



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
جامعة زيان عاشور-الجلفة  
Université Ziane Achour – Djelfa  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



## Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Eau et Environnement

### Thème

**Prédétermination des valeurs extrêmes des pluies et des débits  
Cas du bassin versant de l'oued Bellah, Tipaza.**

Présenté par : Ben kerrouche Fatiha

Devant le jury :

<b><u>Président</u></b> : M. Rebhi A.E.	MAA	Université de Djelfa
<b><u>Promoteur</u></b> : Dr. Elahcene O.	MCA	Université de Djelfa
<b><u>Examineur</u></b> : M <sup>me</sup> Khadri S.	MCB	Université de Djelfa
<b><u>Examineur</u></b> : M. Boulkenafet Z.	MCB	Université de Djelfa

Année Universitaire : 2017 - 2018



## **Remerciements**

*je tenon remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui je a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*je tiens à profonds et sincères remerciements s'adressent à monsieur Omar elahcene, professeur à l'université de Djelfa, pour ses conseils, orientations, son entière disponibilité et sa rigueur scientifique sans lesquels ce travail n'aurait pas pu se réaliser*

*Je tiens à remercier les membres de jury(Rebhi A.E e Boulkenafet Z et Khadri qui ont accepté de lire, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon recherche en acceptant d'examiner je travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement mon collègue noura bouakkaz*

*Il serait ingrat de ma part si je prétendrais avoir remercié tous ceux qui ont apporté une valeur ajoutée à ce travail. C'est pourquoi, je dis merci à toute personne ayant participé de loin ou de près à la réalisation de mon travail.*



## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail  
A mes ma mère et mon père que  
dieu les garde ,  
A mes sœurs et leurs maris,  
A ma belle grand famille.  
À mes collègues de l'étude  
À tous mes amis*

## Liste des Figure

<b>Figure. I.1 :</b> Précipitations de convection	03
<b>Figure. I.2 :</b> Précipitations orographiques	03
<b>Figure. I.3 :</b> Précipitations de front	04
<b>Figure. I.4 :</b> Pluviomètre	05
<b>Figure. I.5 :</b> le pluviographe à augets basculeurs	05
<b>Figure. I.6 :</b> Définition de la notion de période de retour	08
<b>Figure 1.7 :</b> Principales étapes de l'analyse fréquentielle	11
<b>Figure II.1 :</b> Situation de la région d'étude (oued Bellah).	16
<b>Figure II.2 :</b> Carte des pentes du bassin versant de l'oued Bellah.	17
<b>Figure II.3 :</b> Carte géologique du bassin versant de l'oued Bellah.	18
<b>Figure II.4 :</b> Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'oued Bellah	20
<b>FigureII.5 :</b> Carte des ressources hydriques du bassin versant de l'oued Bellah.	23
<b>Figure II.6 :</b> Hauteurs moyennes mensuelles.Poste Bellah RN 11 (1974/1975 à 2006/2007).	24
<b>FigureII.7:</b> Variation inter-annuelle des précipitations. Poste Bellah RN 11 (1974/1975à 2006/2007).	25
<b>Figure III.1 :</b> Ajustement à une loi de Gumbel des précipitations maximales journalières au poste Bellah RN 11 (1973/2009)	27
<b>Figure III.2 :</b> Ajustement par la méthode des moments des précipitations maximales pour le poste Bellah RN 11(1973/2009).	28
<b>Figure III.3 :</b> Ajustement à une loi de Gumbel des débits maximums pour la station RN 11 (1974/2007).	30
<b>Figure III.4 :</b> Ajustement par la méthode des moments des débits maximums à la station Pont RN 11 (1974/2007).	31
<b>Figure III.5 :</b> Ajustement des pluies maximales selon la loi de Gumbel par HYFRAN	33
<b>Figure III.6 :</b> Ajustement des pluies maximales selon la loi Exponentielle par HYFRAN	34
<b>Figure III.7 :</b> Ajustement des pluies maximales selon la loi Halphen de type A par HYFRAN	35

<b>Figure III. 8 :</b> Comparaison graphique des trois lois d'ajustements des données des précipitations pour le poste Bellah RN 11 (1973/2009)	36
<b>Figure III.9 :</b> Ajustement des débits maximales selon la loi de Gumbel par HYFRAN	38
<b>Figure III.10 :</b> Ajustement des débits maximales selon la loi Exponentielle par HYFRAN	39
<b>Figure III.11 :</b> Ajustement des débits maximales selon la loi par pareto HYFRAN	40
<b>Figure III.12 :</b> Ajustement des débits maximales selon la loi Gamma par HYFRAN	41
<b>Figure III.13 :</b> Ajustement des débits maximales selon la loi de Pearson type III par HYFRAN	42
<b>Figure III.14 :</b> Ajustement des débits maximales selon la loi des fuites par HYFRAN	43
<b>Figure III.15 :</b> Comparaison graphique des cinq lois d'ajustements des données des débits pour le poste Bellah RN 11 (1974/2007)	44

## Liste des Tableaux

<b>Tableau II.1:</b> Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued Bellah.	22
<b>Tableau III.1 :</b> Pluies maximales pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de l'Oued Bellah (poste Bellah RN 11) entre 1973 et 2009	27
<b>Tableau III.2</b> Pluies maximales pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de l'Oued Bellah (poste Bellah RN 11) entre 1973 et 2009	29
<b>Tableau III.3</b> débits maximums pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de l'Oued Bellah (station Pont RN 11) entre 1974 et 2007.	30
<b>Tableau III.4</b> Débits maximums pour différentes périodes de retour de la station Pont RN 11 (1974/2007).	31
<b>Tableau III.5</b> Caractéristiques statistiques des données des précipitations du poste Bellah RN 11 entre 1973 et 2009	32
<b>Tableau III.6</b> Précipitations maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi de Gumbel par HYFRAN	33
<b>Tableau III.7</b> Précipitations maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Exponentielle par HYFRAN	34
<b>Tableau III.8</b> Précipitations maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Halphen de type A par HYFRAN	35
<b>Tableau III.9</b> Ajustements numériques des lois de Gumbel et de Halphen et Exponentielle ( Période 100 ans)	36
<b>Tableau III.10</b> Statistiques descriptives des précipitations maximales annuelles	37
<b>Tableau III.11</b> Caractéristiques statistiques des données des débits du poste Bellah RN 11 entre 1974 et 2007	38
<b>Tableau III.12</b> Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Exponentielle par HYFRAN	39
<b>Tableau III.13</b> Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Exponentielle par HYFRAN	40
<b>Tableau III.14</b> Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi de Pareto par HYFRAN	41
<b>Tableau III.15</b> Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Gamma par HYFRAN	42
<b>Tableau III.16</b> Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi de Pearson type III par HYFRAN	43

<b>Tableau III.17</b> Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi des fuites par HYFRAN	44
<b>Tableau III .18</b> Ajustements numériques des lois ( Période 100 ans)	45
<b>Tableau III. 19</b> Statistiques descriptives des débits maximales annuelles	45

## Liste des symboles et des abréviations

**Q** : Débit (m<sup>3</sup>/s) ;

**P** : Précipitation (mm) ;

**T** : Période de retour (années) ;

**r** : le rang ;

**N** : la taille de l'échantillon ;

**μ** : variable réduite ;

**R<sup>2</sup>**: coefficient de détermination ;

**R** : coefficient de corrélation ;

**Cv** : Coefficient de variation

**Cs** : Coefficient d'asymétrie ;

**Ck** : Coefficient d'aplatissement ;

**XT(mm)** : Précipitations maximales

**XT(m<sup>3</sup>/s)** : Débits maximaux

**BIC** : critères d'information bayésien

**AIC** : critères d'information d'Akaike

**ANRH** : Agence nationale des ressources hydrauliques ;



## Sommaire

Introduction.....	1
<b><i>CHAPITRE I RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE</i></b>	
I.1 Précipitations.....	2
I.1.1 Classification des précipitations .....	2
I.1.1.1 Précipitations de convection .....	2
I.1.1.2 Précipitations orographiques .....	3
I.1.1.3 Précipitations de front.....	4
I.1.2 Mesure des précipitations .....	4
I.1.2.1 Pluviomètre.....	4
I.1.2.2 Pluviographe .....	5
I.2.1 Définition.....	6
I.2.2 Causes provoquant une inondation.....	6
I.2.3 Différents types d'inondations.....	6
I.2.3.1 Inondations de plaines .....	6
I.2.3.2 Formation rapide de crues torrentielles .....	6
I.2.3.3 Ruissellement pluvial .....	7
I.2.4 Aléa inondation.....	7
I.2.4.1 Période de retour de crues .....	7
I.2.4.2 Hauteur et durée de submersion .....	8
I.2.4.3 Vitesse du courant .....	8
I.2.4.4 Volume de matière transportée.....	9
I.3 Crues.....	9
I.3.1 Définitions .....	9
I.3.2 Processus de formation des crues .....	10
I.3.3 Contrôle des crues .....	10

I.4 Aperçu sur analyse fréquentielle .....	10
I.5 Aperçu sur les méthodes utilisées.....	11
I.5.1 Loi de Gumbel .....	11
I.5.2 Méthode des moments .....	12
I.5.3 Loi de Pearson type III .....	12
I.5.4 Lois exponentielles .....	13
I.5.5 Loi Halphen type A .....	13
I.5.6 Loi des fuites .....	13
I.5.7 Loi de Gamma .....	14
I.6 Logiciel Hyfran.....	14

## ***CHAPITRE II CARACTERISATION DU BASSIN VERSANT***

II.1 Situation géographique.....	15
II.2 Le relief .....	15
II.3 Les pentes .....	17
II.4 Le contexte géologique .....	18
II.6 Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant.....	21
II.7 Hydrographie du bassin versant .....	22
II.8 Pluviométrie du bassin versant.....	24
II.8.1 Aperçu sur le climat du bassin .....	24

## **CHAPITRE III**

### **APPLICATION DES METHODES DES PREDETERMINATION DES PLUIES E DES DEBITS :OUED BELLAH**

III.1 Analyse fréquentielle des précipitations par Excel.....	26
III.1.1 Loi de Gumbel .....	26
III.1.1.1 Ajustement des précipitations maximales à la loi de Gumbel .....	26
III.1.1.2 Calcul des précipitations maximales pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100) .....	27
III.1.2 Méthode des moments .....	28

III.1.2.1 Ajustement par la méthode des moments .....	28
III.1.2.2 Calcul des précipitations maximales pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100) .....	29
III.2 Analyse fréquentielle des débits par Excel .....	29
III.2.1 Méthode de Gumbel.....	29
III.2.1.1 Ajustement des débits maximums à la loi de Gumbel .....	29
III.2.1.2 Calcul des débits maximums pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100) .....	30
III.2.2 Méthode des moments .....	31
III.2.2. 1 Ajustement des débits par la méthode des moments .....	31
III.2.2.2 Calcul des débits maximums pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100) .....	31
III.3 Analyse fréquentielle des précipitations et les débits par le logiciel HYFRAN..	32
III.3.1 Ajustement de lois à un échantillon des précipitations .....	32
III.3.1.1 Par la loi de Gumbel .....	32
III.3.1.2 Par la loi Exponentielle .....	33
III.3.1.4 Comparaison de l'ajustement des précipitations maximales par quelques méthodes les plus utilisées .....	35
III.3.2 Ajustement des lois statistiques pour des débits .....	37
III.3.2.1 Par la loi de Gumbel .....	38
III.3.2.2 Par la loi Exponentielle .....	39
III.3.2.3 Par la loi de Pareto .....	40
III.3.2.4 Par la loi Gamma .....	41
III.3.2.5 Par la loi Log-Pearson type III.....	42
III.3.2.6 Par la loi des fuites .....	43
III.3.2.7 Comparaison de l'ajustement des débits maximaux par les cinq méthodes les plus utilisées.....	44
<b>Conclusion .....</b>	<b>46</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>47</b>



# Introduction

---

## Introduction

L'hydrologie de surface est la science qui traite essentiellement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface des continents. Ces problèmes 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 (Laborde, 2000)

La connaissance des quantiles des précipitations de fréquences rares est nécessaire pour la conception des ouvrages hydrauliques tels que les ouvrages de protection contre les inondations, les réseaux d'assainissement pluvial et dans de nombreuses applications d'ingénierie. L'estimation de ces fréquences est difficile car les événements extrêmes par définition sont rares et les données disponibles localement proviennent souvent des observations de courte durée, insuffisantes pour pouvoir estimer les quantiles extrêmes de manière fiable (Benabdesselam et al., 2013)

Pour résoudre ce problème, on a recours à l'analyse régionale. Dans le concept de régionalisation, introduit par Darlymple (1960), « trading space for time », on utilise les données de plusieurs sites pour estimer les quantiles de la variable à chaque site d'une région bien définie. Les estimations des quantiles obtenues à partir de l'échantillon régional sont considérées comme plus précises (Hosking et Wallis, 1997).

Initialement, les méthodes d'analyse fréquentielle ont été élaborées pour l'estimation des crues. Les méthodes de régionalisation des crues introduites par Dalrymple en 1960 ont été continuellement développées depuis, par des chercheurs. Grehys (1996), Ouarda et al. (1999 ; 2008) ont présenté et comparé les différentes méthodes de régionalisation des crues. Le problème posé dans le cadre de cette étude c'est que la région d'étude est menacée par des inondations. L'objectif de notre travail c'est de prévenir ce fléau, pour cela, nous avons utilisé des méthodes statistiques pour déterminer les précipitations maximales pour des périodes de retour différentes ainsi les débits. Le but est de chercher quelle est la méthode statistique la plus représentative et qui donne le bon ajustement. Dans ce travail, nous avons utilisé deux logiciels, l'Excel et HYFRAN.

Notre étude s'articulera sur trois chapitres:

Une revue bibliographique, passe par un aperçu sur les précipitations, les débits, l'inondation, la crue et les méthodes utilisées pour étudier l'analyse fréquentielle ;

Le second chapitre, intitulé les caractéristiques du bassin versant de l'oued Bellah ;

Dans le troisième, nous tenterons appliquer les méthodes d'ajustement à l'aide d'Excel et HYFRAN pour déterminer les grandeurs de pointe à des périodes de retour.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion.

# ***CHAPITRE I***

## ***RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE***

**I.1 Précipitations**

Les précipitations constituent la principale «entrée» des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Ce sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (Pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

La hauteur de précipitation est la hauteur de la lame d'eau précipitée qui s'accumulerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations y étaient immobilisées sous forme liquide. Son unité de mesure est le millimètre. Sur une surface de 1 ha, 1mm de pluie représente 10 m<sup>3</sup> d'eau (Aidi, 2014).

**I.1.1 Classification des précipitations**

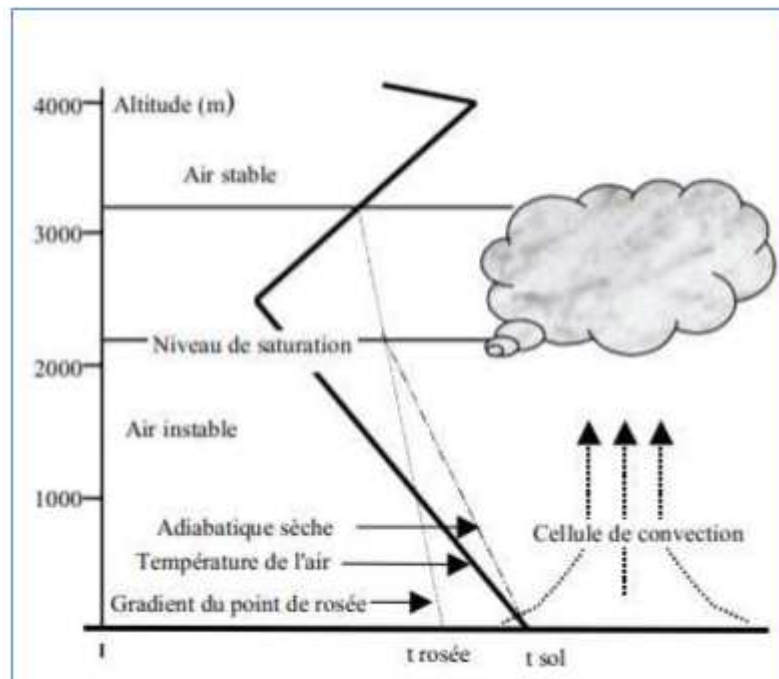
Les précipitations peuvent être classées en trois principaux types :

- ✚ Précipitations de convection ;
- ✚ Précipitations orographiques ;
- ✚ Précipitations cyclonique ou de front.

Elles correspondent à différents mécanismes d'ascendance (formation des nuages) et présentent des caractéristiques d'intensité et de durée diverses (Touaïbia, 2004).

**I.1.1.1 Précipitations de convection**

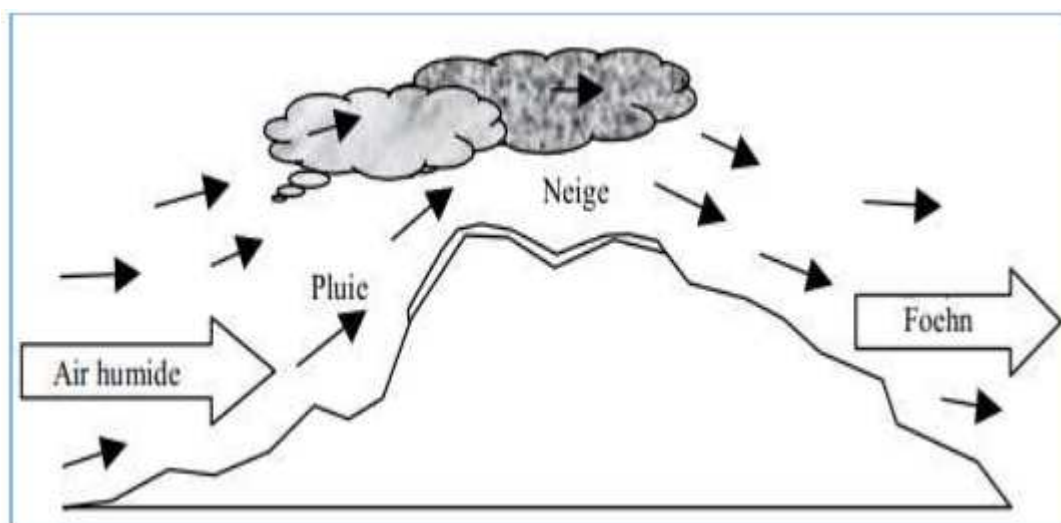
Par temps chaud, les masses d'air situées au voisinage du sol, chauffées par l'action du soleil s'élèvent. Il se forme alors des cellules de convection dans lesquelles les masses d'air atteignent le niveau de condensation, il y a formation du nuage. La condensation en libérant des calories permet la poursuite de l'ascension. Les nuages atteignent une altitude où la température sera suffisamment basse et l'air suffisamment turbulent pour que les pluies se déclenchent (figure I.1). Ces pluies se produisent surtout dans les zones où l'air se chauffe durant la matinée et les pluies éclatent dans l'après-midi (Aidi, 2014).



**Figure I.1** Précipitations de convection (Laborde, 2000)

### I.1.1.2 Précipitations orographiques

Si une masse d'air se déplaçant horizontalement rencontre un obstacle topographique (chaîne de montagnes par exemple), il s'ensuit une élévation des masses d'air et par conséquent leur refroidissement. Comme précédemment, on obtient des précipitations sous forme de pluie mais aussi, si l'altitude est suffisante, de la neige. Après le passage de la chaîne, l'air va redescendre, se comprimer et se réchauffer (figure I.2). On a alors des vents chauds et secs (effet de Foehn) (Aidi, 2014).



**Figure I.2** Précipitations orographiques (Laborde, 2000)



### I.1.1.3 Précipitations de front

Lorsque plusieurs masses d'air de propriétés différentes se rencontrent, les plus chaudes et les plus humides sont poussés vers les hautes altitudes où elles se refroidissent et se condensent (Figure. I.3). Ce sont ces précipitations qui sont les plus importantes, les plus longues et les plus fréquentes sous nos climats tempérés (Aidi, 2014).

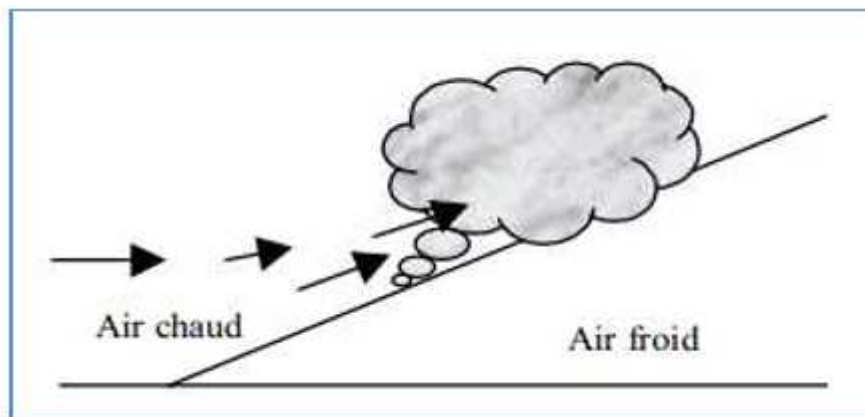


Figure I.3 Précipitations de front (Laborde, 2000)

### I.1.2 Mesure des précipitations

Quelle que soit la forme de la précipitation, liquide ou solide, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement en hauteur d'eau tombée horizontale (mm) ou en intensité (mm/h ou mm/mn). Les principaux instruments de mesures des précipitations sont le pluviomètre et le pluviographe (Aidi, 2014).

#### I.1.2.1 Pluviomètre

N'importe quel récipient ouvert pourrait servir de pluviomètre, mais pour que les observations soient fiables et précises et surtout comparables, il est indispensable d'utiliser des pluviomètres normalisés ayant des caractéristiques propres : l'ouverture du pluviomètre doit être horizontale, l'erreur doit être inférieure à 1% pour chaque degré d'inclinaison (Aidi, 2014).

A une même station, pour une même hauteur de précipitation, la quantité d'eau recueillie est variable suivant la hauteur de la surface réceptrice du pluviomètre par rapport au sol. Généralement, les pluviomètres sont installés de telle sorte que l'arête de la bague soit à 1 m au dessus de la surface du sol (Aidi, 2014).

Les pluviomètres doivent être éloignés de chaque obstacle d'une distance au moins égale à 4 fois la hauteur de l'obstacle. Le pluviomètre est un appareil simple ayant une surface réceptrice limitée par une bague. L'eau qui traverse cette surface est dirigée par un entonnoir

vers un seau récepteur (Figure I.4) . Si, durant un certain intervalle de temps  $\Delta t$ , on a récupéré un volume  $V$  à travers la surface réceptrice  $S$ , la hauteur de pluie  $H_v$  tombée est :

$$H_v = \frac{V}{S} \dots\dots\dots (I.1)$$

Dans la pratique, on adjoint à chaque pluviomètre une éprouvette graduée (fonction de la surface réceptrice  $S$ ) qui permet la lecture directe de  $H_v$  en 1/10 ème mm.



**Figure I.4** Pluviomètre (ANRH, 2018)

**I.1.2.2 Pluviographe**

Dans les études hydrologiques, il est important de connaître non seulement la lame d'eau précipitée totale pour une période donnée, mais aussi sa variation dans le temps, c.-à-d. son intensité en mm/h ou en mm/mn, surtout lors d'une averse (Figure I.5) . Ces appareils sont destinés à l'enregistrement de la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps. Plusieurs types de pluviographe existent : les pluviographes à augets basculeurs, les pluviographes à balance et les pluviographes à siphon. L'appareil le plus utilisé actuellement est le pluviographe à augets basculeurs (Aidi, 2014).



**Figure I.5** Pluviographe à augets basculeurs(ANRH, 2018)

## I.2 Inondation

### I.2.1 Définition

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités (Madaoui, 2016). Autrement dit, l'inondation est une submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal.

### I.2.2 Causes provoquant une inondation

Généralement, on peut définir trois (3) principales causes qui provoquent l'inondation :

- ✚ Les inondations liées à des situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité ;
- ✚ Les inondations provoquées par des facteurs liés à l'effet de l'homme ;
- ✚ Les inondations produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorables (Bouguetof, 2015).

### I.2.3 Différents types d'inondations

On distingue trois types d'inondation :

**I.2.3.1 Inondations de plaines :** se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe affleure et qu'une inondation spontanée se produise : on parle d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines. Ces inondations sont possibles dans certaines zones marécageuses des vallées de l'Essonne et de la Juine ([www.prim.net](http://www.prim.net) consulté le 10/06/2018)

**I.2.3.2 Formation rapide de crues torrentielles :** lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, ou sur une portion de bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments, ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énergie pouvant aggraver les dégâts. Ces types d'inondations sont rares en Essonne, elles peuvent toutefois se produire dans le cas d'orage violent localisés sur des

bassins versants d'alimentation de petits ruisseaux implantés sur des coteaux présentant de fortes pentes ([www.prim.net](http://www.prim.net) consulté le 10/06/2018).

**I.2.3.3 Ruissellement pluvial :** l'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, parkings, etc.) et par les pratiques culturales limite l'infiltration des précipitations et accentue le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. Les territoires fortement urbanisés du Nord du département de l'Essonne sont particulièrement sensibles à ce dernier type d'inondations ([www.prim.net](http://www.prim.net) consulté le 10/06/2018)

#### I.2.4 Aléa inondation

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour qualifier l'aléa inondation

##### I.2.4.1 Période de retour de crues

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. On distingue par ordre croissant :

- ✚ les crues fréquentes, dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;
- ✚ les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans ;
- ✚ les crues exceptionnelles, dont la période de retour est de l'ordre de cent ans ;
- ✚ la crue maximale vraisemblable, qui occupe l'intégralité du lit majeur.

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale ( $Q_{10}$ ) et la crue centennale ( $Q_{100}$ ). L'aléa de référence servant de base à l'élaboration des documents réglementaires correspond à l'événement centennal ou au plus fort événement connu, s'il présente une fréquence supérieure à cent ans (Yahiaoui, 2012).

La période de retour  $T_s$  est définie comme étant l'intervalle de temps moyen entre deux événements, dont l'intensité atteint ou dépasse un certain seuil  $s$  figure I.6. 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 compté dans une unité de temps arbitraire ; en hydrologie le plus souvent c'est « l'année » (Regis, 1981 ; Gilles, 2006 cité par Belarbi, 2010). Un événement de période de retour  $T$  a en moyenne une probabilité  $1/T$  de se produire chaque année (Gilles, 2006).

Nous reliant la période de retour à la probabilité de dépassement,  $P(x) = \text{Prob}(X > x)$ , ou de non-dépassement  $P' = 1 - P = \text{Prob}(X < x)$  ; de la façon suivante :  $T = 1/P = 1/1 - P'$

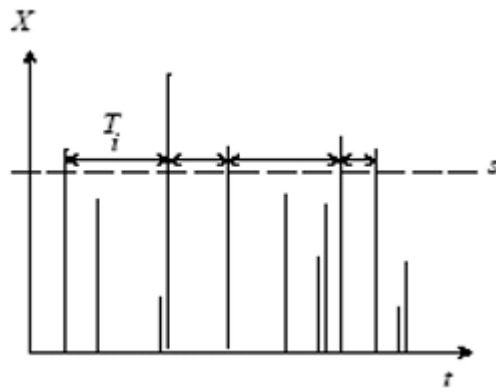
Avec,

$T$  : Période de retour (années) ;

$P$  : Probabilité au dépassement ;

$P'$  : Probabilité au non dépassement.

L'avantage de la période de retour est de rendre plus « parlante » la notion de probabilité d'occurrence (Figure. I.6). Les phénomènes extrêmes sont en effet associés à des probabilités d'occurrence très petite, pour les peuples anciens il y a peu de différence entre 0,01 et 0,001, alors qu'en terme de probabilité des phénomènes extrêmes, c'est une différence colossale.



**Figure I.6** Définition de la notion de période de retour (Lorena et al., 2007-2008).

#### I.2.4.2 Hauteur et durée de submersion

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. La structure porteuse de l'habitation peut être endommagée et les sols et murs gorgés d'eau.

Lorsque la durée de submersion est importante (supérieure à 24 h voire 48 h), des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent sale, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves.

Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau ([www.prim.net](http://www.prim.net) consulté le 10/06/2018).

#### I.2.4.3 Vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,50 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure ([www.prim.net](http://www.prim.net) consulté le 10/06/2018).

#### I.2.4.4 Volume de matière transportée

Ce volume est communément appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. Le terme de transport solide ne comprend pas le transport des flottants (bois morts...).

Chacun des trois derniers paramètres a plus ou moins d'importance selon les caractéristiques morphodynamiques de la rivière. Par exemple, l'aléa inondation d'une rivière, dont la pente en long est faible (inférieure à 0,1 %) sera surtout caractérisé par la hauteur et la durée de submersion. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide ([www.prim.net](http://www.prim.net) consulté le 10/06/2018).

### I.3 Crues

#### I.3.1 Définitions

Une crue est une augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans un cours d'eau. La moitié des catastrophes naturelles mondiales sont des inondations ([www.prim.net](http://www.prim.net) consulté le 10/06/2018). Dans la littérature spécifique il existe plusieurs définitions de la notion de crue (Hingray et al., 2009 ; Laborde, 2009 ; WMO, 2012 ; Ancey, 2016). En général, une crue est définie comme une ou plusieurs augmentation rapide et exceptionnelle du débit de cours d'eau pendant une durée déterminée durant laquelle le débit dépasse un certain multiple du débit moyen annuel, suivie d'une décrue jusqu'à un niveau de débit voisin de celui de départ. La crue est simple si elle présente une seule pointe et complexe si elle présente plusieurs pointes. La crue doit être distinguée de l'inondation. L'inondation correspond au débordement des eaux hors du lit mineur en rivière ou des berges d'un lac. Une crue ne conduit pas nécessairement à une inondation (Hingray et al., 2009 ; Hachemi., 2017).

Le débit d'un cours d'eau en un point donné est le volume d'eau passant en ce point pendant une unité de temps ; il s'exprime en  $m^3/s$  ou en  $l/s$  ([www.prim.net](http://www.prim.net)). Les débits liquides sont obtenus de deux façons: sur la base de la courbe de tarage à partir des hauteurs d'eau lues sur une échelle limnimétrique d'une part, et par dépouillement des hauteurs d'eau enregistrées par un limnigraphe à flotteur, d'autre part.

### I.3.2 Processus de formation des crues

Comprendre ce processus de formation des crues revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. En simplifiant, on distingue :

**L'eau mobilisable** : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.

**Le ruissellement** : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de sa pente, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.

**Le temps de concentration** : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci. La propagation de l'onde de crue : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation (Asnoui, 2014).

### I.3.3 Contrôle des crues

Le but du contrôle des crues est de supprimer ou de réduire les dégâts causés par l'inondation des terres riveraines ou par l'effondrement d'ouvrages tels que barrages, quais ou ponts. Il existe deux moyens techniques principaux :

- a)- Les réservoirs qui peuvent retenir temporairement une partie des eaux et ainsi écrêter la crue et en étaler le passage, à débit réduit, sur une plus longue période ;
- b)- Les levées bordant les cours d'eau pour protéger les terres riveraines en contenant la crue dans ce lit artificiel ; la pointe peut s'en trouver relevée par les eaux qui s'étaient auparavant sur les terres inondées (www.prim.net consulté le 10/06/2018).

## I.4 Aperçu sur analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future (Meylan et Musy, 1999 ; Chsinsete, 2005).

Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

L'analyse fréquentielle fait appel à diverses techniques statistiques et constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Ses diverses étapes peuvent être schématisées très simplement selon le diagramme suivant (Figure 1.7) :

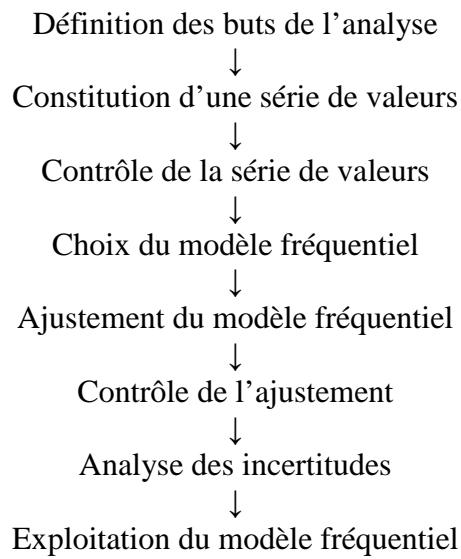


Figure 1.7 Principales étapes de l'analyse fréquentielle.

**I.5 Aperçu sur les méthodes utilisées**

**I.5.1 Loi de Gumbel :** est la plus utilisée. Si l'opération est répétée sur plusieurs pas de temps, on obtient la variation de l'intensité avec la durée de la pluie pour différents temps de retour, c'est à dire des courbes IDF de la station considérée sur la période analysée. La loi de Gumbel est souvent utilisée pour ajuster les séries de pluies maximales et les débits correspondants. Le caractère exponentiel de cette distribution est décrit par la pente de la droite d'ajustement des pluies observées. La pente de cette droite est le Gradient de cette distribution Exponentielle, d'où le nom de la méthode Gradex.

La fonction de répartition de la loi de Gumbel  $F(x)$  s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = -\exp\left(-\exp\left[-\frac{x - \alpha}{b}\right]\right) \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec, la variable réduite suivante :

$$u = \left[\frac{x - \alpha}{b}\right] \dots\dots\dots (I.3)$$

Où,  $a$  et  $b$  sont les paramètres du modèle de Gumbel. La distribution s'écrit alors de la manière suivante :

$$F(x) = -\exp(-\exp[-u]) \dots\dots\dots (I.4)$$

et



$$u = -\ln (-\ln F(x)) \dots\dots\dots (I.5)$$

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire  $x_q = a + b \cdot u_q$ . En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes  $x$  et  $u$ , il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres  $a$  et  $b$  de la loi. L'estimation des paramètres  $a$  et  $b$  de l'ajustement peut se faire graphiquement (ajustement à l'œil ou à l'aide d'une régression statistique).

**I.5.2 Méthode des moments**

La méthode des moments consiste à évaluer les moments des échantillons avec les moments théoriques de la loi. Par la méthode des moments les paramètres  $a$  et  $b$  sont calculés d'après les formules :

$$\begin{cases} \hat{b} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \hat{\sigma} \\ \hat{a} = \hat{\mu} - \hat{b} \gamma \end{cases} \text{ avec } \gamma = 0.5772 \text{ (constante d'Euler).} \dots\dots\dots (I.6)$$

Avec,

$\hat{\sigma}$  : écart-type des valeurs composant l'échantillon.

$\hat{\mu}$  : moyenne de l'échantillon.

Dès lors il est possible d'estimer les débits dont la représentation graphique est une droite d'équation :

$$\hat{Q} = \hat{a} + \hat{b} \cdot u \dots\dots\dots (I.7)$$

Avec,  $u$  : variable réduite.

**I.5.3 Loi de Pearson type III**

Les lois de Pearson représentent des structures analytiques simples et de forme assez souple pour s'ajuster à de nombreux types de courbes expérimentales. La loi de Pearson III est très utilisée malgré son comportement exponentiel à l'infini, qui conduit peut-être à attribuer de trop faibles probabilités aux crues très fortes (Zerhouni, 1981).

La fréquence au non-dépassement  $a$  pour expression :

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^u u^{\gamma-1} e^{-u} \dots\dots\dots (I.8)$$

Où,

$F(x)$  : fréquence au non-dépassement ;

$\Gamma(\gamma)$ : étant la fonction gamma complète ;

$\gamma$ : est le paramètre de forme positif.

### I.5.4 Lois exponentielles

L'expression générale est la suivante pour la fonction de répartition :

$$F(x) = 1 - e^{-x/d} \dots\dots\dots (I.9)$$

$F(x)$  étant la fréquence au non dépassement. Selon les valeurs et signes des paramètres de forme  $d$  et d'échelle  $s$ , on a les lois particulières suivantes (Zerhouni, 1981) :

a)  $s$  et  $d$  positif, loi Goodrich  

$$F(x) = 1 - e^{-x/d} \dots\dots\dots (I.10)$$

b)  $s$  positif,  $d$  négatif : loi de Frechet.  

$$F(x) = e^{-x/d} \dots\dots\dots (I.11)$$

### I.5.5 Loi Halphen type A

La paramétrisation utilisée pour la loi Halphen type A est donnée par la fonction de densité :

$$f(x) = \frac{1}{2m^\nu \Gamma_\nu(2\theta)} x^{\nu-1} \exp\left(-\theta\left(\frac{x}{m} + \frac{m}{x}\right)\right), \text{ avec } x > 0 \dots\dots\dots (I.12)$$

Où,

$K_\nu$  est la fonction de Bessel de type 2 modifiée,  $m > 0$  est le paramètre de position,  $\theta > 0$  le premier paramètre de forme  $-\infty < \nu < \infty$  le deuxième paramètre de forme. Pour plus d'information concernant la loi HA nous référons à Perreault, Bobée et Rasmussen (1999a) et Perreault, Bobée et Rasmussen (1999b).

### I.5.6 Loi des fuites

Pour la loi des fuites (Bernier et Fandoux 1970 ; Ribstein 1981), la fonction densité de probabilité est:

$$f(x) = \begin{cases} e^{-\lambda} & \text{si } x = 0 \\ \lambda e^{-\lambda - \frac{x}{s}} \frac{I_1(2\sqrt{\lambda \frac{x}{s}})}{\sqrt{\lambda \frac{x}{s}}} & \text{si } x > 0 \end{cases} \dots\dots\dots (I.13)$$

Où,

$\lambda$  est le paramètre de forme positif;

$s$  le paramètre d'échelle positif; 4

$\lambda$  le fonction de Bessel modifiée d'ordre 1.

Ses caractéristiques descriptives sont la moyenne et la variance estimées par la méthode du maximum de vraisemblance :

$$\hat{u} = \lambda x \dots\dots\dots (I.14)$$

$$\hat{\sigma}^2 = 2\lambda s^2 \dots\dots\dots (I.15)$$

**I.5.7 Loi de Gamma**

Une variable aléatoire X suit la loi Gamma de paramètres  $p$  et  $\Theta$  ( $p > 0, \Theta > 0$ ) notée  $\tau(p, \Theta)$  si sa densité est :

$$F(x) = \frac{\theta^p}{\Gamma} e^{-\theta x} x^{p-1} ] 0, +\infty [ \dots\dots\dots (I.16)$$

Avec,

$$\tau(x) = \int_0^{+\infty} e^{-\theta x} x^{p-1} dx$$

**I.6 Logiciel Hyfran**

Hyfran est un logiciel dont le but est d'effectuer l'ajustement de plusieurs lois statistiques à une série de données, il permet de simplifier l'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon aléatoire. Ce logiciel a été développé par l'INRS-EAU en collaboration avec le service hydraulique (division hydrologie) d'Hydro-Québec. Il est initialement conçu pour l'analyse de fréquence des événements extrêmes (Riou bensotra, 2008 ; site web cité par Belarbi, 2010).

## ***CHAPITRE II***

### ***CARACTERISATION DU BASSIN VERSANT***

## Introduction

Le bassin versant de l'oued Bellah a été choisi comme bassin d'application de notre travail pour la diversité des données qui y sont disponibles, et malgré l'absence quasi-totale d'études sur ce bassin. L'abondance des données semble parfois induire une vision globale satisfaisante du bassin versant. En fait, les choses ne sont pas si simples et les mesures dont on dispose, ainsi que les interprétations qui en découlent sont parfois complexes. Nous présentons ici les principales caractéristiques du bassin versant, les données du milieu physique dont nous disposons, et l'interprétation que nous pouvons en faire quant au fonctionnement hydrologique de notre site d'étude.

### II.1 Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Bellah au niveau du pont RN 11 s'étend sur une superficie de 55 Km<sup>2</sup>. Bassin du côtiers algérois, il est situé à une centaine de kilomètres à l'Ouest de la capitale Alger. Faisant partie de la wilaya de Tipaza. Il est entre 2°9'33,84" et 2°16'1,2" de longitude Est et entre 36°30'7,56" et 36°36'41,76" de latitude Nord (figure II.1). Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la wilaya de Tipaza, au Sud et Sud Ouest par la wilaya de Ain Defla et à l'Ouest par la wilaya de Chlef (Elahcene,2013)..

### II.2 Le relief

Sur les cartes, le relief est indiqué par les courbes de niveau joignant les points d'égale altitude. Il est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique. Le bassin d'étude présente un relief montagneux, tectoniquement très plissé et bouleversé, n'offrant que de rares espaces plats et dont la terminaison Nord se fait dans une grande proportion assez brutalement par des formes littorales telles que les falaises, etc. Il se trouve à une altitude moyenne de 254 m. l'altitude à l'exutoire, où se situe la station de Pont RN 11, est de 25 m. Du Nord vers le Sud, le relief prend l'ampleur où on note une côte maximale de 736 m (Elahcene,2013).

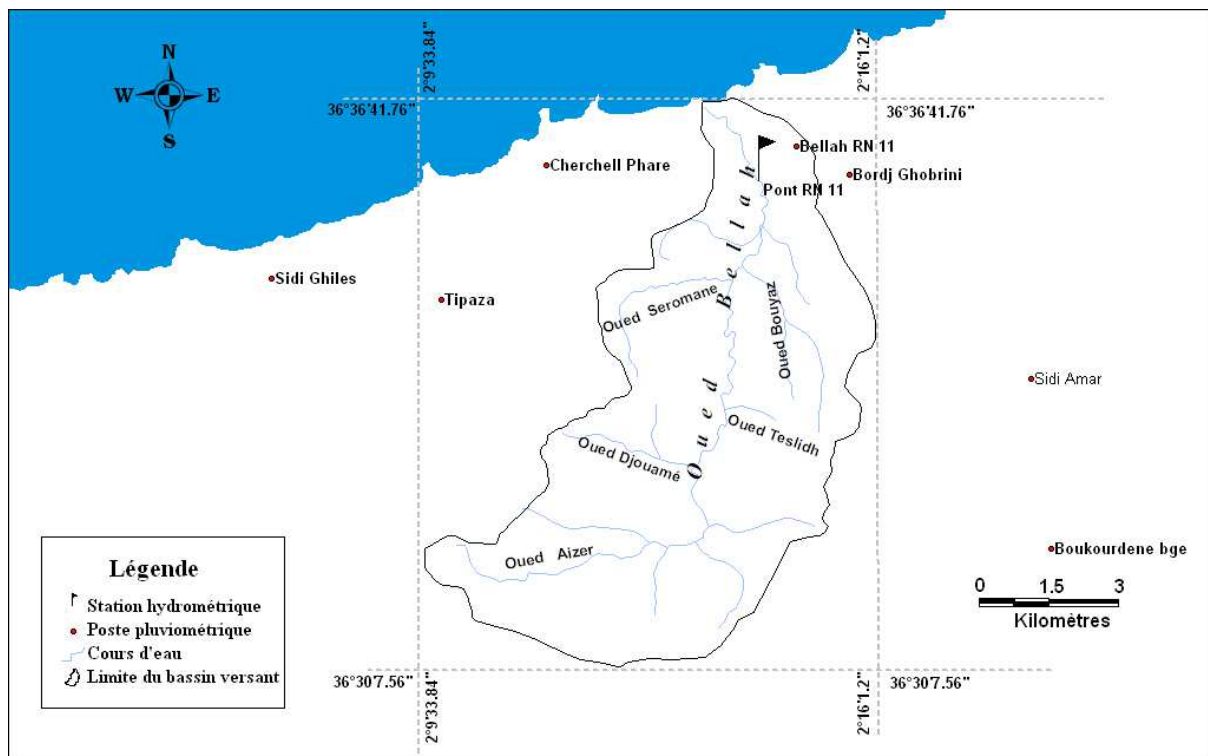
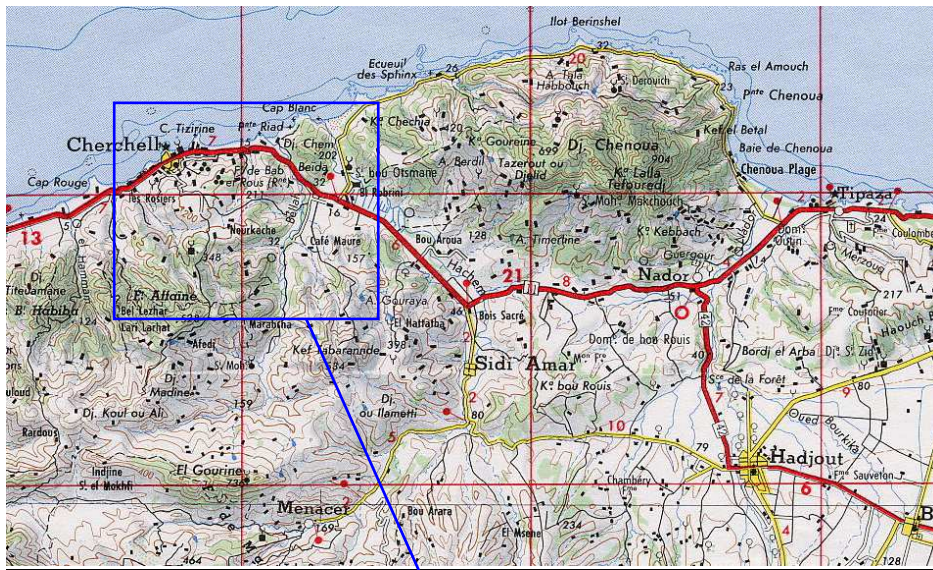
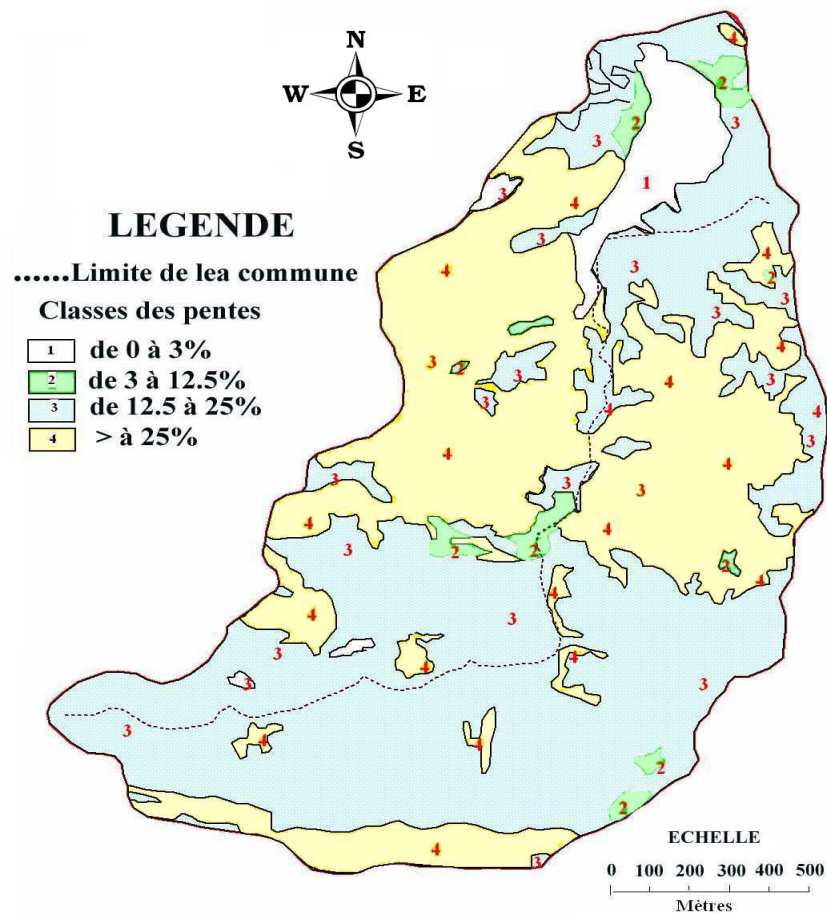


Figure II.1 Situation de la région d'étude (oued Bellah)(Elahcene ,2013)

### II.3 Les pentes

La carte des pentes du bassin versant de l'oued Bellah est élaborée au 1/500<sup>ème</sup> (figure II.2). La pente est l'un des éléments les plus dominants du relief, qui permet de quantifier son énergie.

La raideur de la pente constitue, en effet, soit un facteur favorable soit une contrainte pour l'aménagement de la région, dans la mesure où combinée à d'autres facteurs naturels, elle favorise l'érosion des sols qui se trouvent à l'enlèvement et à l'entraînement par les eaux de ruissellement. Tandis que la pente quand elle est faible peut être considérée comme potentialité, car elle permet une utilisation performante performante (Elahcene,2013).

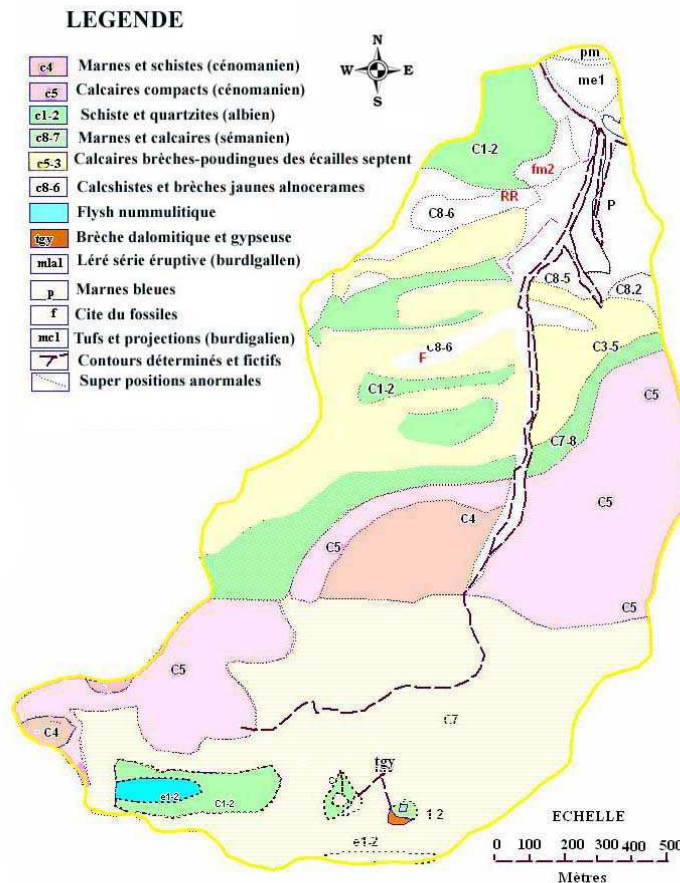


**Figure II.2** Carte des pentes du bassin versant de l'oued Bellah (Elahcene,2013).

D'après la carte, on constate que les pentes qui sont supérieures à 12.5 % occupent dans le bassin versant une grande place, tandis que les pentes inférieures à 12.5 % occupent le reste du bassin. Le pourcentage des terres sur les pentes de 0 à 3 % est très faible et qui correspondent notamment aux plaines littorales et précisément à l'aval de l'oued. Ainsi donc, la dominance des fortes pentes constitue une contrainte physique et un obstacle majeur pour d'éventuels aménagements. On peut conclure que le relief de la zone d'étude se caractérise d'une manière générale par des terrains pentus comme l'indique la figure.

**II.4 Le contexte géologique**

Elle est élaborée au 1/500<sup>ème</sup> (figureII.3). Du point de vue géologique, le bassin versant de l'oued Bellah se rattache au grand système orogénique alpin.



**Figure II.3** Carte géologique du bassin versant de l'oued Bellah (Elahcene,2013).



Du point de vue stratigraphie, le bassin versant de l'oued Bellah est occupé par les terrains éruptifs, les terrains primaires, les terrains secondaires, les terrains tertiaires et les terrains quaternaires. Les premiers, n'apparaissent qu'en pointements de faible superficie. Ils sont représentés à l'amont du bassin versant par le burdigalien. Les seconds, sont représentés par une série de schistes et les brèches. Les terrains secondaires comportent :

**a Le trias**, il forme des pointements isolés assez nombreux dans le périmètre d'étude. Il est formé de calcaires jaunâtres.

**b Le jurassique**, formé des calcaires durs. Il constitue les lignes de crêtes, les pics et les falaises.

**c Le crétaqué**, très largement dominant dans le bassin versant, il se décompose en 3 étage distincts :

\* **Le crétaqué inférieur**, il est composé de schistes, de quartzites et de calcaires.

\* **Le crétaqué supérieur**, ce dernier est représenté par le sénonien. Le crétaqué supérieur est formé des marnes schisteuses présentant des lentilles de calcaires. Les marnes cénomaniennes donnent naissance à des sols agricoles du moins dans les zones à topographie favorable ; sur les fortes pentes, elles sont couvertes de forêts de pins. Ces formations géologiques sont à vocation agricole lorsque la topographie et l'épaisseur du sol sont favorables et à vocation forestière sur les hauts piémonts en montagne.

Les terrains tertiaires se composent de l'éocène. Ce dernier apparaît en de petits affleurements très dispersés. Il est formé de marnes et de calcaires. Et, les terrains quaternaires, ces formations, généralement meubles, donnent des sols alluviaux profonds à vocation agricole par excellence. Elles couvrent les plaines littorales et les terrasses alluviales des oueds.

Du point de vue lithologie, et selon le degré de résistance à l'érosion des roches affleurantes dans le bassin versant de l'oued Bellah, on distingue trois classifications des roches : les roches résistantes, moyennement résistantes et peu résistantes.

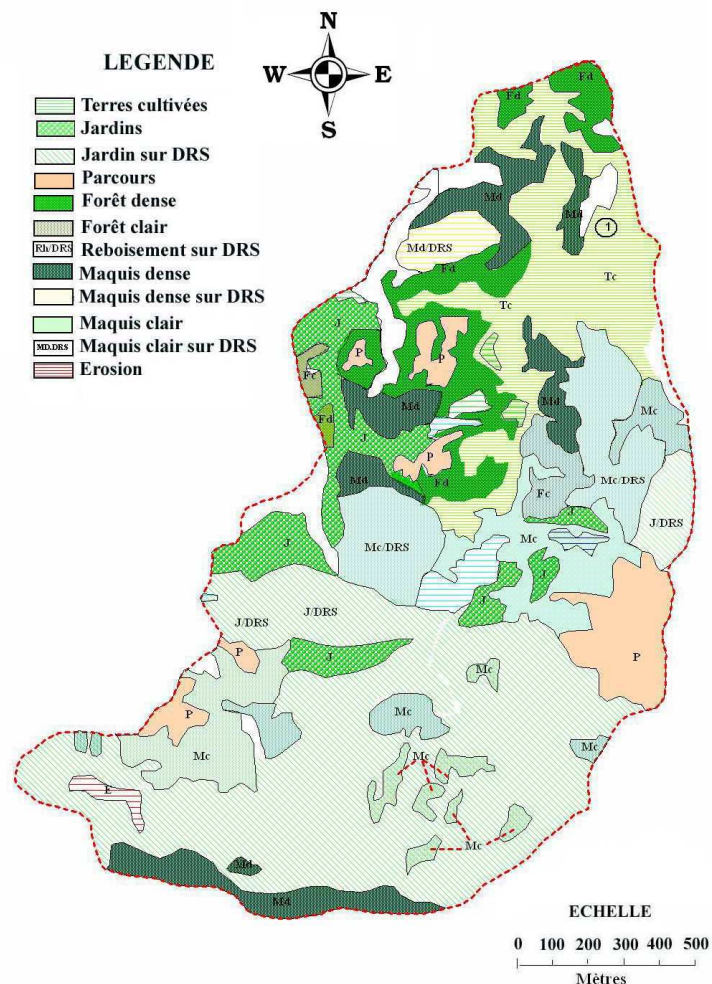
Les roches résistantes, ce sont des roches cohérentes, dures formant un substrat résistant aux agents érosifs. Ces roches sont les roches éruptives et du crétaqué inférieur. Les roches moyennement résistantes, ce sont des roches moins cohérentes. Elles présentent un faciès d'alternance ou un mélange de roches de natures différentes telles que: les marno-calcaires du sénonien et du cénomanien et des marnes schisteuses du crétaqué supérieur.

Et, les roches peu résistantes, ce sont des roches très peu cohérentes, non consolidées, et potentiellement érodables telles que: les marnes du burdigalien et les dépôts du quaternaire. On signale que les principaux types de sol dans le bassin versant de l'oued Bellah se

répartissent ainsi: les sols alluviaux, dans la vallée de l’oued Bellah et les sols calcaires, dans la plus grande partie du bassin versant (Elahcene,2013).

II.5 L’occupation du sol

Etablie à une échelle de 1/500ème (figure II.4). Cette carte constitue un élément de base quant à l’étude et l’analyse des facteurs naturels et humains des zones à aménager. Elle nous aidera dans une large mesure à l’élaboration du plan d’aménagement ayant pour but l’affectation future et rationnelle dans l’espace du périmètre à l’étude. Cependant, la préparation de la carte impose l’utilisation de la photographie aérienne (Elahcene,2013).



**Figure II.4** Carte d’occupation du sol du bassin versant de l’oued Bellah (Elahcene,2013).

D’après la carte, on rencontre la forêt, qui correspond à toute surface couverte par un tapis végétal. Le taux de recouvrement, nous à permis de distinguer une forêt dense et une forêt

claire. Le reboisement, son but est de protéger les sols contre l'érosion ou pour repeupler et reconstituer la forêt. Le maquis, et grâce à sa densité du recouvrement permet de distinguer entre le maquis dense qui y est représenté par un taux de recouvrement dépassant les 60%, quand ce taux n'est pas atteint, on parle alors d'un maquis clair. Et, les terres cultivées, correspondent aux terrains de grandes cultures. Comme, il existe aussi des jardins et des parcours dispersés dans la majorité place du bassin versant et avec une petite superficie.

On peut conclure que, les potentialités forestières sont importantes. Cependant, la majorité des formations forestières sont à l'état de maquis donc dégradés qu'il conviendrait de densifier et d'aménager afin de renforcer la stabilité physique du versant.

## **II.6 Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant**

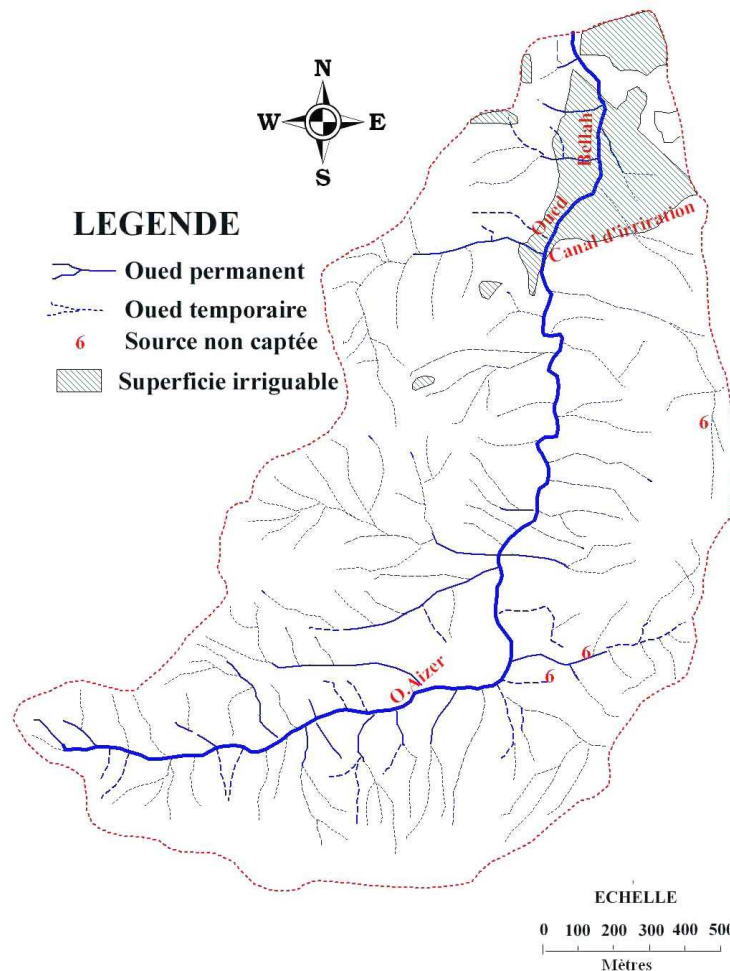
Les principales caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued Bellah au droit de la station de Pont RN 11(Elahcene,2013) sont présentées par le tableau ci-après:

**Tableau II.1** Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued Bellah (ANRH, 2018).

Code bassin	020323
S/bassin	Côtiers Cherchell
Station	Pont RN 11
Oued	Bellah
MS	01/05/1972
X [m]	458,65
Y [m]	367,50
Surface [Km <sup>2</sup> ]	55
Périmètre du bassin versant [Km]	38
L. thalweg [Km]	16
L. rect. Equivalent [Km]	15.4
Altitude max. [m]	736
Altitude moy. [m]	254
Altitude min. [m]	25
Indice de compacité	1,44
Indice de pente	0,10
Coefficient de torrentialité	32,76

### II.7 Hydrographie du bassin versant

La nature tendre des matériaux et le régime hydrique irrégulier a contribué à la formation d'un réseau hydrographique très dense. Les oueds sont en crue durant la période des pluies mais deviennent inactifs dès que s'annonce la saison sèche. Le bassin versant de oued Bellah est drainé par deux cours d'eau principaux: oued Bellah et oued Aizer (figure II.6) (Elahcene,2013).



**Figure II.5** Carte des ressources hydriques du bassin versant de l'oued Bellah(Elahcene,2013).

On signale que, les ressources en eaux superficielles sont assez importantes dans la zone d'étude mais elles sont peu exploitées, tandis que les eaux souterraines sont mal connues. La plupart des sources ne sont pas captées ; leur aménagement est nécessaire pour la satisfaction des besoins de la population en eau potable. Le bassin est contrôlé par la station hydrométrique Pont RN 11 (coordonnées Lambert (X=458,65 m ; Y=367,50 m). Elle dispose de mesures de hauteurs d'eau et des débits liquides à partir de 01/05/1972 jusqu'à ce jour .

## II.8 Pluviométrie du bassin versant

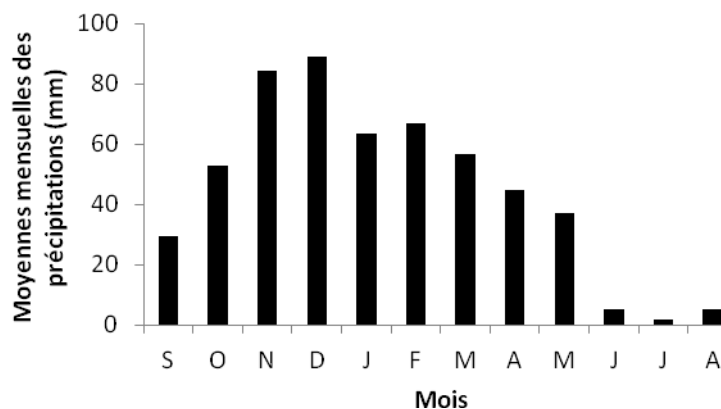
### Introduction

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, 1963 ; Cosande, 2001...). Ce sont les précipitations, surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par: leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale, leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques et leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues.

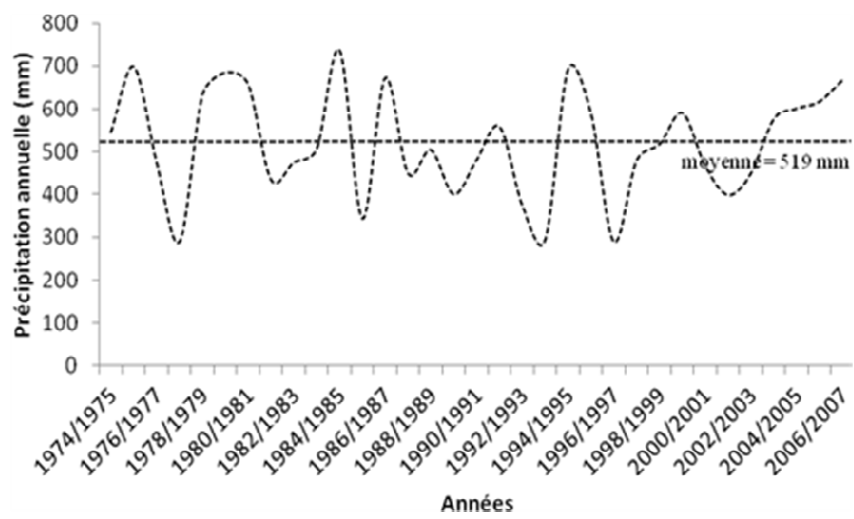
Le climat est un des principaux facteurs naturels qui détermine et limite dans une large mesure de développement de la végétation et des cultures. L'étude climatique a pour but essentiel d'analyser les deux principales caractéristiques du climat à savoir la pluviométrie et la température. Ces données permettent de déterminer la durée de la période de croissance des végétaux.

### II.8.1 Aperçu sur le climat du bassin

Le climat du bassin versant de l'oued Bellah est de type semi-aride, humide et froid en hiver et sec et chaud en été. Les mois les plus pluvieux sont novembre (85 mm) et décembre (89 mm) (figure II.6). Le bassin reçoit entre 300 et 700 mm de pluie par an avec une moyenne inter-annuelle de 519 mm pour une période allant de 1973/1974 à 2007/2009 (II.7) (Elahcene,2013).



**Figure II.6** Hauteurs des précipitations moyennes mensuelles. Poste Bellah RN 11 (1974/1975 à 2006/2007).



**Figure II.7** Variation inter-annuelle des précipitations. Poste Bellah RN 11 (1974/1975 à 2006/2007).

***CHAPITRE III***

***APPLICATION DES METHODES DES  
PREDETERMINATION DES PLUIES E DES  
DEBITS :OUED BELLAH***



## Introduction

Un des méthodes de base de l'analyse de l'occurrence d'événements extrêmes est l'analyse fréquentielle. Cette méthode statistique a comme objectif principal d'utiliser des mesures d'événements passés pour estimer les probabilités futures d'occurrence. L'analyse fréquentielle est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel auquel est associé un période de retour. Pour le faire, il existe plusieurs méthodes qu'on va les appliquer avec les précipitations et les débits pour le bassin versant de l'Oued Bellah. Les données sont recueillies au niveau de l'agence national des ressources hydrauliques (ANRH) entre 1973 et 2009 pour les précipitations c'est-à-dire une étude de 37 ans et entre 1974 et 2007 pour les débits c'est-à-dire une étude de 33 ans. Le travail est basé sur deux logiciels, Excel et HYFRAN 1.1.

### III.1 Analyse fréquentielle des précipitations par Excel

Les données de précipitations sont recueillies à partir du poste pluviométrique Bellah RN 11 par l'agence national des ressources hydrauliques (ANRH) entre 1973 et 2009. Parmi les lois utilisées ci-après, on peut citer :

#### III.1.1 Loi de Gumbel

##### III.1.1.1 Ajustement des précipitations maximales à la loi de Gumbel

#### Démarche et résultats

La démarche de la méthode de Gumbel repose sur les étapes suivantes :

**Etape 1 :** Préparation de la série de données des précipitations de pointe.

\* Trier les valeurs dans l'ordre croissant.

\* Attribuer un rang à chaque valeur.

**Etape 2 :** Calcul de la fréquence empirique pour chaque rang. Elle est donnée par la relation de Hazen. Elle sous forme :  $F = (r-0,5)/N$  avec,  $r$  : le rang et  $N$  : la taille de l'échantillon.

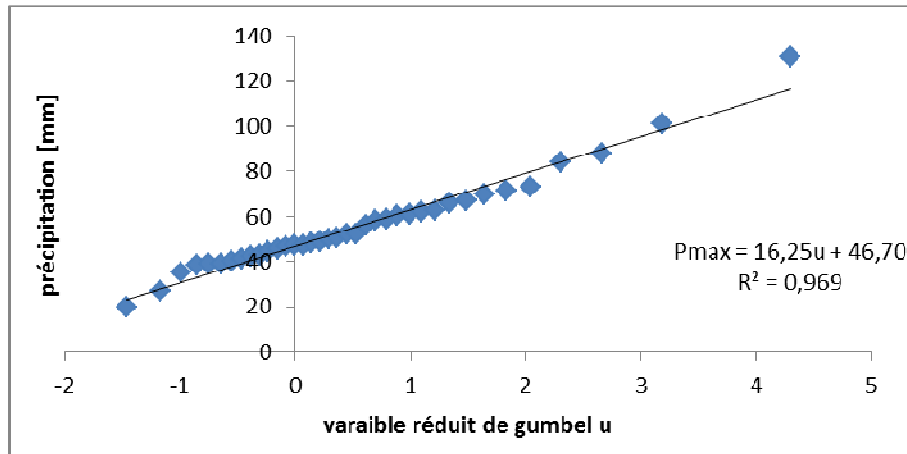
**Etape 3 :** Calcul de la variable réduite «  $\mu$  » du Gumbel. Elle est donnée par la formule suivante :  $\mu = [-\text{LN}(-\text{LN}(F))]$ .

**Etape 4 :** Représentation graphique des couples  $(\mu_i, x_i)$  de la série à ajuster.

**Etape 5 :** Ajustement d'une relation linéaire de type aux couples  $(\mu_i, x_i)$  et en déduire les deux paramètres  $a$  et  $b$ .

**Etape 6 :** Utilisation du modèle statistique pour estimer des débits de pointe de différents temps de retour  $T$ . Il est donné par la relation suivante :  $T = 1/(1-F)$

Le résultat est illustré dans la figure III.1 pour le poste étudié (Bellah RN 11).



**Figure III.1** Ajustement à une loi de Gumbel des précipitations maximales journalières au poste Bellah RN 11 (1973/2009)

### Interprétation

D'après la figure III.1, on voit clairement que le nuage de points forme une droite linéaire. La droite est de la forme  $y = a \cdot x + b$ . Autrement dit, les points s'alignent autour de la droite de régression c'est-à-dire que les deux paramètres ( $P_{\max}$  et  $\mu$ ) sont bien liés. La relation obtenue est de :  $P_{\max} = 16,25 \cdot \mu + 46,70$  avec  $R^2 = 0,969$  et  $R = 0,98$  d'où,  $R^2$  : coefficient de détermination et  $R$  : coefficient de corrélation.

#### III.1.1.2 Calcul des précipitations maximales pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100)

A partir de l'équation d'ajustement trouvée graphiquement ( $p_{\max} = 16.25 \cdot u + 46.70$ ), on estime les pluies maximales pour les périodes de retour données. Le résultat est donné dans le tableau III.1.

**Tableau III.1** Pluies maximales pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de l'Oued Bellah (poste Bellah RN 11) entre 1973 et 2009

T (an)	Fréquence	Variable réduite $\mu$	$p_{\max}$ (mm)
2	0.5	0.37	52.712
5	0.8	1.5	71.075
10	0.9	2.3	84.075
20	0.95	2.97	94.962
50	0.98	3.9	110.075
100	0.99	4.6	121.45

Le tableau III.1 donne les fréquences, les variables réduites et les pluies maximales pour des différentes périodes de retour. On remarque d'après ce tableau, que les précipitations maximales évoluent faiblement.

### III.1.2 Méthode des moments

#### III.1.2.1 Ajustement par la méthode des moments

##### Démarche et résultats

La méthode des moments consiste à égaler les moments des échantillons avec les moments théoriques de la loi. Par la méthode des moments les paramètres  $a$  et  $b$  sont calculés d'après les formules :

$$\begin{cases} \hat{b} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \hat{\sigma} \\ \hat{a} = \hat{\mu} - \hat{b}\gamma \end{cases}$$

Avec,  $\gamma = 0,5772$  (constante d'Euler).

$\hat{\sigma}$  : écart-type des valeurs composant l'échantillon.

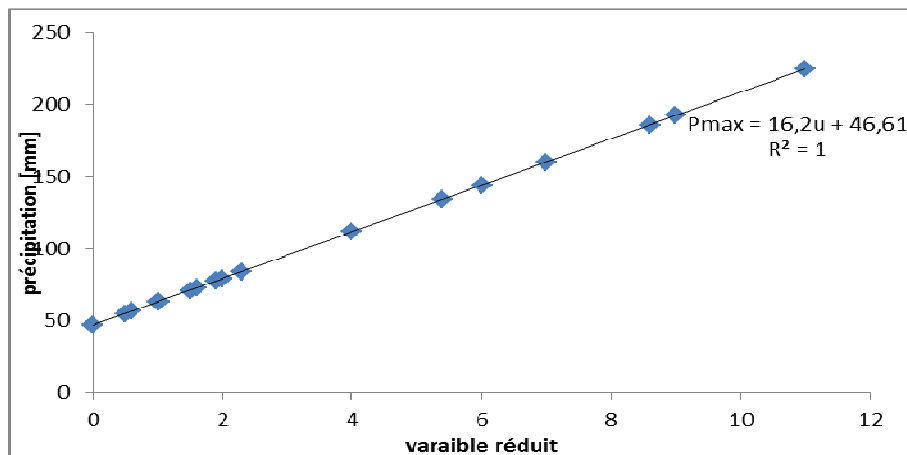
$\hat{\mu}$  : moyenne de l'échantillon.

Dès lors il est possible d'estimer les précipitations/débits dont la représentation graphique est une droite d'équation :

$$\hat{Q} = \hat{a} + \hat{b} \cdot u$$

Avec,  $u$  : variable réduite.

Les résultats sont illustrés dans la figure III.2 pour le poste étudié.



**Figure III.2** Ajustement par la méthode des moments des précipitations maximales pour le poste Bellah RN 11(1973/2009).

La figure III.2 montre qu'il y a une relation étroite entre les précipitations maximales et les variables réduites car les points sont bien alignés et forment une droite linéaire donc les précipitations s'ajustent bien selon la loi des moments. La droite est de la forme  $y = a*x + b$ . La relation obtenue est de :  $P_{max} = 16,2*\mu + 46,61$  avec  $R^2=1$  et  $R=1$  d'où,  $R^2$  : coefficient de détermination et  $R$  : coefficient de corrélation.

### III.1.2.2 Calcul des précipitations maximales pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100)

A partir de l'équation d'ajustement trouvée graphiquement ( $P_{max} = 16,2*\mu + 46,61$ ), on estime les pluies maximales pour les périodes de retour données. Le résultat est donné dans le tableau III.2.

**Tableau III.2** Pluies maximales pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de l'Oued Bellah (poste Bellah RN 11) entre 1973 et 2009

T (an)	Fréquence	Variable réduite $\mu$	$p_{max}$ (mm)
2	0.5	0.37	52.610
5	0.8	1.5	70.920
10	0.9	2.3	83.883
20	0.95	2.97	94.740
50	0.98	3.9	109.81
100	0.99	4.6	121.15

Le tableau III.2 donne les fréquences, les variables réduites et les pluies maximales pour des différentes périodes de retour. Le tableau montre que le temps de retour augmente avec les précipitations maximales mais elles évoluent faiblement.

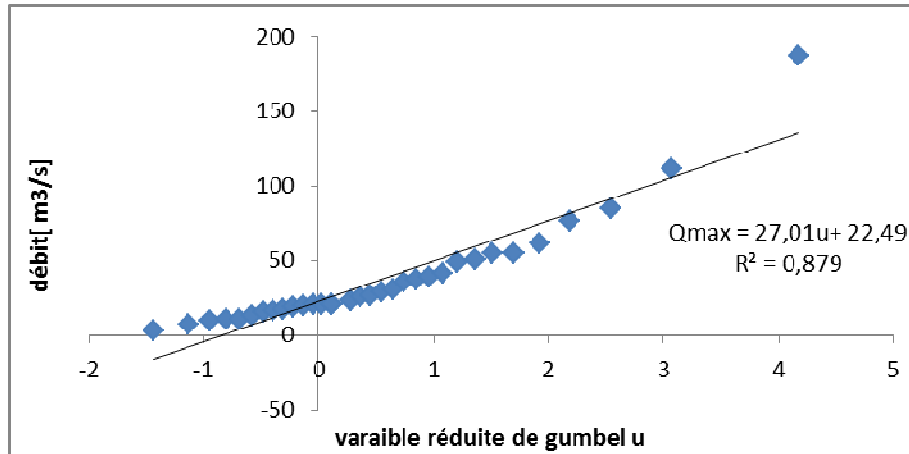
## III.2 Analyse fréquentielle des débits par Excel

Les débits sont recueillis auprès de l'agence nationale des ressources hydraulique (ANRH). Ils sont déterminés à partir de la station hydrométrique Pont RN 11 entre 1974 et 2007.

### III.2.1 Méthode de Gumbel

#### III.2.1.1 Ajustement des débits maximums à la loi de Gumbel

Les démarches de la méthode sont citées ci-dessus. Le résultat est représenté dans la figure III.3.



**Figure III.3** Ajustement à une loi de Gumbel des débits maximums pour la station RN 11 (1974/2007).

### Interprétation

La figure III.3 montre qu'il y a une bonne corrélation entre les précipitations maximales et les variables réduites car les points sont bien alignés et forment une droite linéaire donc les précipitations s'ajustent mieux selon la loi de Gumbel. La droite est de la forme  $y = a \cdot x + b$ . La relation obtenue est de :  $Q_{\max} = 27,01 \cdot \mu + 22,49$  avec  $R^2 = 0,879$  et  $R = 0,94$  d'où,  $R^2$  : coefficient de détermination et  $R$  : coefficient de corrélation.

#### III.2.1.2 Calcul des débits maximums pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100)

A partir de l'équation d'ajustement trouvée graphiquement ( $Q_{\max} = 27,01 \cdot \mu + 22,49$ ), on estime les pluies maximales pour les périodes de retour données. Le résultat est donné dans le tableau III.3.

**Tableau III.3** débits maximums pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de l'Oued Bellah (station Pont RN 11) entre 1974 et 2007.

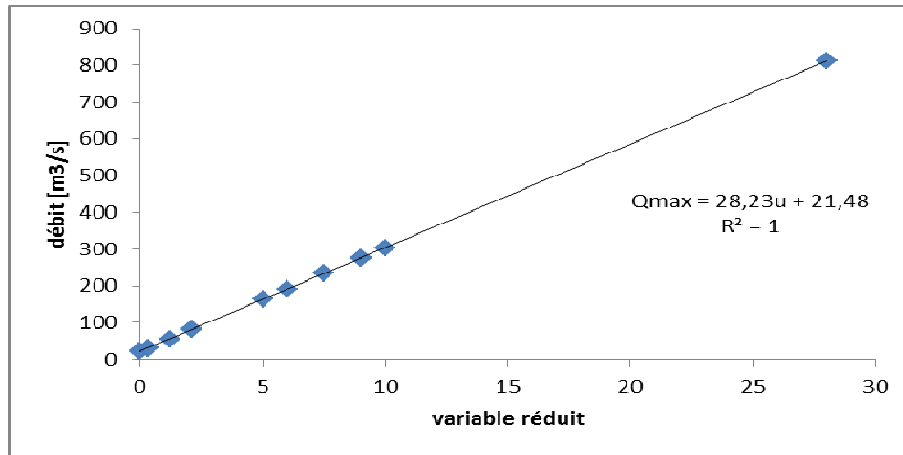
T(an)	Fréquence	Variable réduite $\mu$	$Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)
2	0.5	0.37	32.483
5	0.8	1.5	63.005
10	0.9	2.3	84.613
20	0.95	2.97	102.709
50	0.98	3.9	127.829
100	0.99	4.6	146.736

Le tableau III.3 donne les fréquences, les variables réduites et les débits maximums pour des différentes périodes de retour. Le tableau montre que le temps de retour augmente avec les débits maximums mais ils évoluent lentement.

### III.2.2 Méthode des moments

#### III.2.2. 1 Ajustement des débits par la méthode des moments

Les démarches sont citées ci-dessus. Le résultat est donné dans la figure III.4



**Figure III.4** Ajustement par la méthode des moments des débits maximums à la station Pont RN 11 (1974/2007).

#### Interprétation

La figure III.4 montre qu'il y a une très bonne corrélation entre les débits maximums et les variables réduites car les points sont bien alignés et forment une droite linéaire donc les débits s'ajustent très bien selon la loi des moments. La droite est de la forme  $y = a*x + b$ . La relation obtenue est de :  $Q_{max} = 28.2*\mu + 21,48$  avec  $R^2=1$  et  $R= 1$  d'où,  $R^2$  : coefficient de détermination et  $R$  : coefficient de corrélation.

#### III.2.2.2 Calcul des débits maximums pour des périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100)

A partir de l'équation d'ajustement trouvée graphiquement ( $Q_{max} = 28.2*\mu + 21,48$ ), on estime les pluies maximales pour les périodes de retour données. Le résultat est donné dans le tableau III.4.

**Tableau III.4** Débits maximums pour différentes périodes de retour de la station Pont RN 11 (1974/2007).

T(an)	Fréquence	Variable réduite $\mu$	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)
2	0.5	0.37	31.931
5	0.8	1.5	63.828
10	0.9	2.3	86.410
20	0.95	2.97	105.32
50	0.98	3.9	131.57
100	0.99	4.6	151.33

D'après le tableau III.4, on voit que le débit maximum évolue avec le temps de retour mais son évolution est tardive.

### III.3 Analyse fréquentielle des précipitations et les débits par le logiciel HYFRAN

#### III.3.1 Ajustement de lois à un échantillon des précipitations

Les caractéristiques statistiques pour les données des précipitations du poste Bellah RN 11 entre 1973 et 2009 sont représentées dans le tableau III.5.

**Tableau III.5** Caractéristiques statistiques des données des précipitations du poste Bellah RN 11 entre 1973 et 2009

Nombre de données [n]	37
Minimum	20
Maximum	131
Moyenne	55.5
Ecart type	20.8
Médiane	50
Coefficient de variation [Cv]	0.374
Coefficient d'asymétrie [Cs]	1.56
Coefficient d'aplatissement [Ck]	6

Le tableau III.5 montre que la série des précipitations maximales est de 37 valeurs. Sa valeur maximale est de 131 et sa valeur minimale est de 20 dont sa valeur moyenne est de 55,5. Son l'écart type est de 20,8, sa médiane est de 50. Le coefficient de variation de la série des précipitations est de 0,374, son coefficient d'asymétrie est de 1,56 et le coefficient d'aplatissement est de 6.

#### III.3.1.1 Par la loi de Gumbel

#### Résultats et discussion

Les résultats sont illustrés dans la figure III.5 et le tableau III.6

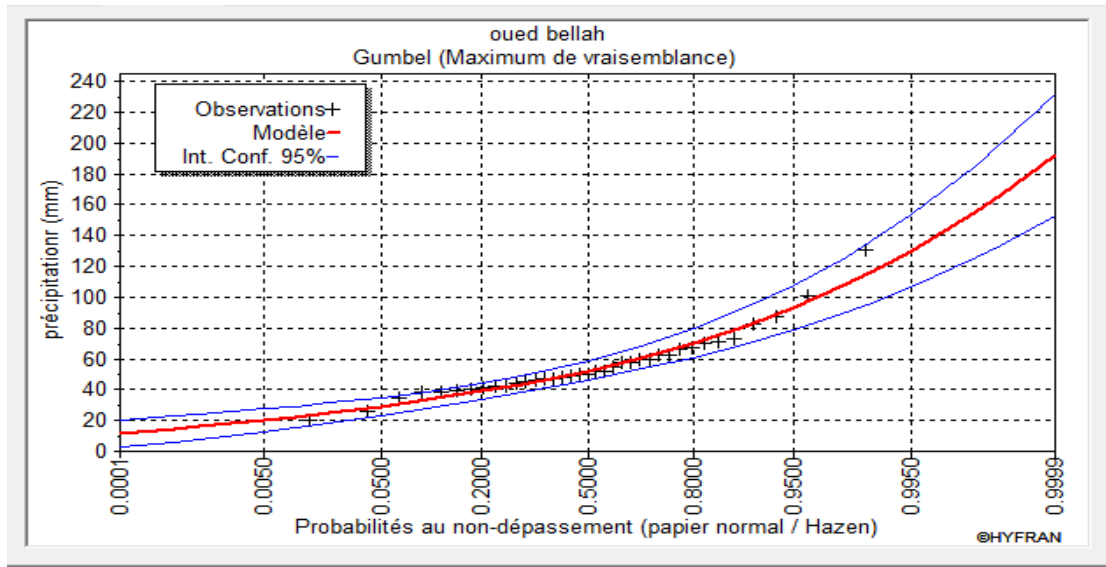


Figure III.5 Ajustement des pluies maximales selon la loi de Gumbel par HYFRAN

Tableau III.6 Précipitations maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi de Gumbel par HYFRAN

T (ans)	Fréquence	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	52.3	3.04	46.3 - 58.3
5	0.8000	70.2	4.70	61.0 - 79.4
10	0.9000	82.1	6.06	70.2 - 93.9
20	0.9500	93.4	7.43	78.9 - 108
50	0.9800	108	9.27	90.0 - 126
100	0.9900	119	10.7	98.3 - 140

D'après le graphique, on remarque que les points s'alignent à la de régression c'est-à-dire ils ne sortent pas de l'intervalle de confiance alors les précipitations s'ajustent mieux par cette méthode. Le tableau III.6 montre que la variation entre les temps de retour est grande tandis que la variation des précipitations maximales est petite. On peut conclure que l'évolution des précipitations maximales est faible.

### III.3.1.2 Par la loi Exponentielle

#### Résultats et discussions

Les résultats sont illustrés dans la figure III.6 et le tableau III.7.



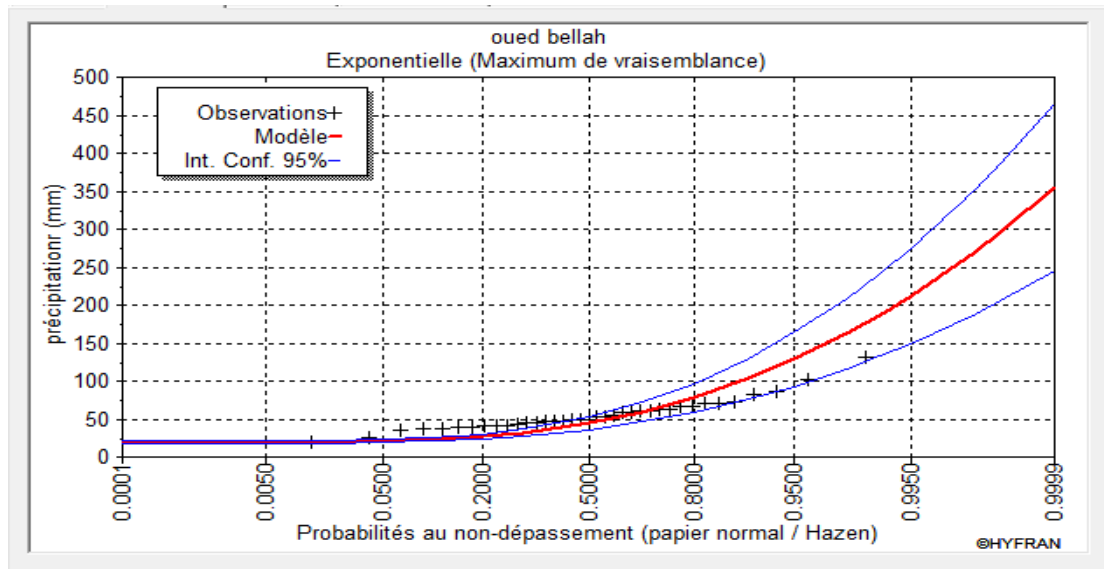


Figure III.6 Ajustement des pluies maximales selon la loi Exponentielle par HYFRAN

Tableau III.7 Précipitations maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Exponentielle par HYFRAN

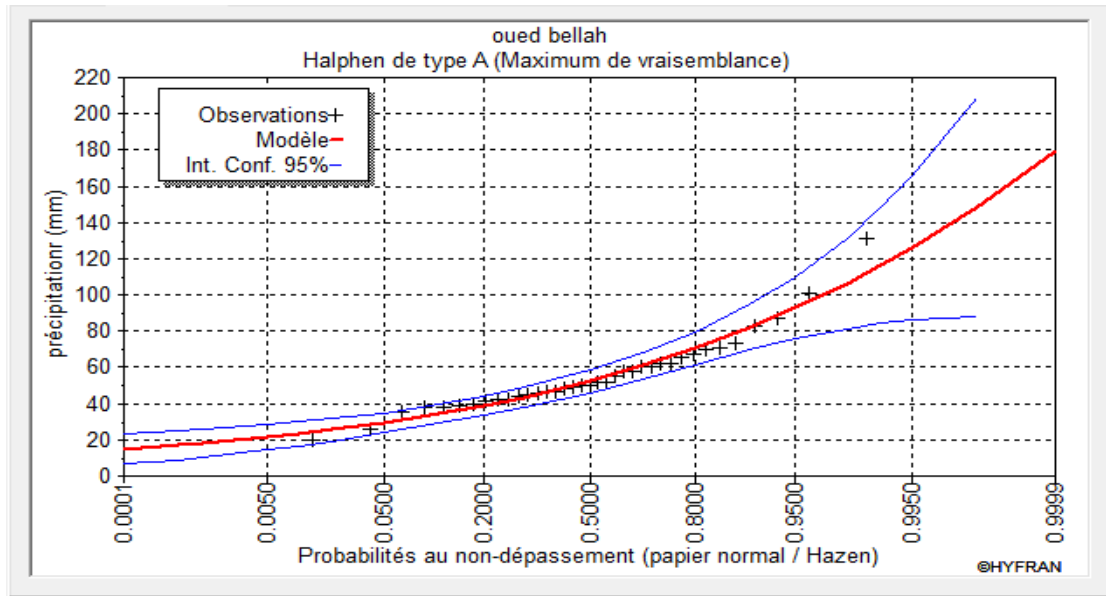
T (ans)	Fréquence	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	52.3	3.30	45.8 – 58.8
5	0.8000	70.4	4.72	61.1 – 79.6
10	0.9000	82.0	6.39	69.5 – 94.5
20	0.9500	92.8	8.73	75.7 - 110
50	0.9800	106	12.7	81.4 - 131
100	0.9900	116	16.3	84.3 - 148

Le graphique montre que l'ajustement n'est pas bien pour cette méthode. Le tableau montre que l'évolution des précipitations est remarquable.

### III.3.1.3 Par la loi Halphen de type A

#### Résultats et discussions

Les résultats sont illustrés dans la figure III.7 et le tableau III.8



**Figure III.7** Ajustement des pluies maximales selon la loi Halphen de type A par HYFRAN

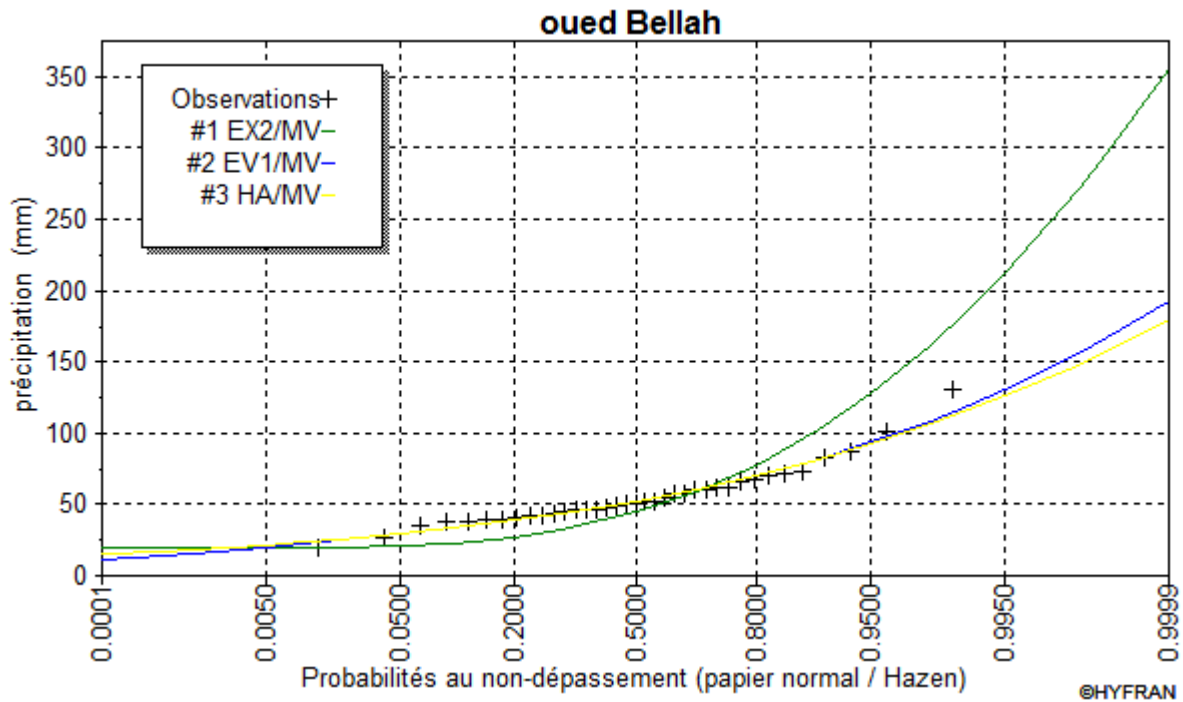
**Tableau III.8** Précipitations maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Halphen de type A par HYFRAN

T (ans)	Fréquence	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	55.5	3.42	48.8 – 62.2
5	0.8000	73.0	3.99	65.2 – 80.9
10	0.9000	82.2	4.64	73.1 – 91.3
20	0.9500	89.8	5.29	79.4 - 100
50	0.9800	98.3	6.09	86.3 - 110
100	0.9900	104	6.65	90.9 - 117

Le graphique montre qu'il y a un ajustement fort c'est-à-dire que le nuage de points est aligné autour de la droite de régression. Les précipitations dans ce cas, elles évoluent un peu remarquable (un peu fort) pour cette méthode.

### III.3.1.4 Comparaison de l'ajustement des précipitations maximales par quelques méthodes les plus utilisées

Dans ce paragraphe, on essaie de comparer l'ajustement pour les précipitations maximales pour les trois méthodes : Gumbel, Halphen de type A et exponentielle. Cette comparaison est faite pour connaître la méthode qui donne le mieux d'ajustement pour la grandeur des précipitations maximales. Le résultat est illustré dans la figure III.8 et le tableau III.9.



**Figure III.8** Comparaison graphique des trois lois d’ajustements des données de précipitations pour le poste Bellah RN 11 (1973/2009)

**Tableau III. 9** Ajustement numériques des lois de Gumbel, Halphen de type A et Exponentielle des précipitations maximales pour une période de 100 ans

Modèle	N <sup>bre</sup> de paramètre	Précipitation estimée	BIC	AIC
<b>Gumbel (Maximum de vraisemblance)</b>	2	119,178	326,341	323,120
<b>Halphen de type A (Maximum de vraisemblance)</b>	3	116,366	330,817	325,985
<b>Exponentielle (Maximum de vraisemblance)</b>	2	187,229	347,479	344,257

Le graphique III.8 montre que les valeurs observés s’ajustent mieux par la méthode de Gumbel et à la méthode d’Halphen de type A. Et, on voit clairement que, la plupart des points sont identiques aux allures de ces méthodes. Par contre, la méthode d’exponentielle ne s’ajuste pas bien.

Le tableau III.9 montre la comparaison du degré d’ajustement par BIC ( Critère d'information Bayésien ) et AIC ( Critère d'information d'Akaike ) pour les méthodes citées au- dessus. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces

statistiques. Pour les résultats d'ajustement numérique obtenus, on trouve que la loi de Gumbel est la mieux adaptée pour l'estimation des précipitations maximales annuelles. Elle permet également de faire une estimation pour les périodes de retour les plus élevées.

La comparaison graphique et les critères statistiques d'ajustement obtenus nous permettent de conclure que la loi la mieux adaptée pour l'estimation des précipitations maximales annuelles est la loi de Gumbel.

Le tableau III.10, nous a permis de vérifier la validation de cette loi de Gumbel. En effet, on remarque que la population et l'échantillon ont la même moyenne et à peu près le même écart-type avec une variation légère qui montre une homogénéité des données analysées.

**Tableau III.10** Statistiques descriptives des précipitations maximales annuelles

	Caractéristiques de la population (Gumbel)	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0	20
Maximum	0	131
Moyenne	55,6	55,5
Ecart type	20,3	20,8
Médiane	52,3	50
Coefficient de variation [ $C_v$ ]	0,364	0,374
Coefficient d'asymétrie [ $C_s$ ]	1,14	1,56
Coefficient d'aplatissement [ $C_k$ ]	2,4	6

Cette méthode pourrait donc être recommandée pour l'analyse statistique des pluies maximales, puisqu'il n'est pas toujours possible dans la réalité de connaître la forme de leurs distributions.

### III.3.2 Ajustement des lois statistiques pour des débits

Les caractéristiques statistiques pour les données des débits du poste Bellah RN 11 entre 1974 et 2007 sont représentées dans le tableau III.11.

**Tableau III.11** Caractéristiques statistiques des données des débits du poste Bellah RN 11 entre 1974 et 2007

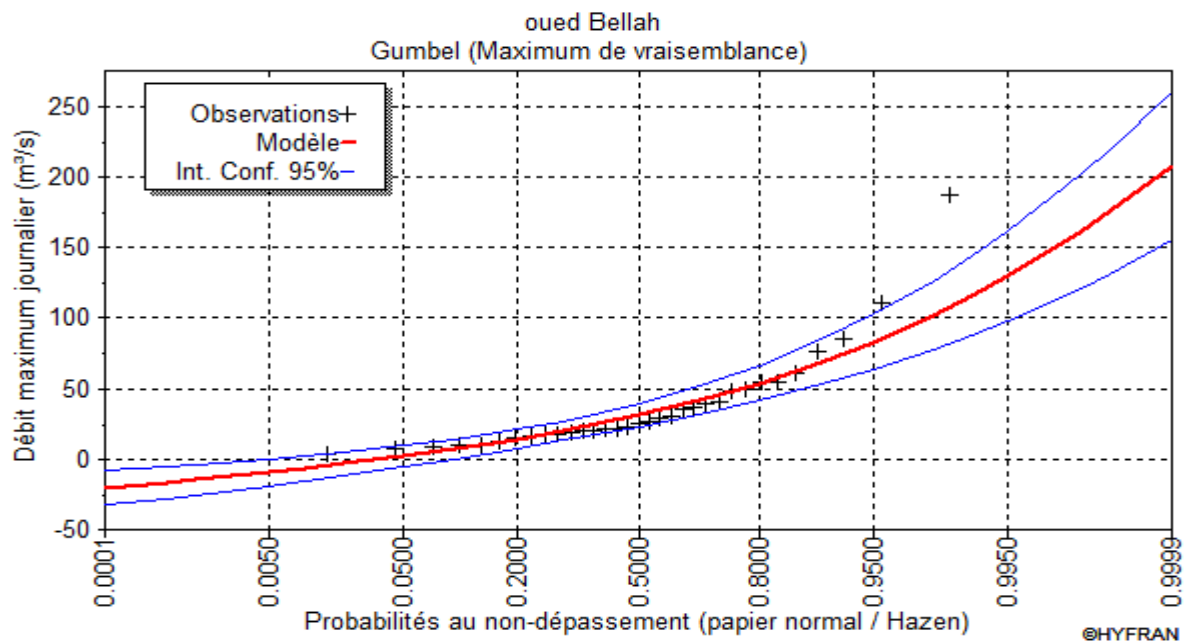
Nombre de données [n]	33
Minimum	3
Maximum	187
Moyenne	37.3
Ecart type	36.1
Médiane	25
Coefficient de variation [Cv]	0.969
Coefficient d'asymétrie [Cs]	2.63
Coefficient d'aplatissement [Ck]	9.68

Le tableau III.11 montre que la série des débits maximaux est de 33 valeurs. Sa valeur maximale est de 187 et sa valeur minimale est de 3 dont sa valeur moyenne est de 37.3. Son l'écart type est de 36.1, sa médiane est de 25. Le coefficient de variation de la série des débits est de 0,969, son coefficient d'asymétrie est de 2.63 et le coefficient d'aplatissement est de 9.68.

### III.3.2.1 Par la loi de Gumbel

#### Résultats et discussion

Les résultats sont illustrés dans la figure III.9 et le tableau III.12

**Figure III.9** Ajustement des débits maximaux selon la loi de Gumbel par HYFRAN

**Tableau III.12** Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Gumble par HYFRAN

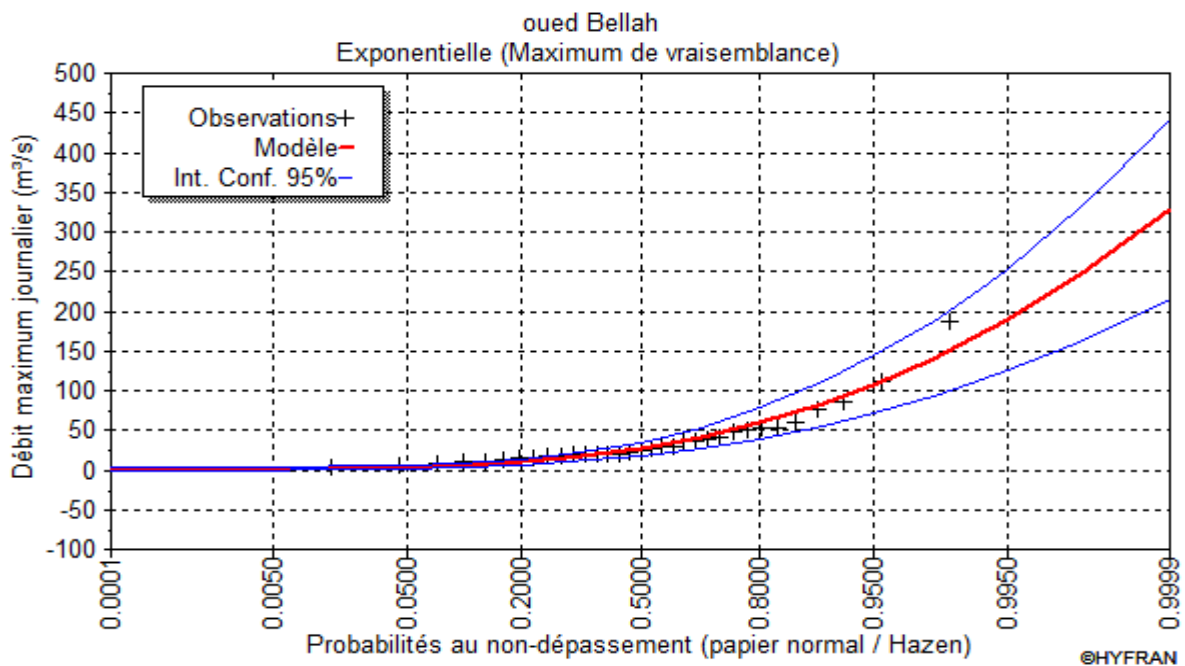
T (ans)	Fréquence	XT (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	31.1	4.06	23.1 – 39
5	0.8000	53.7	6.29	41.3- 66
10	0.9000	68.7	8.11	52.7 – 84.6
20	0.9500	83	9.96	63.5 - 103
50	0.9800	102	12.4	77.3- 126
100	0.9900	116	14.3	87.5 - 144

D'après le graphique Figure III.9, on remarque que les points s'alignent à la de régression c'est-à-dire ils ne sortent pas de l'intervalle de confiance alors les débits s'ajustent mieux par cette méthode. Le tableau III.12 montre que l'évolution des débits maximales est remarquable.

### III.3.2.2 Par la loi Exponentielle

#### Résultats et discussions

Les résultats sont illustrés dans la figure III.10 et le tableau III.13.



**Figure III.10** Ajustement des débits maximales selon la loi Exponentielle par HYFRAN

**Tableau III.13** Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Exponentielle par HYFRAN

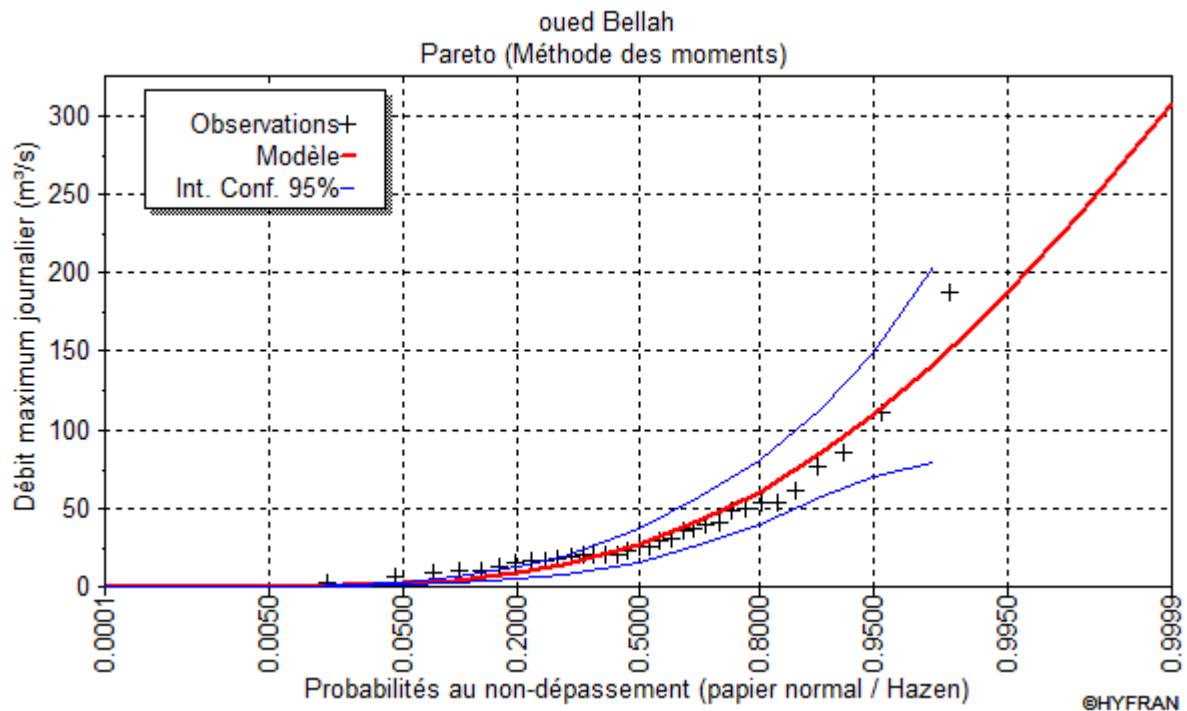
T (ans)	Fréquence	XT (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	26.4	4.28	18.1 – 34.8
5	0.8000	58.9	9.93	39.4 – 78.3
10	0.9000	83.4	14.3	55.4 – 111
20	0.9500	108	18.6	71.5 - 144
50	0.9800	140	24.3	92.7 - 188
100	0.9900	165	28.6	109 - 221

D'après le graphique Figure III.10,on remarque que les points s'alignent à la de régression c'est-à-dire ils ne sortent pas de l'intervalle de confiance alors les débits s'ajustent mieux par cette méthode. Le tableau III.13 montre que l'évolution des débits maximales est remarquable.

### III.3.2.3 Par la loi de Pareto

#### Résultats et discussions

Les résultats sont illustrés dans la figure III.11 et le tableau III.14.



**Figure III.11** Ajustement des débits maximales selon la loi de Pareto par HYFRAN

**Tableau III.14** Débits maximaux, écart type et l'intervalle de confiance par la loi de Pareto par HYFRAN

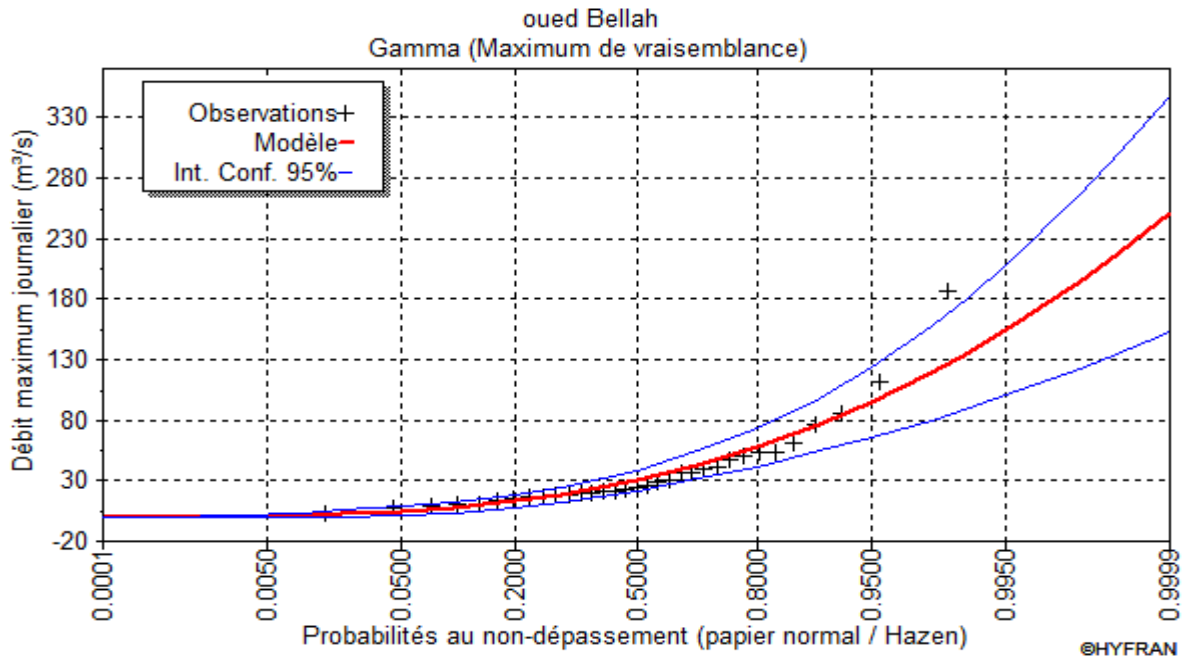
T (ans)	Fréquence	XT (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	26.4	5.41	15.8 – 37.0
5	0.8000	60.4	10.4	39.9 – 80.9
10	0.9000	85.4	14.5	57.1 - 114
20	0.9500	110	20.3	70.2 - 150
50	0.9800	141	31.9	79.0 - 204
100	0.9900	165	43.8	N/D

D'après le graphique Figure III.11 , on remarque que les points s'alignent à la de régression c'est-à-dire ils ne sortent pas de l'intervalle de confiance alors les débits s'ajustent mieux par cette méthode.Le tableau III.14 montre que l'évolution des débits maximaux est remarquable.

**III.3.2.4 Par la loi Gamma**

**Résultats et discussions**

Les résultats sont illustrés dans la figure III.12 et le tableau III.15.



**Figure III.12** Ajustement des débits maximaux selon la loi Gamma par HYFRAN



**Tableau III.15** Débits maximales, écart type et l'intervalle de confiance par la loi Gamma par HYFRAN

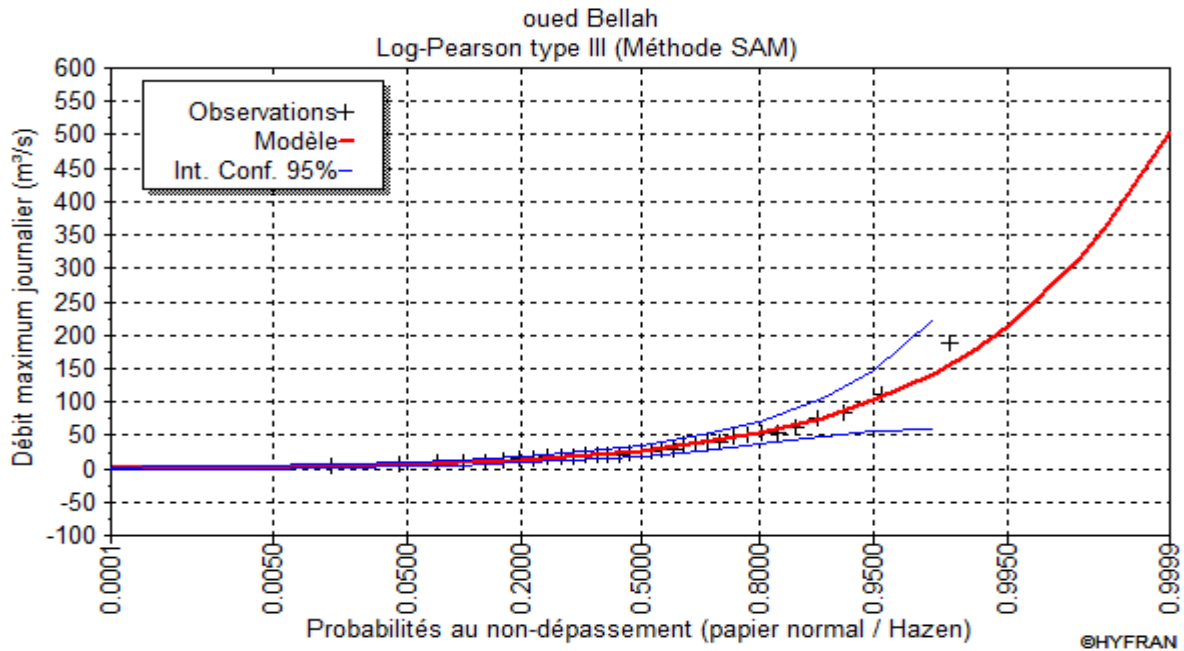
T (ans)	Fréquence	XT (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	29.9	4.39	21.3 – 38.5
5	0.8000	57.2	7.98	41.6 – 72.9
10	0.9000	76.2	11.3	54.3 – 98.5
20	0.9500	94.9	14.8	65.9 - 124
50	0.9800	119	19.7	80.1- 157
100	0.9900	136	23.4	90.4 - 182

D'après le graphique Figure III.12, on remarque que les points s'alignent à la de régression c'est-à-dire ils ne sortent pas de l'intervalle de confiance alors les débits s'ajustent mieux par cette méthode. Le tableau III.15 montre que l'évolution des débits maximales est remarquable.

### III.3.2.5 Par la loi Log-Pearson type III

#### Résultats et discussions

Les résultats sont illustrés dans la figure III.13 et le tableau III.16.



**Figure III.13** Ajustement des débits maximaux selon la loi de Log-Pearson type III par HYFRAN

**Tableau III.16** Débits maximaux, écart type et l'intervalle de confiance par la loi de Pearson type III par HYFRAN

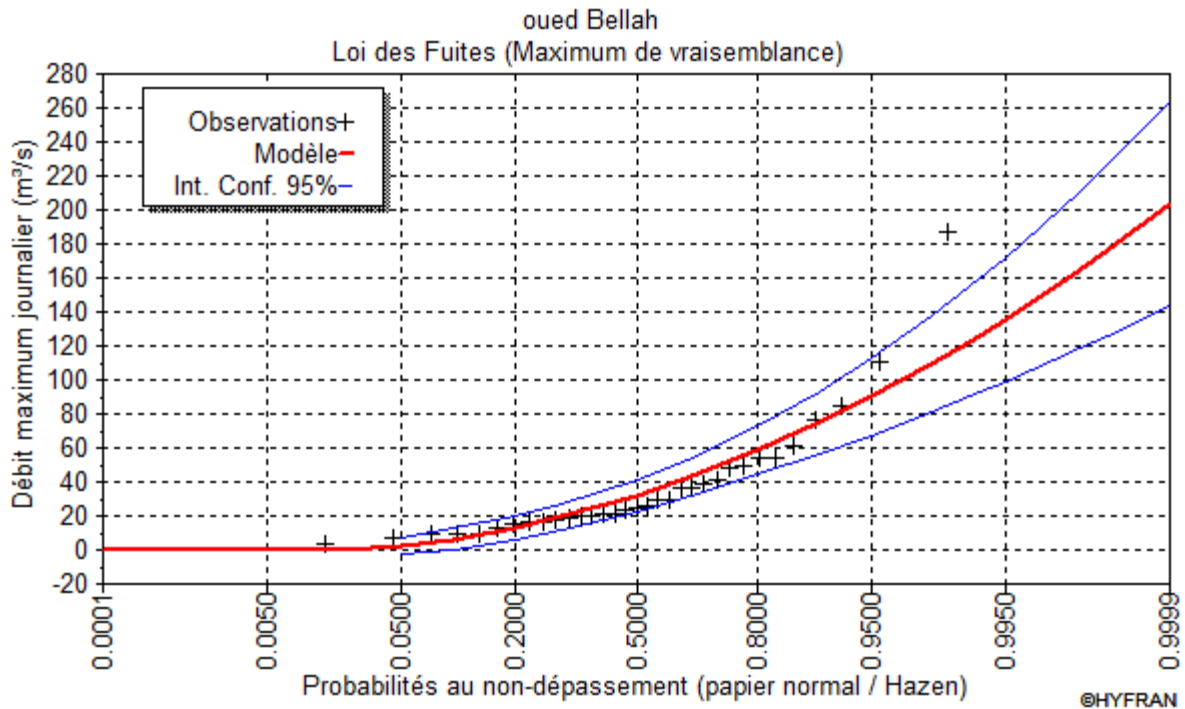
T (ans)	Fréquence	XT (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	26.9	4.23	18.6 – 35.2
5	0.8000	53.8	9.02	36.2 – 71.5
10	0.9000	76.8	14.7	47.9 - 106
20	0.9500	102	23.4	56.6 - 148
50	0.9800	141	41.9	59.3 - 224
100	0.9900	175	62.7	N/D

D'après le graphique Figure III.13, on remarque que les points s'alignent à la de régression c'est-à-dire ils ne sortent pas de l'intervalle de confiance alors les débits s'ajustent mieux par cette méthode. Le tableau III.16 montre que la variation entre les temps de retour est grande tandis que la variation des débits maximaux est remarquable. On peut conclure que l'évolution des débits maximaux est remarquable.

**III.3.2.6 Par la loi des fuites**

**Résultats et discussions**

Les résultats sont illustrés dans la figure III.14 et le tableau III.17.



**Figure III.14** Ajustement des débits maximales selon la loi des fuites par HYFRAN

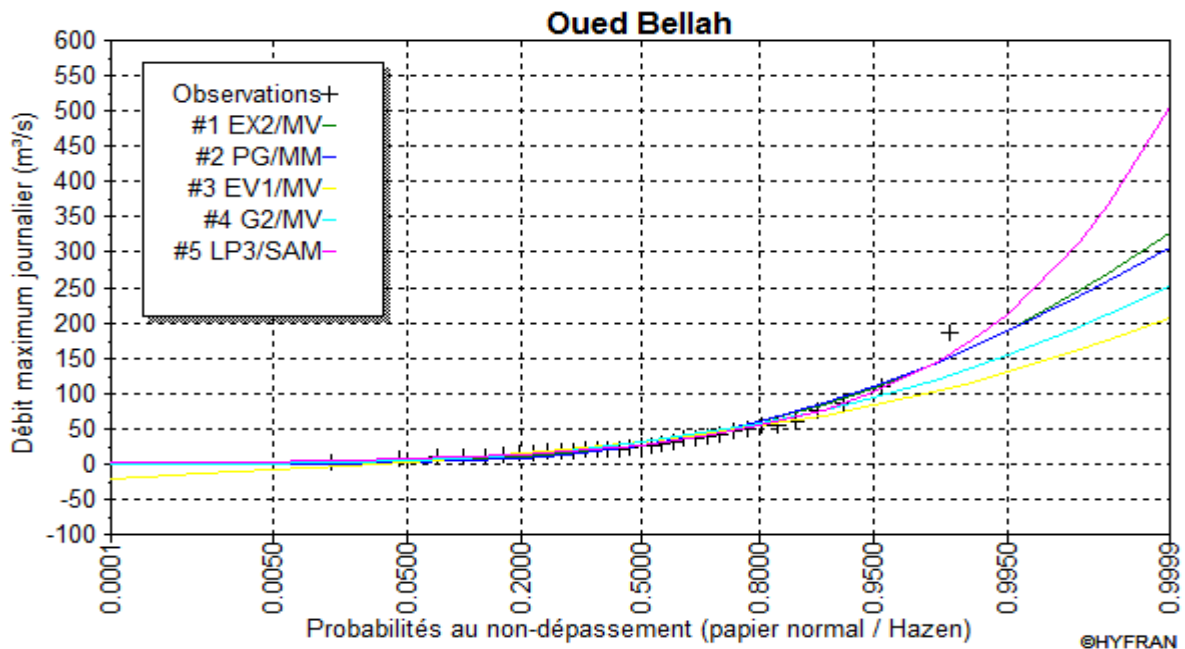
**Tableau III.17** Débits maximaux, écart type et l'intervalle de confiance par la loi des fuites par HYFRAN

T (ans)	Fréquence	XT (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
2	0.5000	32.0	4.64	22.9 – 41.1
5	0.8000	58.3	7.20	44.1 – 72.4
10	0.9000	74.9	9.250	56.6- 93.3
20	0.9500	90.2	11.5	67.6 - 113
50	0.9800	109	14.4	80.8 - 137
100	0.9900	123	16.6	90.1 - 155

D'après le graphique Figure III.14, on remarque que les points s'alignent à la de régression c'est-à-dire ils ne sortent pas de l'intervalle de confiance alors les débits s'ajustent mieux par cette méthode. Le tableau III.17 montre que l'évolution des débits maximaux est remarquable

**III.3.2.7 Comparaison de l'ajustement des débits maximaux par les cinq méthodes les plus utilisées**

Le résultat est illustré dans la figure III.15, tableau III.18 et le tableau III.19.



**Figure III.15** Comparaison graphique des cinq lois d'ajustements des données des débits pour le poste Bellah RN 11 (1974/2007)

La figure III.15 montre que les débits maximaux pour l’oued Bellah s’ajustent mieux pour toutes les méthodes utilisées. Les deux derniers tableaux montrent la fiabilité de cet ajustement.

**Tableau III.18** Ajustements numériques des lois pour une période de 100 ans

Modèle	Nb de paramètre	Débit estimée	BIC	AIC
Gamma (Maximum de vraisemblance)	2	136,396	307,887	304,894
Log-Pearson type III (Méthode SAM)	3	175,003	308,254	303,764
Exponentielle (Maximum de vraisemblance)	2	164,836	308,349	305,356
Pareto (Méthode des moments)	2	164,735	311,801	308,808
Loi des Fuites (Maximum de vraisemblance)	2	122,594	312,952	309,958
Gumbel (Maximum de vraisemblance)	2	115,529	313,945	310,952

**Tableau III.19** Statistiques descriptives des débits maximaux annuelles

	Caractéristiques de l'échantillon	Caractéristiques de la population (pareto)
Minimum	3	0
Maximum	187	1190
Moyenne	37,3	37,3
Ecart type	36,1	36,1
Médiane	25,0	26,4
Coefficient de variation [Cv]	0,969	0,969
Coefficient d'asymétrie [Cs]	2,63	1,82
Coefficient d'aplatissement [Ck]	9,68	-5,39

# Conclusion

---

## Conclusion

Ce mémoire vise à étudier les pluies maximales et les débits maximums par l'analyse fréquentielle dans le bassin versant de l'Oued Bellah, Tipaza. Le but de ce travail est de prévenir les catastrophes naturelles telles que les inondations et les crues dans les oueds les villes, ... etc.

A l'issu de ce travail, nous avons conclu que :

Les précipitations maximales et les et les débits maximums s'ajustent bien selon la loi de Gumbel et la loi des moments par le logiciel Excel. Et, les précipitations maximales évoluent très faiblement par les temps de retour et même résultat trouvé pour les débits maximums ;

Les précipitations maximales s'ajustent mieux presque pour toutes les méthodes qui sont dans le logiciel HYFRAN, sauf une ou deux que les points se retrouvent au dehors de l'intervalle de confiance. Les précipitations maximales évoluent très faiblement à des temps de retour,

A la fin du travail, la comparaison a été faite par cinq méthodes les plus utilisées qui s'ajustent bien pour les débits maximales.

## Références bibliographiques

**AID K., 2014** .Etudes des pluies et des intensités pluviales des zones semi-arides (cas du zéhzrez , Bassin versant 17). Mémoire ,Univ .Kasdi merbah ,ouargla,3 -7P

**Aissa madaoui O & Aissa madaoui R.,2016**, Protection des villes contre les inondations cas du centre d'ain fezza tlemcen .Mémoire,Univ. Tlemcen,11p

**ANRH** . Agence nationale des ressources hydrauliques (Tipaza).

**ANRH**. Données pluviométrique, Pluviographiques, climatologique. Document interne et des bandes enregistrements des stations pluviographiques des bassins du Zahrez (l'ANRH. Djelfa. Algérie).

**Ancey, C., 2016:** Notes de cours Risques hydrologiques et aménagement du territoire. Laboratoire hydraulique environnementale (LHE), École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Écublens, Lausanne, Suisse, 321 pp.

**Asnoui F., 2014**, Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD, Mémoire de master en hydraulique, Université de Tlemcen.

**Belarbi F.,2010-** Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA .Thèse de Magister ,Univ . Aou bekrelkaid ,83p.

**Benabdesselam & al.2013.**, APPROCHE REGIONALE POUR L'ESTIMATION DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES EXTREMES DU NORD EST ALGERIEN . Courrier du Savoir – N°17, Décembre 2013, pp.175-184. Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, 2013

**Bouguetof A.,2015.** La Vulnérabilité urbaine face au risque d'inondation -cas d'un perimetre temoin de la ville de Tébéssa-

**Bernier, J. et Fandoux, D., 1970.** Théorie de renouvellement. Application à l'étude statistique des précipitations mensuelles. Journal of Applied Statistics, 18 (2), 75–87. [http://archive.numdam.org/ARCHIVE/RSA/RSA\\_1970\\_\\_18\\_2/RSA\\_1970\\_\\_18\\_2\\_75\\_0/RSA\\_1970\\_\\_18\\_2\\_75\\_0.pdf](http://archive.numdam.org/ARCHIVE/RSA/RSA_1970__18_2/RSA_1970__18_2_75_0/RSA_1970__18_2_75_0.pdf)

**Chs inrs-Ete (Chaire en hydrologie statistique INRS Eau Terre et Environnement), 2005.** HYFRAN (HYdrological FREquency ANalysis). [http://www.ete.inrs.ca-activites-groupes-chaire\\_hydrol-chaire9.htm](http://www.ete.inrs.ca-activites-groupes-chaire_hydrol-chaire9.htm)

**Dalrymple, T. (1960)** Flood frequency methods. US Geol. Survey Water Supply Paper. 1543A, 11-51.

**Elahcene ,O.(2013)** Etude du transport solide par charriage et en suspension dans le bassin versant de l'Oued Bellah (tipaza). Thèse de Doctorat , Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach (alger) .

**Eva Maria et al ., 2004** – le test GPD et son implémentation dans le logiciel hyfran pro, n° 737 :22 – 29

**INRS-Eau Terre et Environnement, HYFRAN.SiteWeb:** [http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupe/chaire\\_htdro/chaire1.htm](http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupe/chaire_htdro/chaire1.htm) (consulté le 15/02/2009)

**Grehys (1996a)** Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. J. Hydrol. 186, 63-84.

**Gilles Molinie, 2006,** Hydrométéorologie, Systèmes précipitant et précipitations; [http://209.85.229.132/search?q=cache:sZ6T1D1JiwgJ:ltheln21.hmg.inpg.fr/PagePerso/belleydy/STUE/TUE412\\_GM\\_slide\\_syst\\_prec.pdf+tue412\\_GM\\_slide\\_syst\\_prec.pdf&cd=1&hl=fr](http://209.85.229.132/search?q=cache:sZ6T1D1JiwgJ:ltheln21.hmg.inpg.fr/PagePerso/belleydy/STUE/TUE412_GM_slide_syst_prec.pdf+tue412_GM_slide_syst_prec.pdf&cd=1&hl=fr) (Consulté le 25/12/2008)

**HachemiA.,2017-** Contribution à l'étude des crues de oued Abiod (Biskra).Thèse de doctorat, Univ. Mohamed Khider ,Biskra,P 4

**Hosking, J. R. M., 1990:** Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. J. R. Stat. Soc., 52, 105-124.

**Hingray, B., C. Picouet, et A. Musy, 2009:** Hydrologie 2: Une science pour l'ingénieur. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 600 pp.

**Laborde. J.P, (2000)** ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE 204P

**Laborde, P. J. P., 2009:** Elements d'Hydrologie De Surface. Département Hydroinformatique et Ingénierie de l'Eau, Ecole Polytechnique de L'université de Nice - Sophia Antipolis, France, 202 pp.

**Lorena Hita, Marta Miralpex, Nicolas Tournaud, 2007/2008,** Changement climatique : étude des événements extrêmes, laboratoire IPSL de l'école nationale des ponts et chaussées; Premier semestre.

**Meylan, P. et Musy A., 1999.** Hydrologie fréquentielle. Gestion et protection de la ressource en eau. Office fédéral de l'éducation de la science, n°. 96.01. Bucarest: HGA.

**Ouarda, T. B. M., Long, M., Bobée, B., Bernier, J. & Bois, P. (1999)** Synthèse de modèles régionaux d'estimation de crues utilisés en France et au Québec. Rev. Sci. Eau 12(1), 155-182.

**Ouarda, T. B.M., St-Hilaire, A. & Bobée, B. (2008)** Synthèse des développements récents en analyse régionale des extrêmes hydrologiques. Rev. Sci. Eau 21(2), 219-232.

**Perreault L ., B. Bobée and P.F. Rasmussen (1999a).** Halphen distribution system – I: mathematical and statistical properties. *journal of hydrology*, 4(3) :189-99.

**Perreault L ., B. Bobée and P.F. Rasmussen (1999b).** Halphen distribution system – II: parameter and quantile estimation . *journal of hydrology*, 4(3) :200-208.

**Regis Bourier, 1981,** Les réseaux d’assainissement, calcul application perspective, Edition technique et documentation

**Ribstein, P., 1981.** Loi des fuites, DEA: Sciences de l’eau. Paris: Université Pierre et Marie Curie: Laboratoire de géologie dynamique, et ORSTOM: service hydrologique.  
<http://www.sisyphes.upmc.fr/~m2hh/arch/memoires1981/Ribstein1981.pdf>

**Riou Bensotra Mohamed, 2008,** Etude des précipitations journalières et horaires de la plaine de Chélif, Mémoire de magistère, Institut des sciences de la nature et de la terre, Centre Universitaire de Khemis Miliana.

**Roche M,1963-**Hydrologie de surface .Ed,p55

**Touaïbia, B. (2004),** Manuel Pratique d’Hydrologie, Edition Madani, Blida, Algérie.

**World Meteorological Organization, 2012:** International Glossary of Hydrology. 469 pp.

**Yahiaoui A., 2012,** Inondations torrentielles\_ cartographie des zones vulnérables en Algérie du nord (cas de l’oued Mekrra, Wilaya de Sidi Bel Abbés), Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique.

**Zerhouni R ., 1981,-**méthodes de prédétermination de crues decennales . mémoire. Univ. pierre & marie-curie le géodynamique O.R.S.T.O.M ,20-21 P

**www.prim.net consulté le 10/06/2018**



## Résumé

Le présent travail s'intéresse à l'étude des précipitations maximales et des débits maximums par analyse fréquentielle dans le bassin versant de l'oued Bellah. Pour comprendre cette analyse dans le bassin versant, on s'est basé sur l'exploitation des données des précipitations (poste Bellah RN 11) et des débits (Pont RN 11). Les données des précipitations couvrent une période allant du 1973 à 2009 et les débits couvrent une période allant du 1974 à 2007. Les résultats obtenus montrent que les précipitations maximales et les débits maximums s'ajustent bien selon les lois étudiées par les logiciels Excel et HYFRAN. Et, que l'estimation des précipitations maximales et des débits maximums pour des différents temps de retour évoluent faiblement.

**Mots clés : précipitations, débits, analyse fréquentielle, Excel, HYFRAN, Bellah, Algérie.**

## ملخص

يركز هذا العمل على دراسة الحد الأقصى للأمطار ومعدلات التدفق القصوى بواسطة تحليل التردد في الحوض المتدفق لواد بلاح (Bellah RN 11). وباستخدام بيانات هطول الأمطار في الفترة 1973 إلى 2009 وتغطي التدفقات الفترة من 1974 إلى 2007 وذلك باستعمال اكسال و لوجيسيال ايفران .

وقد اعطت النتائج المتحصل عليها بالطريقتين ان معدل المطر ومعدل التدفق القصوى تتكيف بشكل جيد وفقا للقوانين التي درسناها في برنامج .

منه نستنتج أن فترة العودة تتغير بشكل طفيف .

**الكلمات المفتاحية: تحليل التردد, معدلات التدفق , هطول الأمطار , Excel , HYFRAN , Bellah , الجزائر**

## Abstract

The present work is concerned with the study of maximum rainfall and maximum flows by frequency analysis in the Wadi Bellah watershed. To understand this analysis In the watershed, we have been based on the exploitation of the data precipitation (post bellah RN 11) and flows (bridge RN11) .The rainfall data cover a period from 1973 to 2009 and the flows cover a period from 1974 to 2007.The results obtained show that the maximum rainfall and maximum flow rates fit well according to the Laws studied by the Excel and HYFRAN software. And, the estimation of maximum rainfall and maximum flow rates for different return times change slightly.

**Most keys: precipitation, flow, frequency analysis, Excel, HYFRAN, Bellah, Algeria.**