

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de sciences et Techniques



N° Ref :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Sciences Hydrauliques.

THEME

Analyse fréquentielle des données pluviométriques de la ville de Mila

Présenté par :

- Azioui Asma

Soutenu devant le jury :

M. Koussa Miloud
M. Keblouti Mehdi
M. Tourki Mahmoud

Président
Promoteur
Examineur

Année universitaire : 2016/2017



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À Celle à qui mon cœur depuis sa naissance n'a pas pu éprouver qu'amour et reconnaissance, à celle qui a donné un sens à mon existence en m'offrant une éducation digne de confiance.

À mon père Kamal

À ma Mère Yasmina

A mon mari Riad

À Tous les membres de ma famille

Mes frères Radouan, Bilal et ma sœur Randa, son mari Ilyass et ma belle Rouaya.

Et tout mon amour à mes amis et mes collègues de la deuxième promotion hydraulique.



REMERCIEMENTS

En tout premier lieu je remercie ALLAH le tout puissant qui m'a donnée de la force, du courage et surtout de la patience pour bien vouloir terminer et réussir ce modeste travail.

Je souhaite dans un premier temps adresser un retentissant hommage à mon encadreur Docteur Keblouti Mehdi, Qu'il reçoit ici l'expression de me profonds respects, me gratitudes et me reconnaissance pour son soutien, sa gentillesse, sa confiance, son encadrement et son jugement à travers des critiques et des propositions d'amélioration et de me montrer la bonne direction pour faire ma recherche.

J'ai garder toujours en mémoire, sa disponibilité pour des discussions intenses et rationnelles, son partage de connaissance et d'expérience ainsi que son encouragement. Que dieu bénisse son esprit.

Je voudrais également remercier ma famille en général, et surtout mon mari pour leur soutien.

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

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction générale.....	01
Chapitre I : Bibliographie	
I.1. Introduction	02
I.2. Caractéristiques de l'échantillonnage	02
I.3. Fréquence expérimentale	04
I.4. Méthodes à échantillonnage fixe	05
I.4.1. Estimation par la méthode des moments	06
I.4.2. Estimation par la méthode du maximum de vraisemblance.....	06
I.4.3. Estimation par la méthode des moments pondérés	06
I.5. Loi de distribution log-normale (ou loi de Galton, 1875).....	07
I.5.1. Loi de Galton à 2 paramètres (1 ^{ère} approche)	07
I.5.2. Loi log-normale à trois paramètres (deuxième approche).....	08
I.5.3. Calcul des paramètres a, b et x_0	08
I.5.4. Calcul des quantiles.....	09
I.6. Loi des valeurs extrêmes (ou loi de Gumbel, 1954).....	09
I.6.1. Cas des valeurs extrêmes maximales.....	09
I.6.1.1. première approche.....	10
I.6.1.2. deuxième approche.....	10
I.6.2. Variable réduite de Gumbel.....	11
I.6.3. Loi degeneralized extreme value GEV.....	12
I.6.4. Lien avec la distribution de Gumbel.....	13
I.7. Testes statistiques	13
I.7.1. Critère de choix d'une loi de probabilité.....	13
I.7.1.1 Test de Khi-deux x^2	14
I.7.1.2. Test de Kolmogorov-Smirnov (KS).....	14
I.7.1.3. Examen visuel	15
I.8. Conclusion	16
Chapitre II : Présentation du site et des données	
II.1. Description de la zone d'étude	17
II.1.1. La situation géographique de la ville de Mila.....	17
II.1.2. Topographie de la wilaya de Mila	17
II.1.3. Géologie.....	19
II.1.4. Climatologie	19
II.1.2.1. Facteurs climatiques	20
II.1.5. Réseau pluviométrique de la ville.....	22
II.1.6. Réseau hydrographique.....	23
II.1.6.1. Les oueds.....	23
II.1.6.2. Les barrages	24
II.2. Présentation des données	25
II.3. Synthèse	29

Chapitre III : collecte et critique des données

III.1 Introduction.....	30
III.2 Critique des données.....	30
III.3 comblement de lacunes.....	30
III.3.1 Méthodes de comblement des lacunes.....	31
III.3.2 Régression linéaire.....	32
III.4 Présentation des données.....	32
III.5 Vérification de l'homogénéité.....	38
III.5.1 Le test de Wilcoxon.....	39
III.5.2 Cas des pluies journalières maximales de la station Tadjenanet	40
III.6 Vérification des valeurs singulières.....	43
III.6.1 Détection des valeurs singulières.....	43
III.6.2 Test de Grubbs et Beck.....	43
III .7.Conclusion	45

Chapitre IV : Etude des précipitations annuelles

IV.1.Introduction.....	46
IV.2. Présentation du logiciel « Hydrognomon ».....	46
IV.3. Série de donnée disponible.....	46
IV.4. Ajustement des lois de probabilité.....	48
IV.4. 1.Résultat graphique pour Mechta Serradj	50
IV.4.2 Test d'adéquation de l'ajustement.....	51
IV.4. 3.Résultat graphique pour Koudiat Tendart.....	52
IV.4. 4.Résultat graphique pour Tadjenanet	54
IV.4.5.Résultat graphique pour Bir El Arch.....	56
IV.4.6.Résultat graphique pour Telerghma.....	58
IV.4.7.Résultat graphique pour Mechta Melha (Mchira).....	60
IV.5.Conclusion	62

Chapitre V : Etude des précipitations journalières maximales

V.1.Introduction.....	63
V.2.Répartition des pluies journalières.....	64
V.3.Ajustement graphique d'une loi tronquée.....	64
V.4.Traitement des données journalières.....	65
V.5.Ajustement des lois de probabilité.....	65
V.5.1.Résultat graphique pour Mechta Serradj	66
V.5.2. Résultat graphique pour Koudiat Tendart.....	68
V.5.3. Résultat graphique pour Tadjenanet	70
V.5.4. Résultat graphique pour BIR EL ARCH	72
V.5.5. Résultat graphique pour Telerghma.....	74
V.5.6. Résultat graphique pour Mechta Melha (Mchira).....	76
V.6.Conclusion	78
Conclusion générale.....	79
Référence bibliographie.....	80
Annexes.....	82

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Les caractéristiques d'un échantillon.....	03
Tableau 02 :	Expressions de la fréquence expérimentale.....	05
Tableau 03 :	Valeurs espérées de μ_N et σ_N pour différentes tailles des échantillons de valeurs maximales.....	11
Tableau 04 :	Valeur de D_n pour chaque taille de l'échantillon.....	14
Tableau 05 :	Température station de Fdoules [3]	20
Tableau 06 :	Température station de Beni-Guecha [3].....	20
Tableau 07 :	Le réseau de mesure existant dans la ville de Mila.....	25
Tableau 08 :	Nombre d'année des données existant par station.....	26
Tableau 09 :	Nombre de mois des données existant par station.....	27
Tableau 10 :	Nombre de jour pluviaux des données existant par station.....	28
Tableau 11 :	Le réseau de mesure existant dans la ville de Mila.....	32
Tableau 12 :	Séries des pluies annuelles disponible.	33
Tableau 13 :	Séries des données annuelles reconstituées	35
Tableau 14 :	Série des années des P_{jmax} annuel disponible.....	36
Tableau 15 :	Série des années des P_{jmax} annuel reconstitué.....	37
Tableau 16 :	Effet des différentes modifications des conditions de mesure sur différentes variables climatiques. Tiré de [21]	38
Tableau 17 :	Série des pluies journalières maximales de la station de Tadjenanet.....	40
Tableau 18 :	Application de la méthode de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies maximales journalières de la station de Tadjenanet (P_{jmax}).....	41
Tableau 19 :	Résultats de Test de Wilcoxon pour les stations de Mila (P_{jmax}).....	42
Tableau 20 :	Résultats de Test de Wilcoxon sur les stations de Mila (pluie annuelle).....	43
Tableau 21 :	Test de représentativité de Grubbs et Beck (P_{jmax}).....	44
Tableau 22 :	Test de représentativité de Grubbs et Beck (Pluie annelle).....	44
Tableau 23 :	Présentation des données annuelles de la ville de Mila.....	47
Tableau 24 :	Paramètres empiriques.....	48
Tableau 25 :	Paramètres de dispersion et de forme.....	48
Tableau 26 :	Classement des valeurs par ordre croissant.....	49
Tableau 27 :	Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Serradj.....	51
Tableau 28 :	Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Serradj..	51
Tableau 29 :	Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Koudiat Tendart.....	53
Tableau 30 :	Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Koudiat Tendart	53
Tableau 31 :	Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Tadjenanet.....	55
Tableau 32 :	Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Tadjenanet.....	55
Tableau 33 :	Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Bir El Arch.....	57
Tableau 34 :	Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Bir El Arch.....	57
Tableau 35 :	Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Telerghma.....	59
Tableau 36 :	Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Telerghma.....	59
Tableau 37 :	Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Melha (Mchira	61
Tableau 38 :	Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Melha (Mchira).....	61
Tableau 39 :	Précipitation journalière maximal des déférentes stations.....	64

Tableau 40 : Paramètres empiriques.....	65
Tableau 41 : Paramètres de dispersion et de forme.....	65
Tableau 42 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Serradj.....	67
Tableau 43 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Serradj..	67
Tableau 44 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Koudiat Tendart.....	69
Tableau 45 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Koudiat Tendart	69
Tableau 46 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Tadjenanet.....	71
Tableau 47 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Tadjenanet	71
Tableau 48 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Bir El Arch.....	73
Tableau 49 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Bir El Arch.....	73
Tableau 50 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Telerghma.....	75
Tableau 51 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Telerghma.....	75
Tableau 52 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Melha (Mchira	77
Tableau 53 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Melha (Mchira).....	77
Tableau 54 : Les Pluies journalières maximales.....	82
Tableau 55 : Les Pluies annelles.....	83

List des figures

Figure 01 : Courbes de densité des probabilités de Gumbel.....	11
Figure 02: Variable réduite u de Gumbel.....	15
Figure 03 : Situation géographique de la ville de Mila.....	17
Figure 04 : Carte des pentes de la ville de Mila [1]	18
Figure 05 : Carte des zones bioclimatiques [18]	19
Figure 06 : Précipitation moyenne mensuelle pour la station Hammam Grouz [1]	21
Figure 07 : Carte des pluies moyenne annuelles de nord algérien [19].....	21
Figure 08 : Réseaux de mesure pluviométrique de la région de Mila.....	22
Figure 09: Réseau hydrographique de la ville de Mila [1].....	24
Figure 10 : Reconstitution des séries manquantes [12]	31
Figure 11 : Régression linéaire simple des pluies annuelle station Tlerghma–Mechta melha.....	34
Figure 12: Présentation des données annuelles de la ville de Mila.....	47
Figure 13 : Loi log normal.....	50
Figure 14 : Loi Gumbel.....	50
Figure 15 : Loi Gev.....	50
Figure 16 : Histogramme avec trois lois.....	50
Figure 17 : Loi log normal.....	52
Figure 18 : Loi Gumbel.....	52
Figure 19 : Loi Gev.....	52
Figure 20 : Histogramme avec trois lois.....	52
Figure 21 : Loi log normal.....	54
Figure 22 : Loi Gumbel.....	54
Figure 23 : Loi Gev.....	54
Figure 24 : Histogramme avec trois lois.....	54
Figure 25 : Loi log normal.....	56
Figure 26 : Loi Gumbel.....	56
Figure 27 : Loi Gev.....	56
Figure 28 : Histogramme avec trois lois.....	56
Figure 29 : Loi log normal.....	58
Figure 30 : Loi Gumbel.....	58
Figure 31 : Loi Gev.....	58
Figure 32 : Histogramme avec trois lois.....	58
Figure 33 : Loi log normal.....	60
Figure 34 : Loi Gumbel.....	60
Figure 35 : Loi Gev.....	60
Figure 36 : Histogramme avec trois lois.....	60
Figure 37 : Loi log normal.....	66
Figure 38 : Loi Gumbel.....	66
Figure 39 : Loi Gev.....	66
Figure 40 : Histogramme avec trois lois.....	66
Figure 41 : Loi log normal.....	68
Figure 42 : Loi Gumbel.....	68
Figure 43 : Loi Gev.....	68

Figure 44 : Histogramme avec trois lois	68
Figure 45 : Loi log normal.....	70
Figure 46 : Loi Gumbel.....	70
Figure 47 : Loi Gev.....	70
Figure 48 : Histogramme avec trois lois.....	70
Figure 49 : Loi log normal.....	72
Figure 50 : Loi Gumbel.....	72
Figure 51 : Loi Gev.....	72
Figure 52 : Histogramme avec trois lois.....	72
Figure 53 : Loi log normal.....	74
Figure 54 : Loi Gumbel.....	74
Figure 55 : Loi Gev.....	74
Figure 56 : Histogramme avec trois lois.....	74
Figure 57 : Loi log normal.....	76
Figure 58 : Loi Gumbel.....	76
Figure 59 : Loi Gev.....	76
Figure 60 : Histogramme avec trois lois.....	76

Résumé

Dans cette étude une analyse statistique des séries des pluies annuelles est des pluies journalières maximales annuelles ont été réalisées sur les données de six stations pluviométriques de la wilaya de Mila. Trois lois de distribution les plus utilisées en hydrologie ont été employées (loi log normal, loi de Gumbel, loi des valeurs extrêmes), principalement dans les zones urbaines et semi urbaines. Les résultats ont montré que les données annuelles ou les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent bien aux lois proposés pour un degré de signification de 05 %.

Mots clés : Mila, pluies journalière maximal, lois statistique.

Abstract

In this study, a statistical analysis of the annual rainfall data and maximum daily rainfall data of six rainfall stations in the town of Mila. Three statistical distributions most used in hydrology have been used (log normal distribution, Gumbel distribution, extreme values distribution), in the urban and semi urban zones. The results showed that the annual data or maximum daily rainfall are adjusted to the all proposed distributions for a significance level of 05%.

Keys words: Mila, maximum daily rainfall, statistical distributions.

ملخص

في هذه الدراسة قمنا بتحليل الإحصائي لبيانات الأمطار السنوية و كذلك بيانات الأمطار السنوية القصوى على ستة محطات الأمطار لولاية ميلة تم استخدام ثلاثة قوانين إحصائية و هم: loi log normal, Gumbel , loi Gev أساسا في المناطق الحضرية و شبه حضرية. النتائج أظهرت أن بيانات الأمطار المستعملة تتناسب جيدا مع القوانين الإحصائية المقترحة في مستوى 05 %.

كلمات المفتاحية: ميلة , أمطار سنوية قصوى , قوانين إحصائية.

Introduction générale

La pluie est ressource naturelle qui a une grande influence sur les activités humaines, telle que la production agricole, la consommation d'énergie, etc... Ainsi, son étude présente un double intérêt pour les aménageurs : le premier étant la réalimentation des nappes et des retenues d'eau ; le second est lié aux événements pluviométriques critiques causant le caractère extrême de l'écoulement, c'est-à-dire aux problèmes des inondations et leurs effets désastreux sur le bien être socio-économique.

Dans cette optique, la présente étude vise à donner une meilleure idée sur la prédétermination des valeurs pluviométrique probables susceptibles d'être utilisées par les aménageurs, notamment dans le dimensionnement des ouvrages d'art (digues et remblais, caniveaux, systèmes de drainage urbain et agricole,...) dans la planification de l'irrigation et dans l'organisation générale des implantations humaines dans la région de Mila. Le présent travail a pour objet principal une mise à jour des résultats de l'analyse fréquentielle des pluies annuelles et journalières maximales basées sur des séries de données actualisées.

Ce travail est organisé de façon à mettre le point sur les caractéristiques des pluies des stations pluviométrique de la ville de Mila (Mechta serradj, Koudiat Tendart, Tedjenanet, Bir el Arch, Telerghma, Mechta Melha (Mchira)... il se propose :

- De présenter les principales distributions statistiques utilisées dans l'hydrologie.
- De présenter la zone d'étude dans son cadre géomorphologique et hydro climatologique global.
- Une collecte est critique des données pluviométrique utilisées.
- De caractériser la distribution spatiale et temporelle des pluies annuelles et journalières par un ensemble de paramètres statistiques de tendance centrale (moyenne), de dispersion (écart type, coefficient de variation et valeurs extrêmes) et de forme (coefficient d'asymétrie) des distributions des fréquences.
- De procéder à une analyse des fréquences pour estimer les pluies relatives à différentes périodes de récurrences.

Pour atteindre les objectifs du projet, un effort considérable a été fourni, notamment dans la collecte et le traitement des données sur les précipitations journalières maximal et annuelles au niveau des services gestionnaire, en particulier, ceux de l'Agence Nationale des Ressources hydraulique (ANRH) et de l'office National de la Météorologie (ONM) de Mila et de Constantine. Un temps supplémentaire a été réservé à la préparation du support informatique (logiciels de statistique et programmes sur Excel) permettant de résoudre avec une précision acceptable les problèmes imposés par le sujet dont les résultats seront utilisés dans les différents domaines de l'eau.

Chapitre I

Bibliographie

I.1. Introduction

Les phénomènes hydrologiques évoluent dans le temps et dans l'espace de manière partiellement déterministe (prévisible) et partiellement aléatoire (non prévisible).

La composante aléatoire est parfois tellement prépondérante qu'il n'existe aucune corrélation entre les valeurs successives qui quantifient ces phénomènes.

Ces observations sont donc indépendantes les unes des autres. De tels processus hydrologiques, sont dits stochastiques, et se prêtent bien à des analyses statistiques, particulièrement pour la description des crues et des étiages extrêmes ainsi que pour les précipitations extrêmes.

La description statistique des crues extrêmes est particulièrement importante pour le dimensionnement des barrages, des ponts ou d'autres infrastructures hydrauliques. L'hydrologue doit choisir une valeur de la crue de projet et, par conséquent, il doit accepter le risque que cette valeur soit dépassée.

Le risque apparaît donc comme une exposition à un événement non désiré qui pourrait détruire un ouvrage ou, tout au moins, l'endommager.

Il s'exprime en probabilité d'occurrence de l'événement et dans la pratique, on peut en faire l'estimation par l'analyse statistique des fréquences des observations [5].

I.2. Caractéristiques de l'échantillonnage

Soit « X » un variable aléatoire qui représente soit un débit « $X=Q$ » ou une pluie « $X=P$ », l'ensemble formé par $(x_i, i=1, \dots, n)$ est un échantillon aléatoire simple issu d'une population de taille infinie, avec n est la taille de l'échantillon.

Cet échantillon est caractérisé par les paramètres suivants sont classées dans le tableau 01 :

Tableau 01 : Les caractéristiques d'un échantillon

Les paramètres	Les formules
le moment d'ordre r	$m'_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^r$
r=1 la moyenne arithmétique	$m'_1 = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
le moment centré d'ordre r	$m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^r$
r=2 la variance échantillonnée	$m_2 = s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
le coefficient de variation	$c_v = \frac{(m_2)^{1/2}}{m'_1} = \frac{s}{\bar{x}}$
le coefficient d'asymétrie	$c_s = \frac{nm_3}{(n-2)m_2^{3/2}}$
le coefficient d'aplatissement	$c_a = \frac{m_4}{m_2^2}$

A partir d'un échantillon $(x_i, i= 1, \dots, n)$, on forme l'échantillon classé par l'ordre croissant $(x_{(i)}, i=1, \dots, n)$, pour chaque individus « $x_{(i)}$ » soit « F_i » sa fréquence expérimentale. Soit donc d'autres caractéristiques de l'échantillon [20], le moment pondéré d'ordre « r » définit par :

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2)\dots(i-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_{(i)}$$

[14] ; a proposé une formulation simple de ce moment.

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i^r x_{(i)}$$

Si $r=0$ soit $b_0 = \bar{x}$

A partir de cette dernière formule, autres caractéristiques dites L –moments [14] sont données comme suit :

$$L - C_v = \frac{2b_1 - b_0}{b_0} \quad \text{Et} \quad L - C_s = \frac{6b_2 - 6b_1 + b_0}{2b_1 - b_0} \quad , \quad L - C_a = \frac{20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0}{2b_1 - b_0}$$

Puisque les valeurs ($x_i, i= 1, \dots, n$) sont strictement positives, soit alors un autre échantillon dit logarithmique ($y_i = \ln x_i, i= 1, \dots, n$) qui présente les mêmes caractéristiques empiriques que l'échantillon ($x_i, i= 1, \dots, n$). Les caractéristiques principales de l'échantillon logarithmique par :

$$\overline{x_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad \text{Et} \quad S_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \overline{x_n})^2 \quad , \quad g_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \overline{x_n})^3}{nS_n^3}$$

Où « g_s » est le coefficient d'asymétrie de l'échantillon logarithmique.

I.3 Fréquence expérimentale

La fréquence expérimentale peut être calculée par une formule empirique généralisée suivante [8]:

$$F_i = \frac{i - b}{n + 1 - 2b}$$

Où « b » est un paramètre quelconque fixe.

Selon les valeurs de « b » la fréquence expérimentale peut prendre les expressions classées, comme il est montré dans le tableau suivant :

Tableau02 : Expressions de la fréquence expérimentale

B	Nom de l'auteur de la formule	F _i
0.5	Hazen (1914)	$F_i = \frac{i-0.5}{n}$
0	Weibull	$F_i = \frac{i}{n+1}$
0.3	Chegodayev	$F_i = \frac{i-0.3}{n+0.4}$
3/8	Blom	$F_i = \frac{i-3/8}{n+1/4}$
1/3	Tukey	$F_i = \frac{i-1/3}{n+1/3}$
0.44	Gringorten	$F_i = \frac{i-0.44}{n+0.12}$
0.4	Cunnane (1978)	$F_i = \frac{i-0.4}{n+0.2}$

I.4. Méthodes à échantillonnage fixe

Cette méthode consiste à ajouter l'échantillon ($x_i, i= 1, 2,3\dots, n$) a une loi de probabilité connue. Soit $f(x)$ (ou $P(X=x)$) une densité de probabilité définie sur un domaine $D \subseteq \mathfrak{R}$, les caractéristiques de cette loi sont :

- La fonction de distribution ou de répartition au non dépassement :

$$F(x)=P(X \leq x) = \int_{D_x} f(t) dt$$

- La fonction de répartition au dépassement est :

$$P(X > x) = 1 - P(X \leq x)$$

- L'espérance mathématique non centrée d'ordre "r" de la population est :

$$E(x^r) = \int_D x^r f(x) dx \quad \text{Si } r=0 \quad E(x)=\mu \text{ (moyenne de la population)}$$

-l'espérance mathématique centrée d'ordre "r" de la population est :

$$E[(x - \mu)^r] = \int_D (x - \mu)^r f(x) dx$$

Si $r=2$ $E[(x - \mu)^2] = \sigma^2$

(Variance de la population)

➤ L'espérance mathématique pondérée d'ordre "r" est définie par [9]:

$$\beta_r = E[x(F(x))^r]$$

Si $r=0$ $\beta_0 = \mu$

Chaque loi de probabilité est caractérisée par certains paramètres, " $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ " qui, sont estimés par rapport à l'échantillon considéré. Plusieurs méthodes d'estimation sont considérées dont lesquelles :

- Méthodes des moments
- Méthode du maximum de vraisemblance (MVS)
- Méthode des moments pondérés (MMP)

I.4.1. Estimation par la méthode des moments

La méthode de moments prend plusieurs formes. Cette méthode consiste à choisir comme estimateur " $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_k$ " les solutions du système d'équations obtenues en égalant les "k" moments par rapport à l'origine ou non de la population $E(x^r)$ ou $E[(x - \mu)^r]$ et les moments correspondant de l'échantillon. Ce système s'écrit généralement comme suit :

$$\begin{cases} E(x^r) = m'_r, \\ E[(x - \mu)^r] = m_r. \end{cases} \quad r=r_1, r_2, \dots, r_k \Rightarrow \begin{cases} E(x^\alpha) = m'_\alpha, \alpha = r_1, r_2, \dots, r_m \\ E[(x - \mu)^\beta] = m_\beta, \beta = r_{m+1}, r_{m+2}, \dots, r_k \end{cases}$$

I.4.2. Estimation par la méthode du maximum de vraisemblance

Soit " $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$ " les probabilités respectives d'obtenir les "n" valeurs " x_1, x_2, \dots, x_n ". Ces probabilités dépendent généralement des paramètres " $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ ", nous appelons fonction de vraisemblance de l'échantillon ($x_i, i=1, \dots, n$) la probabilité liée :

Un estimateur du maximum de vraisemblance est la valeur de $\theta_i, i=1, \dots, n$ qui maximise L, c'est-à-dire :

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_i} = 0 \quad \text{Ou} \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_i} = 0 \quad \forall \quad i=1, \dots, n$$

Sachant que les conditions suivantes doivent être vérifiées :

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \theta_i \partial \theta_j} < 0 \quad \text{Ou} \quad \frac{\partial^2}{\partial \theta_i \partial \theta_j} (\ln L) < 0 \quad \forall \quad i, j=1, \dots, k$$

I.4.3. Estimation par la méthode des moments pondérés

Cette méthode consiste à choisir comme estimateur " $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_k$ " les solutions du système d'équation obtenu en égalant les "k" moments pondérés de la population et moments pondérés correspondants de l'échantillon :

$$\beta_r = E[x(F(x))^r] = b_r \quad ; \quad r=r_1, r_2, \dots, r_k$$

I.5. Loi de distribution log-normale (ou loi de Galton, 1875)

D'une manière générale, toute variable aléatoire X dont le logarithme $Y = \text{Ln}(X)$ ou bien $Y = \text{Log}(X)$ est normalement distribué est dite "*variable aléatoire log-normalement distribuée*". La fonction de densité des probabilités de X est définie par:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_y \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2}$$

Dans laquelle:

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

$$\mu_y = \bar{y} = \mu_{\text{Ln}(x)}$$

$$\sigma_y = s_y = \sigma_{\text{Ln}(x)}$$

Cette distribution est dissymétrique. La variable Y varie entre $-\infty$ et $+\infty$ alors que la variable X varie entre 0 et $+\infty$. Mathématiquement, si $y = \text{Ln}(x)$, alors on aura:

$$y = 0 \text{ pour } x = 1, \quad y > 0 \text{ pour } x > 1, \quad y < 0 \text{ pour } x < 1 \quad \text{et} \quad y \rightarrow -\infty \text{ quand } x \rightarrow 0.$$

I.5.1. Loi de Galton à 2 paramètres (1^{ère} approche)

En 1954, V.T. Chow a dérivé les paramètres statistiques pour la variable aléatoire X . Ces paramètres sont:

$$\mu_x = \exp\left(\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}\right)$$

$$\sigma_x^2 = \mu_x^2 (e^{\sigma_y^2} - 1)$$

$$\gamma_{1x} = C_{sx} = 3 \cdot CV_x + CV_x^3$$

$$Me_x = e^{\mu_y}$$

NB: Lorsque $\sigma_x/\mu_x \leq 0.30$, on a $\sigma_y \cong \sigma_x/\mu_x = CV_x$.

Chow a également démontré que la distribution des valeurs extrêmes du type I de Gumbel, décrite ultérieurement, est un cas particulier de la distribution log-normale lorsque $CV_x = 0.364$ et $C_{sx} = 1.139$.

I.5.2. Loi log-normale à trois paramètres (deuxième approche)

La fonction de répartition des probabilités de la loi de Galton, appelée également loi gauss-logarithmique, peut prendre la forme d'une loi normale telle que :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Dans laquelle la variable Z est donnée par:

$$z_p = a \cdot \log(x_p - x_0) + b$$

La variable d'origine étant x et z, la variable transformée, s'apparente à la variable réduite de Gauss.

I.5.3. Calcul des paramètres a, b et x₀

Le calcul des paramètres est accompli par la méthode des moments ou préférablement par la méthode graphique. L'estimation graphique de x₀ se fait, par tâtonnement jusqu'à obtenir l'alignement des points expérimentaux sur un papier à probabilité log-normale. Les points doivent s'aligner si x₀ est nul. Une concavité vers le bas peut être corrigée par un x₀ négatif, c'est à dire en portant en ordonnées logarithmique x - x₀ (valeur supérieure à x); la concavité vers le haut (plus rare) se corrige avec un x₀ positif, c'est à dire en portant en ordonnées x - x₀ (valeur inférieure à x). D'une façon générale, on adopte la plus petite valeur absolue de x₀ qui permet aux faibles valeurs de l'échantillon de s'aligner avec les plus fortes.

Pour décrire de façon complète la distribution de Galton ainsi modifiée, il suffit de calculer la droite théorique de Galton, c'est à dire déterminer les coefficients a et b de la fonction décrite plus haut; c'est à dire z = f(x - x₀). Théoriquement, les constantes a et b peuvent être estimées de trois manières différentes; on retient dans cet exposé les équations déduites des moments et qui donnent :

$$\frac{\sigma_x^4}{\mu_3} = \frac{(\bar{x} - x_0)^3}{\sigma_x^2 + 3(\bar{x} - x_0)^2}$$

Dans laquelle μ₃ est le moment centré de troisième ordre défini par :

$$\mu_3 = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3$$

$$a = \frac{1.517}{\sqrt{\log \left[1 + \frac{s^2}{(\bar{x} - x_0)^2} \right]}}$$

$$b = \frac{1.1513}{a} - a \cdot \log(\bar{x} - x_0)$$

NB : La méthode des moments présente le double inconvénient de nécessiter un calcul itératif, parfois trop long, et de donner parfois des valeurs de x_0 supérieures à la plus petite des valeurs de l'échantillon.

I.5.4. Calcul des quantiles

Il suffit d'utiliser l'équation de la variable réduite z et la table de l'intégrale de Gauss pour calculer la probabilité correspondant à x telle que :

$$\text{Log}(x_p - x_0) = (z_p - b)/a$$

Le calcul des antilogarithmes, dans ce cas décimaux, permet de tirer x_p .

I.6. Loi des valeurs extrêmes (ou loi de Gumbel, 1954)

I.6.1. Cas des valeurs extrêmes maximales

On veut connaître la distribution des fréquences des valeurs extrêmes prises parmi n observations de la variable aléatoire X lorsque le nombre d'observations devient infiniment grand. On cite, comme exemple, le plus grand débit journalier observé durant l'année ($n = 365$ dans ce cas). Supposons qu'on ne sait que la distribution des X est illimitée dans le sens positif et que la partie supérieure de la courbe de densité des probabilités (histogramme ou polygone des fréquences) décroît d'une manière exponentielle. Autrement dit, la fonction de répartition des probabilités de X prend la forme:

$$F(x) = 1 - e^{-g(x)} \quad ; \quad g'(x) > 0.$$

Il a été conclu que les fonctions de répartition et de densité de Y , la valeur la plus grande parmi plusieurs variables aléatoires indépendantes, sont du type exponentiel et prennent, respectivement, les formes suivantes:

$$F_Y(y) = P(Y \leq y) = \exp[-e^{-\alpha \cdot (y-u)}] \quad ; \quad y \in]-\infty, \infty[$$

$$f_Y(y) = \alpha \cdot \exp[-\alpha \cdot (y-u)] \cdot e^{-e^{-\alpha \cdot (y-u)}}$$

Les paramètres u et α , paramètres de la loi de Gumbel du type I (ou EVI), devraient être estimés à partir des données observées.

I.6.1.1. Première approche

Si on calcule puis on annule la dérivée de la fonction de densité des probabilités $f_Y(y)$, on remarque que le maximum (ou mode) est égal à u . Le paramètre α correspond à une mesure de la dispersion des valeurs autour de la valeur centrale, notamment le mode. Le calcul de l'intégrale de $f_Y(y)$ permet de déterminer la moyenne μ , la variance σ^2 et le coefficient d'asymétrie γ_1 de cette distribution. Ces paramètres sont:

$$\mu_Y = \bar{y} = u + \frac{\gamma}{\alpha} \cong u + \frac{0.577}{\alpha}$$

γ : étant la constante d'Euler.

$$\sigma_y^2 = s_y^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2} = \frac{1.645}{\alpha^2}$$

$$s_Y = 1.282/\alpha$$

$$\gamma_1 = 1.1396$$

I.6.1.2. Deuxième approche

Bien qu'il était possible de déterminer des expressions explicites pour u et σ , ces dernières ne peuvent pas être strictement utilisées pour estimer des intervalles de récurrence à partir des échantillons limités. De ce fait, Gumbel a utilisé une approche fondée sur la méthode des moindres carrés pour déterminer les valeurs de ces paramètres à partir des séries annuelles.

[10] On a :

$$u = \mu_y - \sigma_y \quad \frac{\mu_N}{\sigma_N} = \bar{y} - s_y \quad \frac{\mu_N}{\sigma_N} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{\mu_N}{\sigma_N}$$

Les quantités μ_N et σ_N , obtenue théoriquement, dépendent uniquement de la taille de l'échantillon des N valeurs extrêmes maximales et sont tirées de tableau suivant :

Tableau 03 : Valeurs espérées de μ_N et σ_N pour différentes tailles des échantillons de valeurs maximales

N	μ_N	σ_N	N	μ_N	σ_N
15	0.51	1.02	80	0.56	1.19
20	0.52	1.06	90	0.56	1.20
30	0.54	1.11	100	0.56	1.21
40	0.54	1.14	150	0.56	1.23
50	0.55	1.16	200	0.57	1.24
60	0.55	1.17	500	0.57	1.26
70	0.55	1.19	∞	0.57	1.28

I.6.2. Variable réduite de Gumbel

Si on procède à un changement de variable et on pose $w = \alpha.(y - u)$ alors, la variable réduite de Gumbel w se caractérisant par $u = 0$ et $\alpha = 1$ et a pour courbe de densité des probabilités celle schématisée sur la figure 01.

Ainsi la probabilité pour que la variable réduite W puisse être inférieure à une valeur w est $F_W(w) = \exp[-e^{-w}]$. Cette fonction, facile à calculer, est également tabulée dans la littérature. Ce tableau ; donnant les probabilités en terme de W ; $f_W(w)$ et $F_W(w)$, peut être utilisée pour calculer les probabilités de Y en appliquant les relations suivantes ; Y et W étant équivalents en probabilités:

$$f_Y(y) = \alpha \cdot f_W(w) \quad \text{et} \quad F_Y(y) = F_W(w).$$

En coordonnées arithmétiques, l'équation $w = \alpha.(y - u)$ est linéaire; α et u étant des constantes pour une distribution donnée. Cette observation a conduit Powell à introduire ce qu'on appelle le plus couramment 'le papier à probabilité de Gumbel ou papier à probabilité des extrêmes' [10].

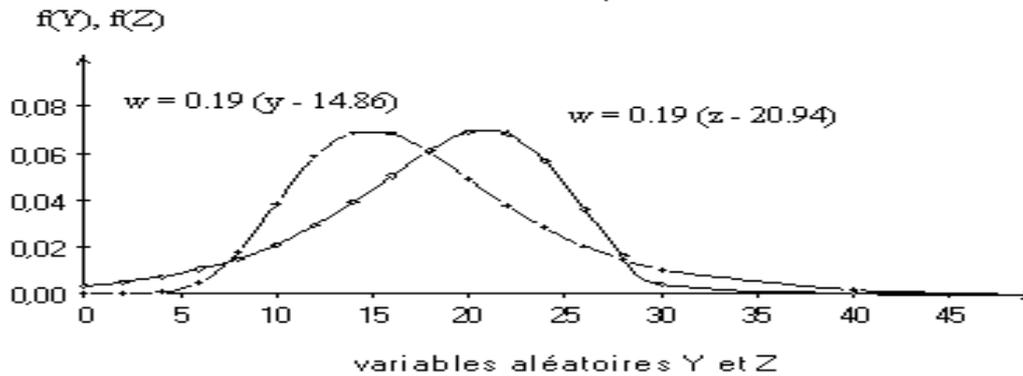


Figure 01 : Courbes de densité des probabilités de Gumbel [11]

I.6.3. Loi degeneralized extreme value GEV

En probabilité et statistique, la loi d'extremum généralisée (en anglais : generalized extreme value ou GEV) est une famille de lois de probabilité continues qui servent à représenter des phénomènes de valeurs extrêmes (minimum ou maximum). Elle comprend la loi de Gumbel, la loi de Fréchet et la loi de Weibull, respectivement lois d'extremum de type I, II et III. Le théorème de Fisher-Tippett-Gnedenko établit que la GEV est la distribution- limite du maximum (adéquatement normalisé) d'une série de variables aléatoires indépendantes de même distribution [22].

La loi d'extremum généralisée est connue sous le nom de loi de Fisher-Tippett, d'après Ronald Fisher et L. H. C. Tippett qui ont étudié les trois formes fonctionnelles ci-dessous. Parfois, ce nom signifie plus particulièrement le cas de la loi de Gumbel. [13].

La fonction de répartition (distribution cumulée) est :

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]_+^{-1/\xi} \right\}$$

Avec :

$$(1 + \xi(x - \mu)/\sigma)_+ = \max(0, 1 + \xi(x - \mu)/\sigma),$$

Où $\mu \in R$ est un paramètre de position, $\sigma > 0$ un paramètre de dispersion et $\xi \in R$ un paramètre de forme appelé *indice des valeurs extrêmes*. Si l'expression n'est pas définie et doit s'entendre comme une limite qu'on peut calculer :

$$F(x; \mu, \sigma, 0) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right].$$

La fonction de densité est :

$$f(x; \mu, \sigma, \xi) = \frac{1}{\sigma} \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right]^{(-1/\xi)-1} \exp\left\{-\left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}$$

$$f(x; \mu, \sigma, 0) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \exp\left[-\exp\left(-\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right]$$

Moments

$$E(X) = \mu - \frac{\sigma}{\xi} + \frac{\sigma}{\xi} g_1,$$

$$\text{Var}(X) = \frac{\sigma^2}{\xi^2} (g_2 - g_1^2),$$

$$\text{Mode}(X) = \mu + \frac{\sigma}{\xi} [(1 + \xi)^{-\xi} - 1].$$

$$\text{où } g_k = \Gamma(1 - k\xi), \quad k=1,2,3,4$$

La dissymétrie dépend du signe de ξ , si $\xi > 0$ et l'opposé $\xi < 0$.

$$\kappa_3(X) = \frac{g_3 - 3g_1g_2 + 2g_1^3}{(g_2 - g_1^2)^{3/2}}$$

I.6.4. Lien avec la distribution de Gumbel

Gumbel ou loi extremum type I ($\xi = 0$)

$$F(x; \mu, \sigma, 0) = e^{-e^{-(x-\mu)/\sigma}} \quad \forall x \in \mathbb{R}.$$

I.7. Testes statistiques

I.7.1. Critère de choix d'une loi de probabilité

Pour faire le choix d'une loi de probabilité, il faut faire des tests d'adéquation (après avoir fait l'ajustement) de cette loi, à la variation donnée. Souvent des tests paramétriques utilisés qui permettent de tester la valeur des paramètres caractéristiques de la loi, les tests non paramétriques sont utilisés permettant de déterminer le comportement de l'ensemble de la loi par rapport à échantillon observé [7].

I.7.1.1 Test de Khi-deux χ^2

La mise en œuvre de test consiste à calculer la quantité :

$$\chi_{ob}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i}$$

Avec :

‘ e_i ’ effectifs théoriques calculés et ‘ n_i ’ effectifs observés

Pour que le test soit efficace il faut que, $e_i \geq 5$, $i=1, \dots, n$

La distribution expérimentale est répartie en classes de façon que chaque classe il en soit ainsi. Il a été établi que " χ_{ob}^2 " suit une loi de type ' χ_v^2 ' de degré de liberté $v=k-c-1$, ou 'c' est le nombre de paramètres linéairement indépendants et 'k' est le nombre de classes.

L'adéquation de la loi est acceptée si :

$$\chi_{ob}^2 \leq \chi_{v, 1-\frac{\alpha}{2}}^2$$

Les valeurs de ' $\chi_{v, 1-\frac{\alpha}{2}}^2$ ' sont tabulées en fonction du 'v' et de la probabilité $p=1-\alpha/2$.

I.7.1.2. Test de Kolmogorov-Smirnov (KS)

Ce test consiste à calculer l'expression :

$$D_{ob} = \max |F_i - F(x_{(i)})|, \quad \forall i=1, \dots, n \quad \text{ou} \quad F(x_{(i)}) = P(X \leq x_{(i)})$$

Pour un seuil de signification $\alpha\%$, l'adéquation de la loi est acceptée si : $D_{ob} \leq D_{n,\alpha}$, ou ' $D_{n,\alpha}$ ', est la statique de kolmogorov-Smirnov. Les valeurs de ' $D_{n,\alpha}$ ' pour les seuils $\alpha=5\%$ et $\alpha=1\%$ sont données dans le tableau 04 [6] :

Tableau 04 : Valeur de D_n pour chaque taille de l'échantillon

N	$D_{n, 0.05}$	$D_{n, 0.01}$	n	$D_{n, 0.05}$	$D_{n, 0.01}$
15	0.338	0.404	20	0.294	0.356
16	0.328	0.392	25	0.270	0.360
17	0.318	0.381	30	0.240	0.290
18	0.309	0.371	35	0.230	0.27
19	0.301	0.363	>35	$1.36/n^{0.5}$	$1.36/n^{0.5}$

I.7.1.3. Examen visuel

Même s'il peut paraître rudimentaire, l'examen visuel reste un des meilleurs moyens pour juger la qualité d'un ajustement statistique.

Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas d'un véritable test, puisqu'aucune graduation en probabilité d'erreur n'est possible. Par contre, la remarquable capacité de synthèse, le jugement et l'esprit critique de l'opérateur confronté à une synthèse graphique sont pleinement exploités

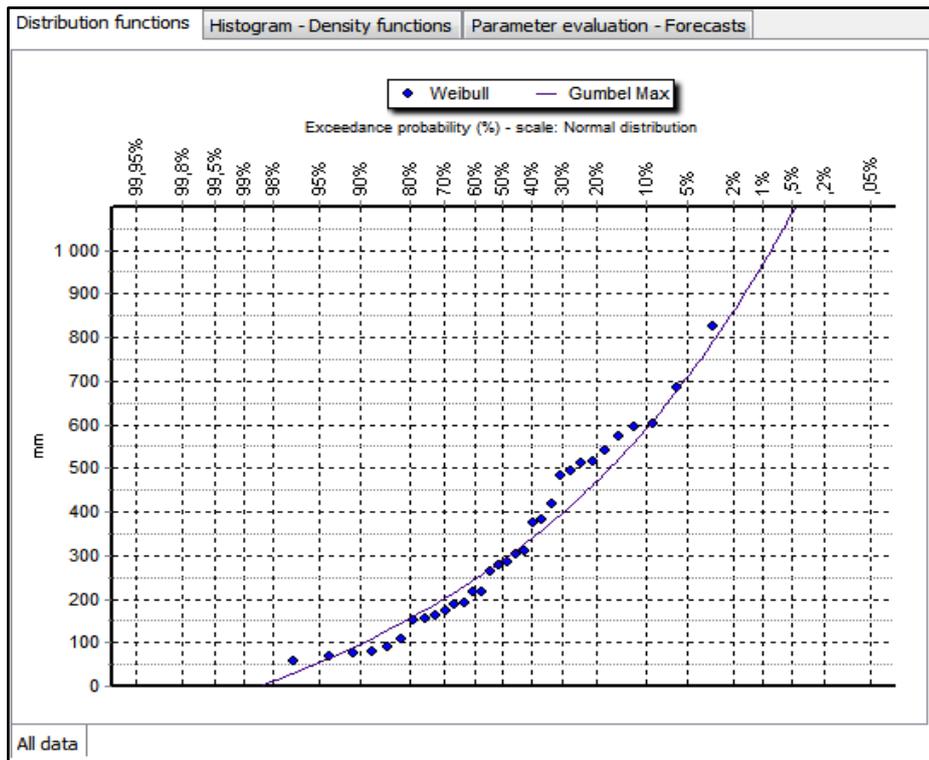


Figure 02: Variable réduite u de Gumbel

I.8. Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principales distributions statistiques utilisées en hydrologie telles que (loi log normal, loi de Gumbel, loi des valeurs extrêmes) aussi de présenter brièvement les tests d'adéquation (l'examen visuel, test de khi-deux, test de klomgrov-smirnov).

Chapitre II

Présentation du site et des données

II.1. Description de la zone d'étude

II.1.1. La situation géographique de la ville de Mila

La wilaya de Mila se situe au Nord Est de l'Algérie et occupe une superficie totale de 3.478 km². Le voisinage de la wilaya de Mila est composé de 6 wilayas, Elle est délimitée comme suit :

- ✓ Au Nord : les deux Wilaya Jijel et Skikda
- ✓ A l'Ouest : la wilaya de Sétif
- ✓ A l'Est : la wilaya de Constantine
- ✓ Au sud : par les wilayas de Batna
- ✓ Au Sud Est par la wilaya d'Oum El Bouagi.

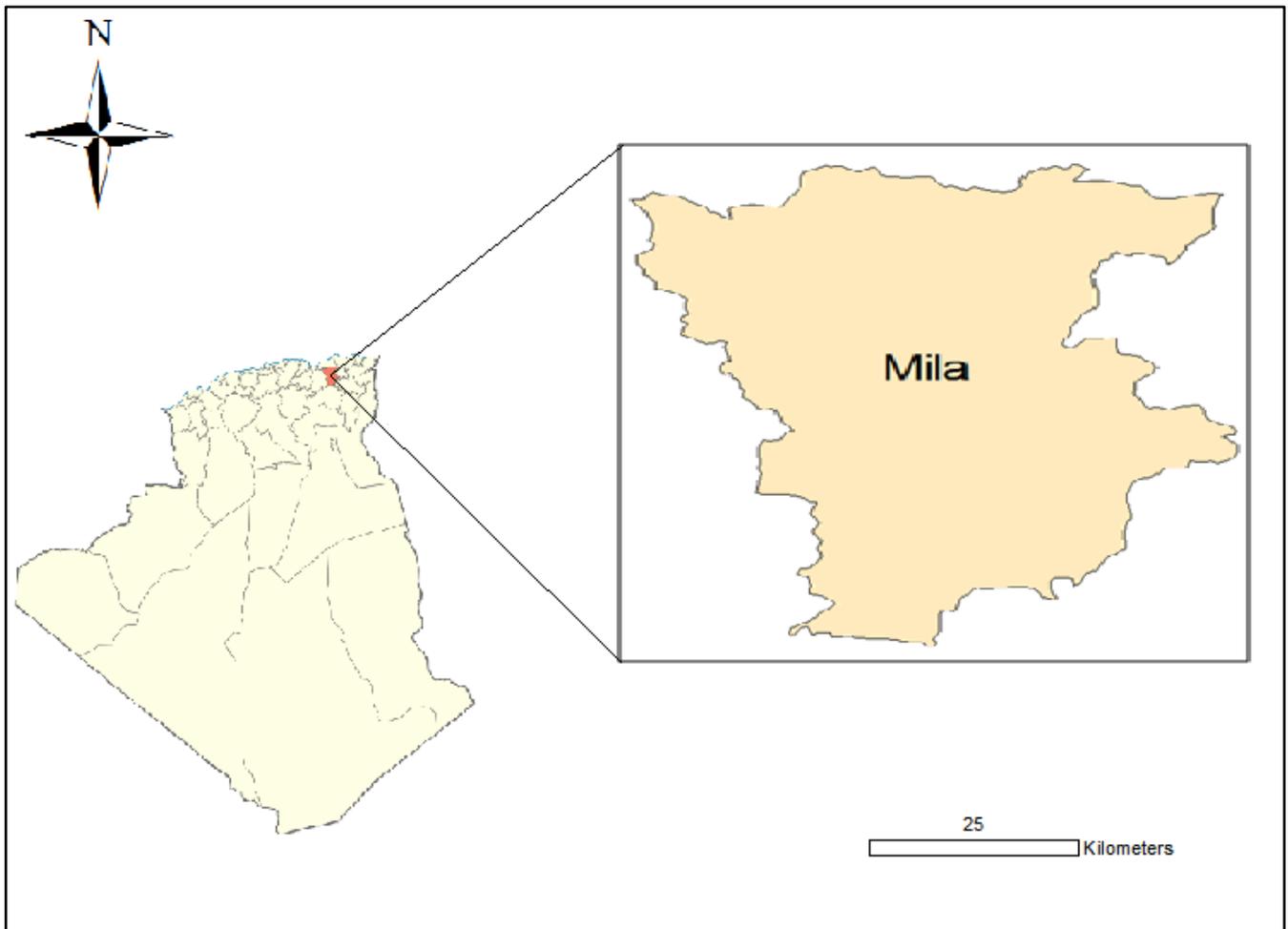


Figure 03 : Situation géographique de la ville de Mila

II.1.2. Topographie de la wilaya de Mila

Sur le plan de la topographie, la région de Mila se trouve caractérisée par des Massifs isolés des Hautes Plaines. La structure accidentée et morcelée des massifs telliens du Nord de la wilaya, favorise la création d'un réseau hydrographique dense constitué de petits cours d'eau qui traversent toute la région et alimentent d'importants oueds :

- Oued Endja dans les secteurs de Redjas, Rouached, et Ferdjioua.
- Oued Rhumel (amont) dans le secteur d'Oued Athmenia.
- Oued Kébir (amont) dans le secteur de Tassadane.

Oued Rhumel qui traverse la région des Hautes Plaines d'Est en Ouest comprend d'importants affluents : Oued Mehari, Oued Seguin, Oued Tadjnanet, et Oued Athmenia. Oued Rhumel qui traverse la région des Hautes Plaines, d'Est en Ouest, comprend d'importants affluents : Oued Mehari, Oued Seguin, Oued Tadjnanet, et Oued Athmenia.

La wilaya abrite le plus grand barrage d'eau au niveau national : le barrage de Béni-Haroun qui alimente une grande partie de l'Est Algérien en eau potable et en eau d'irrigation.

Et :

- Des massifs montagneux dans la partie nord de la wilaya dont l'altitude la plus élevée est 1600m.
- En dessous des communes limitrophes avec la wilaya de Jijel, le relief est caractérisé par des collines et des piémonts.
- La partie centrale de la wilaya comporte de hautes plaines.
- Au sud, on trouve des massifs montagneux d'une altitude de 1400m.

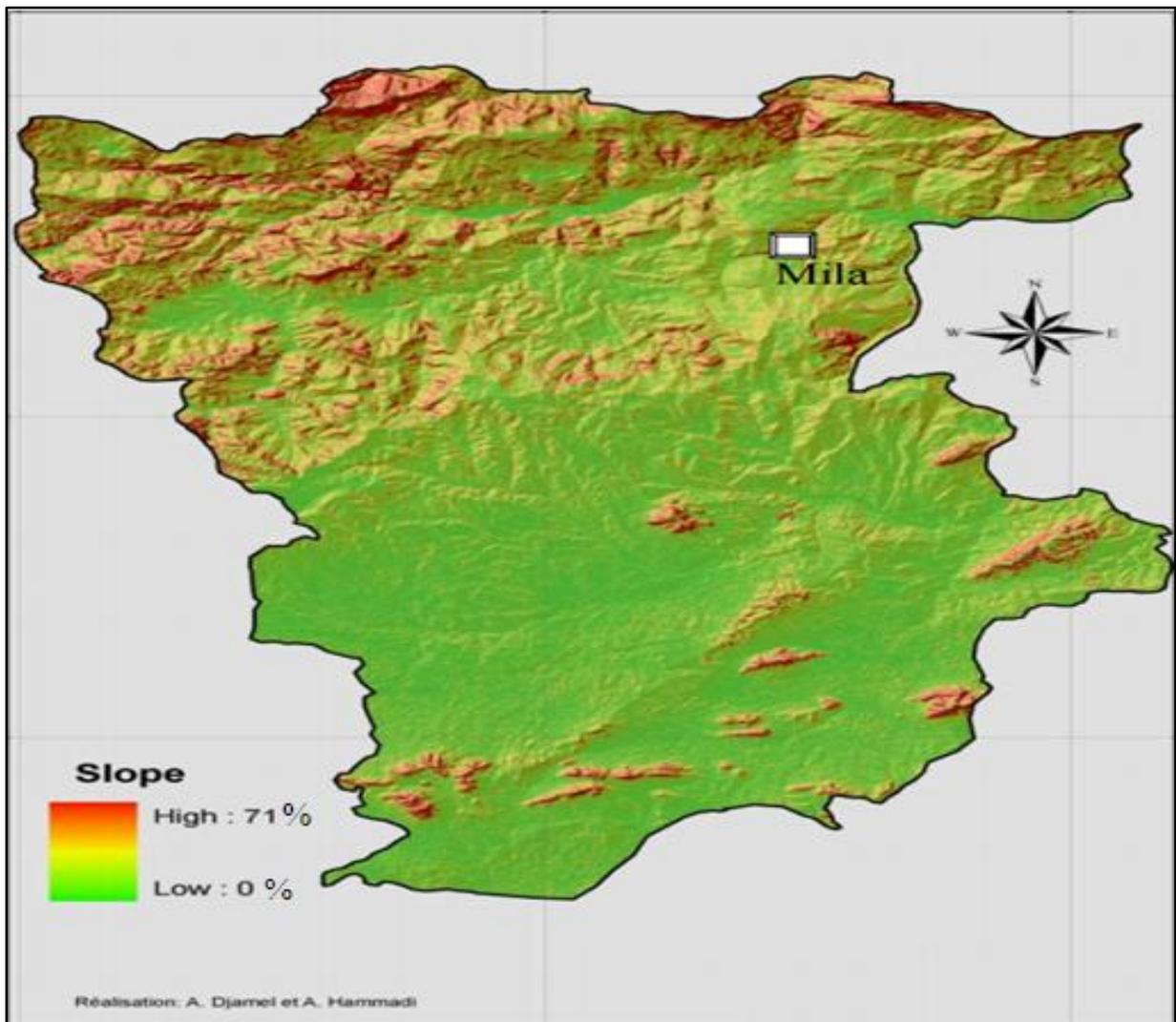


Figure 04 : Carte des pentes de la ville de Mila [1]

II.1.3. Géologie

Le bassin de Mila appartient au domaine externe de la chaîne Alpine d'Algérie Nord Orientale qui est rattachée à la branche Sud des maghrébines entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est.

La partie Nord Orientale de cette branche est généralement subdivisée en deux grands domaines qui sont :

- 1 - Un domaine interne, regroupant le socle kabyle et les formations des flyschs.
- 2 - Un domaine externe, correspondant aux formations telliennes et de l'avant pays [1].

Selon la direction Est-Ouest, le remplissage du bassin de Mila débute localement par des formations marines d'âge Burdigalien Terminal-Langhien et qui passent vers le haut à des formations continentales Miocènes et Plio-Quaternaires.

II.1.4. Climatologie

Le climat de la wilaya de Mila est un climat typiquement méditerranéen. Il est caractérisé par un Hiver doux et pluvieux et une période estivale longue chaude et sèche qui se prolonge du mois de Mai au mois d'octobre avec une variation saisonnière et spatiale.

Selon [18], la wilaya de Mila se subdivise en deux domaines : un domaine semi-aride au Sud et au centre ; l'autre domaine sub-humide se concentre dans la partie Nord de la wilaya (**Figure 05**)

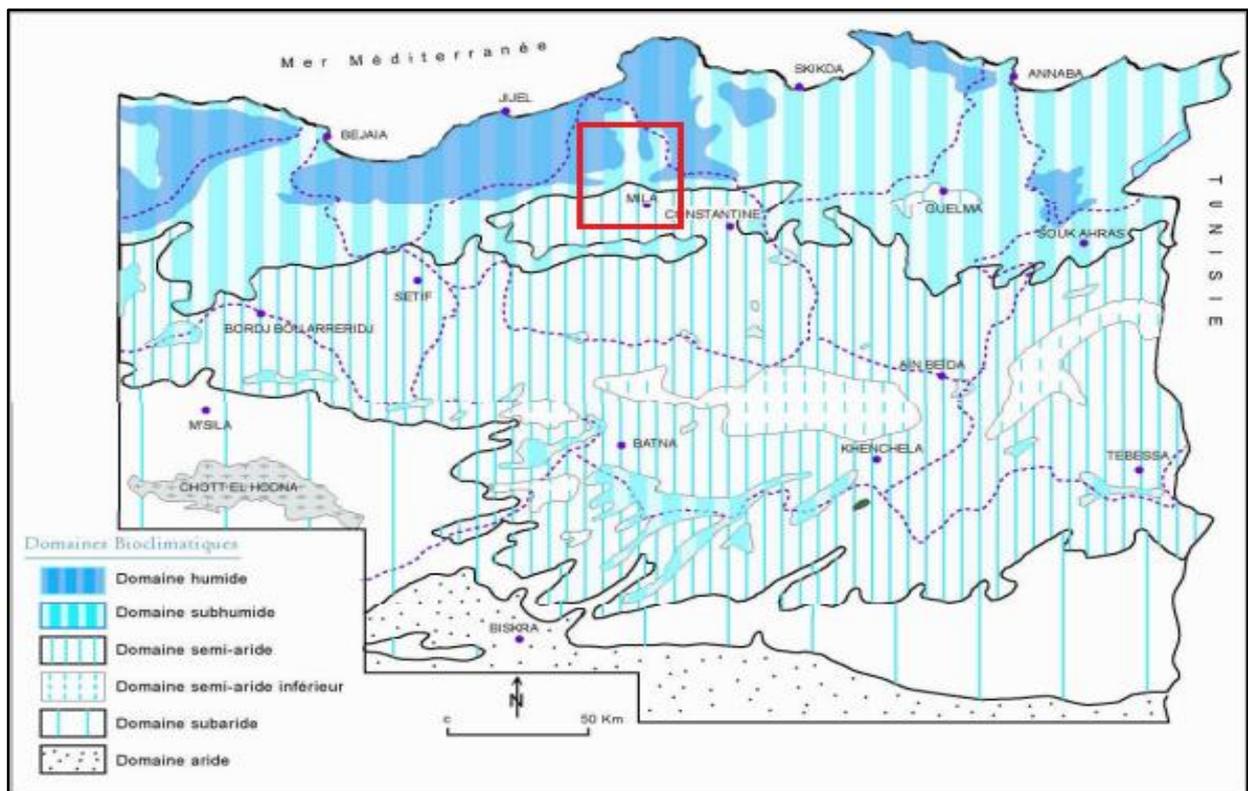


Figure 05 : Carte des zones bioclimatiques [18]

II.1.2.1. Facteurs climatiques

L'analyse de données climatiques est faite à partir de données des deux stations météorologiques de Fdoules et de Beni-Guecha. Ces deux stations ont des positions géographiques différentes ; la première se trouve sur les hauteurs des monts du nord de Zouagha, la deuxième elle se positionne de Beni Guecha près de Ferdjioua [3].

✓ Température

Une température méditerranéenne modérée durant les mois de l'Automne, l'Hiver et le Printemps. Pendant l'été la température augmente rapidement. Quoiqu'il en soit la température est favorable pour les cultures autant en Été qu'en Hiver. Elle joue un rôle très important dans la croissance des plantes et la maturation des céréales et de fruits [3].

Tableau 05 : Température de station de Fdoules [3]

Températures	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	S	O	N	D	MA
Moy. Maxima	15.5	15.8	17.2	19.9	23.0	23.0	25.8	27.9	25.6	22.6	21.1	13.9	20.9
Moy. Minima	7.6	6.1	9.1	9.1	12.7	14.0	17.6	18.5	17.5	14.3	11.5	7.0	12.1
Moyenne	11.5	11.5	13.1	14.5	17.8	18.5	21.2	23.2	21.5	18.3	16.3	10.4	16.5

Tableau 06 : Température de station de Beni-Guecha [3]

Températures	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	S	O	N	D	MA
Moy. Maxima	12.0	12.9	15	17.5	23.1	28.44	32.4	32.7	27.4	21.1	16.2	13.0	21.0
Moy. Minima	2.90	2.98	4.02	5.68	9.62	13.66	16.4	17.1	14.2	9.92	4.93	5.66	8.93
Moyenne	4.9	7.96	9.52	11.6	16.7	21.05	24.9	20.8	11.5	10.6	10.6	9.34	14.9

✓ Précipitations

Les précipitations sont des facteurs climatiques essentiels en ce qui concerne le cycle écologique, le régime hydrographique et l'activité agricole. La variation de précipitations annuelles est le fait marquant dans cette wilaya. La pluviométrie à Mila est inégalement répartie à travers les mois de l'année et les précipitations sont naturellement, cantonnées dans le semestre frais qui débute en Novembre et se termine en Mars. Le manque ou l'abondance des précipitations agissent sensiblement sur les réserves en eau ; quantités mobilisées et quantités exploitées [3].

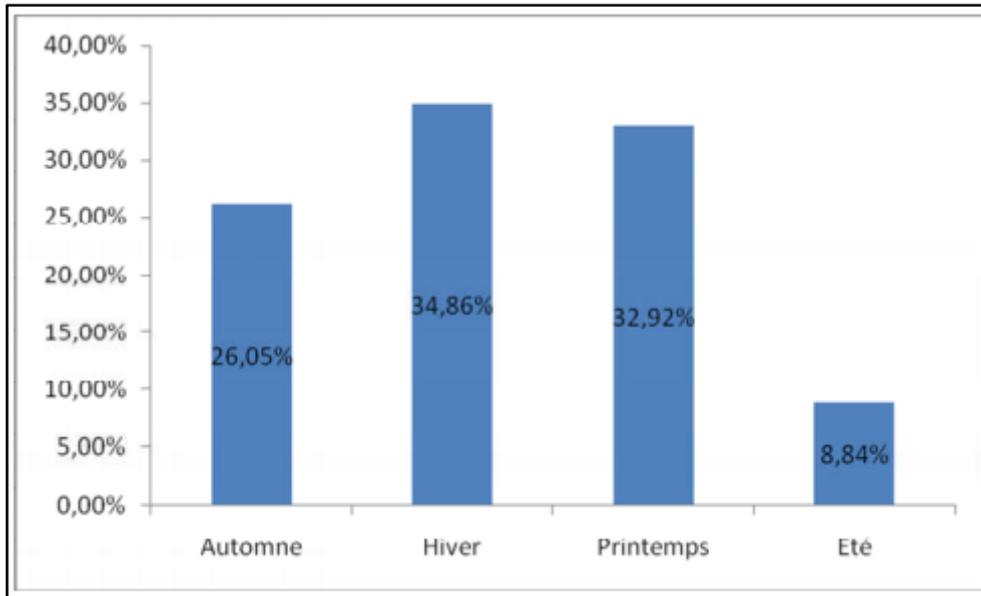


Figure 06 : Précipitation moyenne saisonnière pour la station Hammam Grouz [1]

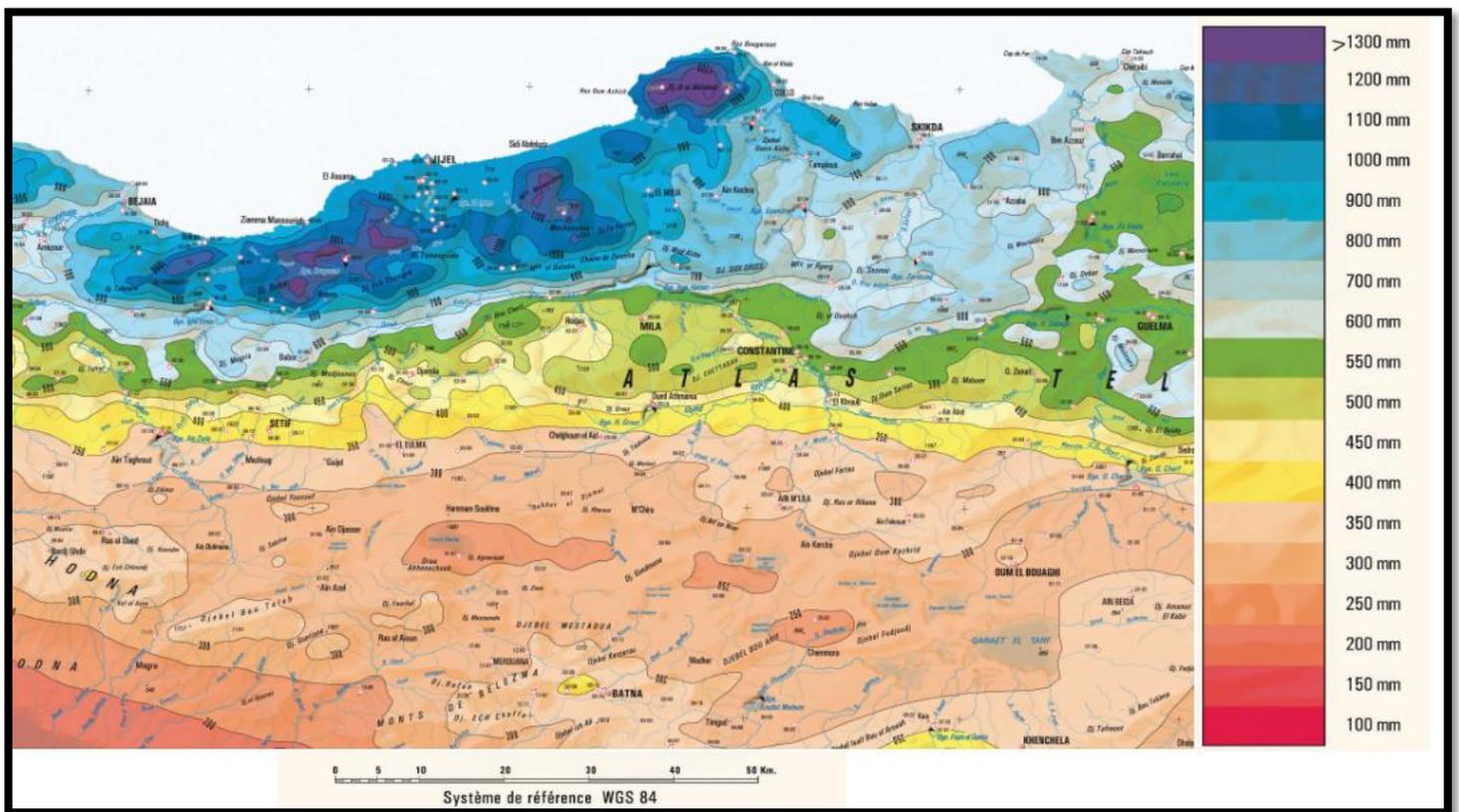


Figure 07 : Carte des pluies moyenne annuelles de nord algérien [19]

II.1.5. Réseau pluviométrique de la ville

La ville de Mila dispose d'un réseau de mesure de faible densité comporte 16 stations sur une surface de 3478 km², ce qui correspond à une densité moyenne d'un poste pour 217 km². Les séries de données pluviométriques utilisées dans cette étude ont été fournies par l'ANRH de Constantine (Tableaux 54, 55), (Figure 08).

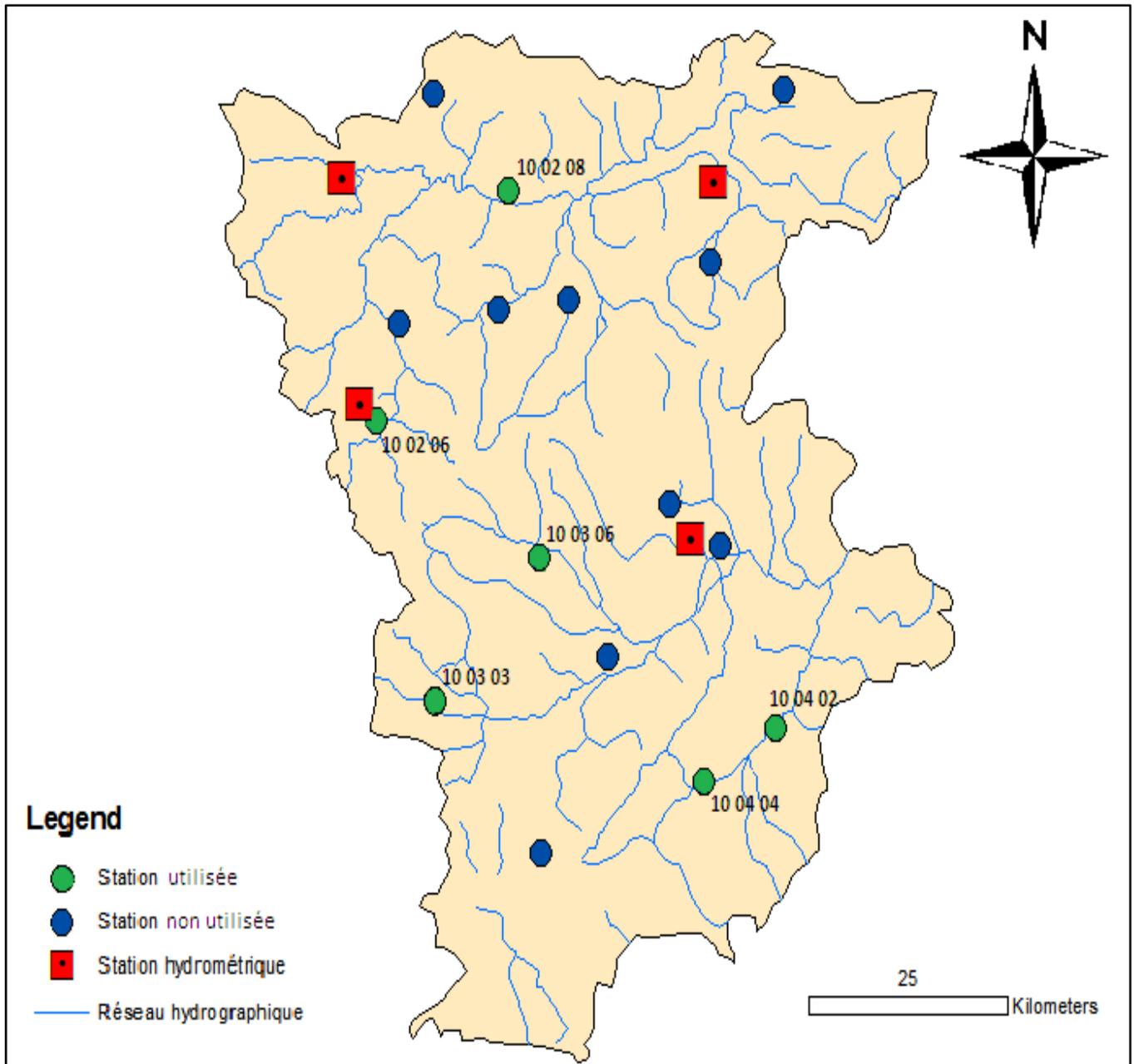


Figure 08 : Réseaux de mesure pluviométrique de la région de Mila

II.1.6. Réseau hydrographique

En géographie physique, un réseau hydrographique est un organisme qui assure le drainage d'une aire délimitée par une ligne de partage des eaux. Il est composé de l'ensemble des cours d'eau et points d'eau irriguant un territoire.

II.1.6.1. Les oueds

➤ oued Rhumel

Est caractérisé par un réseau hydrographique très dense vu l'importante superficie qu'il draine d'un linéaire de plus de 123 Km, c'est l'oued le plus important. Il prend naissance dans les hautes plaines Sétifiennes, entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja autour de Sidi Merouane dans la ville de Mila.

Le principal affluent de la rivière est Oued Boumerzoug qui draine les zones industrielles et urbaines.

➤ oued Enndja

D'un linéaire de 15 Km, il naît à la confluence de l'Oued El Kébir et de l'Oued Redjas, à l'instar de la haute vallée du Rhumel, il suit une direction Sud-ouest Nord Est, mais cette fois à travers les reliefs montagneux, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au Nord. Il collecte les eaux des oueds Rarama (ou Djemila) ainsi que ceux de Bou Selah, de Redjas et d'El Melah. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vue hydrogéologique ce qui explique le réseau hydrologique dense du barrage de Beni Haroun.

➤ oued El Kébir

L'oued Kébir résultant de la jonction des deux grands cours d'eau précédents (Rhumel et Endja) prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit vigoureusement la chaîne numidique, bien exposée aux vents pluvieux en provenance de la Méditerranée. Puis en prenant une orientation Sud-Est Nord-Ouest, il traverse les massifs très arrosés de la petite Kabylie d'El Milia, avant de s'écouler dans une large vallée vers la mer.

Le bassin Beni Haroun présente un chevelu hydrographique très dense, totalisant un réseau de plus de 4200 km. Quarante oueds ont une longueur supérieure à 10 km.

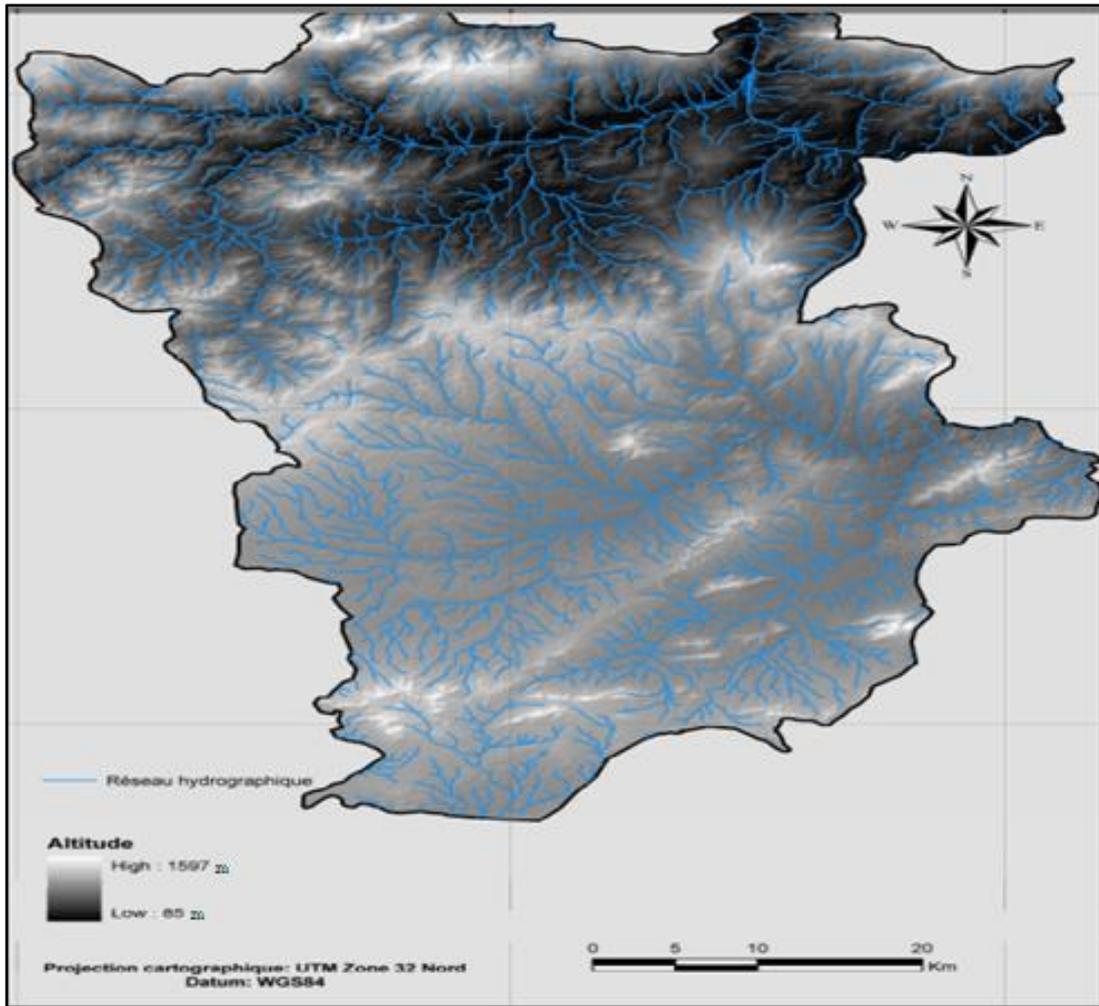


Figure 09: Réseau hydrographique de la ville de Mila [1]

II.1.6.2. Les barrages

Le barrage de Beni Haroun (40G60'-N-4G-36'E) considéré comme la plus grande zone humide superficielle algérienne et la seconde du continent africain (après le barrage de Al Sad El Alli en Egypte) couvre une superficie de 5328Km², est situé au Nord Est du chef-lieu de la wilaya. Distant de moins de 15 km de Mila, il est implanté dans la commune de Hamala, daïra de Grarem Gouga, considéré avec une réserve de 1 milliard de m³d'eau atteinte en février 2012, répartis sur 3 900 hectares. Est situé sur l'oued el Kébir, est alimenté par deux bras principaux de Oued Rhumel et Oued Endja (nord-ouest de la région de El-Grarem wilaya de Mila). Sa mise en eau a commencé en aout 2003 et se poursuit lentement par étape jusqu'à ce jour [4] (Agence Nationale des Barrages, 2007).

II.2. Présentation des données

Pour notre recherche nous disposons de données de différentes stations comme indiquées dans les tableaux suivants (**Tableau 07**) :

Tableau 07: Le réseau de mesure existant dans la ville de Mila

N	Code	Station	X(m)	Y(m)	Durée d'observation
1	100206	Mechta Serradj	222871,51	4024795,091	1980 - 2011
2	100208	KoudiatTendart	235465,702	4043400,629	1980 - 2011
3	100303	Tedjenanet	228586,522	4002358,38	1980 - 2011
4	100306	Bir el Arch	238746,542	4013978,903	1980 - 2011
5	100402	Telerghma	261818,255	4000347,542	1980 - 2010
6	100404	Mechta Melha(Mchira)	254727,407	3996114,201	1980 - 2011

Tableau 08: Nombre d'année des données existant par station

Station	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
MECHTA SERRADJ																																	
KOUDIAT TENDART																																	
TADJENANET																																	
BIR EL ARCH																																	
TELERGHMA																																	
MECHTA MELHA (Mchira)																																	

Lacune

Pas de lacune

Tableau 09 : Nombre de mois des données existant par station

Station	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
MECHTA SERRADJ	7	10	9	7	1		6	10	4	2	5	9	9	8	7	9	6	9	4		4	2	11	11	11	10	10	10	9	12	11	8
KOUDIAT TENDART	11	11	12	10	11	12	12	12	11	11	12	12	12	12	11	12	11	12	12	11	11	12	12	11	9	11	10	9	7	11	12	12
TADJENANET	11	12	12	12	12	12	12	12	12	6	2	11	8	7	12	12	12	11	12	11	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
BIR EL ARCH	10	10	6	8	11	11	11	10	10	10	2	10	12	10	10	12	11	12	11	10	10	12	12	12	11	9	9	11	11	12	12	9
TELERGHMA	10	11	11	8	9	10	12	3	4	10	11	11	12	11	11	12	5	2	10	11	9	3	8	9	5	8	4				2	
MECHTA MELHA (Mchira)	11	12	10	10	10	10	12	10	11	7	8	12	12	9	10	9	11	10	11	10	9			3	4	8	8	10	7	11	12	10

Lacune

Pas de lacune

Tableau 10 : Nombre de jour pluvieux des données existant par station

Station	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
MECHTA SERRADJ	34	52	41	28	2		34	32	26	4	35	37	37	25	19	27	15	28	10		13	7	68	67	62	41	44	41	51	47	36	26
KOUDIAT TENDART	80	78	55	60	97	82	94	74	78	67	88	89	72	63	80	94	62	95	79	69	58	71	98	94	84	83	62	46	56	67	84	92
TADJENANET	58	54	48	52	65	77	100	78	86	48	10	81	49	31	77	87	58	87	81	83	71	100	112	102	92	94	92	92	105	86	110	82
BIR EL ARCH	41	43	17	21	66	73	61	37	43	40	4	45	51	37	39	50	32	59	45	44	40	48	68	64	45	38	24	39	54	52	62	43
TELERGHMA	25	38	24	30	36	35	46	9	15	54	72	78	57	50	73	88	19	10	37	40	34	7	44	43	37	43	28				5	
MECHTA MELHA (Mchira)	51	77	47	53	71	63	79	63	61	33	47	74	62	39	54	54	35	63	59	49	39			18	13	33	39	38	50	48	70	46

Lacune

Pas de lacune

II .3. Synthèse

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

- ✚ Le nombre de pluviomètres par rapport à la superficie de la région de Mila est insuffisant pour cerner le phénomène pluviométrique.
- ✚ Le pas de temps de mesure est aussi inadapté.

La crédibilité de la portée de n'importe quelle étude hydrologique, dépend en premier lieu de la disponibilité et de la qualité des données utilisées (pluviométriques ou hydrométriques). 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 doivent être comblées. Il est nécessaire par la suite de les traiter et l'analyser par les tests statistiques les plus connus.

Chapitre III

collecte et critique des données

III.1 Introduction

La performance d'une étude hydrologique, est dépendante en premier lieu de la disponibilité et de la qualité des données nécessaires. Dans le cas de la prévision hydrologique, les modèles proposés exigent un historique de données complet et qui contient le maximum d'informations significatives. En effet, des tests statistiques ont été élaborés afin de traiter et d'analyser les séries temporelles pour en tirer le maximum d'informations. Ainsi, des méthodes peuvent être utilisées pour combler les lacunes des séries tronquées. Dans ce chapitre, on présente la théorie des différents tests et méthodes traitant les séries chronologiques.

Et on montre les résultats obtenus pour nos séries après l'application des tests et méthodes en question.

III.2 Critique des données

Les types de problèmes le plus souvent rencontrés lors du traitement des données en hydrologie sont [12] :

- Le manque de données : station non existante,
- Non continuité des données : manque d'enregistrements à une station,
- La mauvaise qualité des données, qui peut dépendre de deux causes :

Données inconsistantes : lorsqu'elles sont entachées d'une erreur systématique due à des instruments de mauvaise qualité ou non calibrés.

Données non homogènes : lorsqu'il se produit à un moment donné, un changement de l'emplacement de l'appareil qui affecte la mesure (déplacement de la station de mesure ou changement d'appareil).

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

- 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 Comblement de lacunes

III.3.1 Méthodes de comblement des lacunes

Dans la pratique courante, de nombreuses causes concourent pour entraîner l'absence de certaines informations (absence de mesures, défaut de transmission, erreur de stockage, manipulation erronée, ...), ce qui fait que dans les fichiers disponibles certaines données sont manquantes. 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 [12] :

- 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.

• Remplacer la valeur manquante par une moyenne pondérée par la tendance annuelle des stations pluviométriques par exemple, soit :

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\overline{P_x}}{P_i} P_i \right]$$

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

n : Nombre de stations de référence ;

P_i : Précipitation à la station de référence ;

$\overline{P_x}$: Précipitation moyenne de la station ;

$\overline{P_i}$: Précipitation moyenne de la station de référence.

• Remplacer la valeur manquante par la moyenne interannuelle de la série considérée :

Une donnée journalière manquante, par exemple, peut être remplacée soit par la moyenne entre la valeur des jours précédant et suivant, soit par la moyenne du mois ou bien par la moyenne journalière interannuelle du jour considéré. S'il s'agit d'une valeur mensuelle, nous estimons la valeur manquante soit par la moyenne mensuelle des mois disponibles ou bien par la moyenne mensuelle interannuelle du mois considéré.

• Les méthodes basées sur l'analyse de régressions et corrélations :

Le calcul de régression se fait en déterminant les valeurs des paramètres de la relation entre la variable expliquée et la (ou les) variable(s) explicative(s). Cette régression peut être simple ou multiple.

Exemple : Soient Y une variable climatologique dont nous connaissons n valeurs : y_1, y_2, \dots, y_n , et X une autre variable observée de façon concomitante, avec les observations x_1, x_2, \dots, x_n , mais nous possédons par ailleurs sur une période d'observation antérieure par exemple $N-n$ réalisations complémentaires $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_N$.

Il s'agit de reconstituer les valeurs manquantes $y_{n+1}, y_{n+2}, \dots, y_N$, concomitantes aux valeurs de la série complémentaire $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_N$ comme illustré par la figure ci-dessous :

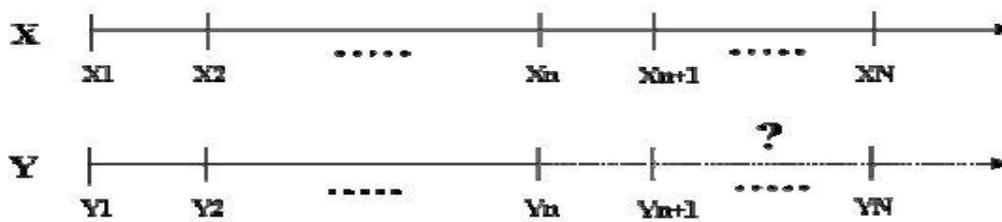


Figure 10 : Reconstitution des séries manquantes [12]

Une méthode générale consiste à utiliser un modèle linéaire de régression du type [12]:

$$y = a + bx + \varepsilon$$

Nous estimons les paramètres a et b sur la série de couples connus.

Nous pouvons alors estimer les valeurs complémentaires y_i pour chaque x_i connu ($i = n+1, \dots, N$), à partir de la relation estimée :

$$Y_i = \hat{a} + b x_i$$

III.3.2 Régression linéaire

La régression linéaire se classe parmi les méthodes d'analyses multi variées qui traitent des données quantitatives.

C'est une méthode d'investigation sur données d'observations, ou d'expérimentations, où l'objectif principal est de rechercher une liaison linéaire entre une variable Y quantitative et une ou plusieurs variables X également quantitatives.

C'est la méthode la plus utilisée pour deux raisons majeures :

- c'est une méthode ancienne,
- c'est l'outil de base de la plupart des modélisations plus sophistiquées comme la régression logistique, le modèle linéaire généralisé, les méthodes de traitement des séries temporelles, et surtout des modèles économétriques, etc.

Pour notre cas la station de base ou (de référence) dans l'axe des abscisses, est la station qui comporte des lacunes dans l'axe des ordonnées.

III.4 Présentation des données

Les séries de données utilisées dans notre étude ont été gracieusement offertes par Agence nationale ressources hydrique (ANRH) et office nationale météorologique (ONM), les principales caractéristiques sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Le réseau de mesure existant dans la ville de Mila

Code de station	Nom de station	Coordonnées des stations		Type de mesure	Nombre d'années d'observations
		X (m)	Y (m)		
100206	Mechta Serradj	222871,51	4024795,09	Cumul journalier	30
100208	Koudiat Tendart	235465,702	4043400,63	Cumul journalier	32
100303	Tadjenanet	228586,522	4002358,38	Cumul journalier	32
100306	Bir El Arch	238746,542	4013978,9	Cumul journalier	32
100402	Telerghma	261818,255	4000347,54	Cumul journalier	28
100404	Mechta Melha (Mchira)	254727,407	3996114,2	Cumul journalier	30

Tableau 12 : Séries des pluies annuelles disponible

Années	Station					
	Mechta Serradj	Koudiat Tendart	Tadjenanet	Bir El Arch	Telerghma	Mechta Melha (Mchira)
1980	539	397,8	291,1	244,3	181	310,8
1981	481,8	539	349,4	230,3	387,8	273,3
1982	264,4	293,6	231,4	391,5	143,5	335,5
1983	214,9	274,2	290,4	117,3	231,2	136,8
1984	602,9	679,8	439	468,4	344	285,4
1985	-	398,4	381,2	420,8	193,9	217,8
1986	185,7	566,9	363,5	409	351,2	253
1987	90,2	361,7	279,2	185,4	278,2	212,7
1988	78,4	525,8	379,1	328,3	328,1	235
1989	303,8	356,9	166,7	311,3	335,2	107,3
1990	74,4	579	112,9	425,2	605,7	347,4
1991	69,2	528,5	397,9	269,9	550,8	375,3
1992	192,8	407,7	265,3	331,7	408,8	286,6
1993	150,4	309,6	105,5	196,6	355,3	182,2
1994	163,8	394,2	332,4	223,3	617,9	283,4
1995	309,7	509,9	526,4	386,4	850,3	383,4
1996	58,5	294,7	241	198,3	237,5	154,9
1997	154,5	492,8	417,1	320,7	383,4	271,2
1998	172	613,9	378,2	280,7	294,9	245
1999	-	481,6	373,8	315	312,1	266,5
2000	106,7	316,6	208,8	170,4	147,4	179,7
2001	215	213	316,1	250,5	253	-
2002	826,6	624,7	597	541,4	461	-
2003	571,5	516,4	547,9	419,7	396,6	120,4
2004	684,4	486,1	381,8	195,6	312	412
2005	418,5	418,2	342,8	256,1	195,1	245,2
2006	373,7	354,2	328,1	206,3	286	167,9
2007	514,3	212,9	334,3	301	-	156,1
2008	495,9	386,7	417,6	310,2	-	190,6
2009	595,9	384,8	355,7	328	-	299,2
2010	511,4	425,5	375,3	325,9	387,2	297,8
2011	285	493,2	285,7	220	-	194,3

(-) : Données manquantes

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

Cas de la pluie annuelle de la station Mechta melha

Nous appliquons la méthode de la régression linéaire aux séries pluviométriques de Telarghma et Mechta melha (figure, et tableau). Les données sont présentées dans le tableau ci-après.

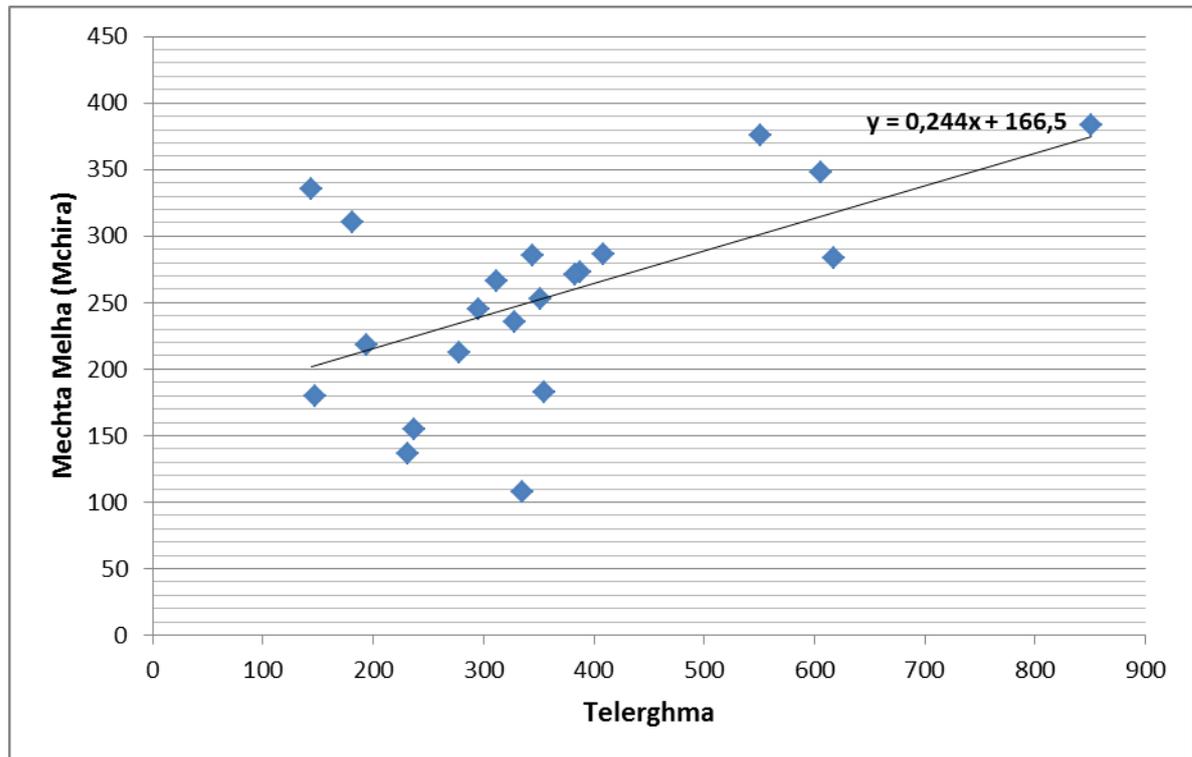


Figure 11 : Régression linéaire simple des pluies annuelle station Tlerghma – Mechta Melha

Exemple de calcul

Pour l'année 2001 il y a une lacune pour la station Mechta Melha, donc on remplace la valeur manquante par la formule $y = 0.244x + 166.5$

$$Y_{2001} = 0.244 x_{2001} + 166.5$$

$$Y_{2001} = 228.2 \text{ mm}$$

Les résultats des autres années manquants pour les pluies annuelles sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 13 : Séries des données annuelles reconstituées

Années	Les stations					
	Mechta Serradj	Koudiat Tendart	Tadjenanet	Bir El Arch	Telerghma	Mechta Melha (Mchira)
1980	539	397,8	291,1	244,3	181	310,8
1981	481,8	539	349,4	230,3	387,8	273,3
1982	264,4	293,6	231,4	391,5	143,5	335,5
1983	214,9	274,2	290,4	117,3	231,2	136,8
1984	602,9	679,8	439	468,4	344	285,4
1985	383,6	398,4	381,2	420,8	193,9	217,8
1986	185,7	566,9	363,5	409	351,2	253
1987	90,2	361,7	279,2	185,4	278,2	212,7
1988	78,4	525,8	379,1	328,3	328,1	235
1989	303,8	356,9	166,7	311,3	335,2	107,3
1990	74,4	579	112,9	425,2	605,7	347,4
1991	69,2	528,5	397,9	269,9	550,8	375,3
1992	192,8	407,7	265,3	331,7	408,8	286,6
1993	150,4	309,6	105,5	196,6	355,3	182,2
1994	163,8	394,2	332,4	223,3	617,9	283,4
1995	309,7	509,9	526,4	386,4	850,3	383,4
1996	58,5	294,7	241	198,3	237,5	154,9
1997	154,5	492,8	417,1	320,7	383,4	271,2
1998	172	613,9	378,2	280,7	294,9	245
1999	277	481,6	373,8	315	312,1	266,5
2000	106,7	316,6	208,8	170,4	147,4	179,7
2001	215	213	316,1	250,5	253	228,2
2002	826,6	624,7	597	541,4	461	279,0
2003	571,5	516,4	547,9	419,7	396,6	120,4
2004	684,4	486,1	381,8	195,6	312	412
2005	418,5	418,2	342,8	256,1	195,1	245,2
2006	373,7	354,2	328,1	206,3	286	167,9
2007	514,3	212,9	334,3	301	263,4	156,1
2008	495,9	386,7	417,6	310,2	294,5	190,6
2009	595,9	384,8	355,7	328	392,5	299,2
2010	511,4	425,5	375,3	325,9	387,2	297,8
2011	285	493,2	285,7	220	297,7	194,3

Même principe pour les pluies journalières maximales

Tableau 14: Série des années des Pjmax annuel disponible

Années	Les stations					
	Mechta Serradj	Koudiat Tendart	Tadjenanet	Bir El Arch	Telerghma	Mechta Melha (Mchira)
1980	165,5	48	35	22,4	21,1	35,9
1981	27,3	32,2	40	19,9	115,4	12,7
1982	21	26,6	31,5	11,2	28,9	143,9
1983	28,5	24,3	32,6	14,6	25,7	25,14
1984	11,5	46,2	46	28	36,3	15
1985	-	26,6	28,9	29,1	17,1	12
1986	37,5	69	37,4	95,7	33,6	13
1987	10,5	39,2	31,6	26,7	14,5	10
1988	26,96	36,7	42,1	28,7	11,3	16
1989	24,42	27,1	25,2	32,8	26,3	10,7
1990	42,2	41,7	48,7	14,2	25,4	81
1991	35,08	53	36,4	27	21,5	37,5
1992	16,4	47,2	19,9	36,6	38,3	24
1993	15,5	29,5	24,3	18	29,6	22,3
1994	19,1	25,1	30,9	16	39,4	37,1
1995	25	39,2	44,9	26,4	26,9	59,7
1996	11,5	31,1	33,4	19,3	14,6	24,9
1997	12	34,6	21,7	25,1	26,76	40,4
1998	72,5	61,6	46,2	31,4	11,5	24,6
1999	-	71,5	37,9	29,2	24	28,4
2000	23	21,5	14,4	16	24	37,5
2001	21	15	39	14,5	25	-
2002	70,2	38,2	38,7	48	25,28	-
2003	40,4	35,9	38,8	26	24	25
2004	85,2	48,8	59	20,5	24,1	10,4
2005	39,3	34	32,1	29,1	13,8	75,3
2006	41,2	46	22,1	37	18,8	24,5
2007	75,3	23,5	27,3	33,6	-	10,2
2008	52,1	44	25,7	31,2	-	14
2009	76,8	37,3	32,6	24	-	28,6
2010	46,4	35,1	41,2	24	24	18,5
2011	70,5	31,9	16,4	22	-	24,5

Tableau 15: Série des années des Pjmax annuel reconstitué

Années	Station					
	Mechta Serradj	Koudiat Tendart	Tadjenanet	Bir El Arch	Telerghma	Mechta Melha (Mchira)
1980	165,5	48	35	22,4	21,1	35,9
1981	27,3	32,2	40	19,9	115,4	12,7
1982	21	26,6	31,5	11,2	28,9	143,9
1983	28,5	24,3	32,6	14,6	25,7	25,14
1984	11,5	46,2	46	28	36,3	15
1985	27.1	26,6	28,9	29,1	17,1	12
1986	37,5	69	37,4	95,7	33,6	13
1987	10,5	39,2	31,6	26,7	14,5	10
1988	26,96	36,7	42,1	28,7	11,3	16
1989	24,42	27,1	25,2	32,8	26,3	10,7
1990	42,2	41,7	48,7	14,2	25,4	81
1991	35,08	53	36,4	27	21,5	37,5
1992	16,4	47,2	19,9	36,6	38,3	24
1993	15,5	29,5	24,3	18	29,6	22,3
1994	19,1	25,1	30,9	16	39,4	37,1
1995	25	39,2	44,9	26,4	26,9	59,7
1996	11,5	31,1	33,4	19,3	14,6	24,9
1997	12	34,6	21,7	25,1	26,76	40,4
1998	72,5	61,6	46,2	31,4	11,5	24,6
1999	34.8	71,5	37,9	29,2	24	28,4
2000	23	21,5	14,4	16	24	37,5
2001	21	15	39	14,5	25	36,9
2002	70,2	38,2	38,7	48	25,28	29,7
2003	40,4	35,9	38,8	26	24	25
2004	85,2	48,8	59	20,5	24,1	10,4
2005	39,3	34	32,1	29,1	13,8	75,3
2006	41,2	46	22,1	37	18,8	24,5
2007	75,3	23,5	27,3	33,6	29,2	10,2
2008	52,1	44	25,7	31,2	28,9	14
2009	76,8	37,3	32,6	24	27,7	28,6
2010	46,4	35,1	41,2	24	24	18,5
2011	70,5	31,9	16,4	22	28	24,5

III.5 Vérification de l'homogénéité

Principales causes d'inhomogénéités

Les principales causes d'inhomogénéités dans les séries climatologiques dépendent du paramètre qui est mesuré (**Tableau 16**). Par exemple, des changements des heures d'observations ou de méthodes de calcul peuvent causer une inhomogénéité dans les séries de températures moyennes et d'humidité, mais n'affectent pas les précipitations ou la pression. Les ruptures dans les séries de précipitations peuvent être dues à des changements d'instrumentation, de la hauteur de l'instrument, de l'environnement immédiat de la station, de l'exposition de la station et des relocations. Les déplacements et changements d'exposition sont susceptibles d'introduire des ruptures très importantes dans les séries de précipitations. [15] expliquent comment différents observateurs peuvent introduire des biais dans les séries de précipitations. De manière générale, la principale cause de rupture dans la plupart des séries climatologiques est probablement le déplacement de station. De plus, le déplacement d'une station est souvent accompagné d'un changement d'instrumentation, d'observateur et d'environnement [21].

Tableau 16 : Effet des différentes modifications des conditions de mesure sur différentes variables climatiques. Tiré de [16]

Type de changement	Variables			
	Température Moyenne	Température minimale et maximale	Pluie	Humidité
Instrumentation	-	+	+	++
Hauteur instrument	+	+	+	+
Exposition	+	++	+++	+
Heures observation	++	-	-	+
Méthode de calcul	++	-	-	+
Déplacement	++	+++	+++	+
Environnement	+	+	+	+
Observateurs	-	-	-	-

Pas de problèmes majeurs : (-) quelques inhomogénéités : (+) ruptures importantes, (++) et ruptures très importantes : (+++).

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 U Y (union de X et de Y) en est également issu.

On procède ainsi:

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

En classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite, nous 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 il a constitué une série homogène, la quantité W_x est comprise entre deux bornes W_{\max} et W_{\min} donnée par les formules suivantes:

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

Et

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

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ Représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à $1-\frac{\alpha}{2}$ [au seuil de confiance de 95% nous avons]

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$$

Pour notre cas nous avons utilisé le test de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité des données pluviométriques de toutes les six stations au niveau de signification de 5%.

Dans la suite du travail, à titre explicative, j'ai détaillé les calculs pour la station de Tadjenanet. Pour le reste des stations nous allons faire une synthèse des résultats.

III.5.2 Cas des pluies journalières maximales de la station Tadjenamet

Les données sont reportées sur le (Tableau 17) :

Tableau 17 : Série des pluies journalières maximales de la station de Tadjenamet

Années	Pluie journalière maximal						
1980	35	1988	42,1	1996	33,4	2004	59
1981	40	1989	25,2	1997	21,7	2005	32,1
1982	31,5	1990	48,7	1998	46,2	2006	22,1
1983	32,6	1991	36,4	1999	37,9	2007	27,3
1984	46	1992	19,9	2000	14,4	2008	25,7
1985	28,9	1993	24,3	2001	39	2009	32,6
1986	37,4	1994	30,9	2002	38,7	2010	41,2
1987	31,6	1995	44,9	2003	38,8	2011	16,4

On forme ensuite le (Tableau 18) pour faciliter les calculs. On commence par diviser notre série pluviométrique en deux échantillons de longueurs respectives $N_1=15$ 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 série originale et dans la cinquième colonne, l'origine de la valeur de la série, c'est-à-dire on note si elle provient de l'échantillon X ou de Y.

Tableau 18 : Application de la méthode de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies maximales journalières de la station de Tadjenamet (Pjmax)

Données	X	Y	Rang	XUY	Origine	Σ Rang (x)
35	35	44,9	1	14,4	Y	
40	40	33,4	2	16,4	Y	
31,5	31,5	21,7	3	19,9	X	3
32,6	32,6	46,2	4	21,7	Y	
46	46	37,9	5	22,1	Y	
28,9	28,9	14,4	6	24,3	X	6
37,4	37,4	39	7	25,2	X	7
31,6	31,6	38,7	8	25,7	Y	
42,1	42,1	38,8	9	27,3	Y	
25,2	25,2	59	10	28,9	X	10
48,7	48,7	32,1	11	30,9	X	11
36,4	36,4	22,1	12	31,5	X	12
19,9	19,9	27,3	13	31,6	X	13
24,3	24,3	25,7	14	32,1	Y	
30,9	30,9	32,6	15	32,6	Y	
44,9		41,2	16	32,6	X	16
33,4		16,4	17	33,4	Y	
21,7			18	35	X	18
46,2			19	36,4	X	19
37,9			20	37,4	X	20
14,4			21	37,9	Y	
39			22	38,7	Y	
38,7			23	38,8	Y	
38,8			24	39	Y	
59			25	40	X	25
32,1			26	41,2	Y	
22,1			27	42,1	X	27
27,3			28	44,9	Y	
25,7			29	46	X	29
32,6			30	46,2	Y	
41,2			31	48,7	X	31
16,4			32	59	Y	

Somme Rang x = 247

X = 15

Y = 17

 $W_{\min} = 195,10$

$$W_{\max} = 299,90$$

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 $195,10 < 247 < 299,90$

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

Tableau 19 : Résultats de Test de Wilcoxon pour les stations de Mila (Pjmax)

Nom de station	Test de wilcoxon			l'inégalité	Observation
	Wmin	Wmax	$\Sigma \text{Rang}(x)$		
Mechta Serradj	195,1	299,9	190	$195,10 > 247 < 299,90$	Non Homogène
Bir El Arch	195,1	299,9	228	$195,10 < 228 < 299,90$	Homogène
Telerghma	195,1	299,9	287	$195,10 < 287 < 299,91$	Homogène
Koudiat Tendart	195,1	299,9	248	$195,10 < 248 < 299,89$	Homogène
Tadjenanet	195,1	299,9	247	$195,10 < 247 < 299,90$	Homogène
Mechta Melha (Mchira)	195,1	299,9	243	$195,10 < 243 < 299,90$	Homogène

Tableau 20 : Résultats de Test de Wilcoxon sur les stations de Mila (pluie annuelle)

Nom de station	Test de wilcoxon			l'inégalité	Observation
	Wmin	Wmax	Σ Rang (x)		
Mechta Serradj	195.1	299.9	200	195,10 < 200 < 299.90	Homogène
Bir El Arch	195.1	299.9	261	195,10 < 261 < 299.90	Homogène
Telerghma	195.1	299.9	260	195,10 < 260 < 299.90	Homogène
Koudiat Tendart	195.1	299.9	257	195,10 < 257 < 299.90	Homogène
Tadjenanet	195.1	299.9	199	195,10 < 199 < 299.90	Homogène
Mechta Melha (Mchira)	195.1	299.9	269	195,10 < 269 < 299.90	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 est très utilisé pour sa simplicité. Il peut détecter les points singuliers de la série en calculant les statistiques suivantes :

$$X_h = \exp(\bar{X} + K_n \times S_x)$$

$$X_L = \exp(\bar{X} - K_n \times S_x)$$

\bar{X} Et S_x : Sont respectivement, la moyenne et l'écart type des logarithmes naturels des éléments constituant l'échantillon.

K_n : 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%.

Pour cette études est pour trouver les valeurs singulières min et max on a utilisé le test de Grubbs et Beck (Tableaux 21, 22)

Tableau 21 : Test de représentativité de Grubbs et Beck (Pjmax)

Nom de station	Mechta Serradj	Koudiat Tendart	Tadjenanet	Bir El Arch	Telerghma	Mechta Melha (Mchira)
N	32	32	32	32	32	32
Xmax	210,1	93,6	78,1	77,8	88	151,2
Xmin	5,05	13,9	13,4	8,1	7,34	4,2
KN, 0.05	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78

Tableau 22 : Test de représentativité de Grubbs et Beck (Pluie annelle)

Nom de station	Mechta Serradj	Koudiat Tendart	Tadjenanet	Bir El Arch	Telerghma	Mechta Melha (Mchira)
N	32	32	32	32	32	32
Xmax	2033,6	943,1	928,4	726,9	967,8	599,2
Xmin	32,20	183,1	108,6	110,8	105,90	92,6
KN, 0.05	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78

III.7. Conclusion

Pour notre étude après avoir comblé les lacunes des données deux tests statistiques ont été utilisées (d'homogénéité et de détection de valeurs singulières) pour ajuster les hauteurs de précipitation annuelles est les pluies journalières maximal annuelles.

D'une façon générale les données pluviométriques sont fiables et on peut l'utiliser dans n'importe quel domaine de l'eau sur tous dans la prévention des risques pluviaux tels que les inondations.

Chapitre IV

Etude des précipitations Annuelles

IV.1.Introduction

Pour l'étude des précipitations mesurées dans les différentes 06 stations nous commençons par constituer les séries de données à traiter, les lois ajustées et les tests vérifiés.

Pour les données annuelles nous considérons les séries complètes de mesure, même cas pour les données des pluies journalières maximales.

Il existe de nombreuses lois ajustements, pour notre étude nous avons utilisé les plus connus en hydrologie :

- ✚ Lois log normale ;
- ✚ Loi de Gumbel ;
- ✚ Loi de Gev.

Et pour vérifier nos ajustements on a utilisé : L'examen visuel et test de Kolmogorov-Smirnov. Dans ce travail on utilise le logiciel hydrognomon.

IV.2. Présentation du logiciel « Hydrognomon »

Hydrognomon est un logiciel pour l'analyse et le traitement des données hydrologiques, principalement sous la forme de séries chronologiques. Il peut composer le temps de traitement des demandes de la série, comme l'agrégation de temps de l'étape et la régularisation, l'interpolation, l'analyse de régression et le remblayage des valeurs manquantes, des tests de cohérence, le filtrage des données, et la visualisation graphique et tabulaire des séries chronologiques. Ce logiciel prend également en charge les applications hydrologiques spécifiques, y compris la modélisation de l'évapotranspiration, hauteur-débit et l'analyse de décharge à sédiments, tests d'homogénéité, les méthodes du bilan hydrique, et hydrométrie.

IV.3. Série de donnée disponible

Nous disposons des mesures de cumuls annuelles au niveau des stations de la ville de Mila. Les données sont présentées dans la (**Figure 12**), (**Tableau 23**) :

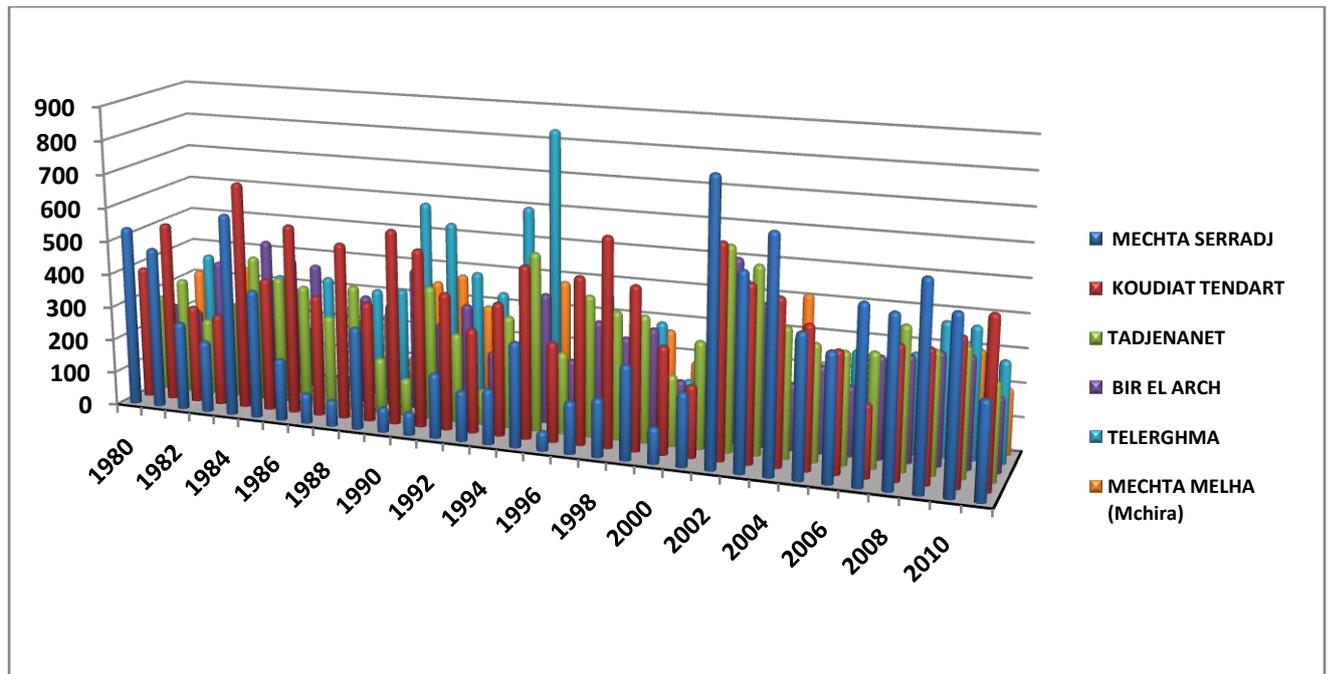


Figure 12: Présentation des données annuelles de la ville de Mila

Tableau 23: Présentation des données annuelles de la ville de Mila

N	Code	Station	X (m)	Y (m)	Durée d'observation
1	100206	Mechta Serradj	222871,51	4024795,091	1980 - 2011
2	100208	KoudiatTendart	235465,702	4043400,629	1980 - 2011
3	100303	Tedjenanet	228586,522	4002358,38	1980 - 2011
4	100306	Bir el Arch	238746,542	4013978,903	1980 - 2011
5	100402	Telerghma	261818,255	4000347,542	1980 - 2010
6	100404	Mechta Melha(Mchira)	254727,407	3996114,201	1980 - 2011

Tableau 24: Paramètres empiriques

Station	Nombre d'observation	Moyenne Arithmétique	Moyenne Géométrique	Moyenne Harmonique	Médiane
Mechta Serradj	32	323,91	255,87	192,98	281,00
Koudiat Tendart	32	432,45	415,54	397,59	412,95
Tadjenanet	32	337,89	317,46	291,64	346,10
Bir El Arch	32	299,36	283,85	267,99	305,60
Telerghma	32	346,16	320,15	296,83	320,10
Mechta Melha (Mchira)	32	247,93	235,52	222,34	249,10

Tableau 25: Paramètres de dispersion et de forme

Station	Minimum	Maximum	Ecart type	Variance	Cv
Mechta Serradj	58,5	826,60	206,18	42508,23	0,64
Koudiat Tendart	212,9	679,80	119,09	14182,06	0,28
Tadjenanet	105,5	597,00	109,54	11999,86	0,32
Bir El Arch	117,3	541,40	97,22	9451,67	0,32
Telerghma	143,5	850,30	147,78	21839,21	0,43
Mechta Melha (Mchira)	107,3	411,98	77,15	5952,83	0,31

IV.4. Ajustement des lois de probabilité

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

Tableau 26 : Classement des valeurs par ordre croissant

N°	Années	Pluie annuelle	Valeurs ordonnées	Fréquence. expér	Variable de Gumbel	Valeurs Théorique	Valeurs. expér	Bornes .Inf	Bornes .Sup
1	1980	291,1	105.50	0.02	-1.425	167.56	105.50	107.09	204.52
2	1981	349,4	112.90	0.05	-1.119	193.77	112.90	142.66	226.75
3	1982	231,4	166.70	0.08	-0.936	209.37	166.70	163.42	240.40
4	1983	290,4	208.80	0.11	-0.794	221.46	208.80	179.23	251.27
5	1984	439.00	231.40	0.14	-0.674	231.76	231.40	192.44	260.77
6	1985	381,2	241.00	0.17	-0.566	240.98	241.00	204.05	269.50
7	1986	363,5	265.30	0.20	-0.466	249.50	265.30	214.56	277.77
8	1987	279,2	279.20	0.23	-0.372	257.54	279.20	224.27	285.79
9	1988	379,1	285.70	0.27	-0.282	265.25	285.70	233.37	293.68
10	1989	166,7	290.40	0.30	-0.194	272.73	290.40	242.01	301.56
11	1990	112,9	291.10	0.33	-0.108	280.08	291.10	250.29	309.49
12	1991	397,9	316.10	0.36	-0.023	287.36	316.10	258.28	317.55
13	1992	265,3	328.10	0.39	0.062	294.62	328.10	266.05	325.79
14	1993	105,5	332.40	0.42	0.147	301.92	332.40	273.66	334.28
15	1994	332,4	334.30	0.45	0.234	309.31	334.30	281.17	343.05
16	1995	526,4	342.80	0.48	0.322	316.83	342.80	288.63	352.18
17	1996	241.00	349.40	0.52	0.412	324.53	349.40	296.09	361.71
18	1997	417,1	355.70	0.55	0.505	332.48	355.70	303.62	371.72
19	1998	378,2	363.50	0.58	0.602	340.73	363.50	311.26	382.28
20	1999	373,8	373.80	0.61	0.703	349.36	373.80	319.09	393.48
21	2000	208,8	375.30	0.64	0.809	358.46	375.30	327.19	405.44
22	2001	316,1	378.20	0.67	0.922	368.12	378.20	335.64	418.30
23	2002	597.00	379.10	0.70	1.043	378.50	379.10	344.57	432.25
24	2003	547,9	381.20	0.73	1.175	389.76	381.20	354.12	447.53
25	2004	381,8	381.80	0.77	1.320	402.15	381.80	364.49	464.49
26	2005	342,8	397.90	0.80	1.483	416.01	397.90	375.94	483.62
27	2006	328,1	417.10	0.83	1.668	431.87	417.10	388.89	505.64
28	2007	334,3	417.60	0.86	1.887	450.56	417.60	403.99	531.75
29	2008	417,6	439.00	0.89	2.156	473.52	439.00	422.37	564.02
30	2009	355,7	526.40	0.92	2.509	503.72	526.40	446.32	606.67
31	2010	375,3	547.90	0.95	3.036	548.78	547.90	481.74	670.62
32	2011	285,7	597.00	0.98	4.151	644.02	597.00	555.90	806.50

IV.4. 1.Résultat graphique pour Mehta Serradj

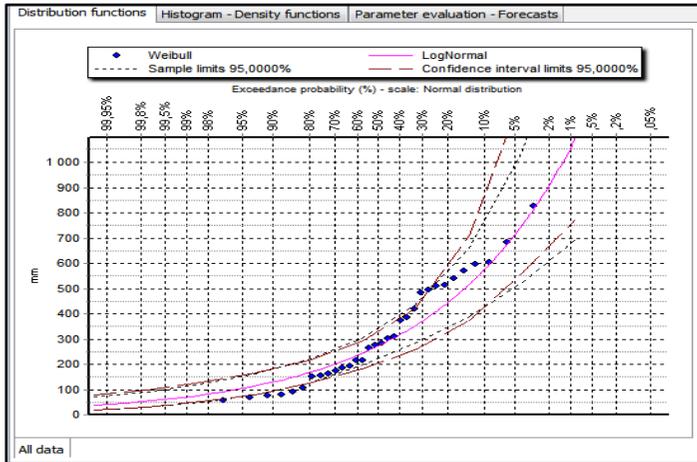


Figure 13 : Loi log normal

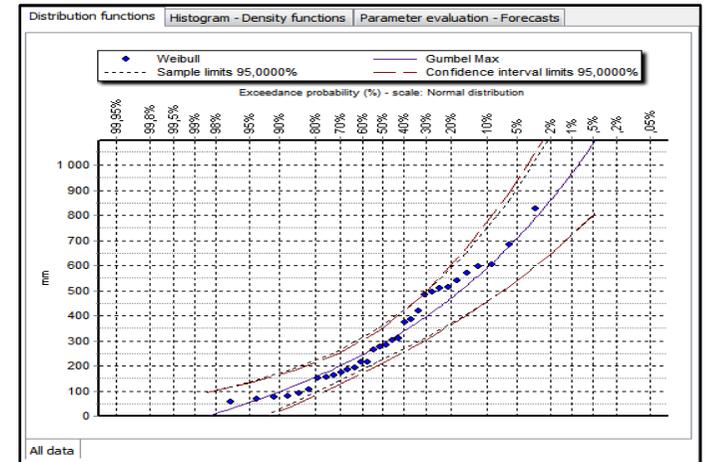


Figure 14 : Loi Gumbel

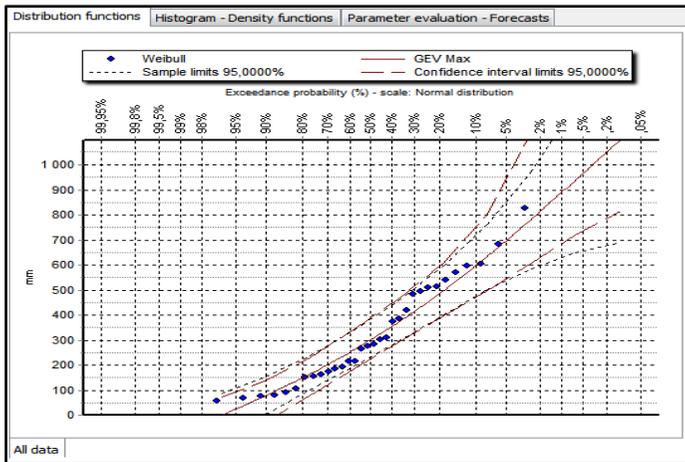


Figure 15 : Loi Gev

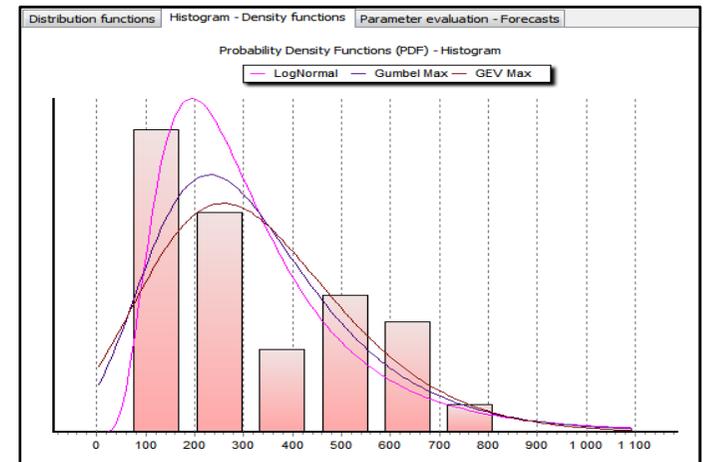


Figure 16 : Histogramme avec trois lois

IV.4.2 Test d'adéquation de l'ajustement

Pour vérifier l'adéquation de l'ajustement sur les trois lois utilisées avec la moyenne et l'écart type calculés, on exécute le test de Kolmogorov Smirnov et l'examen visuel pour un seuil de signification de 95%.

Tableau 27 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Serradj

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,13761	0,23424	$0,13761 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,11333	0,23424	$0,11333 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,10041	0,23424	$0,10041 < 0,23424$	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation les données de la station de Mechta Serradj s'ajustent bien aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 28 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Serradj

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	273,254	446,416	576,991	713,164	905,229	1061,22
Gumbel	290,031	472,304	592,986	708,746	858,586	970,870
Gev	302,384	488,511	599,532	697,645	813,539	892,859

IV.4. 3.Résultat graphique pour Koudiat Tendart

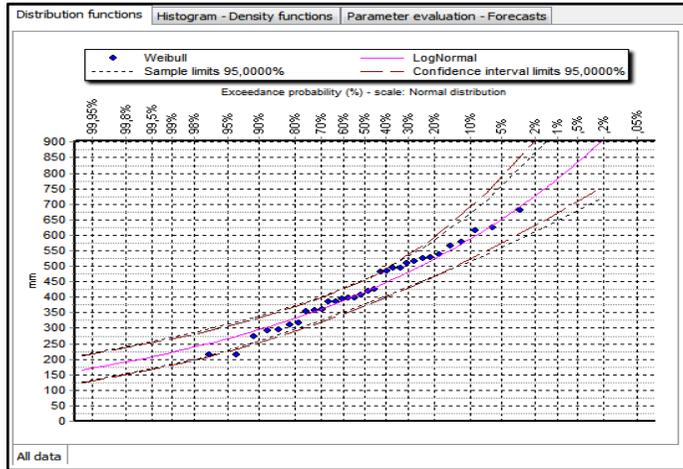


Figure 17 : Loi log normal

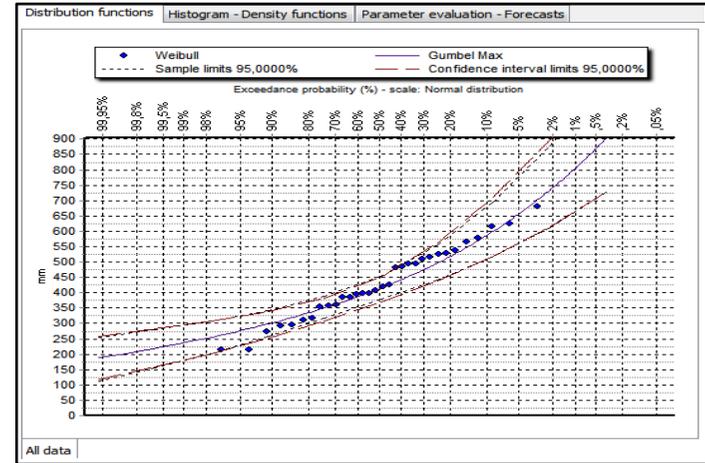


Figure 18 : Loi Gumbel

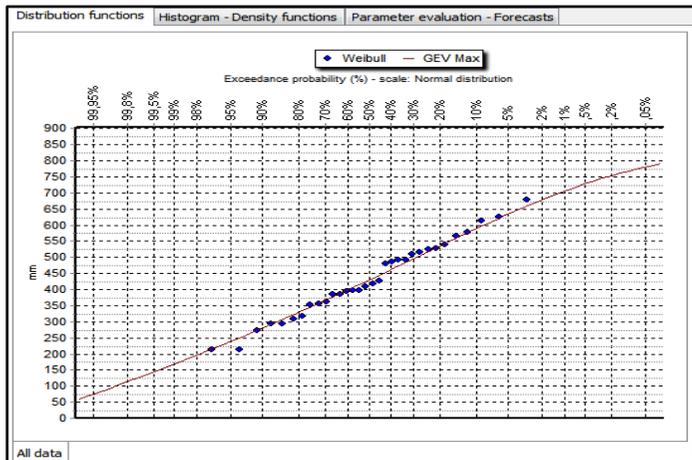


Figure 19 : Loi Gev

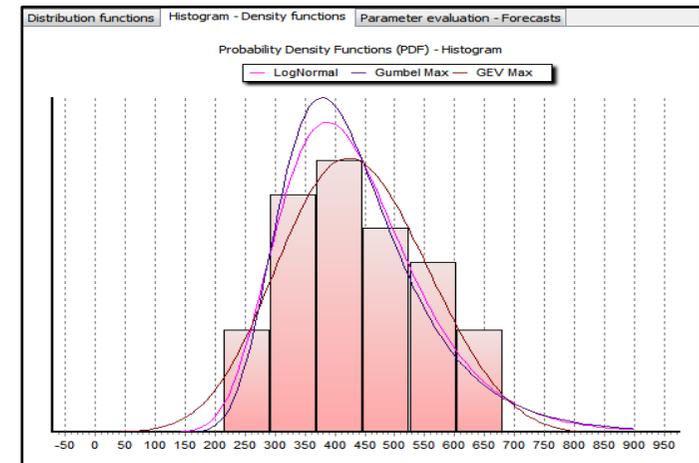


Figure 20: Histogramme avec trois lois

Tableau 29 : Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Koudiat Tendart

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,12735	0,23424	$0,12735 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,14262	0,23424	$0,14262 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,08459	0,23424	$0,08459 < 0,23424$	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation les données de la station de Koudiat Tendart s'ajustent bien aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 30 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Koudiat Tendart

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	416,927	523,458	589,573	650,423	726,453	782,016
Gumbel	412,876	518,159	587,866	654,730	741,278	806,135
Gev	430,171	535,357	589,868	633,119	678,406	705,879

IV.4. 4.Résultat graphique pour Tadjenanet

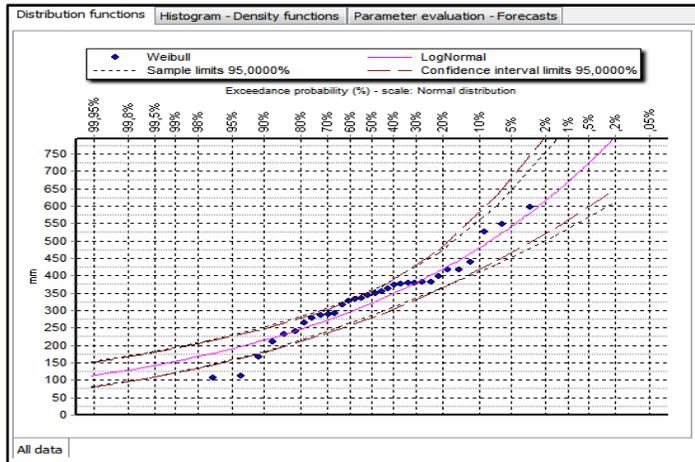


Figure 21: Loi log normal

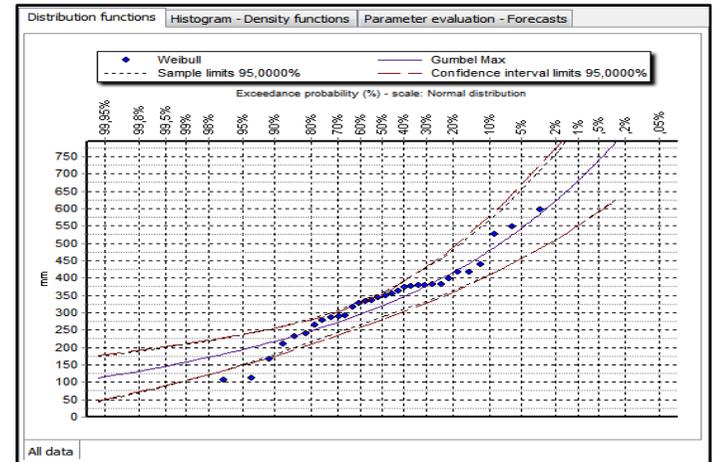


Figure 22: Loi Gumbel

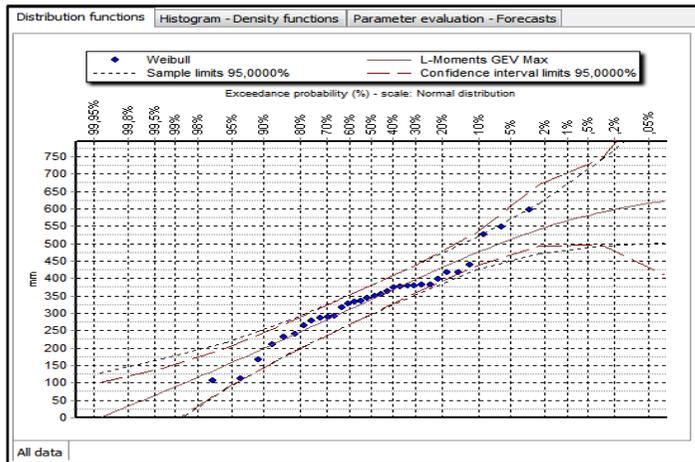


Figure 23: Lois Gev

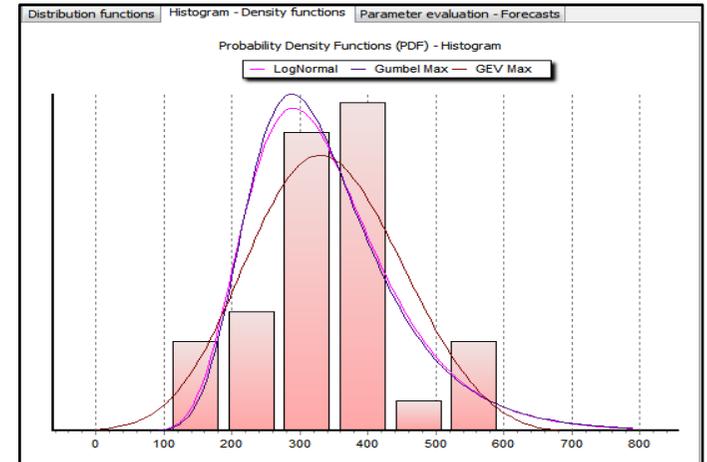


Figure 24: Histogramme avec quatre lois

Tableau 31: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Tadjenanet

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,13198	0,23424	$0,13198 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,13883	0,23424	$0,13883 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,10228	0,23424	$0,10228 < 0,23424$	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation les données de la station de Tadjenanet s'ajustent bien aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 32: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Tadjenanet

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	321,424	419,400	481,979	540,639	615,242	670,613
Gumbel	319,892	416,737	480,856	542,361	621,974	681,632
Gev	336,083	432,703	482,564	521,997	563,137	588,005

IV.4.5. Résultat graphique pour Bir El Arch

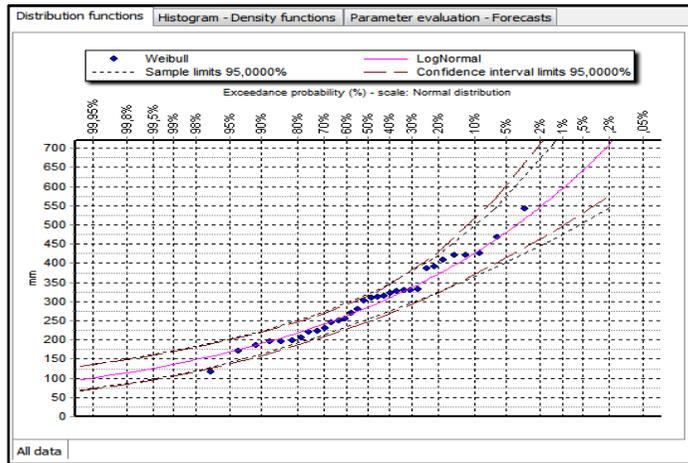


Figure 25: Loi log normal

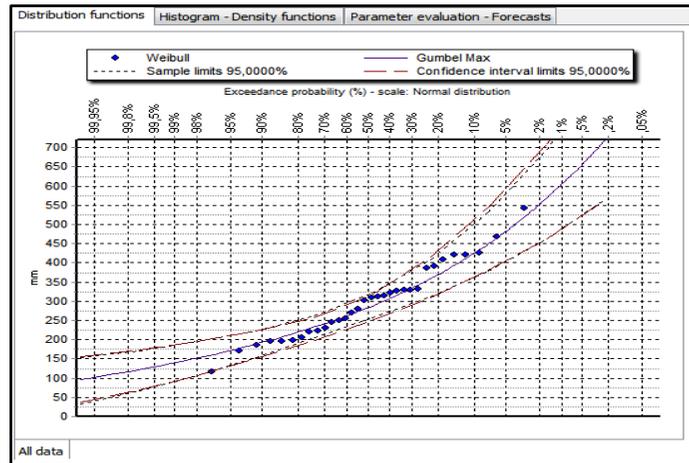


Figure 26: Loi Gumbel

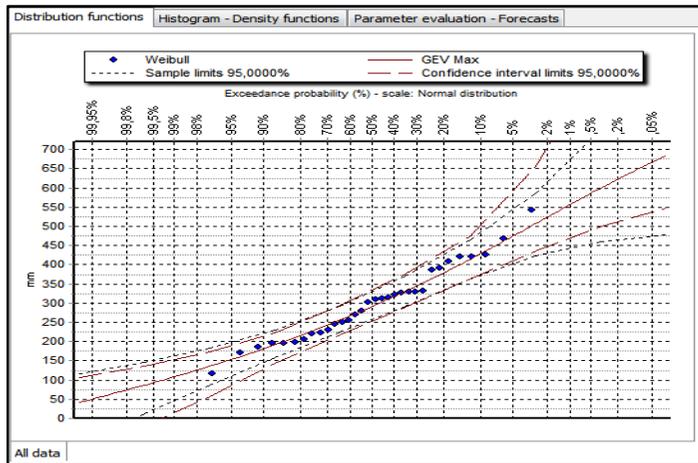


Figure 27: Loi Gev

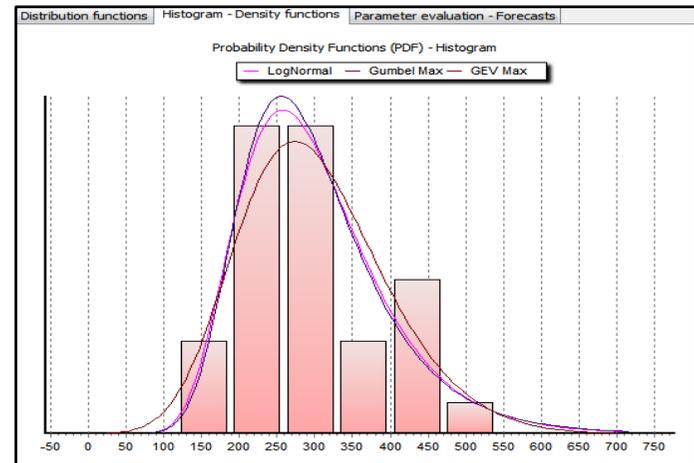


Figure 28: Histogramme avec trois lois

Tableau 33: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Bir El Arch

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,09152	0,23424	$0,09152 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,09951	0,23424	$0,09951 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,07025	0,23424	$0,07025 < 0,23424$	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation les données de la station de Bir El Arch s'ajustent bien aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 34: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Bir El Arch

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	284,721	371,672	427,228	479,315	545,573	594,758
Gumbel	283,383	369,332	426,238	480,823	551,479	604,425
Gev	291,136	378,871	429,479	473,091	523,159	556,466

IV.4.6. Résultat graphique pour Telerghma

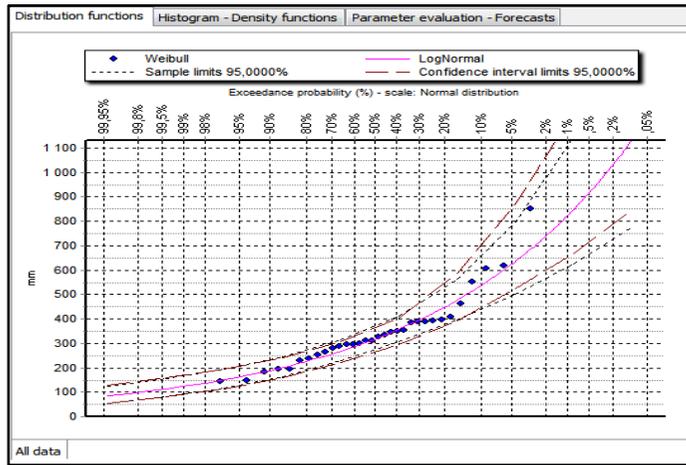


Figure 29: Loi log normal

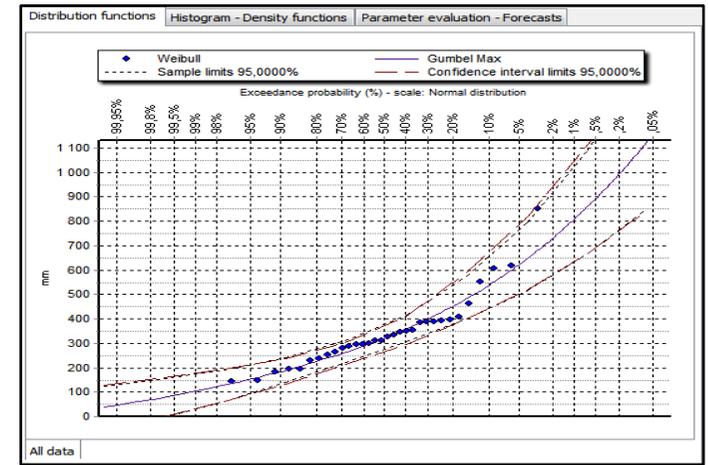


Figure 30 : Loi Gumbel

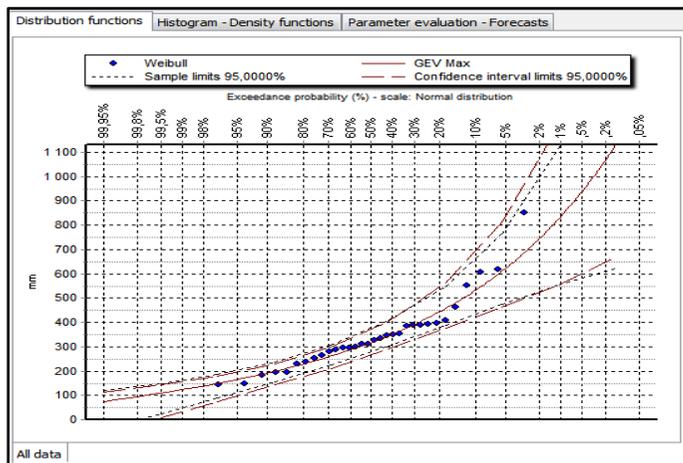


Figure 31 : Loi Gev

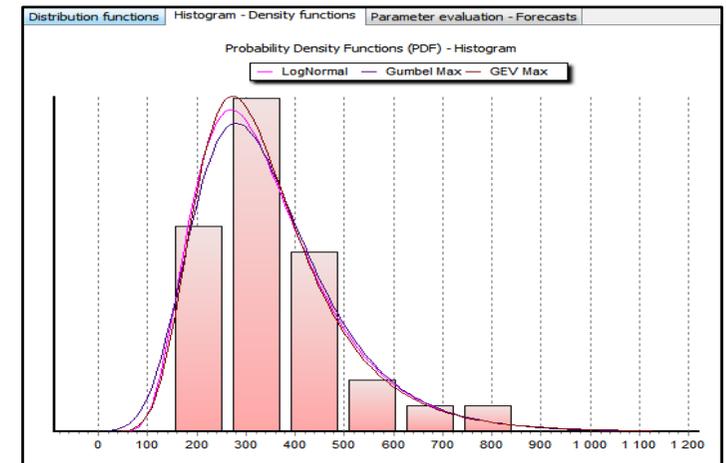


Figure 32: Histogramme avec trois lois

Tableau 35: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Telerghma

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,08876	0,23424	$0,08876 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,09644	0,23424	$0,09644 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,08145	0,23424	$0,08145 < 0,23424$	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation les données de la station de Telerghma s'ajustent bien aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 36 : Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Telerghma

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	318,364	449,244	537,848	624,050	737,702	824,750
Gumbel	321,877	452,527	539,028	622,003	729,405	809,887
Gev	317,830	444,850	533,611	622,423	742,966	837,617

IV.4.7. Résultat graphique pour Mechta Melha (Mchira)

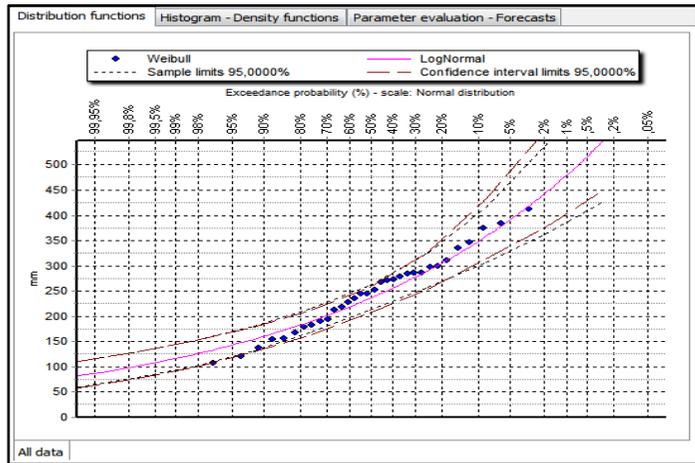


Figure 33: Loi log normal

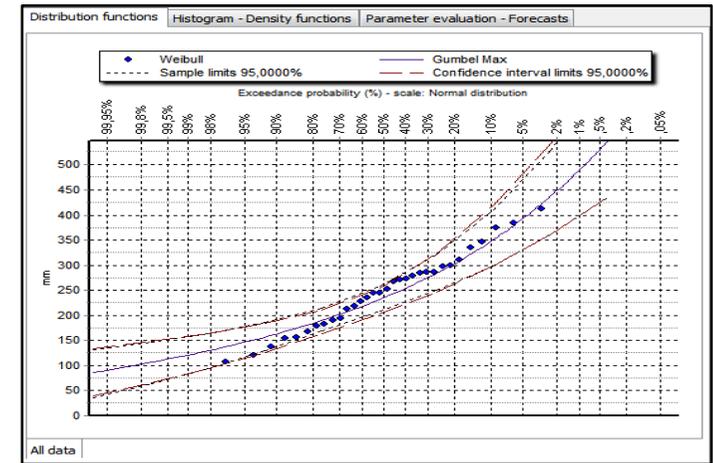


Figure 34: Loi Gumbel

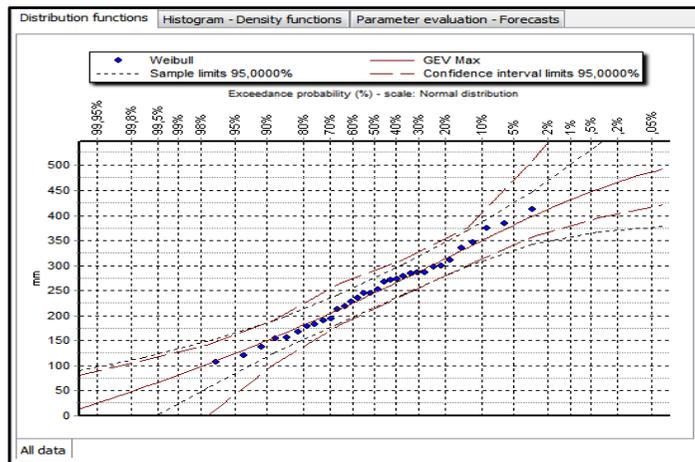


Figure35 : Loi Gev

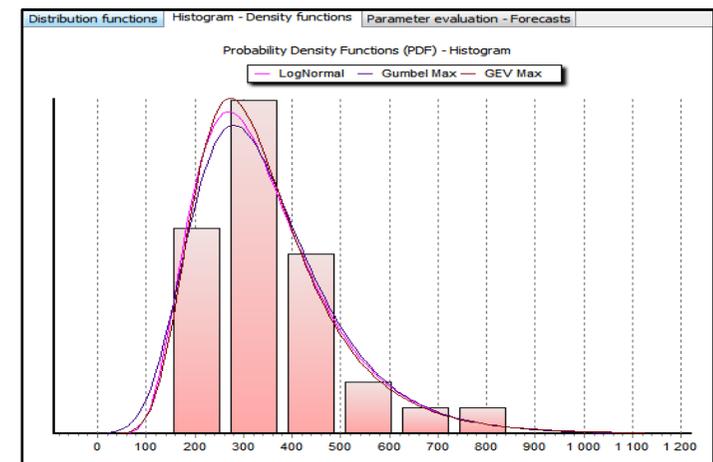


Figure36 : Histogramme avec trois lois

Tableau 37: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Melha (Mchira)

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,10610	0,23424	$0,10610 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,11659	0,23424	$0,11659 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,05917	0,23424	$0,05917 < 0,23424$	Vérifier

D'après les résultats de test d'adéquation les données de la station de Mechta Melha s'ajustent bien aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 38: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Melha (Mchira)

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	236,736	305,768	349,527	390,347	442,020	480,215
Gumbel	235,255	303,467	348,629	391,950	448,024	490,044
Gev	245,235	313,913	350,440	380,006	411,659	431,294

IV.5. Conclusion

Les données annuelles des stations étudiées ont été vérifiées avec le test de Kolmogorov Smirnov et l'examen visuel sur un intervalle de confiance à 95, les résultats ont montré que les pluies annuelles s'ajustent bien aux lois Log-Normale, Gumbel et Gev. Pour le choix du modèle fréquentiel.

Chapitre V

Etude des précipitations journalières maximales

V.1.Introduction

Comme nous l'avons indiqué on peut admettre que la pluie est une variable aléatoire, régie par simple hasard. Ou si pendant une journée il tombe une averse d'une valeur déterminée, celle qui la suivra peut prendre toutes les valeurs possibles dans le cadre d'une saison et d'un climat. Et ceci indépendamment de celle qui la précède et de celle qui la suit.

D'après une enquête de l'OMM (1989) faite auprès de 55 agences de 28 pays révèle que 52 % de ces dernières ont pour habitude d'utiliser comme loi de distribution, la loi des valeurs extrêmes généralisées (GEV), comme référence principale. Cette loi admet comme cas particuliers, les lois de Gumbel, Fréchet et Weibull [17].

Le but de ce chapitre est de faire un ajustement statistique avec les lois (log normal, Gumbel, et GEV) des pluies journalières maximales pour six stations de la wilaya de Mila.

Tableau 39: Précipitation journalière maximal des déférentes stations

Années	Les stations					
	Mechta Serradj	Koudiat Tendart	Tadjenanet	Bir El Arch	Telerghma	Mechta Melha (Mchira)
1980	165,5	48	35	22,4	21,1	35,9
1981	27,3	32,2	40	19,9	115,4	12,7
1982	21	26,6	31,5	11,2	28,9	143,9
1983	28,5	24,3	32,6	14,6	25,7	25,14
1984	11,5	46,2	46	28	36,3	15
1985	27,1	26,6	28,9	29,1	17,1	12
1986	37,5	69	37,4	95,7	33,6	13
1987	10,5	39,2	31,6	26,7	14,5	10
1988	26,96	36,7	42,1	28,7	11,3	16
1989	24,42	27,1	25,2	32,8	26,3	10,7
1990	42,2	41,7	48,7	14,2	25,4	81
1991	35,08	53	36,4	27	21,5	37,5
1992	16,4	47,2	19,9	36,6	38,3	24
1993	15,5	29,5	24,3	18	29,6	22,3
1994	19,1	25,1	30,9	16	39,4	37,1
1995	25	39,2	44,9	26,4	26,9	59,7
1996	11,5	31,1	33,4	19,3	14,6	24,9
1997	12	34,6	21,7	25,1	26,76	40,4
1998	72,5	61,6	46,2	31,4	11,5	24,6
1999	34,8	71,5	37,9	29,2	24	28,4
2000	23	21,5	14,4	16	24	37,5
2001	21	15	39	14,5	25	36,9
2002	70,2	38,2	38,7	48	25,28	29,7
2003	40,4	35,9	38,8	26	24	25
2004	85,2	48,8	59	20,5	24,1	10,4
2005	39,3	34	32,1	29,1	13,8	75,3
2006	41,2	46	22,1	37	18,8	24,5
2007	75,3	23,5	27,3	33,6	29,2	10,2
2008	52,1	44	25,7	31,2	28,9	14
2009	76,8	37,3	32,6	24	27,7	28,6
2010	46,4	35,1	41,2	24	24	18,5
2011	70,5	31,9	16,4	22	28	24,5

V.2. Traitement des données journalières

Les caractéristiques statistiques des mesures sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Tableaux 40: Paramètres empiriques

station	Nombre d'observation	Moyenne Arithmétique	Moyenne Géométrique	Moyenne Harmonique	Médiane
Mechta Serradj	32	40,81	32,56	26,56	31,65
Koudiat Tendart	32	38,18	36,10	34,07	36,30
Tadjenanet	32	33,81	32,30	30,66	33,00
Bir El Arch	32	27,44	25,05	23,26	26,20
Telerghma	32	28,50	25,42	23,29	25,55
Mechta Melha (Mchira)	32	31,54	25,09	21,01	24,75

Tableaux 41: Paramètres de dispersion et de forme

station	Minimum	Maximum	Ecart type	Variance	Cv
Mechta Serradj	10,5	165,50	31,37	984,02	0,77
Koudiat Tendart	15	71,50	13,11	171,84	0,34
Tadjenanet	14,4	59,00	9,89	97,91	0,29
Bir El Arch	11,2	95,70	14,75	217,61	0,54
Telerghma	11,3	115,40	18,20	331,26	0,64
Mechta Melha (Mchira)	10	143,90	26,83	720,01	0,85

V.3. Ajustement des lois de probabilité

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

V.3.1. Résultat graphique pour Mechta Serradj

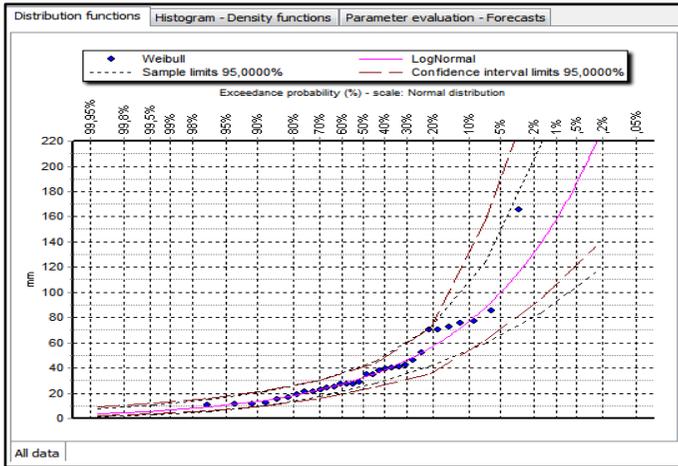


Figure 37: Loi log normal

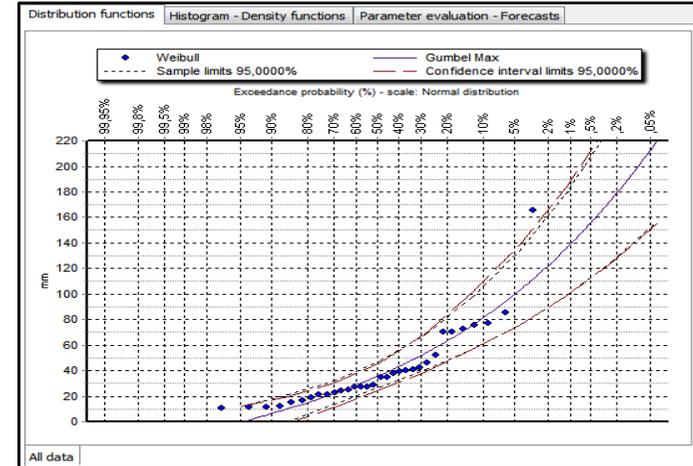


Figure 38: Loi Gumbel

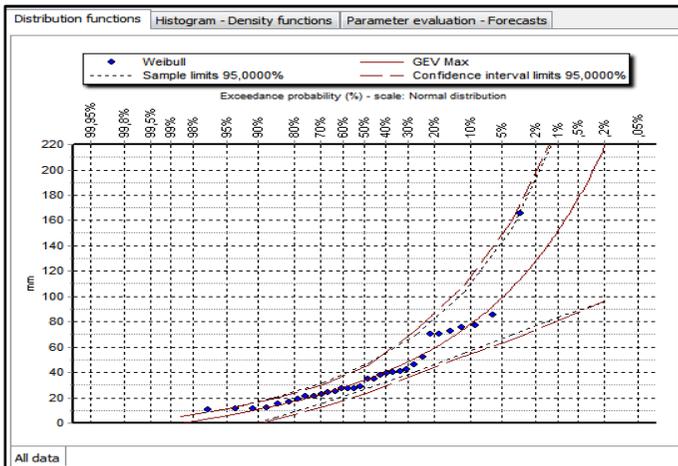


Figure 39: Loi Gev

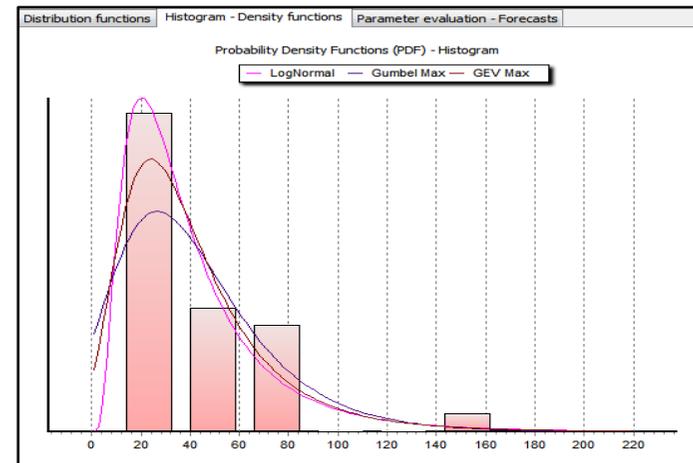


Figure 40: Histogramme avec trois lois

Tableau 42: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Serradj

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,08433	0,23424	$0,08433 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,11377	0,23424	$0,11377 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,07850	0,23424	$0,07850 < 0,23424$	Vérifier

Les données de la station de Mechta Serradj s'ajustent aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 43: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Serradj

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	32,3504	57,4054	77,4725	99,2349	131,122	157,888
Gumbel	35,6499	63,3825	81,7439	99,3566	122,154	139,238
Gev	33,8739	59,3713	78,4410	98,5658	127,573	151,731

V.3.2. Résultat graphique pour Koudiat Tendart

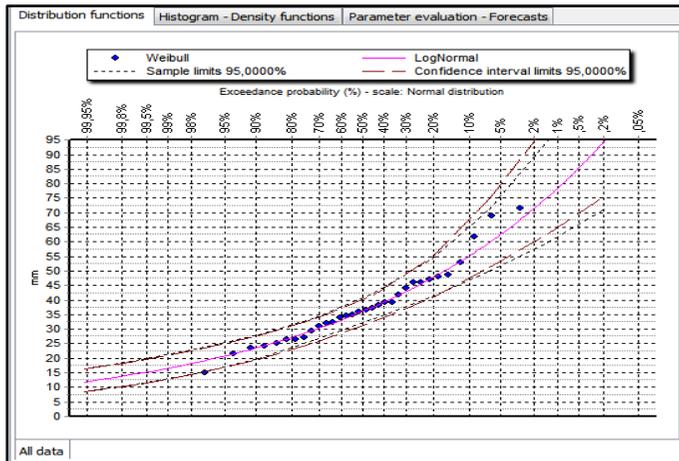


Figure 41: Loi log normal

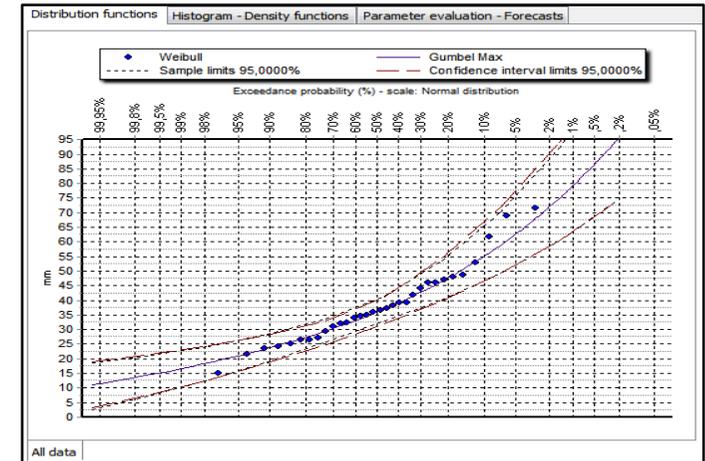


Figure 42: Loi Gumbel

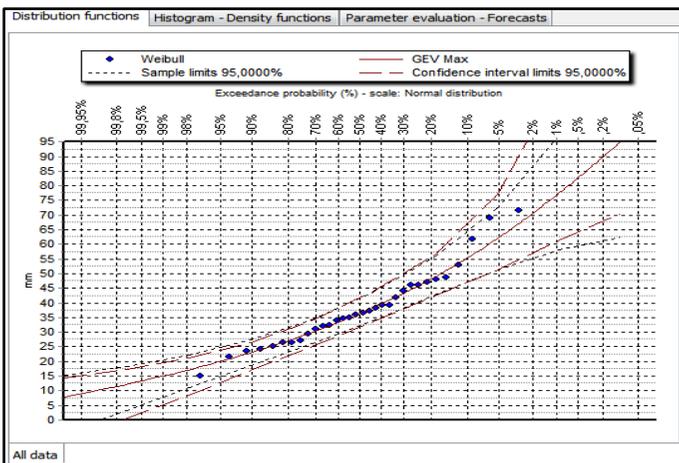


Figure 43: Loi Gev

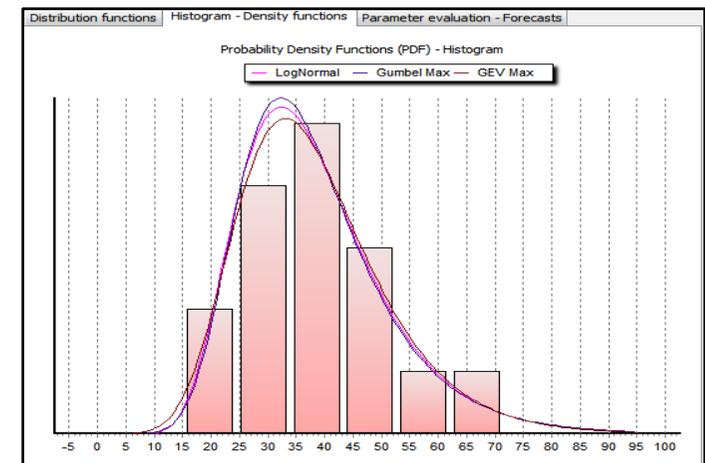


Figure 44: Histogramme avec trois lois

Tableau 44: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Koudiat Tendart

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,04736	0,23424	$0,04736 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,05201	0,23424	$0,05201 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,04924	0,23424	$0,04924 < 0,23424$	Vérifier

Les données de la station de Koudiat Tendart s'ajustent aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 45: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Koudiat Tendart

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	36,1056	47,8195	55,3850	62,5272	71,6731	78,5021
Gumbel	36,0208	47,6098	55,2827	62,6428	72,1697	79,3087
Gev	36,3981	48,1625	55,5587	62,3728	70,8026	76,8430

V.3.3. Résultat graphique pour Tadjenanet

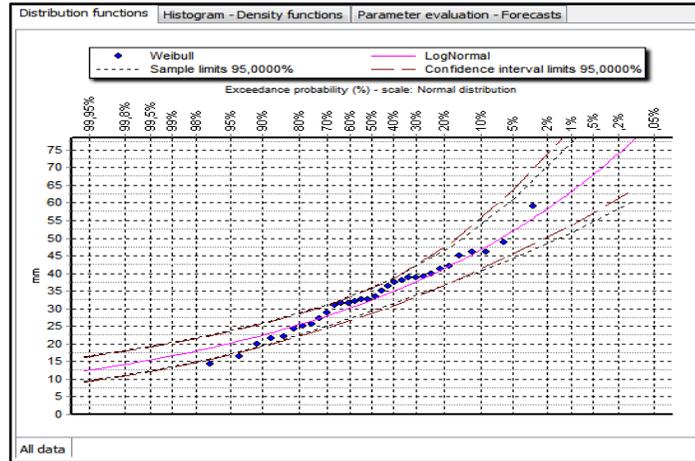


Figure 45: Loi log normal

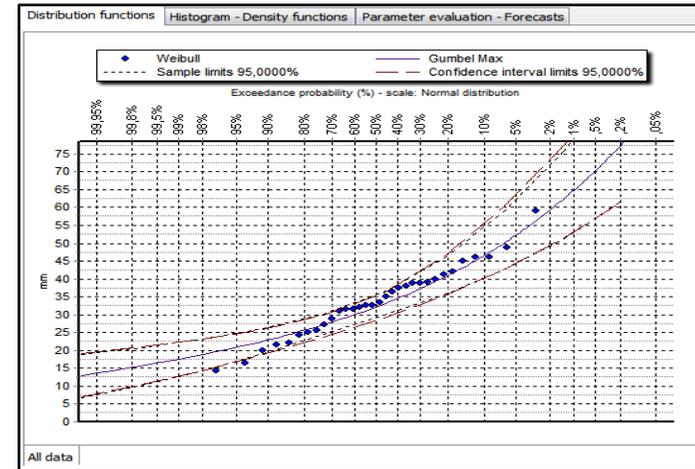


Figure 46: Loi Gumbel

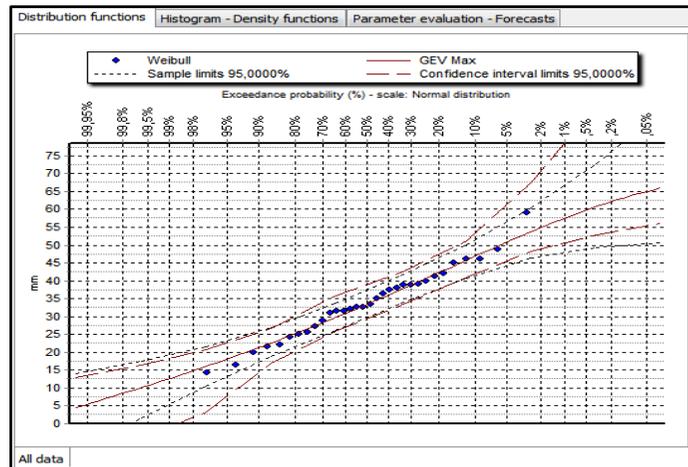


Figure 47: Loi Gev

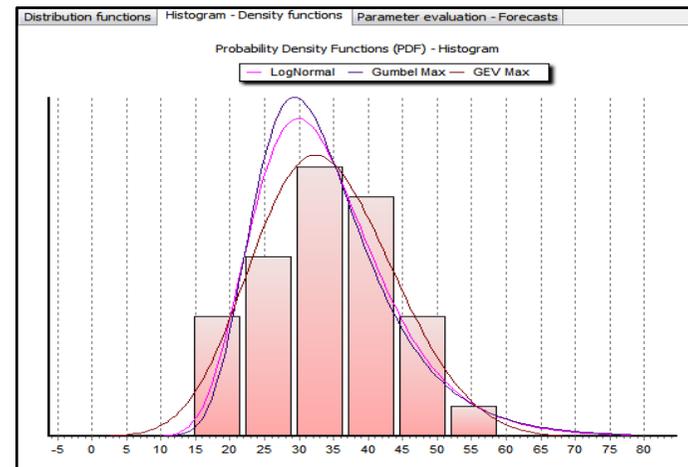


Figure 48: Histogramme avec trois lois

Tableau 46: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Tadjenanet

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,09896	0,23424	$0,09896 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,10774	0,23424	$0,10774 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,06738	0,23424	$0,06738 < 0,23424$	Vérifier

Les données de la station de Tadjenanet s'ajustent aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 47: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Tadjenanet

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	32,4483	41,3023	46,8539	51,9969	58,4635	63,2155
Gumbel	32,1833	40,9311	46,7228	52,2785	59,4696	64,8584
Gev	33,4194	42,2435	46,9707	50,8184	54,9634	57,5507

V.3.4. Résultat graphique pour Bir El Arch

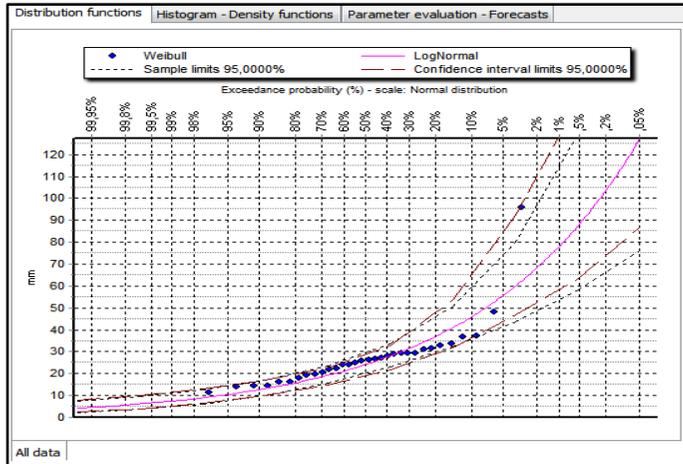


Figure 49: Loi log normal

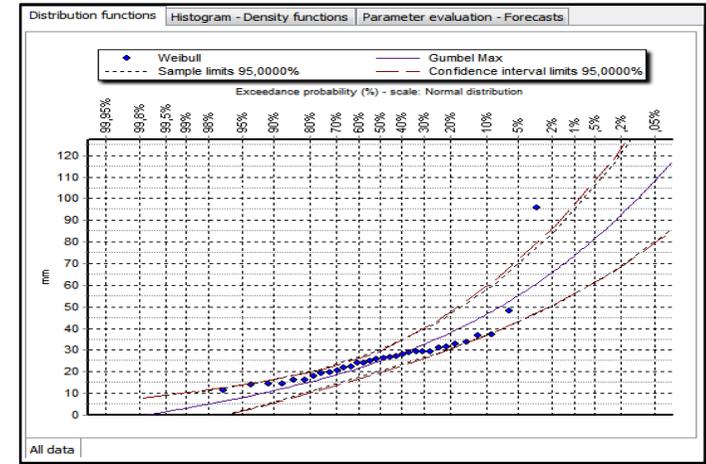


Figure 50: Loi Gumbel

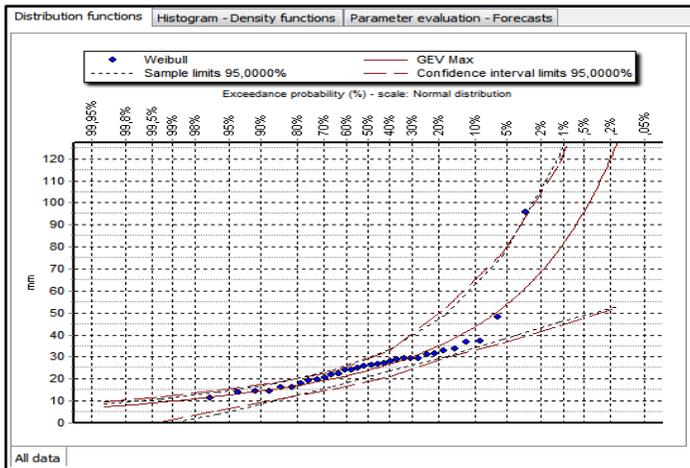


Figure 51: Loi Gev

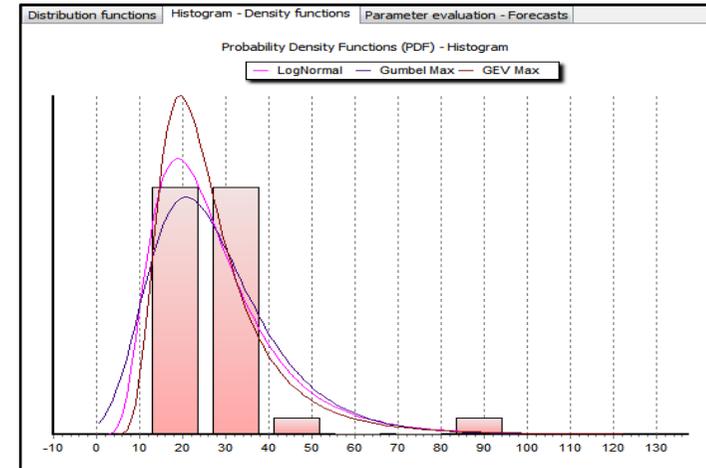


Figure 52: Histogramme avec trois lois

Tableau 48: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Bir El Arch

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,10816	0,23424	$0,10816 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,12872	0,23424	$0,12872 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,10958	0,23424	$0,10958 < 0,23424$	Vérifier

Les données de la station de BIR EL ARCH s'ajustent aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 49: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Bir El Arch

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	24,1729	36,9380	46,1029	55,3628	68,0273	78,0417
Gumbel	25,0195	38,0611	46,6957	54,9783	65,6992	73,7330
Gev	23,9104	35,0616	43,9066	53,6836	68,5336	81,5494

V.3.5. Résultat graphique pour Telerghma

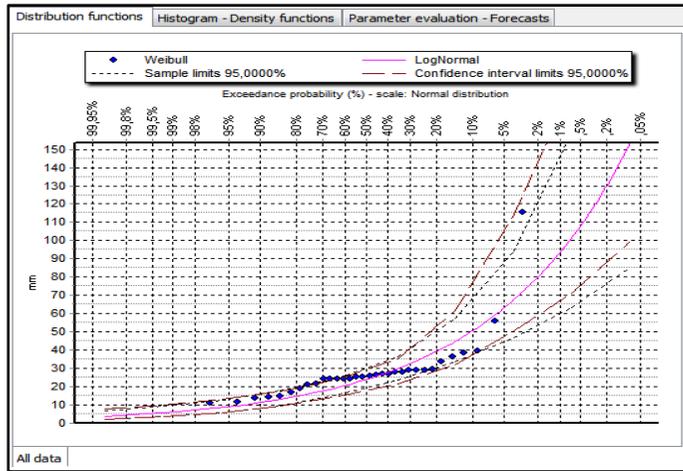


Figure 53: Loi log normal

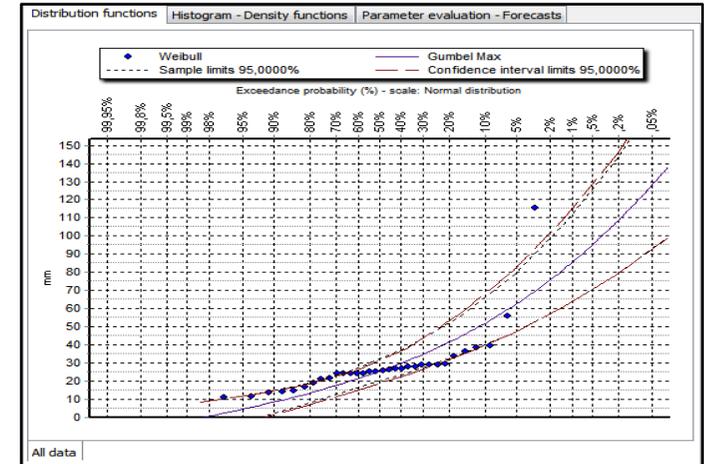


Figure 54: Loi Gumbel

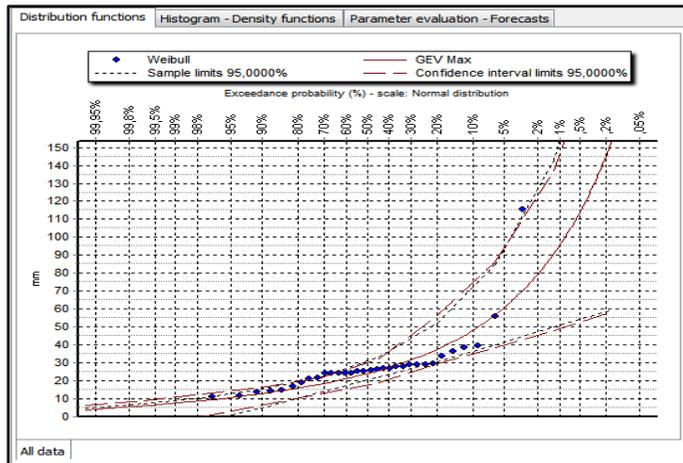


Figure 55: Loi Gev

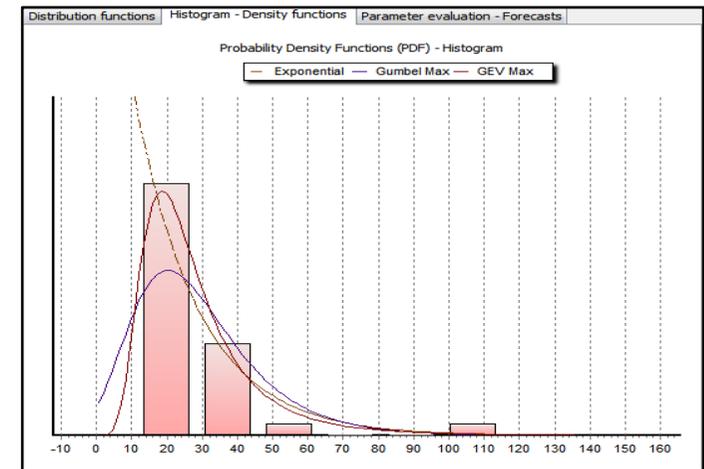


Figure 56: Histogramme avec trois lois

Tableau 50: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Telerghma

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,19646	0,23424	$0,19646 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,19308	0,23424	$0,19308 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,19427	0,23424	$0,19427 < 0,23424$	Vérifier

Les données de la station de Telerghma s'ajustent aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 51: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Telerghma

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	24,0178	39,2929	50,8231	62,8556	79,8377	93,6377
Gumbel	25,5071	41,5977	52,2511	62,4701	75,6975	85,6095
Gev	24,0819	37,5594	48,3948	60,5003	79,1100	95,6136

V.3.6. Résultat graphique pour Mechta Melha (Mchira)

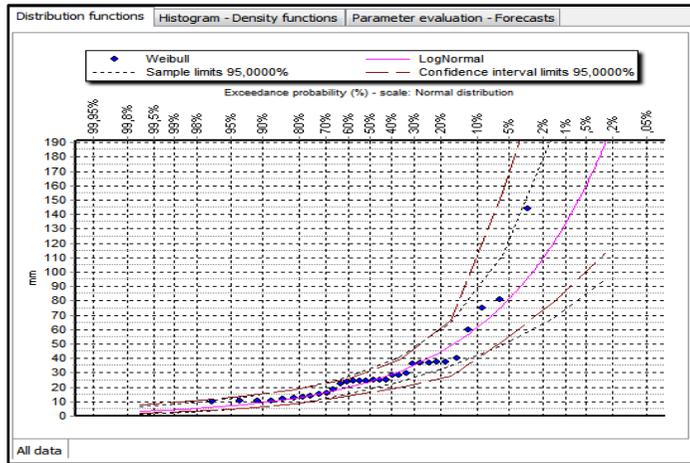


Figure 57: Loi log normal

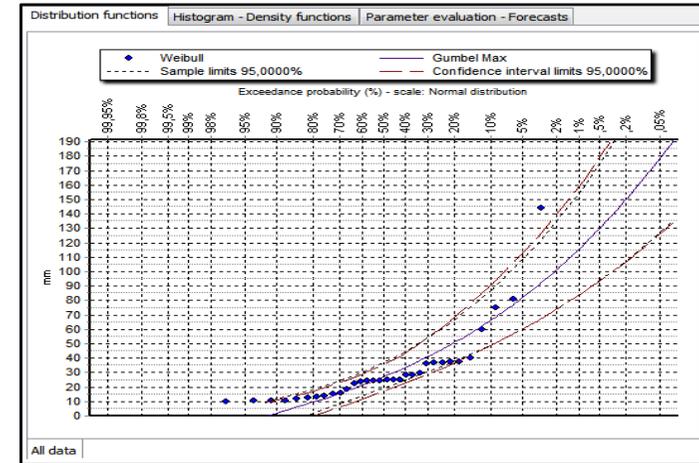


Figure 58: Loi Gumbel

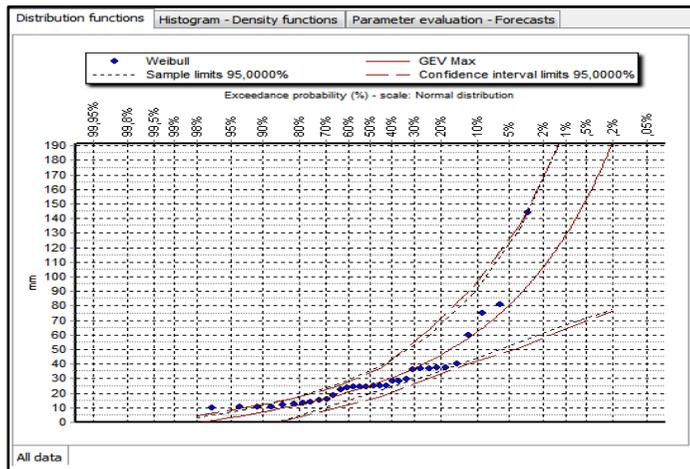


Figure 59: Loi Gev

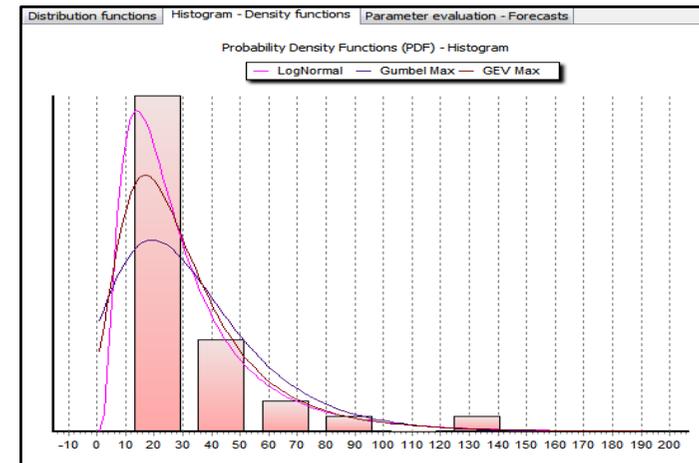


Figure 60: Histogramme avec trois lois

Tableau 52: Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov pour la station Mechta Melha (Mchira)

Loi	Dmax	dn	Egalité	Observation
Log normal	0,10551	0,23424	$0,10551 < 0,23424$	Vérifier
Gumbel	0,17742	0,23424	$0,17742 < 0,23424$	Vérifier
Gev	0,12587	0,23424	$0,12587 < 0,23424$	Vérifier

Les données de la station de Mechta Melha (Mchira) s'ajustent aux lois log normal et Gumbel et à la loi Gev sur un intervalle de confiance à 95%.

Tableau 53: Valeur de pluie pour différentes périodes de retour pour la station Mechta Melha (Mchira)

Loi	2	5	10	20	50	100
Log normal	24,0246	44,7056	61,8503	80,8660	109,345	133,708
Gumbel	27,1323	50,8545	66,5608	81,6265	101,128	115,741
Gev	25,3042	46,2973	62,5337	80,1270	106,253	128,656

V.4. Conclusion

Dans notre recherche nous avons essayé d'analyser les phénomènes pluviométriques dans la ville de Mila. En se basant sur les données des six stations : Bir el arch, telaghma, Mechta Melha, Mechta Serradj, KoudiatTendartet Tadjenanet.

Dans notre recherche nous avons abouti aux résultats suivants :

Concernant les séries utilisées

On a constitué la série des pluies journalières maximales annuelles complètes.

Concernant les lois d'ajustement

Nous avons testé l'ajustement des séries de données aux lois : Log Normale, Gumbel et la loi de Gev.

Concernant les tests d'ajustement

Nous avons testé nos ajustements à l'aide de l'examen visuel est le test du Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de confiance de 95%.

Nous avons obtenu que :

Les données journalières maximales annuelles s'ajustent bien au Log Normale, Gumbel et la loi de Gev. Dans ce cas de figure les hydrologues favorise le choix de la loi de Gev (des valeurs extrêmes généralisées).

Conclusions générale

Située au Nord-est de l'Algérie, la zone d'étude est caractérisée par un relief plus ou moins compartimenté. Il s'agit d'une vaste plaine à pentes très faibles délimitées au Nord-Ouest et au Sud par des versants à pentes relativement élevées.

Les disparités géomorphologique façonnées par un empilement de nappes de charriage anormalement superposées offrent à la plaine de Mila un climat à fort contraste entre la montagne (Hamala : 700 mm/an) et la plaine (300-400mm/an).

Le traitement statistique et l'analyse des fréquences par les lois de distribution des probabilités les plus utilisées en hydrologie (loi log normal, loi Gumbel, loi Generalized extrême value (**Gev**)) des pluies annuelles et extrêmes (pluies journalières maximales) a permis de mettre à jour les caractéristique des pluies (variabilité et fréquence) sous forme de tableaux pour les six postes pluviométriques jugés les plus représentatifs de la région (répartition spatiale homogène, données observées adéquates).

Ainsi, selon le domaine d'application, les pluies annuelles et journalières maximales correspondant à différents intervalles de récurrence (2, 5, 10, 20, 50, 100 ans) ont été soigneusement estimées, pour les stations en question. Une attention particulière a été donnée à l'analyse de la fiabilité des données et des ajustements des lois probabilistes (application des tests statistiques appropriés).

En fin, les résultats de l'analyse fréquentielle des pluies dans la région Mila peuvent être exploités, en tant que variables importantes dans les différents projets du génie de l'eau (travaux d'assainissement urbains, protection contre les inondations, irrigation, et drainage, stockage des eaux superficielles et réalimentation des nappes, etc...

Références bibliographie

- [1] **D. Atammia, 2010** ; Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (Nord constantinois), thèse doctorat, université mentouri, Constantine, 172 pages.
- [2] **Berkal Khadidja & Elouaere Fatima, 2014** ; Biologie Appliqué et Environnement, Inventaire et écologie des oiseaux d'eau au niveau du Barrage de Beni Haroun (Wilaya de Mila), mémoire d'ingénieur, Centre Universitaire de Mila, 65p.
- [3] **SOUKEHAL Boudjemaa, mars 2011**;La wilaya de Mila : villes, villages et problématique de l'alimentation en eau potable, thèse doctorat, université Constantine 1 (ex Mentouri) ,303p.
- [4] **Agence Nationale des Barrages, 2007**.
- [5] **Boutaghane. H., 2014**; Analyse et modélisation hydrologique. Université badji mokhtar Annaba, 40 pages.
- [6] **Birnbaum.Z., 1952**; Numerical tables of the distribution of Kolmogorov's statistics for finite sample size. Journals American Statistical Association, 47, pp. 425-444.
- [7] **Bouloudenine.K., 2004** ; Prédétermination des crues par la méthode de renouvellement application au oued isser (station de lakhdaria). Mémoire d'ingénieur, école polytechnique.
- [8] **Chow .V. T., 1964**; Statistical and probability analysis of hydrologic data: Part 1. Frequency analysis. Section 8 in Handbook of Applied,New York.
- [9] **Greenwood.J.A, 1979**; Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. Journal of water resources research, 15(5).1049-1054
- [10] **MUSY. A, 1999** ; Analyse fréquentiel, Lausanne, cours d'hydrologie. École polytechnique fédérale de Lausanne, 1999,415 Page.
- [11] **Taiba. W., 2016** ; Analyse fréquentiel des données pluviométrique de la ville de el taref, mémoire master 02. Centre universitaire Abdelhafidh boussouf Mila, 112 pages.

[12] **Kaddour Djamel., 2016** ; Contribution à la régionalisation des paramètres climatiques dans la ville de Annaba, mémoire master 02. Centre universitaire Abdelhafidh boussouf Mila, 60 pages.

[13] **Benkhaled.A., 2007** ; distributions statistiques des pluies maximales annuelles dans la région du Cheliff comparaison des techniques et des résultats. Courrier du savoir, pp 83-91.

[14] **Hosking. J. R. M., 1960**; L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) Vol. 52, No. 1 (1990), pp. 105-124.

[15] **Daly, C., Gibson, W.P., Taylor, G.H., Doggett, M.K., Smith, J.I, 2007.** Observer bias in daily precipitation measurements at United States cooperative network stations, Bulletin of the American Meteorological Society 88 (6), 899-912.

[16] **Heino, R., 1997.** Metadata and their role in homogenization, Proceeding First Seminar for Homogenization of Surface Climate Data. Hungarian Meteorological Service, Budapest,

Hungary.

[17] **B.Habibi, 2012** ; Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du BassinChott-Chergui, journal de nature est science ,41 pages.

[18] **MEBARKI Azzedine, 2005** Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantin

[19] **Agence national des ressources hydraulique, 2005.**

[20] **Landwehr, J.; Matalas, N. and Wallis, J. (1979).** Probability weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles, Water Resour. Res., 15, 1055–1064

[21] **Mestre, O. (2000).** Méthodes statistiques pour l'homogénéisation de longues séries climatiques, Laboratoire de statistiques et probabilités, Université Paul Sabatier, thèse, 229 p.

Sites internet:

[22] https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_d%27extremum_g%C3%A9n%C3%A9ralis%C3%A9

Annexes

Tableau 54: Les Pluies journalières maximales

Années	MECHTA SERRADJ	KOUDIAT TENDART	TADJENANET	BIR EL ARCH	TELERGHMA	MECHTA MELHA (Mchira)
1980	165,5	48	35	22,4	21,1	35,9
1981	27,3	32,2	40	19,9	115,4	12,7
1982	21	26,6	31,5	11,2	28,9	143,9
1983	28,5	24,3	32,6	14,6	25,7	25,14
1984	11,5	46,2	46	28	36,3	15
1985	27,1	26,6	28,9	29,1	17,1	12
1986	37,5	69	37,4	95,7	33,6	13
1987	10,5	39,2	31,6	26,7	14,5	10
1988	26,96	36,7	42,1	28,7	11,3	16
1989	24,42	27,1	25,2	32,8	26,3	10,7
1990	42,2	41,7	48,7	14,2	25,4	81
1991	35,08	53	36,4	27	21,5	37,5
1992	16,4	47,2	19,9	36,6	38,3	24
1993	15,5	29,5	24,3	18	29,6	22,3
1994	19,1	25,1	30,9	16	39,4	37,1
1995	25	39,2	44,9	26,4	26,9	59,7
1996	11,5	31,1	33,4	19,3	14,6	24,9
1997	12	34,6	21,7	25,1	26,76	40,4
1998	72,5	61,6	46,2	31,4	11,5	24,6
1999	34,8	71,5	37,9	29,2	24	28,4
2000	23	21,5	14,4	16	24	37,5
2001	21	15	39	14,5	25,28	36,9
2002	70,2	38,2	38,7	48	56	29,7
2003	40,4	35,9	38,8	26	24	25
2004	85,2	48,8	59	20,5	24,1	10,4
2005	39,3	34	32,1	29,1	13,8	75,3
2006	41,2	46	22,1	37	18,8	24,5
2007	75,3	23,5	27,3	33,6	29,2	10,2
2008	52,1	44	25,7	31,2	28,9	14
2009	76,8	37,3	32,6	24	27,7	28,6
2010	46,4	35,1	41,2	24	24	18,5
2011	70,5	31,9	16,4	22	28	24,5

Tableau 55: Les Pluies annelles

Années	MECHTA SERRADJ	KOUDIAT TENDART	TADJENANET	BIR EL ARCH	TELERGHMA	MECHTA MELHA (Mchira)
1980	539	397,8	291,1	244,3	181	310,8
1981	481,8	539	349,4	230,3	387,8	273,3
1982	264,4	293,6	231,4	391,5	143,5	335,5
1983	214,9	274,2	290,4	117,3	231,2	136,8
1984	602,9	679,8	439	468,4	344	285,4
1985	383,6	398,4	381,2	420,8	193,9	217,8
1986	185,7	566,9	363,5	409	351,2	253
1987	90,2	361,7	279,2	185,4	278,2	212,7
1988	78,4	525,8	379,1	328,3	328,1	235
1989	303,8	356,9	166,7	311,3	335,2	107,3
1990	74,4	579	112,9	425,2	605,7	347,4
1991	69,2	528,5	397,9	269,9	550,8	375,3
1992	192,8	407,7	265,3	331,7	408,8	286,6
1993	150,4	309,6	105,5	196,6	355,3	182,2
1994	163,8	394,2	332,4	223,3	617,9	283,4
1995	309,7	509,9	526,4	386,4	850,3	383,4
1996	58,5	294,7	241	198,3	237,5	154,9
1997	154,5	492,8	417,1	320,7	383,4	271,2
1998	172	613,9	378,2	280,7	294,9	245
1999	277	481,6	373,8	315	312,1	266,5
2000	106,7	316,6	208,8	170,4	147,4	179,7
2001	215	213	316,1	250,5	253	228,2
2002	826,6	624,7	597	541,4	461	279,0
2003	571,5	516,4	547,9	419,7	396,6	120,4
2004	684,4	486,1	381,8	195,6	312	412
2005	418,5	418,2	342,8	256,1	195,1	245,2
2006	373,7	354,2	328,1	206,3	286	167,9
2007	514,3	212,9	334,3	301	263,4	156,1
2008	495,2	386,7	417,6	310,2	294,5	190,6
2009	595,9	384,8	355,7	328	392,5	299,2
2010	511,4	425,5	375,3	325,9	387,2	297,8
2011	285	493,2	285,7	220	297,7	194,3