

## **1) Notations**

### ***Lettre latines***

Kc	: indice de compacité de GRAVELIUS
P	: périmètre
S	: surface
L	: longueur
l	: largeur
Km	: kilomètre
m	: mètre
mm	: millimètre
CV	: coefficient de variation
E(t)	: moyenne
Var(t)	: variance
Kn	: valeur statistique du test de Pettitt
H <sub>1</sub>	: Hypothese null
H <sub>0</sub>	: Hypothese alternative
Q	: quantité du seuil de signification
T	: période de retour
Ts	: intervalle de temps
K <sub>c</sub>	: nombre de classe
N	: taille de l'échantillon
I	: intensité de pluie
H	: hauteur de pluie
a, b	: paramètres climatiques
t	: Temps
Δt	: Pas de temps
K	: paramètre de la loi de GEV
u	: paramètre de la loi de Gumbel

### ***Lettres grecques***

α'	: Risque de première espèce seuil de signification
β	: paramètre
α	: Paramètre
ν	: Degré de liberté
χ <sup>2</sup>	: Khi deux

## **2) Abréviations**

OMM	: organisation mondiale de la météo
ANRH	: Agence National des ressources hydraulique
PP	: poste pluviométrique
SMP	: Station météorologique pluviométrique principale
SMA	: Station météorologique auxiliaire
IDF	: Intensité-durée-fréquence
GEV	: Valeurs extrêmes généralisée

## **LISTE DES FIGURES**

Figure I.1 Code et numéro des bassins versants de l'Algérie	4
Figure I.2 Bassin et sous bassins de la Tafna	5
Figure I.3. Cadre géographique de la Tafna et de la wilaya de Tlemcen	7
Figure I.4 : courbes hypsométriques et histogrammes de fréquences altimétriques des sous bassins de la Tafna	19
Figure I.5 Réseau hydrographique du bassin versant de la Tafna	21
Figure I.6 : Carte de vegetation du bassin versant de la Tafna	23
Figure I.7 Cadre géologique du bassin versant de la Tafna	27
Figure II.1 : Formation des gouttes nuageuses et des gouttes de pluies	31
Figure II.2 : Taille et caractéristiques des gouttelettes	31
Figure II.3 les différentes phases du système convectif	32
Figure II.4. Précipitations orographiques	33
Figure II.5. Front chaud et froid	34
Figure II.6: Nuage et précipitations associés a un front chaud et froid	35
Figure II.7: Pluviographe enregistreurs à auget basculeur	39
Figure. II.8 : Schémas représentatif des modifications des précipitations selon la forme du pluviomètre	40
Figure II.9. Erreurs de captation due à l'inclinaison de la pluie pour un terrain horizontal ou incliné	41
Figure III.1. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Beni Behdel	47
Figure III.2. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Bensekrane	47
Figure III.3. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Chouly	48
Figure III.4. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Maghnia	48
Figure III.5. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Meffrouche	49
Figure III.6. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Lalla Setti	49
Figure III.7. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Sabra	50
Figure. III.8. Etude de la tendance pluviométrique annuel par le test de Mann Kendall	56
FIGURE III.9 Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (automne) par le test de Mann Kendall	58
FIGURE III.10. Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (hivers) par le test de Mann Kendall	59
FIGURE III.11. Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (printemps) par le test de Mann Kendall	61

FIGURE III.12. Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (été) par le test de Mann Kendall	62
FIGURE III.13. Etude de la tendance pluviométrique maximale journalière par le test de Mann Kendall	64
FIGURE III.14. Etude de la tendance pluviométrique du nombre de jour de pluie par le test de Mann Kendall	65
FIGURE III.15. Etude de la tendance pluviométrique annuelle par le test de Pettitt	67
FIGURE III.16. Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (automne) par le test de Pettitt	69
FIGURE III.17. Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (hivers) par le test de Pettitt	70
FIGURE III.18. Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (printemps) par le test de Pettitt	72
FIGURE III.19. Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (été) par le test de Pettitt	74
FIGURE III.20. Etude de la tendance pluviométrique maximale journalière par le test de Pettitt	76
FIGURE III.21. Etude de la tendance pluviométrique du nombre de jour de pluies par le test de Pettitt	77
FIGURE .III.22. Histogrammes de nombre de jour de pluie par décennies à différents seuils Station de Bensekrane	80
 FIGURE III .23. Histogrammes de nombre de jour de pluie par décennies a différents seuils Station de Béni Behdel	81
FIGURE III .24. Histogrammes de nombre de jour de pluie par décennies à différents seuils Station de Meffrouche	82
Figure.VI.1. Définition de la notion de période de retour	84
Figure IV.1 ajustement des pluies maximales loi de GEV) Station Bensekrane	88
Figure IV.2. Ajustement des pluies maximales loi de GEV Station Beni Behdel	88
Figure. IV.3. Ajustement des pluies maximales loi de GEV Station Chouly	89
Figure. IV.4. Ajustement des pluies maximales loi de GEV Station Maghnia	89
Figure. IV.5. Ajustement des pluies maximales loi de (GEV) Station Meffrouche	90
Figure. IV.6. Ajustement des pluies maximales loi de (GEV) Station Lala Setti	90
Figure .IV.7. Ajustement des pluies maximales loi de GEV Station Sabra	91
Figure .IV.8. Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station Béni-Behdel	92
Figure .IV.9. Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station Bensekrane	93

Figure .IV.10. Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station Chouly	93
Figure .IV.11. Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station Maghnia	94
Figure .IV.12. Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station Meffrouche	94
Figure. IV.13 Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL Station de Lala Setti	95
Figure.1V.14. Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL Station de SABRA	95
Figure.1V.15. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel) Station Bensekrane	97
Figure.1V.16. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel) Station Chouly	98
Figure.1V.17. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel) Station Meffrouche	98
Figure.1V.18. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel) Station Béni Behdel	99
Figure.1V.19. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel) Station Maghnia	99
Figure.1V.20. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel) Station Lala Setti	100
Figure.1V.21. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel) Station Sabra	100
Figure. V.1 Exemple de courbe des hauteurs de pluies cumulées et hyéogramme	102
Figure. V. 2 Courbe intensité, durée, fréquences station MAGHNIA (T=1 an)	106
Figure. V. 3. Courbe intensité, durée, fréquences station MAGHNIA(T= 2 ans)	106
Figure. V.4. Courbe intensité, durée, fréquences station MEFFROUCHE	107
Figure. V. 5. Courbe intensité, durée, fréquence station de BENSEKRANE	108
Figure. V. 6. Ajustement a la loi de Montana station de MAGHNIA(T=1 an)	109
Figure. V. 7. Ajustement a la loi de Montana station de MAGHNIA(T=2 ans)	109
Figure. V. 8. Ajustement a la loi de Montana station de MEFFROUCHE	110
Figure. V.9. Ajustement a la loi de Montana station de BENSEKRANE	110

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I.1 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques de la Tafna	9
Tableau I.2: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Khemis	11
Tableau I.3: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Sebdou (haute Tafna)	12
Tableau. I.4: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mouillah (moyenne Tafna)	13
Tableau I.5 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Zitoun (Moyenne Tafna)	14
Tableau I.6 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Boumessaoud (Moyenne Tafna)	15
Tableau I.7: Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Sikkak (Moyenne Tafna)	16
Tableau .I.8: Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Sikkak (Moyenne Tafna)	17
Tableau I.9: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Isser	18
Tableau I.10: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Boukiou	18
Tableau III.1 : liste des stations pluviométriques étudiées	45
Tableau III.2 : Caractéristiques des totaux annuels	45
Tableau III.3 : Caractéristiques des précipitations a l'échelle saisonnière	46
Tableau III.4 : Caractéristiques des maximales journalières	50
Tableau III.5 : Caractéristiques des nombres de jours de pluies	51
Tableau III.6 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué a aux totaux annuels	54
Tableau III.7 : résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières	57
Tableau III.8 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières	57
Tableau III.9 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières	60
Tableau III.10 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières	60
Tableau III.11 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué les pluies maximales journalières	63
Tableau III.12 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué au nombre de jour de pluies	65
Tableau III.13 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle annuelle	66
Tableau III.14 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle saisonnière	68
Tableau III.15 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle saisonnière	68
Tableau III.16 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle saisonnière	71

Tableau III.17 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle saisonnière	71
Tableau III.18 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué sur les maximales journalières	75
Tableau III.19 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué au nombre de jour de pluies	77
Tableau III.20 : Répartition de nombre de jour de pluie par décennie a différents seuils station de Bensekrane	78
Tableau III.21 : Répartition de nombre de jour de pluie par décennie a différents seuils Station de Béni Behdel	78
Tableau III.22 : Répartition de nombre de jour de pluie par décennie a différents seuils Station de Meffrouche	79
Tableau .IV.1 : Résultats d'ajustement de la loi de GEV	91
Tableau. IV.2 : Valeurs des périodes de retour des stations selon la loi de GEV	92
Tableau. IV.3 : Résultats d'ajustement de la loi de GUMBEL	96
Tableau. IV.4 : Valeurs des périodes de retour des stations selon la loi de GUMBEL	96
Tableau. IV.5 : Tableau récapitulatif des résultats des paramètres des lois (GEV et GUMBEL)	96
Tableau. IV.6 : Tableau récapitulatif des résultats des périodes de retour selon les deux lois (GEV et GUMBEL)	97
Tableau V.1 : Averses sélectionnées	105
Tableau. V.2 : Résultats des intensités moyennes maximales (Station MAGHNIA) T=1an	105
Tableau. IV.3 : Résultats des intensités moyennes maximales Station MAGHNIA) T=2ans	106
Tableau. V.4 : Résultats des intensités moyennes maximales (Station MEFFROUCHE) T= 1 an	107
Tableau. V.5 : Résultats des intensités moyennes maximales (Station BENSEKRANE) T= 1 an	107
Tableau. V.6 : Valeurs des paramètres climatiques a et b de la loi de Montana	111

<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA</b>	3
I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	3
I.1.1. Les zones montagneuses	6
I.1.2. Les zones des plaines et des plateaux	6
I.2. MORPHOLOGIE :	8
I.2.1. FORME DU BASSIN VERSANT	8
I.2.2. RECTANGLE EQUIVALENT	8
I.3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE	8
I.3.1 Oued Isser	8
I.2.2 Oued Tafna	10
I.4. ETUDE DU RELIEF	10
I.4.1. Courbe hypsométrique	10
I.5. HYDROGRAPHIE	20
I.5.1. Haute Tafna	20
I.5.2. Moyenne Tafna :	20
I.5. 3. Basse Tafna	21
I.6. SOLS ET VEGETATION	21
I.7. GEOLOGIE DU BASSIN DE LA TAFNA	24
I.7. 2 Le secondaire :	25
I.7.3 le tertiaire	25
I.7.3.1 <i>L'éocène</i>	25
I.7.3.2 <i>Le Miocène</i>	25
I.7.4 Le plio quaternaire	26
I.6. CLIMAT DE BASSIN VERSANT	28
<b>CHAPITRE II. ETUDE DES PRECIPITATIONS</b>	30
II.1. FORMATION DES PRECIPITATIONS	30
II.2. LES PRINCIPAUX SYSTEMES PRECIPITANTS	32
II.2.1. Système précipitant convectifs	32
II.2.2. Système précipitant orographique	32
II.2.3. Système précipitant cycloniques ou frontaux	33
II.3. PRESENTATION DU RESEAU METEOROLOGIQUE	36

## *SOMMAIRE*

---

II.3.1. Organisation des données	36
II.3.2. les mesures de pluviométriques	37
<b>CHAPITRE III ETUDE D E LA STATIONNARITE</b>	<b>43</b>
III.1. GENERALITES	43
III.1.1 Définition de la stationnarité	43
III.1.2. Classification des tests de stationnarité	43
III.2. PRESENTATIONS DES STATIONS UTILISEES	44
III.3. PRECIPITATIONS SAISONNIERES :	46
III.4. ETUDE DE LA STATIONNARITE DE LA PLUVIOMETRIE	51
<b>CHAPITRE IV ETUDE PROBBLISTE DES VALEURES EXTREMES</b>	<b>83</b>
IV.1. INTRODUCTION	83
IV.2. DEFINITIONS DE QUELQUES PARAMETRES	83
IV.2. PRESENTATION DES THEORIES UTILISEES	84
IV.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS	85
IV.3.1. Application du test khi-deux	86
IV.4. COMPARAISON GRAPHIQUE ENTRE LES LOIS D'AJUSTEMENT	87
<b>CHAPITRE V : ETUDE DES IDF</b>	<b>101</b>
V.1. NOTION D'AVERSE ET D'INTENSITE	101
V.2. DEFINITION DES COURBES I.D.F	102
V.3. UTILISATION DES COURBES I.D.F	103
V.4. CONSTRUCTION DES COURBES I.D.F	103
V.5. COURBES IDF DE LA ZONE D'ETUDE	104
V.6. AJUSTEMENT A LA LOI DE MONTANA	108
V.5. DISCUSSION DES RESULTATS	111
CONCLUSION	112

# INTRODUCTION

## **INTRODUCTION :**

L'eau constitue l'un des éléments à la vie. Son intérêt a incité de nombreux scientifiques à faire des recherches approfondies afin de mieux contrôler et modéliser son cycle. Plusieurs sciences ont découlées de ces études effectuées durant des siècles, parmi lesquelles nous trouvons la mécanique des fluides, l'hydraulique, l'hydrologie....., selon le but et l'objet que l'on veut modéliser et estimer, on choisit la discipline adapté au but de l'étude. L'intérêt de ces études c'est de déterminer les besoins et la gestion de cette ressource.

Cette ressource est devenue un problème qui occupe le monde actuel et qui inquiète les hydrologues et les climatologues qui craignent des conséquences désastreuses sur la vie de l'être humain, l'environnement et l'industrie.

La région de la Tafna (l'Ouest de l'Algérie) est classée dans le climat semi-aride, orienté face au nord, subit l'influence des perturbations complexe du régime du bassin méditerranée. Les précipitations y sont irrégulières ; la pluie moyenne annuelle est de 350mm, la période pluvieuse s'étend de septembre à mai, toute fois il arrive souvent qu'on observe des séquences sans pluies dépassants le mois même en pleine saison d'hivers. La pluie ne tombe pas d'une façon continue, mais peut même se manifester en périodes sèches. D'autre part cette région est soumise à des précipitations intenses qui peuvent engendrer des crues et des inondations catastrophiques.

Pour mieux comprendre l'irrégularité des précipitations et de protéger cette régions des inondations et en vue d'un dimensionnement rationnel des réseaux d'assainissement et des canaux d'évacuation des eaux pluviales, Nous avons entamé une étude des précipitations dans le bassin versant de la Tafna. Notre travail s'organise au tour de cinq chapitres :

### **Chapitre I : Présentation du bassin versant de la Tafna**

Ce chapitre est réservé à la présentation du bassin versant ; la situation géographique, la structure égologique, le sol et végétation.....

### **Chapitre II : Etude des précipitations**

Ce chapitre est consacré a des rappels théoriques sur les précipitations ; formation et type de précipitations, les erreurs commises pendant l'enregistrement des valeurs de celles-ci.

## **INTRODUCTION**

---

### **Chapitre III : Etude de la stationnarité**

Ce chapitre est consacré à l'étude de la stationnarité de quelques stations pluviométriques implantées sur le bassin versant de la région d'étude, dont le but est de déceler d'éventuel changement dans le régime pluviométrique de la région, pour ce faire nous avons appliqué deux test de stationnarité à savoir : le test de Mann Kendall et le test de Pettitt. Nous avons appliqués ces deux test à des données de précipitations annuelles, saisonnières, journalières ainsi qu'au nombre de jour de pluie.

### **Chapitre IV : Etude probabiliste des valeurs extrêmes**

Dans cette partie nous avons ajusté les valeurs des maximales journalières à deux loi de probabilité : la loi de Gumbel et la loi des valeurs extrêmes généralisées (GEV), en appliquant la méthode des maximum de vrais semblance pour déterminer les paramètres de ces loi. En fin on vérifie l'adéquation de ces lois ajusté aux séries utilisées.

### **Chapitre V : Etude des IDF**

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à l'établissement des courbes IDF (courbes intensités durées fréquences) celles ci sont obtenues en faisant un dépouillement des pluviogrammes disponibles à fin de déterminer les intensités moyennes maximales à différents pas de temps (10min, 20,40, 1h 2.....6.) pour différentes périodes de retour.

En fin nous avons modélisé les courbes IDF retrouvées au modèle de Montana, afin de calculer les paramètres climatiques a et b des stations étudiées.

# **CHAPITRE I**

# **PRESÉNTATION DU**

# **BASSIN VERSANT**

# **DE LA TAFNA**

## CHAPITRE I : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA

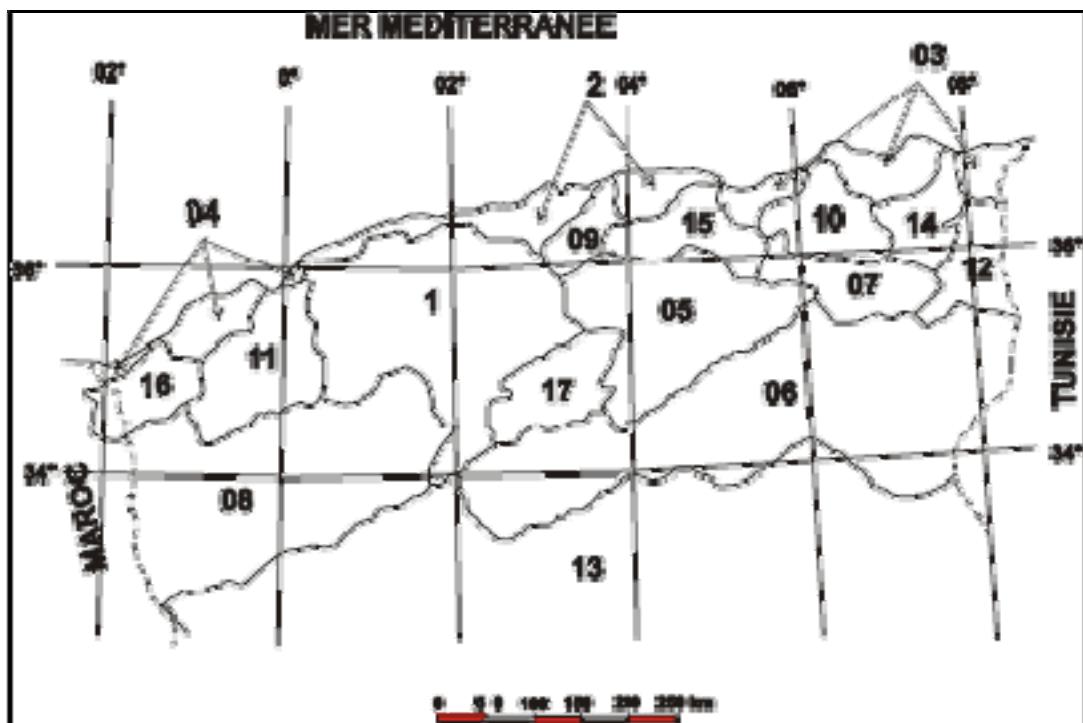
### I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le bassin versant de la Tafna est situé au nord-ouest de l'Algérie, il porte le numéro 16 (Figure I.1) il s'étend sur une superficie de **7245 km<sup>2</sup>**, constitué de huit (**08**) sous bassins (figure I.2), dont deux se trouvent en amont dans le territoire marocain englobant une superficie de 1950 km<sup>2</sup>, soit **27 %** de la superficie totale du bassin versant. :

- Sous bassin de oued Isser (Bensekrane)
- Sous bassin de oued Isser (Remchi)
- Sous bassin de oued Lakhdar (Chouly)
- Sous bassin de oued Sikkak
- Sous bassin de oued Enachef
- Sous bassin de oued Ouardefou
- Sous bassin de oued Boukiou
- Sous bassin d'oued Mouillah

Culminant à **1843 m**, djebel Chenoufi, le bassin est délimité par le principal relief mont de Tlemcen entre la méditerranée et les hautes plaines oranaises et relayé à l'ouest par le moyen atlas marocain et à l'est par les monts de DAIA (SAIDA).

Le bassin est constitué de principalement au Sud par une barre de montagne (800-1400 m d'altitude) axée WSW-ENE, dominant largement au Nord les régions de plaines de Maghnia, Hennaia et SIDI Abdelli. Cette structure orographique est dominée au Nord par les monts de Traras (1081 m) de faible largeur entraîne une barrière pour les précipitations ; ceci explique l'aridité de la plaine de Maghnia. .

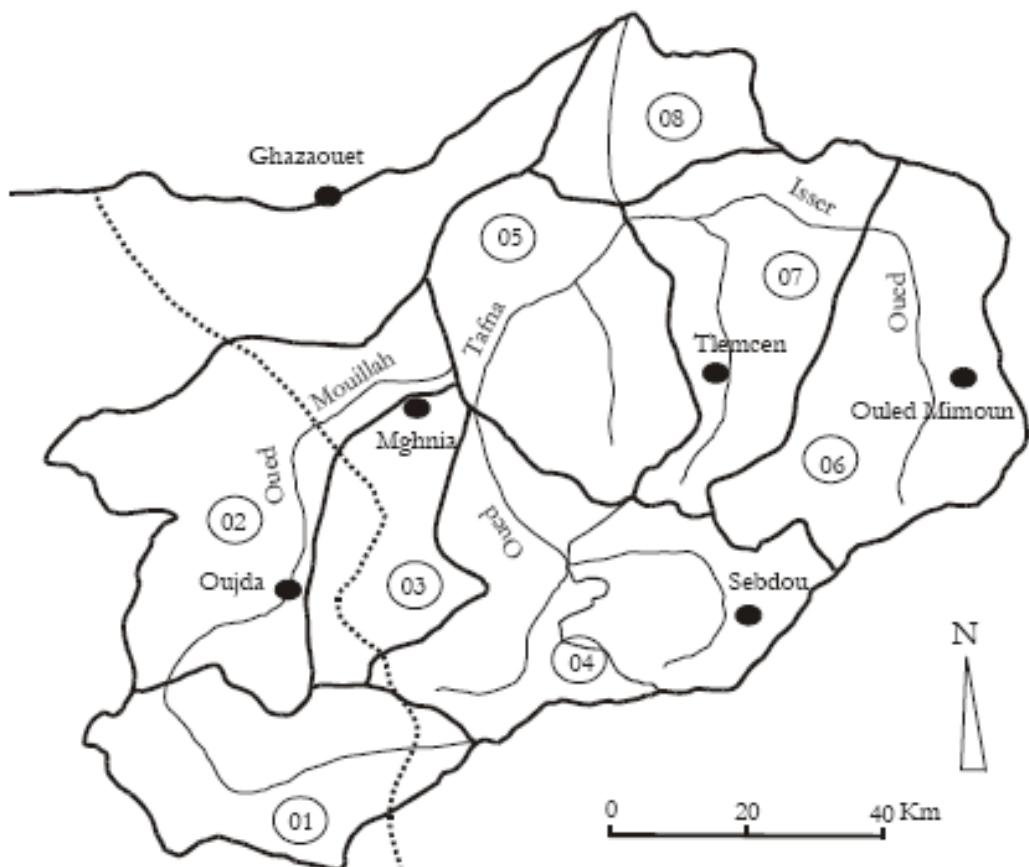


Code	Bassin
01	Cheliff
02	Côtière algéroise
03	Côtière Constantinois
04	Côtière oranais
05	Chott Medea
06	Chott MelMair

Code	Bassin
07	H. plattois constantinois
08	H. plattois oranais
09	Douz
10	Kebir Elmerdji
11	Macta
12	Medjerda

Code	Bassin
13	Sahara
14	Sergioune
15	Soummam
16	Tafna
17	Zabbez

Figure I.1 Code et numéro des bassins versants de l'Algérie [1]



**Figure I.2** Bassin et sous bassins de la Tafna [1]

Le bassin de la Tafna a une géographie diversifiée. On distingue principalement trois domaines (Voir la figure 2.3 ci-dessous).

- Au Nord, une chaîne montagneuse qui dresse une barrière entre le bassin versant et la mer : Ce sont les massifs des Traras et de Sebaa Chioukh.
- Au centre, on trouve une zone de plaine et de plateaux intérieurs : la plaine de Maghnia à l'Ouest qui se prolonge par les plaines d'Angad au Maroc et les plaines des Ghossels à l'Est.
- Au sud se dressent les monts de Tlemcen formant la bordure sud du bassin. L'altitude maximale dépasse les 1500m.

La plaine des Ghossels est parcourue par l'oued Tafna et ses affluents. Ce dernier prend ses sources dans les monts de Tlemcen. C'est un cours d'eau permanent de 117 km de long et reçoit deux affluents importants : Oued Mouillah et Oued Isser.

### I.1.1. Les zones montagneuses

Les zones montagneuses entourent en quelque sorte le bassin de la Tafna du côté nord-ouest, du côté sud et du côté Nord pour laisser au centre une zone de plaine et de dépressions. Ces zones sont :

- **Les monts des Traras :** C'est une chaîne montagneuse côtière de 1250km<sup>2</sup> qui occupe le Nord-Ouest de la wilaya de Tlemcen. C'est une zone qui se caractérise par de fortes pentes, l'érosion est donc intense. Le couvert forestier est localisé essentiellement dans la partie centrale aux alentours des monts les plus culminants (Djebel Fellaoucène).
- **Les monts de Sebaa Chioukh :** C'est une chaîne montagneuse de 250km<sup>2</sup> située au nord-est de la wilaya de Tlemcen. Elle forme le prolongement du côté est des monts des Traras. Ces terrains ont des pentes qui dépassent les 25%.
- **Les monts de Tlemcen :** Les monts de Tlemcen se situent au sud de la wilaya de Tlemcen formant la frontière sud du bassin versant. Ils occupent une superficie de 3000km<sup>2</sup> et s'étendent à l'ouest jusqu'au royaume du Maroc et à l'est jusqu'à la wilaya de Sidi Bel Abbés. Ils ont un relief très accidenté avec de fortes pentes et des altitudes moyennes entre 1200m et 1500m avec comme point culminant Djebel Chenoufi à 1843m.

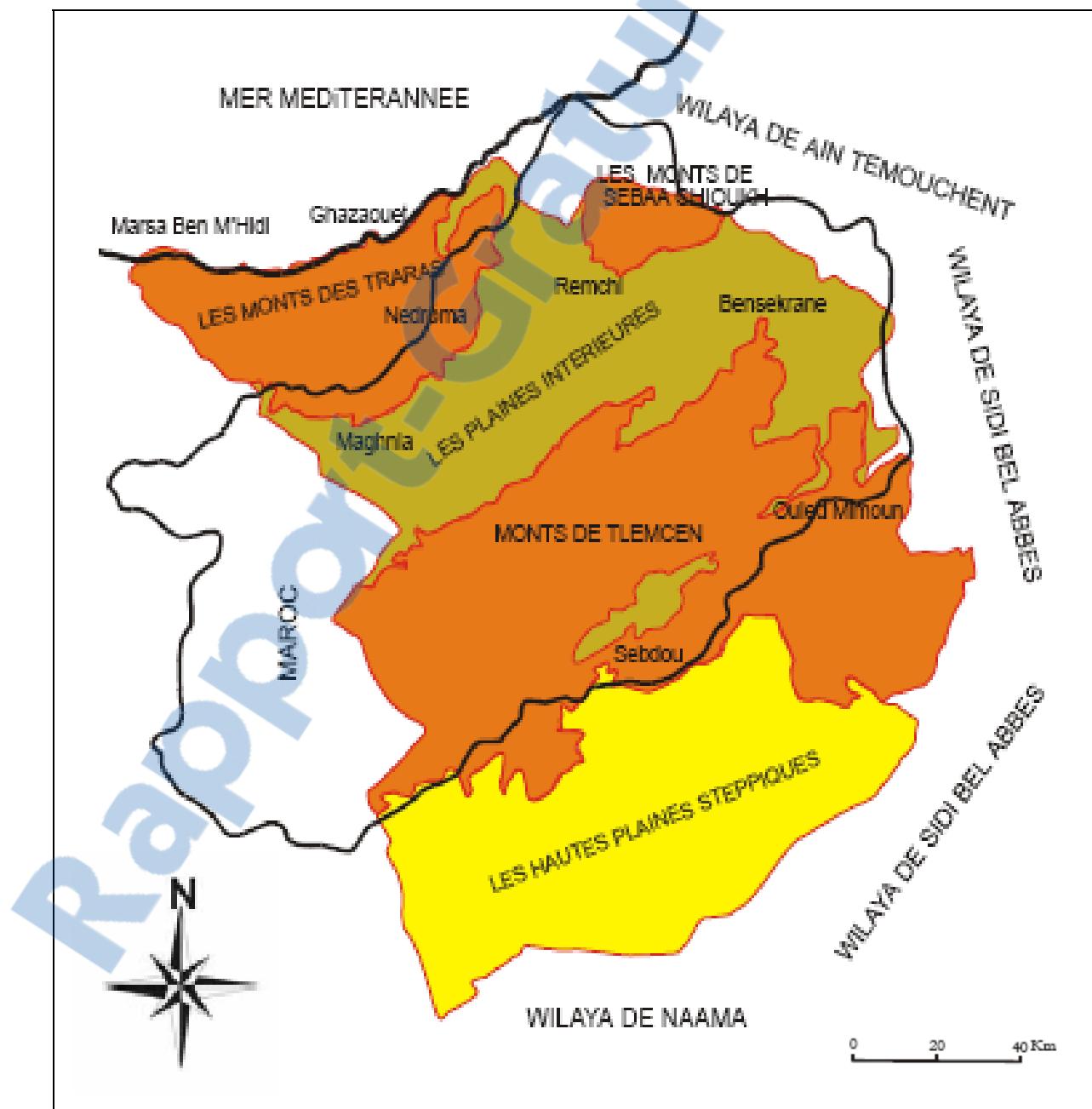
### I.1.2. Les zones des plaines et des plateaux

Les plaines et les plateaux occupent la partie centrale du bassin enfermée entre les zones montagneuses. La population se concentre principalement dans cette région. On distingue :

- **La plaine de Maghnia :** Elle est limitée au Nord et nord-est par les piémonts sud des Traras, au sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen et à l'ouest par un prolongement naturel formé par la plaine des Angad (Maroc). Cette plaine a une grande partie recouverte de limons très fertiles sauf dans sa partie centrale où on note la présence de sols salés. Les sols de la plaine sont limités en profondeur par des croûtes calcaires.
- **La plaine de Hennaya :** Elle est limitée au sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen, au nord par le plateau de Zenata. Ces sols sont formés par des dépôts d'alluvions récents. Par la position géographique et la structure granuleuse des sols, la plaine profite de la proximité des points d'eau (cours d'eau, nappe phréatique) pour développer une agriculture irriguée traditionnelle.

**Plateau de Zenata Ouled Riah :** Le plateau de Zenata Ouled Riah est situé au nord-ouest de la plaine de Hennaya, il est constitué de sols rouges méditerranéens reposant sur des encroûtements où parfois sur la carapace calcaire, la texture du sol est argilo-limoneuse.

- **Plateau Sidi Abdelli-Aïn Nahala :** Le plateau est formé des sols bruns calcaires, leur teneur en argile est de l'ordre de 45%. A la suite de la variation de l'humidité de ces sols, la structure se dilate en étant donnant naissance à de larges fentes. La teneur en calcaire dans ces formations est élevée en profondeur. In [2]



**Figure I.3.** Cadre géographique de la Tafna et de la wilaya de Tlemcen (In [2])

## I.2. MORPHOLOGIE :

### I.2.1. FORME DU BASSIN VERSANT :

On définit la configuration géométrique d'un bassin versant par un coefficient de compacité de GRAVELIUS  $K_c$  qui se traduit par le rapport entre le périmètre du bassin et la circonference du cercle ayant la même superficie de ce bassin. Il est défini par la formule si après :

$$Kc = 0.28 \times P / S^{1/2} \dots \dots \dots \text{I.1}$$

Avec:

**P : périmètre du bassin en km (P = 354, 8 Km)**

**S : surface du bassin en km<sup>2</sup> (S = 7245 km<sup>2</sup>)**

**Le bassin versant de la Tafna a un  $k_c = 1.16$  ; bassin versant allongé**

### I.2.2. RECTANGLE EQUIVALENT :

La notion du rectangle équivalent permet de comparer entre deux bassins versant du point de vue de leur caractéristiques morphogénétiques en matière d'écoulement superficiel. C'est une transformation géométrique, où le bassin devient un rectangle d'une longueur  $L$ , les courbes de niveau sont des droites parallèles à la largeur  $l$  du rectangle qui représente l'exutoire du bassin :

$$P = 2(L + 1) = Kc \cdot S^{1/2} / 0,28 \dots \dots \dots \text{I.2}$$

Avec

$$S \equiv 1, L \dots \dots \dots J_3$$

Pour notre bassin versant de la Tafna, on trouve :  $l = 63.7$  Km ;  $L = 113.7$  Km

Le tableau I.1 présente les caractéristiques de forme des sous bassin versants de la Tafna

**Tableau I.1 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques de la Tafna [3]**

<b>Bassins</b>	Superficie du bassin versant (Km <sup>2</sup> )	périmètre (Km)	Kc	Longueur (Km)	Largeur (Km)
Oued Khemis	350	93	1.39	37.23	9.4
Oued Sebdou	255.5	78	1.37	30.78	8.32
Oued Mouillah	2650	230	1.25	82.96	31.94
Oued Boumessaoud	118	59	1.52	24.53	4.81
Oued Zitoun	140	65	1.54	24	5.83
Oued En Nchef	86	46.7	1.41	9.04	9..51
Oued Sikkak	463	116	1.50	48.49	.9.55
Oued Chouly	288.9	115	1.28	21.7	13.31
Oued Isser (Bensekrane)	1139.74	180	1.49	85.26	13.37
Oued Boukiou	117.3	58	1.50	23.91	4.9

### I.3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Le bassin de la TAFNA dispose d'un réseau hydrographique qui s'organise autour de deux oueds principaux ; Isser à l'Est et la Tafna à l'Ouest recevant chacun des affluents descendant des reliefs;

#### I.3.1 Oued Isser :

C'est le plus grand affluent de la TAFNA. Il draine la partie la plus arrosée du bassin. Une station de contrôle implantée à Remchi permet l'évaluation des débits de cet effluent il est alimenté par deux (02) principaux oueds ; l'oued Sikkak qui draine les eaux du djebel Benian (1100 m) et la plaine de Hennaya, l'oued Chouly draine la partie la plus haute du sous bassin et les eaux du Djebel Dar Chikh (1616 m). Une station hydrométrique implantée à Chouly contrôle les eaux de cet oued.

**I.2.2 Oued Tafna :**

Il draine le mont de Tlemcen, les monts des Traras et une partie du moyen Atlas (Maroc). Il est alimenté par l'oued Boukiou et l'oued Mouillah au Nord Ouest, l'oued Sebdou et l'oued Khemis au Sud, drainant la partie Ouest du bassin. Les eaux de oued Tafna sont contrôlées par la station de la pierre du chat. L'oued Boukiou et l'oued Mouillah drainent les eaux de la chaîne Traras, l'oued Sebdou et l'oued Khemis drainent les eaux de la partie la plus haute du bassin à savoir les monts de Tlemcen.

**I.4. ETUDE DU RELIEF :**

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément très important qui caractérise le comportement hydrologique d'un bassin. Partant de la répartition par tranches d'altitudes des bassins, nous avons établi les courbes hypsométriques.

**I.4.1. Courbe hypsométrique :**

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologique (précipitations, débits,...est) étant en fonction de l'altitude. Plus l'altitude est importante plus les précipitations sont importantes.

La courbe hypsométrique a une grande influence sur les écoulements et la réception de la pluviosité elle permet de nous donner une idée sur les pentes du bassin et leur répartition en altitude.

La courbe hypsométrique est obtenue par le calcul planimétrique de la surface comprise entre différente tranche d'altitude, limitées par les courbes de niveau du terrain du bassin versant.

Les valeurs obtenues permettent de tracer cette courbe qui est déduite par la superficie du bassin en fonction des classes d'altitude.

**a) Oued Khemis :**

Le bassin d'Oued Khemis, d'une superficie de 350 km<sup>2</sup> est caractérisé par des pentes assez abruptes dépassant généralement 25% aux abords de l'oued. A l'Est et l'Ouest du bassin les pentes sont fortes à moyennes (de 3% à 25%).

**Tableau I.2:**Répartition hypsométrique du bassin d'oued Khemis [3]

Tranches d'altitudes	Ai ( Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai ( % )	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1700 - 1550	28.3	28.3	8.08	8.08	100
1550-1400	98	126.3	28	36.08	85.74
1400 -1250	134	260.3	38.28	74.36	71.45
1250 – 1100	29.6	289.9	8.45	82.81	57.16
1100 – 950	26.5	316.47	7.57	90.38	42.87
950 - 800	25.2	341.6	7.2	97.58	28.58
800 - 650	8.4	350	2.4	100	14.29

La courbe hypsométrique (tableau I.2 et Figure. I.4. a.) montre une concavité vers le bas, avec une pente faible vers les hautes altitudes. Elle indique la présence de pentes très fortes représentées par les Horsts qui délimitent le fossé. Vers les basses altitudes, la pente accentuée de la courbe hypsométrique indique que l'oued Sebdou se termine dans la vallée encaissée des Béni Snouss.

#### b) Oued Sebdou :

Le bassin versant occupe une superficie de 255,5 km<sup>2</sup> avec une altitude maximale de 1465 m. La longueur du thalweg principal est de 78 km. Le bassin est caractérisé par deux ensembles distincts :

- au Nord et au Nord Ouest par un Horst,
- au Sud et à l'Est par un graben rempli de sédiments plio - quaternaires correspondant au fossé de Sebdou.

La courbe hypsométrique (tableau I.3 et Figure. I.4.b.), montre une concavité vers le bas, avec une pente faible vers les hautes altitudes. Elle indique la présence de pentes très fortes représentées par les Horsts qui délimitent le fossé. Vers les basses altitudes, la pente accentuée de la courbe hypsométrique indique que l'oued Sebdou se termine dans la vallée encaissée de Béni Behdel.

**Tableau I.3:** Répartition hypsométrique du bassin d'oued Sebdou (haute Tafna) [3]

Tranches d'altitudes	Ai ( Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai (%)	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1465 - 1400	1.40	1.40	0.55	0.55	100
1400-1300	13.975	15.375	5.47	6.02	91.63
1300 - 1200	31.725	47.12	12.42	18.44	78.76
1200 – 1100	52.50	99.6	20. 55	38.99	65.89
1100 – 900	70.50	170.1	27.59	66.58	53.02
900 -800	16.30	245.7	6.38	96.17	27.28
800-700	9.60	255.3	3.76	99.93	14.41
700-688	0.20	255.5	0.08	100	1.54

Les pentes au niveau du bassin sont en majorité très fortes, 49.0% de la superficie est à pente supérieure à 25%. Cette classe de pente est localisée principalement au Nord et au Sud du bassin correspondant à la zone montagneuse. Au niveau du fossé de Sebdou, les pentes s'adoucissent et oscillent entre 0 et 3% occupant 10.50% de la superficie du bassin. A partir de cette zone, les pentes augmentent pour atteindre des valeurs de 3 à 12% s'étalant sur une superficie de 31.20% du bassin et de 12 à 25% sur une superficie de 9.30% de la surface totale du bassin.

### c) Oued Mouillah :

Le bassin de l'oued Mouillah occupe une superficie de 2650 km<sup>2</sup>. Dont la majeure partie se trouve sur le territoire marocain couvrant les plaines des Angads et de Maghnia. Le relief assez varié est constitué de zones de montagnes, de plaines et de vallées. La longueur du thalweg principal est de 124 km.

La forme de la courbe hypsométrique (tableau I.4 Figure. I.4.c), présente un l'état d'équilibre du bassin et donc un potentiel érosif moyen.

**Tableau.I.4:** Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mouillah (moyenne Tafna) [3]

Tranches d'altitudes	Ai ( Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1430 - 1400	26.80	26.00	0.98	0.98	100
1400-1200	306.00	332.00	11.55	12.53	97.39
1200 - 1000	381.00	713.00	14.38	26.91	79.92
1000 – 800	375.00	1088	14.15	41.06	62.45
800 – 600	414.50	1502.20	15.64	56.7	44.98
600-400	904.00	2406.5	34.11	90.81	27.51
400-285	243.50	2650	9.16	100	10.01

L'accentuation de la pente de la courbe vers les basses altitudes indique que la partie aval du bassin du Mouillah est bien occupée par la plaine importante de Maghnia-Angades. Vers les hautes altitudes, le relief accentué à l'amont du bassin est bien mis en évidence par la forme de la courbe hypsométrique. Les pentes sont en général très accentuées dépassant les 20% au niveau des zones montagneuses des monts des Traras au Nord-Ouest et les monts de Tlemcen au Sud. Entre ces zones à relief fort, on retrouve des pentes plus douces (entre 0 et 10%). Cette zone plus ou moins aplatie est localisée de part et d'autre de l'oued Mouillah et constitue la plaine de Maghnia.

#### d) Oued Zitoun :

La région est caractérisée par deux ensembles :

- au Nord, des affleurements miocènes au relief peu accusé et au réseau hydrographique lâche.
- au Sud, des affleurements jurassiques fortement entaillés et affectés de quelques grandes fractures

Le bassin d'oued Zitoun représente de fortes pentes à l'amont et se termine par une vallée encaissée à son point de confluence. Ceci est bien indiqué par la courbe hypsométrique (Tableau I.5 Figure I.4.d), dont la forme témoigne bien de l'état de vieillesse du bassin, engendré par la structure faillée que par l'érosion du bassin.

**Tableau I.5:** Répartition hypsométrique du bassin versant d’Oued Zitoun (Moyenne Tafna)  
[3]

Tranches d’altitudes	Ai (Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1326 - 1300	1.05	1.05	0.75	0.75	100
1300-1200	4.05	5.10	2.90	3.651	97.75
1200 - 1100	5.30	10.40	3.79	7.44	89.25
1100 –1000	7.15	17.55	5.11	12.55	80.75
1000– 900	6.15	23.70	4.39	16.94	72.25
900 - 800	7.53	31.23	5.38	22.32	63.75
800 – 700	8.83	40.06	6.31	28.63	55.25
700-600	10.45	50.51	7.46	36.09	46.75
600 -500	16.15	66.66	11.54	47.63	38.25
500 -400	29.17	95.83	20.84	68.47	29.75
400 - 300	27.47	123.30	19.62	88.09	. 21.25
300-200	13.15	136.45	9.39	97.48	12.75
200 - 150	03.55	140	2.54	100	4.25

### e) Oued Boumessaoud :

On y distingue trois secteurs :

- au Sud, une zone montagneuse caractérisée par les massifs calcaires et dolomitiques,
- au Nord, une dépression remplie de sédiments tertiaires et quaternaires, formant le plateau de Zenata.
- au centre, une zone intermédiaire où le relief s'accentue brusquement donnant une limite nette entre les terrains calcaréo-dolomitiques du Jurassique et les formations marneuses du Miocène. La forme de la courbe hypsométrique du bassin de l’oued Boumessaoud présente bien l’état d’équilibre du bassin, offrant un potentiel érosif moyen à faible (Tableau I.6 Figure I.4 Figure I.4.e.)

**Tableau I.6 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Boumessaoud (Moyenne Tafna) [3]**

Tranches d'altitudes	Ai ( Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1246-1200	1.725	1.725	1.46	1.46	100
1200-1100	5.125	6.85	4.34	5.8	.80
1100-1000	5.175	12.025	4.39	10.19	86.68
1000– 900	4.625	16.65	3.92	14.11	77.56
900 - 800	14.40	31.05	12.20	26.31	68.44
800 – 700	20.125	51.175	17.05	43.36	59.32
700-600	9.80	60.975	8.30	51.66	50.20
600 -500	9.325	70.3	7.90	59.56	41.04
500 -400	16.125	86.425	13.67	73.23	31.92
400 - 300	18.675	105.1	15.83	89.06	22.80
300-200	18.675	105.1	15.83	89.06	22.80
200 - 150	2.35	118	1.99	100	4.56

#### f) Oued Sikkak :

C'est un affluent rive gauche de l'oued Isser (lui même affluent rive droite de la Tafna) avec lequel il conflue au Nord d'Ain Youssef, prend naissance sur le plateau de Terny au Sud de Tlemcen à la source d'Ain Rhannous. Le bassin de l'oued Sikkak comprend deux secteurs bien distincts :

- au Nord et au centre, des dépressions remplies de sédiments tertiaires et quaternaires.

La zone montagneuse comprend :

- au Sud, le plateau de Terny entouré de plusieurs massifs élevés culminant au Djebel Nador (1579m).

La courbe hypsométrique du bassin de l'oued Sikkak indique la présence du plateau de Terny et les falaises d'El Ourit vers les hautes altitudes, et de la plaine d'Hennaya vers les basses altitudes. En outre, la forme de cette courbe présente bien l'état d'équilibre du bassin, offrant un potentiel érosif moyen à faible (tableau I.7 Figure.4.f)

**Tableau I.7:** Répartition hypsométrique du bassin versant d’Oued Sikkak (Moyenne Tafna) [3]

Tranches d'altitudes	Ai ( Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1500-1400	7.675	7.675	1.66	1.66	100
1400 – 1300	11.750	19.425	2.54	4.2	92.62
1300 – 1200	20.95	40.375	4.52	8.72	85.24
1200 – 1100	63.25	103.625	13.66	22.38	77.86
1100 – 1000	10.75	114.375	2.32	24.7	70.48
1000 – 900	12.65	127.025	2.73	27.43	63.10
900 – 800	20.975	148	4.53	31.96	55.72
800 – 700	28	176	6.15	38.01	48.34
700 – 600	45.150	221.15	9.75	47.76	40.96
600 - 500	58.975	58.975	58.975	58.975	58.975
500 – 400	67.025	347.15	14.48	74.98	26.20
400 – 300	72.075	419.225	15.57	900.55	18.82
300 – 200	38.075	457.3	8.22	98.77	11.44
200 - 145	5.7	463	1.23	100	4.06

### g) Oued Lakhder :

C'est un cours d'eau à régime permanent, il doit sa pérennité aux nombreuses sources qui l'alimentent telle que : Ain Tot Hammam, Ain Ouissert. Il se jette plus bas dans Oued Isser constituant ainsi son principal affluent. Il prend sa source dans les monts de Tlemcen à environ 900 m d'altitude.

**Tableau .I.8:** Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Lakhder (Moyenne Tafna) [3]

Tranches d'altitudes	Ai ( Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1616 -1500	2.06	2.06	0.71	0.71	100
1500 – 1400	20.41	22.47	7.06	7.77	89.62
1400 – 1300	54.35	76.82	18.81	26.58	80.64
1300 – 1200	37.49	114.31	12.98	39.56	71.66
1200 –1100	24.58	138.89	8.51	48.07	62.68
1100 – 1000	25.58	164.74	8.95	57.02	53.7
1000 – 900	23.29	188.03	8.06	65.08	44.72
900 –800	31.82	219.85	11.01	76.09	35.74
800 – 700	38.84	258.69	13.44	89.53	26.76
700 -600	26.26	284.95	9.09	98.62	17.78
600 –502	3.96	288.91	1.37	100	8.80

#### h) Oued Isser:

Son bassin versant a une superficie de 1140 km<sup>2</sup> avec une altitude maximale de 1625 m de la longueur du talweg principal est de 81 km. Cet oued prend sa source au niveau d'Ain Isser au sud d'Ouled el Mimoun. Sa confluence avec l'Oued Tafna a lieu dans la plaine de Remchi à 80 m d'altitude. Au nord ouest du bassin les pentes s'accentuent (15-30%).

Le bassin versant de oued Isser est caractérisé par deux zones :

- Au sud une zone montagneuse a forte pente.
- Au nord une zone de colline a pente douce

Au sud du bassin les pentes sont très fortes elles dépassent les 30% ; cette classe de pente est la plus fréquente au niveau du bassin versant de la Tafna., elle occupe une superficie de 365 km<sup>2</sup>. La zone médiane correspond aux plaines et plateaux où les pentes sont douces (10%).

**Tableau I.9:** Répartition hypsométrique du bassin d'oued Isser [3]

Tranches d'altitudes	Ai ( Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées ( Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1652-1200	203.68	203.68	17.87	17.87	100
1200 - 1000	182.45	386.13	16.00	33.87	68.50
1000 – 800	176.07	562.6	15.45	49.32	53.69
800 – 600	279.8	842	24.55	73.87	38.88
600-400	257.8	1099.16	22.56	96.43	24.07
400-285	40.58	1137.74	3.656	100	9.26

**i) Oued Boukiou:**

Le bassin versant de Boukiou présente une pente assez forte en descendant du Djebel Filliaoucene.

**Tableau I.10:** Répartition hypsométrique du bassin d'oued Boukiou [3]

Tranches d'altitudes	Ai (Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées (Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1338 - 1100	0.3	0.3	0.26	0.26	100
1100-100	4.0725	1.025	0.62	0.88	96.3
1000– 900	0.875	1.6	0.49	1.37	86.67
900 - 800	1.05	2.65	0.90	2.27	77.04
800 – 700	2.375	5.025	2.02	4.29	67.41
700-600	6.225	11.25	5.31	9.6	57.78
600 -500	15.65	26.9	13.34	22.94	48.15
500 -400	20.325	47.225	17.33	40.27	38.52
400 - 300	24.45	71.675	20.84	61.11	28.89
300-200	33.47	105.15	28.54	89.65	19.26
200 - 100	12.14	117.3	10.36	100	9.63

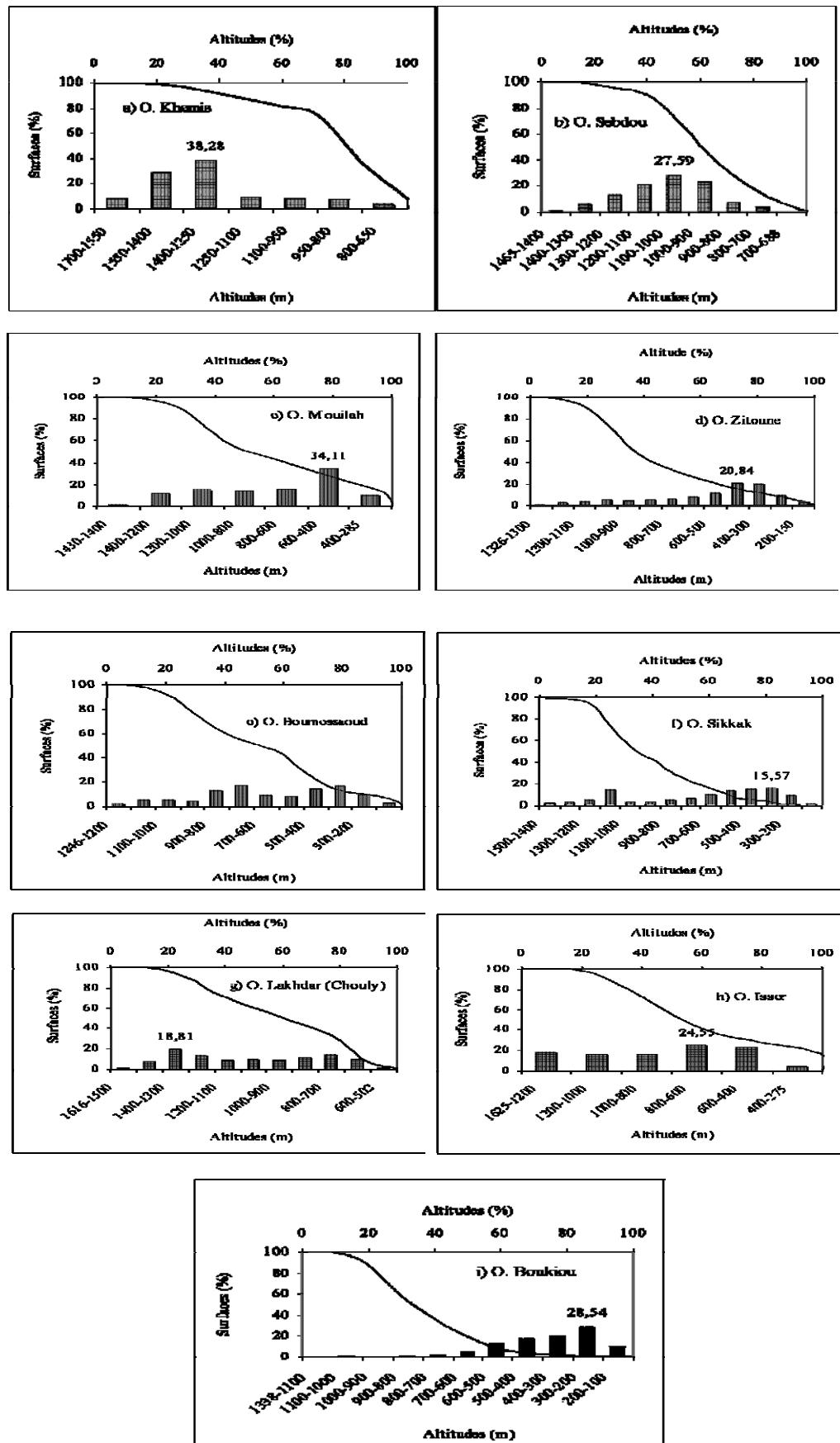


Figure I.4 : courbes hypsométriques et histogrammes de fréquences altimétriques des sous bassins de la Tafna [3].

## I.5. HYDROGRAPHIE

L'extrême Ouest du bassin se situe dans le territoire Algérien. Le cours d'eau de cet oued est divisé en trois (03) parties :

- La haute Tafna
- La moyenne Tafna
- La basse Tafna

### I.5.1. Haute Tafna :

L'oued prend naissance dans les Ouled Ouriach et se dessine après la jonction d'un grand nombre de ramifications creusées dans les terrains Jurassiques et descendant de crêtes atteignant les 1500m où ils se réunissent aux environs de Sebdou à une altitude de 900 m . A partir de là et jusqu'à Sidi Mdjahed, l'oued suit un cours dans une vallée encaissée, creusée dans les terrains Jurassiques.

### I.5.2. Moyenne Tafna :

En partant de Sidi Mdjahed, l'oued pénètre dans le bassin tertiaire et coule dans une vallée peu profonde dans des terrains plus au moins argileux. De là, la Tafna suit une direction Nord-Sud jusqu'à Bled chaaba, puis se dirige vers le Nord – Est. Cette partie du bassin qui forme le tertiaire sillonnée par plusieurs affluents.

Notant que sur la rive gauche, les affluents sont moins importants que sur la rive droite. Seul l'oued Mouileh, qui prend naissance au Maroc.

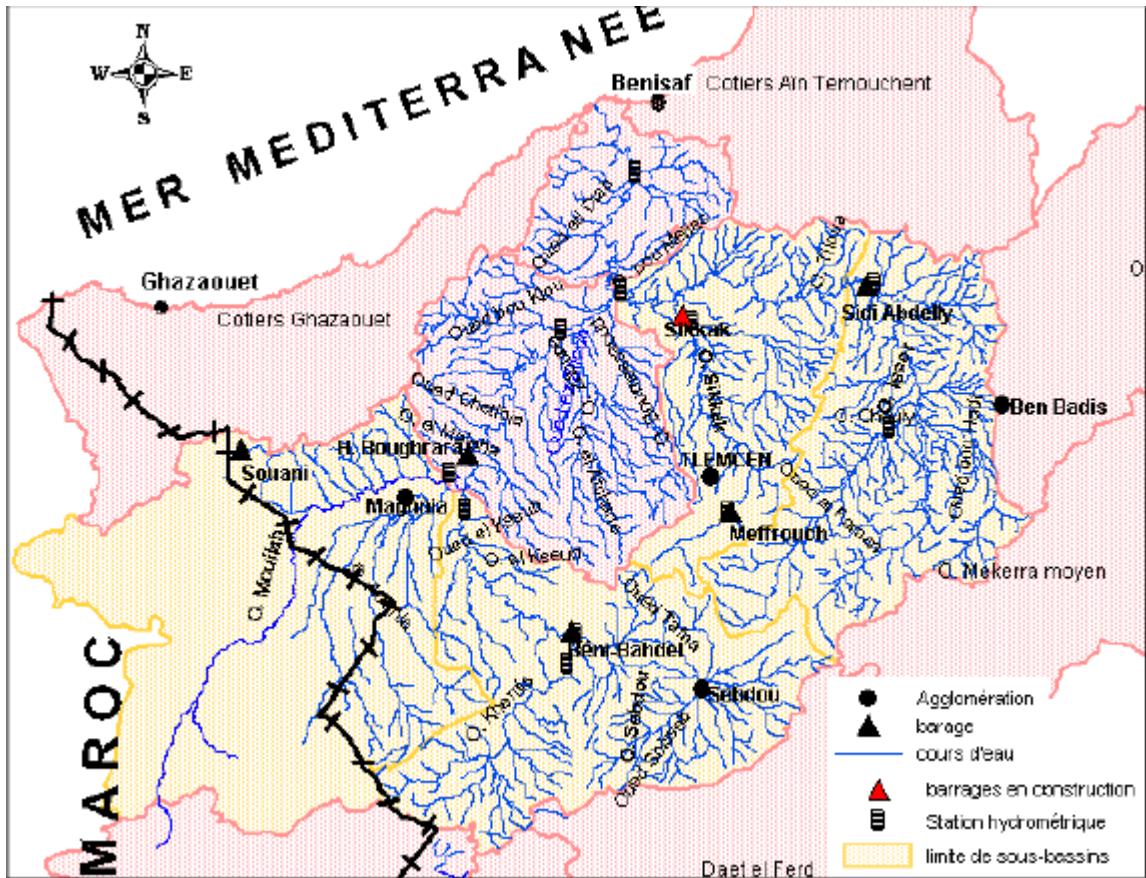
Entre Bled chaaba et les gorges de Lahouret, la Tafna reçoit de nombreux affluents qui prennent naissance dans les Traras. Nous citerons l'oued El Malha, l'oued Dick Chetibia, l'oued El Habalat, l'oued Boukiou et l'oued Dahmane.

Concernant la rive droite, la Tafna reçoit les oueds Ksob, Siouf El Nirouf, Roumana, Zitoun et l'oued Isser qui est l'un des plus importants affluents.

L'oued Isser prend naissance dans les terrains jurassiques sur les territoires de Beni Smiel et s'étend vers l'Est de la haute Tafna. Celui-ci suit une direction Nord-Sud et grossi, au Nord de Ouled Mimoune, par l'oued Chouly (rive gauche) et l'oued de Ain Tallout (rive droite). A l'extrémité occidentale de cette plaine il reçoit sur la gauche un cours d'eau assez important, l'oued Sikkak qui descend du massif de la haute Tafna sous le nom de l'oued Meffrouche et pénètre dans le bassin tertiaire sous le nom de l'oued Saf-Saf.

### I.5. 3. Basse Tafna :

Le cours d'eau s'étend des gorges de Lahouret jusqu'à la mer, sur une longueur de 20 km. Il reçoit des affluents beaucoup moins importants, de direction Est-Ouest qui sont l'oued Lemba et l'oued Fed El Atouch sur la rive droite et l'oued Ben-Djelloul sur la rive droite.



**Figure I.5** Réseau hydrographique du bassin versant de la Tafna [3].

### I.6. SOLS ET VEGETATION

Les sols du bassin de la Tafna sont composés de quatre grands ensembles :

- les terres d'alluvions qui recouvrent les basses terrasses et les lits majeurs des oueds,
- les terres caillouteuses aux piémonts des monts de Tlemcen et des Traras,
- les terres rouges à encroûtement, localisées dans les plaines de Maghnia et Ouled Riah,
- les terres marneuses, couvrant une grande partie de la région de Tlemcen.

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement.

L'occupation végétale a une influence directe sur l'écoulement fluvial aussi bien que facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le

couvert végétal est plus dense. Cette influence de la forêt sur le régime des eaux en domaine méditerranéen a un rôle considérable. Le paysage végétal du bassin de la Tafna a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies et par une petite agriculture extensive et un surpâturage endémique. Ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion. Dans les bassins ; Sebdou, Mouillah, Isser et Sikkak, à l'exception du périmètre organisée de Maghnia, les aires d'irrigation sont localisées essentiellement dans la plaine d'Hennaya et au niveau des vallées des oueds tels que oued Isser et oued Saf Saf affluent du Sikkak. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts de Tlemcen et une partie des monts des Traras.

Pour la distribution du couvert végétal par bassin, nous avons rassemblé et classé les diverses formes de culture de la façon suivante :

- **Cultures extensives** : elles rassemblent toutes les cultures annuelles telles que les céréalicultures, les cultures maraîchères et l'association entre l'arboriculture et le maraîchage.
- **Couvert forestier dégradé** : sont rassemblés sous ce thème les maquis et les forêts clairs, les zones en cours de reboisement, les forêts et les maquis dégradés par l'utilisation excessive du sous sol forestier, le pâturage sauvage et irrationnel compromettant la rénovation, le déboisement intégral pour installer d'autres cultures et les effets des incendies. Dans le mont de Tlemcen, on observe un matorral élevé à moyen de la série du Toya, avec des enclaves à pin d'Alep, chêne verts et chêne liège. Ces dernières forment de petites forêts comme celle de Zarifet qui a été incendiée en 1984. [3]
- **Couvert forestier normal** : représenté essentiellement par les forêts et les maquis denses n'ayant subi aucune dégradation que ce soit par l'action de l'homme (pâturage sauvage, déboisement) ou par l'effet des incendies.
- **Arboriculture** : représentée principalement par les vignobles et l'oliveraie, et les agrumes, vergers et murais en quantité inférieure.
- **Couvert mort** : sont désignés par ce terme tous les terrains sur lesquels n'est présente aucune forme de végétation ou de culture utilisable, rendu nu par l'érosion ou par d'autres formes de dégradation.
- **Prairies et terrains de pacage** : représentés par les surfaces qui sont utilisées pour la plupart en pâturage direct des animaux, les terres occupées par l'alfa et la lavande [3].

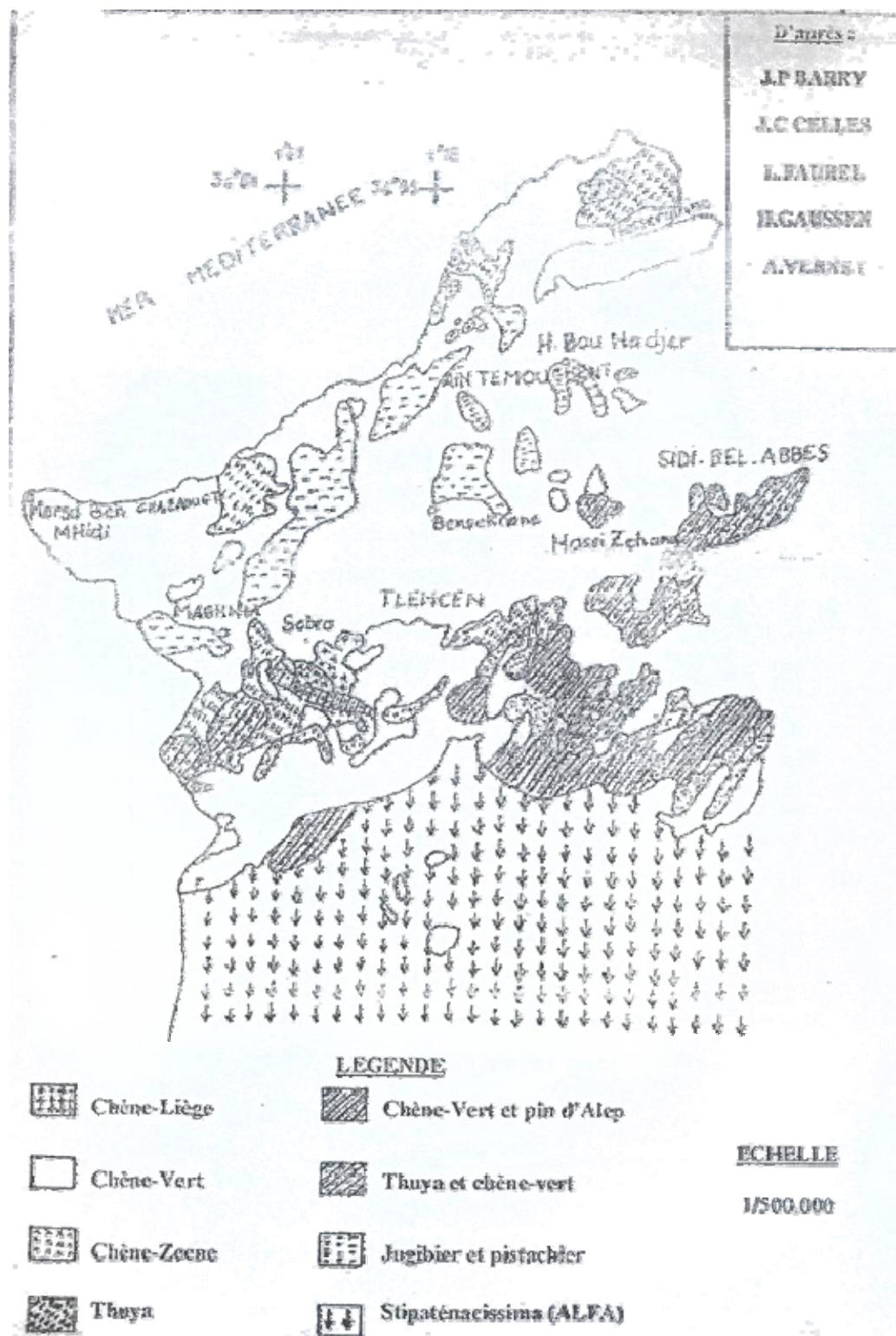


Figure I.6 : Carte de végétation du bassin versant de la Tafna [4].

## I.7. GEOLOGIE DU BASSIN DE LA TAFNA :

La géologie d'un bassin versant à une influence directe dans l'étude hydrologique d'un bassin versant notamment sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, une formation de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue engendre une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, une formation de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise un ruissellement des eaux superficielles aux dépend de l'infiltration.

Le bassin versant de la Tafna est caractérisé par une géologie complexe et diversifiée. L'évolution des terrains au niveau de ce dernier va du primaire au plio – quaternaire [5].

Nous distinguons :

La partie sud du bassin est constituée des monts de Tlemcen qui sont formées par des affleurements calcaires très Karstifiés. Ceci favorise l'infiltration des précipitations intense ou l'eau ressort par des résurgences situées sur les pourtours.

La partie orientale est formée par des argiles dont les affleurements sont apparents dans le noyau de l'anticlinal érodé de la haut Isser.

Au nord, les dépôts alluvionnaires constituée de marnes sableuses ou d'argile peu perméables ou les chenaux, ces sédimentations ont donné des conglomérats très rocheux, présentant les principaux aquifères actuellement exploités (nappe de Maghnia et Hennaya).

A l'échelle régionale, le bassin présente un pendage d'ensemble faible vers l'Est. Tout le long de la frontière marocaine, les grés affleurent en couches ayant un pendage Est, et les écoulements souterrains se font comme les écoulements superficiels, vers la vallée de la Tafna [6].

### I.7.1. Le primaire :

Il affleure dans la région des Traras, il est caractérisé par des dépôts d'argiles et des sables siliceux. Ces sédiments ont donné des schistes et des quartzites puissants qui ont été fortement modifiés par des masses granitiques (granite de Nedrouma). Ces dépôts primaires ont subi des plissements intenses, qui ont donné lieu à l'enchaînement du massif Tellien des Traras.

### I.7. 2 Le secondaire :

Il est représenté par le jurassique supérieur. On reconnaît les grés de boumedienne. Il s'agit de grés blanc à ciment calcaire et dolomitique. Se présente en bancs massifs entrecoupés par de nombreux passes marneux .cette formation présente de grandes surfaces d'affleurements. Dont les plus importantes sont celle du ; plateau de Terny et l'anticlinale de l'Ouled Mimoun. Notant aussi les calcaires de Zarifet bien exposé dans la région de Tlemcen cette formation se trouve à la base de successions carbonatées du jurassique supérieur. Il s'agit de calcaire bleus à géoïde dont les bancs occupent une position intermédiaire entre les dcgrés de Boumediene et les dolomies de Tlemcen.

### I.7.3 le tertiaire :

#### I.7.3.1.1 L'éocène :

La formation affleure en très faible surface au niveau de Ain Berkouk ; c'est un ensemble gréseux avec passage de bancs de Poudingues ; dans la vallée de oued Isser près de la confluence avec oued Tafna, le massif de Sbaa - chioukh est constitué de grés siliceux, jaune à rougeâtre, assez friable à ciment argileux alternant avec des marnes argileuses verdâtres.

#### I.7.3.2 Le Miocène :

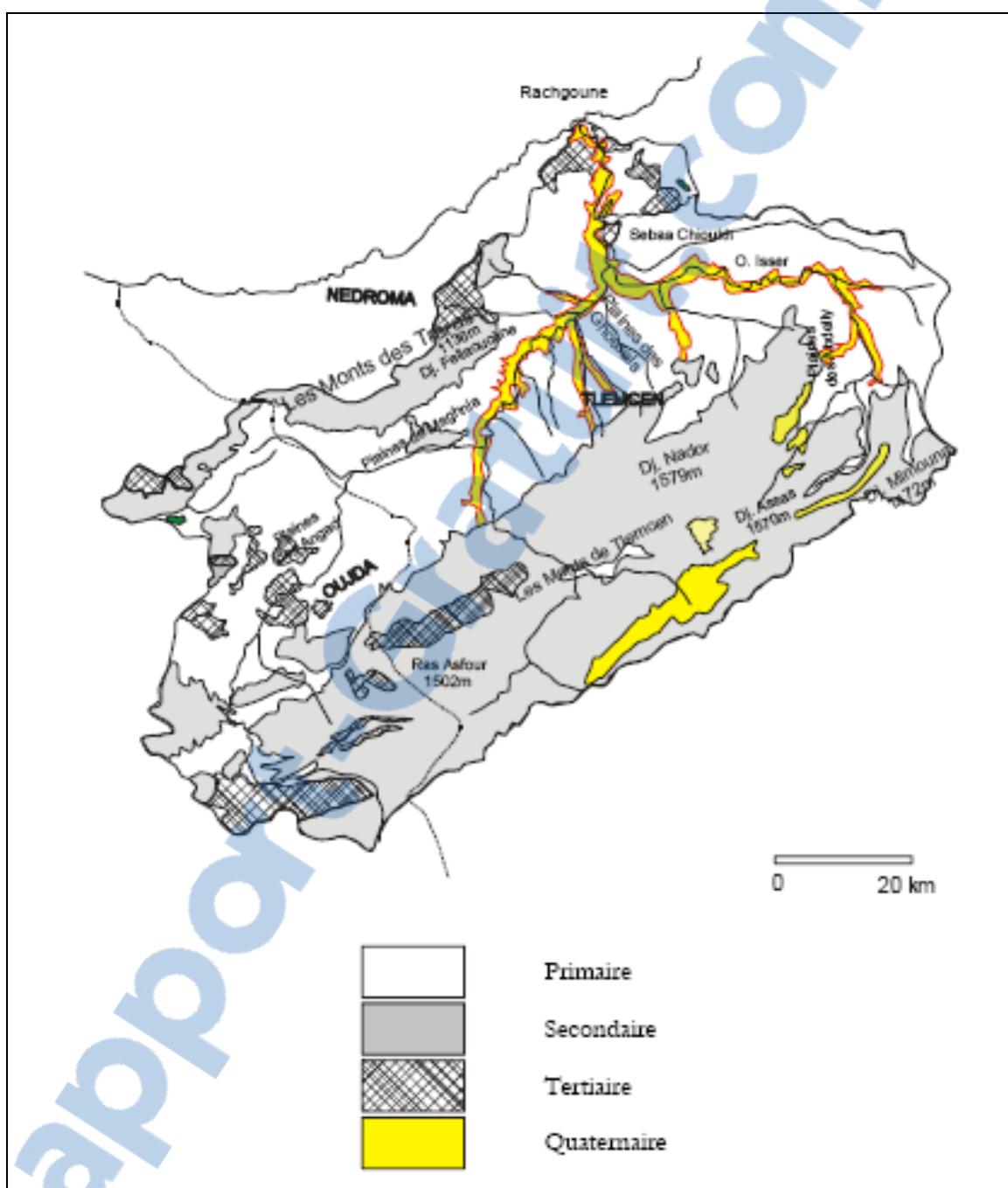
- *Le miocène inférieur (burdigalien)* : il débute par un niveau de poudingue très dure à blocs bien roulés hétérométriques et polygéniques, formé par des éléments calcaires, dolomitiques à ciment calcaire- gréseux très résistant. La partie supérieur est constituée par des argiles marneux de teinte verdâtre au sein des quelle s'intercalent des bancs décimétriques des grés ferrugineux friables.
- *Le miocène moyen (Helvétien)* : celui-ci repose sur le Burdigalien déformé et partiellement érodé. Il est constitué essentiellement par des argiles marneux gris ou bleutées.s'intercalent de nombreux bancs décimétriques de grés jaunes.
- *Le miocène supérieur (Tortonien)* : il est formé par des dépôts de grés durs, jaune or ou citron, mal lité. Ces grés s'appuient sur des marnes Helvétiens et localisés entre Tlemcen et Remchi ou directement sur le Jurassique comme c'est le cas au nord et au sud de la plaine de Maghnia. Ce Tortonien peu avoir des faciès différents, argiles plus au moins sableuses affleurant près de Terny et près de Ain Khaled à l'ouest de Tirny [7].

**I.7.4 Le plio quaternaire :**

Représenté par des sédiments continentaux d'age comparable et de nature variable. Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus formé d'éléments hétérométriques et hétérogène .on y rencontre les faciès si après :

- *Les travertins villa franchien* : situés en bordures des monts de Tlemcen, ils sont représentés par des travertins fortement consolidés et calcaire lacustres.
- Le complexe de sédiment plio- villa- franchien : la bordure des massifs secondaires est soulignés par des éboulis de piémont plus au moins écrouûtés et remaniés d'épaisseur très variables mais toujours assez faible
- Des marnes rouges avec peu ou pas de galets, plus au moins tufeuses, parfois très épaisses surtout au niveau du bassin de l'oued Abbés.
- *Des anciennes alluvions* allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets en passant par les limons et les graviers.
- *Les limons, sables et graviers* récents qui s'étendent entre Oued Mihaguéne et chaabat El Arnab au nord-est des frontières Algero-Marocaine. les limons sont jaunes en général avec des couches rougeâtres. Les galets se trouvent surtout en lits à la base des limons.

Quelques lambeaux de basaltes inter stratifiés qui sont témoins d'une activité volcanique.  
Ils sont situés au nord – ouest de la plaine de Maghnia [8] [9].



**Figure I.7 Cadre géologique du bassin versant de la Tafna (in[10])**

## I.6. CLIMAT DE BASSIN VERSANT :

En Plus des facteurs morphologiques, géologiques et géographiques, les conditions climatiques d'un bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations, surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale,
- leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques,
- leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues. Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet Combiné des autres paramètres physiques et climatiques (températures et Évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettent une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins versants, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, sont des variables aléatoires dans le temps et l'espace, qui permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large. C'est pourquoi nous consacrerons, à travers cette étude, un développement particulier au climat du bassin de la Tafna et plus spécialement aux précipitations. En effet, les précipitations qui sont de loin les plus importantes agissent directement dans l'alimentation pluviale de l'écoulement de la Tafna.

Le bassin de la Tafna s'apparente à celui de la région méditerranéenne, présentant un climat doux et humide, qui dépend surtout des dépressions atmosphérique d'origine atlantique et méditerranéenne qui traversent le détroit de Gibraltar, la partie nord du Maroc et touche la région de la Tafna, elles se manifestent par des vents d'Ouest et des vents humides vers le Nord du bassin. Les hauts plateaux sont soumis aux vents secs du Nord et de l'Est.

Le volume d'informations pluviométriques recueillies dans le bassin versant de la Tafna est constitué de plusieurs stations, reparties d'une façon plus au moins uniforme.

Le climat de la Tafna a été marqué par une succession de périodes de sécheresses : (1917-1924), (1939-1947), (1955-1962) et (1975-1986). On peu dire qu'une sécheresse se produit tout les 20 à 30 ans de façon prolongée [11].

L'évolution de la pluviométrie dans le temps a permis de mettre en évidence deux périodes de sécheresse à savoir celle des années 40 et 70

Nous donnant à titre indicatif les normales les normales de température et de précipitation sur deux stations à savoir, Tlemcen et Maghnia, les normales de températures sont de précipitations sur une période respectivement (1952-1991) et (1926-1981) ; les températures minimales et maximales moyennes calculées sur une période commune ( 1956-1981) à la station de Tlemcen et de Maghnia sont respectivement , 11.5°C ET 20.8°C, le mois de janvier présente la plus basse valeur qui est de 5°C ; 10.9°C et 24.1°C, le mois de juillet présente la valeur la plus basse qui est de 4.8°C .Pour les précipitations le total moyen annuel pour Tlemcen est de 591,4mm et 403,5mm pour Maghnia. Les moyennes mensuelles les plus élevées sont pratiquement égales, à 58mm [11].

Il a été remarqué aussi que la tendance déficitaire des précipitations lors des 20 dernières années (à partir de 1976) ou plusieurs valeurs annuelles se trouvent au-dessous de la moyenne [3].

Les études effectuées par des chercheurs sur le climat du bassin versant de la Tafna, ont montré que cette région a subit une période très sèche qui s'est installée sur ce bassin avec des déficits variant de 10% à 30% [12].

# **CHAPITRE II**

# **ETUDE DES**

# **PRECIPITATIONS**

## CHAPITRE II. ETUDE DES PRECIPITATIONS

Les précipitations d'une région sont intimement liées au climat. Les précipitations varient dans le temps et dans l'espace. Des régions sont plus arrosées que d'autres et des mois qui sont plus pluvieux que d'autres.

### II.1. FORMATION DES PRECIPITATIONS :

La pluie est un phénomène associé aux systèmes nuageux, qui dépend des microphysiques des nuages et aussi des mouvements atmosphériques à plus grandes échelles.

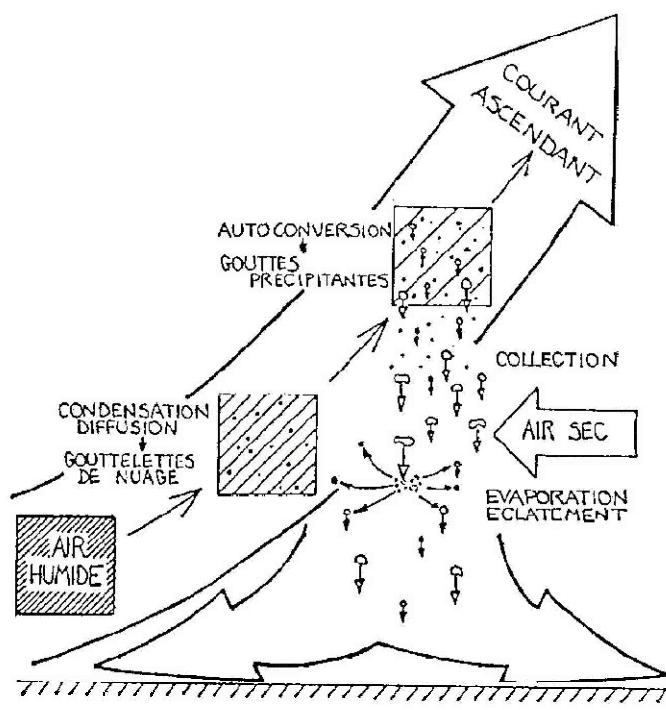
Les petites gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère constituent les nuages et sont appelées gouttelettes nuageuses. Les gouttes d'eau suffisamment grosses chutent et forment les gouttes de pluie.

La formation des gouttes d'eau dépend des changements d'état de l'eau présente dans l'atmosphère. La quantité d'eau présente et ses changements d'état sont liés aux mouvements verticaux au sein de l'atmosphère.

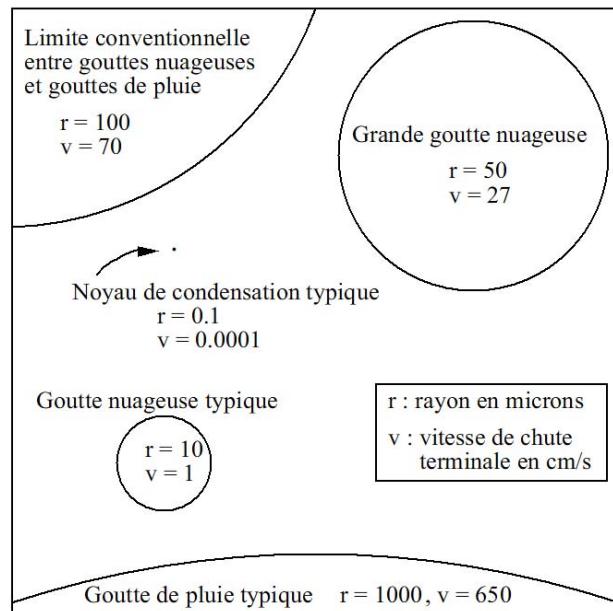
Lorsqu'une particule d'air relativement chaude et humide monte en altitude, les transformations thermodynamiques (dépression, refroidissement ....) qu'elle subit peuvent conduire à la saturation de l'air et la condensation de la vapeur. Celle-ci se manifeste par l'apparition de gouttelettes d'eau engendrée par la déposition de vapeur d'eau dans un premier temps autour des micros particules qu'on appelle noyau de condensation, puis sur les gouttelettes déjà formées.

Le grossissement de ces gouttelettes se fait par deux mécanismes à savoir:

- 1- A haute altitude les gouttelettes liquides cohabitent avec des cristaux, ceux-ci ont une vapeur saturante plus faible et un transfert d'eau s'opère entre les gouttelettes liquides et les cristaux de glace.
- 2- Le mécanisme de coalescence : c'est le grossissement des gouttelettes par collision c'est-à-dire ; deux gouttelettes s'entre choc et n'enforment qu'une. Et collection c'est-à-dire : les plus grosses gouttelettes absorbent les plus petites l'ensemble ainsi formé compose le nuage. Lorsque les gouttelettes ont atteint une taille critique, elles chutent, elles ne sont appelées gouttes de pluie, elles peuvent encore grossir par collection de petites en suspension dans le nuage, la figure II.1 Schématise ces différents processus et la figure II. 2 donne la tailles caractéristiques de ces gouttelettes [13]



**Figure II.1 : Formation des gouttes nuageuses et des gouttes de pluies [13]**



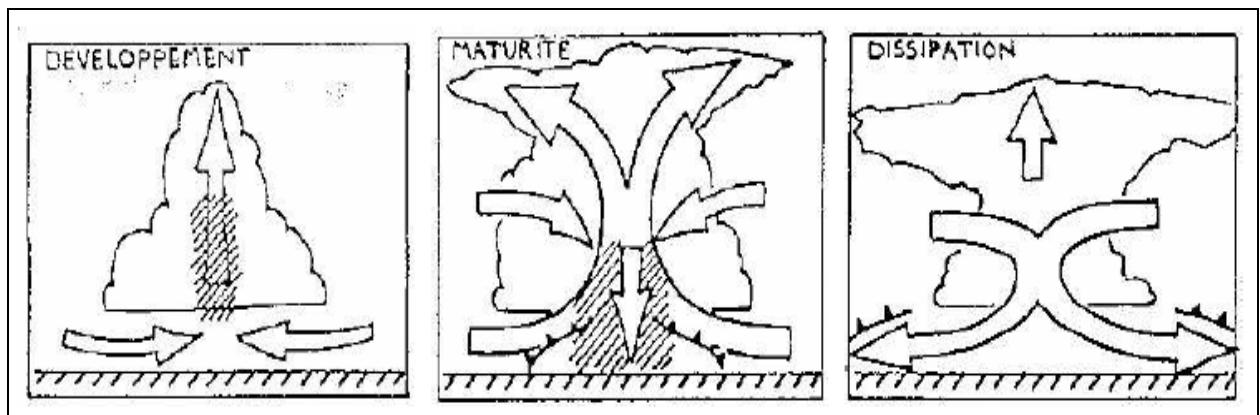
**Figure II.2 : Taille et caractéristiques des gouttelettes [13]**

## II.2. LES PRINCIPAUX SYSTEMES PRECIPITANTS :

Les systèmes précipitants sont le résultat de l'ascendance de masse d'air chaud et humide. On distingue trois types de mécanismes déclenchant ces mouvements verticaux, qui sont illustrés si après :

### II.2.1. Système précipitant convectifs :

Le système convectif apparaît lorsque deux masses d'air de températures différentes entrent en contact et plus particulièrement une masse d'air froide recouvre un sol plus chaud ou lorsque les basses couches sont chauffées par les radiations solaires, l'air de ces basses couches se dilate alors, s'allège et s'élève sous l'effet de la poussée d'ARCHIMÈDE elle s'élève en se refroidissant jusqu'au niveau de condensation, altitude à laquelle se forme la base du nuage. L'air continue de s'élever en se condensant ainsi jusqu'au niveau d'équilibre thermique, altitude du sommet du nuage. Celui-ci peut atteindre des altitudes de l'ordre de 12 km pour les situations les plus convectives. Ce système est décrit par 03 phases : développement, maturité et dissipation tel qu'il est représenté sur la figure II.3. (In [14] [15])

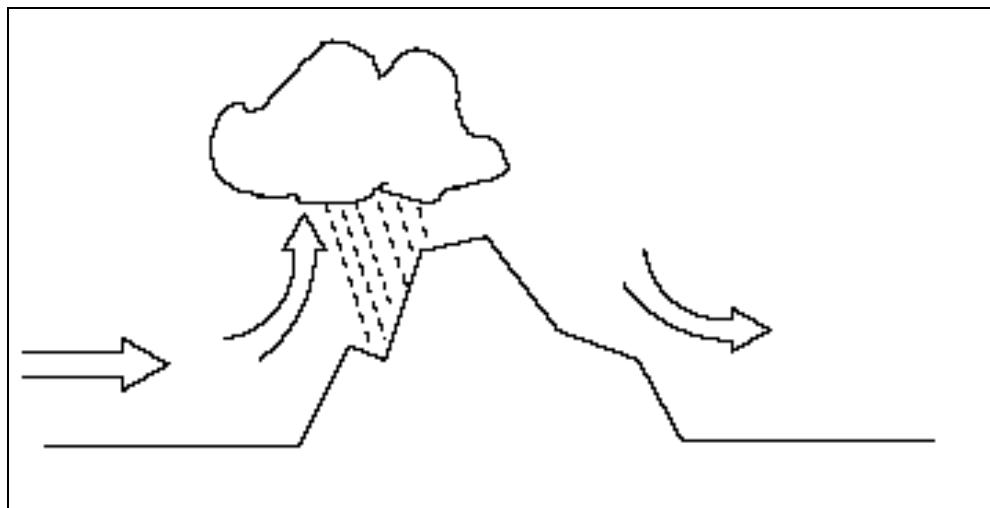


**Figure II.3 les différentes phases du système convectif (In [14])**

### II.2.2. Système précipitant orographique:

La présence d'un relief (une chaîne de montagne par exemple) sur la trajectoire d'une masse d'air provoque l'élévation de celle-ci. Le refroidissement induit peut entraîner la formation d'une couverture nuageuse et déclencher des précipitations. figure II.4. Ce type de système est relié aux perturbations cycloniques [14].

Ces précipitations, d'intensité et d'extension variables, touchent principalement le versant situé au vent. Le versant sous le vent est au contraire plus sec, car l'humidité relative de la masse d'air est donc moindre voir nulle lorsqu'elle descend sur le versant sous le vent [16].



**Figure II.4. Précipitations orographiques (In [14])**

### **II.2.3. Système précipitant cycloniques ou frontaux :**

Ces systèmes précipitants sont engendrés au voisinage des surfaces de contact entre deux masses d'air de température et d'humidité différentes, que l'on appelle un front. La masse d'air chaud est toujours soulevée en altitude par la masse d'air froid. Suivant que la masse d'air chaud suive ou précède la masse d'air froid, on trouve un front chaud ou froid.

Figure II.5

Dans le cas d'un front froid, les nuages ont un développement vertical important et les précipitations sont intenses. Dans le cas d'un front chaud, les nuages ont une extension horizontale importante et les précipitations sont plus faibles que pour le front froid.

La figure II.6 illustre ces deux cas [16].

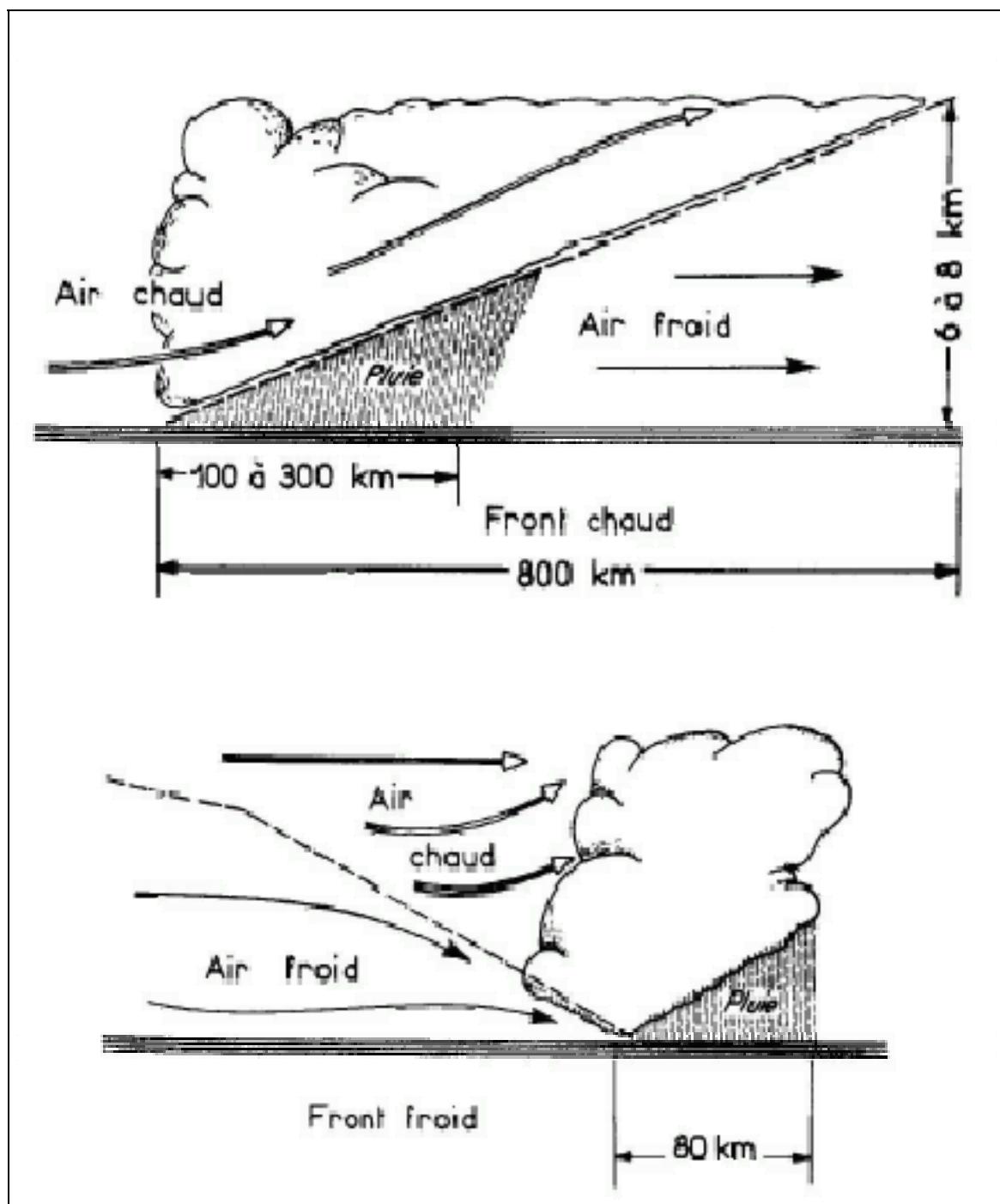


Figure II.5. Front chaud et froid [17].

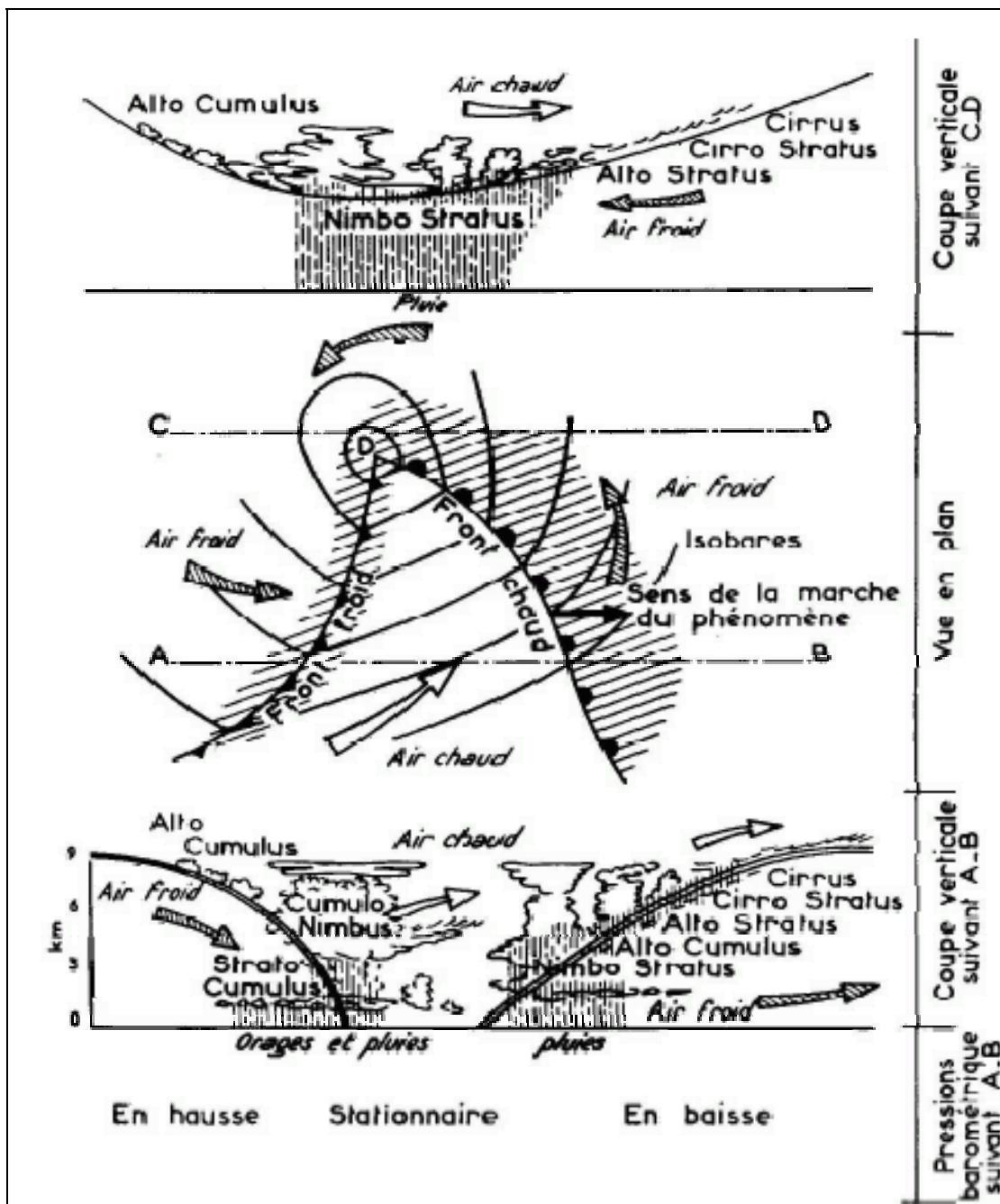


Figure II.6: Nuage et précipitations associés à un front chaud et froid [17].

## II.3. PRESENTATION DU RESEAU METEOROLOGIQUE :

### II.3.1. Organisation des données :

L'observation est la base de la climatologie, c'est sur sa qualité et quantité que reposent les résultats de chaque analyse statistique et les conclusions qui en découlent. Le relevé météorologique au sol est le seul moyen dont dispose le météorologue pour mesurer les paramètres climatiques. Les observations effectuées en altitude ont apportée de nouvelles données, une nouvelle étape a été franchie avec l'utilisation du ballon sonde, du radar et du satellite météorologique [18]. Malgré les progrès, la mesure au sol est restée le moyen fondamental pour la précision météorologique. Dans les paragraphes qui suivent nous allons rappelés les principes de l'organisation des observations et les conditions requise pour obtenir de bonnes données.

#### *a) Choix des emplacements :*

L'emplacement de la station dépend de sa position en altitude, sa distance par rapport à la mer et de la topographie des lieux. A une échelle plus fine les obstacles voisins ont également une influence, l'emplacement des stations doit être à l'abri de toutes influence extrême.

#### *b) Fréquence d'observation :*

D'après l'OMM les stations peuvent êtres classées comme suit :

\*stations météorologiques principales (SMP) : stations tenue par un personnel spécialisé qui effectue de nombreuses observations selon une périodicité horaire. Elle donne les mesures de la température, la précipitation, l'insolation, le vent, la nébulosité, l'humidité et la pression.

\* stations météorologiques auxiliaires (SMA) : ce sont des stations tenues par un personnel autre que professionnel, qui prélève au moins trois observations par jour elle donne des données de précipitation et de température

\*poste pluviométrique (PP): qui donne uniquement des mesures de précipitations.

#### *c) Choix des instruments de mesure et les conditions d'installation :*

Les conditions d'installation des instruments et le type de matériel d'observation doivent être aussi proche que possible de l'installation standard de l'OMM.

Les instruments de mesure doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- la fidélité : la faculté pour l'appareil de mesure, d'indiquer toujours les mêmes valeurs ;
- la justesse : indication de valeurs justes et exactes ;
- la sensibilité : de faible variations de la grandeur à mesurer doivent apparaître nettement sur l'instrument de mesure ;
- la robustesse, la simplicité et la fiabilité : il est indispensable d'ajouter ses qualités vue les conditions particulières de fonctionnement et de manipulation (fonctionnement en plein air, manipulation fréquentes, mesures rapides, etc.)

D'après le règlement de l'OMM, les stations principales doivent être contrôlées aux moins une fois tout les deux ans, les auxiliaires et pluviométriques une fois tout les quatre ans.

#### ***d) Degré de précision des mesures :***

Les mesures météorologiques peuvent être affectées d'erreurs systématiques et accidentelles. Les premières proviennent de l'instrument lui-même ou de la méthode de mesure, par contre les accidentelles sont d'origine multiple et souvent inconnue. [19].

#### **II.3.2. les mesures de pluviométriques :**

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

Il faut planter ces capteurs avec attention, car, s'ils sont situés près d'obstacles comme des arbres ou des bâtiments, les perturbations occasionnées par ces obstacles sont sources d'erreurs. Une règle commune est d'implanter le capteur à une distance minimale égale au double de la hauteur de l'obstacle.

Les recherches effectuées sur les perturbations occasionnées par le capteur lui-même montrent que celui-ci fait obstruction aux mouvements de l'air et que le collecteur de pluie de par sa forme en entonnoir, engendre des turbulences parasites. Le résultat est que la mesure de la pluie faite à un mètre de hauteur est généralement inférieure à la hauteur réelle précipitée au sol. Dans beaucoup de cas, ce phénomène n'est pas pris en compte, mais il peut être corrigé par une formule mathématique en fonction du sens et de la force du vent. On peut aussi mesurer la pluie au sol avec un pluviomètre type SNOWDON dont la grille autour de la bague réceptrice minore les effets du vent.

On obtient des résultats corrects avec cette méthode mais elle n'est guère appliquée. La norme de l'OMM (Office Mondial de Météorologie) est de placer la bague collectrice à un mètre de la surface du sol.

Il est possible de mesurer les précipitations selon différentes méthodes :

Il existe deux classes d'instrument permettant de mesurer la pluie :

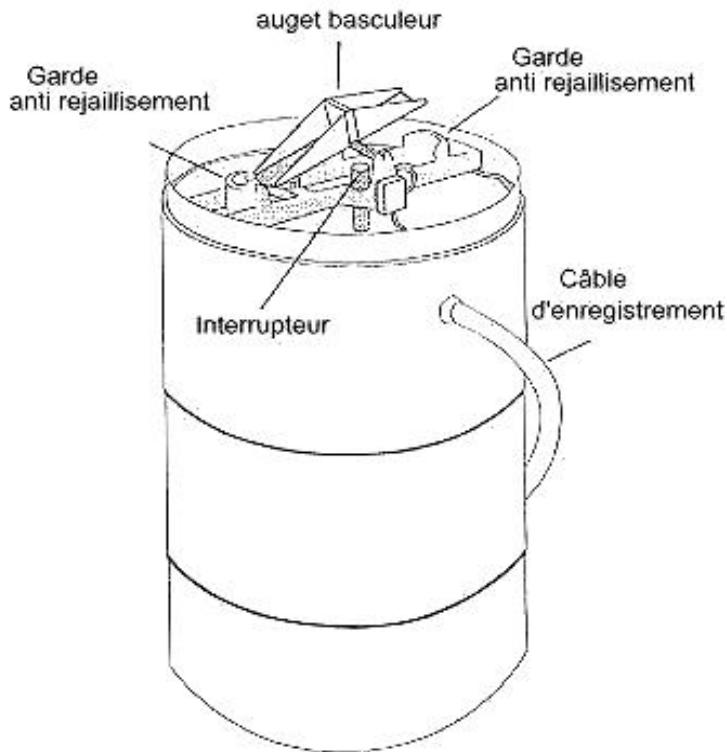
- un pluviomètre, qui donne la pluie globale à une station pendant un temps donné .le modèle le plus utilisé est le pluviomètre association ; cet appareil est couramment utilisé en Algérie et en France ; il a été très rependu par les soins de l'association scientifique de France d'où le nom de pluviomètre association [16] Il est composé de trois parties :
  - 1- un seau en zinc ou en polyester où s'accumule la pluie recueillie,
  - 2- un entonnoir en métal formant la surface réceptrice et comportant un trou assez petit pour diminuer les pertes par évaporation protégé par une tôle métallique fine.
  - 3- une bague circulaire à bords presque tranchants de 226mm de diamètre limitant la surface de réception de 400cm<sup>2</sup>.

Ce pluviomètre est installé sur un support de telle façon que le niveau de la bague soit à une hauteur de 1.5m au dessus d'un sol. Pour mesurer la hauteur d'eau tombée, on verse le contenu du seau dans une éprouvette graduée en millimètres et en dixièmes de millimètres. [20].

- Un pluviographe, qui permet de faire l'analyse et la répartition des pluies dans le temps. Le plus utilisé dans le réseau de l'ONM est le pluviographe à auget basculeur. figure II.7 ; cet appareil comporte en dessous de son entonnoir de collecte d'eau, une pièce pivotante dont les deux compartiments peuvent recevoir l'eau tour à tour.

Il existe d'autres modèles de pluviographes :

- les pluviographes à siphon, l'eau collectée est stockée jusqu'à un seuil critique où un dispositif de siphonage s'amorce, évacuant l'eau recueillie.
- les pluviographes à pesée, le poids du récipient collecteur est enregistré en continu



**Figure II.7 : Pluviographe enregistreurs à auget basculeur [20].**

La mesure de précipitation entraîne de nombreuses erreurs et de caractères hétérogènes. Ces erreurs sont représentées essentiellement par deux types ; les erreurs instrumentales et les erreurs dues à l'environnement ;

**a- les erreurs instrumentales :**

L'erreur instrumentale se différencie entre elle par deux points principaux ; l'appareil de mesure lui-même et la méthode d'exploitation. En conséquent, chaque type d'appareil ou pour chaque méthode de mesure est relié à des imperfections que l'on essaye de contrôler ou diminuer et de corriger. Ces imperfections sont de caractères divers :

▪ **Profondeur de la bague du pluviomètre :**

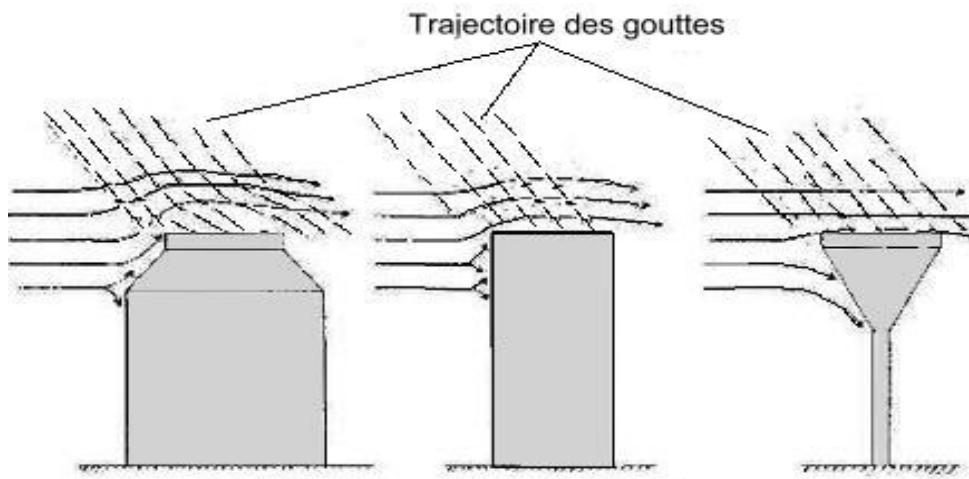
Plusieurs comparaisons ont été effectuées en utilisant de nombreux pluviomètres possédant une hauteur de bague différente.

Ces comparaisons furent effectuées en mesurant parallèlement le vent et les précipitations. Les résultats constatés sont :

- par vent fort, la bague la plus profonde soit mieux adaptée que la petite.
- Par vent modéré, la profondeur de la bague ne semble pas établie.
- Par vent faible, la bague la moins profonde indique les meilleurs résultats

- ***Influence de la forme du collecteur :***

La forme du pluviomètre a une influence déterminante sur la captation de l'eau. Des essais en soufflerie sur des pluviomètres de forme cylindrique à épaulement tronconique cylindrique pure et sur des pluviomètres association, ont démontré que le troisième type de pluviomètre modifie le moins le champ aérodynamique autour du capteur cette modification est illustrée sur la figure II.8 [20].



**Figure. II.8 :** Schémas représentatif des modifications des précipitations selon la forme du pluviomètre [20]

- ***Influence de la rugosité de la paroi interne des pluviomètres :***

Le coefficient de rugosité de l'entonnoir qui dépend du matériau utilisé à sa fabrication, de sa pente et de sa propreté. Les principaux matériaux utilisés dans la fabrication des entonnoirs sont le zinc, le laiton, le cuivre et le polyester armé de fibres de verre. Les entonnoirs métalliques possèdent une rugosité qui permet une bonne rétention de l'eau, celle-ci est plus faible pour les entonnoirs en polyester.

***b- les erreurs dues aux méthodes de mesures :***

Elles incombent essentiellement à l'observateur, ces erreurs sont dues à :

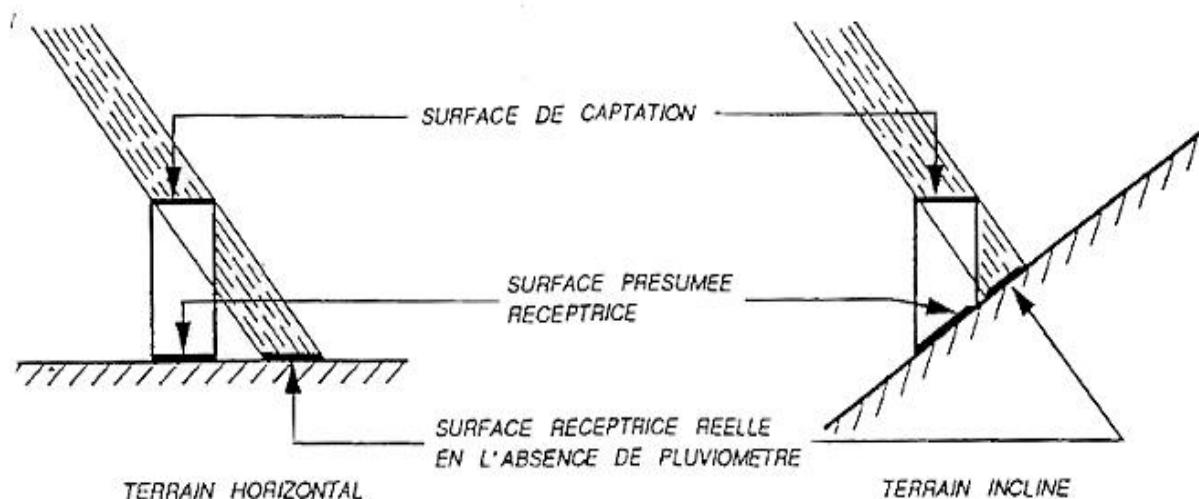
- Une pose défectueuse du diagramme sur le tambour d'enregistrement, ce qui causera la modification des coordonnées, cela engendre la difficulté de mesure à fine échelle.
- Le mauvais entretien de la plume d'inscription pouvant provoquer des défauts d'enregistrement et des erreurs d'interprétation.
- Une amplification incorrecte du stylet, modifie les valeurs extrêmes de la courbe d'enregistrement.
- Des pertes par erreur de manœuvre au moment de lecture manuelle, renversement ou débordement des éprouvettes.

**c- les erreurs dues à l'environnement :**

La mesure des paramètres climatiques dépend généralement des conditions d'installation de l'appareillage, la localisation de l'instrument lui-même par rapport au site, a l'environnement et a des facteurs climatiques régionaux :

- *Installation de l'appareillage :*

Le pluviomètre est généralement installé sur un pied support ou un socle qui est fixé solidement au sol. Si cette opération n'est pas réalisé convenablement, on risque d'introduire des erreurs pendant le fonctionnement de l'appareillage, ces erreurs sont due dans ce cas a la mauvaise horizontalité du socle, ce qui pourra modifier le calibrage du capteur. L'instabilité du support engendre des vibrations de l'appareillage, un revêtement du sol, non adéquat provoque une augmentation de l'évaporation due a l'intensification du rayonnement solaire. On peut citer comme autres paramètres provocant des erreurs, les obstacles avoisinants qui influent tant par leurs dimension que par leur proximité, donc, le pluviomètre doit être placé au lieu découvert, le plus loin possible des obstacles, il est conseillé de le mettre a une distance de moins 02 a 03 fois leur hauteur pour éviter les remous ou une simple turbulence figure II.9. [21]



**Figure II.9. Erreurs de captation due à l'inclinaison de la pluie pour un terrain horizontal ou incliné [21]**

- *La hauteur d'exposition des capteurs :*

Le capteur d'un pluviomètre est situé à des hauteurs comprises suivant le sol et a 1.5 mètre au dessus du sol. Si une exposition est trop élevée, elle ne correspond pas à la définition pluviométrique, si elle est trop basse elle provoque des erreurs par suite d'un rejaillissement intensif sur les bords de la cuve de réception.

- *Les erreurs du au vent :*

Le vent est le facteur le plus important et le plus difficile à contrôlé. La déviation des filets d'air provoque un excès ou un déficit dans la quantité d'eau réellement tombée. Il a une interaction simultanée entre le vent et le pluviomètre. Le vent provoque des arrachements et de rejaillissement des gouttes de pluie sur le capteur. Ces conséquences sont d'autant plus accusées que la vitesse du vent est forte et que la vitesse de chute de précipitation est faible. Une des principales causes d'erreur dans la mesure des précipitations avec un pluviomètre est la variation de son coefficient de captation avec la vitesse du vent. La quantité d'eau captée peut ainsi être sous-estimée de 3% à 30%.

- *Les erreurs dues a l'évaporation :*

Une précipitation qui survient après une longue période d'ensoleillement ; les premières gouttes qui tombent s'évaporent à la surface du métal par ce que la température de celui-ci est supérieur à celle de l'air. Si la précipitation est faible et de courte durée elle risque d'être totalement ignorée, un équilibre sera rétabli au bout d'une période mais en contre partie une quantité non négligeable est déjà perdue, d'où une perte qui risque d'entacher, particulièrement dans les zones arides.

Les pluviomètres métalliques provoquent beaucoup plus d'erreurs, dues à l'évaporation. Ceux en verre ou en plastiques semblent avoir un coefficient d'évaporation relativement faible et parfois négligeable, cela sont conseillés dans les zones chaudes.

Pour éviter les pertes par évaporation, le seau récepteur est rempli d'une quantité d'huile suffisante pour former une couche de 5 mm au-dessus de l'eau [21].

# **CHAPITRE III**

# **ETUDE DE LA**

# **STATIONNARITE**

## CHAPITRE III : ETUDE DE LA STATIONNARITE

### III.1. GENERALITES

#### III.1.1 Définition de la stationnarité :

Une série chronologique est dite stationnaire si ses propriétés sont invariables dans le temps.

La littérature hydrologique s'intéresse plus particulièrement à deux formes majeures de non stationnarité; les tendances et les ruptures.

- **une rupture** désigne une modification subite dans les propriétés d'un processus aléatoire.
- **Une tendance** est un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire.

On peut noter par ailleurs qu'une série peut présenter des fluctuations notables dans le temps sans qu'il y ait véritablement une direction privilégiée. Ces variations traduisent la variabilité intrinsèque des séries hydrologique et climatique.

La stationnarité est donc l'étude de changement des éléments climatiques d'une série chronologique [22].

#### III.1.2. Classification des tests de stationnarité :

Les tests disponibles se focalisent sur des points très particuliers, il importe donc de choisir des tests qui s'approprient bien à la situation. Par exemple, un test de tendance en moyenne pourra aboutir à la conclusion qu'il n'y a pas de tendance en moyenne pour la série testée mais n'apportera aucune information concernant la variance ou la fréquence et la magnitude des extrêmes qui peuvent très bien avoir évolué. Certains tests détectent très bien un type donné de changement, d'autres s'attachent plus à mettre un simple changement dans la distribution sans en préciser le type. Si l'on ignore la nature du changement, il semble judicieux d'utiliser plusieurs tests différents et de comparer les résultats obtenus [22] [23].

#### III.1.3. Les différents tests à signalé :

- 1) **Tests de détection d'un changement générale dans la distribution :** Pour savoir si une série est stationnaire ou non, nous testerons les distributions avant ou après une date sont identiques. Dans ce cas nous pouvons appliquer des tests de comparaison de distribution :
  - test de  $\chi^2$
  - test de KOLMOGOROV- SMINRNOV.

## 2) Test de détection d'une rupture :

Les deux principaux tests à signaler dans ce cas (tests de comparaison en moyenne) sont :

- test de Student (test paramétrique)
- test de wilcoxon « test de Mann-Whitney » (test non paramétrique)

On peut citer d'autres tests à savoir : test de Pettitt, test des écarts cumulés

## 3) Tests de tendance (in [22]):

3-1 tes de la régression linéaire : Il s'appuie sur un modèle de régression simple entre la série et le temps.

3-2 tests des coefficients sur le rang: L'étude de corrélation sur le rang entre deux variables on distingue :

- \* Test de corrélation sur le rang de Kendall
- \* Test des changements de signe Kendall et Stuart
- \* test de coefficient de Spearman

Il existe d'autres tests :

- procédure de Booth et Smith pour la détection d'une rupture en moyenne
- test de rupture dans un modèle de régression linéaire
- test de stationnarité en variance
- test de corrélation serial de Wald – Wolfowitz

## III.2. PRESENTATIONS DES STATIONS UTILISEES :

Notre étude consiste à définir la stationnarité de la pluviométrie à l'échelle annuelle et saisonnières des séries longues et à l'échelle fines c'est-à-dire la variation de la pluie journalière. Pour ce faire nous avons essayé d'avoir le maximum de données possibles. Le nombre de stations qui ont été mises à notre disposition est malheureusement restreint ; nous citerons : la station de Beni Behdel, la station de Maghnia, la station de Meffrouche, station de Sabra, station de Cholly, station de Bensekrane et station de Lalla Setti .pour les valeurs des nombres de jours de pluies nous avons à notre disposition que quatre stations, à savoir : station de Beni Behdel, station de Bensekrane, station de Maghnia et station de Meffrouche.

Avant de commencer les analyses, nous allons donner les caractéristiques des stations utilisées dans cette étude, qui sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau III.1: liste des stations pluviométriques étudiées**

<b>Stations</b>	<b>Code de la station</b>	<b>longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>L'altitude</b>
Beni behdel	160403	115	164.6	666
Bensekrane	160702	143.4	205.35	260
Chouly	160601	149.65	181	700
Meffrouche	160701	135.55	180.2	1110
Maghnia	160302	88.1	176.75	430
Lalla Setti	160705	133.95	181.85	1020
Sabra	160502	113.7	185.8	255

**Tableau III.2 : Caractéristiques des totaux annuels**

<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
Beni behdel	1941-2006	461	143	0.31
Bensekrane	1924-2006	440	144	0.33
Chouly	1969-2004	421	123	0.29
Meffrouche	1943-2005	659	194	0.29
Maghnia	1972-2006	290	91	0.32
Lalla Setti	1956-2004	580	175	0.30
Sabra	1970-2003	390	103	0.26

Tableau III.3 : Caractéristiques des précipitations à l'échelle saisonnière

Stations	Période	Automne			Hivers		Printemps		Eté	
				Moy			Moy			
Benibehdel	1941-2006	116	186	89	205	133	160	145	71	σ
Bensekrane	1924-2006	80	80	52	98	63	82	0.49	CV	
Chouly	1969-2004	0.42	0.42	0.58	0.48	0.47	0.51			
Meffrouche	1943-2005	177	223	121	266	177	170	187	98	σ
Maghnia	1972-2006	82	110	77	129	83	74	0.52	CV	
Lalla Setti	1956-2004	0.46	0.49	0.64	0.48	0.46	0.43			
Sabra	1970-2003	101	143	71	155	86	86	103	71	σ
		82	93	51	102	56	56	0.68	CV	
		0.8	0.65	0.71	0.65	0.64	0.65			
		17	28	17	27	26	20	23	20	σ
		15	24	15	29	21	21	20	20	
		0.87	0.86	0.87	1.1	0.77	1.06	0.87	CV	

### III.3. PRECIPITATIONS SAISONNIERES :

La distribution saisonnière de la précipitation est aussi variable selon la région analysée, comme on peut le constater sur les Figure III.1 à III.7, Il est signalé que l'essentielle des précipitations est enregistré en hiver et en automne; ou nous avons remarqué que plus de 70% de la pluie annuelle est concentrée sur les mois d'hiver et d'automne et cela pour l'ensemble des stations étudiées; c'est pour cette raison que l'analyse des résultats des test de stationnarité et de rupture sera basée sur les deux saisons à savoir ,l'hiver et l'automne.

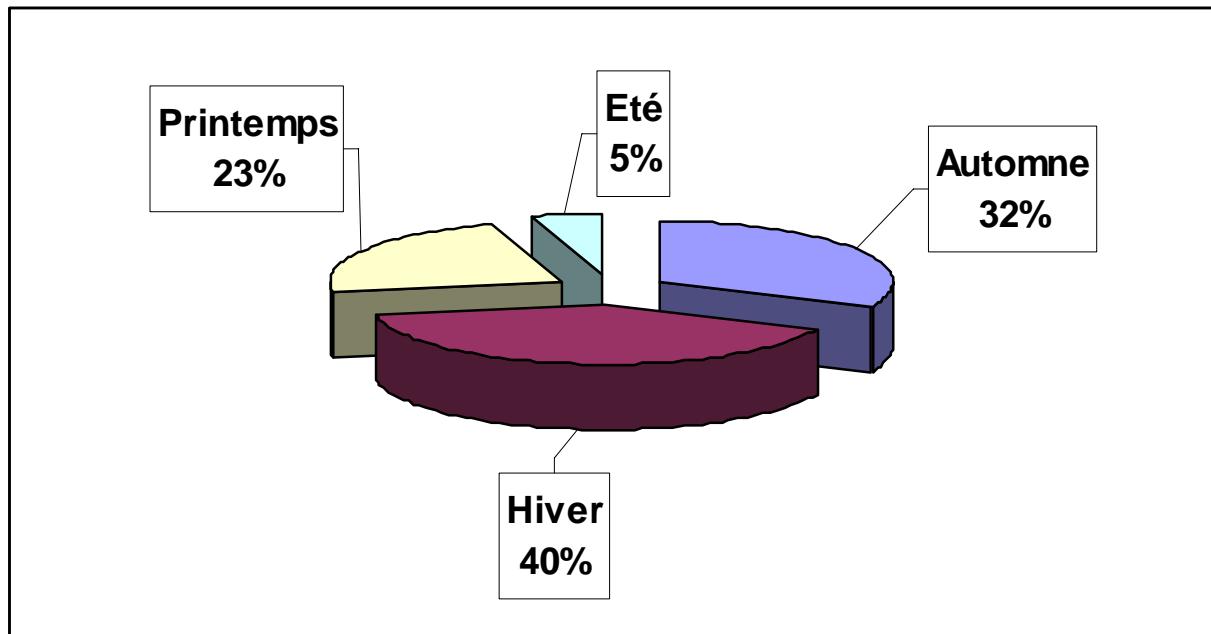


Figure III.1. Répartition saisonnière des précipitations de la station de Beni Behdel

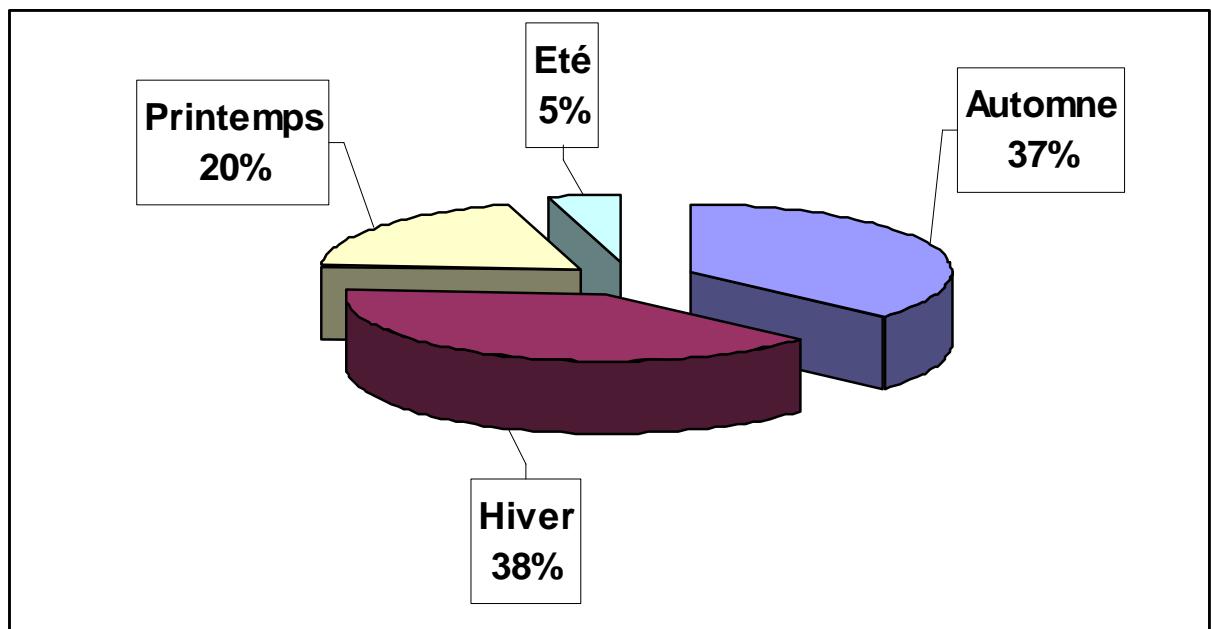


Figure III.2. répartition saisonnière des précipitations de la station de Bensekrane

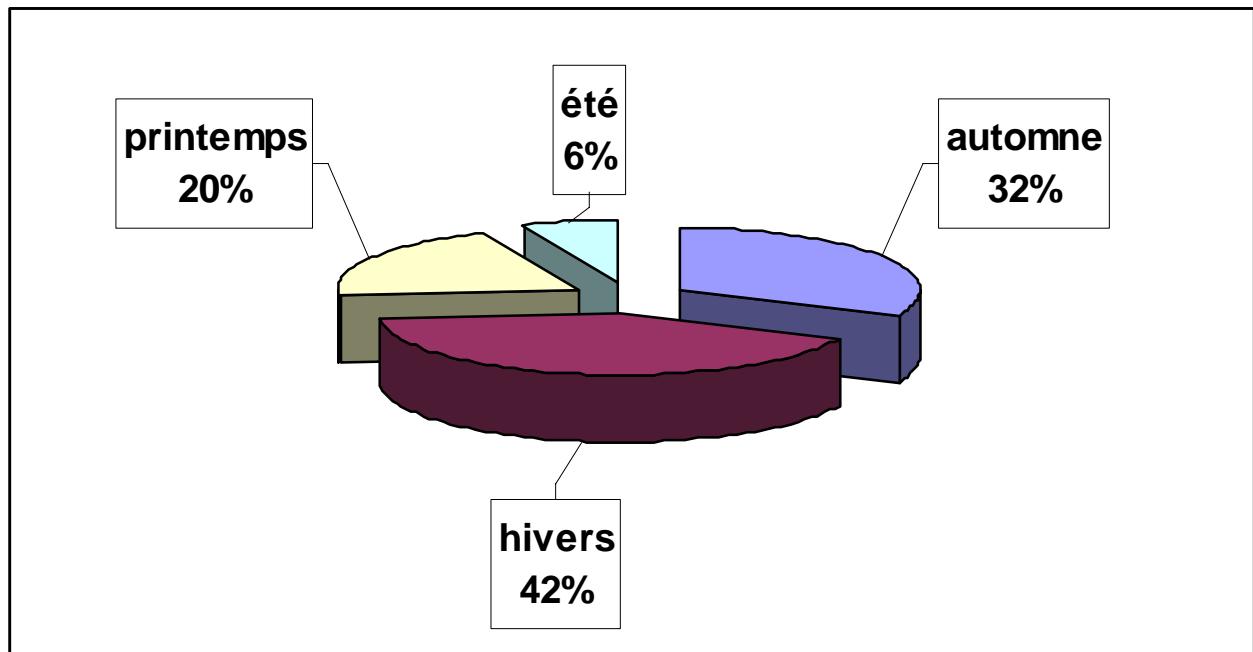


Figure III.3. répartition saisonnière des précipitations de la station de Chouly

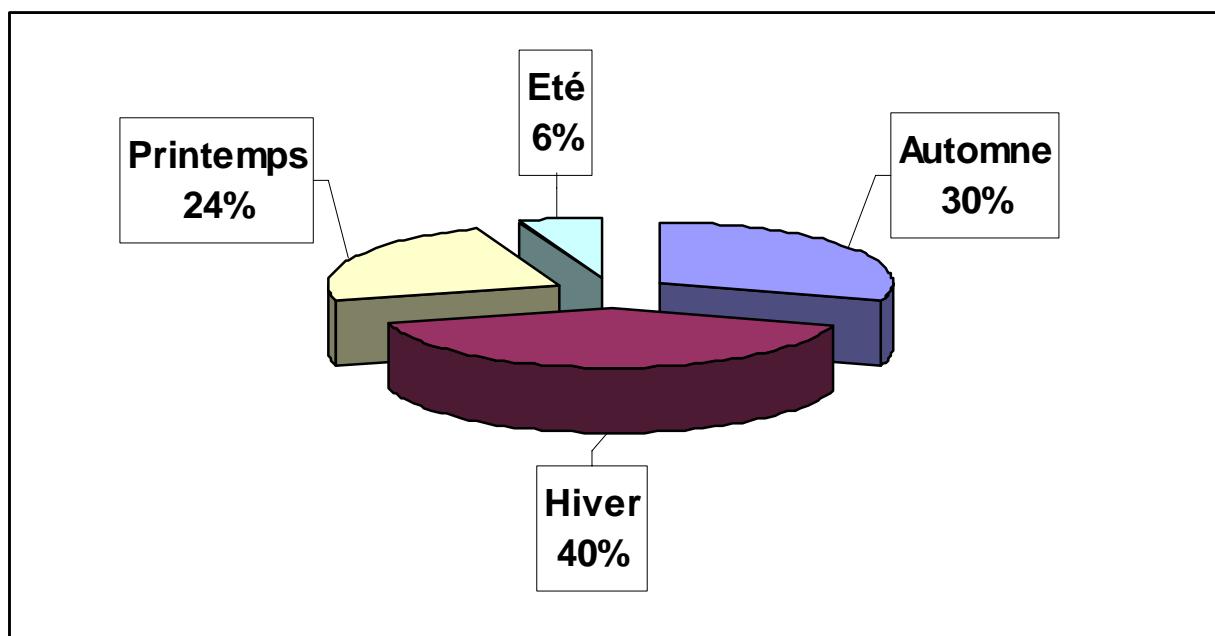


Figure III.4. répartition saisonnière des précipitations de la station de Maghnia

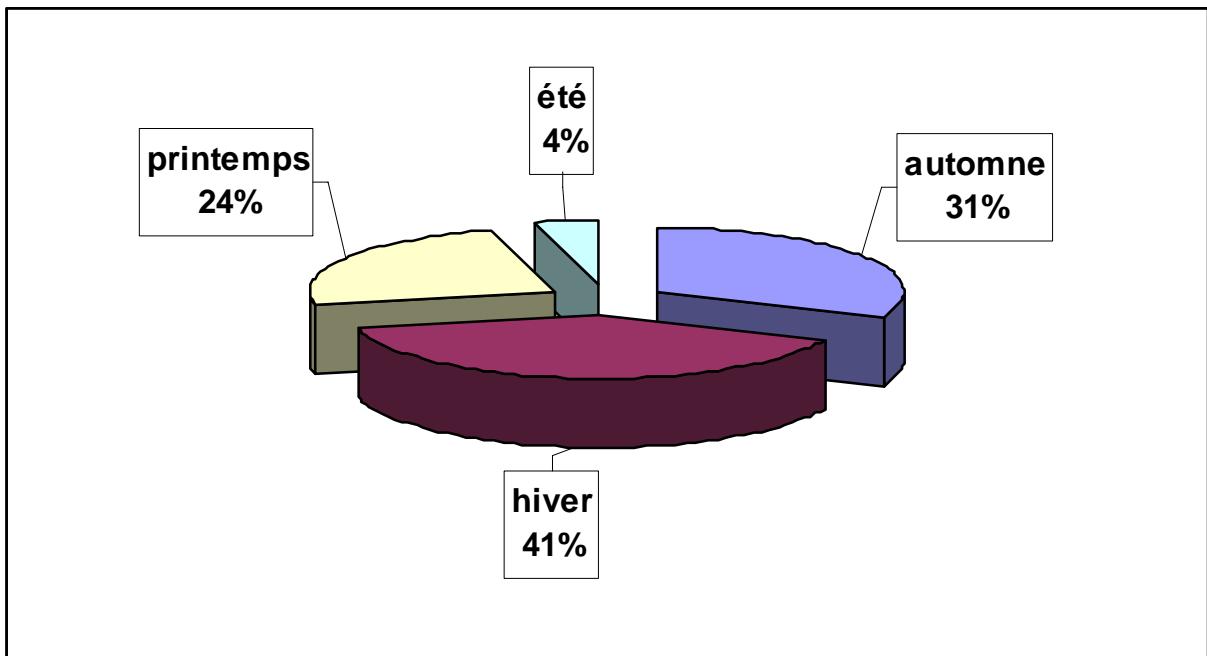


Figure III.5. répartition saisonnière des précipitations de la station de Meffrouche

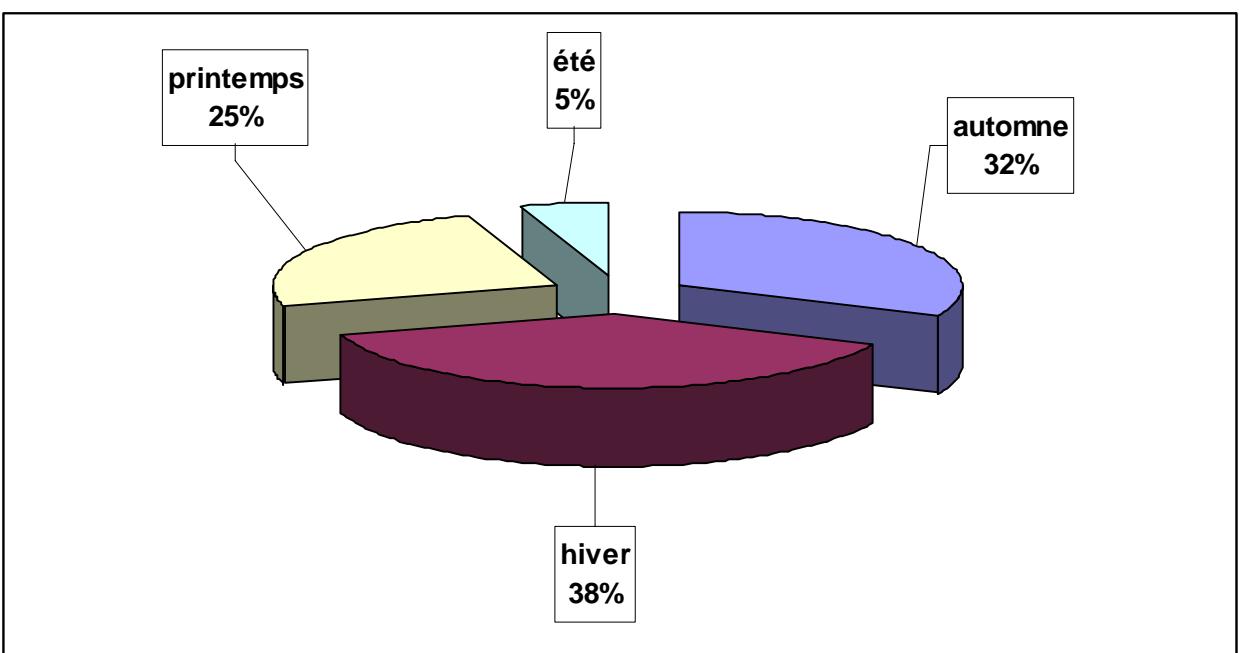


Figure III.6. répartition saisonnière des précipitations de la station de Lalla Setti

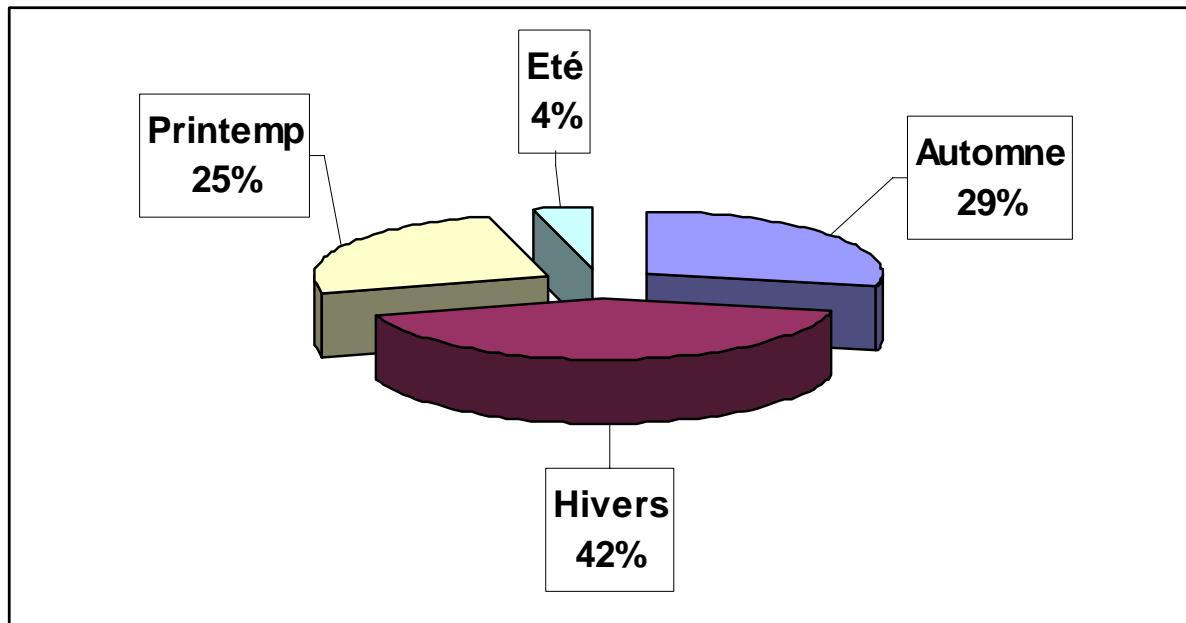


Figure III.7. répartition saisonnière des précipitations de la station de Sabra

Tableau III.4 : Caractéristiques des maximales journalières

Stations	Période d'étude	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation
Beni behdel	1941-2006	62	32	0.52
Bensekrane	1924-2006	49	21	0.42
Chouly	1969-2004	49	22	0.45
Meffrouche	1943-2005	72	34	0.47
Maghnia	1972-2006	43	21	0.48
Lalla Setti	1956-2004	59	27	0.45
Sabra	1970-2003	53	30	0.56

**Tableau III.5 : Caractéristiques des nombres de jours de pluies**

<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
Beni behdel	1941-2006	57	11.63	0.20
Bensekrane	1924-2006	53	13.63-	0.25
Meffrouche	1943-2005	69	14	0.2
Maghnia	1972-2006	53	11.47	0.21

### **III.4. ETUDE DE LA STATIONNARITE DE LA PLUVIOMETRIE :**

Il existe plusieurs techniques statistiques adaptées à l'analyse de la stationnarité d'une série pluviométrique; ce qui nous a mené à faire une sélection de tests de stationnarité pour évaluer les plus performants. Le test de MANN – KENDALL (1975) et le test de PETTITT (1979) seront utilisés pour tester la stabilité de la pluviométrie dans le temps.

**A) Test de MANN – KENDALL** : C'est un test non paramétrique, il utilise la série des rangs au lieu de la série d'observations qui permet de déterminer le seuil de signification pour la présence d'un terme tendanciel.

Soit la série  $X_i$ ,  $i$  varie de 1 à  $n$ , on calcule pour chaque élément, le nombre d'éléments qui le précède et qui lui sont inférieurs et l'on fait la somme des ces nombres ( $t$ ), plus ( $t$ ) est grand plus l'organisation de la série est importante.

La variable ( $t$ ) est distribuée selon la loi normale [24] [25] [26].

$$(t) = \sum_{i=1}^n n_i \dots III.1$$

La moyenne et la variance sont données respectivement par les formules si après :

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \dots III\ 2$$

$$\text{Var(t)} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \dots \dots \dots III.3$$

Si on détermine la probabilité  $(\alpha_1)$  à l'aide de la table de la loi normale centrée réduite tel que :

$$a = P(|U| \succ U(t)) \dots III.4$$

Avec :

$$U(t) = \frac{[t - E(t)]}{\sqrt{Var(t)}} \dots III.5$$

- l'hypothèse est nulle (absence de tendance significative) est acceptée ou rejetée au niveau de  $\alpha_0$  selon que l'on a  $\alpha_1 > \alpha_0$  ou  $\alpha_1 < \alpha_0$ ; On conclue à une tendance croissante ou décroissante selon que  $U(t)$  est positive ou négative. (In [23]).

Dans le cas d'une tendance significative, les deux courbes progressive et rétrograde permettent de situer approximativement la date du début de cette tendance.

**B) Test de PETTIT [27]:** Il reprend le fondement du test de Mann – Whitney en le modifiant; le test de PETTITT est un test sur le rang: il est donc non paramétrique et libre. Ce test est réputé, robuste et ses performances en terme de puissance sont supérieures (in [27] in [28] in [29] in [30]).

Le test de Pettitt consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries à chaque instant  $t$  compris entre 1 et  $N-1$ .

On dit que la série principale présente une rupture à l'instant  $t$  si les deux sous séries ont des distributions différentes.

Si l'hypothèse nulle  $H_0$  de non rupture est rejeté, une estimation de la date de rupture est donnée pour l'instant  $t$ , présentant le maximum de la valeur absolue de la variable  $U_{t, N}$  (in [22]).

Avec :  $D_{ij} = (X_i - X_j)$  ou :  $D_{ij} = 1$  Si  $X_i - X_j > 0$

$$D_{ij} = 0 \quad \text{Si } X_i - X_j = 0$$

$$D_{ij} = -1 \quad \text{Si } X_i - X_j < 0$$

Soit  $\alpha$ , représentant un risque de première espèce ;

$H_0$  est rejetée si une certaine probabilité calculée à partir d'une série chronologique étudiée est inférieure à  $\alpha$  :

$$\Pr_0(K_N > K) = 2 \exp [-6K^2 / (N^3 + N^2)] \quad \dots \dots \dots \text{III.7}$$

Le seuil de signification est donné par la quantité suivante :

$$Q = \pm \sqrt{\frac{-(N^3 + N^2) \log(\alpha/2)}{6}} \quad \dots \dots \dots \text{III.8}$$

Ce test a été choisi pour son utilisation dans de nombreuses études de détection de la stationnarité, pour sa robustesse et sa puissance surtout en ce qui concerne le test de rupture sur la moyenne [27], In [31].

Après l'illustration de la théorie des deux tests, nous allons examiner leurs comportement en utilisant les données dont nous disposons.

Nous allons appliquer les deux tests à l'échelle annuelle et saisonnière ainsi qu'à l'échelle journalière (nombre de jours de pluies et la pluie journalière maximale.). Pour ce faire et vue l'importance des données et le nombre de stations à étudier nous avons élaborés des programmes informatiques en turbo pascal relatifs à chaque test.

### C- Analyse des résultats :

#### C-a. Test de Mann Kendall:

Les résultats de l'application du test de Mann Kendall sont résumés sur les tableaux ci-dessous :

**Tableau III.6 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux totaux annuels**

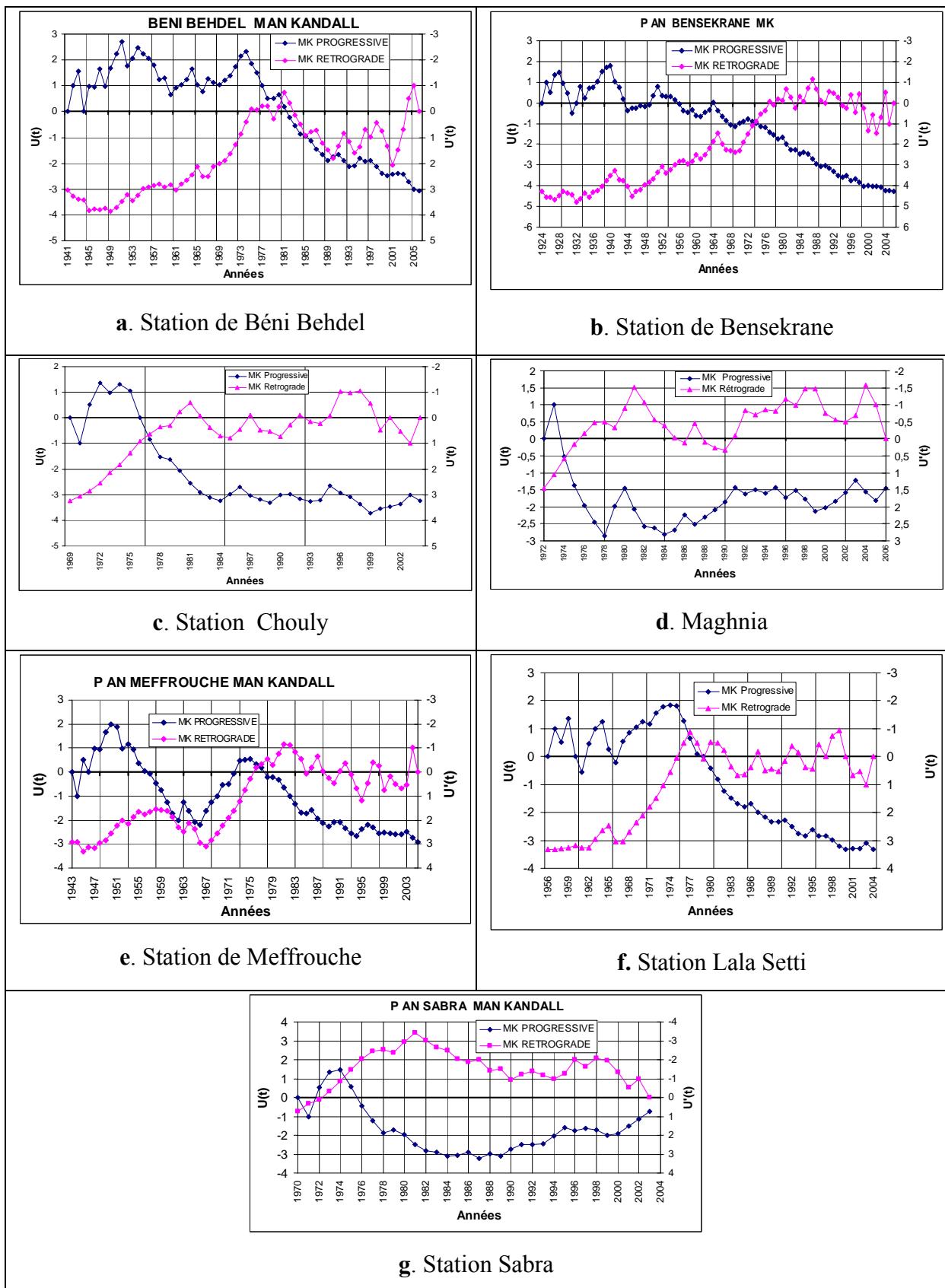
<b>Totaux pluviométriques annuels</b>				
<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>U (t)</b>	<b>Seuil de signification</b>	<b>Début de la dernière tendance</b>
Beni behdel	1941-2006	-3.06	1.96	1993
Bensekrane	1924-2006	-4.28	1.96	1974
Chouly	1969-2004	-3.24	1.96	1978
Meffrouche	1943-2005	-2.91	1.96	1978
Maghnia	1972-2006	-1.46	-	-
Lalla Setti	1956-2004	-3.31	1.96	1979
Sabra	1970-2003	-0.72	-	-

- Les courbes de la figure III.8 présentent les courbes progressives et rétrogrades du test pour les stations utilisées. Concernant les totaux pluviométriques annuels; la statistique de ce test montre que ces derniers représentent des tendances significatives à la baisse au niveau du seuil de 5 % pour la plus part des stations utilisées; cela est affirmer sur le tableau .III.6.

A partir des courbes progressives et rétrogrades sur ces périodes , nous confirmons une tendance négative significative inscrite au début des années quatre vingt dix pour la station de Béni Behdel (1993) et au début des années soixante dix du vingtième siècle pour les autres stations (1974) pour la station de Bensekrane, (1978) pour les stations de Chouly et Meffrouche, pour l (1979) pour la région de Lalla Setti.

- La statistique du test de Mann Kendall sur l'évolution des totaux hivernaux montre une tendance significative à la baisse pour les stations ; de Bensekrane (2004) et Chouly (2002) ; figure. III.10.
- Pour les totaux automnaux, Ce test montre une tendance significative à la hausse la station de Meffrouche observée en 1983 et une tendance significative à la baisse pour les stations de Bensekrane (1964) et Lalla Setti (1970). cela les autres stations ne représentent aucune tendance significative.

Rapport Gratuito.com



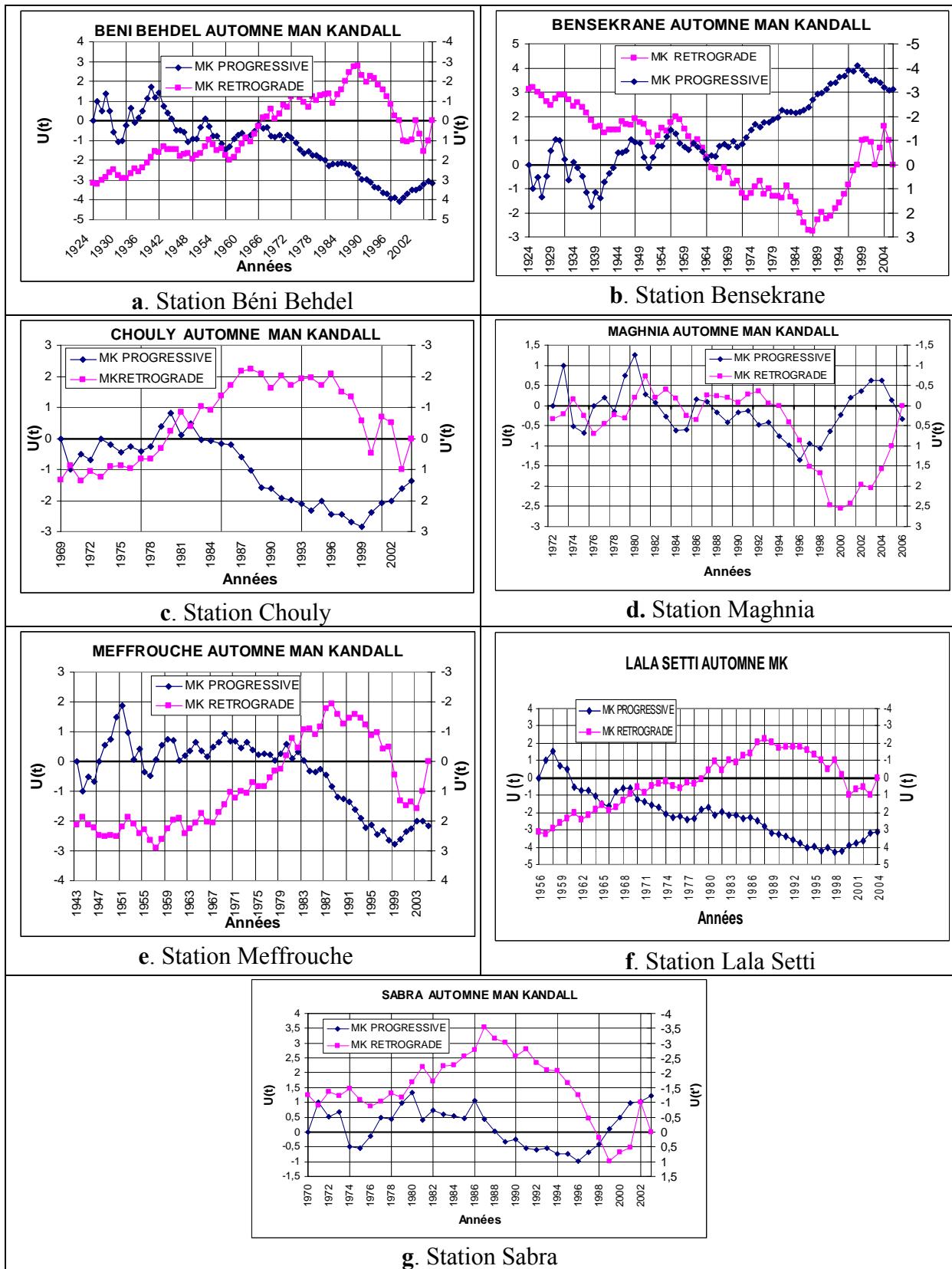
**Figure. III.8** Etude de la tendance pluviométrique annuelle par le test de Mann Kendall

**Tableau III.7 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières**

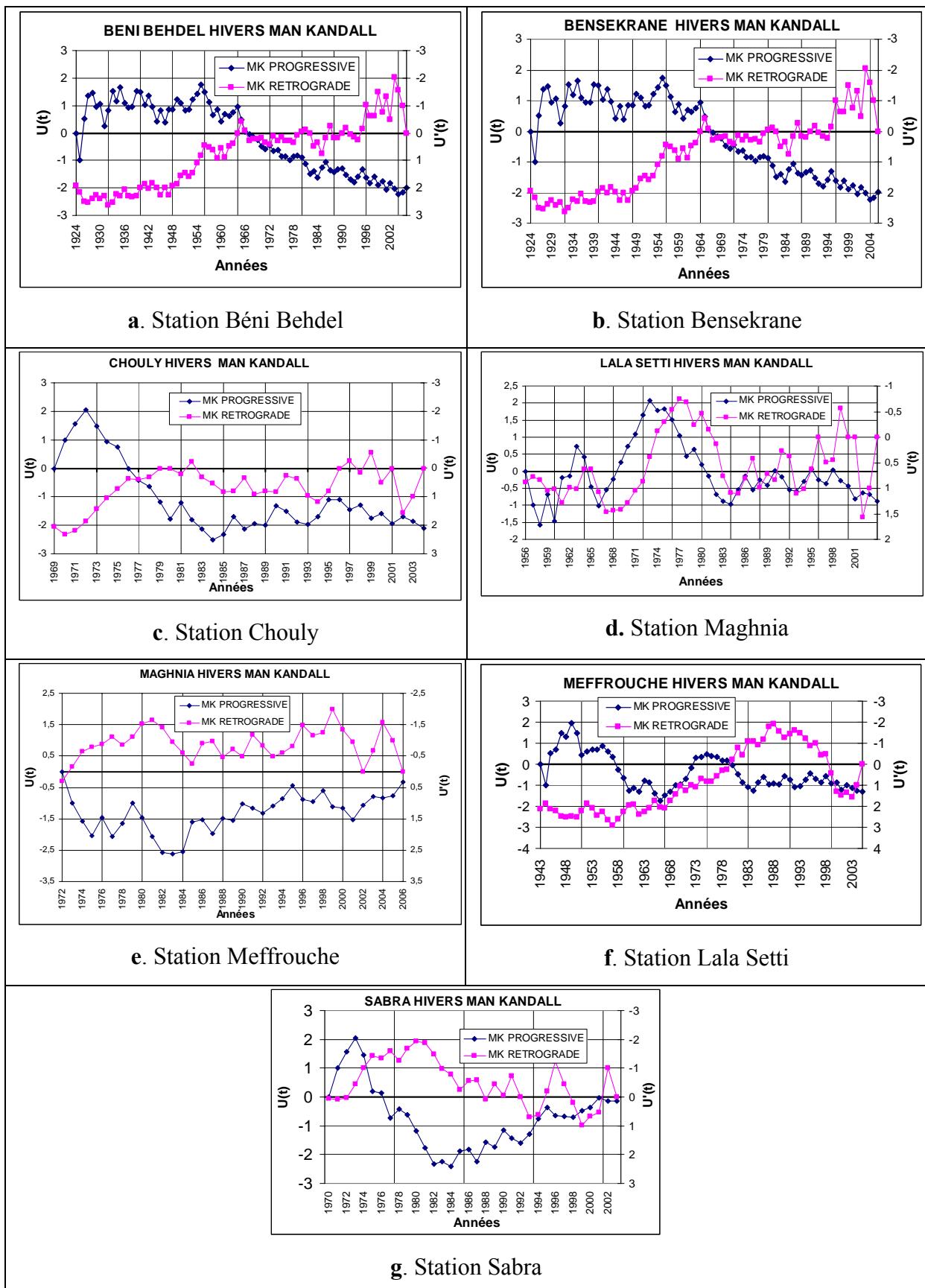
<b>Automne</b>				
<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>U (t)</b>	<b>Seuil de signification</b>	<b>Début de la dernière tendance</b>
Bensekrane	1924-2006	-3.13	1.96	1964
Béni Behdel	1941-2006	-1.21	-	Pas de tendance significative -
Chouly	1969-2004	-1.36	-	Pas de tendance significative -
Meffrouche	1943-2005	2.16	1.96	1983
Maghnia	1972-2006	-0.33	-	Pas de tendance significative -
Lalla Setti	1956-2004	-3.13	1.96	1970
Sabra	1970-2003	1.23	-	Pas de tendance significative -

**Tableau III.8 : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières**

<b>Hivers</b>				
<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>U (t)</b>	<b>Seuil de signification</b>	<b>Début de la dernière tendance</b>
Béni Behdel	1941-2006	-1.76	-	Pas de tendance significative
Bensekrane	1924-2006	-1.98	1.96	2004
Chouly	1969-2004	-2.09	1.96	2002
Meffrouche	1943-2005	-1.32	-	Pas de tendance significative-
Maghnia	1972-2006	-0.32	-	- Pas de tendance significative
Lalla Setti	1956-2004	-0.87	-	Pas de tendance significative -
Sabra	1970-2003	-0.13	-	Pas de tendance significative



**FIGURE III.9.** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (automne) par le test de Mann Kendall



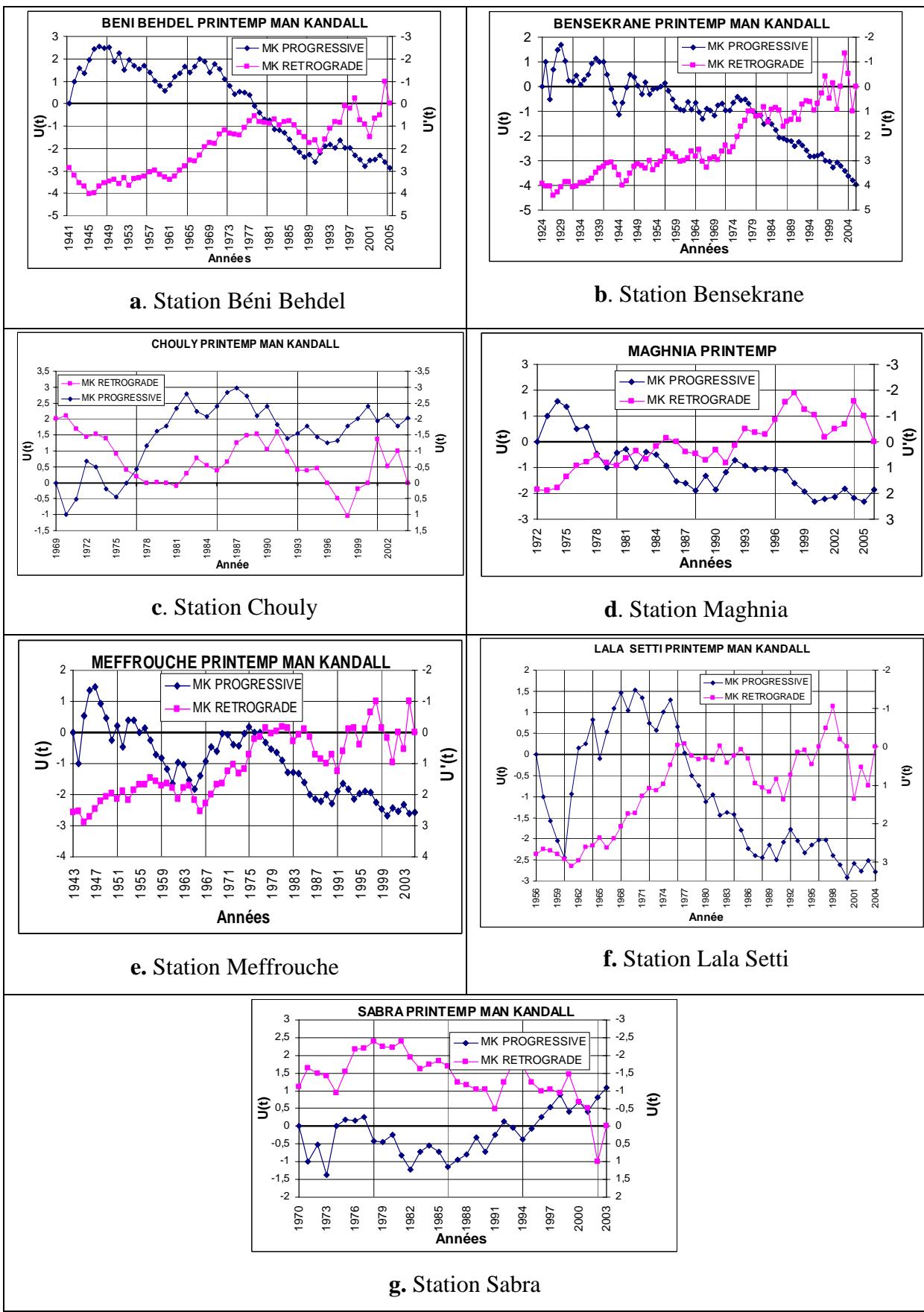
**FIGURE III.10.** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (hivers) par le test de Mann Kendall

**Tableau III.9 :** Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières

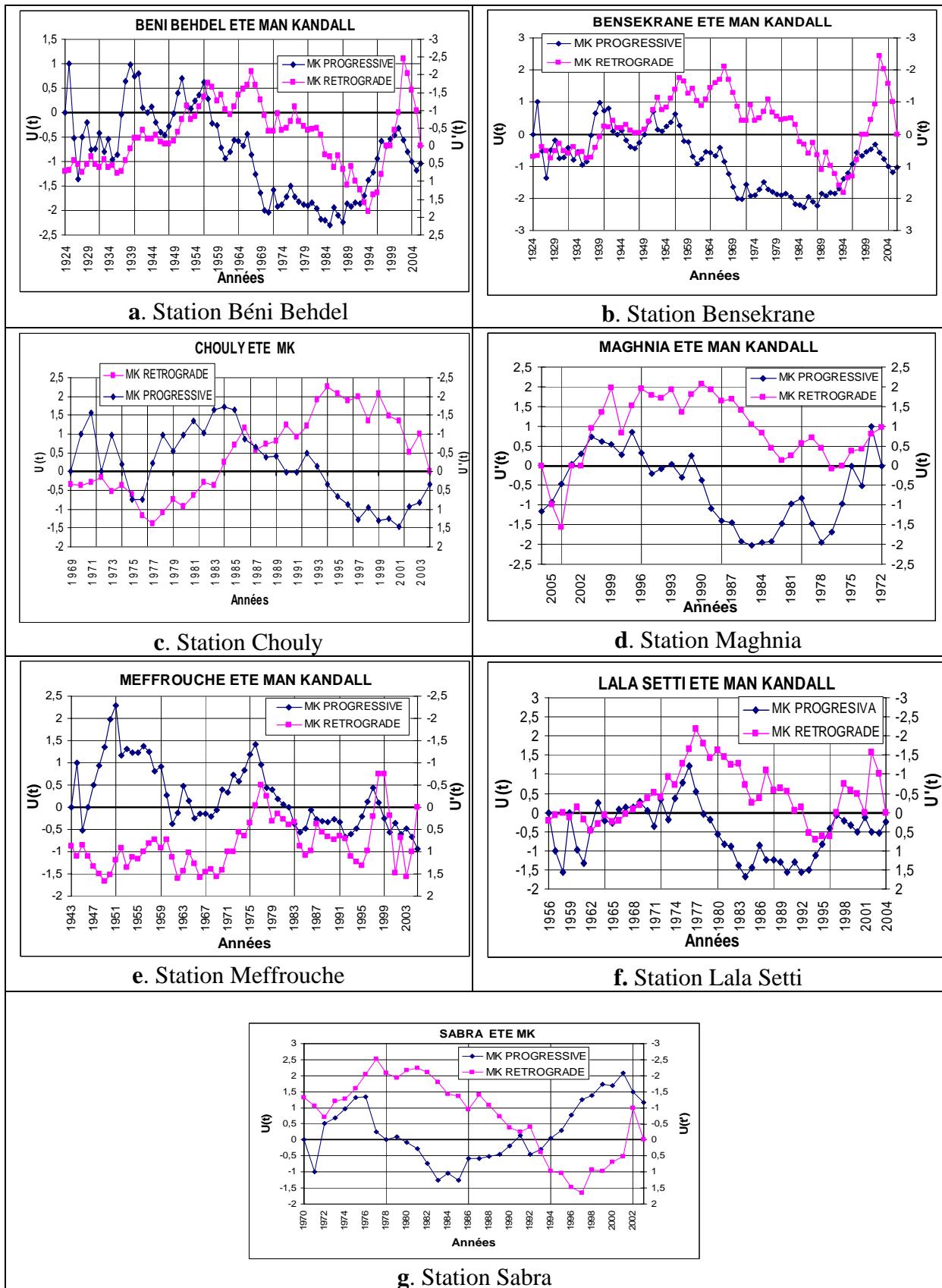
<b>Printemps</b>				
<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>U (t)</b>	<b>Seuil de signification</b>	<b>Début de la dernière tendance</b>
Beni behdel	1941-2006	-2.88	1.96	1995
Bensekrane	1924-2006	-3.95	1.96	1984
Chouly	1969-2004	-2.04	1.96	1977
Meffrouche	1943-2005	-2.58	1.96	
Maghnia	1972-2006	-1.86	-	1984
Lalla Setti	1956-2004	-2.79	1.96	
Sabra	1970-2003	1.08	-	2002

**Tableau III.10 :** Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux précipitations saisonnières

<b>Eté</b>				
<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>U (t)</b>	<b>Seuil de signification</b>	<b>Début de la dernière tendance</b>
Beni behdel	1941-2006	0.35	1.96	-
Bensekrane	1924-2006	-1.02	1.96	-
Chouly	1969-2004	0.32	1.96	-
Meffrouche	1943-2005	-0.94	1.96	-
Maghnia	1972-2006	-1.15	-	-
Lalla Setti	1956-2004	-0.24	1.96	-
Sabra	1970-2003	1.17	-	1993



**FIGURE III.11.** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (printemps) par le test de Mann Kendall

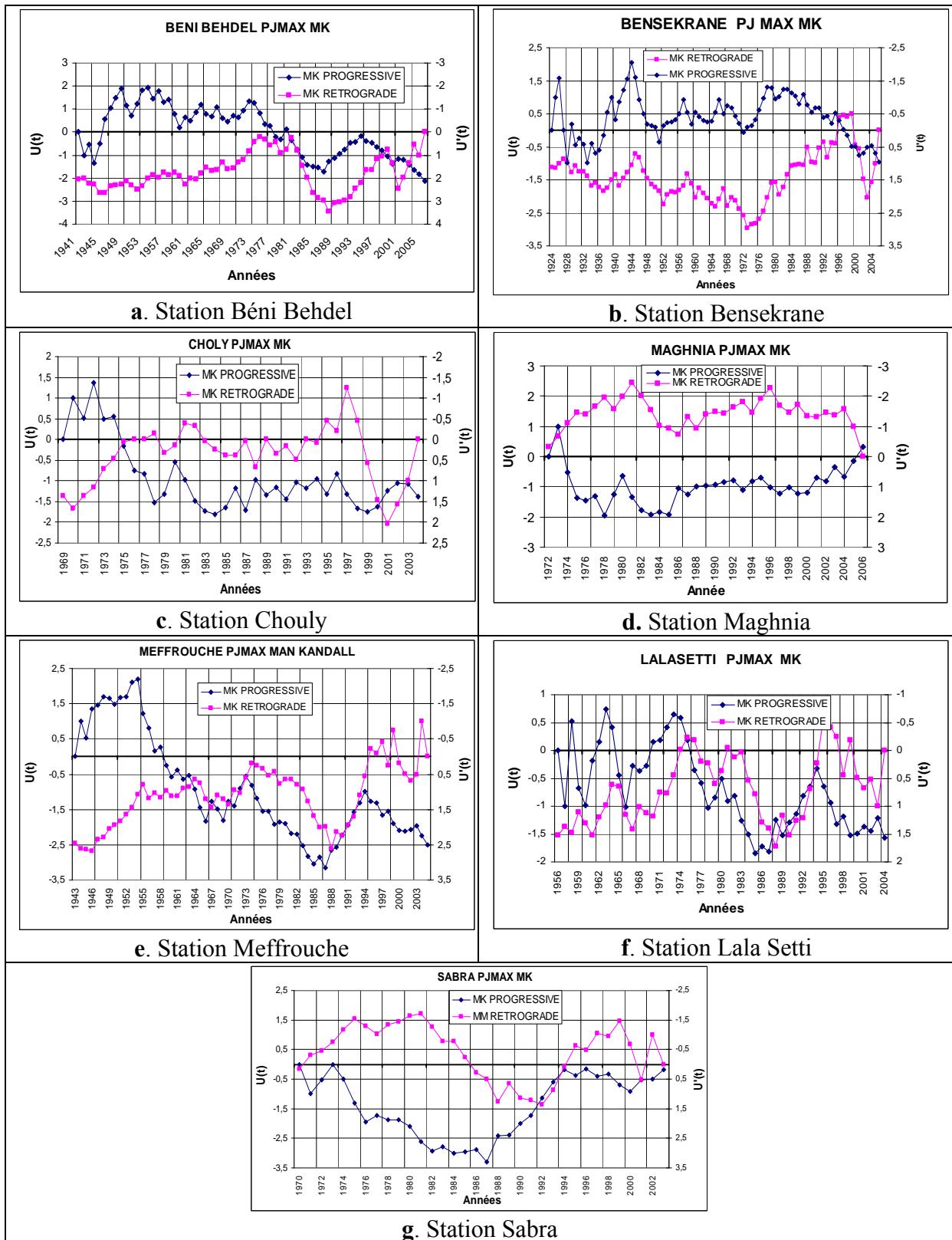


**FIGURE III.12.** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (été) par le test de Mann Kendall

Les résultats de l'application du test de Mann Kendall sur les précipitations maximales journalières sont représentés sur le tableau III.11. le test progressif et rétrograde des stations étudiées sont illustrés sur la figure III.13; ce test montre que les stations de Béni Behdel , Meffrouche et Lalla Setti présente une tendance significative à la baisse au niveau du seuil de 5% : Une tendance significative est inscrite respectivement ( 2005,1994 et 1994) la station de Bensekrane présente une tendance significative à la hausse en 2003.

**Tableau III.11 :** Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux pluies maximales journalières

<b>Pluies maximales journalières</b>				
<b>Stations</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>U (t)</b>	<b>Seuil de signification</b>	<b>Début de la dernière tendance</b>
Béni Behdel	1941-2006	-2.11	1.96	2005
Bensekrane	1924-2006	2	1.96	2003
Chouly	1969-2004	-1.38	-	-
Meffrouche	1943-2005	-2.5	1.96	1994
Maghnia	1972-2006	0.32	-	-
Lalla Setti	1956-2004	-1.98	1.96	1995
Sabra	1970-2003	-0.19	-	-

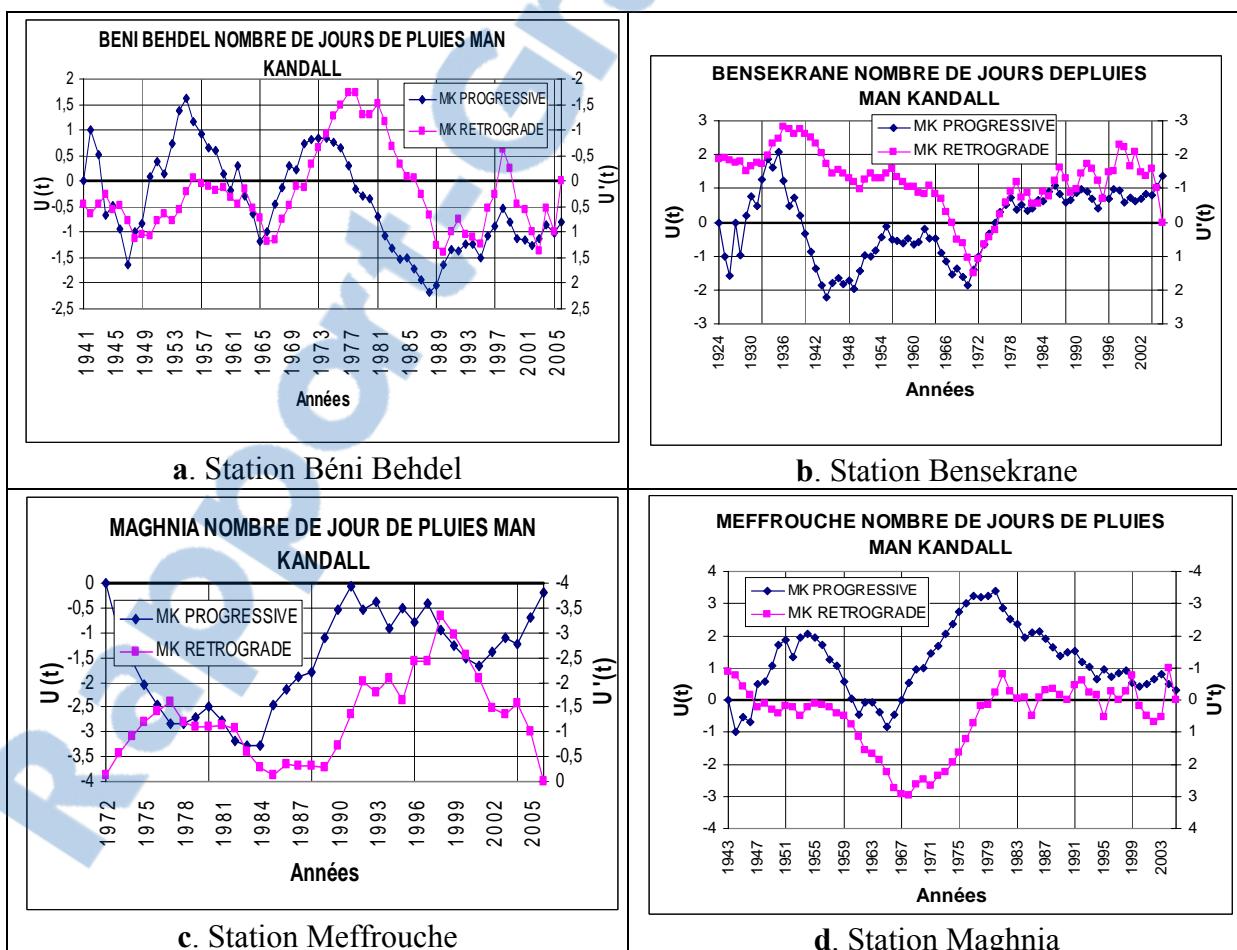


**FIGURE III.13.** Etude de la tendance pluviométrique maximale journalière par le test de Mann Kendall

**Tableau III.12.** Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué au nombre de jour de pluies

Nombre de jour de pluies				
Stations	Période d'étude	U (t)	Seuil de signification	Début de la dernière tendance
Beni behdel	1941-2006	-0.79	-	2005
Bensekrane	1924-2006	1.32	1.96	2005
Meffrouche	1943-2005	-0.28	-	2005
Maghnia	1972-2006	0.18	-	2000

Le tableau. III.12 et la figure.III.14 présentent les résultats de l'application du test de Man Kendall sur le nombre de jours de pluies pour les 04 stations disponibles. Ce test montre une tendance significative à la hausse au niveau du seuil de 5% concernant la station de Bensekrane ; cela c'est produit au début des années deux mille (2005).



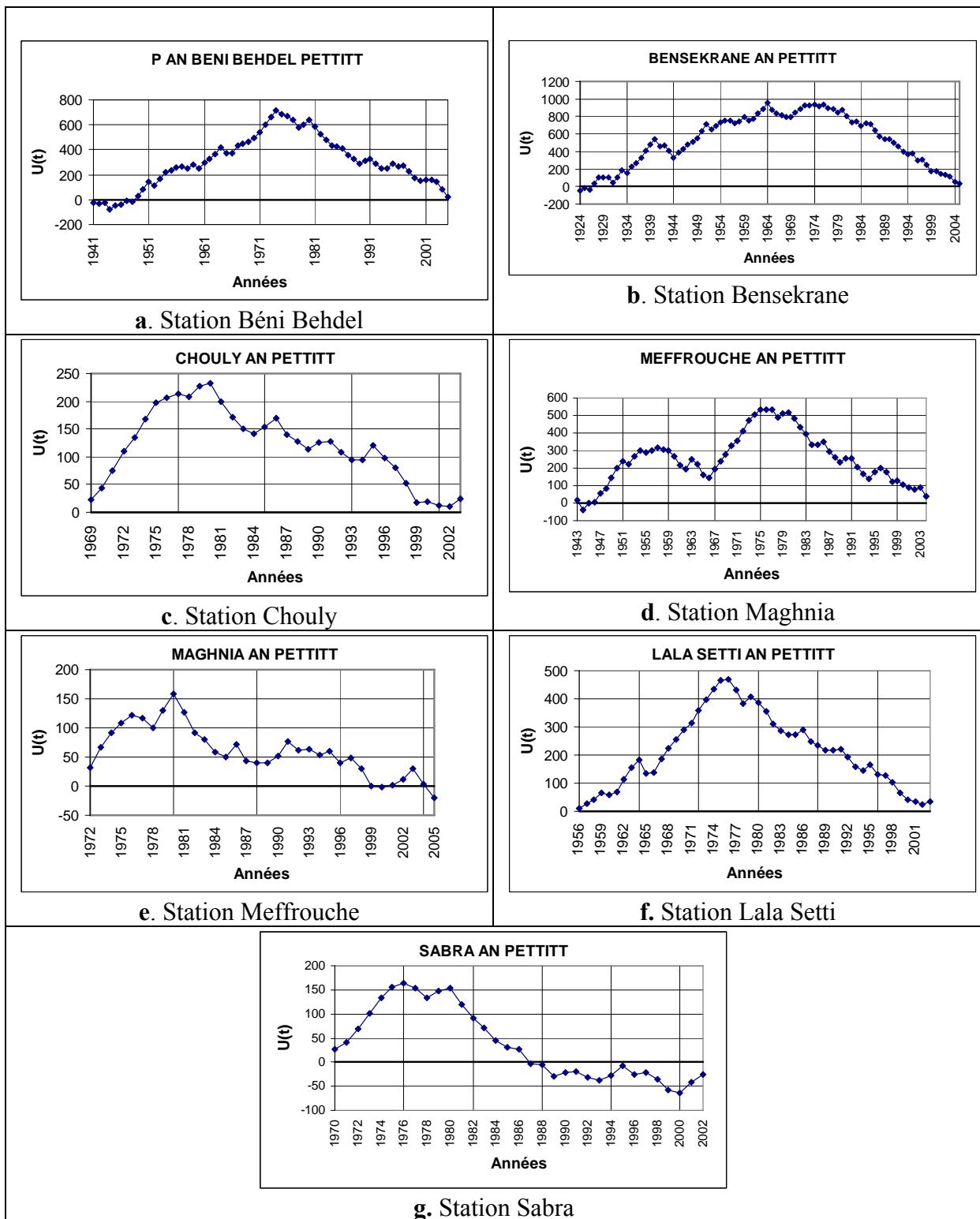
**Figure III.14.** Etude de la tendance pluviométrique du nombre de jour de pluie par le test de Mann Kendall

**C-b) Test de Pettitt:**

Ce test montre qu'il y a une rupture de la stationnarité des totaux pluviométriques annuels au début des années soixante à la station de Bensekrane (1964) et au milieu des années soixante dix aux stations de Beni Behdel (1974), Meffrouche (1975), Lalla Setti et Sabra (1976). Pour la station de Maghnia la rupture a eu lieu au début des années quatre vingt (1980) comme le montre le tableau III.13 et la figure.III.15. Nous avons constaté une réduction entre la moyenne avant et après la rupture pour l'ensemble des stations; avec un taux de réduction de 17% pour les stations de Lalla Setti, Chouly et Béni Behdel, de 10% pour les stations de Maghnia et Sabra de 38% pour la station de Meffrouche et de 15% pour la station de Bensekrane

**Tableau III.13 :** Résultats du test de Pettitt statistique appliquée à l'échelle annuelle

Stations	Période d'étude	Totaux pluviométriques annuels				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Beni behdel	1941-2006	714	0.000056	1974	461	379
Bensekrane	1924-2006	956	0.00015	1964	440	373
Chouly	1969-2004	232	0.0023	1980	421	349
Meffrouche	1943-2005	536	0.0022	1975	659	403
Maghnia	1972-2006	158	0.06	1980	290	260
Lalla Setti	1956-2004	470	0.000032	1976	580	476
Sabra	1970-2003	163	0.0038	1976	390	358



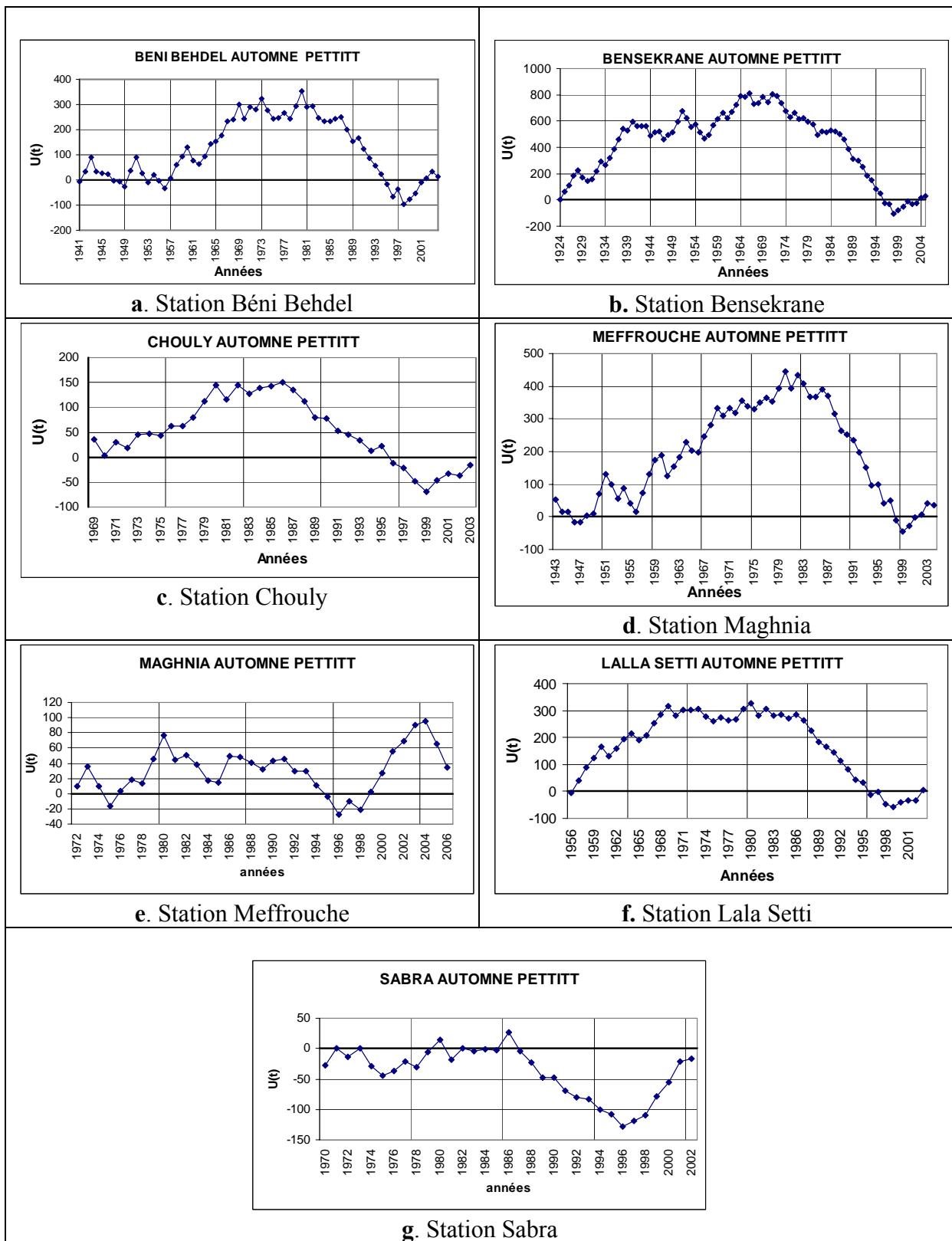
**FIGURE III.15.** Etude de la tendance pluviométrique annuelle par le test de Pettitt

**Tableau III.14 :** Résultats du test de Pettitt statistique appliquée à l'échelle saisonnière

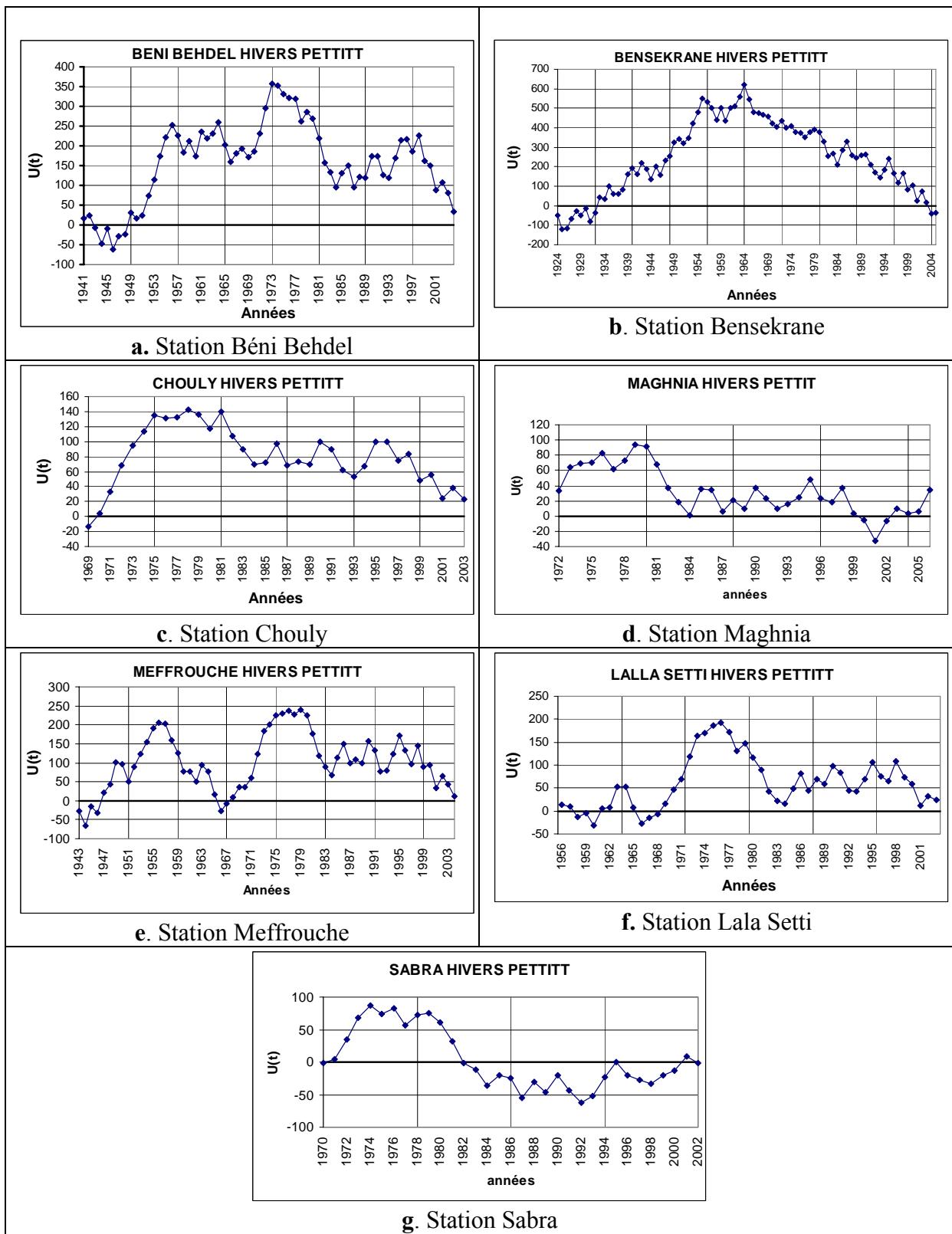
Stations	Période d'étude	Automne				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Beni behdel	1941-2006	354	0.1348	1980	145	116
Bensekrane	1924-2006	814	0.00207	1966	160	124
Chouly	1969-2004	150	0.119	1986	133	158
Meffrouche	1943-2005	444	0.0190	1980	205	233
Maghnia	1972-2006	95	0.646	2004	89	
Lalla Setti	1956-2004	326	0.0098	1980	186	148
Sabra	1970-2003	129	0.1695	1996	116	176

**Tableau III.15 :** Résultats du test de Pettitt statistique appliquée à l'échelle saisonnière

Stations	Période d'étude	Hivers				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Beni behdel	1941-2006	350	0.1268	1973	266	155
Bensekrane	1924-2006	620	0.037	1964	170	145
Chouly	1969-2004	143	0.154	1978	177	189
Meffrouche	1943-2005	240	0.513	1979	266	230
Maghnia	1972-2006	94	0.662	1979	121	111
Lalla Setti	1956-2004	190	0.329	1976	223	235
Sabra	1970-2003	87	0.650	1974	177	161



**Figure III.16.**Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (automne) par le test de Pettitt



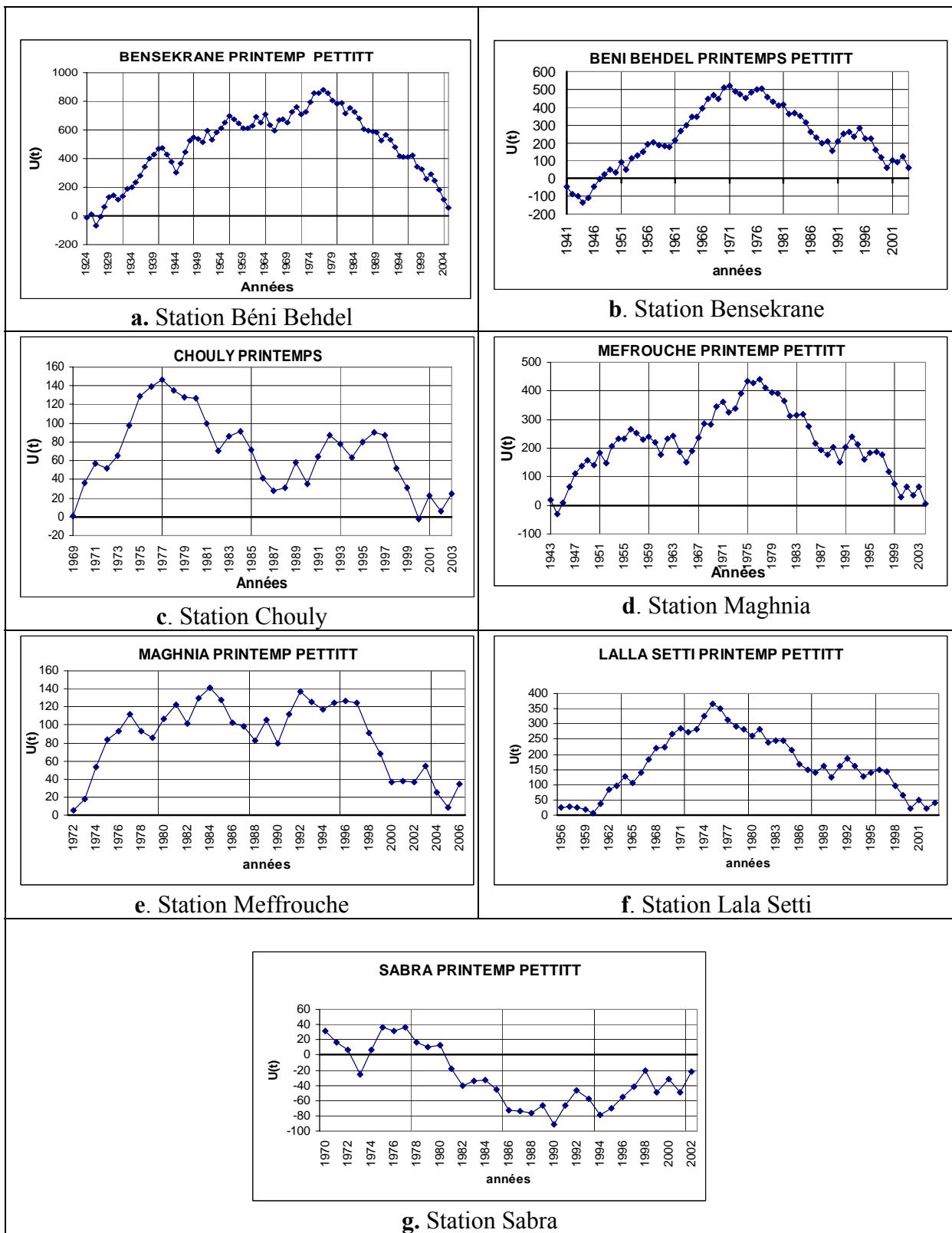
**Figure III.17.** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (hivers) par le test de Pettitt

**Tableau III.16 :** Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle saisonnière

Stations	Période d'étude	Printemps				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Beni behdel	1941-2006	519	0.00608	1971	103	75
Bensekrane	1924-2006	881	0.00063	1977	86	108
Chouly	1969-2004	146	0.138	1977	86	94
Meffrouche	1943-2005	442	0.018	1977	155	110
Maghnia	1972-2006	141	0.166	1984	71	57
Lalla Setti	1956-2004	366	0.0022	1975	143	101
Sabra	1970-003	91	0.5857	1990	143	125

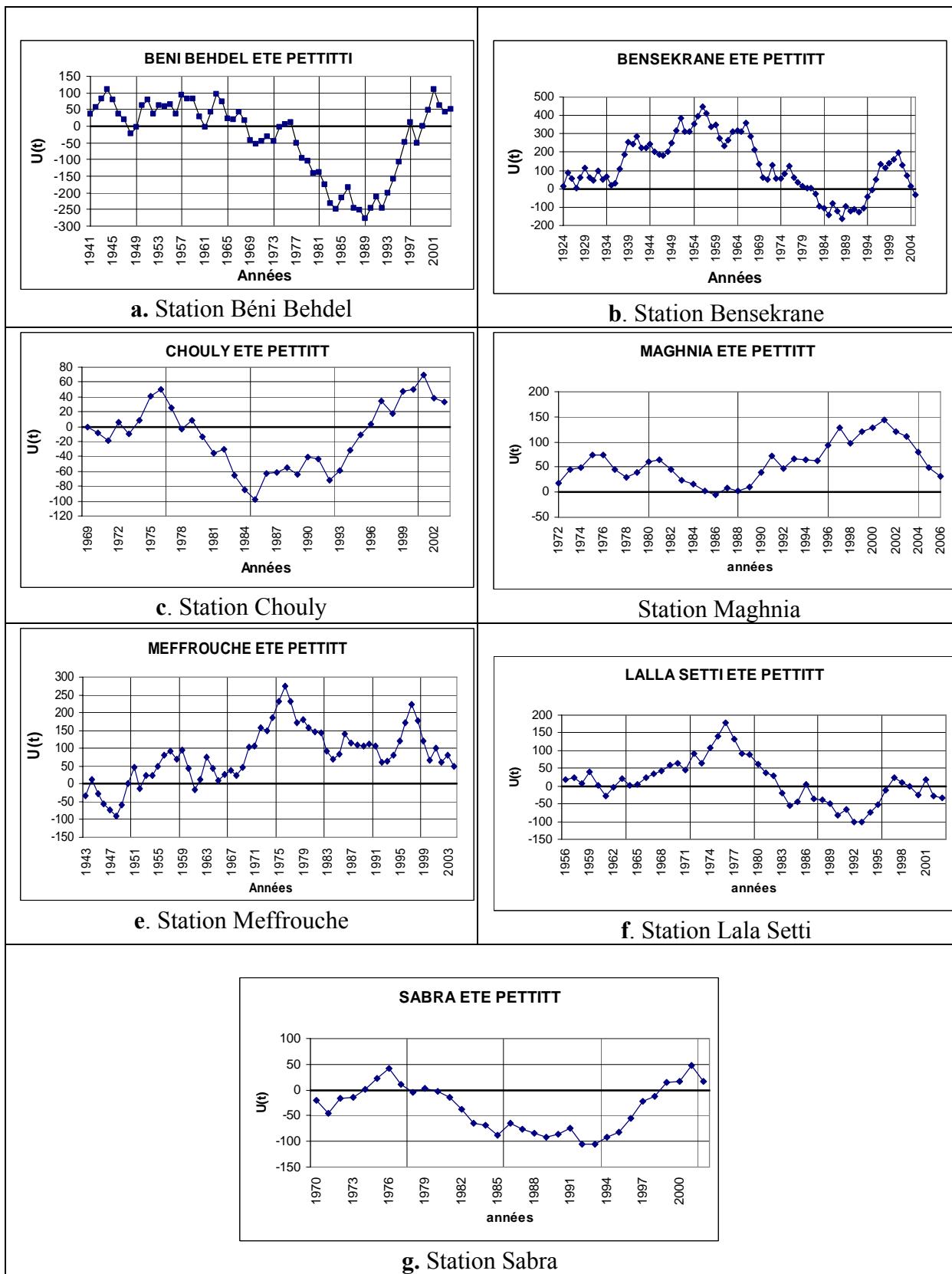
**Tableau III.17.** Résultats du test de Pettitt statistique appliquée à l'échelle saisonnière

Stations	Période d'étude	Eté				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Beni behdel	1941-2006	278	0.379	1989	23	34
Bensekrane	1924-2006	450	0.245	1956	20	16
Chouly	1969-2004	98	0.601	1987	27	27
Meffrouche	1943-2005	275	0.335	1976	27	22
Maghnia	1972-2006	144	0.149	2001	17	3
Lalla Setti	1956-2004	177	0.4178	1976	28	26
Sabra	1970-2003	106	0.3779	1993	17	26



**Figure III.18.** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (printemps) par le test de Pettitt

- L'application du test de Pettitt sur les valeurs saisonnières, confirme une rupture de la stationnarité sur les totaux hivernaux (figure.III.17), observés au début et à la fin des années soixante dix ces résultats sont très proches de ceux trouvés auparavant pour les totaux pluviométriques annuels plus particulièrement pour la région de Bensekrane où nous trouvons la même date de rupture (1964); de même pour les totaux automnaux (figure.III.16), où on constate une rupture significative de la stationnarité décelé au début des années quatre vingt pour les stations de: Benibehdel, Meffrouche, Lalla setti (1980) et Chouly (1986). les stations de maghnia et sabra ont subi une rupture de la stationnarité respectivement en (2001) et (1993). Nous avons constaté que la date de rupture de la station de bensekrane est très proche de celle des totaux hivernaux.
- Selon les résultats exposés dans le paragraphe si dessus et les valeurs sont résumées dans les tableaux III.14 à III.17, nous pouvons conclure que la rupture de la stationnarité des totaux annuels est probablement due aux totaux hivernaux.
- Nous avons remarqué une diminution de la moyenne d'une valeur de 15% pour la plus part des stations.

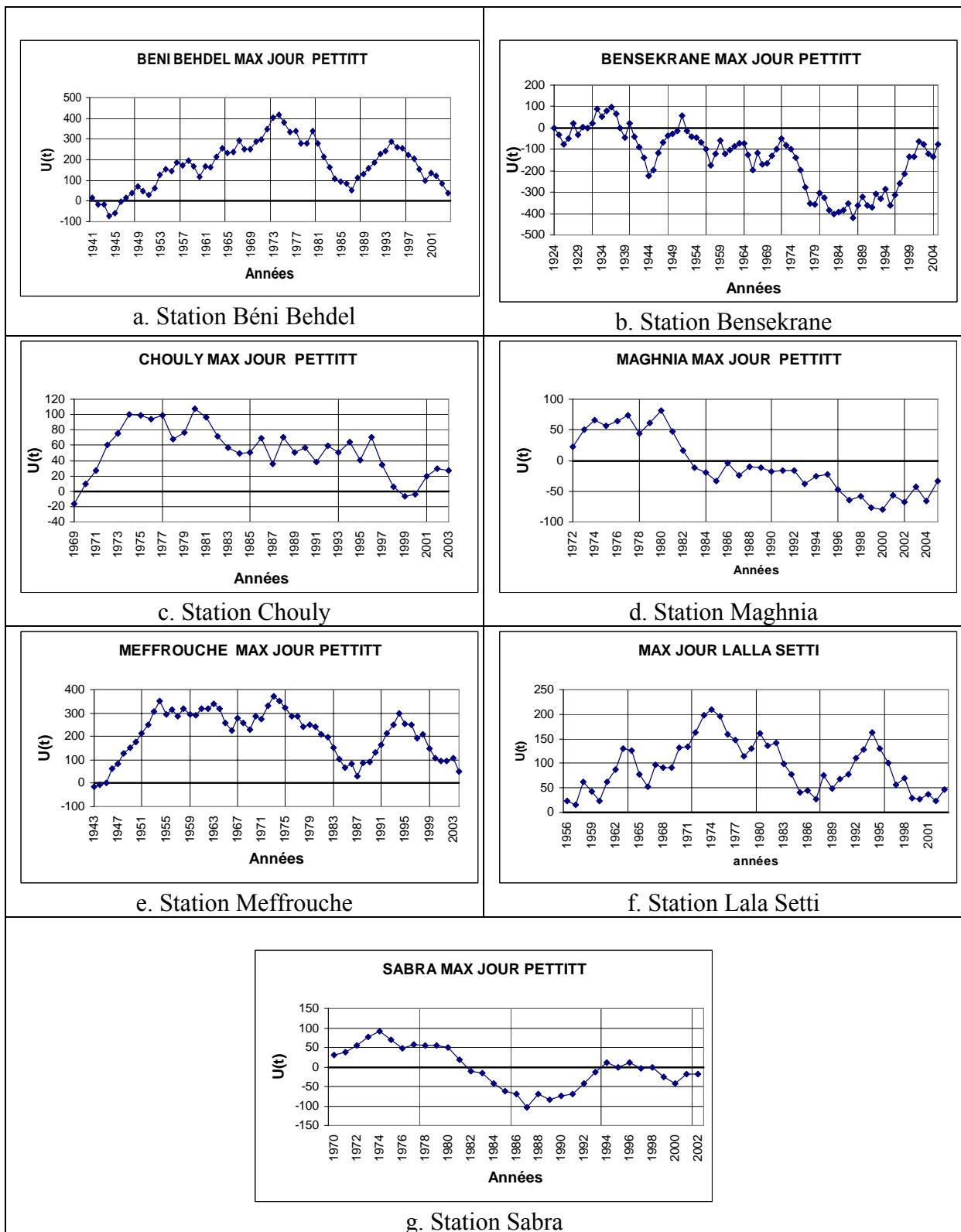


**Figure III.19.** Etude de la tendance pluviométrique saisonnière (été) par le test de Pettitt

**Tableau III.18 :** Résultats du test de Pettitt statistique appliqué sur les maximales journalières

Stations	Période d'étude	Pluies maximales journalières				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Beni behdel	1941-2006	417	0.047	1974	71	52
Bensekrane	1924-2006	420	0.321	1987	47	57
Chouly	1969-2004	108	0.464	1980	54	45
Meffrouche	1943-2005	373	0.0747	1973	81	62
Maghnia	1972-2006	82	0.8011	1980	48	40
Lalla Setti	1956-2004	210	0.220	1974	69	53
Sabra	1970-2003	103	0.4114	1987	47	62

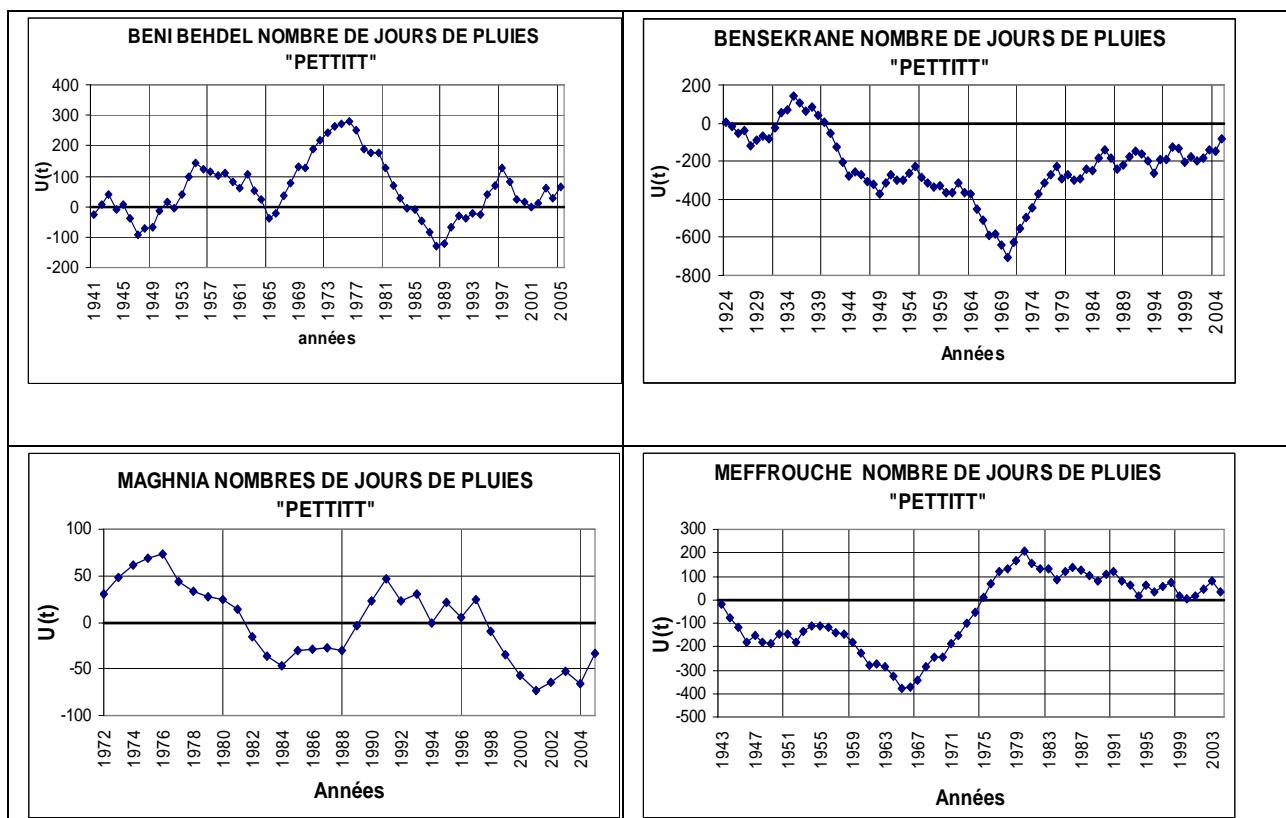
- Les résultats d'application du test de Pettitt au niveau du seuil de 5% sur les pluies maximales journalières montre une rupture de la stationnarité enregistrée au début des années soixante dix et quatre vingt : pour les stations de Benibehdel et Lalla setti (1974), Meffrouche (1973), Chouly et maghnia (1980), bensekrane et sabra (1987), ces résultat sont représentés dans la figure.III.20 et résumés dans le tableau III.18. À partir de ce tableau nous avons conclus une diminution de la moyenne après la rupture d'une valeur de (17% à 20%).
- L'observation de la figure.III.21 nous montre une rupture significative au niveau du seuil de 5% pour le nombre de jour de pluies détectée dans les années soixante dix pour les stations de Benibehdel (1976), bensekrane (1970), pour les stations de Meffrouche et maghnia, la rupture est détecté successivement en (1965) et en (2001). Ces résultats sont résumés sur le tableau.III.19.



**Figure III.20.** Etude de la tendance pluviométrique maximale journalière par le test de Pettitt

**Tableau III.19 :** Résultats du test de Pettitt statistique appliquée au nombre de jour de pluies

Stations	Période d'étude	Nombre de jours de pluies				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture	Moy après la rupture
Beni behdel	1941-2006	280	0.39	1976	58	87
Bensekrane	1924-2006	706	0.011	1970	49	58
Meffrouche	1943-2005	378	0.06	1965	64	73
Maghnia	1972-2006	74	0.94	2001	52	64

**Figure III.21.** Etude de la tendance pluviométrique du nombre de jour de pluie par le test de Pettitt

**Tableau III.20 :** Répartition de nombre de jour de pluie par décennie à différents seuils  
station de Bensekrane

<b>Décennies</b>	<b>Seuils</b>					
	<b>0.1 mm</b>	<b>5 mm</b>	<b>10 mm</b>	<b>20 mm</b>	<b>30 mm</b>	<b>50 mm</b>
27-36	573	333	184	70	29	13
37-46	433	331	221	75	19	4
47-56	517	324	192	72	32	6
57-66	421	267	152	63	23	5
67-76	587	28	142	54	28	4
77-86	554	208	116	40	12	2
87-94	510	193	102	32	16	5
95-04	204	75	91	30	13	3

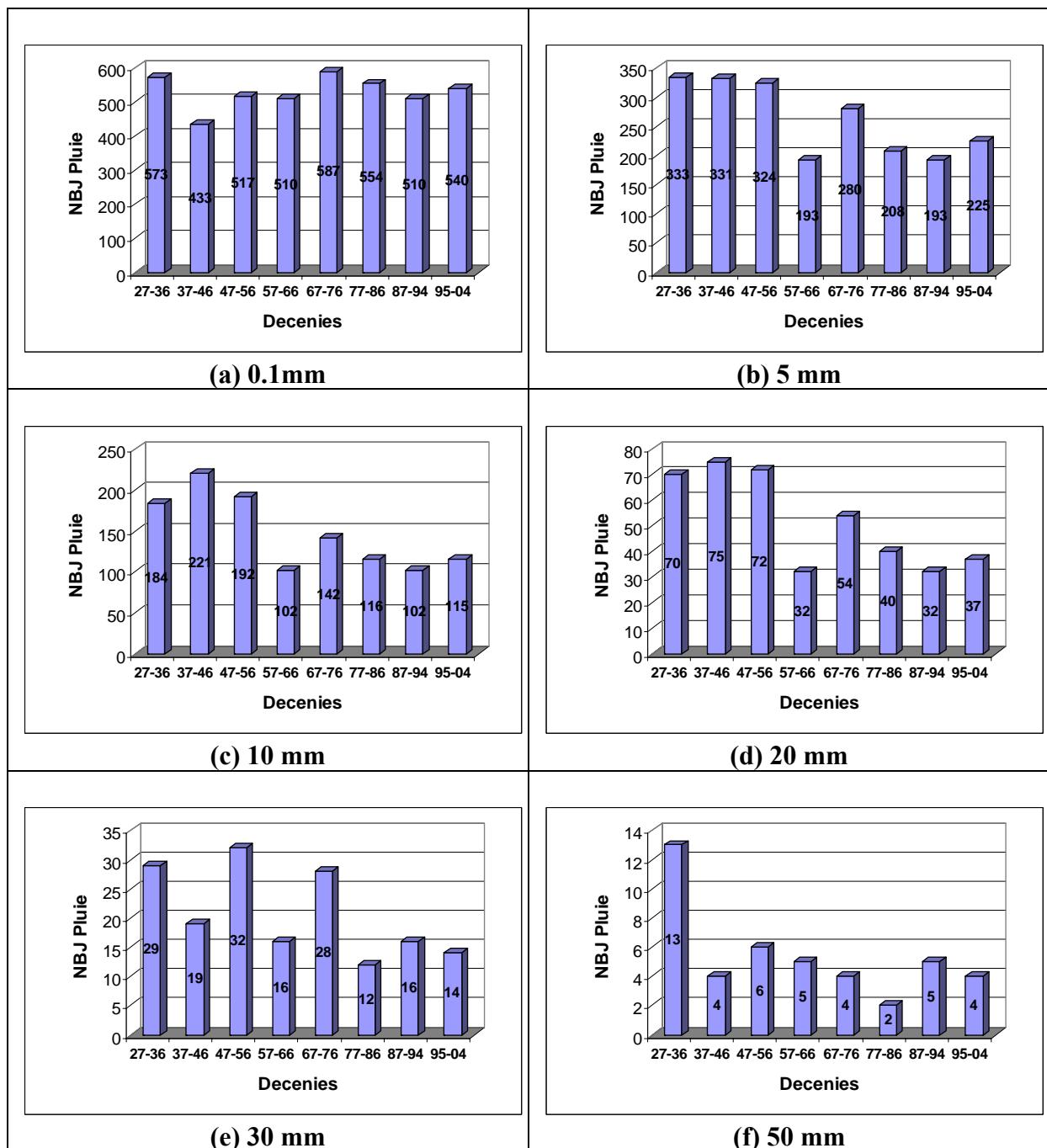
**Tableau III.21 :** Répartition de nombre de jour de pluie par décennie à différents seuils  
Station de Beni Behdel

<b>Décennies</b>	<b>Seuils</b>					
	<b>0.1 mm</b>	<b>5 mm</b>	<b>10 mm</b>	<b>20 mm</b>	<b>30 mm</b>	<b>50 mm</b>
47-56	515	277	179	78	51	16
57-66	612	266	158	76	55	18
67-76	496	307	177	76	31	11
77-86	645	205	116	35	6	4
87-94	512	233	117	46	20	9
95-04	593	192	104	45	30	3

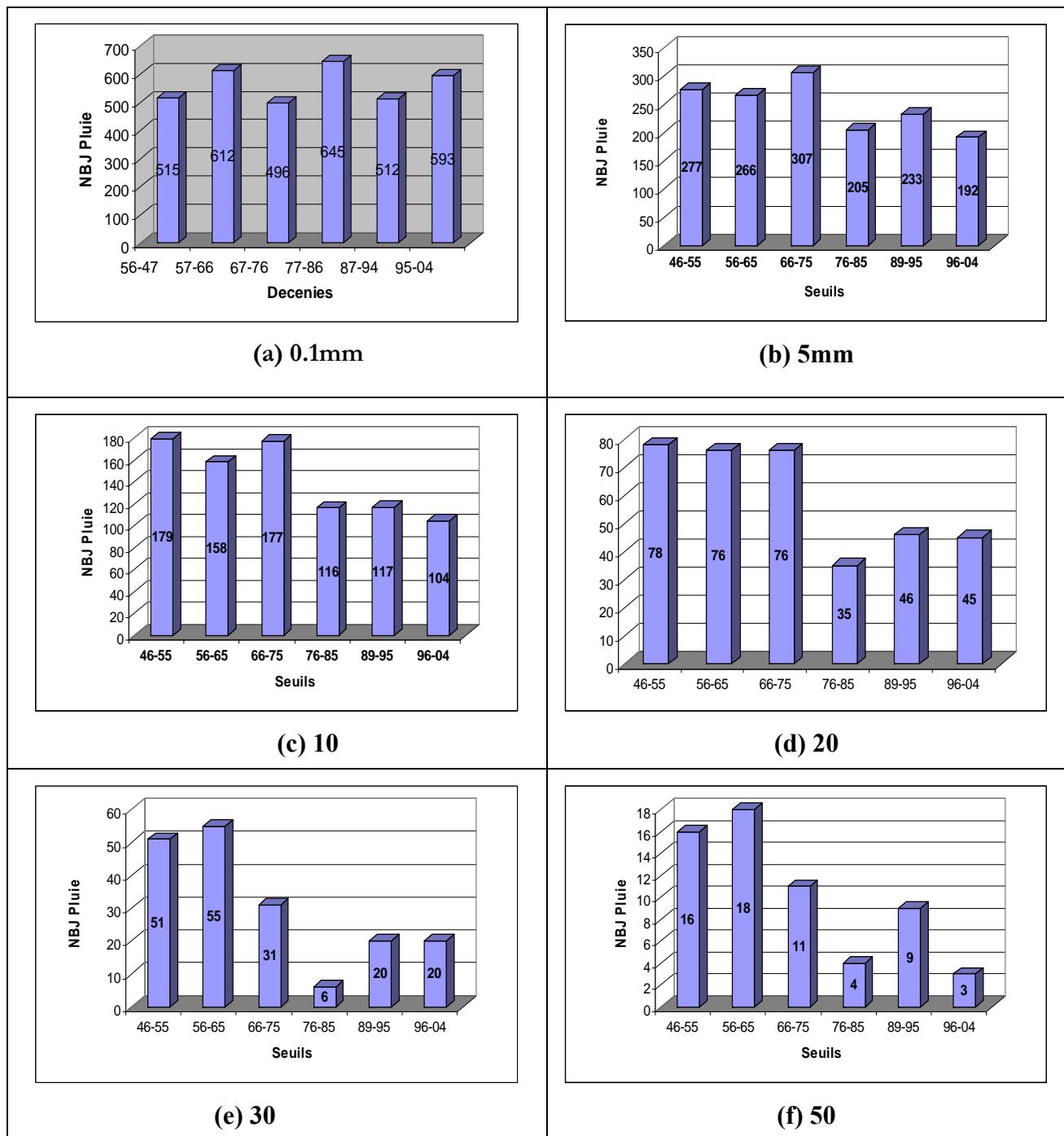
**Tableau III.22 :** Répartition de nombre de jour de pluie par décennie à différents seuils  
Station de Meffrouche

Décennies	Seuils					
	0.1 mm	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm	50 mm
47-56	672	402	251	119	70	33
57-66	624	333	203	99	46	2
67-76	1481	754	450	227	152	90
77-86	751	311	173	27	33	8
87-94	667	382	158	66	36	14
95-04	651	296	179	16	16	9

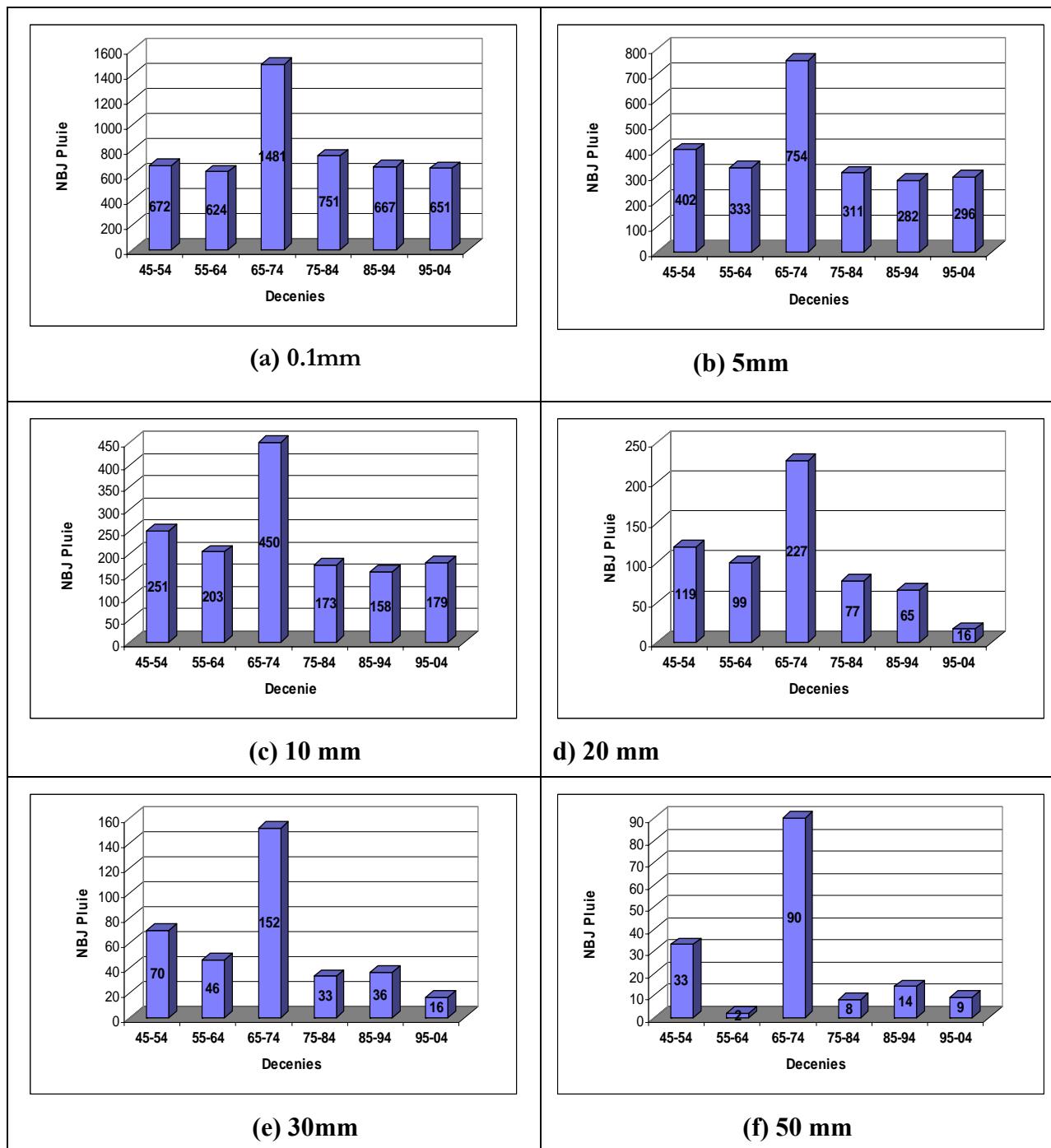
L'analyse des histogrammes de la répartition du nombre de jour de pluies (figures III.22 à III.24) nous a apporté une certaine information sur la répartition du nombre de jour de pluie par décennie aussi bien pour les fortes pluies que pour les faibles pluies, toutefois ces pluies peuvent être groupées en un certain nombre de jours qui sont reparties d'une façon plutôt aléatoire et très variables dans le temps; puisque la pluie ne tombe pas d'une façon continue mais se caractérise par des périodes sèches et humides.



**Figure III.22.** Histogrammes de nombre de jour de pluie par décennies à différents seuils  
Station de Bensekrane



**Figure III .23.** Histogrammes de nombre de jour de pluie par décennies a différents seuils  
Station de Beni Behdel



**Figure III.24.** Histogrammes de nombre de jour de pluie par décennies à différents seuils  
Station de Meffrouche

# **CHAPITRE IV**

# **ETUDE PROBABILISTE DES VALEURES EXTREMES**

# **CHAPITRE IV ETUDE PROBABILISTE DES VALEURES EXTREMES**

## **IV.1. INTRODUCTION :**

Ce chapitre est consacré à l'étude des fortes valeurs de précipitations, il s'agit des précipitations maximales journalières, qui sont considérés comme des valeurs extrêmes, qui peuvent causer des dégâts. Pour ce faire ; nous allons utiliser la théorie des valeurs extrêmes qui est une procédure qui s'intéresse à ce point particulier elle fournit des résultats d'une très grande utilité en pratique [32] [33] [34].

Dans notre cas nous allons procéder au traitement des données des pluies maximales journalières, en utilisant deux théories à savoir : Gumbel et GEV (lois des valeurs extrêmes généralisées) dans un premier cas, ensuite nous allons comparer les résultats obtenus par ses deux formules et choisir la théorie la plus appropriée.

Avant de procéder à l'application de ces deux lois, nous allons donner quelques définitions de certains paramètres

#### **IV.2. DEFINITIONS DE QUELQUES PARAMETRES :**

A- Période de retour : Nous définissant la période de retour Ts, comme étant l'intervalle de temps moyen entre deux événements, dont l'intensité atteint ou dépasse un certain seuil s figure IV.1. Cela veut dire que sur un intervalle de temps Ts, il y a en moyenne un événement d'intensité supérieur ou égale à s. Ts est compté dans une unité de temps arbitraire ; en hydrologie le plus souvent c'est « l'année » [35] [36].

Un événement de période de retour  $T$  a en moyenne une probabilité  $1/T$  de se produire chaque année [36].

Nous reliant la période de retour à la probabilité de dépassement,  $P(x) = \text{Prob}(X > x)$ , ou de non-dépassement  $P' = 1 - P = \text{Prob}(X \leq x)$  : de la façon suivante :

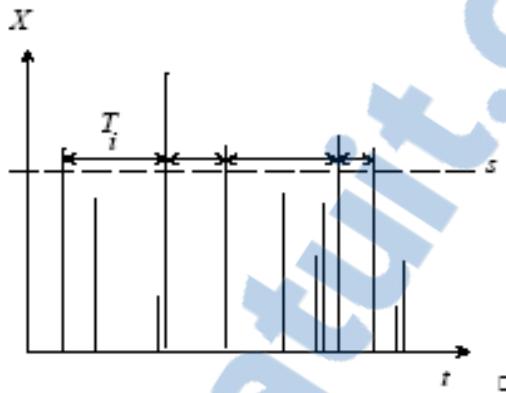
Avec :

T : Période de retour (années)

P : Probabilité au dépassement

**P'**: Probabilité au non dépassement

L'avantage de la période de retour est de rendre plus « parlante » la notion de probabilité d'occurrence .les phénomènes extrêmes sont en effet associés à des probabilités d'occurrence très petite, pour les peuples anciens il y a peu de différence entre 0.01 et 0.001, alors qu'en terme de probabilité des phénomènes extrêmes, c'est une différence colossale.



**Figure. IV.1.** Définition de la notion de période de retour (**In [37]**)

**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. Notant que la notion d'événement extrême dépend du temps .il peu y avoir moins d'événements extrêmes dans 100 an. Un événement dans 100 ans pourrait être une journée avec une pluie torrentielle en été ou une température glaciale au printemps. Cette notion est subjective.

## IV.2. PRESENTATION DES THEORIES UTILISEES :

### ❖ *Loi des valeurs extrêmes généralisées GEV :*

On l'appelle la distribution généralisée des valeurs extrêmes ; notées souvent GEV dans la littérature technique. Cette loi dépend de trois paramètres ; paramètre de localisation ; paramètre de forme et celui de l'échelle, ces derniers vont être exposé dans la formule de cette loi qui est défini si dessous. [38]

La fonction de probabilité définissant cette loi est :

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \frac{k}{\alpha} (x - u) \right]^{\frac{1}{k}-1} \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{k}{\alpha} (x - u) \right]^{\frac{1}{k}} \right\} \dots \dots \dots \text{IV.1}$$

Avec :

**u** : paramètre de localisation

**a**: paramètre d'échelle

**k** : paramètre de forme

### ❖ Loi de Gumbel :

C'est une loi à deux paramètres définie sur  $\mathbb{R}_+$ , obtenue en faisant tendre  $k$  vers 0.

C'est un cas particulier de la loi de GEV [39] ; dont la fonction de répartition s'écrit :

Cette fonction en hydrologie est appelée fonction de distribution de Gumbel

Avec :

**$\alpha$ ,  $u$**  : paramètres d'ajustement de Gumbel

#### ❖ Présentation du logiciel HYFRAN :

Hyfran est un logiciel dont le but est d'effectuer l'ajustement de plusieurs lois statistiques à une série de données, il permet de simplifier l'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon aléatoire. Ce logiciel a été développé par l'INRS –EAU en collaboration avec le service hydraulique (division hydrologie) de Hydro-Québec. Il est initialement conçu pour l'analyse de fréquence des événements extrêmes [40] (In [41]).

### **IV.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS :**

Les résultats de l'application des deux lois citées ci dessus, obtenu par le logiciel Hyfran en utilisant la méthode des maximums de vraisemblance et dans un intervalle de confiance de 95%, tableau (IV.1 à IV.4) et les graphes des figures (IV.1 à IV.14), montrent que les paramètres ( $u, \alpha, k$ ) de la loi GEV varient de (32.51, 14.30, -0.11) et ( 55.86, 24.7, -0.05) et les paramètres ( $u, \alpha$ ) de la loi de Gumbel varie entre (33.31, 15.99) et ( 56.44, 25.5).

Les valeurs des paramètres des lois GEV et Gumbel traduisent une variation assez significative d'une station à une autre.

#### **IV.3.1. Application du test khi-deux :**

Le but de l'application du test de Khi-deux de Pearson est de juger la compatibilité d'une loi statistique sur un échantillon donné de taille N. l'échantillon étant divisé un certain nombre de classe  $K_c$ , le nombre de ces casses doit être supérieur à 4, chaque classe doit contenir un nombre d'effectif d'au moins 5. [42] [43] [44] [45]. Le test de  $\chi^2$  est défini par la relation si après :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left( \frac{n_i - n_{pi}}{n_{pi}} \right)^2 \dots \dots \dots IV.3$$

Avec :

$n_i$  : effectif observé de classe  $i$ .

$n_{p_i}$ : effectif théorique de classe i.

- calculer de degré de liberté qui est donné par la relation suivante :

Avec :

$K_c$ : le nombre de classe

$p$  : nombre de paramètres de la loi ajustée

- pour connaître la fiabilité de ce test pour chaque ajustement, il faut d'abord calculer la valeur de  $\chi^2$  et de déterminer la probabilité correspondante à partir de la table de la fonction Khi-deux en fixant un seuil de signification  $\alpha$  ; pour ce faire deux hypothèses sont imposées :

$$H_0 : \text{vrai} \text{ si } P(\chi^2) \geq \alpha$$

H1 : n'est pas vrai si  $P(\chi^2) < \alpha$

Dans notre étude  $\alpha$  est de 5% donc on aura :

Si  $P(\chi^2) \geq 0.05$  ce qui conclut que l'hypothèse  $H_0$  a 95% de chance de se réaliser et a 5% de chance d'être rejetée.

Si  $P(\chi^2) < 0.05$  ce qui conclut que l'hypothèse  $H_0$  est rejetée à 95%.

Pour l'application de ce test dans notre cas d'étude, nous avons mis en œuvre deux hypothèses qui nous permettront de rejeter ou accepter la loi utilisée.

H0 : l'échantillon provient de la loi testée (GEV et Gumbel)

H1 : l'échantillon ne provient pas de la loi testée (GEV et Gumbel)

L'application du test de  $\chi^2$  dans notre travail montre que les deux lois s'ajustent à l'ensemble des stations utilisées à des degrés différents et à un seuil de 5% excepté le cas de la station

de Sabra ou l'hypothèse  $H_0$  est rejetée à un seuil de 1% pour les deux lois. Les probabilités obtenues par le calcul de Khi-deux sont comprise entre 9.12% et 88% pour les deux lois .On note une probabilité variante de 14% à 71% pour la loi de GEV, de 9.12% à 88% pour la loi de Gumbel.

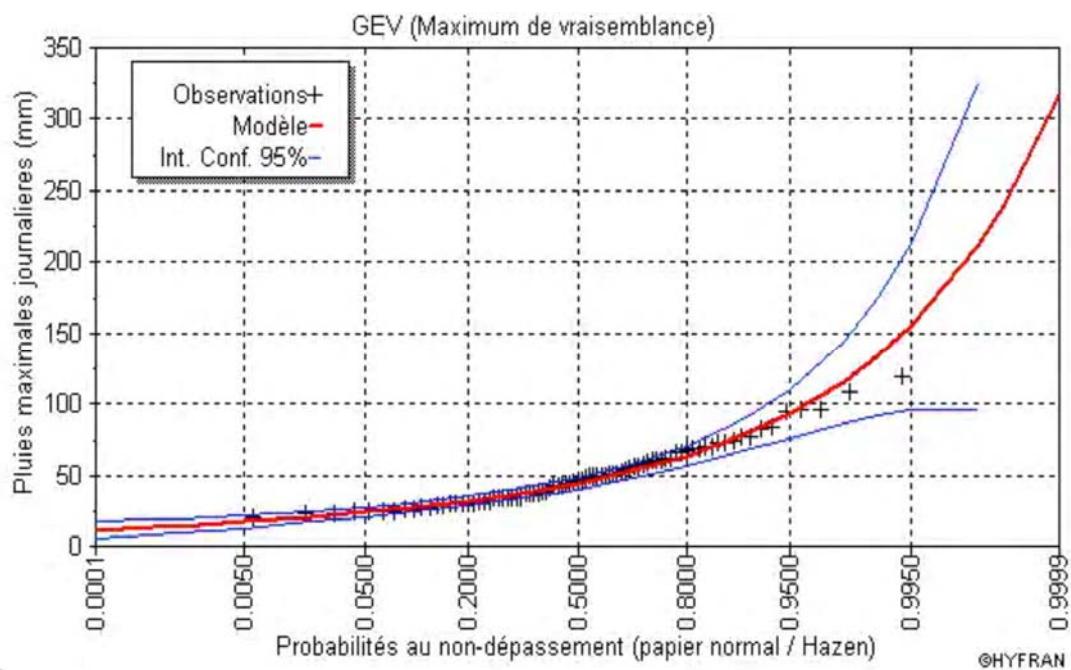
On peut conclure que ces deux lois peuvent être appliquées à toutes les séries de données pluviométriques étudiées mis à part la station de Sabra.

#### **IV.4. COMPARAISON GRAPHIQUE ENTRE LES LOIS**

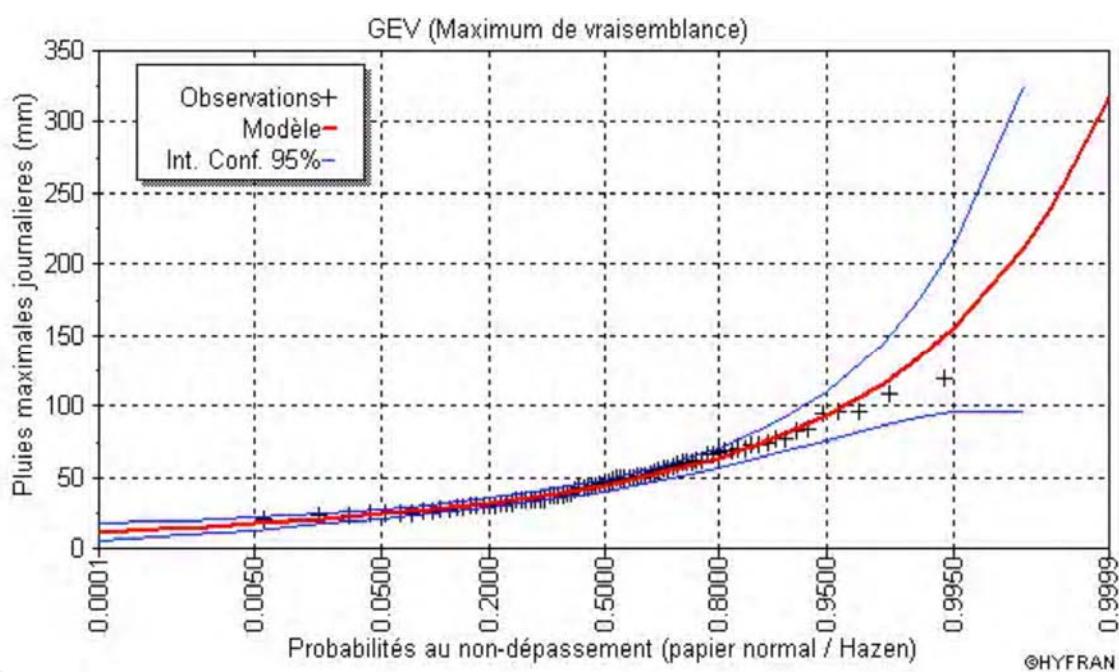
##### **D'AJUSTEMENT :**

Les graphiques de comparaison entre les deux lois d'ajustement étudiée appliquées aux stations pluviométriques sont obtenu par le logiciel Hyfran, montrent que :

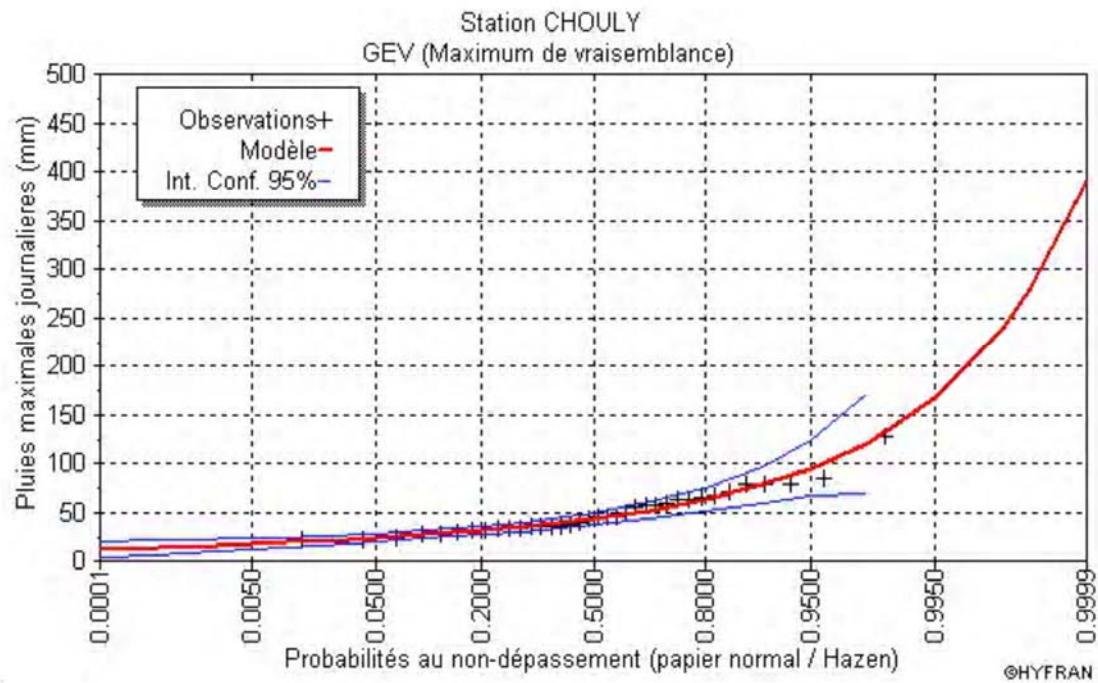
- D'après le graphique comparatif des ajustements ; Les valeurs des Pjmax annuelles s'ajuste d'une façon similaire aux deux lois statistiques GEV et Gumbel pour la station de Bensekrane (Fig. IV.15).
- la figure IV.16 ; montre que les valeurs de la séries de Pjmax de la station de Béni-Behdel s'ajuste mieux à la loi de GEV par rapport à la loi de Gumbel.
- Le graphique comparatif des tests d'ajustement montre que les séries des valeurs de Pjmax des stations de Chouly et Maghnia suivent la loi de Gumbel.
- Les faibles valeurs des Pjmax de la station de Meffrouche s'ajuste d'une façon similaire aux deux lois, par contre les fortes valeurs s'ajustent mieux à la loi GEV.
- On observe pour la station de Lala setti, que les valeurs des Pjmax montrent une très bonne disposition au tour de la courbe de d'ajustement de la loi de GEV.
- Pour la station de Sabra, on remarque à partir de la figure IV.21, que les faibles valeurs montrent une bonne disposition autour de la courbe d'ajustement de la loi de Gumbel par contre les fortes valeurs présentent un écartement plus fort de la queue.



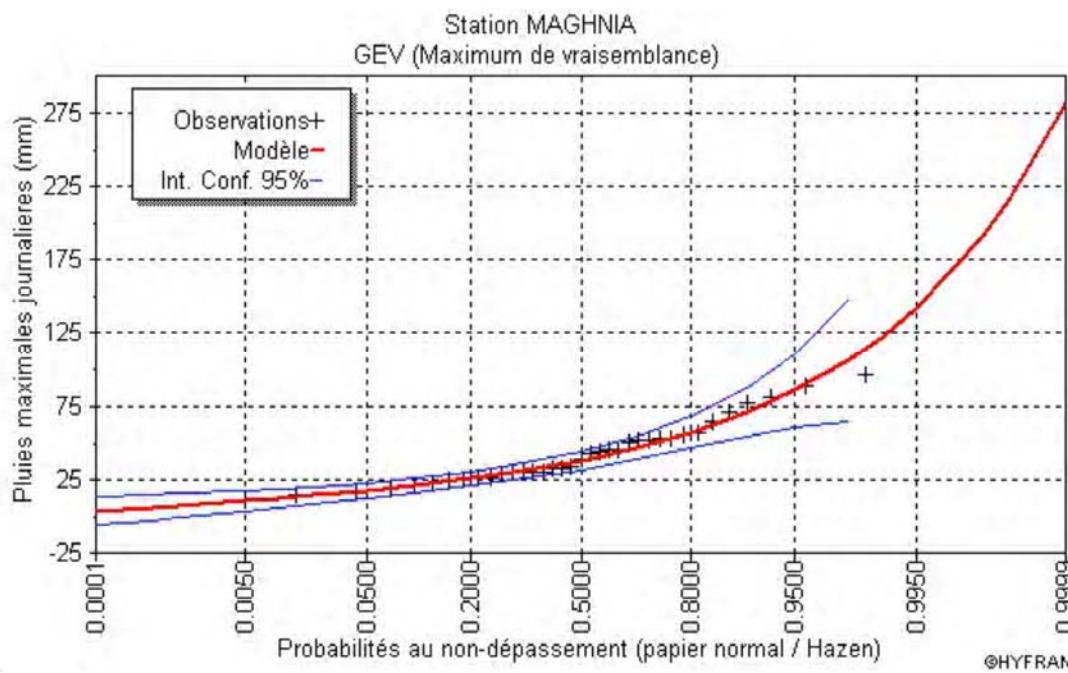
**Figure IV.1** ajustement des pluies maximales loi de **GEV** Station **Bensekrane**



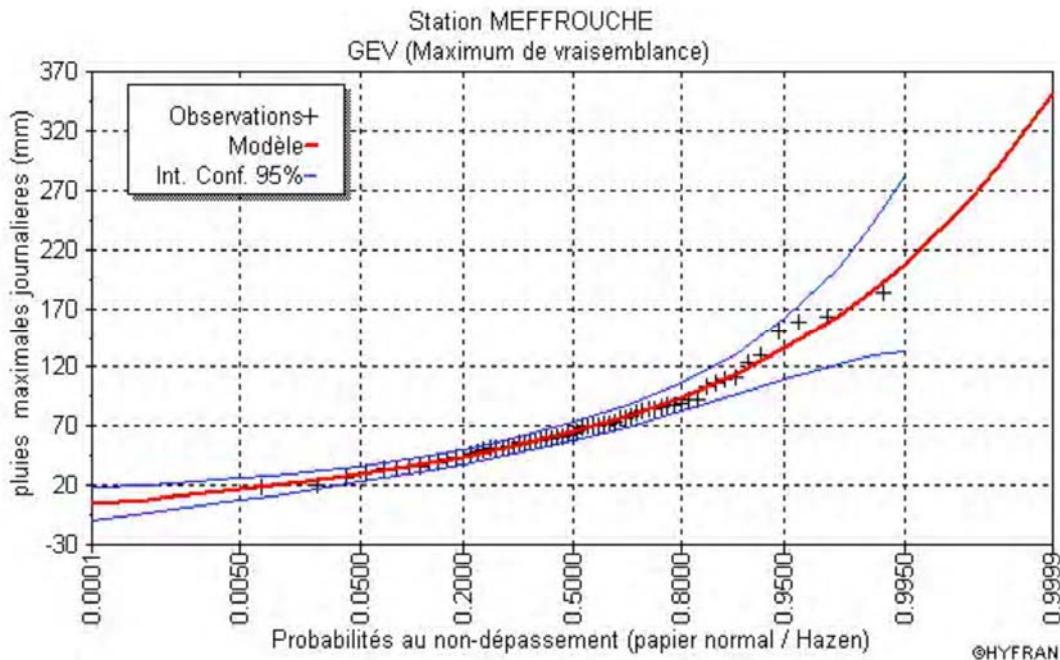
**Figure IV.2.** Ajustement de la pluies maximales loi de**GEV** Station **Beni Behdel**



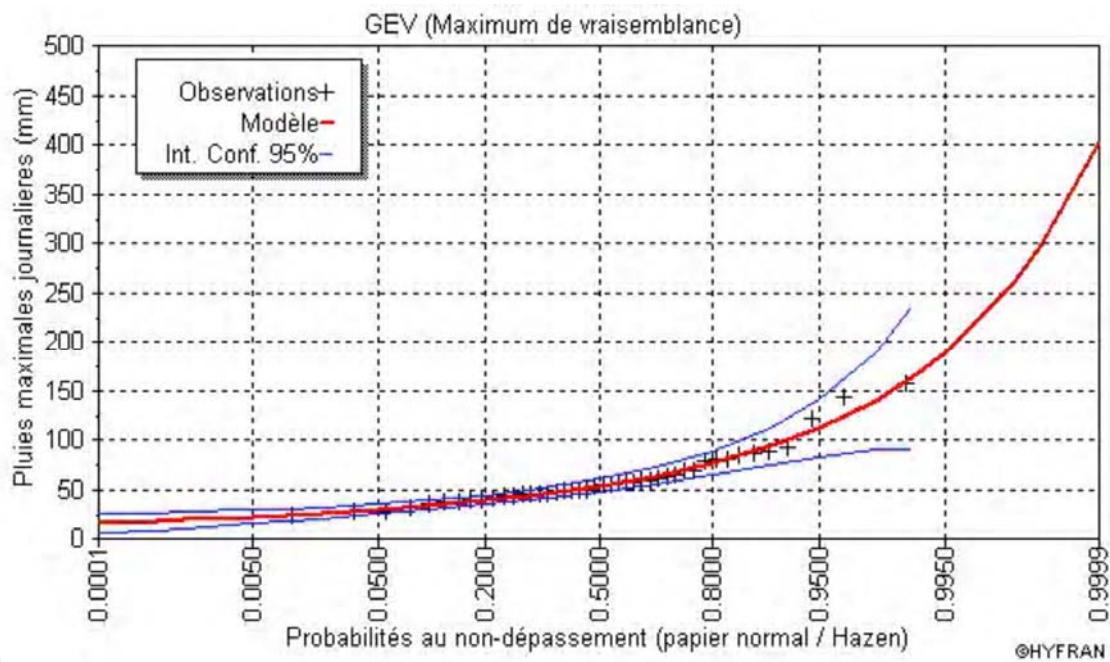
**Figure. IV.3.** Ajustement des pluies maximales loi de GEV Station Chouly



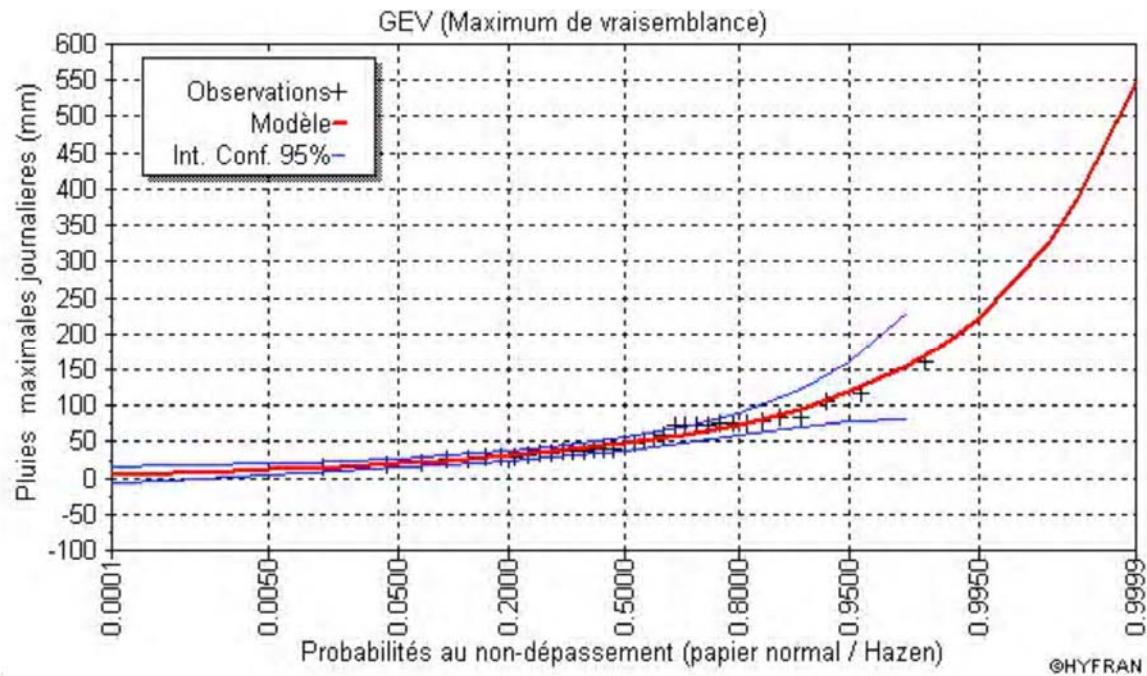
**Figure. IV.4.** Ajustement des pluies maximales loi de GEV Station Maghnia



**Figure. IV.5.** Ajustement des pluies maximales loi de (GEV) Station Meffrouche



**Figure. IV.6.** Ajustement des pluies maximales loi de (GEV) Station Lala Setti



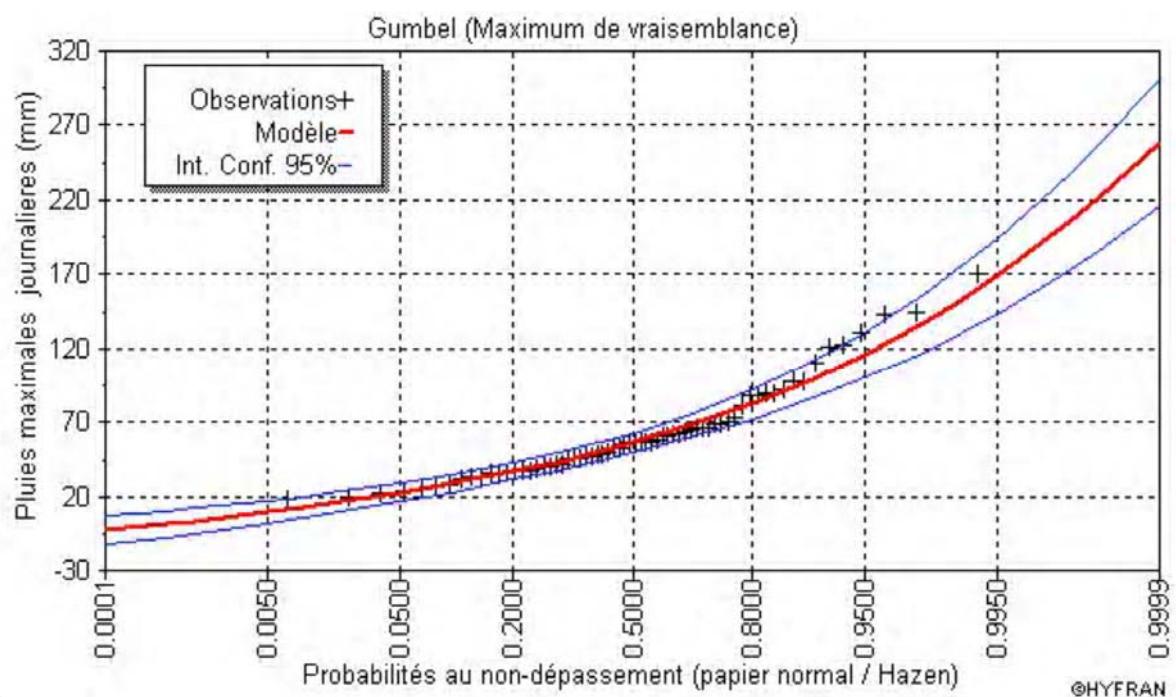
**Figure .IV.7.** Ajustement des pluies maximales loi de GEV Station **Sabra**

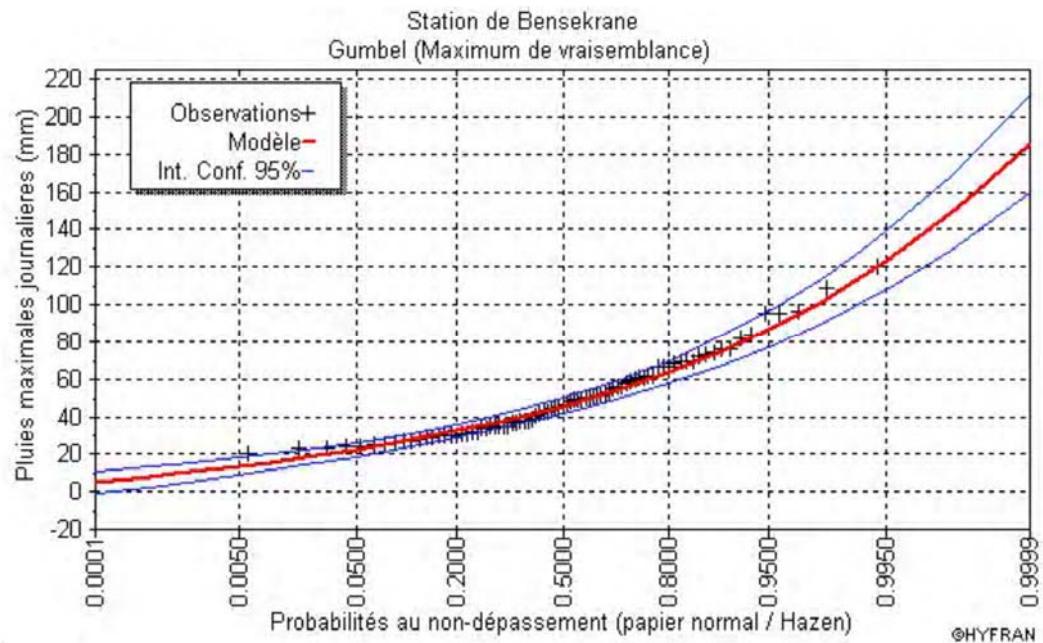
**Tableau .IV.1. Résultats d'ajustement de la loi de GEV**

STATIONS \ Paramètres	Beni Behdel	Bensekrane	Chouly	Maghnia	Meffrouche	Lala Setti	Sabra
K	-0.14	-0.14	-0.18	-0.11	-0.054	-0.15	-0.19
U	46.07	38.86	37.79	32.51	55.86	47.04	39.84
$\alpha$	21.21	14.59	14.30	14.79	24.70	17.05	19.70

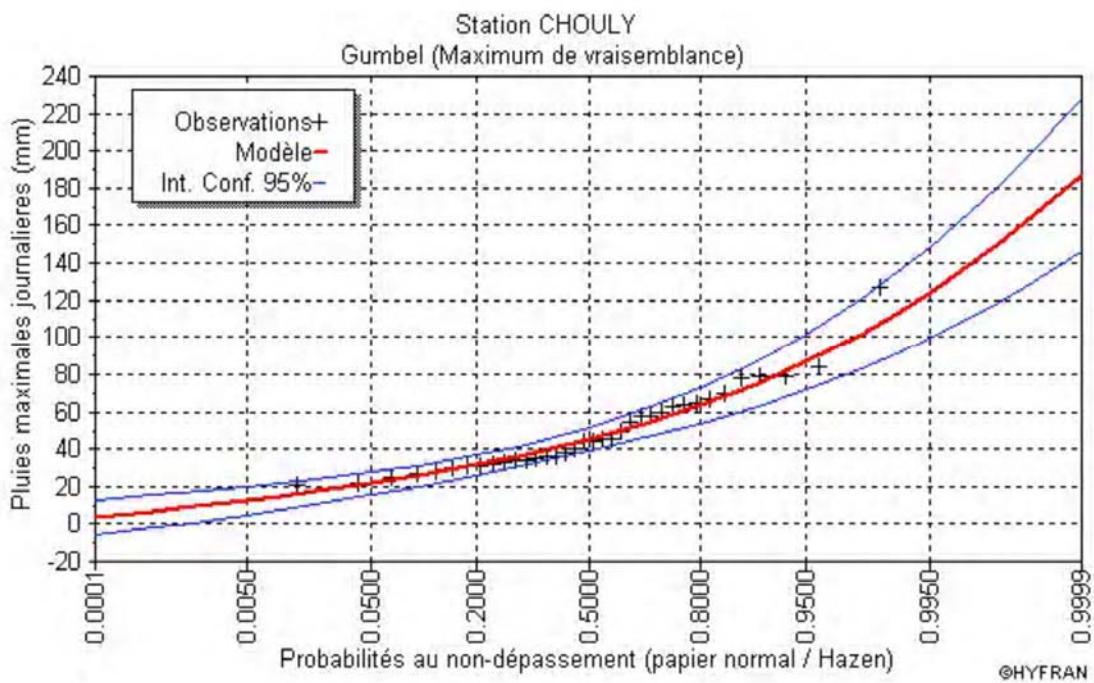
**Tableau. IV.2. Valeurs des périodes de retour des stations selon la loi de GEV**

Période de Retour Stations \	1	5	10	20	50	100
<b>Benibehdel</b>	5.69	81.5	102.4	124.5	156.8	183.9
<b>Bensekrane</b>	11.6	63.2	77.6	92.8	115.1	133.8
<b>Chouly</b>	11.8	62.5	77.8	94.6	120.1	142.3
<b>Maghnia</b>	3.6	56.8	70.7	85.3	106.1	123.3
<b>Meffrouche</b>	4.1	94.4	115.0	135.5	163.3	185.0
<b>Lala setti</b>	15.1	75.9	93.1	111.8	139.2	162.6
<b>Sabra</b>	4.1	74.2	95.6	119.2	155.1	186.5

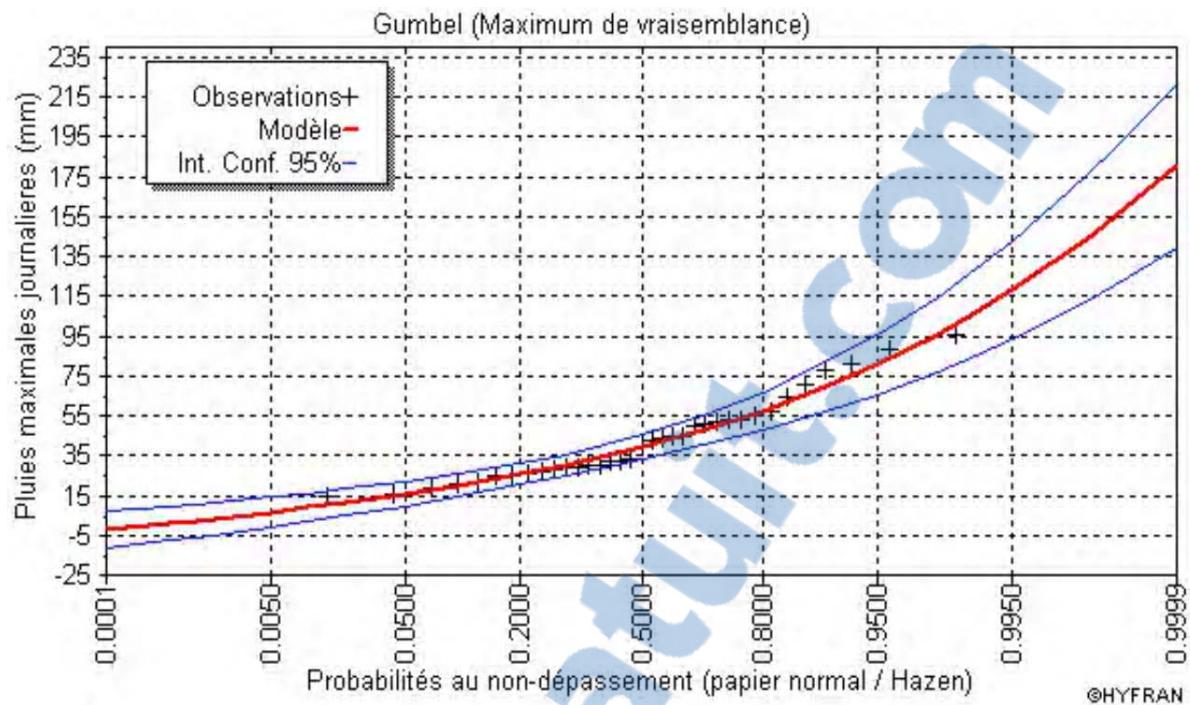
**Figure .IV.8. Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station Benibehdel**



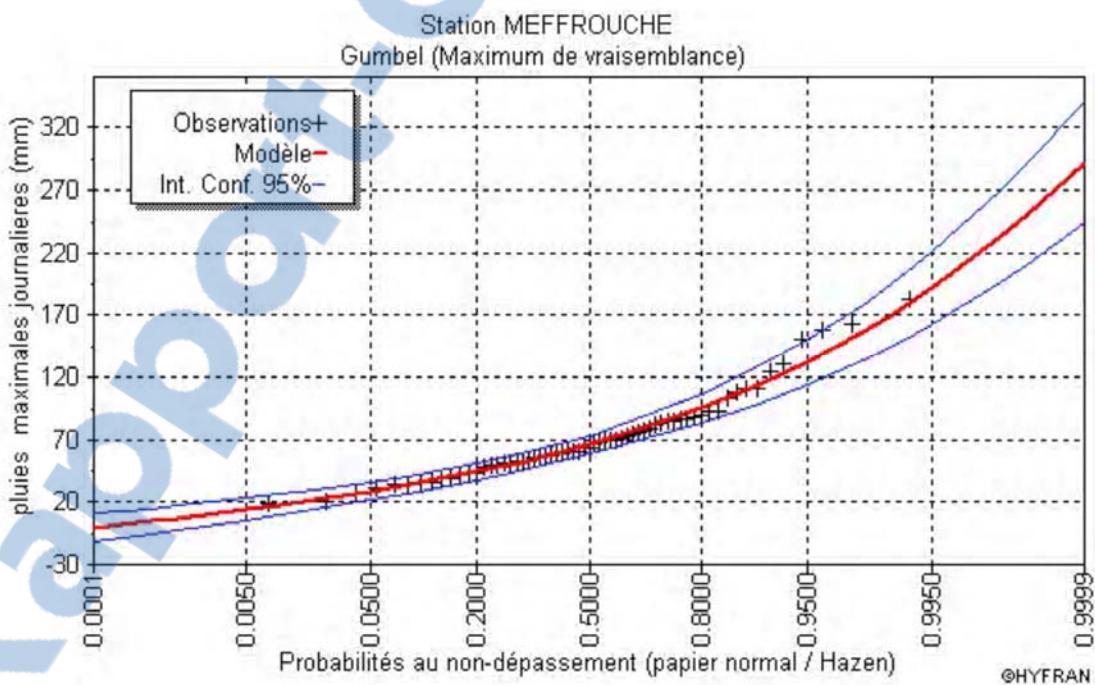
**Figure .IV.9.** Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station **Bensekrane**



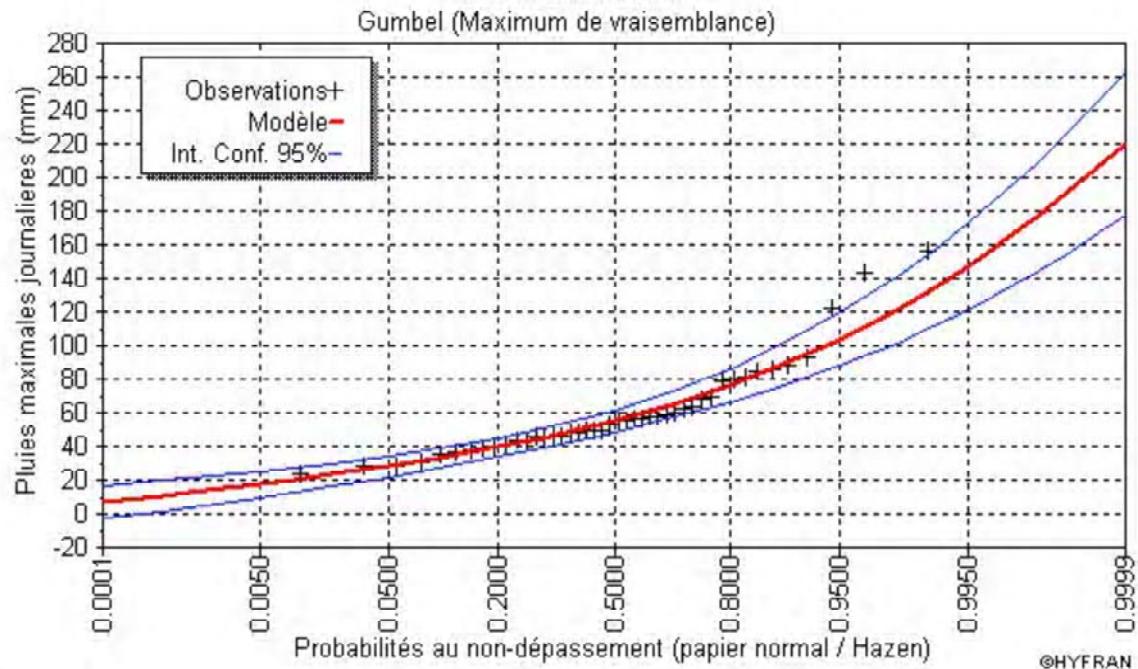
**Figure .IV.10.** Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station **Chouly**



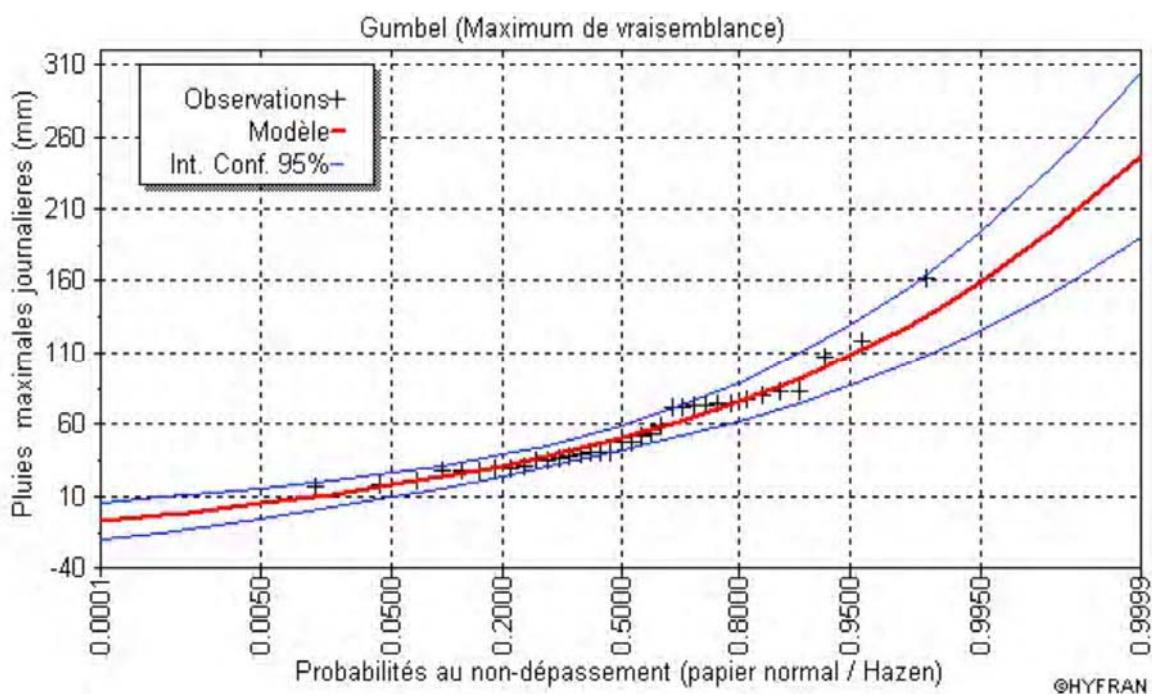
**Figure .IV.11.** Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station **Maghnia**



**Figure .IV.12.** Ajustement des pluies maximales loi de GUMBEL station **Meffrouche**



**Figure.IV.13** Ajustement des pluies maximales loi de **GUMBEL** Station de **Lala Setti**



**Figure.IV.14.** Ajustement des pluies maximales loi de **GUMBEL** Station de **SABRA**

**Tableau. IV.3** Résultats d'ajustement de la loi de GUMBEL

STATIONS Paramètres	Beni Behdel	Bensekrane	Chouly	Maghnia	Meffrouche	Lala Setti	Sabra
U	47.62	39.95	39.13	33.31	56.44	48.39	41.77
$\alpha$	22.86	15.76	16.06	15.99	25.50	18.64	22.26

**Tableau. IV.4.** Valeurs des périodes de retour des stations selon la loi de GUMBEL

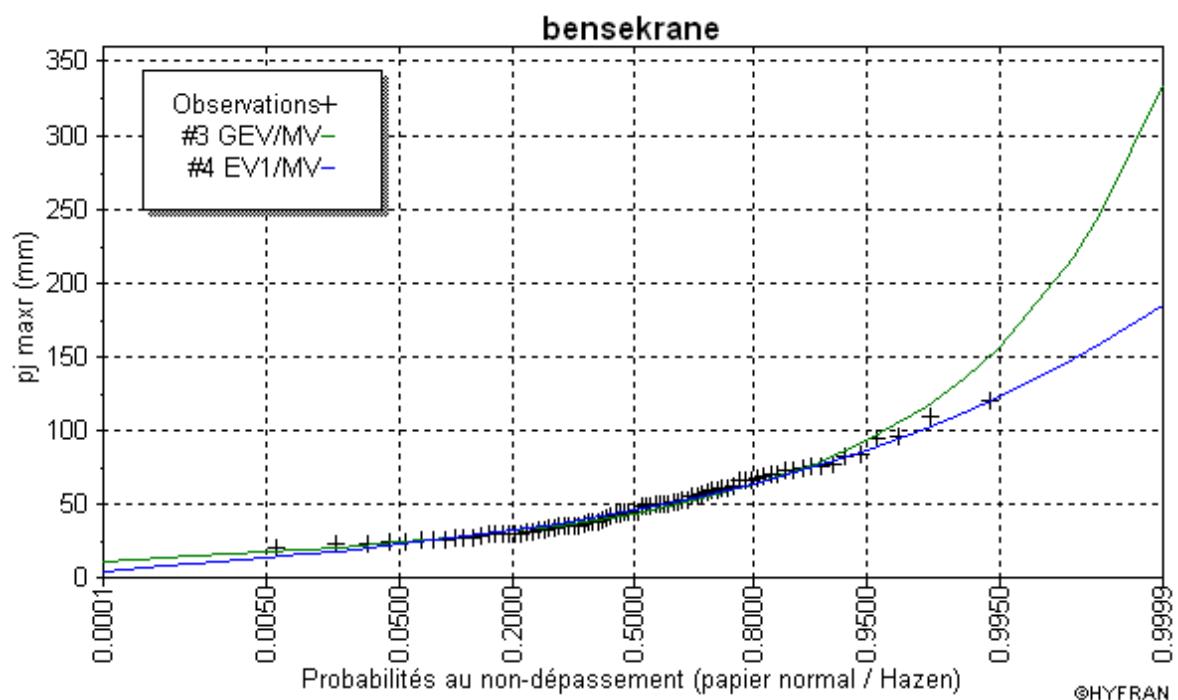
Période de Retour Stations	1	5	10	20	50	100
Benibehdel	1.2	81.9	99	115.5	136.9	152.8
Bensekrane	4.9	63.6	75.4	86.7	101.5	112.5
Chouly	3.5	63.2	75.2	86.79	101.7	112.9
Maghnia	2.16	57.3	69.3	80.8	95.7	106.9
Meffrouche	4.7	94.7	113.8	132.2	156	173.8
Lala setti	7	76.3	90.3	103.8	121.1	134.2
Sabra	7	75.1	91.8	107.9	128.7	144.2

**Tableau. IV.5.** Tableau récapitulatif des résultats des paramètres des lois (GEV et GUMBEL)

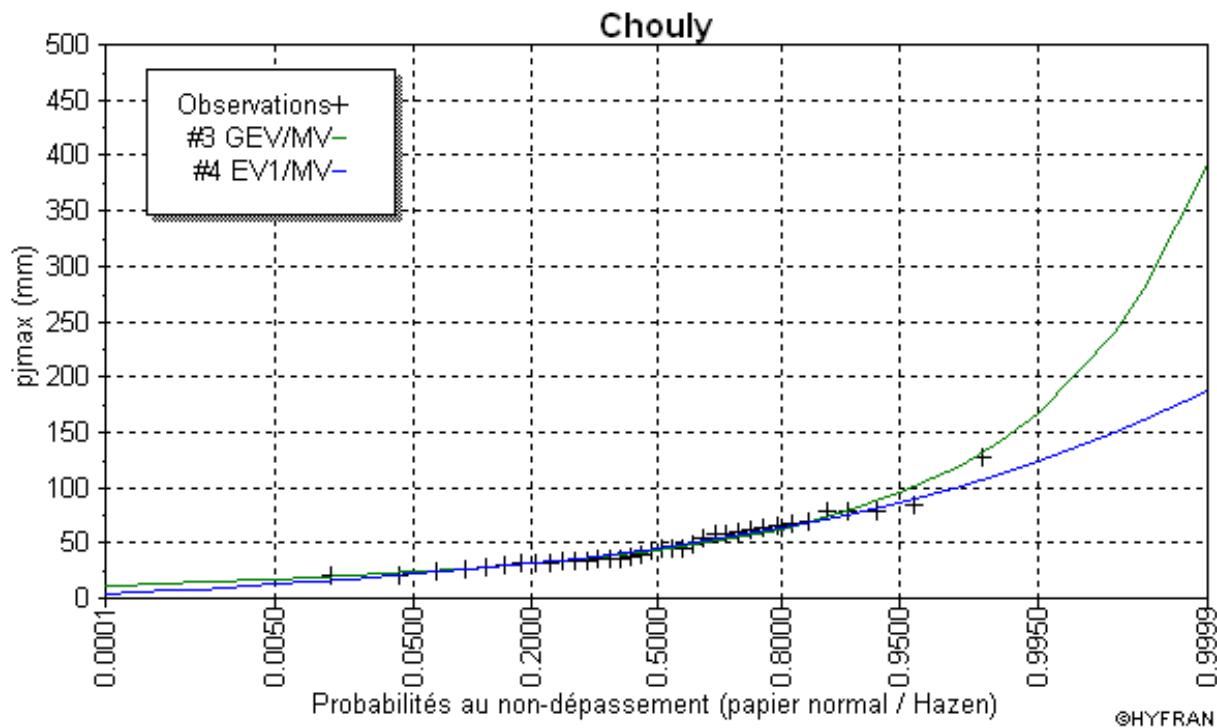
STATIONS	GEV			GUMBEL	
	k	u	$\alpha$	u	$\alpha$
Benibehdel	-0.14	46.07	21.21	47.62	22.86
Bensekrane	-0.14	38.86	14.59	39.95	15.76
Chouly	-0.18	37.79	14.30	39.13	16.06
Maghnia	-0.11	32.51	14.30	33.31	15.99
Meffrouche	-0.05	55.86	24.7	56.44	25.5
Lala setti	-0.15	47.04	17.05	48.39	18.64
Sabra	-0.19	39.84	19.70	41.77	22.26

**Tableau. IV.6.** Tableau récapitulatif des résultats des périodes de retour selon les deux lois (GEV et GUMBEL)

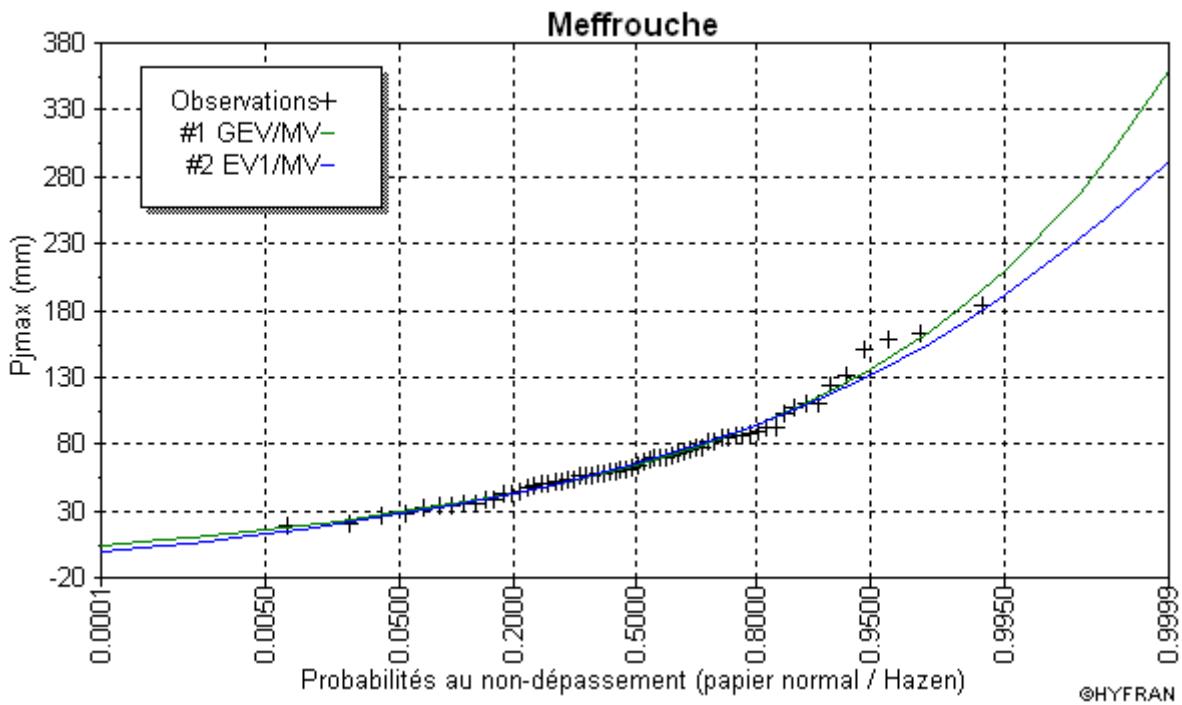
Période de Retour \ Stations	1		5		10		20		50		100	
	GEV	GUM	GEV	GUM	GEV	GUM	GEV	GUM	GEV	GUM	GEV	GUM
<b>Benibehdel</b>	5.6	1.2	81.5	81.9	102.4	99	124.5	115.5	156.8	136.9	183.9	152.8
<b>Bensekrane</b>	11.6	4.9	63.2	63.6	77.6	75.4	92.8	86.7	115.1	101.5	133.8	112.5
<b>Chouly</b>	11.8	3.5	62.5	63.2	77.8	75.2	94.6	86.79	120.1	101.7	142.3	112.9
<b>Maghnia</b>	3.6	2.16	56.8	57.3	70.7	69.3	85.3	80.8	106.1	95.7	123.3	106.9
<b>Meffrouche</b>	4.1	4.7	94.4	94.7	115	113.8	135.5	132.2	163.3	156	185	173.8
<b>Lala Setti</b>	15.1	7	75.9	76.3	93.1	90.3	111.8	103.8	139.3	121.1	162.6	134.2
<b>Sabra</b>	4.1	7	74.2	75.1	95.6	91.8	119.2	107.9	155.1	128.7	186.5	144.2



**Figure.1V.15. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel)**



**Figure.1V.16. Comparaison des ajustements des lois statistiques ( GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel)**



**Figure.1V.17. Comparaison des ajustements des lois statistiques ( GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel)**

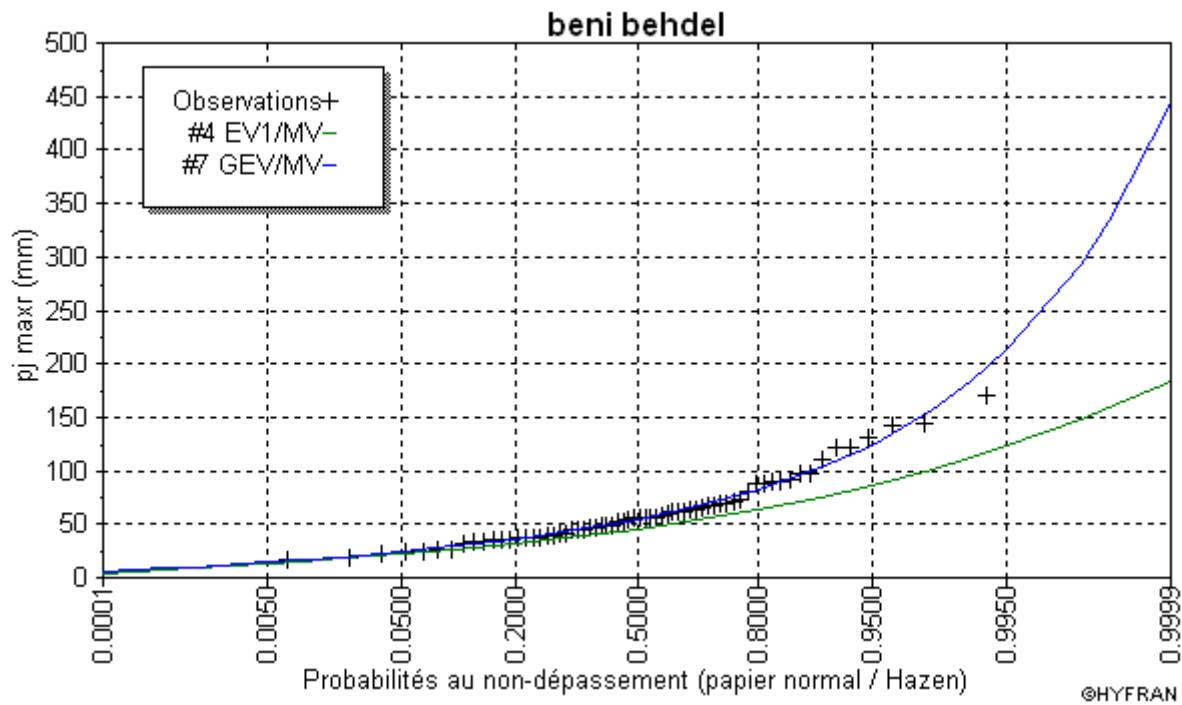


Figure.1V.18. Comparaison des ajustements des lois statistiques ( GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel)

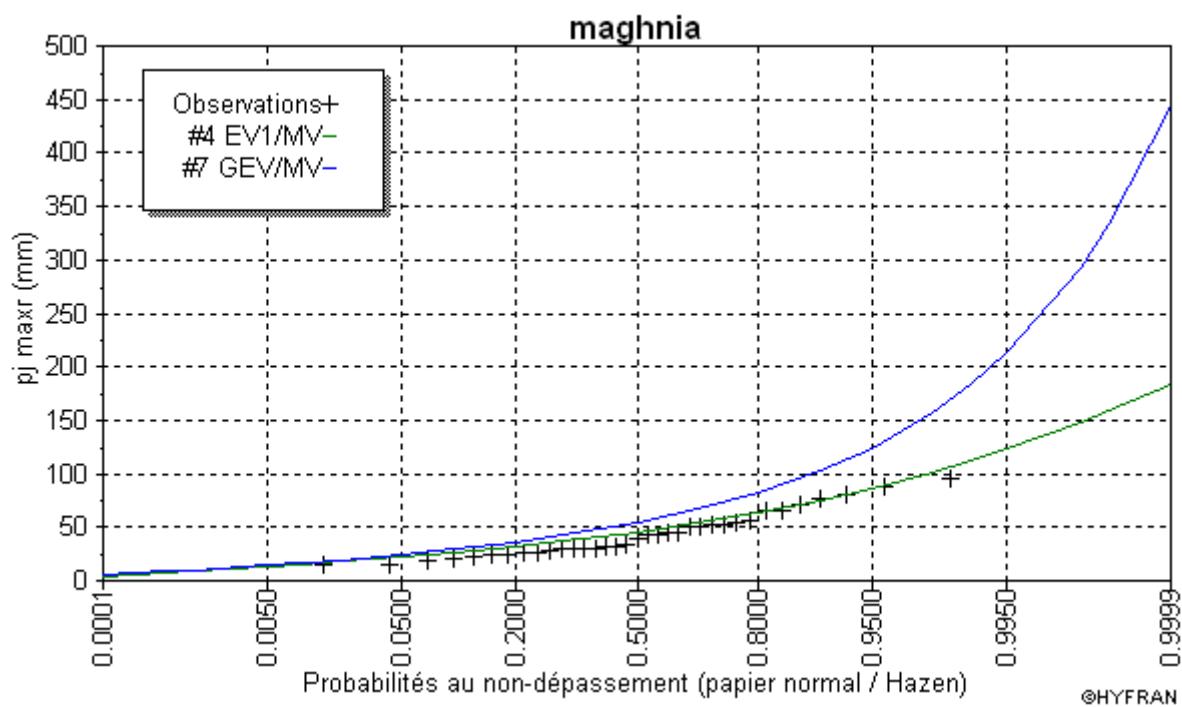


Figure.1V.19. Comparaison des ajustements des lois statistiques ( GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel)

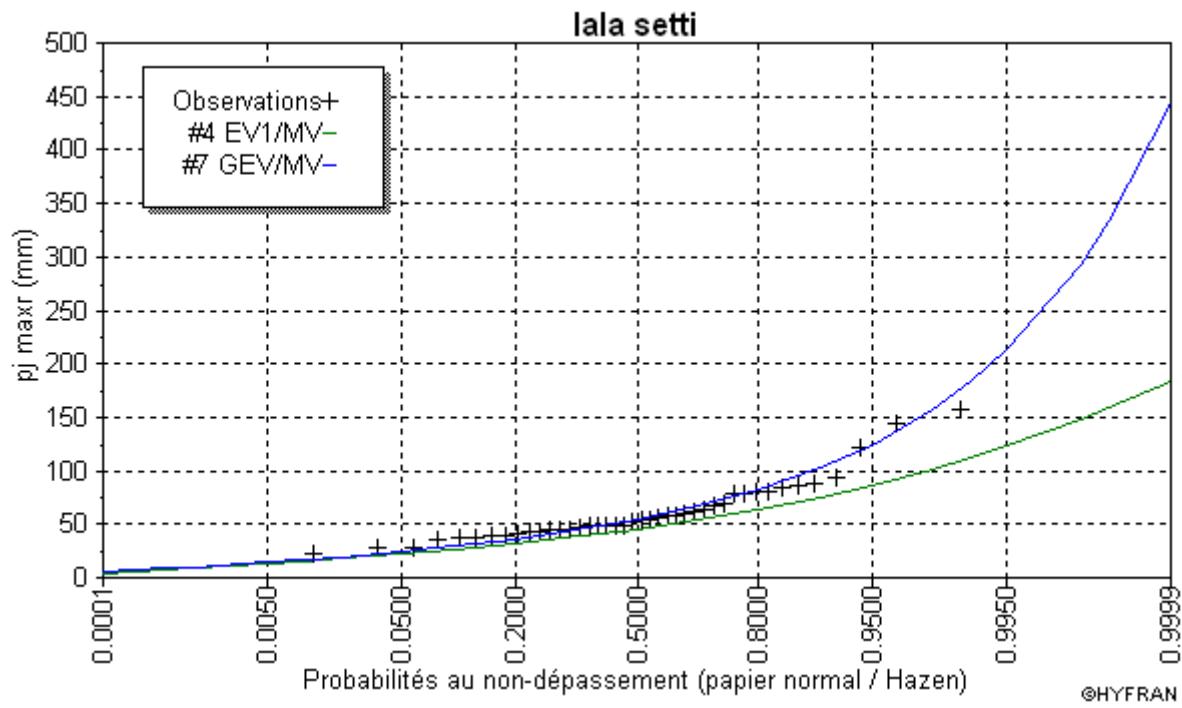


Figure.1V.20. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel)

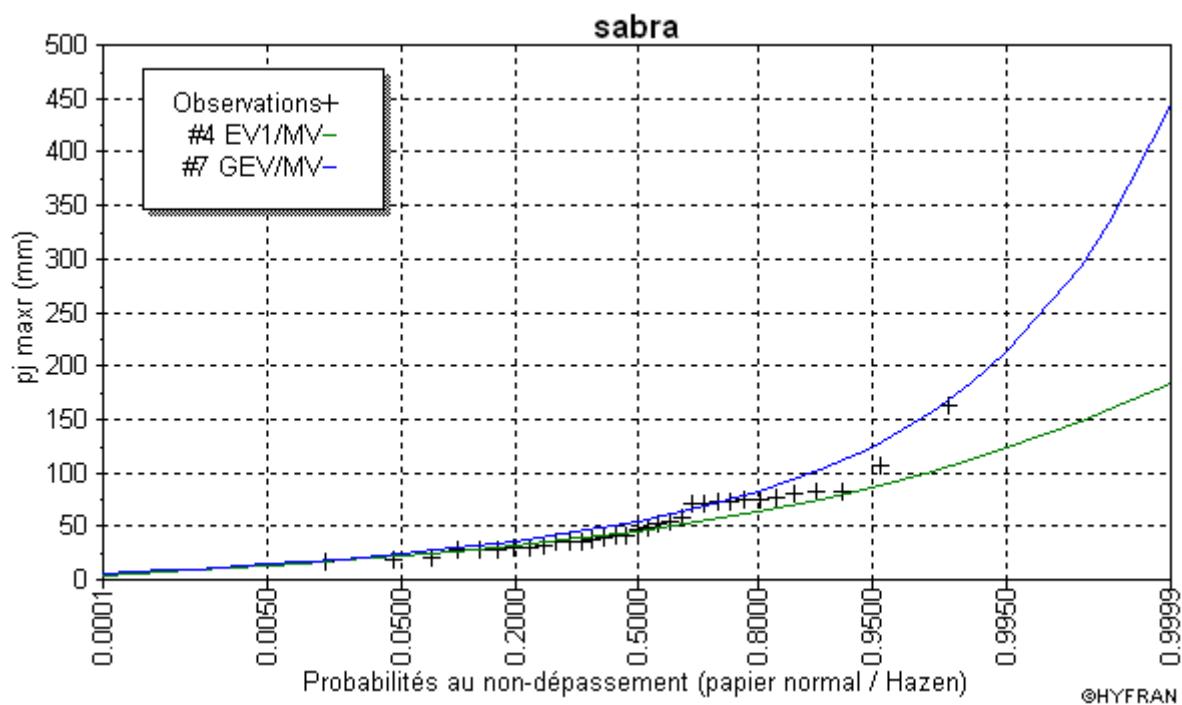


Figure.1V.21. Comparaison des ajustements des lois statistiques (GEV : loi généralisée des valeurs extrêmes ; EV1: loi de Gumbel)

# **CHAPITRE V**

## **ETUDE DES**

# **INTENSITES DUREES ET FREQUENCES**

### **(IDF)**

## **CHAPITRE V : ETUDE DES INTENSITES DUREES ET FREQUENCES (IDF) :**

## **V.1. NOTION D'AVERSE ET D'INTENSITE :**

Nous désignons en générale par averse, un ensemble de pluies associées à une perturbation météorologique bien définie. La durée d'une averse peut donc varier de quelques minutes à une centaine d'heures ; on définit finalement une averse comme un épisode pluvieux continu, 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 [42], celle-ci est exprimée sous la forme suivante :

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta T} \dots \text{V.1}$$

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 [42].

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* [43].

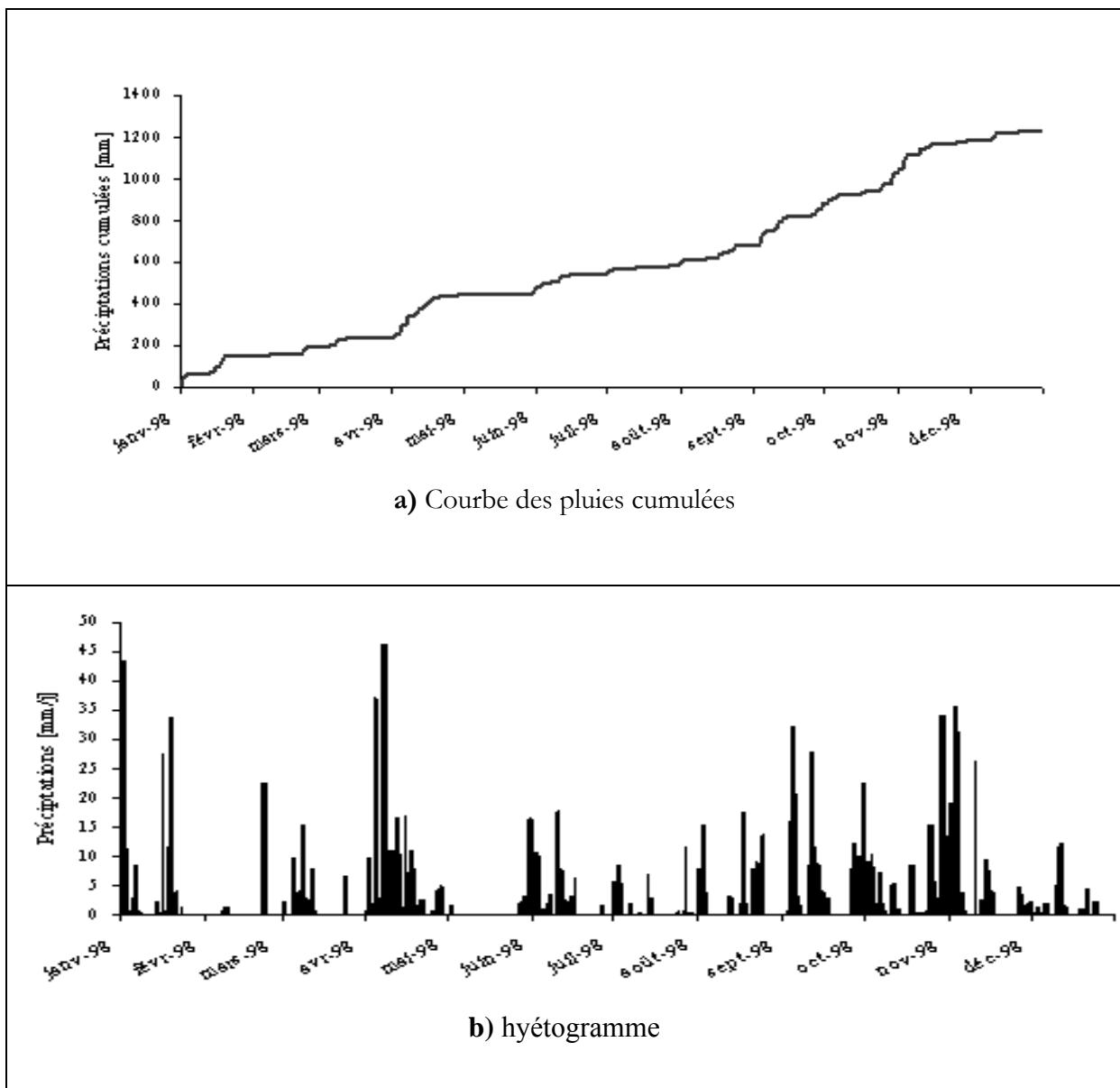
Deux types de courbes déduites des enregistrements d'un pluviographe (pluviogramme) permettent d'analyser les averses d'une station :

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

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

Les éléments importants d'un hyégramme 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 hyégramme, elle est en général caractéristique du type de l'averse et varie donc d'un événement à un autre.



**Figure V.1** Exemple de courbe des hauteurs de pluies cumulées et hyéogramme [36]

## V.2. 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 durées (5, 10, 30 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 (**in[46], in [47]**).

### V.3. 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 hydrauliques (barrages, drains agricoles...) [44].

### V.4. CONSTRUCTION DES COURBES I.D.F :

Le tracé des courbes IDF sont établie 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 [ 41][43] [48].

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 hyéogrammes relatifs à chaque averse pour un pas de temps  $\Delta t$
- Sur chaque hyéogramme 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 ( $i_{\text{moy max}}$ ) par ordre croissant
- On utilisant ce classement pour chacun des  $\Delta t$  on détermine les Intensités moyennes (IM) qui sont atteintes ou dépassées une fois en 1, 2,...10...30...100 ans
- Pour chaque période de retour T la série de valeur  $IM = f(\Delta t)$  est approximé par un modèle de type :
  - ✓ MONTANA
  - ✓ TALBOT

### *A) Modele Montana:*

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

Avec :

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

t : pas de temps en minute ou en heure

a et b : paramètres de Montana (paramètres climatiques)

### *B) Modèle de Talbot :*

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

$$I(T) = \frac{a(T)}{t+b(T)} \dots V.3$$

Avec :

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

t : pas de temps en minute ou en heure

a et b : paramètres de Talbot (paramètres climatiques)

## V.5. COURBES IDF DE LA ZONE D'ETUDE :

Le but de ce chapitre est la détermination des courbes IDF pour le bassin versant de la TAFNA, afin de les ajuster au modèle de Montana, et par la suite, déterminer les paramètres climatiques  $a$  et  $b$  applicable à ce bassin. Ces paramètres seront utilisés par les projeteurs des projets hydrotechniques dans le dimensionnement. Malheureusement dans notre cas nous n'avons pas pu obtenir de l'ANRH assez de données d'averses enregistrées sur une assez longue période. Nous avons pu obtenir que quelques averses enregistrées en 2004, de trois stations de référence (Maghnia, Meffrouche et Bensekrane), avec ces averses nous ne pouvons prétendre une bonne estimation des paramètres pour le dit bassin versant. Ainsi donc, nous nous contenterons de construire des courbes IDF pour quelques averses les plus bien enregistrées et d'en faire des ajustements à la loi de Montana.

Le dépouillement des données d'averses obtenues de l'ANRH Oran, nous ont permis de sélectionner 4 averses, à qui nous avons déterminé les périodes de retour, en comparant les maximaux journaliers au résultat d'ajustement aux lois de Gumbel et de GEV (chapitre précédent).

Les averses sélectionnées sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau V.1.** Averses sélectionnées

Station	Date de l'averse	Période de retour T	Heure de début	Heure de la fin
Maghnia	10/05/2004	2 ans	15:46	1:20
	25/09/2004	1 an	23:50	6 :42
Meffrouche	20/05/2004	1 an	19:49	1:40
Bensekrane	11/11/2004	1an	02 :45	5 :30

A partir des courbes des hauteurs cumulées de ces averses nous avons érigé les hyéogrammes correspondants à chaque averse à un pas de temps  $\Delta t=10\text{min}$ . ces hyéogrammes sont utilisés pour la détermination des intensités moyennes maximales relatives aux pas de temps  $\Delta t= 10, 20, 40, \dots 1\text{h}, 1\text{h}30 \dots 2\text{h}, 3\text{h}\dots$ . Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux V.2 à V.5.

La représentation graphique de ces résultats nous à permis d'obtenir les courbes IDF des figures V.2 à V.5.

**Tableau.V.2. Résultats des intensités moyennes maximales (Station MAGHNIA) T=1an**

Temps (min)	10	20	40	60	120	240	360	410
<b>Intensité moy max (mm/h)</b>	7.50	4.96	4.04	3.66	2.77	1.98	1.8	1.8

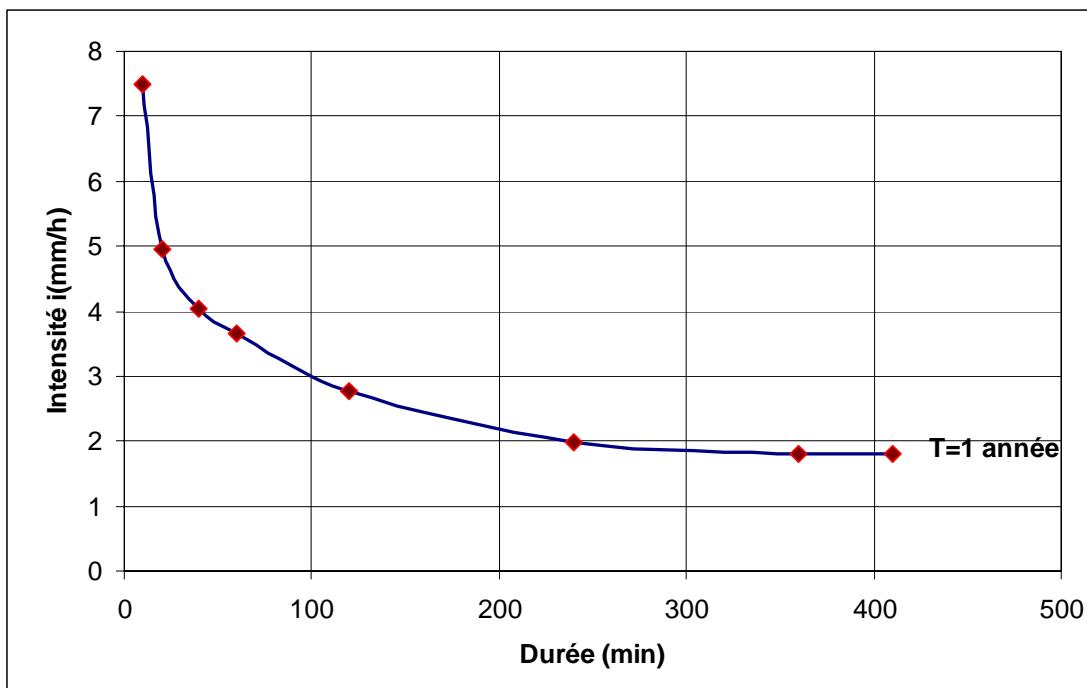


Figure.V.2. Courbe intensité-durée-fréquences, station MAGHNIA

Tableau.V.3. Résultats des intensités moyenne maximales (Station MAGHNIA)  $T = 2$  ans

Temps (min)	10	20	40	60	120	240	360	480
Intensité moy max $I$ (mm/h)	16.36	15.74	13.71	11.28	6.62	4.95	4.21	3.61

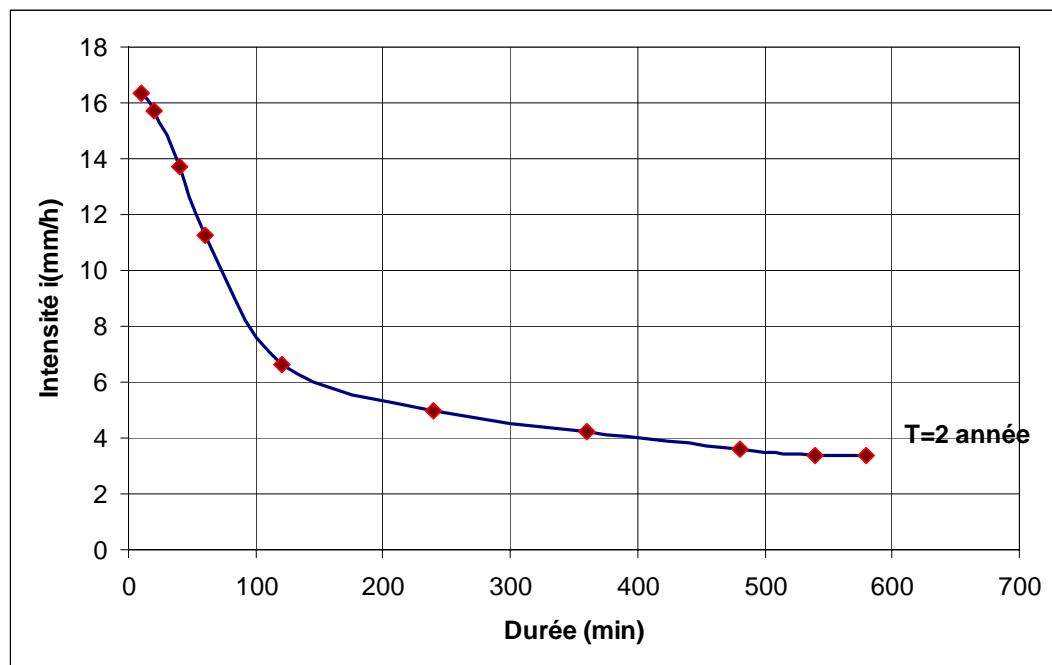
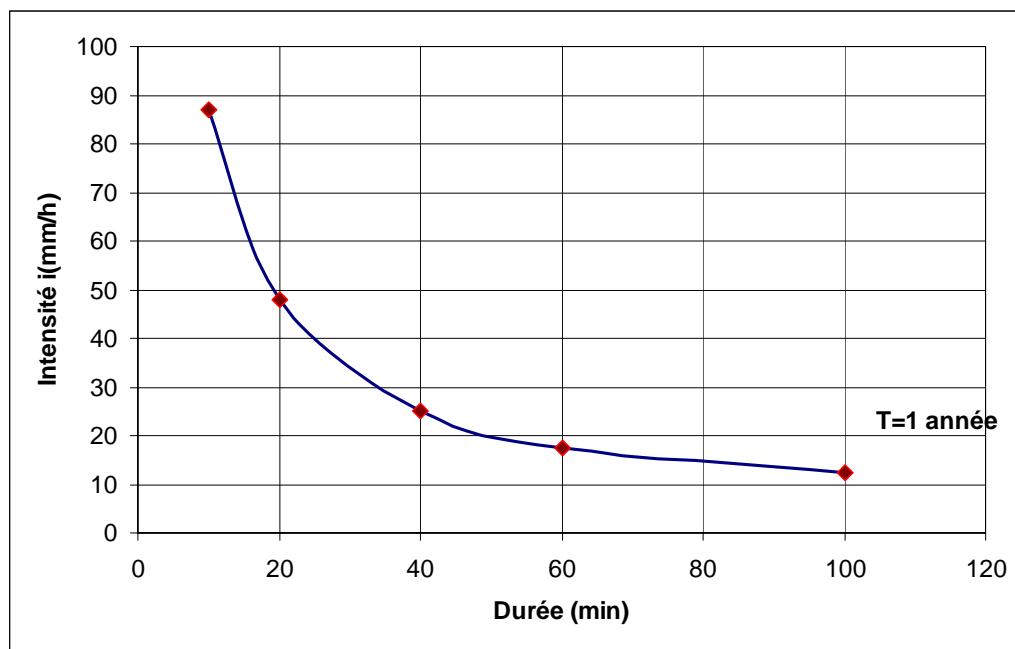


Figure.V.3 : Courbe intensité-durée-fréquences, station MAGHNIA

**Tableau.V.4. Résultats des intensités moyennes maximales (Station MEFFROUCHE)****T= 1 an.**

Temps (min)	10	20	40	60	100	240	360	480
Intensité moy max (mm/h)	87	47.86	25.15	17.43	12.30	-	-	-

**Figure.IV.4. Courbe intensité-durée-fréquences, station MEFFROUCHE****Tableau.V.5. Résultats des intensités moyennes maximales (Station BENSEKRANE)****T= 1 an**

Temps (min)	10	20	40	60	100	160	360	480
Intensité moy max (mm/h)	7.28	6.68	6.14	5.92	5.50	5.30	-	-

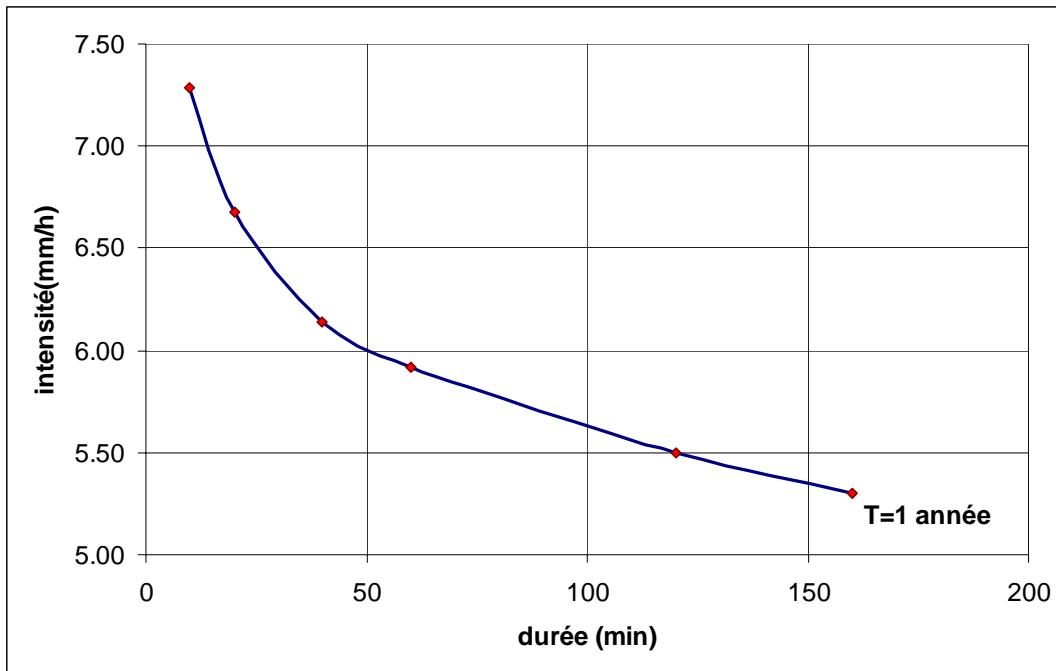


Figure.V.5. Courbe intensité-durée-fréquence, station de **BENSEKRANE**

## V.6. AJUSTEMENT A LA LOI DE MONTANA :

Cet ajustement consiste à la transformation des courbes IDF de la forme  $I = f(t)$  par un model mathématique type Montana ;

On logant les deux thermes du modèle de Montana on aura :  $\ln(i) = b \cdot \ln(t) + \ln(a)$  qui est sous une forme  $Y=AX+B$  « équation d'une droite » donc le modèle est linéarisable, il suffit de porter à l'échelle logarithmique les valeurs  $I=f(t)$ .

Les résultats obtenue précédemment sont porter à l'échelle logarithmique sur EXCEL et le nuage des points  $I=f(t)$  à été ajusté par courbe théorique de types  $I=a \cdot t^b$  « type puissance », les résultats obtenues sont résumés aux courbes des figures V.6 à V.9 et le tableau V.6 résume les paramètres climatiques  $a$  et  $b$  obtenus.

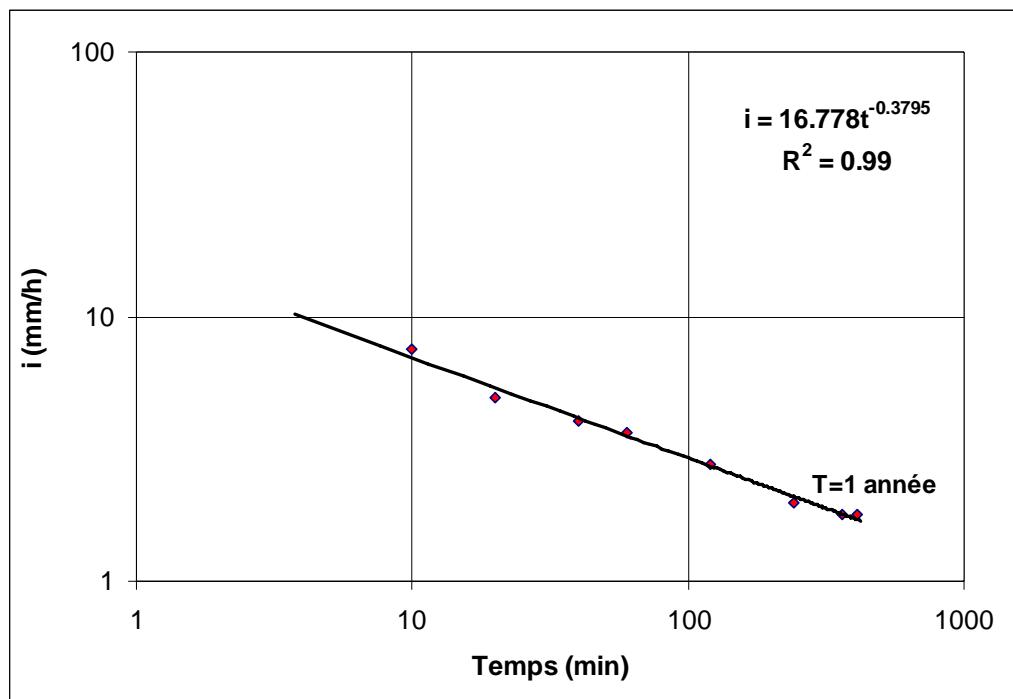


Figure.V. 6. Ajustement à la loi de Montana station de MAGHNIA

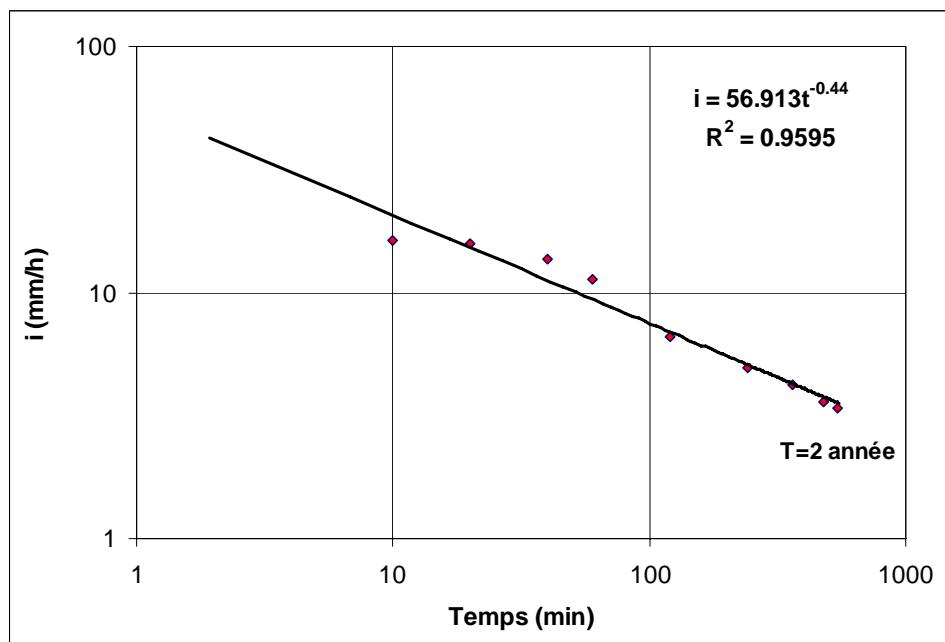


Figure.V. 7. Ajustement à la loi de Montana station de MAGHNIA

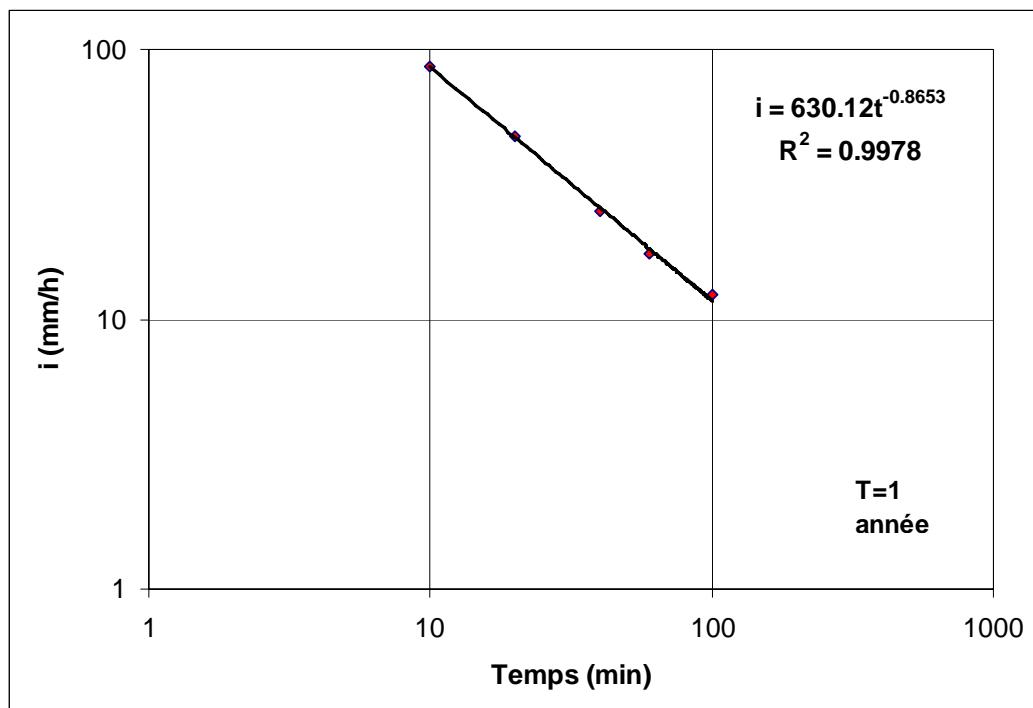


Figure.V.8. Ajustement à la loi de Montana station de **MEFFROUCHE**

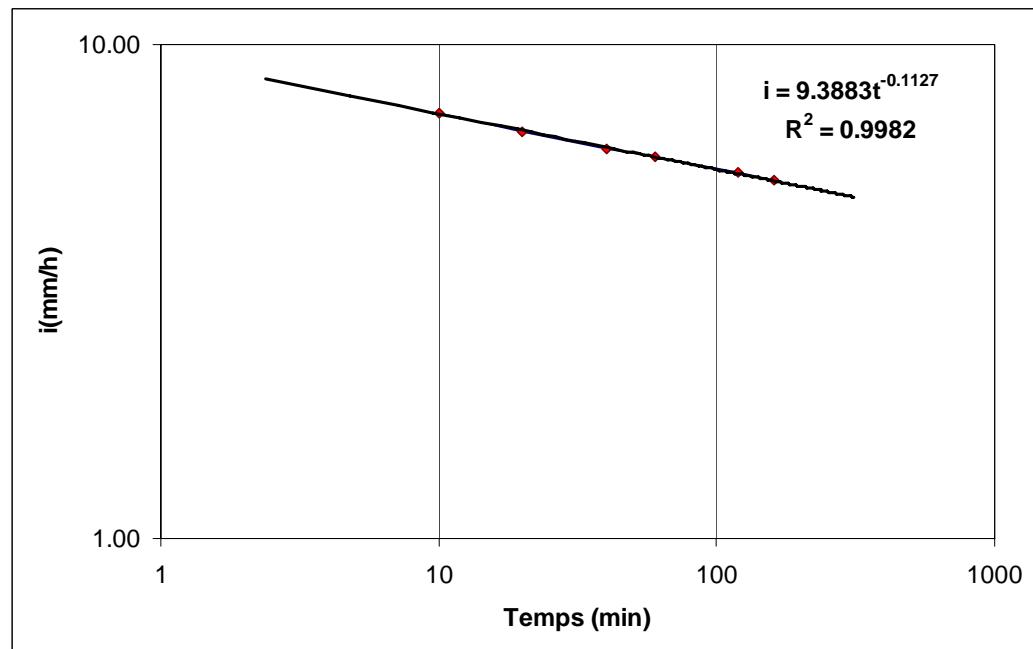


Figure.V.9. Ajustement à la loi de Montana station de **BENSEKRANE**

**Tableau. V.6** Valeurs des paramètres climatiques a et b de la loi de Montana

Nom de la station	Période de retour	a	b
<b>Maghnia</b>	<b>T= 1 an</b>	<b>16.778</b>	<b>- 0.3795</b>
	<b>T= 2 ans</b>	<b>56.913</b>	<b>- 0.44</b>
<b>Meffrouche</b>	<b>T= 1 an</b>	<b>474.24</b>	<b>-0.7972</b>
<b>Bensekrane</b>	<b>T= 1 an</b>	<b>9.388</b>	<b>- 0.1127</b>

## V.5. DISCUSSION DES RESULTATS :

Les valeurs des paramètres climatiques a et b obtenues par le model de Montana, pour les trois stations montrent que:

- ❖ Pour la station de Maghnia et pour une période de retour de 1 an les paramètres a et b sont respectivement: 16.778 et -0.3795 pour un coefficient de corrélation de 99%
- ❖ Pour la même station et pour une période de retour de 2 ans les paramètres climatiques a et b sont respectivement de 56.91 et -0.44 pour un coefficient de corrélation de 97%
- ❖ Concernant les stations Meffrouche et Bensekrane, pour une période de retour de 1 an, les valeurs des paramètres climatiques a et b sont respectivement: (a=474.24 et b= -0.7972), (a= 9.3883 et b= -0.1127) avec un coefficient de corrélation de 99% pour les deux stations Bensekrane et Meffrouche.

# CONCLUSION

## **CONCLUSION**

Notre présent travail, est un complément aux divers travaux réalisés sur la variation de la pluviométrie de la région de l'ouest du pays, particulièrement sur le bassin versant de la Tafna. Ce bassin est caractérisé par sa forme assez allongée ( $Kc= 1.16$ ), il présente en général un relief modéré et assez fort. L'étude de la géologie nous a permis de découvrir des affleurements de calcaires surtout des dolomies au jurassique supérieur dans les monts de Tlemcen.

L'étude de la stationnarité été effectuée sur les totaux annuels et saisonniers, sur les maximales journalières et sur le nombre de jour de pluies. Les tests qui ont fait l'objet de cette étude sont : le test de Man Kendall et le test de Pettitt.

L'application du test de Man Kendall sur les totaux annuels montre la présence d'une tendance significative à la baisse au niveau du seuil de **5%** inscrite dans la période allant de 1974 à 1979 pour les stations : Bensekrane(**1974**), Chouly et Meffrouche (**1978**), stations Maghnia et Sabra (**1975**) et en(**1979**) pour la station de Lala Setti.

Ce test a été significatif à la baisse pour les totaux hivernaux et automnaux, cette tendance est inscrite au milieu et à la fin du vingtième siècle pour les totaux hivernaux et au début des années deux mille pour les totaux automnaux.

L'application de ce test sur les précipitations maximales journalières, montre que la plus part des stations présente une tendance significative à la baisse au niveau du seuil de **5%** ; Béni Behdel, inscrite au début des années deux mille (**2005**), Meffrouche et lala Setti au milieu des années quatre vingt dix. La station de Bensekrane présente une tendance significative à la hausse décrite au début du siècle (**2003**).

L'application du test de Pettitt, montre une rupture de la stationnarité dans sur totaux annuels inscrite au début des années soixante à la station de Bensekrane, au milieu des années soixante dix aux stations : Béni Behdel, lala Setti, Meffrouche et Sabra et au début des années quatre vingt pour la station de Maghnia.

Nous avons constatés une réduction de la moyenne avant et après la rupture d'une valeur comprise entre (**10% et 38%**) concernant les totaux annuels, pour l'ensemble des stations.

Ce test confirme une rupture de la stationnarité sur les totaux hivernaux observé au début et à la fin des années soixante dix, ces résultats sont très proches de ceux trouvés pour les totaux annuels. Une rupture significative de la stationnarité décelée au début des années quatre vingt pour les totaux automnaux; la date de la rupture de la station de Bensekrane est

## **CONCLUSION**

---

très proche de celle des totaux hivernaux. ; Nous pouvons conclure que la rupture de la stationnarité observée sur les totaux annuels est probablement due aux totaux hivernaux.

Une diminution de la moyenne de **15%** avant et après la rupture pour la plupart des stations.

Les résultats d'application du test de Pettitt au niveau du seuil de **5%** sur les pluies maximales journalières montre une rupture de la stationnarité enregistrée au début des années soixante dix et quatre vingt pour les stations de Béni Behdel et Lalla Setti (1974), Meffrouche (1973), Chouly et Maghnia (1980), Bensekrane et sabra (1987), nous avons conclus une diminution de la moyenne après la rupture d'une valeur de (**17% à 20%**).

Le test de Pettitt montre une rupture significative au niveau du seuil de 5%, pour les nombre de jour de pluies détectée dans les années soixante dix pour les stations de Béni Behdel (1976), Bensekrane (1970), pour les stations de Meffrouche et Maghnia, la rupture est détecté successivement ;(1965) et (2001).

L'application du test de Khis deux sur les précipitations maximales journalières montre, que ces données, s'ajustent aux deux lois ; Gumbel et GEV, a des degrés différents.

Les paramètres a et b sont obtenus en appliquant le model de Montana pour une période de retour de 1an et 2 ans et pour un pas de temps variant de 10minutes a 480 minute. Ce model nous donne des coefficients de corrélation variant de **96% à 99%**.

Les paramètres a et b obtenus ne peuvent être représentatifs pour la région d'étude, ni être utiliser pour le dimensionnement des ouvrages hydraulique, car ils sont obtenus pour une année d'observations (insuffisance de données disponibles), néanmoins, ces résultats peuvent servir comme ordre de grandeur pour des études dans ce domaine

Ce modeste travail ne peut être qualifié de parfait dans le domaine d'études des précipitations. Nous espérons le compléter par d'autres études plus poussées, en se basant sur des données sur un nombre plus importants stations pour une meilleure représentativité de la région, et sur des périodes d'observations très importantes. .

# REFFERENCES

# BIBLIOGRAPHIQUES

## REFFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Annuaire hydrologique**, 1975-1995, Oran, Code (16), Bassin de la Tafna, EDT A, N.R.H
- [2] **Adjim Hayat**, 2003, Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la TAFNA, Mémoire de magister ; Université TLEMCEN.
- [3] **Bouanani A**, 2004, Hydrologie, transport solide et modélisation, Etude de quelques sous bassin de la Tafna (NW-Algérie), Thèse de Doctorat, U.A.B.B.Tlemcen.
- [4] **Belkhoudia Nabil.**, 2001, Etude des précipitations et des débits dans le bassin versant de l'oued Tafna, Mémoire d'ingénieur d'état Université d'Oran.
- [5] **REMAOUNE. KH**, 1996, Evolution géomorphologique du bassin versant de l'oued Tafna, Tome 1, Thèse de Doctorat d'état Université de Savoie.
- [6] **F.BENSAOULA**, 1992, Carte hydrogéologique de Ouled Mimoun au 1/50 000 et notice explicative(ALGERIE), Thèse magister en géologie appliquée, I.S.T Oran.
- [7] **B, COLLIGNON**, 1986, **Hydrogéologique** appliquée des aquifères Karstiques des monts de TLEMCEN, Avignon, thèse, doctorat Nouv, Rég, Fac, des Sc ,tome 1,
- [8] **Fendi W**, 1999, Etude hydrogéologique des sous bassins versants de la Tafna (Isser, Sikkak et Lkhdar) : Recherche d'un modèle pluies débit, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydrogéologie, Département sciences de la terre, Faculté des sciences .U.A.B.B.Tlemcen
- [9] **M. BENEST**, 1895, Evolution de la plate forme de l'ouest Algérien et du nord-est Marocain au cours du jurassique supérieur et au début du crétacé, Stratigraphie, milieu du dépôt et dynamique sédimentaire, thèse de Doctorat, Université de Lyon
- [10] **C.O.B.A**, 2001, Barrage hammam Bougrara: Etude d'impact de l'environnement, Agence Nationale des barrages Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire Novembre 2001.
- [11] **BOUREGBA NAOUEL**, 2006, Modélisation du climat et changement climatique (cas de l'Algérie), mémoire de magister, centre Universitaire de Mascara.
- [12] **MEDDI M, TALLA.A et BEKOUSSA**, 2003, Evolution du régime hydro-pluviométrique du Bassin Versant de la Tafna. Nord Ouest de l'Algérie
- [13] **Roux .f**, 1991, Les orages météorologiques des grains, de la grêle, et des éclaires, Paris : Payot pp.354
- [14] **Roche.M**, 1963, Hydrologie de surface, Edition Gauthier-Villars,Paris.

- [15] **Sanchez - Diesma R, I.Zawadski et D. Semper –Torres**,1970, Identification of the bright band through the analysis of volumetric radar data, Journal of the atmosphérique sciences 27,pp.299-307.
- [16] **Marc Morel**, 1999, Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base,Edition H.G.A.Bucarest.
- [17] **Alexis BERNE**, 2002, Précipitations méditerranéennes intenses en milieu urbain : interaction physique et analyse statistique de mesures à fines échelles spatio-temporelles, impact de la variabilité spatiale sur la réponse de bassin versant
- [18] **Thillet J.J**, 1997, la météo de montagne, les guides du club Alpin Français, Seuil, pp 189.
  
- [19] **Riverain J-C**, 1997, Les épisodes orageux à précipitations extrêmes sur les ragions méditerranéennes de la France, Phénomènes remarquables 4, Météo France,
- [20] **Harrang C**, 1970, La mesure des précipitations monographiques N°78 de la météorologie nationale.
- [21] **SUMMER G**, 1988, Precipitation process and analysis, John Wiley & sons, 455 p
- [22] **GUYOT G**, 1997, Climatologie de l'environnement, Masson, 507 p
  
- [23] **Le maitre. F**, 2002, Recensement des tests de détection de tendance ou de rupture adapté a l'analyse se stationnarité des régimes de crues en France, Rapport de fin d'études, TPE, CEMAGREF.
- [24] **Ouarda T.B.M.J,Rassmussen P.F, GatinJ.F, Bobée. B, Laurence R., Hoa V.D,Barabé G**,1999, Identification d'un réseau hydrométrique pour le suivi des modifications climatiques dans la province de Québec ,Revue des Sciences de l'eau , 12/2, 425-448.
- [25] **Kendall M.G**, 1975, Rank correlation methods, 4th Edition Charls Grffin, London, pp202.
- [26] **Sneyer. R**, 1975, Note technique n°143 sur l'analyse statistique des séries d'observation OMM n) 415, GENEVE, SUISSE.
- [27] **Ptitt A.N**, 1979, A non -parametric Approche to the chage -point.Problem, AppliedStatistics, 28N°2, pp126-135.
- [28] **Dmarée G.R** , 1990,Evidence of abrupt climate chage from the ranffall data of Mauritanian station .IRM. Series AN°124,pp68-74
- [29] **Christophe Benavent**, 2001, Tests statistique, Professeur a l'IAE de l'Ile
- [30] **Vannitsen S, Demarée G**, 1991, Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. Hydrologie continentale, Volume 6,N°2,pp155-171

- [31] **Lubès. H et Al**, 1994, Caractérisation de fluctuation dans une série chronologique par application des tests statistiques, étude bibliographique, rapport n°3 programme ICCARE,ORSTOM Montpellier,21 p.
- [32] **M. Haché, L. Perreault, L. Rémillard and B. Bobée**, 1999, Une approche pour la sélection des distributions statistiques : application au bassin hydrographique du Saguenay – Lac St-ean, Can. J. Civ. Eng, 26: 216–225.
- [33] <file:///I:/hydrologie/hydrologie%20générale%20analyse%20frequentielle.htm>. (Consulté le (14/05/2007)
- [34] **Ph. Bois, Ch. Obled et I. Zin**, 2007, Professeurs et Maître de Conférences à l'GNSHMG. Introduction au traitement de données en hydrologie, 7ème édition, Edition du Millénaire.
- [35] **Regis Bourier**, 1981, Les réseaux d'assainissement, calcul application perspective, Edition technique et documentation.
- [36] **Gilles Molinie**, 2006, Hydrométéorologie, Systèmes précipitant et précipitations; [http://209.85.229.132/search?q=cache:sZ6T1D1JiwgJ:ltheln21.hmg.inpg.fr/PagePerso/belleudy/STUE/TUE412\\_GM\\_slide\\_syst\\_prec.pdf+tue412\\_GM\\_slide\\_syst\\_prec.pdf&cd=1&hl=fr](http://209.85.229.132/search?q=cache:sZ6T1D1JiwgJ:ltheln21.hmg.inpg.fr/PagePerso/belleudy/STUE/TUE412_GM_slide_syst_prec.pdf+tue412_GM_slide_syst_prec.pdf&cd=1&hl=fr) (Consulté le 25/12/2008)
- [37] **Lorena Hita, Marta Miralpex, Nicolas Tournaud**, 2007/2008, Changement climatique : étude des événements extrêmes, laboratoire IPSL de l'école nationale des ponts et chaussées; Premier semestre.
- [38] **Albert Goula Bi TIE, Brou Konan, Yao Telesphor Brou, Savane Issika, Vamoryba Fdika et Bernard Srohourou**. Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicales : cas de la côte d'Ivoire par comparaison des lois log normale et de Gumbel;
- [39] **SUMMER G**, 1988, Precipitation process and analysis, Edition John Wiley & sons, New York, 455 p
- [40] **INRS-Eau Terre et Environnement, HYFRAN.SiteWeb:** [http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupes/chaire\\_htdro/chaire1.htm](http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupes/chaire_htdro/chaire1.htm) (consulté le 15/02/2009)
- [41] **Riou Bensotra Mohamed**, 2008, Etude des précipitations journalières et horaires de la plaine de Chélif, Mémoire de magistère, Institut des sciences de la nature et de la terre, Centre Universitaire de Khemis Miliana.
- [42] **Francis Colin,CathrineCollet,Fabrice Dessaint, Vincent Ginot**, 1995, Introduction a la décision statistique , Fiche aide mémoire.

- [43] **Khanh-Hung Lam, Jennifer Milton, Michel Nadeau et Luc Vescovi**, 2003, Mise à jour des courbes d'intensité durée fréquence pluie de courte durée du climat récent au Québec, 1 Service Météorologique du Canada.
- [44] **Blampain Olivier, Xia Zhenyu**, 2004, Conception des réseaux d'assainissement: Pluie du projet et normes N F EN 752-2, LML (UMR 8107, Cité scientifique 59 655 Villeneuve d'assq cedex. XXI<sup>ème</sup> rencontre universitaire de Génie Civil.
- [45] **Christophe Benavent**, 2001, Professeur à l'IAE de l'Ile, Test statistique.
- [46] **Andry Musy**, 1998, Hydrologie appliquée, Edition H.G.A Bucarest.
- [47] **Jean-François Delmas et al**, 2005-2006, Cours de statistiques et analyse des données, polycopié de l'école Nationale des ponts et chaussées, pp 64 et 80-81
- [48] **Marc Satin, Bechir Selmi**, 2006, Guide technique de l'assainissement 3<sup>eme</sup> édition, Edition le Moniteur.

## **RESUME**

Le but de ce mémoire est d'analyser l'évolution des précipitations dans le temps, ce travail s'est basé sur l'étude de séries de données de quelques stations pluviométriques reparties sur le bassin versant de la Tafna.

Nous avons d'abord analysé la stationnarité des séries pluviométriques et la rupture au sein de ces dernières, aux échelles annuelle et saisonnière ainsi que pour les précipitations maximales journalières et le nombre de jours de pluies ; En utilisant deux tests à savoir : le test de Man Kendall et le test de Pettitt

Ensuite nous avons procéder à une étude d'ajustement des précipitations maximales journalières, pour ce faire deux lois sont appliquée : lois de Gumbel et la loi des valeurs extrêmes généralisées (G E V). Pour la mise en œuvre de cet ajustement nous avons utilisé le logiciel Hyfran qui nous a permis d'appliquer le test de Khis deux et d'en faire une comparaison graphique entre les deux lois, a fin de détecter le model le plus adéquat pour cette région. .

La dernière étape consiste à la construction des courbes intensité-durée-fréquences (IDF). Pour ce faire, nous avons déterminé les intensités maximales pour un pas de temps de 10 minutes à 480 minutes, pour des périodes de retours de 1an et de 2 ans. Cela nous a permis de calculer les paramètres climatiques a et b pour chaque station, en utilisant le model de Montana.

### **Mots clés :**

Précipitations, stationnarité, période de retour, IDF, Test, GEV, Gumbel, model, Tafna.

### **الملخص:**

الغرض من هذه المذكرة هو تحليل تطور هطول الأمطار على مر الزمن، يستند هذا العمل على دراسة سلاسل المعطيات لبعض محطات رصد الأمطار الموزعة عبر الحوض الساكن لتافنا. قمنا أولا بتحلل استقرارية بيانات هطول الأمطار والانقطاع في هذه الأخير على المستويات السنوية والموسمية وكذا لهطول الأمطار اليومية القصوى و لعدد الأيام الممطرة؛ و ذلك باستخدام اختبارين وهي : اختبار مان كندال و اختبار بوتي.

ثم قمنا بإجراء تعديل الأمطار اليومية القصوى بتطبيق قانونين: قانون جامبل وقانون القيمة القصوى المعمم (GEV) . لتنفيذ هذا التعديل استخدمنا البرمجيات Hyfran التي تسمح لنا لتطبيق اختبار كي اثنين (Khis deux) وإجراء مقارنة بيانية بين القانونين ، وذلك بغرض اكتشاف النموذج الأكثر ملائمة لهذا المنطقة .

الخطوة الأخيرة، هي بناء منحنيات الشدة، المدة، التردد (IDF). للقيام بذلك ، قمنا بتحديد الشداد القصوى، معتمدين على خطوة زمنية من 10 دقيقة إلى 480 دقيقة لفترات العودة سنة 1 و سنتان 2. هذا يسمح لنا بحساب المعلمات المناخية a و b لكل محطة رصد ، وذلك باستخدام نموذج مونتانا.

### **مفتاح الكلمات:**

الأمطار، الاستقرارية ، فترة العودة، IDF ، اختبار ، جامبل ، نموذج ، تافنا

## **ABSTRACT**

The purpose of this memory is to analyze the evolution of rainfall over time, this work was based on survey data sets of a few rainfall stations spread over the watershed Tafna.

We first analyzed the stationarity of rainfall data and the break in the latter, the seasonal and annual scales and to the maximum daily rainfall and number of rainy days; Using two tests namely: test Man Kendall and Pettitt test

Then we conduct a thorough adjustment of maximum daily precipitation, to do two laws are applied: Gumbel laws and the law of the generalized extreme value (GEV). For the implementation of this adjustment we used the software Hyfran which allowed us to apply the test Khis two and make a graphical comparison between the two laws, has the purpose of detecting the most appropriate model for this region.

. The last step is the construction of curves intensity-duration-frequency (IDF). To do this, we determined the maximum intensities for a time step of 10 minutes to 480 minutes for the return period of 1 year and 2 years. This allowed us to calculate the climatic parameters a and b for each station, using the model of Montana.

### **Key words:**

Precipitation, stationarity, returns period, IDF, Test, GEV, Gumbel, model, Tafna.