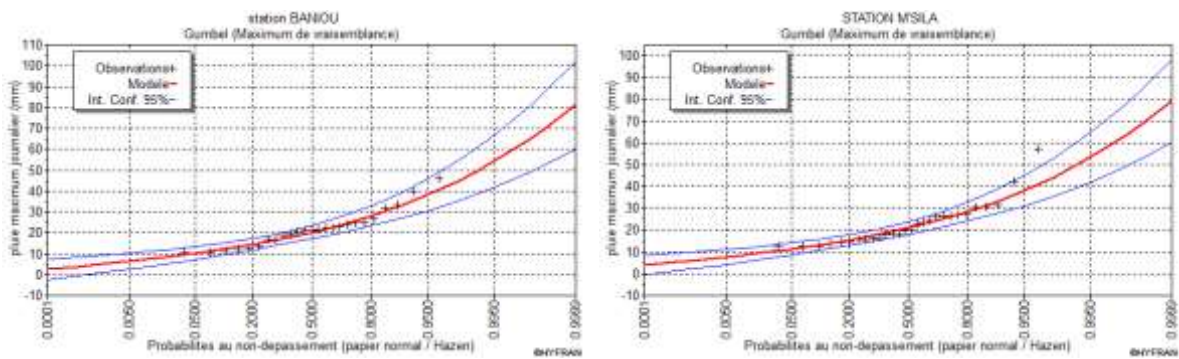
Tableau II.4 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Gumbel et celles des échantillons

STATIONS	Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Cv	Cs	Ck
	Caractéristiques								
BANIOU	de la loi	Aucun	Aucun	21.8	8.82	20.3	0.405	1.14	2.40
	de l'échantillon	10.6	46.0	21.8	8.86	21.2	0.405	1.06	3.55
M'SILA	de la loi	Aucun	Aucun	22.4	8.44	21.0	0.377	1.14	2.40
	de l'échantillon	12.4	57.2	22.7	9.89	20.0	0.425	1.82	6.11
KSOB BARRAGE	de la loi	Aucun	Aucun	29.1	10.8	27.4	0.370	1.14	2.40
	de l'échantillon	12.2	55.5	29.1	10.4	27.4	0.359	0.744	2.91
ROCAD SUD	de la loi	Aucun	Aucun	22.8	8.96	21.3	0.039	1.14	2.40
	de l'échantillon	10.0	43.5	22.9	8.92	21.1	0.390	0.796	2.69

SIDI OUADAH	de la loi	Aucun	Aucun	32.0	12.1	30.3	0.377	1.14	2.40
	de l'échantillon	15.7	56.2	31.9	11.1	31.5	0.347	0.358	2.02
MEROUAN	de la loi	Aucun	Aucun	38.5	17.8	35.6	0.463	1.14	2.40
	de l'échantillon	18.0	98.0	39.2	19.5	32.0	0.497	1.08	3.35
AINKHERMNE	de la loi	Aucun	Aucun	28.3	9.79	26.7	0.346	1.14	2.40
	de l'échantillon	14.8	53.0	28.4	9.82	26.1	0.346	0.717	5.56
TARMOUNT	de la loi	Aucun	Aucun	27.6	9.74	26.0	0.353	1.14	2.40
	de l'échantillon	13.0	87.0	28.4	14.9	24.9	0.526	3.01	10.2
MEDJANA	de la loi	Aucun	Aucun	41.2	16.0	38.5	0.388	1.44	2.40
	de l'échantillon	10.7	99.3	41.2	16.4	37.8	0.398	1.28	4.78
BORDJ LAGHDIRE	de la loi	Aucun	Aucun	38.7	12.3	36.6	0.319	1.14	2.40
	de l'échantillon	19.9	94.2	38.8	13.2	36.1	0.340	16.1	6.73

D'après la comparaison des paramètres principales « moyenne .écart- type » des tableaux ci-dessus , on constate que la paramètres de la loi et celles des échantillons sont identiques sur les stations de : Baniou ,Ksob barrage , Racad sud, aine kherrmane et Medjana.

Les Graphes d'ajustement de loi Gumbel pour les différentes stations étudiées sont présentés dans la figure suivantes :



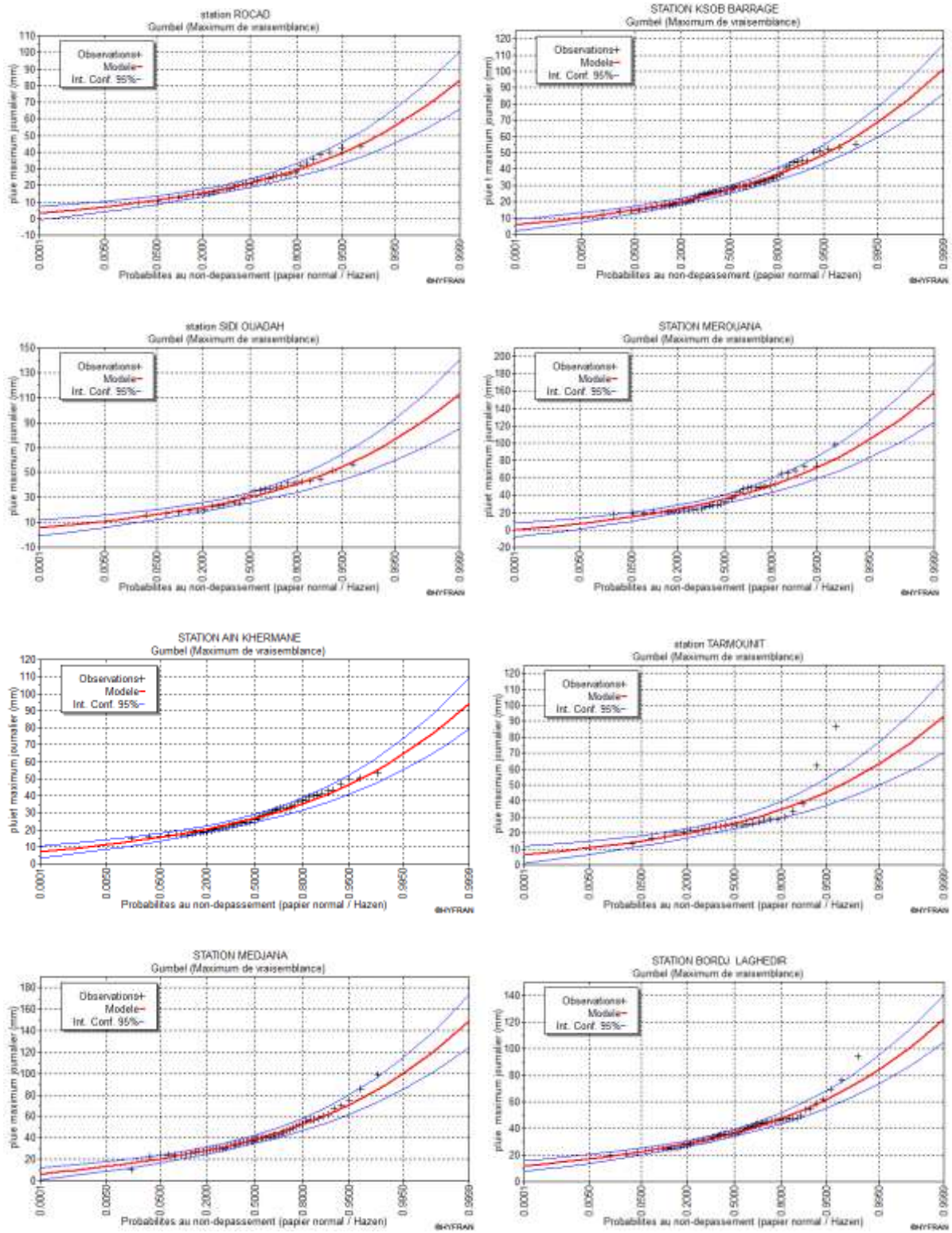


Figure II.3 Représentation graphique de la loi Gumbel

L'examen des graphes montre que, l'ajustement pour l'ensemble des stations est bon, les observations sont comprises dans l'intervalle de confiance de 95% et autour de la courbe

théorique , mis a par deux observations de qui sont en dehors de l'intervalle de confiance pour la station de Tarmount et une seule pour les stations de Msila , Bordj laghdire et Medjana .

III .4.2. L'ajustement de loi GEV

Une comparaison entre les caractéristiques de la loi et celles des échantillons est présentée dans le tableau suivant.

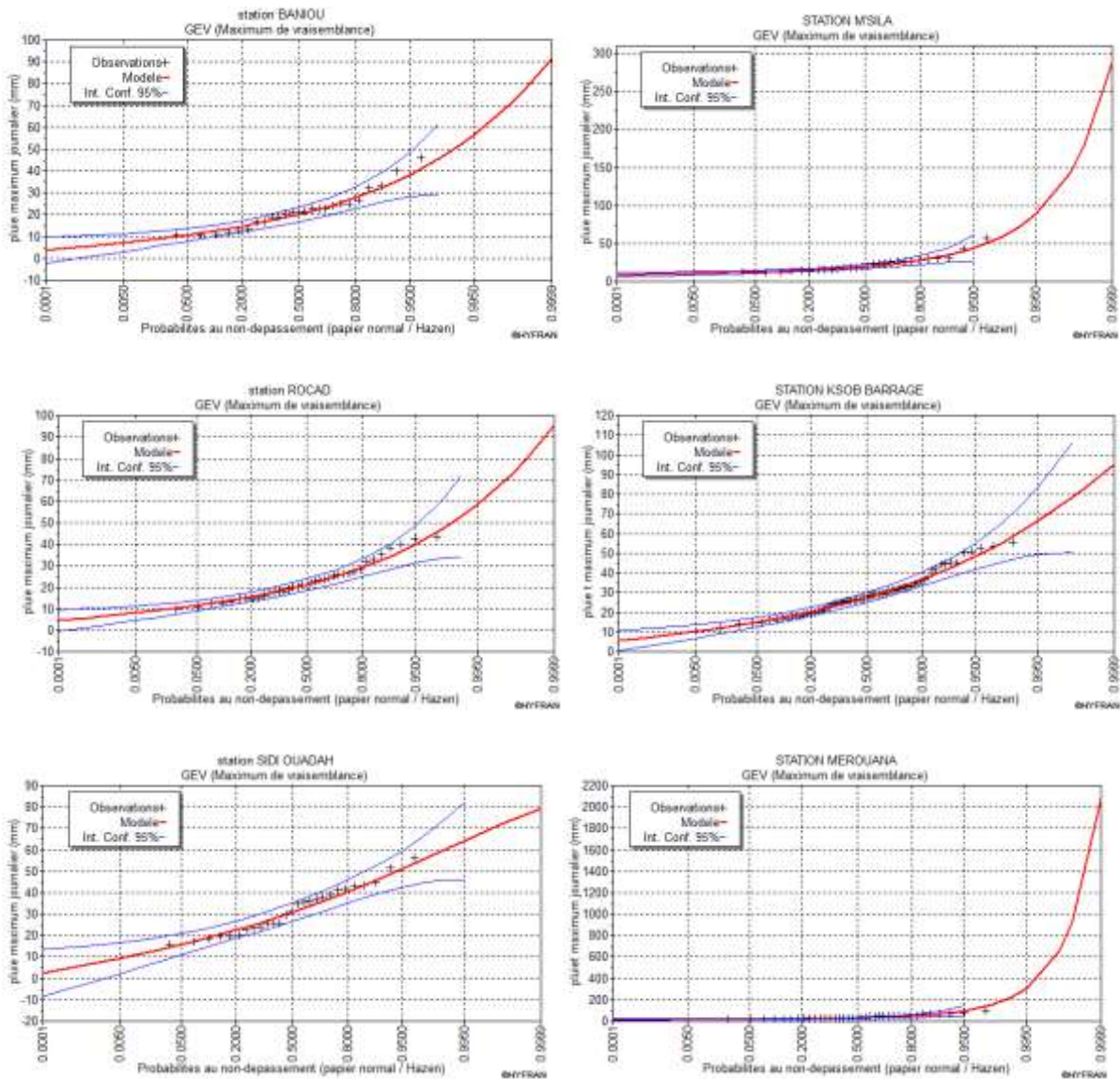
Tableau III.5 Comparaison entre les caractéristiques de la loi GEV et celles des échantillons

STATIONS	Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Cv	CS	CK
	Caractéristiques								
BANIOU	de la loi	-140	Aucun	21.8	8.90	20.2	0.407	1.14	6.93
	de l'échantillon	10.6	46.0	21.8	8.86	21.2	0.405	1.06	3.55
M'SILA	de la loi	-0.281	Aucun	23.1	13.3	19.8	0.573	14.0	2.40
	de l'échantillon	12.4	57.5	22.7	9.89	20.0	0.435	1.82	6.11
KSOB BARRAGE	de la loi	Aucun	458	29.1	10.4	27.4	0.395	1.03	4.90
	de l'échantillon	12.2	55.5	29.1	10.4	27.4	0.359	0.744	2.91
ROCADSUD	de la loi	-130	Aucun	22.9	9.16	21.2	0.401	1.44	7.09
	de l'échantillon	10.0	43.5	22.9	8.92	21.1	0.390	0.796	2.96
SIDI OUADAH	de la loi	Aucun	103	31.8	10.7	30.7	0.337	0.523	3.31
	de l'échantillon	15.7	56.2	31.9	11.1	31.5	0.347	0.358	2.02
MEROUAN	de la loi	7.14	Aucun	43.3	11.1	31.6		/DN	ND
	de l'échantillon	18.0	98.0	39.2	19.5	32.0	0.497	1.08	3.35
AIN KHERMNE	de la loi	-44.6	Aucun	28.5	10.8	26.2	0.379	1.96	11.5
	de l'échantillon	14.8	53.0	28.4	9.82	26.1	0.346	0.717	2.56
TARMOUNT	de la loi	-9.50	Aucun	28.0	12.2	25.1	0.436	3.70	56.1
	de l'échantillon	13.0	87.0	28.4	14.9	24.9	0.526	3.01	10.2
MEDJANA	de la loi	-694	Aucun	41.2	16.0	38.4	0.359	1.24	6.01
	de l'échantillon	10.7	99.3	41.2	16.4	37.8	0.398	1.28	4.78

BORDJ LAGHDIRE	de la loi	-94.8	Aucun	38.8	13.2	36.2	0.339	1.65	8.66
	de l'échantillon	19.9	94.2	38.8	13.2	36.1	0.340	1.61	6.73

D'après les résultats des tableaux ci-dessus, on constate qu'il y a un rapprochement des valeurs des paramètres de la loi et celles des échantillons. À part pour la station de M'sila et Rocard sud, Sidi ouadah, Merouana, Aine khermne, Tarmount, qu'on voit qu'il y a une distinction des valeurs notamment pour les paramètres de la moyenne et la médiane.

Les Graphes d'ajustement de loi GEV pour les différentes stations étudiées sont présentés dans la figure suivante.



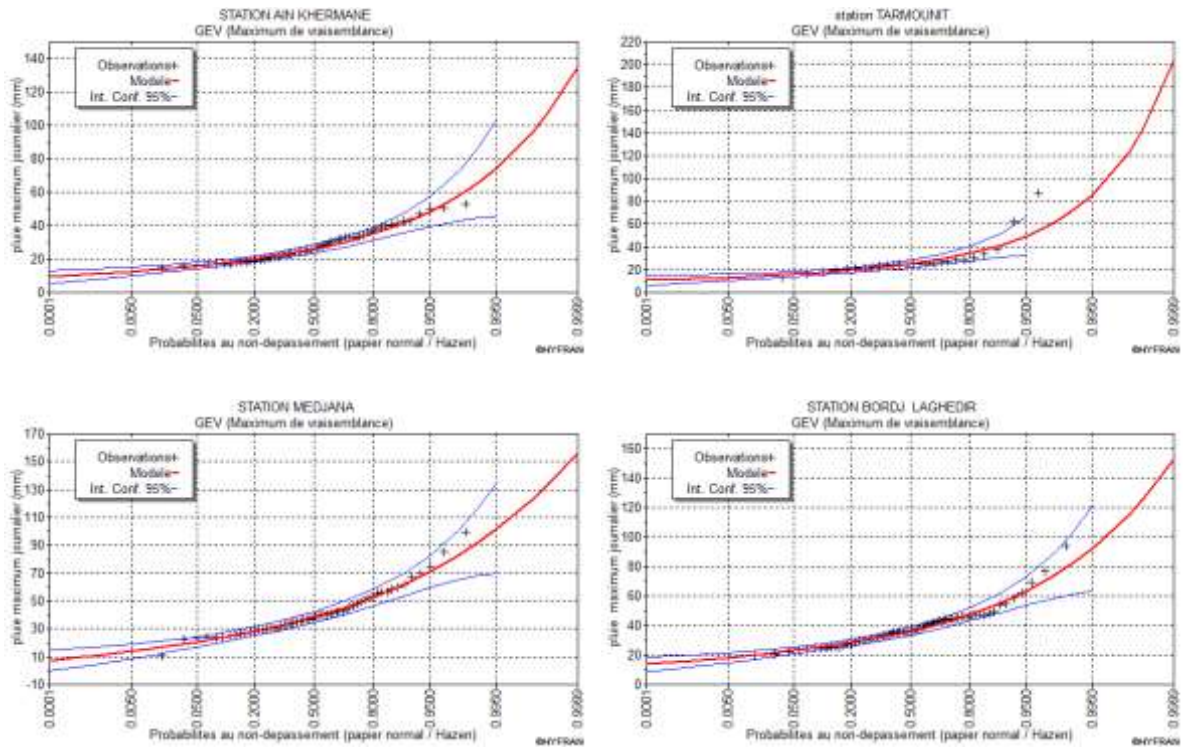


Figure II.4 Représentation graphique de la loi GEV

Les graphes des figures ci –dessus indique que les observation des stations de : Baniou , Ksob b , M’sila , rocad sud , Sidi ouadah , Ain kherrmane et Bordj laghdire sont distribuées de manière très proches et autour de la courbe théorique , elle sont aussi comprises toutes de confiance de 95% .

Pour les stations de : Merouana , Tarmount et Medjana , on remarque que les observations se distribuent de manière très proche e la courbe théorique et au tour d’elle . Mais elle n’appartient pas tous à l’intervalle de confiance de 95% , car se dernier très irrégulier .

III .4.3. L’ajustement de loi Weibull

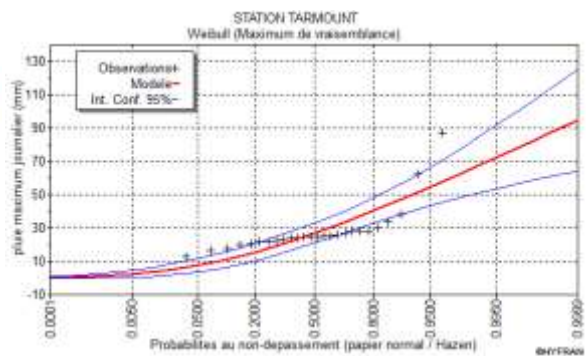
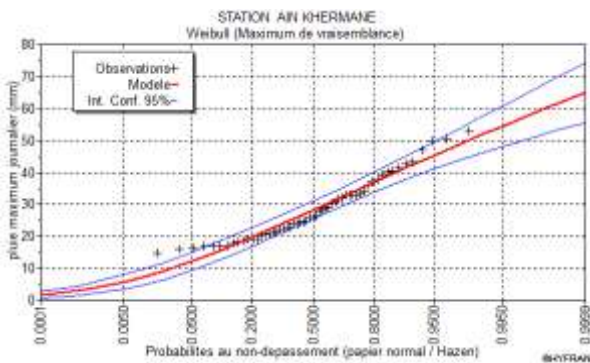
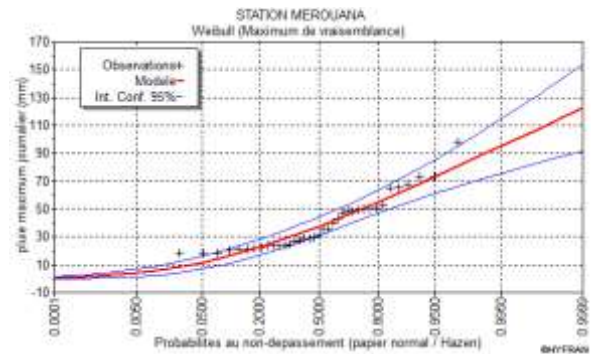
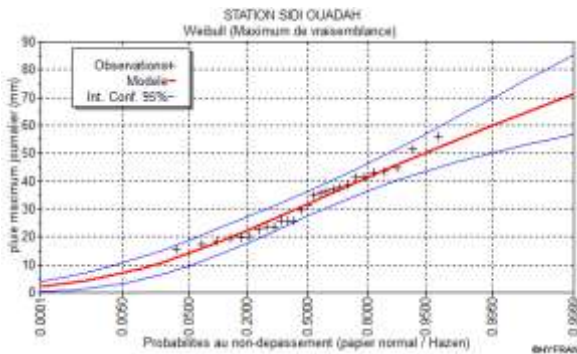
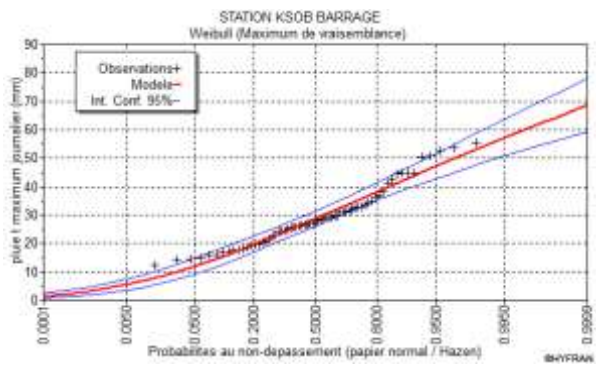
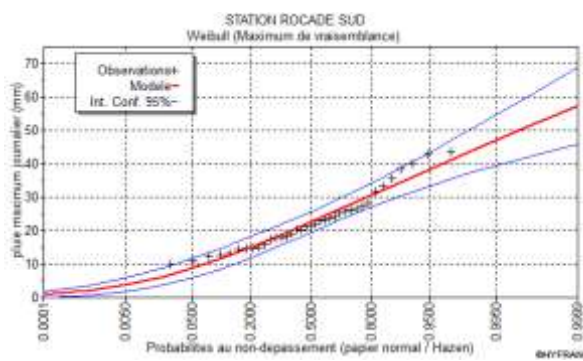
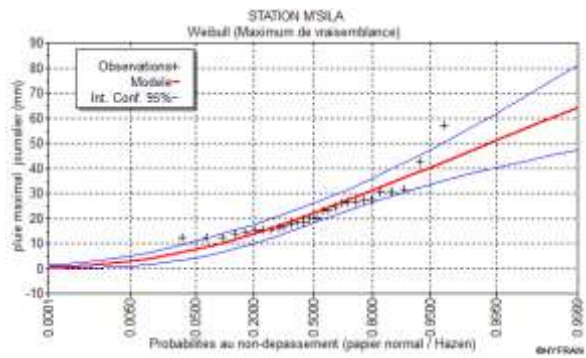
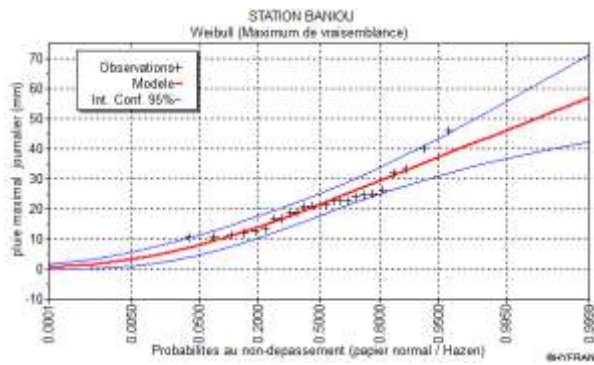
Une comparaison entre les caractéristiques de la loi et celles des échantillons est présentée dans le tableau suivant.

Tableau III.6 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Weibull et celles des échantillon

STATIONS	Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Cv	CS	CK
	Caractéristiques								
BANIOU	de la loi	Aucun	Aucun	21.8	8.86	21.8	0.407	0.00	3.00
	de l'échantillon	10.6	46.0	21.8	8.86	21.2	0.405	1.06	3.55
M'SILA	de la loi	Aucun	Aucun	22.7	9.89	22.7	0.435	0.00	3.00
	de l'échantillon	12.4	57.5	22.7	9.89	20.0	0.435	1.82	6.11
KSOB BARRAGE	de la loi	0.00	Aucun	29.1	10.6	28.9	0.365	0.173	2.73
	de l'échantillon	12.2	55.5	29.1	10.4	27.4	0.359	0.744	2.91
ROCAD SUD	de la loi	Aucun	Aucun	22.9	8.92	22.9	0.390	0.00	3.00
	de l'échantillon	10.0	43.5	22.9	8.92	21.1	0.390	0.796	2.96
SIDI OUADAH	de la loi	Aucun	Aucun	31.9	11.1	31.9	0.347	0.00	3.00
	de l'échantillon	15.7	56.2	31.9	11.1	31.5	0.347	0.358	2.02
MEROUAN	de la loi	Aucun	Aucun	39.2	19.5	39.3	0.497	0.00	3.00
	de l'échantillon	18.0	98.0	39.2	19.5	32.0	0.497	1.08	3.35
AINKHERMNE	de la loi	Aucun	Aucun	28.4	9.82	28.4	0.346	0.00	3.00
	de l'échantillon	14.8	53.0	28.4	9.82	26.1	0.346	0.717	2.56
TARMOUNT	de la loi	Aucun	Aucun	28.4	14.9	28.4	0.526	0.00	3.00
	de l'échantillon	13.0	87.0	28.4	14.9	24.9	0.526	3.01	10.2
MEDJANA	de la loi	0.00	Aucun	41.2	16.8	40.3	0.409	0.303	2.81
	de l'échantillon	10.7	99.3	41.2	16.4	37.8	0.398	1.28	7.78
BORDJ LAGHDIRE	de la loi	0.00	Aucun	38.7	14.3	38.3	0.369	0.184	2.74
	de l'échantillon	19.9	94.2	38.8	13.2	36.1	0.340	1.61	6.73

D'après les résultats des tableaux ci-dessus, on constate qu'il ya un rapprochement des valeurs des paramètres de la loi et celles des échantillons , a par pour la station de Medjana Bordj laghdire et Ksob barrage qu'on voit qu'il ya une distinction des valeurs notamment pour les paramètres de la moyenne et la médiane , donc on n'a pas un bon ajustement sur ces stations .

Les Graphes d'ajustement de loi Normale pour les différentes stations étudiées sont présentés ci-dessous.



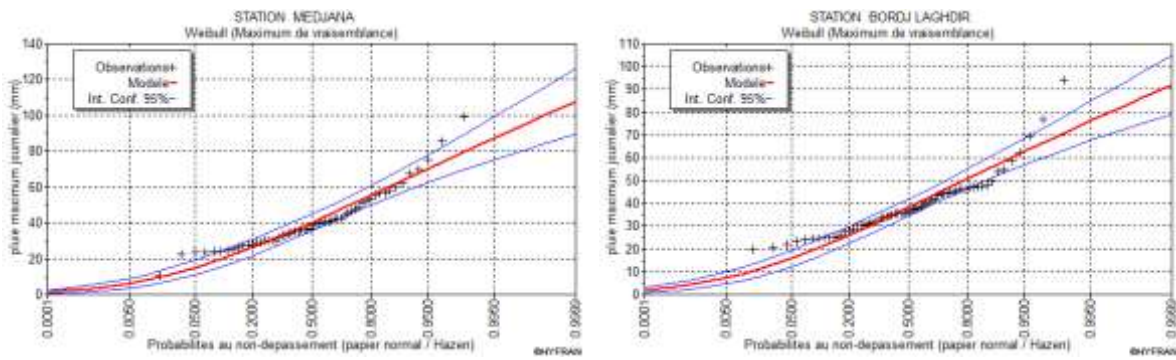


Figure II.5 Représentation graphique de la loi Weibull

L'analyse des graphes nous montre que les observations des stations de M'sila, Ksob barrage, Ain khermane, Medjana, Bordj laghdire et Tarmount sont distribuées de manière proche la courbe théorique, mais il existe quelques observations de chaque station qui ne sont pas comprises dans l'intervalle de confiance 95%.

Cependant les observations pour les stations de Merouna et Tarmount sont éloignées de la courbe théorique, mais aussi on trouve un nombre important d'observation qui n'appartient pas à l'intervalle de confiance 95%.

III .4.4. L'ajustement de loi Log normale

Une Comparaison entre les caractéristiques de la loi et celles des échantillons est présentée au tableau suivant.

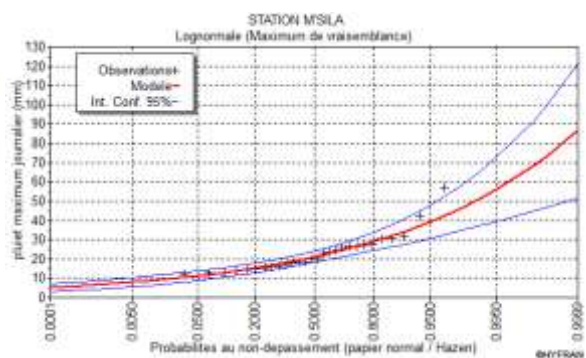
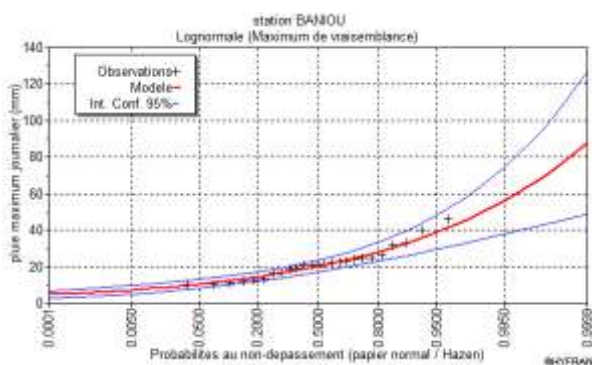
Tableau III.7 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Log Normale et celles des échantillons

STATIONS	Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Cv	Cs	Ck
	Caractéristiques								
BANIYOU	de la loi	0.00	Aucun	21.9	9.00	20.3	0.411	1.300	6.15
	de l'échantillon	10.6	46.0	21.8	8.86	21.2	0.405	1.06	3.55
M'SILA	de la loi	0.00	Aucun	22.7	8.92	21.2	0.393	1.24	5.85
	de l'échantillon	12.4	57.2	22.7	9.89	20.2	0.435	1.82	6.11

KSOB BARRAGE	de la loi	0.00	Aucun	29.2	10.8	27.4	0.369	1.16	5.47
	de l'échantillon	12.2	55.5	29.1	10.4	27.4	0.359	0.744	2.91
ROCADSUD	de la loi	0.00	Aucun	22.9	9.15	21.3	0.399	1.26	5.95
	de l'échantillon	10.0	43.5	22.9	8.92	21.1	0.390	0.796	2.96
SIDI OUADAH	de la loi	0.00	Aucun	32.0	11.9	30.0	0.370	1.16	5.49
	de l'échantillon	15.7	56.2	31.9	11.1	31.5	0.347	0.358	2.02
MEROUAN	de la loi	0.00	Aucun	39.2	19.4	35.1	0.495	1.61	7.91
	de l'échantillon	18.0	98.0	39.2	19.5	32.0	0.497	1.08	3.35
AINKHERMNE	de la loi	0.00	Aucun	28.4	9.87	26.9	0.347	1.08	5.16
	de l'échantillon	14.8	53.0	28.4	9.82	26.1	0.346	0.717	2.56
TARMOUNT	de la loi	0.00	Aucun	28.1	11.0	26.2	0.391	1.23	5.82
	de l'échantillon	13.0	87.0	28.4	14.9	24.9	0.526	3.01	10.2
MEDJANA	de la loi	0.00	Aucun	41.3	16.5	38.3	0.399	1.26	5.95
	de l'échantillon	10.7	99.3	41.2	16.4	37.8	0.398	1.28	4.78
BORDJ LAGHDIRE	de la loi	0.00	Aucun	38.8	12.3	36.9	0.318	0.987	4.78
	de l'échantillon	19.9	94.2	38.8	13.2	36.1	0.340	1.61	6.73

Les résultats du tableau ci-dessus indique que nos échantillons peuvent être présentés par le Log normale vraisemblance , car les valeurs des paramètres des échantillons son très proches à celle de la loi .

Les Graphes d'ajustement de loi Normale pour les différentes stations étudiées sont présentés ci-dessous.



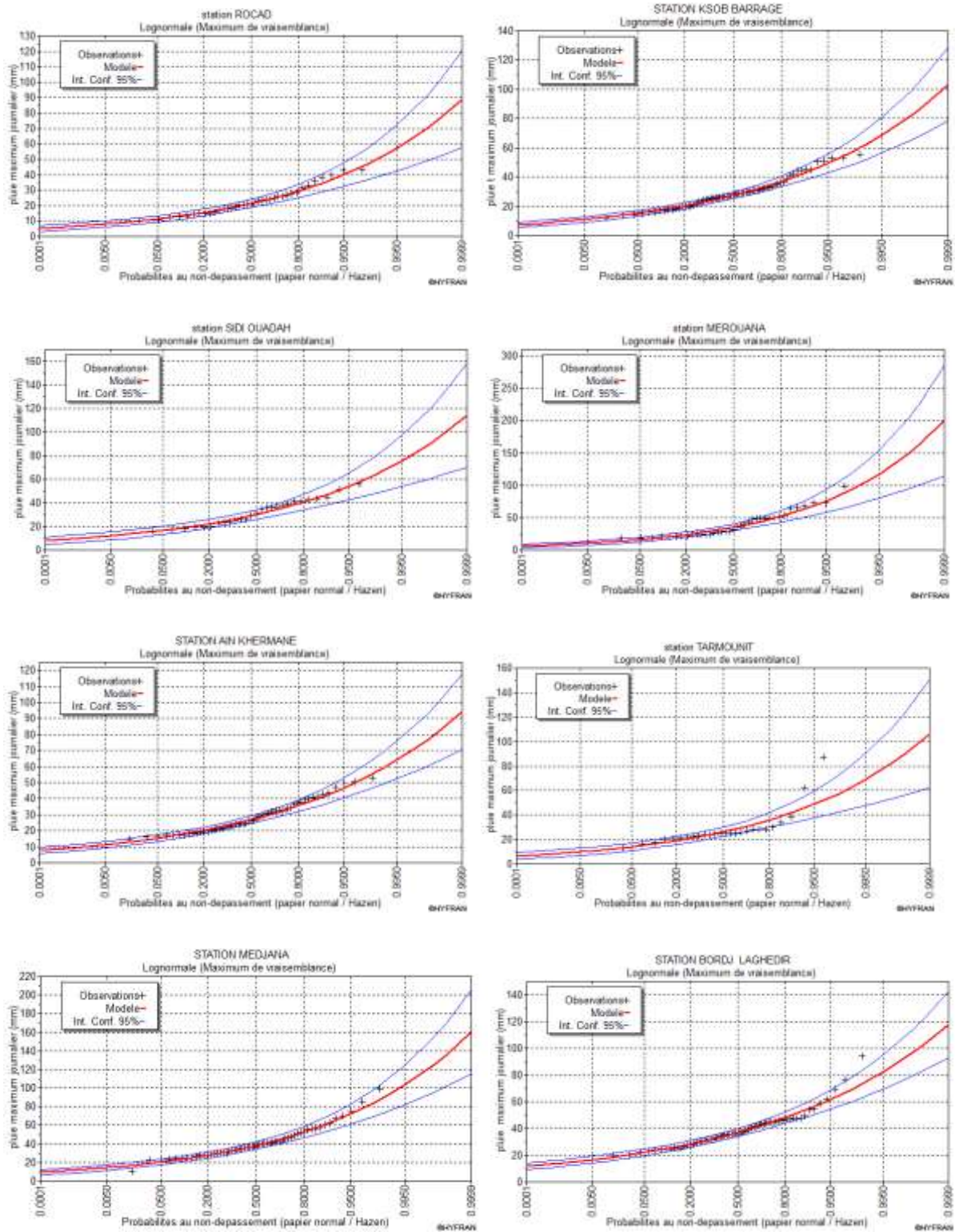


Figure II.6 Représentation graphique de la loi Log normale

D'après l'analyse des graphes, on remarque l'ensemble des observations des stations sont autour de la courbe théorique comprise dans un intervalle de confiance de 95% . sauf quelques observations à la station M'sila, Tarmount , Medjana et Bordj laghdire .

III .4.5. L'ajustement de loi Gamma

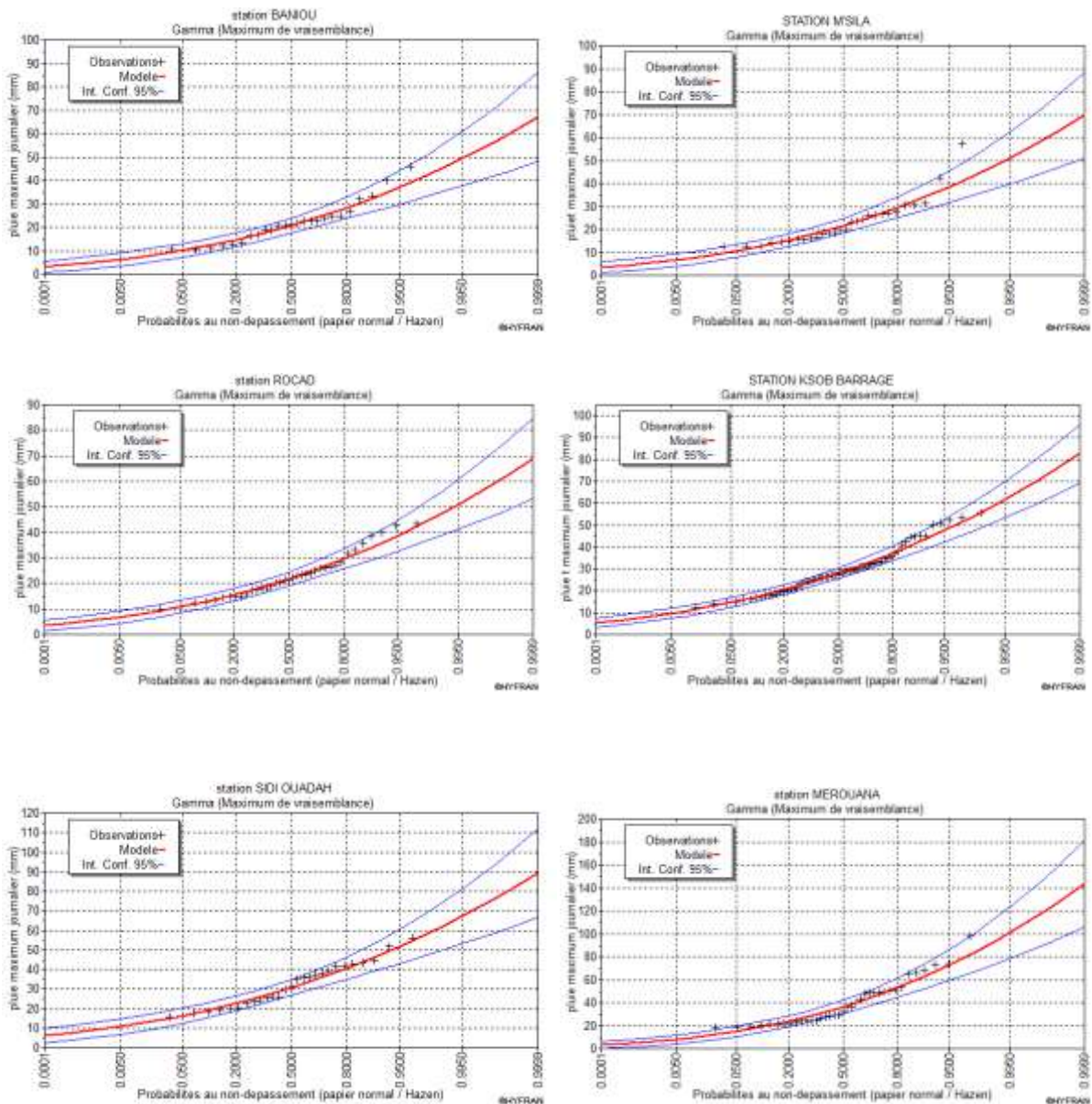
Une Comparaison entre les caractéristiques de la loi et celles des échantillons est présentée au tableau suivant.

Tableau III.8 Comparaison entre les caractéristiques de la loi Gamma et celles des échantillons

STATIONS	Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	Médiane	Cv	Cs	Ck
	Caractéristiques								
BANIYOU	de la loi	0.00	Aucun	21.9	9.00	20.3	0.411	1.30	16.15
	de l'échantillon	10.6	46.0	21.8	8.86	21.2	0.405	1.06	3.55
M'SILA	de la loi	0.00	Aucun	22.7	8.67	21.7	0.381	0.762	3.87
	de l'échantillon	12.4	57.2	22.7	9.89	20.2	0.435	1.82	6.11
KSOB BARRAGE	de la loi	0.00	Aucun	29.1	10.2	27.9	0.349	0.698	3.73
	de l'échantillon	12.2	55.5	29.1	10.4	27.4	0.359	0.744	2.91
ROCADSUD	de la loi	0.00	Aucun	22.9	8.56	21.8	0.374	0.748	3.84
	de l'échantillon	10.0	43.5	22.9	8.92	21.1	0.390	0.796	2.96
SIDI OUADAH	de la loi	0.00	Aucun	31.9	11.0	30.6	0.344	0.687	3.71
	de l'échantillon	15.7	56.2	31.9	11.1	31.5	0.347	0.358	2.02
MEROUAN	de la loi	0.00	Aucun	39.2	18.0	36.5	0.460	0.921	4.27
	de l'échantillon	18.0	98.0	39.2	19.5	32.0	0.497	1.08	3.35
AINKHERMNE	de la loi	0.00	Aucun	28.4	9.46	27.4	0.33	0.666	3.76
	de l'échantillon	14.8	53.0	28.4	9.82	26.1	0.346	0.717	2.56
TARMOUNT	de la loi	0.00	Aucun	28.4	11.4	26.9	0.402	0.804	3.97
	de l'échantillon	13.0	87.0	28.4	14.9	24.9	0.526	3.01	10.2
MEDJANA	de la loi	0.00	Aucun	41.2	15.5	39.3	0.375	0.750	3.84
	de l'échantillon	10.7	99.3	41.2	16.4	37.8	0.398	1.28	4.78
BORDJ LAGHDIRE	de la loi	0.00	Aucun	38.8	12.3	36.9	0.318	0.987	4.78
	de l'échantillon	19.9	94.2	38.8	13.2	36.1	0.340	1.61	6.73

D'après les tableaux ci-dessus .on voit une distinction des valeurs entre les échantillons et la loi pour l'ensemble des stations .Donc on peut dire qu'on n'a pas un bon ajustement de nos données .

Les Graphes d'ajustement de loi Normale pour les différentes stations étudiées sont présentés ci-dessous.



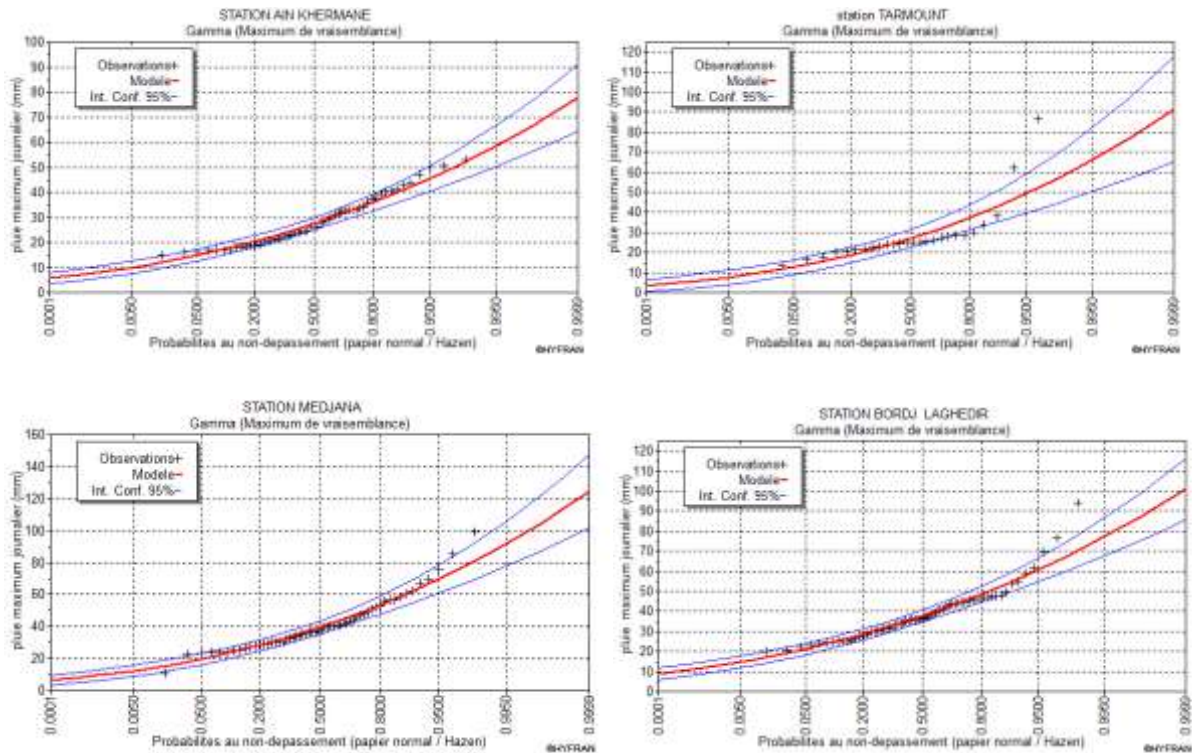


Figure II.7 Représentation graphique de la loi Gamma

D'après la consultation des graphes ci-dessus, on remarque les données sont distribuées autour de la courbe théorique et comprise dans l'intervalle de confiance de 95% mis à part pour les stations de M'sila, Tarmount, Medjana et Bordj laghdire. On observe quelques données en dehors de cet intervalle.

III .5.Sélection des lois

Il existe plusieurs critères pour comparer les différentes méthodes d'analyse des lois de probabilités et pour choisir la loi qui s'adapte le mieux avec les pluies maximales journalières de la région.

On utilise alors dans cette partie les critères suivants :

III .5.1.Test de Pearson khi- Deux(x^2)

Le test d'adéquation khi 2 reste toujours un bon moyen de juger la qualité d'un ajustement, c'est un test ancien et le plus utilisé, très connu, mis aussi c'est un test non paramétrique.

On utilisé ce test pour pouvoir s'avoir si nos échantillons ,provient d'une distribution fixée à l'avance. Et pour cela on représente les résultats de l'évaluation de nos données par le test de X^2 dans le tableau suivant :

Tableau III.9 : Résultats d'ajustement des séries pluviométriques aux lois statistiques(Test de Pearson Khi-Deux

Lois Statistiques	Gumbel	GEV	Weibull	Log normale	Gamma
Stations					
BANIUO	6.64	9.44	7.76	6.64	6.08
M'SILA	5.00	4.00	14.50	5.50	6.50
KSOB BARRAG	7.18	6.28	9.87	8.07	5.69
ROCAD SUD	2.14	1.27	3.43	0.84	0.84
SIDI OUADAH	5.41	2.81	3.33	5.41	3.85
MEROUANA	13.38	6.89	26.35	13.38	10.78
AINKHERMNE	4.23	4.23	14.75	2.82	3.53
TARMOUNT	7.38	8.46	23.00	6.85	14.38
MEDJANA	5.10	3.03	10.62	6.48	7.86
BORDJ LAGHDIRE	13.15	17.33	14.64	15.84	14.64

D'après les résultats des tests χ^2 , indique le tableau ci-dessus . On remarque que la loi Weibull surestime les fortes valeurs des stations et la loi qui présente un χ^2 le plus faible c'est la loi Log normale et Gamma.

Cette résultats nous conduite a l'émanation de trois lois pour quatre stations

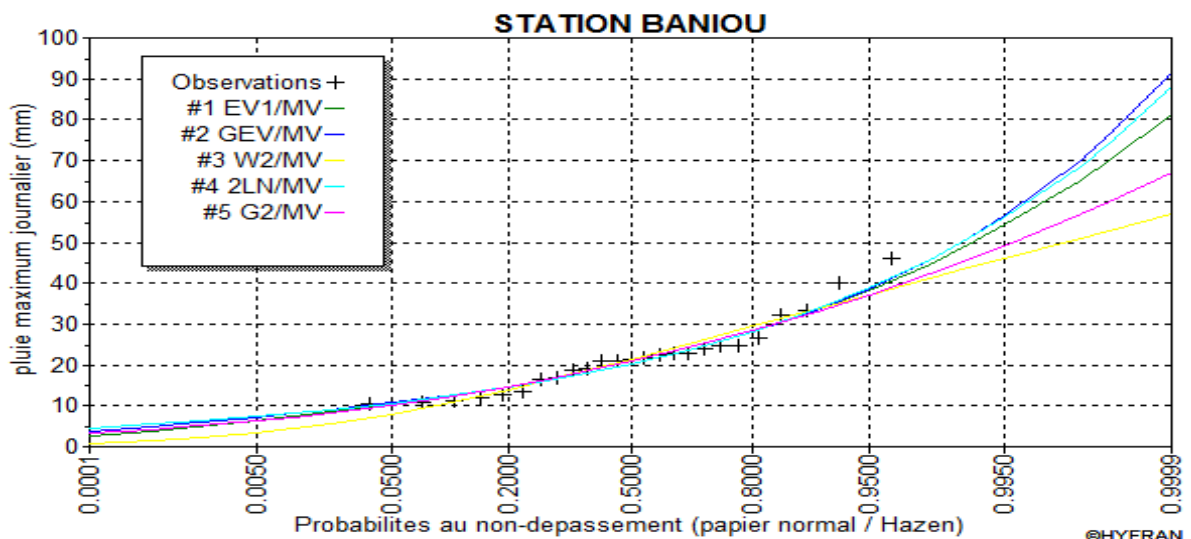
- ✓ M'sila (weibull)
- ✓ Merouana (weibull)
- ✓ Tarmount (weibull, Gamma)
- ✓ Bordj Laghdire (GEV)

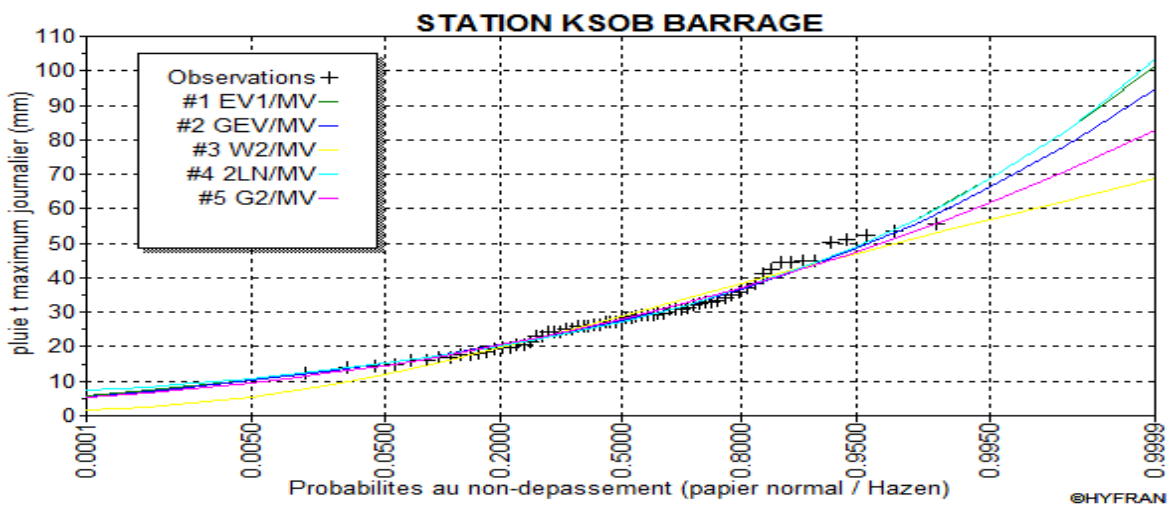
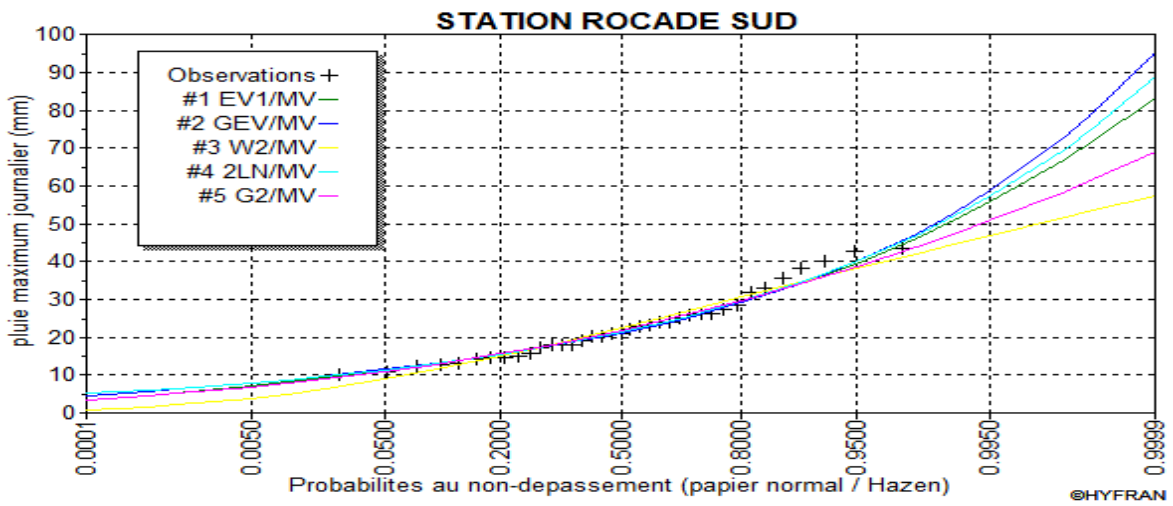
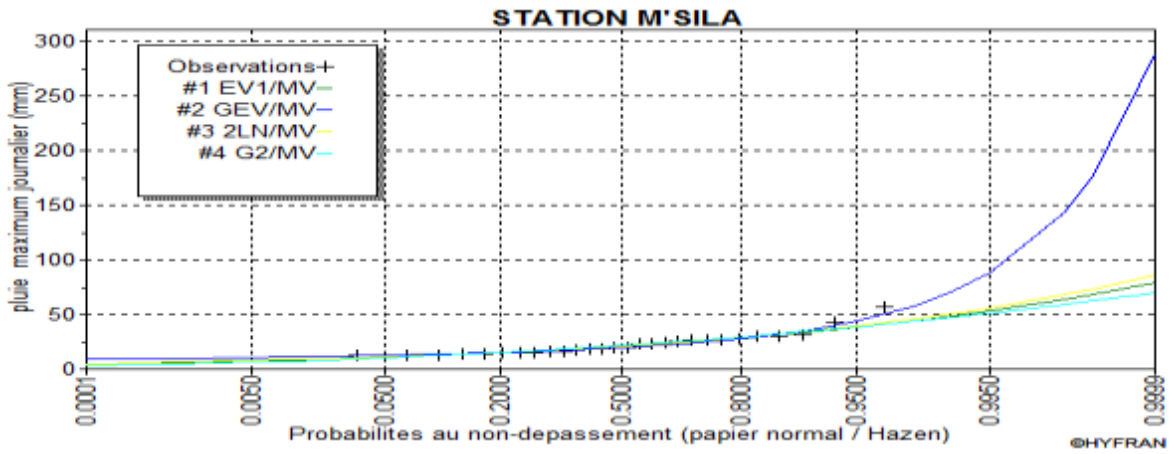
III .5.2.Représentation graphique

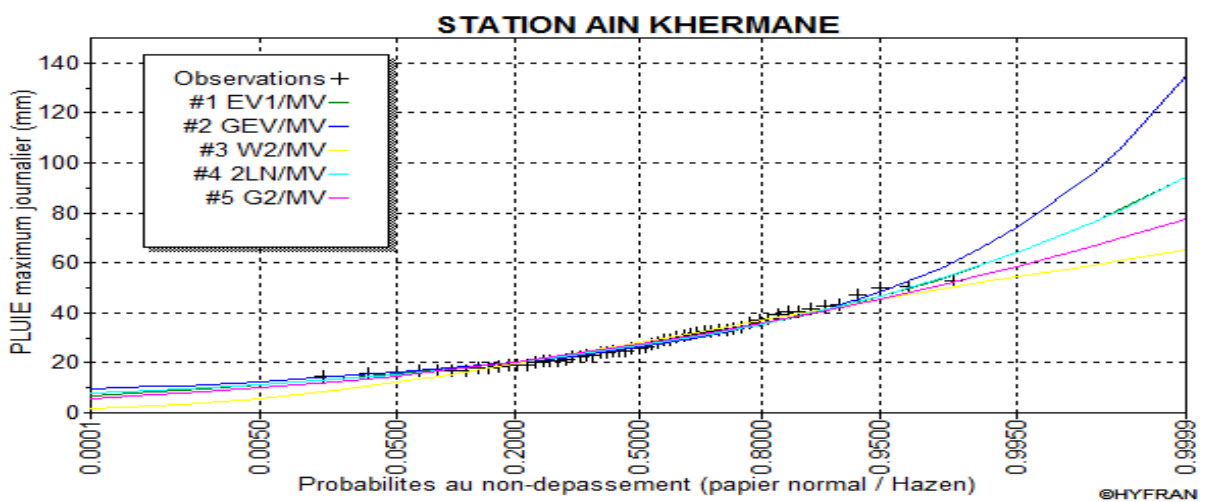
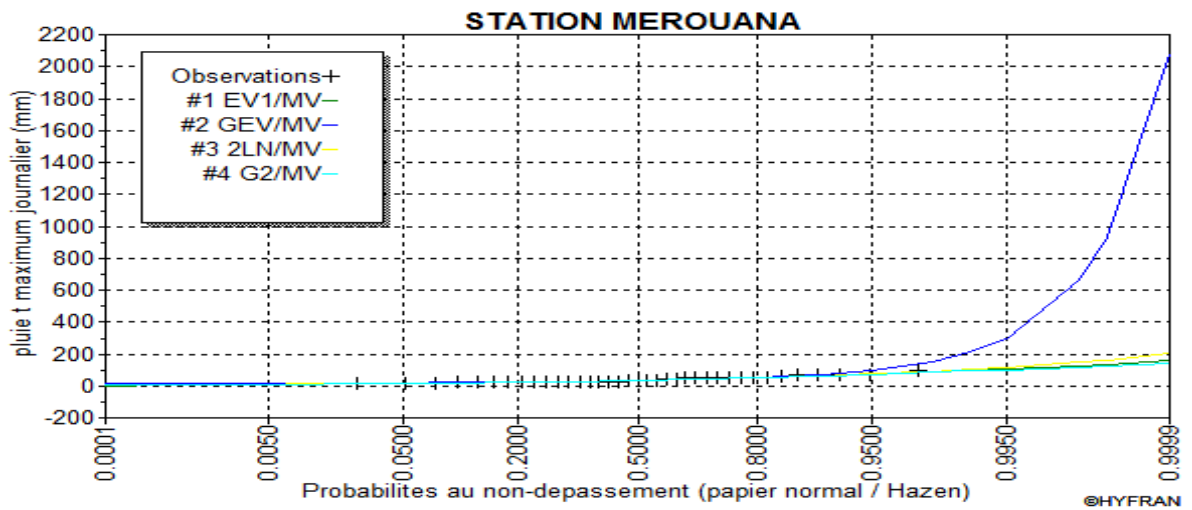
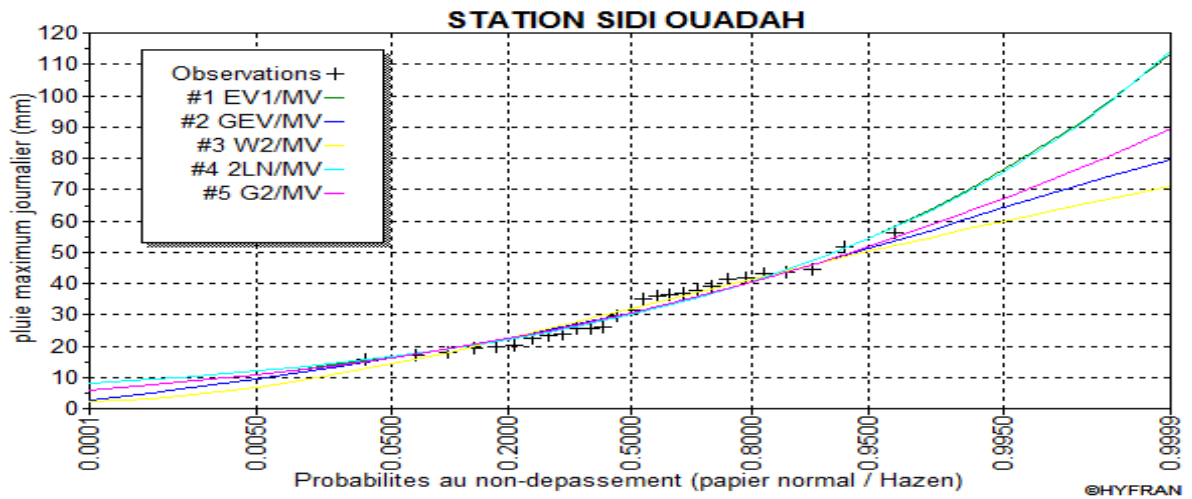
Une Comparaison graphique ente les lois différentes lois d'ajustement est présentée ci-dessous.

Les lois comparées sont celles accepté par le test de χ^2 , donc on ignore les lois suivantes :

- ✓ Weibull pour les stations M'sila et Merouana , Tarmounet
- ✓ Gamma pour station Tarmounet
- ✓ GEV pour station Bordj Laghdire







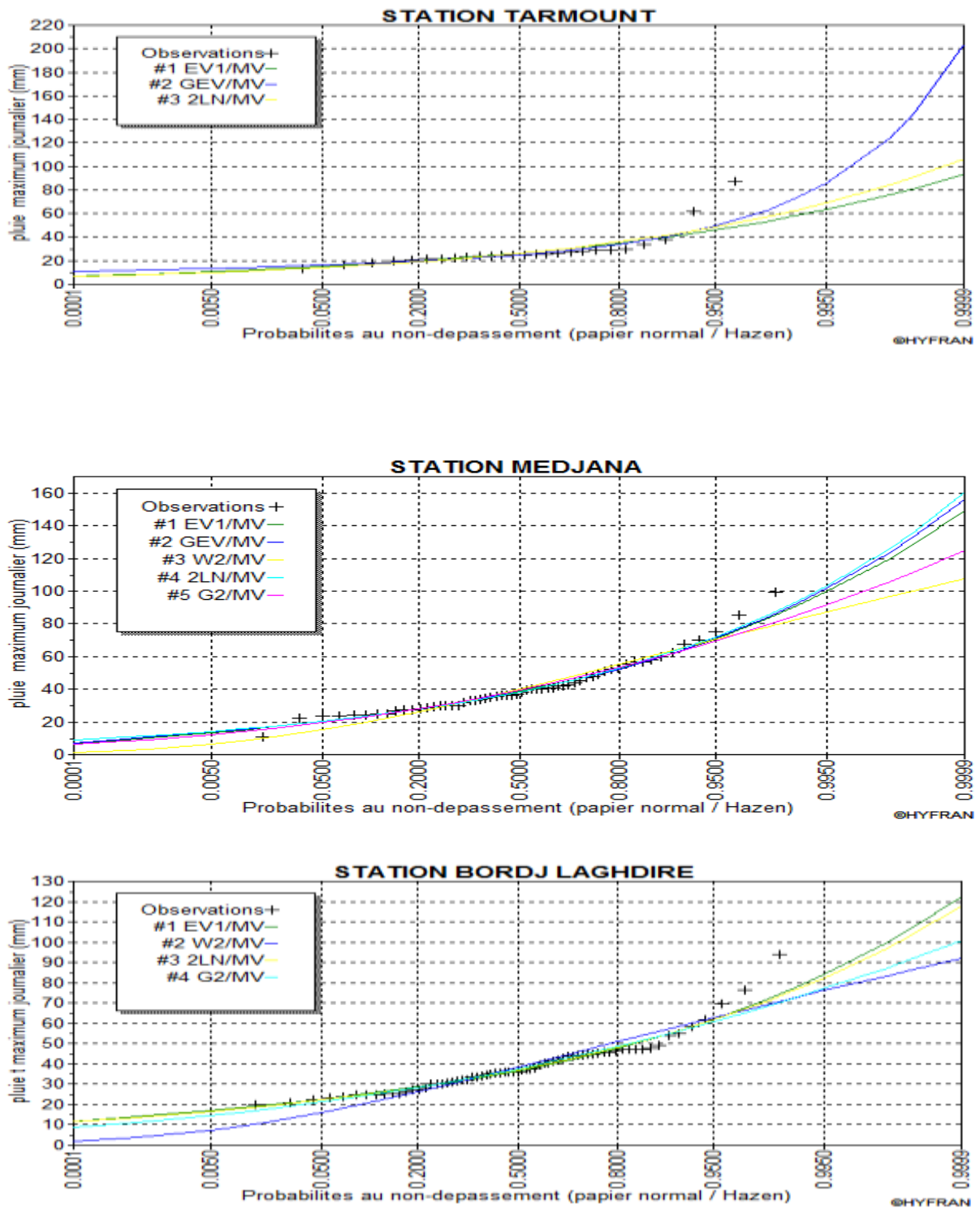


Figure II.8 Comparaison graphique des ajustements aux différentes distributions

D'après l'analyse des graphes ci-dessus, qui présente la comparaison graphique des cinq lois utilisées dans notre travail sur une même stations, on constate que :

- ✓ La loi log-normale est la meilleur en donnant un meilleur ajustement sur la station de Baniou, M'sila, ksob barrage, Racad Sud, Merouana et Ain kherrane.

- ✓ La loi de Gumble, s'adapte mieux que toutes les autres lois avec les données de la station de Medjana et Bordj laghdire .
- ✓ La Loi Gamma, s'adapte mieux que toutes les autres lois avec les données de la station de Sidi ouadah
- ✓ La Loi GEV , donne le meilleur ajustement sur la station de Tarmount

III .5.3.Critère d'information d'Akaike et Bayesian

Les résultats des deux critères appliqués sur nos données sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.10 Résultats des d'Akaike et celle Bayesian sur nos stations

Stations	Lois d'ajustement	BIC	AIC
BANIQU	Log normale (Maximum de vraisemblance)	<u>180.380</u>	<u>177.943</u>
	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	180.718	178.280
	Gamma (Maximum de vraisemblance)	180.969	178.531
	GEV (Maximum de vraisemblance)	183.817	180.16
	Webiul(Maximum de vraisemblance)	183.868	181.340
M'SILA	Log normale (Maximum de vraisemblance)	<u>201.590</u>	<u>198.926</u>
	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	2020.590	199.349
	GEV (Maximum de vraisemblance)	202.557	198.560
	Gamma(Maximum de vraisemblance)	204.256	201.591
KSOB BARRAGE	Log normale (Maximum de vraisemblance)	<u>502.971</u>	<u>498.561</u>
	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	503.348	498.939
	Gamma I(Maximum de vraisemblance)	503.605	944.196
	GEV (Maximum de vraisemblance)	507.497	500.833
	Weibull (Maximum de vraisemblance)	509.850	505.441
ROCAD SUD	Log normale (Maximum de vraisemblance)	<u>266.805</u>	<u>263.583</u>

	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	267.249	264.027
	Gamma (Maximum de vraisemblance)	267.562	264.341
	GEV (Maximum de vraisemblance)	270.735	265.902
	Weibull (Maximum de vraisemblance)	271.11	267.889
SIDI OUADAH	Gamma (Maximum de vraisemblance)	<u>210.318</u>	<u>207.726</u>
	Log normale (Maximum de vraisemblance)	210.546	207.954
	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	210.984	208.393
	Webiull (Maximum de vraisemblance)	211.165	208.573
	GEV (Maximum de vraisemblance)	213.923	210.035
MEROUANA	Log normale (Maximum de vraisemblance)	<u>318.362</u>	<u>315.140</u>
	GEV (Maximum de vraisemblance)	319.770	314.937
	Gamma (Maximum de vraisemblance)	320.787	317.565
	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	320.897	317.676
AIN KHERMANE	Log normale (Maximum de vraisemblance)	<u>20.052</u>	<u>415.966</u>
	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	420.427	416.341
	Gamma (Maximum de vraisemblance)	421.673	417.586
	GEV (Maximum de vraisemblance)	423.981	471.851
	Webiull (Maximum de vraisemblance)	427.857	423.771
TARMOUNT	GEV (Maximum de vraisemblance)	<u>59.50</u>	<u>195.993</u>
	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	21.97	197.985
	Log normale (Maximum de vraisemblance)	18.53	198.326
MEDJANA	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	<u>482.726</u>	<u>478.605</u>
	Log normale (Maximum de vraisemblance)	843.801	479.680
	Gamma (Maximum de vraisemblance)	484.707	480.586
	GEV (Maximum de vraisemblance)	486.717	480.536

	Webiull (Maximum de vraisemblance)	429.944	488.823
BORDJ LAGHDIRE	Gumbel (Maximum de vraisemblance)	<u>524.397</u>	<u>519.988</u>
	Log normale (Maximum de vraisemblance)	524.922	520.583
	Gamma (Maximum de vraisemblance)	528.690	524.281
	Webiull (Maximum de vraisemblance)	544.124	539.715

Les résultats présentés dans le tableau indique que les critères d'AIC et BIC Les plus faibles appartient a la loi **Log –normale** ,pour les stations de Baniou, M'sila , ksob barrage ,Rocad Sud , Merouana , Ain kherrane.

Les critères d'AIC et BIC les plus faibles sont ceux de loi **Gumbel** , pour les stations Medjana et Bordj laghdire.

Les critères d'AIC et BIC les plus faibles sont ceux de loi **Gamma** , pour la station Sidi ouadah

Les critères d'AIC et BIC les plus faibles sont ceux de loi **GEV** , pour la station Tarmount.

III .6. Récapitulatif des modèles d'ajustement des stations

Les statistiques des pluies maximales journaliers des dix stations du bassin hodna .ont donné des résultats différents dont la loi Log normale s'ajuste à 60% des stations et donne la meilleure ajustement des pluies maximales journaliers .la loi Gumbel permet l'ajustement de 20% alors que loi de GEV 10% et la loi Gamma 10%.

Tableau III.11 Récapitulatif des modèles d'ajustement des stations du bassin hodna

Station	Modèle d'ajustement
BANIUO	Log normale
M'SILA	Log normale
KOSOB B	Log normale
ROCAD SUD	Log normale

SIDI OUADAH	Gamma
MEROUANA	Log normale
AINKHERMNE	Log normale
TARMOUNT	GEV
MEDJANA	Gumbel
BORDJ LAGHDIRE	Gumbel

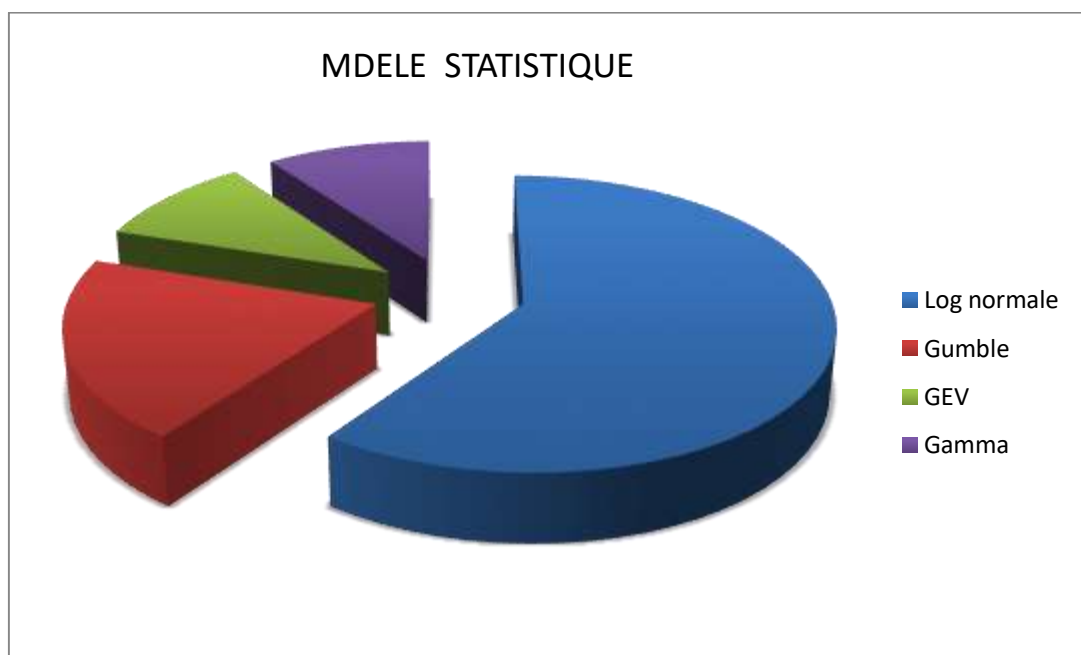


Figure III.9 : Représentation graphique des pourcentage d'ajustement aux différents lois

III .7. Quantiles estimés sur les stations

Tableau III.12 Hauteur pluviométriques (mm) pour différente période de retour par la loi Log –normale

période de retour	T=5 ans	T=10 ans	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=1000 ans
Stations						
BANIUO	28.3	33.3	38.8	45.6	50.8	68.7
M'SILA	29.0	34.3	39.4	46.0	51.0	68.1
KSOB BARRAGE	36.9	43.2	49.2	57.0	62.8	82.5
ROCAD SUD	25.2	29.0	32.4	36.3	39.6	48.8
MEROUANA	52.1	64.0	75.8	91.8	104	149
AINKHERMNE	35.7	41.4	46.8	53.7	58.9	76.2

L'analyse de ce tableau montre que, les pluies maximales probables de la station de Merouana sont plus grandes par rapport aux autres stations, a titre d'exemple pour une période de retour de 5 ans, les hauteurs des pluies probables varient entre de 25.2mm (Rocad sud) à 52.1 mm (Merouana).

Tableau III.13 Hauteur pluviométriques (mm) pour différente période de retour par la loi Gumbel

période de retour	T=5 ans	T=10ans	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=1000 ans
Stations						
MEDJANA	53.0	62.8	72.2	84.4	93.8	126
BORDJ LAGHDIRE	48.0	55.0	61.6	69.9	76.1	96.5

Pour les périodes de retour, les grandes quantiles ont étaient marqués à la station de Medjana .

Tableau III.14 Hauteur pluviométriques (mm) pour différente période de retour par la loi Gamma

période de retour	T=5 ans	T=10 ans	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=1000 ans
Stations						
SIDI OUADAH	40.6	47.5	54.2	62.7	69.2	91.0

Tableau III.15 Hauteur pluviométriques (mm) pour différente période de retour par la loi GEV

période de retour	T=5 ans	T=10 ans	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=1000 ans
Stations						
TARMOUNT	35.9	42.4	48.6	56.8	69.1	83.9

Conclusion

Dans ce chapitre, nous a permis à conclure que les résultats d'ajustement des précipitations maximales journalières de bassin versant du hodna obtenu par le logiciel Hyfran montre que la loi log –normale s'ajuste Mieux avec les station de Baniou, M'sila , ksob barrage ,Rocad Sud , Merouana et Ain khermane, et la loi Gumble s'ajuste Mieux avec les station Medjana et Bordj laghdire. Ainsi que les résultats d'ajustement des précipitations maximales journalières de la Station Tarmount on remarque que les données s'ajustent mieux à la loi GEV et les résultats d'ajustement de station Sidi ouadah s'ajustent mieux à la loi Gamma par rapport aux autre lois .

Conclusion générale

ONCLUSION GENERALE

CA travers notre travail présente par l'analyse fréquentielle que a pour objectif de trouver des lois d'ajustement statistique que puissent représenter les données des pluies journalières maximales de treize stations situées dans le bassin versant du hodna gérer par l'agence national de ressource hydrique(ANRH) et de choisir parmi ces lois ajustées celle qui s'adapte le mieux avec nos données mais aussi de pouvoir trouver une meilleure méthode d'estimation des paramètres

L'analyse a d'abord commencé par la présentation de la zone d'étude et l'emplacement des stations pluviométriques dans la région, afin d'avoir des informations sur le climat et sur la nature des précipitations. dans se que suit in a présenté les différentes lois de distribution statistique qu' on a utilisée, et pour terminer des applications ont été faites sur les données des cinq stations (Baniou , m'sila , Ksob barrage ,Slim , Rocad sud , sidi ouadah ,Merouana ,Ain khermne, Tarmount ,Medjana , bordj laghdir,Bordj bou arreridj , Medjaz) afin de pouvoir choisir et compare entre les différentes lois de distribution

Les étapes principales de l'analyse fréquentielle adapte par se travail sont accomplies parle logiciel HYFRAN-plus

Les résultats des applications et des ajustements graphiques ont confirmé l'adéquation de le méthode des maximums de vraisemblance pour l'ensemble des échantillons.

Les résultats du test de khi 2 noud a conduit a l'émanation de trois lois pour quatre stations

- M'sila (weibull)
- Merouana (weibull)
- Tarmount (weibull, Gamma)
- Bordj Laghdire (GEV)

Les résultats obtenus indiquent que l'ensemble des lois de distribution ajustées ont données des bons ajustements sur nos données pluviométriques, mais d'après les critères d'infirimation d'AIC et de BIC les meilleures lois que s'adapte avec nos donnees sont la loi

- La loi log –normale est la meilleur qui nos donne un meilleur ajustement sur la station de Baniou, M'sila , ksob barrage ,Rocad Sud , Merouana et Ain khermne.

CONCLUSION GENERALE

- La Loi Gumble, représente le meilleur ajustement sur la station de Medjana et Bordj laghdire .
- La Loi GEV, représente le meilleur ajustement sur la station de Tarmount
- La Loi Gamma, représente le meilleur ajustement sur la station de Sidi ouadah

Références bibliographiques

- **Adoui H., 2013.** Etude de la vulnérabilité du bassin versant du Hodna aux inondations, Mémoire soutenu a l'université de M'sila pour obtenir le diplôme de Master. p 07
- **Agence Nationale des Ressources Hydrique** de M'sila et B B A p13
- **Akaike, H. 1974.** A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Automat. Control, 19: 716-723. p 25
- **BELAGOUNE F,2012** Etude et modalisation des crues des cours d'eaux en milieu semi aride, cas des grands Bassins 5,6,7 en vue de l'obtention du diplôme de magister en hydraulique option aménagement hydraulique en zones arides, université de KASDI MERBAH Ouargla, p 06
- **Bouteldja N. 2005.** Contribution à la modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant du Hodna sous bassins versants du Ksob et de Soubella (Algérie), Thèse de doctorat en Géographie à l'université de la Provence Aix-Marseille. P08 p 09
- **GRINE, R. 2009.** Les perspectives hydrogéologiques de la cuvette hodneenne. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister en sciences de la terre .Spécialité : Hydrogéologie, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene. P08
- **Hasbaia M., Hedjazi A., & Benayada L. 2012.** Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna: cas du sous-bassin versant de l'Oued elham.Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires 02.

- **Hedjazi A. 2009** . Quantification des apports liquides et solides de l'Oued El-ham. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique : option hydraulique urbaine, Université de M'sila. p 09
- **Laborde J. P. 2009** .Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice-Sophia Antipolis. France 2009 p 23
- **Meylan P., Musy A. 1999** Hydrologie fréquentielle.HGA, Bucarest, p15
- **Rao, A.R., Hamed , K.H. 2001.** Flood Frequency analysis. CRC Press, New York, United States, p26
- **Remini, B. 2009.** Algérie_ Rapport_national_eau_adaptation, Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. P10.
- **Roche P.A, Miquel J.et Gaume E.2012** Hydrologie quantitative: Processus, modèles et aide à la décision. Springer Science & Business Media p22.
- **Schwarz, G. 1978.** Estimating the dimension of a mode. Ann. Stat. 6: 461-464.p25.
- **Soro, G.E., Goula Bi, T.A., Kouassi, F.W., Srohourou, B..2010.** Update of IntensityDuration- Frequency Curves for Precipitation of Short Durations in Tropical Area of West Africa (Cote d'Ivoire). Journal of Applied Sciences p 26.
- **Zeroual S .2016.** Etude de la sensibilité du sous bassin versant de Ksob a l'érosion hydrique par une approche quantitative, , Université de m'sila. p 09.

Résumé

L'estimation des statistiques liées aux précipitations représente un vaste domaine qui pose de nombreux défis aux météorologues et hydrologues. Parfois, il est nécessaire, voir indispensable d'approcher en valeur les évènements extrêmes pour des sites où il existe peu, ou aucune donnée, ainsi que leurs périodes de retour. La recherche d'un modèle de fréquence des hauteurs de pluies journalières revêt une grande importance en hydrologie opérationnelle: elle constitue la base de calcul de la crue de projet associée à une probabilité d'occurrence donnée, une fois les quantiles déterminés. L'approche la plus connue et la plus courante est l'approche statistique. Elle consiste à rechercher une loi de probabilité qui s'ajuste le mieux aux valeurs observées de la variable aléatoire "pluie maximale journalière" après comparaison de différentes lois de probabilités et méthodes d'estimation à l'aide de tests d'adéquation. De ce fait, une analyse fréquentielle de séries annuelles de pluies maximales journalières a été réalisée sur les données de 13 stations pluviométriques du bassin du hodna. Ce choix a été porté sur cinq lois usuellement appliquées à l'étude et l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales.. Elle a servi à la prévision des quantiles. Les lois utilisées sont : la loi généralisée des extrêmes GEV) à trois composantes, celles des valeurs extrêmes à deux composantes (Gumbel et log normale , weibull, Gamma) .

Mots clés : Pluies, maximales journalières, Statistiques, Bassin du hodna

Abstract.

The estimation of statistics related to precipitation represents a broad field that poses many challenges to meteorologists and hydrologists. Sometimes it is necessary, even essential to approach the value in extreme events for sites where there is little or no data, also their returning periods. Finding a frequency Model of daily rainfall amounts is important in operational hydrology: it is the basis for calculating the flood for the associated project with a given probability, once quantizes are determined. The best known and most common approach is the statistical one. It is to seek a distribution probability which best fits the observed values of the random variable "maximum daily rainfall" after comparing different distributions probability and estimation methods with fit testing. Therefore, a frequency analysis of annual series of daily maximum rainfall was done on data from 13 rainfall stations of "Hodna" Basin. This choice was focused on five laws usually applied on the study and the

frequency analysis of maximum daily rainfall. It has served to forecast quantizes. The used laws are: the law of generalized extreme (GEV) to three components, those of two component extreme value (Gumbel , log normal, weibull and Gamma) .

Keywords: Rain, daily maximum, Statistics, "hodna " Basin

ملخص

ان تقدير الاحصائيات المترتبة بهطول الامطار يمثل مجال كبيرا يطرح فيه العديد من التحديات بين خبراء الارصاد الجوية والهيدرولوجيا .

البحث عن نموذج تردد لمرتفعات هطول الامطار اليومية له اهمية كبيرة في الهيدرولوجيا التشغيلية هي تشكل الاساس لي حساب مشروع الفيضانات المحتمل وقوعها بمجرد تحديد الكميات. المنهج الاكثر تداولاً والاكثر شيوعاً هو المنهج الاحصائي الذي يتكون من البحث عن قانون الاحتمالات المناسب لقيم المرصود المتغير العشوائي (الحد الاقصى لهطول الامطار اليومية) , بعد مقارنة مختلف قوانين الاحتمالات و ذلك باستخدام اختبارات بالجودة الملائمة و بالتالي تحاليل متكررة لسلسلة سنوية من الامطار القصوى اليومية تم اجرائها على 13 محطة لقياس هطول الامطار على مستوى حوض الحضنة عادة ما يتم اجراء هذا الاختبار على اربع قوانين لدراسة : GEV ,Gumbel , webuill , log ,normale , Gamma .

الكلمات المفتاحية: ا مطار , حد الاقصى , احصاء , حوض الحضنة.