

Higher National School of Hydraulic

The Library

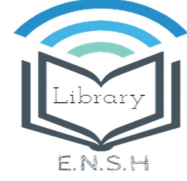
Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Modélisation des courbes IDF à travers des stations pluviométriques de la région de l'Ouest du pays..**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0030-16

APA Citation ( APA توثيق ):

**Hamzaoui, Sabrina (2016). Modélisation des courbes IDF à travers des stations pluviométriques de la région de l'Ouest du pays.[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



Département Hydraulique Urbaine

## MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

### **OPTION : Assainissement**

### **THEME :**

Modélisation des courbes IDF à travers des stations pluviométriques de la région de l'Ouest du pays

Présenté par :

M<sup>lle</sup> : **HAMZAOUI Sabrina**

### **DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

	Nom et Prénom	Grade	Qualité
M <sup>r</sup>	KHODJET KASBA Omar	Professeur	Président
M <sup>r</sup>	KAHLERRAS Djillali	M.C.B	Examinateur
M <sup>me</sup>	AMMOUR Fadhila	M.A.A	Examinatrice
M <sup>me</sup>	SALHI Chahrazed	M.A.B	Examinatrice
M <sup>r</sup>	MEDDI Mohamed	Professeur	Promoteur

JUIN 2016

# Remerciement

---

*Au terme de ce projet, je tiens à remercier sincèrement tout d'abord ALLAH, le tout puissant pour m'avoir aidé et donner le courage, la patience et la volonté afin d'achever ce travail et sans Lequel il n'aurait jamais été accompli.*

*Mes vifs remerciements à mon promoteur, Monsieur le Professeur MEDDI Mohamed, pour le thème proposé, ses directives et sa disponibilité pour l'élaboration de ce mémoire de master.*

*Mes gratitudes vont aussi à tous mes enseignants et enseignantes pendant tout mon cursus d'études pour leurs disponibilités et pour le savoir qu'ils m'ont fidèlement transmis.*

*Enfin, mes sincères remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont apporté leur aide et leur appui pour mener à bien ce travail.*

*HAMZAOUI Sabrina*

# Dédicaces

---

*C'est avec profonde gratitude et sincère mots, que je dédie ce  
travail de master*

*Aux plus chères personnes dans ma vie, mon père Abid et ma mère  
Nacira qu'Allah les bénisse.*

*À mes chers frères « Oussama, Billel et Soheib »*

*A toute ma grande famille et mes voisins.*

*A toutes mes collègues de travail*

*A ma très chère copine Mirou*

*A toutes mes amies que j'aime très fort : Tatlim, Salema, Kenza,  
Ghozy, Sarah, Bochera, Karima, Kheira, Houda, Kholoudim,  
Meriem, Meriem boukam, Hadjer, Amel, Sihem, Rania, Imane,  
Latifa, Narimen*

*A ceux qui me sont chers et je n'ai pas cité leurs noms.*

*...Sabrina 2016 ✍*

# Résumé

---

Cette étude présente une contribution à l'élaboration d'une méthodologie de travail et de planification pour la prévision du risque par l'utilisation de la modélisation hydrologique.

L'aléa pluvial est caractérisé à travers la modélisation des courbes IDF, Intensité-Durée-Fréquence des précipitations, qui représentent un outil de première importance dans la planification, la gestion et la prévention du risque pluvial. A cet égard, la partie Nord-Ouest de l'Algérie a été proposée comme champ d'application de cette étude. L'établissement des courbes IDF permettent d'extrapoler les intensités variant entre 15 min et 360 min. Le traitement des données est facilité par le logiciel Hydraccess. Et par la suite l'ajustement est effectué par le logiciel Hyfran-Plus, qui permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques.

Les résultats de l'ajustement permettent de construire les courbes IDF afin définir le risque pluvial, qui se présente d'une manière forte dans la partie Sud de la zone d'étude (le bassin de Hauts plateaux Oranais), ensuite ce risque diminue vers le Nord, et la partie Ouest (le bassin de Tafna) présente le risque le plus faible.

**Mots clés :** Aléa pluvial, Analyse statistique des pluies, courbes IDF, Nord-Ouest de l'Algérie, Hydraccess, Hyfran-Plus.

## ملخص

تمثل هذه الدراسة مساهمة في تطوير منهجية العمل والتخطيط للتنبؤ بالمخاطر عن طريق استخدام النمذجة الهيدرولوجية. تم تمثيل احتمالات الأمطار بمنحنيات الشدة - المدة - التواتر، والتي تمثل أداة رئيسية في التخطيط والإدارة والوقاية من هذه الأخطار. وفي هذا الصدد، قمنا بإقتراح الجزء الشمالي الغربي من الجزائر كمثال لتطبيق هذه الدراسة.

إن إنشاء منحنيات الشدة - المدة - التواتر يسمح بإستقراء كثافات مختلفة لفترات تجمع تتراوح بين 15 دقائق و 360 دقيقة. ومما يسهل معالجة البيانات، إستعمال برنامج Hydaccess. وبعد ذلك يتم إجراء تعديل من قبل برنامج Hyfran-Plus، والذي يضمن ضبط عدد كبير من التوزيعات الإحصائية لمجموعة من البيانات

إن نتائج تعديل منحنيات الشدة - المدة - التواتر، سمحت للوصول إلى تحديد خطر الأمطار، هذا الأخير يتمركز في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة ( حوض الهضاب العليا لوهرا ن ) ، بعد ذلك يتناقص في اتجاه الشمال، أما في الجانب الغربي ( حوض التفنة) تعتبر نسبة الخطر ضئيلة.

**الكلمات الدالة:** التحليل الإحصائي لهطول الأمطار، منحنيات الشدة - المدة - التواتر، الجزء الشمالي الغربي من الجزائر، Hyfran-Plus، Hydaccess.

# Abstract

---

This study represents a contribution to the development of a methodology of work and planning for risk prediction by the use of hydrological modeling.

The storm hazard is characterized by the modeling of the rainfall intensity-duration-frequency (IDF) curves which represent a keytool in the planning, management and prevention of flood risk. In this regard, the Northwest part of Algeria has been proposed as the zone of this study.

The establishment of the IDF curves allows extrapolating the different intensities for aggregation periods ranging from 15 minutes to 360 minutes. Data processing is facilitated by the Hydraccess. Thereafter, the adjustment is made by the HYFRAN-Plus.

The results of adjustment allow to build IDF curves to arrive at defining the storm risk , which is in a strong way in the southern part of the study area ( the Oran Highlands Basin) , then this risk decreases towards the north, and the west side ( the Tafna basin) presents the lowest risk .

**Keywords:** Storm hazard, Statistical analysis of rainfall, IDF curves, Northwest part of Algeria, Hydraccess, Hyfran-Plus.

# Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	01
------------------------------------	----

## **Chapitre I : Recherche bibliographique**

Introduction.....	03
I.1 Généralités.....	03
I.1.1 Prévision hydrologique.....	03
I.1.2 Le risque d'inondation.....	04
I.1.3 L'utilisation de l'analyse fréquentielle en hydrologie .....	04
I.1.4 Notion d'intensité .....	05
I.1.5 Notion de période de retour .....	06
I.1.6 Notion d'averses .....	07
I.2 Qu'est-ce qu'une courbe IDF ? .....	07
I.3 Pour quoi les courbes IDF ? .....	08
I.4 Construction des courbes IDF.....	09
a-Représentation analytique .....	09
b-Présentation statistique (méthode probabiliste) .....	10
I.5 Utilisation des courbes IDF .....	10
I. 6 Etablissement des courbes IDF .....	10
I.7 Méthodes d'estimation des quantiles des événements intenses .....	11
I.8 Généralisation des courbes IDF .....	11
I.9 Synthèse des travaux sur les IDF .....	12
Conclusion .....	18

## **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

Introduction .....	20
II.1 Situation géographique.....	20
II.2 Relief.....	21
II.3 Le climat.....	24
II.3.1 Variabilité pluviométrique.....	25
II.3.2 Variabilité de la température .....	26
II.3.3 Régime des vents .....	27
II.3.4 Les orages .....	28



II.3.5 Le sirocco .....	28
Conclusion.....	28

## **Chapitre III : Etude fréquentielle**

Introduction.....	29
III 1 Contrôle de la qualité des séries des enregistrements pluviographiques.....	29
III 1.1 Traitement des données pluviographiques.....	29
III 1.2 Le logiciel HYDRACCESS.....	29
III 1.3 Calcul des intensités maximales.....	31
III 2 Etude d'Ajustement des intensités.....	32
III 2.1 Le logiciel HYFRAN-PLUS.....	32
III 2.1.1 Système d'Aide à la Décision (SAD) .....	32
III 2.2 Choix d'un modèle fréquentiel .....	34
III 2.2.1 Ajustement à la loi des extrêmes généralisés (loi GEV) .....	36
III 2.2.2 Ajustement à la loi Halphen B Inverse (HIB) .....	37
III 2.2.3 Ajustement à la loi Log-Pearson type 3 (LP3) .....	37
III 2.2.4 Ajustement à la loi Gamma Inverse (GI) .....	38
III 2.3 Test d'adéquation pour les différentes lois .....	38
III 2.4 comparaison visuelle (analyse des graphes) .....	39
III 2.5 Méthode numérique (Analyse statistique) .....	40
III 2.6 Résultats d'ajustement à la loi choisie.....	40
Conclusion .....	42

## **Chapitre IV : Construction des IDF et analyse du risque**

Introduction.....	43
IV 1 Construction des courbes Intensité-Durée-Fréquence .....	43
IV 1.2 Calcul de l'exposant climatique .....	47
IV 2 Interprétation et Analyse des résultats .....	47
IV 2.1 Comparaison suivant le rapport de durée .....	47
IV 2.1.1 comparaison des rapports pour la même série .....	48
IV 2.1.2 comparaison entre les rapports pour des stations de bassins différents .....	48
IV 2.1.3 comparaison des rapports pour des stations d'un même bassin .....	49
IV 2.2 Comparaison suivant le rapport de période de retour .....	50
IV 2.2.1 comparaison des rapports pour la même série .....	50
IV 2.2.2 Comparaison entre les rapports pour des stations des bassins différents .....	51
IV 2.2.3 comparaison des rapports pour des stations d'un même bassin .....	51

Conclusion .....	52
<b>Conclusion générale</b> .....	53
<b>Références bibliographiques.</b>	
<b>Annexes.</b>	

# Liste des figures

## Chapitre I : Recherche bibliographique

<b>Figure I.1 :</b> Notion de période de retour.....	06
<b>Figure I.2 :</b> Représentation schématique des courbes IDF.....	09

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

<b>Figure II.1 :</b> Situation géographique de la zone d'étude .....	20
<b>Figure II.2 :</b> Les bassins étudiés selon le découpage de l'ANRH.....	21
<b>Figure II.3 :</b> Relief de la région d'étude .....	23
<b>Figure II.4 :</b> Les zones naturelles de la région d'étude A.N.A.T. (1988) .....	23
<b>Figure II.5 :</b> Etages bioclimatiques.....	25
<b>Figure II.6 :</b> Température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie : période 1950-2005.....	27

## Chapitre III : Etude fréquentielle

<b>Figure III.1 :</b> Exemple de menu général HYDRACCESS .....	30
<b>Figure III.2 :</b> Traitement des intensités et l'obtention de tableau des données .....	31
<b>Figure III.3 :</b> Diagramme des critères de choix entre les classes C, D et E .....	34
<b>Figure III.4 :</b> Vérification du test d'indépendance .....	35
<b>Figure III.5 :</b> Vérification du test de stationnarité .....	35
<b>Figure III.6 :</b> Le choix de la classe C .....	36
<b>Figure III.7 :</b> Ajustement à la loi de GEV .....	36
<b>Figure III.8 :</b> Ajustement à la loi HIB .....	37
<b>Figure III.9 :</b> Ajustement à la loi LP3 .....	37
<b>Figure III.10 :</b> Ajustement à la loi GI .....	38
<b>Figure III.11 :</b> Vérification du Test d'adéquation pour la loi de GEV .....	38
<b>Figure III.12 :</b> Vérification du Test d'adéquation pour la loi Log-Pearson III .....	39
<b>Figure III.13 :</b> Comparaison graphique entre les quatre lois.....	40

## Chapitre IV : Construction des IDF et analyse du risque

<b>Figure IV.1</b> : Courbes IDF pour la station 160701 (BV : Tafna).....	44
<b>Figure IV.2</b> : Courbes IDF pour la station 111506 (BV : Macta).....	44
<b>Figure IV.3</b> : Courbes IDF pour la station 81402 (BV : Hauts plateaux Oranais).....	45
<b>Figure IV.4</b> : Courbes IDF pour la station 40205 (BV : Côtiers Oranais).....	45
<b>Figure IV.5</b> : Courbes IDF pour la station 12809 (BV : Cheliff).....	46
<b>Figure IV.6</b> : Courbes IDF pour la station 12108 (BV : Cheliff).....	46

# Liste des tableaux

## Chapitre I : Recherche bibliographique

<b>Tableau I.1:</b> Capacité de dommage d'une crue en fonction de la hauteur de submersion d'après l'OFEG .....	06
<b>Tableau I.2:</b> relation entre période de retour T (en années), probabilité de dépassement $p = 1 / T$ , de non dépassement $P' = 1 - P$ .....	07

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

<b>Tableau II.1 :</b> présentation de quelques stations d'étude .....	26
-----------------------------------------------------------------------	----

## Chapitre III : Etude fréquentielle

<b>Tableau III.1 :</b> Critères de comparaison des lois statistiques .....	40
<b>Tableau III.2:</b> Caractéristiques de la série.....	41
<b>Tableau III.3:</b> Les intensités maximales des différentes fréquences .....	41

## Chapitre IV : Construction des IDF et analyse du risque

<b>Tableau IV.1 :</b> Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 160701).....	44
<b>Tableau IV.2 :</b> Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 110305).....	44
<b>Tableau IV.3 :</b> Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 81402).....	45
<b>Tableau IV.4 :</b> Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 40205).....	45
<b>Tableau IV.5 :</b> Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 40205).....	46
<b>Tableau IV.6 :</b> Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 12108).....	46
<b>Tableau IV.7 :</b> Exposants climatique des stations .....	47
<b>Tableau IV.8 :</b> Rapports de durée de bassin La Tafna (ST : 160701) .....	48
<b>Tableau IV.9 :</b> Rapports des 05 stations des bassins différentes (T = 2 ans) .....	48

## **Listes des Annexes**

**Annexe N° 01** : Présentation des stations d'étude.

**Annexe N° 02**: Quelques courbes Intensité-Durée-Fréquence des stations étudiées.

**Annexe N° 03** : Comparaison des intensités suivant le rapport de durée.

**Annexe N° 04** : Comparaison des rapports d'intensités suivant la période de retour

**INTRODUCTION GENERALE**

# Introduction générale

---

Suite à l'évolution des changements climatiques, les tempêtes, les inondations et la sécheresse sont plus fréquentes. Tout arrive plus tôt ou plus tard : le printemps, l'éclosion des fleurs, le retour des oiseaux migrateurs ...etc. Tous ces signes traduisent l'accélération d'un changement climatique, appelé aussi réchauffement global ou planétaire. Ce dernier est devenu un problème qui occupe le monde actuel et qui inquiète les hydrologues et les climatologues qui craignent des conséquences désastreuses sur la vie de l'être humain et l'environnement.

En Algérie, les inondations sont devenues de plus en plus complexes à gérer. En effet, la construction de nombreux ouvrages et aménagements, de même que l'installation de résidences permanentes sur les rives des cours d'eau, ont eu pour conséquence d'augmenter, ou du moins modifier, le risque face aux crues exceptionnelles. De plus, l'absence ou la mauvaise transmission vers les intervenants des connaissances sur l'hydrologie fluviale a eu pour conséquence le manque ou l'absence de règlements régissant la construction dans les zones inondables. Ceci a permis à de nombreux citoyens de s'installer en permanence sur les plaines inondables et d'obtenir des droits acquis face aux lois et règlements subséquents (Leclerc, 2000).

L'objectif de cette étude est de connaître l'intensité pluviale pour la gestion des eaux des bassins versants, afin de contrôler les risques d'inondations à l'issue des pluies de fortes intensités, donc on s'intéresse à caractériser l'aléa pluvial à travers la modélisation des courbes IDF, qui représente un outil important dans la planification, la gestion et la prévention des risques pluvial.

La méthodologie adoptée doit permettre de traiter ce phénomène mis en jeu. Ainsi l'analyse fréquentielle sert à déterminer les quantiles par l'ajustement d'une loi statistique. L'établissement des courbes IDF permettant de tracer une famille de courbes dont chacune représente une certaine fréquence d'occurrence ou une certaine période de retour exprimée en années, pour déterminer l'exposant climatique qui a une relation directe avec la variation de la pluviométrie.



# Introduction générale

---

Une partie de la région Nord-Ouest Algérien est prise comme champ d'application de cette étude, elle est classée dans un climat méditerranéen avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La pluviométrie annuelle qui ne dépasse guère 400 mm pour cette partie de l'ouest.

Afin de mieux comprendre l'irrégularité des précipitations, la démarche suivante est adoptée :

- une recherche bibliographique pour mieux apprécier les notions de base des courbes IDF.
- une présentation de la zone d'étude ; le relief et le climat.
- une étude fréquentielle qui permette de déterminer les quantiles par l'ajustement à une loi statistique, en utilisant le logiciel HYFRAN-PLUS.
- modélisation des courbes IDF, et la discussion des résultats obtenus.

# CHAPITRE I- RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

## I- Recherche bibliographique

### Introduction

Les courbes IDF sont à la base de tout modèle «pluie-débit» entrant dans les études d'inondations, donc leur élaboration présente un outil de première importance dans la planification, la gestion et la prévention du risque pluvial. Celles-ci revêtent un aspect important dans le contexte algérien. Ces événements extrêmes ne peuvent être connus, qu'à travers la connaissance des paramètres qui les régissent.

### I.1 Généralités

Les sciences hydrologiques, à l'instar des autres sciences naturelles, sont très complexes. Ceci est dû non seulement à la multitude des phénomènes à identifier et à comprendre, mais encore et surtout au fait que ceux-ci ne se répètent jamais de la même manière (Meylan et al, 1999). Il traite des problèmes qualitatifs et quantitatifs qui se ramènent généralement à des prévisions (associer à une date une certaine grandeur) ou des prédéterminations (associer à une grandeur une certaine probabilité) de débits ou de volume en un point ou sur une surface (J.P. LABORDE, 2000).

#### I.1.1 Prévision hydrologique

Une des principales vocations dans de nombreux pays est de fournir des prévisions et de signaler les événements extrêmes, principalement les risques d'inondations, de sécheresses, de tornades et d'avalanches.

Pour ce qui est de la prévision, les informations doivent en premier lieu être disponibles de façon fiable et claire dans des délais suffisamment courts pour que les décisions appropriées puissent être prises rapidement et en toute certitude.

Une prévision hydrologique consiste à faire l'estimation préalable de l'état futur d'une caractéristique hydrologique. Le besoin de telles prévisions croît avec l'expansion économique d'un pays et l'utilisation de ses ressources en eau.

Les méthodes de prévision vont de l'utilisation de formules empiriques simples ou de corrélations à celle de modèles mathématiques complexes simulant toutes les phases du bilan hydrologique d'un bassin. Les processus hydrologiques sont influencés par les facteurs météorologiques, mais les changements qu'ils provoquent dans le régime ne se manifestent

pas immédiatement. La durée du ruissellement causé par les précipitations dans un bassin relativement vaste, par exemple, est nettement supérieure à celle de la précipitation elle-même. De même, la fonte des neiges ne provoque pas immédiatement une augmentation brusque du débit, etc. Le rythme relativement lent du déroulement des processus hydrologiques et le fait qu'ils suivent avec un certain retard les processus météorologiques plus rapides, permettent de prévoir et de calculer à l'avance un certain nombre d'éléments importants du régime hydrologique (OMM, 1994).

### **I.1.2 le risque d'inondation**

Le risque d'inondation : la combinaison de la probabilité d'une inondation et des conséquences négatives potentielle pour la santé humain, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées à une inondation.

Ces inondations sont des catastrophes naturelles de premier plan entraînent de nombreux dégâts matériels. Les dommages provoqués par les crues et les inondations sont liés aux actions anthropiques sur le bassin versant comme, par exemple, des changements d'occupation du sol, la suppression de plaines inondables naturelles, l'endiguement des rivières, etc. Toutes ces actions sont susceptibles de changer la réponse hydrologique des bassins versants et donc l'aléa inondation. Améliorer la lutte contre ces phénomènes passe par trois axes la prévention, la prévision et la protection (F.Moussu, 2007).

### **I.1.3 L'utilisation de l'analyse fréquentielle en hydrologie**

Un grand nombre d'événements extrêmes en hydrologie ne peuvent être prévus de manière suffisamment juste assez longtemps d'avance pour que soient prises, en fonction d'une information déterministe, les décisions pertinentes liées à leur manifestation.

Dans de tels cas, une approche probabiliste doit être retenue pour permettre d'intégrer les effets de ces phénomènes lors de la prise de décisions. Si les événements peuvent être supposés indépendants les uns des autres dans le temps, c'est-à-dire que leur chronologie et leur ordre de grandeur ne sont pas reliés à des événements antérieurs, l'analyse fréquentielle peut être utilisée pour décrire la probabilité que se produise un événement, ou une combinaison d'événements, pendant l'intervalle visé par une décision. Les phénomènes hydrologiques couramment étudiés au moyen de l'analyse fréquentielle sont les précipitations et les crues annuelles maximales.

L'analyse fréquentielle peut être graphique ou mathématique. Dans l'approche graphique, les observations historiques de la variable en cause sont classées en ordre croissant ou décroissant, et un graphique montrant la grandeur des événements en fonction de leur fréquence de dépassement (ou de leur période de retour) est tracé.

Une courbe régulière est ensuite ajustée aux points tracés afin de décrire la probabilité que se reproduise un événement particulier. Des papiers spéciaux pour graphiques disponibles peuvent être utilisés pour tenter de représenter la courbe régulière sous forme d'une droite.

L'approche mathématique de l'analyse de fréquence repose sur l'adoption d'une description mathématique spécifique, appelée distribution de probabilités, pour définir l'équivalent de la courbe régulière utilisée dans l'approche graphique. Les paramètres de la distribution de probabilités sont définis sous forme de fonctions des statistiques dérivées des observations hydrologiques (OMM, 1994).

#### **I.1.4 Notion d'intensité**

L'intensité d'une crue est généralement caractérisée à travers un, deux, ou trois paramètres qui permettent de quantifier la capacité de dommage :

- Pour les crues, les paramètres importants sont : la hauteur de submersion (voir tableau **I.1**) et la vitesse/débit de l'eau. D'autres paramètres peuvent être des facteurs aggravants, mais ils ne sont pas souvent pris en considération : la charge sédimentaire (risque d'exhaussement du lit et d'obstruction des ponts, risque d'érosion des berges), transport de flottants, la contamination de l'eau par des polluants, etc.

- Pour les inondations, outre la hauteur de submersion, la durée de submersion peut être un critère important à considérer;

- En zonage d'avalanche ou de lave torrentielle, ce sont surtout la distance d'arrêt (ou plus généralement l'extension) et la poussée/pression d'impact qui servent à spécifier l'intensité de l'écoulement et ses conséquences potentielles.

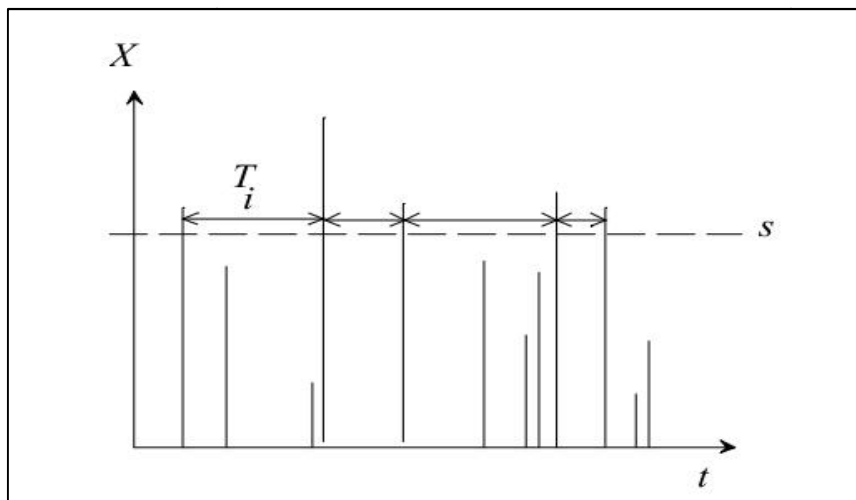
D'une façon générale, on postule qu'il existe une relation entre intensité  $I$  et période de retour  $T$  d'un phénomène hydrologique : plus le phénomène est rare ( $T$  grande), plus son intensité  $I(T)$  est potentiellement grande (Christophe Ancey, 2011).

**Tableau I.1:** Capacité de dommage d'une crue en fonction de la hauteur de submersion d'après l'OFEG (Loat et Petrascheck, 1997).

hauteur d'eau $h$ (m)	Potentiel de dommage
$h < 0,5$ m	peu de danger pour les personnes (adultes), caves inondées
$0,5 \leq h < 2$ m	des personnes non abritées peuvent être emportées ou se noyer, dommage au bâti
$h \geq 2$ m	la sécurité des personnes n'est plus assurée dans les bâtiments, ruine possible du bâti

### I.1.5 Notion de période de retour

On définit la période de retour  $T_s$  comme étant l'intervalle de temps moyen entre deux événements, dont l'intensité atteint ou dépasse un certain seuil «  $s$  » (voir figure I.2). Cela veut dire que sur un intervalle de temps  $T_s$ , il y a en moyenne un événement d'intensité supérieure ou égale à «  $s$  ».  $T_s$  est comptée dans une unité de temps arbitraire; en hydrologie c'est le plus souvent l'année (Defrance, 2009).



**Figure I.1 :** Notion de période de retour

On cherche à savoir la probabilité pour qu'un événement pluvieux (par exemple une hauteur, une durée ou intensité de pluie) soit atteinte ou dépassée.

Si par exemple on considère l'intensité de pluie  $i$ . Le temps de retour  $T$  d'un événement est l'inverse de la fréquence d'apparition de cet événement. Cette formule veut dire qu'en moyenne toutes les  $T$  années l'intensité de pluie  $i$  sera atteinte ou dépassée.

$$F(x_i) = 1 - \frac{1}{T} \dots\dots\dots (I.1)$$

$$T = \frac{1}{1-F(x_i)} \dots\dots\dots (I.2)$$

**T** : temps de retour

**i** : une variable aléatoire

**F (x<sub>i</sub>)** : la probabilité appelée fréquence de non dépassement :  $F(x_i) = P(i \leq x_i)$

**1 - F (x<sub>i</sub>)** : est la fréquence d'apparition (ou de dépassement) donnée par complément de F (x<sub>i</sub>) à l'unité.

La période de retour d'une pluie est le temps statistique qu'il faut attendre pour observer la pluie telle que définie ; c'est-à-dire sur sa hauteur de précipitation, son intensité, sa durée.

L'avantage de la période de retour est de rendre plus « parlante » la notion de probabilité d'occurrence. Les phénomènes extrêmes sont en effet associés à des probabilités d'occurrence très petites et pour le commun des mortels, il y a peu de différence entre 0,01 et 0,001, alors qu'en termes de probabilité des phénomènes extrêmes, c'est une différence colossale. Le tableau 4.1 donne les correspondances entre périodes de retour et probabilité de dépassement et non-dépassement (Christophe Ancey, 2011).

**Tableau I.2:** relation entre période de retour T (en années), probabilité de dépassement

$p = 1 / T$ , de non dépassement  $P' = 1 - P$

<b>T (ans)</b>	<b>P</b>	<b>P'</b>
1	1	0
10	0.1	0.9
100	0.01	0.99
1000	0.001	0.999

### I.1.6 Notion d'averses

On désigne en général par "averse" un ensemble de pluies associé à une perturbation météorologique bien définie. La durée d'une averse peut donc varier de quelques minutes à une centaine d'heures et intéresser une superficie allant de quelques kilomètres carrés (orages) à quelques milliers (pluies cycloniques). On définit finalement une averse comme un épisode

pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité (André Musy et Christophe Higy, 1998).

## I.2 Qu'est-ce qu'une courbe IDF ?

Il est bien connu que l'intensité (le I d'IDF) de la pluie est très variable. Aux profanes cette variabilité peut sembler totalement aléatoire. Pour celui qui s'y intéresse d'un peu plus près, même s'il n'est pas météorologue, il apparaît toutefois qu'il y a certaines « règles » observables qui régissent le phénomène : le chaos n'est pas total !

De l'observation on déduit que, « en moyenne », plus la durée analysée (le D d'IDF) 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).

Cette tendance à l'augmentation de l'intensité lorsque la durée diminue, ou inversement à la diminution de l'intensité lorsque la durée augmente, n'est toutefois qu'une moyenne.

Finalement, pour mieux caractériser le phénomène on associe à chaque événement une 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 x années. On parle de fréquence d'apparition. Ainsi donc, par l'observation soignée 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 (Duban, 2000).

Donc Les courbes IDF mettent la relation entre les intensités, la durée et la fréquence d'apparition des pluies qui sont liées par deux lois générales de pluviosité.

- Pour une même fréquence d'apparition (donc un même temps de retour) l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte.
- A durée de pluie égale, 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 faite exprimée par la notion de temps de retour (Duban, 2000).

**I.3 Pour quoi les courbes IDF ?**

Les courbes IDF servent à calculer l'intensité des pluies pour différentes périodes de retour, cette intensité sera introduite dans la relation de la méthode rationnelle

$$Q = \alpha \times C \times I \times A \dots\dots\dots(I.3)$$

- C: coefficient de ruissellement,
- I : intensité
- A : superficie (Bertrand Krajewski et al, 2000).
- $\alpha$  : Coefficient de répartition de la pluie.

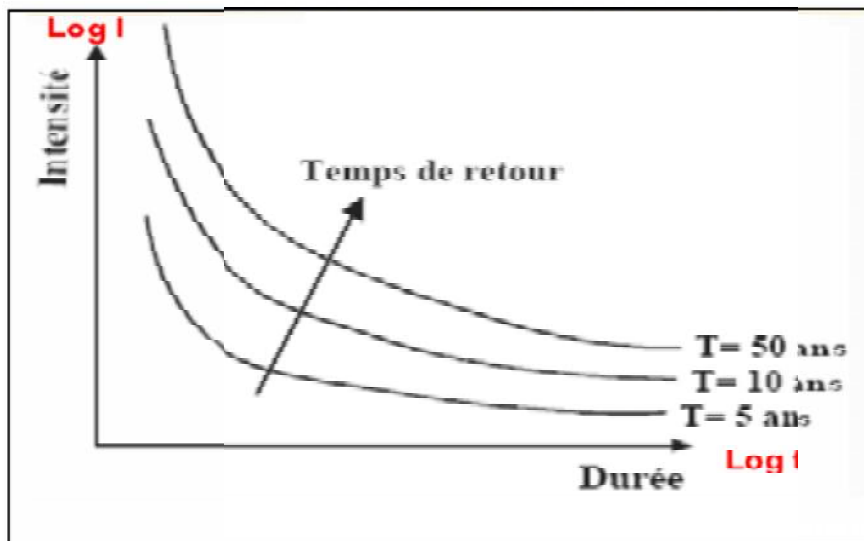


Figure I.2 : Représentation schématique des courbes IDF (Duban, 2000).

**I.4 Construction des courbes IDF**

Les courbes IDF sont établies sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station au cours d'une longue période. Les courbes obtenues peuvent donc être construites de manière analytique ou statistique (Laborde, 2000).

**a-Représentation analytique**

Différentes formules sont proposées pour représenter l'intensité critique d'une pluie en fonction de sa durée. La forme la plus générale (avec T variable) est la suivante :

$$I=k.T^a/(t+c)^b \dots\dots\dots(I.4)$$

Différentes formules sont proposées pour représenter l'intensité critique d'une pluie en fonction de sa durée. La forme la plus générale (avec T variable) est la suivante :

$$I=k.T^a/(t+c)^b \dots\dots\dots (I.4)$$

- i** : intensité totale [mm/h], [mm/min] ou intensité spécifique [l/s.ha],
- T** : période de retour en années,
- t** : durée de référence [h] ou [min],
- k, a, b, c** : paramètres d'ajustement.

- Formule de Talbot

$$i = \frac{a}{k+t} \dots\dots\dots (I.5)$$

- Formule de Montana

$$i= a / t^a \dots\dots\dots (I.6)$$

Avec :

- i**: intensité maximale de la pluie [mm/h].
- t**: durée de la pluie [minutes ou heures].
- T**; intervalle de récurrence (ou temps de retour) [années].
- a, b**: constantes locales.

**b-Présentation statistique (méthode probabiliste)**

Les courbes IDF sont établies sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station au cours d'une longue période. L'analyse fréquentielle peut s'appliquer si on ne présuppose pas une loi connue (de type Montana, etc.) et si on s'intéresse à des événements rares, donc extrêmes. Les données recueillies sont alors ajustées, à un pas de temps choisi, à une loi statistique qui doit décrire relativement bien la répartition des extrêmes.

**I.5 Utilisation des courbes IDF**

Les courbes IDF ne sont pas une fin en soi, mais sont construites dans un but bien précis. Elles permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique au droit d'une station donnée et, d'autre part de calculer succinctement des débits de projet et d'estimer des débits de

crue ainsi que de déterminer des pluies de projet utilisées en modélisation hydrologique. (Chocat et al, 1997).

### I. 6 Etablissement des courbes IDF

La méthodologie d'établissement des courbes IDF est constituée de trois étapes :

- Première étape : Une distribution de probabilité est ajustée à chaque échantillon de chaque durée.
- Deuxième étape : On détermine les quantiles correspondant à plusieurs périodes de retour spécifiées, en utilisant la distribution ajustée
- Dernière étape : On modélise les courbes IDF en ajustant une équation empirique sur les quantiles estimés pour chaque période de retour au moyen des régressions non linéaires (F. Zobiri, 2012).

### I.7 Méthodes d'estimation des quantiles des événements intenses

La caractérisation des événements intenses s'effectue généralement selon deux approches:

L'approche des séries maximales annuelles (SMA) et celle des séries des durées partielles (SDP). La première utilise les séries des valeurs maximales enregistrées pendant une durée donnée (par exemple 1 h, 2 h, etc.) sur une période donnée (généralement l'année mais possiblement aussi une partie de l'année). Des procédures robustes ont été mises au point et ont été largement utilisées pour produire des courbes IDF à partir des séries hydrométéorologiques (Hosking et al, 1985).

La distribution généralisée des valeurs extrêmes (Generalized Extreme Value; GEV) est utilisée pour modéliser les SMA (la notation utilisée pour les paramètres des différentes distributions est similaire à celle de Hosking & Wallis, 1997). La fonction cumulative de la distribution GEV s'écrit:

$$F(x) = \exp\left\{-\left|1 - \frac{k(x-\varepsilon)}{\alpha}\right|^{\frac{1}{k}}\right\} \text{ pour } k \neq 0 \quad \dots\dots\dots (I.7)$$

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left|-\frac{x-\varepsilon}{\alpha}\right|\right\} \text{ pour } k = 0 \quad \dots\dots\dots (I.8)$$

Avec

- $x$  : le paramètre de position ( $-\infty < x < +\infty$ ),
- $a$  : le paramètre d'échelle ( $a > 0$ ) et
- $k$  : le paramètre de forme ( $-\infty < k < +\infty$ ).

Le domaine de définition de la GEV est donné par  $(x + a/k) \leq x < \infty$  pour  $k < 0$ ,  $-\infty < x < +\infty$  pour  $k = 0$  et  $-\infty < x \leq (x + a/k)$  pour  $k > 0$ .

L'approche des SDP consiste, pour sa part, à sélectionner les données supérieures à un seuil déterminé. Cette approche est nettement moins répandue que l'approche des SMA.

### I.8 généralisation des courbes IDF

Bell (1969) et Chen (1983) ont proposé la généralisation des courbes IDF en utilisant l'équation suivante :

$$\frac{I_{d'}^T}{I_{d'}^{T'}} = f_1(T) f_2(d) \quad \dots\dots\dots (I.9)$$

Où :

- $T$  : est la période de retour (en années)
- $D$  : la durée de précipitation
- $T'$  : est une constante de période de retour utilisée comme base de calcul (en années)
- $d'$  : est une constante de durée de précipitation utilisée comme base de calcul (en heures)
- $I_{d'}^T$  est l'intensité pluviale recherchée suivant une durée  $d$  et une période de retour  $T$
- $I_{d'}^{T'}$  est la constante de l'intensité pluviale utilisée comme base de calcul suivant une durée de base  $[d]$  et une période de retour de base  $[T]$  (en mm/heure)
- $f_1(T)$  : est une fonction qui dépend de la période de retour «  $T$  ».
- $f_2(d)$  : est une fonction liée à la durée de pluie «  $d$  » est dépend du modèle utilisé pour l'établissement des courbes IDF d'une zone d'études (Le Minh Nhat, 2006).

### I.9 Synthèse des travaux sur les IDF

L'établissement des courbes intensité-durée-fréquence date de 1928 (Meyer, 1928).

Après, Sherman (1931) a développé une formule empirique applicable au calcul de l'intensité pluviale sous la forme :

$$I = \frac{K T^a}{(t+c)^b} \dots\dots\dots(I.10)$$

Où, t est la durée en minutes, T est la période de retour, K, a, b, et c sont des constantes selon la situation géographique.

Cette forme d'équation est la plus commune pour l'élaboration des courbes IDF qui reste toujours applicable et largement utilisée.

- Bernard (1932) a rendu disponible pour n'importe quelle localité dans les limites de l'étude la formules d'intensité des précipitations pour des fréquences de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans, applicables pour une durée de précipitation de 120 min à 6000 min sous la forme :

$$I_t^T = \frac{a_0 \times T^{a_1}}{T^{a_2}} \dots\dots\dots(I.11)$$

Où :  $I_t^T$  est l'intensité pluviale suivant une durée t et une période de retour T

$a_0$ ,  $a_1$  et  $a_2$  sont des constantes qui dépendent de la situation géographique de la zone d'étude.

- Bilham (1935) a édité son article bien connu sur les courbes IDF pour U.K et les fréquences ont été calculées à partir de la formule suivante :

$$n = 1.214 \times 10^5 \times t \times (R + 2.54)^{-3.55} \dots\dots\dots(I.12)$$

Où :  $R$  est la hauteur des précipitations en millimètre, n est le numéro des occurrences en 10 ans et t est la durée de pluie en heures.

- Yarnall (1935) a présenté de telles données sous forme de cartes d'une région avec des courbes isohyètes indiquant la hauteur totale des précipitations qui peut être prévue dans un moment « t », et suivant une fréquence d'une fois en N-années pour les Etats-Unis.

Depuis les années 60, la régionalisation des courbes IDF a été étudiée dans plusieurs pays, et des cartes ont été construites pour fournir les intensités ou les cumuls de précipitations pour différentes fréquences et durées. Ces études ont été la plupart du temps estimés par l'analyse statistique des précipitations pour différentes durées. Les courbes IDF ont suscité l'attention considérable en hydrologie de technologie pendant les décennies passées. Des approches basées sur l'analyse statistique des données ont été développées.

- Hershfield (1961) a développé diverses cartes de précipitations pour fournir les hauteurs de pluie pour différentes périodes de retour et durées.

- En 1967, Holland a modifié Le travail de Bilham (1935), où il a montré que l'équation de Bilham surestime les probabilités des précipitations de forte intensité (> 35 mm/h)

- Bell (1969) a développé pour les Etats-Unis une formule généralisée caractérisant les courbes intensité-durée-fréquence comme suit :

$$R_t^T = [0,21 \times \text{Ln } T + 0,52] [0,54 \times t^{0,25} - 0,50] \times R_1^{10} \dots\dots\dots(I.13)$$

Pour  $2 \leq T$  (en années)  $\leq 100$  et  $5 \leq t(\text{min}) \leq 100$

- Baghirathan et Shaw (1978) ont effectué des études de hauteur-durée-fréquence de précipitations pour le Sri Lanka.

- En 1979, Raudkivi a présenté une formule régionale des courbes IDF pour la nouvelle Zélande .

Tous ces auteurs ont employé l'équation de Bell dans leurs études.

- Steel et McGhee (1979) ont donné la formule empirique pour les Etats-Unis suivant une durée moins de 2 heures et pour toute fréquence donnée comme suit :

$$I = \frac{A}{t+B} \dots\dots\dots(I.14)$$

Où I : est l'intensité pluviale des précipitations (inches/h)

t : est la durée d'agrégation de pluie (min)

A et B : Constantes dépendant de la fréquence et des conditions climatiques.

- Neimczynowicz (1982) a employé la distribution de Pearson III avec la méthode des moments pour la régionalisation des courbes IDF suivant des pluies de courte durée à Lund, Suède.

- Chen (1983) a développé une méthode simple pour dériver des précipitations à partir de la formule généralisées des courbes intensité-durée-fréquence pour tout endroit aux Etats-Unis sur la base de trois durées et trois périodes de retour (  $P_1^{10}$  ;  $P_{24}^{10}$  ;  $P_1^{100}$  ) qui décrivent la variation géographique des précipitations en utilisant trois cartes iso-pluviales.

$$I_t^T = \frac{a \times I_1^{10} \times \text{Log}(1 - c^{-x} \times T^{x-1})}{(t+b)^c} \dots\dots\dots(I.15)$$

Où,  $I_t^T$  est l'intensité des précipitations en inches/heure suivant une durée t (min) et une période de retour T (en années)

x est le rapport des fréquences ( $R_t^{100}/R_t^{10}$ ) a, b et c sont des paramètres d'orage dépendant du rapport régional ( $R_t^{100}/R_t^{10}$ )

Chen a montré aussi que les précipitations de d=1 heure et T=10ans utilisés dans l'équation de Bell (1969) ne peuvent pas mesurer les variations géographiques des précipitations

- Rao et al (1983) a obtenu la relation entre les précipitations de courte durée et celles de 24 heures comme suit :

$$I(t) = a + bR_{24} + cR_{24}^2 \dots\dots\dots (I.16)$$

Où : a, b et c des constantes

- Gert et al, (1987) ont obtenu la formule de l'intensité pluviale suivante pour la Pennsylvanie aux Etats-Unis

$$I(t) = (1 + 0,42\text{Log}^t 24) \times R_{24} \dots\dots\dots (I.17)$$

Où, I (t) est l'intensité pluviale pour une durée « t » en heures

R24 est la quantité de précipitations sur 24 heures

- Suivant (Chow et al, 1988), quatre formes de base d'équations sont employées pour décrire l'intensité pluviale en fonction de la durée d'agrégation de pluie t de la période de retour :

Modèle de Talbo :  $I = \frac{a}{c+b} \dots\dots\dots (I.18)$

Modèle de Bernard (appelé aussi modèle de Montana) :  $I = \frac{a}{c^t b} \dots\dots\dots (I.19)$

Modèle de Kimijima (appelé aussi modèle de Kheifer Chu) :  $I = \frac{a}{c^t + c} \dots\dots\dots (I.20)$

Modèle de scherman (appelé aussi modèle de Talbo amélioré) :  $I = \frac{a}{(c+c)^b} \dots\dots\dots (I.21)$

- Mc Cuen (1989) a donné la représentation mathématique des courbes IDF pour les utiliser dans la conception hydrologique au Baltimore "Maryland" qui s'écrit sous la forme:

$$I = \frac{A}{t+b} \text{ pour } t \leq 2 \text{ heures } \dots\dots\dots (I.22)$$

$$I = c \times t^b \text{ pour } t > 2 \text{ heures} \dots \dots \dots (I.23)$$

Où I est intensité en inches/heure, t = durée en heures et a, b, c et d sont des coefficients qui varient avec la fréquence

- Ferreri et Ferro (1990) ont vérifié l'applicabilité de l'équation de Bell pour la Sicile et la Sardaigne dans le méditerranéen.

La comparaison entre les différentes formules de courbes IDF établies par Chow (1964), Raudkivi (1979), Chen (1983), Gert et al (1987), indique que les valeurs des exposants des variables « t » et « T » dans l'équation de Bernard ne varient pas beaucoup d'un endroit à l'autre pour des précipitations de courte durée. L'exposant « T » varie entre 0.18 et 0.26. Pour « t » l'exposant varie de 0.7 à 0.85.

- En outre, Koutsoyiannis (1994 ; 1996 ; 1998) a proposé une nouvelle approche qui est l'origine de la formulation et construction des courbes d'intensité-durée-fréquence en utilisant des données des stations d'enregistrement et de non-enregistrement. Plus particulièrement, il a discuté une formule rigoureuse générale pour le rapport d'Intensité-Durée-Fréquence dont les formes spécifiques avaient été explicitement dérivées de la fonction de répartition fondamentale de probabilité des intensités maximales. Et elle a également proposé deux méthodes pour une évaluation fiable des paramètres de courbes IDF. En conclusion, il a discuté le cas de la régionalisation des courbes IDF en incorporant également des données des stations de non-enregistrement.

$$i = \frac{W}{(c^v + \eta)} \dots \dots \dots (I.24)$$

Où,  $\omega$ , et  $\eta$  sont des coefficients non négatifs dont :  $(v, \eta) \geq 1$ .

- Basé sur l'approche de la série des durées partielles (PDS) Madsen et al (1998) ont proposé une estimation régionale de précipitation extrême à partir d'un réseau de pluviomètres de haute résolution au Danemark. Pour une évaluation préliminaire de l'homogénéité régionale et l'identification d'une analyse régionale appropriée, la méthode des L-moments a été appliquée. Pour analyser la variabilité régionale avec plus de détails, ils ont effectué une régression non linéaire basée sur la méthode des moindres carrés qui rapporte les paramètres du modèle des séries de durées partielles à des caractéristiques climatiques et à physiographiques. Une distribution régionale de Pareto a été identifiée comme distribution généralisée de Pareto.



- Plus récemment, Sivapalan et Bloeschl (1998) ont proposé une méthode de construction des courbes IDF basées sur la structure spatiale de corrélation des précipitations.
- Yu et Cheng (1998) ont formulé un modèle régional généralisé des courbes IDF sur la base des séries de maximums annuelles des précipitations pour Taiwan méridional.
- Naghettini (2000) a étudié les propriétés de l'invariance d'échelle de temps des précipitations appliquée aux courbes d'intensité-durée-fréquence pour les précipitations de courte-durée du sud-est du Brésil suivant une étude statistique.
- Trefry et al (2000) a appliqué la méthode des moments ou la méthode du maximum de vraisemblance pour adapter une distribution de probabilité appropriée au maximums annuels ou des données de séries de durées partielles pour chaque mesure relative aux courbes IDF du Michigan afin d'arriver à une meilleure estimation pour l'emplacement de ces courbes. De plus, des cartes iso-pluviales ont été développées à partir de ces dernières suivant des procédures d'interpolation.
- Davis et Naghettini (2000) ont visé à estimer les courbes IDF régionales sur la base des séries de durée partielles pour l'état brésilien de Rio De Janeiro, tandis que, l'application des L-Moments ont amélioré le paramètre et le quantile d'évaluation des intensités des précipitations extrêmes pour cette étude.
- Plus récemment, Garcia-Bartual et Schneider (2001) ont employé la distribution statistique et ont trouvé que la distribution des valeurs extrêmes (GEV) de Gumbel s'adapte bien aux données.
- Yu et al (2004) a développé des formules régionales (IDF) d'Intensité-Durée-Fréquence pour des emplacements de non-enregistrement de Taiwan "nord" basés sur la théorie d'échelle sur la base des séries de maximums de précipitations pour différentes durées.
- Mohymont et al (2004) a évalué des courbes intensité-durée-fréquence des précipitations pour trois stations en Afrique centrale et a proposé les modèles plus physiquement basés pour l'établissement de ces courbes.
- Maurino (2004) a comparé la formule d'intensité-durée-fréquence généralisée de précipitations proposée par Bell 1969 avec les résultats obtenus à partir des données enregistrés dans différentes régions climatiques de l'Argentine.

- Amin et Shaaban (2004) ont employé la distribution GEV et Gumbel avec la méthode des moindres carrées pour l'évaluation de la formule régionalisée des courbes IDF pour la Malaisie
- Hadadin (2005) a construit la courbe IDF pour le bassin de Mujib - Jordon où il a comparé avec la distribution de Gumbel les résultats par rapport à ceux établis par l'autorité d'eaux de Jordon.
- Trefry et al (2005) a appliqué une approche régionale d'analyse de fréquence basée sur les L-moments pour effectuer des plans de gestion de précipitation exceptionnelle pour l'état du Michigan, une distribution généralisée de Pareto s'est adaptée aux données de séries de durées partielles (PDS), et une distribution généralisée de valeur extrême s'est adaptée aux données maximum annuelles (AMS) de série.
- Ghahraman et Hosseini (2005) ont effectué une étude pour examiner la performance du modèle des courbes IDF pour trois stations synoptiques en Iran.
- Nhat et al (2006) ont construit des courbes IDF pour la région de mousson du Vietnam et ont proposé une formule généralisée utilisant la hauteur des précipitations, et la période de retour de référence pour le delta de fleuve rouge (RRD) du Vietnam.
- Regalado et Yuste (2006) ont proposé une régionalisation de « intra-station » ou régionalisation dans la même station pour l'Espagne. En plus de ceci, ils incorporent l'application de SIG (système d'information géographique) pour améliorer ce rapport appelé le MAXIN.
- Di Baldassarre et al (2006) a examiné les possibilités de sept modèles de courbes différentes de Hauteur-durée-fréquence caractérisées par deux ou trois paramètres pour fournir une évaluation des précipitations de conception pour des durées d'orage plus inférieures à 1 heure, quand leurs paramètres sont calculés sur la base de longues séries de données pluviométriques.
- Raiford et al (2007) a mis à jour les courbes existantes d'intensité-durée-fréquence pour les stations de non enregistrement de la Caroline du Sud, de la Caroline du Nord, et de la Géorgie. La méthode des L-moment a été employée pour rechercher des régions homogènes dans le secteur d'étude.
- Salas et al (2007) a effectué des études de régionalisation des courbes IDF pour l'Espagne

- Karahan et al (2007) a estimé les paramètres de la formule caractérisant les courbes IDF en se basant sur le principe mathématique présenté par Koutsoyiannis et al (1998) utilisant l'approche génétique d'algorithme. Singh et Zhang (2007) ont dérivé des courbes (IDF) d'intensité-durée-fréquence suivant l'analyse fréquentielle à deux variables par la méthode de copule.
- Minh Nhat et al (2007) a développé une étude régionale des courbes IDF pour des stations de non-enregistrement basés sur la théorie d'échelle (Minh Nhat, Y.Tachikawa, T.Sayama, K.Takara, 2006; Dr : NK. Goel & Shibayan Sarkar, 2007 ; B. Mohymont, G. R. Demarée, and D. N. Faka, 2004) (F. ZOBIRI, 2011).
- Les travaux de Ben Zvi (2009) concernant l'établissement des courbes intensité-durée-fréquence basées sur les séries des durées partielles (SPD) pour la région d'Israël et qui sont dérivés de la série de maximum d'événement (SME) (K. BERDANE, 2015).
- Boukhelifa & al (2011), réalisant un travail s'inscrit dans la problématique de la modélisation de la transformation pluie-débit en milieu urbain, la ville de Tipaza a été retenue comme champ d'application de cette étude (K. BERDANE, 2015).
- . Khalfi & al (2013), ont testé différentes méthodes pour la construction des courbes IDF, Il s'agit de la méthode classique, du modèle global de Koutsoyiannis et de la méthode marginale(K. BERDANE, 2015).

## Conclusion

Le problème de protection contre les inondations ne possède pas de solution unique, car se sont les conditions locales qui commandent. Donc la réalisation de telle prévention nécessite la modélisation de ce phénomène pluviométrique en utilisant les courbes IDF, dans les chapitres suivants nous présentons la méthodologie et l'application de cette modélisation pour quelque bassin versant en Algérie.

## CHAPITRE II- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

## II- Présentation de la zone d'étude

### Introduction

Ce chapitre est consacré à la connaissance de la région d'étude qui s'avère nécessaire pour toute tentative d'analyse, afin de prévoir le risque pluvial.

### II.1 Situation géographique

L'Algérie comprend trois grands ensembles géographiques: le Tell au Nord, les hauts plateaux et l'Atlas saharien au centre, et le Sahara au Sud, dans cette étude on s'intéresse aux deux premiers ensembles pour la partie Nord-Ouest (Figure II.1).

Notre zone d'étude englobe 05 bassins versants dans le Nord-Ouest : Cheliff (01), Côtiers Oranais (04), Hauts plateaux Oranais (08), La Macta (11) et la Tafna (16). (Figure II.2)

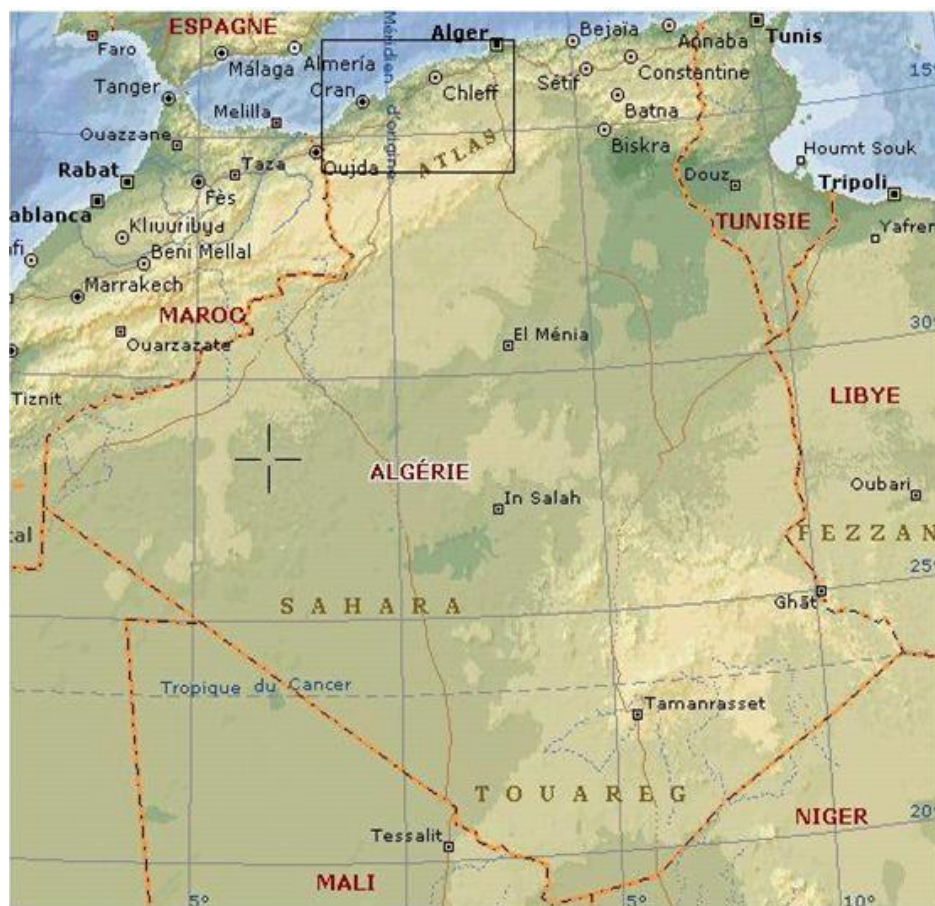


Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude (Source : Microsoft Encarta 2009)

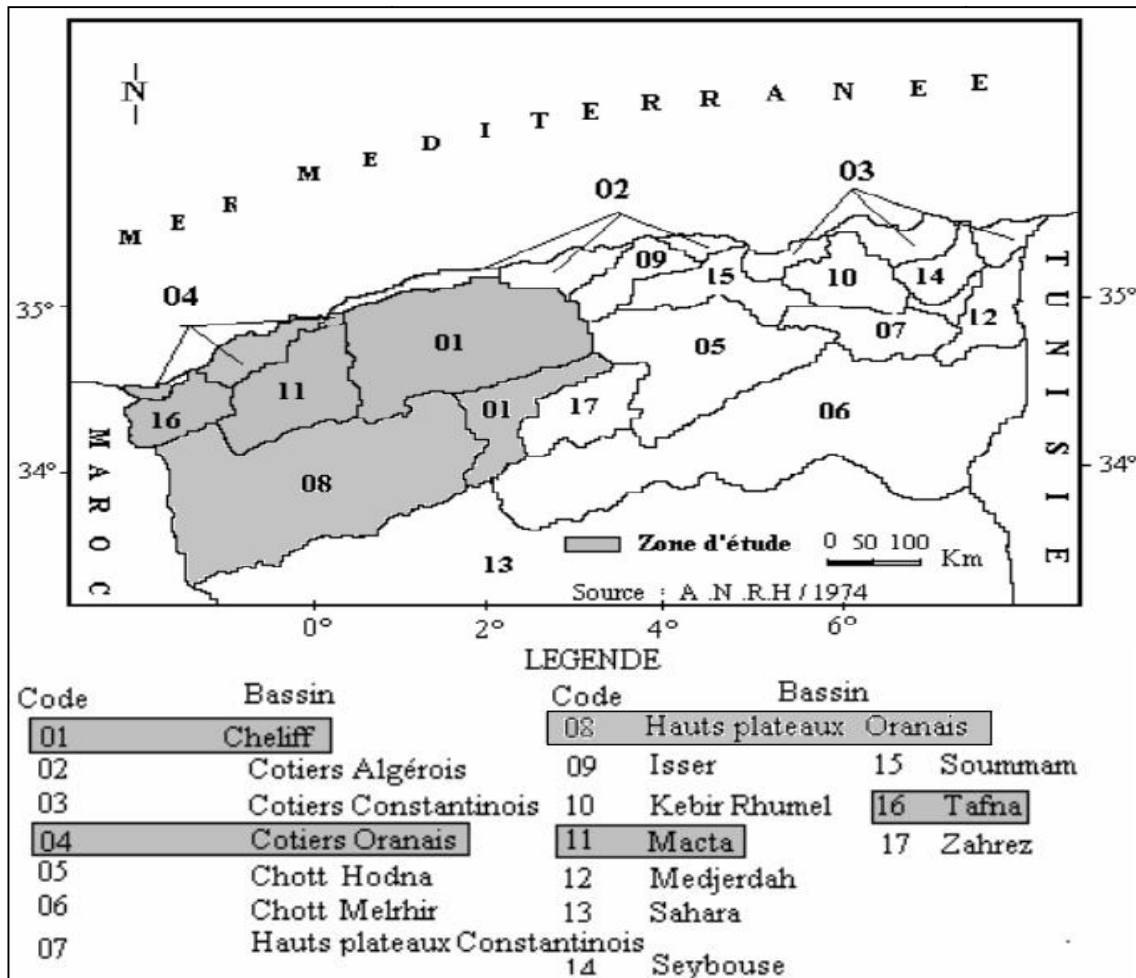


Figure II.2 : Les bassins étudiés selon le découpage de l'ANRH (A. Medejrab, 2011)

II.2 Relief

Les caractéristiques du relief permettent l'étude et l'interprétation de la variation des précipitations en fonction de l'altitude (gradient pluviométrique). Le cadre physique de la zone d'étude est caractérisé par l'hétérogénéité des grandes unités naturelles (Figure II.3). L'Algérie Nord-Ouest peut-être subdivisée en plusieurs ensembles orographiques différents (Figure II.4).

L'Atlas Tellien de l'Ouest est plus divisé et moins imposant que celui de l'Est du pays. Et les Hautes Plaines de l'Ouest sont caractérisées par une aridité plus accrue que celle de l'Est de l'Algérie. On peut subdivisée la région en cinq ensembles orographiques différents : les reliefs littoraux, Les plaines et les bassins intérieurs, Les montagnes et plateaux, Les plateaux telliens et Les hautes plaines (Medjrab, 2005).

Les collines d'Oran qui vont d'Ain-Temouchent au Massif d'Arzew en traversant le Djebel Murdjadjo forment ce qu'on appelle les reliefs littoraux où l'altitude varie de 300 à 650 m avec une orientation Sud-ouest à Nord-est (Medjrab, 2005). La discontinuité de ces reliefs littoraux a donné lieu, d'Est en Ouest, aux baies d'Arzew, d'Oran, de Mers El-Kébir et des Andalouses. A l'Est, on trouve les monts du Dahra. Ces derniers forment une dorsale entre la vallée du Cheliff et la mer Méditerranée. A l'Ouest, le Dahra est formé de collines de 300 à 600 mètres d'altitude. A l'Est, la région devient plus montagneuse et boisée, avec des altitudes dépassant les 1000 mètres (Djebel Bou-Maad avec 1415 m et Djebel Zaccar avec 1579 m (Medjrab, 2005). Le massif qui va des Traras à l'Ouarsenis (350 à 800 mètres) constitue un obstacle devant l'avancer des influences maritimes, leur disposition par rapport à la mer méditerranéenne varie de 20 à 70 Km. Les plaines de l'intérieure à savoir : plaine de Maghnia (400 mètres), de Sidi-Bel-Abbès (470 mètres) et de Ghriss (entre 400 et 600 mètres) sont situées aux piémonts des plateaux Telliens. On peut également distinguer les plaines de Mohammadia, et les plaines du Cheliff à l'Est (entre 60 et 150 mètres d'altitude) avec une longueur d'environ 190 km (Medjrab, 2005).

Les plateaux Telliens sont développés entre le haut bassin de la Mina et la frontière Marocaine, distante de 300 km. Ces plateaux (d'une hauteur qui varie de 900 à 1600 mètres) dominent les bassins intérieurs et s'inclinent vers les Hautes Steppes (Medjrab, 2005).

Les hautes plaines sont représentées par le plateau de Sersou qui est l'unique région Tellienne des Hautes Plaines situées dans notre région d'étude. Elle présente deux unités principales, la cuvette de Tissemsilt au Nord de l'oued Nahr-Ouassel, et le plateau du Sersou au Sud (Medjrab, 2005).

L'Atlas Saharien est considéré comme la limite naturelle entre le Nord et le Sud sur une distance de 700 km environ. Il est constitué par une série de montagnes discontinues, à l'Ouest on trouve djebels Ksour (1980 m), Amour (1683 m) et Ouled Naïl (1500 m) à l'Est on trouve djebel El aouess (2328 m).

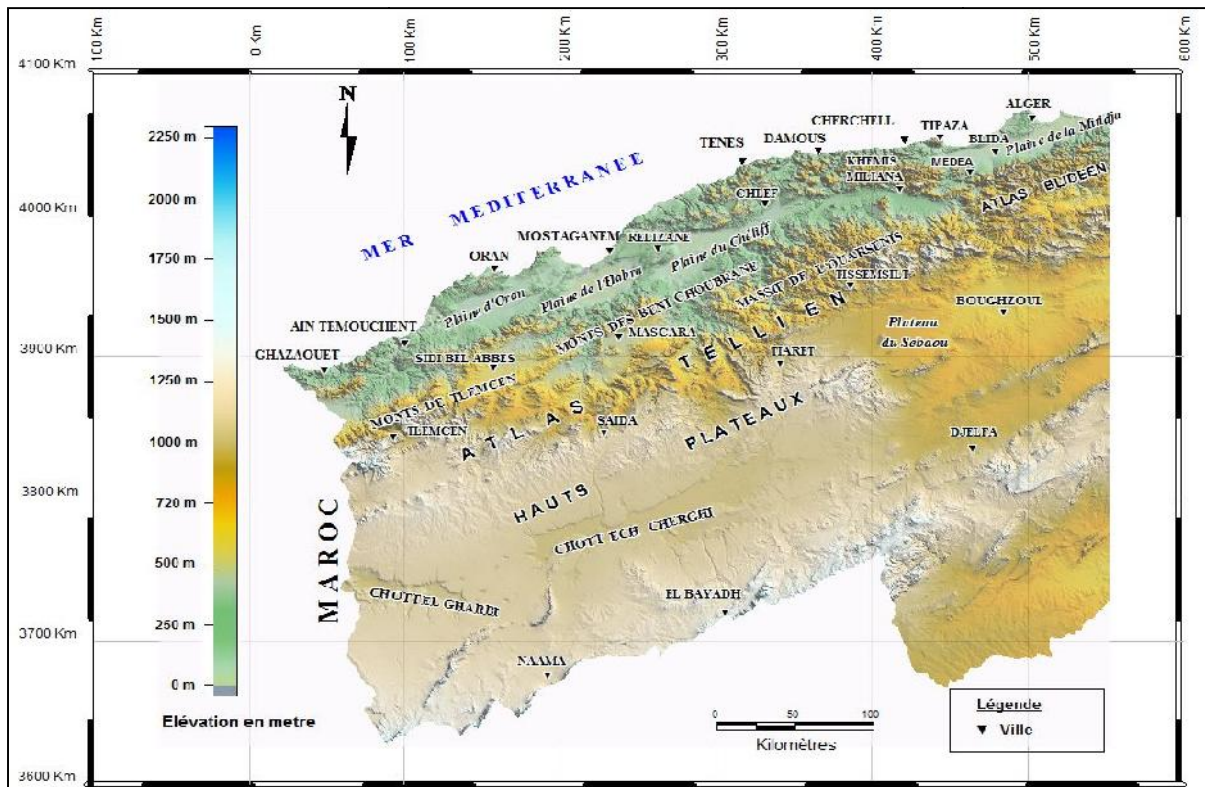


Figure II.3 : Relief de la région d'étude (H.MEDDI, 2001)

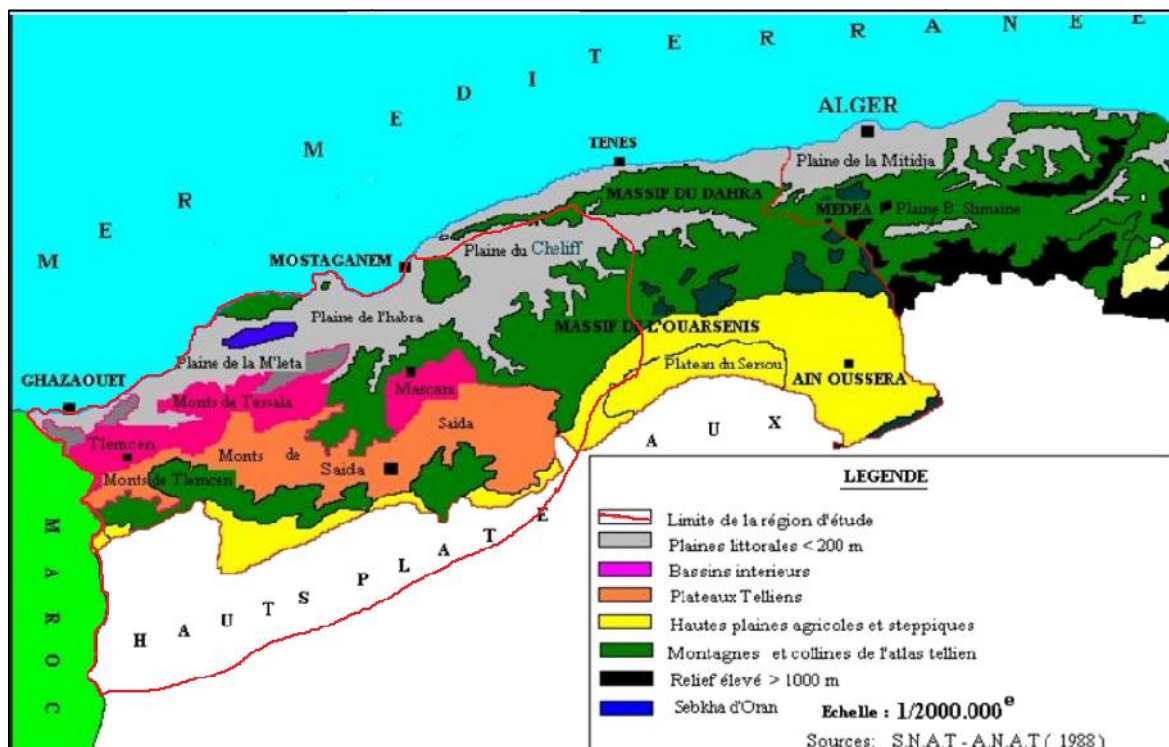


Figure II.4 : Les zones naturelles de la région d'étude (S.N.A.T, 1988).



### II.3 Le climat

L'Algérie s'étend du Nord (Mer Méditerranée) au Sud (Sahara) sur plus de 2 000 km en profondeur. Mais, les montagnes de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien divisent ce territoire en bandes orientées Est-Ouest : celle de la côte et de l'Atlas Tellien – celle des Hautes Plaines et de l'Atlas Saharien - celle du Sahara (Projet GEF/PNUD, 2009).

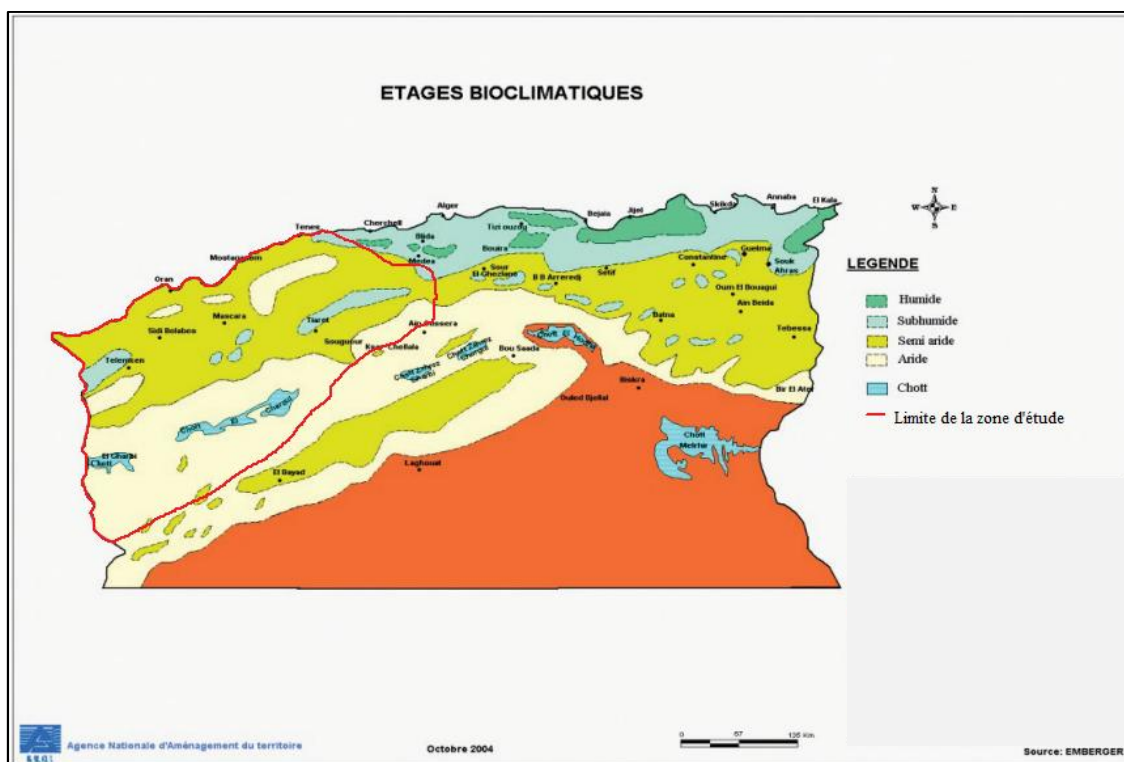
Chacune de ces bandes a un climat particulier, caractérisé surtout par la température et la pluviométrie. Les trois étages bioclimatiques qui constituent le climat méditerranéen (Figure II.5) de l'Algérie se distinguent par :

1. Un étage bioclimatique subhumide sur la côte et dans l'Atlas Tellien : les gelées sont très rares en hiver et les étés sont chauds. Il est caractérisé par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs, tempéré par des brises de mer ; les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1000 - 400 mm) et du Nord au Sud (1000 à moins de 130 mm). Dans cette zone, les températures moyennes minimales et maximales respectivement oscillent entre 5 et 15°C en hiver et de 25 à 35°C en été ; les vents humides venant de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. Ces pluies sont plus abondantes à l'Est qu'à l'Ouest ; cependant, l'influence du désert se fait sentir jusque sur la côte par l'action du «sirocco», vent sec et chaud, soufflant du Sud au Nord. Ce vent chargé de sable élève la température et dessèche la végétation.

2. un étage bioclimatique aride sur les Hautes Plaines et dans l'Atlas Saharien, avec des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an ; les pluies sont rares, surtout sur les Hautes Plaines d'Oranie ; la température descend souvent au-dessous de zéro degré en hiver. En été elle dépasse 30 et voire même 40 degrés ;

3. un étage bioclimatique désertique (hyper-aride) dans la région saharienne: les pluies sont exceptionnelles et très irrégulières provoquant souvent des inondations. Les précipitations sont inférieures à 150 mm par an ; le Sahara est une des régions les plus chaudes du monde: les températures de jour atteignent en été 45 et même 50 °C. La température moyenne saisonnière est de 15 à 28°C en hiver et atteint 40 à 45°C en été. Le sirocco est un vent du sud chaud et sec.

Selon la carte des étages bioclimatiques de l'Algérie (figure II.5), les cinq bassins versants de la partie Nord-Ouest sont caractérisés par les différents climats : semi aride, subhumide et aride.



**Figure II.5 :** Etages bioclimatiques (Source : EMBERGER)

### II.3.1 Variabilité pluviométrique

Le Nord-Ouest de l'Algérie est situé en latitude à l'abri de la dorsale du moyen Atlas-Rif du Maroc. Le relief très accidenté de la région d'étude constitue de nombreux abris aux influences de la mer. Ces deux facteurs ont un effet direct sur la variabilité spatiale de la pluviométrie ainsi que sur la réduction des précipitations dans la zone. Les vents sont de direction W-NW en hiver et les vents d'Est responsables de fortes précipitations sont rares en cette saison. Les vents du Nord-est sont fréquents en été. Ils génèrent des pluies faibles. La circulation atmosphérique est sous l'influence de l'anticyclone des Açores et l'anticyclone saharien d'altitude (Medjrab, 2005).

La partie nord de l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La pluviométrie annuelle atteint 400 mm à l'ouest. Ce type de climat concerne également les chaînes de l'Atlas Tellien où l'on enregistre sur les sommets orientaux des totaux variant de 800 à 1600 mm, alors que les valeurs s'abaissent vers l'ouest (600 mm). Dans les plaines de l'Atlas Tellien, la pluviométrie varie de 500 mm à l'ouest. Ces moyennes pluviométriques ont été calculées sur la base de 218 postes possédant des observations allant de 1968 à 1998.

Une étude comparative (Meddi.H, 2001) avec la carte de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.) établie en 1993 a permis de constater une baisse en moyenne des pluies annuelles de 13 % sur le centre et l'ouest. La moyenne annuelle des totaux précipités varie entre 310,6 mm à la station de Bouhanifia Barrage (ouest) et 755,1 mm à la station de Médéa (centre).

Notre étude s'est portée sur plusieurs stations pluviométriques, dans le tableau II.1, on cite les différentes stations avec leurs codes (ANRH), et l'Annexe N° 01 présente les coordonnées des autres stations.

**Tableau II.1** : présentation de quelques stations d'étude.

Station	Bassin Versant	Code	X	Y
FODDA BGE	Cheliff	12108	402.00	305.60
HASASNA	Cheliff	12809	324.95	295.80
AIN TEMOUCHENT ERA	Côtiers Oranais	40205	153.50	227.00
MECHERIA	Hauts plateaux Oranais	81401	224.00	331.70
SIDI BEL ABBES	La Macta	110305	194.25	215.6
FERGOUG Bge	La Macta	111506	259.3	250.05
ZAOUIA BEN AMAR	la Tafna	160517	102.75	202.5
MEFFROUCHE BGE	la Tafna	160701	135.55	180.2

### II.3.2 Variabilité de la température

La comparaison entre les températures moyennes thermiques de l'Ouest, du Centre et de l'Est du Nord de l'Algérie montre des différences significatives. A l'Ouest du pays, la température moyenne du mois le plus froid (Janvier) est de 11,4 °C à Ghazaouet et 12,5 °C à Mostaganem.

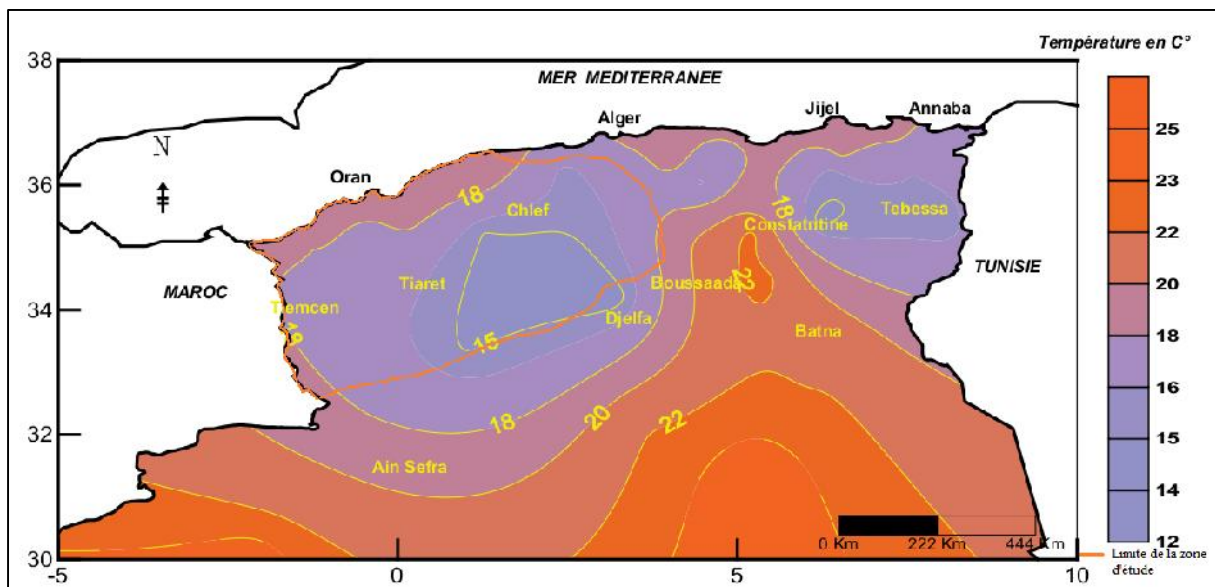
Au Centre, on trouve 10,0 °C aux stations d'Alger Dar-El- Beida, de Chlef et de Tizi-Ouzou. Dans la partie Est, on trouve par contre 6,2 °C aux stations de Constantine et 7,1 °C à Souk-Ahras.

En été, généralement la température du mois le plus chaud se situe en Août, pour la partie Occidentale où l'on enregistre 24,2 °C à Ghazaouet ; 25,0 °C à Béni-Saf ; et 23,3 °C à Oran. Dans la partie Centrale, on relève 25,5 °C à Alger, et dans la partie Orientale 25,4 °C à la station de Constantine et 24,0 °C à Souk-Ahras.

Les plus hautes températures sont observées à la station d'El-Bayad avec 51,3 °C enregistrée le 02 Septembre 1979 et à la station de Sétif avec 50,3 °C enregistrée le 07

Septembre 1982. Pour les stations d'altitude comme Médéa (1030 m) ou Djelfa (1160 m), les températures maximales absolues atteignent 40°C.

Les températures minimales absolues varient d'une région à une autre sur les hauts plateaux et atteignent des valeurs très basses en hiver avec une température minimale absolue de -13,8 °C à la station de Mécheria (le 28 Janvier 2005). En Janvier 2005, les températures minimales inférieures à 0°C ont été observées treize fois à la station d'Alger (A. Medejerab, 2011).



**Figure II.6 :** Température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie : période 1950-2005 (Source : ONM, 2009)

### II.3.3 Régime des vents

Pendant la saison pluvieuse, le régime des vents est W-NW. Ces vents, pour atteindre l'Algérie Nord-Occidentale, n'ont à franchir que le bras de mer très étroit séparant la région d'étude de l'Espagne. Et avant de quitter ce dernier pays, ils sont dépouillés de la plus grande partie de leur humidité sur les cimes élevées de la Sierra Nevada, et comme ils n'ont pas le temps de reprendre une nouvelle charge de vapeur d'eau ils arrivent dans l'ouest algérien secs. Les vents d'Est qui se sont imprégnés d'eau durant leur long parcours sur la Méditerranée favorisent de fortes précipitations, malheureusement ils sont très rares en hiver. Les vents du Nord-Est, fréquents en été, entraînent avec eux quelques nuages isolés mais sans grande importance du point de vue des précipitations et ce en raison de l'élévation de la température, d'ailleurs, ils soufflent rarement en hiver. Cette explication a été donnée par Angot (1881) dans son ouvrage intitulé «Etude sur le climat de l'Algérie» (Medjrab A, 2005).

### II.3.4 Les orages

Durant le semestre froid, les orages sont plus fréquents sur le littoral, et leur nombre augmente de l'Ouest à l'Est; ils sont très rares au Sahara.

Cette répartition est due à la présence fréquente en cette saison, de dépressions sur l'Est du Bassin méditerranéen.

Pendant le semestre chaud au contraire, la plupart des orages ne sont pas liés au passage d'une perturbation, mais sont des orages de chaleur. Ils se produisent là où l'air est à la fois suffisamment chaud et suffisamment humide; ces conditions sont réalisées sur les Hautes plaines où les orages sont plus fréquents que sur le littoral et au Sahara. (Medjrab A, 2005).

### II.3.5 Le sirocco

Le sirocco est l'un des éléments les plus caractéristiques du climat Algérien, en raison des dégâts qu'il cause fréquemment aux cultures. Le nombre annuel de jours de sirocco est le plus élevé dans les départements d'Alger et de Constantine, sur le versant Sud de l'Atlas Tellien et dans les Hautes plaines. Assez rare en hiver, le sirocco se fait sentir surtout sur le littoral; en été au contraire le sirocco est le plus fréquent dans l'intérieur du pays (Medjrab A, 2005).

### Conclusion

Dans ce présent chapitre nous avons présenté d'une manière brève les bassins concernés par notre étude, Nous avons trouvé que cette région présente une grande sensibilité au climat à cause de la grande variabilité des pluies saisonnières et annuelles.

Il est clair aussi que les paramètres touchés par ce chapitre influent sur la modélisation hydrologique, cette dernière fera l'objet d'une étude approfondie dans les chapitres suivants.

## CHAPITRE III – ETUDE FREQUENTIELLE

## III- Etude fréquentielle

### Introduction

Pour arriver à construire les courbes IDF les plus fiables possible, nous devons passer par une étude fréquentielle qui permette de choisir la meilleure loi d'ajustement statistique qui sera retenue pour la définition des quantiles des intensités moyennes maximale (mm/h) pour différentes périodes de retour et suivant des durées allant de 15 minutes jusqu'au 360 minutes pour des pluies pluviographiques horaires.

### III 1 Contrôle de la qualité des séries des enregistrements pluviographiques

Les séries pluviographiques sont sous forme de pluviogrammes au début, la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps, c'est à dire pendant toute la durée de l'épisode pluvieux. Après, un dépouillement est effectué, un par un, des pluviogrammes de chacun des épisodes pluvieux enregistrés. Ce dernier permet de déterminer, pour chaque événement pluvieux, les plus fortes hauteurs de la pluie (ou intensité) correspondant chacune à des durées bien déterminées, dans notre cas : 15min, 20 min, 30 min, 45 min, 60min, 120min, 180min, 240min, 360min) au cours de la même averse. Ainsi, des séries de différentes durées d'agrégation sont formées (série de durées complètes), ils n'ont pas la même taille (M.Khelfi, 2012).

#### III 1.1 Traitement des données pluviographiques

Les données hydrologiques nécessitent un traitement primaire afin de rendre leurs utilisations pertinentes et exploitables. Il s'agit donc de la conversion de la mesure effectuée en une grandeur qui soit hydrologiquement significative par exemple dans notre cas le traitement des données pluviographiques pour l'obtention des séries horaire sur de très courtes fenêtres temporelles (de l'ordre de la minute).

Nous avons utilisé le logiciel Hydraccess pour cette étape de traitement.

#### III 1.2 Le logiciel HYDRACCESS

HYDRACCESS est un logiciel d'hydrologie développé par l'IRD (Institut français de Recherche pour le Développement), développé par Philippe VAUCHEL, ingénieur

hydrologue IRD sous les unités de recherche Divah (2000-2001) et HYBAM (2001 à aujourd'hui). Il permet :

- de gérer des bases de données hydrologiques (permettant d'importer et de stocker tous types de données hydrologiques dans une base de données en format Microsoft Access).
- de réaliser facilement un ensemble de traitements courants sur les données.

En conséquence la plupart de son traitement, crée des fichiers Excel (et parfois Word pour tableaux de l'Annuaire). Et il permet à l'utilisateur d'obtenir des tableaux de données et des graphiques élaborés qui peuvent être personnalisés et comprennent des rapports directement grâce à une petite macro incluse dans le logiciel (E. Lucio, 2015).

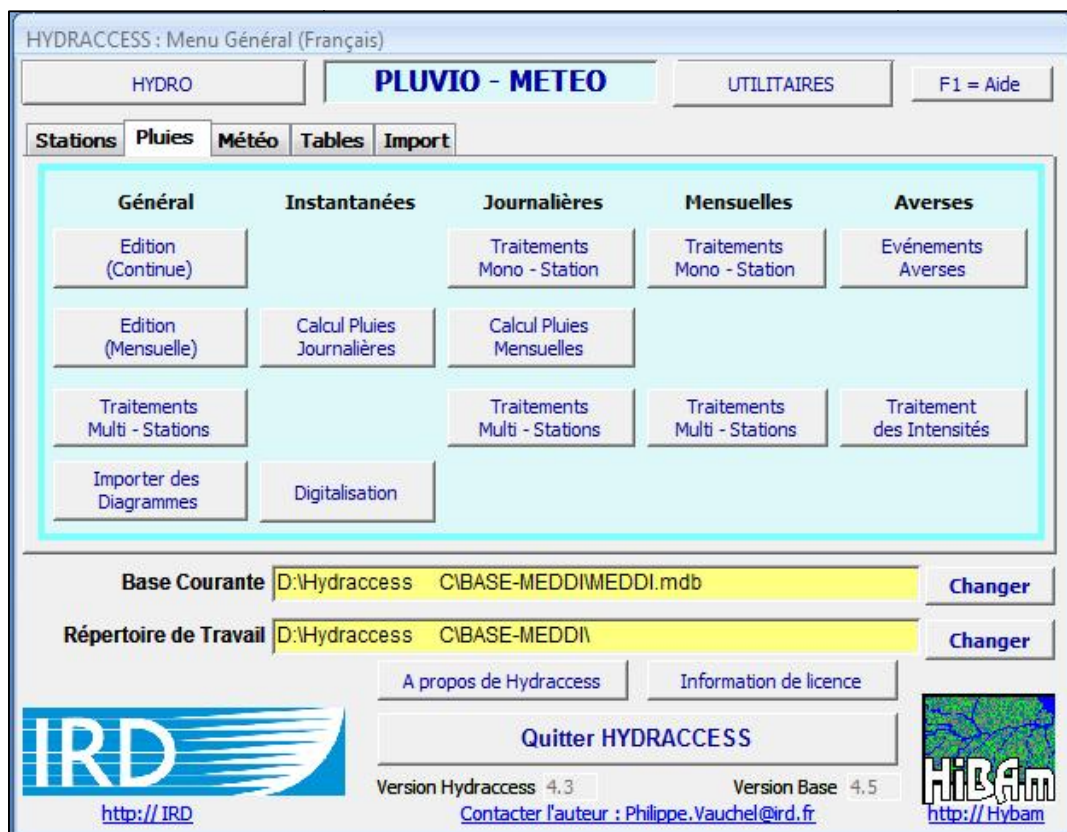


Figure III.1 : Exemple de menu général d'HYDRACCESS



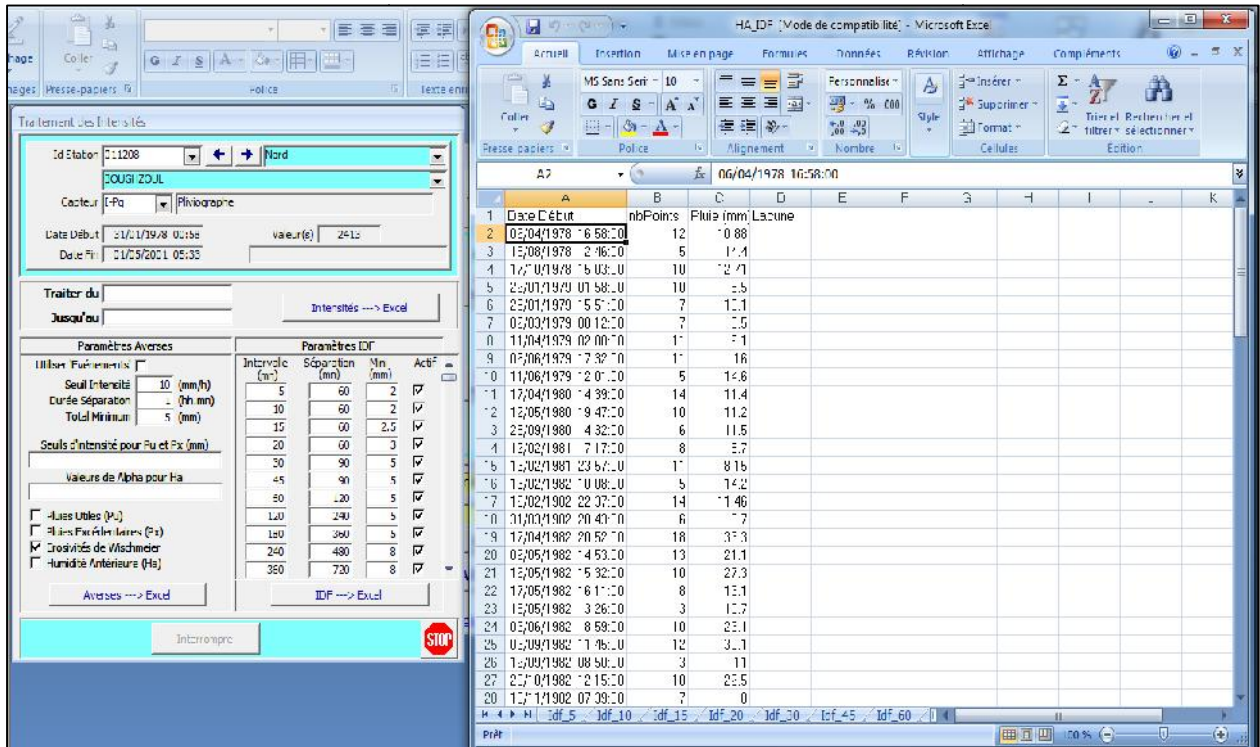


Figure III.2 : Traitement des intensités et l’obtention de tableau des données

### III 1.3 Calcul des intensités maximales

L’intensité d’une averse est exprimée en hauteur d’eau par unité de temps (mm/h), Celle-ci caractérise la force et l’énergie de la pluie plutôt que sa hauteur .

En fait une pluie de 10mm tombée dans un bassin au cours de 24h ne provoquera pas la même réponse du bassin que si elle est tombée en 12h ou en 48h. L’intensité des pluies représente la lame d’eau tombée par unité de temps.

$$I_m = \Delta P / \Delta t \quad \text{en (mm/h ou mm/min)} \dots\dots\dots (III.1)$$

$I_m$ : intensité moyenne de la pluie [mm/h, mm/min]

$\Delta P$  : hauteur de pluie de l’averse [mm]

$\Delta t$  : durée de l’averse [h ou min]

Dans notre étude nous avons calculé les intensités maximales par la formule ( ) a partir des pluies maximales horaires données par le logiciel Hydraccess.

$$I_{max} = (p_{max} \times 60) / \Delta t \quad \dots\dots\dots (III.2)$$

$I_{max}$  : l’intensité maximale (mm/h).

$p_{max}$  : précipitation maximale (mm).

$\Delta t$  : la durée de l'averse (min).

## III 2 Etude d'Ajustement des intensités

L'analyse fréquentielle vise à définir les régimes à travers certaines valeurs caractéristiques et représentatives, à savoir :

- Les valeurs centrales
- Les valeurs extrêmes ou quantiles

Les valeurs extrêmes représentent celles que peuvent prendre des grandeurs hydrologiques pour des périodes de retour données (pluie, débit maximum de crue...) (Touaibia.B, 2004).

Cette étude consiste à faire l'ajustement pour les séries des intensités par des lois statistiques, afin de déterminer les valeurs extrêmes (les intensités moyennes maximales  $i_t$ , p%) pour les périodes de retour (2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 50 ans) et son intervalle de confiance.

L'étude statistique des échantillons avec éventuellement l'ajustement d'une loi de distribution qui permettant l'estimation de la fréquence d'apparition des observations, a été faite par le logiciel HYFRAN-PLUS.

### III 2.1 Le logiciel HYFRAN-PLUS

Le logiciel Hyfran-Plus est Conçu pour l'analyse fréquentielle en hydrologie particulièrement pour les valeurs extrêmes. Cependant il peut être utilisé pour n'importe quelle série des valeurs extrêmes dans d'autres domaines avec différentes pas de temps, à conditions que les observations soient Indépendantes et Identiquement Distribuées (El Adlouni et al, 2006)..

Le logiciel HYFRAN-PLUS permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité. Un Système d'Aide à la Décision (SAD) a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevée (El Adlouni et al, 2006).

#### III 2.1.1 Système d'Aide à la Décision (SAD)

Un Système d'Aide à la Décision (SAD) a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile  $Q_T$  de période de retour  $T$

élevée tel que  $\Pr [ Q \geq Q_T ]$ . En effet, une classification des lois par rapport à la queue droite de la distribution, permet de distinguer trois principales catégories dans lesquelles on peut classer les dix distributions les plus utilisées en hydrologie, pour les valeurs maximales :

- La classe C (distribution à variations régulières) : Fréchet (EV2), Halphen B Inverse (HIB), Log-Pearson type 3 (LP3), Gamma Inverse (GI).
- la classe D (distributions sub-exponentielles) : Halphen type A (HA), Halphen type B (HB), Gumbel (EV1), Pearson type 3 (P3), Gamma (G).
- la classe E (loi exponentielle).

Les méthodes développées dans le SAD permettent d'identifier la classe la plus adéquate pour l'ajustement d'un échantillon donné. Ces méthodes sont :

- Le test de Jarque-Bera : considéré pour tester la Log-normalité avec une sélection a priori basée sur le diagramme (Cv,Cs).
- Le graphique Log-Log : utilisé pour discriminer d'une part la classe C et d'autre part les classes D et E.
- La fonction moyenne des excès (FME) : utilisée pour discriminer les classes D et E.
- deux statistiques : le rapport de Hill et la statistique de Jackson qui peuvent être utilisées pour effectuer une analyse confirmatoire des conclusions suggérées à partir des deux précédentes méthodes (graphique Log-Log et FME) (El Adlouni et al, 2006).

L'approche considérée dans le système d'aide à la décision peut être résumée par le diagramme en Figure III.3 En effet, le choix de la classe s'effectue en deux principales étapes. La première est l'utilisation du diagramme Log-Log alors que la deuxième est basée sur le résultat de la première étape et l'utilisation du diagramme de la fonction moyenne des excès. Lorsqu'une des deux classes C ou D est choisie, le critère d'information d'Akaike (AIC) et Bayésien (BIC), peuvent être utilisés pour le choix de la loi la plus adéquate parmi celles de la même classe (M. Yahiaoui, 2012).

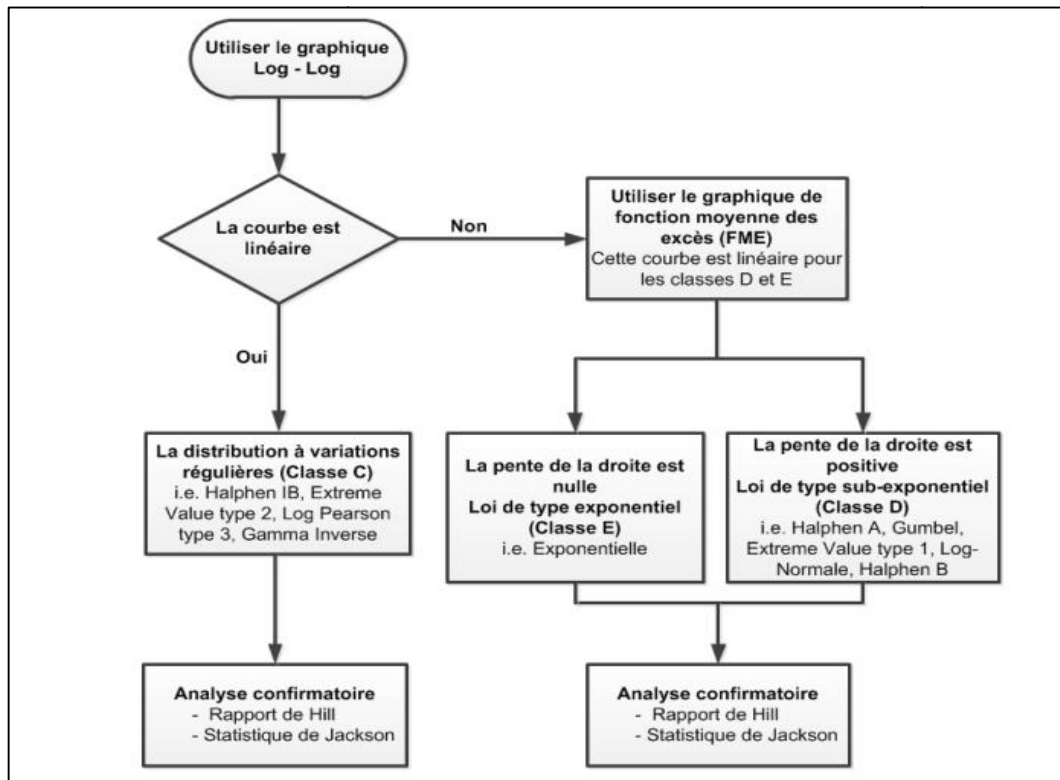


Figure III.3 : Diagramme des critères de choix entre les classes (M. Yahiaoui, 2012)

### III 2.2 Choix d'un modèle fréquentiel

Le choix d'un modèle repose sur des considérations statistiques, la plus courante étant l'examen visuel d'un graphique et l'utilisation d'un test statistique. Les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité ont été respectivement vérifiées à l'aide des tests statistiques de Wald-Wolfowitz, de Wil-coxon et de Mann-Kendall.

Dans les figures suivantes, Nous présentons des exemples pour la vérification de ces tests.

The screenshot shows the 'Tests d'hypothese' tab in the HYFRAN-PLUS software. The test selected is 'Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz)'. The project title is 'IDF Ouest 160702 dt= 15 min'. The hypotheses are: H0: 'Les observations sont indépendantes' and H1: 'Les observations sont dépendantes (autocorrélation d'ordre 1)'. The results section shows a test statistic value of  $|U| = 0.334$  and a p-value of  $p = 0.738$ . The conclusion states: 'Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %'.

Figure III.4: Vérification du test d'indépendance

The screenshot shows the 'Tests d'hypothese' tab in the HYFRAN-PLUS software. The test selected is 'Test de stationarité (Kendall)'. The project title is 'IDF Ouest 160702 dt= 15 min'. The hypotheses are: H0: 'Il n'y a aucune tendance dans les observations' and H1: 'Il y a une tendance dans les observations'. The results section shows a test statistic value of  $|K| = 1.88$  and a p-value of  $p = 0.0608$ . The conclusion states: 'Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %'.

Figure III.5 : Vérification du test de stationnarité

Après la vérification des hypothèses, le logiciel HYFRAN-PLUS a classé la distribution adéquate on utilisant le SAD (défini au préalable). La classe C est la plus adéquate pour toutes les séries présentées dans cette étude. La figure III.6 présente la décision fournie par le SAD.

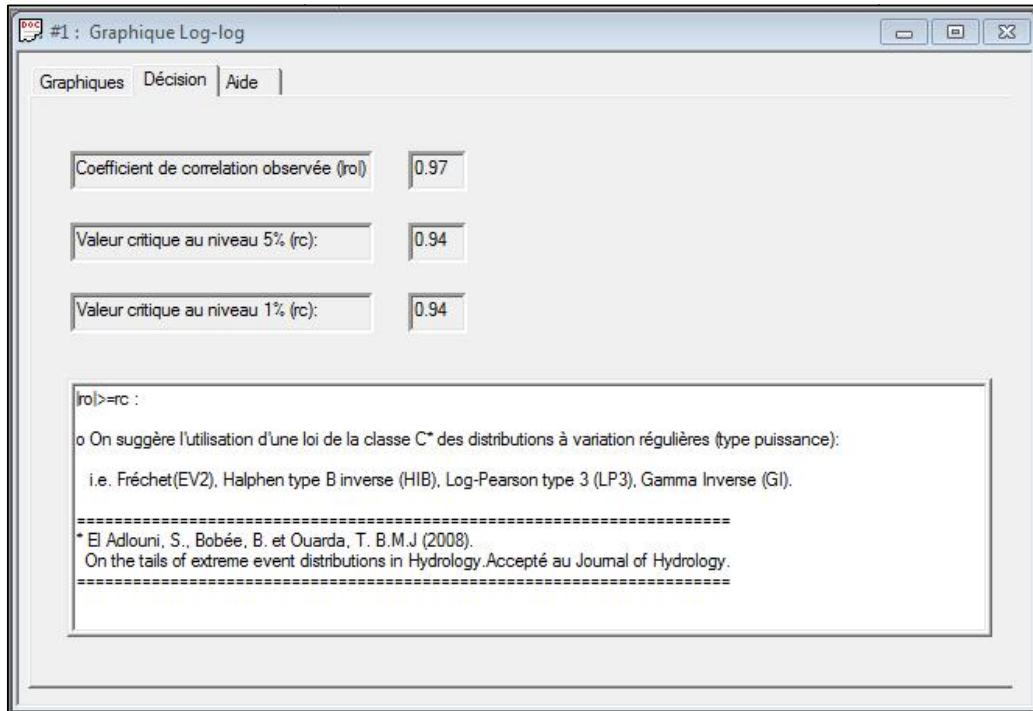


Figure III.6 : Le choix de la classe C

Nous présentons ci-dessous les résultats d’ajustements par les différents modèles, choisis par la classe C, pour la série TIARET GRHA du bassin Cheliff.

### III 2.2.1 Ajustement à la loi des extrêmes généralisés (loi GEV)

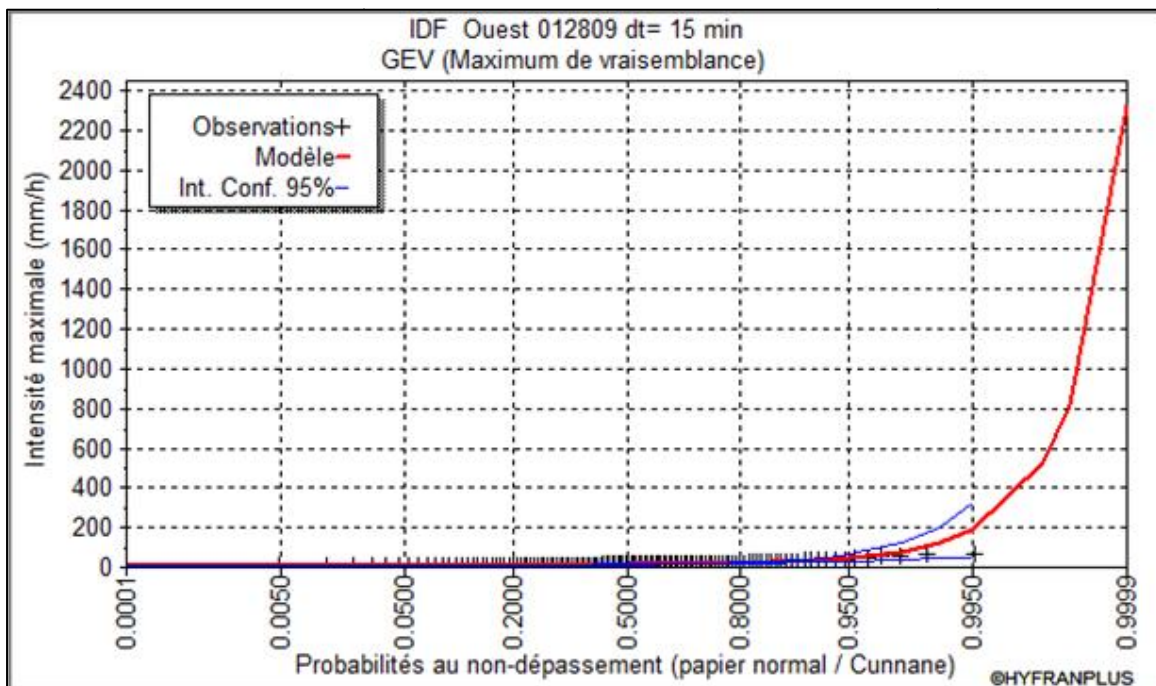


Figure III.7 : Ajustement à la loi de GEV

III 2.2.2 Ajustement à la loi Halphen B Inverse (HIB)

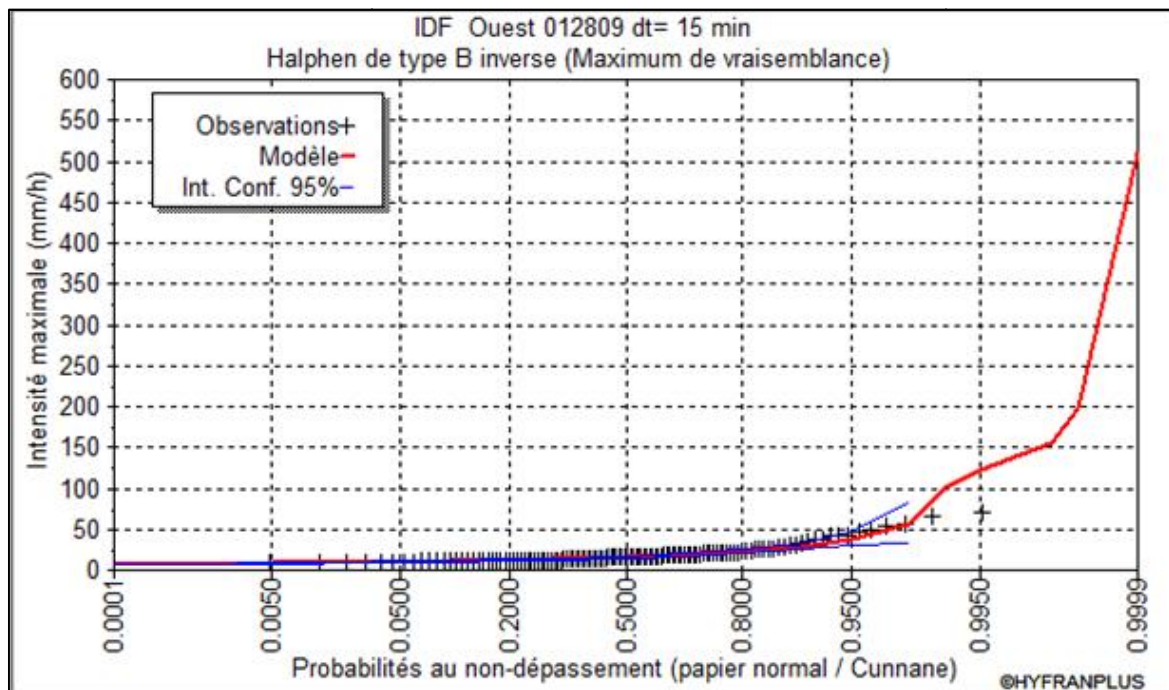


Figure III.8 : Ajustement à la loi HIB

III 2.2.3 Ajustement à la loi Log-Pearson type 3 (LP3)

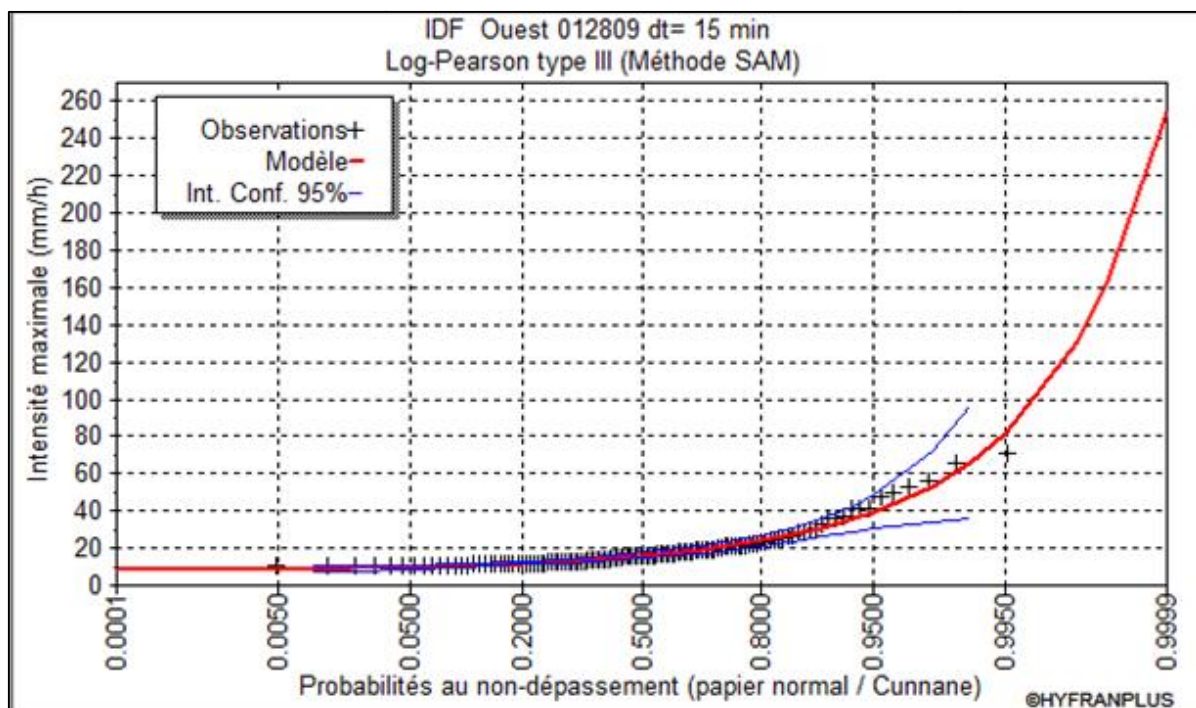


Figure III.9 : Ajustement à la loi LP3

III 2.2.4 Ajustement à la loi Gamma Inverse (GI)

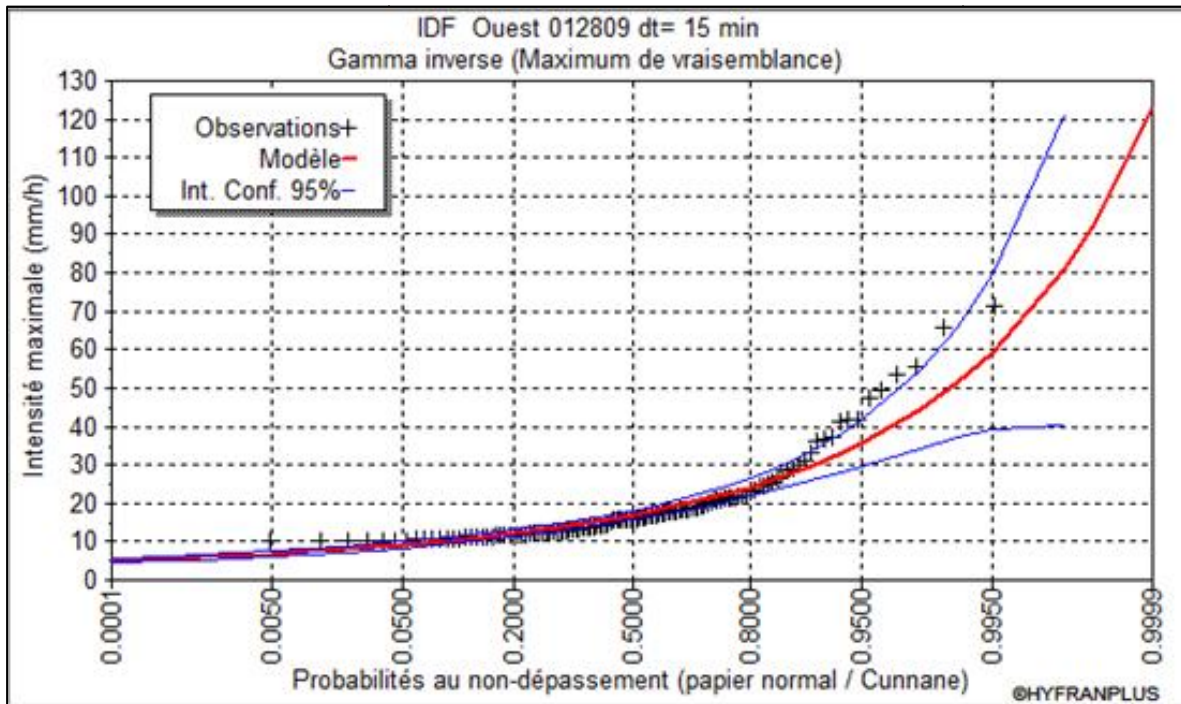


Figure III.10 : Ajustement à la loi GI

III 2.3 Test d'adéquation pour les différentes lois

Le test d'adéquation d'ajustement de Khi 2 à été vérifié d'après le logiciel HYFRAN-PLUS pour les quatre lois utilisées. Nous présentons dans les figures suivantes, des exemples pour la vérification de ce test :

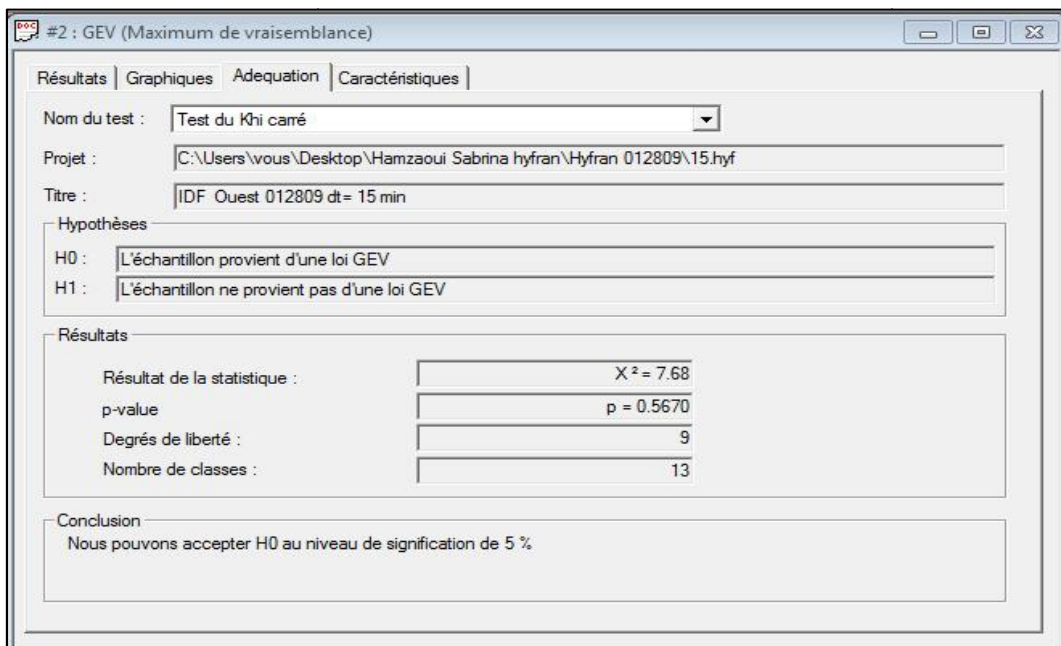
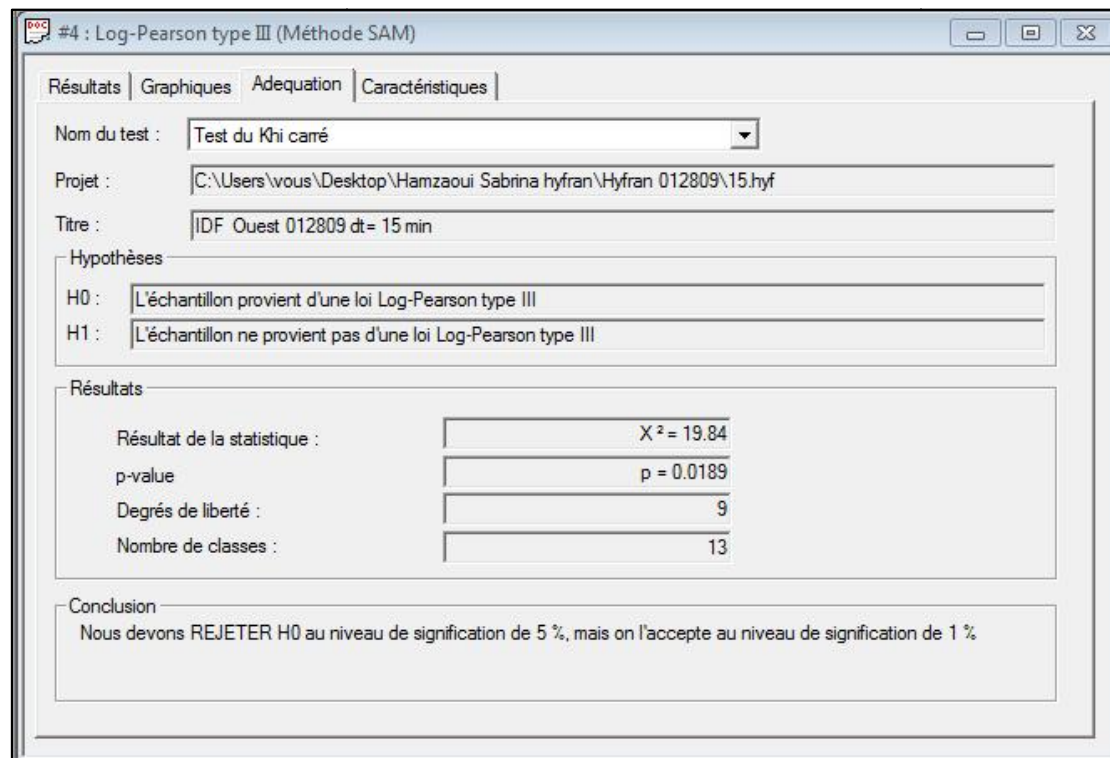


Figure III.11 : Vérification du Test d'adéquation pour la loi de GEV





**Figure III.12** : Vérification du Test d'adéquation pour la loi Log-Pearson III

Après l'ajustement des lois GEV, Log-Pearson III, Gamma Inverse, Halphen B Inverse, le test d'adéquation non paramétriques de  $\chi^2$  est appliqué pour sélectionner la loi, la mieux appropriée a nos séries. Donc, l'application de ce test s'est révélée concluante pour toutes les séries de données et pour toutes les lois avec un niveau de signification de 5%. Par contre, les résultats d'application du test de  $\chi^2$ , ont montré que les quatre lois peuvent être adoptés avec un niveau de signification de 1%.

### III 2.4 comparaison visuelle (analyse des graphes)

La figure III.13 montre des graphiques qui présentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions des lois de GEV, GI, HBI et LP3 sur papier de probabilité normal. Visuellement on remarque que la loi GEV présente le meilleur ajustement de la variable d'intensité moyenne maximale.

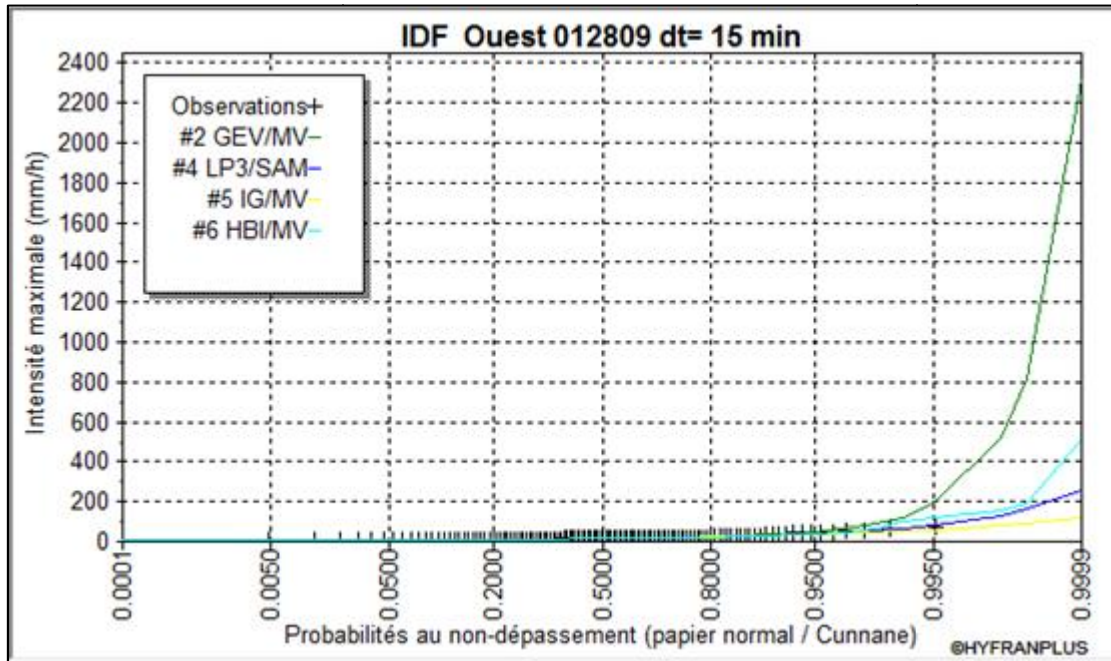


Figure III.13 : Comparaison graphique entre les quatre lois

III 2.5 Méthode numérique (Analyse statistique)

Le tableau III.1 montre les valeurs observées des critères d'information bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). Ces critères permettent de comparer le degré d'ajustement. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces statistiques, donc pour notre cas la loi GEV est la mieux adaptée pour l'estimation des intensités moyennes maximales.

Tableau III.1 : Critères de comparaison des lois statistiques

Modèle	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
GEV (Maximum de vraisemblance)	3	81.120	25.00	97.10	823.693	815.232
Log-Pearson type III (Méthode SAM)	3	53.150	25.00	2.64	830.900	822.439
Halphen de type B inverse (Maximum de vraisemblance)	3	57.404	25.00	0.25	835.602	827.141
Gamma inverse (Maximum de vraisemblance)	2	44.328	25.00	0.00	846.780	841.139

III 2.5 Résultats d'ajustement à la loi choisie

Les paramètres de la loi GEV sont représentés dans le tableau III.2 :

- Nombre d'observations:  $n = 124$ .
- $q = F(X)$  (probabilité au non-dépassement)  $T = 1/ (1-q)$  (période de retour).

**Tableau III.2:** Caractéristiques de la série

Paramètres	Caractéristiques de la série
Minimum	10.1
Maximum	71.2
Moyenne	19.3
Ecart-type	11.2
Médiane	16.0
Coefficient de variation ( $C_V$ )	0.58
Coefficient d'asymétrie ( $C_S$ )	2.39
Coefficient d'aplatissement ( $C_K$ )	8.97

Le tableau **III.3** ci-dessous récapitule les quantiles pour différentes périodes de retour de l'ajustement de la série à la loi GEV pour une durée de 15 min

**Tableau III.3:** Les intensités maximales des différentes fréquences

Période de retour (ans)	Probabilité (q)	Intensité (mm/h)	Ecart-type	Intervalle de confiance q = 95%
50	0.9800	81.1	20.3	41.4 - 121
20	0.9500	47.8	8.08	31.9 – 63.6
15	0.9333	40.7	5.75	29.5 – 52.0
10	0.9000	32.8	3.78	25.4 – 40.2
07	0.8571	27.3	2.42	22.6 – 32.1
05	0.8000	23.1	1.66	19.9 – 26.4
04	0.7500	20.8	1.20	18.4 – 23.1
03	0.6667	18.2	0.878	16.4 – 19.9
02	0.5000	15.1	0.527	11.5 – 12.5

**Conclusion**

Les résultats de cette étude montrent que les quantiles les plus élevés sont obtenus par la méthode GEV. Par la suite les quantiles sont calculés pour les périodes de retour : 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 50 ans. Ainsi, l'adéquation de cette loi est vérifiée pour toutes les séries par le test de KHi2 et le SAD. Les deux critères de BIC et AIC ont permis de choisir la loi la plus adéquate. A la base de ces résultats, le chapitre suivant sera consacré pour la construction des courbes IDF, afin de mieux définir le risque pluvial.

## **CHAPITRE IV- CONSTRUCTION DES IDF ET ANALYSE DU RISQUE**

## IV- Construction des IDF et analyse du risque

### Introduction

L'étude statistique des épisodes pluvieux extrêmes à partir de courtes séries d'observation dérive les quantiles d'intensités maximales, desquelles seront utilisées pour la construction des courbes IDF les plus fiables possibles, ainsi la détermination de l'exposant climatique de chaque station ou zone d'étude, par la recherche d'un modèle régressif entre l'intensité moyenne maximale  $i_t$  et la durée de l'intervalle de référence  $\Delta t$  (minutes).

Ce chapitre présente ces courbes ainsi que l'interprétation des résultats à l'aide d'un rapport qui sera calculé pour mieux exprimer la variation du risque pluvial d'une région par rapport à d'autre dans le Nord-Ouest de l'Algérie.

### IV 1 Construction des courbes Intensité-Durée-Fréquence

Le calcul des quantiles pour les différentes périodes de retour a servi à l'établissement des courbes IDF des stations considérées.

La Figure IV.1 illustre les courbes IDF, pour quelques stations dans des bassins différents, et les courbes des autres stations sont récapitulées dans L'annexe N°02.

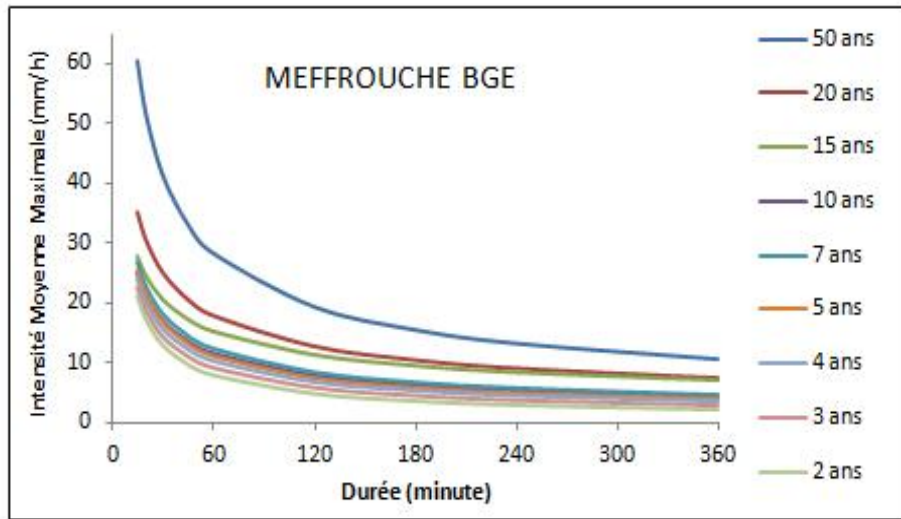


Figure IV.1 : Courbes IDF pour la station 160701 (BV : Tafna).

Tableau IV.1 : Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 160701)

Période de retour	Modèle $\bar{i} = a t^{-b}$ t (min), i (mm/h)
2 ans	$90.041x^{-0.54}$
3 ans	$110.83x^{-0.54}$
4 ans	$122.05x^{-0.54}$
5 ans	$126.3x^{-0.54}$
7 ans	$129.02x^{-0.54}$
10 ans	$131.25x^{-0.54}$
15 ans	$131.62x^{-0.54}$
20 ans	$141.06x^{-0.54}$
50 ans	$265.39x^{-0.54}$

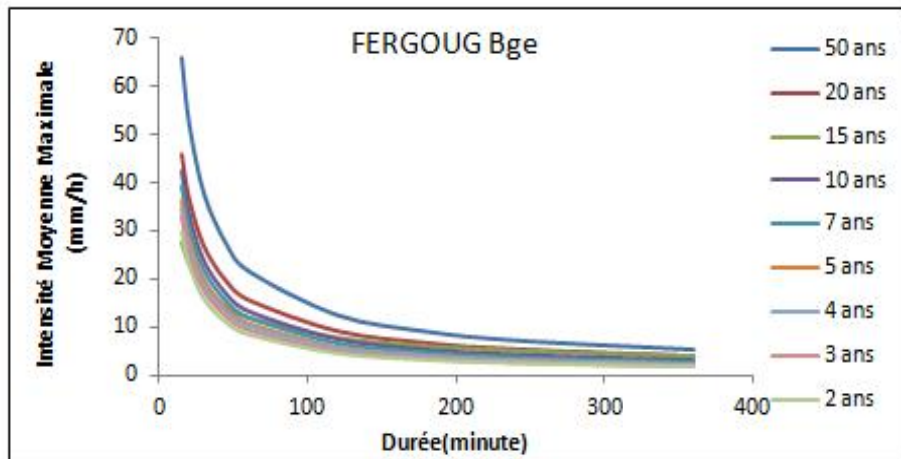


Figure IV.2 : Courbes IDF pour la station 111506 (BV : Macta).

Tableau IV.2 : Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 110305)

Période de retour	Modèle $\bar{i} = a t^{-b}$ t (min), i (mm/h)
2 ans	$90.022x^{-0.62}$
3 ans	$95.561x^{-0.62}$
4 ans	$101.82x^{-0.62}$
5 ans	$107.05x^{-0.62}$
7 ans	$116.92x^{-0.62}$
10 ans	$129.31x^{-0.62}$
15 ans	$147.58x^{-0.62}$
20 ans	$163.71x^{-0.62}$
50 ans	$237.73x^{-0.62}$

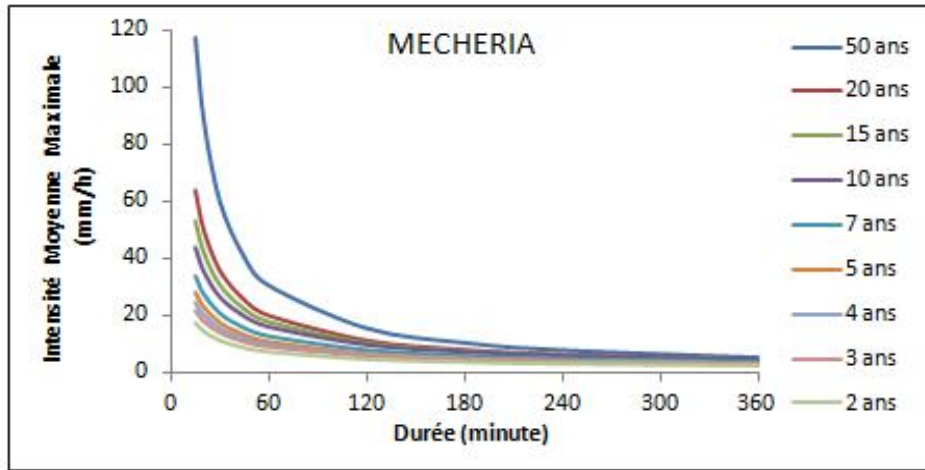


Figure IV.3 : Courbes IDF pour la station 81402 (BV: Hauts plateaux Oranais)

Tableau IV.3 : Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 81402)

Période de retour	Modèle $\bar{i} = a t^{-b}$ t (min), i (mm/h)
2 ans	$97.758x^{-0.74}$
3 ans	$124.54x^{-0.74}$
4 ans	$151.26x^{-0.74}$
5 ans	$178.08x^{-0.74}$
7 ans	$233.83x^{-0.74}$
10 ans	$319.18x^{-0.74}$
15 ans	$465.16x^{-0.74}$
20 ans	$619.64x^{-0.74}$
50 ans	$1615x^{-0.74}$

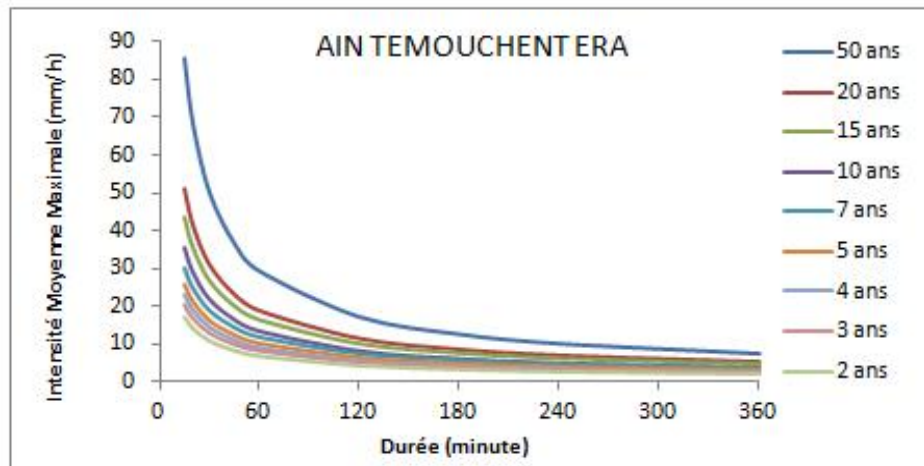


Figure IV.4 : Courbes IDF pour la station 40205 (BV : Côtiers Oranais).

Tableau IV.4 : Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 40205)

Période de retour	Modèle $\bar{i} = a t^{-b}$ t (min), i (mm/h)
2 ans	$103.13x^{-0.69}$
3 ans	$122.02x^{-0.69}$
4 ans	$139.31x^{-0.69}$
5 ans	$156.25x^{-0.69}$
7 ans	$187.51x^{-0.69}$
10 ans	$231.68x^{-0.69}$
15 ans	$297.88x^{-0.69}$
20 ans	$362.08x^{-0.96}$
50 ans	$701.2x^{-0.69}$



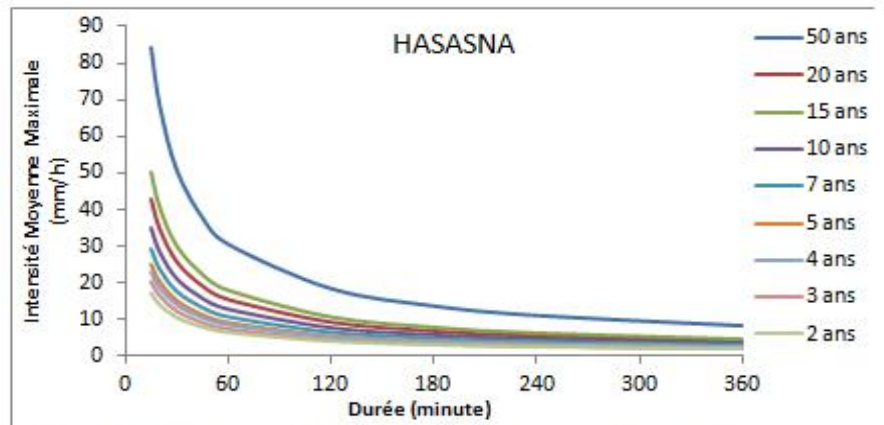


Figure IV.5 : Courbes IDF pour la station 12809 (BV : Cheliff).

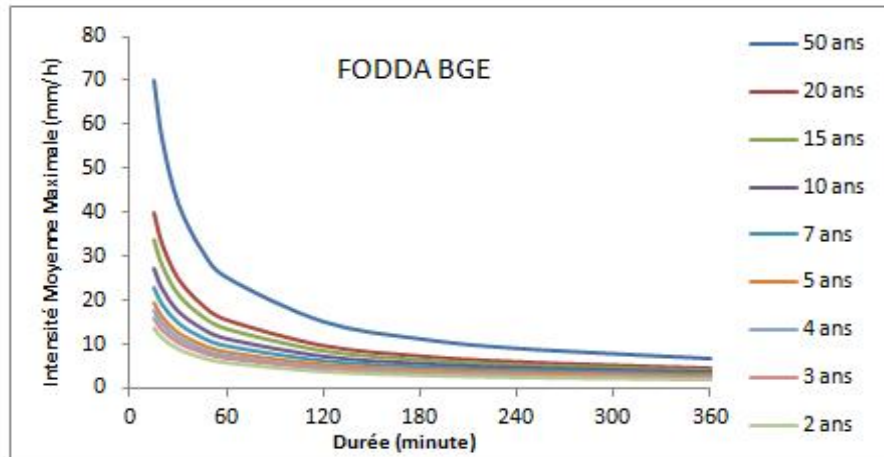


Figure IV.6 : Courbes IDF pour la station 12108 (BV : Cheliff).

Tableau IV.5 : Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 40205)

Période de retour	Modèle $\bar{i} = a t^{-b} t$ (min), i (mm/h)
2 ans	$119.99x^{-0.73}$
3 ans	$143.93x^{-0.73}$
4 ans	$163.46x^{-0.73}$
5 ans	$180.49x^{-0.73}$
7 ans	$212.33x^{-0.73}$
10 ans	$253.02x^{-0.73}$
15 ans	$311.88x^{-0.73}$
20 ans	$364.91x^{-0.73}$
50 ans	$612.46x^{-0.73}$

Tableau IV.6 : Modèles IDF pour des différentes périodes de retour (ST : 12108)

Période de retour	Modèle $\bar{i} = a t^{-b} t$ (min), i (mm/h)
2 ans	$125.84x^{-0.65}$
3 ans	$73.54x^{-0.65}$
4 ans	$84.361x^{-0.65}$
5 ans	$94.513x^{-0.65}$
7 ans	$105.2x^{-0.65}$
10 ans	$154.92x^{-0.65}$
15 ans	$202.79x^{-0.65}$
20 ans	$249x^{-0.65}$
50 ans	$512.84x^{-0.65}$

## IV 1.2 Calcul de l'exposant climatique

La modélisation mathématique des courbes IDF a permis de déterminer l'exposant climatique de chaque station ou zone d'étude, par la recherche d'un modèle régressif.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux IV1, 2, 3, 4, 5, 6.

L'exposant retenu pour chaque station est résumé dans le tableau IV.7 :

**Tableau IV.7** : Exposants climatique des stations

Station	Bassin Versant	Exposant climatique
Meffrouche BGE	Tafna	0.54
Sidi bel Abbes	Macta	0.62
Mecheria	Hauts plateaux Oranais	0.74
Ain Temouchent ERA	Côtiers Oranais	0.69
Hasasna	Cheliff	0.73
Fodda BGE	Cheliff	0.65

Il ressort d'après le tableau IV.7 que l'exposant climatique varie d'une manière décroissante du l'Est vers l'Ouest de la région d'étude (Nord-Ouest de l'Algérie), et d'une manière croissante du Nord vers le Sud. Ce caractère revient et à une relation directe avec la variation de la pluviométrie, donc la relation entre l'intensité et l'exposant climatique est proportionnelle.

## IV 2 Interprétation et Analyse des résultats

Pour mieux interpréter les intensités moyennes maximales des pluies, nous avons proposé une méthode qui consiste à calculer les rapports d'intensités, suivant la durée minimale de 15 minutes et la période de retour la plus élevée dans notre étude (50 ans).

### IV 2.1 Comparaison suivant le rapport de durée

Ce rapport est calculé par la formule suivante :

$$I_{15 \text{ min}} = R \times I_{x \text{ min}} \dots\dots\dots (IV.1)$$

Avec :  $I_{15 \text{ min}}$  : l'intensité moyenne maximale suivant la durée de 15 minutes.

$I_{x \text{ min}}$  : l'intensité moyenne maximale suivant les durées 15, 20, 45, 60, 120, 180 min.

Donc, pour chaque période de retour, on va suivre la variation et l'évolution de ce rapport ( $R$ ), pour toutes les intensités de différentes durées ( $I_{x \text{ min}}$ ) en fonction de l'intensité de la durée minimale de 15 minutes ( $I_{15 \text{ min}}$ ).

#### IV 2.1.1 comparaison des rapports pour la même série

**Tableau IV.8** : Rapports de durée de bassin La Tafna (ST : 160701)

T (ans)	20	30	45	60	120	180
50	1.15	1.46	1.82	2.13	3.11	3.88
20	1.15	1.40	1.71	1.96	2.75	3.35
10	1.17	1.46	1.83	2.15	3.14	3.93
5	1.19	1.52	1.93	2.30	3.48	4.44
2	1.22	1.63	2.16	2.64	4.30	5.71

Ce rapport croît avec l'augmentation de la durée et la diminution de la période de retour ce qui indique que le risque pluvial se présente dans les durées minimales et les périodes de retour plus élevés. Pour une même période de retour, le rapport d'intensité est plus fort que la durée est élevée, ce qui explique la première loi de la pluviosité (l'intensité sera forte lorsque la durée est courte).

Le comportement de ce rapport suivant la période de retour indique que : lorsque la période de retour est faible, le rapport croît avec la durée. Lorsque la période de retour augmente la variation de ce rapport est minimale, donc l'intensité est forte lorsque la période de retour croît pour une même durée, ce qui corrobore avec la deuxième loi de la pluviosité (l'intensité sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite). Cette variation est pareille pour toutes les stations d'étude, les résultats de calcul sont présentés dans l'Annexe N°03.

#### IV 2.1.2 comparaison entre les rapports pour des stations de bassins différents

**Tableau IV.9** : Rapports des 05 stations des bassins différents (T = 2 ans)

$\Delta t$ (min)	T = 2 ans				
	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701
20	1.23	1.21	1.20	1.30	1.22
45	2.2	2.06	2.01	2.74	2.16
60	2.71	2.50	2.41	3.57	2.64
120	4.45	3.94	3.74	6.76	4.30
180	5.96	5.15	4.84	9.81	5.71

D'après ce tableau : la station 111506 présente des valeurs de rapports plus élevés par rapport aux autres stations, ce qui explique que la région présentée par cette station dans le bassin de La Macta a une variation importante de l'intensité maximale lorsque la durée de temps augmente (les intensités maximales dans les différentes durées sont très faibles devant l'intensité correspond à la durée minimale 15 minutes) , ensuite la station 12809 du bassin de Chélif, puis la station du bassin Tafna , ensuite la station du bassin Côtiers Oranais, et vers la fin la station 81402 du bassin Hauts plateaux Oranais.

Pour les périodes de retour de 5 et 10 ans (Annexe N°03) les résultats de ce rapport sont pareils avec celles du tableau de T= 2 ans. Donc pour les périodes de retour minimale (2, 5, 10 ans) le risque pluvial se concentre dans la partie Est (les bassins de Cheliff et la Macta) de notre zone d'étude.

Pour les périodes de retour de 20 et 50 ans (Annexe N°03), la station 81402 présente des valeurs de rapports plus élevés par rapport aux autres stations, ce qui explique que la région présentée par cette station dans le bassin de La Macta a une variation importante de l'intensité maximale lorsque la durée de temps diminué jusqu'à avoir l'intensité élevée au 15 min. Donc le risque pluvial se concentre dans la partie Sud-est de la région d'étude, et la partie Ouest présente toujours la variation minimale pour toutes les périodes de retour.

#### IV 2.1.3 comparaison des rapports pour des stations d'un même bassin

##### **Bassin Versant : La Tafna**

D'après les tableaux présentés dans l'Annexe N°03, nous trouvons que les stations 160701 et 160702 présente des valeurs élevées de rapport (**R**), ensuite les stations 160608 et 160517, ce qui signifie que la partie Nord-est de ce bassin présente une intensité forte lorsque la durée minimale, et la partie centre présente moins de risque dans ce bassin ensuite la partie Sud, pour des périodes de retour minimale 2 et 5 ans.

Par contre, pour les périodes de retour élevés c'est la partie centre et le Sud-est qui présentent plus de risque.

##### **Bassin Versant : Côtiers Oranais**

Pour ce bassin versant : la variation de ce rapport est élevée pour les stations 40411 et 40411 ce qui signifie que le risque se situe dans le centre du bassin pour toutes les périodes de retour (Voir l'Annexe N° 03).

**Bassin Versant : Hauts plateaux Oranais**

D'après les tableaux présentés dans l'Annexe N°03, pour les périodes de retour minimales le risque dans la partie Ouest est plus élevé que la partie Sud, par contre pour les périodes de retour élevés, la partie sud présente plus du risque.

**Bassin Versant : La Macta**

D'après les résultats présentés dans l'Annexe N°03 de ce bassin le risque est réparti d'une manière homogène.

**Bassin Versant : Cheliff**

Pour des périodes de retour faibles, le risque pluvial se décroît du Sud vers le Nord dans la partie Ouest du bassin Cheliff, par contre pour les périodes de retour élevées ce risque croît du Sud vers le Nord (Annexe N°03 ).

**IV 2.2 Comparaison suivant le rapport de période de retour**

Ce rapport est calculé par la formule suivante :

$$I_{50 \text{ ans}} = R' \times I_{x \text{ ans}} \dots\dots\dots (IV.2)$$

Avec  $I_{50 \text{ ans}}$ : l'intensité moyenne maximale suivant la période 50 ans.

$I_{x \text{ ans}}$  : l'intensité moyenne maximale suivant les périodes 15, 20, 45, 60, 120, 180.

Donc, pour chaque durées on va suivre la variation et l'évolution de ce présent rapport  $R'$ , pour toutes les intensités de différentes périodes de retour par rapport à l'intensité de la période maximale dans notre étude 50 ans.

**IV 2.2.1 comparaison des rapports pour la même série****Bassin Versant : La Tafna(160701)**

Ce rapport croît avec la diminution de la durée et la période de retour ce qui indique que le risque pluvial se présente dans les durées minimales et les périodes de retour plus élevés.

Pour une même durée, le rapport d'intensité est plus fort que la période de retour est minimale, ce qui explique la deuxième loi de la pluviosité (l'intensité sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite).

Pour une même période de retour, le rapport d'intensité est moins fort que la durée est élevée, ce qui explique la première loi de la pluviosité (l'intensité sera forte lorsque la durée est courte).

Cette variation est pareille pour toutes les stations d'étude. Les résultats de calcul sont présentés dans l'Annexe N°04.

#### IV 2.2.2 Comparaison entre les rapports pour des stations des bassins différents

D'après les tableaux présentés dans l'Annexe N° 04 : la station 81402 présente des valeurs de rapports plus élevés par rapport aux autres stations pour des faibles durées, ce qui explique que la région présentée par cette station dans le bassin de La Macta a une variation importante de l'intensité maximale lorsque la période de retour diminue, donc les intensités maximales dans les différentes périodes de retour sont très faibles devant l'intensité qui correspond à la période de retour maximale dans notre étude qui est de 50 ans, ensuite la station 12809 du bassin Cheliff et la station 40205 du bassin Côtiers Oranais, puis les stations 160701 et 111506 de bassins Tafna et Macta.

Par contre, pour des fortes durées la variation la plus importante est ce présente dans la région présentée par la station 12809 du bassin de Chélif, ensuite les stations 40205, 81402, 111506, 160701 par cet ordre.

#### IV 2.2.3 comparaison des rapports pour des stations d'un même bassin

##### **Bassin versant : La Tafna**

D'après les tableaux présentés dans l'Annexe N°04, les stations 160608, 160517 présentent des valeurs élevés de rapport (**R**), ce qui signifie que la partie Nord et la partie Sud de ce bassin présentent une intensité forte.

##### **Bassin Versant : Hauts plateaux Oranais**

D'après les tableaux présentés dans l'Annexe N°04, pour la durée de 15 minutes le risque est plus élevé dans la partie Ouest que la partie Sud.

##### **Bassin Versant : Côtiers Oranais**

Pour ce bassin, la variation du rapport (**R'**) est important dans les bassins 40612 et 40411, ce qui indique que le risque pluvial décroît de l'Est vers l'Ouest (Voir Annexe N°04).

**Bassin Versant : La Macta**

D'après les résultats présentés dans l'Annexe N°04 de ce bassin, la partie Est présente plus de risque par rapport à la partie Ouest.

**Bassin Versant : Cheliff**

D'après les tableaux présentés dans l'Annexe N°04 Le risque pluvial se décroît du Sud vers le Nord dans la partie Ouest du bassin Cheliff.

**Conclusion**

Le but principal du chapitre était de présenter les courbes intensités-durées-fréquences (IDF) des intensités pour plusieurs stations dans le Nord-Ouest de l'Algérie, afin de comparer le risque d'inondation. La modélisation mathématique des courbes IDF a permis de déterminer l'exposant climatique qui est proportionnelle avec l'intensité. Il varie d'une manière décroissante du l'Est vers l'Ouest et d'une manière croissante du Nord vers le Sud de la région d'étude (Nord-Ouest de l'Algérie).

Pour les 05 bassins versants présentés dans cette étude, le risque pluvial est plus élevé dans la partie Sud de notre zone d'étude (le bassin de Hauts plateaux Oranais), ensuite ce risque diminue vers le Nord, et la partie Ouest (le bassin de Tafna) présente le risque le plus faible.

## CONCLUSION GENERALE



# Conclusion générale

---

Au cours de la dernière décennie et sous l'effet d'une urbanisation toujours croissante, les villes Algériennes ont connu des inondations dévastatrices dues à des averses de courte durée et de forte intensité. Les courbes intensités-durées-fréquences (IDF) des précipitations représentent un outil de première importance dans la planification, la gestion et la prévention du risque pluvial (Mustapha Boukhelifa et al, 2011).

L'objectif général de ce mémoire était d'élaborer une méthodologie de travail pour bien établir les courbes IDF et faire une synthèse du risque dans la région étudiée.

L'étude fréquentielle permet d'estimer les fréquences de dépassement  $F$  des événements pluvieux observés à partir de leur durée et de leur intensité moyenne  $I$ .

Le calcul de l'intensité moyenne a été fait après un traitement des données pluviographiques par le logiciel HYDRECESS. Par la suite le logiciel HYFRAN-PLUS a développé des modèles d'ajustement et le SAD permettra de faciliter le choix pour montrer que l'ajustement est meilleur suivant la loi GEV pour toutes les stations d'étude. Le calcul des quantiles pour les différentes périodes de retour a servi à l'établissement des courbes IDF, intensité moyenne maximale de la pluie (mm/h) en fonction du temps (minutes).

La modélisation mathématique des courbes IDF a permis de déterminer l'exposant climatique de quelques stations de la zone d'étude qui varie d'une manière décroissante de l'Est vers l'Ouest, et d'une manière croissante du Nord vers le Sud.

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'intensification des pluies de courte durée mesurée à des stations de la région Nord-Ouest de l'Algérie. Il est montré dans ce mémoire une augmentation d'intensité des pluies sur les pas de temps plus faibles. le calcul d'un rapport d'intensité maximale suivant la durées de 15 minutes et la période de retour de 50 ans a servi de constate que :

- Lorsque la variation de l'intensité maximale suivant les durées (variation suivant la formule :  $I_{15\ min} = R \times I_{x\ min}$ ) est importante, le risque pluvial se présente pour des périodes de retour plus élevés.
- Lorsque la variation de l'intensité maximale suivant les périodes de retour ( $I_{50\ ans} = R' \times I_{x\ ans}$ ) est importante, le risque pluvial se présente pour des durées faibles.
- Pour les 05 bassins versants présentés dans cette étude, le risque pluvial est plus élevé dans la partie Sud de note zone d'étude (le bassin de Hauts plateaux Oranais), ensuite ce risque diminue vers le Nord, et la partie Ouest (le bassin de Tafna) présente le risque le plus faible.

**Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- **André Musy et Christophe Higy**. Hydrologie Appliquée. Editions \*H\*G\*A\*, Bucarest.
- **BERDANE, K.** Crues et inondations en zone aride : cas du bassin de l'oued Deffa dans le sud-ouest Algérien. 115p. Mémoire de Magister : ENSH de Blida : Option: Génie de l'eau : 2015.
- Boukhelifa, Moustapha**. Contribution à la modélisation de la relation pluie débit en absence de données hydrométrique : cas d'une zone urbaine (ville de Tipasa). 138p. Mémoire de Magister : ENSH de Blida : Option génie de l'eau : 2010.
- **Christophe Ancey**. Notes de cours : Risques hydrologiques et aménagement du territoire. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Ecublens, CH-1015 Lausanne, Suisse. version 6.3 du 17 novembre 2011.
- **Defrance, B.** Plan de prévention des risques naturels d'inondation (PPRNI) Brévenne – Turdine. Compte-Rendu de la 1<sup>ère</sup> réunion publique le 1<sup>er</sup> octobre 2009 à Tarare. Chef du Service Environnement Risques et Développement durable (SERDD) pp 16.
- **El ADLOUNI, Salaheddine**. Analyse fréquentielle hydrologique : Logiciel Hfran-Plus (Version-V2.1), 13 Novembre 2014.
- El Adlouni, Salaheddine, Bernard Bobée et Ouejdene Samoud**. Guide pour les méthodes du système d'aide à la décision (SAD) de Hyfran-Plus. 2006.
- **François Moussu**. Modélisation couplée pluie/débit débit/débit : Développement et application aux bassins non jaugés. 52p. Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie Parcours Hydrologie-Hydrogéologie : Université Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris : 2006-2007.
- **Jean-Luc BERTRAND-KRKRAJEWSKI**. Cours d'Hydrologie Urbaine Partie 2 : La pluie. Paris (France) : éditions du Seuil. 15/03/2007.
- **LABORDE, J.P.** Eléments d'hydrologie de surface. L'Université de Nice-Sophia Antipolis, Edition Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S), pp 8-137.
- Leclerc, M. (2000)**. Cours d'hydrodynamique fluviale : l'analyse, la prévention et l'aménagement des risques d'inondation. INRS-EAU, 67 p.

## Références bibliographiques

---

- Lucio, E. Ing, Vergara, S.** Manual de Uso del Hydraccess: Cálculo de la Precipitación Media sobre una Cuenca. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA – DCPRH. 12 de febrero de 2015.
- **Meylan, P et Musy, A,** (1999). Hydrologie fréquentielle. Editions HGA, Bucarest. Hongrie.
- **MEDJERAB, A. 2005.** Etude pluviométrique de l'Algérie Nord-Occidentale « Approche statistique et cartographie automatique ». thèse de Doctorat, USTHB d'Alger.
- **MEDEJERAB, A. HENIA, L.** Variations spatio-temporelles de la sécheresse climatique en Algérie nord-occidentale. Laboratoire, de Géographie et Aménagement du Territoire Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Courrier du Savoir – N°11, Mars 2011, pp.71-79
- MEDDI, H:** Quantification des précipitations : application au nord ouest algérien- méthodologie Pluvia. Mémoire de magister, C.U. Mascara, 140 pages. 2001.
- **Organisation météorologique mondiale.** Guide des pratiques hydrologique : Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications.
- Projet GEF/PNUD 00039149.**Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques a la CCNUCC : Sommet de Copenhague sur les changements climatiques 17 décembre 2009. Alger 2010.
- Touaibia, B.** Manuel pratique d'hydrologie. Edition Madani frères. Blida. Algérie, 166p.2004.
- **Yahiaoui Abdelhalim.** Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès). 185p. Doctorat en Hydraulique : Ecole Nationale Polytechnique : 3 juillet 2012.
- **ZOBIRI, Fouzia.** Developpement des courbes IDF dans la region centre ville de soumaa, Mouzaia et Oued zeboudj. 236p. Mémoire de Magister : ENSH de Blida : Option génie de l'eau : 2012.

# ANNEXES

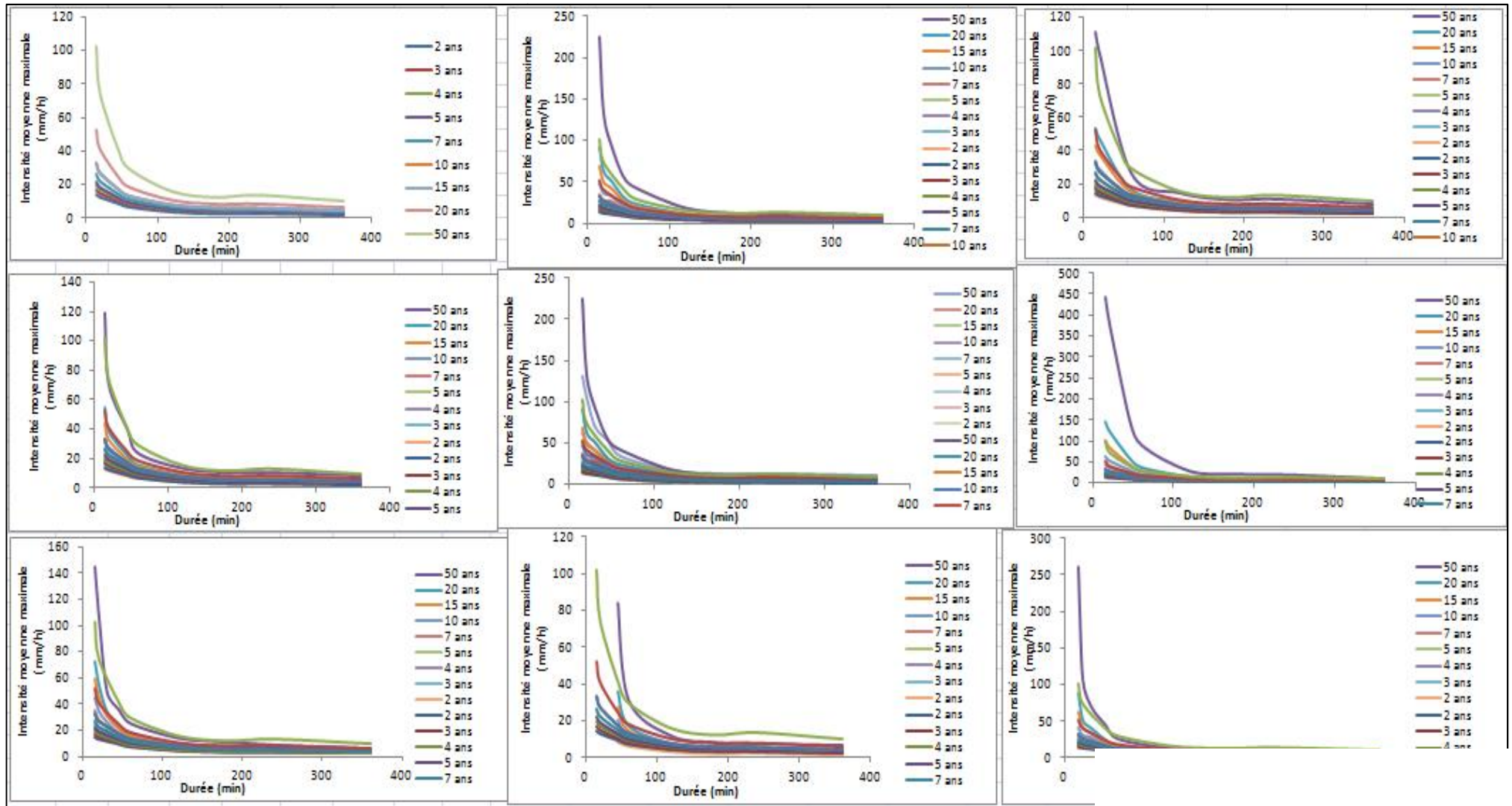
## Annexe N° 01

Présentation des station d'étude.

Station	Bassin Versant	Code	X	Y
FODDA BGE	Cheliff	12108	402.00	305.60
HASASNA	Cheliff	12809	324.95	295.80
AIN TEMOUCHENT ERA	Côtiers Oranais	40205	153.50	227.00
MECHERIA	Hauts plateaux Oranais	81401	224.00	331.70
SIDI BEL ABBES	La Macta	110305	194.25	215.6
FERGOUG BGE	La Macta	111506	259.3	250.05
ZAOUIA BEN AMAR	la Tafna	160517	102.75	202.5
MEFFROUCHE BGE	la Tafna	160701	135.55	180.2
DAR BENCHERKI	Côtiers Oranais	40111	92.45	203.75
MAKEDRA	Côtiers Oranais	40410	216.50	242.55
OUED BESBES	Côtiers Oranais	40411	177.75	224.80
MOSTAGUEM SCM	Côtiers Oranais	40612	266.45	293.40
EL ARICHA	Hauts plateaux Oranais	80102	135.80	409.15
MAGHNIA FRONT	la Tafna	160302	88.1	176.75
SEBDOU	la Tafna	160401	131.25	158.55
BENI BAHDEL BGE	la Tafna	160403	115	164.6
SIDI GOURARI	la Tafna	160608	152.25	172.95
ZAOUIA BEN AMAR (SIDI)	la Tafna	160517	102.75	202.5
BENSEKRANE	la Tafna	160702	143.4	205.35
TIARET GRHA	Cheliff	12908	373.40	232.80
BAKHADDA BGE	Cheliff	12901	349.00	228.75
DJIDIOUIA CHELIFF	Cheliff	12806	329.20	298.30
MENDES	Cheliff	12706	333.70	262.95
OUED LILI	Cheliff	12507	370.80	246.90
AMMI MOUSSA	Cheliff	12605	357.40	286.15
ES SOUALA ST, EXP	Cheliff	12218	362.15	318.40
EL ASNAM DDA	Cheliff	12219	378.65	320.50
PONTEBA DEFLUENT	Cheliff	12203	393.90	327.40
BENARIA	Cheliff	12205	378.15	338.40
MERINE	La Macta	110501	211.6	169.5
DAOUD YOUB	La Macta	110802	233.8	184.25
FERME DU SYNDICAT	La Macta	111120	263.7	165.5
AIN ZERGA FERME	La Macta	111128	274.45	176.4
SIDI MIMOUN	La Macta	111208	288.9	196.25
MATEMORE	La Macta	111405	274.15	228.55
SAHOUET OUIZERT	La Macta	111502	247	215.75
MOHAMMADIA GRHA	La Macta	111511	261.85	257.7
BOUGHIRAT	La Macta	111609	272.25	273.15

# ANNEXES

## Annexe N° 02 : Quelques courbes intensités-durées-fréquences des stations étudiées



Created with

 **nitro**PDF<sup>®</sup> professional

download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

# ANNEXES

## Annexe N° 03 : Comparaison des intensités suivant le rapport de durée.

1- comparaison des rapports pour la même série (Nous présentons quelques stations)

160701 Rapport suivant les durées										160702 Rapport suivant les durées									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.17	1.46	1.82	2.13	3.11	3.88	4.54	5.67	50	1.00	1.28	1.61	2.48	3.48	6.54	8.50	7.67	10.42
20	1.00	1.15	1.40	1.71	1.96	2.75	3.35	3.85	4.69	20	1.00	1.28	1.42	2.12	2.85	4.99	6.47	6.37	8.55
15	1.00	1.13	1.35	1.61	1.83	2.48	2.95	3.35	4.00	15	1.00	1.25	1.37	2.02	2.69	4.62	6.00	6.04	8.08
10	1.00	1.17	1.46	1.83	2.15	3.14	3.93	4.61	5.76	10	1.00	1.22	1.29	1.89	2.49	4.22	5.48	5.64	7.56
7	1.00	1.17	1.48	1.85	2.18	3.21	4.03	4.74	5.95	7	1.00	1.19	1.23	1.80	2.33	3.93	5.13	5.34	7.19
5	1.00	1.19	1.52	1.93	2.30	3.48	4.44	5.28	6.73	5	1.00	1.16	1.18	1.72	2.22	3.73	4.90	5.12	6.92
4	1.00	1.19	1.53	1.96	2.35	3.59	4.61	5.50	7.06	4	1.00	1.15	1.14	1.67	2.16	3.62	4.79	4.99	6.79
3	1.00	1.21	1.57	2.04	2.46	3.85	5.00	6.03	7.84	3	1.00	1.13	1.10	1.61	2.09	3.54	4.72	4.87	6.68
2	1.00	1.22	1.63	2.16	2.64	4.30	5.71	6.98	9.28	2	1.00	1.11	1.05	1.55	2.02	3.49	4.75	4.76	6.67
111506 Rapport suivant les durées										160702 Rapport suivant les durées									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.26	1.75	2.43	3.07	5.39	7.48	9.45	13.12	50	0.86	1.44	0.86	2.54	4.34	7.67	9.81	9.81	12.23
20	1.00	1.25	1.72	2.36	2.95	5.07	6.96	8.72	11.97	20	0.96	1.35	1.03	2.31	3.30	5.53	7.02	7.37	9.44
15	1.00	1.19	1.51	1.93	2.29	3.47	4.43	5.26	6.71	15	0.99	1.33	1.09	2.23	3.03	5.04	6.41	6.78	8.78
10	1.00	1.28	1.80	2.53	3.29	5.81	8.18	10.44	14.71	10	1.03	1.29	1.15	2.11	2.74	4.50	5.73	6.12	8.03
7	1.00	1.28	1.81	2.57	3.29	5.98	8.47	10.85	15.38	7	1.06	1.25	1.18	2.00	2.51	4.11	5.27	5.64	7.49
5	1.00	1.29	1.83	2.61	3.36	6.16	8.78	11.28	16.08	5	1.07	1.23	1.20	1.91	2.33	3.85	4.97	5.29	7.12
4	1.00	1.29	1.85	2.64	3.41	6.28	8.99	11.60	16.60	4	1.08	1.21	1.20	1.86	2.23	3.71	4.81	5.09	6.91
3	1.00	1.29	1.86	2.68	3.47	6.46	9.29	12.03	17.30	3	1.08	1.19	1.18	1.77	2.13	3.59	4.69	4.91	6.76
2	1.00	1.30	1.89	2.74	3.57	6.76	9.81	12.78	18.55	2	1.07	1.16	1.14	1.67	2.03	3.51	4.68	4.75	6.67
110305 Rapport suivant les durées										160517 Rapport suivant les durées									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.20	1.54	1.98	2.37	3.64	4.68	5.59	7.20	50	1.00	1.25	1.89	2.49	3.91	8.00	10.73	10.48	12.94
20	1.00	1.19	1.53	1.96	2.34	3.58	4.59	5.47	7.02	20	1.00	1.22	1.51	2.20	3.08	5.74	7.49	7.69	9.72
15	1.00	1.19	1.53	1.96	2.34	3.57	4.58	5.46	6.99	15	1.00	1.21	1.41	2.10	2.87	5.23	6.76	7.00	8.94
10	1.00	1.19	1.53	1.96	2.34	3.59	4.60	5.49	7.04	10	1.00	1.19	1.29	1.99	2.61	4.64	5.96	6.25	8.07
7	1.00	1.19	1.53	1.97	2.36	3.61	4.64	5.55	7.13	7	1.00	1.18	1.20	1.88	2.41	4.22	5.41	5.70	7.46
5	1.00	1.20	1.54	1.98	2.37	3.64	4.69	5.61	7.22	5	1.00	1.17	1.13	1.80	2.26	3.92	5.03	5.29	7.03
4	1.00	1.20	1.54	1.99	2.39	3.68	4.75	5.69	7.34	4	1.00	1.15	1.08	1.73	2.17	3.75	4.82	5.05	6.78
3	1.00	1.20	1.55	2.01	2.41	3.74	4.83	5.80	7.50	3	1.00	1.15	1.05	1.68	2.10	3.62	4.69	4.86	6.62
2	1.00	1.21	1.57	2.04	2.46	3.86	5.03	6.06	7.89	2	1.00	1.13	1.01	1.59	2.00	3.50	4.61	4.66	6.51
81402 Rapport suivant les durées										160403 Rapport suivant les durées									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.32	1.96	2.90	3.83	7.48	11.08	14.64	21.68	50	1.00	1.37	1.52	2.98	4.21	7.44	10.41	9.34	11.23
20	1.00	1.27	1.79	2.51	3.20	5.72	8.04	10.24	14.39	20	1.00	1.30	1.40	2.40	3.24	5.30	7.01	7.08	8.77
15	1.00	1.26	1.74	2.41	3.04	5.29	7.32	9.22	12.75	15	1.00	1.27	1.36	2.24	2.97	4.83	6.26	6.52	8.16
10	1.00	1.24	1.66	2.24	2.77	4.61	6.21	7.67	10.34	10	1.00	1.24	1.30	2.06	2.69	4.28	5.45	5.89	7.48
7	1.00	1.23	1.64	2.19	2.69	4.42	5.91	7.26	9.70	7	1.00	1.22	1.25	1.89	2.46	3.90	4.91	5.42	6.97
5	1.00	1.22	1.61	2.12	2.58	4.15	5.47	6.66	8.79	5	1.00	1.19	1.20	1.78	2.28	3.64	4.55	5.10	6.64
4	1.00	1.21	1.59	2.08	2.52	4.01	5.26	6.37	8.36	4	1.00	1.18	1.17	1.77	2.22	3.58	4.55	4.88	6.44
3	1.00	1.21	1.57	2.04	2.46	3.86	5.03	6.06	7.89	3	1.00	1.16	1.13	1.64	2.09	3.48	4.55	4.79	6.44
2	1.00	1.20	1.55	2.01	2.41	3.74	4.84	5.82	7.52	2	1.00	1.15	1.08	1.51	1.98	3.38	4.55	4.79	6.44
40205 Rapport suivant les durées																			
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.32	1.96	2.90	3.83	7.48	11.08	14.64	21.68	50	1.00	1.37	1.52	2.98	4.21	7.44	10.41	9.34	11.23
20	1.00	1.27	1.79	2.51	3.20	5.72	8.04	10.24	14.39	20	1.00	1.30	1.40	2.40	3.24	5.30	7.01	7.08	8.77
15	1.00	1.26	1.74	2.41	3.04	5.29	7.32	9.22	12.75	15	1.00	1.27	1.36	2.24	2.97	4.83	6.26	6.52	8.16
10	1.00	1.24	1.66	2.24	2.77	4.61	6.21	7.67	10.34	10	1.00	1.24	1.30	2.06	2.69	4.28	5.45	5.89	7.48
7	1.00	1.23	1.64	2.19	2.69	4.42	5.91	7.26	9.70	7	1.00	1.22	1.25	1.89	2.46	3.90	4.91	5.42	6.97
5	1.00	1.22	1.61	2.12	2.58	4.15	5.47	6.66	8.79	5	1.00	1.19	1.20	1.78	2.28	3.64	4.55	5.10	6.64
4	1.00	1.21	1.59	2.08	2.52	4.01	5.26	6.37	8.36	4	1.00	1.18	1.17	1.77	2.22	3.58	4.55	4.88	6.44
3	1.00	1.21	1.57	2.04	2.46	3.86	5.03	6.06	7.89	3	1.00	1.16	1.13	1.64	2.09	3.48	4.55	4.79	6.44
2	1.00	1.20	1.55	2.01	2.41	3.74	4.84	5.82	7.52	2	1.00	1.15	1.08	1.51	1.98	3.38	4.55	4.79	6.44

# ANNEXES

## 2- comparaison des rapports pour des stations de bassins différents

T = 2 ans						T = 20 ans					
$\Delta t$ (min)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701	$\Delta t$ (min)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701
15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.23	1.21	1.20	1.30	1.22	20	1.23	1.23	1.27	1.25	1.15
45	2.2	2.06	2.01	2.74	2.16	45	2.23	2.22	2.51	2.36	1.71
60	2.71	2.50	2.41	3.57	2.64	60	2.76	2.73	3.20	2.95	1.96
120	4.45	3.94	3.74	6.76	4.30	120	4.58	4.51	5.72	5.07	2.75
180	5.96	5.15	4.84	9.81	5.71	180	6.17	6.04	8.04	6.96	3.35
T = 5 ans						T = 50 ans					
$\Delta t$ (min)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701	$\Delta t$ (min)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701
15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.23	1.21	1.22	1.29	1.19	20	1.23	1.25	1.32	1.26	1.17
45	2.22	2.09	2.12	2.61	1.93	45	2.23	2.35	2.90	2.43	1.82
60	2.74	2.53	2.58	3.36	2.30	60	2.76	2.93	3.83	3.07	2.13
120	4.53	4.02	4.15	6.16	3.48	120	4.58	5.02	7.48	5.39	3.11
180	6.09	5.27	5.47	8.78	4.44	180	6.17	6.88	11.08	7.48	3.88
T = 10 ans											
$\Delta t$ (min)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701						
15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
20	1.23	1.22	1.24	1.28	1.17						
45	2.23	2.14	2.24	2.53	1.83						
60	2.75	2.61	2.77	3.23	2.15						
120	4.57	4.22	4.61	5.81	3.14						
180	6.15	5.58	6.21	8.18	3.93						



# ANNEXES

## 2- comparaison des rapports pour des stations d'un même bassin

BV: 16 T = 2 ans					BV:04 T = 2 ans					BV:08 T = 2 ans			BV:11 T = 2 ans				BV:01 T = 2 ans					
Δt (min)	ST 160702	ST 160701	ST 160608	ST 160517	Δt (min)	ST 40612	ST 40411	ST 40410	ST 40205	Δt (min)	ST 81402	ST 80102	Δt (min)	ST 111502	ST 111120	ST 110802	ST 110501	Δt (min)	ST 12908	ST 12809	ST 12605	ST 12706
15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.11	1.22	1.08	1.13	20	1.12	1.09	1.21	1.21	20	1.20	1.26	20	1.12	1.16	1.23	1.21	20	1.23	1.14	1.14	1.16
45	1.55	2.16	1.56	1.13	45	1.52	1.50	2.06	2.06	45	2.01	1.78	45	1.57	1.63	1.92	1.80	45	2.20	1.65	1.71	1.68
60	2.02	2.64	1.90	2.00	60	1.99	1.89	2.50	2.50	60	2.41	2.37	60	2.16	2.09	2.55	2.41	60	2.71	2.24	2.13	2.17
120	3.49	4.30	3.28	3.50	120	3.60	3.97	3.94	3.94	120	3.74	4.51	120	3.95	4.23	4.72	4.39	120	4.45	3.67	3.72	3.94
180	4.75	5.71	4.38	4.61	180	4.90	5.49	5.15	5.15	180	4.84	6.14	180	5.68	5.89	6.68	5.87	180	5.96	4.98	5.10	5.56
BV: 16 T = 5 ans					BV:04 T = 5 ans					BV:08 T = 5 ans			BV:11 T = 5 ans				BV:01 T = 5 ans					
Δt (min)	ST 160702	ST 160701	ST 160608	ST 160517	Δt (min)	ST 40612	ST 40411	ST 40410	ST 40205	Δt (min)	ST 81402	ST 80102	Δt (min)	ST 111502	ST 111120	ST 110802	ST 110501	Δt (min)	ST 12908	ST 12809	ST 12605	ST 12706
15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.16	1.19	1.15	1.17	20	1.17	1.17	1.25	1.21	20	1.22	1.24	20	1.18	1.24	1.22	1.24	20	1.23	1.18	1.15	1.19
45	1.72	1.93	1.78	1.80	45	1.66	1.80	2.04	2.09	45	2.12	1.91	45	1.84	1.98	1.96	2.05	45	2.22	1.86	1.83	1.88
60	2.22	2.30	2.17	2.26	60	2.13	2.23	2.68	2.53	60	2.58	2.54	60	2.71	2.64	2.90	2.76	60	2.74	2.61	2.28	2.40
120	3.73	3.48	3.58	3.92	120	3.66	4.33	4.88	4.02	120	4.15	4.80	120	5.13	5.37	5.37	5.05	120	4.53	4.33	3.91	4.22
180	4.90	4.44	4.63	5.03	180	4.86	5.91	6.80	5.27	180	5.47	6.64	180	7.24	7.24	7.46	6.67	180	6.09	5.69	5.19	5.73
BV: 16 T = 10 ans					BV:04 T = 10 ans					BV:08 T = 10 ans			BV:11 T = 10 ans				BV:01 T = 10 ans					
Δt (min)	ST 160702	ST 160701	ST 160608	ST 160517	Δt (min)	ST 40612	ST 40411	ST 40410	ST 40205	Δt (min)	ST 81402	ST 80102	Δt (min)	ST 111502	ST 111120	ST 110802	ST 110501	Δt (min)	ST 12908	ST 12809	ST 12605	ST 12706
15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.22	1.17	1.25	1.19	20	1.23	1.24	1.30	1.22	20	1.24	1.17	20	1.19	1.29	1.17	1.24	20	1.23	1.21	1.17	1.20
45	1.89	1.83	2.04	1.99	45	1.85	2.18	2.34	2.14	45	2.24	1.95	45	2.14	2.38	1.75	2.14	45	2.23	2.06	1.85	2.03
60	2.49	2.15	2.65	2.61	60	2.33	2.72	2.88	2.61	60	2.77	2.59	60	3.28	3.37	2.99	2.95	60	2.75	2.97	2.40	2.60
120	4.22	3.14	4.36	4.64	120	3.92	4.74	5.05	4.22	120	4.61	4.90	120	6.97	6.86	5.87	5.68	120	4.57	5.48	4.23	4.56
180	5.48	3.93	5.55	5.96	180	5.26	6.58	7.06	5.58	180	6.21	7.08	180	9.64	9.24	8.14	7.69	180	6.15	7.17	5.58	6.04
BV: 16 T = 20 ans					BV:04 T = 20 ans					BV:08 T = 20 ans			BV:11 T = 20 ans				BV:01 T = 20 ans					
Δt (min)	ST 160702	ST 160701	ST 160608	ST 160517	Δt (min)	ST 40612	ST 40411	ST 40410	ST 40205	Δt (min)	ST 81402	ST 80102	Δt (min)	ST 111502	ST 111120	ST 110802	ST 110501	Δt (min)	ST 12908	ST 12809	ST 12605	ST 12706
15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.28	1.15	1.41	1.22	20	1.30	1.34	1.33	1.23	20	1.27	1.08	20	1.18	1.33	1.10	1.22	20	1.23	1.24	1.18	1.21
45	2.12	1.71	2.41	2.20	45	2.08	2.74	2.66	2.22	45	2.51	1.96	45	2.47	2.89	1.42	2.17	45	2.23	2.24	1.81	2.17
60	2.85	1.96	3.43	3.08	60	2.58	3.46	3.05	2.73	60	3.20	2.60	60	3.95	4.49	2.93	3.09	60	2.76	3.35	2.50	2.79
120	4.99	2.75	5.76	5.74	120	4.34	5.27	5.13	4.51	120	5.72	4.94	120	9.73	9.05	6.36	6.44	120	4.58	7.41	4.69	5.01
180	6.47	3.35	7.32	7.49	180	5.97	7.54	7.23	6.04	180	8.04	7.58	180	13.21	12.34	8.86	9.08	180	6.17	9.73	6.19	6.49
BV: 16 T = 50 ans					BV:04 T = 50 ans					BV:08 T = 50 ans			BV:11 T = 50 ans				BV:01 T = 50 ans					
Δt (min)	ST 160702	ST 160701	ST 160608	ST 160517	Δt (min)	ST 40612	ST 40411	ST 40410	ST 40205	Δt (min)	ST 81402	ST 80102	Δt (min)	ST 111502	ST 111120	ST 110802	ST 110501	Δt (min)	ST 12908	ST 12809	ST 12605	ST 12706
15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1.00	1.00	15	1.00	1.00	15	1.00	1.00	1	1	15	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.38	1.17	1.68	1.25	20	1.41	1.49	1.36	1.25	20	1.32	0.95	20	1.16	1.35	0	0	20	1.16	1.35	0	0
45	2.48	1.82	2.97	2.49	45	2.50	3.82	3.13	2.35	45	2.90	1.92	45	2.94	3.71	1	1	45	2.94	3.71	1	1
60	3.48	2.13	5.06	3.91	60	3.01	4.92	3.22	2.93	60	3.83	2.56	60	4.90	6.64	2	2	60	4.90	6.64	2	2
120	6.54	3.11	8.95	8.00	120	5.07	6.14	5.11	5.02	120	7.48	4.93	120	15.37	13.28	7	7	120	15.37	13.28	7	7
180	8.50	3.88	11.44	10.73	180	7.41	9.24	7.37	6.88	180	11.08	8.35	180	20.23	18.68	9	9	180	20.23	18.68	9	9

# ANNEXES

## Annexe N° 04 : Comparaison des rapports d'intensités suivant la période de retour

1- comparaison des rapports pour la même série (Nous présentons quelques stations).

160702 Rapport suivant les périodes de retour										111502 Rapport suivant les période de retour									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.95	1.81	1.71	1.66	1.59	1.49	1.48	1.62	1.60	20	3.06	3.11	2.36	2.57	2.47	1.94	2.00	1.94	1.71
15	2.37	2.15	2.01	1.93	1.83	1.68	1.67	1.87	1.84	15	4.32	4.43	3.07	3.42	3.23	2.37	2.47	2.36	2.01
10	3.08	2.72	2.47	2.35	2.20	1.99	1.99	2.27	2.24	10	6.86	7.02	4.33	4.98	4.59	3.11	3.27	3.07	2.50
7	3.83	3.31	2.91	2.78	2.57	2.30	2.31	2.67	2.65	7	10.18	10.38	5.79	6.82	6.16	3.90	4.14	3.80	3.00
5	4.64	3.92	3.38	3.21	2.96	2.64	2.67	3.09	3.08	5	14.27	14.47	7.47	8.93	7.89	4.77	5.11	4.59	3.54
4	5.23	4.36	3.70	3.51	3.24	2.90	2.95	3.40	3.41	4	17.71	17.79	8.74	10.56	9.15	5.42	5.84	5.17	3.94
3	6.04	4.97	4.13	3.91	3.63	3.27	3.35	3.83	3.87	3	22.50	22.29	10.54	12.71	10.84	6.32	6.86	5.96	4.49
2	7.29	5.88	4.75	4.56	4.23	3.89	4.07	4.52	4.66	2	30.21	29.15	13.27	16.09	13.33	7.76	8.48	7.14	5.39
160608 Rapport suivant les périodes de retour										111405 Rapport suivant les période de retour									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	2.18	1.83	2.34	1.77	1.48	1.40	1.39	1.46	1.50	20	2.99	2.07	1.72	1.82	1.55	1.38	1.33	1.37	1.28
15	2.74	2.19	3.01	2.08	1.65	1.56	1.55	1.64	1.70	15	4.16	2.57	2.02	2.17	1.77	1.52	1.45	1.51	1.39
10	3.71	2.76	4.12	2.55	1.94	1.81	1.80	1.92	2.02	10	6.35	3.43	2.49	2.70	2.09	1.75	1.65	1.73	1.56
7	4.72	3.34	5.29	3.02	2.22	2.06	2.06	2.20	2.35	7	9.00	4.34	2.98	3.24	2.41	1.98	1.85	1.93	1.71
5	5.80	3.96	6.47	3.49	2.49	2.33	2.35	2.50	2.70	5	11.92	5.35	3.46	3.81	2.75	2.22	2.07	2.15	1.89
4	6.61	4.40	7.30	3.82	2.69	2.53	2.57	2.72	2.96	4	14.11	6.09	3.83	4.19	2.98	2.40	2.24	2.31	2.02
3	7.63	4.99	8.32	4.21	2.97	2.82	2.89	3.02	3.34	3	16.95	7.07	4.31	4.67	3.29	2.66	2.49	2.53	2.20
2	9.08	5.86	9.67	4.77	3.41	3.33	3.48	3.53	3.97	2	20.71	8.62	5.04	5.38	3.77	3.10	2.93	2.88	2.52
160517 Rapport suivant les périodes de retour										111208 Rapport suivant les période de retour									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	2.09	2.05	1.67	1.85	1.65	1.50	1.46	1.53	1.57	20	2.31	2.30	2.50	1.70	1.66	1.57	1.56	1.65	1.62
15	2.61	2.54	1.95	2.21	1.92	1.71	1.65	1.75	1.81	15	2.97	2.95	3.28	1.98	1.94	1.81	1.79	1.92	1.88
10	3.51	3.37	2.40	2.80	2.35	2.03	1.95	2.09	2.19	10	4.11	4.08	4.65	2.45	2.38	2.19	2.17	2.35	2.31
7	4.49	4.26	2.84	3.40	2.77	2.37	2.27	2.44	2.59	7	5.39	5.33	6.17	2.93	2.83	2.58	2.57	2.79	2.74
5	5.57	5.22	3.32	4.02	3.22	2.73	2.61	2.81	3.03	5	6.73	6.68	7.82	3.42	3.32	3.01	3.01	3.25	3.22
4	6.41	5.92	3.67	4.45	3.57	3.01	2.88	3.09	3.36	4	7.77	7.68	8.99	3.79	3.67	3.32	3.34	3.60	3.57
3	7.50	6.93	4.15	5.05	4.02	3.40	3.28	3.48	3.83	3	9.07	8.96	10.52	4.29	4.16	3.77	3.82	4.08	4.07
2	9.30	8.41	4.94	5.95	4.75	4.06	3.99	4.13	4.68	2	10.98	10.84	12.58	5.08	4.95	4.51	4.68	4.83	4.93
160403 Rapport suivant les périodes de retour										111128 Rapport suivant les période de retour									
T	15	20	30	45	60	120	180	240	360	T	15	20	30	45	60	120	180	240	360
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	2.08	1.97	1.92	1.68	1.60	1.48	1.40	1.58	1.63	20	1.91	1.82	1.85	1.67	1.66	1.50	1.45	1.54	1.42
15	2.60	2.41	2.33	1.95	1.83	1.69	1.56	1.81	1.89	15	2.31	2.18	2.21	1.95	1.92	1.70	1.63	1.75	1.58
10	3.48	3.16	2.98	2.40	2.22	2.00	1.82	2.19	2.32	10	3.00	2.78	2.79	2.37	2.35	2.01	1.91	2.07	1.83
7	4.44	3.94	3.65	2.82	2.60	2.33	2.10	2.58	2.76	7	3.73	3.39	3.39	2.82					
5	5.49	4.79	4.35	3.27	2.98	2.69	2.40	3.00	3.25	5	4.53	4.05	4.00	3.27					
4	6.27	5.40	4.85	3.61	3.28	2.96	2.63	3.30	3.62	4	5.12	4.54	4.44	3.60					
3	7.36	6.23	5.48	4.05	3.67	3.36	2.99	3.74	4.16	3	5.96	5.22	5.03	4.04					
2	9.01	7.53	6.44	4.73	4.29	4.06	3.65	4.46	5.07	2	7.26	6.29	5.88	4.70					

Created with

# ANNEXES

## 2-Comparaison entres les rapports pour des stations des bassins différents

$\Delta t = 15 \text{ min}$						$\Delta t = 60 \text{ min}$					
T (ans)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701	T (ans)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.96	1.68	1.84	1.45	1.71	20	1.96	1.57	1.54	1.39	1.58
10	2.41	2.41	2.69	1.56	2.43	10	2.41	2.15	1.95	1.64	2.44
5	3.35	3.36	4.20	1.82	2.38	5	3.32	2.90	2.83	1.98	2.57
2	4.91	4.97	6.70	2.23	2.86	2	4.82	4.23	4.23	2.59	3.55

$\Delta t = 20 \text{ min}$						$\Delta t = 120 \text{ min}$					
T (ans)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701	T (ans)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.96	1.66	1.77	1.43	1.68	20	1.96	1.51	1.41	1.36	1.51
10	2.41	2.35	2.52	1.57	2.43	10	2.41	2.02	1.66	1.68	2.45
5	3.34	3.26	3.87	1.85	2.42	5	3.31	2.69	2.33	2.07	2.66
2	4.89	4.80	6.09	2.30	2.99	2	4.77	3.90	3.36	2.80	3.95

$\Delta t = 45 \text{ min}$						$\Delta t = 180 \text{ min}$					
T (ans)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701	T (ans)	ST 12809	ST 40205	ST 81402	ST 111506	ST 160701
50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.96	1.59	1.60	1.40	1.60	5	1.96	1.48	1.33	1.35	1.48
10	2.41	2.20	2.08	1.62	2.44	10	2.41	1.96	1.51	1.70	2.46
5	3.33	2.99	3.08	1.95	2.53	20	3.31	2.58	2.07	2.13	2.72
2	4.84	4.37	4.65	2.51	3.39	50	4.74	3.72	2.93	2.92	4.21

# ANNEXES

## 3-Comparaison des rapports pour des stations d'un même bassin

BV:16 $\Delta t = 15 \text{ min}$					BV:04 $\Delta t = 15 \text{ min}$					BV:08 $\Delta t = 15 \text{ min}$			BV:11 $\Delta t = 15 \text{ min}$				BV:01 $\Delta t = 15 \text{ min}$					
T (ans)	ST 160702	ST 160701	ST 160608	ST 160517	T (ans)	ST 40612	ST 40411	ST 40410	ST 40205	T (ans)	ST 81402	ST 80102	T (ans)	ST 111128	ST 111120	ST 110802	ST 110501	T (ans)	ST 12908	ST 12809	ST 12806	ST 12706
50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.95	1.71	2.18	2.09	20	1.96	1.93	1.78	1.68	20	1.57	1.84	20	1.91	2.28	1.66	1.99	20	2.23	1.96	1.57	1.67
10	3.08	2.43	3.71	3.51	10	3.12	3.09	2.72	2.41	10	2.18	2.69	10	3.00	4.09	2.39	3.25	10	3.89	2.41	2.17	2.41
5	4.64	2.38	5.80	5.57	5	4.73	4.76	4.09	3.36	5	3.02	4.20	5	4.53	6.93	3.39	5.11	5	6.30	3.35	2.96	3.38
2	7.29	2.86	9.08	9.30	2	7.46	7.96	6.89	4.97	2	4.73	6.70	2	7.26	12.28	5.26	8.73	2	10.36	4.91	4.39	5.11
BV:16 $\Delta t = 20 \text{ min}$					BV:04 $\Delta t = 20 \text{ min}$					BV:08 $\Delta t = 20 \text{ min}$			BV:11 $\Delta t = 20 \text{ min}$				BV:01 $\Delta t = 20 \text{ min}$					
50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.81	1.68	1.83	2.05	20	1.80	1.74	1.74	1.66	20	1.78	1.77	20	1.82	2.24	1.84	2.06	20	2.17	1.96	1.54	1.66
10	2.72	2.43	2.76	3.37	10	2.71	2.58	2.59	2.35	10	2.69	2.52	10	2.78	3.91	2.82	3.42	10	3.67	2.41	2.11	2.38
5	3.92	2.42	3.96	5.22	5	3.91	3.72	3.77	3.26	5	3.94	3.87	5	4.05	6.35	4.15	5.39	5	5.80	3.34	2.82	3.30
2	5.88	2.99	5.86	8.41	2	5.91	5.84	6.03	4.80	2	6.23	6.09	2	6.29	10.56	6.53	8.93	2	9.26	4.89	4.08	4.84
BV:16 $\Delta t = 45 \text{ min}$					BV:04 $\Delta t = 45 \text{ min}$					BV:08 $\Delta t = 45 \text{ min}$			BV:11 $\Delta t = 45 \text{ min}$				BV:01 $\Delta t = 45 \text{ min}$					
50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.66	1.60	1.77	1.85	20	1.63	1.38	1.51	1.59	20	1.60	1.60	20	1.67	1.78	2.37	2.03	20	2.03	1.96	1.54	1.54
10	2.35	2.44	2.55	2.80	10	2.30	1.76	2.03	2.20	10	2.22	2.08	10	2.37	2.62	4.20	3.28	10	3.24	2.41	2.06	2.06
5	3.21	2.53	3.49	4.02	5	3.14	2.25	2.67	2.99	5	3.01	3.08	5	3.27	3.69	6.66	4.94	5	4.75	3.33	2.67	2.69
2	4.56	3.39	4.77	5.95	2	4.55	3.14	3.77	4.37	2	4.38	4.65	2	4.70	5.38	10.12	7.43	2	6.94	4.84	3.64	3.63
BV:16 $\Delta t = 60 \text{ min}$					BV:04 $\Delta t = 60 \text{ min}$					BV:08 $\Delta t = 60 \text{ min}$			BV:11 $\Delta t = 60 \text{ min}$				BV:01 $\Delta t = 60 \text{ min}$					
50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.59	1.58	1.48	1.65	20	1.68	1.36	1.68	1.57	20	1.59	1.54	20	1.66	1.54	1.82	1.94	20	1.94	1.96	1.61	1.51
10	2.20	2.44	1.94	2.35	10	2.41	1.71	2.43	2.15	10	2.21	1.95	10	2.35	2.08	2.68	3.03	10	2.98	2.41	2.23	2.02
5	2.96	2.57	2.49	3.22	5	3.35	2.16	3.40	2.90	5	3.00	2.83	5	3.20	2.75	3.67	4.45	5	4.25	3.32	2.94	2.61
2	4.23	3.55	3.41	4.75	2	4.94	3.05	5.01	4.23	2	4.39	4.23	2	4.58	3.86	5.02	6.66	2	6.01	4.82	4.04	3.58
BV:16 $\Delta t = 120 \text{ min}$					BV:04 $\Delta t = 120 \text{ min}$					BV:08 $\Delta t = 120 \text{ min}$			BV:11 $\Delta t = 120 \text{ min}$				BV:01 $\Delta t = 120 \text{ min}$					
50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.49	1.51	1.40	1.50	20	1.67	1.66	1.79	1.51	20	1.57	1.41	20	1.50	1.55	1.50	1.69	20	1.41	1.96	1.50	1.45
10	1.99	2.45	1.81	2.03	10	2.41	2.38	2.68	2.02	10	2.17	1.66	10	2.01	2.11	2.00	2.43	10	1.82	2.41	2.00	1.90
5	2.64	2.66	2.33	2.73	5	3.42	3.36	3.91	2.69	5	2.94	2.33	5	2.65	2.80	2.59	3.40	5	2.33	3.31	2.63	2.47
2	3.89	3.95	3.33	4.06	2	5.30	5.14	6.06	3.90	2	4.33	3.36	2	3.76	3.91	3.53	5.06	2	3.24	4.77	3.72	3.48
BV:16 $\Delta t = 180 \text{ min}$					BV:04 $\Delta t = 180 \text{ min}$					BV:08 $\Delta t = 180 \text{ min}$			BV:11 $\Delta t = 180 \text{ min}$				BV:01 $\Delta t = 180 \text{ min}$					
50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00	50	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.48	1.48	1.39	1.46	20	1.57	1.57	1.75	1.48	20	1.42	1.33	20	1.45	1.51	1.51	1.51	20	1.45	1.51	1.51	1.51
10	1.99	2.46	1.80	1.95	10	2.21	2.20	2.60	1.96	10	1.85	1.51	10	1.91	2.02	2.02	2.02	10	1.91	2.02	2.02	2.02
5	2.67	2.72	2.35	2.61	5	3.10	3.05	3.78	2.58	5	2.40	2.07	5	2.51	2.68	2.68	2.68	5	2.51	2.68	2.68	2.68