

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



LABORATOIRE MATERIAUX DE GENIE CIVIL
ET ENVIRONNEMENT



Département Hydraulique
Laboratoire de Matériaux de Génie Civil et Environnement

Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

*Analyse de l'aléa pluviométrique sur
la ville d'Alger*

Présenté et soutenu publiquement le 08/07/2019 par :
Mr. NEDJARI Ismail et Mr. BOUAZIZ Bilel

Composition du Jury :

Président

Promoteur

Promoteur

Promoteur

Examineurs

Examineurs

Invité

Pr. BALI Abderrahim

Mr. A.BERMAD

Mr. H.BOUTAGHANE

Mme LAMECHE EL Khensa

Mr. A.LEFKIR

Mr.R.OULEBSIR

Mr KHELFI Mohamed
EIAMINE

Professeur ENP

Professeur ENP

MCA U.ANNABA

DRE Sétif

MCA ENSTP

Doctorant USTHB

Docteur ENSH Blida

ENP 2019

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



LABORATOIRE MATERIAUX DE GENIE CIVIL
ET ENVIRONNEMENT



Département Hydraulique
Laboratoire de Matériaux de Génie Civil et Environnement

Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

*Analyse de l'aléa pluviométrique sur
la ville d'Alger*

Présenté et soutenu publiquement le 08/07/2019 par :
Mr. NEDJARI Ismail et Mr. BOUAZIZ Bilel

Composition du Jury :

Président

Pr. BALI Abderrahim

Professeur ENP

Promoteur

Mr. A.BERMAD

Professeur ENP

Promoteur

Mr. H.BOUTAGHANE

MCA U.ANNABA

Promoteur

Mme LAMECHE EL Khensa

DRE Sétif

Examineurs

Mr. A.LEFKIR

MCA ENSTP

Examineurs

Mr.R.OULEBSIR

Doctorant USTHB

Invité

Mr KHELFI Mohamed

Docteur ENSH Blida

EIAMINE

ENP 2019

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mon défunt Père MOHAMMED que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères, mes sœurs et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotions lors de la réalisation de ce travail.

A mes familles BOUAZIZ, RACHED, ROUBAH.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

Sans oublier mon binôme Ismail pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

A tous ceux que j'aime, et ceux qui m'aiment.

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

Merci !

Dédicace

Je dédie ce travail à :

A mes parents pour leurs amours inconditionnels et inestimables, leurs sacrifices et leurs soutiens en continu dans tout ce que j'entreprends.

A mes chères sœurs et mon cher frère Habib.

Mes frères et mes sœurs.

A mes familles NEDJARI et KHIAR.

Tous mes proches et tous mes amis, en particulier, mon chère ami Hasni CHIKH

*A mon binôme de projet et d'équipe « enp »
Bilel BOUAZIZ.*

A tous mes professeurs, en particulier, mes promoteur M. Abdelmalek BERMAD, M. Hamouda BOUTAGHANE et Mme K. LAMECHE.

NEDJARI Ismaïl 2019

Remerciements

Nous remercions avant tout Allah de nous avoir donnés le courage pour pouvoir mener à bien ce modeste travail.

Au terme de ce travail, Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre cher professeur et encadrant Mr BERMAD Malek pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période du projet.

Nous tenons à remercier également notre encadrant Mr BOUTHAGHANE Hamouda pour le temps qu'il a consacré et pour les précieuses informations qu'il nous a prodiguées avec intérêt et compréhension.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres du jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont apporté un soutien pour l'élaboration de ce modeste travail.

Nous tenons à présenter par occasion tout notre respect à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation du primaire jusqu'au cycle universitaire.

Un remerciement particulier est adressé à notre Pr BERMAD Malek pour les séances de cours agréables, et d'être proche des étudiant.

ملخص

شهد الشمال الجزائري فيضانات خلال العقد الماضي بسبب الامطار قصيرة المدة ومرتفعة الشدة، وتعتبر أمطار المشروع أداة مهمة في تصميم شبكات الصرف الصحي وحماية المدن من مخاطر الفيضانات.

الهدف من هذا العمل هو نمذجة أمطار المشروع في بعض المناطق الواقعة في مصب حوض ساحل الجزائر العاصمة بداية من بيانات هطول الأمطار في ملفات ANRH. هذا باستخدام برنامج Matlab ان هذا البرنامج قادر على بناء منحنيات شدة-مدة-تواتر لكل منطقة بمقاييسها المناخية من أجل الحصول على المطر الصناعي للمنطقة المدروسة. تتيح لنا أمطار المشروع هذه محاكاة سلوك شبكات الصرف الصحي في كل منطقة وتحديد القطاعات المختلفة المعرضة لخطر الفيضانات.

الكلمات المفتاحية: مصب حوض، بيانات ANRH ، منحنيات شدة-مدة-تواتر، النمذجة العددية، النمذجة الهيدرولوجية، مطر المشروع .

Abstract:

The Algerian north has experienced devastating floods during the last decade due to short-term, high-intensity storms, design storms is an important tool in designing drainage systems and protecting cities against the risk of floods.

The objective of this work is to model from rainfall data of ANRH the project rain of some regions located in the Algiers coastal watershed. Using the Matlab software, this program is able to construct the IDF curves of each region with their climatic parameters in order to obtain the synthetic rain of the studied region. These project rains allow us to simulate the behavior of the sanitation networks in each region and to identify the different segments at risk of overflows.

Key words: ANRH Data, Design storm, IDF curves, numerical modelling, hydrological modelling, watershed.

Résumé :

Le nord algérien a connu des inondations dévastatrices durant la dernière décennie dues à des averses de courte durée et de forte intensité, la pluie du projet représente un outil important Dans de la conception des systèmes de drainage et de protection des villes contre le risque des inondations.

L'objectif de ce travail, est de modéliser à partir des données pluviométriques de l'ANRH, la pluie de projet de quelques régions situées dans le bassin versant des côtiers algérois. En utilisant le logiciel Matlab. Ce programme est capable de construire les courbes IDF de chaque région avec leurs paramètres climatique afin d'obtenir la pluie synthétique de la région étudiée. Ces pluies de projet nous permettent de simuler le comportement des réseaux d'assainissements de chaque région et d'identifier les différents segments à risques de débordements.

Mots clés : les données ANRH, la pluie de projet, les courbes IDF, modélisation numérique, modélisation hydrologique, bassin versant.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations 14

Introduction générale..... 14

Chapitre 01 : Synthèse Bibliographie sur l'analyse de l'aléa pluviométrique ... 12

1.1 Introduction 16

1.2 Définition des concepts 16

 1.2.1 L'aléa..... 16

 1.2.2 Le risque 16

 1.2.3 La vulnérabilité 16

1.3 Les précipitations 17

 1.3.1 Formation de précipitation 17

 1.3.2 Types de précipitation 17

 1.3.2.1 Les précipitations convectives 17

 1.3.2.2 Les précipitations cyclonique ou frontal : 17

 1.3.2.3 Les précipitations orographiques 18

1.4 Mesure des précipitations..... 19

 1.4.1 Historique sur la mesure des précipitations..... 19

 1.4.2 La mesure ponctuelle de pluie..... 19

 1.4.2.1 L'appareillage..... 19

 1.4.2.2 Pluviomètres non enregistreurs 20

 1.4.2.3 Pluviomètres enregistreurs : 21

 1.4.2.4 Incertitude de mesure : 23

 1.4.2.7 Implantation du pluviographe 24

 1.4.3 La mesure des précipitations sur une surface..... 26

 1.4.3.1 Les réseaux denses de pluviomètres..... 26

 1.4.3.2 La mesure de pluie par radar 27

 1.4.3.3 La mesure des précipitations par satellite 27

1.5 Conclusions 27

Chapitre 02 : Collecte et préparation des données pluviométriques 14

2.1 Introduction 29

2.2 Analyse fréquentielle..... 29

2.3 Notion D'averse 30

2.4	Séparation des averses.....	30
2.5	Constitution des séries de données.....	30
2.5.1	Série chronologique.....	30
2.5.2	Types des séries :.....	31
2.5.2.1	Série complète :.....	32
2.5.2.2	Série des maxima annuels :.....	32
2.5.2.3	Série tronquée :.....	32
2.5.2.4	Série des k plus grandes valeurs annuelles.....	33
2.6	les courbes IDF.....	33
2.6.1	Qu'est-ce qu'une courbe IDF ?.....	33
2.6.2	Méthodes de construction de courbes IDF.....	34
2.6.3	Etablissement des courbes IDF.....	35
2.6.3.1	Modèle Montana:.....	35
2.6.3.2	Modèle de Talbot :.....	35
2.6.4	Utilité des courbes IDF :.....	36
2.6.5	Les périodes adoptés pour construire les ouvrages :.....	36
2.7	Pluie de projet.....	37
2.7.1	Définition de la pluie de projet :.....	37
2.7.1.1	L'APPROCHE DETERMINISTE :.....	37
2.7.1.2	L'APPROCHE STATISTIQUE.....	37
2.7.2	Pluie de projet dérivent de courbe IDF.....	38
2.7.2.1	L'averse uniforme.....	38
2.7.2.2	L'averse composite.....	38
2.7.2.3	Averse de type Chicago :.....	40
2.7.2.3	Pluie double triangle symétrique.....	41
Chapitre 03 :	Présentation de la zone d'étude.....	27
3.1	Introduction.....	44
3.2	Présentation générale du Bassin hydrographiques côtiers algérois.....	44
3.3	Situation Géographique.....	44
3.5	Le climat.....	46
3.6	Le relief.....	47
3.7	La pluviométrie.....	47
3.8	Caractéristiques morphométriques du bassin versant.....	47
3.8.1	Coefficient de compacité.....	47
3.8.2	Rectangle équivalent.....	48

3.8.2	Pente moyenne du bassin versant.....	48
3.8.3	Indice de pente globale.....	49
3.8.4	Longueur du cours d'eau principal du bassin versant.....	49
3.9	Conclusion.....	50
Chapitre 04 : Traitement et exploitation des données pluviographiques		41
4.1	Introduction.....	52
4.2	Identification des événements pluvieux	53
4.3	Constitution d'une série de valeurs	53
4.3.1	Réseau de mesure.....	53
4.3.2	Méthode de dépouillement de l'ANRH	55
4.3.3	Fichier ANRH pluies de différentes durées	56
4.3.4	Discussion de la méthode de L'ANRH.....	57
4.3.4.1	Définition d'une journée de mesure.....	57
4.3.4.2	Problème dans la détermination de la date de fin d'une averse	60
4.3.4.3	Problème dans l'enregistrement des heures	61
4.3.4.4	problèmes des répétitions des dates	61
4.4	Elaboration d'un nouvel outil de traitement des données pluviographique (Matlab) :	61
4.5	Prétraitement du fichier de données brutes	63
4.6	Exemple de fichiers résultats du programme	68
4.6.1	Fichier date pluie corrigée.....	68
4.6.2	Fichier averses.....	69
4.6.3	Fichier des averses à différents pas de temps constant	69
4.7	Conclusion.....	70
Chapitre 05 : Analyse et détermination des paramètres pluviométriques pertinents		49
5.1	Introduction.....	72
5.2	Types des séries étudiés	72
5.3	La série SMA	72
5.3.2	Test d'adéquation.....	74
5.3.3	Estimation des quantiles.....	75
5.3.4	Etablissements des courbes IDF.....	77
5.3.5	Détermination des exposants climatiques (ajouter les graphes de montana).....	79
5.4	La série des durées partielles (SDP).....	81
5.4.1	Test de l'indépendance des SDP	81
5.4.2	Test d'ajustement	84
5.4.3	Estimations des quantiles (SDP)	85

5.4.4 Etablissements des courbes IDF	87
5.5 Comparaison SMA/SDP	89
5.6 Élaboration de la pluie de projet :	90
5.6.1 la pluie de projet type double triangle des séries maximas annuelles (SMA) :	91
5.6.2 la pluie de projet type double triangle des séries des durées partielles (SDP)	93
5.7 Validation des résultats	95
5.8 Conclusion.....	98
Conclusion générale	99
Références bibliographiques	100

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Etapes de calcul d'une averse composite.....	39
Tableau 3.1: les principaux cours d'eau du bassin côtiers Algérois.....	44
Tableau 3.2: Les sous bassins versants du bassin côtiers Algérois 2a.....	45
Tableau 3.3 : caractéristiques morphométriques du bassin versant côtiers Algérois.....	49
Tableau 4.1: Identification des stations pluviographiques du bassin côtiers Algérois.....	54
Tableau 4.2 : extrait des fichiers de mesures pluviographiques qui illustre l'erreur dans la définition dans les journées.....	59
Tableau 5.1 : Intensités moyennes maximales.....	76
Tableau 5.2 : Modèles IDF pour différentes périodes de retour ($i = a t - b$).....	80
Tableau 5.3 : les valeurs de l'exposant climatique -SMA- de quel que stations étudiées.....	80
Tableau 5.4: Intensité moyennes maximales (SDP).....	85
Tableau 5.5: modèles IDF pour des différentes périodes de retour (SDP).....	89
Tableau 5.6: rRMSE globale entre SMA et SDP (exposant climatique).....	90
Tableau 5.7 : Les coefficients du Montana en fonction de la période de retour.....	90
Tableau 5.8 : Intensité de pointe et l'intensité au début de la période intense en fonction de la période de retour.....	91
Tableau 5.9 : Les coefficients du Montana en fonction de la période de retour.....	93
Tableau 5.10 : Intensité de pointe et l'intensité au début de la période intense en fonction de la période de retour.....	93
Tableau 5.11 : rRMSE globale entre SMA et SMA (Khelfi) (exposant climatique).....	96
Tableau 5.12 : les paramètres de Montana a et b à partir des données canadiennes.....	97
Tableau 5.13 : les résultats de simulation des données canadiennes.....	98

Liste des figures

Figure 1- 1 : précipitation convective	17
Figure 1- 2 : précipitation frontale	18
Figure 1- 3 : précipitation orographique	18
Figure 1- 4 : Pluviomètre association.....	20
Figure 1- 5 : Le pluviomètre de Météo-France : modèle SPIE	21
Figure 1- 6 : schéma d'un transducteur	22
Figure 1- 7 : la position de pluviomètre cas de la présence des obstacles environnants	24
Figure 1- 8 : conditions d'installation des pluviographes (d'après Deutsch et al., 1989).....	26
Figure 2- 1 conditions pour la séparation de deux averses consécutives (P. Meylan et al 1999).....	30
Figure 2- 2 : types des séries (P. Meylan et al, 1999).	31
Figure 2- 3 : Représentation schématique des courbes IDF (S. Hamzaoui, 2015).	34
Figure 2-4 : Pluie de type bloc (J.-L. Bertrand-Krajewski,2007)	38
Figure 2- 5 : Construction de l'averse composite	39
Figure 2- 6 : pluie de projet basée sur l'averse composite.....	39
Figure 2- 7 : Courbe $i(t)$ de type Chicago obtenue à partir de la courbe IDF	40
Figure 2.8 : Pluie de type Chicago centrée et discrétisée au pas de temps 15 min (Hémain, 1986);.....	41
Figure 2- 9 Pluie de projet double triangle symétrique (Bertrand, 2006)	42
Figure 3- 1 : les limites de zone d'étude -bassin versant côtiers Algérois	44
Figure 3- 2 : le bassin versant côtiers Algérois.	45
Figure 3- 3 : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle de la région d'étude (ANRH)	46
Figure 3- 4 : différentes formes de bassin versant et les coefficients de compacité correspondant (A. Musy et al,2004).....	48
Figure 4- 1 : situation des stations pluviométriques au côtiers algérois (Carte du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux).	55
Figure 4- 2 : papier pluviographiques utilisées dans les stations ANRH.....	55
Figure 4- 3 : pluviographe.....	55

Figure 4- 4: Fichier donnée brut de la station d'Ouled Fayet -020502.....	56
Figure 4- 5: fichier pluie de différentes durées ANRH.....	57
Figure 4- 6: feuille du pluviographe station d'Ouled Fayet -020502-	58
Figure 4- 7: fichier qui illustre l'erreur dans la définition de la date de la fin de l'averse.....	60
Figure 4- 8: Problème des enregistrements des heures	61
Figure 4- 9: fichier représente le cas des répétitions des dates	62
Figure 4- 10: les étapes du calcul du programme.....	63
Figure 4- 11 : traitement des données brutes dans Excel étape 4.....	64
Figure 4- 12: Prétraitement du fichier de données brutes	64
Figure 4- 13: comment convertir la date au format « jj/mm/aaaa hh:mm »	65
Figure 4- 14: comment remplacer le point par deux points.	66
Figure 4- 15: comment fusionner deux colonnes.....	67
Figure 4-16 : Fichier prêt pour le traitement avec « Matlab »	68
Figure 4- 17 : Fichier date pluie corrigé station Ouled fayet	68
Figure 4- 18: Extrait d'un fichier averses de la station de Ouled fayet.....	69
Figure 4- 19: Extrait d'un fichier de résultat des intensités moyennes maximales au pas de temps 5 min Station d'Oueled Fayet -020502-	70
Figure 5- 1 : ajustement des intensités à la loi de Gumbel.....	73
Figure 5- 2 : Fonction KStest (x)	74
Figure 5- 3 : Résultats du test d'ajustement	75
Figure 5- 4: Courbes Intensités -Durée-Fréquence (SMA).....	78
Figure 5- 5 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence de la station Keddara à l'échelle logarithmique	79
Figure 5- 6 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence de la station HAMIZ à l'échelle logarithmique	80
Figure 5- 7 : Fonction d'auto-corrélation de Spearman pour les SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$). 82	
Figure 5- 8 : Fonction d'auto-corrélation de Spearman pour les SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$),. 83	
Figure 5- 9 Fonction d'auto-corrélation de Spearman pour les SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$) 83	
Figure 5- 10: ajustement des intensités à la loi exponentielle.....	85
Figure 5- 12 Courbes intensités-durée-fréquence (SDP).	88
Figure 5- 13 : Pluie double triangle de T= 10 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)	91
Figure 5- 14 : Pluie double triangle de T= 20 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)	92
Figure 5- 15 : Pluie double triangle de T= 50 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)	92
Figure 5- 16 : Pluie double triangle de T= 100 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)	92
Figure 5- 17 : Pluie double triangle de T= 10 ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP) 93	
Figure 5- 18 : Pluie double triangle de T= 20ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP). 94	
Figure 5- 19 : Pluie double triangle de T= 50 ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP) 94	
Figure 5- 20 : Pluie double triangle de T= 100 ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP) 95	
Figure 5- 21 : la série des maxima annuels canadienne	97

Liste des abréviations

A : surface du bassin versant

b, a : paramètre d'ajustement du Montana.

D : dénivelée

H_{max} : altitude maximale

H_{min} : altitude minimale

i_m : Intensité maximale

i_1 : Intensité au début de la période intense

i_2 : Intensité de pointe

I_g : indice de pente globale.

I_m : pente moyenne du bassin

K_c : coefficient de compacité

L : longueur de rectangle équivalent

p : périmètre du bassin versant

$rRMSE$: la racine carrée des erreurs quadratiques moyennes

SMA : la série des maxima annuels

SDP : la série des durées partielles

T : Période de retour

Introduction générale

La conception de tout ouvrage hydraulique nécessite que soit précisé le niveau de performance souhaité. Ce niveau de performance est souvent déterminé en fonction des dommages potentiels, et de la sévérité des aléas météorologiques, susceptibles d'entraîner un bris, un dysfonctionnement ou un dépassement de capacité de l'ouvrage en question. Ainsi, dans le cas des infrastructures de gestion des eaux pluviales, la dimension des différentes composantes du système (par ex. conduites, bassins de rétention, etc.) est établie en fonction des intensités de pluie et leur période de retour.

Cette information est souvent exprimée sous la forme de courbes Intensité – Durée – Fréquence (IDF) obtenues à partir d'une étude statistique des événements extrêmes enregistrés sur un territoire donné (analyse fréquentielle).

L'objectif de ce présent travail est de créer un programme par le biais du logiciel Matlab pour la modélisation des courbes IDF. L'obtention de ces courbes nécessite successivement, la transformation des valeurs brutes de précipitations, en des séries d'intensité maximale sur différentes durées (5, 10, 15, 20, 30 min...), puis, l'ajustement des lois de probabilité à ces séries de valeurs extrêmes et l'obtention des fréquences d'apparition, l'établissement des IDF, la détermination des exposants climatiques, et finalement la détermination de pluie de projet.

La modélisation va être appliquée sur le bassin versant des Côtiers Algérois (Noté 02 par l'ANRH) qui est régulièrement menacé, par le risque d'inondation, dont l'intensité de pluie est caractérisée par une très forte irrégularité, elle varie d'un endroit à l'autre, suivant les conditions climatiques, l'altitude, l'éloignement par rapport à la mer, l'exposition à la direction du vent, etc..., d'une part, et suivant la durée des précipitations d'autre part.

Pour se faire nous avons suivi un plan bien précis composé des chapitres suivants :

Chapitre I : Généralités sur l'analyse de l'aléa pluviométrique.

Chapitre II : Collecte et préparation des données pluviométriques.

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude.

Chapitre IV : Traitement et exploitation des données pluviographiques.

Chapitre IV : Analyse et détermination des paramètres pluviométriques pertinents.

Et enfin une conclusion générale.

Chapitre 01 :
Synthèse Bibliographie sur l'analyse de
l'aléa pluviométrique

1.1 Introduction

Un risque naturel implique l'exposition des populations humaines et de leurs infrastructures à un évènement catastrophique d'origine naturelle. On y distingue principalement : les avalanches, les feux de forêt, les inondations, les mouvements de terrain, les cyclones, les tempêtes, les séismes, et éruptions volcaniques, mais aussi les raz de marées, les invasions d'insectes nuisibles, les sécheresses prolongées... Un risque naturel est donc la rencontre entre un aléa d'origine naturelle et des enjeux humains, économiques ou environnementaux. On parle de risque majeur lorsque les dégâts et le nombre de victimes sont importants.

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

1.2 Définition des concepts

1.2.1 L'aléa

L'aléa est un évènement naturel ou humain, plus ou moins prévisible, potentiellement dangereux, dans notre cas c'est l'aléa pluviométrique. Il est défini par sa nature, sa localisation, son intensité et sa probabilité d'occurrence. (I .Skhakhfa,2009)

1.2.2 Le risque

Éventualité d'occurrence d'un évènement dommageable qui résulte de la confrontation de l'aléa et des enjeux

Un risque est la présence d'un aléa dans une zone, où existent des enjeux humains économiques ou environnementaux. Un aléa sans efficacité ne présente donc pas un risque. (I .Skhakhfa,2009)

1.2.3 La vulnérabilité

Défini comme la capacité de résilience d'un système à surmonter la crise provoquée par un aléa, la vulnérabilité est inversement proportionnelle à la résilience, elle est liée à l'activité humaine

L'évaluation des risques doit prendre en compte à la fois les aléas, les enjeux exposés et leurs vulnérabilités. (I .Skhakhfa,2009)

1.3 Les précipitations

1.3.1 Formation de précipitation

Les précipitations sont définies comme l'ensemble des eaux qui viennent de la couche atmosphérique, à l'état liquide ou solide et atteignant la terre. Elles apparaissent par une transformation thermique d'état d'eau et une ascendance d'une masse de l'air humide.

Les précipitations tombent sous différentes formes, pluie, neige, brume, verglas, rosée, grêle, bruine, selon les conditions qui leurs donnent naissance.

1.3.2 Types de précipitation

1.3.2.1 Les précipitations convectives

Les précipitations convectives sont formées à travers un soulèvement rapide d'air à l'atmosphère, les rayons solaires réchauffent les masses d'air les plus voisins du sol qui deviennent moins denses, et montent sous l'effet de poussée d'Archimède, jusqu'à atteindre le niveau de condensation, qui correspond à l'altitude à laquelle commence le processus de formation des nuages. Ce type de précipitation est caractérisé par une forte intensité, mais pendant une durée très courte, généralement les précipitations résultant de ce système, sont orageuses et provoquent des dégâts importants en milieu urbain.

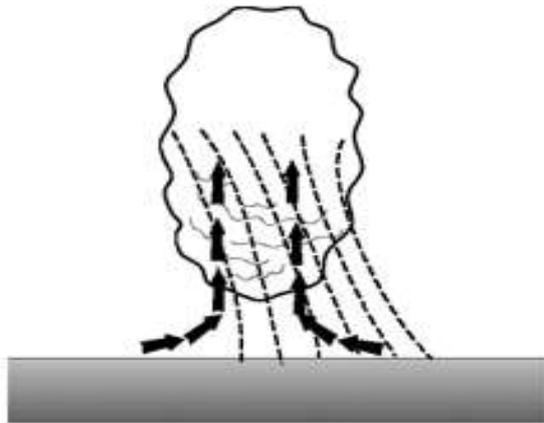


Figure 1- 1 : précipitation convective

1.3.2.2 Les précipitations cyclonique ou frontal :

Les précipitations cycloniques sont la rencontre entre deux masses d'air de propriétés thermiques et hydriques différentes, que l'on appelle un front. Aux surfaces de contact des masses, la masse d'air chaud monte vers le haut par la masse d'air froid jusqu'au niveau de condensation, on distingue deux classes, un front froid, et un front chaud, les nuages se produisent au voisinage de la zone de séparation d'air chaud et d'air froid.

Une masse d'air froide en mouvement, traverse une masse d'air chaude stationnaire, c'est le cas d'un front froid qui résulte des précipitations d'une forte intensité pendant une courte durée, le front chaud est l'effet de contact d'une masse d'air chaude en mouvement par une masse d'air froide, il crée généralement des précipitations de longue durée moins intense et couvre une région plus étendue par rapport au front froid qui couvre une zone peu étendue.

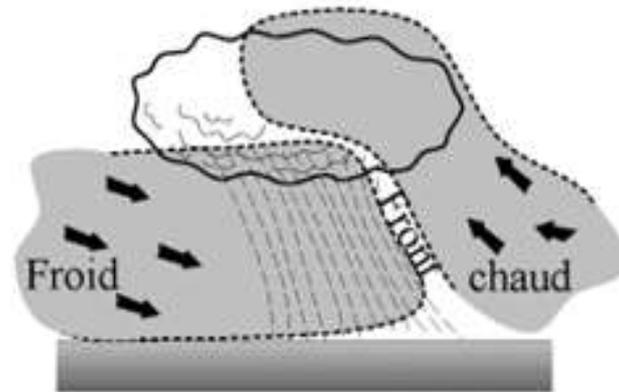


Figure 1- 2: précipitation frontale

1.3.2.3 Les précipitations orographiques

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

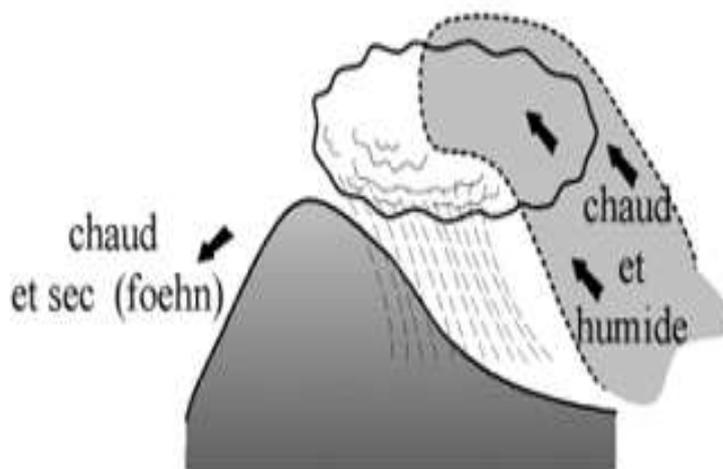


Figure 1- 3 : précipitation orographique

1.4 Mesure des précipitations

1.4.1 Historique sur la mesure des précipitations

D'après un manuscrit rédigé en sanscrit (langue Indo-aryenne), la quantité de pluie est mesurée dans plusieurs régions de l'Inde dès le quatrième siècle avant Jésus-Christ. En Palestine, à partir du II^{ème} siècle av J.-C. des écrits religieux mentionnent la mesure des pluies pour des besoins agricoles.

Le premier pluviomètre connu date de 1441, et a été trouvé en Corée. Il était en bronze. Un réseau de mesures des précipitations couvrait alors toute la Corée et les résultats étaient collectés pour le roi Sejo de Corée.

En 1639, Benedetto Castelli (1577-1644) effectue sa première mesure de précipitations, souhaitant connaître l'apport en eau d'un épisode pluvieux pour le lac de Trasimène. Il met un peu d'eau dans un récipient en verre cylindrique et repère le niveau correspondant, il expose ensuite le récipient à la pluie et marque toutes les heures d'un repère le niveau atteint par l'eau.

En 1663, l'Anglais Christopher Wren (1632-1723) construit le premier météographe. Cet appareil enregistre plusieurs paramètres météorologiques tels que la température de l'air, la direction du vent et les précipitations. Son pluviomètre était constitué d'un entonnoir récepteur et de trois compartiments qui récupèrent chaque heure à tour de rôle les précipitations. Dans le même temps, Wren présente le principe des augets à basculement, dont le mécanisme est encore présent dans les pluviomètres actuels. Le pluviomètre à augets est repris par Hooke en 1670, dans une invention complexe mesurant divers paramètres météorologiques.

Au fil des années, les mesures de pluie se généralisent et les pluviomètres se perfectionnent, bien que les principes de construction n'aient pas beaucoup évolué depuis les premiers. Seules la forme et la dimension du cône de réception (et du récipient de stockage quand celui-ci est distinct) ont changé selon les pays et les époques. (M. Civate et al ,2008).

La mesure des précipitations est simple à réaliser localement, mais une des plus complexes en météorologie, vu la forte hétérogénéité spatiale des précipitations, celles-ci sont exprimées en mm de hauteur d'eau et en intensité, mm/h. La quantité totale de précipitations atteignant le sol est représentée par l'épaisseur équivalente qu'aurait une lame d'eau uniforme sur une surface horizontale. La hauteur des précipitations est exprimée en mm et indique la quantité en litre sur une surface d'un mètre carré (F. Belarbi, 2010).

1.4.2 La mesure ponctuelle de pluie

1.4.2.1 L'appareillage

Il existe deux catégories principales d'appareils de mesure des précipitations : les pluviomètres et les pluviographes.

Les pluviomètres indiquent la hauteur d'eau totale précipitée, en mm ($1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$), sur des durées généralement égales à 24 heures. Les pluviographes permettent de déterminer le cumul de la hauteur de pluie précipitée au cours du temps, et donc de déterminer

l'intensité de la pluie, en mm/h, sur des pas de temps courts de l'ordre de 1 à 6 minutes en général, les pas de temps étant fixes ou variables.

1.4.2.2 Pluviomètres non enregistreurs

- Le pluviomètre « association »

Est Le modèle le plus courant des pluviomètres, est utilisé depuis 1867, il est composé de trois parties :

- Un seau en zinc ou s'accumule la pluie recueillie
- Un entonnoir pour former la surface collectrice, avec un trou assez petit pour éliminer les pertes par évaporation.
- Une bague circulaire, de surface de 400 cm².

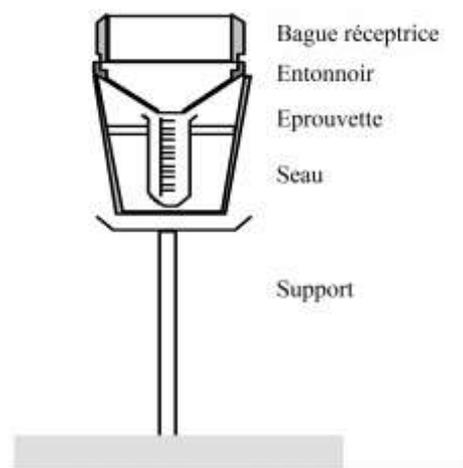


Figure 1- 4: Pluviomètre association

Ce pluviomètre correspond aux principales normes fixées par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, créée en 1878), en particulier la surface de la bague est comprise entre les 200 et 500 cm². La bague doit être élevée sur le sol de 1.5 m avec une surface réceptrice horizontale.

La mesure de la hauteur d'eau tombée est faite deux fois par jour, à 7 heures et à 19 heures. Pour effectuer la mesure, on prend le contenu du seau et on le verse dans une éprouvette graduée. Cette éprouvette est graduée de façon à donner la hauteur de la pluie tombée directement en millimètres. (G. Réminiéras, 1965).

Le pluviomètre de Météo-France : modèle SPIEA modifié M.N

Le pluviomètre actuel de Météo-France : modèle SPIEA, modifié Météorologie Nationale RO1-2050 A, est le pluviomètre officiel actuel des stations pluviométriques (manuelles) de Météo-France, soit environ 3 600 postes en 1984. SPIEA signifie : Syndicat professionnel de l'Industrie des Engrais Azotés.

Le modèle original breveté ne comprenait que la bague et le seau transparent. La Météorologie Nationale l'a adopté en y adjoignant une éprouvette qui prend des mesures fines des petites pluies.

A l'utilisation de ce pluviomètre, on a pu observer les faits suivants :
- la condensation de l'air en fin de nuit fraîche laisse un dépôt d'eau de 0.1 à 0.3 mm, qu'on peut assimiler à de la rosée, sans prétendre la mesurer (mesure effectuée avec d'autres appareils standardisés).

Le relevé effectué une ou deux fois par jour, est noté par l'observateur sur son cahier, d'après les instructions du Service gestionnaire du réseau pluviométrique. Un système de calque permet à l'observateur de conserver une trace des relevés originaux, si ceux-ci venaient à disparaître lors de l'expédition postale du premier original.

La pluie relevée le jour $J + 1$ à 8 h est portée et comptée le jour J . Ainsi, une pluie relevée le 4 juillet au matin est la pluie de la journée du 3 ; de même la pluie mesurée le 1er janvier au matin est la pluie tombée le 31 décembre de l'année précédente.

Ceci est une norme internationale ancienne suivie apparemment aujourd'hui dans le monde entier, bien qu'elle soit source de nombreuses erreurs de datation de la part des observateurs, et lors des recopies. Cette norme, si elle n'est pas suivie scrupuleusement sur les postes voisins d'un même bassin, amène les hydrologues modélisateurs à souvent s'arracher les cheveux. (Marc Moreil et al, 1999).

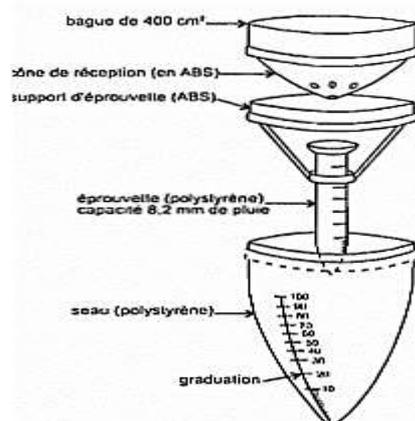


Figure 1- 5: Le pluviomètre de Météo-France : modèle SPIE
(Marc Moreil et al, 1999).

1.4.2.3 Pluviomètres enregistreurs :

Le pluviographe se distingue du pluviomètre en ce sens que la précipitation, au lieu de s'écouler directement dans un récipient collecteur, passe d'abord dans un dispositif particulier (réservoir à flotteur, augets, etc.) qui permet l'enregistrement automatique de la hauteur instantanée de précipitation. L'enregistrement est permanent, et continu, et permet de déterminer - non seulement la hauteur de précipitation, mais aussi sa répartition dans le temps donc son intensité. Les pluviographes fournissent des diagrammes de hauteurs de précipitations cumulées en fonction du temps. Il en existe deux types principaux utilisés en Europe. (André Musy et al, 2014)

Pluviographe type R-208 A à augets basculeurs de la Météorologie Nationale :

i. Principe de la mesure :

L'eau s'accumule dans un auget jusqu'à provoquer son basculement, laissant la place à l'auget qui lui fait face. Le mouvement de basculement provoque soit le déplacement d'un stylet inscripteur, soit l'envoi d'une impulsion électrique (C. Roux, 1996).

Le pluviomètre recueille l'eau issue des précipitations dans un entonnoir. Si ces précipitations sont sous forme solide, la résistance chauffante installée autour du cône de réception permet leur fusion. L'eau est ensuite canalisée vers un système de mesure comprenant deux augets basculants associés à un système électronique de comptage.

L'auget bascule pour une masse d'eau de 20 grammes (soit une hauteur de 0,2 mm) dans le cas d'une bague de 1000 cm² de surface.

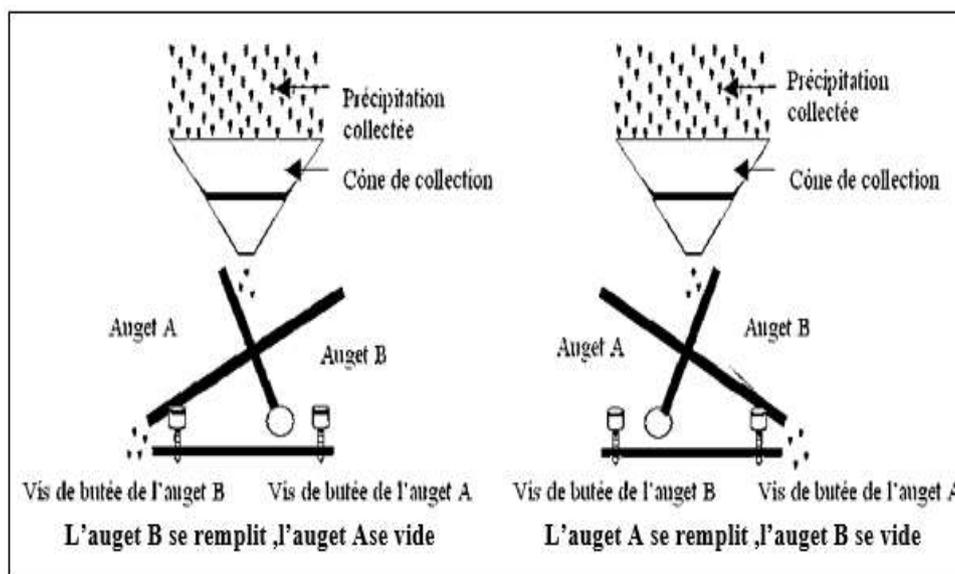


Figure 1- 6: schéma d'un transducteur

Lorsque la contenance de l'auget est atteinte, celui-ci bascule brusquement, ce qui provoque la fermeture brève d'un circuit électronique et le déversement de son contenu d'eau (voir figure 1.6 schéma de gauche).

Le second auget se place en position de remplissage, et puis bascule lorsque la masse d'eau requise est atteinte en produisant la fermeture de contact et en se vidant à son tour (voir figure 1.6 schéma de droite).

Les impulsions sont enregistrées par une station d'acquisition automatique et l'enregistrement continu permet de déterminer les hauteurs d'eau et l'intensité des précipitations.

A noter, qu'au-delà d'une intensité de 400 mm/h, le pluviomètre se met en charge : le débit est limité par l'ajutage (endroit rétréci à l'extrémité du cône de réception) et le niveau d'eau monte dans le cône. Ainsi la pression augmente, le débit s'accroît et le pluviomètre ne déborde donc pas. L'intensité mesurée est par contre temporairement erronée mais la quantité de précipitation mesurée reste correcte (M. Civiato et al, 2008).

- **Pluviographe à siphon :**

Le pluviographe à flotteur et siphon (Réménéieras, 1986) : l'eau captée par le cône récepteur s'écoule dans un réservoir contenant un flotteur. Celui-ci est surmonté d'une tige verticale guidée à laquelle est relié un stylet inscripteur ; lorsque l'eau atteint dans le réservoir un certain niveau maximum, un siphon s'amorce et vide ce dernier en 12 secondes environ, pendant lesquelles la mesure est interrompue. Cet appareil autorise la mesure d'intensités jusqu'à 300 mm/h en régime permanent, mais en pratique jusqu'à 210 mm/h.

Ces appareils comportent les défauts suivants (Viton, 1990) :

- ✓ L'amorçage ne se déclenche pas toujours de manière franche en particulier lorsque l'intensité de précipitation est faible : il y a alors écoulement continu de l'eau, sans vidange, le stylet restant à sa position supérieure ;
- ✓ Pendant les temps de vidange de l'ordre de 10 à 15 secondes, les quantités de précipitation ne sont pas comptabilisées (Y. L'Hôte, 1993).

- **Pluviographe à pesée :**

Dans ces appareils, le poids du récipient et la quantité de pluie recueillie sont enregistrés en continu, soit au moyen d'un mécanisme à ressort, soit par un système de balance. Toutes les précipitations sont ainsi enregistrées au fur et à mesure qu'elles sont recueillies. Ce type de pluviomètre n'est habituellement équipé d'aucun dispositif automatique de vidange, mais, grâce à un système de leviers, le stylet peut parcourir la largeur du diagramme autant de fois que désiré. Ces pluviomètres doivent être conçus de façon à éviter des pertes excessives par évaporation, celle-ci pouvant être encore réduite en ajoutant dans le récipient une quantité d'huile suffisante, ou tout autre produit capable de former une pellicule à la surface de l'eau et d'éviter ainsi l'évaporation. Les inconvénients dus aux oscillations de la balance par vent fort peuvent être surmontés par l'adjonction d'un amortisseur hydraulique. Ce type d'appareil est particulièrement indiqué pour mesurer les chutes de neige, de grêle, et de neige mélangée à de la pluie. Il enregistre en effet les précipitations solides sans attendre qu'elles aient fondu.

1.4.2.4 Incertitude de mesure :

Il est nécessaire, pour utiliser des résultats de mesure, de les exprimer avec leur incertitude associée. Pour cela, il faut tenir compte de toutes les sources d'incertitude significatives intervenant dans le processus de mesure, (Laplace, 1997). Dans le domaine de la pluviométrie, les erreurs instrumentales sont multiples et ont presque toutes pour conséquence de sous-estimer les quantités précipitées. On distingue en général :

- ✓ Les erreurs de captation (5 à 80%) : pluies inclinées, fortes pentes, turbulences du vent autour du pluviomètre.
- ✓ Les erreurs de l'instrument (environ 0,5%) : déformation de l'appareil de mesure (par exemple déformation du papier enregistreur).
- ✓ Les erreurs dues aux rejaillissements (environ 1%).
- ✓ Les pertes par mouillage (environ 0,5%) : déficit équivalent à l'eau qui humecte les parois intérieures de pluviomètre.
- ✓ Les erreurs dues à l'évaporation dans le récipient (environ 1%).

- ✓ Les erreurs propres aux pluviographes : en cas de fortes pluies, la vidange du système à siphon, et respectivement la vitesse de basculement des augets peuvent être trop lentes. Des pertes d'eau au moment du basculement des augets peuvent aussi avoir lieu (André Musy et al 2014).

Le vent aussi est un autre agent souvent le plus difficile à contrôler qui affectait la recueil des précipitations tombées sur la zone environnant d'un pluviomètre, lors d'une averse caractérisée par des gouttes de faibles diamètres et une vitesse de chute est faible, l'effet de turbulence de vent auprès d'appareil est plus important et provoque un excédent ou un déficit dans la quantité d'eau réellement tombée. Due à l'effet du vent la quantité d'eau recueillie peut-être sous-estimée de 3% à 30%. Par ailleurs, pour réduire ces effets, en doit choisir un site de telle façon que la vitesse du vent au niveau de l'ouverture du l'instrument est le plus faible, sachant que la pluie tombée ne soit pas arrêtée par des obstacles environnants, De plus pour assurer une meilleure protection contre le vent, le pluviomètre doit être protégé dans tous les directions par des obstacles (ex : arbres, buisson) ayant une distance au moins égale à 4 fois leurs hauteurs au-dessus ou plus (G. Summer, 1988).

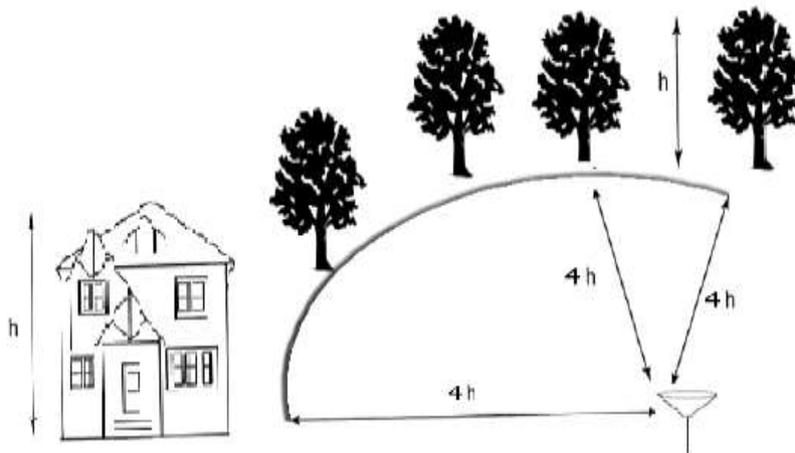


Figure 1- 7 : la position de pluviomètre cas de la présence des obstacles environnants

1.4.2.7 Implantation du pluviographe

Afin de garantir une représentation de précipitations mesurées à l'échelle spatiotemporelle variable, les instruments de mesures doivent respecter des critères bien définis par les services météorologiques de telle façon réduire les sources des erreurs de mesure :

- Fixation sur un massif en béton.
- Base du cône de réception parfaitement horizontale.
- Arête de la base du cône à 1 m du sol ((hauteur de référence).

De plus, la qualité des mesures effectuées est conditionnée par le choix de site d'implantation des pluviomètres ou des pluviographes qui tient en compte un certain nombre

de considérations d'ordre pratique, résultent le plus souvent de déférents compromis les suivants (C.Roux, 1996):

- Un terrain plat découvert
- Un sol environnant recouvert des herbes courtes ou des plantes, dont la hauteur n'excède pas 30 cm ou, à la rigueur, de graviers,
- La présence d'arbres ou de haies éloignées pour atténuer le déplacement horizontal des gouttes.
- Risque de colmatage (feuilles, déjections d'oiseaux, embruns, graminées, etc.).

Un cas particulier, concernons les endroits chauds, il est recommandé d'utiliser des pluviomètres (récipient) en verre ou en plastique au lieu de ceux en métalliques qui donnent des mesures erronées, à cause d'une évaporation élevée dans ces zones. Après une période de température élevée, les premières gouttes précipitées s'évaporent dès qu'elles contactent la surface métallique du pluviomètre, car la température de ces gouttes est inférieure à celle du seau récepteur. D'où une erreur de mesure non négligeable est remarquée (F. Belarbi, 2010).

Enfin, les instruments de mesure généralement sont installés dans les terrains publics : écoles, terrains de sport, espace vert, services techniques de telle manière facilite l'accès d'observateur chargé de prendre les mesures et éliminer les impuretés pouvant lui colmater telle que les feuilles des arbres et les déjections des oiseaux et fournir une protection contre le vandalisme.

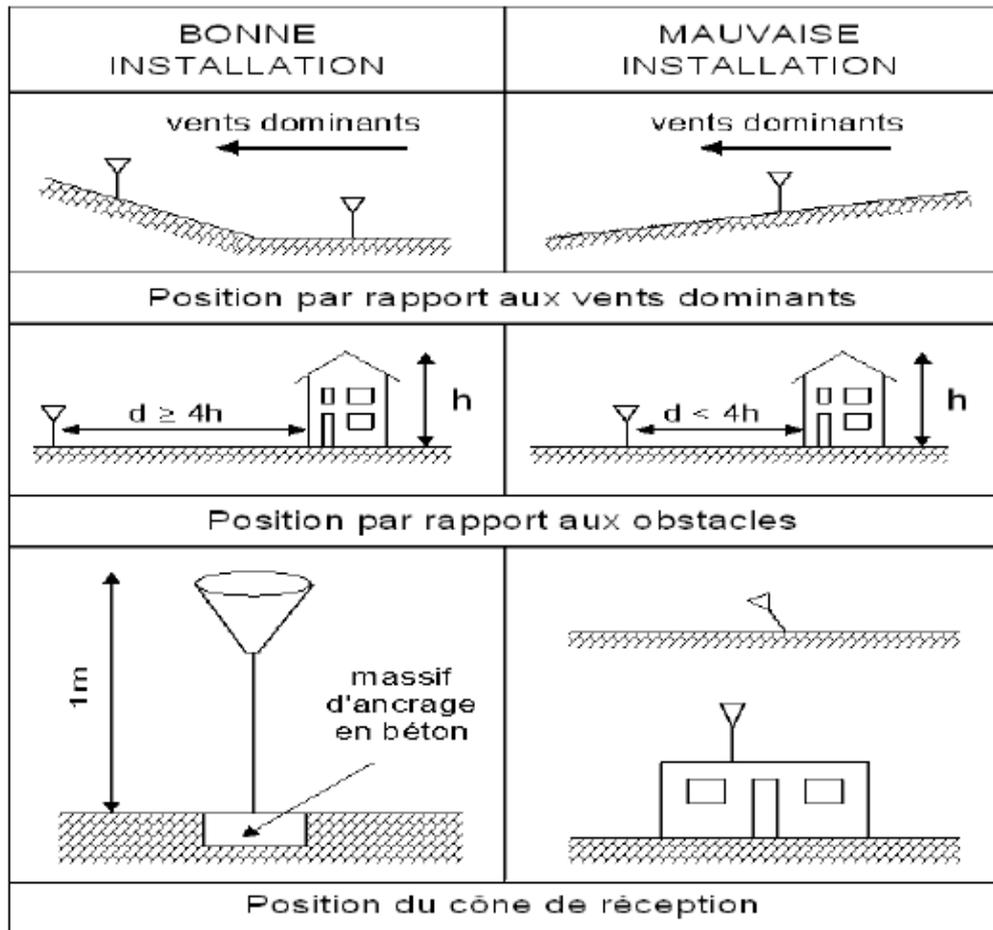


Figure 1- 8: conditions d'installation des pluviographes (d'après Deutsch et al., 1989)

1.4.3 La mesure des précipitations sur une surface

1.4.3.1 Les réseaux denses de pluviomètres

Un réseau de pluviomètre est l'ensemble des appareils de mesures des précipitations répartis dans la surface d'étude. Un réseau est caractérisé par sa densité qui est exprimée en nombre de km^2 par poste. On dit réseau dense lorsque on a au moins 1 poste par 20 km^2 .

Le mesurage classique des précipitations au sol par pluviographe fournit une information quantitative précieuse et indispensable pour les besoins de l'hydrologie urbaine, mais la détermination de la variabilité spatio-temporelle des événements pluvieux est très difficile avec ce type de dispositif. Par ailleurs, les besoins croissants d'une gestion plus réactive, en temps réel, voire prédictive, des réseaux d'assainissement ont conduit à rechercher d'autres outils permettant de prévoir les trajectoires, la répartition spatiale et les intensités ou les hauteurs précipitées des événements pluvieux.

Des outils différents et complémentaires peuvent contribuer à répondre à ces besoins :

- Le radar météorologique, qui permet de suivre le déplacement des précipitations et d'estimer les intensités et les lames d'eau précipitées sur un bassin versant.

- Les satellites.
- L'interféromètre radioélectrique VHF qui permet de suivre les événements de type orageux et établir une relation entre le nombre d'éclairs et les volumes précipités ultérieurs (B. Krajewski et al 2000).

1.4.3.2 La mesure de pluie par radar

L'observation des champs de pluie par radar s'est développée à partir de la seconde guerre mondiale. Elle permet une observation fine de la structure des précipitations, aussi bien en plan qu'en volume.

Le radar météorologique fournit une mesure ayant une forte résolution spatio-temporelle, une couverture spatiale large et une disponibilité immédiate. Ces avantages sont cependant grevés par la nature indirecte de la mesure, soumise à de fortes incertitudes en termes d'estimation quantitative des pluies (Delrieu et col, 1992).

1.4.3.3 La mesure des précipitations par satellite

Le développement récent des satellites météorologiques ouvre la voie à de nouvelles applications en pluviométrie, grâce à un suivi global des systèmes nuageux. Les satellites les mieux adaptés sont les satellites géostationnaires dont l'orbite, située à 36000 km de la terre, autorise une rotation synchrone avec celle-ci. Leur position relative par rapport au sol demeure constante, ce qui permet une fréquence d'acquisition d'image élevée.

Suivant la technologie des capteurs embarqués, on observera soit dans les longueurs d'onde du visible et de l'infra-rouge la couverture nuageuse, soit dans le domaine des hyperfréquences, les volumes d'eau présents dans l'atmosphère. Ces mesures étant de natures indirectes, il est nécessaire de se référer à des mesures directes effectuées au sol. Si ces techniques sont employées couramment depuis une vingtaine d'années, leur utilisation à des fins de mesure quantitative de lames d'eau en est à ses balbutiements (C. Roux, 1996).

- a- Estimation de lames d'eau à de grands pas de temps (décade, mois, saison).
- b- Estimation de lames d'eau à de petits pas de temps (30minutes, 1heure...).
- c- L'image satellite en appui pour améliorer l'interpolation spatiale entre des postes d'un réseau de pluviomètres.

1.5 Conclusions

Le pluviomètre ou le réseau de pluviomètres reste aujourd'hui le moyen le plus répandu pour la mesure des précipitations en hydrologie urbaine. Cet outil a bénéficié au cours des dernières années et bénéficiera encore de nombreuses améliorations relatives à la précision et à la fiabilité des systèmes d'enregistrement. Ce procédé de mesure demeure cependant très sensible au vent et les conditions optimales d'implantation ne peuvent que rarement être observées en milieu urbain.

Chapitre 02 :
Collecte et préparation des données
pluviométriques

2.1 Introduction

Les sciences hydrologiques, comme d'autres sciences naturelles, sont très complexes. Ceci est du non seulement à la multitude des phénomènes à identifier et à comprendre, mais aussi à ceux qui ne se répètent jamais de la même manière. De plus, les études hydrologiques sont strictement liées au changement climatique qui constitue l'une des grandes questions d'actualité environnementales auxquelles doivent répondre les organisations environnementales. L'eau joue un rôle fondamental dans les changements climatiques, il est essentiel de connaître sa vulnérabilité dans ces processus. Un des facteurs d'expression de cette vulnérabilité sont les inondations et divers phénomènes extrêmes, qui ont récemment touché plusieurs régions du territoire national algérien. Les événements extrêmes sont les principales préoccupations des décideurs dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Il est primordial de connaître l'évolution de la fréquence des inondations et des sécheresses dues au changement climatique pour une prise de décision. L'augmentation du risque d'inondation est souvent citée comme l'un des aléas les plus importants liés au changement climatique. Cependant, il y a eu relativement peu d'études réalisées sur le sujet, d'où la difficulté de simuler avec des modèles climatiques globaux des événements de courte durée et de forte intensité, pour tirer les estimateurs que sont les courbes Intensité-Durée-Fréquence.

2.2 Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologie ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future. (P. Meylan et al 1999).

En hydrologie, pour estimer la précipitation en des sites ayant peu ou aucune donnée, il existe d'une part les méthodes d'interpolation spatiale (Delhomme, 1978. Creutin et Obled, 1982. Amani et lebel, 1998) et d'autre part, les méthodes d'analyse de fréquence régionale (Hosking et al, 1985. Ouarda et al, 1999).

L'analyse fréquentielle est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel x_T auquel est associé un période de retour T (quantile de période de retour T ou de probabilité au dépassement $p = (1/ T)$). L'estimation de \hat{x}_T la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité $F(x, \theta)$ à un échantillon de n observations $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, où θ représente le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité F . (ST-HILAIRE A. 2007).

La plupart des méthodes d'analyse de fréquence régionale sont constitués de trois principales étapes :

- La constitution de groupe hydrologiquement homogène de stations suivis du test d'homogénéité du regroupement formé.
- La détermination de la fonction de distribution des précipitations et de ses paramètres
- L'estimation des quantiles correspondant à des périodes de retour spécifiés (Onibon, Het al, 2004).

2.3 Notion D'averse

On définit une averse comme un ensemble de pluies associé à une perturbation météorologique bien définie. La durée d'une averse peut varier de quelques minutes à une centaine d'heures et occuper une superficie allant de quelques kilomètres carrés (orages) à quelques milliers (pluies cycloniques). Elle a comme caractéristique la hauteur des pluies précipitées en (mm), sa durée (début/fin de l'averse) et son intensité en (mm/h) qui est variable par rapport au temps (P. Meylan et al 1999).

2.4 Séparation des averses

Le critère de continuité d'un épisode pluvieux varie selon le bassin versant. Généralement, deux averses sont considérées comme distinctes :

- Si la précipitation ΔH tombant durant l'intervalle de temps Δt qui les sépare est inférieure à un certain seuil
- Si cet intervalle de temps est lui-même supérieur a une certaine valeur définie compte tenu du type de problème étudié, par exemple le temps de concentration du bassin versant. En représentant les averses sous forme de hyétogrammes, la problématique de la

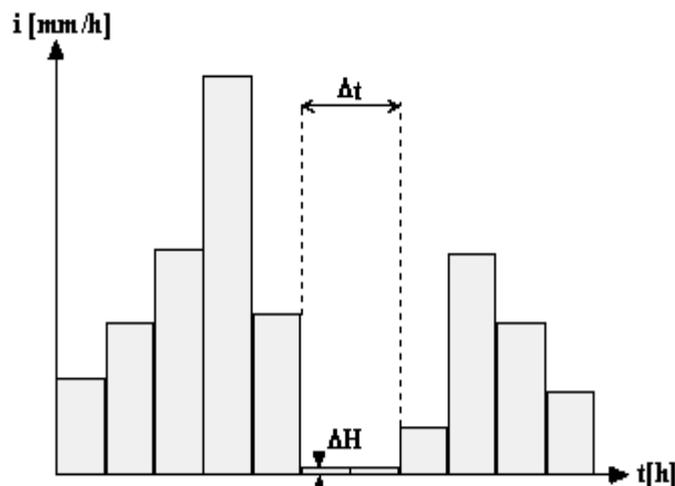


Figure2.1 : conditions pour la séparation de deux averses consécutives (P. Meylan et al 1999).

séparation des averses se résume comme présenté à la figure 2.1 (P. Meylan et al 1999).

2.5 Constitution des séries de données

2.5.1 Série chronologique

Pour effectuer une analyse fréquentielle, il convient, à partir des données disponibles, de constituer une série de valeurs formant un échantillon.

Toujours dans le cas de pluies, les données disponibles sont représentées se forme d'une série chronologique. Qui sont en général les pluies sur 24 heures publiées par les services météorologiques. (P. Meylan et al, 1999).

Les séries chronologiques de pluies sont constituées à partir de données pluviographiques en continu sur une durée de plusieurs années ou dizaines d'années. On constitue ainsi une base de données contenant les hyétogrammes et les caractéristiques globales (dates, durée, hauteur, intensité, durée de temps sec antérieure, etc.) de tous les événements pluvieux mesurés.

Les séries chronologiques sont utilisées notamment dans le cadre de la modélisation, afin de simuler le fonctionnement du système d'assainissement dans des conditions réelles et variées.

Enfin, les séries chronologiques, après critique et validation rigoureuse des données, sont indispensables pour réaliser des études statistiques sur les pluies, telles que l'établissement des courbes IDF (B. Krajewski et al, 2000)

Dans l'analyse de données (de pluies ou de débits) l'intérêt ne porte pas d'abord sur les valeurs disponibles elles-mêmes qui sont les résultats de mesures, mais sur les événements dont ces valeurs sont un reflet (averses ou crues) (P. Meylan et al 1999).

2.5.2 Types des séries :

À partir de la série chronologique de base, il est possible d'obtenir quatre types de séries qui vont être utilisées pour l'analyse fréquentielle :

- La série complète,
- La série des extrema annuels (la plus communément utilisée en hydrologie fréquentielle),
- La série tronquée (formée des valeurs au-dessus d'un seuil).
- La série des k plus grandes valeurs annuelles (appelée aussi parfois « série gonflée »).

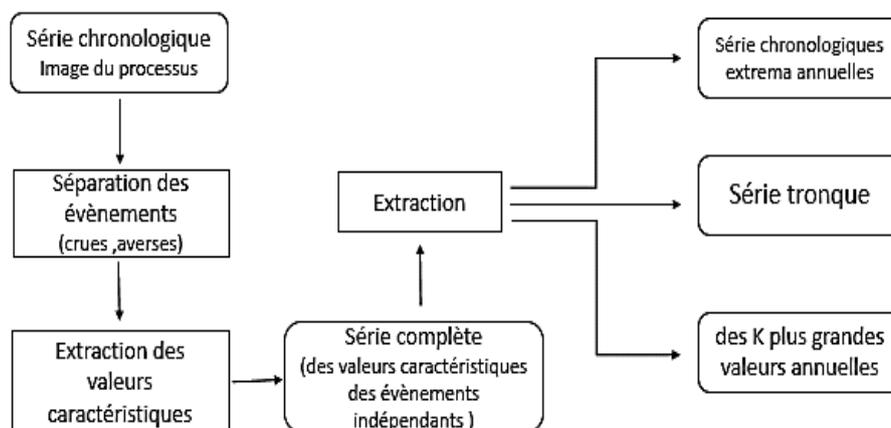


Figure2.2 : types des séries (P. Meylan et al, 1999).

2.5.2.1 Série complète :

À ce stade de l'analyse nous disposons du résultat de la mesure de la caractéristique pertinente pour chaque événement indépendant. La série d'événements ainsi constituée est appelée série complète (sous-entendu : série complète des valeurs caractéristiques des événements indépendants). Dans cet exemple, il s'agit d'une série de lames d'eau précipitées instantanées.

L'indépendance des événements successifs retenus peut être vérifiée par diverses techniques statistiques telles que :

- Le test de la nullité du coefficient d'autocorrélation.
- Le test des séquences.

Si, une éventuelle autocorrélation (c'est-à-dire une certaine dépendance) est décelée, cela ne signifie pas que tout le calcul ultérieur soit compromis. Dans un premier temps, il s'agira de critiquer les données, ainsi que la procédure de séparation des événements. Par ailleurs des méthodes existent, qui permettent de tenir compte dans une certaine mesure d'une autocorrélation des données.

La série complète des événements peut comporter un nombre imposant de valeurs.

Son exploitation sera donc parfois délicate, surtout en absence de moyens informatiques (P. Meylan et al, 1999).

2.5.2.2 Série des maxima annuels :

À partir de la série complète, il est possible de constituer une série de valeurs annuelles caractéristique (maximum, minimum, moyenne, etc.) par exemple la série des maxima annuels.

La pratique de l'analyse fréquentielle a permis de montrer que pour des séries chronologiques dépassant une trentaine d'années, il est légitime de se limiter à n'étudier que les valeurs extrêmes annuelles. Cette façon de procéder est généralement recommandée : elle permet en effet une exploitation directe du modèle fréquentiel ajusté, en probabilité annuelle d'occurrence. Toutefois, cette façon de procéder n'est pas anodine si nous nous intéressons aux valeurs extrêmes. Pour les années sans crue exceptionnelle nous incluons dans l'échantillon une crue ordinaire. A contrario, les années où plus d'une crue exceptionnelle se produit, nous manquerons une crue exceptionnelle. La série tronquée, outre qu'elle peut permettre d'augmenter la taille des échantillons, permet également de s'affranchir de ce problème.

2.5.2.3 Série tronquée :

Lorsque la série chronologique est trop courte, il est préférable de chercher à tirer profit au mieux de toute l'information disponible : il s'agit alors d'une analyse exhaustive de l'information.

La première méthode utilisée dans ce cas consiste à ne conserver de la série complète des événements indépendants que les valeurs dépassant un seuil x_0 choisi de façon arbitraire. Une telle série est appelé série tronquée ou série supérieure.

L'exploitation du modèle fréquentielle issu de ce type de séries n'est pas immédiate : certains développements particuliers sont nécessaires

En France notamment, ce type d'analyse est connu sous le nom de méthode du renouvellement (voir par exemple Miquel, 1984). Pour le choix du seuil, Miquel propose une technique itérative consistant à répéter l'ensemble du calcul pour différents seuils, afin de s'assurer d'une certaine stabilité du résultat.

L'expérience montre que pour assurer une « qualité » de l'estimation égale ou supérieure à celle obtenue par les séries des extrema annuels. Il faut déposer d'un nombre d'événements moyen $\geq 1,65$, soit plus de 1,65 événement par année, en moyenne (NERC, 1975) (voir encadré 3.1). Pratiquement, une série dont le nombre moyen d'événements par année λ est de l'ordre de 5 à 6 sera utilisée, tout en veillant au critère d'indépendance entre événements successifs.

Guillot (1994) propose de considérer 5% n des plus grandes valeurs pour l'ajustement de la queue supérieure de la distribution des pluies journalière extrêmes (en relation avec la méthode du Gradex). Cette façon de procéder conduit à retenir environ 18 valeurs annuelles. Plusieurs méthodes statistiques pour choisir le seuil sont exposées dans Coles (2001). Elles reposent davantage sur l'idée que l'échantillon doit présenter une certaine homogénéité : nous cherchons le seuil à partir duquel nous nous trouvons en présence d'événements dits extrêmes, pour lesquels les modèles GPD peuvent s'appliquer (P. Meylan et al, 1999).

2.5.2.4 Série des k plus grandes valeurs annuelles

La seconde méthode utilisée lorsqu'une série de maxima annuels est trop courte consiste à retenir, pour chaque année, les k plus grandes valeurs de la série complète.

Nous parlerons alors de série des k plus grandes valeurs annuelles ou, plus familièrement de série gonflée.

Une utilisation correcte de ce type de série dans le cadre d'une analyse fréquentielle nécessite également quelques développements spécifiques.

Cette technique n'a toutefois pas de bases statistiques bien établies et ne devrait constituer qu'un pis-aller : il est donc préférable, dans la mesure du possible, de s'en tenir aux séries tronquées (P. Meylan et al, 1999).

2.6 les courbes IDF

2.6.1 Qu'est-ce qu'une courbe IDF ?

L'observation banale montre que l'intensité maximale $i_m = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ correspondant à une fraction de l'averse donnant une hauteur de précipitation Δh dans un intervalle de temps Δt est d'autant plus grande que la durée Δt est plus courte.

De l'observation on déduit que, plus la durée analysée augmente, plus l'intensité diminue : les averses les plus brèves sont souvent les plus violentes, au contraire les longues pluies, d'automne par exemple, sont généralement assez « tranquilles » (de faible intensité) (P. Meylan et al, 1999).

Finalement, pour mieux comprendre le phénomène il faut parler sur la notion du période de retour, tel que chaque événement a période de retour ou ce qu'on appelle la probabilité d'apparition. Pratiquement les ingénieurs et les hydrologues parlent de temps de retour : tel événement se produit, en moyenne sur une longue période, toutes les années. On parle de fréquence d'apparition.

Ainsi donc, par l'observation soigneuse des précipitations et l'analyse statistique des résultats il est possible d'établir une « loi » de comportement qui lie l'intensité, la durée et la fréquence : c'est une courbe IDF (Atlas hydrologique de la Suisse) et (Duban,2000).

Donc les courbes IDF donne une relation entre les intensités la durée et la fréquence d'apparition de l'évènement pluviale qui sont liées par deux lois générales :

- Pour une seule valeur de temps de retour, l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte.
- Aux mêmes durées d'évènement pluviale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc que son temps de retour sera grand)

Ces lois permettant d'établir les relations entre les intensités, la durée et la fréquence d'apparition des pluies peuvent être représentées selon des courbes caractéristiques : on parle généralement de courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF). La notion de fréquence est en fait exprimée par la notion de temps de retour. (Duban, 2000) et (F.Zobiri ,2012) .

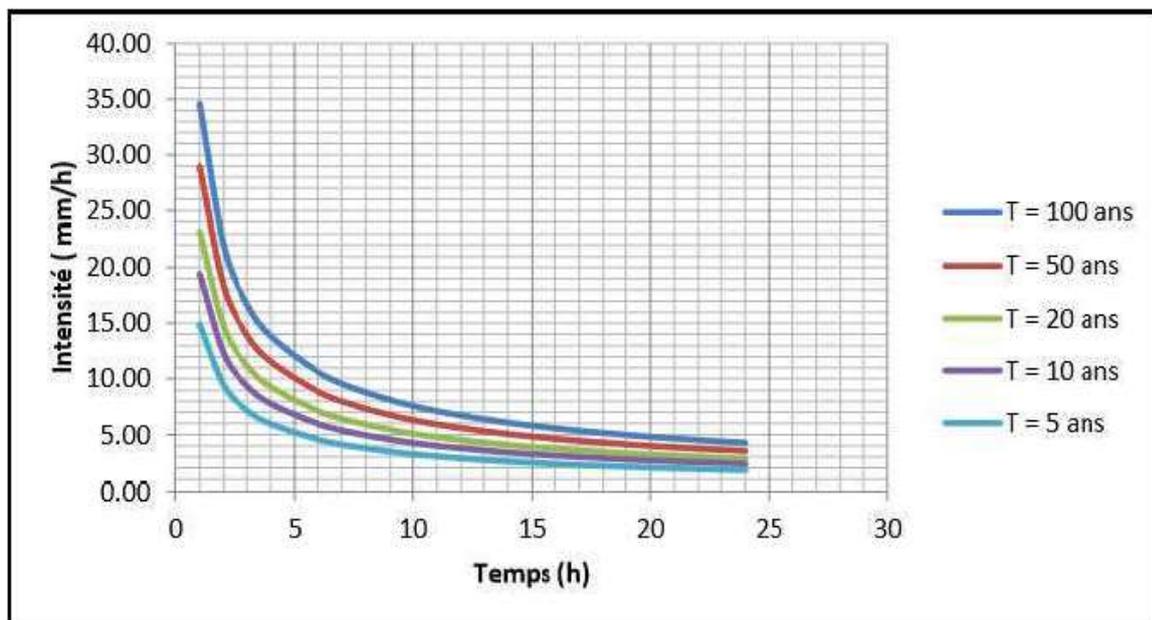


Figure 2- 1: Représentation schématique des courbes IDF (S. Hamzaoui, 2015).

2.6.2 Méthodes de construction de courbes IDF

L'analyse des séries d'intensités moyennes maximales d'évènement passe par trois étapes principales basée sur les données enregistrées dans chaque station pluviométrique : la première étape consiste à construire des échantillons pour les analyser. Après, c'est l'analyse statistique des échantillons avec éventuellement l'ajustement d'une loi de distribution permettant l'estimation de la fréquence d'apparition des observations. Pour finir, les courbes IDF sont habituellement déterminées en adaptant des expressions mathématiques reliant pour

une fréquence donnée, les observations à diverses échelles de temps (par exemple : loi de Montana, loi de Talbot).

2.6.3 Etablissement des courbes IDF

Le tracé des courbes IDF est établie sur la base de l'analyse d'averse en reportant sur un graphique à échelle linéaire ou bi logarithmique la valeur en fonction du temps pour une période de retour donnée (F. Belarbi, 2010).

Des dépouillements complets des relevés pour divers intervalles de temps Δt permettent d'établir des familles de courbes donnant, pour une période de retour donnée, l'intensité moyenne sur l'intervalle de référence Δt .

La démarche à suivre pour la construction des courbes IDF se résume comme suite :

- Construire Les courbes des hauteurs de pluie cumulée, relative à chaque averse de période de retour T à partir des pluviogrammes.
- A partir des courbes des hauteurs cumulées, on trace les hyétogrammes relatifs à chaque averse pour un pas de temps Δt
- Sur chaque hyétogramme on détermine les intensités moyennes maximales à chaque intervalle de temps Δt
- Pour chaque intervalle Δt de référence on classe les intensités moyennes maximales (i moy max) par ordre croissant
- En utilisant ce classement pour chacun des Δt on détermine les Intensités moyennes (IM) qui sont atteintes ou dépassées une fois en 1, 2...,5...10...20..., 50...100 ans
- Pour chaque période de retour T la série de valeur IM =f(Δt) est approximé par un modèle de type :

- MONTANA
- TALBOT

2.6.3.1 Modèle Montana:

Le model de Montana, pour une période de retour T est représenté sous la forme suivante :

$$I(T) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} \quad (2.1)$$

Avec :

I : intensité de l'averse estimé en (mm/min ou mm/h).

t : pas de temps en minute ou en heure.

a et b : paramètres de Montana (paramètres climatiques).

2.6.3.2 Modèle de Talbot :

La loi de Talbot, pour une période de retour donnée s'écrit de manière suivante :

$$I(T) = \frac{a(T)}{t+b(T)} \quad (2.2)$$

Avec :

I : intensité de l'averse estimé en (mm/min ou mm/h)

t : pas de temps en minute ou en heure

a et b : paramètres de Talbot (paramètres climatiques)

2.6.4 Utilité des courbes IDF :

Il n'est pas économique de dimensionner certains ouvrages hydrauliques tels que les égouts, les systèmes de drainage urbains et agricoles, les caniveaux d'évacuation d'eaux pluviales, etc..., pour la précipitation la plus intense pouvant survenir au cours d'une durée indéfinie. Par des considérations actuarielles mettant en balance, d'une part, le coût d'un surdimensionnement des ouvrages et, d'autre part, celui des dégâts dus à leur insuffisance durant une violente averse occasionnelle, on s'efforce de déterminer le débit optimum pour lequel il convient de les établir. En définitive, on ne recherche pas une protection absolue mais une protection contre une « averse-type » de probabilité déterminée.

Pour résoudre rationnellement les problèmes de drainage visés ci-dessus, il est donc nécessaire de déterminer les intensités maxima de pluies ayant une fréquence d'occurrence déterminé (c'est-à-dire survenant en moyenne une fois en cinq ans, en 10 ans, en 20 ans, etc...)

Mais l'analyse des averses exceptionnellement de longue durée s'impose dans beaucoup d'autres cas. Ainsi, pour calculer le débit maximum (et économiquement optimum) qui devra écouler un évacuateur de crue de barrage ou encore le débouché d'un pont, on se base de préférence sur de longues séries de relevés de débit du cours d'eau intéressé ; mais trop souvent ces relevés n'existent pas ou s'étendent sur une période trop courte pour que l'on puisse estimer la fréquence d'une crue d'amplitude déterminée ; il n'est pas rare, surtout dans les pays sous-développés, que les données disponibles sur les pluies soient plus complètes ou portent sur une plus longue durée que les relevés de débit. On est alors conduit à faire une analyse détaillée des averses et de leur intensité maximum en vue de prédéterminer l'allure de l'hydrogramme de crue et la fréquence des débits catastrophiques (G. Réménieras, 1965).

Les courbes Idf représentent un moyen largement utilisé, d'une part pour synthétiser les données collectées au cours d'une longue durée d'une station pluviométrique, d'autre part pour dimensionner les ouvrages d'un réseau d'assainissement avec en cas particulier celui des conduites (estimation de la valeur du débit de pointe d'une conduite), la détermination des débits de projet et de crue ainsi que de calculer des pluies de projet exploitées en modélisation hydrologique (A. Musy et al, 2014).

2.6.5 Les périodes adoptés pour construire les ouvrages :

Précisons dès à présent que pour estimer avec une incertitude acceptable un événement de période de retour T , il faut disposer d'observations sur une durée minimale d'environ 3 à 5 fois la période d'observation. Ainsi, une estimation raisonnable d'une hauteur de pluie décennale demande au minimum 30 à 50 ans de données.

Pour un objectif de dimensionnement hydraulique des réseaux, on s'intéresse généralement aux événements dits « fréquents », c'est à dire de périodes de retour égales à 1, 2, 5 et 10 ans, voire plus pour certains ouvrages structurants. Dans une logique de gestion du risque, des événements « exceptionnels » de périodes de retour de l'ordre de 50 à 100 ans sont étudiés, ce qui impose la plupart du temps l'utilisation de méthodes d'extrapolation des observations, méthodes fondées sur des lois statistiques applicables aux valeurs extrêmes.

2.7 Pluie de projet

2.7.1 Définition de la pluie de projet :

La pluie est un phénomène aléatoire, il est impossible d'en connaître à l'avance la durée, le volume et l'intensité des pluies tombées, les enregistrements des pluviographes permettent d'obtenir ces données et un hyétogramme $i(t)$, un tel hyétogramme est important pour étudier les phénomènes de ruissellement pluvial.

On a donc été amené à établir des pluies fictives, appelées « pluies de projet », définies par un hyétogramme synthétique et statistiquement équivalentes aux pluies réelles, bien que jamais observées. On leur affecte une période de retour qui est celle d'un ou plusieurs de leurs éléments constitutifs (Hémain, 1986), la période de retour étant l'intervalle de temps moyen séparant deux occurrences d'un événement donné. La pluie de projet vise ainsi à représenter, par un événement unique, les caractéristiques d'une pluviométrie locale qui affecte le réseau d'assainissement étudié (J.-L. Bertrand-Krajewski, 2007).

Suivant les données disponibles, la taille du problème traité, les moyens de calcul et les paramètres pris en compte, on distingue deux grandes classes de pluie de projet ; l'une Issue de la définition déterministe, l'autre de la définition statistique (Bemmo, 1993).

2.7.1.1 L'APPROCHE DETERMINISTE :

Elle consiste à représenter la pluviométrie locale par une pluie de projet unique à laquelle on rattache une période de retour. Elle regroupe les trois méthodes suivantes de représentation de la pluie de projet :

- A partir des courbes « intensité-durée-fréquence », ou s'intéresse à l'intensité moyenne pendant le temps de concentration du bassin versant considéré. Elle permet de calculer le débit de point à l'exutoire, auquel on fait correspondre la même période de retour.
- A partir d'un hyétogramme (variation de l'intensité en fonction de temps).
- A partir d'un hyétogramme tenant compte de l'emprise de l'averse et de sa trajectoire sur le bassin étudié.

2.7.1.2 L'APPROCHE STATISTIQUE

Elle consiste à représenter la pluviométrie locale par un ensemble de pluie de projet permettant d'étudier la relation Pluie -Débit à l'exutoire, cette approche essaie :

- De mesurer la fréquence d'apparition d'un débit à partir de plusieurs pluies .la période de retour d'une valeur de débit n'étant pas forcément égale à celle du de la pluie.
- De tenir compte de la variation spatio-temporelle des intensités à partir d'une trajectoire suivie par l'orage
- De mesurer la réponse d'un réseau pour les événements pluviométriques les plus violentes observées localement (H. Boutaghane,2015).

2.7.2 Pluie de projet dérivent de courbe IDF

2.7.2.1 L'averse uniforme

L'averse uniforme est très certainement la plus ancienne et la plus simple des averses des projets, elle trouve son utilisation dans de nombreuses applications, dont la méthode rationnelle.

Elle est caractérisée par une intensité constante pour toute sa durée, cette durée est souvent prise égale au temps de concentration du bassin versant sur les lequel sera appliquée l'averse de projet. (A. Musy et C. Higy,1998).

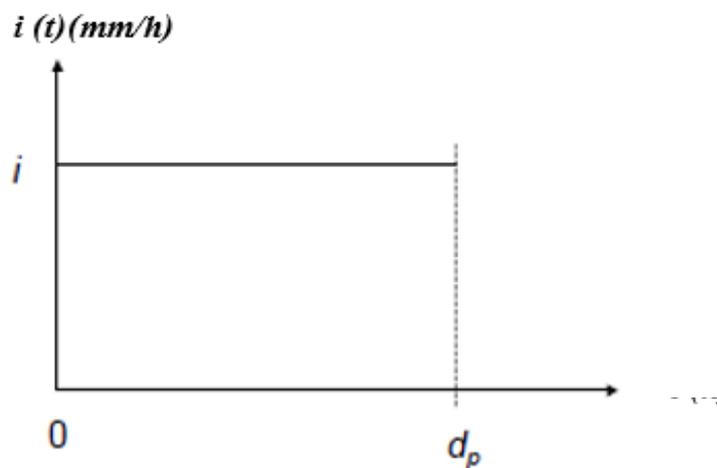


Figure2-2: Pluie de type bloc (J.-L. Bertrand-Krajewski, 2007)

2.7.2.2 L'averse composite

L'averse composite se rapproche plus de la réalité que la pluie uniforme en ce sens que l'intensité varie au cours du temps, on commencera donc par déterminer une durée totale de l'averse afin de pouvoir construire le hyétogramme, l'exemple ci-dessous montre la démarche à adopter en vue d'obtenir une averse composite.

Soit le cas de la station pluviographique X ou l'intensité pour un temps de retour $T=10$ ans est ajustée sur une formule de Talbot (A. Musy et C. Higy, 1998) :

$$i_{10} = \frac{3154}{25+t} \quad \text{Avec } i \text{ en [mm/h] et } t \text{ en [min]} \quad (2.3)$$

L'averse composite d'une durée de 1 heure aura une intensité moyenne de 37mm/h donc un volume de 37mm. Le tableau suivant montre les étapes de calcul.

Tableau 2.1 : Etapes de calcul d'une averse composite.

Temps t [min]	Intensité sur la courbe IDF [mm/h]	Hauteur de la pluie cumulée[m]	Hauteur d'eau sur Δt [mm]	Intensité de l'averse [mm/h]	Averse de projet [mm/h]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
10	90	15	15	90	25
20	70	23.3	8.3	50	50
30	57	28.5	5.2	31	90
40	49	32.	4.2	25	31
50	42	35.0	2.3	14	14
60	37	37.0	2.0	12	12

[1] : durée sur la courbe (IDF).

[2] : intensité. moy .max sur la courbe (IDF).

[3] : [2] (t/60).

[4] : [3] i - [3] i-1.

[5] : [4] (60/ Δt).

[6] : averse (arrangée).

L'averse composite obtenue dans la colonne [5] présente un hyétogramme décroissant dans le temps, cette forme peu fréquente peut être « réarrangée » ; par exemple (colonne 6) en situant la pointe d'intensité au centre et les intensités décroissantes placées alternativement avant et après la pointe. Les figures 2.5 et 2.6 montrent la pluie composite et l'averse de projet obtenue.

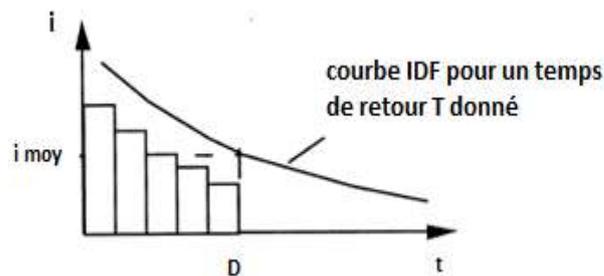


Figure 2- 5: pluie de projet basée sur l'averse composite

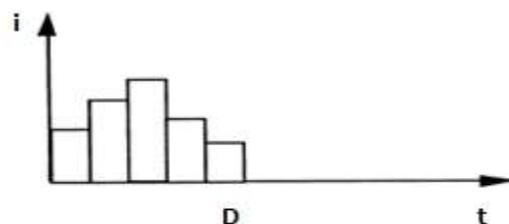


Figure 2- 6: Construction de l'averse composite

2.7.2.3 Averse de type Chicago :

Cette pluie de projet a été proposée par Kiefer et Chu (1957) pour la ville de Chicago, USA, l'idée est de construire un hyétogramme synthétique à partir de relations empiriques de courbes IDF (J.-L. Bertrand Krajewski, 2007)

Soit une relation du Montana représentant les courbes IDF :

$$i_{mm}(t, T) = at^b \quad (2.4)$$

Avec :

i_{mm} : Intensité moyenne maximale une durée $t = dp$ et de période de retour T (mm/h).

t : temps (h).

a, b : coefficients numériques dépendant de T et du site géographique.

Dans ce cas, le hyétogramme cumulé s'écrit :

$$H(t, T) = i_{mm}(t, T) \cdot t = at^{b+1} \quad (2.5)$$

Et l'intensité instantanée associée $i(t)$ est donnée par la relation :

$$i(t, T) = \frac{dH(t)}{dt} = (b + 1)at^b \quad (2.6)$$

Ces courbes sont représentées Figure 2.7.

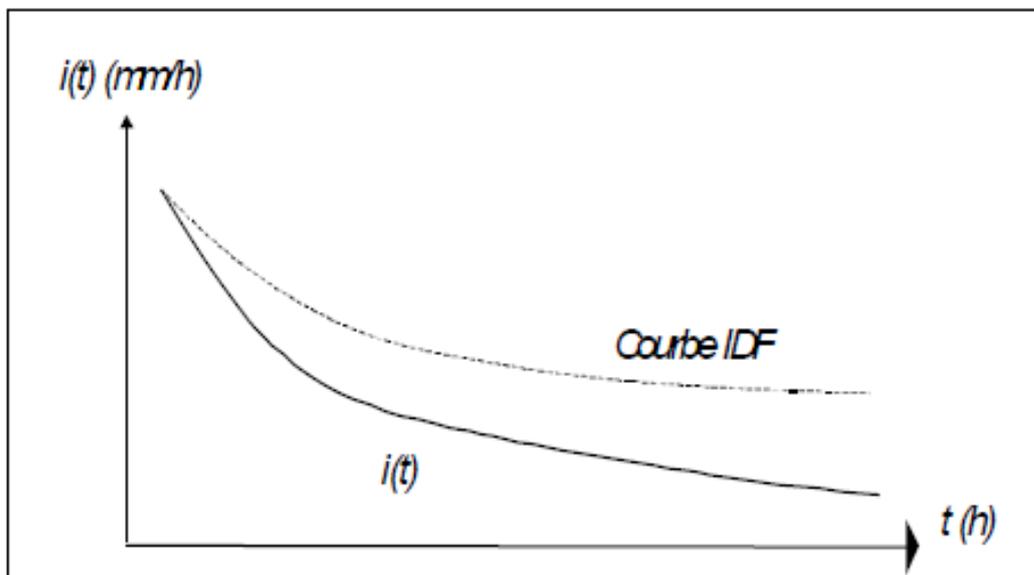


Figure 2.7 : Courbe $i(t)$ de type Chicago obtenue à partir de la courbe IDF

Dans la pratique, on discrétise la courbe avec un pas de temps Δt , en prenant sur les courbes IDF les valeurs de $i_{mm}(dp, T)$ pour des valeurs successives de dp égales à des multiples impairs de Δt : $\Delta t, 3\Delta t, 5\Delta t, 7\Delta t, \dots$, pour centrer la pointe d'intensité sur un seul pas de temps. En partant de la valeur maximum de l'intensité, on obtient alors des hyétoigrammes

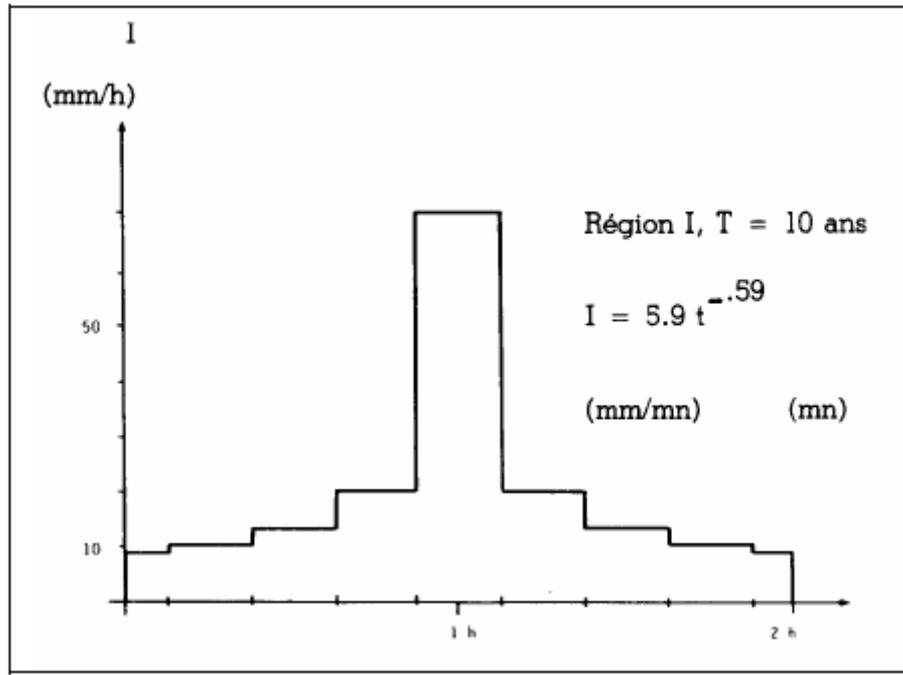


Figure 2.8 : Pluie de type Chicago centrée et discrétisée au pas de temps 15 min (Hémain, 1986) du type de la Figure 2.6.

La pluie de projet proposée par Mitci (1974) est fondée sur les mêmes principes que la pluie de type Chicago.

2.7.2.3 Pluie double triangle symétrique

Débordes a développé en 1974 le principe de la pluie de projet double triangle à partir de l'analyse statistique d'une série chronologique de pluies réelles. La pluie double triangle a montré sa compatibilité avec le modèle réservoir linéaire, et une fiabilité des résultats sur des bassins versants urbanisés, équipés d'un réseau d'assainissement. Desbordes propose de considérer cette pluie parfaitement symétrique lorsqu'on utilise le modèle réservoir linéaire (Chocat, 1997).

Cette pluie de projet peut être entièrement définie par les paramètres suivants (Chocat, 1997) :

- La durée totale de la pluie t_3 prise égale 4h.
- La durée de la période intense t_1 prise égale 30min.
- L'intensité de pointe i_2
- L'intensité au début de la période intense i_1

- La position de la pointe

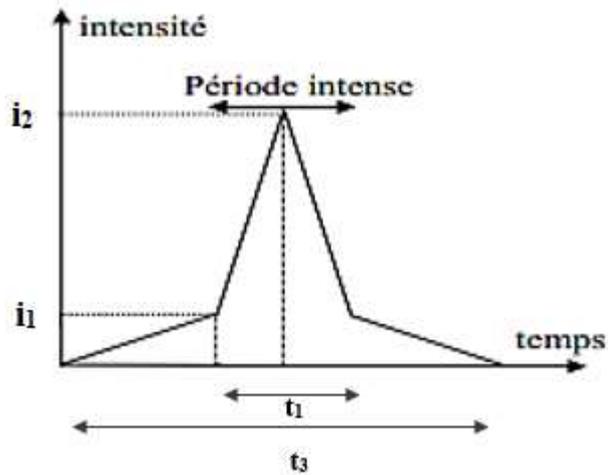


Figure 2- 9 Pluie de projet double triangle symétrique (Bertrand, 2006)

Les valeurs d'intensité i_1 et i_2 sont calculées par les formules suivantes (Bourrier, 1997) :

$$i_2 = (t_1)^{-b} \frac{1-0.1^{-b+1}}{0.9*0.1^{-b}} 120 * a * 2^{-b} \quad (2.4)$$

$$i_1 = (t_1)^{-b} \frac{0.1^{-b}-1}{0.9*0.1^{-b}} 120 * a * 2^{-b} \quad (2.5)$$

Où :

$i_2[mm/h]$: l'intensité de pointe.

$i_1[mm/h]$: l'intensité au début de la période intense.

$b[-]$, $a[-]$: paramètre d'ajustement du Montana.

Chapitre 03 :

Présentation de la zone d'étude

3.1 Introduction

La zone d'étude concerne le bassin versant des côtiers Algérois, il est situé au centre Nord de l'Algérie, nous présentons dans ce chapitre une synthèse des caractéristiques géographiques, climatiques ainsi que les caractéristiques de forme de ce bassin.

3.2 Présentation générale du Bassin hydrographiques côtiers algérois

Le bassin des Côtiers Algérois est un bassin très important d'Algérie, bien qu'il ne représente que 0,5% de la superficie globale de l'Algérie, il s'étend sur près de 500 km, de Béjaïa jusqu'à Mostaganem, sur la côte méditerranéenne pour une largeur moyenne de 24 km, d'où il tient sa grande diversité climatique, géomorphologique, géologique, topographique...etc.

En plus, ce bassin est drainé non pas par un seul cours d'eau principal, mais par plusieurs, à savoir, Oued El Harrach, Oued Mazefran et Oued Sébaou (Khelfi, 2018).

3.3 Situation Géographique

Le bassin hydrographique Côtier Algérois est situé dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. Il s'étend sur une superficie de 12 320 km². Il est limité :

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- À l'Est par le bassin hydrographique des Côtiers Constantinois.
- Au Sud par le bassin de la Soummam et l'Isser.
- À l'Ouest par le bassin de Cheliff.



Figure 3- 1 : les limites de zone d'étude -bassin versant côtiers Algérois

3.4 Le réseau hydrographique

Ce bassin est l'un des 17 grands bassins hydrologiques de l'Algérie noté 02 dans le répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, il fait partie des bassins versants tributaires de la Méditerranée. Il est composé de 18 sous bassins. Il comprend deux parties distinctes les Côtiers Algérois (02a) à l'Ouest et les Côtiers Algérois (02b) à l'Est. Le tableau suivant représente les principaux cours d'eau de ce bassin :

Tableau 3.1: les principaux cours d'eau du bassin côtiers Algérois.

Sous bassin versant	Principaux oueds
Côtiers Algérois (2a)	Oued el Hachem, Oued Mazefran, Oued El Harrach Oued Nador
Côtiers Algérois (2b)	Oued Sébou



Figure 3-2 : Bassin versant côtiers Algérois.

Le bassin hydrographique des côtiers Algérois 2a est le plus important, il se caractérise par sa diversité qui comprend de grandes villes, il englobe en totalité les Wilayas d'Alger et de Blida, et en partie celles de Tipaza, Boumerdes, Ain Defla et Médéa, c'est une zone agricole et industrielle intéressante en Algérie. Il s'étend sur une superficie de 4 570 km², il contient également l'aquifère principale du pays Mitidja, l'ensemble des sous bassins hydrographiques des Côtiers Algérois 02a est repris au tableau 3.2. (M. Benaini et al, 2018).

Tableau 3.2: Les sous bassins versants du bassin côtiers Algérois 2a.

Sous bassin versant	Superficie du sous bassin versant (km ²)
Mazerfran	1910
El harrach	1246
Hamiz	262
Nador	244
El Hachem	215
Boudouaou	150
Reghaia	80
Autres petits bassins	464
Total	4570

Le bassin hydrographique des Côtiers Algérois 2b, connu généralement par le bassin d'Oued Sébaou, englobe deux Wilayas, Tizi-Ouzou et Boumerdes, et est composé de 09 sous bassins, dont la numérotation est comme suit : 02-07, 02-08, 02- 09, 02-15, 02-16, 02-17, 02-18, 02-19, 02-20. Cette numérotation est présentée selon la carte du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, établi par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH).

3.5 Le climat

Le climat algérien est un climat de transition entre le climat tempéré humide et le climat désertique. Il varie de manière contrastée, du type méditerranéen et semi-aride dans le nord vers le type désertique dans le Sahara.

Le bassin des Côtiers Algérois se caractérise par un climat type méditerranéen, pluvieux en Hiver, sec en Eté avec une pluviométrie moyenne avoisinant les 900 mm par an, sauf que l'Est est beaucoup plus pluvieux que l'Ouest qui s'approche d'un climat semi-aride, comme le montre la carte pluviométrique de l'ANRH.

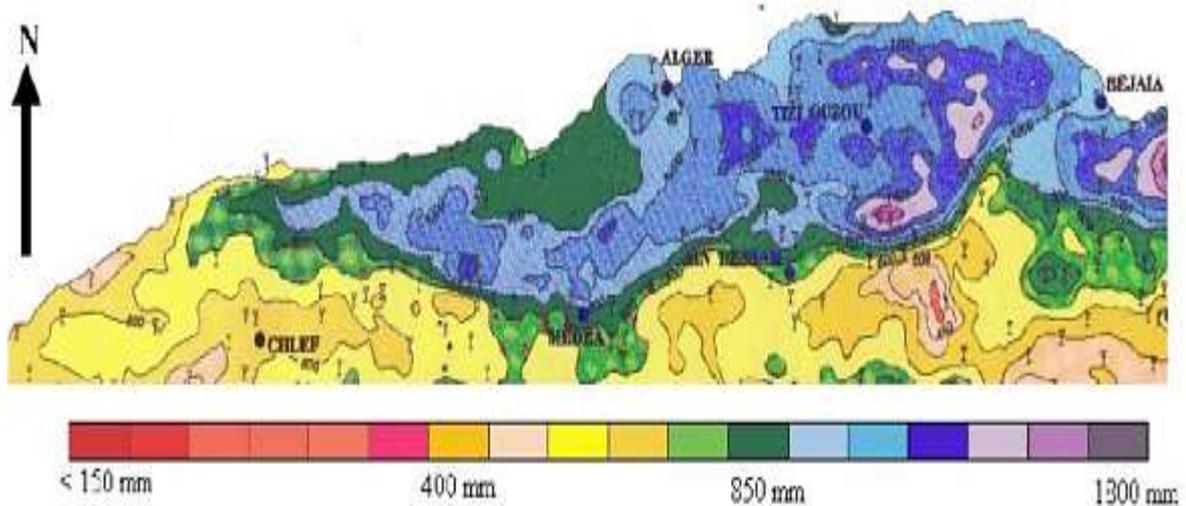


Figure 3- 3: Carte de la pluviométrie moyenne annuelle de la région d'étude (ANRH)

D'après la carte précédente on voit clairement que le bassin des côtiers Algérois a un potentiel pluviométrique assez important surtout à l'Est et au Sud-Ouest d'Alger.

La température du bassin côtiers Algérois est caractérisé par un climat assez doux, où les minimales sont de l'ordre de 12°C à Alger, 10°C à Tizi Ouzou, 10°C à Blida ou 8°C. les hauts lieux comme Miliana ou Tablat, les températures maximales dépassent rarement les 30°C en moyenne en été.

3.6 Le relief

Le bassin versant des Côtiers Algérois est caractérisé par un relief très accidenté avec des sommets qui atteignent les 1415 m (Djebel Dahra) dans la partie Ouest du bassin et 2308 m (Djebel Djurdjura, Kabylie) dans la partie Est du bassin. Ces chaînes montagneuses et l'Atlas Bliidiéen qui succèdent à la plaine de la Mitidja causent l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau, celle-ci a une grande influence sur les variations spatiales de la pluviométrie.. (M. Meddi,2005)

3.7 La pluviométrie

D'après Medd,(2005).La pluviométrie moyenne annuelle sur 25 ans varie de 532 mm à 950 mm. Cette variabilité est engendrée par l'effet d'altitude, la distance à la mer, la forme du relief et l'effet des vents dominants.

Les stations pluviographiques coïncidant avec la direction des vents dominants Nord-Ouest sont les mieux arrosés, comme exemple, au niveau de la station de Chréa, 1550 m d'altitude, ils ont enregistré une pluie de 949 mm, moyenne de 25ans d'observations, alors que la station de blida, 267 m d'altitude, donne une pluie moyenne de 768 mm.

La variabilité spatiale de la pluviométrie d'une année à une autre varie de 18 % à 47 %. 70 % des stations ont une variation spatiale plus au moins proche de la moyenne (25 %) et 30 % ont une variation spatiale de plus de 30 % (M. Meddi,2005).

3.8 Caractéristiques morphométriques du bassin versant

3.8.1 Coefficient de compacité

Le coefficient de compacité est un paramètre de forme, il donne une indication sur la forme du bassin versant. Gravilius en 1914, a défini ce coefficient comme le rapport de périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

$$K_c = 0.28 \frac{p}{\sqrt{A}} \quad (3.1)$$

K_c : coefficient de compacité.

p : périmètre du bassin versant [km].

A : surface du bassin versant [km²].

Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée, la figure suivante représente différentes formes de bassin versant et les coefficients de compacité correspondants (A. Musy et al,2004).

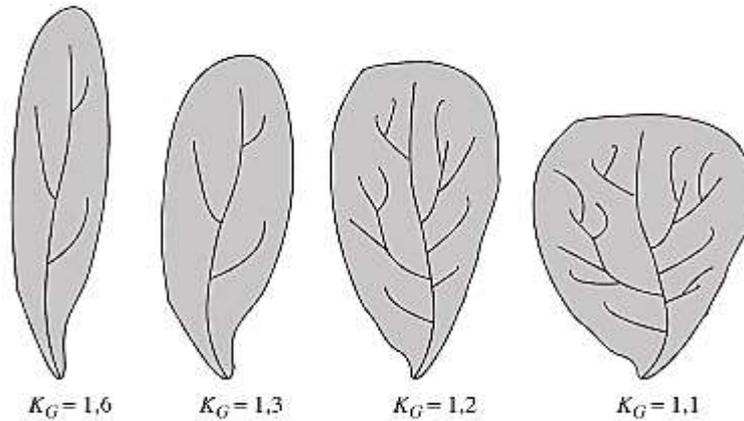


Figure 3- 4: différentes formes de bassin versant et les coefficients de compacité correspondant (A. Musy et al,2004).

3.8.2 Rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent introduite par Roche en 1963, est une transformation géométrique du bassin versant, qui a une forme complexe en un rectangle de dimension (L) et (l), ayant la même surface et le même périmètre, et permet la comparaison entre les bassins versants en termes d'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement, et aussi pour calculer les pentes dans les bassins versants.

La longueur du bassin (L) et sa largeur (l) sont calculées par les relations suivantes :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \quad \text{Avec } K_c \geq 1.12 \quad (3.2)$$

$$l = \frac{P}{2} - L \quad (3.3)$$

3.8.2 Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin, elle influe directement sur la vitesse d'écoulement, donc sur le temps de concentration de bassin versant, elle est définie par :

$$I_m = \frac{2(H_{max} - H_{min})}{P} \quad (3.4)$$

I_m : pente moyenne du bassin (m/km)

H_{max} : altitude maximale (m)

H_{min} : altitude minimale (m)

P : périmètre du bassin (km)

3.8.3 Indice de pente globale

C'est un indice basé sur la fonction de répartition des altitudes du bassin versant, il est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (3.5)$$

I_g : indice de pente globale.

L : longueur de rectangle équivalent (m).

D : dénivelée (m), est l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin versant.

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

3.8.4 Longueur du cours d'eau principal du bassin versant

La longueur du cours d'eau principal est une grandeur très utilisée dans les calculs hydrologiques, d'après McCuen (2004), il y a deux méthodes pour la calculer :

- 1- La distance mesurée de l'exutoire le long du cours principale du bassin jusqu'à la fin du cours d'eau.
- 2- La distance mesurée le long du cours principal, entre deux points situés à 5% et 95% de distance de l'exutoire.

Les caractéristiques du bassin versant côtiers Algérois sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.3 : caractéristiques morphométriques du bassin versant côtiers Algérois.

Caractéristiques	Bassin côtiers Algérois
A(Km²)	12320
P(Km)	1229.2
Kc	3.10
Forme	Allongé
L(Km)	593.85
I(Km)	20.75
Altitude maximale (m)	2304
Altitude minimale (m)	0
Altitude moyenne (m)	423.12
Altitude médiane (m)	1145
Pente moyenne BV I_m(%)	9.5
Pente globale BV I_g(%)	10.07
Longueur de cours d'eau L_{cp}(Km)	42
Pente moyenne de cours d'eau I_{mcp}(%)	7.9

3.9 Conclusion

Après cette brève présentation, nous pouvons conclure que notre zone d'étude se situe au Centre Nord de l'Algérie. Le relief de cette zone est structuré par une chaîne montagneuse orientée Est-Ouest : l'Atlas tellien. Le climat du Centre Nord de l'Algérie est essentiellement méditerranéen caractérisé par des précipitations et des températures d'une variabilité spatiotemporelle très marquante

Chapitre 04 :
Traitement et exploitation des données
pluviographiques

4.1 Introduction

Avant toute étude statistique, même simple comme le calcul d'une moyenne interannuelle sur une longue chronique de relevés pluviométriques, souvent observés à des pluviomètres manuels pouvant être déplacés facilement, il convient de repérer pour éventuellement corriger ou supprimer : les erreurs grossières et aléatoires faites lors de l'observation (pertes d'eau, absence de l'observateur non signalée, décalage de jour, etc...) et les erreurs systématiques dues à des défauts d'appareillage (éprouvette ne correspondant pas au diamètre de la bague, mauvais réglage des augets d'un pluviographe).

Les informations pertinentes en vue d'une exploitation ultérieure sont dégagées à partir des traitements des résultats de mesure fournis par les pluviographes. Dans le cas d'un pluviographe à augets basculants, les impulsions peuvent être enregistrées soit à pas de temps variable (chaque basculement est horodaté) soit à pas de temps fixe (un compteur d'impulsions est relevé toutes les n minutes et remis à zéro).

L'enregistrement de basculements horodatés permet de travailler ensuite à pas de temps fixe ou variable selon les besoins, tandis que l'enregistrement initial à pas de temps fixe ne permet pas de repérer chaque basculement et accroît le phénomène de lissage ou d'amortissement des pointes d'intensité en diminuant la résolution (les informations sont nécessairement des multiples entiers de la hauteur d'eau H_a de l'auget). L'enregistrement à pas de temps fixe peut paraître plus économique en mémoire, mais cette question est de moins en moins une contrainte compte tenu de l'évolution des capacités des matériels informatiques et électroniques. Un enregistrement direct des basculements horodatés est préconisé car il permet de récupérer toute l'information brute et de recalculer ultérieurement des intensités à n'importe quel pas de temps fixe par cumul des basculements.

Il existe sur le marché des logiciels de traitement des données pluviographiques fournis soit par les fabricants soit par des sociétés d'étude ou de service en métrologie. De nombreux utilisateurs ont également développé leurs propres logiciels de traitement pour répondre à leurs besoins spécifiques et/ou pour conserver la maîtrise des programmes informatiques. Ces outils permettent de calculer les hauteurs précipitées, les intensités moyennes ou sur des pas de temps donnés, les durées de temps sec antérieures, de tracer les hyétogrammes et, pour les plus évolués d'entre eux, de calculer les périodes de retour des événements mesurés, les courbes Intensité-Durée-Fréquence pour un site donné, de comparer des séries pluviométriques, de réaliser des analyses statistiques, etc.

Par ailleurs, les services gestionnaires des systèmes d'assainissement ont généralement développé des applications spécifiques permettant le calcul des lames d'eau sur les bassins versants, les interpolations entre postes pluviographique, les corrélations avec un mesurage par radar, etc.

Nous présenterons dans ce chapitre les traitements de données les plus classiques, en nous limitant à ceux qui concernent l'évolution des précipitations au cours du temps, sans prendre en compte ceux qui sont liés à la répartition spatiale de la pluie (calculs de courbes isohyètes, de déplacement des cellules pluvieuses, etc.).

4.2 Identification des événements pluvieux

Cette identification nécessite au préalable d'établir les critères définissant un événement pluvieux pour le site étudié. Quatre points doivent être pris en considération :

- Les périodes de précipitation nulle.
- Le début de l'événement.
- La fin de l'événement.
- La durée de précipitation nulle séparant deux événements pluvieux indépendants.

Il faut souligner dès à présent que la définition des événements pluvieux en hydrologie urbaine contient une part d'arbitraire, les événements pluvieux ainsi définis ne correspondant pas forcément à une réalité météorologique précise. Cette définition des événements doit être adaptée à l'usage ultérieur que l'on veut faire des données pluviographiques. Elle doit tenir compte des caractéristiques hydrologiques des bassins versants auxquels sont appliquées les données pluviographiques, principalement celles liées à la transformation pluie-débit : temps de concentration, lissage des extrema d'intensité.

4.3 Constitution d'une série de valeurs

L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) ayant une série d'observations pluviographique longue, les données pluviométriques pour des pas de temps inférieurs à la journée sont requises pour le dimensionnement des ouvrages d'art, nécessaires pour l'approvisionnement en eau, ou des infrastructures d'assainissement pluvial des grands centres urbains.

L'ANRH s'est dotée d'un important réseau national d'observations hydro-climatologique réparti dans le territoire national comme suit :

- a- Un réseau hydro-climatologique classique composé de :
 - 220 stations hydrométriques.
 - 56 stations climatologiques complètes
 - 759 stations pluviométriques.
 - 236 stations pluviographiques.
- b- Un réseau hydro-climatologique moderne (en cours de réalisation) qui sera doté de 200 stations automatiques qui seront équipées ultérieurement d'un système de transmission qui permettra l'obtention de l'information à temps réel.

4.3.1 Réseau de mesure

Nous intéressons aux enregistrements des pluviographes, pour notre travail de recherche, nous avons pu obtenir les données pluviographiques de dix-neuf stations :

Tableau 4.1: Identification des stations pluviographiques du bassin côtiers Algérois

Le nom de la station	Code de la station	Période de mesure		Nombres d'années	Années dysfonctionnement	Altitude(m)
		Début	Fin			
Azzazga	21504	10/08/72	08/17/01	29	0	430
Ain Zaouia	21924	09/04/89	08/16/01	12	0	290
Meured	20306	04/13/86	01/21/97	14	3	270
Mouzaia	21132	11/19/88	08/23/02	21	0	130
D_bassin	20601	11/18/77	05/05/01	24	0	890
Argoub	21915	09/03/72	09/16/88	16	0	78
Boukourdene	20329	01/02/88	04/30/01	21	0	110
Rouiba	20642	01/12/78	09/29/01	25	0	13
Bouassem	21801	01/02/73	05/11/01	28	3	600
Keddara	20646	05/21/87	04/30/01	15	3	110
Gouraya	20315	09/20/79	06/24/96	17	0	15
Oued Zeboudj	21014	03/03/70	05/23/97	38	0	400
Beniyenn	21712	03/14/73	08/17/01	29	0	840
Bissa	20224	10/01/78	01/07/97	8	0	970
Berkhissa	21001	01/31/73	02/25/87	15	0	240
Ouzera	21112	03/04/70	04/30/01	32	0	880
Aghrib	21601	10/02/97	07/13/02	11	0	730
Ouled Fayet	20502	01/01/74	11/05/94	21	0	238
Hamiz	20602	29/09/87	14/07/02	15	3	130

Les 19 stations pluviographiques situées dans le bassin versant des Côtiers Algérois, sont équipées de pluviographes à augets basculants, elles sont représentées dans la figure 4.1 ci-dessous.



Figure 4- 1 : situation des stations pluviométriques au côtiers algérois (Carte du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux).

4.3.2 Méthode de dépouillement de l'ANRH

Actuellement, L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), utilise une méthode de dépouillement des diagrammes de pluviographes à pas de temps variables. Les résultats sont archivés sous format « texte » dans un bloc note contenant les dates de basculement d'augets d'un pluviographe enregistrées pendant une durée D, écrites et organisées de manière spécifique (voir figure 4.2 ,4.3 et 4.4).

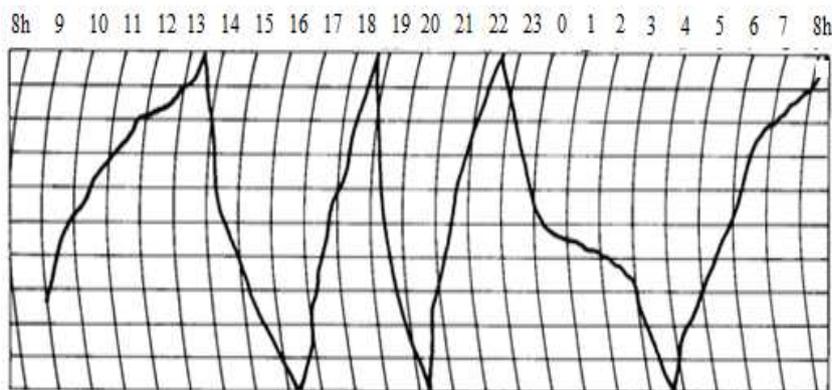


Figure 4- 2: papier pluvioghiques utilisées dans les stations ANRH



Figure 4- 3 : pluviographe à augets Basculeurs.

The image shows a screenshot of a data file titled '020502 - Bloc-notes'. The data is presented in a table with columns: 'Fichier', 'Edition', 'Format', 'Affichage', and '?'. There are two columns of numerical data on the right side of the table. Six orange circles with numbers 1 through 6 are placed above the table, with lines pointing to specific columns: 1 points to 'Fichier', 2 to 'Edition', 3 to 'Format', 4 to 'Affichage', 5 to the first numerical column, and 6 to the second numerical column.

Fichier	Edition	Format	Affichage	?		
20502	19740101	7	17.18		0.0	1
20502	19740101	7	17.30		3.1	1
20502	19740101	7	18.02		10.1	1
20502	19740101	7	18.33		22.1	1
20502	19740101	7	18.59		24.5	1
20502	19740101	7	19.53		25.1	1
20502	19740101	7	20.09		25.6	1
20502	19740101	7	22.32		26.1	1
20502	19740104	7	4.50		0.0	1
20502	19740104	7	5.11		4.0	1
20502	19740104	7	5.43		5.4	1
20502	19740104	7	6.07		6.0	1
20502	19740104	7	6.33		6.3	1
20502	19740129	7	20.06		0.0	1
20502	19740129	7	20.50		0.5	1
20502	19740129	7	21.04		3.5	1
20502	19740129	7	21.18		4.0	1
20502	19740129	7	1.09		4.4	1
20502	19740202	7	8.06		0.0	1
20502	19740202	7	8.26		11.0	1

Figure 4- 4: Fichier donnée brut de la station d'Ouled Fayet -020502

Où :

- (1) Le nom de la station, le nom c'est indiqué en tenant compte les numéros des bassins versants et sous bassin versants dans la carte hydro climatologique de l'Algérie.
- (2) Date : est de la forme suivant **JJ/MM/AA**.
 - Exemple : 22/09/1979
- (3) Code de l'ANRH.
- (4) Heure : est de la forme suivant **HH : MM**.
 - Exemple : 22.28 = 22 :28 min
- (5) Lame d'eau cumulée en mm.
- (6) Code de l'ANRH.

4.3.3 Fichier ANRH pluies de différentes durées

Le dépouillement permet de déterminer, pour chaque événement pluvieux, le nombre de pluie (ou intensité) correspondant chacune à des durées bien déterminées (5, 10, 15, 30, 60,

120,180,360, 720 et 1440 min) au cours du même évènement. Ces pluies sont enregistrées dans un fichier format Excel la figure 4.5 présente un exemple de ces fichiers.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
				Station		Cherraga		20502			
Date	5 mn	10 mn	15 mn	30 mn	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	
01/01/1974	1.93583333	3.87166667	5.8075	9.255	16.29	24.72	25.62	25.62	25.62	25.62	
05/01/1974	0.9525	1.905	2.8575	4.395	5.57	5.57	5.57	5.57	5.57	5.57	
29/01/1974	1.07166667	1.785	2.8575	3.23	3.57	4.08	4.2	4.2	4.2	4.2	
02/02/1974	2.75	5.5	8.25	11.215	11.59	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	
03/02/1974	5	5.14666667	5.295	8.965	14.71	17.06	17.22	17.22	17.22	17.22	
07/02/1974	2.895	5.79	8.685	16.88	24.36	24.36	24.36	24.36	24.36	24.36	
12/02/1974	0.99083333	1.55333333	2.33	2.835	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	
13/02/1974	3.57166667	6.3	9.1625	16.225	21.54	32.54	38.07	54	59.4	59.4	
16/02/1974	1.66666667	3.33333333	5	10	12.08	18.76	23.04	45.84	45.84	45.84	
23/02/1974	0.80666667	1.61333333	2.42	4.84	6.69	6.69	6.69	6.69	6.69	6.69	
25/02/1974	6.22416667	10.3916667	14.5575	18.975	25.32	42.9	53.55	66.18	90.6	93.36	
03/03/1974	0.21416667	0.39166667	0.545	0.805	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
10/03/1974	0.65	1.17333333	1.1925	1.445	2.35	4.46	4.47	4.5	8.52	11.52	
20/03/1974	0.02916667	0.05833333	0.0875	0.175	0.35	0.7	0.8	0.94	1.2	2.4	
27/03/1974	9.86666667	19.7333333	20.8425	34.38	56.05	82.5	100.14	140.94	171.24	281.52	
03/04/1974	0.6375	1.275	1.9125	3.825	7.65	15.3	22.86	35.34	24	84.24	
07/04/1974	0.1125	0.225	0.3375	0.675	1.2	2.26	3.18	5.4	5.4	5.4	
10/04/1974	1.33333333	2.66666667	3.3175	6.42	9.07	17.58	15.93	25.38	31.32	31.32	
22/04/1974	1.03333333	2.06666667	3.1	4.8	6.29	7.02	8.64	17.1	17.1	17.1	
26/04/1974	7.5525	15.105	22.6575	33.965	41.32	46.88	47.19	47.22	47.22	47.22	
29/04/1974	4.4025	8.805	13.2075	26.415	35.32	43.4	61.32	65.94	100.8	100.8	

Figure 4- 5: fichier pluie de différentes durées ANRH

4.3.4 Discussion de la méthode de L'ANRH

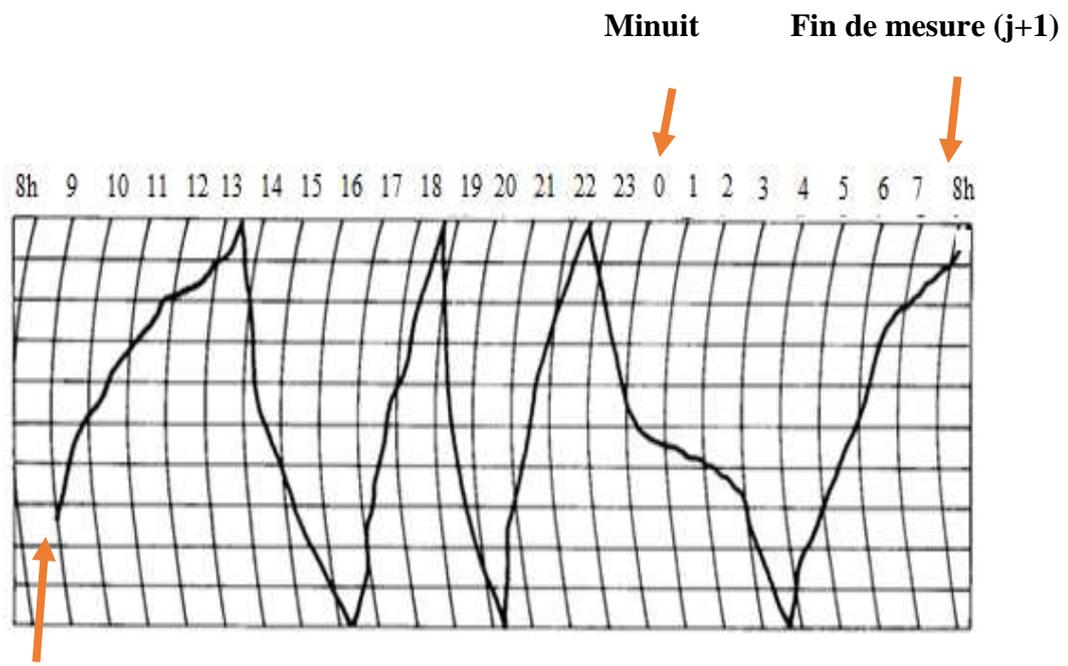
La méthode de dépouillement et d'analyse des évènements de l'ANRH présente quatre problèmes majeurs :

1. Problème dans la définition de la journée de mesure.
2. Problème dans la détermination de la date de fin d'une averse.
3. Problème dans l'enregistrement des heures.
4. Problème des répétitions des dates.

4.3.4.1 Définition d'une journée de mesure

Les journées (J) de mesures dans les fichiers ANRH commence toujours à 08h00 du jour J et se termine à 08h00 du jour (J+1). Pour bien comprendre la source d'erreur, nous allons faire un petit rappel sur le fonctionnement du pluviographe à augets basculeurs Modèle : M.N.

Dans la figure 4-6, on présente un exemple d'une feuille du pluviographe à augets basculeurs, le jour de mesure commence à 8h00 du jour (j) à 8h00 du jour (j+1).



Début de mesure (j)

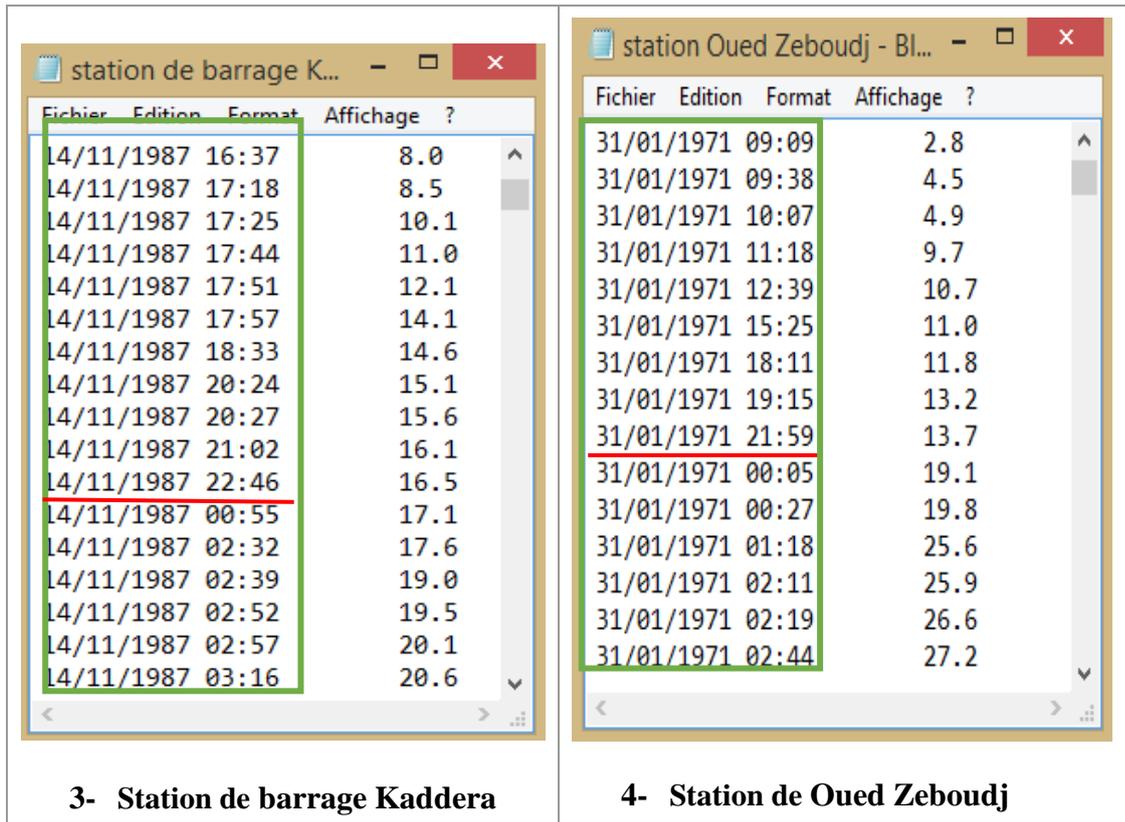
Figure 4- 6: feuille du pluviographe station d'Ouled Fayet -020502-

Normalement, les dates doivent être corrigées dans les fichiers texte de dépouillement, mais ce n'est pas le cas (voir Tableau 4-2).

Tableau 4.2 : extrait des fichiers de mesures pluviographiques qui illustre l'erreur dans la définition dans les journées

station de Ouled Fay...			station de barrage Hamiz ...		
Fichier	Edition	Affichage ?	Fichier	Edition	Affichage ?
04/02/1974	19:22	0.0	20/01/1988	19:36	4.1
04/02/1974	19:50	1.5	20/01/1988	19:48	5.0
04/02/1974	20:05	8.0	20/01/1988	19:53	6.1
04/02/1974	20:22	8.5	20/01/1988	20:09	6.5
04/02/1974	20:29	15.5	20/01/1988	20:19	8.1
04/02/1974	20:38	17.0	20/01/1988	20:27	8.6
04/02/1974	00:26	17.6	20/01/1988	21:40	9.1
04/02/1974	01:09	25.1	20/01/1988	21:44	9.6
04/02/1974	02:04	25.6	20/01/1988	22:09	10.1
04/02/1974	03:47	26.1	20/01/1988	22:14	11.1
04/02/1974	04:10	31.1	20/01/1988	23:35	11.6
04/02/1974	04:31	37.5	20/01/1988	23:48	12.1
04/02/1974	04:58	43.2	20/01/1988	03:14	12.6
04/02/1974	06:12	44.1	20/01/1988	03:35	13.1
			20/01/1988	03:54	14.1

1- Station d'Ouled Fayet	2- Station de barrage Hamiz
---------------------------------	------------------------------------



4.3.4.2 Problème dans la détermination de la date de fin d'une averse

La méthode utilisée par l'ANRH peut enregistrer les pluies longues à l'origine des inondations dévastatrices ou celle qui remplissent les barrages, mais le problème c'est que malgré que la date de l'averse dépasse celle du début de l'averse, l'enregistrement des dates reste la même jusqu'à la fin de l'averse.

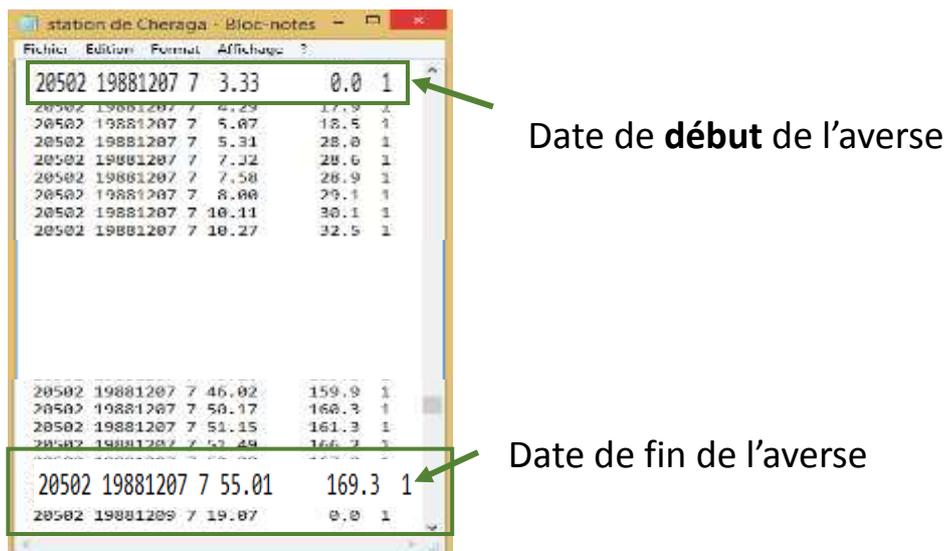
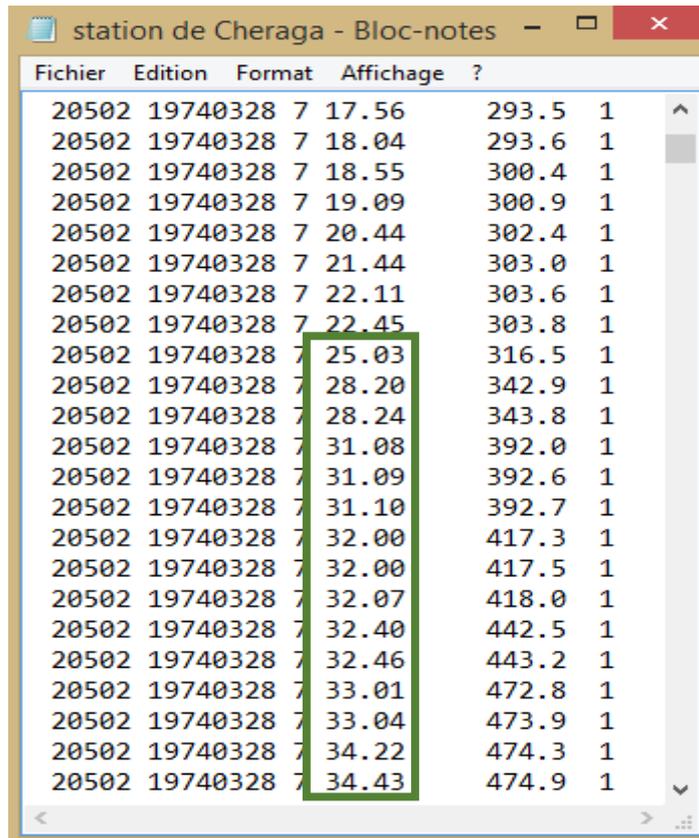


Figure 4- 7: fichier qui illustre l'erreur dans la définition de la date de la fin de l'averse

4.3.4.3 Problème dans l'enregistrement des heures

Ajouté au deux problèmes précédents, un problème dans l'enregistrement des heures, sachant que l'enregistrement des heures débute par 00:00 et fin par 23 :59, dans le cas des pluies longues du durée supérieure à 24 h, l'enregistrement des heures dépasse 23 :59 et devient (24 : mm) ou plus jusqu'à la fin de l'événement. Voir figure 4.8 ci-dessous.

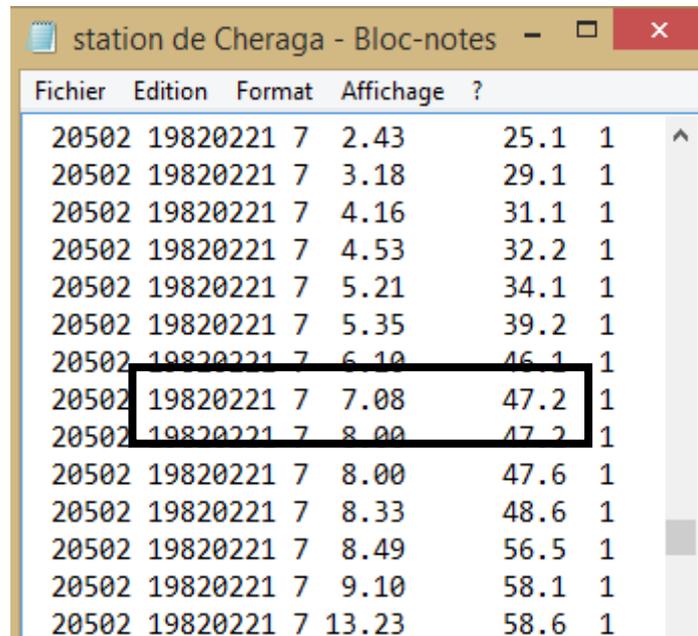


Fichier	Edition	Format	Affichage	?
20502	19740328	7	17.56	293.5 1
20502	19740328	7	18.04	293.6 1
20502	19740328	7	18.55	300.4 1
20502	19740328	7	19.09	300.9 1
20502	19740328	7	20.44	302.4 1
20502	19740328	7	21.44	303.0 1
20502	19740328	7	22.11	303.6 1
20502	19740328	7	22.45	303.8 1
20502	19740328	7	25.03	316.5 1
20502	19740328	7	28.20	342.9 1
20502	19740328	7	28.24	343.8 1
20502	19740328	7	31.08	392.0 1
20502	19740328	7	31.09	392.6 1
20502	19740328	7	31.10	392.7 1
20502	19740328	7	32.00	417.3 1
20502	19740328	7	32.00	417.5 1
20502	19740328	7	32.07	418.0 1
20502	19740328	7	32.40	442.5 1
20502	19740328	7	32.46	443.2 1
20502	19740328	7	33.01	472.8 1
20502	19740328	7	33.04	473.9 1
20502	19740328	7	34.22	474.3 1
20502	19740328	7	34.43	474.9 1

Figure 4- 8 : Problème des enregistrements des heures

4.3.4.4 problèmes des répétitions des dates

Un problème de répétitions des dates apparaît dans les fichiers ANRH, telles que les deux dates similaires et successives avec des enregistrements de pluie différents (voir figure 4-9) ce qui est impossible dans la réalité. Cette erreur est signalée dans « Matlab ».



Fichier	Edition	Format	Affichage	?
20502	19820221	7	2.43	25.1 1
20502	19820221	7	3.18	29.1 1
20502	19820221	7	4.16	31.1 1
20502	19820221	7	4.53	32.2 1
20502	19820221	7	5.21	34.1 1
20502	19820221	7	5.35	39.2 1
20502	19820221	7	6.10	46.1 1
20502	19820221	7	7.08	47.2 1
20502	19820221	7	8.00	47.2 1
20502	19820221	7	8.00	47.6 1
20502	19820221	7	8.33	48.6 1
20502	19820221	7	8.49	56.5 1
20502	19820221	7	9.10	58.1 1
20502	19820221	7	13.23	58.6 1

Figure 4- 9: fichier représente le cas des répétitions des dates

4.4 Elaboration d'un nouvel outil de traitement des données pluviographique (Matlab) :

Le but de cette partie de notre travail, est d'élaborer un programme sous Matlab qui traite les données pluviométriques de l'ANRH. Cet outil sera capable de :

- Corriger toutes les erreurs déjà citées dans la méthode de dépouillement ;
- Faire la séparation des averses : temps de début, temps de fin et le calcul d'intensité à pas de temps variable ;
- Le passage des intensités à pas de temps variable à des intensités à pas de temps constant de différentes durées : 5min, 10 min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h et 24 h.
- La construction des séries des maxima annuels de différentes durées : 5min, 10 min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h et 24 h.
- L'ajustement des intensités de chaque durée.
- La construction des courbes IDF.
- Le calcul des paramètres a et b selon la méthode de Montana.
- La construction des pluies de projets

L'objectif principal du programme est de construire les courbes IDF pour différentes périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20ans, 50 ans, 100 ans) des stations pluviographiques disponible pour notre étude avec leurs pluies de projet.

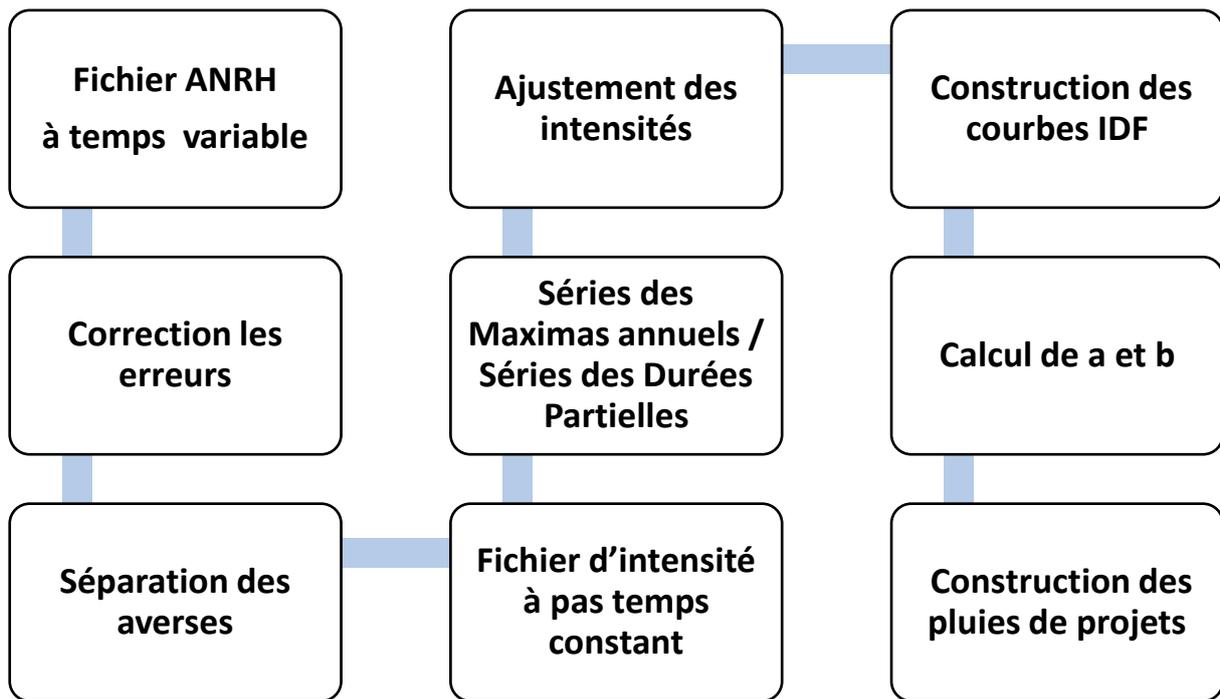


Figure 4- 10: Etapes du calcul du programme.

Vu que les données de précipitation de L'ANRH sont enregistrées à des pas de temps variable, La première partie du programme consiste à transformer ces mesures à des pas de temps constant, la deuxième partie du programme concerne l'utilisation de ces mesures pour construire des séries des maximas annuels afin d'établir les courbes IDF et les paramètres pluviométriques de chaque station pluviométrique, et finalement construire les pluies de projets de chaque région étudiée.

4.5 Prétraitement du fichier de données brutes

Le fichier de données brutes fourni par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) n'est pas directement utilisable par Matlab, pour cela :

- Il doit être au format " Texte ".
- Les dates de basculement d'augets doivent être écrites dès la première ligne du fichier.
- Chaque date de basculement d'augets doit être codée sous la forme :
« JJ/MM/AAAA HH:MM ».
- Le séparateur dans la valeur de la hauteur de la pluie doit être un " point ".

Il faut d'abord traiter le fichier par le biais de l'Excel dont la procédure est la suivante :

1. Ouvrir EXCEL.

2. Aller dans les répertoires bruts et ouvrir le fichier brut à traiter (dans cet exemple Station de Cheraga. Texte).
3. Choisir format " AMJ " pour les dates et " texte " pour les pluies.

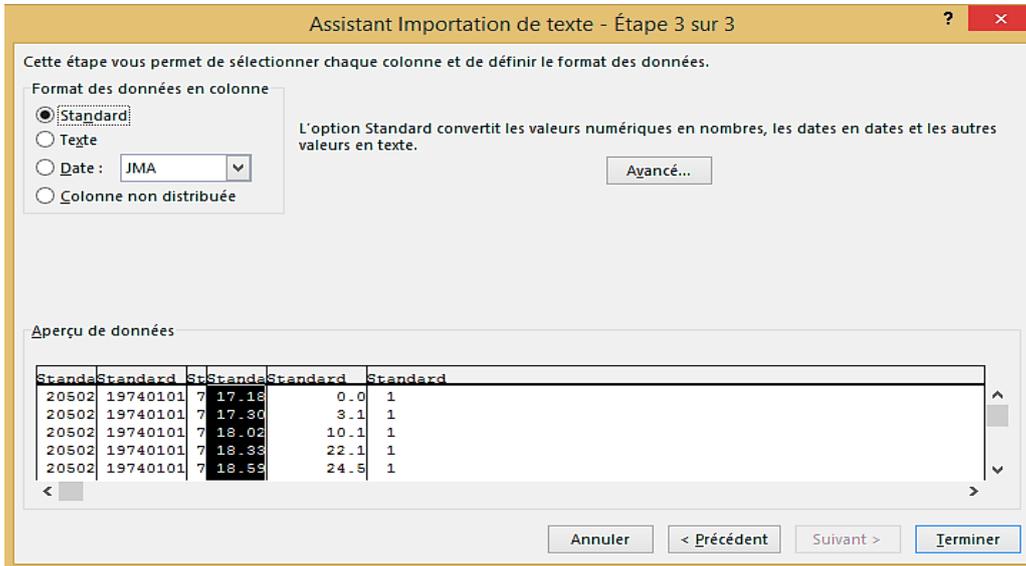


Figure 4- 11 : traitement des données brutes dans Excel

4. Supprimer les colonnes : A, C, F (voir figure 4-12).

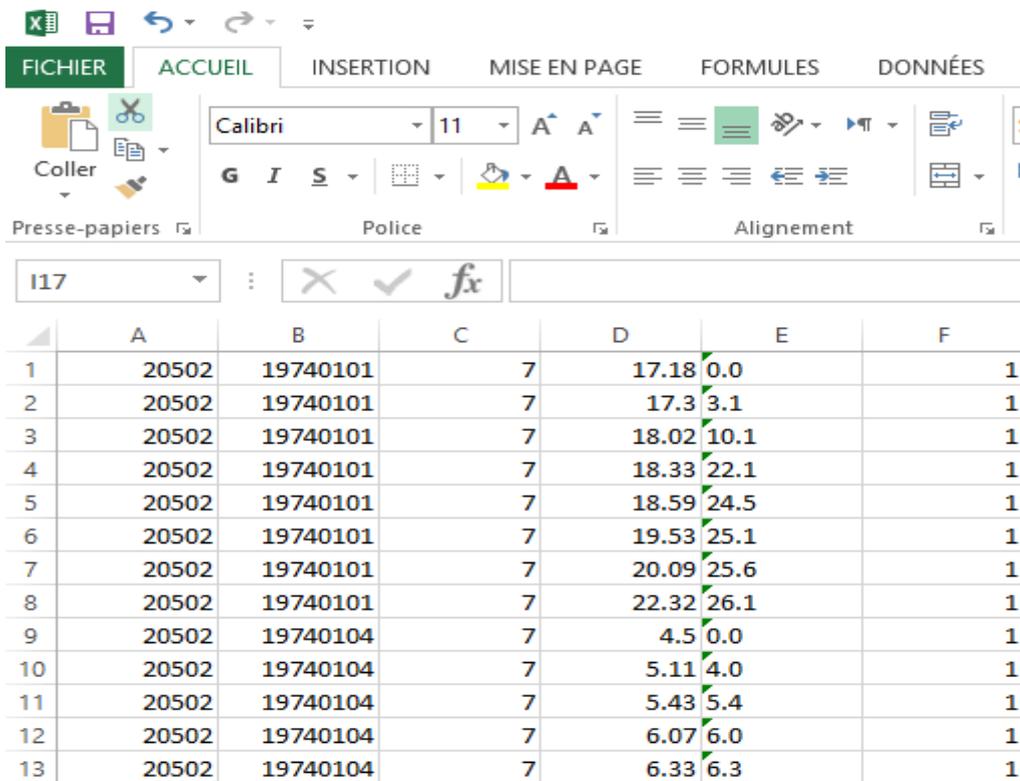


Figure 4- 12 : Prétraitement du fichier de données brutes

5. Sélectionner la première colonne. Aller dans Format Cellule

- ✓ Se placer dans l'onglet Nombre.
- ✓ Dans la liste Catégorie choisir Personnalisé.
- ✓ Dans la liste Type taper jj/mm/aaaa hh:mm.
- ✓ Valider par OK (voir figure 4-13 dans la page suivante).

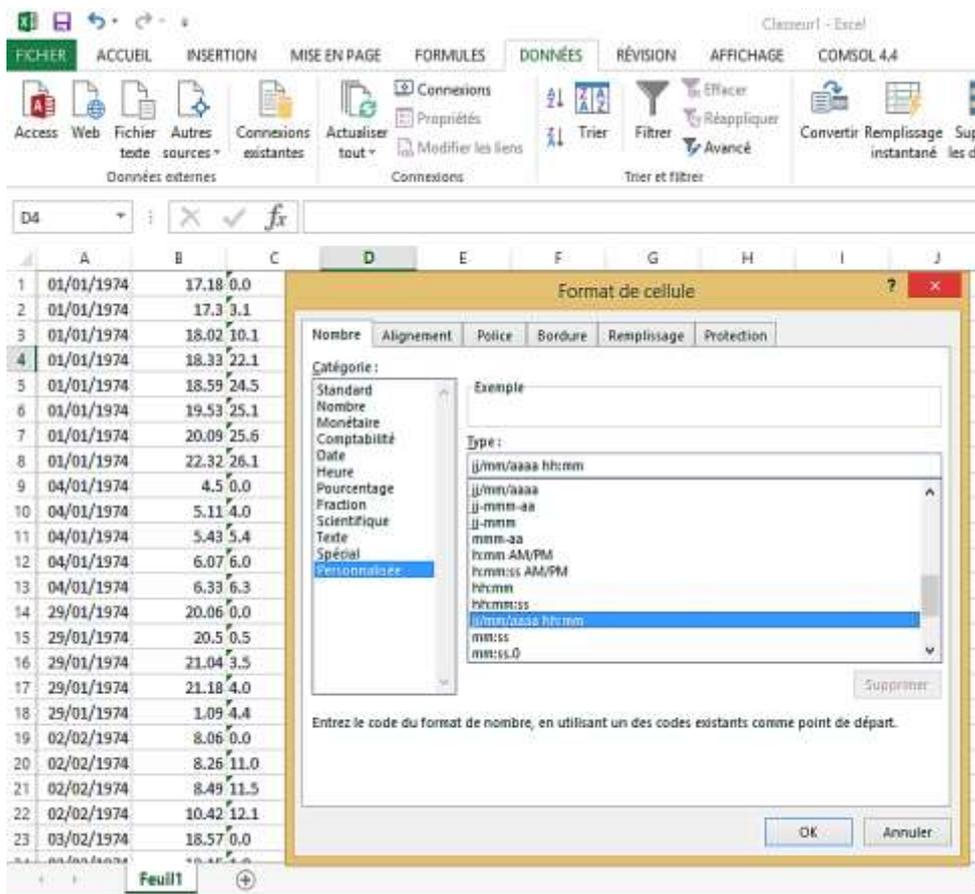


Figure 4- 13: comment convertir la date au format « jj/mm/aaaa hh:mm »

6. Dans la colonne « B » remplacer (.) par (:)

Cliquer sur Remplacer tout (voir la figure 4-14).

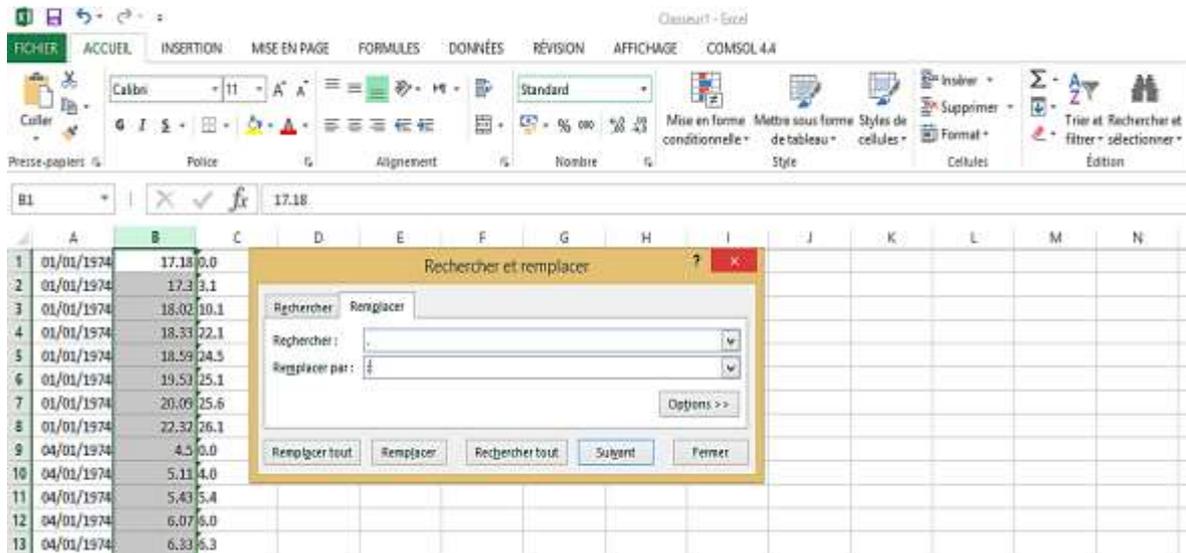


Figure 4- 14: comment remplacer le point (.) par deux points (:).

7. Fusionner les deux colonnes « A » et « B », voir la figure ci-dessous :

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'DONNÉES' ribbon selected. The formula bar displays the formula `=A1&\"&B1`. The spreadsheet below shows the following data:

	A	B	C	D	E	F	G
1	01/01/1974	17:18:00	0.0			=A1&\"&B1	
2	01/01/1974	17:03:00	3.1			01/01/1974 17:03:00	
3	01/01/1974	18:02:00	10.1			01/01/1974 18:02:00	
4	01/01/1974	18:33:00	22.1			01/01/1974 18:33:00	
5	01/01/1974	18:59:00	24.5			01/01/1974 18:59:00	
6	01/01/1974	19:53:00	25.1			01/01/1974 19:53:00	
7	01/01/1974	20:09:00	25.6			01/01/1974 20:09:00	
8	01/01/1974	22:32:00	26.1			01/01/1974 22:32:00	
9	04/01/1974	04:05:00	0.0			04/01/1974 04:05:00	
10	04/01/1974	05:11:00	4.0			04/01/1974 05:11:00	
11	04/01/1974	05:43:00	5.4			04/01/1974 05:43:00	
12	04/01/1974	06:07:00	6.0			04/01/1974 06:07:00	
13	04/01/1974	06:33:00	6.3			04/01/1974 06:33:00	

Figure 4- 15: comment fusionner deux colonnes.

Fichier	Edition	Format	Affichage ?
01/01/1974	17:18		0.0
01/01/1974	17:30		3.1
01/01/1974	18:02		10.1
01/01/1974	18:33		22.1
01/01/1974	18:59		24.5
01/01/1974	19:53		25.1
01/01/1974	20:09		25.6
01/01/1974	22:32		26.1
04/01/1974	04:50		0.0
04/01/1974	05:11		4.0
04/01/1974	05:43		5.4
04/01/1974	06:07		6.0
04/01/1974	06:33		6.3
29/01/1974	20:06		0.0
29/01/1974	20:50		0.5
29/01/1974	21:04		3.5
29/01/1974	21:18		4.0
29/01/1974	01:09		4.4

Figure 4-16 : Fichier traité prêt à être utilisé par « Matlab »

- On exporte le fichier sous format " texte " (voir figure 4-16)

4.6 Exemple de fichiers résultats du programme

Le programme élaboré permet d’avoir les résultats sous plusieurs formes :

4.6.1 Fichier date pluie corrigée

La première étape du programme a pour but de fixer toutes les erreurs d’enregistrement qu’on a cité précédemment. Nous pouvons maintenant avoir de nouveaux fichiers de mesure avec les dates des journées corrigées (voir la figure 4-17).

	A	B
1	04/02/1974 19:22	0
2	04/02/1974 19:50	15.50
3	04/02/1974 20:05	13.13
4	04/02/1974 20:22	23.23
5	04/02/1974 20:29	5.54
6	04/02/1974 20:38	0.67
7	05/02/1974 00:26	1.88
8	05/02/1974 01:09	0.21
9	05/02/1974 02:04	0
10	05/02/1974 03:47	11.43
11	05/02/1974 04:10	2.63
12	05/02/1974 04:31	1.50
13	05/02/1974 04:58	0.69

Figure 4- 17 : Fichier des dates de pluies erronée et corrigée pour la station Ouled Fayet

La colonne « B » représente la valeur de l'intensité variable selon le pas de temps qui est variable aussi.

4.6.2 Fichier averse

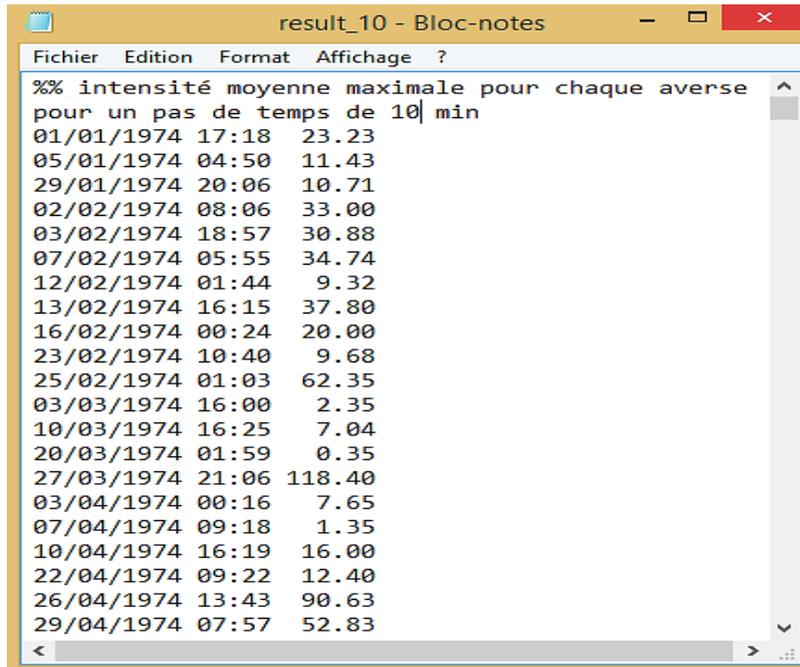
Nous pouvons aussi obtenir un fichier qui présente le numéro de l'averse, la date de son début et de sa fin, la durée de l'averse, et l'intensité moyenne. (Voir figure 4.18)

	C	D	E	F	G	H
	Fichier d'averse					
N averse	date de début	date de fin	durée d'averse [h]	Hauteur de pluie [mm]	Intensité [mm/h]	
1	01/01/1974 17:18	01/01/1974 22:32	5,23	136.6	26.12	
2	05/01/1974 04:50	05/01/1974 06:33	1,71	21.7	12.64	
3	29/01/1974 20:06	30/01/1974 01:09	5,05	12.4	2.46	
4	02/02/1974 08:06	02/02/1974 10:42	2,60	34.6	13.31	
5	03/02/1974 18:57	05/02/1974 06:12	35,25	314.9	8.93	
6	07/02/1974 05:55	07/02/1974 07:40	1,75	111.4	63.66	
7	12/02/1974 01:44	12/02/1974 03:20	1,60	28.5	17.81	
8	13/02/1974 16:15	14/02/1974 07:13	14,96	696.7	46.55	
9	16/02/1974 00:24	19/02/1974 19:25	91,01	860.4	9.45	
10	23/02/1974 10:40	23/02/1974 12:26	1,76	21.0	11.89	
11	25/02/1974 01:03	27/02/1974 05:51	52,80	2 070.5	39.21	
12	03/03/1974 16:00	04/03/1974 13:48	21,80	6.8	0.31	
13	10/03/1974 16:25	13/03/1974 06:31	62,10	108.4	1.75	
14	20/03/1974 01:59	20/03/1974 04:19	2,33	1.6	0.69	
15	27/03/1974 21:06	31/03/1974 19:23	94,28	2 660.4	28.21	
16	03/04/1974 00:16	04/04/1974 04:27	28,18	470.9	16.71	
17	07/04/1974 09:18	07/04/1974 20:55	11,61	37.8	3.25	
18	10/04/1974 16:19	11/04/1974 04:49	12,50	261.8	20.94	
19	22/04/1974 09:22	22/04/1974 17:50	8,46	133.0	15.71	
20	26/04/1974 13:43	27/04/1974 12:48	23,08	210.1	9.10	
21	29/04/1974 07:57	30/04/1974 04:08	20,18	1 746.5	86.53	
22	12/05/1974 22:51	12/05/1974 01:00	1,62	14.1	8.62	

Figure 4- 18: Extrait d'un fichier averse de la station d'Ouled Fayet

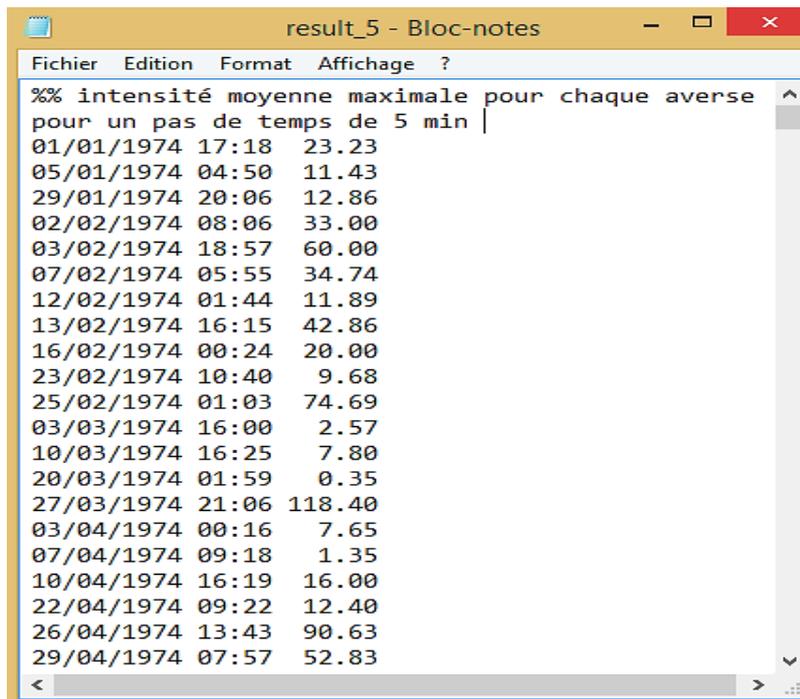
4.6.3 Fichier des averse à différents pas de temps constant

Finalement, nous obtenons un fichier qui nous donne la valeur de l'intensité moyenne maximale pour chaque averse pour différents pas de temps. Les pas de temps sont : 5min, 10min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h et 24 h.



%% intensité moyenne maximale pour chaque averse pour un pas de temps de 10 min		
01/01/1974 17:18	23.23	
05/01/1974 04:50	11.43	
29/01/1974 20:06	10.71	
02/02/1974 08:06	33.00	
03/02/1974 18:57	30.88	
07/02/1974 05:55	34.74	
12/02/1974 01:44	9.32	
13/02/1974 16:15	37.80	
16/02/1974 00:24	20.00	
23/02/1974 10:40	9.68	
25/02/1974 01:03	62.35	
03/03/1974 16:00	2.35	
10/03/1974 16:25	7.04	
20/03/1974 01:59	0.35	
27/03/1974 21:06	118.40	
03/04/1974 00:16	7.65	
07/04/1974 09:18	1.35	
10/04/1974 16:19	16.00	
22/04/1974 09:22	12.40	
26/04/1974 13:43	90.63	
29/04/1974 07:57	52.83	

Figure 4- 19 : Extrait d'un fichier de résultat des intensités moyennes maximales au pas de temps 10 min Station d'Ouled Fayet -020502-



%% intensité moyenne maximale pour chaque averse pour un pas de temps de 5 min		
01/01/1974 17:18	23.23	
05/01/1974 04:50	11.43	
29/01/1974 20:06	12.86	
02/02/1974 08:06	33.00	
03/02/1974 18:57	60.00	
07/02/1974 05:55	34.74	
12/02/1974 01:44	11.89	
13/02/1974 16:15	42.86	
16/02/1974 00:24	20.00	
23/02/1974 10:40	9.68	
25/02/1974 01:03	74.69	
03/03/1974 16:00	2.57	
10/03/1974 16:25	7.80	
20/03/1974 01:59	0.35	
27/03/1974 21:06	118.40	
03/04/1974 00:16	7.65	
07/04/1974 09:18	1.35	
10/04/1974 16:19	16.00	
22/04/1974 09:22	12.40	
26/04/1974 13:43	90.63	
29/04/1974 07:57	52.83	

Figure 4- 20 : Extrait d'un fichier de résultat des intensités moyennes maximales au pas de temps 5 min Station d'Ouled Fayet -020502-

4.7 Conclusion

Les résultats obtenus vont nous permettre d'établir les courbes IDF et les paramètres pluviométriques de chaque région.

Chapitre 05 :
Analyse et détermination des paramètres
pluviométriques pertinents

5.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à la détermination des courbes IDF de la zone d'étude, afin de les ajuster au modèle de Montana, et par la suite, définir les paramètres climatiques convenables de la région.

L'établissement des courbes IDF nécessite une série des données pluviométriques de longue période, cette série des données doit passer par différentes étapes, un test d'ajustement, un test d'adéquation, estimation des quantiles et enfin tracé des courbe IDF.

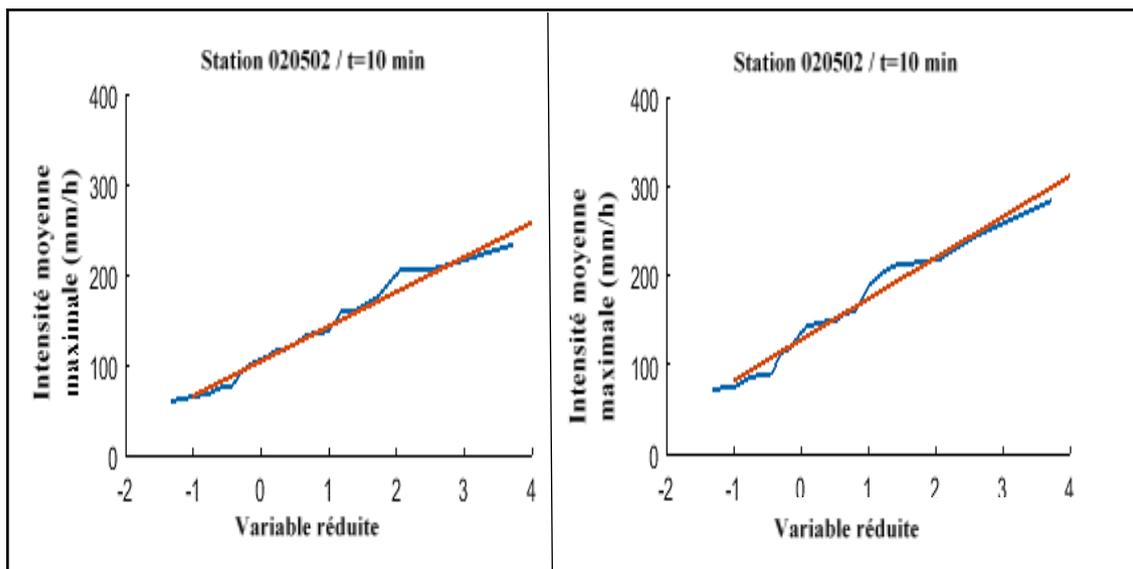
La deuxième partie de notre travail, est de développer un programme sous Matlab qui sera capable d'accomplir les étapes mentionnées ci-dessus et de donner comme résultats les graphes des courbes IDF de chaque station et les paramètres climatiques a et b de la région. Le programme contient des sous-programmes, chacun d'eux exécutant une tâche bien spécifique.

5.2 Types des séries étudiés

Pour établir les courbes IDF par la méthode classique, on a extrait de la série complète des évènements extrêmes deux types de séries à étudier, la première c'est la série des intensités maximum annuelles (SMA) et la deuxième c'est série des durées partielles (SDP).

5.3 La série SMA

Afin d'ajuster nos échantillons à une loi statistique convenable, le premier sous-programme consiste à tester l'ajustement des séries des intensités maximums annuelles correspondant à différents pas temps $\Delta t = 5\text{min}, 10\text{min}, 15\text{min}, 30\text{min}, 1\text{h}, 2\text{h}, 3\text{h}, 6\text{h}, 12\text{h}, 24\text{h}$, au loi statistique de Gumbel , et représenter les résultats graphiquement .



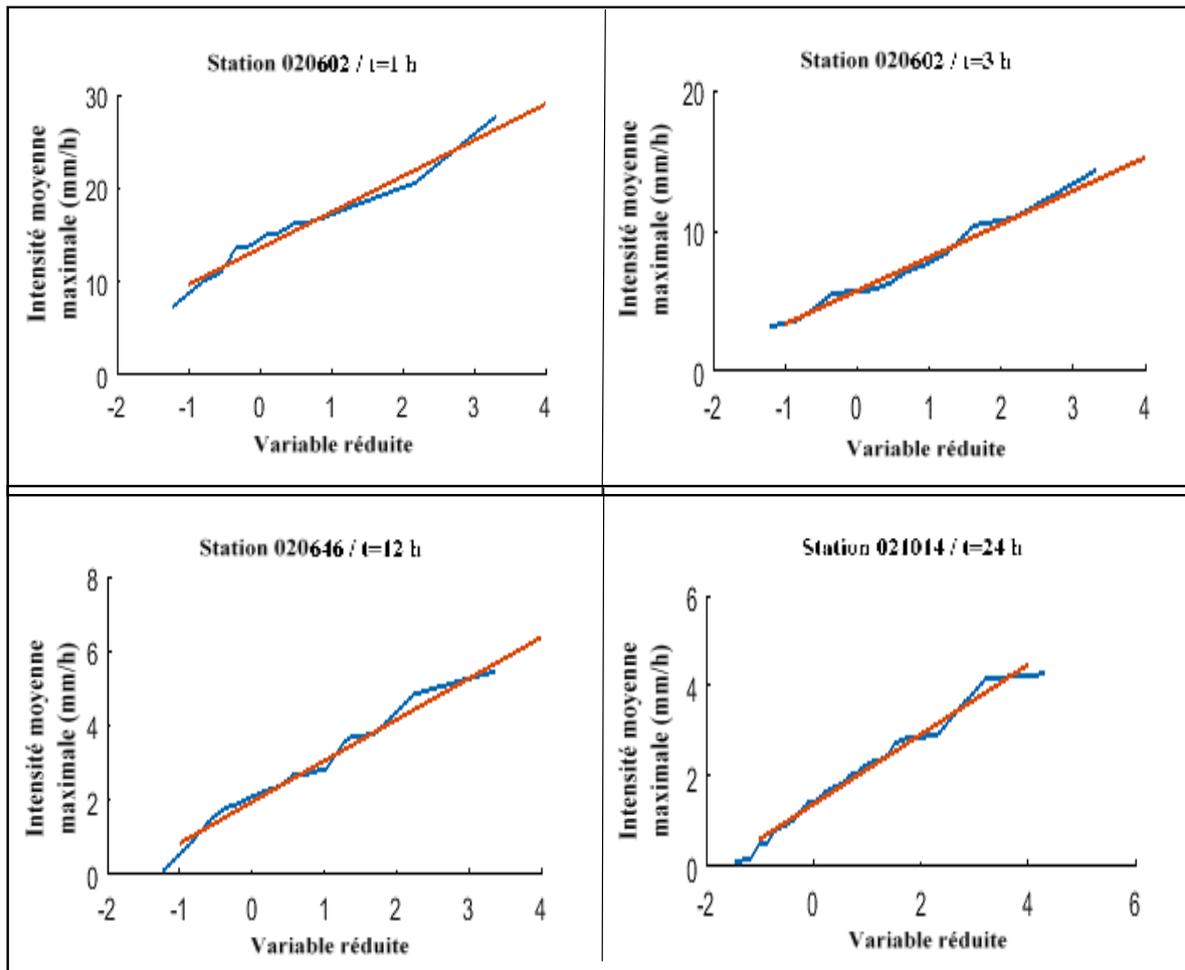


Figure 5- 1 : ajustement des intensités à la loi de Gumbel

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la majorité des échantillons étudiés s'ajustent bien avec la loi de Gumbel, et ce quel que soit le pas de temps adopté.

La fréquence cumulative de la distribution de Gumbel (1958) pour les valeurs extrêmes maximales est représentée sous la forme de l'exponentielle double :

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-\beta)}} \quad (5.1)$$

Avec

$F(x)$ = fréquence au non dépassement FND.

α , β = coefficients d'ajustement.

Les paramètres α et β peuvent être estimés par la méthode des moments en fonction de la moyenne \bar{X} et de l'écart type σ de l'échantillon par les relations suivantes :

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} \quad (5.2)$$

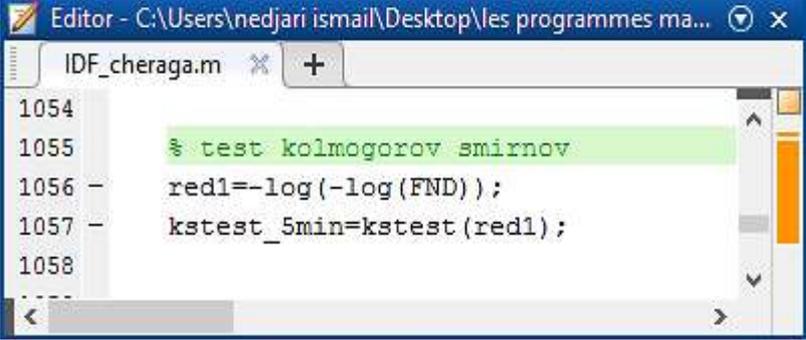
$$\beta = \bar{X} - \frac{0.5772}{\alpha} \quad (5.3)$$

5.3.2 Test d'adéquation

Pour juger la qualité de l'ajustement des données, divers tests statistiques d'adéquations sont disponibles, qui dépendent de la fonction de distribution utilisée, et de la taille de l'échantillon. Le test que nous avons appliqué est le test de Kolmogorov Smirnov.

Ce test consiste à mesurer, pour une variable continue, le plus grand écart entre la fréquence « théorique » $F_0(x)$ et la fréquence empirique $\hat{F}(x)$, il s'agit à la base d'un test de conformité et consiste à vérifier si une distribution expérimentale peut être jugée identique à une distribution de référence (P. Meylan et al, 1999). Ce test joue le même rôle que celui du khi-deux de K.Pearson.

Ce test est appliqué à l'aide d'une fonction définie sur le Matlab s'appelle KStest, voir la figure 5-3.



```
Editor - C:\Users\nedjari ismail\Desktop\les programmes ma...
IDF_cheraga.m
1054
1055 % test kolmogorov smirnov
1056 - red1=-log(-log(FND));
1057 - kstest_5min=kstest(red1);
1058
```

Figure 5- 2 : Fonction KStest (x)

La fonction KStest a un niveau de signification par défaut de 5%. Elle affiche le résultat sur la fenêtre de commande « workspace » :

- Le 0 logique, qui indique une impossibilité de rejeter l'hypothèse nulle.
- Le 1 logique, qui indique le rejet de l'hypothèse nulle.

La figure 5.4 représente les résultats obtenus, après l'exécution de la fonction KStest sur différentes stations.

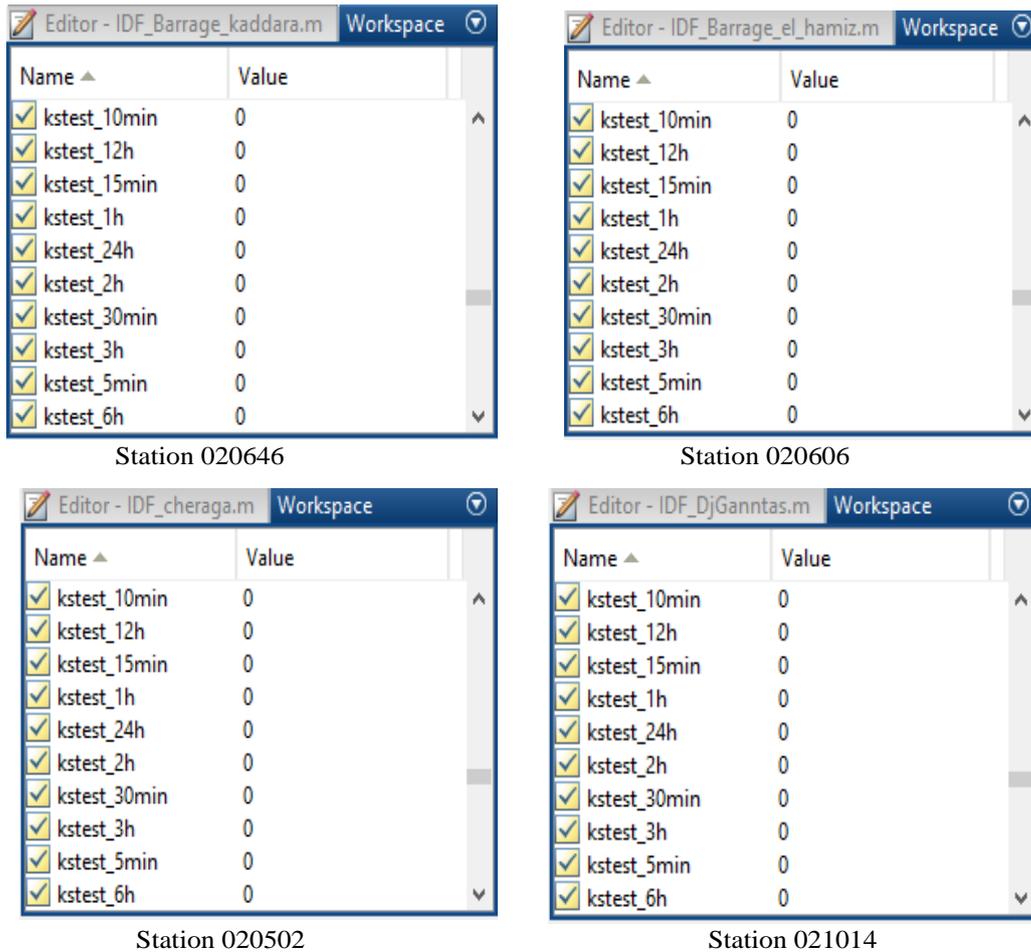


Figure 5- 3: Résultats du test d'ajustement

D'après les résultats, on remarque que la fonction Kstest affiche les 0 logiques, correspondants à différents pas de temps pour chaque station, ce qui implique que l'hypothèse H_0 est acceptable, c'est-à-dire que la loi choisie (loi de Gumbel) s'ajuste bien à notre échantillon.

5.3.3 Estimation des quantiles

A partir des résultats obtenus de l'ajustement des données par la fonction de distribution de Gumbel, on a trouvé les intensités moyennes maximales de pluie pour les périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50, 100ans) correspondants aux pas de temps $\Delta t = 5\text{min}, 10\text{min}, 15\text{min}, 30\text{min}, 1\text{h}, 2\text{h}, 3\text{h}, 6\text{h}, 12\text{h}, 24\text{h}$. Ces résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau 5.1 : Intensités moyennes maximales.

Station : 020502						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	206,85	292,69	349,52	404,04	474,60	527,47
10min	144,43	196,45	230,88	263,92	306,67	338,72
15min	117,97	161,46	190,26	217,88	253,63	280,43
30min	85,46	119,07	141,32	162,67	190,30	211,00
1h	60,46	85,61	102,27	118,24	138,91	154,41
2h	41,11	58,96	70,78	82,11	96,79	107,78
3h	32,95	46,02	54,68	62,98	73,73	81,78
6h	23,04	32,85	39,34	45,57	53,63	59,67
12h	14,83	22,91	28,26	33,39	40,03	45,01
24h	7,85	11,93	14,63	17,21	20,56	23,07

Station : 021014						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	45,04	143,97	209,48	272,31	353,63	414,58
10min	32,56	79,25	110,17	139,82	178,21	206,97
15min	29,38	60,77	81,55	101,48	127,28	146,61
30min	20,43	37,97	49,58	60,72	75,14	85,94
1h	13,80	23,87	30,54	36,93	45,21	51,41
2h	8,89	13,97	17,33	20,56	24,74	27,87
3h	7,10	10,38	12,56	14,65	17,35	19,37
6h	4,92	6,71	7,90	9,04	10,52	11,63
12h	2,84	4,00	4,76	5,50	6,45	7,16
24h	1,66	2,54	3,12	3,67	4,39	4,93

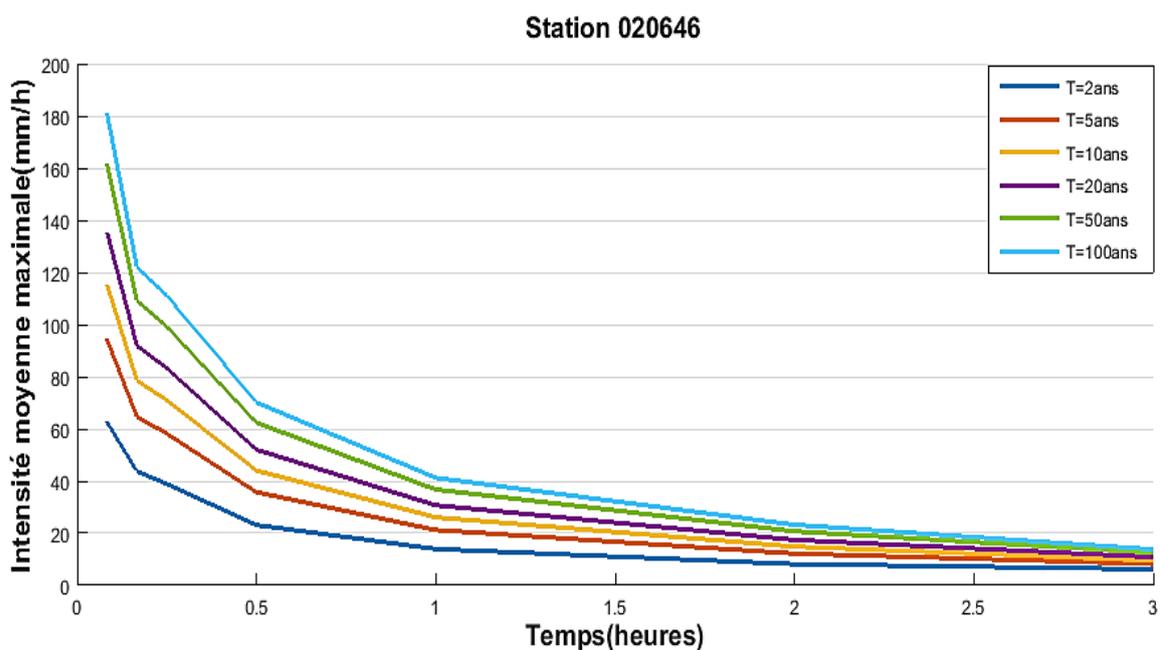
Station : 020602						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	59,21	77,74	90,01	101,78	117,01	128,43
10min	43,21	54,16	61,40	68,36	77,36	84,10
15min	36,10	45,53	51,77	57,76	65,51	71,32
30min	23,30	28,89	32,60	36,15	40,75	44,20
1h	14,97	19,34	22,24	25,02	28,61	31,31
2h	9,14	12,18	14,20	16,14	18,64	20,52
3h	6,60	9,29	11,07	12,77	14,98	16,63
6h	3,94	5,43	6,42	7,37	8,59	9,51
12h	2,78	3,68	4,27	4,85	5,59	6,14
24h	1,53	2,54	3,21	3,84	4,67	5,29

Station : 020646						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	62,56	94,25	115,23	135,36	161,41	180,93
10min	43,70	64,67	78,55	91,87	109,10	122,02
15min	38,87	58,20	71,00	83,27	99,17	111,07
30min	23,12	35,70	44,03	52,02	62,36	70,11
1h	13,93	21,24	26,08	30,72	36,73	41,24
2h	8,16	12,19	14,86	17,42	20,74	23,22
3h	6,19	8,21	9,55	10,84	12,50	13,75
6h	3,77	5,04	5,88	6,69	7,74	8,52
12h	2,35	3,61	4,43	5,23	6,26	7,03
24h	1,15	2,19	2,88	3,55	4,41	5,05

5.3.4 Etablissements des courbes IDF

Les résultats obtenus des quantiles estimés pour chaque station pluviométrique, nous ont permis de représenter graphiquement les courbes Intensité-Durée-Fréquence pour chacune d'elles.

Les graphes des courbes IDF ci-dessous, sont représentés à partir d'un programme développé sous Matlab.



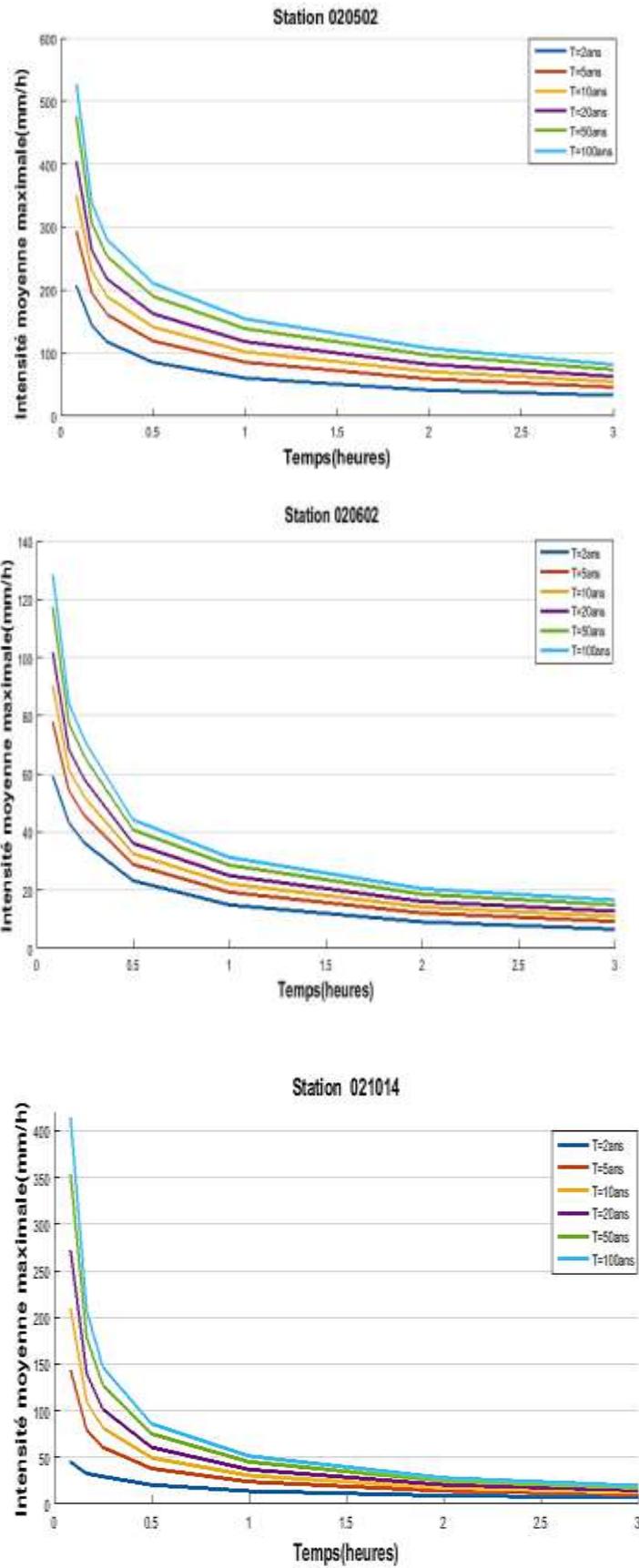


Figure 5- 4: Courbes Intensités -Durée-Fréquence (SMA)

5.3.5 Détermination des exposants climatiques (ajouter les graphes de montana)

La détermination des exposants climatiques est basée sur la transformation des courbes IDF de la forme $I = f(t)$ par un modèle mathématique. La modélisation mathématique des courbes IDF consiste à rechercher un modèle régressif entre l'intensité moyenne maximale et la durée de l'intervalle de référence pour chacune des périodes de retour.

Pour notre cas, la modélisation a été faite en utilisant le modèle de Montana, celui-ci est représenté par la formule suivante :

$$i = a * t^{-b} \quad (5.4)$$

Avec

i : intensité maximale de la pluie [mm/h].

t : durée de la pluie [minutes ou heures].

a, b : les exposants climatiques

Les paramètres a et b de la loi de Montana sont des constantes propres à chaque station et à chaque période de retour T , l'estimation de ces constantes peut être fait en utilisant la régression non linéaire de la façon suivante :

On introduit la fonction logarithmique sur la formule de Montana on aura :

$$\ln(i) = \ln(a) - b * \ln(t) \quad (5.5)$$

- Cette équation est sous la forme d'une équation d'une droite

$$Y = -AX + B \quad (4.6)$$

- On remarque que le modèle est linéaire, il reste qu'on porte à l'échelle

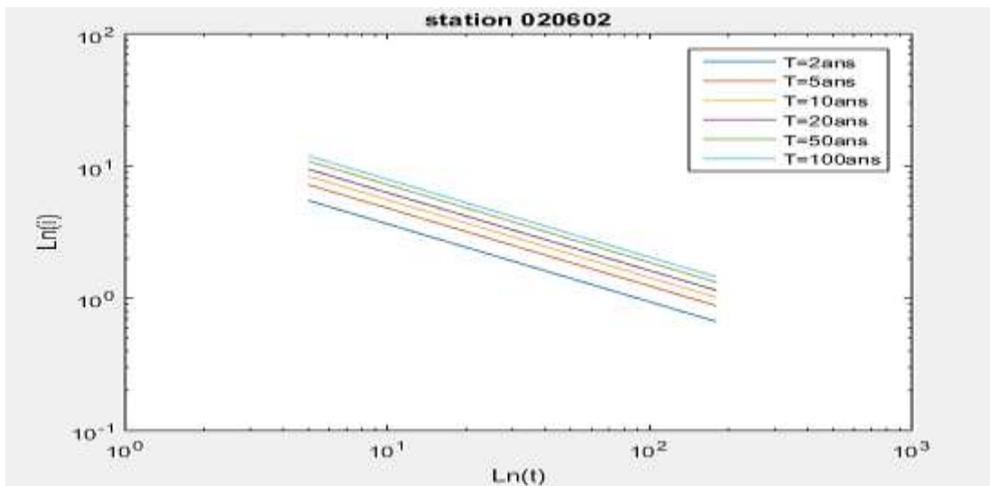


Figure 5- 5 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence de la station Keddara à l'échelle logarithmique

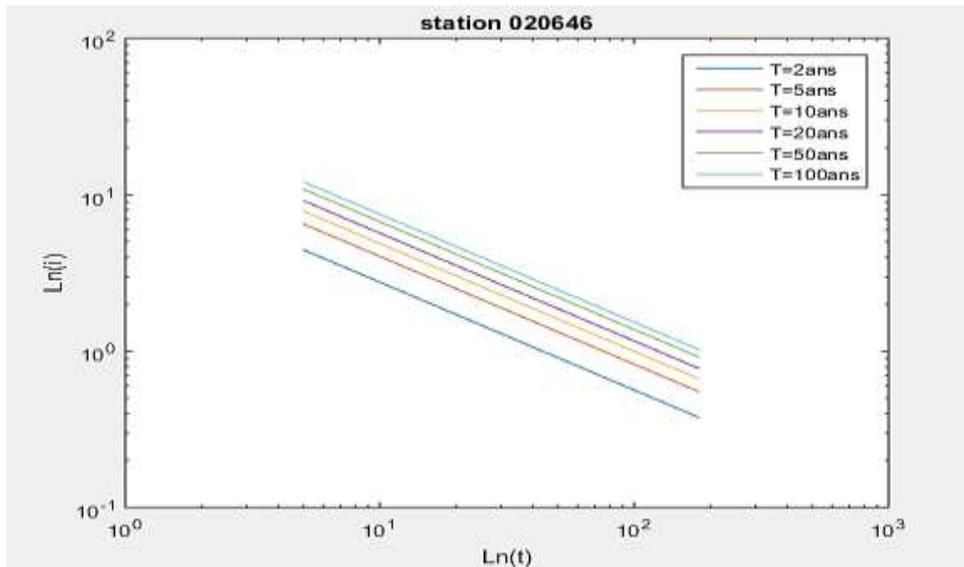


Figure 5- 6 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence de la station HAMIZ à l'échelle logarithmique

- Logarithmique les valeurs de $I = f(t)$
- De l'équations (4.5) et (4.6) on obtient les deux relations suivantes :

$$\mathbf{A=b \quad et \quad B= \ln (a)} \quad (5.7)$$

Les résultats obtenus pour les paramètres a et b de la loi de Montana sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau 5.2 : Modèles IDF pour différentes périodes de retour ($i = a t^{-b}$)

Station Période de retour (ans)	020502	021014	020646	020602
2	$56.43 t^{-0.51}$	$12.52 t^{-0.58}$	$12.98 t^{-0.66}$	$13.6 t^{-0.59}$
5	$80.07 t^{-0.51}$	$23.33 t^{-0.58}$	$19.49 t^{-0.66}$	$18.07 t^{-0.59}$
10	$95.7 t^{-0.51}$	$30.14 t^{-0.58}$	$23.77 t^{-0.66}$	$21.008 t^{-0.59}$
20	$110.67 t^{-0.51}$	$36.58 t^{-0.58}$	$27.86 t^{-0.66}$	$23.8 t^{-0.59}$
50	$130.04 t^{-0.51}$	$44.87 t^{-0.58}$	$33.15 t^{-0.66}$	$27.41 t^{-0.59}$
100	$144.55 t^{-0.51}$	$51.05 t^{-0.58}$	$37.1 t^{-0.66}$	$30.11 t^{-0.59}$

Tableau 5.3 : les valeurs de l'exposant climatique -SMA- de quel que stations étudiées

Station	Exposant climatique -b-
020502	0.51
021014	0.58
020646	0.66
020602	0.59

5.4 La série des durées partielles (SDP)

La série des durées partielles est dérivé de la série complète des évènements extrêmes, la méthode consiste à ne conserver de la série complète que les évènements indépendants extrêmes dépassant un seuil x_0 arbitraire, la détermination du seuil x_0 peut suivre deux approches.

La première est basée sur un critère physique et la deuxième est basée sur des examens purement mathématiques et statistiques (Lang, 1999). Les propriétés de la série SDP peuvent être affectées par le choix du seuil x_0 , cette valeur doit être retenue si l'estimation issue de la SDP soit de bonne qualité, ni trop bas pour engendrer une autocorrélation de la série, ni trop élevé pour maximiser l'utilisation des données (M. khelfi, 2018).

Dans notre cas, le critère physique du choix du seuil a été considéré, il se base sur l'estimation du quantile extrême avec le nombre moyen de dépassement annuel λ , ce nombre peut prendre les valeurs suivantes 1, 1.65, 2, 3, 4.

Les valeurs de λ retenues sont respectivement celles de Koutsoyiannis (2004b) et Cunnane (1973), $\lambda = 1$ tel que le nombre de valeurs retenues pour chaque pas de temps soit égal au nombre des années d'observations (Koutsoyiannis et al, 1999), et $\lambda = 1.65$.

Le choix définitif de la SDP sera fonction de l'indépendance des deux SDP formées, ou la série qui vérifie l'autocorrélation sera rejetée.

5.4.1 Test de l'indépendance des SDP

Dans l'analyse fréquentielle des évènements pluvieux extrêmes, et pour n'importe quelle approche adoptée (SMA) ou (SDP) l'indépendance de la série doit être assurée.

L'indépendance d'une série de durées partielles ou de maxima annuels, décrit que les valeurs de la série des précipitations pour chaque pas du temps, ne doit pas être auto corrélée, c'est-à-dire que dans un ordre chronologique, la valeur X_{i+1} ne doit pas dépendre de X_i .

L'indépendance est assurée pour le cas de SMA par construction, parce que la série conçue prend une seule valeur par année, il ne peut à priori exister de dépendance entre deux valeurs successives. Par contre pour une (SDP) il devient alors nécessaire de vérifier l'indépendance.

Plusieurs auteurs recommandent pour assurer l'indépendance des SDP, de calculer un coefficient de corrélation des rangs par le test de Spearman, c'est le ρ de Spearman.

Dans notre cas d'étude, l'indépendance des SDP est assurée par le calcul du coefficient de corrélation des rangs, c'est-à-dire, le ρ de Spearman. Ce test a été retenu car il est non paramétrique, et ne fait pas l'hypothèse de la normalité des variables.

La fonction d'autocorrélation de Spearman est donnée par la formule suivante (Mylan et al, 1999) :

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_i^n d_i}{n(n^2-1)} \quad (5.8)$$

Ou

n : la taille de série.

d_i : la différence entre les rangs des valeurs de la série chronologique et de la série classée.

Pour les 19 stations étudiées, la fonction d'autocorrélation est calculée pour 2 SDP, $\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$, sur les 10 pas de temps. Les valeurs de ρ obtenues sont dans l'intervalle $[-1,1]$, l'évaluation de la liaison d'autocorrélation est faite par la comparaison du ρ calculé et la valeur théorique du ρ lue dans la table du ρ de Spearman (avec un seuil de signification de 95%) qui dépend de la taille de la série étudiée, n .

La dépendance entre les valeurs de la série existe, si la valeur de ρ calculée est supérieure ou égale au ρ de la table. Par contre, si la valeur de ρ calculée est inférieure au ρ de la table alors l'indépendance de la série est vérifiée (pas de corrélation).

Les séries (SDP) retenues par la suite, sont les séries ($\lambda = 1$ ou $\lambda = 1.65$) qui ne vérifient pas l'autocorrélation, Les figures suivantes présentes quelques résultats du test de Spearman.

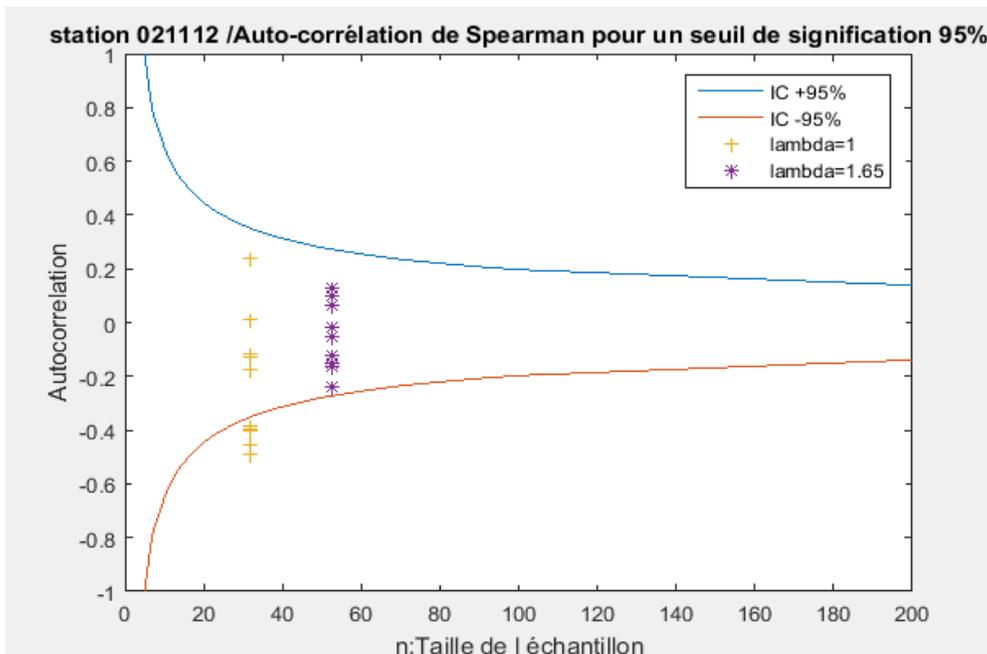


Figure 5- 7 : Fonction d'auto-corrélation de Spearman pour les SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$)

Station -021112

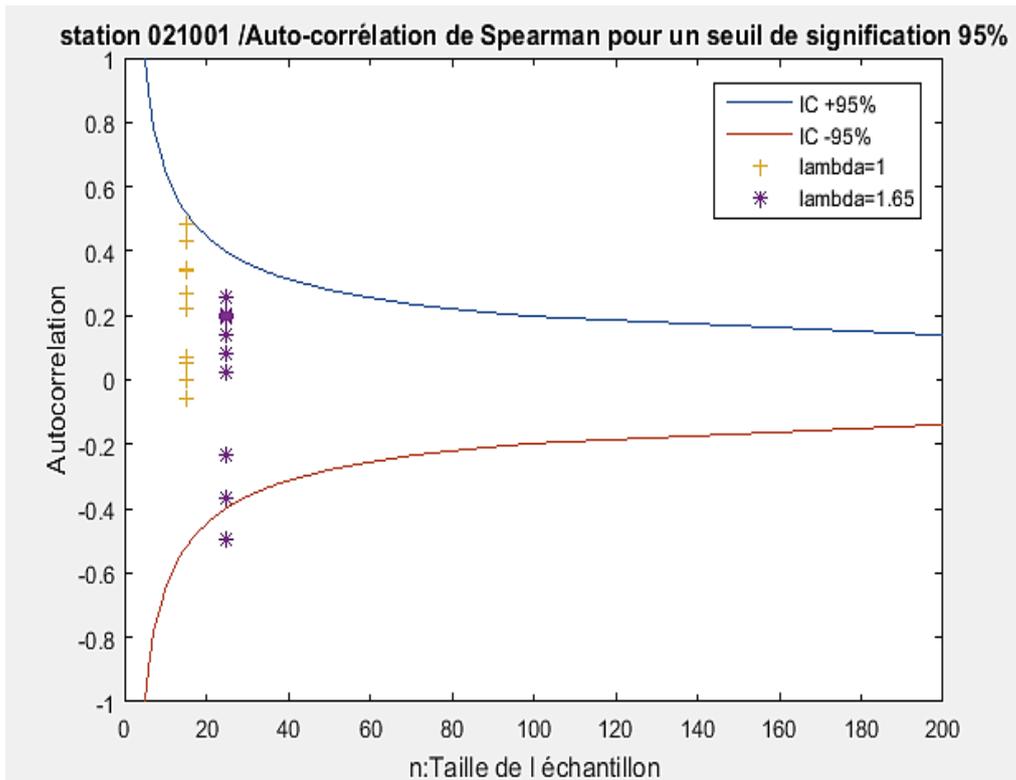


Figure 5- 8: Fonction d'auto-corrélation de Spearman pour les SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$), Station -021001

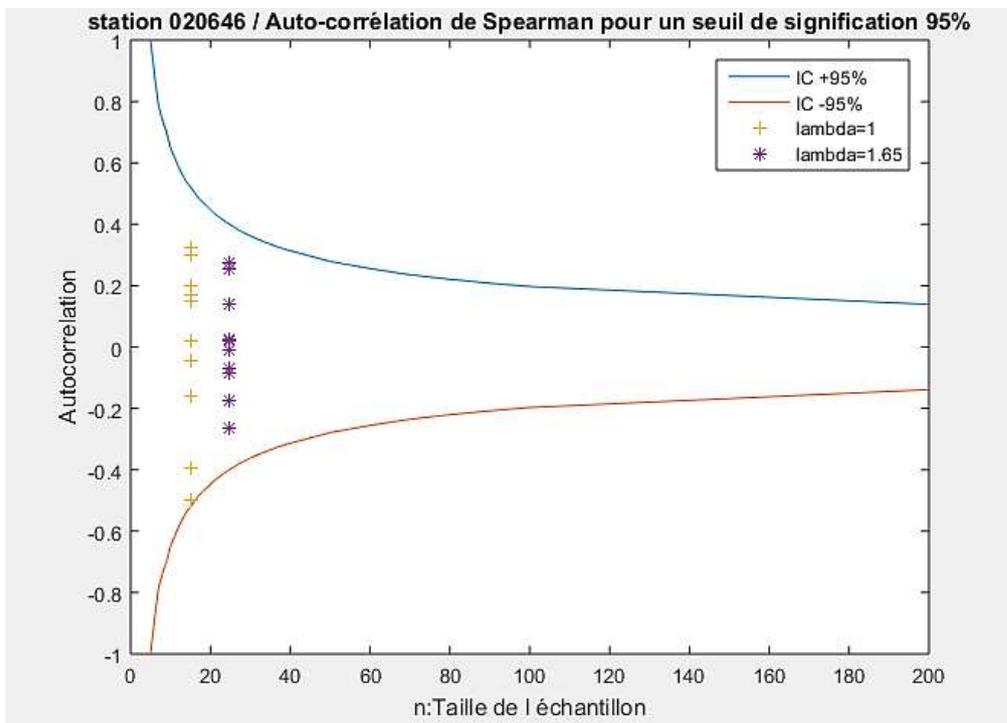


Figure 5- 9 Fonction d'auto-corrélation de Spearman pour les SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$) Station -020246

D'après les résultats obtenus du test de Spearman, trois situations des séries ont été observés :

1. Tous les séries de SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$) sont indépendants, à l'exception d'une seule série à un nombre de dépassements annuels $\lambda = 1.65$. (Figure 5.8)
2. Tous les séries de SDP ($\lambda = 1.65$) sont indépendants, par contre dans les séries SDP ($\lambda = 1$) il y a des séries où l'indépendance n'est pas vérifiée. (Figure 5.7)
3. Tous les séries de SDP ($\lambda = 1$ et $\lambda = 1.65$) sont indépendants. (Figure 5.9)

Concernant les deux premiers cas, on prend les séries du nombre de dépassements annuels λ qui vérifie l'indépendantes pour toutes les séries (dans le premier cas on travail par $\lambda = 1$ et la deuxième cas par $\lambda = 1.65$). Cependant, dans le troisième cas, l'autocorrélation est vérifié pour les deux nombres de dépassements annuels donc la série qui convienne au nombre de dépassements annuels $\lambda = 1.65$ sera considéré pour établir les IDF, ce qui devrait au moins inclure un grand nombre d'évènements remarquable supérieur que nombre d'évènements SMA.

5.4.2 Test d'ajustement

Après avoir vérifié que les données répondent aux conditions d'indépendance, l'étape suivante dans l'estimation des quantiles des évènements extrêmes à partir des SDP est le choix approprié d'une fonction de distribution de probabilité.

Les quantiles qui correspondent aux périodes de retour : 2, 5, 10, 20, 50, 100 ans sont calculés à partir de la fonction de distribution de la loi exponentielle pour toutes les stations.

La fonction cumulative de la distribution de la loi exponentielle pour les valeurs extrêmes maximales est représentée sous la forme suivante :

$$F(x) = 1 - e^{-v} \quad (5.9)$$

Avec

- Variable réduite : $v = \frac{x-a}{b}$
- a : Paramètre de position.
- b : Paramètre d'échelle.

Les quantiles sont calculés par l'équation suivante :

$$x_q = a + b \cdot v_q \quad (5.10)$$

La figure suivante présente les résultats des ajustements de la SDP avec la loi exponentielle :

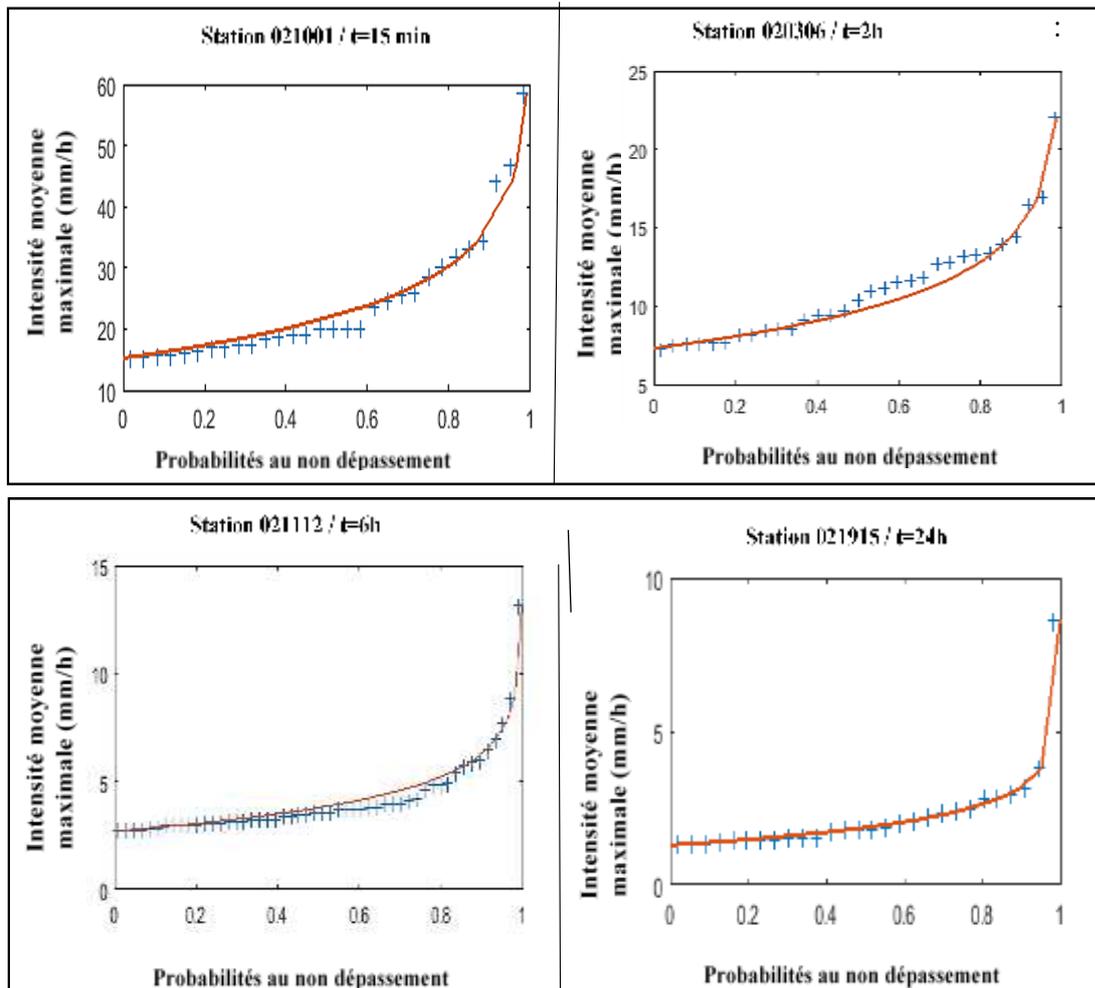


Figure 5- 10: ajustement des intensités à la loi exponentielle.

5.4.3 Estimations des quantiles (SDP)

Le tableau ci-dessous résume les résultats des intensités moyennes maximales pour les périodes de retour (2,5 ,10,20,50,100) à partir des ajustements de l'ensemble des stations.

Tableau 5.4: Intensité moyennes maximales (SDP)

Station : 020602						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	58,45	77,55	92,008	106,46	125,56	140,01
10min	40,35	50,42	58,04	65,66	75,74	83,36
15min	32,11	40,63	47,07	53,51	62,03	68,48
30min	21,72	26,95	30,91	34,87	40,10	44,06
1h	14,89	17,55	19,57	21,58	24,25	26,26
2h	8,82	11,60	13,71	15,81	18,60	20,70
3h	6,64	8,88	10,58	12,28	14,52	16,21
6h	3,93	5,16	6,10	7,03	8,27	9,20
12h	2,49	3,37	4,029	4,68	5,55	6,21
24h	1,23	1,76	2,15	2,55	3,07	3,47

Chapitre 05 : Analyse et détermination des paramètres pluviométriques pertinents

Station : 020502						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	191,43	244,89	285,33	325,76	379,22	419,66
10min	136,35	181,34	215,38	249,41	294,41	328,44
15min	113,44	148,30	174,67	201,04	235,90	262,27
30min	79,47	100,86	117,03	133,21	154,59	170,77
1h	52,94	67,26	78,10	88,93	103,26	114,09
2h	40,25	54,94	66,06	77,18	91,87	102,98
3h	32,16	43,70	52,43	61,16	72,70	81,43
6h	21,56	30,40	37,09	43,79	52,63	59,32
12h	13,11	18,59	22,74	26,88	32,37	36,51
24h	7,63	10,90	13,37	15,84	19,11	21,58

Station : 021014						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	53,15	91,69	120,84	150,004	188,54	217,69
10min	37,81	62,25	80,74	99,23	123,68	142,17
15min	31,41	48,68	61,75	74,81	92,08	105,15
30min	19,11	26,92	32,84	38,75	46,57	52,48
1h	11,59	15,55	18,54	21,54	25,50	28,49
2h	9,31	13,31	16,34	19,36	23,37	26,39
3h	7,04	9,87	12,02	14,16	16,99	19,14
6h	4,46	6,22	7,55	8,88	10,64	11,97
12h	2,70	3,76	4,56	5,35	6,41	7,21
24h	1,52	2,12	2,57	3,02	3,62	4,08

Station : 020646						
Durée d'agrégation	Intensité (mm/h)					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
5 min	64,46	93,71	115,84	137,97	167,22	189,34
10min	48,13	70,79	87,92	105,06	127,71	144,85
15min	38,56	56,06	69,30	82,543	100,04	113,21
30min	24,89	35,02	42,67	50,33	60,45	68,11
1h	14,88	20,004	23,87	27,75	32,87	36,74
2h	8,98	11,65	13,69	15,69	18,369	20,38
3h	6,28	8,006	9,309	10,61	12,33	13,63
6h	3,99	5,09	5,92	6,75	7,85	8,68
12h	2,39	3,42	4,20	4,98	6,01	6,80
24h	1,50	2,36	3,01	3,66	4,52	5,17

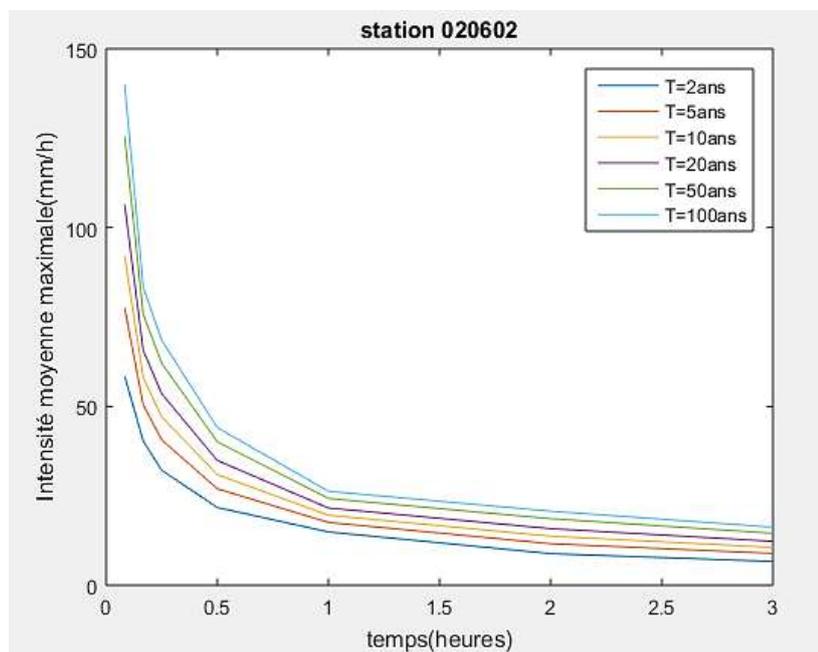
- **Interprétation des résultats**

D'après les tableaux des quantiles, on remarque que pour toutes les stations étudiées les quantiles obtenus à partir des séries SMA sont supérieurs à ceux des séries SDP.

La station d'Ouled Fayet présente les plus grands quantiles pour toutes les périodes de retour.

5.4.4 Etablissements des courbes IDF

Les courbes IDF établies pour chaque station sont illustrées par la figure 5.12 :



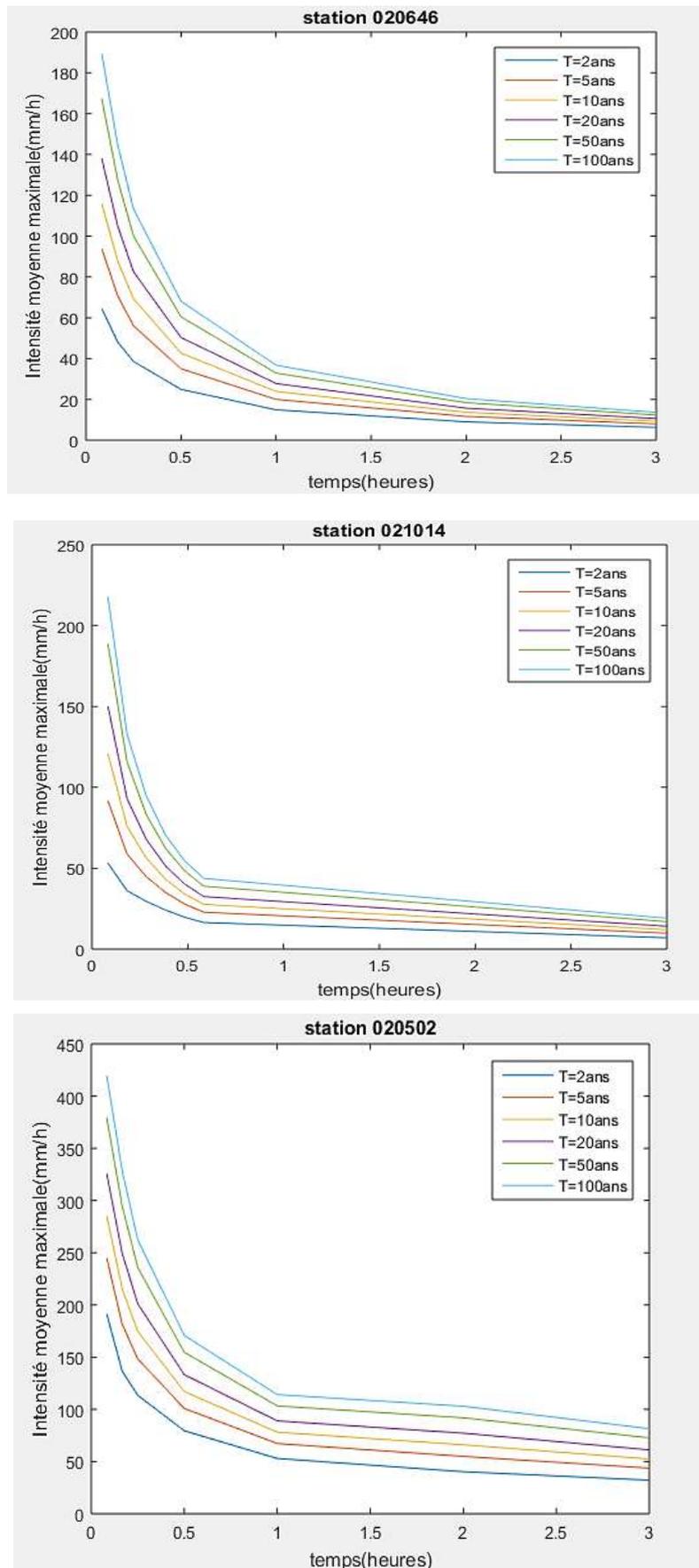


Figure 5- 11 Courbes intensités-durée-fréquence (SDP).

La modélisation mathématique des courbes IDF par les SDP a permis de déterminer l'exposant climatique de chaque station par la même méthode que précédemment. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5.5: modèles IDF pour des différentes périodes de retour (SDP)

Station Période de retour (ans)	020502	021014	020646	020602
2	$52.90 t^{-0.5}$	$12.59 t^{-0.61}$	$13.86 t^{-0.687}$	$12.79 t^{-0.63}$
5	$70.59 t^{-0.5}$	$18.61 t^{-0.61}$	$19.36 t^{-0.68}$	$16.5 t^{-0.63}$
10	$83.92 t^{-0.5}$	$23.12 t^{-0.61}$	$23.49 t^{-0.68}$	$19.29 t^{-0.63}$
20	$97.23 t^{-0.5}$	$27.61 t^{-0.61}$	$27.61 t^{-0.68}$	$22.07 t^{-0.63}$
50	$114.80 t^{-0.5}$	$33.54 t^{-0.61}$	$33.04 t^{-0.68}$	$25.74 t^{-0.63}$
100	$128.08 t^{-0.5}$	$38.01 t^{-0.61}$	$37.14 t^{-0.68}$	$28.51 t^{-0.63}$

- **Interprétation des résultats**

A partir de ce traitement, nous avons construit les courbes IDF des quatre stations pluviographique à différentes périodes d'observation. On a constaté que les intensités oscillent d'une manière remarquable pour chaque station et pour chaque période d'observation.

5.5 Comparaison SMA/SDP

Après l'établissement des courbes IDF à partir des séries (SMA et SDP), nous avons essayé de déterminer la meilleure approche IDF et de définir un exposant climatique pour chaque station. A cet effet, une comparaison a été faite entre les exposants climatiques obtenus, en calculant la racine carrée des erreurs quadratiques moyennes RMES (Root Mean Square Error) entre les exposants climatiques obtenus par les deux approches.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \left(\frac{b_{SMA} - b_{SDP}}{b_{SDP}} \right)^2} \quad (5.11)$$

Tableau 5.6: RMSE globale entre SMA et SDP (exposant climatique)

Le nom de la station	Code de la station	Exposant climatique		rRMSE
		SMA	SDP	
Azzazga	21504	0.47	0.52	4.97%
Ain Zaouia	21924	0.59	0.55	
Meured	20306	0.62	0.62	
Mouzaia	21132	0.7	0.72	
D bassin	20601	0.63	0.62	
Argoub	21915	0.51	0.57	
Boukourdene	20329	0.53	0.54	
Rouiba	20642	0.72	0.65	
Bouassem	21801	0.56	0.56	
Keddara	20646	0.66	0.68	
Gouraya	20315	0.59	0.6	
Oued Zeboudj	21014	0.58	0.61	
Beniyenn	21712	0.53	0.53	
Bissa	20224	0.57	0.57	
Berkhissa	21001	0.52	0.51	
Ouzera	21112	0.6	0.6	
Aghrib	21601	0.54	0.54	
Ouled Fayet	20502	0.51	0.5	
Hamiz	20602	0.59	0.63	

- **Interprétation des résultats**

Il ressort du tableau de comparaison des exposants climatiques (b) que la racine carrée des erreurs quadratiques moyennes est de l'ordre de 4.97%, donc une grande convergence entre les estimations de l'exposant climatique est remarquée. Cela veut dire que les deux approches donnent des mêmes résultats.

5.6 Élaboration de la pluie de projet :

Dans cette partie de notre étude, nous avons construit la pluie de projet de type double triangle pour la région d'El Hamiz en basant sur les paramètres a et b de Montana. Voir Tableau 5-7.

Tableau 5.7 : Les coefficients du Montana en fonction de la période de retour.

Période de retour [T]	<i>a</i>	<i>b</i>
10 ans	21.008	0.59
20 ans	23.8	
50 ans	27.41	
100 ans	30.11	

5.6.1 la pluie de projet type double triangle des séries maximas annuelles (SMA) :

Chocat, (1997) est caractérisé la pluie de projet par les paramètres suivant :

- $t_3 = 4\text{h}$ (La durée totale de la pluie).
- $t_1 = 30\text{ min}$ (La durée de la période intense).

Tableau 5.8 : Intensité de pointe et l'intensité au début de la période intense en fonction de la période de retour

Période de retour [T]	i_1 [mm/h]	i_2 [mm/h]
10 ans	38.26	198.95
20 ans	46.51	231.91
50 ans	57.21	274.42
100 ans	65.43	306.21

On a calculé les intensités i_1 et i_2 à partir des formules qu'on a cité précédemment dans la page 44.

Les Figures (5-14,5-15,5-5,14) représentent les pluies de projet type double triangle de la région de HAMIZ.

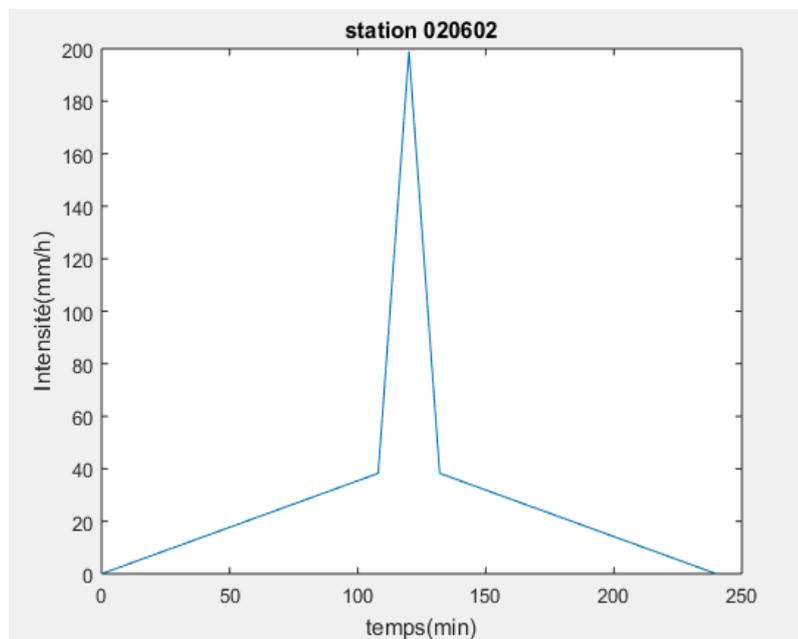


Figure 5- 12 : Pluie double triangle de T= 10 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)

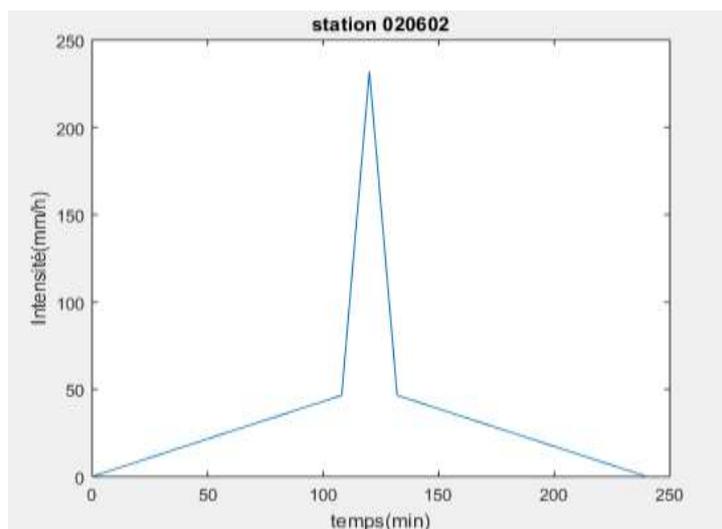


Figure 5- 13 : Pluie double triangle de T= 20 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)

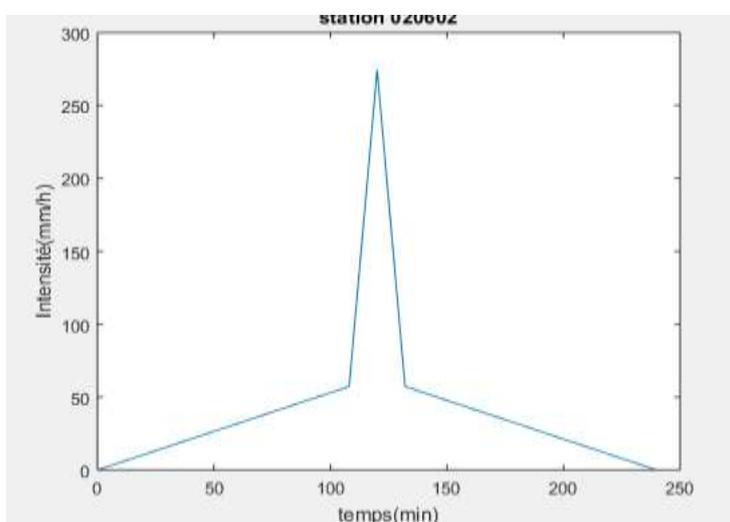


Figure 5- 14 : Pluie double triangle de T= 50 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)

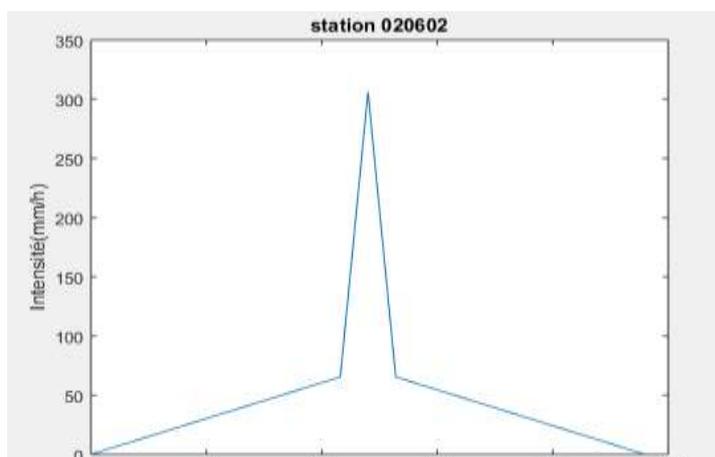


Figure 5- 15 : Pluie double triangle de T= 100 ans élaborée à partir des courbes IDF(SMA)

5.6.2 la pluie de projet type double triangle des séries des durées partielles (SDP)

Tableau 5.9 : Les coefficients du Montana en fonction de la période de retour

Période de retour [T]	<i>a</i>	<i>b</i>
10 ans	19.29	0.63
20 ans	22.07	
50 ans	25.74	
100 ans	28.51	

Tableau 5.10 : Intensité de pointe et l'intensité au début de la période intense en fonction de la période de retour

Période de retour [T]	<i>i</i> ₁ [mm/h]	<i>i</i> ₂ [mm/h]
10 ans	26.67	163.57
20 ans	31.85	190.38
50 ans	38.69	225.67
100 ans	43.67	252.31

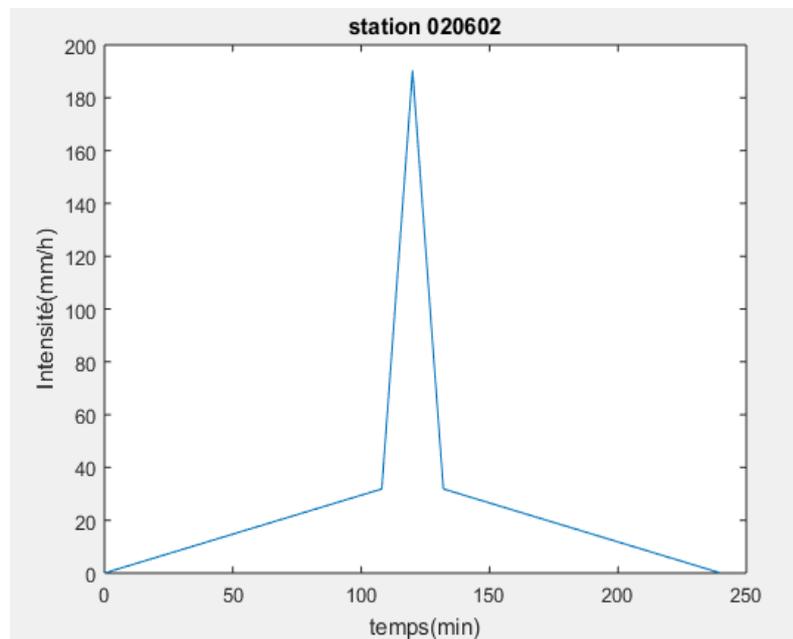


Figure 5- 16: Pluie double triangle de T= 10 ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP)

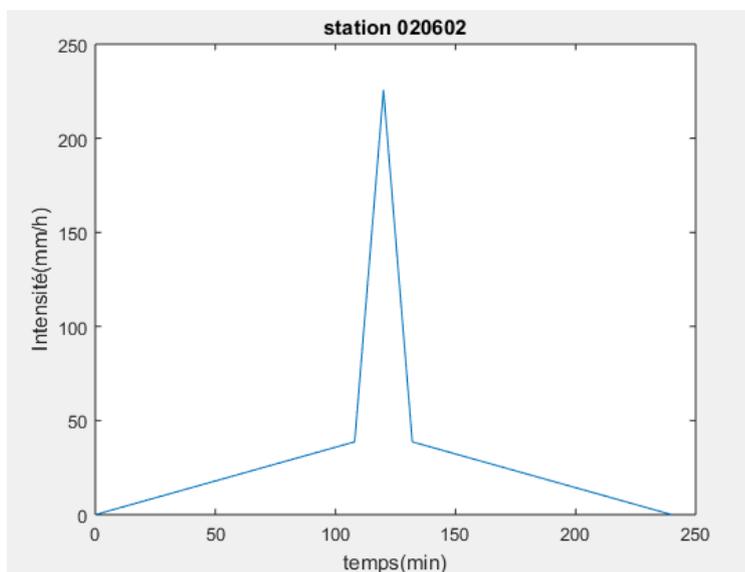


Figure 5- 17 : Pluie double triangle de T= 20ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP)

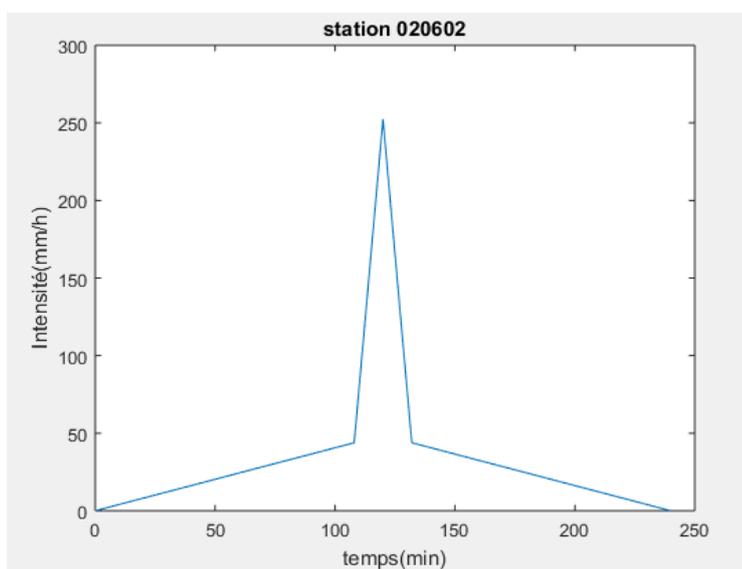


Figure 5- 18 : Pluie double triangle de T= 50 ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP)

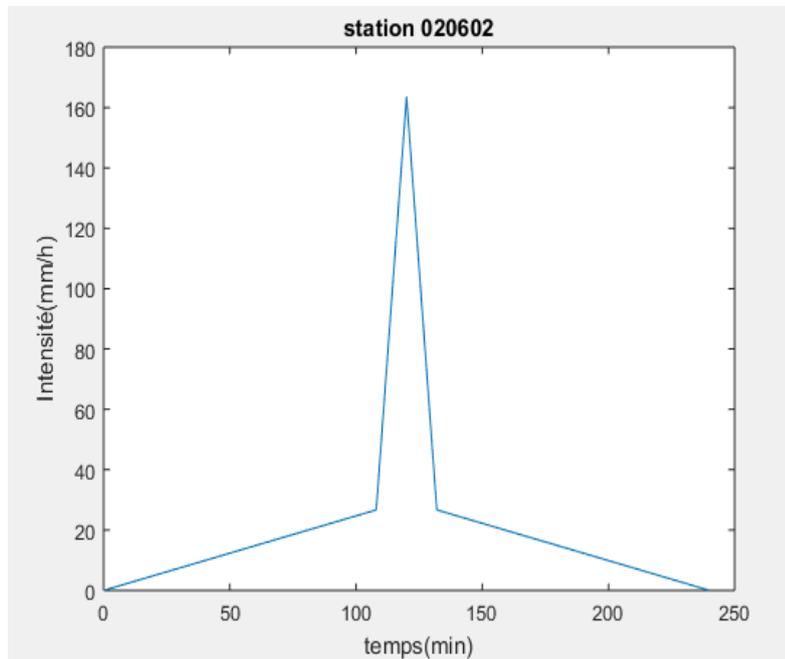


Figure 5- 19 : Pluie double triangle de T= 10 ans élaborée à partir des courbes IDF(SDP)

• Interprétation des résultats

L'analyse de la pluie synthétique de type double triangle de la station de HAMIZ montre que cette dernière se comporte comme la loi de pluviosité des courbes IDF. En effet, plus la période de retour augmente plus l'intensité de pointe augmente aussi.

5.7 Validation des résultats

Les résultats des paramètres pertinents a et b obtenus pour chaque région sont validés par deux méthodes, la première c'est par la comparaison avec les résultats obtenus dans la thèse de doctorat de KHELFI Mohamed El Amine qui a travaillé sur le bassin versant des Côtiers Algérois.

La deuxième méthode de validation repose sur l'utilisation des données canadiennes de précipitation avec leurs résultats a et b, c.-à-d. on introduit ces données dans notre programme et on voit est ce que les résultats sont les mêmes ou pas.

• 1^{ère} méthode : Comparaison des résultats

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \left(\frac{SMA - SMA_{KHELFI}}{SMA_{KHELFI}} \right)^2}$$

Tableau 5.11 : RMSE globale entre SMA et SMA (Khelfi) (exposant climatique).

Le nom de la station	Code de la station	Exposant climatique		rRMSE
		SMA	SMA (KHELFI)	
Azzazga	21504	0.47	0.49	8.7%
Ain Zaouia	21924	0.59	0.59	
Meured	20306	0.62	0.63	
Mouzaia	21132	0.7	0.74	
D bassin	20601	0.63	0.63	
Argoub	21915	0.51	0.43	
Boukourdene	20329	0.53	0.55	
Rouiba	20642	0.72	0.71	
Bouassem	21801	0.56	0.56	
Keddara	20646	0.66	0.58	
Gouraya	20315	0.59	0.73	
Oued Zeboudj	21014	0.58	0.66	
Ain Beniyenn	21712	0.53	0.53	
Bissa	20224	0.57	0.6	
Berkhissa	21001	0.52	0.48	
Ouzera	21112	0.6	0.54	
Aghrib	21601	0.54	0.49	
Ouled Fayet	20502	0.51	0.51	
Hamiz	20602	0.59	0.58	

• 2^{ème} méthode :

Les données canadiennes sont représentées dans la figure suivante :

Short Duration Rainfall Intensity-Duration-Frequency Data
Données sur l'intensité, la durée et la fréquence des chutes
de pluie de courte durée

Gumbel - Method of moments/Méthode des moments

2019/02/27

```
=====
BEECHWOOD                                NB            8100512
Latitude: 46 32'N   Longitude: 67 40'W   Elevation/Altitude: 91      m
Years/Années : 1959 - 1969           # Years/Années : 10
=====
```

Table 1 : Annual Maximum (mm)/Maximum annuel (mm)

```
*****
Year  5 min 10 min 15 min 30 min   1 h   2 h   6 h  12 h  24 h
Année
1959  9.7  10.9  12.2  17.8  21.1  27.7  77.0  93.5 118.6
1960  5.3   8.1  10.4  11.4  13.7  19.0  33.5  42.2  45.2
1961  7.4   9.9  12.2  15.5  18.5  23.1  27.9  48.8  69.3
1962  5.6   7.9   7.9   7.9  15.2  20.1  29.0  47.8  56.4
1963  3.6   7.1  10.7  16.3  20.3  22.1  33.0  40.9  46.0
1964  3.6   5.6   7.1   7.6   9.1  15.2  31.0  42.2  43.9
1965 11.7  20.8  24.6  26.7  26.7  30.7  39.9  46.5  74.2
1966  3.0   4.6   6.6   8.6  15.0  21.6  30.0  41.1  50.3
1967  7.9  10.2  10.7  15.5  22.4  26.4  31.5  41.7  54.6
1969  9.7  13.0  15.2  17.5  18.3  20.8  46.2  61.5  92.2
*****
```

Figure 5- 20 : la série des maxima annuels canadienne

Et voici les résultats des paramètres de Montana a et b qui sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5.12 : les paramètres de Montana a et b à partir des données canadiennes.

Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
Coefficient (a)	17.6	23.8	27.8	36.7	40.4
Exposant (b)	0.608	0.624	0.63	0.639	0.642

Les résultats de simulation du programme en utilisant les données canadiennes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.13 : les résultats de simulation des données canadiennes.

Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
Coefficient (a)	17.5991	23.768	27.8179	36.6807	40.4145
Exposant (b)	0.6076	0.6235	0.6301	0.6394	0.6491

Les résultats des données canadiennes sont obtenus à partir des séries des maxima annuels ajustées à la loi du Gumbel.

On remarque que les résultats obtenus par le modèle développé sont semblables, d'où la fiabilité du programme développé

5.8 Conclusion

Cette étude a porté principalement sur la détermination d'un modèle fréquentiel pour présenter le régime de la précipitation journalière maximale annuelle, et la pluie de projet pour chaque station pluviométrique dans le bassin versant des Côtiers Algérois.

L'objectif à atteindre était de modéliser les courbes IDF à partir des séries des maxima annuelles et des séries des durées partielles par la méthode classique. Le modèle élaboré devait offrir l'estimation la plus précise et la plus fiable possible de la hauteur de pluie (ou intensité) sur une durée donnée (durée critique de la pluie) pour la période de retour requise.

Dans l'application de la méthode classique, La distribution de Gumbel a été retenue auprès des séries SMA et la distribution exponentielle auprès des séries SDP. La vérification de l'adéquation est testée par le test Kolmogorov-Smirnov pour toutes les séries. Il ressort de cette analyse que le modèle de puissance a donné la meilleure relation, il nous a servi à la détermination de l'exposant climatique des stations.

Des hyétogrammes de pluies synthétiques de type doubles triangles ont été élaborées à partir des courbes IDF. Généralement, ces hyétogrammes sont utilisés comme paramètres d'entrée dans un modèle de transformation Pluie – Débit.

Conclusion générale

Le présent projet de fin d'études nous a permis de manipuler les mesures des stations pluviographiques de l'ANRH, dans le but de détecter et de corriger un certain nombre d'erreurs dans la chaîne de traitement des mesures : erreurs de dépouillement et erreurs de traitement. Les erreurs détectées sont :

- Problème dans la définition de la journée de mesure.
- Problème dans la détermination de la date de fin d'une averse.
- Problème dans l'enregistrement des heures.
- Problème des répétitions des dates.

Afin de pouvoir utiliser les données de l'ANRH, nous avons développé un programme sous Matlab, pour l'acquisition et la correction de ces données. Une fois ce travail accompli, un autre programme a été élaboré pour déterminer les intensités moyennes maximales à différents pas de temps pour construire les séries complètes, et d'extraire à partir de ces derniers deux types des séries (SMA et SDP) afin de modéliser les courbes IDF.

La modélisation de ces courbes IDF passe par plusieurs étapes que le programme élaboré prend en charge :

- Test d'ajustement (Lois de Gumbel et Log-normale), pour les SMA
- Test d'ajustement (loi exponentielle), pour les SDP
- Test d'adéquation (test de Kolmogorov-Smirnov).
- Test d'indépendance (test de Spearman) concernant les SDP.
- Etablissement des courbes IDF.
- Détermination des paramètres de Montana.

Enfin, le programme permet de construire la pluie synthétique de type double triangle symétrique pour chaque station.

La modélisation mathématique des courbes IDF nous a aussi permis, de déterminer l'exposant climatique de chaque station, par la recherche d'un modèle régressif entre l'intensité moyenne maximale et la durée d'agrégation. Les résultats montrent que le modèle de puissance a donné la meilleure relation au vu du coefficient de détermination R^2 obtenu et qui dépasse les de 95%, ainsi l'exposant climatique (b) est déterminé directement à partir des modèles obtenus. Ce paramètre ne change pas avec la période de retour, c'est une caractéristique propre à la station.

Comme perspective de ce travail, nous proposons comme suite de faire une cartographie des exposants climatiques obtenus pour la zone d'étude.

Références bibliographiques

- ARIS. K, Modélisation des courbes IDF à travers les stations pluviométriques de la région Est du pays, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique, Département Hydraulique Urbaine, ensh, 2016.
- Benaini. M, Achite. M, Toubal. A. K, Analyse Fréquentielle des précipitations journalières maximales annuelles dans le Nord-Est d'Algérie -Cas de Bassin versant Côtiers Algérois, Systèmes Agricoles et Environnement, Vol 02, No 1, pp 58-69, 2018.
- Belarbi. F, Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA.113p, mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister en hydraulique, département d'Hydraulique, Faculté de technologie U.A.B.B. Tlemcen,2010.
- Bertrand Krajewski. J.L, Cours d'Hydrologie Urbaine Partie 2 : La pluie, URGC, INSA de Lyon,2007.
- Boutaghane. H, Ouerdachi. L et Mansouri. R, contribution à l'étude du dimensionnement des ouvrages d'assainissement pluvial : les méthodes des hydrogrammes, Le Journal de l'Eau et de l'Environnement, p.30-41, 2015.
- Chocat, B. (1997) « Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement ».édition Hermès-Lavoisier.1124 pages
- Chocat , B. ; (2014)« notice de CANOE ».
- Chocat, B ; cabane, P. (1999) « Hydrologie urbaine : modélisation et effet d'échelle».
- La Houille Blanche, 106-111.
- Khelfi. M. A, Régionalisations de l'exposant climatique dans l'Algérie du centre, thèse présentée pour l'obtention le grade docteur en hydraulique, école nationale d'hydraulique, 2018.
- Krajewski. B et al, Cours d'Hydrologie Urbaine. Paris (France) : éditions du Seuil,2000.
- Madfouni. I et Berkani. S, Analyse des averses basé sur l'aléa pluviométrique, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en hydraulique, département de génie civil, U.L.B.M Om El Bouaghui,2013.
- Meddi. M, Etude de la variabilité inter -annuelles des pluies dans le nord de l'Algérie, Hydrologie, p34-37,2005M. Morel, B. Thébé et Y. L'Hôte, Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base, Editions*H*G*A*, Bucarest, 1999, ISBN 973-98954-1-7.
- Meylan. P, Catherine Favre. A, A. Musy, Hydrologie fréquentielle Editions*H*G*A*, Bucarest, 1999. ISBN 978-2- 88074-797-8.

Musy. A, Reynard. E et Higy. C, Science de la nature une gestion sociétale, Paru, 2014.

Musy. A et Higy. C, Hydrologie appliquée, Editions*H*G*A*, Bucarest,1998, ISBN 973-98530-8-0.

L'Hôte. Y, Mesure et étude des précipitations en hydrologie, Université de Mont Pellier II UST,1993.

Remaniéras. G, L'Hydrologie de l'ingénieur. Paris, Eyrolles,1965.

Roux. C, Analyse des précipitations en hydrologie urbaine exemple de la Seine-Saint- Denis, 290p, Mémoire présenté pour l'obtention du titre de Docteur, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ,1996.

Skhakhfa. I, analyse de l'aléa pluviométrique dans la ville d'Annaba, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, spécialité : hydraulique urbaine, U.B.B.M Annaba, 2009.