

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : Sciences

DÉPARTEMENT: HYDRAULIQUE

N° : .....



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE

FILIERE : HYDRAULIQUE

OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par : ALLAL Randa & KAHLANE Nesrine**

**Intitulé**

**Analyse et cartographie de la variabilité spatio-temporelle des  
précipitations journalières maximales fréquentielles.  
Cas du bassin versant Oued El-Hai.**

**Soutenu devant le jury composé de :**

Mr : .....	Université de M'sila	Président
Mr : BERGHOUT Ali	Université de M'sila	Encadreur
Doctorant BEN AMOR Samir	Université de Batna 2	Co-Encadreur
Mr : .....	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire :2020 /2021**

## RESUME

Le but de ce mémoire est d'analyser l'évolution des pluies de courtes durées (journalières et moins) dans le temps.

Le travail s'est basé sur le traitement statistique des séries de données de huit stations pluviométriques contournant le bassin versant de Oued El-Hai.

Nous avons d'abord procéder à une étude d'ajustement des précipitations maximales journalières, en utilisant le logiciel Hyfran a fin de détecter le model le plus adéquat pour cette région d'une part, d'autre part, dresser les cartes des précipitations maximales journalières de différentes fréquences.

La dernière étape consiste à la construction des courbes intensité-durée-fréquences (IDF).

Pour cela, nous avons déterminé les intensités maximales pour les différentes durées allant du 15 minutes à 360 minutes, pour des périodes de retour de 2 ans jusqu'à 1000 ans. Cela nous a permis de dresser les cartes d'IDF du bassin.

---

### Abstract:

The purpose of this brief is to analyse the evolution of short-term rains (daily and less) over time.

The work was based on the statistical processing of the data series of eight rainfall stations around the Oued El-Hai watershed.

We started with a study to adjust maximum precipitation daily, using Hyfran software to detect the most suitable model for On the one hand, this region, on the other, draw up daily maximum precipitation maps for different frequencies.

The final step is the construction of the intensity-duration-frequency (IDF) curves.

---

### ملخص:

والغرض من هذا الموجز هو تحليل تطور الأمطار القصيرة الأجل (اليومية والأقل) على مر الزمن. واستند العمل إلى التجهيز الإحصائي لسلسلة البيانات المؤلفة من ثماني محطات لهطول الأمطار حول مستجمع مياه أويد الحاي.

بدأنا بدراسة لتعديل الحد الأقصى لهطول الأمطار يوميا، باستخدام برمجيات هيفران للكشف عن أنسب نموذج من ناحية، هذه المنطقة، من ناحية أخرى، رسم خرائط هطول قصوى يومية للترددات المختلفة.

وتتلخص الخطوة الأخيرة في بناء المنحنيات ذات التردد المكثف.

ولهذا السبب، حددنا أقصى درجات الكثافة لمختلف الفترات الزمنية التي تتراوح بين 15 دقائق و 360 دقيقة لفترات العودة التي تمتد من 2 سنوات إلى 1000 سنوات. وقد مكنا ذلك من وضع خرائط قوات الدفاع الإسرائيلية للحوض.

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents pour leurs sacrifices, leur encouragement  
et leur patience,*

*A mon cher mari pour sa patience et son aide,*

*A mes Frères et sœurs pour leur amour et leur soutien,*

*A mes neveux, les anges de la famille,*

*A l'âme de ma très chère amie Nesrine KAHLANE, que dieu  
t'ouvre les portes du paradis,*

*A Taym, le fils de Nesrine, que dieu le protège et le garde,*

*A toute ma famille, amis et professeurs et à tous ceux qui  
m'ont aidé dans la réalisation de ce travail,*

*ALLAL Randa*

## **Remerciements**

*Je remercie Allah le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*Je remercie mon promoteur Mr. BERGHOUT Ali pour tout le soutien, l'aide, l'orientation, la guidance qu'elle m'a apporté lors de la réalisation de mon mémoire.*

*Je remercie mes parents et mon marie pour le soutien inconditionnel*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche en acceptant d'examiner ce travail et de l'enrichir par leurs remarques et critiques constructives.*

*Je n'oublie pas aussi mes amis (es) pour leur soutien et leurs différents conseils qui m'ont encouragé parfaitement pour atteindre mes objectifs.*

*A tous Merci*

# Sommaire

Résumé	
Remerciement	
Introduction .....	10

## Chapitre I:Présentation de la plante

I.1. Introduction .....	3
I.2. Situation géographique du bassin Oued El-Hai et du Barrage de fontaine des gazelles .....	3
I.3. Les grands ensembles physiques .....	5
I.3.1. Les montagnes.....	5
I.3.2. Les piedmonts .....	5
I.3.3. Les plaines.....	5
I.4. La structure du bassin .....	5
I.4.1. Stratigraphie et aperçu lithologique global .....	5
I.5. Les caractéristiques lithologiques et la perméabilité des roches des sous bassins versants .....	8
I.5.1. les formations imperméables.....	9
I.5.2. Les formations à perméabilité moyenne .....	9
I.5.3. Les formations à forte perméabilité .....	10
I.6. Le couvert végétal.....	11
I.6.1. Rôle du couvert végétal.....	12
I.6.2. Méthodes d'approches et classification de la végétation.....	12
I.6.3. Approche cartographique .....	13
I.7. Barrage fontaine des gazelles.....	16
Conclusion:.....	17

## Chapitre I: Présentation de la plante

II.1. Introduction .....	19
II.2. La température.....	19
II.3. Les vents.....	20
II.4. L'évaporation.....	20
II.5. Etude de la pluviométrie.....	21
II-5.1. Le réseau pluviométrique et les séries d'observation.....	21
II.5.2. Précipitation moyenne annuelle sur le bassin versant.....	22
II.5.3. Etude statistique des précipitations moyennes annuelles.....	26
II.6. Apports liquide .....	29
II.7. Les formules empiriques du transport solide.....	32
II.7.1. La formule de SOGREAHA.....	32
II.7.2. Formule de COUTAGNE .....	32
II.7.3. Formule de SAMI .....	32
II.7.4. Formule d'ANRH .....	32

II.7.5. Formule du MALLET GHAUTHIER .....	33
II.7.6. Formule dite ALGERIENNE.....	33
II.7.7. Formule du DERIE I.....	33
II.7.8. Formule de MEDINGUER .....	34
II.8. Conclusion .....	35

### **Chapitre I: Présentation de la plante**

III.1. Introduction .....	37
III.2. Présentations des stations utilisées .....	37
III.3. Définitions de quelques parametres .....	38
III.3.1. Utilisation du HYFRAN PLUS .....	40
III.3.1.1 saisie des données .....	40
III.3.4.2 Teste d'hypothèse .....	40
III.3.4.3 Analyse fréquentielle.....	41
III.3.4.3.1 Détermination de la loi d'ajustement la plus adéquate .....	41
III.3.4.3.2 Tests d'adéquation : Test du $\chi^2$ de Pearson .....	41
III.5. Outils de Géo-traitement. ....	51
III.5.1. ArcGIS .....	51
III.5.2. Méthodes de spatialisation de la pluviométrie : .....	51
III.5.2.1. La moyenne arithmétique .....	52
III.5.2.2. Polygones de Thiessen .....	52
III.5.2.3 Gradient altitudinale des précipitations .....	53
III.5.2.4. Krigeage .....	54
III.5.2.5 IDW (Interpolation par Inverse des Distance).....	55
III.5.3 Les Modèles de géotraitement utilisés dans notre étude .....	55
III.6. Cartes des précipitations journalières maximales .....	58
III.6.1. Précipitation journalière maximale pour la période de retour 10 ans.....	58
III.6-2 Précipitation journalière maximale pour la période de retour 50 ans .....	59

### **Chapitre I: Présentation de la plante**

IV.1. La pluie de courtes durées.....	61
IV 2. Notion d'averse et d'intensite .....	64
IV.3. Définition des courbes I.D.F .....	67
IV.4.Utilisation des courbes I.D.F .....	68
IV.5. Construction des courbes I.D.F .....	68
IV.6. Etablissement des cartes des intensités de pluies de durée de 30 min pour les différentes fréquences .....	72
Conclusion.....	80
Référence Bibliographique.....	82

## Liste des figures

<b>Figure (I.1)</b> .....	13
<b>Figure (I.2)</b> .....	13
<b>Figure (I.3)</b> : Situation géographique du barrage de fontaine des gazelles .....	13
<b>Figure (I.4)</b> : Carte Structurale.....	17
<b>Figure (I.5)</b> : Coupe tectonique du bassin au niveau d'El Kantara.....	18
<b>Figure (I.6)</b> : carte de permeabilite du bassin versant de l'oued El-Hai.....	20
<b>Figure (I.7)</b> : Carte de la végétation du bassin versant de l'Oued El Hai.....	24
<b>Figure (I.8)</b> : Carte de l'érosion du bassin versant de l'Oued El Hai. Source : D'après A. Rerboudj+completee .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure (II-1)</b> : Découpage de la surface du B.V de l'Oued El Hai selon la méthode de thiessen.....	31
<b>Figure (II-2)</b> : La carte des isohyètes.....	33
<b>Figure (II-3)</b> : Evolution annuelle des précipitations de la station de Bouzina (1971/2004).....	34
<b>Figure (II-4)</b> : Evolution annuelle des précipitations de la station de Mena (1971/2004).....	35
<b>Figure (II-5)</b> : Evolution annuelle des précipitations de la station de Batna (1971/2004).....	35
<b>Figure (II-6)</b> : Evolution annuelle des précipitations des station de Batna,Mena et Bouzina (1971/2004).....	36
<b>Figure (II-7)</b> : Variation mensuelle de la distribution des précipitations de la station Mena.....	36
<b>Figure (II-8)</b> : Variation mensuelle de la distribution des précipitations de la station Bouzina.....	37
<b>Figure (II-9)</b> : Variation mensuelle de la distribution des précipitations de la station Batna.....	37
<b>Figure (II-10)</b> : Variation mensuelle des apports liquides.....	39
<b>Figure (III.1)</b> : Situation du bassin versant et les stations pluviométriques.....	46
<b>Figure (III.2)</b> : Définition de la notion de période de retour.....	47
<b>Figure (III.3)</b> : La saisie des données dans le logiciel HYFRAN PLUS .....	48
<b>Figure (III.4)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de Biskra.....	50
<b>Figure (III.5)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de N'gaous .....	51
<b>Figure (III.6)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de Thniet El-Abed .....	52
<b>Figure (III.7)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de Bouhmar .....	53
<b>Figure (III.8)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de Bou-saada .....	54
<b>Figure (III.9)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de djamoura .....	55
<b>Figure (III.10)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de Rasouyounn .....	56
<b>Figure (III.11)</b> : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normale) : Station de batna.....	57
<b>Figure (III.12)</b> : Schéma explicative du principe des polygones de Thiessen .....	60
<b>Figure (III.13)</b> : Modèle pour l'application des méthodes de spatialisation (Krigeage et IDW).....	65
<b>Figure (III.14)</b> Précipitation journalière maximale pour la période de retour 10 ans .....	66
<b>Figure (III.15)</b> Précipitation journalière maximale pour la période de retour 50 ans .....	66
<b>Figure (III.16)</b> Précipitation journalière maximale pour la période de retour 100 ans .....	67
<b>Figure (III.17)</b> Précipitation journalière maximale pour la période de retour 1000 ans .....	67
<b>Figure (IV.1)</b> : Exemple de courbe des hauteurs de pluies cumulées et hyétogramme.....	73
<b>Figure (IV.2)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station <b>BISKRA</b> .....	77
<b>Figure (IV.3)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station <b>bATNA</b> .....	77
<b>Figure (IV.4)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station N'GAOUS.....	78
<b>Figure (IV.5)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station T_EL_ABED.....	78
<b>Figure (IV.6)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station BOUHMER.....	79
<b>Figure (IV.7)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station DJAMOURA .....	79
<b>Figure (IV.8)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station RAS AYOYUN.....	80
<b>Figure (IV.9)</b> : Courbe intensité-durée-fréquences, station BOUSSAADA .....	80
<b>Figure (IV.10)</b> : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 2 ans.....	82
<b>Figure (IV.11)</b> : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 10 ans.....	82
<b>Figure (IV.12)</b> : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 50 ans.....	83
<b>Figure (IV.13)</b> : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 100ans.....	83
<b>Figure (IV.14)</b> : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 1000 ans.....	84

<b>Figure (IV.15) :</b> Précipitation journalière maximale pour la période de retour 10 ans .....	84
<b>Figure (IV.16) :</b> Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 50 ans	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure (IV.17) :</b> Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 100 ans	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure (IV. 18) :</b> Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 1000 ans	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau (I -1) :</b> Caractéristiques des matériaux bassin versant .....	19
<b>Tableau (I -2) :</b> Degré de perméabilité .....	20
<b>Tableau (I -3) :</b> Répartition en % des types de végétation et d'occupation du sol .....	23
<b>Tableau (II-1) :</b> les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Batna (1973-1998).....	27
<b>Tableau (II-2) :</b> les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station d'El Kantara (1977-1998). ....	28
<b>Tableau (II-3) :</b> Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s) à la station de Batna (1975-1984).....	28
<b>Tableau (II-4) :</b> moyenne mensuelle des vents (m/s) à la station de Biskra (1990-2000). ....	28
<b>Tableau (II-5) :</b> Evaporation moyenne mensuelle (mm) à la station de Batna (1975-1984). ....	28
<b>Tableau (II-6) :</b> Evaporation moyenne mensuelle (mm) à la station de Biskra (1990-2000). ....	29
<b>Tableau (II-7) :</b> Coordonnées des stations pluvio-hydrométriques et leurs codes. ....	29
<b>Tableau (II-8) :</b> Précipitation moyenne annuelle des striations pluviométriques du bassin versant Oued El Hai	30
<b>Tableau (II-9) :</b> Application de la méthode de Theissen au calcul de la pluie moyenne interannuelle .....	31
<b>Tableau (II-10) :</b> Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin par la méthode des isohyètes..	32
<b>Tableau (II-11) :</b> Moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique (1971-2004). ....	34
<b>Tableau (II-12) :</b> Variation mensuelle de la distribution des précipitations. ....	36
<b>Tableau (II-13) :</b> Variation interannuelle des apports liquide, débit liquide et lame d'eau. ....	37
<b>Tableau (II-14) :</b> Variation mensuelle des apports liquides, débits liquides et lame d'eau. ....	39
<b>Tableau (II-15) :</b> La lame d'eau et l'apport liquide utilisant les équations empirique.....	42
<b>Tableau (III.1):</b> Liste des stations pluviométriques étudiées.....	45
<b>Tableau (III.2):</b> Caractéristiques des totaux annuels et des précipitations maximales journalières .....	46
<b>Tableau (III.3):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale: Station de Biskra .....	51
<b>Tableau (III.4):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale : Station de N'gaous .....	52
<b>Tableau (III.5):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale : Station de Thniet El-Abed.....	53
<b>Tableau (III.6):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale : Station de Bouhmar .....	54
<b>Tableau (III.7):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale : Station de Bou-saada .....	55
<b>Tableau (III.8):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale : Station de djmoura .....	56
<b>Tableau (III.9):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale : Station de rasouyounn .....	57
<b>Tableau (III.10):</b> Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normale : Station de batna .....	58
<b>Tableau (III.11):</b> Pluies maximales journalières des différentes stations .....	58
<b>Tableau (III.12):</b> Pluies maximales journalières fréquentielles des différentes stations .....	59
<b>Tableau (IV.1):</b> Les pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 2 ans .....	69
<b>Tableau (IV.2):</b> Les pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 10 ans .....	70
<b>Tableau (IV.3):</b> Les pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 50 ans .....	70
<b>Tableau (IV.4):</b> Les pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 100 ans .....	71
<b>Tableau (IV.5):</b> Les pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 1000 ans .....	71
<b>Tableau (IV.6):</b> Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 2 ans .....	73
<b>Tableau (IV.7):</b> Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 10 ans .....	74

<b>Tableau (IV.8):</b> Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 50 ans .....	74
<b>Tableau (IV.9):</b> Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 100 ans .....	75
<b>Tableau (IV.10):</b> Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 1000 ans .....	75
<b>Tableau (IV.11):</b> Pluies maximales journalières fréquentielles des différentes stations.....	81



# **Introduction générale**

## Introduction

Le bassin versant d'oued El Hai montre une grande hétérogénéité dans la répartition et le potentiel de ses sources.

Le traitement statistiques liées aux précipitations représente un vaste domaine qui pose de nombreux défis aux météorologues et hydrologues. Parfois, il est nécessaire, voir indispensable d'approcher en valeur les évènements extrêmes pour des sites où il existe peu, ou aucune donnée, ainsi que leurs périodes de retour. La recherche d'un modèle de fréquence des hauteurs de pluies journalières revêt une grande importance en hydrologie opérationnelle: Elle constitue la base de calcul de la crue de projet associée à une probabilité d'occurrence donnée, une fois les quantiles déterminés. L'approche la plus connue et la plus courante est l'approche statistique. Elle consiste à rechercher une loi de probabilité qui s'ajuste le mieux aux valeurs observées de la variable aléatoire "pluie maximale journalière" après comparaison de différentes lois de probabilités et méthodes d'estimation à l'aide de tests d'adéquation. De ce fait, une analyse fréquentielle de séries annuelles de pluies maximales journalières a été réalisée sur les données de 8 stations pluviométriques contournant le bassin versant Oued El-Hai,. Ce choix a été porté sur cinq lois usuellement appliquées à l'étude et l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales. Elle a servi à la prévision des quantiles. Les lois utilisées sont : la loi généralisée des extrêmes GEV) à trois composantes, celles des valeurs extrêmes à deux composantes (Gumbel et log normal , weibull, Gamma). Ensuite notre travail s'est penché sur l'étude des intensités de courtes durées de différentes fréquences, qui n'est pas moins importante que la première étude.

Nous avons scindé notre travail en cinq principaux chapitres :

- Premier chapitre définit la zone de notre étude : Bassin versant de oued El - Hai.
- Le second chapitre est consacré à l'étude hydrologique du bassin versant.
- Le troisième chapitre sera consacré à l'étude des précipitations journalières maximales
- Le dernier chapitre sera consacré à l'étude des pluies de courtes durées.
- En fin, le mémoire sera conclu par une conclusion générale.



***Chapitre I***  
***Présentation du milieu de l'étude :***  
***Bassin versant Oued El-Hai***

## **I.1. INTRODUCTION :**

Ce chapitre constitue une présentation du milieu de l'étude : bassin versant Oued El-Hai, et ces différentes caractéristiques nécessaires pour l'élaboration de notre étude.

## **I.2. Situation géographique du bassin Oued El-Hai et du Barrage de fontaine des gazelles :**

Le sous bassin de Oued EL-Hai, appartient au grand bassin du Chott Melrhir (06). Ce sous bassin s'étale sur une superficie de 1120 km<sup>2</sup>. Il est limité au Nord par la Daira de Batna, celle de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, à l'Ouest par la Daïra de N'Gaous et Barika et par l'Est par Tazoult, Arris et Menaâ. Il prend naissance dans les monts de Batna et se jette dans la plaine de l'Outaya à travers un réseau hydrographique formé essentiellement par Oued El-Hai et alimentant le barrage des fontaines des Gazelles (35°7.4' Nord - 5°34.7' Est).

C'est une région entourée de chaînes montagneuses peu élevées (jusqu'à 2091 m monts de Bellezema), les flancs Nord sont couverts de forêts, tandis que les flancs Sud sont rocaillieux et dénudés, les uns et les autres sont abrupts aux pieds des talus ; on trouve beaucoup d'éboulis. Ce secteur constitue la partie la plus arrosée, elle est drainée par l'oued El Hai ; oued Tilatou descend des flancs des monts de Bellezma et après le confluent avec oued Fedhala, il s'appelle " oued El Hai".

Le sous bassin versant d'oued El Hai se situe dans une zone limitée par les longitudes (5°28'-6°14' Est) et les latitudes (35°09'-35°37' Nord).

---



Figure (I.1).....

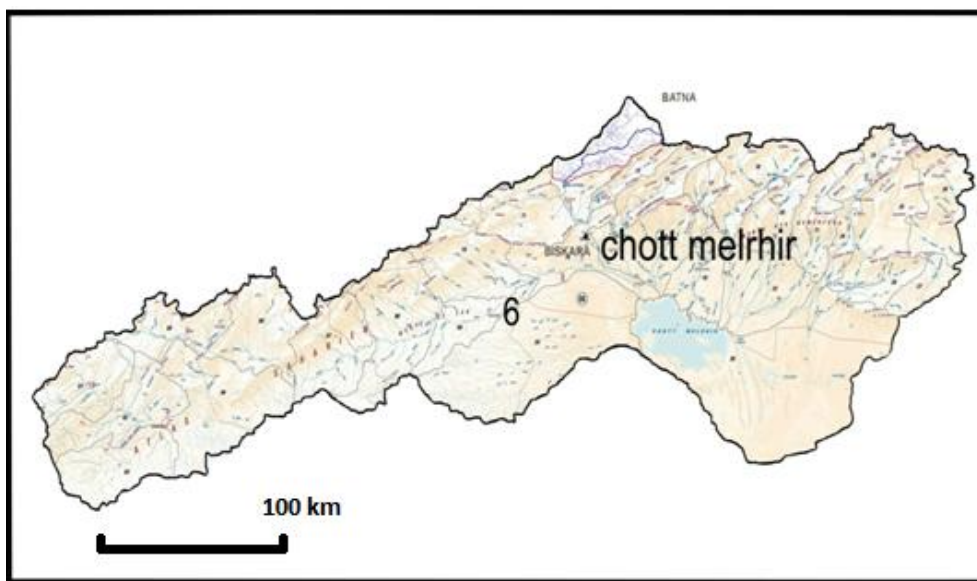


Figure (I.2).....



Figure(I.3) : Situation géographique du barrage de fontaine des gazelles (ANBT, 2004)

### **I.3. Les grands ensembles physiques**

Le bassin versant de l'oued Biskra présente des ensembles naturels fortement variés qui agissent sur le comportement hydrologique du bassin. Il est subdivisé en trois milieux naturels:

#### **I.3.1. Les montagnes**

Elles sont composées essentiellement de massifs montagneux des Aurès dans la partie nord du bassin. Elles sont constituées par les monts de Asker (1833m) , Djebel Ich Ali (1815m) et chaîne montagneuse de Bellezma (2091m) caractérisée par de forts reliefs en plusieurs chaînons orientés sensiblement leurs altitudes s'élèvent progressivement de l'Ouest en Est, ainsi que Djebel Metlili (1496m) au Sud-Ouest du bassin, Ces reliefs forment une barrière naturelle, qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces reliefs.

#### **I.3.2. Les piedmonts**

C'est une zone de transition entre la montagne et la plaine : elle s'allonge de l'Est à l'Ouest on trouve également le piedmont méridional avec ses collines et ses étendues planes, étagées et en pente douce ; son altitude varie entre 1200 et 1600m.

#### **I.3.3. Les plaines**

C'est la zone plate du bassin la plus exposée aux crues, elle se situe au sud-Ouest des piedmonts, elle est circonscrite par les courbes de niveau 800 à 1200m, les dépôts accumulés dans cette plaine sont composés de sable, gravier et de limon résultant de la charge solide des oueds .Ce terrain est utilisé pour les activités agricoles saisonnières.

### **I.4. La structure du bassin**

La diversité des milieux topographiques du bassin de l'oued El Hai relevée dans le début de cette partie, trouve son origine dans la constitution géologique et structurale de cette région. Les différents mouvements tectoniques qu'a connus cette dernière ont engendré le soulèvement des reliefs et l'affaissement des dépressions.

Le bassin de l'oued El Hai a été le siège d'un tectonique assez complexe, qui est relativement souple, ayant aboutie à la formation des anticlinaux et synclinaux de direction générale NE-SO, ces structures font de la région une zone très tectonisée (R. Laffitte 1939).

#### **I.4.1. Stratigraphie et aperçu lithologique global**

Les terrains les plus anciens qui affleurent dans cette région sont attribués au crétacé le plus récent et au quaternaire le plus ancien (R. Laffitte 1939) (voir figue I-4).

**a) Le Crétacé :**

Il constitue les principaux affleurements des monts de Bellezma et Djebel Metlili, la série de crétacé inférieur est caractérisée par des roches gréseuses dures et des marnes tendres contenant par endroit des cristaux de gypse ; elle affleure sur les sommets des monts de Bellezma, au Nord-Est de Thniet El Abed, au Sud-Ouest de Menaâ, cette série est bien liée et attribuée au jurassique. Alors que le crétacé supérieur qui s'étend du cénonanien au turonien est constitué essentiellement de marno-calcaire, il apparaît approximer de dechra Tilatou (extrémité Nord du Djebel Metlili) et dans la vallée de l'oued Fedhala. Le sénonien complet s'observe à El Kantara, où il fait suite au cénonanien-turonien étudiés précédemment, mais d'une épaisseur de 2200 à 2300m, dont 350m de mæstrichtien calcaire au lieu de 2900m.

**b) Le Tertiaire**

Les terrains attribués au miocène non différencié affleurent largement dans le secteur d'étude, il s'agit d'une formation marneuse très puissante, se caractérise par deux assises d'épaisseurs très différentes et largement discordantes, l'une par rapport à l'autre :

- La première appartient au miocène inférieur, elle occupe les reliefs de Maafa, Djebel Mahmal et Kef Ed Darsa (au Sud d'El Kantara).

-La deuxième partie représente le miocène moyen et supérieur, sa puissance d'environ 1800m dans le bassin du Djemoura, les marnes deviennent très gypseuses annonçant ainsi les faciès évaporitiques du miocène terminal de Branis au Nord d'El Outaya au voisinage de Djebel El Felleg.

- L'éocène inférieur, d'une épaisseur varie entre 150 à 200m, il est représenté par des marno-calcaire, marnes, calcaires blancs riches en silices et souvent fissurés, il affleure à l'Est -Sud-Est de Djebel El Melah, où il est représenté par quelques dizaines de mètres de marnes jaunes, verdâtre légèrement gypseuses et des calcaires argileux. Cette formation affleure également à l'Est d'El Outaya les reliefs de Bouzina et le Nord d'El Kantara.

- L'éocène moyen est surmonté par une assise rouge gréso-marneuse à la base conglomératique au sommet, dont l'épaisseur atteint au maximum 300m, les séries détritiques rouges d'El Kantara pourraient alors représenter l'éocène moyen et pourraient être la base de l'éocène supérieur.

- Le pliocène repose sur le miocène marneux, avec une légère discordance constituée par des grés, sables, argiles, marnes brunes et gypses, avec quelques poudingues, l'épaisseur de ces formations peut atteindre les 400m. Dans le bassin de l'oued El Hai, il est caractérisé par une formation gréseuse épaisse de plusieurs dizaines de mètres, elle débute par quelques bancs de

grés relativement tendres bruns rosâtres à petits galets, qui alternent avec des marnes gréseuses rosâtres.

**c) Le Quaternaire**

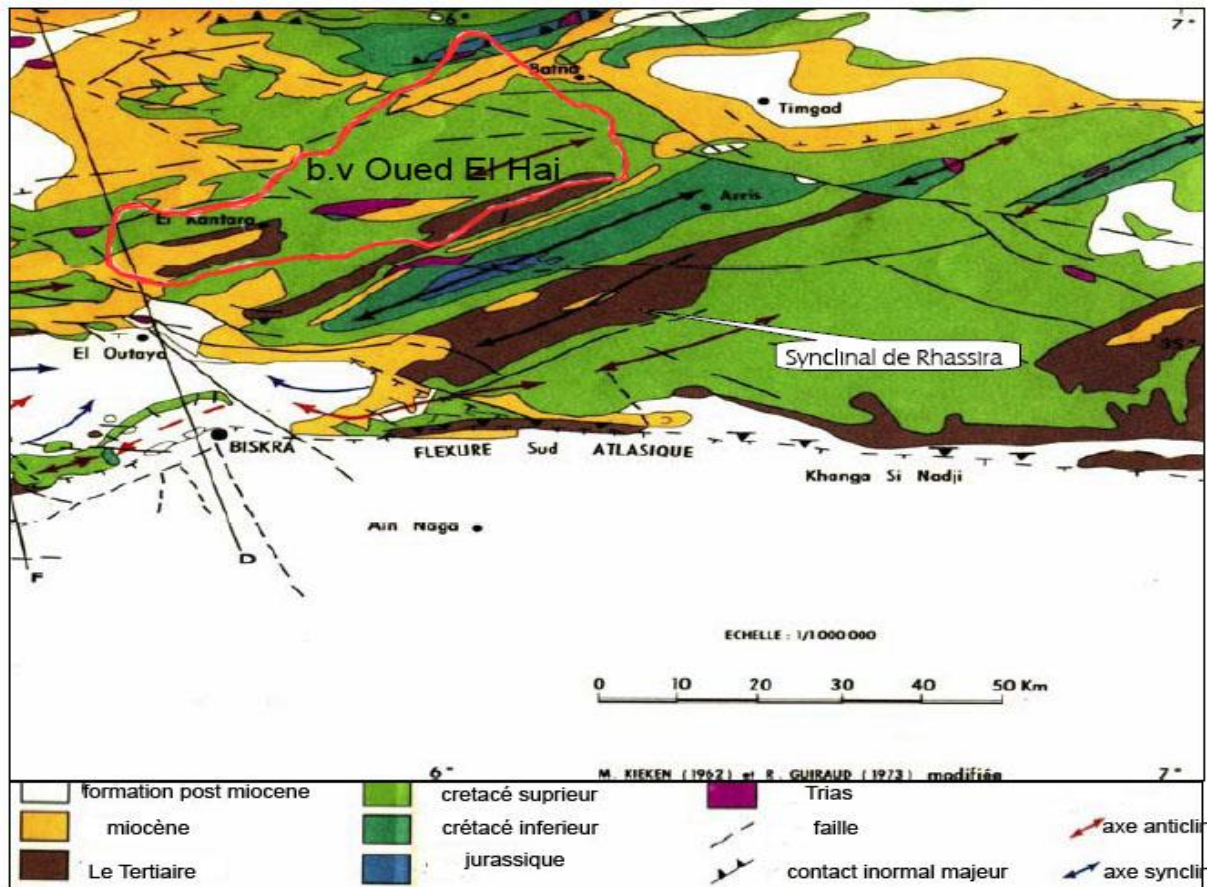
Les terrains quaternaires sont très répondeus dans cette partie, ces formations sont caractérisées par des conglomérates épaisses, des graviers-sableux et éventuellement des limons sableux contenant des galets de gravier, des alluvions sableuses et caillouteuses de lit de Djebel Melah. Le quaternaire moyen est représenté par des alluvions sableuses et argileuses dans toutes les grandes plaines, vers l'oued Biskra. La terrasse du quaternaire ancien est bien développée elle est formée exclusivement par des poudingues aux alentours des montagnes.

**d) Le Jurassique**

Il s'agit de marnes, de calcaires marneux et de dolomies, constituant la succession de cet étage. Représenté dans la plaine de Ain Touta La partie supérieure est constituée de calcaire de plus en plus dolomitique jusqu'à la dolomie pure.

**e) Le Trias**

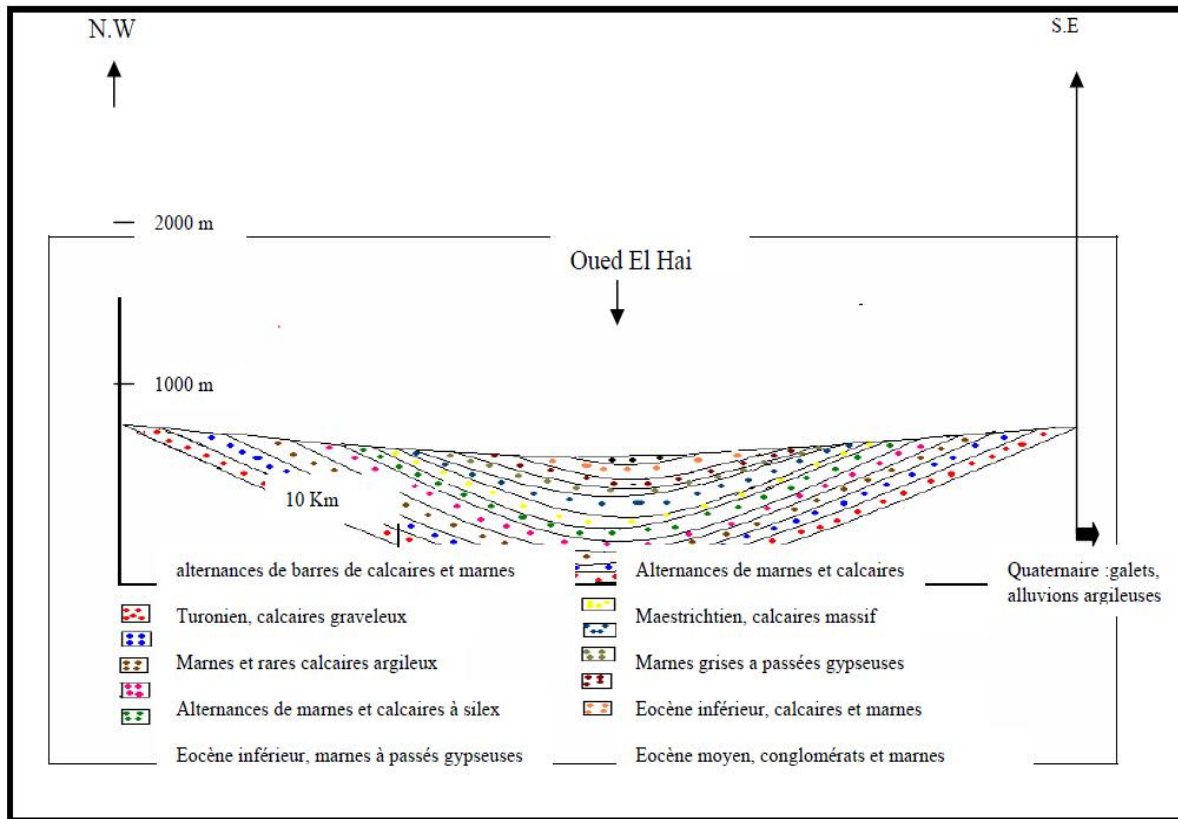
Le Trias apparaît sous forme de diapirs ou jalonnant les contacts anormaux. Il consiste en une série argilo-gréseuse à la base suivie d'une série évaporitique comprenant des passées calcaro-dolomitiques. Le gypse est le plus fréquent et le sel caractérise quelques pointements (djebel El Melah à El Outaya).



### I.5. Les caractéristiques lithologiques et la perméabilité des roches des sous bassins versants

Les caractéristiques hydrologiques des sous bassins sont dans une large mesure influencées par l'imperméabilité des roches et les sols qui ont dérivé d'absorber l'eau et de la retenir de manière temporaire. Les descriptions lithologiques qu'on abordera ci-après, sont inspirées en grande partie des notices des cartes géologiques à 1/50.000 de Batna, El Kantara et Biskra. Dans le sous bassin de l'oued El Hai : on trouve les formations calcaires du cénomaniens supérieur et des formations marno-calcaires du turonien ; ces formations apparaissent approximativement de dechra Tilatou et la vallée de l'oued Fedhala, des marno-calcaires gréseux du miocène affleurent au Sud d'El Outaya, Aïn Touta et le Nord des tamarins, ainsi que les pieds des montagnes. Les autres formations ont une extension très réduite : les masses de marnes associées aux conglomérats et calcaires sont représentées au Nord d'El Kantara.

En général, dans le bassin de l'oued El Hai on constat trois types de roches ou trois grands ensembles (voir Figure (I-5) ).



**Figure (I.5) :** Coupe tectonique du bassin au niveau d'El Kantara.

### **I.5.1. les formations imperméables**

Constituées des marnes, marno-calcaires et sols argileux de telles assises rencontrent dans la formation marno-calcaire turonienne et la formation marneuse miocène, ainsi que sous forme de divers recouvrements quaternaire (sols forestiers). Sur les zones de cette nature, l'infiltration doit être inférieur à 10% des précipitations, s'élève à 23% et 12% pour les sols à texture moyenne et lourde or ces derniers, plus hétérogènes que les terrains considérés et plus perméables qu'eux.

Ainsi ces assises sont pratiquement imperméables, cependant de par leur nature argileuse, elles peuvent emmagasiner par imbibition une importante quantité d'eau., s'étend entre la plaine El Kantara et Djebel Mahmel.

Les argiles rouges occupent toute la rive droite de l'oued Abdi et Biskra.

### **I.5.2. Les formations à perméabilité moyenne**

Ces formations sont formées de calcaires du cénomanien supérieur et les formations dolomitiques, ainsi que les marnes du miocène. Elles apparaient approximer de dechra Tilatou

(extrémité Nord du Djebel Metlili), la vallée de l'oued Fedhala, sa puissance de 200 à 400m au Aurès, Maafa et Kef Ed Dersa.

Il s'agit des calcaires biodétritiques et sublithographiques du crétacé, ou des calcaires d'algues du miocène, ou encore de la dolomie grenue, ces roches sont très compactes ; la formation dolomitique retenue cependant de rares poches de minéralisation ferrugineuse plus au moins caverneuse, seules susceptibles d'accroître localement sa perméabilité.

Ainsi du point de vue purement lithologique, les assises calcaires et dolomitiques sont donc très peu perméables.

### **I.5.3. Les formations à forte perméabilité**

Ces niveaux se rencontrent dans la formation marno-calcaire du turonien, dans la formation détritique inférieur et l'assise du miocène, ainsi que dans le quaternaire.

Par ordre de perméabilité croissante, ces terrains se classent de la manière suivante :

- Les marno-calcaires indurés et souvent biodétritiques du turonien et les marno-calcaires gréseux de l'assise de miocène.

Ces terrains affleurent au nord du barrage fontaine des gazelles, Ain Touta et le Nord des tamarins, ainsi que les pieds des montagnes ; leurs puissances peuvent atteindre 400m.

- Les conglomérates et les brèches du miocène marin, dont les éléments généralement très grossiers sont soudés entre eux par un ciment calcaire biodétritique fin, laissant subsister autour d'eux des rives importants ; ces formations occupent le Nord d'El Kantara, le Nord de Djebel El Mahmel .

- Le gré calcaireux très vacuolaire, qui correspondent aux marno-calcaires miocène et les divers recouvrements quaternaires, très peu consolidés formés de débris calcaires ou dolomitiques à taille variable, parfois arrondis, de limon sableux et caillouteux verts.

Ces divers terrains possédant une porosité relativement importante, peuvent donc permettre l'infiltration des précipitations et en fonction de leur épandage, le drainage des eaux vers les zones basses. Cette catégorie occupe 28% de la surface totale du bassin soit 780km<sup>2</sup>.

**Tableau (I -1) :Caractéristiques des matériaux bassin versant.**

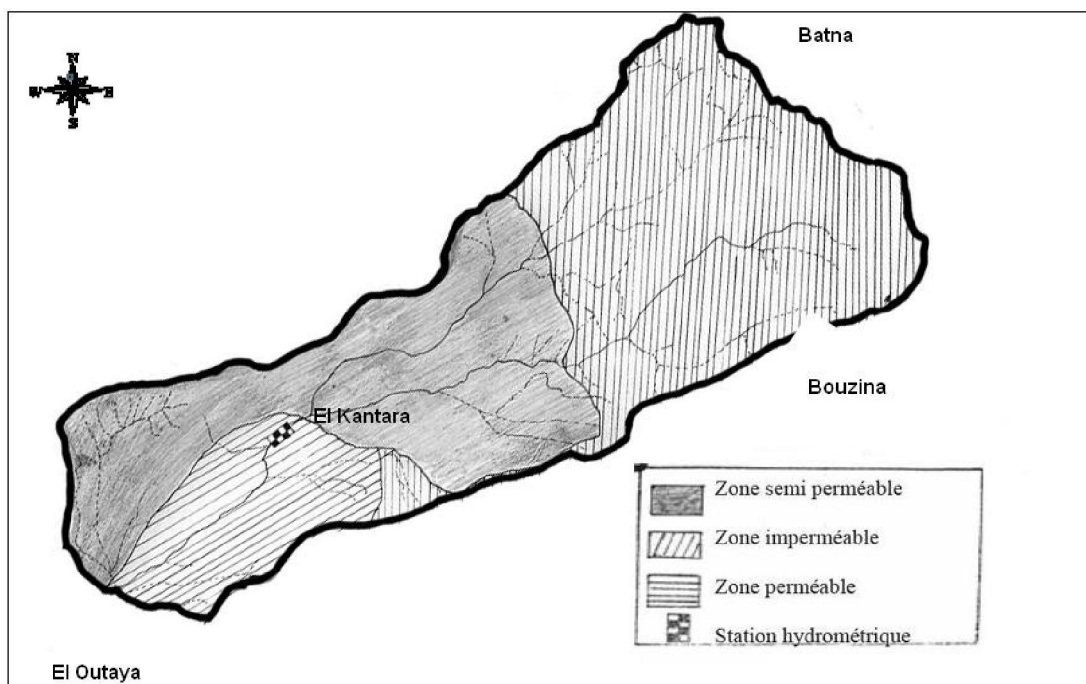
<b>Formations</b>	<b>Résistance à matériaux</b>	<b>Perméabilité</b>
<b>Marne</b>	Non résistant	Perméabilité faible
<b>Calcaire et marne</b>	Résistant	Semi-perméable
<b>Grès</b>	Très résistant	Semi-perméable
<b>Argile et grès</b>	Très résistant	impermeable
<b>Marne et grès</b>	Résistant	perméable

<b>Eboulis et pentes</b>	Résistance moyenne	perméable
<b>Alluvions quaternaires</b>	Résistance moyenne	perméable

En peut considérer le bassin de l'Oued El Hai comme un bassin perméable. En peut choisie le paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin ( $K = 350$ ), voir le **tableau**

**Tableau (I -2) : Degré de perméabilité**

<b>k</b>	<b>DEGRÉ DE PERMÉABILITÉ</b>
<b>8.5</b>	Élevée
<b>75</b>	Moyenne
<b>350</b>	<b>Moyenne faible</b>
<b>1400</b>	Faible
<b>3200</b>	Imperméable



**SOURCE** : carte topographiques à l'échelle 1/200.000

**Figure (I.6)** :carte de perméabilité du bassin versant de l'oued El-Hai.

## **I.6. Le couvert végétal**

D'une manière générale la couverture végétale conditionne et influence la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant.

L'intérêt de cette couverture végétale est double : elle permet d'une part un amortissement notable des crues, leur étalement dans le temps, d'autre part elle augmente l'infiltration et limite le transport solide.

Nous ne prétendons pas à faire une étude de la végétation, ce n'est pas le but de notre recherche, mais nous essayons de donner quelques éléments descriptifs sur les principaux types de la couverture végétale et surtout sur l'état de dégradation de cette couverture.

Mais avant de parler de tout ça, il sera utile de parler du rôle de la végétation sur l'écoulement.

### **I.6.1. Rôle du couvert végétal**

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration ; cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense.

Enfin, elle donne de l'ombre, ce qui conserve l'humidité et l'activité biologique nécessaire à l'équilibre du sol, l'infiltration en profondeur est facilitée par les fissurations préparées au sein du sol les eaux qui ruissellent rencontrent des obstacles, qui les obligent à ralentir leurs vitesses.

### **I.6.2. Méthodes d'approches et classification de la végétation**

Plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture par ordre de densité de J, Tricart est plus apte à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement à notre contexte.

Nous reprendrons les trois grandes catégories de type de couverture végétale distinguées :

- Les surfaces bien protégées : Ce sont les surfaces qui bénéficient de couverture végétale plus ou moins dense, permanente et plus spécialement les forêts, ces dernières protègent contre l'érosion et la concentration rapide des eaux.
- Les surfaces incomplètement protégées : Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence et les surfaces saisonnièrement protégées, dont les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondantes.

Il s'agit généralement des terres de culture destinées soit pour la céréaliculture, qui occupe densément le sol pendant une période de l'année et de l'arboriculture qui laisse le sol nu en

permanence entre les arbres. Ainsi la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

- Les surfaces mal protégées ou nues : Elles incluent les terrains dénudés, les terrains de parcours taillis et broussailles à faible densité de recouvrement, où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisées, surtout dans les terrains dénudés imperméables et sur les terrains de parcours fortement pâturés.

### **I.6.3. Approche cartographique**

Le travail cartographique est basé directement sur le plan de l'environnement forêts (plan établi par la conservation des forêts de la wilaya de Batna et Biskra en 2001), ainsi que le plan de mobilisation agricole et forestière au 1/50.000.

Ces plans nous permettent de distinguer dans le secteur correspondant, la répartition des différents types de végétations indiqués précédemment.

Le paysage végétal du bassin de l'oued El Hai a été largement dégradé et défriché en montagne, le taux de boisement est estimé à 27%. L'effet dévastateur dû aux conséquences de la guerre d'indépendance est à signaler ; les belles forêts sont localisées sur le versant Nord-Est entre 1400 et 1600 mètres également les montagnes des Aurès, les monts de Bellezma, la région de Manaa et la partie Ouest de Bouzina. Ces forêts sont composées de cèdre, chêne vert et pin d'alpe, ces dernières (chêne vert et pin d'alpe) se trouvent dans un état de dégradation avancé, elles occupent le versant Sud de Djebel El Mahmel, Asker et Djebel Matlili.

Par ailleurs, le couvert forestier assure une protection optimale contre l'érosion hydrique et les inondations.

Les prairies qui sont classées avec la couverture forestière, du fait de leur rôle protecteur du sol en permanence, suivent les vallées alluviales de Bouzina-Menaa.

Les surfaces occupées par des plantes pendant seulement une période de l'année (couverture végétale saisonnière) et le jardinage des oasis assurent une protection faible du sol contre la remontée rapide des crues, la céréaliculture occupe la partie Est de, Bouzina, Beni Fedhala et Maafa.

Les terrains dénudés occupent les piedmonts, les vallons et les massifs montagneux, où on trouve aussi des formations rocheuses, la disparition des forêts a laissé place aux terrains nus relativement importants, qui n'assurent aucune protection du sol bien au contraire; c'est un terrain favorable aux inondations.

-En conclusion, La majorité des terres du bassin de l'oued El Hai est considérées comme mal protégées ou nues, car ces terres sont couvertes de steppes et de broussailles. Ces formations végétatives se trouvent dans un état de dégradation très avancé, qui se traduit par des taux de recouvrement très faibles, on trouve ce type de végétation surtout dans le nord de la plaine d'El Outaya, où la végétation devient rare, laisse place à des vastes nappes sableuses qui n'offrent plus d'obstacle ou frein à la remontée des eaux et les crues désastreuses se produisent, se sont des terrains imperméables favorables aux transports solides et à la coulée des boues.

-Les surfaces bien protégées sont celles représentées par une couverture forestière (végétation dense), elles constituent une excellente protection pour le sol, qui se trouve fixé par les racines des arbres et des végétaux. C'est un obstacle naturel à l'écoulement, elles en freinent le ruissellement et favorisent l'infiltration vue leur très fortes perméabilités ; ce qui protège le sol contre les phénomènes naturels : l'érosion, les inondations, l'envasement des barrages et des retenues,... etc.

Malheureusement, cette barrière naturelle ne représente qu'à 27% du bassin de l'oued El Hai et se trouve généralement dans un état très dégradé, elle occupe les reliefs de Djebel Mahmel, Metlili et Asker.

-En fin, les surfaces incomplètement et moyennement protégées sont occupées par les céréales et l'arboriculture, elles sont semi-perméables.

Les pratiques agricoles intensives diminuent la capacité du terrain à retenir l'eau et augmentent le ruissellement plus ou moins violent et exercent une érosion plus ou moins importante.

**Tableau (I -) : Répartition en % des types de végétation et d'occupation du sol.**

Surfaces bien protégées		Surfaces incomplètement protégées	Surfaces mal protégées ou nues
<b>Forêts et Maquis</b>	Prairies naturelles	Terres labourées (céréales, cultures et maraîchères,...)	Terrains dénudés, steppes d'alfas et broussailles.
<b>27,07</b>	0,098	5,882	66,95

*Source : statistiques agricoles 2001.*

D'après ces statistiques, les surfaces dénudées (nues) représentent la part majoritaire dans le bassin, dont la proportion est d'environ 67% de la surface totale du bassin les terrains boisés occupent une surface importante (27,07%), quant aux terrains occupés par les céréales



## **Conclusion:**

La majorité des formations lithologiques du bassin ont de par leur structure physique, une perméabilité assez faible. Les réserves en eaux souterraines sont liées essentiellement aux nappes superficielles des formations plioquaternaires, (les formations marneuses) et aux phénomènes karstiques des massifs calcaires.

D'une façon générale, il est possible d'en tirer que les formations imperméables occupent la grande partie du bassin, pour arriver finalement à dire que le phénomène d'érosion apparaît nettement ici sans doute.

Au total, les formations végétales assurent une protection médiocre au sol, les plus présentées dans le bassin de l'oued El Hai, dont les caractères dégradés ou discontinués sont les steppes d'alfas, qui n'offrent aucune protection au sol. Les formations végétales qui protègent le sol seulement une période de l'année, on les trouve plus pendant les mois des crues (septembre, octobre), donc si les eaux surviennent sous formes des averses brusques, elles ne peuvent être absorbées, ces averses se transforment en une érosion excessive.



***Chapitre II***  
***Etude hydrologique***

## II-1 Introduction

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par : Leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices des crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques : la température l'évaporation l'évapotranspiration, les vents et l'humidité aussi ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

L'étude climatique exige un réseau de postes assez important couvrant toute la région d'étude avec des observations qualifiées. Malheureusement le réseau national n'est pas satisfaisant et montre des interruptions dans les séries d'observations souvent en relation avec des événements historiques de l'Algérie, ces anomalies peuvent être dépassées grâce aux méthodes d'analyse statistiques.

L'oued El Hai traverse deux régions nettement distinctes du point de vue orographique et hydrographique :

- Les Aurès.
- La plaine saharienne.

## II -2-La température

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier.

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer les déficits d'écoulement des bassins

Le terrain d'étude dispose des données de deux stations au voisinage du bassin, mais aucune données en son sein : la station d'El Kantara , avec une série homogène pour une période de 22 ans (1977-1998) et la station de Batna au Nord du bassin, avec une série homogène, pour une période de 25 ans (1973-1998) (Tableau II -1 et Tableau II -2.)

**Tableau (II-1) :** les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Batna (1973-1998).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Auo
T (C°)	20,57	15,62	10,32	6,69	5,66	7,18	9,40	12,65	17,22	22,46	26,35	26.00

Source : A.N.R.H.Batna

**Tableau (II-2) :** les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station d'El Kantara (1977-1998).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
<b>T (C°)</b>	24,5	18,7	12,7	7,5	7,45	9,45	12,9	16,2	20,5	25,7	28,7	28,1

On observe une saison chaude de cinq mois. Elle commence la fin du mai et dure jusqu'à la fin du septembre, lesquelles les températures moyennes sont supérieure a la moyenne annuel 14c° pour la station de Batna et 17.7 c° de la station d'El Kantara.

### II.3. Les vents

**Tableau (II-3) :** Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s) à la station de Batna (1975-1984).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moy
<b>Vmoy mensuelle Batna</b>	3,1	3,5	3,5	4,5	4,2	4,1	4,0	4,0	4,0	3,8	4.2	3,8	3.9

**Tableau (II-4) :** moyenne mensuelle des vents (m/s) à la station de Biskra (1990-2000).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moy
<b>Vmoy mensuelle Biskra</b>	5,02	5,06	5,10	5,14	4,76	5,77	5,88	5,98	5,61	5,31	4,85	4,33	5.24

Les vents sont caractérisés par leur vitesse, leurs direction et leurs intensité il exerce une action destructrice ; augment l'évapotranspiration et les phonèmes érosifs.

### II.4. L'évaporation

**Tableau (II-5) :** Evaporation moyenne mensuelle (mm) à la station de Batna (1975-1984).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
<b>Evp moy mensuelle Batna</b>	364	229,4	189,0	179,8	189,1	168	223,2	237,0	272,8	318,0	350,3	322,4	2943,0

**Tableau (II-6) :** Evaporation moyenne mensuelle (mm) à la station de Biskra (1990-2000).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
<b>Evp moy mensuelle Biskra</b>	272	263	228	226	220	248	266	294	324	336	368	341	282,17

## II.5. Etude de la pluviométrie

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs [P.Seltzer (1913-1938) H.Gaussen et Paquin (1913-1963)]. La plus part des stations connues des périodes d'arrêt pendant la guerre d'Algérie d'autres ont subit des modifications après 1962.

Un bon nombre de stations ont été installées dans les années (1968-1970), les années de ces stations sont très utiles pour l'établissement des séries hydropluviométriques, qui vont être traitées ultérieurement.

### II-5.1 Le réseau pluviométrique et les séries d'observation

Dans notre étude le bassin versant de l'oued El Hai ; quatre stations pluviométriques ont été retenues, une d'entre elle est située à l'intérieur du bassin, les trois autres sont implantées aux alentours de ceci, elles sont réparties d'une manière homogène, plus particulièrement dans la partie supérieure du bassin où le caractère montagneux est dominant et plus arrosé (voir Tableau IV -6).

La station d'El Kantara et vue l'importance de son site (moyenne du bassin versant), il a été jugé utile de la présenter dans le cadre de cette étude, effectivement lors de l'épisode pluvieuse.

Le site d'El Kantara a été le noyau de l'averse et cette méthodologie, qui consiste à tenir compte des postes hors bassin l'oued El Hai offre une meilleure approche pour mieux cerner ces phénomènes naturels.

**Tableau (II-7) :** Coordonnées des stations pluvio-hydrométriques et leurs codes.

Station	Code ANRH	Lambert		Altitudes (m)
		X	Y	
Bouzina	06.14.16	810	225	1350
Batna	07.03.16	814,70	257,35	1040
Mena	06.13.04	801,25	213.25	983
El kantara	06.12.01	774,7	217,4	513

### II.5.2 Précipitation moyenne annuelle sur le bassin versant

#### a) Moyenne arithmétique

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations relevées dans le même interval de temps aux diverses stations du bassin. Cette méthode peut être adoptée temps que l'écarte entre les différentes valeurs n'est pas assez important .Elle s'obtient à partir de la formule suivante:

$$P_m = \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

$P_m$  : pluie moyenne annuelle (mm).

$P_i$  : pluie moyenne annuelle de chaque station (mm).

$n$  : nombre de station d'observation ;  $n=04$ .

**Tableau (II-8) :** Précipitation moyenne annuelle des striations pluviométriques du bassin versant Oued El Hai

Station	El kantara	Batna	menaa	Bouzina
<b>Pi (mm)</b>	230	359	245	267
<b>Nombre d'année d'observation</b>	37	46	33	33

Pour le bassin versant de l'Oued El Hai la méthode de moyenne arithmétique a donné une pluie moyenne interannuelle de  **$P_m= 275.25$  mm.**

#### b) Méthode de Thiessen

C'est l'une des méthodes les plus rapides et les plus utilisées, elle consiste à tracer les médiatrices des triangles formés par les différents pluviographes ou pluviomètres. Les surfaces d'influence de ces derniers sont mesurées à l'aide du planimètre (en utilisant le logiciel AUTOCAD 2004). Pour notre bassin, la pluviométrie moyenne est donnée par :

$$P_m = \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * S_i}{S}$$

$P_m$  : pluie moyenne annuelle ou interannuelle du bassin [mm] ;

$P_i$  : pluie moyenne annuelle de la station [mm] ;

$S_i$  : surface élémentaire d'égale précipitation [km<sup>2</sup>] ;

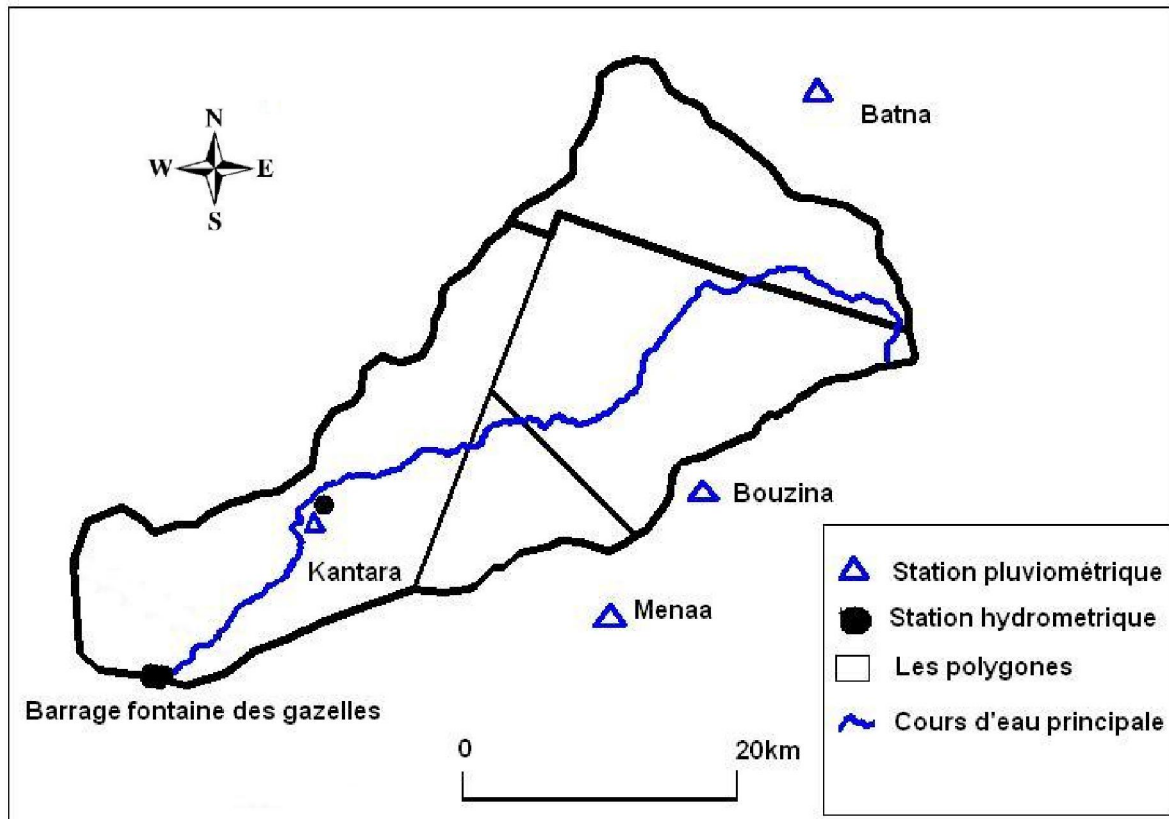
$S$  : surface globale du bassin [Km<sup>2</sup>].

Les résultats sont répartis dans le tableau (IV-8)

**Tableau (II-9) :** Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne interannuelle

station	précipitation $P_i$ (mm)	surface propre à chaque station $S_i$ (km <sup>2</sup> )	$P_i \cdot S_i$
El kantara	230	423,83	97480,9
Batna	359	233,13	83693,67
menaa	245	107,9	26435,5
Bouzina	266	357,14	94999,24
	Total	1122	302609,31

La lame d'eau moyenne annuelle obtenue par cette méthode est égale à **269.86 mm**



**Figure (II-1) :** Découpage de la surface du B.V de l'Oued El Hai selon la méthode de Thiessen

**c) Méthode des isohyètes**

L'étude plus au moins précise des variations spatiales des précipitations annuelles moyennes passe par l'élaboration d'une carte d'isohyète, avec la série corrigée et homogénéisée (1971-2004).

On appelle isohyète les lignes d'égale hauteur de précipitation, l'utilisation des isohyètes est le procédé le plus rationnel et le plus précis, il tient compte de la réalité géographique et climatique de chaque région.

Si l'on dispose d'une carte de précipitations on l'utilise directement, sinon il faut tracer le réseau des isohyètes sur la carte du bassin (voir Figure(II-2)).

Pour passer à la pluie moyenne (P) tombée sur la surface totale du bassin (St), on planimètre chacune des surfaces élémentaires (Si) délimitées par les isohyètes (Pi) et (Pi+1). Comme le montre le tableau n°17. On calcul ( P ) précipitée sur la surface du bassin en prenant la précipitation moyenne entre les deux isohyètes successives, par la surface comprise entre ces isohyètes, en totalisant ces produits et en divisant sur la surface totale du bassin versant.

$$P_m = \bar{P} = \sum_{i=1}^n \frac{p_i * S_i}{S}$$

Avec : P la pluie moyenne tombée sur le bassin (mm).

Pi : précipitation moyenne entre les isohyètes successives (mm).

Si : surface comprise entre deux isohyètes successives (km2).

St : surface totale du bassin versant (km2).

**Tableau (II-10) : Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin par la méthode des isohyètes.**

Isohyètes des hauteurs (mm) tueurs (mm)	Zone d'influence Si(Km <sup>2</sup> ) ce Si(Km <sup>2</sup> )	Pi	Si*Pi
<b>&gt;450</b>	16,07	460	7392,2
<b>450-400</b>	110,01	425	46754,25
<b>400-350</b>	207,28	375	77730
<b>350-300</b>	156,21	325	50768,25
<b>300-250</b>	270,48	275	74382
<b>250-200</b>	189,78	252	47824,56
<b>&lt;200</b>	172,17	277	47691,09

Pour le bassin de l'oued El Hai ; **P =314,20mm.**

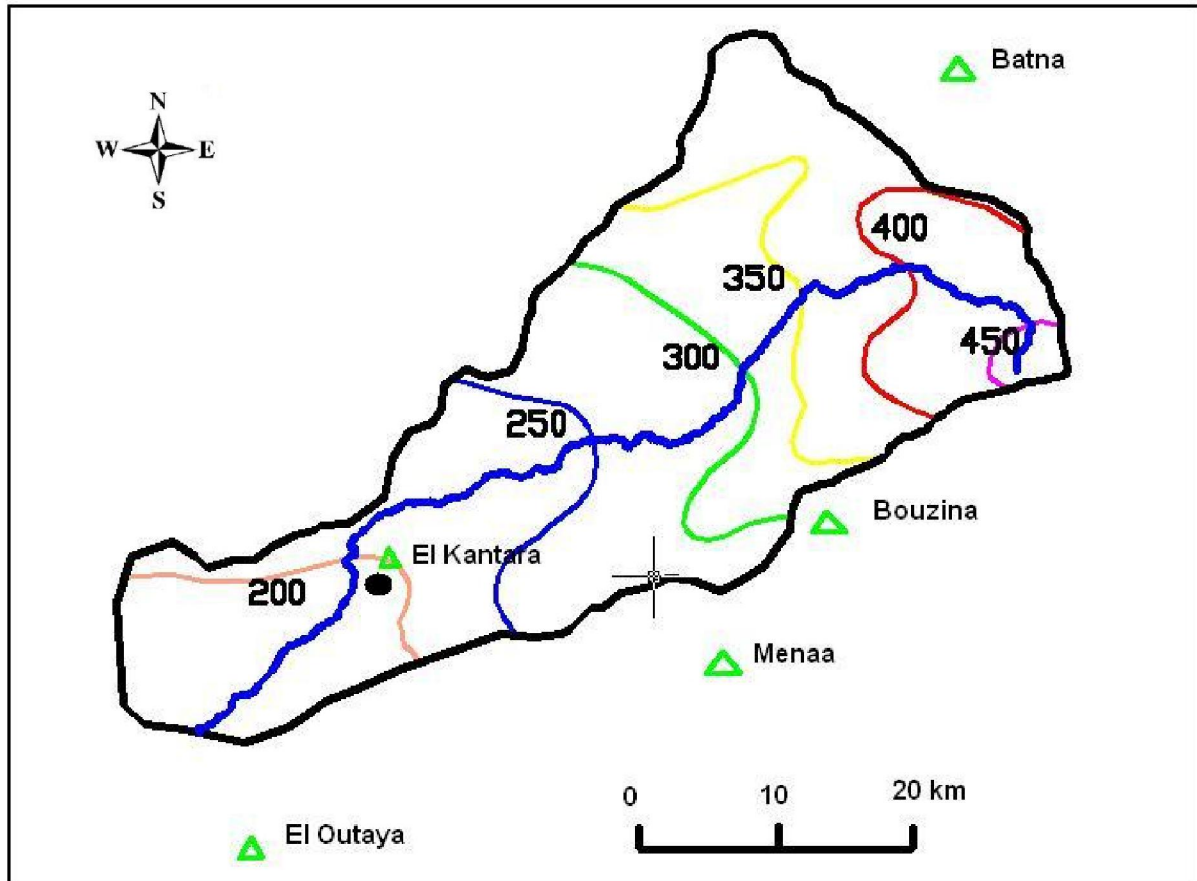


Figure (II-2) :La carte des isohyètes

II.5.3. Etude statistique des précipitations moyennes annuelles

Tableau (II-11) : Moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique (1971-2004).

STATION		ANNEE
Batna	P <sub>MOYENNE</sub>	359
	ECART TYPE	102,54
	CV	0,30
Menaâ	P <sub>MOYENNE</sub>	245
	ECART TYPE	97
	CV	0.40
Bouzina	P <sub>MOYENNE</sub>	266.8
	ECART TYPE	80,73
	CV	0.30

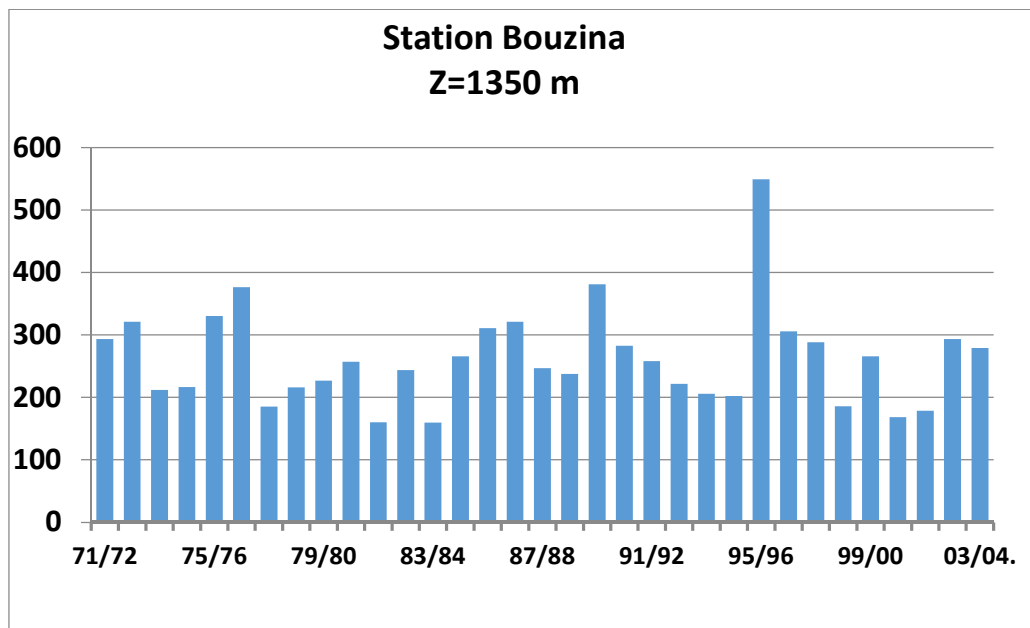


Figure (II-3) : Evolution annuelle des précipitations de la station de Bouzina (1971/2004).

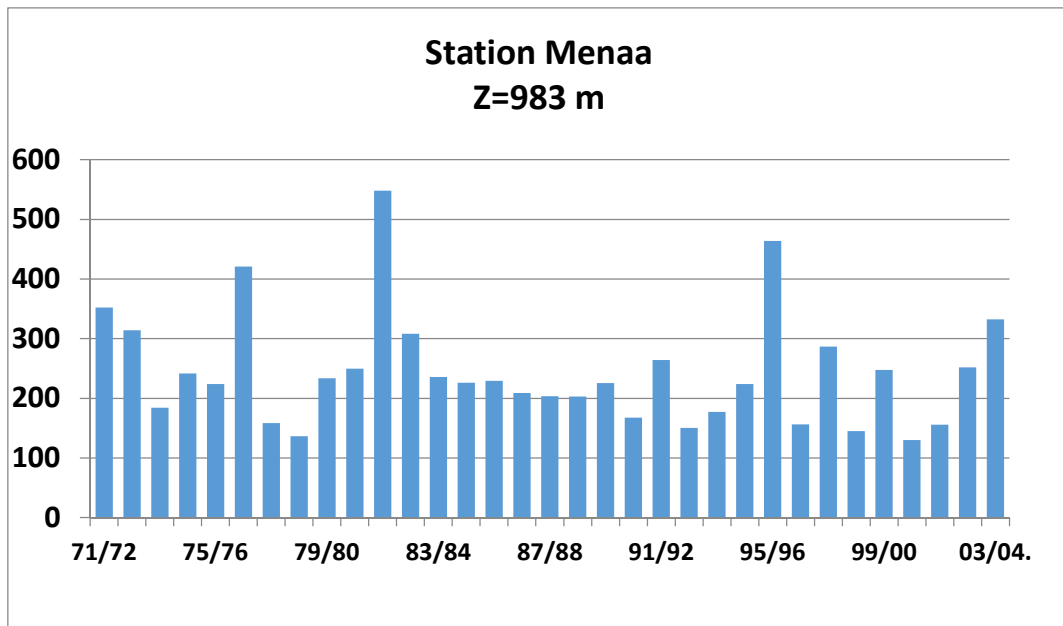


Figure (II-4) : Evolution annuelle des précipitations de la station de Menaâ (1971/2004).

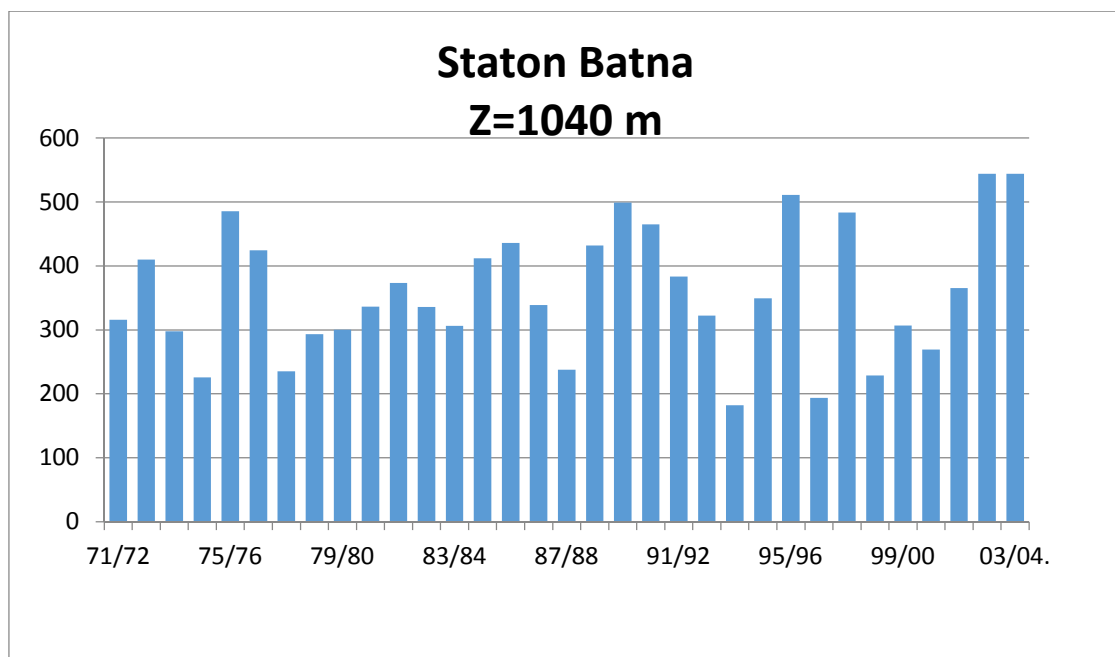


Figure (II-5) : Evolution annuelle des précipitations de la station de Batna (1971/2004).

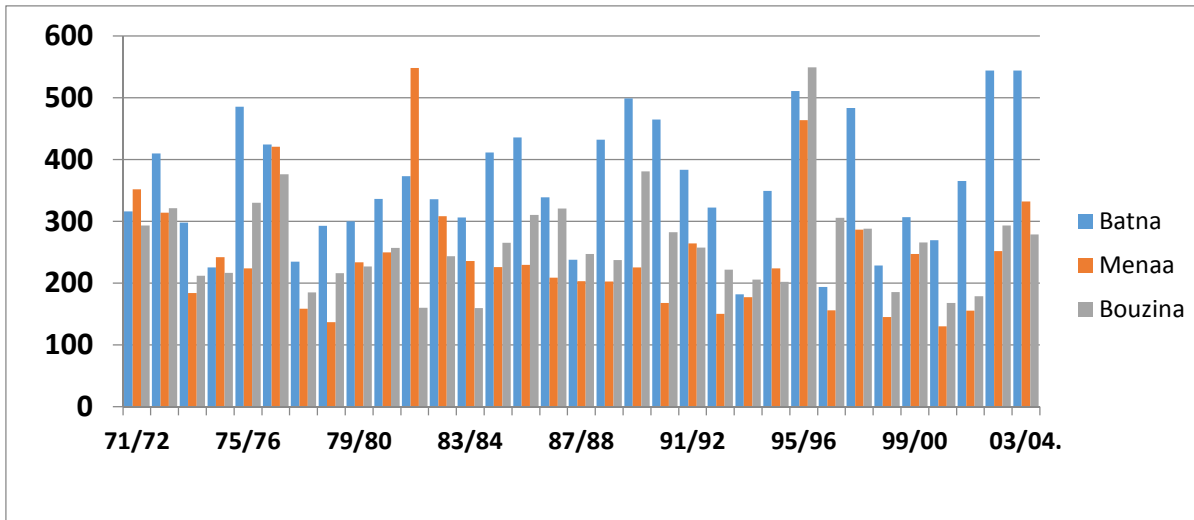


Figure (II-6) : Evolution annuelle des précipitations des station de Batna, Menaâ et Bouzina (1971/2004).

Tableau (II-12) : Variation mensuelle de la distribution des précipitations.

Mois		Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Evp moy mensuelle Batna	$\bar{P}$	29,87	20,7	28,1	29,5	19,7	19,6	30,9	21,9	21,8	12,5	1,44	11,3
	$\sigma$	26,96	21,3	26,4	69,3	23,3	17,7	27,5	19,1	29,4	16,0	6,13	18,4
	$C_v$	0,902	1,03	0,94	2,35	1,19	0,903	0,89	0,874	1,35	1,28	4,27	1,62
Bouzina	$\bar{P}$	37,7	41,6	25,5	27,3	17,6	27,7	28,1	29,6	26,5	15,1	3,27	11,1
	$\sigma$	26,9	64,6	20,8	17,1	15,4	30,3	23,9	19,2	28,2	15,9	6,09	14,8
	$C_v$	0,715	1,55	0,814	0,625	0,873	1,09	0,853	0,649	1,06	1,05	1,86	1,34
Batna	$\bar{P}$	47,39	26,57	36,21	33,69	32,21	29,29	36,91	35,016	36,24	21,1	8,63	15,71
	$\sigma$	34,00	21,89	30,29	27,58	28,41	21,28	26,49	24,62	27,13	21,3	13,91	14,64
	$C_v$	0,718	0,82	0,84	0,82	0,88	0,73	0,72	0,703	0,748	1,01	1,61	0,93

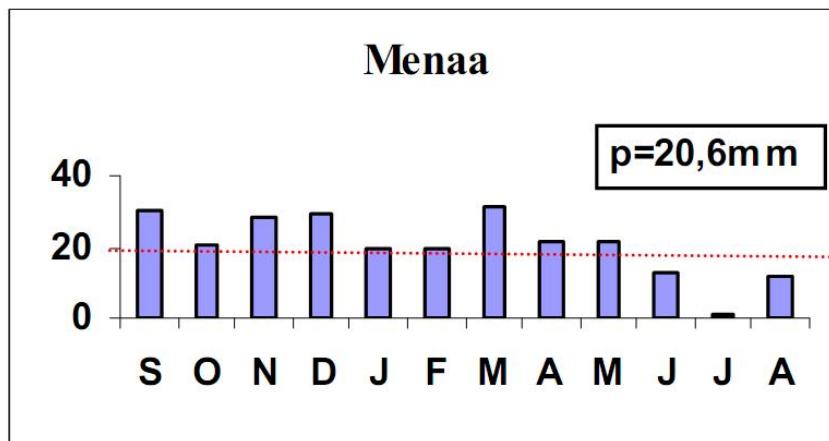


Figure (II-7) : Variation mensuelle de la distribution des précipitations de la station Menaâ.

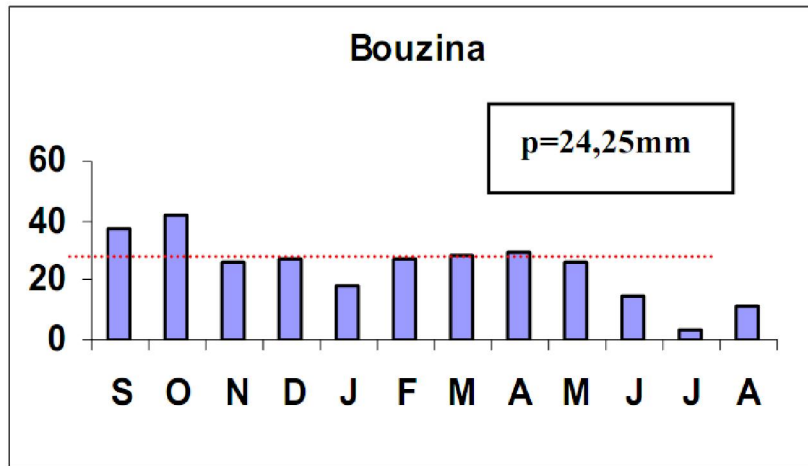


Figure (II-8) : Variation mensuelle de la distribution des précipitations de la station Bouzina.

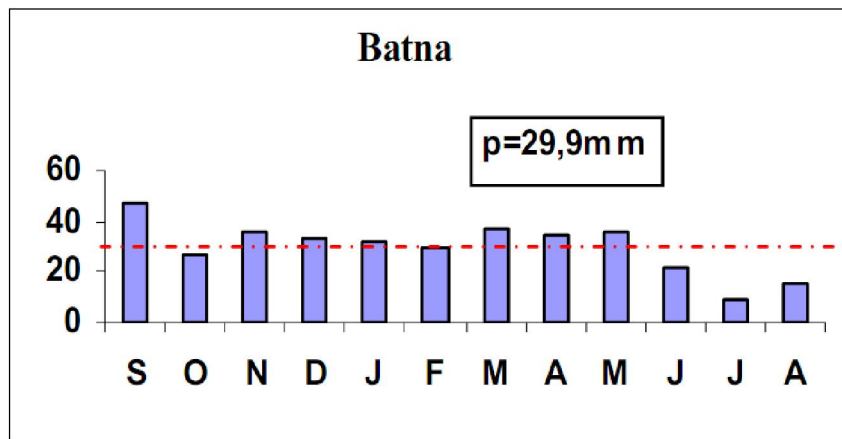


Figure (II-9) : Variation mensuelle de la distribution des précipitations de la station Batna.

## II.6. Apports liquide

$A = Q \cdot N$ . A : apport annuel ( $\text{hm}^3$ ), Ql : débit liquide moyen annuel ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) et N : nombre de seconde dans l'année (31536000s).

D'où :

$$Le = (A / S) \cdot 10^3$$

Tableau (II-13) : Variation interannuelle des apports liquide, débit liquide et lame d'eau.

ANNEES	Al	Ql	Le
	( $\text{Hm}^3$ )	( $\text{m}^3/\text{s}$ )	(mm)
1968-1969	22,49	0,71	20,04
1969-1970	72,39	2,30	64,52
1970-1971	0,49	0,02	0,44
1971-1972	31,99	1,01	28,51
1972-1973	10,32	0,33	9,20

## Chapitre II : Etude hydrologique

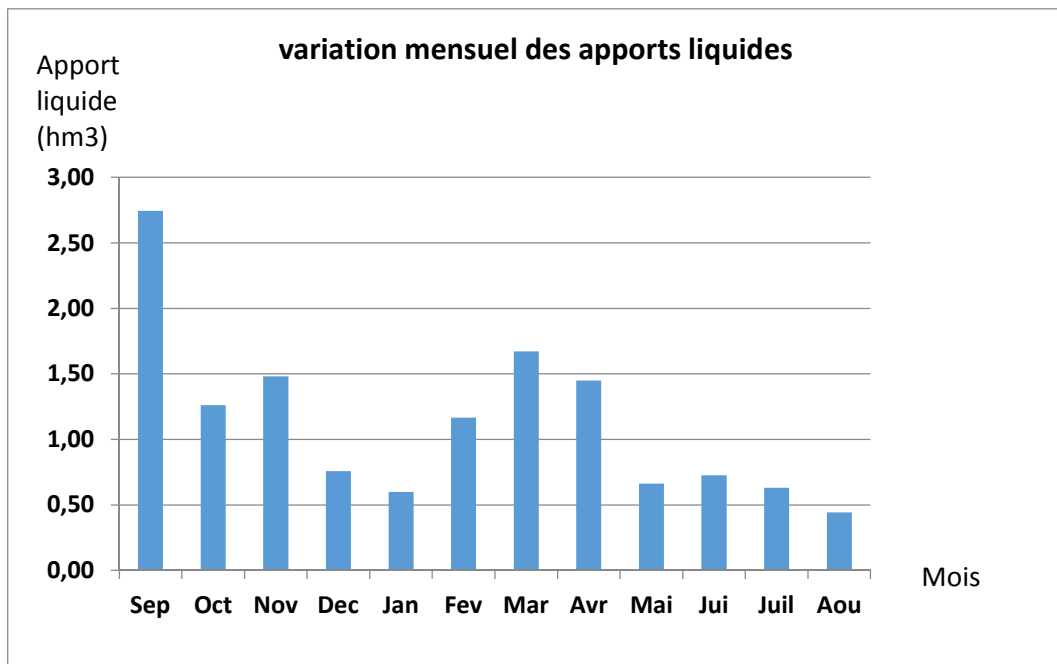
1973-1974	47,98	1,52	42,76
1974-1975	0,99	0,03	0,88
1975-1976	-----	-----	-----
1976-1977	0,04	0,00	0,04
1977-1978	3,07	0,10	2,74
1978-1979	11,21	0,36	9,99
1979-1980	4,97	0,16	4,43
1980-1981	0,25	0,01	0,22
1981-1982	82,62	2,62	73,64
1982-1983	1,56	0,05	1,39
1983-1984	3,32	0,11	2,96
1984-1985	10,11	0,32	9,01
1985-1986	12,7	0,40	11,32
1986-1987	8,29	0,26	7,39
1987-1988	10,23	0,32	9,12
1988-1989	3,08	0,10	2,75
1989-1990	3,29	0,10	2,93
1990-1991	-----	-----	-----
1991-1992	1,1	0,03	0,98
1992-1993	0,03	0,00	1
moyenne	13,60	0,43	12,12

D'après ce tableau on remarque que l'apport liquide se varie d'une année à l'autre avec un écart considérable dont en quelques années l'apport liquide est fort tels que l'an 1969-1970 et 1981-1982 en valant 72,39 et 82,62 respectivement. Par contre dans quelques années on a eu des apports si faibles tels que les années de 1974-1975, 1976-1977 et 1992-1993 en valant 0.99, 0.04 et 0.03 respectivement. Des lacunes sont enregistrées en 1975-1976 et 1990-1991.

**Tableau (II-14) :** Variation mensuelle des apports liquides, débits liquides et lame d'eau.

Mois	Ql mensuel (m <sup>3</sup> /s)	Al mensuel (hm <sup>3</sup> )	Al saisonnier (hm <sup>3</sup> )	A (%)	Le (mm)
Sep	0.87	2.74	5,49	64,87	2.45
Oct	0.40	1.26			1.12
Nov	0.47	1.48			1.32
Dec	0.24	0.76	2,52	4,67	0.67
Jan	0.19	0.60			0.35
Fev	0.37	1.17			1.04
Mar	0.53	1.67	3,78	16,92	1.49
Avr	0.46	1.45			1.29
Mai	0.21	0.66			0.59
Jui	0.23	0.73	1,80	13,54	0.65
Juil	0.20	0.63			0.56
Aou	0.14	0.44			0.39
	Total	13.60	13.60	100	12.11

Comme vous constatez, la majorité des apports liquides est enregistrée en saison d'automne plus de 64 % notamment le mois de septembre.



**Figure (II-10) :** Variation mensuelle des apports liquides.

## II.7. Les formules empiriques pour la détermination des apports liquides

### II.7.1. La formule de SOGREAH

Le traitement des données de cette région montre que la relation pluie ( $P_a$ ) - lame écoulé (E) à l'échelle annuelle peut se formuler sous la forme suivante:

$$\begin{aligned} \text{Le} &= 720 \cdot (\bar{P} - P_a / 1000)^{1.85} \quad \text{si} \quad P_a > P_0 + 68 \\ \text{Le} &= 5 \text{ mm} \quad \quad \quad \text{si} \quad P_a < P_0 + 68 \end{aligned}$$

$P_a$  : pluie moyenne d'un bassin semi-aride à subhumide (150mm).

A.N :

$$\text{Le} = 14,20 \text{ mm}$$

$$A = 15,95 \text{ hm}^3$$

### II.7.2. Formule de COUTAGNE

$$\text{Le} = \bar{P} (0,164 - 0,00145 \cdot S^{1/2})$$

A.N :

$$\text{Le} = 31.15 \text{ mm.}$$

$$A = 34.95 \text{ hm}^3.$$

### II.7.3. Formule de SAMI

$$\text{Le} = \bar{P}^2 (293 - 2,2 \cdot S^{1/2})$$

Avec:  $\bar{P}$  (m), S (Km<sup>2</sup>)

A.N:

$$\text{Le} = 15,97 \text{ mm.}$$

$$A = 17,91 \text{ hm}^3.$$

### II.7.4. Formule d'ANRH

Cette formule est donnée directement l'apport moyen d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle et de sa superficie. Elle s'écrit :

$$A = 0.513 \cdot \bar{P}^{2.683} \cdot D_d^{0.5} \cdot S^{0.842}$$

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle [m].

S : Superficie du bassin versant [Km<sup>2</sup>].

$D_d$  : Densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] = 0.511.

A.N :

$$A = 36.60 \text{ hm}^3.$$

$$\text{Le} = 32.62 \text{ mm.}$$

### II.7.5. Formule du MALLET GHAUTHIER

Cette formule est donne la lame d'eau écoulée d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle. Elle s'écrit :

$$L_e = 0,6 \bar{P} (1 - 10^{-0.36P^2})$$

$L_e$  et  $\bar{P}$  en m.

$$\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3}$$

A.N :

$$L_e = 9,48 \text{ mm.}$$

$$A = 10,64 \text{ hm}^3.$$

### II.7.6. Formule dite ALGERIENNE

C'est une formule qui vient de l'Algérie, la lame d'eau écoulée moyenne annuelle est donnée par la relation :

$$L_e = \bar{P} \left( 1 - 10^{-k \cdot \bar{P}_0^2} \right)$$

$L_e$  : lame d'eau écoulée en m.

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle en m.

$S$  : surface du bassin versant en  $\text{km}^2$ .

$K$  : coefficient dépendant de la surface du bassin versant.

$$k = 0,18 - 0,01 \cdot \text{Lg}10 (S)$$

$$k = 0,18 - 0,01 \cdot \text{Lg}10 (1122) = 0.148$$

$$\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3}$$

A.N :

$$L_e = 6.68 \text{ mm.}$$

$$A = 7.5 \text{ hm}^3.$$

### II.7.7. Formule du DERIE I

La formule de DERY I donne directement l'apport moyen d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle et de sa superficie. Elle s'écrit :

$$A = 0,915 \cdot \bar{P}^{2.684} \cdot S^{0.842}$$

$\bar{P}$ : Pluie moyenne annuelle (m).

$S$  : Superficie du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

A.N :

$$A = 10,06 \text{ hm}^3.$$

$$L_e = 8,96 \text{ mm.}$$

### II.7.8. Formule de MEDINGUER

Cette formule est donne la lame d'eau écoulée d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle. Elle s'écrit :

$$L_e = 1.024(\bar{P} - 0.26)^2$$

Le : lame d'eau écoulée en (mm)

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle en m.

A.N :

A=0.0014 hm<sup>3</sup>

Le=0.0012 mm.

**Tableau (II-15) :** La lame d'eau et l'apport liquide utilisant les équations empirique.

Formules	Le (mm)	A (hm <sup>3</sup> )
SOGREAH	14,20	<b>15,95</b>
COUTAGNE	31.15	<b>34.95</b>
SAMI	15,97	<b>17,91</b>
ANRH	32.62	<b>36.60</b>
MALLET GAUTHIER	9,48	<b>10,64</b>
ALGERIENNE	6.68	<b>7.5</b>
DERIE I	8,96	<b>10,06</b>
MEDINGUER	0.0012	<b>0.0014</b>

Pour le bassin versant de Oued El Hai les équations empiriques qui ont les résultats les plus proche du la réalité c'est SOGREAH, MALLET GAUTHIER et SAMI.


## **II.8. Conclusion**

Le bassin versant Oued El Hai est caractérisé par un climat semi-aride à aride vers l'exutoire dont les caractéristiques se manifestent par un hiver froid à frais et un été très chaud et sec.

Le bassin versant de l'oued El-Hai (oued Biskra) est situé entre deux zones climatiques :

L'une situe au Nord avec ses faibles températures et ses fortes précipitations et l'autre situe au Sud, avec ses fortes températures et ses faibles précipitations.

L'irrégularité et la diminution des précipitations s'affirment en allant de plus en plus vers le Sud. L'apport liquide est irrégulier dont il se varie d'un mois à l'autre tel que le mois de septembre qui caractérise par son apport le plus fort dont il provient des crues brusques ce qui va provoquer un transport solide important. Nous avons calculé les apports par l'utilisation des formules empiriques, après la comparaison nous avons constaté trois formules (SOGREAH, MALLET GAUTHIER et SAMI) qui ont permis d'avoir des résultats proches de la réalité.

A red ribbon graphic with a white speech bubble-like shape in the center. The ribbon is folded and has a 3D effect with a shadow.

***Chapitre III***  
***Etude de précipitations***  
***journalières maximales***

## ***Chapitre III : Etude de précipitations journalières maximales***

Les précipitations constituent le facteur essentiel intervenant par leur répartition annuelle et mensuelle, leurs totaux journaliers, et surtout les averses génératrices des crues. Ces différents aspects des précipitations plus ou moins modifiés par l'effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition), et climatiques (températures et évapotranspiration surtout), permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique des bassins.

### **III.1. Introduction :**

Ce chapitre est consacré à l'étude des fortes valeurs de précipitations, il s'agit des précipitations maximales journalières. Pour cela, nous allons procéder au traitement statistiques des données des pluies journalières maximales, en testant les différentes lois d'ajustement fournis par le logiciel Hyfran; à fin de choisir la loi la plus appropriée à la région.

Avant de procéder au traitement statistiques des données disponibles, nous allons donner une présentation des stations utilisées et les définitions des notions de période de retour et d'événement extrême.

### **III.2. Présentations des stations utilisées :**

Huit stations ont été utilisées dans ce travail : station de Biskra, station de Djemoura, station de Thniet El-Abed, station de Bouhmar, station de Batna, station de Rous Ayoun, station de N'gaous et station de Boussaada (Figure III.1) .

Avant de commencer les analyses, nous allons donner les caractéristiques des stations utilisées dans cette étude, résumées dans les tableaux (tableau III.1 et III.2):

**Tableau (III.1):** Liste des stations pluviométriques étudiées

Stations	Code de la station	Longitude	Latitude	L'altitude
<b>Biskra</b>	061406	5,728	34,850	115
<b>Djemoura</b>	061305	5,854	35,081	529
<b>Thniet El-Abed</b>	061303	6,201	35,258	1325
<b>Bouhmar</b>	070408	6,412	35,433	1235
<b>Batna</b>	070316	6,181	35,750	1052
<b>Rous Ayoun</b>	051208	5,912	35,631	963
<b>N'gaous</b>	051306	5,607	35,561	744
<b>Boussaada</b>	051701	4,201	35,331	461

## Chapitre III : Etude de précipitations journalières maximales

**Tableau (III.2):**Caractéristiques des totaux annuels et des précipitations journalières maximales

Stations	Période de l'étude	Moyenne annuelle	PJmax moyenne	b
Biskra	1981-2019	215	42,1	0,20
Djemoura	1970-2010	143	30,8	0,23
Thniet El-Abed	1969-2009	260	38,2	0,30
Bouhmar	1968-2009	318	38,4	0,30
Batna	1981-2019	374	42,2	0,28
Rous Ayoun	1966-1990	243	32,9	0,25
N'gaous	1966-2009	251	37,8	0,25
Boussaada	1983-2018	298	51,0	0,25

\* b extrait de la carte des coefficients climatiques établie par l'ANRH 1981.



**Figure (III.1) :** Situation du bassin versant et les stations pluviométriques

### III.3. Définitions de quelques paramètres :

*A- Période de retour :* Nous définissons la période de retour  $T$ , comme étant l'intervalle de temps moyen entre deux événements, dont l'intensité atteint ou dépasse un certain seuil. Donc sur un intervalle de temps  $T$ , il y a en moyenne un événement d'intensité supérieure ou égale à une certaine valeur.

Un événement de période de retour  $T$  a en moyenne une probabilité  $1/T$  de se produire chaque année.

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 :

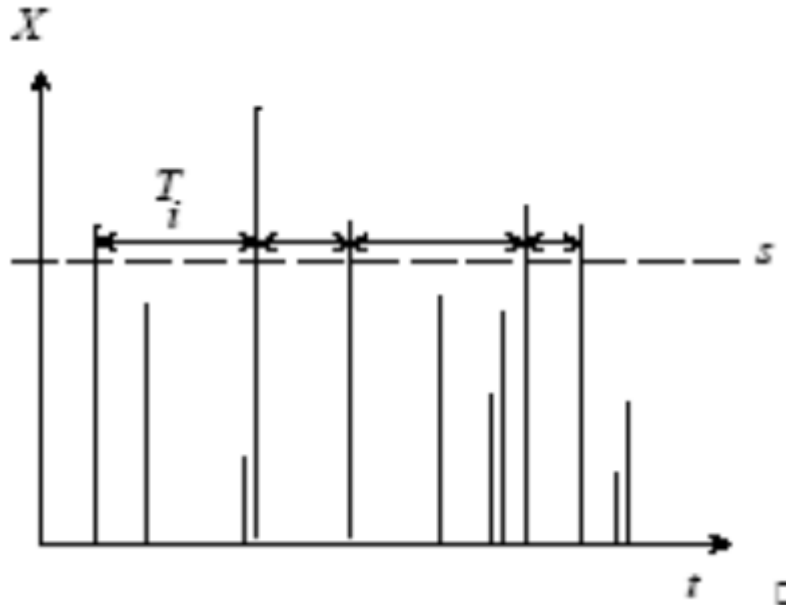
$$T = 1/P = 1/1 - P'$$

Avec :

**T** : Période de retour (années)

**P** : Probabilité au dépassement

**P'**: Probabilité au non dépassement



**Figure (III.2) :**Définition de la notion de période de retour

*B- Evénement extrême* : on appelle extrême un événement dont la probabilité inférieure à 10 %. C'est donc la notion de période de retour qui intervient. Cette notion est subjective.

**™ Présentation du logiciel HYFRAN plus:**

Le logiciel HYFRAN a été développé par l'équipe du Pr. Bernard Bobée "chaire hydrologie statistique (1992-2004)".

Il permet de vérifier les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité, d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données. Un Système d'Aide à la Décision a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevée.

En effet, nous pouvons distinguer trois principales classes :

1. la classe C (distributions à variations régulières) : GEV, Halphen Inverse B (HIB), Log-Pearson (LP3), Gamma Inverse (GI).

2. la classe D (distributions sub-exponentielles) : Halphen type A (HA), Halphen type B (B), Gumbel (EV1), Pearson type (P3), Gamma (G).

3. la classe E (loi exponentielle).

### III.3.1. Utilisation du HYFRAN PLUS :

#### III.3.1.1 saisie des données :

Pour saisir les données et étudier les caractéristiques statistiques de l'échantillon on doit utiliser les onglets suivants :

- ❖ **Description** : pour les différentes informations sur le projet (« titre; nom de la variable; l'unité de la variable ;..... ») ;
- ❖ **Données** : pour entrer les données dans le logiciel ;

**NB : Dans notre cas nous avons copié les données avec des dates différentes et les collées directement dans l'onglet des données.**

- ❖ **Statistiques de base** ;
- ❖ **Testes d'hypothèse** ;
- ❖ **Graphiques** ;

	Observation	Identificateur	Probabilité empirique	Code
1	14.8	1978	0.4479	
2	12	1979	0.1701	
3	14.1	1980	0.4045	
4	20.9	1981	0.6910	
5	45.3	1982	0.9514	
6	13.7	1983	0.3872	
7	11.4	1984	0.1441	
8	19	1985	0.6649	
9	15.8	1986	0.4826	
10	23.6	1987	0.7344	
11	30.6	1988	0.8212	
12	10.1	1989	0.0052	
13	12.5	1990	0.2743	
14	10.9	1991	0.1007	

**Figure (III.3) :**La saisie des données dans le logiciel HYFRAN PLUS

#### III.3.4.2 Teste d'hypothèse :

Avant de procéder à l'ajustement d'un échantillon à l'aide d'une distribution statistique, il est primordial de vérifier si les données sont indépendantes et identiquement distribuées (IID). Dans Hyfran plus, les tests statistiques sont disponibles pour vérifier les hypothèses d'indépendance, de stationnarité, et d'homogénéité.

Pour notre cas nous avons testé les séries de 08 stations pluviométriques pour les deux cas (pluies annuelles et pluies maximales journalières) et nous avons trouvé que ces données sont stationnaires ; homogènes ; et indépendantes .

### III.3.4.3 Analyse fréquentielle

#### III.3.4.3.1 Détermination de la loi d'ajustement la plus adéquate

Pour l'ajustement nous avons utilisé le SAD pour choisir la classe qui représente le mieux la forme de la distribution empirique. Ensuite nous avons choisi la loi d'ajustement la plus adéquate selon une étude comparative ( graphique et analytique).

**Note : pour les séries des précipitations journalières maximales des 08 stations étudiées par L'HYFRAN PLUS nous avons constaté que La loi Log-normale (Galton) est la mieux adéquate. cette loi n'appartient strictement à aucune des classes C et D. Elle a un comportement asymptotique qui se situe à la frontière des classes C et D.**

Nous avons remarqué que le meilleur résultat d'ajustement est trouvé par la loi de Galton, malgré que les autres lois sont acceptées pour quelques sautons.

#### III.3.4.3.2 Tests d'adéquation : Test du $\chi^2$ de Pearson

Parmi tous les tests existants, le test du  $\chi^2$  de K. Pearson est le plus pratique et le plus utilisé bien qu'il ne soit pas très puissant (Laborde, 2000) La procédure consiste à découper l'échantillon de n éléments, en K classes (K>4) de façon à ce que chaque classe contienne théoriquement plus de 5 valeurs ;

Soit  $n_i$  le nombre de valeurs contenu dans la  $i^{\text{ème}}$  classe et  $n'_i$  (>5) le nombre théorique qui devrait s'y trouver ; le  $\chi^2$  est donné en

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$$

Cette variable  $\chi^2$  suit une loi de probabilité dite loi du  $\chi^2$ , à  $\delta$  degrés de liberté avec :

- $\delta = K - p - 1$
- K = nombre de classes ;
- p = nombre de paramètres estimés d'après l'échantillon. Si cette probabilité est supérieure à 0.05,(5%) l'ajustement est satisfaisant. Dans le cas contraire, il y a rejet de la loi

#### Ajustement à la loi Log Normale (loi de GALTON)

Elle résulte de la loi normale mais rendus dissymétrique par le changement de variables, sa fonction de répartition pour des fréquences au non dépassement est la suivante :

$$F(X) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2}} \cdot d\mu$$

La fonction de densité :

$$f(x) = \frac{1}{b(x-c)\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2b^2}(\ln(x-c)-a)^2}$$

Où:

a : Paramètre de position =  $\mu y$ ;

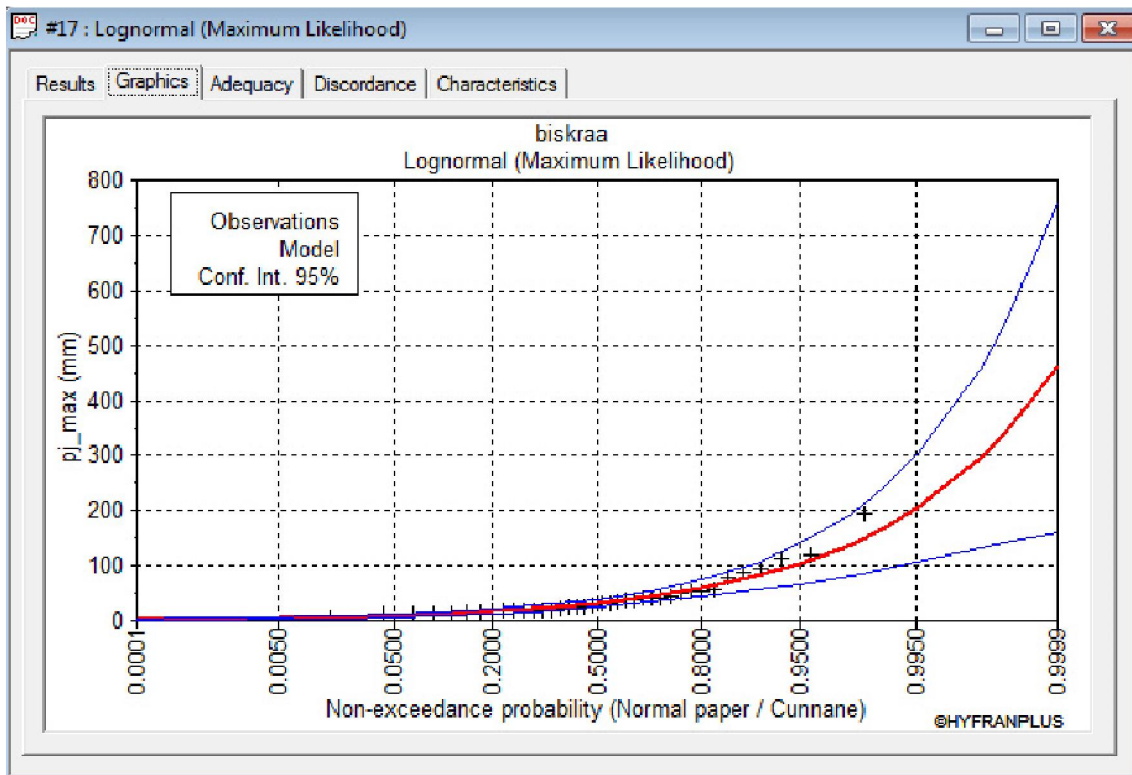
b : paramètre de forme =  $\sigma \square y = \ln(x-c)$  ;

c : borne inférieure de la distribution on prend  $c = 0$ .

L'équation de la droite d'ajustement reportée sur le papier Goussou -logarithmique est donnée par :  $X = \exp(a + b \mu)$ .....

Où :

$\mu$ : Variable normale centrée réduite de la table



**Figure (III.4) :**Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de Biskra

Tableau (III.3): Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normal: Station de Biskra

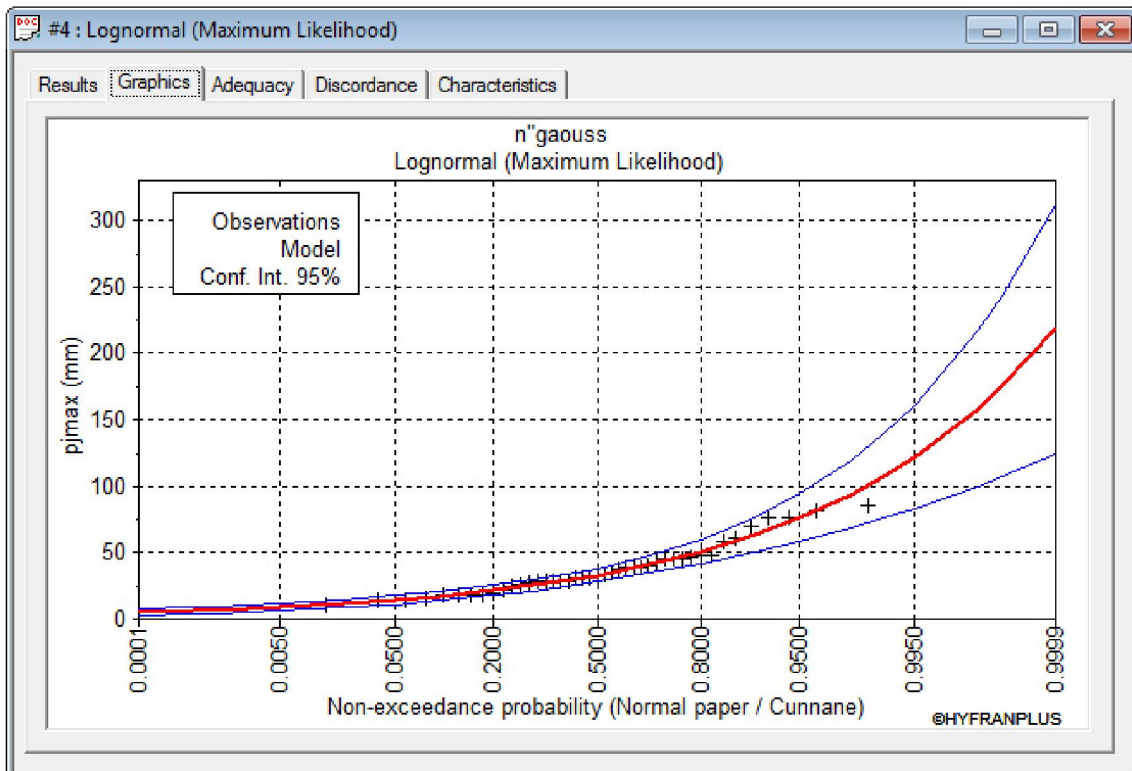
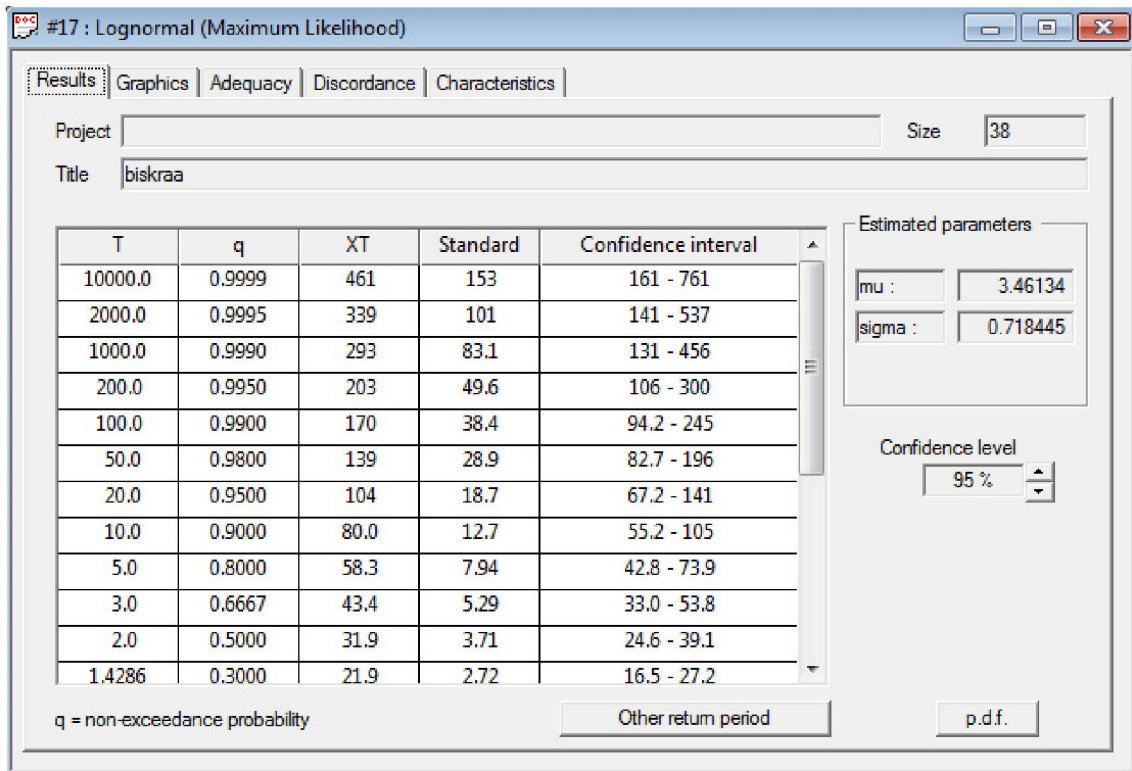


Figure (III.5) : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de N'gaous

Tableau (III.4): Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normal : Station de N'gaous

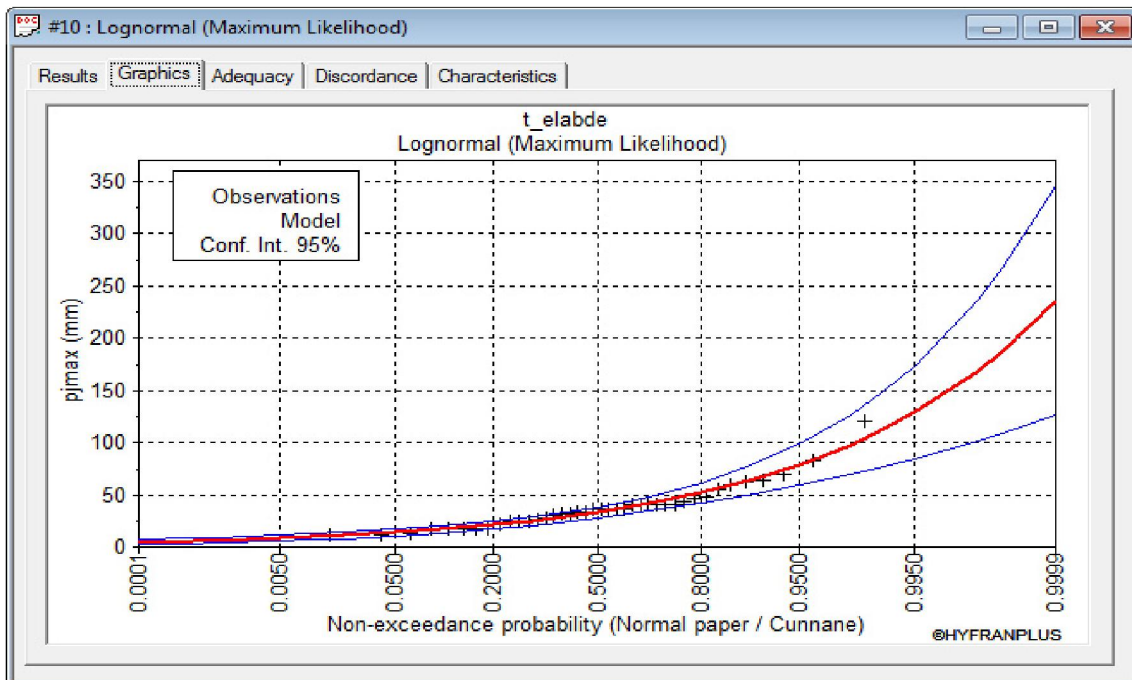
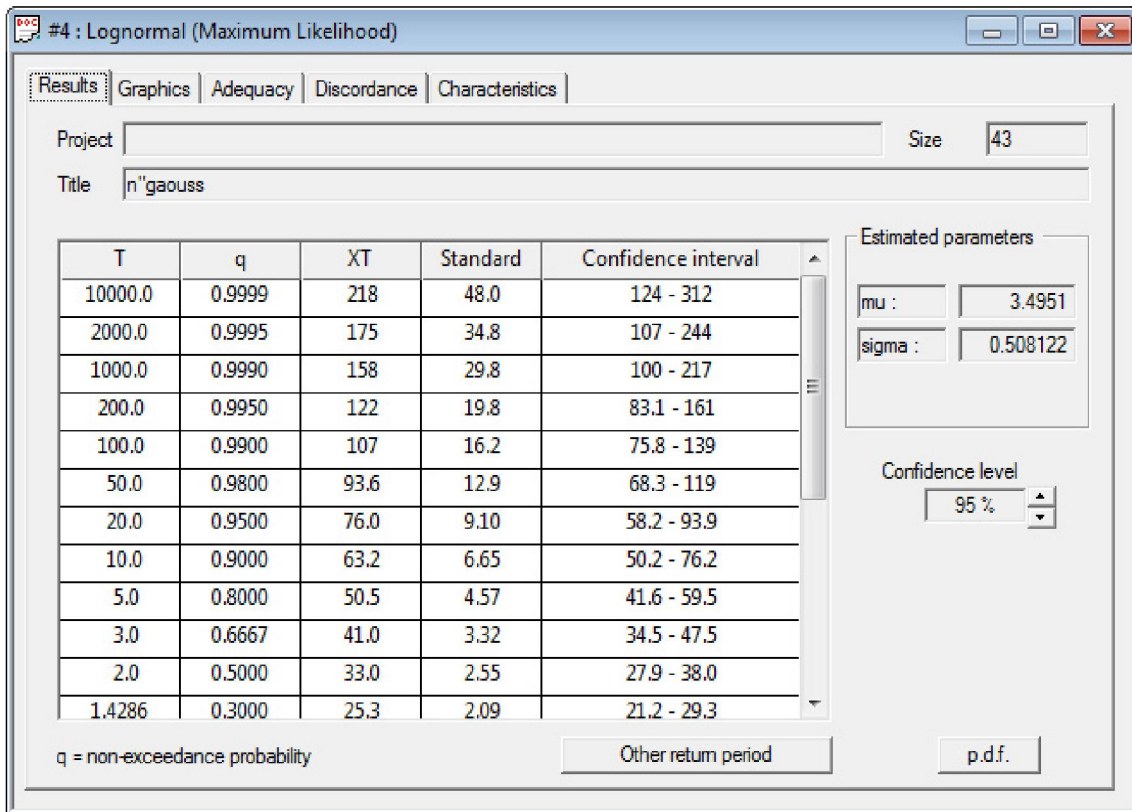


Figure (III.6) : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de Thniet El-Abed

Tableau (III.5): Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normal : Station de Thniet El-Abed

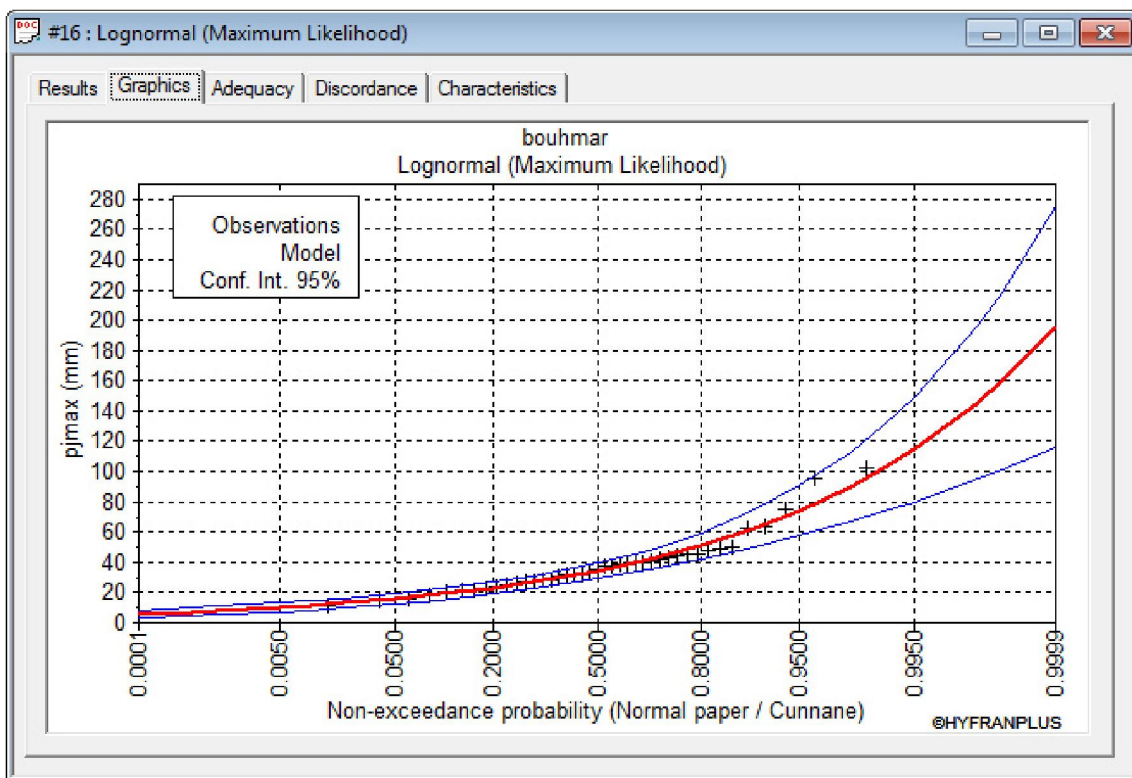
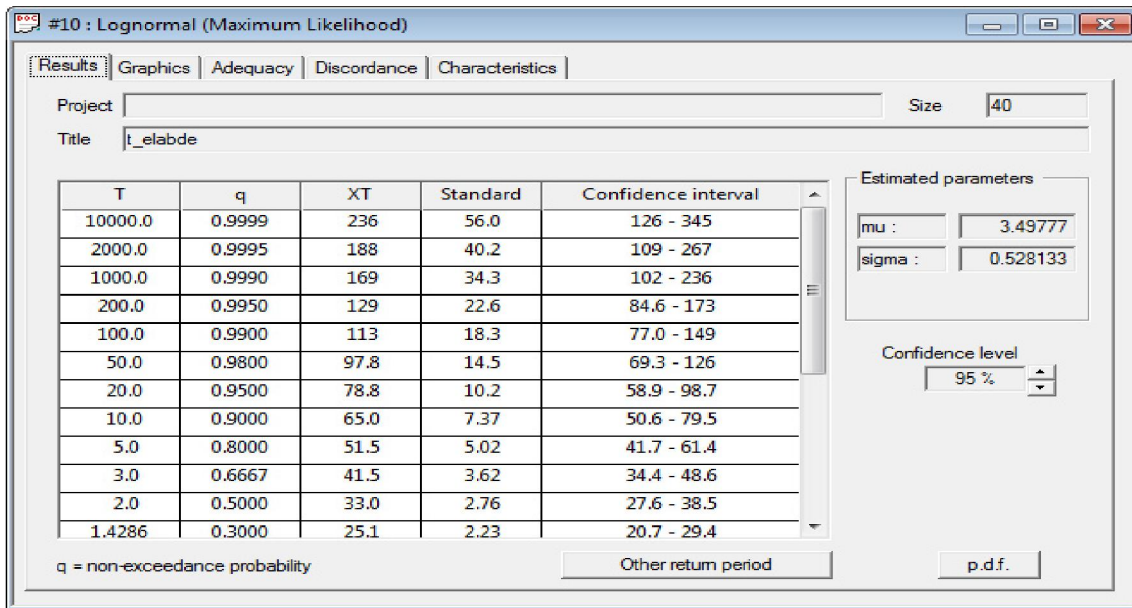


Figure (III.7) : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de Bouhmar

Tableau (III.6): Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normal : Station de Bouhmar

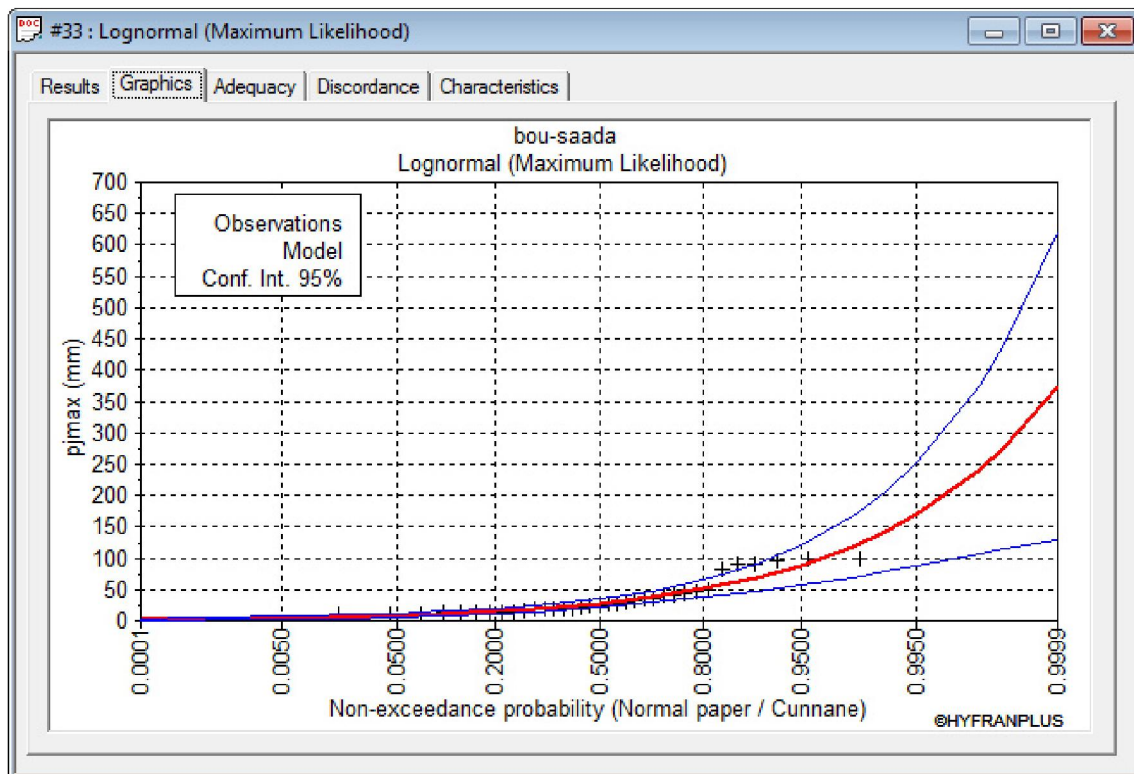
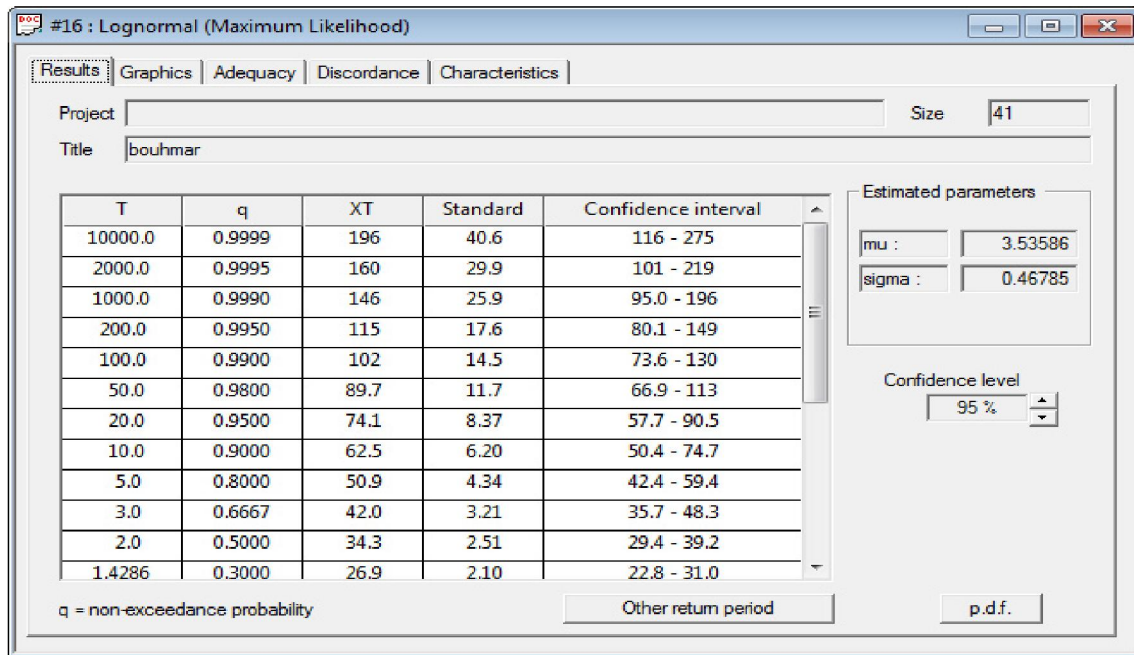


Figure (III.8) : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de Bou-saada

Tableau (III.7): Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normal : Station de Bou-saada

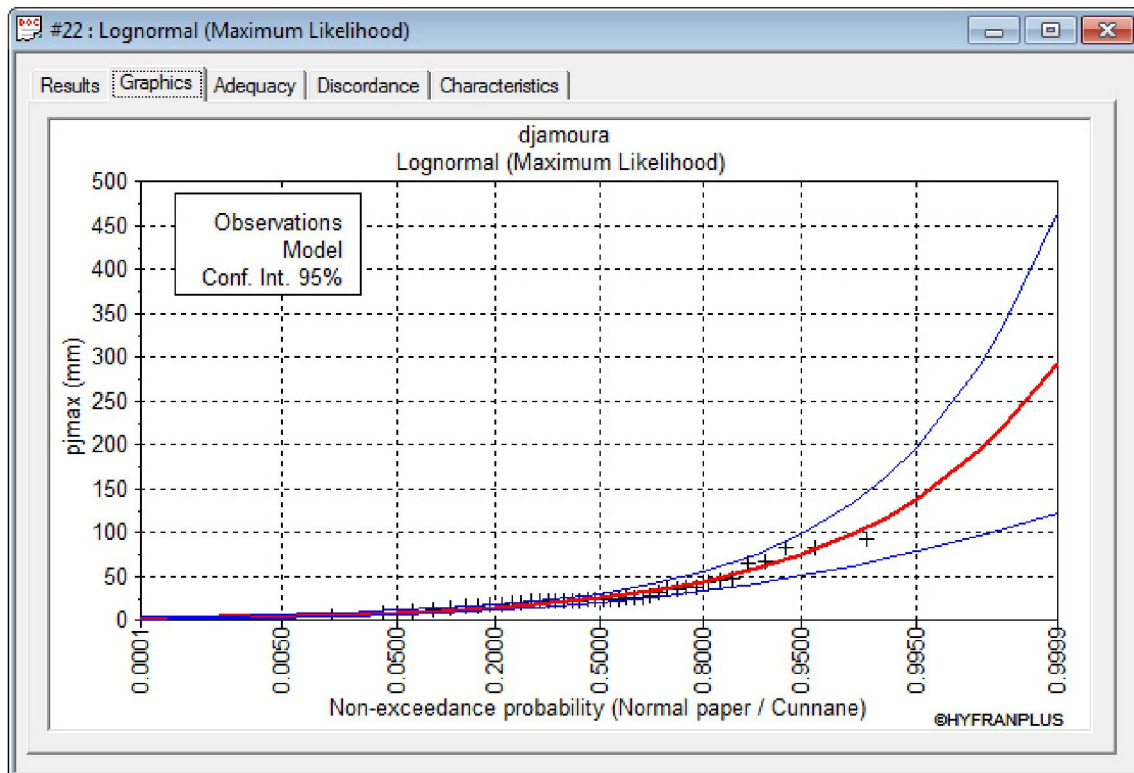
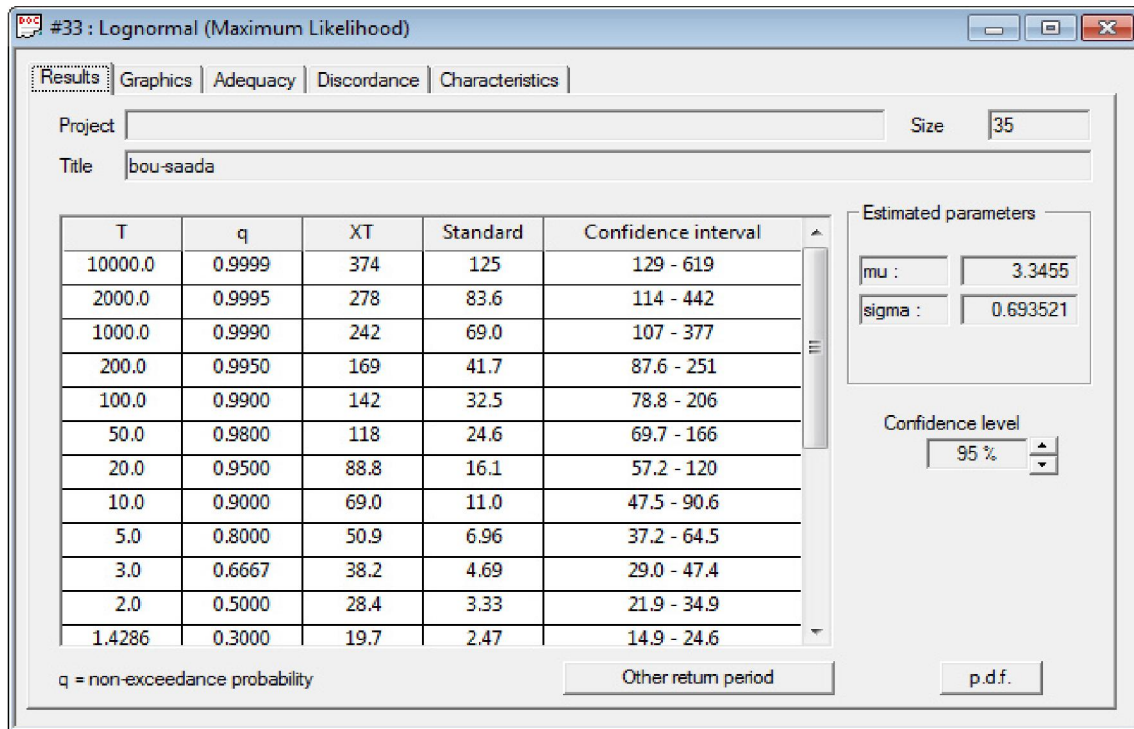


Figure (III.9) : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de Djemoura

Tableau (III.8): Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normal : Station de Djemoura

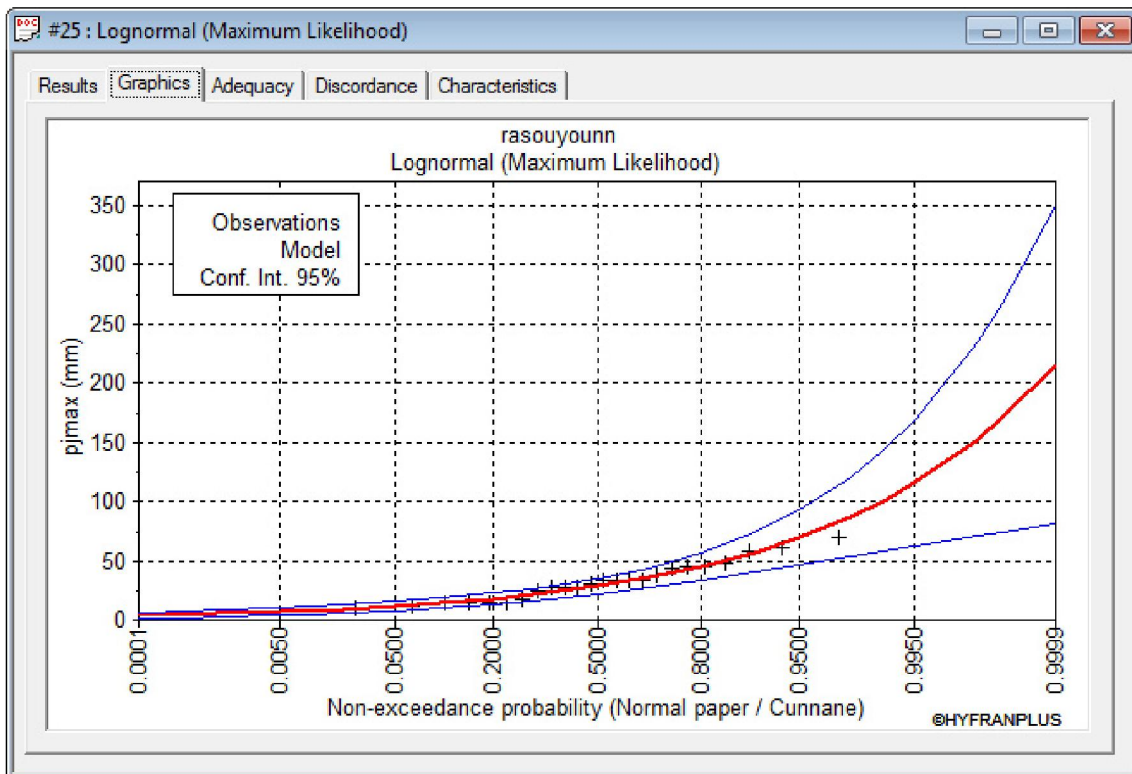
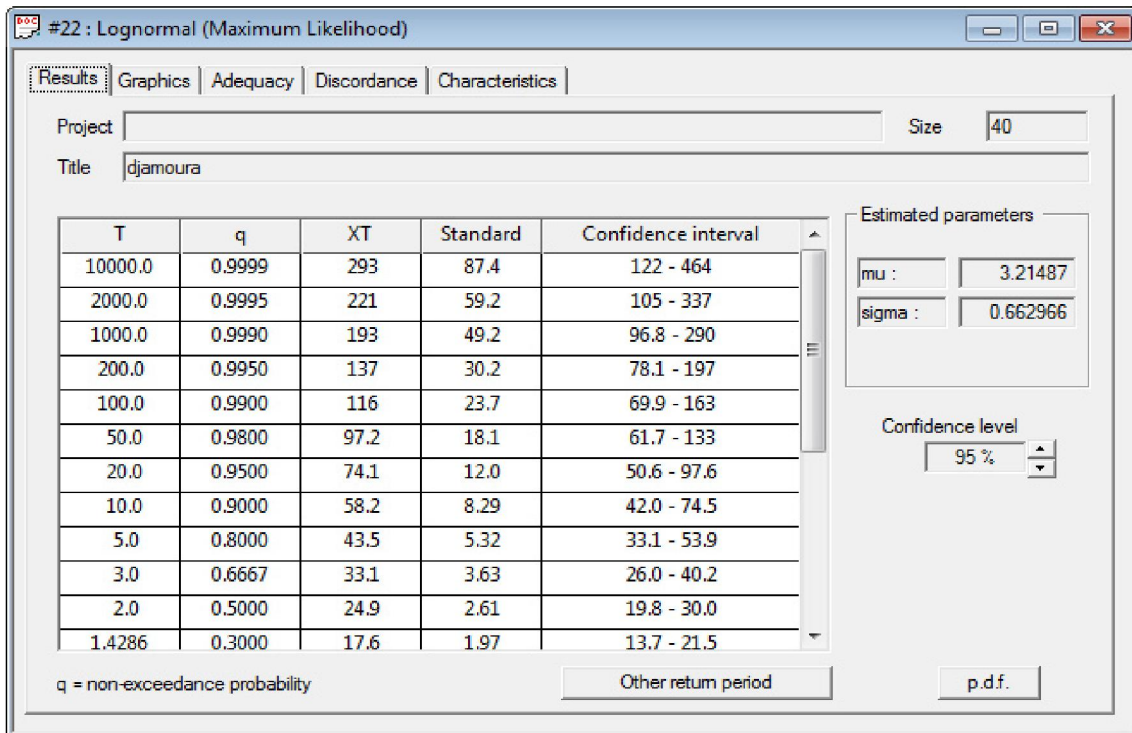
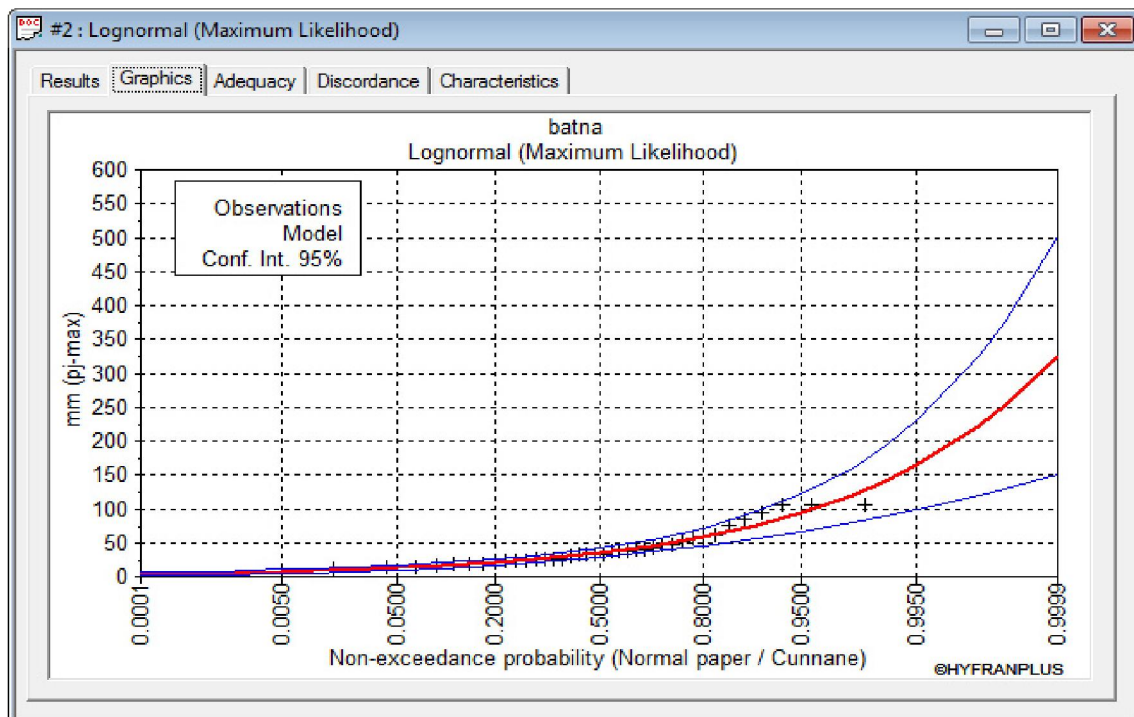
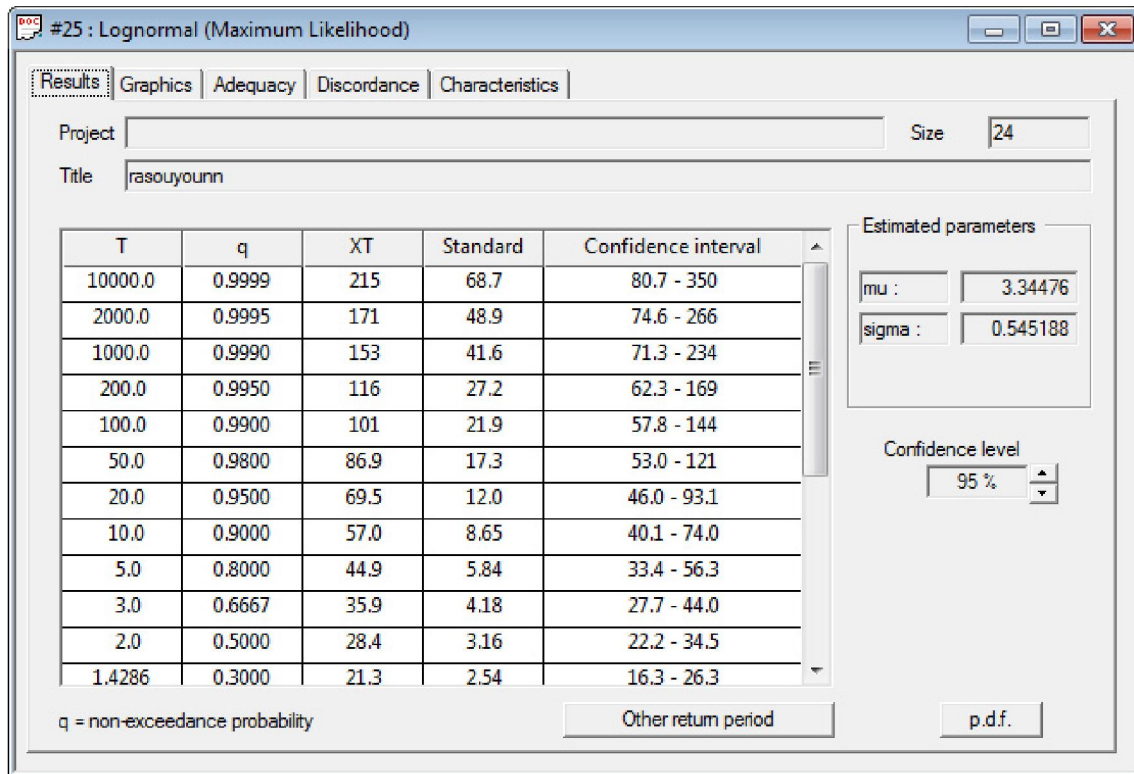


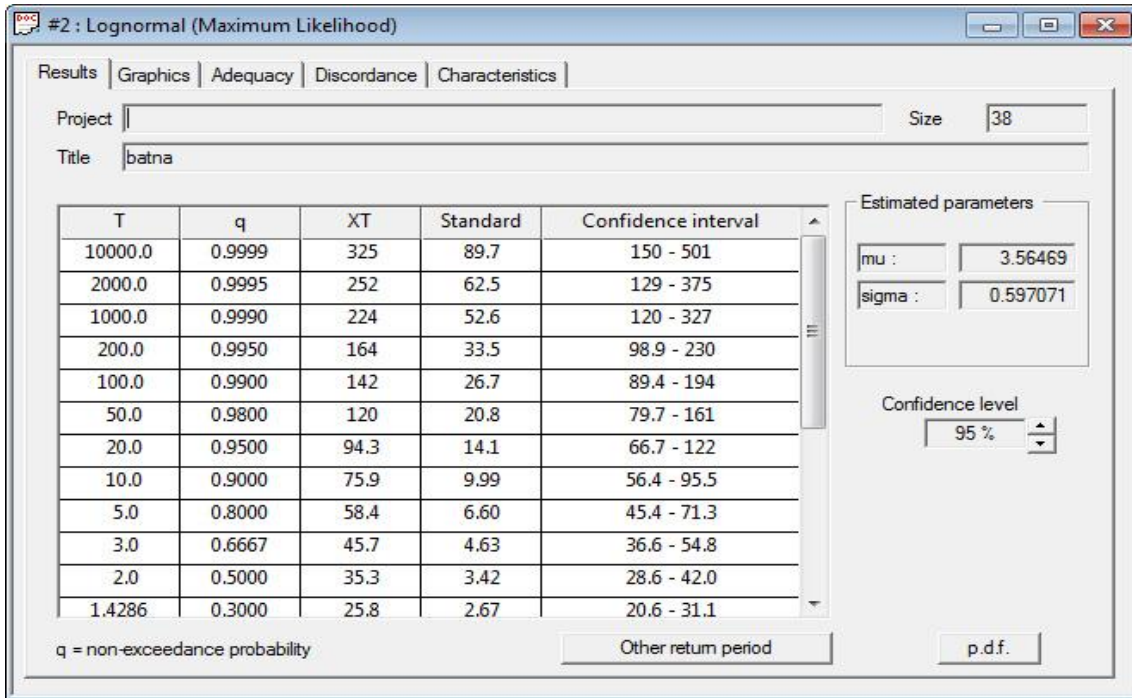
Figure (III.10) : Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de Rous-El-Ouyoun

**Tableau (III.9):** Les résultats d'ajustement à la loi de Log Normal : Station de Rous-El-Ouyoun



**Figure (III.11) :** Graphique d'ajustement à la loi de Galton (Log Normal) : Station de Batna

**Tableau (III.10):**Les résultats d’ajustement à la loi de Log Normal : Station de Batna



**III.4. Etablissement des cartes des précipitations journalières fréquentielles :**

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire, présente un intérêt particulier pour les études de dimensionnement des ouvrages hydrauliques et d'érosion et du transport solide.

Pour dresser les cartes des pluies extrêmes du bassin versant, nous nous basons sur les résultats trouvés par la lois d'ajustement de Galton pour les huit (08) stations et pour différentes périodes de retour.

**Tableau (III.11):**Pluies journalières maximales des différentes stations

Station	Biskra	Djemoura	T-El-Abed	Bouhmar	Batna	Rous El-Ayoum	N'gaous	Boussaada
<b><u>P<sub>jmax</sub></u></b>	<u>42.2</u>	<u>42.1</u>	<u>37.8</u>	<u>38.2</u>	<u>38.4</u>	<u>30.8</u>	<u>32.9</u>	<u>51.0</u>

Les quantiles estimés pour les huit stations, et pour les différentes périodes de retour, sont présentés dans le tableau n° III-12.

**Tableau (III.12):**Pluies maximales journalières fréquentielles des différentes stations

<b>P<sub>j</sub> max %</b>	<b>Période de retour (ans)</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>
	Fréquence	0.9	0.98	0.99	0.999
	Biskra	80	139	169	291
	Djemoura	58.7	97.4	116	192
	Thniet El-Abed	65	96.9	111	165
	Bouhmar	62.7	89.9	102	146
	Batna	76	120	142	223
	Rous El-Ayoun	57.1	86	99.4	149
	N'gaous	63.7	94	108	158
	Boussaada	68.9	117	142	240

### **III.5. Outils de Géo-traitement.**

#### **III.5.1. ArcGIS :**

Les systèmes d'information géographiques (SIG) sont considérée comme l'une des technologies de l'information les plus performantes, car elle vise à intégrer des connaissances provenant de sources multiples et à crée un environnement pluri-secteurs. Il réunit un environnement de visualisation performant et une puissante infrastructure d'analyse et de modélisation spécialement adaptée à la géographie. Dans ce projet, tous les traitements des données spatiales ont été effectués à l'aide du Système d'Information Géographique ArcGIS10.3, Qui constitue une famille de logiciels développés par la compagnie américaine ESRI (Environmental Systems Research Institute) leader mondial des SIG. Il comprend une suite d'applications intégrées les unes aux autres qui sont ArcMap, ArcToolbox et ArcCatalog. ArcMap : l'application principale d'ArcGis qui permet de cartographier et de traiter les données.

ArcToolBox: la boîte qui contienne tous les outils qui s'applique sous ArcMap  
ArcCatalog: est un explorateur de données cartographiques. Il permet d'organiser, de pré visualiser, de rechercher, de décrire des données géographiques (méta données).

#### **III.5.2. Méthodes de spatialisation de la pluviométrie :**

L'objectif de la spatialisation est l'estimation des pluies entres les stations pluviométriques et l'estimation de la pluie moyenne sur une surface considéré. Or, L'interpolation spatiale est une procédure qui consiste à l'estimation de la valeur d'une variable (les hauteurs de pluie), en un site à partir des valeurs de la même variable mesurées

en des sites voisins (les stations). Cette partie est consacrée à la présentation des différentes méthodes de spatialisation utilisées pour calculer la pluie moyenne sur une zone ou un bassin versant.

### III.5.2.1. La moyenne arithmétique :

La méthode la plus simple à utiliser qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs des pluies à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité, elle donne des résultats de plus en plus représentatifs si la pluie est répartie de façon relativement homogène et si la répartition des postes est suffisamment homogène sur la région d'étude. La pluie moyenne sur le bassin, est calculée de la manière suivante:

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n_i}$$

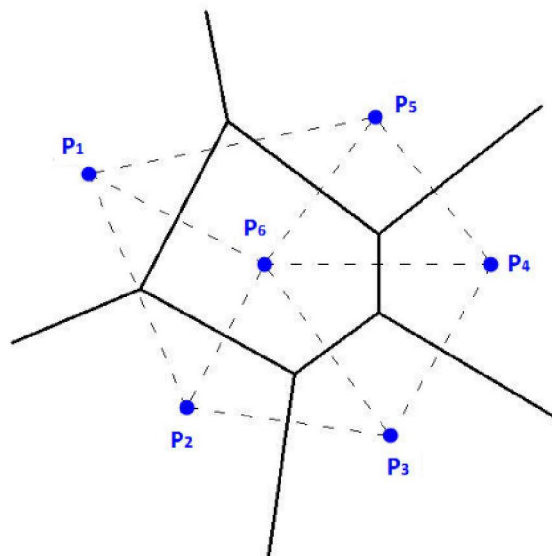
Avec :

$P_i$  : Les hauteurs des précipitations mesurées dans les stations ;

$n_i$  : Le nombre des stations ;

### III.5.2.2. Polygones de Thiessen :

La plus couramment utilisées, la méthode des polygones de Thiessen consiste à partitionner l'espace géographique, en définissant pour chaque station pluviométrique  $P_i$ , un polygone d'influence de telle façon que chaque point du polygone soit plus proche de  $P_i$  que de tout autre station. Ces polygones dépendent uniquement de la configuration géométrique et non pas des valeurs observées. Ils sont obtenus en traçant les médiatrices des segments joignant la station  $P_i$  aux stations voisines.



**Figure (III.12) :**Schéma explicative du principe des polygones de Thiessen

Cette méthode permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération le poids de chaque station pluviométrique. Cette estimation s'effectue en attribuant pour l'ensemble des points appartenant à un polygone d'influence, où l'aire constitue le facteur de pondération, la même valeur de la station correspondante. Alors, la pluie moyenne sur un bassin est égale à la somme de la hauteur pluviométrique  $P_i$  mesuré à chaque station, multiplié par la surface de sa polygone d'influence (facteur de pondération), le tout divisé par la surface  $S_T$  totale du bassin, d'où la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times S_i}{S_T}$$

Avec :

$P_{moy}$  : La pluie moyenne sur le bassin ;

$P_i$  : La hauteur pluviométrique mesurée au niveau de chaque station

$S_i$  : La surface de chaque polygone

$P_T$  : La surface totale du bassin

$n$  : Le nombre des stations

#### III.5.2.3 Gradient altitudinale des précipitations :

Dans les régions montagneuse à l'exception des surface situées à très haute altitude, La topographie affecte de façon très importante les processus météorologiques, et sur une petite et une grande échelle. En fonction de l'altitude Les précipitations augmentent avec un certain gradient en raison de l'effet orographique, qui contribue à un refroidissement de l'air avec l'altitude. Mais au-delà d'un certain seuil, les masses d'air finissent par s'adresser et les précipitations diminuent. Le principe de cette méthode consiste à découper la zone d'étude en tranches d'altitudes, et une hauteur de pluie est affectée à chaque tranche en fonctions du gradient, de la différence d'altitude entre la station de référence, l'altitude de la tranche et La pluie mesurée au niveau de la station de référence. La pluie au niveau d'une tranche se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$P_{Tr} = P_{St} + \frac{P_{St} \times \Delta_{alt} \times Gr}{100}$$

Avec :

$P_{Tr}$  : Pluie de la tranche

$P_{St}$  : La pluie mesurée au niveau de la station de référence

$\Delta_{alt}$  : La différence d'altitude entre la station de référence et la tranche

$Gr$  : Le gradient pluviométrique en mm

Or, la pluie moyenne à l'échelle du bassin est obtenue par la formule suivante:

$$P_{Tr} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Tri} \times S_{Tri}}{S_T}$$

Avec :

**P<sub>Tri</sub>** : Pluie de la tranche i

**S<sub>Tri</sub>** : La surface de la tranche i

**S<sub>T</sub>** : La surface totale du bassin

**n** : Le nombre des tranches

#### **III.5.2.4. Krigeage**

Krigeage est une méthode d'interpolation applicable à des données spatiales. Il s'appuie sur la géostatistique linéaire, notamment le variogramme. La théorie du krigeage a été développée par un mathématicien français (G. Matheron) à partir des travaux de l'ingénieur minier sud-africain D.G.Krige. Dans les années 50, Krige a développé une série de méthodes statistiques afin de déterminer la distribution de minerais à partir d'un ensemble de forages. Différents types de krigeage existent. Citons entre autres, le krigeage simple, le krigeage ordinaire (utilisé) et le krigeage universel (Hengl, 2007; Arnaud et Emery, 2000; Wakernag el, 1993).

Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale stochastique qui tient compte à la fois de la configuration géométrique des points observés et de la structure de dépendance spatiale des données. Il estime les valeurs d'une variable (Z) à chaque point de l'espace sur la base des valeurs proches connues, en tenant compte de la valeur de pondération estimée par le variogramme. Cependant, ce dernier est sous forme d'une fonction continue caractérisant complètement la variance en fonction de la distance entre les paires de points de mesure. La formule générale utilisée par cette méthodes d'interpolation consiste en une somme pondérée des données, ou :

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

Avec :

Z(S<sub>i</sub>) = valeur relevée à l'emplacement i

**λ<sub>i</sub>** = pondération inconnue de la valeur relevée à l'emplacement i (déterminée à partir du variogramme)

S<sub>0</sub> = emplacement de prévision

N = nombre de valeurs relevées

En théorie, le krigeage générerait les interpolations spatiales les plus précises. Cette précision dépend alors de plusieurs facteurs, à savoir, Nombre d'échantillons et la qualité des données en chaque point, Position des échantillons et la distance entre les échantillons et le point dont on veut estimer la valeur.

#### III.5.2.5 IDW (Interpolation par Inverse des Distance)

L'interpolation par inverse des distances c'est la méthode d'interpolation déterministe la plus employée. Elle ne tient pas compte de la position relative des points d'observations entre eux, seule la distance entre les sites échantillonnés et le point à estimer est considérée. IDW consiste à attribuer un poids inversement proportionnel à la distance entre les sites échantillonnés et le point à estimer, de telle façon que ce poids diminue avec la distance qui le sépare du point de l'espace dont on veut estimer la valeur, ce qui fait que le poids le plus important est donné aux points les plus proches. En outre, les valeurs interpolées sont toujours comprises entre les valeurs minimales et maximales du champ d'observation. La valeur prédite pour un point de l'espace est :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^k}}$$

Avec :

**Z** : La variable estimée

**Z<sub>i</sub>** : La valeur connue au site de mesure *i*

**d<sub>i</sub>** : La distance entre le point à estimer et le point de mesure *i*

**N** : Le nombre de sites utilisés pour l'interpolation

**k** : La puissance à laquelle est élevée la distance

La puissance mathématique *k* joue un rôle considérable dans le processus d'estimation, elle contrôle la signification des points connus sur les valeurs interpolées en fonction de leur distance par rapport au point en sortie. Une puissance plus élevée permet une concentration sur les points les plus proches. Ainsi, les données proches auront plus d'influence, tandis qu'une valeur de puissance moins élevée accorde plus d'influence aux points environnants les plus éloignés.

#### III.5.3 Les Modèles de géotraitement utilisés dans notre étude:

Les données pluviométriques utilisées pour la spatialisation, sont celles enregistrées pendant la période 1967 à 2019 (pluies annuelles) et celles trouvées par le traitement

statistique par le logiciel Hyfrane plus (pluies journalières maximales et de courte durées de différentes fréquences) au niveau des huit stations contournant le bassin versant oued El-Hai (Tableau III-12). Les deux méthodes de spatialisation (krigeage et IDW), appliquées sous ArcGIS, demandent un jeu de données d'entrée de type ponctuelle pour qu'elles soient exécutés. À partir de ces données, chacune des méthodes selon le principe de fonctionnement qu'elle adopte, génère des cartes d'estimation sous forme de tranches. L'application de ces méthodes ne se limite pas seulement à l'outil qui permet la création des cartes d'estimation, mais elle comprend aussi d'autres outils qui aident à l'extraction et à la manipulation des données estimées, notamment l'outil "Clip", "Extract By Mask", "Zonal Statistics As Table" et l'outil "Table To dBase".

L'organigramme suivant résume les différentes étapes de la cartographie par les méthodes de spatialisation (Krigage et IDW).

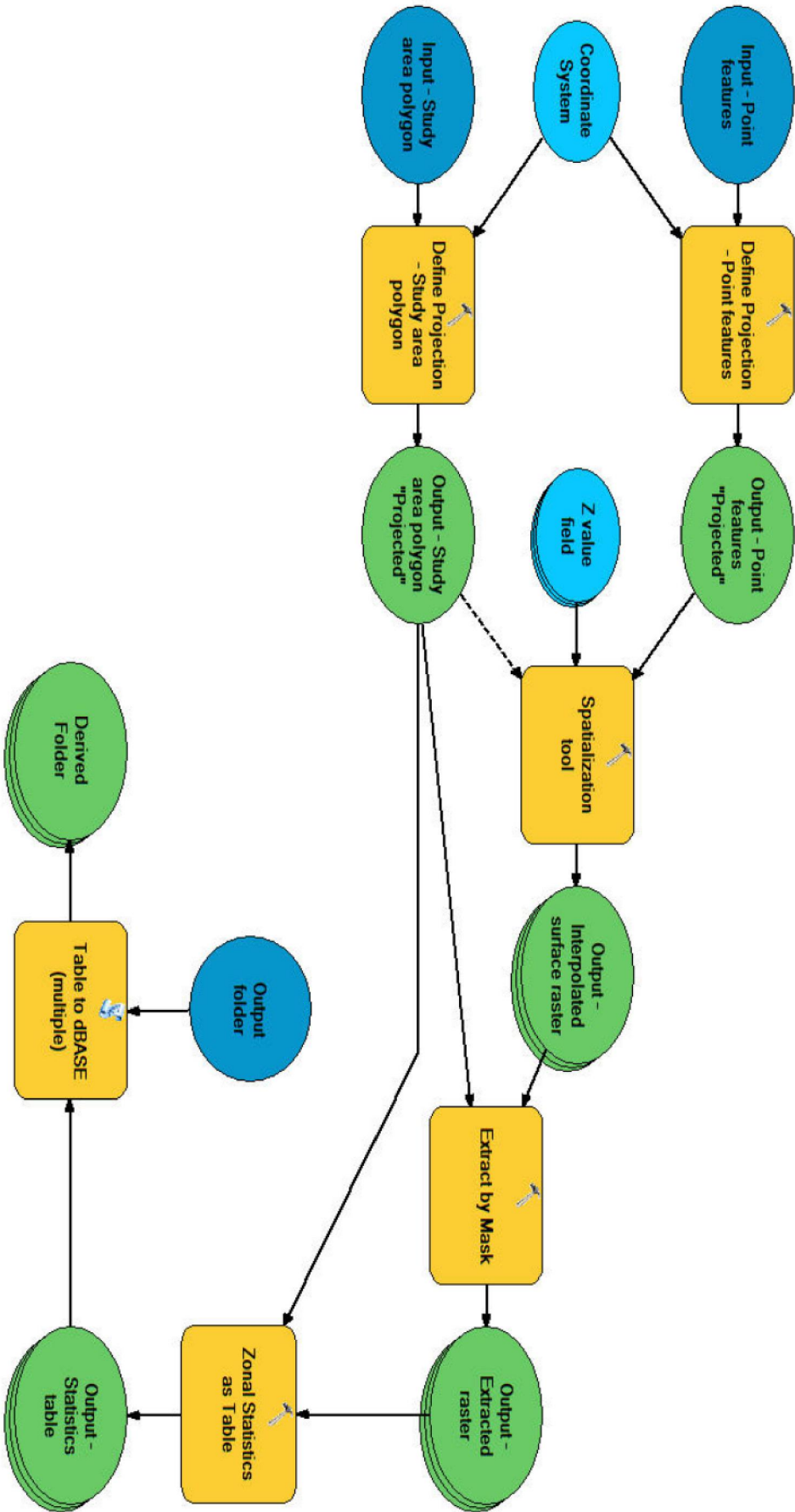


Figure (III.13) :Modèle pour l'application des méthodes de spatialisaton (Krigage et IDW)

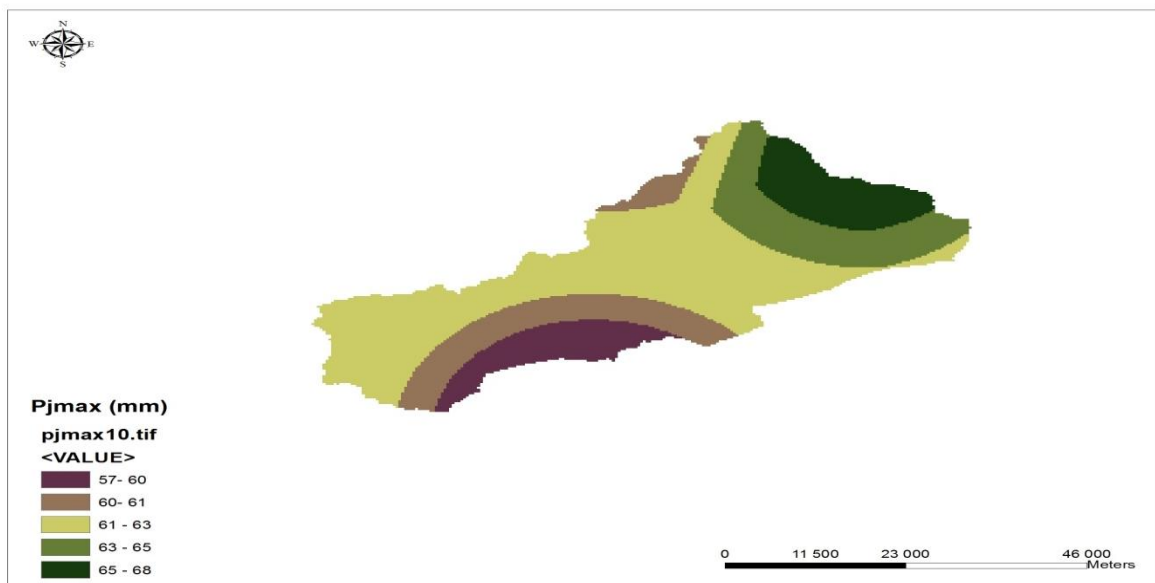
Les cartes III.14, III.15, III.16 et III.17 présentent les précipitation maximales journalières des différentes fréquences.

### **III.6. Cartes des précipitations journalières maximales**

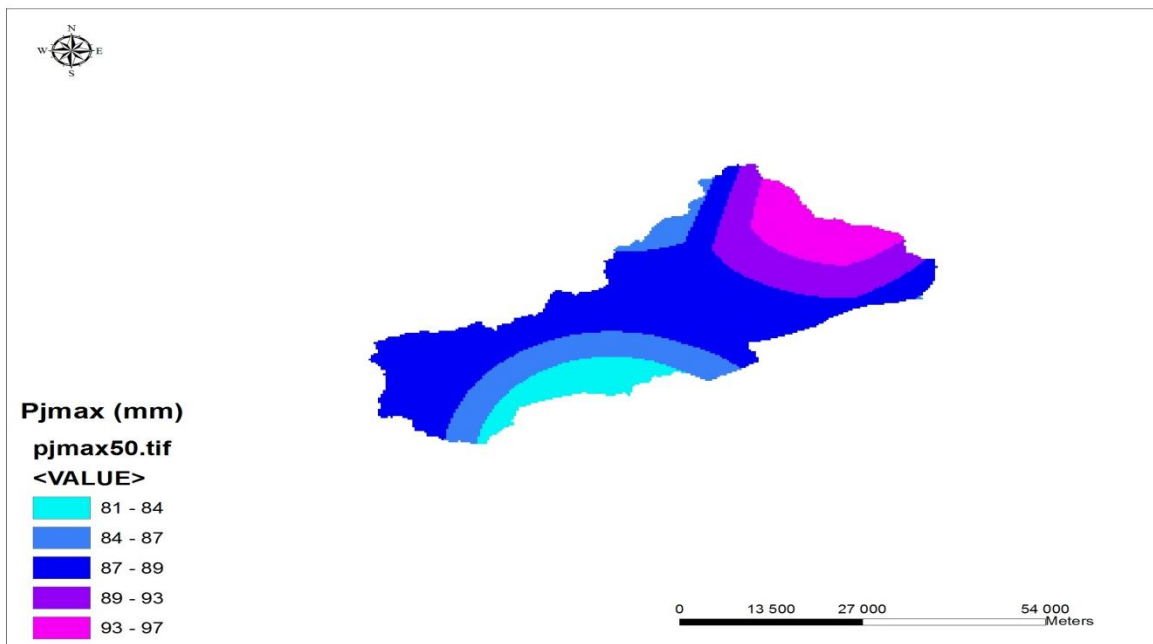
Il s'avère que la hauteur d'eau journalière maximale, croit d'une manière générale, en allant du secteur montagneux vers les plaines.

Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues d'Oued El-Hai, notamment dans les terrains fortement dénudé qui occupent une partie importante du bassin.

#### **III.6.1. Précipitation journalière maximale pour la période de retour 10 ans**

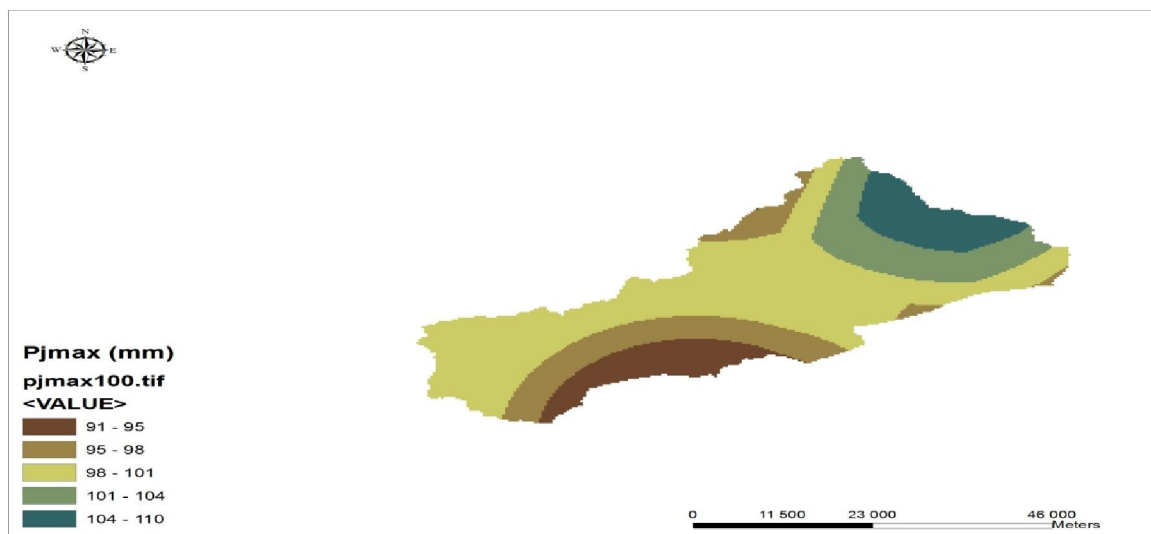


**Figure (III.14)** Précipitations journalières maximales pour la période de retour 10 ans

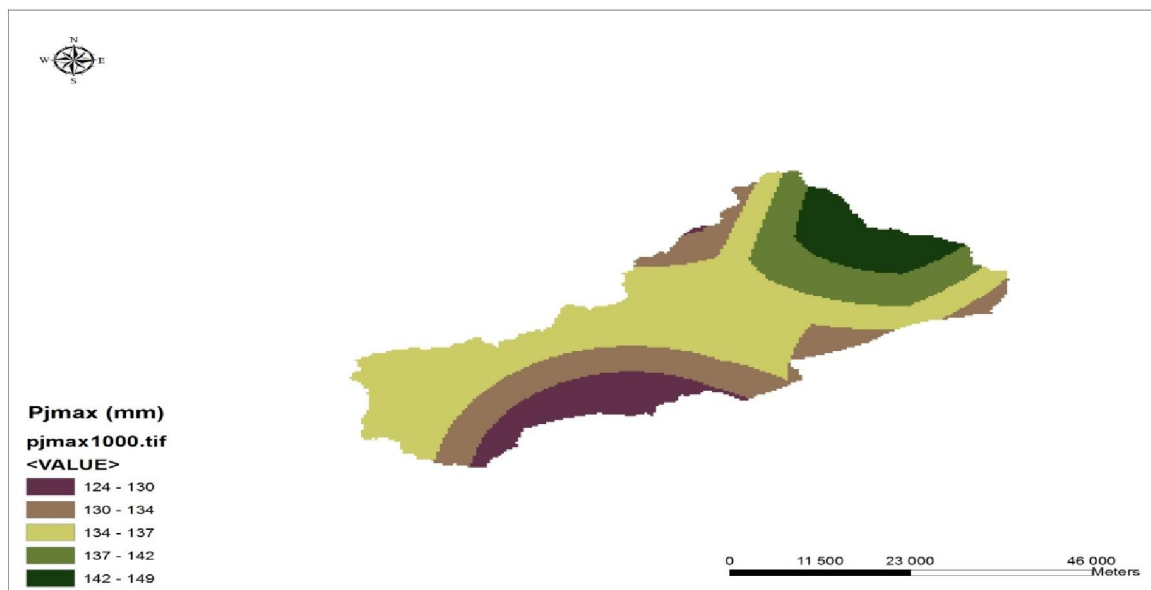


**Figure (III.15)** Précipitations journalières maximales pour la période de retour 50 ans

**III.6-2 Précipitation journalière maximale pour la période de retour 50 ans**



**Figure (III.16)** Précipitations journalières maximales pour la période de retour 100 ans



**Figure (III.17)** Précipitations journalières maximales pour la période de retour 1000 ans

A decorative red ribbon graphic with a white speech bubble-like shape in the center. The ribbon has a 3D effect with a shadow.

## ***Chapitre IV***

***Etude des intensités de courtes durées  
de différentes fréquences (IDF)***

## *Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)*

### **IV.1. La pluie de courte durée**

Ce sont des pluies qui apportent sur une courte durée (de quelques minutes à une journée) une importante quantité d'eau. Cette quantité peut égaler celle reçue habituellement en un mois, voire en plusieurs mois.

Les dégâts peuvent être aggravés par d'autres facteurs : violentes rafales de vent, glissements de terrain, ruptures de digues, grêle, fortes vagues. Les précipitations intenses provoquent aussi des crues-éclair dévastatrices, en particulier dans les zones montagneuses.

Les régions de montagne sont plus fréquemment touchées par les orages que les plaines : le relief tend à bloquer le déplacement des nuages, l'air se soulève et provoque un renforcement de l'activité orageuse.

Pour l'estimation des pluies de courtes durées d'une fréquence donnée, dans le cas d'absence de pluviographes, et en utilisant les pluies journalières fréquentielles. On utilise généralement la formule de K.BODY:

$$P_{\max,t,p\%} = P_{\max,j,p\%} \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

$P_{\max,t,p\%}$  : Pluie de courte durée de même fréquence que  $P_{\max,j,p\%}$  [mm].

$P_{j \max p\%}$  : Pluie journalière maximale pour une fréquence donnée [mm].

t : Temps [heure].

b : Exposant climatique tiré à partir des cartes élaborées par l'ANRH.

**Tableau (IV.1):** Les pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 2 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Station	BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL _ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS OUYOYN	BOUSSAADA	
				PJmax	42.23	42.07	37.76	38.22	38.41	30.84	32.86	50.99
				Durée (h)	b	0.28	0.20	0.25	0.30	0.30	0.23	0.25
2	50	15	0.25	11.77	16.89	12.06	9.72	9.77	10.79	10.50	16.29	
		30	0.50	14.29	19.40	14.35	11.96	12.02	12.66	12.49	19.37	
		45	0.75	16.00	21.04	15.88	13.51	13.58	13.90	13.82	21.44	
		60	1.00	17.35	22.28	17.06	14.73	14.80	14.85	14.85	23.04	
		120	2.00	21.06	25.59	20.29	18.13	18.22	17.41	17.66	27.40	
		240	4.00	25.57	29.40	24.13	22.32	22.44	20.42	21.00	32.58	
		360	6.00	28.65	31.88	26.70	25.21	25.34	22.42	23.24	36.05	

**Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)**

**Tableau (IV.2):** Les pluies de courtes durées aux niveau des huit stations pour la période de retour 10 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Station		BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL _ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS OUYOYN	BOUSSAADA
			Pjmax		76	80	63,7	65	62,7	58,7	57,1	68,9
			Durée (h)	b	<b>0,28</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,23</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
10 ans	10	15	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,23</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	
		30	<b>0.50</b>	21,17	32,11	20,35	16,53	15,94	20,55	18,24	22,01	
		45	<b>0.75</b>	25,71	36,88	24,20	20,35	19,63	24,10	21,69	26,18	
		60	<b>1.00</b>	28,80	40,00	26,78	22,98	22,17	26,45	24,01	28,97	
		120	<b>2.00</b>	31,21	42,37	28,78	25,05	24,17	28,26	25,80	31,13	
		240	<b>4.00</b>	37,90	48,67	34,23	30,84	29,75	33,15	30,68	37,02	
		360	<b>6.00</b>	46,02	55,91	40,70	37,97	36,63	38,87	36,48	44,02	

**Tableau (IV.3):** Les pluies de courtes durées aux niveau des huit stations pour la période de retour 50 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Station		BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL _ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS OUYOYN	BOUSSAADA
			Pjmax		120	139	94	96,9	89,9	97,4	86	117
			Durée (h)	b	<b>0,28</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,23</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
50	2	15	0.25	33,43	55,79	30,03	24,64	22,86	34,09	27,47	37,38	
		30	0.50	40,59	64,09	35,71	30,34	28,14	39,98	32,67	44,45	
		45	0.75	45,47	69,50	39,52	34,26	31,78	43,89	36,16	49,19	
		60	1.00	49,29	73,62	42,47	37,35	34,65	46,89	38,85	52,86	
		120	2.00	59,84	84,56	50,50	45,98	42,66	55,00	46,21	62,86	
		240	4.00	72,66	97,14	60,06	56,61	52,52	64,50	54,95	74,76	
		360	6.00	81,40	105,34	66,47	63,93	59,31	70,81	60,81	82,73	

**Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences  
(IDF)**

**Tableau (IV.4):** Les pluies de courtes durées aux niveau des huit stations pour la période de retour 100 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Station		BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL _ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS OUYOYN	BOUSSAADA
			Pjmax									
			Durée (h)	b								
100	1	15	0,25		39,56	67,83	34,50	28,23	25,94	40,60	31,76	45,36
		30	0,50		48,03	77,92	41,03	34,75	31,93	47,62	37,76	53,95
		45	0,75		53,81	84,50	45,41	39,24	36,06	52,27	41,79	59,70
		60	1,00		58,32	89,50	48,79	42,78	39,31	55,85	44,91	64,16
		120	2,00		70,81	102,81	58,03	52,67	48,40	65,50	53,41	76,29
		240	4,00		85,98	118,10	69,01	64,85	59,59	76,82	63,51	90,73
		360	6,00		96,32	128,08	76,37	73,23	67,29	84,33	70,29	100,41

**Tableau (IV.5):** Les pluies de courtes durées aux niveau des huit stations pour la période de retour 1000 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Station		BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL _ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS OUYOYN	BOUSSAADA
			Pjmax									
			Durée (h)	b								
1000	0.1	15	0,25		62,13	116,80	50,48	41,96	37,13	67,20	47,60	76,67
		30	0,50		75,43	134,17	60,03	51,65	45,71	78,82	56,61	91,18
		45	0,75		84,50	145,50	66,43	58,34	51,62	86,52	62,65	100,91
		60	1,00		91,59	154,12	71,38	63,59	56,27	92,44	67,32	108,43
		120	2,00		111,21	177,03	84,89	78,29	69,28	108,42	80,06	128,95
		240	4,00		135,03	203,36	100,95	96,39	85,29	127,15	95,20	153,35
		360	6,00		151,26	220,54	111,72	108,86	96,32	139,58	105,36	169,71

## **IV 2. NOTION D'AVERSE ET D'INTENSITE :**

Nous désignons en générale par averse, un ensemble de pluies associées a une perturbation météorologique bien définie. La durée d'une averse peut donc varier de quelques minutes à quelque heures ; on définit finalement une averse comme un épisode pluvieux continue, dont l'intensité est définie comme étant le rapport de la hauteur de la pluie recueillie sur l'intervalle de temps durant lequel a été enregistré, celle-ci est exprimée sous la forme suivante :

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta T}$$

Ou : I : intensité de la pluie (mm/h)

$\Delta H$  : hauteur de pluie (mm)

$\Delta T$  : intervalle de temps en min

L'intensité de la pluie varie à chaque instant au cours d'une même averse, celle-ci est d'autant plus forte que sa durée est courte.

Pour les mêmes intervalles de temps, on groupe les intensités, qui permettent d'avoir des séries de données permettant par la suite de construire des courbes appelées : I.D.F. On peut considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels on aura enregistré la plus grande hauteur de pluie. On parle alors *d'intensité maximale*.

Deux types de courbes déduites des enregistrements d'un pluviographe (pluviogramme)

permettent d'analyser les averses d'une station :

- La courbe des hauteurs de pluie cumulée,
- Le hyétogramme.

La courbe des hauteurs de pluie cumulées représente en ordonnée, pour chaque instant  $t$ , l'intégrale de la hauteur de pluie tombée depuis le début de l'averse.

Le hyétogramme est la représentation, sous la forme d'un histogramme, de l'intensité de la pluie en fonction du temps.

Les éléments importants d'un hyétogramme sont le pas de temps  $\Delta t$  et sa forme. Communément, on choisit le plus petit pas de temps possible selon la capacité des instruments de mesure. Quant à la forme du hyétogramme, elle est en général caractéristique du type de l'averse et varie donc d'un événement à un autre.

## Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)

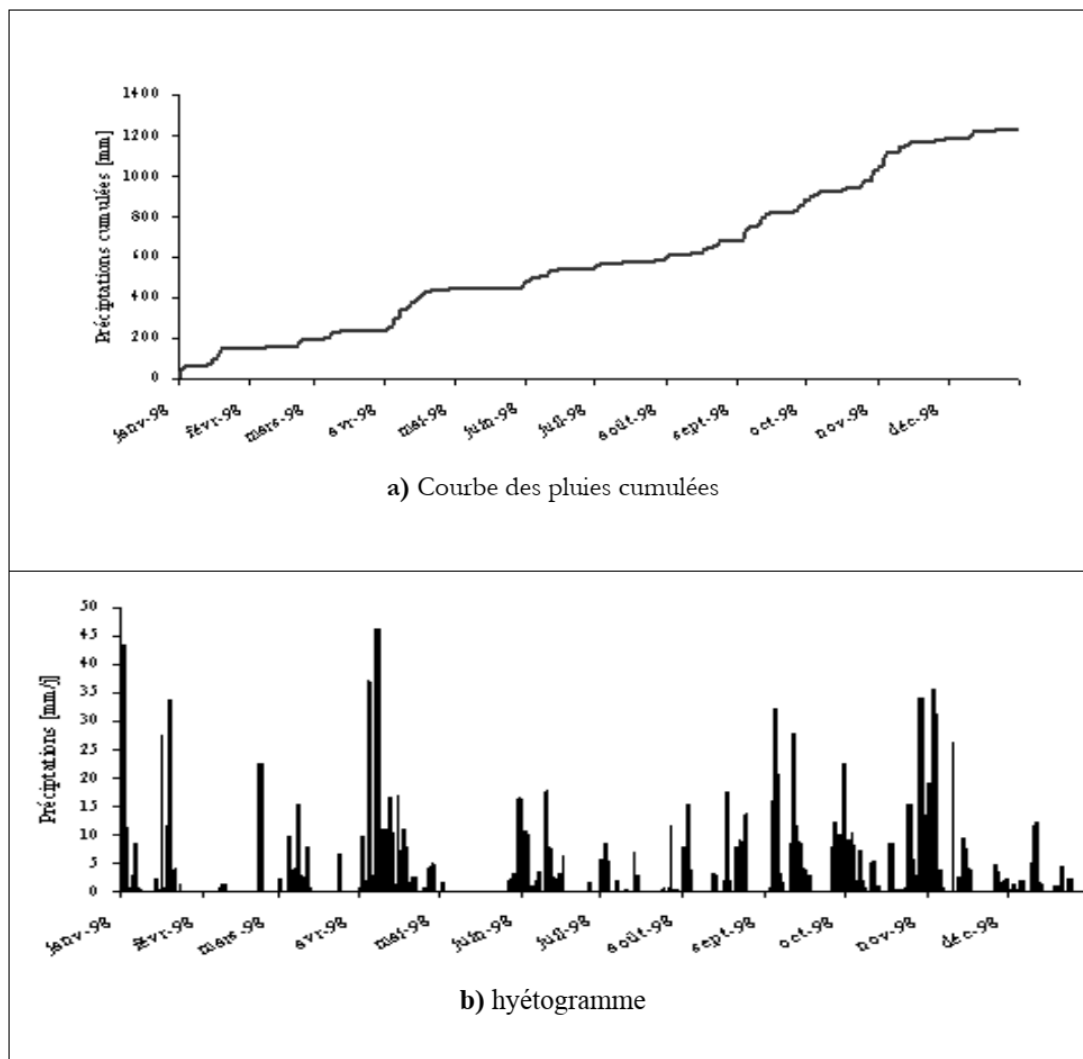


Figure (IV.1) :Exemple de courbe des hauteurs de pluies cumulées et hyétoGramme

Tableau (IV.6):Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 2 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Durée (h)	BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL_ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS EL - OUYOYN	BOUSSAADA
2	50	15	0.25	47.06	67.54	48.26	38.87	39.07	43.17	41.99	65.16
		30	0.50	<b>28.57</b>	<b>38.79</b>	<b>28.69</b>	<b>23.93</b>	<b>24.05</b>	<b>25.32</b>	<b>24.97</b>	<b>38.74</b>
		45	0.75	21.34	28.05	21.17	18.01	18.11	18.53	18.42	28.58
		60	1.00	17.35	22.28	17.06	14.73	14.80	14.85	14.85	23.04
		120	2.00	10.53	12.80	10.14	9.07	9.11	8.71	8.83	13.70
		240	4.00	6.39	7.35	6.03	5.58	5.61	5.11	5.25	8.14
		360	6.00	4.77	5.31	4.45	4.20	4.22	3.74	3.87	6.01

## *Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)*

**Tableau (IV.7):** Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 10 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Durée (h)	BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL_ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS EL - OUYOYN	BOUSSAADA
				<b>10</b>	10	15	0.25	84,69	128,44	81,40	66,11
30	0.50	<b>51,42</b>	<b>73,77</b>			<b>48,40</b>	<b>40,70</b>	<b>39,26</b>	<b>48,19</b>	<b>43,39</b>	<b>52,35</b>
45	0.75	38,40	53,33			35,71	30,64	29,56	35,27	32,01	38,63
60	1.00	31,21	42,37			28,78	25,05	24,17	28,26	25,80	31,13
120	2.00	18,95	24,33			17,11	15,42	14,88	16,57	15,34	18,51
240	4.00	11,50	13,98			10,18	9,49	9,16	9,72	9,12	11,01
360	6.00	8,59	10,10			7,51	7,15	6,89	7,11	6,73	8,12

**Tableau (IV.8):** Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 50 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Durée (h)	BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL_ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS EL - OUYOYN	BOUSSAADA
				<b>50</b>	2	15	0.25	133,72	223,16	120,12	98,56
30	0.50	<b>81,18</b>	<b>128,17</b>			<b>71,42</b>	<b>60,67</b>	<b>56,29</b>	<b>79,97</b>	<b>65,35</b>	<b>88,90</b>
45	0.75	60,63	92,67			52,70	45,68	42,38	58,52	48,21	65,59
60	1.00	49,29	73,62			42,47	37,35	34,65	46,89	38,85	52,86
120	2.00	29,92	42,28			25,25	22,99	21,33	27,50	23,10	31,43
240	4.00	18,17	24,28			15,02	14,15	13,13	16,13	13,74	18,69
360	6.00	13,57	17,56			11,08	10,66	9,89	11,80	10,14	13,79

## *Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)*

**Tableau (IV.9):**Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 100 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Durée (h)	BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL_ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS EL -OUYOYN	BOUSSAADA
100	1	15	0.25	158,24	271,33	138,01	112,90	103,75	162,40	127,02	181,46
		30	0.50	<b>96,07</b>	<b>155,84</b>	<b>82,06</b>	<b>69,50</b>	<b>63,86</b>	<b>95,24</b>	<b>75,53</b>	<b>107,90</b>
		45	0.75	71,74	112,67	60,54	52,33	48,08	69,70	55,72	79,60
		60	1.00	58,32	89,50	48,79	42,78	39,31	55,85	44,91	64,16
		120	2.00	35,41	51,41	29,01	26,34	24,20	32,75	26,70	38,15
		240	4.00	21,50	29,53	17,25	16,21	14,90	19,21	15,88	22,68
		360	6.00	16,05	21,35	12,73	12,21	11,22	14,06	11,71	16,73

**Tableau (IV.10):**Les intensités des pluies de courte durée aux niveau des huit stations pour la période de retour 1000 ans

Période de retour	Fréquence	Durée (min)	Durée (h)	BATNA	BISKRA	N'GAOUS	T_EL_ABED	BOUHMAR	DJEMOURA	RAS EL -OUYOYN	BOUSSAADA
1000	0.1	15	0.25	248,50	467,20	201,91	167,83	148,50	268,81	190,41	306,69
		30	0.50	<b>150,86</b>	<b>268,33</b>	<b>120,05</b>	<b>103,31</b>	<b>91,41</b>	<b>157,63</b>	<b>113,22</b>	<b>182,36</b>
		45	0.75	112,67	194,00	88,57	77,78	68,83	115,36	83,53	134,54
		60	1.00	91,59	154,12	71,38	63,59	56,27	92,44	67,32	108,43
		120	2.00	55,60	88,52	42,45	39,15	34,64	54,21	40,03	64,47
		240	4.00	33,76	50,84	25,24	24,10	21,32	31,79	23,80	38,34
		360	6.00	25,21	36,76	18,62	18,14	16,05	23,26	17,56	28,28

### **IV.3. DEFINITION DES COURBES I.D.F :**

Les statistiques de l'intensité, durée, fréquence (IDF) caractérisant la pluviométrie et représentent les relations entre les intensités, la durée et la fréquence des pluies, celles-ci donnent ainsi la probabilité de diverses intensités de pluies pour diverses durés (5, 10,30

## ***Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)***

---

minute et 1, 2, 6...heure) en un lieu donné. Des courbes sont dérivées de ces statistiques dont chacune représente une certaine fréquence ou une certaine période de retour.

### **IV.4. UTILISATION DES COURBES I.D.F :**

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 et d'autre part de calculer succinctement des débits de projet et d'estimer des débits de crues ainsi que de déterminer des pluies de projet utilisées en modélisation hydrologique et cela dans le but de dimensionner les ouvrages hydraulique (avaloirs, drains agricoles...).

### **IV.5. CONSTRUCTION DES COURBES I.D.F :**

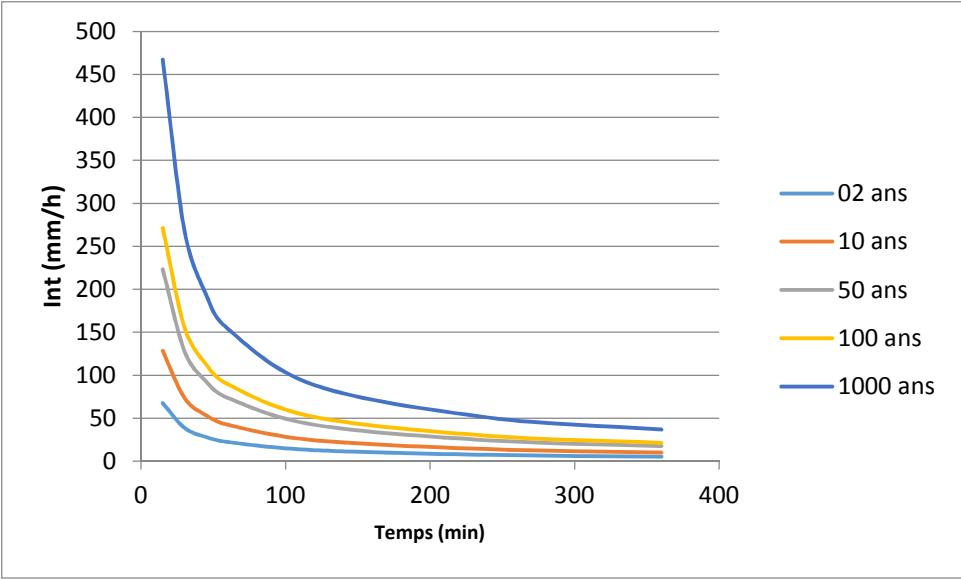
Le tracé des courbes IDF sont établies sur la base de l'analyse d'averse en reportant sur un graphique à échelle linéaire ou bilogarithmique la valeur en fonction du temps pour une période de retour donnée.

Des dépouillements complets des relevés pour divers intervalles de temps  $\Delta t$  permettent d'établir des familles de courbes donnant, pour une période de retour donnée, l'intensité moyenne sur l'intervalle de référence  $\Delta t$ .

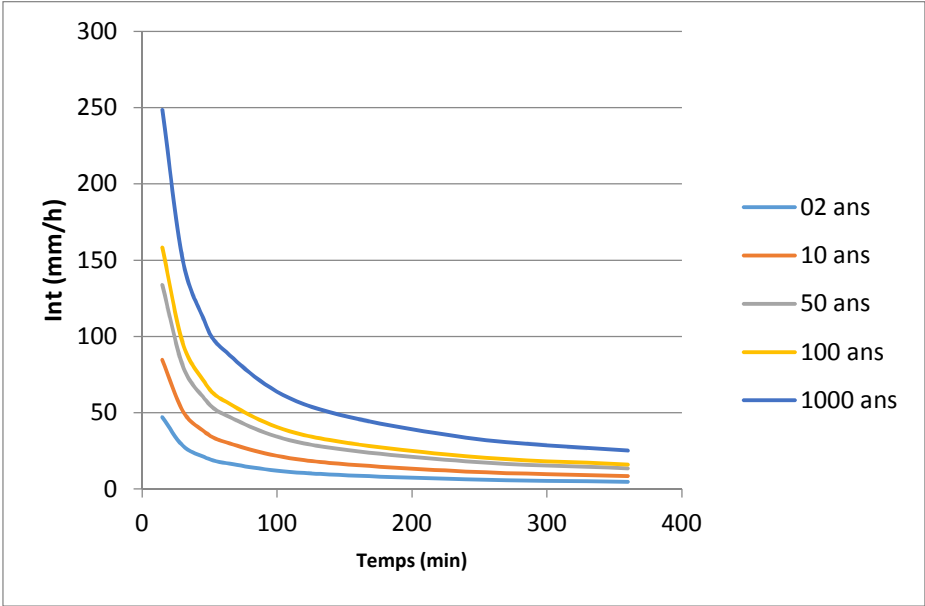
La démarche à suivre pour la construction des courbes IDF se résume comme suite :

- Construire Les courbes des hauteurs de pluie cumulée, relative à chaque averse de période de retour T à partir des pluviogrammes.
- A partir des courbes des hauteurs cumulées, on trace les hyétogrammes relatifs à chaque averse pour un pas de temps  $\Delta t$ .
- Sur chaque hyétogramme on détermine les intensités moyennes maximales à chaque intervalle de temps  $\Delta t$ .
- Pour chaque intervalle  $\Delta t$  de référence on classe les intensités moyennes maximales (I moy max) par ordre croissant.
- En utilisant se classement pour chacun des  $\Delta t$  on détermine les Intensités moyennes (IM) qui sont atteintes ou dépassées une fois en 1, 2,...10...30...1000 ans.

**Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)**

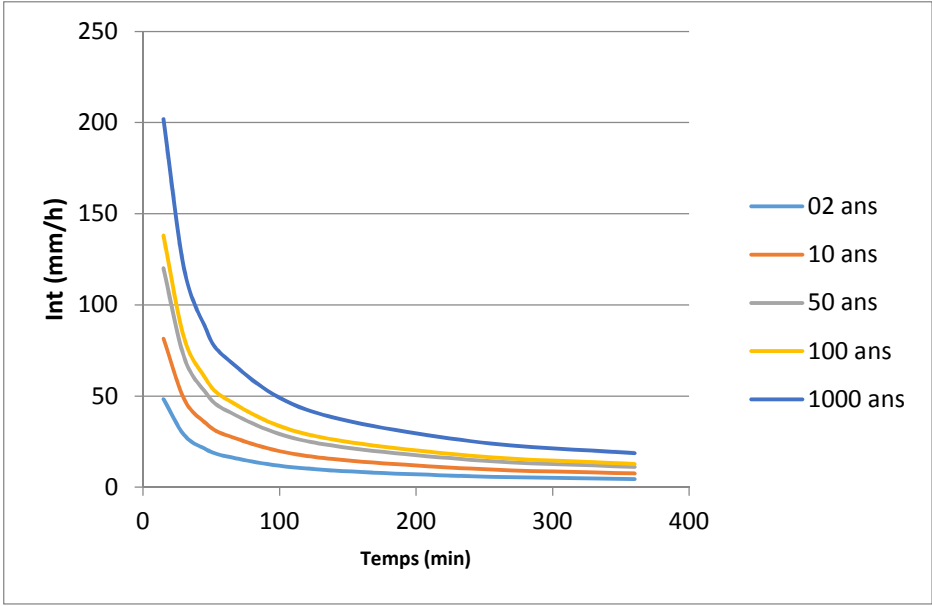


**Figure (IV.2) :**Courbe intensité-durée-fréquences, station BISKRA

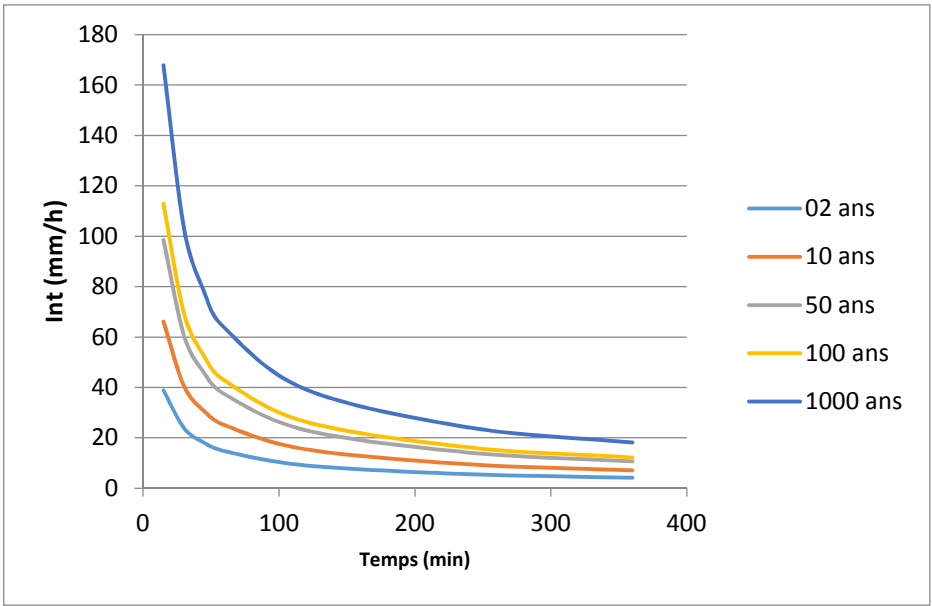


**Figure (IV.3) :**Courbe intensité-durée-fréquences, station BATNA

*Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)*

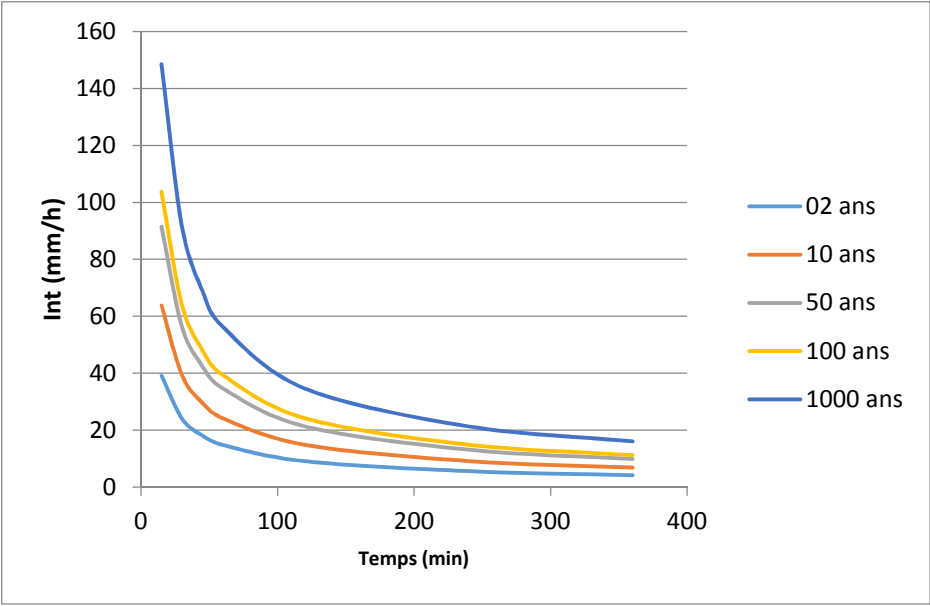


**Figure (IV.4) :**Courbe intensité-durée-fréquences, station N'GAOUS

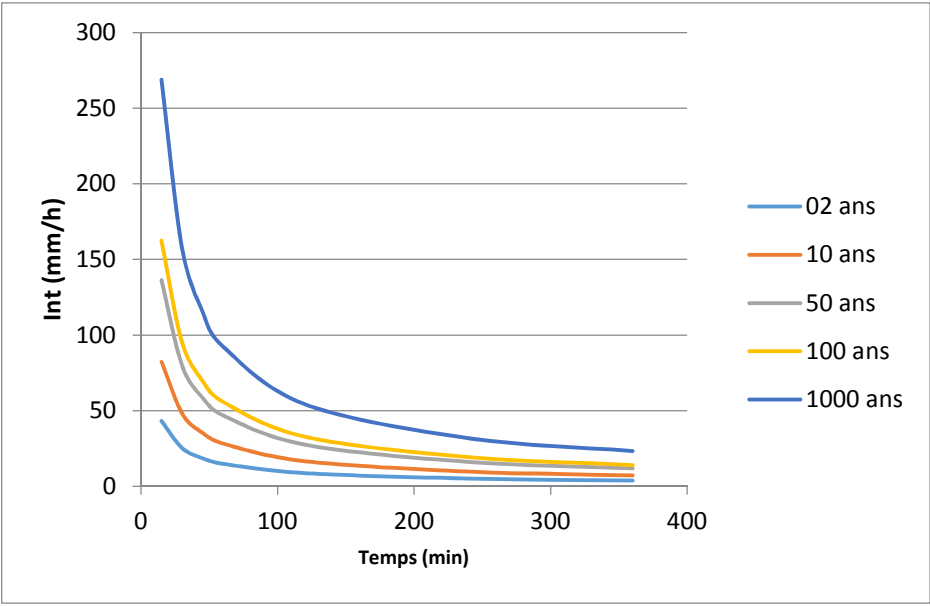


**Figure (IV.5) :**Courbe intensité-durée-fréquences, station T\_EL\_ABED

*Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)*



**Figure (IV.6) :**Courbe intensité-durée-fréquences, station BOUHMER



**Figure (IV.7) :**Courbe intensité-durée-fréquences, station DJAMOURA

## Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)

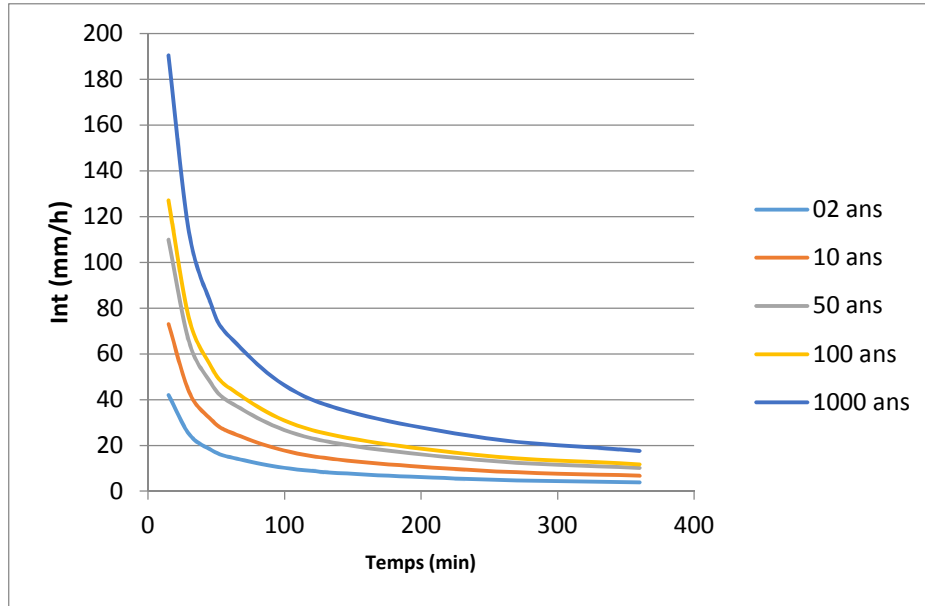


Figure (IV.8) : Courbe intensité-durée-fréquences, station RAS AYOYUN

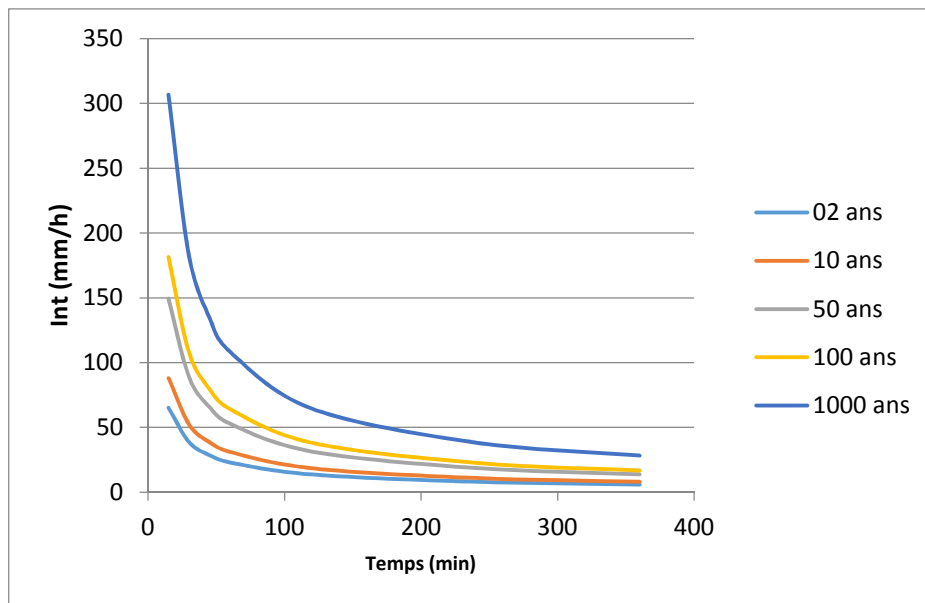


Figure (IV.9) : Courbe intensité-durée-fréquences, station BOUSSAADA

### IV.6. Etablissement des cartes des intensités de pluies de durée de 30 min pour les différentes fréquences :

L'analyse des pluies de courte durée, présente un intérêt particulier pour les études de dimensionnement des ouvrages hydrauliques et d'érosion et du transport solide.

## **Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)**

Dans cette partie du travail, nous allons tracer les cartes des intensités de pluies de durée 30 min, Pour dresser ces cartes, nous nous basons sur les résultats de calculs des intensités trouvés pour les huit (08) stations et pour différentes périodes de retour et nous utiliserons les mêmes outils de géo traitement utilisés dans les des précipitations journalières maximales.

Les intensités estimés pour les huit stations, et pour les différentes périodes de retour, sont présentés dans le tableau n° IV-8.

**Tableau (IV.11):**Pluies maximales journalières fréquentielles des différentes stations

<b>Int 30 min</b>	<b>Période de retour (ans)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>
	Fréquence	0.5	0.9	0.98	0.99	0.999
	Biskra	<b>38,79</b>	<b>73,77</b>	<b>128,17</b>	<b>155,84</b>	<b>268,33</b>
	Djemoura	<b>25,32</b>	<b>48,19</b>	<b>79,97</b>	<b>95,24</b>	<b>157,63</b>
	Thniet El-Abed	<b>23,93</b>	<b>40,70</b>	<b>60,67</b>	<b>69,50</b>	<b>103,31</b>
	Bouhmar	<b>24,05</b>	<b>39,26</b>	<b>56,29</b>	<b>63,86</b>	<b>91,41</b>
	Batna	<b>28,57</b>	<b>51,42</b>	<b>81,18</b>	<b>96,07</b>	<b>150,86</b>
	Rous El-Ayoun	<b>24,97</b>	<b>43,39</b>	<b>65,35</b>	<b>75,53</b>	<b>113,22</b>
	N'gaous	<b>28,69</b>	<b>48,40</b>	<b>71,42</b>	<b>82,06</b>	<b>120,05</b>
Boussaada	<b>38,74</b>	<b>52,35</b>	<b>88,90</b>	<b>107,90</b>	<b>182,36</b>	

Les cartes IV.10, IV.11, IV.12, IV.13, IV.14 et IV.15 présentent les pluies de durée 30 min des différentes fréquences.

Il s'avère que l'intensité de pluie de courte durée, croit d'une manière générale, en allant du secteur montagneux vers les plaines.

Ces pluies exceptionnelles sont l'origine de l'érosion, notamment dans les terrains fortement dénudé qui occupent une partie importante du bassin d'oued El-Hai.

**Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)**

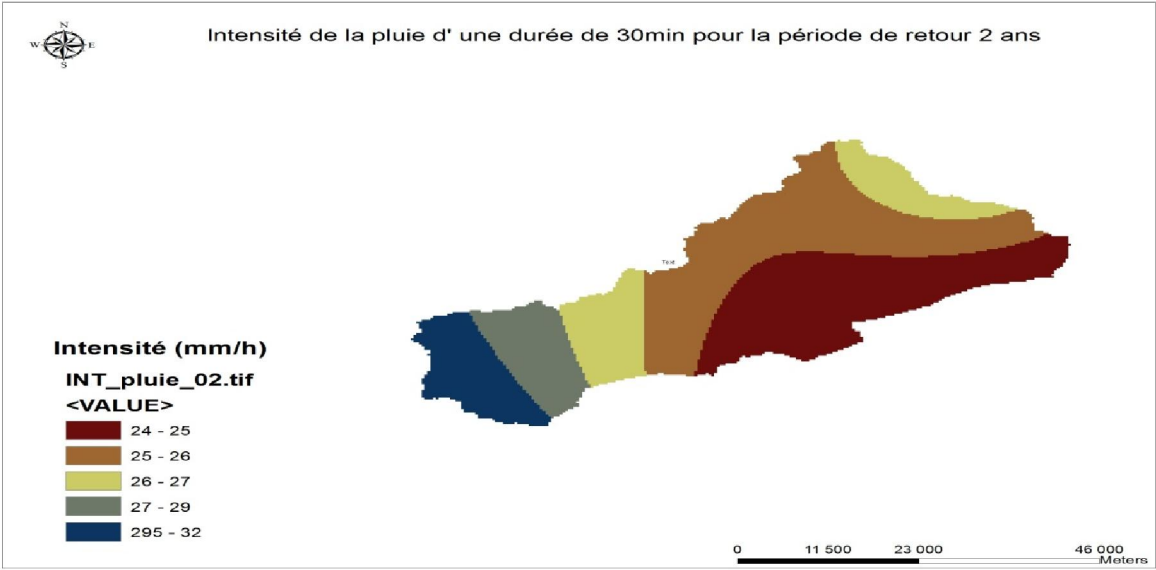


Figure (IV.10) : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 2 ans

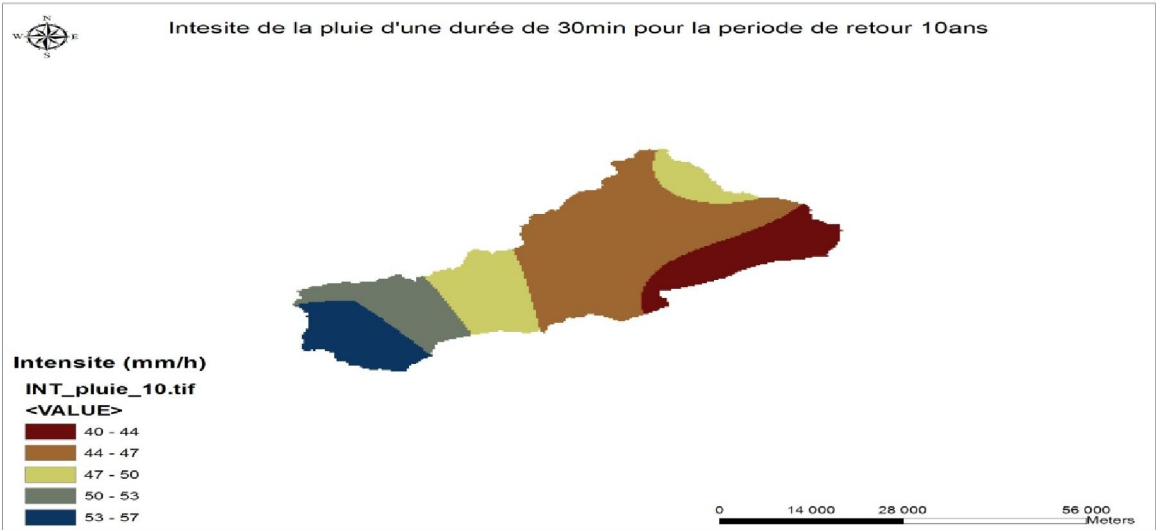
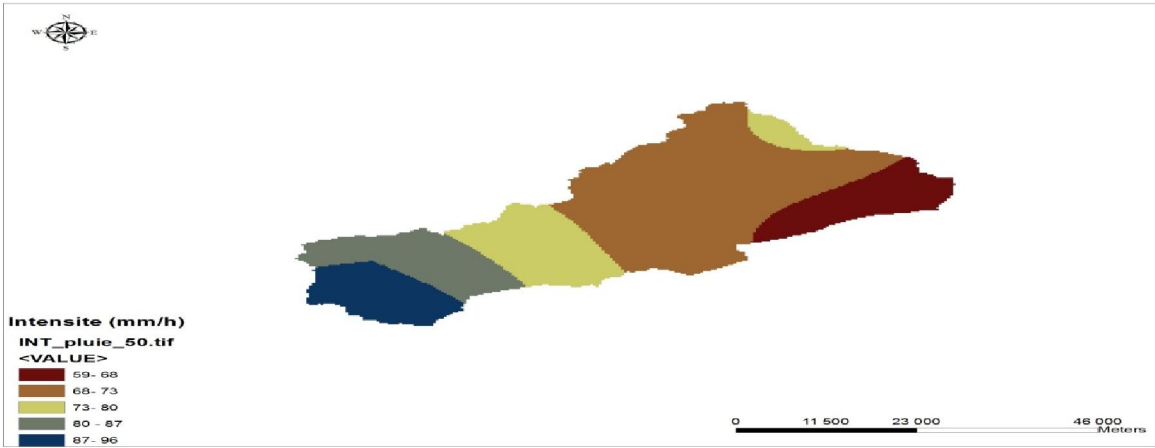
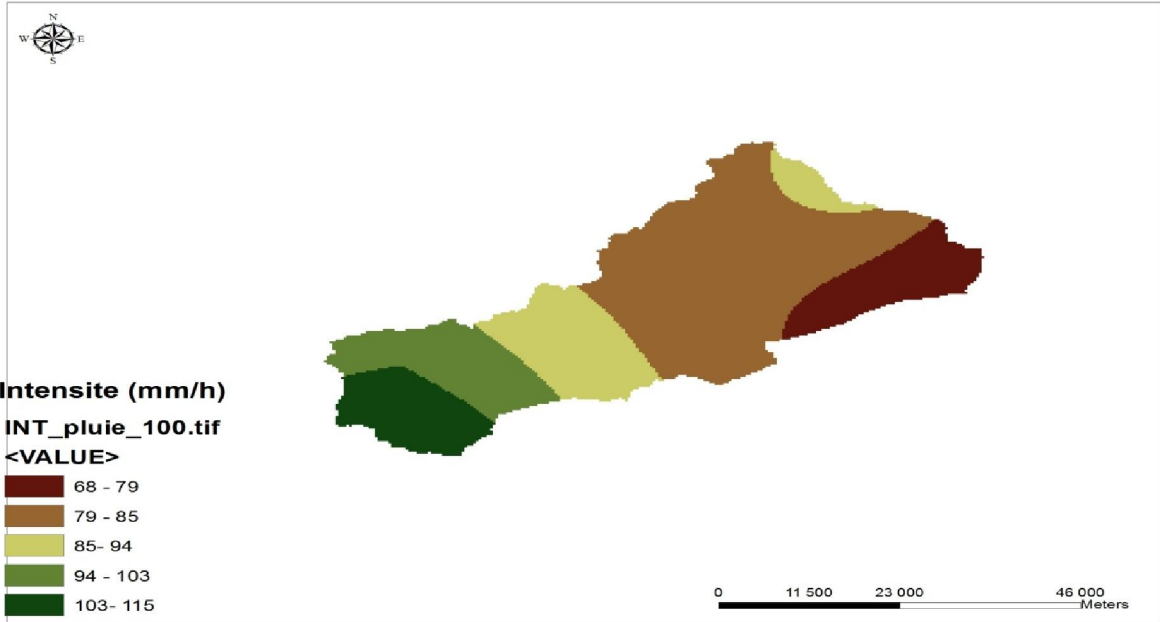


Figure (IV.11) : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 10 ans

*Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)*



**Figure (IV.12) :** Intensité de la pluie d’une durée de 30 min pour la période de retour 50 ans



**Figure (IV.13) :** Intensité de la pluie d’une durée de 30 min pour la période de retour 100ans

## Chapitre IV : Etude des intensités de courtes durées de différentes fréquences (IDF)

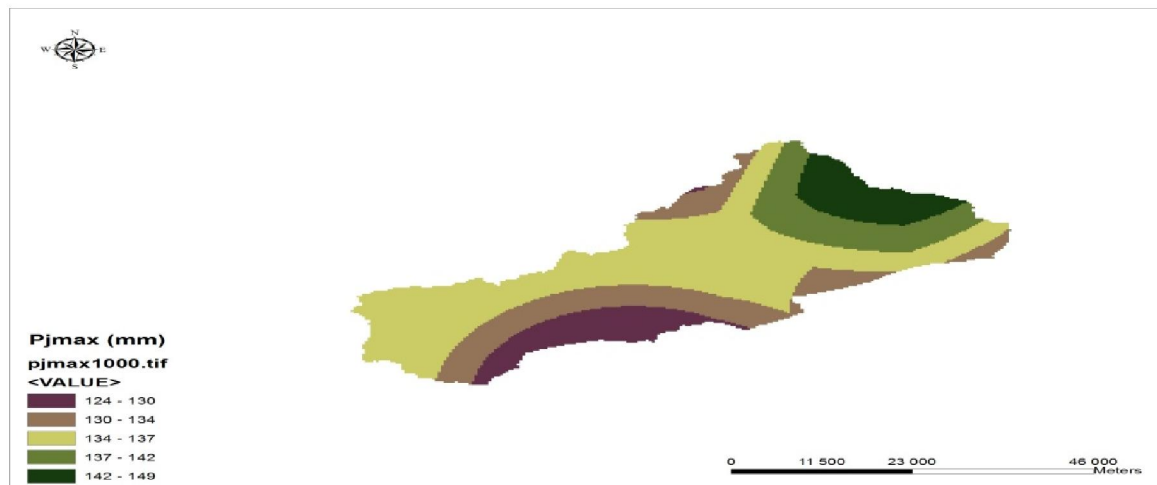


Figure (IV.14) : Intensité de la pluie d'une durée de 30 min pour la période de retour 1000 ans

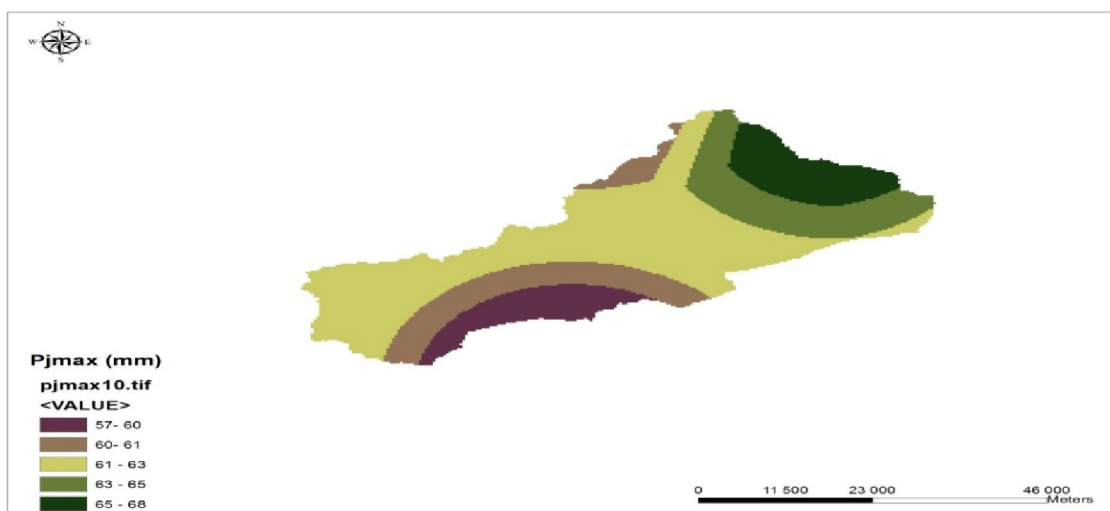


Figure (IV.15) : Précipitation journalière maximale pour la période de retour 10 ans



***Conclusion  
générale***

## *Conclusion générale*

---

### **Conclusion générale :**

L'estimation adéquate des précipitations extrêmes de courtes durées est une tâche indispensable pour le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques ainsi que l'élaboration des plans de prévention du risque d'inondations.

A travers cette étude, nous avons établi les cartes des précipitations journalières maximales de différentes fréquences et les cartes des intensités de pluies d'une durée de 30 min du bassin versant Oued El-Hai.

Pour atteindre cet objectif nous avons utilisé le logiciel : HYFRAN PLUS pour choisir la loi d'ajustement la plus adéquate et effectuer l'analyse fréquentielle.

L'analyse fréquentielle des séries de précipitations journalières maximales a permis le choix de la loi de **Galton**.

Après l'estimation des précipitations journalières maximales de différentes fréquences et en utilisant le logiciel ArcGis avec les méthodes de spatialisation (Krigage et IDW), nous avons dressé les cartes de pluies journalières maximales fréquentielles.

L'établissement des courbes IDF est réalisé par Excel après avoir déterminé les quantiles pour chaque période de retour et pour chaque une des durées.

Les cartes des pluies de durée 30 min ont été dressées à la fin de ce chapitre.

A travers les résultats obtenus nous constatons que l'intensité de courte durée, croît d'une manière générale, en allant du secteur montagneux vers les plaines.

Enfin, nous espérons que cette étude fera l'objet d'autres travaux pour qu'on puisse cartographier les précipitations extrêmes de courtes durées de l'Algérie.



***Référence  
Bibliographique***

## *Référence Bibliographique*

---

### **Référence Bibliographique**

- ANBT. (2017).** document de barrage. Document de barrage. Fontaine des gazelles, Biskra, Algérie : direction de barrage fontaine des gazelles.
- ANBT. (2004).** LEVES BATHYMETRIQUES DES BARRAGES EN EXPLOITATION. Fontaine des Gazelles : ANBT.
- CHEBBAH, M. (2007).** Lithostratigraphie, Sédimentologie et Modèles de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'Accident Sud Atlasique (Zibans, Algérie). CONSTANTINE : UNIVERSITE MENTOURI
- (MEYLAN ET AL, 1999).** Meylan, P et Musy, A, (1999). Hydrologie fréquentielle. Editions HGA, Bucarest. Hongrie.
- (J.P. LABORDE, 2000).** J.P. LABORDE. 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. (OMM, 1994). Organisation météorologique mondiale. Guide des pratiques hydrologique :Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications.
- (MOUSSU-MEMOIRE07+++).** 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.
- (CHRISTOPHE ANCEY, 2008).** 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.
- (ANDRE MUSY et CHRISTOPHE HIGY, 1998).** André Musy et Christophe Higy. Hydrologie Appliquée. Editions \*H\*G\*A\*, Bucarest.
- (DEFRANCE–2009).** Defrance, B. (2009) Plan de prévention des risques naturels d'inondation (PPRNi) Brévenne –Turdine. Compte-Rendu de la 1ère réunion publique le 1<sup>er</sup> octobre 2009 à Tarare. Chef du Service Environnement Risques et Développement durable (SERDD) pp 16.
- (BERTRAND-KRAJEWSKI et al. 2000).** Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI. Cours d'Hydrologie Urbaine Partie 2 : La pluie. Paris (France) : éditions du Seuil. 15/03/2007. VAUCHEL. (2015), Derniers développements du logiciel HYDRACCESS.