



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

N° d'ordre : ...

N° de série : ...

FACULTE DES SCIENCES
ET DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET DE GENIE CIVIL

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité: **Hydraulique**

Option: **Aménagement Hydraulique En zones arides**

Présenté par: **AIDI Karim**

Thème

**ETUDES DES PLUIES ET DES INTENSITES
PLUVIALES DES ZONES SEMI-ARIDES
(CAS DU ZAHREZ, BASSIN VERSANT 17)**

Soutenu publiquement le : / /2014

Devant le jury :

Mr. BENTEBBA Med Tahar	Professeur	U. Ouargla	Président
Mr. KRIKER AbdelOuahed	Professeur	U. Ouargla	Examineur
Mr. ZEDDOURI Aziz	M.C.A	U. Ouargla	Examineur
Mr. SAKER Mohamed Lakhdar	Professeur	U. Ouargla	Rapporteur

Année Universitaire : 2013 / 2014

Remerciements

J'exprime en premier lieu mes remerciements à notre Dieu tout puissant qui m'a aidé et permis d'accomplir ce travail et pour m'avoir procuré, entres autres, de la volonté, de la patience et du courage tout au long de mon existence.

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à Monsieur SAKER Med Lakhdar, Professeur, et BOUTOUTAOU Djamel, Maître de Conférences 'A', à l'université KASDI Merbah Ouargla, pour m'avoir encadré. J'exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont guidé dans la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Je remercie respectueusement Monsieur BENTEBBA Med Tahar, Professeur à l'université Kasdi Merbah Ouargla, qui me fait un grand honneur en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Je tiens également à remercier les membres du jury, Monsieur KRIKER AbdelOuahed, Professeur, et ZEDDOURI Aziez, Maître de Conférences 'A', à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de participer au jury de ce mémoire.

Je désire adresser une marque tout particulière de ma gratitude au gens de L'ANRH pour leur collaboration, soutien et la justesse des orientations qu'ils ont bien voulu me suggérer, pour présence et aide toutes deux considérables.

Je suis heureux de témoigner ma profonde gratitude à Mme YOUNCI Djihad (Chef de secteur de l'ANRH-Djelfa), pour avoir mis à ma disposition toutes les données pluviométriques, pluviographiques et climatologiques utilisées dans cette étude, et pour ses encouragements, ses conseils et son aide précieuse dans la finalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements et mes respects vont également à tous mes enseignants(es) de l'École Nationale supérieur d'hydraulique (BLIDA), ainsi qu'à tous mes enseignants(es) de la filière d'hydraulique de l'université KASDI Merbah Ouargla, pour leur grande contribution dans ma formation universitaire.

Je tiens à remercier également tous mes collègues du travail pour leur collaboration matériellement et moralement dans ma formation et la finalisation de ce manuscrit.

Je ne saurai oublier d'exprimer ma profonde gratitude à tous mes amis que j'ai connus tout au long de mes études supérieures pour leur soutien moral.

Je ne saurai oublier de dédier ce travail à toute ma famille à commencer par mes parents, mes frères et sœurs, mes oncles et tantes, mes cousins et cousines et à tous ceux ou celles que je n'ai pas cité, qui ont contribué matériellement et moralement dans ma formation et la finalisation de ce manuscrit, qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de mes vifs remerciements.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À toute ma grande famille

À tous mes amis

À tous mes enseignants (es)

À mes collègues de la promotion

À mes collègues de l'école ENSH (BLIDA)

À mes collègues du travail

Karim AIDI.

ملخص:

التساقطات (الأمطار) وتوزييعها الموسمي يؤثر على النظام الهيدرولوجي سواء بكمياتها السنوية التي تحدّد الوفرة، أو بكمياتها اليومية خاصة المسببة للفيضان. إن تفاقم هذه الأخيرة جراء هطول الأمطار جعل من الضروري و بالغ الأهمية اتخاذ كل التدابير التي تسمح بالتنبؤ بمثل هذا الحدث. يعد تمثيل احتمالات هطول الأمطار بمنحنيات الشدة، المدة و التكرار أكثر دقة حيث يسمح بتطبيق مستعملات بما في ذلك مجموعة من المعطيات الزمنية (قصيرة القيم و الأكبر من العتبة) أي استعمال مكثف على المعلومات المتاحة (سنوات التجمع).

بيانات هطول الأمطار وشدة التساقط المطرية ضرورية جدا في الدراسات الهيدروليكية، وفي حالة غياب مثل هذه البيانات يجد المهندسون صعوبة في تقييمها، إن تطبيق أساليب الحساب لشدة التساقط في مناطق مناخية وجغرافية أخرى قد يؤدي إلى نتائج أقل دقة، في هذا الصدد أخذنا الحوض الهيدوغرافي زهرز ميدانا لتطبيق هذه الدراسة (المناطق شبه جافة).

من خلال دراسة العلاقة بين الشدة، المدة و التكرار لمعطيات المأخوذة من جهازا لقياس الأمطار لكل من محطات الجلفة، دار الشيوخ و مرقب بن حفاف من الوكالة الوطنية للموارد المائية بالجلفة، و ذلك لوضع صيغة للعلاقة الشدة، المدة و التكرار لحساب شدة التساقط المطرية للحوض الهيدوغرافي زهرز. إلا أن المعطيات الموجودة لا تغطي عموما إلا الفترة الممتدة من 1971/1972 إلى 2002/2003، حيث أن اختبار هذا النموذج على هذه المحطات القياس الثلاث، أعطى نتائج جد مشجعة.

يهدف هذا العمل إلى وضع منهجية لحساب التساقطات و شدة التساقط في حالة غياب المعطيات على مستوى المناطق شبه جافة زهرز كما يتم تزويد التقنيين و إعطائهم، وسيلة عمل في تهيئة أحواض الدفق (السدود ، المساحات المسقية، قناة الصرف...).

الكلمات الدالة : الأمطار، الشدة، المدة، التكرار، المنهجية، زهرز.

Résumé:

Les précipitations (pluie) et sa distribution saisonnière influencent sur le régime hydrologique, soit par leurs quantités annuelles qui déterminent l'abondance, ou par leurs quantités qui causent l'inondation. Cette aggravation causée par la pluie a rendu nécessaire et très important de prendre toutes les mesures qui permettront la prédiction de tel événement. La représentation des possibilités de précipitations par des courbes de l'intensité pluviale, la durée et la fréquence est plus précise et elle permet d'appliquer des utilisateurs, dont des groupes des données temporelles (des valeurs courtes et plus grandes que le seuil) donc une utilisation intensive de l'information disponible (années d'assemblage).

Les données des pluies et des intensités pluviales en zone semi-arides sont très nécessaires dans l'élaboration des études d'aménagements hydraulique, En absence de ces données les ingénieurs et les aménagistes trouvent beaucoup de difficulté pour leurs évaluations. L'application des méthodes de calcul des intensités pluviale établies dans d'autres régions climatiques et géographiques peut conduire à des résultats moins précis, à cet égard, nous prenons le bassin versant (Zahrez) pour l'application de cette étude (zones semi-arides).

Grâce à l'étude de la relation entre l'intensité pluviale, la durée et la fréquence données prises à partir d'un appareil qui mesure les précipitations pour chacune des stations de Djelfa, Dar Chioukh et Margueb ben haffaf, qui sont pris de l'ANRH de djelfa, pour mettre une formule de la relation entre l'intensité, la durée et la fréquence afin de calculer l'intensité pluviale de bassin versant Zahrez. Cependant, les données existantes ne couvrent pas en général que la période de 1971/1972 - 2002/2003, et le test de ce modèle sue ces trois stations de mesure, a donné des résultats très encourageants.

Ce travail vise à développer une méthodologie pour calculer l'intensité pluviale et les précipitations en cas de l'absence des données sur le niveau des zones semi-arides Zahrez, et de mettre à la disposition des techniciens et décideurs un outil de travail dans l'aménagement des bassins versant (barrage, périmètre d'irrigations, canal de protections...).

Mots clés : Pluie, intensité, durée, fréquence, méthodologie, ZAHREZ.

Abstract:

Rainfalls (rain) and its seasonal distribution influence on hydrological system either by annual amounts which quantify the amount or its daily quantities, quantities which cause floods. The increase of the latter because of the rainfalls make it important to predict these phenomenon. The graph of the probability of rainfalls by the graphs of rain intensity, the duration and the repetition more specific which allow to use different of findings (Short values, and more than the base)

The information about the rainfalls and the intensity are very important in Hydrology. In case of absence of these data, engineers find difficulties to evaluate it. The application of rain gauge in climatic and geographic zones it may lead to less rigorous results. That s why we choose the hydrological sink Zahrez as a field to apply this study.

According to the relation between the intensity, the duration and the repetition, the findings which were taken from the rain gauge of the station of Djelfa, Dar chioukh and Mergueb ben Haffaf of the national agency of water resources of Djelfa in order to identify the relation between the intensity of rainfalls, the duration and the repetition to know the intensity of the rainfalls of the sink of Zahrez but the findings that we have just cover the duration 1971/1972 to 2002/2003. This experiment of these three samples shows good results.

The aim of this work is to make a method to know rainfalls and its intensity in case of the absence of the findings of this semi-dry region Zahrez. Also, it provides and gives to technicians means of work to prepare dams (dams, irritated areas, sewage)

Key words: rain, intensity, duration, frequency, methodology, ZAHREZ.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1	
Chapitre I	Généralités sur la mesure des précipitations	
I.	Précipitations	3
I.1	Classification des précipitations :	3
I.1.1	Précipitations convection :	3
I.1.2	Précipitations orographiques :	4
I.1.3	Précipitations de front :	5
I.2	Mesure des précipitations :	5
I.2.1	Pluviomètre :	5
I.2.2	Pluviographe :	7
I.2.2.1	Le principe à auget basculeur :	8
I.2.3	Nivomètres :	8
I.2.4	Etablissement d'un réseau pluviométrique :	8
I.2.5	Les erreurs dans les mesures :	9
I.2.5.1	Les erreurs d'observation :	9
I.2.5.2	Les erreurs de transcription et de calcul :	9
I.2.5.3	Les erreurs systématiques :	9
I.3	Analyse spatiale des pluies :	10
I.3.1	Volume de précipitations tombé sur un bassin :	10
I.3.2	Présentation et analyse des données pluviométriques :	10
I.3.2.1	Méthode arithmétique :	11
I.3.2.2	Méthode de Thiessen :	11
I.3.2.3	Méthode des isohyètes :	12
I.3.2.4	Méthode graphique :	12
I.4	Précipitation et probabilité en fonction de répartition :	13
I.4.1	Lois utilisées :	13
I.4.1.1	Précipitations annuelles :	13
I.4.1.2	Précipitations mensuelles :	14
I.4.1.3	Précipitations journalières :	14
I.4.1.4	Précipitations extrêmes :	14
I.4.2	Utilisation et domaine d'utilisation de ces lois :	14
I.4.2.1	Loi Normale :	14
I.4.2.2	Loi log Normale ou loi de Galton :	14
I.4.2.2.1	1 ^{er} forme de la loi log Normale :	15
I.4.2.2.1.1	Procédé d'ajustement :	15
I.4.2.2.2	2 ^{ème} forme de la loi log Normale :	15
I.4.2.3	Loi de Pearson III :	16
I.4.2.4	Loi de Gumbel :	17
I.5	Analyse des précipitations de courte durée ($t < 24$ heures) :	17
I.5.1	Notion d'averse :	17
I.6	Notion d'intensités :	17
	Conclusion :	18
Chapitre II	Présentation de la zone d'étude.	

II.	Présentation de la zone d'étude :	19
II.1	Situation géographique :	19
II.1.1	Superficie :	22
II.1.2	Hydrographie :	22
II.1.3	Géologie :	22
II.2	Caractéristiques physiographiques et hydro morpho métriques :	25
II.3	Aperçu climatologique et pluviométrique du milieu étudié :	25
II.3.1	Températures :	25
II.3.2	Vents :	26
II.3.3	Evapotranspiration :	26
II.3.4	La pluviométrie :	27
II.4	Réseau hydro pluviométrique :	28
	Conclusion :	29
Chapitre III	Etude statique et analyse spatiale des précipitations.	
III	Etude statique et analyse spatiale des précipitations.	30
III.1	La connaissance ponctuelle des pluies journalières extrêmes	30
III.1.1	Les données utilisées :	30
III.1.2	Evolution mensuelle des précipitations extrêmes :	30
III.2	Modélisation statistique des pluies journalières extrêmes :	32
III.2.1	Procédé d'ajustement :	33
III.3	P j max. Anomalies des ajustements statiques et corrections	34
III.3.1	Ajustements graphiques :	34
III.3.2	Anomalies des ajustements statistiques et correction :	35
III.3.2.1	Station de Gotaya 17 02 16 :	35
III.3.2.2	Station de Charef 17 01 02 :	37
III.3.2.3	Station de Zaafrane 17 02 07 :	38
III.3.2.4	Station de Rocher sel 17 02 01 :	39
III.3.2.5	Station Ain Maabed code 17 02 04 :	40
III.3.2.6	Station Mergueb B/haffaf code 17 02 09 :	40
III.3.2.7	Station de Djelfa code 17 02 08 :	41
III.3.2.8	Station de Dar Chioukh code 17 05 03 :	41
III.3.2.9	Station d'Ain Mouilah code 17 04 01 :	42
III.3.2.10	Station de Draa Larara code 17 05 01 :	43
III.4	Contrôle de la qualité de la série pluviométrique :	44
III.4.1	Estimation des paramètres des fonctions de distribution :	46
III.5	Etude statistique des modules :	46
III.5.1	Intervalle de confiance :	47
III.5.2	Hauteurs de pluies maximales estimées pour différentes périodes de retour :	49
	Conclusion :	50
Chapitre IV	Etude de l'intensité pluviale.	
IV.1	Importance de l'étude de l'intensité pluviale :	51
IV.1.1	Evaluation des débits des eaux pluviales :	51
IV.1.1.1	Pour l'assainissement :	51
IV.1.1.2	Pour la protection contre les inondations (débit de crue) :	51
IV.1.1.2.1	Formule de TURRAZA	51
IV.2	Les différentes méthodes de calcul de l'intensité pluviale	52
IV.3	Détermination de l'intensité pluviale :	53

IV.3.1	Les données pluviométriques :	53
IV.3.2	Les données pluviographiques :	60
IV.3.2.1	Les bandes d'enregistrement des pluviographes :	60
IV.3.2.1.1	Caractéristiques verticalement :	61
IV.3.2.1.2	Caractéristiques horizontalement :	61
IV.3.2.2	Les dépouillements manuels des bandes enregistrements :	61
IV.3.2.2.1	La fiche mensuelles récapitulative	63
IV.3.2.2.2	La fiche de dépouillement de pluviogramme	64
IV.3.2.3	Dépouillement des courtes durées inférieure 24 heures :	65
IV.3.2.4	Conventions de dépouillement :	65
IV.3.2.5	Aspects pratiques:	70
IV.4	Traitement statistique des séries des enregistrements pluviographiques :	72
IV.4.1	Homogénéité des données d'intensité pluviale :	72
IV.4.2	Test de la médiane (ou test de Mood) :	74
IV.5	Ajustement des intensités pluviales aux lois statistique :	76
IV.5.1	Choix du type de loi :	76
IV.5.2	Résultats de l'ajustement :	76
IV.5.2.1	La station de pluviographe de Djelfa 17 02 08 :	76
IV.5.2.1.1	Pour de la durée 1 min :	76
IV.5.2.1.2	Pour de la durée 5 min :	78
IV.5.3	Test d'adéquation d'ajustement statistique :	83
IV.5.4	Le test du χ^2 :	83
	Conclusion	85
Chapitre V	Modélisation de l'intensité pluviale du Zahrez.	
V.1	Modélisation de l'intensité pluviale :	86
V.2	La relation intensité-durée :	87
V.3	Relation entre l'intensité pluviale, la durée et la fréquence (courbes I-D-F)	88
V.4	Modélisation des courbes I-D-F :	90
V.5	Méthodologie de la modélisation des courbes IDF	90
V.5.1	Identification des paramètres de la relation I-D-F :	91
V.5.1.1	Paramètre A_T :	91
V.5.1.2	Identification du paramètre (exposant) n_T :	92
V.6	Le modèle final proposé :	93
	Conclusion	94
Chapitre VI	Interprétations des résultats	
VI.1	L'intensité pluviale :	95
VI.2	Modélisation des courbes IDF :	96
VI.3	Résultats et Discussion :	97
VI.4	Intensités Durées Fréquences :	104
VI.5	Validation des modèles :	105
	Conclusion générale	107
	Références bibliographiques	109
	Annexe	

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1	Précipitations de convection	4
Fig. I.2	Précipitations orographiques	4
Fig. I.3	Précipitations de front	5
Fig. I.4	Stations pluviométriques	6
Fig. I.5	le pluviographe à augets basculeurs.	7
Fig. I.6	Diagramme enregistré au pluviographe averse du 06 février 1998 à Djelfa	8
Fig. I.7	Graphique de " P. Seltzer " les trois lois de l'Algérie.	13
Fig. II.1	Situation géographique du bassin hydrographique Zahrez (BV 17)	19
Fig. II.2	Situation géographique de la zone d'étude (vue en 3D du MNT).	20
Fig. II.3	Présentation générale du bassin versant 17.	21
Fig. II.4	Carte géologique du milieu étudié.	24
Fig. II.5	Carte de l'évapotranspiration du milieu étudié	27
Fig. II.6	Position des postes pluviométriques utilisés	28
Fig. II.7	Sous bassin versant et réseau hydro pluviométrique	29
Fig.III.1	Evaluation mensuelles des paramètres des lois Gumbel à la station de DAR CHIOUKH	31
Fig.III.2	Evaluation mensuelles des paramètres des lois Gumbel	31
Fig.III.3	Evaluation du nombre de poste pluviométrique en fonction de la durée d'observation	32
Fig.III.4	Exemples d'ajustements satisfaisants	34
Fig.III.5	Exemples d'ajustements problématiques	35
Fig.III.6	Ajustement des P j max sur les données brutes	36
Fig.III.7	Comparaison des pluies max mensuelles avec la station la plus proche	36
Fig.III.8	Ajustement des P j max sur les données modifiées	37
Fig.III.9	Ajustement des P j max sur les données modifiées	37
Fig.III.10	Fig. III.11 Comparaison des pluies max mensuelles avec la station la plus proche	37
Fig.III.11	Fig. III.12 Ajustement des P j max sur les données brutes	38
Fig.III.12	Fig. III.13 Comparaison des pluies max mensuelles avec la station la plus proche	38
Fig.III.13	Fig. III.14 Ajustement des P j max sur les données modifiées	39
Fig.III.14	Fig. III.15 Ajustement des P j max sur les données brutes	39
Fig.III.15	Fig. III.16 Ajustement des P j max sur les données brutes	40
Fig.III.16	Fig. III.17 Ajustement des P j max sur les données brutes	40
Fig.III.17	Fig. III.18 Ajustement des P j max sur les données brutes	41
Fig.III.18	Fig. III.19 Ajustement des P j max sur les données brutes	41
Fig.III.19	Fig. III.20 Ajustement des P j max sur les données modifiées	42
Fig.III.20	Fig. III.21 Ajustement des P j max sur les données brutes	42
Fig.III.21	Fig. III.22 Ajustement des P j max sur les données brutes	43
Fig.III.22	Fig. III.23 Ajustement des P j max sur les données modifiées	43
Fig.III.23	Fig. III.24 abaques de Bernier	48
Fig.III.24	Fig. III.25 Hauteurs de pluies maximales estimées pour différentes périodes de retour	49

Fig. IV.1	La bande d'enregistrement de pluviographe type hebdomadaire	60
Fig. IV.2	Diagramme enregistré au pluviographe averse du 06 février 1998 à Djelfa	62
Fig. IV.3	La fiche mensuelles récapitulative	63
Fig. IV.4	La fiche de dépouillement de pluviogramme.	64
Fig. IV.5	Nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à station de Djelfa en fonction de leur durée.	67
Fig. IV.6	Nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à station de M B / H en fonction de leur durée.	68
Fig. IV.7	Nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à station de DAR CHIOUKH en fonction de leur durée	69
Fig. IV.8	Ajustements des données des intensités maximales annuelles pour 1 min, par la loi : (a) Log-normal, (b) Log-normale (3 param.), (c) Pearson type III, (d) Log-Pearson type III.	77
Fig. IV.9	Comparaison graphique des quatre lois d'ajustements des données des I (max a) pour 1 min	77
Fig. IV.10	Ajustements des données des intensités maximales annuelles pour 5 min, par la loi : (a) Log-normal, (b) Log-normale (3 param.), (c) Pearson type III, (d) Log-Pearson type III.	78
Fig. IV.11	Comparaison graphique des quatre lois d'ajustements des données des I (max a) pour 5 min	79
Fig. V.1	Evolution de l'intensité pluviale dans le temps.	86
Fig. V.2	Averse de 27-06-1980 à Djelfa (Courbe Intensité – Durée)	87
Fig. V.3	Courbes I-D-F de la station de DAR CHIOUKH	89
Fig. V.4	La relation entre A_T et T.	91
Fig. V.5	La relation entre (n) et (T)	92
Fig. VI.1	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 5 ans (St. DAR CHIOULH)	98
Fig. VI.2	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 10 ans (St. DAR CHIOULH)	98
Fig. VI.3	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 20 ans (St. DAR CHIOULH)	98
Fig. VI.4	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 50 ans (St. DAR CHIOULH)	99
Fig. VI.5	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 100 ans (St. DAR CHIOULH)	99
Fig. VI.6	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 1000 ans (St. DAR CHIOULH)	99
Fig. VI.7	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 5 ans (St. DJELFA)	100
Fig. VI.8	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 10 ans (St. DJELFA)	100
Fig. VI.9	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 20 ans (St. DJELFA)	100
Fig. VI.10	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 50 ans (St. DJELFA)	101
Fig. VI.11	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 100 ans (St. DJELFA)	101
Fig. VI.12	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 1000 ans (St. DJELFA)	101
Fig. VI.13	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 5 ans (St. M B / H)	102
Fig. VI.14	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 10 ans (St. M B / H)	102
Fig. VI.15	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 20 ans (St. M B / H)	102
Fig. VI.16	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 50 ans (St. M B / H)	103
Fig. VI.17	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 100 ans (St. M B / H)	103
Fig. VI.18	Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 1000 ans (St. M B / H)	103

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 :** Pluies journalières maximale : Ajustements à une loi de Gumbel pour 10 stations pluviométriques.
- Annexe 2 :** Quelques photos des bandes d'enregistrement de pluviographe type hebdomadaire.
- Annexe 3 :** Station de DAR CHIOUKH 17 05 03.
Dépouillement de quelques averses et choix des pluies maximales dans les intervalles de temps,
- Annexe 4 :** Station de DJELFA 17 02 08.
- Annexe 5 :** Station de MERGUEB B / HAFFAF 17 02 19.
- Annexe 6 :** Les figures des courbes d'ajustement des données des intensités pluviales, la loi d'ajustement est log-normale pour 03 stations sont :
DAR CHIOUKH 17 05 03.
Station de Station de DJELFA 17 02 08.
Station de MERGUEB B / HAFFAF 17 02 19.
- Annexe 7 :** Les courbes Intensité-Durée-Fréquence.

LISTE DES ABREVIATIONS

- ANRH : Agence nationale des ressources hydriques.
- ONM : Office national de météorologie.
- B.V : Bassin versant.
- SBV : Sous bassin versant.
- FDP : Fonction de distribution de probabilité.
- MNT : Modèle numérique de terrain.
- SDC : Série de durées complètes.
- SMA : Série max annuels.
- IDF : Intensité-durée-fréquence.

NOMENCLATURE

- A : Superficie du bassin versant (km^2)
- P : Périmètre du bassin versant (km)
- $L\text{-chev}$: Longueur du cours d'eau principal (km)
- K :
- L_{re} : Longueur hydrologique du bassin versant (km)
- I_{re} :
- D_d : Densité de drainage (km/km^2)
- H_{min} : Altitude minimale (m)
- H_{mox} : Altitude maximale (m)
- H_{moy} : Altitude moyenne (m)
- d : Durée d'agrégation (Temps de référence) (min)
- $\Gamma(1+k)$: Fonction gamma
- C_v : Coefficient de variation
- C_s : Coefficient d'asymétrie
- C_k : Coefficient d'aplatissement
- P : Précipitation ou pluie brute en (mm).
- g : gradex
- σ : l'écart-type
- x : moyenne
- x_{mod} : le mode
- r : le coefficient de corrélation
- u : Variable centrée réduite de Gauss.
- y : la variable de Gumbel
- P_{10} : La pluie journalière décennale
- $P_{j\max}$: pluies maximales annuelles (mm/min)
- N_b : Nombre d'année d'observation.
- N_S : Nombre de valeurs inférieures et supérieures à la médiane.
- T_s : Taille de la plus grande suite de valeurs inférieures ou supérieures à la médiane dans la série chronologique.
- N_1 : Taille de la série des pluies moyennes annuelles de la station à étudier.
- N_2 : Taille de la série des pluies moyennes annuelles de la station de référence.
- W_x : la somme des rangs des éléments du premier échantillon dans la série
- W_{max} : Le borne maximale pour le test de Wilcoxon
- W_{min} : Le borne minimale pour le test de Wilcoxon
- c : coefficient de ruissellement
- $Q_{f\%}$: débit pluvial de fréquence
- $P_{t,T}$: pluie de courte durée de fréquence donnée (mm)
- $P_{j\max\%}$: pluie journalière de fréquence donnée (mm)
- b : exposant climatique
- T : Période de retour (années)
- FD : Fréquence au dépassement
- FND : Fréquence au non dépassement
- Δt : Durée de l'intervalle (min)
- I_{min} : Intensité de la pluie minimale (mm/min)
- I_{moy} : Intensité de la pluie moyenne (mm/min)
- I_{max} : Intensité de la pluie maximale (mm/min)
- t : temps de pluie (min)
- A_t : paramètre géographique
- N_t : L'exposant climatique

**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction générale

Parmi les problèmes auxquels est confronté le processus d'enregistrement de la quantité de précipitations, l'absence et perte de certains enregistrements et elle est dû à un défaut dans le processus d'enregistrement. Le processus d'estimation des valeurs perdues a toujours été un problème majeur dans hydrologie due à la variabilité spatiale et temporelle du phénomène des pluies, et la complexité de la physique.

En hydrologie on s'intéresse d'abord aux distributions elles-mêmes, à l'ampleur des précipitations, au moment et à l'endroit où elles se produisent. L'étude hydrologique des précipitations porte donc essentiellement sur leur quantité et leur rythme, dans le temps et dans l'espace; cette étude se soucie aussi des problèmes de mesures, comme de la critique et de l'utilisation correcte des données pluviométriques.

L'information sur la pluviométrie est de première importance pour la vie quotidienne. Plus spécifiquement les ingénieurs ont besoin de connaître les paramètres de la pluie probable afin de dimensionner les ouvrages qu'ils projettent ou qu'ils entretiennent.

Les mesures de précipitations intéressent des secteurs d'activités assez divers mais principalement la météorologie, l'agriculture, l'hydrologie, etc. Des réseaux de mesures ont généralement été installés de longue date. En Algérie, le développement de ces réseaux a été concret ; Malheureusement, dans notre bassin de Zahrez (Bv. 17) est entouré par les bassins du Chélif au nord et à l'ouest, du Hodna à l'Est et du Chott Melrhir au sud, ce bassin des Zahrez est situé dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, sur la wilaya de Djelfa et M'Sila, Situé entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, le nombre de stations de mesures n'est pas satisfaisant. De nos jours, il est encore fréquent d'avoir à installer de nouvelles stations pluviométriques pour les besoins d'une étude.

La recherche de modèles optimaux régissant le phénomène de la pluie était depuis toujours l'une des préoccupations de nombreux chercheurs dans ce domaine, notamment les analyses effectuées sur la pluie de bassin versant du Zahrez (B.v17), ce bassin est actuellement peu connu.

Dans ce mémoire, nous abordons dans la première partie une synthèse bibliographique, qui met en évidence les diverses notions sur les précipitations de bassin versant du Zahrez. Cette synthèse est avant tout une analyse théorique des intensités de précipitation en un point du sol au moyen d'un modèle mathématique. Le but est de trouver la répartition statistique

des précipitations pluvieuses au cours du temps, et non d'ajuster empiriquement une loi de probabilité sur une courbe expérimentale.

L'étude statistique de l'intensité de la pluie intéresse depuis longtemps, cette étude comprend généralement les trois étapes suivant :

- La première étape consiste à rassembler de données qui existes sur le problème traité : critique, classer, mettre en ordre ces données (pluviométriques et pluviographiques). Par la suite, il faut réduire le tableau de données à un volume de chiffres beaucoup moins important et plus maniable. On peut utiliser les statiques descriptives pour condenser l'information à l'aide de quelques graphes et valeurs types telles que moyenne, écart-type, etc.
- La deuxième étape consiste à analyser les résultats afin de leur adapter le modèle probabilité le plus adapté. On condense donc la masse d'information dont on dispose dans une équation mathématique qu'on appelle modèle mathématique.
- La troisième étape permet de récolter les fruits du travail des deux premières étapes. On utilisé alors le modèle mathématique obtenu précédemment pour faire du design, de la prévision ou la reconstitution de données manquantes.

Chapitre I
Généralités sur la mesure des précipitations.

Précipitations :

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

La hauteur de précipitation est la hauteur de la lame d'eau précipitée qui s'accumulerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations y étaient immobilisées sous forme liquide. Son unité de mesure est le (mm). Sur une surface de 1 ha. 1mm de pluie représente 10 m³ d'eau.

I.1 Classification des précipitations :

Les précipitations peuvent être classées en trois principaux types :

- Précipitations de convection,
- Précipitations orographiques,
- Précipitations cyclonique ou de front.

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

I.1.1 Précipitations de convection :

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

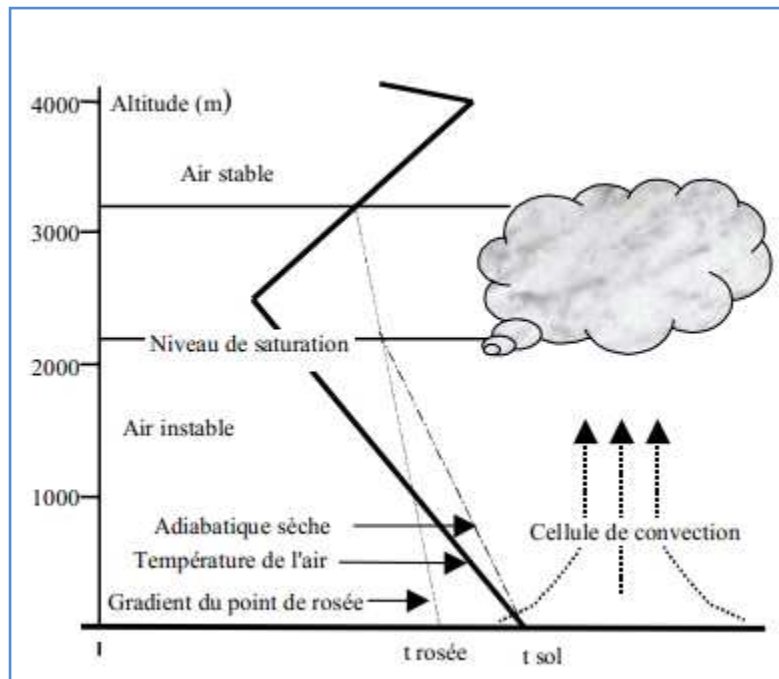


Fig. I.1 : Précipitations de convection (LABORDE. J.P, 2000)

I.1.2 Précipitations orographiques :

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

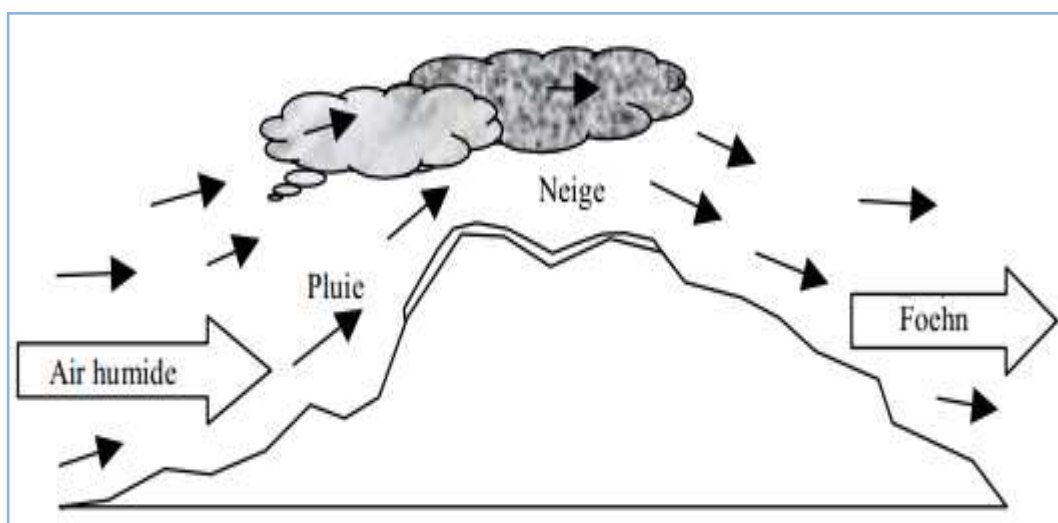


Fig. I.2 : Précipitations orographiques (LABORDE. J.P, 2000)

I.1.3 Précipitations de front :

Lorsque plusieurs masses d'air de propriétés différentes se rencontrent, les plus chaudes et les plus humides sont poussés vers les hautes altitudes où elles se refroidissent et se condensent.

Ce sont ces précipitations qui sont les plus importantes, les plus longues et les plus fréquentes sous nos climats tempérés.

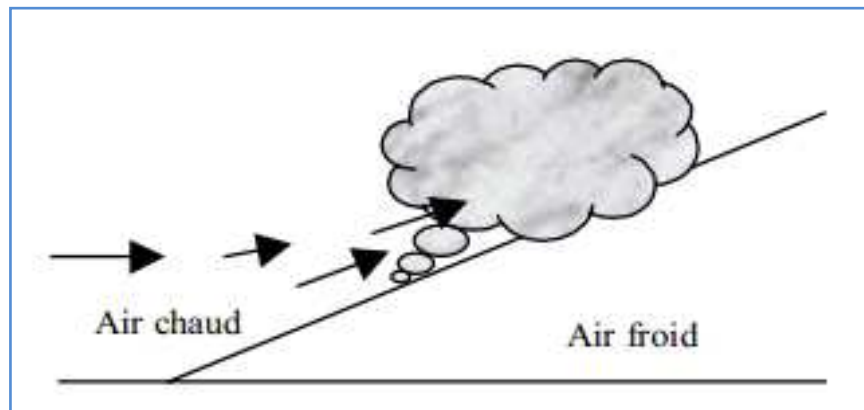


Fig. I.3 : Précipitations de front (LABORDE. J.P, 2000)

I.2 Mesure des précipitations :

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

- Le pluviomètre non enregistreur (le pluviomètre), qui donne la pluie globale à une station pendant un temps plus ou moins long;
- Le pluviomètre enregistreur (le pluviographe), qui permet d'analyser de plus près la répartition de la pluie dans le temps.

I.2.1 Pluviomètre :

N'importe quel récipient ouvert pourrait servir de pluviomètre, mais pour que les observations soient fiables et précises et surtout comparables, il est indispensable d'utiliser des pluviomètres normalisés ayant des caractéristiques propres :

- L'ouverture du pluviomètre doit être horizontale ;

- L'erreur doit être inférieure à 1% pour chaque degré d'inclinaison ;
- A une même station, pour une même hauteur de précipitation, la quantité d'eau recueillie est variable suivant la hauteur de la surface réceptrice du pluviomètre par rapport au sol. Généralement, les pluviomètres sont installés de telle sorte que l'arête de la bague soit à 1 m au dessus de la surface du sol.
- Les pluviomètres doivent être éloignés de chaque obstacle d'une distance au moins égale à 4 fois la hauteur de l'obstacle.

Le pluviomètre est un appareil simple ayant une surface réceptrice limitée par une bague. L'eau qui traverse cette surface est dirigée par un entonnoir vers un seau récepteur. Si, durant un certain intervalle de temps Δt , on a récupéré un volume V à travers la surface réceptrice S , la hauteur de pluie H_v tombée est :

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

Dans la pratique, on adjoint à chaque pluviomètre une éprouvette graduée (fonction de la surface réceptrice S) qui permet la lecture directe de H_v en $1/10^{\text{ème}}$ mm. 10 stations pluviométriques sont réparties dans l'espace étudié (ANRH, 2012), d'une superficie de **9 141** km², dont 03 d'entre elles sont équipés en pluviographes.



Fig. I.4 : Pluviomètre (ANRH)

I.2.2 Pluviographe :

Dans les études hydrologiques, il est important de connaître non seulement la lame d'eau précipitée totale pour une période donnée, mais aussi sa variation dans le temps, c.-à-d. son intensité en mm/h ou en mm/mn, surtout lors d'une averse.

Ces appareils sont destinés à l'enregistrement de la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps. Plusieurs types de pluviographe existent : les pluviographes à augets basculeurs, les pluviographes à balance et les pluviographes à siphon. L'appareil le plus utilisé actuellement est le pluviographe à augets basculeurs.



Fig. I.5 : le pluviographe à augets basculeurs (ANRH).

I.2.2.1 Le principe à auget basculeur :

Une cuillère équipée d'un ressort ou un auget double compartiment autour d'un axe bascule pour une masse d'eau précise. Avantage : utilisation seule du poids de l'eau, appareil simple et précis jusqu'à des intensités de 250 mm/h en résolution 0,2 mm. Le transducteur n'a pas besoin d'énergie électrique.

La figure I.6 correspond à un enregistrement de pluviographe et permet de construire le " hyétogramme " correspondant ; en effet le pluviographe donne le cumul des pluies en fonction du temps alors que le plus intéressant est l'intensité de pluie en fonction du temps (dérivée par rapport au temps du pluviogramme).

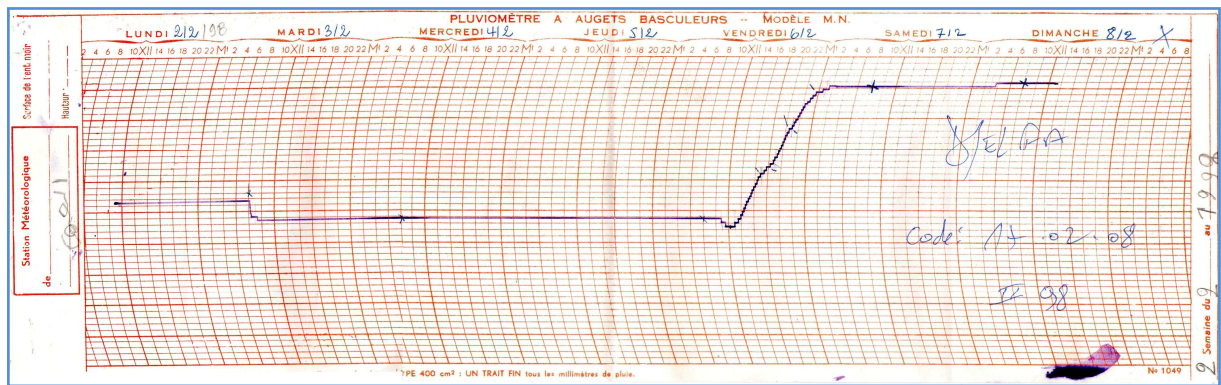


Fig. I.6 : Diagramme enregistré au pluviographe averse du 06 février 1998 à Djelfa (ANRH)

I.2.3 Nivomètres :

Ces appareils sont utilisés en région montagneuse où la neige est prépondérante. Ils permettent de connaître non seulement l'importance quantitative du manteau neigeux mais aussi son état (prévision d'avalanches, prévision de crues, ... etc.).

I.2.4 Etablissement d'un réseau pluviométrique :

La quantité de l'information dépend de la densité du réseau pluviométrique. Plus le réseau est dense, plus l'information est importante en quantité. Le choix du type d'appareils que l'on veut installer dépend du but que l'on veut atteindre. La densité minimale d'un réseau pluviométrique est donnée dans le tableau I.1.

Pour estimer les débits à partir des précipitations, la répartition du réseau ne doit pas être uniforme sur tout le bassin mais disposées de façon à ce que chaque appareil contrôle une zone présumée d'égale pluviométrie. Il faut donc augmenter leur densité dans les parties

hautes du bassin. Il est possible de calculer cette densité, soit un bassin versant équipé de N pluviomètres ayant au moins un enregistrement d'une dizaine d'années, le nombre optimale de pluviomètres à installer pour évaluer le volume totale précipité est données par la formule (I.2).

$$N = \left(\frac{C_v}{p} \right)^2 \quad (I.2).$$

Où :

- p : est pourcentage d'erreur admissible,
- C_v : le coefficient de variation des pluies aux stations pluviométriques existantes.

Tableau I.1 Densité d'un réseau pluviométrique

Type de région	Nombre de km ² par station Condition très difficiles	Nombre de km ² par station Condition normales
Régions non montagneuses de climat tempéré méditerranéen et tropical	600 ÷ 900	900 ÷ 3 000
Régions montagneuses de climat tempéré méditerranéen et tropical	100 ÷ 250	250 ÷ 1 000
Petites très montagneuses	25	/
Petites arides et polaires	1500 ÷ 10 000	/

(Touaïbia B., 2004)

I.2.5 Les erreurs dans les mesures :

I.2.5.1 Les erreurs d'observation :

- Erreur fortuites de lecture de l'éprouvette ;
- Erreur dues à l'évaporation ;
- Débordement du pluviomètre quand la pluie est très intense ;
- Pluviomètre percé ;
- Pertes d'eau pendant le transvasement de l'éprouvette dans le sceau ;
- Pluviomètre sous un arbre, etc. (SARI A., 2002)

I.2.5.2 Les erreurs de transcription et de calcul :

I.2.5.3 Les erreurs systématiques :

Parmi les erreurs systématiques, on peut citer :

- La graduation de l'éprouvette ne correspondant pas à l'ouverture du pluviomètre ;
- Un changement dans l'exploitation du pluviomètre dû à :
- Un déplacement du pluviomètre ;
- Une modification de l'environnement du pluviomètre ;
- Un changement d'observateur ;
- Une éprouvette cassée remplacée par une autre qui ne convient pas.

Il y a lieu de noter que cette liste d'erreurs est presque exhaustive et que toutes ces erreurs n'arrivent pas simultanément. Cependant, les documents élaborés par les observateurs et les hydrologues restent notre référence et sont à la base du développement hydraulique du pays. La liste ci-dessus est beaucoup plus pédagogique.

Les erreurs dans les séries de mesures pluviométriques modifient le caractère aléatoire des phénomènes et les conditions de leur avènement. Si ces conditions changent cela veut dire que les données mesurées ne proviennent pas de la même population et que la série de mesures n'est pas homogène. Avant de pouvoir étudier statistiquement ces séries, il y a lieu donc, au préalable, de les rendre homogènes, ce qui est une condition sine qua non (**SARI A., 2002**).

I.3 Analyse spatial des pluies :

I.3.1 Volume de précipitations tombé sur un bassin :

Malgré la densité d'un réseau 1 pluviométrique pour 900 km² dans l'espace étudié (**Touaïbia B., 2004**), on ne possède qu'une information évidemment très locale que l'on cherche parfois à étendre spatialement, soit pour faire des bilans, soit pour définir des données d'entrée dans des modèles mathématiques. La répartition de la pluie est liée :

- Au climat ;
- Au relief ;
- Au type de perturbation atmosphérique. (**P.H. BOIS., 2000**).

I.3.2 Présentation et analyse des données pluviométriques :

L'analyse des pluies est basée sur les relevés pluviométriques effectués dans un certain nombre de stations sur une surface topographique considérée. Elle est basée sur l'hypothèse que la pluie tombée à une station est représentative de celle tombée tout autour de cette station

sur une étendue plus ou moins large selon la densité du réseau que l'on appelle zone d'influence du pluviomètre.

La détermination de la précipitation moyenne représentative de l'ensemble du bassin versant peut être calculée par diverses méthodes sont :

I.3.2.1 Méthode arithmétique :

C'est une simple moyenne arithmétique des précipitations moyennes annuelles des stations pluviométriques relevées au même temps, aux différentes stations du bassin ou dans son voisinage pour une période déterminée. Elle est déterminée par la relation :

$$P_m = \bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (\text{I.3}).$$

- P_m : pluie moyenne annuelle (mm),
- P_i : pluie moyenne annuelle de chaque station (mm),
- n : nombre de station d'observation ; $n=10$.

I.3.2.2 Méthode de Thiessen :

C'est une méthode arithmétique dans laquelle on attribue à chaque station pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence définie graphiquement.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S_t} \quad (\text{I.4}).$$

Avec :

- \bar{P} : Pluie moyenne sur l'ensemble du bassin (mm).
- S_i : surface élémentaire d'égale précipitation (km²).
- P_i : précipitation moyenne sur la surface élémentaire qui est égale à celle de la station située à l'intérieur de la surface élémentaire (mm).
- S_t : surface totale du bassin (km²).

I.3.2.3 Méthode des isohyètes :

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

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S_t} \quad (\text{I.5}).$$

Avec :

- \bar{P} : La pluie moyenne tombée sur le bassin (mm).
- P_i : précipitation moyenne entre les isohyètes successives (mm).
- S_i : surface comprise entre deux isohyètes successives (km²).
- S_t : surface totale du bassin versant (km²).

I.3.2.4 Méthode graphiques :

La pluie moyenne sur le bassin versant est déterminée à partir de la relation entre la quantité de pluie mesuré au poste pluviométrique est leur altitude. P. Seltzer a montré que la répartition des pluies en Algérie obéit au trois lois suivantes :

- La hauteur des pluies augmente de l'Ouest à l'Est.
- La pluie augmente avec l'altitude, celle-ci est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous les vents secs.
- La pluie diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

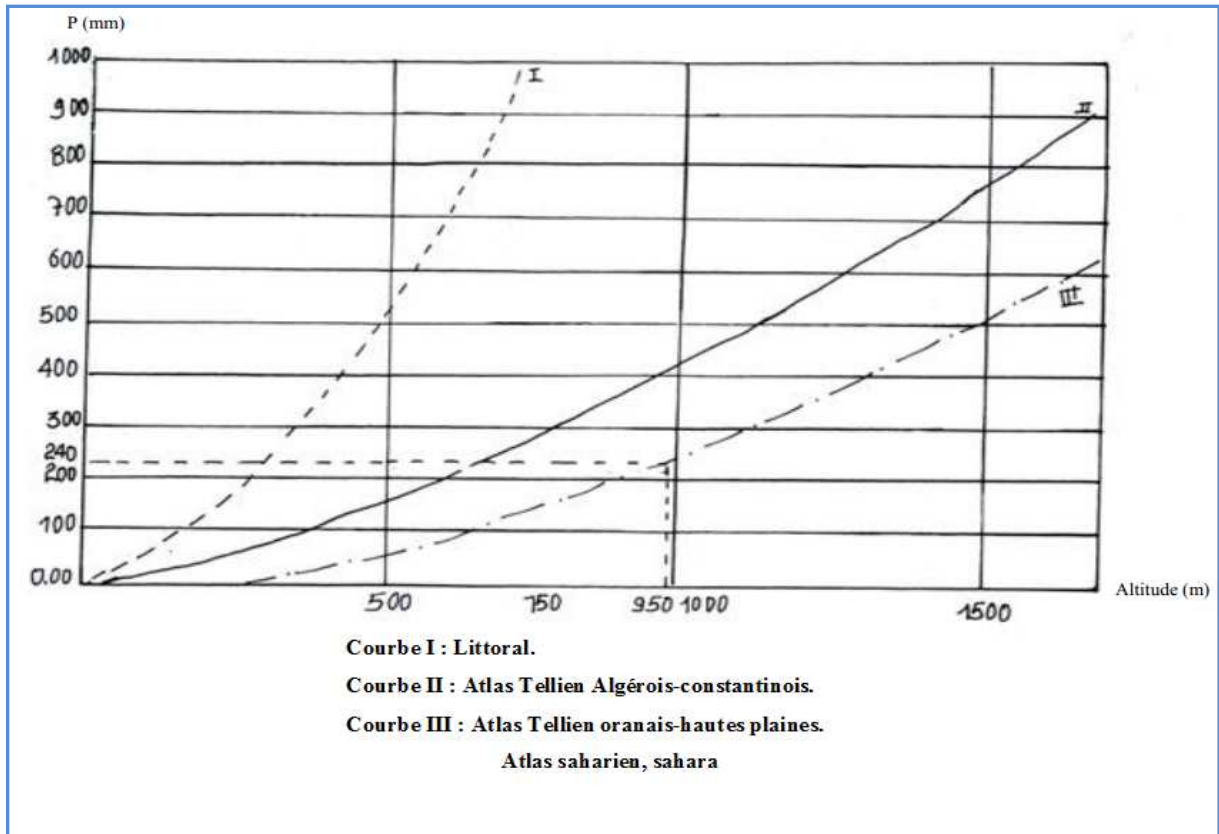


Fig. I.7 : Graphique de " P. Seltzer " les trois lois de l'Algérie.

I.4 Précipitation et probabilité en fonction de répartition :

Rappelons qu'on peut considérer qu'une analyse statistique a pour but de :

- Contrôler à postériori l'information,
- Résumer l'information sans trop de pertes,
- Formaliser.

On peut formaliser l'information pluviométrique en cherchant s'il est possible d'ajuster une fonction de répartition aux données ; l'expérience montre qu'il nous suffit de connaître quelques lois de probabilité et de vérifier leur ajustement en étant bien conscient que celui-ci n'est valable en général que dans certain domaine (P.H. BOIS., 2000).

I.4.1 Lois utilisées :

I.4.1.1 Précipitations annuelles :

- Loi Normale (Gauss) ;
- Loi Log-Normale (Galton ou de Gibrat-Gauss) ;
- Loi Gamma incomplète ou Loi de Pearson III.

I.4.1.2 Précipitations mensuelles :

- Loi Normale ou Log-Normale ;
- Loi Gamma incomplète ou Loi de Pearson III.

I.4.1.3 Précipitations journalières :

- Loi Gamma incomplète tronquée

I.4.1.4 Précipitations extrêmes :

- Loi de Gumbel.

I.4.2 Utilisation et domaine d'utilisation des ces lois :

I.4.2.1 Loi Normale :

La densité de probabilité a pour expression :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2} \quad (\text{I.6}).$$

u , est la variation de Gauss, *elle est donnée par* :

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (\text{I.7}).$$

Le paramètre de tendance centrale \bar{x} et à la fois la moyenne, le mode et la médiane. Le paramètre de dispersion σ_x est l'écart-type (racine carrée de la variance). Cette loi symétrique par rapport à \bar{x} .

I.4.2.2 Loi log Normale ou loi de Galton :

Parmi les nombreuses formulations possibles, nous retiendrons la suivante, qui fait le mieux le parallèle avec la loi de Gauss :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad (\text{I.8}).$$

I.4.2.2.1 1^{er} forme de la loi log Normale :

La variation réduite u est de la forme :

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \quad (\text{I.9}).$$

L'équation de la variation réduite présentée sous la forme $\ln x = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x}$, est l'équation d'une droite sur papier Gauss logarithmique avec en abscisse l'échelle gaussienne et en ordonnée l'échelle logarithmique.

I.4.2.2.1.1 Procédé d'ajustement :

- Classement des valeurs par ordre décroissant (fréquence non dépassement),
- Calcul de la fréquence expérimentale,
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série initiale \overline{x} et σ ,
- Calcul des caractéristiques de la série transformée en logarithme $\overline{\ln x}$ et $\sigma_{\ln x}$,
- Report des valeurs sur papier Gauss-logarithmique,
- Détermination de la droite de Galton $\ln x = \overline{\ln x} + u\sigma_{\ln x}$,
- Détermination de la valeur extrême soit graphiquement sur le droit soit analytiquement par :

$$x_{p\%} = e^{\ln x_{p\%}} = e^{\overline{\ln x} + u_{p\%}\sigma_{\ln x}} \quad (\text{I.10}).$$

I.4.2.2.2 2^{ème} forme de la loi log Normale :

$$u = \frac{\log(x - x_0) - a}{b} \quad (\text{I.11}).$$

On remarque que l'on passe de la loi de Gauss à la loi de Galton en faisant le changement de variable de x en $\log(x - x_0)$.

Cette loi fait intervenir trois paramètres dont x_0 est le paramètre de position qui peu être déterminé graphiquement ou analytiquement.

- a : moyenne des $\log(x - x_0)$;
- b : écart type des $\log(x - x_0)$

a et b sont des coefficient d'ajustement qui peuvent être déterminés par la méthode des moment ou du maximum de vraisemblance.

I.4.2.3 Loi de Pearson III :

La forme standardisée de la loi Person III est une transformation linière de la fonction gamma :

$$F(x) = K \int_t^{\infty} e^{-\lambda t} (x + \sqrt{\lambda})^{\lambda-1} dt \quad (\text{I.12}).$$

Avec :

$$K = \frac{e^{-\lambda} \sqrt{\lambda}^{\lambda}}{\gamma(\lambda)} \quad (\text{I.13}).$$

- $\gamma(\lambda)$: Fonction de gamma,
- λ : Paramètre de forme,
- t : La variation réduite ayant pour expression :

$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} = \frac{K_i - 1}{c_v} \quad (\text{I.14}).$$

Avec :

$$K_i = \frac{x_i}{\bar{x}} \quad (\text{I.15}).$$

- σ : écart type,
- \bar{x} : moyenne arithmétique de la série,
- K_i : hydraulicité ou coefficient modulaire de Kotchérine.

Cette variable t n'est en fait que la fonction Rybkine Foster $F_{p\%}$ qui est tabulée, et dépend du coefficient de variation c_v , du coefficient d'asymétrie c_s et de la probabilité $P\%$.

$$t = F_{p\%} = \frac{K_{P\%} - 1}{c_v} \quad (\text{I.16}).$$

D'où :

$$K_{P\%} = F_{P\%} c_v + 1 \quad (\text{I.17}).$$

La valeur extrême $x_{p\%}$ peu être calculer par l'expression suivant, ou bien lue directement sur le graphique d'ajustement de la loi.

$$x_{P\%} = K_{P\%} \bar{x} = (F_{P\%} c_v + 1) \bar{x} \quad (\text{I.18}).$$

I.4.2.4 Loi de Gumbel :

Pour plus d'explications, voir le chapitre 3 : Etude statique et analyse spatiale des précipitations.

I.5 Analyse des précipitations de court durée ($t < 24$ heures) :

Pour certain aménagement (notamment urbaine), il est important de connaître les valeurs des intensités de pluie (que l'on exprime en général en mm/h ou mm/mn) en fonction :

- De la durée de la précipitation,
- Du temps de retour.

Une façon très commode de décrire, pour un lieu donné, les précipitations est de tracer les courbes "Intensité – durée – temps de retour" qui fournissent en fonction de la durée et pour un temps de retour donnée l'intensité de la précipitation. Ces courbes sont rares car elles nécessitent une longue série d'enregistrement pluviométrique (d'où l'installation de pluviographes), (**P.H. BOIS., 2000**).

N.B : on appelle communément temps de retour d'un phénomène l'espérance mathématique de l'intervalle de temps entre deux occurrences.

I.5.1 Notion d'averse :

On entend par averse une période de forte pluie ininterrompue. Une averse est caractérisée par son intensité, c'est-à-dire par la quantité de pluie ΔH tombée en un temps Δt . S'il tombe sur un bassin une pluie d'une hauteur H mm, elle provoque un ruissellement différent selon qu'elle tombe en 6h ou 15mn. L'intensité de pluie varie à chaque instant au cours d'une même averse.

I.6 Notion d'intensités :

Nous avons vu qu'un pluviographe ordinaire inscrit sur un diagramme la quantité de pluie totale interceptée à un moment donné depuis le début de l'averse. La courbe obtenue s'appelle courbe de pluie cumulée et l'intensité au temps « t » est par définition la dérivée de cette courbe au point correspondant. Nous avons vu également comment, à partir de la courbe de pluie cumulée on peut tracer un hyétogramme, ou courbe d'intensité, en procédant par intervalles finis.

Conclusion :

Les précipitations peuvent être classées en trois principaux types : les précipitations convectives, les précipitations orographiques et les précipitations frontales. Elles correspondent à différents mécanismes d'ascendance (formation des nuages) et présentent des caractéristiques d'intensité et de durée diverses.

On appelle réseau d'observation le réseau formé par l'ensemble des stations pluviométriques pour un bassin versant ou une région donnée. Ils fournissent des mesures ponctuelles publiées, généralement par les services publics, dans des annuaires pluviométriques. Plusieurs pluviométries et/ou pluviographes sont nécessaires pour étudier la variabilité des précipitations. Ces appareils formant ce que l'on appelle un réseau pluviométrique. La densité du réseau doit tenir compte de trois facteurs :

- La nature des précipitations qu'on veut étudier ;
- Le but de l'étude ;
- L'aspect économique (coût de l'appareil, de son installation, de son entretien, des mesures, dont la paie de l'observateur et sa disponibilité).

Dans cette étude on étudie les pluies et les intensités pluviales des zones semi-arides (cas du zahrez, bassin versant 17).

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude.

II. Présentation de la zone d'étude :

II.1 Situation géographique :

Le bassin Zahrez **17** est entouré par les bassins du Chélif au nord et à l'ouest, du Hodna à l'Est et du Chott Melrhir au sud, ce bassin des Zahrez est situé dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, sur la wilaya de Djelfa et M'Sila, Situé entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, Fig. II.1.



Fig. II.1 Situation géographique du bassin hydrographique Zahrez (BV 17) (ANRH 2009)

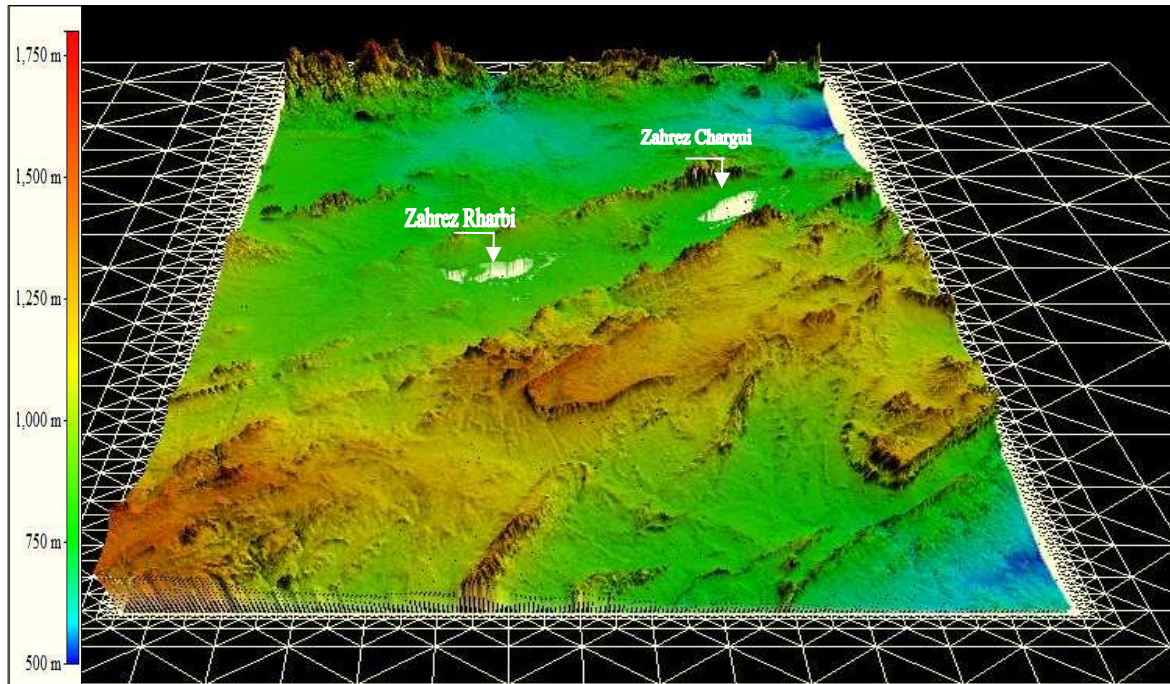


Fig. II.2 Situation géographique de la zone d'étude (vue en 3D du MNT) (ANRH).

Le bassin des Zahrez est délimité par les éléments géographiques suivants :

- Au nord : les chainons montagneux de Sebaa Rouss et Guelt Es Stehl-Taguine (Oukat Rharbi et Oukat Chargui), qui marquent la limite entre les Zahrez et la plaine d'Ain Oussera.
- Au sud : des monts des Ouled Nail et du chaînon montagneux de chebeibita-Menaa.
- A l'est : des massifs montagneux de djebel Zemra et djebel Zmira.
- A l'ouest : d'un alignement de collines à 900 m qui constitue la limite hydrologique et hydrogéologie entre les eaux s'écoulant vers les Zahrez (à l'est et celle s'écoulant vers l'oued Touil à l'ouest).

La géomorphologie du bassin est marquée par les deux cuvettes des Zahrez Rharbi et Chergui. Les altitudes sont de l'ordre de 1200 m sur les massifs formant la bordure nord des Zahrez et 1500 m sur les massifs formant la bordure sud. Le Zahrez Rharbi est plus déprimé : il ne dépasse pas 1000 m d'altitude et s'abaisse jusqu'à 830 m.

Le bassin Zahrez est bordée d'Ouest en Est par les longitude $2^{\circ}23'$ et $4^{\circ}15'$, et du Sud au Nord par les latitude $34^{\circ}17'$ et $35^{\circ}21'$.

Le bassin de Zahrez est décomposé en **06** sous bassin. Il compte **02** oueds principaux, l'oued Malah et l'oued El Medjdel.

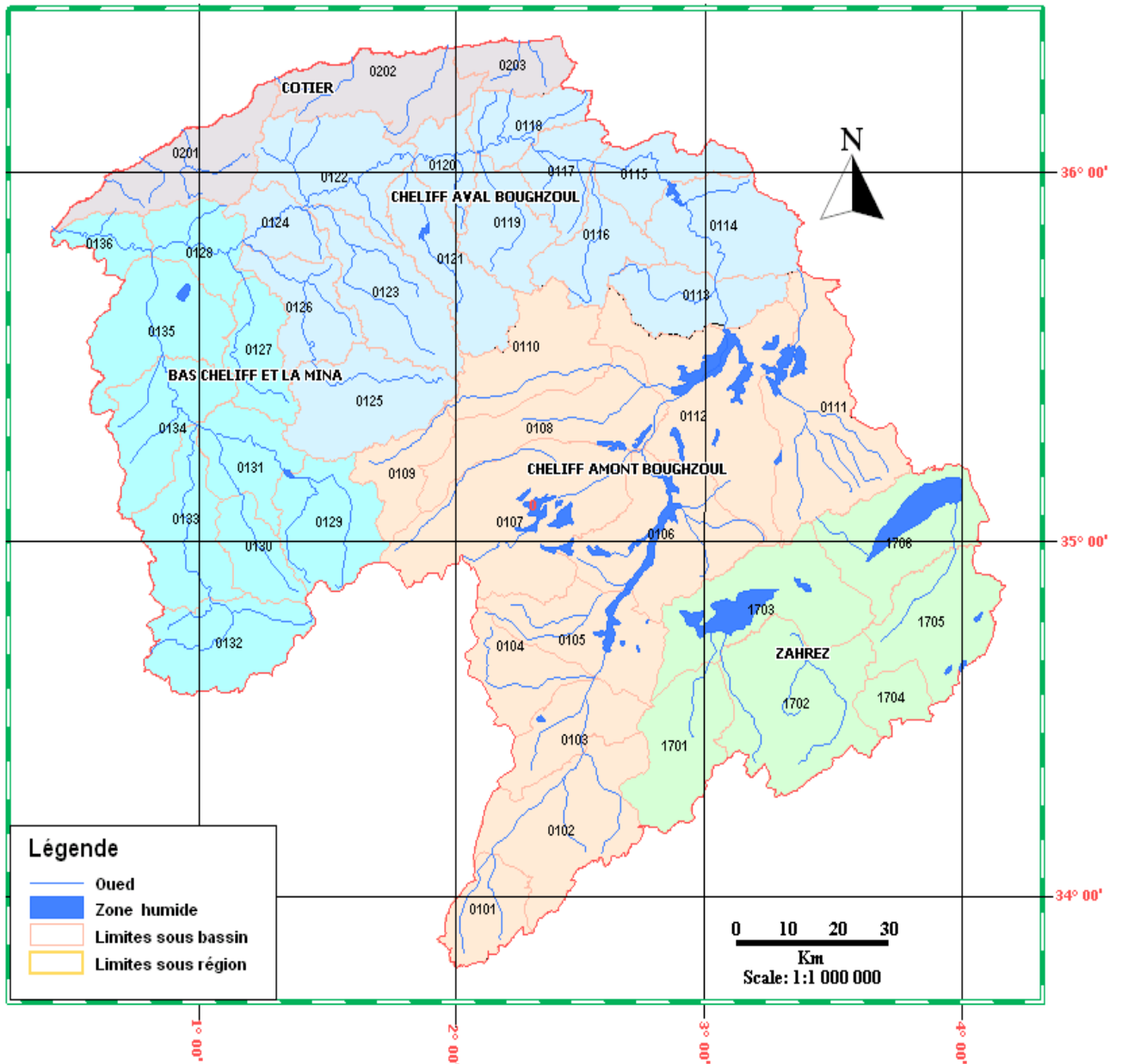


Fig. II.3 Présentation générale du bassin versant 17 (ZAHREZ) (ANRH).

II.1.1 Superficie :

La superficie du bassin des Zahrez (BV 17) atteint **9 141 Km² (ANRH)**.

II.1.2 Hydrographie :

Les Zahrez, Gharbi et Chergui, situés sur le même bassin versant font partie du système des grand Chotts des Hautes plateaux, ils sont compris entre deux ensembles analogues mais plus grand, Chott Chergui à l'Ouest et le Chott El Hodna à l'Est.

Le bassin, d'orientation Sud- Ouest ver le Nord- Est, se développe en périphérie Nord de l'Atlas Saharien.

La partie centrale de la dépression est représentation par la sebkha caractérisée par un niveau plat et dénudé de toute végétation éliminée par la forte concentration de sel, et tout autour, la présence d'une nappe phréatique inégalement salée.

Au sud du chott se trouve un cordon dunaire qui par son étendue, constitue la formation la plus typique de l'ensemble des hautes plaines steppique.

Le nord de chott est représenté par une frange de terrain datant du quaternaire, très influencé par des apports éoliens et hydriques, c'est la zone d'épandage réunissant les deux conditions essentielles pour la mise en place d'une agriculture steppique (**ANRH**).

II.1.3 Géologie :

Toute la région du Zahrez Chergui, marqué par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, aurait connu vers la fin de l'oligocène une phase d'orogénèse extrêmement active qui a entraîné la surrection de l'atlas saharien. A la fin du tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes jurassiques et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux. Au Villafranchien, il en résulta un ensemble homogène qui va constituer le cadre des processus morphogénétique du quaternaire avec des séquences d'érosion. Le synclinal de Djelfa qui représente une vaste structure régulière est constitué par les successions géologiques suivantes : le crétacé inférieur, épaisses séries en grande partie continentale, formées par des dépôts calcaires, marnocalcaires et marnocalcaire-argileux. Le trias composé d'argile et de gypse. Le sel joue un rôle fondamental de part son extension et sa forte teneur. Le MioPliocène est composé de calcaire marneux, de marne, d'argile bleutée gréseuse et rouge à poudingue.

Après la régression marine, la région de l'Atlas Saharien connut une phase orogénique au Tertiaire ayant entraîné la formation de plissements caractérisés par des anticlinaux étroits et des synclinaux larges ou les dépressions des Zahrez ont pris naissance et ont connu au cours du temps des apports continentaux qui les ont comblées partiellement pour aboutir à la formation des cuvettes des chotts durant le Quaternaire. La zone du Zahrez a pour origine l'accumulation des eaux des oueds, drainés par les bassins versant avoisinants. Les eaux de Zahrez Gharbi sont issues du bassin versant des Oueds Zahrez et Mesrane.

La région de Zahrez Gharbi se caractérise par un grand synclinal irrégulier, plus large à l'ouest avec 50 (km), qu'à l'Est avec 30 (km), et long d'environ 140 (km) avec une orientation Nord-Est Sud-Ouest. Les couches géologiques du bassin versant, appartenant essentiellement au crétacé, sont recouvertes par un Tertiaire continental surmonté par des dépôts du quaternaire. Le Crétacé est composé par des couches de calcaires, de marnes, d'argiles et de gré massif poreux et perméable. Le Tertiaire, entièrement continental, est représenté principalement par un horizon conglomératique à la base et plus argileux au sommet. Les dépôts du quaternaire sont principalement constitués par d'importants éboulis de pente, de dunes, d'alluvions torrentielles et de croutes minces discontinues de calcaires. Les séries du Crétacé forment le substratum essentiel, alors que les dépôts du quaternaire sont dominants dans les bassins. L'encadrement géologique est issu pour l'essentiel des plissements du Tertiaire. Les séries du Crétacé, qui constituent l'ossature des monts des Ouleds N'afl, ont été énergiquement plissées selon direction générale Sud-Ouest-Nord-Est. Le compartiment des Zahrez s'est alors nettement différencié de la partie montagneuse en jouxtant une structure située entre les deux derniers plis anticlinaux du domaine tectonique Sud-atlasique.

Le synclinal de Djelfa qui représente une vaste structure régulière est constitué par les successions suivantes, le crétacé inférieur constitué par d'épaisses séries, en grande partie continentale, formées par des dépôts calcaires, marno-calcaires, calcaires marnes, marnes et marno-calcaire-argileux. Le trias composé d'argile et de gypse ; le sel joue un rôle fondamentale. Le Mio-Pliocène composé de calcaire marneux, de marne, d'argile bleutée gréseuse et rouge à poudingue (**ANRH**).

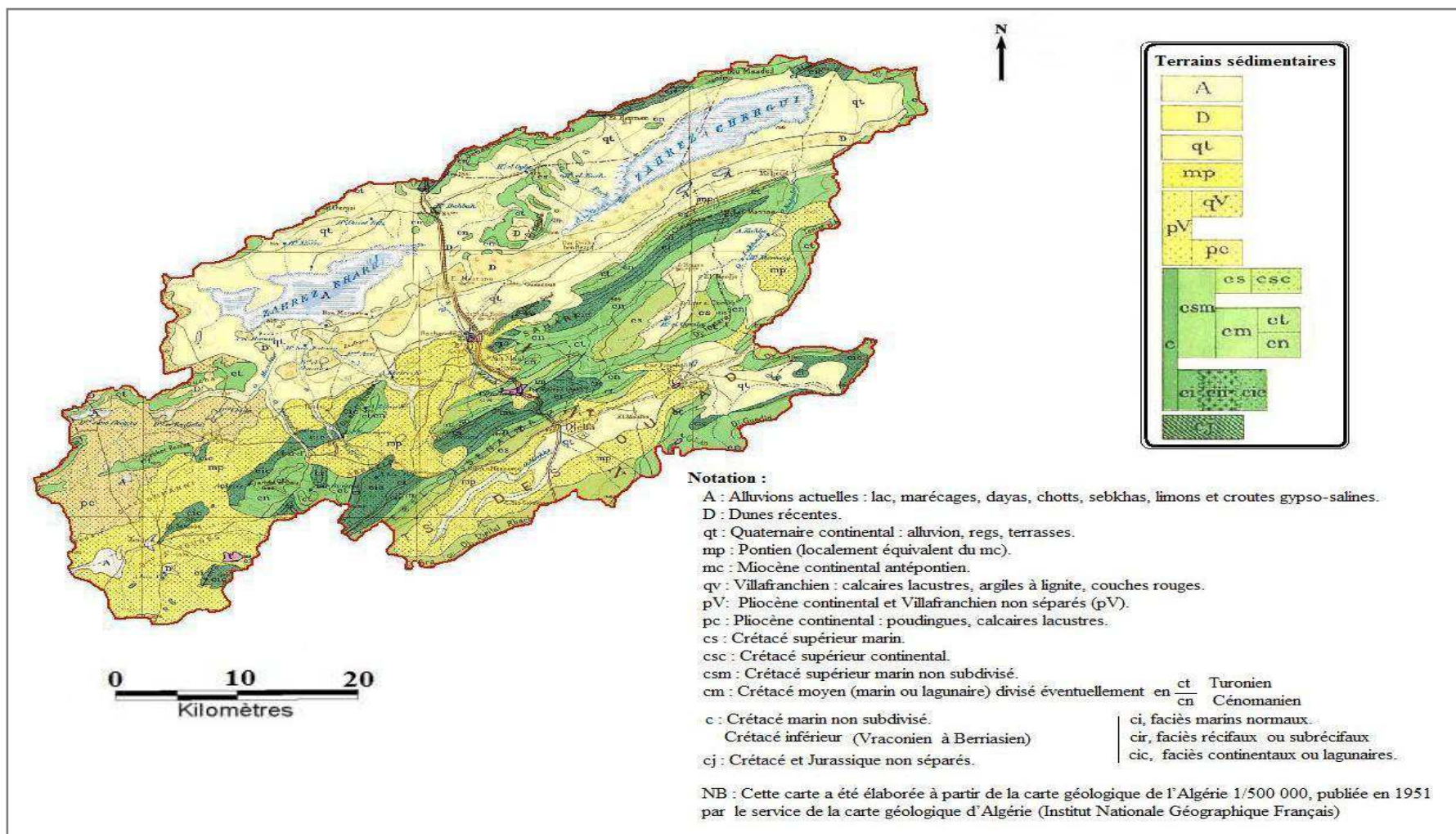


Fig. II.4 Carte géologique du milieu étudié (M.J. Flandrin 1951).

II.2 Caractéristiques physiographiques et hydro morpho métriques :

L'ensemble des caractéristiques physiographiques et morpho métriques des bassins versants étudiés sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 Caractéristiques physiographiques et morpho métriques des bassins versant étudiés

Caractéristiques	Les bassins de Zahrez (BV 17)					
	17 01	17 02	17 03	17 04	17 05	17 06
Oued	Mesrane	Malah	Zahrez Rharbi	Daiet Mefiteg	Medjadel	Zahrez Chergui
Relief	fort	fort	assez fort	assez fort	assez fort	fort
A (km²)	1 751.16	2 412.31	1 455.44	831.44	731.23	1 959.33
P (km)	214.32	267.82	250.16	157.58	143.13	236.37
Long-chev (km)	1 210.09	1 539.30	527.75	377.49	468.98	764.39
K	1.43	1.53	1.84	1.53	1.48	1.5
L_{re}	87.04	112.46	112.1	66.24	59.22	98.24
I_{re}	20.12	21.45	12.98	12.55	12.35	19.94
D_d (km/km²)	0.69	0.64	0.36	0.45	0.64	0.39
H_{min} (m)	850	850	850	1 125	900	800
H_{mox} (m)	1 450	1 550	1 250	1 450	1 500	1 500
H_{moy} (m)	1 150	1 200	1 050	1 287.50	1 200	1 150

(ANRH 2012)

II.3 Aperçu climatologique et pluviométrique du milieu étudié :

D'une manière générale, la climatologie et les études hydrologique-hydraulique sont à associer. Il convient d'envisager l'intégration des paramètres, de la température, du vent, de l'humidité, du gel, etc.,

II.3.1 Températures :

Les données sur les températures moyennes mensuelles présentées dans le tableau suivant. Ces données sont relevées à partir des cartes de températures moyennes mensuelles éditées récemment par l'ANRH.

Tableau II.2 Températures moyennes mensuelles C°.

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Ma	Av	Mai	Jun	Juil	Aot	Moy Annuelle
Djelfa	19.8	13.6	8.5	4.8	4.3	5.6	8.2	11.0	15.6	20.3	24.3	24.0	13.3
charef	19.6	13.7	8.1	4.4	3.6	4.9	7.5	11.0	15.1	20.0	24.7	24.3	13.1

(ANRH)

Le bassin du Zahrez est caractérisé par une température moyenne interannuelle qui ne dépasse guère les 15 C°, avec un maximum mensuel de plus de 24.7 C°, enregistré au mois de

Juillet à la station de Charef (wilaya de Djelfa) et un minimum de 3.6 C° enregistré à la même station au mois de Janvier.

Ces données mettent en évidence l'accroissement de la tendance continentale du climat du Nord au Sud de région hydrographique ; la continentale s'affirme nettement dans les hautes plaines dont le relief en cuvettes se trouve isolé des influence maritimes par l'écran montagneux que présente la chaîne tellienne.

La limite de cette continentale est marquée par le décalage du mois le plus chaud : il se produit déjà en Juillet dans les hautes plaines à cause des variations rapides de la température.

II.3.2 Vents :

Tableau II.3 Vitesses des vents (m/s).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Ma	Av	Mai	Jun	Juil	Aot	Moyenne
Vit Vent	3.7	3.6	4.2	4.1	4.0	4.9	5.0	5.2	4.9	4.2	3.8	3.6	4.3

Source ONM Djelfa

Au vu du tableau II.3, les vitesses de vent sont variées toute l'année, elle présente des valeurs largement supérieure à la moyenne de mois d' Février jusqu'à Mai.

II.3.3 Evapotranspiration :

Les données de l'évapotranspiration présentées dans le tableau ci-dessous sont relevées à partir des cartes de l'évapotranspiration mensuelle et annuelle éditées par les services de l'ANRH.

Tableau II.4 Evapotranspiration potentielles moyennes mensuelles et annuelles (mm).

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Ma	Av	Mai	Jun	Juil	Aot	Annuelles
Djelfa	145	85	44	26	29	42	78	119	163	202	237	212	1382
charef	145	87	42	25	26	39	74	114	160	202	244	217	1375

(ANRH).

D'après la carte de l'évapotranspiration présentée ci-contre, on observe des valeurs moins élevées dans le bassin de Zahrez par rapport au bassin de l'amont Boughazol.

Le potentiel total évapotranspiré annuellement varie de 1373 mm à la station de Charef à 1382 mm à la station de Djelfa, soit plus du double du total de la pluviométrie.

En saison froid, l'ETP mensuelle décroît progressivement, tout en restant légèrement supérieur à celle des précipitations. Par ailleurs elle est fortement supérieure durant la saison chaude.

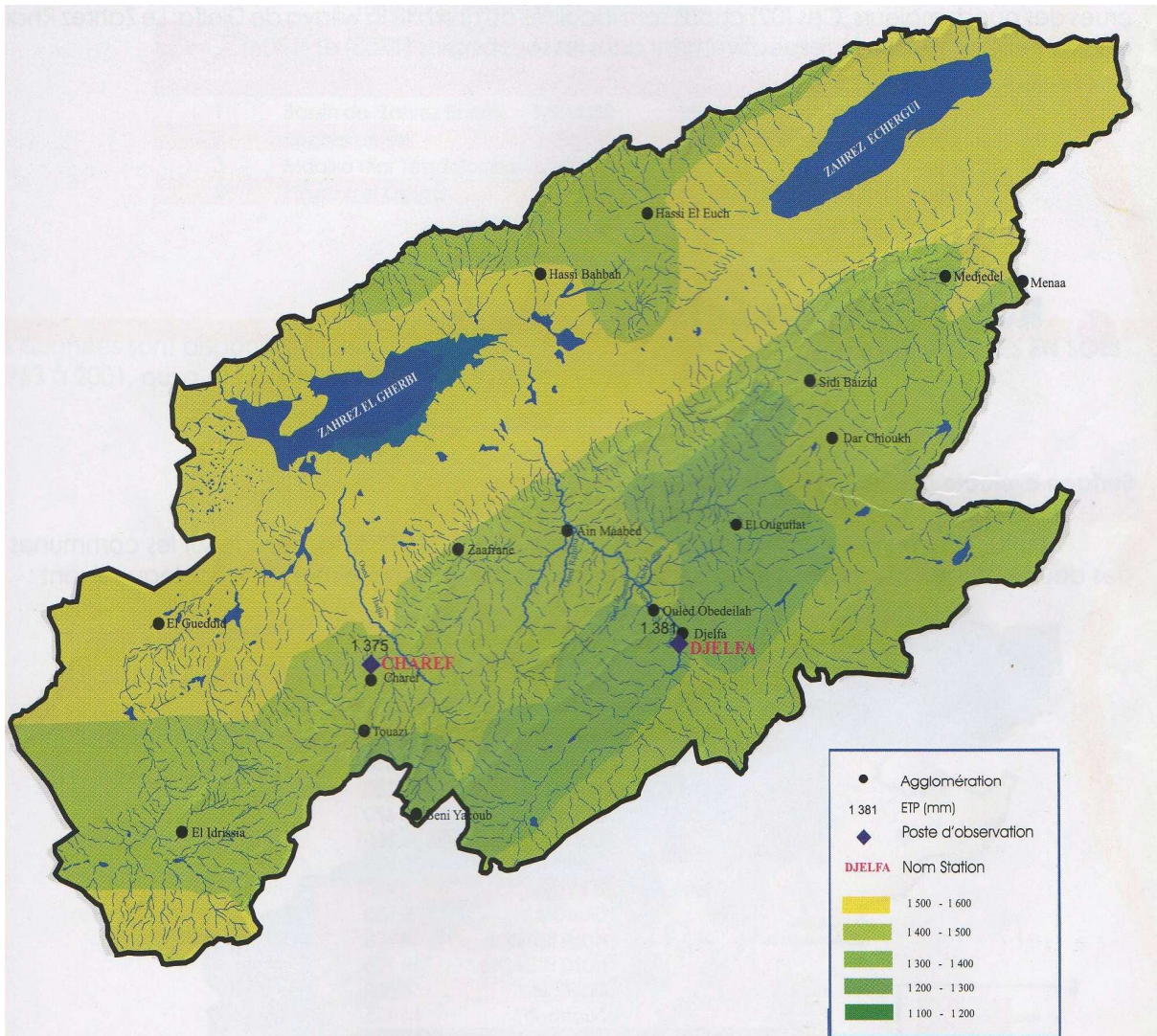


Fig. II.5 Carte de l'évapotranspiration du milieu étudié (ANRH).

II.3. 4 La pluviométrie :

Le bassin du Zahrez est équipé d'un réseau pluviométrique de 10 poste pluviométriques, sont en service appartenant à l'ANRH.

Dans cette région, le climat semi-aride est particulièrement développé et l'espace des isohyètes est très important. C'est là où l'effet de la latitude est très sensible : les perturbations cycloniques arrivent appauvrie en vapeur d'eau. Suite à leur passage sur l'écran montagneux du tell. La principale remarque qui découle a trait à la diminution générale des précipitations : 128.7 mm à la station de Ain Mouilah (17 02 16) commune de Dar Chioukh-wilaya de Djelfa et 121.5 mm à la station de Goutaya (17 04 01) commune de Guernini-wilaya de Djelfa.

Tableau II.5 Précipitations moyennes mensuelles et la moyenne annuelle (1960-2011)

N°	Station	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1	Charef	23.2	21.8	12.6	16.3	21.2	16.5	19.6	22.2	10.7	8.4	3.3	9.7	185.7
2	Rocher sel	18.8	17.5	16.0	11.1	16.9	15.6	13.6	20.9	19.1	7.2	3.2	4.5	164.2
3	Ain Maabed	28.4	18.6	23.6	15.0	21.1	17.0	20.9	20.6	22.6	5.7	2.4	11.1	207.0
4	Zaafrane	22.0	21.0	18.8	13.7	22.8	15.5	20.6	26.0	27.3	11.0	6.5	14.0	219.0
5	Gotaya	9.4	6.8	5.8	13.3	13.3	12.0	16.9	20.1	16.7	3.1	2.3	1.6	121.5
6	Ain Mouilah	18.4	12.0	6.9	11.6	14.4	10.9	14.9	15.6	10.6	5.1	3.5	4.9	128.7
7	Draa Larara	15.7	12.4	12.5	10.8	15.2	10.3	10.8	16.5	19.3	7.7	3.0	4.2	138.4
8	Dar Chioukh	21.4	18.0	17.6	20.8	24.5	15.0	20.3	23.4	22.7	10.6	1.9	5.3	201.4
9	Djelfa	25.3	19.9	21.1	15.0	23.3	16.8	26.2	23.4	21.5	12.8	4.4	12.5	222.2
10	Mergueb B/haffaf	21.5	16.6	19.8	15.0	23.4	17.8	18.9	14.9	19.3	9.9	5.6	8.4	190.9

(ANRH 2012)

II.4 Réseau hydro pluviométrique :

Le bassin Zahrez est équipé d'un réseau hydro pluviométrique, **10** postes pluviométriques et **03** postes pluviographes géré par l'Agence nationale des ressources hydraulique (ANRH W. Djelfa),

Les chroniques pluviométriques ont permis d'analyser les précipitations moyennes mensuelles depuis les années 60 jusqu'à 2012. Elles sont issues des 10 stations indiquées au tableau suivant.

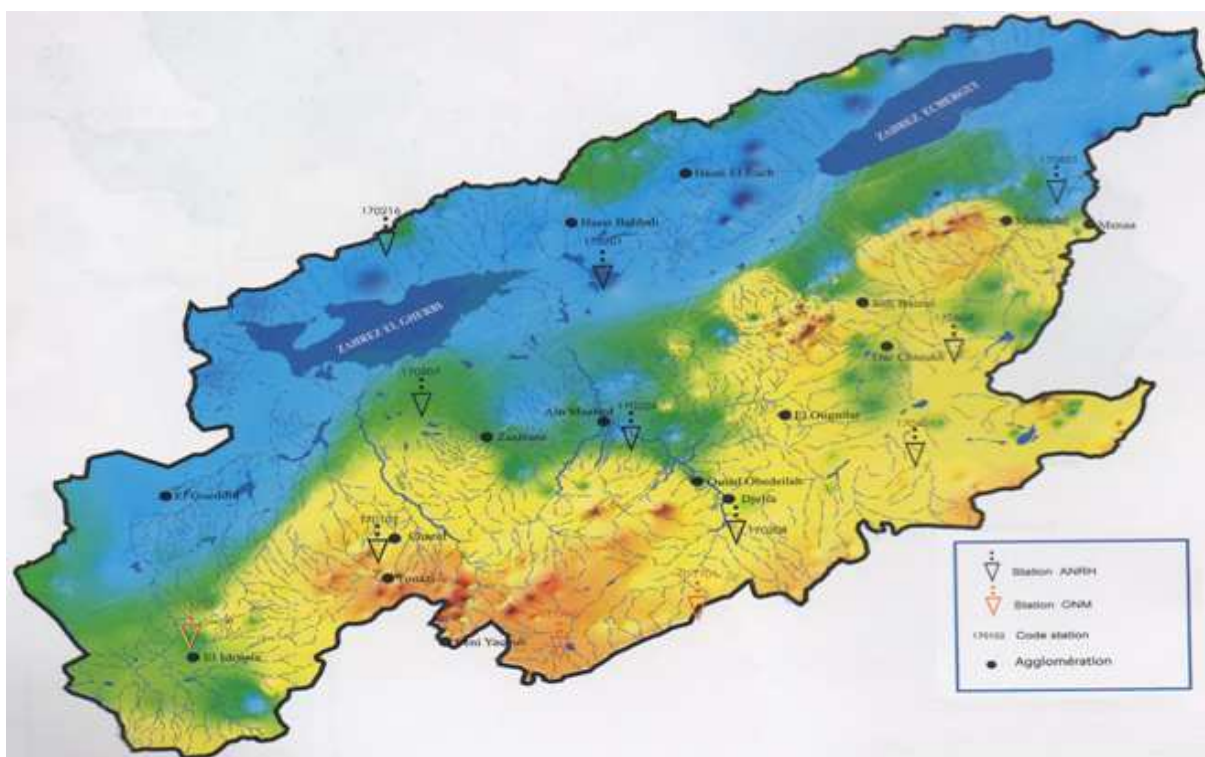


Fig. II.6 Position des postes pluviométriques utilisés (ANRH).

Tableau II.6 Caractéristique des stations pluviométriques et pluviographiques de la zone d'étude

N°	Code	STATION	X	Y	Z	Postes pluviométriques	Postes pluviographiques
1	170102	CHAREF	509.50	147.25	1200	x	
2	170201	ROCHET DE SEL	533.65	174.65	1020	x	
3	170204	AIN MAABED	539.60	167.40	1040	x	
4	170207	ZAAFRANE	514.45	172.15	854	x	
5	170216	GOUTTAYA	509.20	139.50	1280	x	
6	170401	AIN MOULEH	572.00	162.50	1117	x	
7	170501	MEDJEDEL	590.10	203.60	875	x	
8	170503	DAR ECHIOUKH	572.00	178.00	1100	x	x
9	170208	Djelfa	551.00	153.00	1160	x	x
10	170209	MERGUEB B/ HAFFAF	545.35	148.55	1230	x	x

(ANRH)



Fig. II.7 : Sous bassin versant et réseau hydrographie (ANRH).

Conclusion :

Dans cette partie nous avons défini les données nécessaires concernant le bassin versant 17, du point de vue la présentation de la zone d'étude l'hydrographie et la morphologie, ainsi qu'un aperçu sur la climatologique du milieu étudié.

Nous avons présenté dans ce chapitre quelques caractéristiques hydro pluviométriques de cette zone semi-aride ; La pluie et l'intensité pluviale feront l'objet d'une étude approfondie dans les chapitres qui suivent.

Chapitre III :
Etude statistique et analyse spatiale des précipitations.

III. Etude statistique et analyse spatiale des précipitations.

III.1 La connaissance ponctuelle des pluies journalières extrêmes

Dans le contexte climatique de l'Algérie, les crues sont dues à des précipitations extrêmes. Les précipitations journalières sont les données les plus abondantes aussi bien dans le temps que dans l'espace. Dans un premier temps nous allons donc étudier les précipitations journalières maximales annuelles.

III.1.1 Les données utilisées :

L'étude a été menée en utilisant toutes les données pluviométriques concernant les bassins du Zahrez disponibles à l'ANRH à la fin de l'année 2012. Ces données sont issues dans même sources : les fichiers de les pluies journalières maximales mensuelles et des pluies mensuelles. Nous avons récupéré les données de 10 postes pluviométriques.

III.1.2 Evolution mensuelle des précipitations extrêmes :

Dans une première étape nous avons pour chaque station et pour chaque mois supposé que les distributions des pluies journalières maximales mensuelles suivaient des lois de Gumbel. A titre d'exemple la Fig.III.1, illustre l'évolution des valeurs mensuelles du mode x_0 et du gradex g des pluies journalières maximales mensuelles à la station de DAR CHIOUKH de code 17 05 03.

Ce travail a été fait sur toutes les stations disposant pour chaque mois d'au moins 33 observations et 02 stations sont dans ce cas. On peut alors évaluer les 12 moyennes mensuelles des 10 rapports à la valeur moyenne interannuelle. Ces résultats sont reportés sur la Fig.III.2. On y constate très nettement qu'aussi bien les gradex g que les modes x_0 varient très peu de septembre à mai et qu'au contraire ces valeurs sont très basses de juin à août. Cette analyse montre bien que la période d'été (juin à août) présente de très faibles risques de fortes précipitations. Ce résultat était tout à fait prévisible. Par contre il est très intéressant de noter que les gradex des pluies des mois de septembre à mai sont en moyenne sensiblement les mêmes (entre 1.38 et 1.40).

Dans la suite de l'étude nous admettrons donc que la saison à plus fort risque est composée uniformément des mois de septembre à mai.

On peut donc également admettre qu'en l'absence de mesure durant un ou plusieurs des mois de juin à août le maximum de l'année est donné correctement par le maximum des mois de septembre à mai. Une année est donc considérée comme complète si elle dispose d'information sur au moins ces neuf mois.

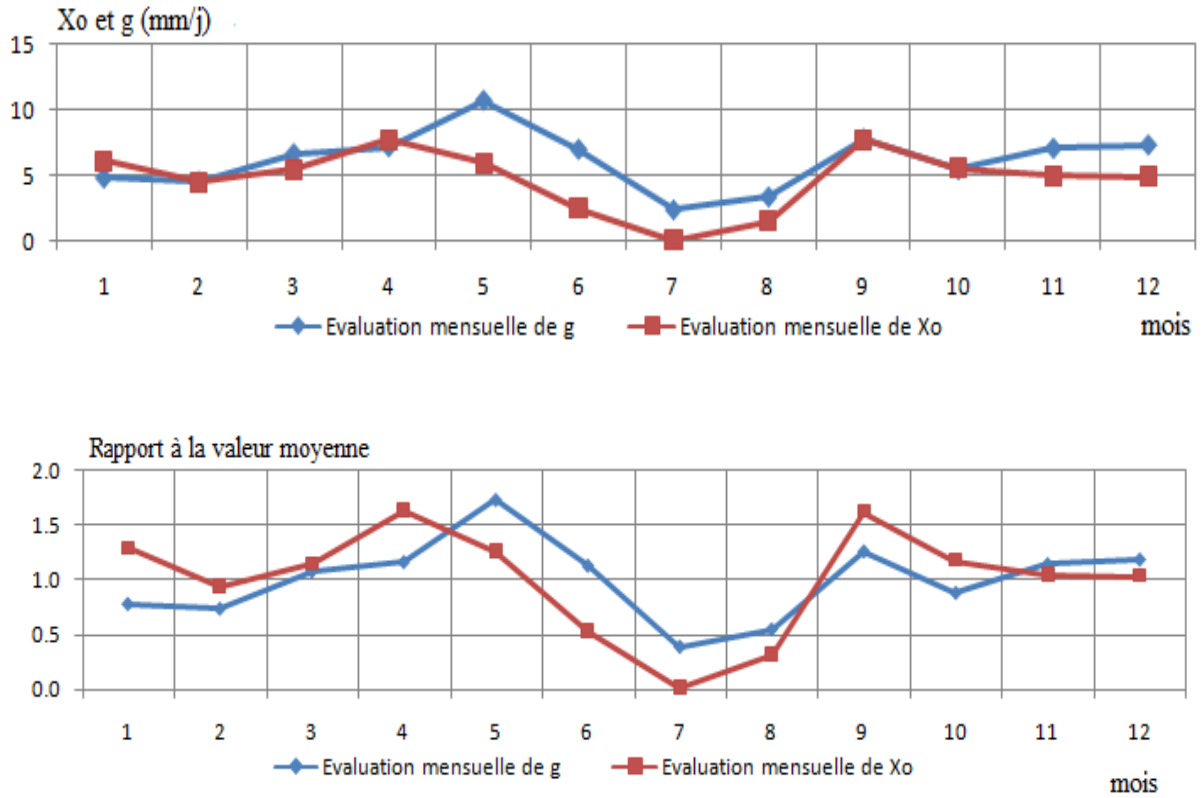


Fig.III.1 Evaluation mensuelles des paramètres des lois Gumbel à la station de DAR CHIOUKH de code 17 05 03.

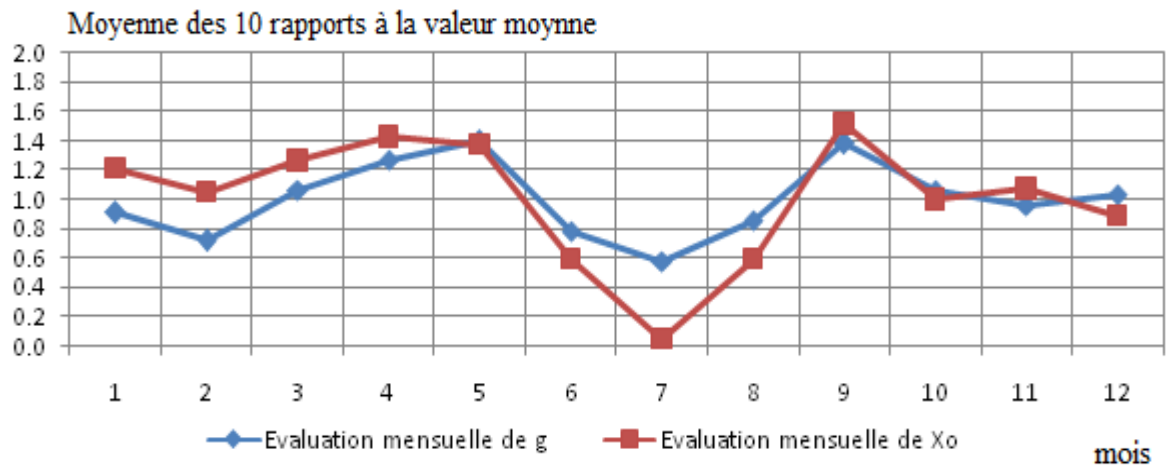


Fig.III.2 Evaluation mensuelles des paramètres des lois Gumbel

Dans ces conditions 10 stations pluviométriques disposent d'au moins 33 années d'observation et parmi elles, 1 compte plus de 49 années d'observations, comme le montre la fig. III.3.

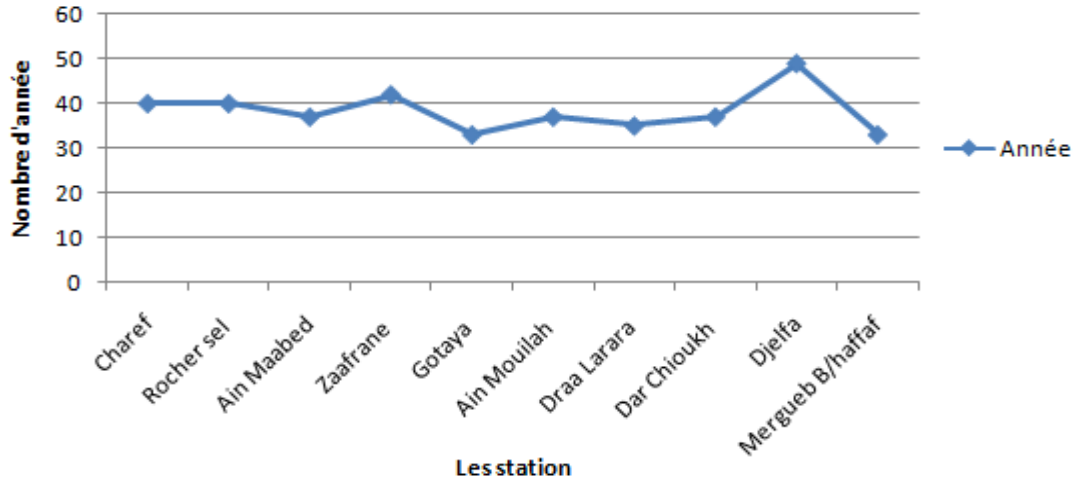


Fig. III.3 Evaluation du nombre de poste pluviométrique en fonction de la durée d'observation (ANRH)

III.2 Modélisation statistique des pluies journalières extrêmes :

Devant le nombre d'observations disponibles nous avons retenu la démarche consistant à travailler sur les pluies journalières maximales annuelles de toutes les stations disposant entre 33 et 49 années d'observation. Nous avons également préjugé que ces pluies journalières maximales annuelles avaient de grandes chances de suivre la loi de Gumbel : Si $F(x)$ est la fréquence au non dépassement de la valeur de x parmi les précipitations maximales annuelles on aura donc la relation :

$$F(x) = e^{-e^{-U}} \quad \text{(III.1)}$$

Avec
$$U = \frac{x - x_0}{g} \quad \text{(III.2)}$$

Les paramètres g (le gradex) et x_0 (le mode) peuvent être estimés à partir de la moyenne \bar{X} et de l'écart-type σ des précipitations maximales annuelles par les estimateurs des moments :

$$g = 0.78 \sigma \quad \text{(III.3)}$$

$$X_0 = \bar{X} - 0.577g \quad \text{(III.4)}$$

III.2.1 Procédé d'ajustement :

- Classement des valeurs par ordre croissant en leur affectant un numéro d'ordre,
- Calculer la fréquence expérimentale,
- Calculer les caractéristiques empiriques de la série,
- Calculer la variable de Gumbel pour chaque valeur observée

$$y = - [\ln - (\ln F(x))] \quad \text{(III.5)}$$

- Reporter les valeurs observées sur papier Gumbel,
- Calculer le coefficient de corrélation entre les valeurs observées et la variable de Gumbel dont la formule générale est :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{III.6)}$$

\bar{x} et \bar{y} : sont respectivement les moyennes arithmétiques des variables X et Y.

- Si la corrélation est bonne, calculer les paramètres d'ajustement de la droite de Gumbel.

La droite de Gumbel est :

$$x = \frac{1}{\alpha} y + x_0 \quad \text{Où } \frac{1}{\alpha} \text{ est la pente de droite et } x_0 \text{ est l'ordonnée à l'origine.}$$

y est la variable de Gumbel pour une probabilité donnée.

- Tracer la droite de régression sur papier Gumbel. Pour cela, il suffit de prendre 2 valeurs de probabilité pour lesquelles, il faut déterminer la variable y qu'il suffira de remplacer dans la droite de régression (**Touaïbia B., 2004**).

Le choix de la distribution est Gumbel peut être facilité par l'emploi de tests statistiques bien connus. Nous examinerons ici si les valeurs maximales annuelles des quantités de précipitations tombées aux stations de bassin du Zahrez, suivent une loi de Gumbel.

Dans le Tableau suivant nous avons récapitulé pour chaque station, le numéro de code, le nombre d'années disponibles ou observations, le gradex, le mode et la pluie journalière décennale.

Tableau III.1 Paramètres d'ajustement des lois de Gumbel

Station	Code	Nb	Xo	g	P10
Charef	17 01 02	40	13	11	36.6
Rocher sel	17 02 01	40	20	10	41.9
Ain Maabed	17 02 04	37	21	10	45.4
Zaafrane	17 02 07	42	22	13	51.2
Gotaya	17 02 16	33	7	12	27.4
Ain Mouilah	17 04 01	37	10	12	31.3
Draa Larara	17 05 01	35	16	9	34.5
Dar Chioukh	17 05 03	37	20	8	42.1
Djelfa	17 02 08	49	24	12	48.8
Mergueb B/haffaf	17 02 09	33	20	11	44.7

III.3 P j max. Anomalies des ajustements statiques et corrections :

Toutes les stations des bassins du Zahrez ont des tailles n'excédant 50 années d'observation. Pour vérifier la bonne adéquation de la loi de Gumbel à la seule vue d'un graphique d'ajustement, nous avons choisi a priori d'ajuster les distributions statistiques des précipitations journalières extrêmes à des lois de Gumbel.

III.3.1 Ajustements graphiques :

Nous avons donc représenté uniquement les graphiques d'ajustement pour tout les stations. On constate visuellement que les ajustements sont dans la majorité des cas, tout à fait satisfaisants. Nous présentons, le cas des stations suivantes ; Figure III.5

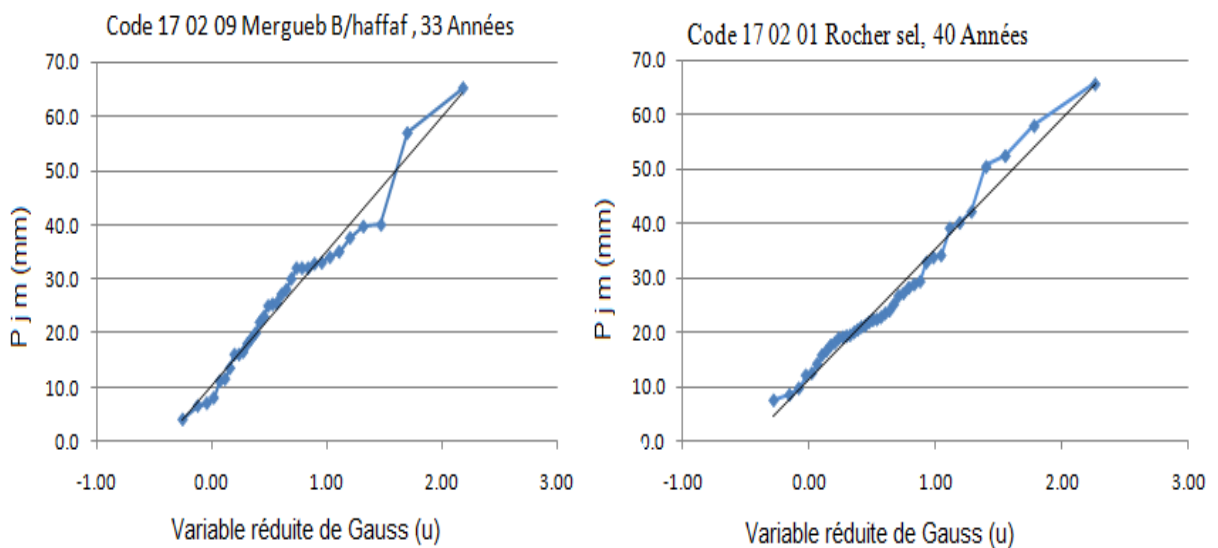


Fig. III.4 Exemples d'ajustements satisfaisants

On peut constater dans l'ajustement l'apparition de valeurs tout à fait exceptionnelles (à gauche sur la Fig. III.6). Il s'agit ici soit d'une valeur réellement observée et exceptionnelle, soit de mesures erronées ou mal reportées. On rencontre également parfois une concavité tournée vers le haut (à droite sur la Fig. III.6). On peut penser ici que l'on a affaire à un mélange de population du fait d'un déplacement de poste.

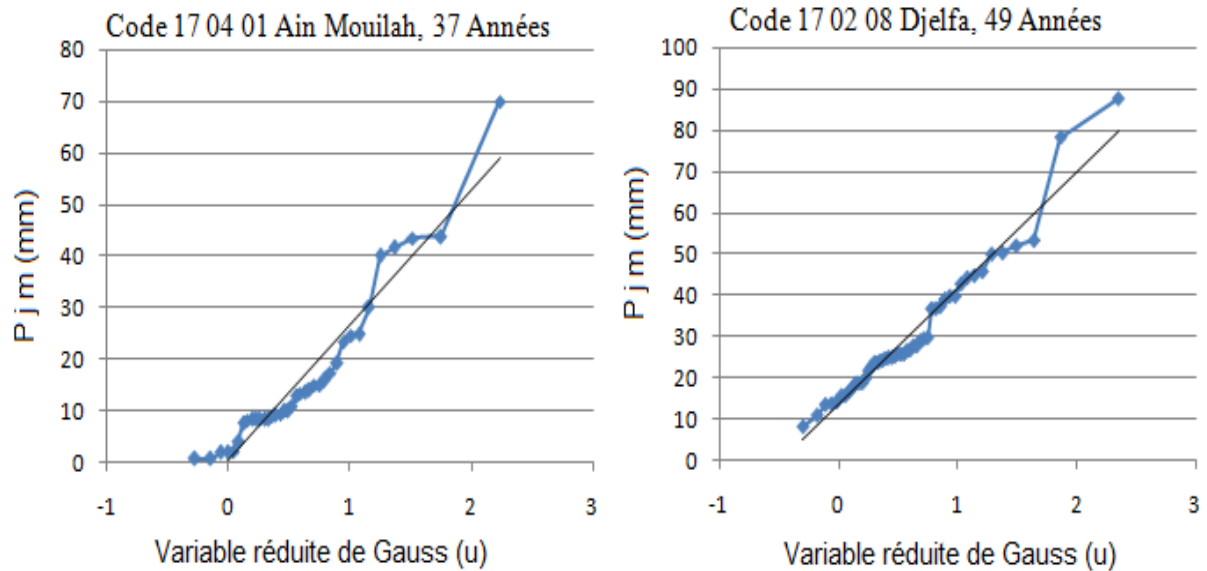


Fig. III.5 Exemples d'ajustements problématiques

On retiendra de ces ajustements graphiques que la loi de Gumbel paraît adaptée dans tout les cas.

III.3.2 Anomalies des ajustements statistiques et correction :

III.3.2.1 Station de Gotaya 17 02 16 :

Cette station apparaît comme anormale à deux titres, pluie décennale anormalement faible (27.4 mm) alors que dans la région des pluies décennales sont de l'ordre de 27.4 à 51.2 ; Gradex anormalement fort par rapport au mode x_0 .

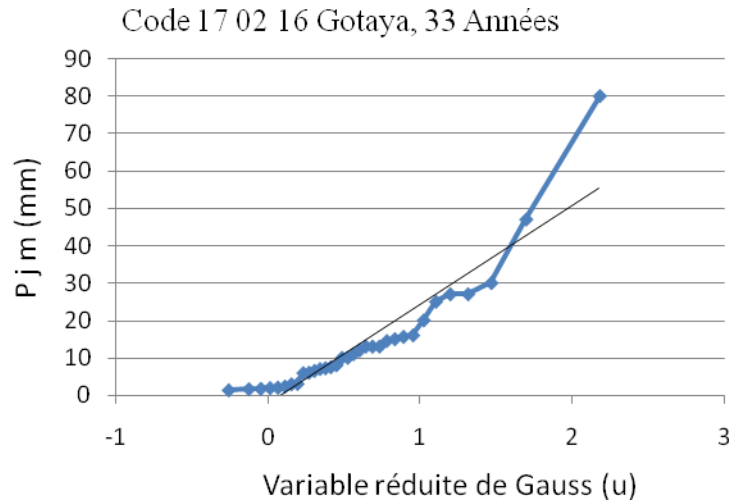


Fig. III.6 Ajustement des P j max sur les données brutes

L'ajustement des pluies maximales annuelles montre à l'évidence l'existence d'au moins une valeur tout à fait exceptionnelle de 80 mm en Mai 2006.

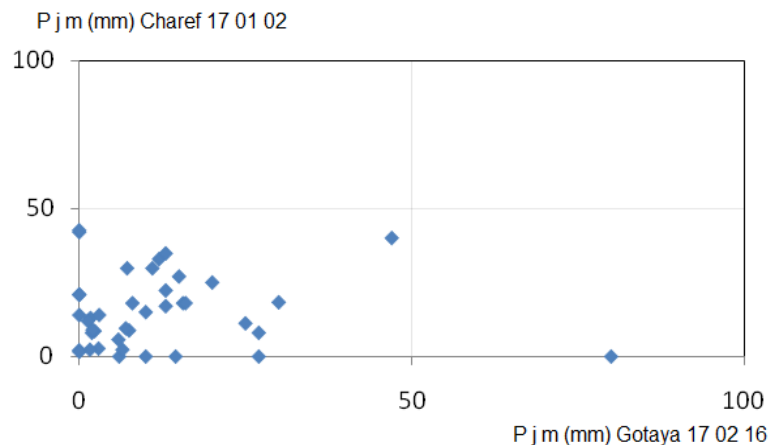


Fig. III.7 Comparaison des pluies max mensuelles avec la station la plus proche

Si l'on établit un graphique des mesures concomitantes de P j max mensuelles avec la station la plus proche Charef (code 17 01 02 à 7.8 km), on constate que la pluie de 80 mm est tout à fait exceptionnelle. Il paraît possible que la pluie y soient multipliée par 10 ! (**J-P LBOEDE., 2009**).

Une autre façon de critiquer cette valeur est de comparer la pluie de Mai 2006 à la station de Gotaya code 17 02 16 aux mesure aux 09 stations du bassin (Bv17). On y constate que la valeur de 80 mm est hors norme alors qu'une pluie de 8.0 mm deviendrait tout à fait

ordinaire. Par la suite nous considérerons que cette valeur est erronée et nous ne la prendrons plus en compte.

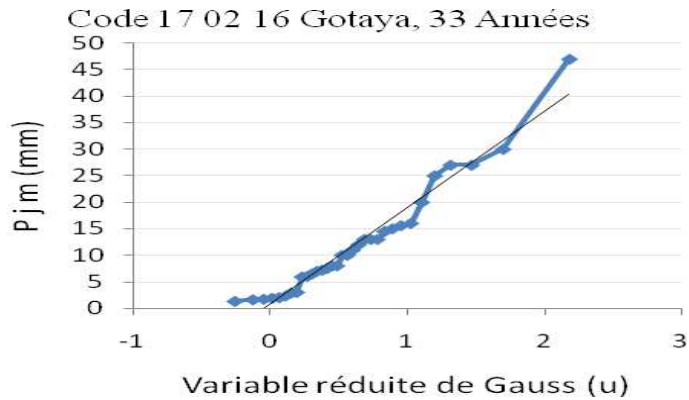


Fig. III.8 Ajustement des P j max sur les données modifiées

III.3.2.2 Station de Charef 17 01 02 :

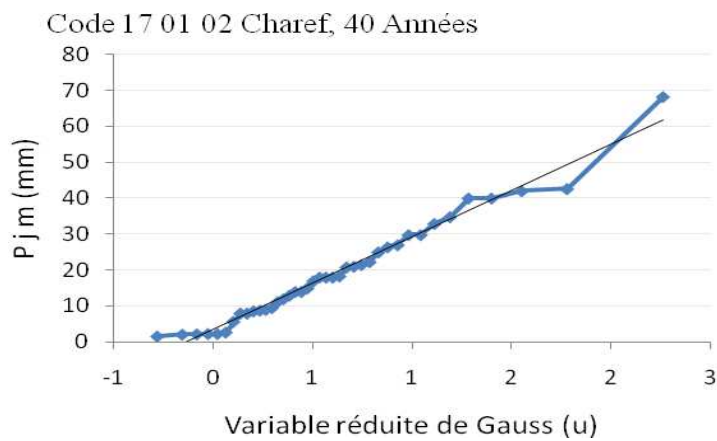


Fig. III.9 Ajustement des P j max sur les données brutes

L'ajustement des pluies maximales annuelles montre à l'évidence l'existence d'une valeur tout à fait exceptionnelle de 68 mm en avril 1969.

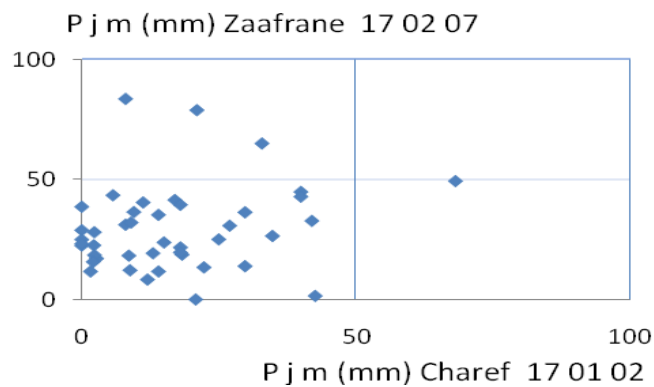


Fig. III.10 Comparaison des pluies max mensuelles avec la station la plus proche

Si l'on établit un graphique des mesures concomitantes de P_j max mensuelles avec la station la plus proche (Zaafrane).

Enfin la pluie de 68 mm en avril 1969 est plausible puisque la station de la plus proche Zaafrane code 17 02 07 à 25.4 km, est observé 49 mm en avril 1969.

III.3.2.3 Station de Zaafrane 17 02 07 :

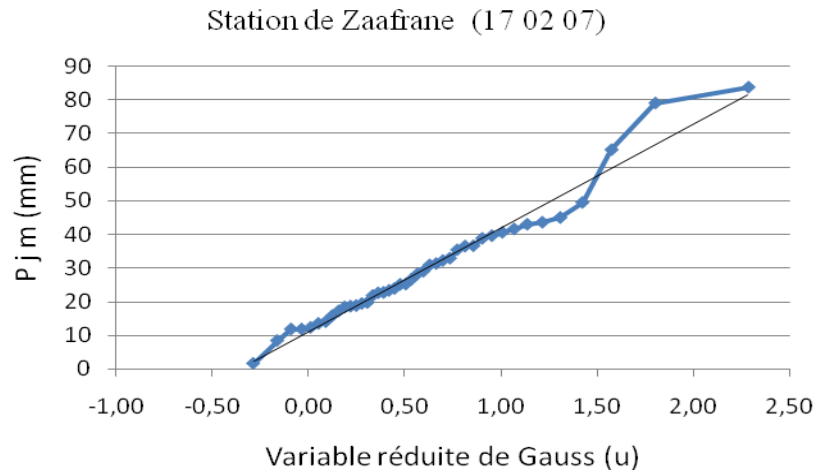


Fig. III.11 Ajustement des P_j max sur les données brutes

Trois valeurs paraissent anormalement forts, 65.1 mm en octobre 2008, 79 mm en avril 1997 et 83.7 mm en mai 2005.

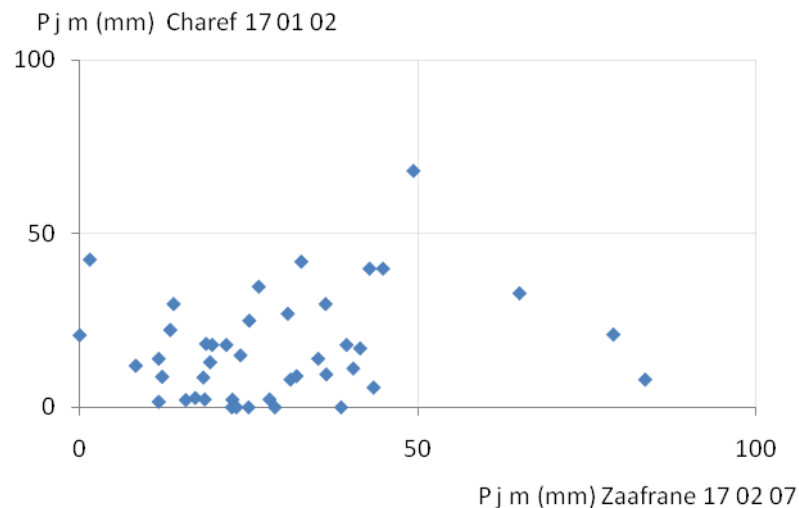


Fig. III.12 Comparaison des pluies max mensuelles avec la station la plus proche

La valeur 65.1 mm est possible car la plusieurs postes distants au moins de 10 km observent des pluies entre 33 et 43 mm. 79 mm en avril 1997, toutes les stations de bassin du Zahrez donnent des pluies comprises entre 8 et 27 mm, il paraît raisonnable qu'il y a une faute

de frappe, alors que la pluie du jour n'était que de 19 mm. Enfin la pluie de 83.7 mm en mai 2005 même cause d'une faute frappe, par ce que toutes les stations de bassin du Zahrez donnent même période des pluies comprises entre 8 et 33 mm, alors que la pluie du jour n'était que de 8.37 mm.

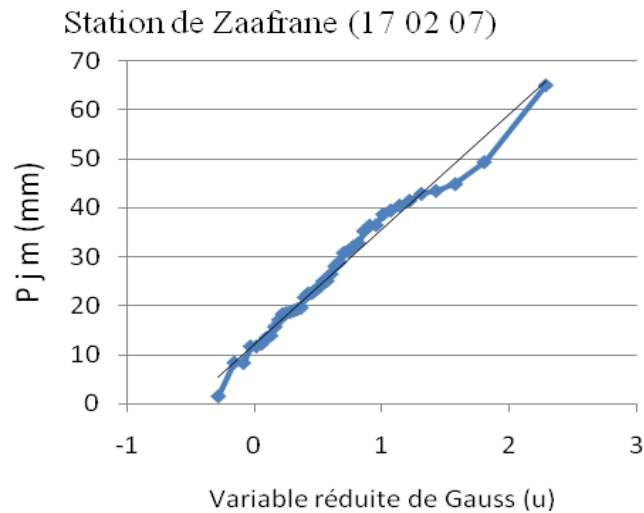


Fig. III.13 Ajustement des P j max sur les données modifiées

III.3.2.4 Station de Rocher sel 17 02 01 :

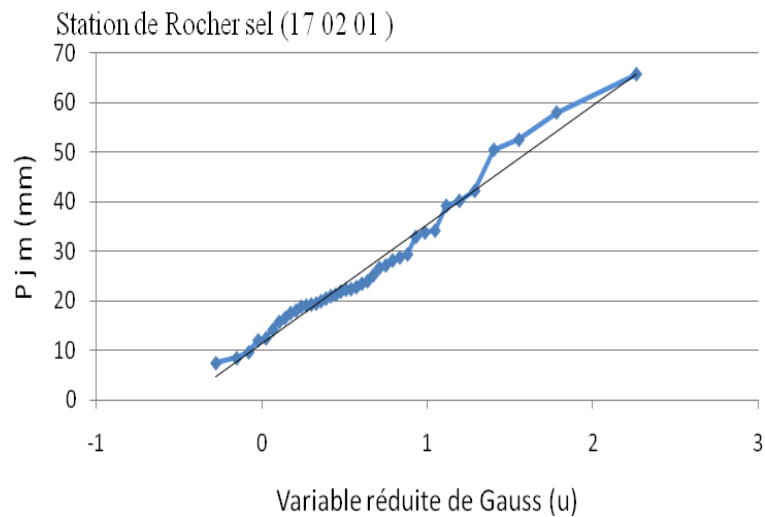


Fig. III.14 Ajustement des P j max sur les données brutes

L'ajustement des pluies maximales annuelles montre un comportement gumbelien, Par ailleurs les stations voisines, Ain Maabed code 17 02 04 et Mergueb B/haffaf code 17 02 09 leur ajustement des P j max sur les données brutes sont tout à fait normal, voir les figures suivant. Par la suite nous considérerons ces valeurs comme exactes.

III.3.2.5 Station Ain Maabed code 17 02 04 :

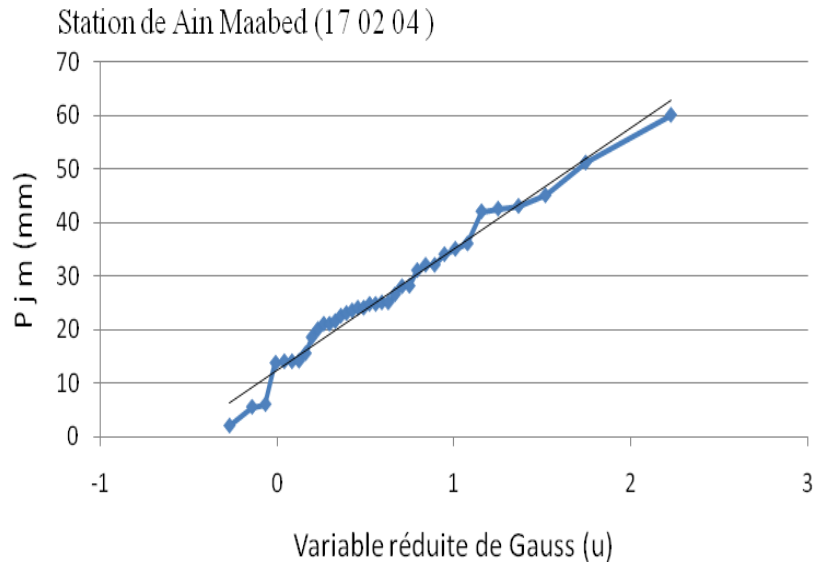


Fig. III.15 Ajustement des P j max sur les données brutes

L'ajustement des pluies maximales annuelles montre un comportement gumbelien, donc nous considérerons ces valeurs comme exactes.

III.3.2.6 Station Mergueb B/haffaf code 17 02 09 :

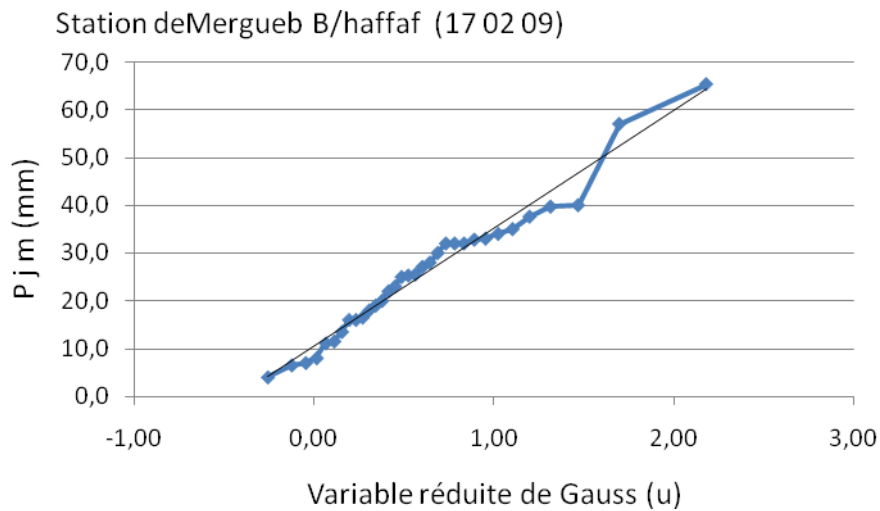


Fig. III.16 Ajustement des P j max sur les données brutes

III.3.2.7 Station de Djelfa code 17 02 08 :

La figure qui représente l'ajustement des pluies maximales annuelles, montre à l'évidence deux valeurs tout à fait exceptionnelles de 78.5 mm en aout 2007 et 87.8 mm en septembre 1975. Ces valeurs sont plausibles puisque toutes les stations existant dans les bassins du Zahrez donnent en 1975 et 2007 des pluies de 20 à 40 mm. Cette station présente un comportement normal.

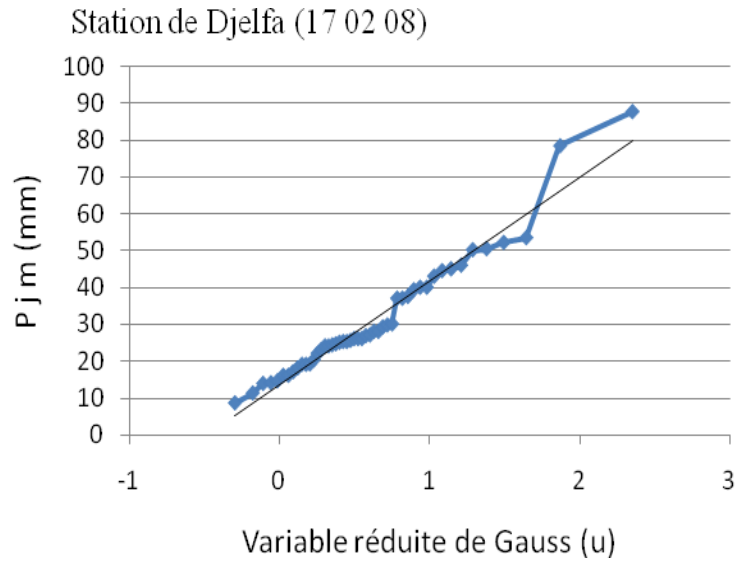


Fig. III.17 Ajustement des P j max sur les données brutes

III.3.2.8 Station de Dar Chioukh code 17 05 03 :

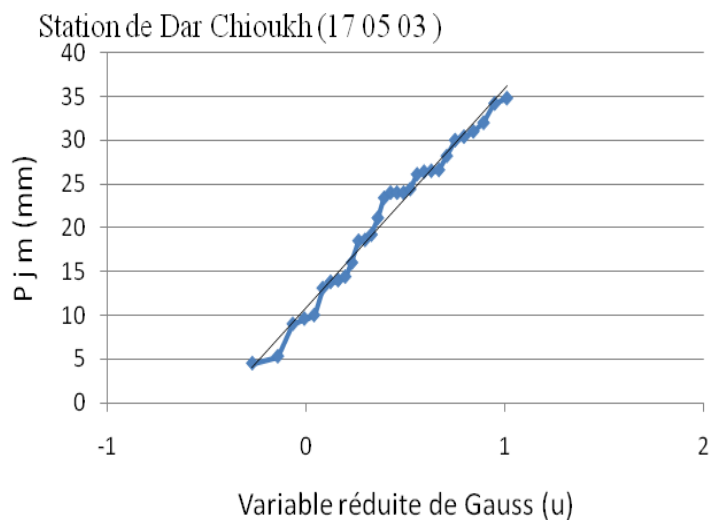


Fig. III.18 Ajustement des P j max sur les données brutes

La pluie de 45.2 mm en décembre 1981 est possible, mais l'ajustement est perturbé. Il s'agit donc soit d'une erreur de transcription et / ou fausse, alors qu'une pluie de 54.2 mm deviendrait tout à fait ordinaire.

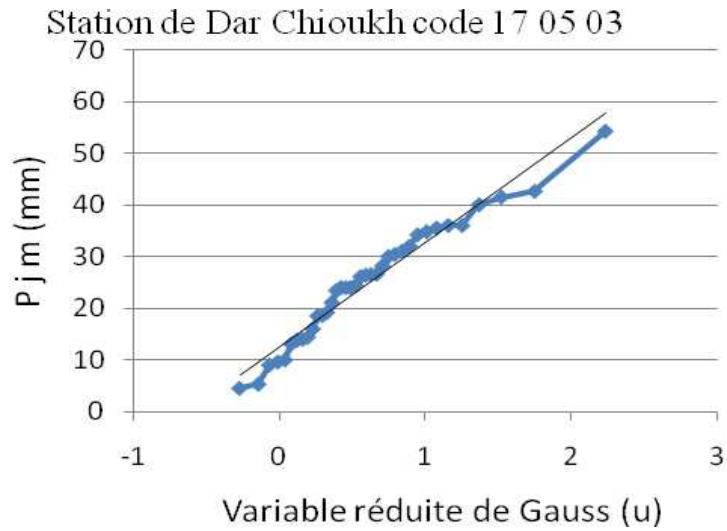


Fig. III.19 Ajustement des P j max sur les données modifiées

III.3.2.9 Station d'Ain Mouilah code 17 04 01 :

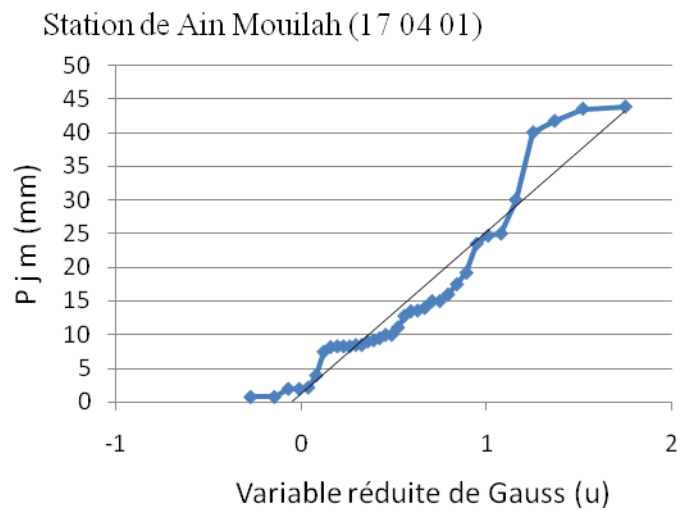


Fig. III.20 Ajustement des P j max sur les données brutes

Aucunes observations existant dans toutes les stations des bassins du Zahrez aux années 50, sauf cette station (1951 à 1954). L'ajustement des pluies maximales annuelles montre à l'évidence l'existence d'une valeur tout à fait exceptionnelle, la pluie de 70 mm en décembre 1954 est forte mais possible. La station voisine (Dar Chioukh à distance 15 km) présente un

comportement normal. Nous gardons donc cet échantillon, mais retiendrons les paramètres d'un ajustement manuel.

III.3.2.10 Station de Draa Larara code 17 05 01 :

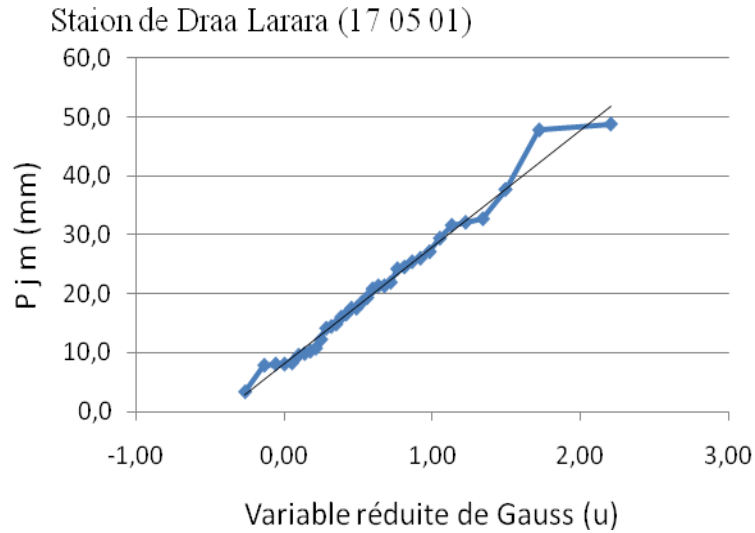


Fig. III.21 Ajustement des P j max sur les données brutes

La pluie de 47.8 mm en décembre 1999 est normal, mais parmi les causes de La perturbation d'un ajustement les erreurs de transcription et / ou fausse, alors qu'une pluie de 41.8 mm deviendrait tout à fait ordinaire.

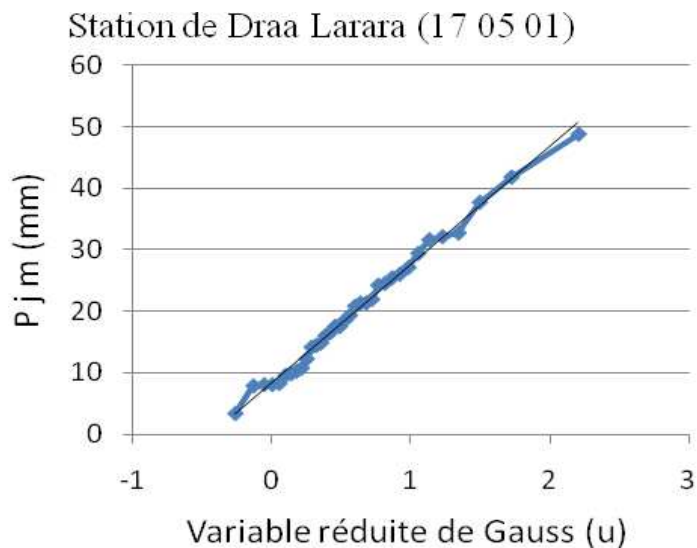


Fig. III.22 Ajustement des P j max sur les données modifiées

III.4 Contrôle de la qualité de la série pluviométrique :

Dans une étude des pluies maximales journalières annuelles du Zahrez, ont considéré 10 stations de mesures pluviométriques.

La station pluviométrique de Rocher sel (code 17 02 01) qui se trouve à 27.8 km au Nord Ouest de la station de Djelfa, la station de Rocher sel comptabilise 40 années d'observations continues (sans aucune interruption) de 1971/1972 à 2011/2012, elle fournit la plus fiable et la plus longue des séries de données à proximité de la plupart des station du Zahrez,

L'homogénéité de la série des cotes pluviométriques journalières est vérifiée en appliquant le Test de Wilcoxon, en comparant les pluies max journalières des dix stations. Ce test est systématiquement utilisé pour vérifier l'homogénéité pour un seuil de signification de 95% (**Mailhot et al., 2007**). Pour vérifier l'homogénéité des stations du Zahrez avant d'appliquer le test de Wilcoxon.

Le test de la Médiane ou test de Mood est ainsi choisi pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies. Soit la variable aléatoire X, représentant la série des pluies max journaliers de la station , et N étant la taille de cette série. L'application de ce test consiste en la détermination de la médiane de cet échantillon unique et à classer ses valeurs par ordre croissant, ensuite un dénombrement des éléments situés de part et d'autre de la médiane en affectant un « + » aux valeurs supérieures à la médiane et un «-» aux valeurs qui lui sont inférieures (**Lambolely, 2006**). Le nombre de valeurs inférieures et supérieures à la médiane est égal et représente la quantité notée N_s . La quantité T_s est égale à la taille de la plus grande suite de « + » ou de «-» dans la série chronologique.

La valeur médiane (par sa position) de l'échantillon est :

$$X_{\text{med}(n)} = X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad \text{Si } n \text{ est impaire} \quad (\text{III.7})$$

$$X_{\text{med}(n)} = \frac{1}{2} (X_{\left(\frac{n}{2}\right)} + X_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}) \quad \text{Si } n \text{ est paire} \quad (\text{III.8})$$

L'hypothèse nulle du test de la médiane pour un seuil de signification de 95% est vérifiée si :

$$N_s > \frac{1}{2} (N + 1 - u_{1-\frac{1}{2}} \sqrt{N - 1}) \quad (\text{III.9})$$

$$T_s < 3.3 \log(N_1) \quad (\text{III.10})$$

Avec : $u_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.96$, elle représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de $1 - \frac{\alpha}{2}$, avec $\alpha = 5\%$ (erreur de première espèce). Les résultats de test d'homogénéité se résumé dans le Tableau suivant :

Tableau III.2 Les résultats de test de la Médiane ou test de Mood

Station	X med	N	Ns Obs	Ts Obs	Ns Cal	Ts Cal	Observation
Charef	17.50	40	20	14	14.22	8.59	Hétérogène
Rocher sel	22.35	40	20	4	14.22	8.59	Homogène
Ain Maabed	24.70	37	18	4	12.96	8.48	Homogène
Zaafrane	24.40	42	21	5	15.07	8.66	Homogène
Gotaya	10.00	33	16	9	11.29	8.31	Hétérogène
Ain Mouilah	11.10	37	18	6	12.96	8.48	Homogène
Draa Larara	18.50	35	17	7	12.12	8.40	Homogène
Dar Chioukh	24.40	37	18	6	12.96	8.48	Homogène
Djelfa	26.00	49	25	6	18.07	8.88	Homogène
Mergueb B/haffaf	25.30	33	16	5	11.29	8.31	Homogène

Le test de Wilcoxon c'est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs des observations, au lieu de la série de leurs valeurs, se base sur le principe suivant : Si l'échantillon X est issu d'une même population Y, l'échantillon X U Y (union de X et de Y) en est également issu.

On procède ainsi :

Soit une série d'observations de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons X et Y : N1 et N2 sont respectivement les tailles de ces échantillons, avec $N = N1 + N2$ et $N1 \leq N2$ On classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite, nous ne nous intéresserons qu'au rang de chacun des éléments des deux échantillons dans cette série. Si une valeur se répète plusieurs fois, on lui associe le rang moyen correspondant. On calcule ensuite la somme W_x des rangs des éléments du premier échantillon dans la série commune :

$$W_x = \sum \text{Rang } X \quad (\text{III.11})$$

L'hypothèse nulle H0 de ce test est vérifiée si :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad (\text{III.12})$$

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1) \cdot N_1 - 1}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \quad (\text{III.13})$$

Avec :

$$\text{Et} \quad W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1) \cdot N_1 - W_{\min} \quad (\text{III.14})$$

Donc Les résultats des tests d'homogénéité se résumé dans le Tableau suivant :

Tableau III.3 Résultats des tests d'homogénéité des séries pluviométriques

Station	Code	Nb	N1	N2	W _x	W _{min}	W _{max}	Observation
Charef	17 01 02	40	19	21	365	316.63	462.37	Homogène
Rocher sel	17 02 01	40	19	21	355	316.63	462.37	Homogène
Ain Maabed	17 02 04	37	18	19	330	277.00	407.00	Homogène
Zaafrane	17 02 07	42	20	22	499	351.67	508.33	Homogène
Gotaya	17 02 16	33	13	20	253	167.30	274.70	Homogène
Ain Mouilah	17 04 01	37	17	20	369	258.19	387.81	Homogène
Draa Larara	17 05 01	35	15	20	222	210.70	329.30	Homogène
Dar Chioukh	17 05 03	37	17	20	325	258.19	387.81	Homogène
Djelfa	17 02 08	49	20	29	488	403.15	596.85	Homogène
Mergueb B/haffaf	17 02 09	33	16	17	230	217.09	326.91	Homogène

III.4.1 Estimation des paramètres des fonctions de distribution :

A titre d'illustration, le tableau III.4 donne les résultats numériques des estimations de type moments des paramètres x_0 et g pour la fonction de distribution de Gumbel des hauteurs maximales annuelles de précipitation correspondants aux différentes stations.

Le tableau suivant représentant du paramètre d'ajustement des lois de Gumbel les données modifiées.

Tableau III.4 Paramètres d'ajustement des lois de Gumbel

Station	Code	Nb	X ₀	g	P10
Charef	17 01 02	40	12.87	11.16	36.6
Rocher sel	17 02 01	40	20.33	10.3	41.9
Ain Maabed	17 02 04	37	20.78	9.7	45.4
Zaafrane	17 02 07	42	20.92	10.1	45.6
Gotaya	17 02 16	33	7.48	7.9	22.9
Ain Mouilah	17 04 01	37	9.94	11.6	31.3
Draa Larara	17 05 01	35	15.51	8.2	34.2
Dar Chioukh	17 05 03	37	19.93	8.8	42.5
Djelfa	17 02 08	49	23.91	12.3	48.8
Mergueb B/haffaf	17 02 09	33	19.61	10.7	44.7

III.5 Etude statistique des modules :

L'étude statistique des modules présente un intérêt indéniable dans le cadre des projets d'aménagements hydrauliques et permet de compléter la connaissance du phénomène

d'irrégularité de la pluie. Le tableau III.5 donné des résultats d'ajustement à une distribution de type Gumbel de bassin du Zahrez,

Tableau III.5 : Ajustement à une loi de Gumbel

Station	Code	Y	R ² (%)
Charef	17 01 02	y = 25.88x + 3.302	97.90
Rocher sel	17 02 01	y = 23.96x + 11.48	97.60
Ain Maabed	17 02 04	y = 22.57x + 12.43	97.70
Zaafrane	17 02 07	y = 23.53x + 12.21	98.10
Gotaya	17 02 16	y = 18.17x + 0.805	95.80
Ain Mouilah	17 04 01	y = 26.28x + 0.385	93.10
Draa Larara	17 05 01	y = 19.19x + 8.388	99.20
Dar Chioukh	17 05 03	y = 20.29x + 12.46	96.20
Djelfa	17 02 08	y = 28.27x + 13.51	96.20
Mergueb B/haffaf	17 02 09	y = 24.75x + 10.48	97.30
Y	Droite de régression ou droite de Gumbel		
r	Coefficient de corrélation r = R ²		

III.5.1 Intervalle de confiance :

Les intervalles de confiance de la loi de Gumbel ont été étudiés par Kaczmarek (1957), Lowery et Nash (1970) et par Bernier et Veron (**LABORDE J.P, 2000**). Ces derniers ont étudié l'intervalle de confiance à α % sur un quantile x_F s'exprime en fonction de l'écart-type σ_x par :

$$\hat{x}_F - h_1 \sigma_x \leq x_F < \hat{x}_F + h_2 \sigma_x \quad (\text{III. 15})$$

Où h_1 et h_2 sont des paramètres dépendant de la taille n de l'échantillon de la fréquence F et de la valeur de α .

h_1 et h_2 seront évalués par la formule suivante (avec le signe + pour h_2 et le signe - pour h_1) :

$$h_{1,2} = \frac{\frac{u_\alpha}{n} \sqrt{1 + 1.13 t_F + 1.1 t_F^2} \pm \frac{u_\alpha^2}{n} (1.13 t_F + 0.57)}{1 - 1.1 \frac{u_\alpha^2}{n}} \quad (\text{III. 16})$$

u_α : est la variable réduite de Gauss correspondant à la fréquence au non-dépassement

$$1 - \frac{1-\alpha}{2} \quad (\text{III. 17})$$

t_F : est la variable réduite de Gumbel correspondant à la fréquence au non- dépassement F , amenée à sa moyenne et à son écart-type :

$$t_P = \frac{-\text{Ln}(-\text{Ln}(F)) - 0.577}{1.28} \quad (\text{III. 18})$$

Calcule les intervalles de confiance soit en utilisant les abaques de Bernier (Fig. III.24) soit analytiquement par la formule (III. 16)

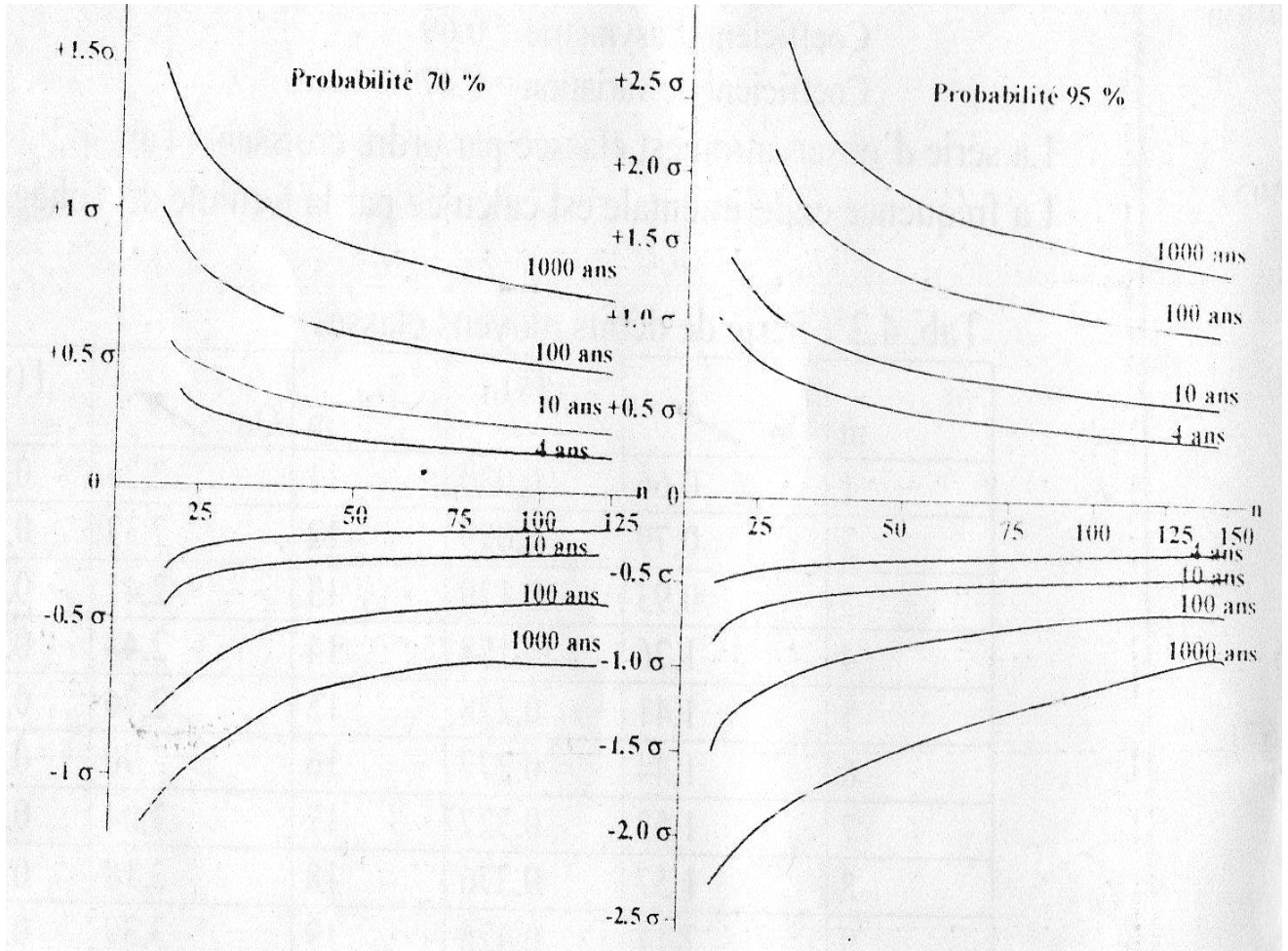


Fig. III.23 abaques de Bernier (Touaïbia B., 2004)

Le tableau suivant représente l'intervalle de confiance de 95 % sur la pluie de fréquence 0.1, pour toutes les stations des bassins du Zahrez (BV 17).

Tableau III.6 Intervalle de confiance à 95 %

Station	Nb	P 10	95 %	
Charef	40	36.6	28.9	44.3
Rocher sel	40	41.9	35.0	48.9
Ain Maabed	37	45.4	37.0	53.9
Zaafrane	42	45.6	37.7	53.5
Gotaya	33	22.9	17.5	28.4
Ain Mouilah	37	31.3	24.3	38.3
Draa Larara	35	34.2	27.7	40.7
Dar Chioukh	37	42.5	34.8	50.3
Djelfa	49	48.8	41.6	56.0
Mergueb B/haffaf	33	44.7	35.7	53.8

III.5.2 Hauteurs de pluies maximales estimées pour différentes périodes de retour :

L'ajustement graphique des séries pluviométriques des différentes stations de bassin du Zahrez pour la période (1960/2012), (figure Annexe 1), montre que la pluie s'ajuste en général suivant une loi de Gumbel. En outre nous avons calculé pour toutes les stations situées dans nos bassins d'étude, les hauteurs de pluies maximales estimées pour différentes périodes de retour, relatives à des récurrences données.

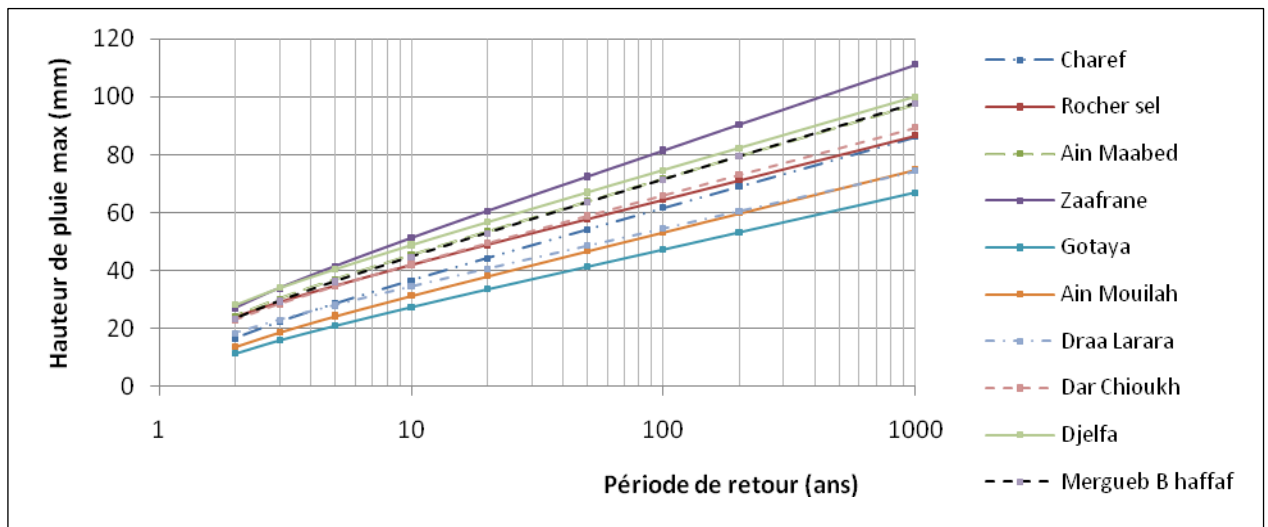


Fig. III.24 Hauteurs de pluies maximales estimées pour différentes périodes de retour

Conclusion :

Le présent chapitre a pour objectif de traiter les données de mesure en utilisant l'outil statistique. Le test d'homogénéité de Wilcoxon a été utilisé pour détecter les anomalies qui peuvent être incluse dans les données de mesures de ces séries, ce test a montré que les données d'observation sont homogènes et issue de la même population statistique.

Parmi les lois de distribution qui peuvent rendre compte de la statistique des phénomènes extrêmes, c'est la loi de Gumbel qui s'adapte le mieux aux variables pluviométriques. L'information sur les lois de distributions des pluies maximales est plutôt rare dans la région du Zahrez, du fait que les séries de données sur de longues périodes sont disponibles. Un modèle de distribution des valeurs extrêmes (Gumbel) ont été appliqués aux séries de précipitations maximales annuelles de dix stations situées dans la région de bassin du Zahrez. Les paramètres de ces distributions ont été déterminés par la méthode des moments et ont été employées pour comparer les estimations obtenues pour les dix stations. Les résultats graphiques et statistiques de ces estimations ont confirmé l'inadéquation de la méthode du maximum de vraisemblance.

La loi de Gumbel est utilisée par la plupart des services météorologiques officiels, pour décrire la fréquence des pluies extrêmes. La loi de Gumbel a l'avantage d'être très connue par les ingénieurs qui l'utilisent dans le cadre des travaux sur la fiabilité des infrastructures hydrauliques. La simplicité du calcul de la distribution de Gumbel et la configuration géométrique du tracé sur l'échelle linéaire de probabilité est un élément qui contribué à sa popularité.

Chapitre IV
Etude de l'intensité pluviale.

IV.1 Importance de l'étude de l'intensité pluviale :

L'information sur la pluviométrie est de première importance pour la vie quotidienne. Plus spécifiquement les ingénieurs ont besoin de connaître les paramètres de la pluie probable afin de dimensionner les ouvrages qu'ils projettent ou qu'ils entretiennent.

IV.1.1 Evaluation des débits des eaux pluviales :

IV.1.1.1 Pour l'assainissement :

On utilise souvent pour l'assainissement pluvial la méthode rationnelle qui est donnée par la formule suivante :

$$Q_{f\%} = C * I_{f\%} * A \quad (IV.1)$$

$Q_{f\%}$: débit pluvial de fréquence « f » ou bien Q_T - débit de période de retour « T » en m^3/s

$I_{f\%}$: intensité pluviale de fréquence « f » en mm/heure

C : coefficient de ruissellement de la crue, fonction de plusieurs paramètres (nature du sol, perméabilité etc.....)

A : surface du bassin versant en Km^2 (SAAD B., 2004).

IV.1.1.2 Pour la protection contre les inondations (débit de crue) :

Les inondations sont chose courante, ce phénomène est créé par les premières pluies de l'année hydrologique qui sont caractérisées par une forte intensité pendant une courte durée.

Ces dernières décennies, l'Algérie a connu plusieurs catastrophes naturelles qui sont dues aux inondations, elles ont causé des dégâts matériels autant que humains. A cet égard, la lutte contre les inondations est devenue une nécessité indispensable, voire même obligatoire pour les zones critiques. Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue de différentes périodes de retour, on utilise souvent les formules empiriques en cas d'absence des données de mesure. (SAAD B., 2004).

IV.1.1.2.1 Formule de TURRAZA

$$Q_{\max, p\%} = \frac{C A I}{3.6} \quad (IV.2)$$

A : superficie du bassin versant (Km²),

I : intensité des pluies pour une fréquence donnée correspondant au temps de concentration (mm/h).

C : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P%

IV.2 Les différentes méthodes de calcul de l'intensité pluviale :

- La formule la plus couramment utilisée pour représenter est celle de Grisollet (1948)

$$I(i, T) = \frac{A(T)}{t + B(T)} \quad (\text{IV.3})$$

- La formule de Mantana se présente sous la forme :

$$I(i, T) = A(T) * t^{B(T)} \quad (\text{IV.4})$$

- Keiffer et chu (1957) combinent les deux formules précédentes sous la forme :

$$I(i, T) = \frac{A(T)}{t^{B(T)} + C(T)} \quad (\text{IV.5})$$

Dans ces formules, (I) représente l'intensité de la pluie en fonction du temps (t) pour une période de retour donnée (T.A, B, et C) sont des constantes propres à chaque région et à chaque période de retour (T). Ces constantes doivent être déterminées à partir des mesures historiques de la pluie. Lorsqu'on qualifie une intensité de pluie de décennale ou quinquennal, ceci signifie que la probabilité d'observer une intensité de pluie qui lui est égale ou supérieur est respectivement 1/10 ou 1/5. D'une manière générale, la période de retour (T) d'une intensité (I_T) se définit par la probabilité $P(I > I_T) = 1/T$. le débit généré par l'intensité (I_T) et calculé par la formule (IV.1) doit avoir la même période de retour que la pluie. (SAAD B., 2004).

Il est à souligner que ces formules sont établies dans d'autres conditions climatiques et physico géographiques et leurs extrapolations à nos conditions climatiques conduisent à des erreurs aberrantes.

- Formule couramment utilisée en Algérie (Body 1981).

Son utilisation nécessite la disponibilité d'une série des pluies max journalière. Le calcul de l'intensité pluviale est établi de la façon suivante:

$$I_{t,T} = \frac{P_{t,T}}{t} \quad (IV.6)$$

$P_{t,T}$ est la pluie de durée (t) et de fréquence (T). Elle est établie suivant le principe de Montanari :

$$P_{t,T} = P_{\max j} \% * \left(\frac{t}{24}\right)^b \quad (IV.7)$$

$P_{t,T}$: pluie de courte durée de fréquence donnée en mm,

$P_{j \max \%}$: pluie journalière de fréquence donnée en mm,

b : exposant climatique propre à chaque région (voir le tableau IV.2).

$$b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{P_{j \max}}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0.5)} \quad (IV.8)$$

Il est à signaler que les formules données ci-dessus à l'exception de celle de Body sont établies à partir de dépouillement de données de mesures des pluviographes. Celle de Body à partir des pluies journalières suivant le principe de Montanari.

IV.3 Détermination de l'intensité pluviale :

L'étude climatique exige un réseau de postes assez important couvrant toute la région d'étude ; Le bassin du Zahrez est équipé d'un réseau pluviométrique de 10 postes et de 03 postes pluviographiques gérés par l'ANRH.

IV.3.1 Les données pluviométriques :

La loi qui s'ajuste mieux aux valeurs extrêmes est celle de Gumbel, sa réalisation par la méthode graphique nécessite les opérations qui sont mentionnées au chapitre précédent.

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire présente un intérêt particulier, pour les études de protection contre les crues. Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, nous nous basons sur des

données d'observations disponibles pour dix (10) stations et pour une période de quarante ans (40 ans) ainsi que sur les données d'étude faite par K, Body (1981).

Pour les climats Algérienne, la loi log normale peut être retenue pour la suite de calcul de l'intensité pluviale. Cela n'empêche pas de vérifier l'ajustement de la série par d'autres lois statistiques utilisées en hydrologie telles que la loi normale et la loi Gumbel.

- On établie la droite d'ajustement pour la loi choisie (droite de Henry pour les lois normale et log normale ou droite de Gumbel)

1- la loi normale : $P_i = P + S * Z_i$

2- la loi log normale : $\text{Ln } P_i = \text{Ln } P + S_{\text{Ln}P} * Z_i$

3- la loi Gumbel : $P_i = \left(\frac{1}{\alpha}\right)Y_i + P_0$

Avec :

- P : moyenne des pluies max. journalières, mm ;
 - S : écart-type de la série, mm ;
 - Ln Pi : moyenne des logarithmes népériens des pluies max. journalière ;
 - $S_{\text{Ln}P}$: Écarte-type des logarithmes népériens des pluies max. journalière ;
 - Zi : Variable réduite de Gauss : table de Gauss) ;
 - Yi : Variable réduite de Gumbel ;
 - Pi : Pluie fréquentielle de fréquence « f % » ou pluie de période de retour « T »
- On calcul les pluies journalières fréquentielles $P_{\text{max}, j, f \%}$ (ou pluies de différentes période de retour $P_{j, \text{max } T}$) par la droite d'ajustement (FND = 50, 80, 90, 95, 98, 99,99.9%), c'est-à-dire $P_{50\%}, P_{80\%}, P_{90\%}$ etc.... (P_2, P_5, P_{10} etc....)

Pour passer de la fréquence « f % » à la période de retour « T » on utilise la relation suivante :

$$T = 1 / FD$$

$$FD = 1 - FND$$

FND : Fréquence au non dépassement

FD : Fréquence au dépassement

Si par exemple, on veut savoir quelle est la période de retour de la fréquence FND=90%

$$T = 1 / FD = 1 / 0.1 = 10 \text{ ans}$$

$$FD = 1 - FND = 1 - 0.90 = 0.1$$

- On calcul les pluies de courte durée fréquentielles.
- Enfin on calcul l'intensité pluviale ($I_t, f\%$).

Les pluies maximales journalière fréquentielles $P_{f\%}$ (5.10 .20...1000 ans), sont estimés pour les dix stations et pour les probabilités de retour retenues sont présentés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 Pluie maximale journalière fréquentielle, pour dix stations pluviométriques

T	5	10	20	50	100	1000
Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Charef	30.1	45.7	64.6	95.4	124	256
Rocher sel	35.1	43.6	52.2	63.8	72.9	106
Ain Maabed	38.9	51.7	65.4	85.3	102	167
Zaafrane	39.3	52.2	66	86	103	168
Gotaya	20.8	32.7	47.5	72.3	95.7	210
Ain Mouilah	25.9	40.8	59.3	90.6	120	264
Draa Larara	28.2	36.4	45	57	66.7	104
Dar Chioukh	35.1	45	55.3	69.7	81.3	125
Djelfa	41	50.6	60.2	73.1	83.2	120
Mergueb B haffaf	36.9	48.6	61.2	79.1	94	152

L'exposant climatique propre à chaque région (voir le tableau IV.2).

Tableau IV.2 Valeurs de l'exposant climatique pour chaque station

Station	Code	$P_{j \max}$ (mm)	Exposant climatique
Charef	17 01 02	42.6	0.32
Rocher sel	17 02 01	65.7	0.43
Ain Maabed	17 02 04	60.0	0.41
Zaafrane	17 02 07	65.1	0.43
Gotaya	17 02 16	80.0	0.48
Ain Mouilah	17 04 01	43.5	0.32
Draa Larara	17 05 01	48.8	0.35
Dar Chioukh	17 05 03	54.2	0.38
Djelfa	17 02 08	87.8	0.50
Mergueb B/haffaf	17 02 09	65.3	0.43

L'intensité pluviale calculé par la méthode de Body pour différent intervalle de temps et différent période de retour est représenté dans le tableau IV.4.

Tableau IV.3 : les pluies maximales fréquentielles de courte durée P t. f% (5, 10 ,20...1000 ans)

Période		Intervalle de temps (min)										
		1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600
Charef	5	3.008	5.007	6.237	7.768	8.832	9.675	11.000	12.508	14.705	18.315	22.811
	10	4.566	7.602	9.469	11.794	13.410	14.689	16.702	18.990	22.326	27.807	34.633
	20	6.455	10.747	13.385	16.671	18.955	20.764	23.609	26.844	31.559	39.306	48.956
	50	9.532	15.870	19.767	24.619	27.993	30.663	34.865	39.643	46.605	58.047	72.298
	100	12.390	20.628	25.692	32.000	36.385	39.856	45.318	51.528	60.577	75.449	93.972
	1000	25.579	42.587	53.042	66.064	75.117	82.283	93.559	106.380	125.062	155.765	194.006
Rocher sel	5	3.507	5.839	7.273	9.058	10.299	11.282	12.828	14.586	17.147	21.357	26.600
	10	4.357	7.253	9.034	11.252	12.793	14.014	15.934	18.118	21.300	26.529	33.042
	20	5.216	8.684	10.816	13.471	15.317	16.778	19.077	21.691	25.501	31.761	39.559
	50	6.375	10.613	13.219	16.464	18.721	20.507	23.317	26.512	31.168	38.820	48.350
	100	7.284	12.127	15.105	18.813	21.391	23.431	26.642	30.293	35.613	44.357	55.246
	1000	10.592	17.634	21.963	27.355	31.103	34.070	38.739	44.048	51.783	64.497	80.331
Ain Maabed	5	3.887	6.471	8.060	10.039	11.414	12.503	14.217	16.165	19.004	23.669	29.480
	10	5.166	8.601	10.712	13.342	15.170	16.617	18.895	21.484	25.257	31.457	39.180
	20	6.535	10.880	13.551	16.877	19.190	21.021	23.901	27.177	31.949	39.793	49.563
	50	8.523	14.190	17.674	22.013	25.029	27.417	31.174	35.446	41.671	51.901	64.643
	100	10.192	16.968	21.134	26.323	29.930	32.785	37.277	42.386	49.829	62.063	77.299
	1000	16.687	27.781	34.602	43.097	49.002	53.677	61.033	69.396	81.583	101.612	126.559
Zaafrane	5	3.927	6.538	8.143	10.142	11.532	12.632	14.363	16.331	19.199	23.912	29.783
	10	5.216	8.684	10.816	13.471	15.317	16.778	19.077	21.691	25.501	31.761	39.559
	20	6.595	10.979	13.675	17.032	19.366	21.214	24.121	27.426	32.243	40.158	50.017
	50	8.593	14.307	17.819	22.193	25.235	27.642	31.430	35.737	42.013	52.327	65.174
	100	10.292	17.135	21.341	26.581	30.223	33.106	37.643	42.801	50.318	62.671	78.057
	1000	16.787	27.948	34.809	43.355	49.296	53.998	61.398	69.812	82.072	102.221	127.317
Gotaya	5	2.078	3.460	4.310	5.368	6.103	6.686	7.602	8.643	10.161	12.656	15.763
	10	3.267	5.440	6.775	8.439	9.595	10.510	11.951	13.588	15.975	19.897	24.781
	20	4.746	7.902	9.842	12.258	13.938	15.267	17.360	19.738	23.205	28.902	35.997
	50	7.224	12.027	14.980	18.658	21.215	23.239	26.423	30.044	35.320	43.991	54.792
	100	9.562	15.920	19.829	24.697	28.081	30.760	34.975	39.768	46.752	58.229	72.525
	1000	20.983	34.935	43.511	54.193	61.620	67.498	76.748	87.265	102.590	127.776	159.146
Ain Mouilah	5	2.588	4.309	5.366	6.684	7.600	8.325	9.466	10.763	12.653	15.759	19.628
	10	4.077	6.787	8.454	10.529	11.972	13.114	14.911	16.954	19.932	24.825	30.920
	20	5.925	9.865	12.287	15.303	17.400	19.060	21.672	24.642	28.969	36.082	44.940
	50	9.053	15.072	18.772	23.381	26.585	29.121	33.111	37.648	44.260	55.126	68.660
	100	11.990	19.963	24.864	30.968	35.211	38.570	43.856	49.866	58.623	73.015	90.940
	1000	26.379	43.918	54.700	68.129	77.465	84.855	96.483	109.704	128.970	160.633	200.069

Draa Larara	5	2.818	4.691	5.843	7.277	8.275	9.064	10.306	11.718	13.776	17.159	21.371
	10	3.637	6.055	7.542	9.394	10.681	11.700	13.303	15.126	17.782	22.148	27.585
	20	4.496	7.486	9.324	11.613	13.204	14.464	16.446	18.700	21.984	27.381	34.103
	50	5.695	9.482	11.810	14.710	16.725	18.321	20.831	23.686	27.846	34.682	43.197
	100	6.665	11.096	13.820	17.213	19.572	21.439	24.377	27.717	32.584	40.584	50.548
	1000	10.392	17.301	21.548	26.839	30.516	33.428	38.008	43.217	50.806	63.280	78.815
Dar Chioukh	5	3.507	5.839	7.273	9.058	10.299	11.282	12.828	14.586	17.147	21.357	26.600
	10	4.496	7.486	9.324	11.613	13.204	14.464	16.446	18.700	21.984	27.381	34.103
	20	5.526	9.199	11.458	14.271	16.227	17.775	20.210	22.980	27.015	33.648	41.908
	50	6.964	11.595	14.442	17.987	20.452	22.403	25.473	28.964	34.050	42.410	52.821
	100	8.123	13.525	16.845	20.981	23.856	26.131	29.712	33.784	39.717	49.468	61.612
	1000	12.490	20.794	25.900	32.258	36.678	40.177	45.683	51.943	61.065	76.057	94.730
Djelfa	5	4.097	6.821	8.495	10.581	12.031	13.178	14.984	17.037	20.029	24.947	31.071
	10	5.056	8.418	10.484	13.058	14.847	16.264	18.493	21.027	24.719	30.788	38.347
	20	6.015	10.015	12.473	15.535	17.664	19.349	22.001	25.016	29.409	36.629	45.622
	50	7.304	12.161	15.146	18.864	21.450	23.496	26.715	30.376	35.711	44.478	55.398
	100	8.313	13.841	17.239	21.471	24.413	26.742	30.407	34.573	40.645	50.624	63.052
	1000	11.990	19.963	24.864	30.968	35.211	38.570	43.856	49.866	58.623	73.015	90.940
Mergueb B Haffaf	5	3.687	6.139	7.646	9.523	10.827	11.860	13.486	15.334	18.027	22.452	27.964
	10	4.856	8.085	10.070	12.542	14.261	15.621	17.762	20.196	23.742	29.571	36.831
	20	6.115	10.181	12.680	15.794	17.958	19.671	22.366	25.431	29.898	37.238	46.380
	50	7.904	13.159	16.389	20.413	23.210	25.424	28.908	32.870	38.642	48.129	59.945
	100	9.392	15.637	19.476	24.258	27.582	30.213	34.354	39.061	45.921	57.195	71.237
	1000	15.188	25.286	31.494	39.226	44.601	48.856	55.551	63.163	74.256	92.486	115.191

Tableau IV.4: les intensités pluviale pour t = (1;5;... 1440 mn), et T= (5, 10 .20...1000 ans)

Période		Intervalle de temps (min)												
		1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600	720	1440
Charef	5	3.008	1.001	0.624	0.388	0.294	0.242	0.183	0.139	0.098	0.061	0.038	0.034	0.021
	10	4.566	1.520	0.947	0.590	0.447	0.367	0.278	0.211	0.149	0.093	0.058	0.011	0.006
	20	6.455	2.149	1.338	0.834	0.632	0.519	0.393	0.298	0.210	0.131	0.082	0.008	0.004
	50	9.532	3.174	1.977	1.231	0.933	0.767	0.581	0.440	0.311	0.193	0.120	0.007	0.004
	100	12.390	4.126	2.569	1.600	1.213	0.996	0.755	0.573	0.404	0.251	0.157	0.007	0.004
	1000	25.579	8.517	5.304	3.303	2.504	2.057	1.559	1.182	0.834	0.519	0.323	0.007	0.003
Rocher sel	5	3.507	1.168	0.727	0.453	0.343	0.282	0.214	0.162	0.114	0.071	0.044	0.039	0.024
	10	4.357	1.451	0.903	0.563	0.426	0.350	0.266	0.201	0.142	0.088	0.055	0.049	0.030
	20	5.216	1.737	1.082	0.674	0.511	0.419	0.318	0.241	0.170	0.106	0.066	0.058	0.036
	50	6.375	2.123	1.322	0.823	0.624	0.513	0.389	0.295	0.208	0.129	0.081	0.071	0.044
	100	7.284	2.425	1.510	0.941	0.713	0.586	0.444	0.337	0.237	0.148	0.092	0.081	0.051
	1000	10.592	3.527	2.196	1.368	1.037	0.852	0.646	0.489	0.345	0.215	0.134	0.118	0.074
Ain Maabed	5	3.887	1.294	0.806	0.502	0.380	0.313	0.237	0.180	0.127	0.079	0.049	0.043	0.027
	10	5.166	1.720	1.071	0.667	0.506	0.415	0.315	0.239	0.168	0.105	0.065	0.058	0.036
	20	6.535	2.176	1.355	0.844	0.640	0.526	0.398	0.302	0.213	0.133	0.083	0.073	0.045
	50	8.523	2.838	1.767	1.101	0.834	0.685	0.520	0.394	0.278	0.173	0.108	0.095	0.059
	100	10.192	3.394	2.113	1.316	0.998	0.820	0.621	0.471	0.332	0.207	0.129	0.114	0.071
	1000	16.687	5.556	3.460	2.155	1.633	1.342	1.017	0.771	0.544	0.339	0.211	0.186	0.116
Zaafrane	5	3.927	1.308	0.814	0.507	0.384	0.316	0.239	0.181	0.128	0.080	0.050	0.044	0.027
	10	5.216	1.737	1.082	0.674	0.511	0.419	0.318	0.241	0.170	0.106	0.066	0.058	0.036
	20	6.595	2.196	1.367	0.852	0.646	0.530	0.402	0.305	0.215	0.134	0.083	0.074	0.046
	50	8.593	2.861	1.782	1.110	0.841	0.691	0.524	0.397	0.280	0.174	0.109	0.096	0.060
	100	10.292	3.427	2.134	1.329	1.007	0.828	0.627	0.476	0.335	0.209	0.130	0.115	0.072
	1000	16.787	5.590	3.481	2.168	1.643	1.350	1.023	0.776	0.547	0.341	0.212	0.187	0.117
Gotaya	5	2.078	0.692	0.431	0.268	0.203	0.167	0.127	0.096	0.068	0.042	0.026	0.023	0.014
	10	3.267	1.088	0.678	0.422	0.320	0.263	0.199	0.151	0.106	0.066	0.041	0.036	0.023
	20	4.746	1.580	0.984	0.613	0.465	0.382	0.289	0.219	0.155	0.096	0.060	0.053	0.033
	50	7.224	2.405	1.498	0.933	0.707	0.581	0.440	0.334	0.235	0.147	0.091	0.081	0.050
	100	9.562	3.184	1.983	1.235	0.936	0.769	0.583	0.442	0.312	0.194	0.121	0.107	0.066
	1000	20.983	6.987	4.351	2.710	2.054	1.687	1.279	0.970	0.684	0.426	0.265	0.234	0.146
Ain Mouilah	5	2.588	0.862	0.537	0.334	0.253	0.208	0.158	0.120	0.084	0.053	0.033	0.029	0.018
	10	4.077	1.357	0.845	0.526	0.399	0.328	0.249	0.188	0.133	0.083	0.052	0.045	0.028
	20	5.925	1.973	1.229	0.765	0.580	0.477	0.361	0.274	0.193	0.120	0.075	0.066	0.041
	50	9.053	3.014	1.877	1.169	0.886	0.728	0.552	0.418	0.295	0.184	0.114	0.101	0.063
	100	11.990	3.993	2.486	1.548	1.174	0.964	0.731	0.554	0.391	0.243	0.152	0.134	0.083
	1000	26.379	8.784	5.470	3.406	2.582	2.121	1.608	1.219	0.860	0.535	0.333	0.294	0.183

Draa Larara	5	2.818	0.938	0.584	0.364	0.276	0.227	0.172	0.130	0.092	0.057	0.036	0.031	0.020
	10	3.637	1.211	0.754	0.470	0.356	0.292	0.222	0.168	0.119	0.074	0.046	0.041	0.025
	20	4.496	1.497	0.932	0.581	0.440	0.362	0.274	0.208	0.147	0.091	0.057	0.050	0.031
	50	5.695	1.896	1.181	0.735	0.558	0.458	0.347	0.263	0.186	0.116	0.072	0.064	0.040
	100	6.665	2.219	1.382	0.861	0.652	0.536	0.406	0.308	0.217	0.135	0.084	0.074	0.046
	1000	10.392	3.460	2.155	1.342	1.017	0.836	0.633	0.480	0.339	0.211	0.131	0.116	0.072
Dar Chioukh	5	3.507	1.168	0.727	0.453	0.343	0.282	0.214	0.162	0.114	0.071	0.044	0.039	0.024
	10	4.496	1.497	0.932	0.581	0.440	0.362	0.274	0.208	0.147	0.091	0.057	0.014	0.008
	20	5.526	1.840	1.146	0.714	0.541	0.444	0.337	0.255	0.180	0.112	0.070	0.010	0.005
	50	6.964	2.319	1.444	0.899	0.682	0.560	0.425	0.322	0.227	0.141	0.088	0.009	0.005
	100	8.123	2.705	1.685	1.049	0.795	0.653	0.495	0.375	0.265	0.165	0.103	0.009	0.004
	1000	12.490	4.159	2.590	1.613	1.223	1.004	0.761	0.577	0.407	0.254	0.158	0.009	0.004
Djelfa	5	4.097	1.364	0.850	0.529	0.401	0.329	0.250	0.189	0.134	0.083	0.052	0.046	0.028
	10	5.056	1.684	1.048	0.653	0.495	0.407	0.308	0.234	0.165	0.103	0.064	0.056	0.035
	20	6.015	2.003	1.247	0.777	0.589	0.484	0.367	0.278	0.196	0.122	0.076	0.067	0.042
	50	7.304	2.432	1.515	0.943	0.715	0.587	0.445	0.338	0.238	0.148	0.092	0.082	0.051
	100	8.313	2.768	1.724	1.074	0.814	0.669	0.507	0.384	0.271	0.169	0.105	0.093	0.058
	1000	11.990	3.993	2.486	1.548	1.174	0.964	0.731	0.554	0.391	0.243	0.152	0.134	0.083
Mergueb B haffaf	5	3.687	1.228	0.765	0.476	0.361	0.297	0.225	0.170	0.120	0.075	0.047	0.041	0.026
	10	4.856	1.617	1.007	0.627	0.475	0.391	0.296	0.224	0.158	0.099	0.061	0.054	0.034
	20	6.115	2.036	1.268	0.790	0.599	0.492	0.373	0.283	0.199	0.124	0.077	0.068	0.043
	50	7.904	2.632	1.639	1.021	0.774	0.636	0.482	0.365	0.258	0.160	0.100	0.088	0.055
	100	9.392	3.127	1.948	1.213	0.919	0.755	0.573	0.434	0.306	0.191	0.119	0.105	0.065
	1000	15.188	5.057	3.149	1.961	1.487	1.221	0.926	0.702	0.495	0.308	0.192	0.169	0.106

IV.3.2 Les données pluviographiques :

L'essentiel des données utilisées pour cette étude était constitué des bandes d'enregistrement des pluviographes. La zone étudiée, d'une superficie de 9 141 km² est équipée en 03 stations pluviographiques sont installés par ANRH depuis suffisamment longtemps pour être jugés climato logiquement représentatifs (Fig. III.4), les 03 points de mesures répartiteurs dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Analyse fréquentielles des longues séries pluviographiques du Zahrez

Stations	Code	Organisme	Période	N _{bre} d'année Dépouillées
MERGUEB B/HAFFAF	17 02 19		71-1998	28
Djelfa	17 02 08	ANRH	76-2002	27
DAR CHIOUKH	17 05 03		78-2003	26

(ANRH)

On disposait également des chroniques historiques, certaines de beaucoup plus longue durée des précipitations journalières relevées au seau, à chaque station, par un observateur. L'intérêt de ces chroniques était double : elles permettaient un contrôle a posteriori de la qualité des données issues des enregistrements pluviographiques; elles garantissaient surtout, par leur plus grande portée, une meilleure robustesse à l'estimation des paramètres statistiques des distributions de précipitations extrêmes.

IV.3.2.1 Les bande d'enregistrement des pluviographes :

la série pluviographiques donne sous forme de pluviogrammes la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps, c'est à dire pendant toute la durée de l'épisode pluvieux. (Fig. IV.1),

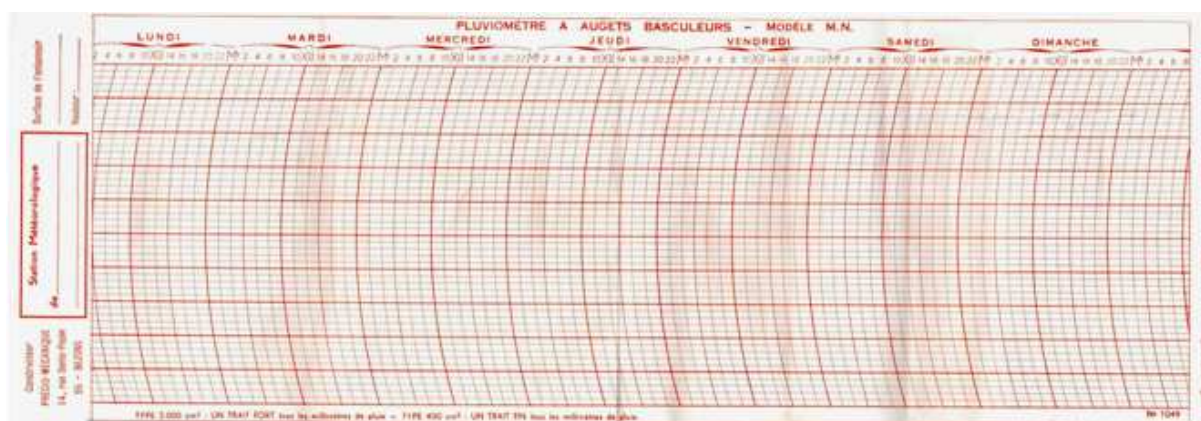


Fig. IV.1 La bande d'enregistrement de pluviographe type hebdomadaire (ANRH)

Les bandes d'enregistrement de pluviographe type hebdomadaire (Figure 4.1) à des caractéristiques suivantes :

IV.3.2.1.1 Caractéristiques verticalement :

1. L'espace entre deux traits fins représente :
 - 1 mm de pluie pour une bague de 400 cm²,
 - 1/5 mm de pluie pour une bague de 2000 cm².
2. Un basculement représente :
 - 0.5 mm pour une bague de 400 cm²,
 - 0.1 mm pour une bague de 2000 cm² (SARI A., 2002).

IV.3.2.1.2 Caractéristiques horizontalement :

- L'espace entre deux traits épais représente 12 heures,
- L'espace entre deux traits fins représente 2 heures.

Il existe plusieurs méthodes de dépouillement d'un pluviogramme :

- Le dépouillement à pas de temps constant,
- Le dépouillement à intensités constantes,
- Le dépouillement automatique sur digitaliseur (SARI A., 2002).

Dans l'annexe n° : 02, nous présentons quelques photos des bandes d'enregistrement de pluviographe type hebdomadaire, représentant la quantité de pluie enregistrée dans une durée égale et/ou inférieure à 24 heures. L'endroit et le code du pluviomètre sont : DJELFA code : 17 02 08, MERGUEDE B/HAFFAF code : 17 02 19 et DAR CHIOUKH code : 17 05 03.

IV.3.2.2 Les dépouillements manuels des bandes enregistrements :

Les pluviographes ordinaires donnent, en fonction du temps, une courbe de pluies cumulées. Les appareils donnant directement la dérivée de cette courbe, appelés pluviographes intensité, n'ont pas, jusqu'à présent, donné satisfaction. La dérivation se fait généralement à la main. On a pris l'habitude d'appeler pluviogramme la courbe des pluies cumulées fournie par l'appareil et hyétogramme le graphique des intensités.

Le dépouillement du pluviogramme consiste à présenter sous forme de tableau, la courbe de pluie cumulée en tâchant de lui conserver le mieux possible ses caractéristiques. Il n'est pas question, en effet, pour les pluies quelque peu intenses, de localiser dans le temps chaque basculement. On divise donc le pluviogramme de telle façon que l'intensité à l'intérieur d'un intervalle soit à peu près constante; c'est une question d'habitude. La détermination de l'heure exacte de chaque limite d'intervalle peut se faire au moyen d'un vernier établi spécialement pour le papier de diagramme utilisé,

Nous faisons des préparations les fiches mensuelles récapitulatives et les tableaux de dépouillement des trois stations pluviogrammes mentionné ci-dessus. Nous donnons, le dépouillement relatif à une averse enregistrée à Djelfa (17-02-08), la fiche mensuelles récapitulative et dépouillement de pluviogramme de mois de févriers 1998, dont le pluviogramme est tracé sur la Fig. IV.2.

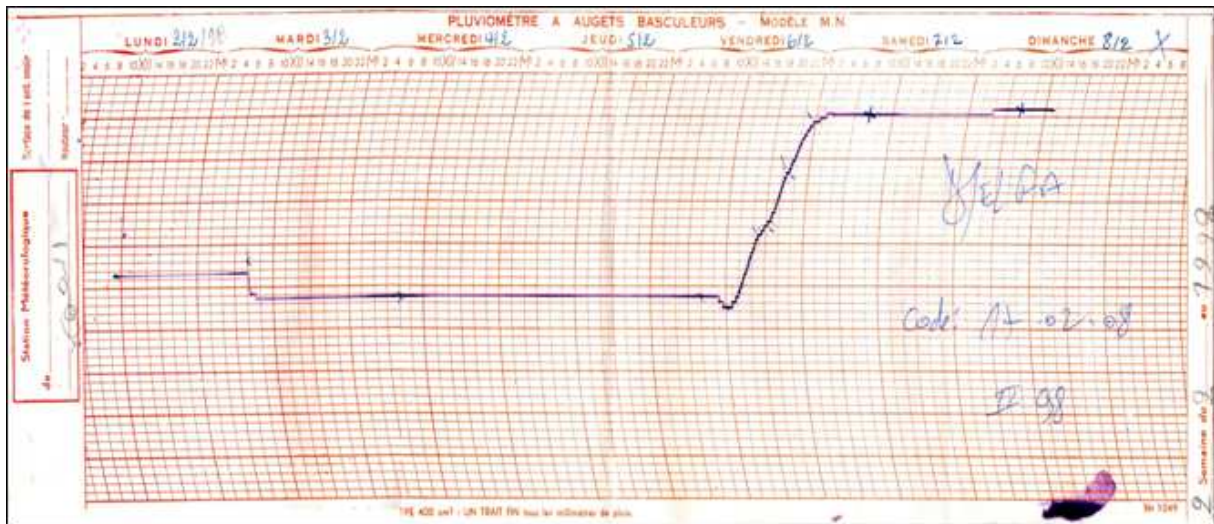


Fig. IV.2 : Diagramme enregistré au pluviographe averse du 06 février 1998 à Djelfa (ANRH).

IV.3.2.2.1 La fiche mensuelles récapitulative :

DEPOUILLEMENT DE PLUVIOGRAMMES

A N R H . HYDROLOGIE

FICHE MENSUELLE RECAPITULATIVE

Année : 1998
 Mois : Février

Marque du pluviographe :
Precis mecanique

Type : Hebdomadaire
 Surface : 400 cm²

1	3	4	9	10	13	14																							31	34					
3	5	0	1	7	0	2	0	8	0	2	9	8	D	J	E	L	F	A															1	3	2
CODE STATION												MOIS			AN		NOM DE LA STATION												M	T	S				

35																																		65			
2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4
JOURS DE PLUIE																																					

PG = 26,5 mm
 PV =
 SPG =

Code journalier

- 0- pas de pluie dans la journée
- 1- pluie dans la journée
- 2- pluviogramme en panne ou non parvenu
- 3- pluviogramme inexploitable
- 4-jour inexistant

OBSERVATEUR
DIFI Lamri

M = Marque du pluviographe

- 1. Précis mécanique
- 2. Richard
- 3. Filotechnica
- 4. Ott
- 5. Siap
- 6. Disponible

T = Type du pluviographe

- 1. journalier tambour
- 2. journalier table déroulante
- 3. hebdomadaire
- 4. Mensuel

S = Surface de réception

- 1. 314 m²
- 2. 400 cm²
- 3. 2000 cm²
- 4. 314 cm² dépouillé en 2000 cm²

Fig. IV.3 : La fiche mensuelles récapitulative (ANRH).

IV.3.2.2.2 La fiche de dépouillement de pluviogramme :

A. N. R. H. - Direction de l'Hydrologie

Dépouillement de Pluviogrammes

Station : DJELFA

Code : / 17 / 02 / 08 /

Mois de : Fevrier 19 98

Surface de réception 400 Cm² - 1 Basculement : 0,5 Mm.

Date Jour	Heure de Début	Heure de Fin	Nombre de basculem.	Hauteurs de Pluie (mm)	P. G. 8 H / 8 H	P. V. 18 H / 8 H	Seau P. G.	Code Qualité	Observations
03	08 ^h 10	08 ^h 25	5	2,5					
	09 ^h 24	09 ^h 25	1	0,5	3				
06	09 ^h 00	09 ^h 01	1	0,5					
	09 ^h 34	09 ^h 35	1	0,5					
	13 ^h 00	13 ^h 35	2	1					
	14 ^h 00	16 ^h 50	14	7					
	17 ^h 30	18 ^h 20	3	1,5					
	18 ^h 40	20 ^h 30	11	5,5					
	21 ^h 00	23 ^h 40	12	6					
	00 ^h 29	00 ^h 30	1	0,5					
	01 ^h 29	01 ^h 30	1	0,5	23				
	07	03 ^h 39	03 ^h 40	1	0,5	0,5			
					= 265 mm				

Dépouillé par : Aidi Kerim Secteur Hydrologique : Djella Date le 02 . 07 . 2012

Fig. IV.4 : La fiche de dépouillement de pluviogramme (ANRH).

IV.3.2.3 Dépouillement des courtes durées inférieures 24 heures :

C'est la quantité de pluie enregistrée dans une durée inférieure à 24 heures. Le tableau suivant représente un exemple de dépouillement horaire de l'averse enregistrée sur la bande d'enregistrement de pluviographe type hebdomadaire (Fig. IV.2), le 06-02-1998 dans la station de Djelfa code (17-02-08).

Tableau IV.6 : Dépouillement horaire de l'averse enregistrée le 06-02-98

Date de l'averse			Pluie totale et par intervalle		Durée de l'intervalle (Δt)
Année	Heur	min	quantité de pluie depuis le début de l'averse	quantité de pluie par intervalle (mm)	
06-02-1998	9	0	0	0	0
	9	1	0.5	0.5	1
	9	35	1	0.5	34
	13	35	2	1	240
	16	50	9	7	195
	18	20	10.5	1.5	90
	20	30	16	5.5	130
	23	40	22	6	190
	0	30	22.5	0.5	50
	1	30	23	0.5	60

Voir l'annexe

L'annexe N° 03 présente quelque dépouillement horaires des averses enregistrées sur les bandes d'enregistrement des pluviographes type hebdomadaire des 03 stations sont MERGUEB B/HAFFAF 28 années, Djelfa 27 années et DAR CHIOUKH 26 années observation.

IV.3.2.4 Conventions de dépouillement :

Par convention, l'ensemble des enregistrements pluviographiques disponibles ont été dépouillé au pas hebdomadaire en extrayant, pour chaque semaine. Cette série pluviographiques, donné sous forme de pluviogrammes, la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps, c'est à dire pendant toute la durée de l'épisode pluvieux. Un dépouillement, un par un, des pluviogrammes de chacun des épisodes pluvieux enregistrés est effectué. Ce dépouillement permet de déterminer, pour chaque événement pluvieux, les plus fortes hauteurs de la pluie (ou intensité) correspondant chacune

à des durées bien déterminées (1min, 5min, 10min, 20min, 30min, 40min, 60min, 90min, 150min, 300min, 600min,720min et 1440min) au cours de ce même évènement. Une série de durées complètes (SDC) est ainsi formée. Cette SDC est composé de plusieurs groupes. Chacun de ces groupes correspond à une durée d'agrégation (temps de référence). Les hauteurs de pluies (ou intensités) pour les différentes durées sont ainsi consignées dans des échantillons (groupes) distincts. Les groupes ainsi constitués n'ont pas tous la même taille, vu que les épisodes pluvieux n'ont pas tous la même durée.

L'analyse des durées des épisodes pluvieux enregistrés dans les trois stations pluviographiques du bassin versant du Zahrez est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.7 : La répartition des nombres d'épisodes pluvieux en fonction de leur durée.

Station de pluviographe	Nbr total d'épisodes	La répartition des nombres d'épisodes pluvieux (%) en fonction de leur durée (min).								
		≤ 10	10-30	30-60	60-90	60-150	150-300	300-600	600-720	720-1440
Djelfa	943	42	5	4	4	6	9	15	4	10
MERGUEB B/H	1581	37	5	5	4	7	10	13	5	13
DAR CHIOUKH	313	1	3	6	4	12	22	35	5	12

Dans la première station **Djelfa code : 17 02 08** sont enregistrés plus 900 épisodes pluvieux. Plus de 42 % des averses ont une durée inférieure ou égale à 10 min. Le pourcentage de nombre d'épisodes pluvieux est varié en fonction de leur durée (min), seulement 4 % des épisodes pluvieux ont une durée égale ou inférieure à 1 heure (30-60min), voir le tableau IV.6.

Les épisodes pluvieux ayant une durée inférieure ou égale à 12 heures, représentent 90% du total du nombre d'épisodes enregistrés (943). 75 % est tombée pendant les 6 premières heures de cet épisode. De même pour les pluies ayant une durée inférieure ou égale à 24heures, 29 % du cumul de la hauteur de la pluie tombée en 6 heures. Ainsi que pour les 94 épisodes enregistrés ayant une durée inférieure à 24 heures, c.-à-d. une durée entre (720-1440 min), 13 % du cumul de la pluie au cours de l'évènement tombe en 6 heures. La figure IV.5 montre le nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à la station de Djelfa (17 02 08) en fonction de leur durée.

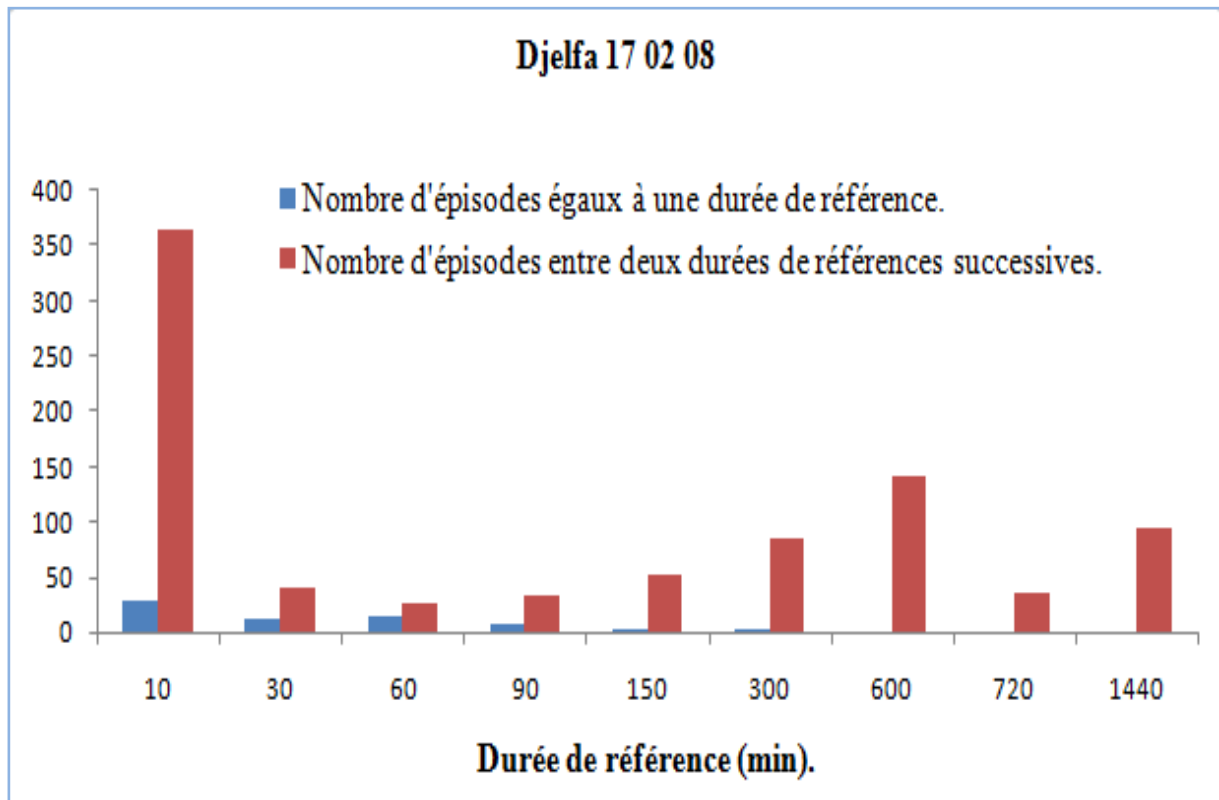


Fig. IV.5 Nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à station de Djelfa (17 02 08) en fonction de leur durée.

Dans la deuxième station **MERGUEB B / HAFFAFE code : 17 02 19** sont enregistrés 1580 d'épisodes pluvieux. Plus de 37 % des averses ont une durée inférieure ou égale à 10 min. Le pourcentage de nombre d'épisodes pluvieux est varié en fonction de leur durée (min), et que seulement 5 % des épisodes pluvieux ont une durée égale ou inférieure de 1 heure (30-60min). Voir tableau IV.6. Pour les épisodes pluvieux ayant une durée inférieure ou égale à 12 heures, en moyenne 87 % du cumul de la hauteur de la pluie au cours de cette durée (720 min), 72 % est tombée pendant les 6 premières heures de cet épisode. Ainsi que pour les 208 épisodes enregistrés ayant une durée inférieure à 24 heures (720-1440 min), c.-à-d. 13 % du cumul de la hauteur de la pluie ayant une durée inférieure à 24 heures, la fig. IV.6 montre que le nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à station de MERGUEB B / HAFFAFE (17 02 19) en fonction de leur durée.

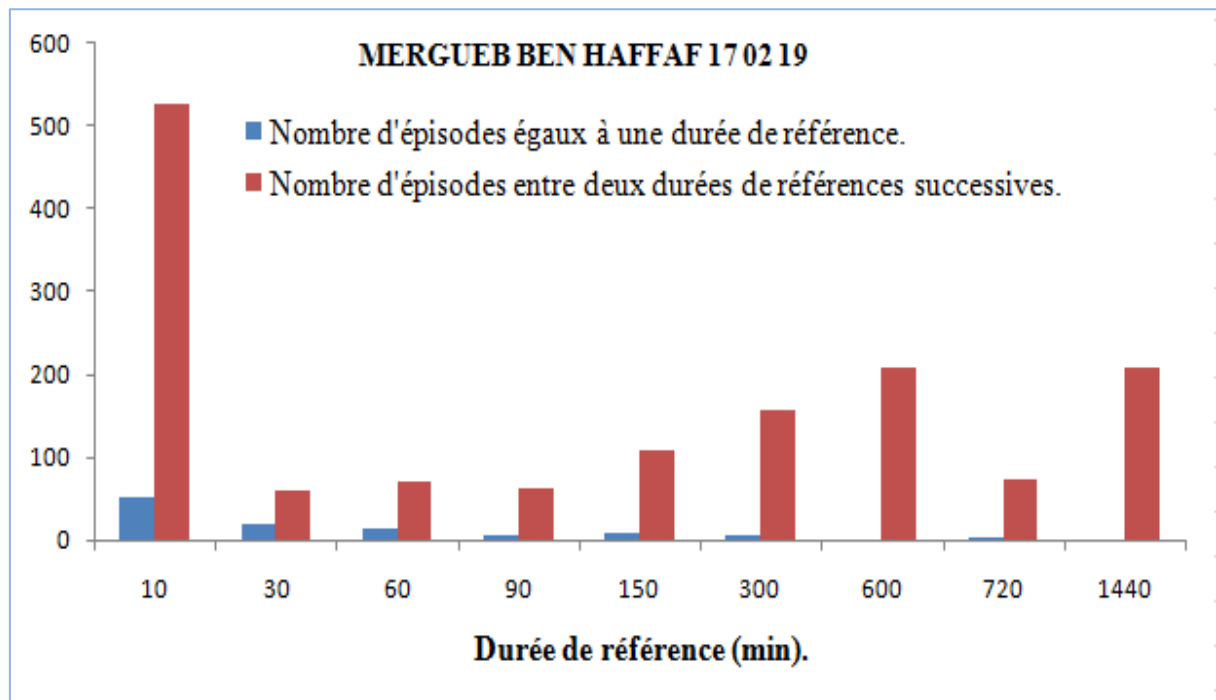


Fig. IV.6 Nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à station de MERGUEB B / HAFFAFE (17 02 19) en fonction de leur durée.

Dans la dernière station **DAR CHIOUKH code : 17 05 03** sont enregistrés des 313 d'épisodes pluvieux. Plus de 1 % des averses ont une durée inférieure ou égale à 10 min. Le pourcentage de nombre d'épisodes pluvieux est varié en fonction de leur durée (min), et que seulement 6 % des épisodes pluvieux ont une durée égale ou inférieure de 1 heure (30-60min). Voir tableau IV.6. Pour les épisodes pluvieux ayant une durée inférieure ou égale à 12 heures, représentent 88 % du total du nombre d'épisodes enregistrés (313). 58 % est tombée pendant les 6 premières heures de cet épisode. Ainsi que pour les 39 épisodes enregistrés ayant une durée inférieure à 24 heures (720-1440 min), c.-à-d. 12 % du total du nombre d'épisodes enregistrés (313). La fig. IV.7 montre le nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à la station de DAR CHIOUKH (17 05 03) en fonction de leur durée.

D'après les analyses des durées des épisodes pluvieux enregistrés dans les trois stations de pluviographe de bassin versant du Zahrez (tableau IV.6), nous ne remarquerons aucun épisode enregistré dans toutes les stations pluviographiques ayant une durée égale ou supérieure à 24 heures,

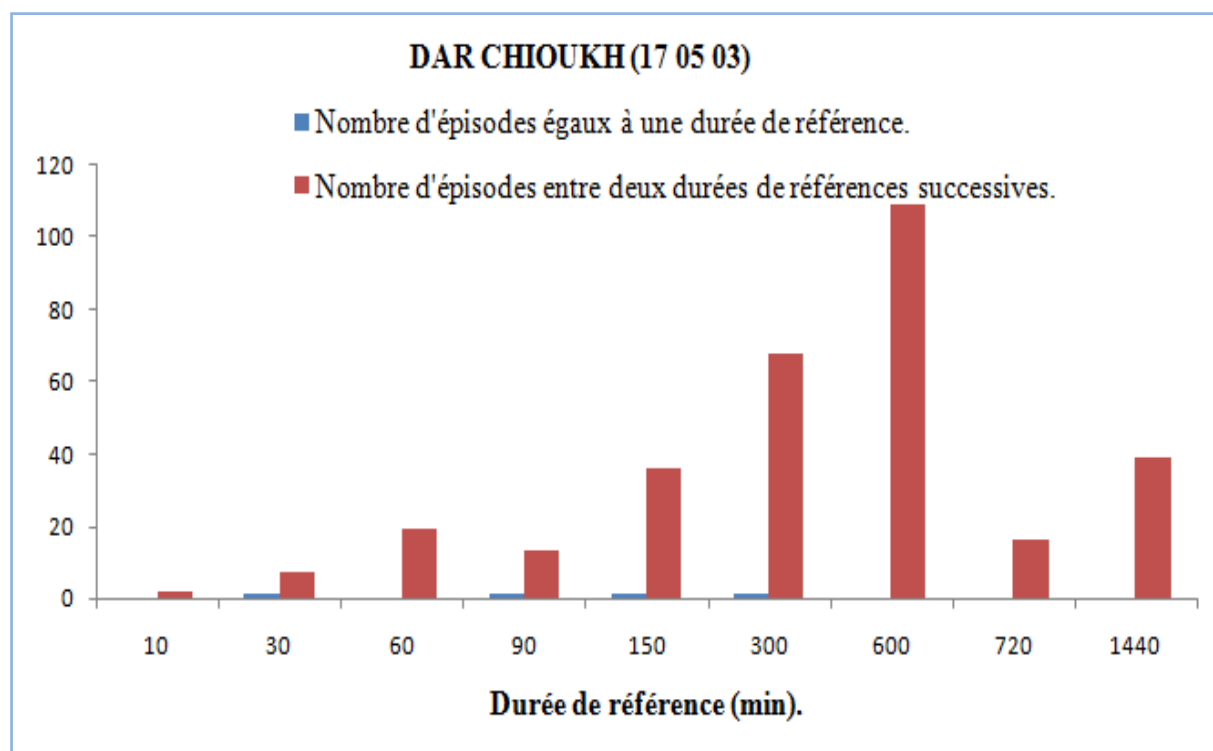


Fig. IV.7 Nombre d'épisodes pluvieux enregistrés à station de DAR CHIOUKH (17 05 03) en fonction de leur durée.

Alors, en considérant la série des hauteurs de pluie pour différentes durées, il ressort que ces averses (de moins de 6 heures) ont des intensités très variables, avec une succession de très forte intensité sur de courtes durées puis d'intensité moindre et plus uniforme sur une plus longue durée. Cette succession peut se produire à plusieurs reprises surtout pour les événements ayant une durée de quelques heures. Il est fait le même constat pour les épisodes ayant des durées entre (12-24) heures. Il peut être dit sans trop d'erreurs que les plus fortes intensités de la pluie dans le bassin du Zahrez surviennent pendant les 6 premières heures de l'épisode pluvieux. Le dépouillement des trois stations de pluviographe du Zahrez (Bv.17) seront établies pour des durées d'agrégation de : 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 300, 600, 720 et 1440 minutes. La durée d'agrégation maximale étant de 24 heures.

IV.3.2.5 Aspects pratiques:

En dehors de son caractère répétitif et fastidieux, ce travail de dépouillement demandait beaucoup de soin et un très bon esprit critique pour bien repérer, sur les enregistrements, les défauts de capteurs, les mauvais fonctionnements d'appareillage et tous les problèmes que l'on rencontre normalement sur ce type de support. Il faut savoir, notamment, qu'on ne dépouille pas, en quantité, des enregistrements pluviographiques comme n'importer quelle courbe ou tableau de chiffres et que l'attention portée aux données, au moment du dépouillement, est un facteur essentiel de la qualité des résultats finaux.

On s'est notamment aperçu, en cours de projet, que certains dépouillements qui avaient été effectués au départ demandaient à être complètement repris avant d'être validés et que le temps moyen nécessaire pour dépouiller proprement une chronique complète était beaucoup plus important que ce qui avait été prévu initialement.

Pour illustration nous présentons dans le tableau IV.8, un exemple de dépouillement de l'averse enregistrée le 06-02-98 dans la station pluviographe de Djelfa 17 02 08.

Tableau IV.8 : dépouillement de l'averse enregistrée le 06-02-98 dans la station Djelfa (17 02 08).

Dépouillement de l'averse			Choix des pluies max dans les intervalles				
Heur	Min	quantité de pluie depuis le commencement de l'averse [mm]	Intensité [mm/min]	Intervalle [mn]	Début et fin d'intervalle heur : min	Pluie max [mm]	Intensité [mm/mn]
06-02-1998				1	9:00 09:01	0.5000	0.5000
9	0	0.0	-	5	9:00 09:05	0.5588	0.1118
	1	0.5	0.50000	10	9:00 09:10	0.6324	0.0632
	35	1.0	0.01471	20	9:00 09:20	0.7794	0.0390
13	35	2.0	0.00417	30	9:00 09:30	0.9265	0.0309
16	50	9.0	0.03590	40	9:00 09:40	1.0208	0.0255
18	20	10.5	0.01667	60	9:00 10:00	1.1042	0.0184
20	30	16.0	0.04231	90	9:00 10:30	1.2292	0.0137
23	40	22.0	0.03158	150	9:00 11:30	1.4792	0.0099
0	30	22.5	0.01000	300	9:00 14:00	2.8974	0.0097
1	30	23.0	0.00833	600	9:00 19:00	12.1923	0.0203
				720	9:00 21:00	16.9474	0.0235
				990	9:00 01:30	23.0000	0.0232

On fournit, à titre d'illustration, pour 03 stations pluviographe de bassin du Zahrez, Djelfa code : 17 02 08 (Annexe 3), DAR CHIOUKH code : 17 05 03 (Annexe 4) et MERGUEB B_HAFFAF code : 17 02 19 (Annexe 5).

Les tableaux suivant représentant la conséquence des dépouillements des averses enregistrées dans les 03 stations pluviographes, cette conséquence est l'intensité maximale annuelle (mm/mn) pour chaque station qui mentionnés ci-dessus.

Tableau IV.9 : Intensités maximales annuelles de quelques années à la station de Djelfa

Année	Intensités maximales annuelles (mm/mn)												
	1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600	720	1440
1976	1.800	1.800	1.300	0.651	0.434	0.326	0.218	0.146	0.088	0.045	0.023	0.019	0.010
1979	1.000	0.900	0.300	0.158	0.121	0.097	0.069	0.050	0.043	0.029	0.018	0.015	0.003
1983	0.500	0.350	0.350	0.242	0.183	0.158	0.158	0.126	0.101	0.073	0.050	0.043	0.007
1991	1.000	0.700	0.353	0.200	0.167	0.158	0.158	0.117	0.097	0.082	0.041	0.035	0.018
1998	1.000	1.000	0.800	0.561	0.389	0.303	0.209	0.140	0.085	0.075	0.020	0.024	0.016

Tableau IV.10 : Intensités maximales annuelles de quelques années à la station de MERGUEB B / H

Année	Intensités maximales annuelles (mm/mn)												
	1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600	720	1440
1972	0.950	0.950	0.950	0.950	0.656	0.501	0.338	0.231	0.150	0.085	0.045	0.040	0.022
1977	1.000	1.000	1.000	0.475	0.329	0.329	0.329	0.308	0.227	0.053	0.032	0.029	0.016
1982	1.000	0.400	0.400	0.338	0.338	0.338	0.085	0.080	0.067	0.024	0.016	0.014	0.007
1993	0.500	0.300	0.300	0.152	0.102	0.100	0.100	0.083	0.058	0.035	0.021	0.018	0.010
1998	0.500	0.200	0.200	0.102	0.070	0.053	0.037	0.027	0.023	0.015	0.006	-	-

Tableau IV.11 : Intensités maximales annuelles de quelques années à la station de DAR CHIOUKH

Année	Intensités maximales annuelles (mm/min)												
	1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600	720	1440
1980	0.950	0.500	0.321	0.225	0.318	0.375	0.268	0.069	0.063	0.058	0.034	0.041	0.027
1987	0.800	0.350	0.232	0.143	0.113	0.099	0.067	0.037	0.114	0.037	0.026	0.024	0.013
1993	3.550	1.580	0.791	0.396	0.281	0.233	0.155	0.104	0.085	0.044	0.026	0.022	0.009
1998	0.533	0.320	0.205	0.205	0.205	0.201	0.147	0.111	0.089	0.061	0.042	-	-
2003	6.100	1.289	0.670	0.362	0.261	0.211	0.254	0.198	0.129	0.092	0.057	0.037	0.020

IV.4 Traitement statistique des séries des enregistrements pluviographiques :

IV.4.1 Homogénéité des données d'intensité pluviale :

Plusieurs tests statistiques sont utilisés pour s'assurer de l'homogénéité d'une série statistique. Nous retenons pour notre étude le test de Wilcoxon, celle-ci est détaillée dans le chapitre précédent. Le tableau suivant montre les procédés de Test d'homogénéité (test de Wilcoxon) pour la série de l'intervalle de temps (1 min) de la station de Djelfa 17 02 08.

Tableau IV.12 : Test d'homogénéité pour l'intervalle de temps (1 min)

Année	Série	(1) X	(2) Y	(3) Rangs	(4) X U Y	(5) Origine
1976	1.800	1.800	1.300	1	0.500	x
1977	1.000	1.000	3.200	2	0.500	x
1978	0.600	0.600	1.300	3	0.500	x
1979	1.000	1.000	1.000	4	0.500	x
1980	0.500	0.500	0.500	5	0.500	y
1981	0.500	0.500	0.625	6	0.500	y
1982	0.600	0.600	1.100	7	0.500	y
1983	0.500	0.500	4.500	8	0.500	y
1984	0.900	0.900	0.500	9	0.500	y
1985	0.500	0.500	1.000	10	0.600	x
1986	2.100	2.100	0.500	11	0.600	x
1987	0.700	0.700	0.500	12	0.625	y
1988	1.300		2.000	13	0.700	x
1989	3.200		0.500	14	0.900	x
1990	1.300			15	1.000	x
1991	1.000			16	1.000	x
1992	0.500			17	1.000	y
1993	0.625			18	1.000	y
1994	1.100			19	1.100	y
1996	4.500			20	1.300	y
1997	0.500			21	1.300	y
1998	1.000			22	1.800	x
1999	0.500			23	2.000	y
2000	0.500			24	2.100	x
2001	2.000			25	3.200	y
2002	0.500			26	4.500	y

La série des intensités maximales annuelles pour 1 min de la station de Djelfa X a une taille $N_2 = 26$. La somme des rangs de la série des X, $W_x = 135$. Les quantités W_{\min} et W_{\max} , prennent respectivement les valeurs 123,39 et 200,61.

Ainsi l'hypothèse nulle H_0 du test de Wilcoxon est vérifiée ($W_{\min} < W_x < W_{\max}$). La série des intensités maximales annuelles pour 1 min de la station de Djelfa peut être considérée comme homogène.

Donc, Les résultats des tests d'homogénéité des séries des intensités maximales annuelles pour chaque station de pluviographe sont résumés dans les tableaux suivant.

Tableau IV.13 : Résultats de test d'homogénéité des séries

Station	Temps	W_x	W_{\min}	W_{\max}	Observation
Djelfa 17 02 08	1	135	123.39	200.61	Homogène
	5	154	123.39	200.61	Homogène
	10	125	123.39	200.61	Homogène
	20	134	119.47	192.53	Homogène
	30	143	119.47	192.53	Homogène
	40	161	119.47	192.53	Homogène
	60	130	119.47	192.53	Homogène
	90	149	119.47	192.53	Homogène
	150	151	119.47	192.53	Homogène
	300	154	119.47	192.53	Homogène
	600	168	119.47	192.53	Homogène
	720	147	99.65	164.35	Homogène
	1440	122	99.65	164.35	Homogène

Tableau IV.14 : Résultats de test d'homogénéité des séries

Station	Temps	W_x	W_{\min}	W_{\max}	Observation
MERGUEB B/ HAFFAF 17 02 19	1	211	141.11	222.89	Homogène
	5	210	141.11	222.89	Homogène
	10	197	141.11	222.89	Homogène
	20	189	141.11	222.89	Homogène
	30	213	141.11	222.89	Homogène
	40	214	141.11	222.89	Homogène
	60	208	141.11	222.89	Homogène
	90	206	141.11	222.89	Homogène
	150	206	127.33	208.67	Homogène
	300	190	141.11	222.89	Homogène
	600	201	127.33	208.67	Homogène
	720	194	123.39	200.61	Homogène
	1440	193	123.39	200.61	Homogène

Tableau IV.15 : Résultats de test d'homogénéité des séries

Station	Temps	Wx	Wmin	Wmax	Observation
DAR CHIOUKH 17 05 03	1	117	99.65	164.35	Homogène
	5	123	99.65	164.35	Homogène
	10	136	99.65	164.35	Homogène
	20	134	99.65	164.35	Homogène
	30	127	99.65	164.35	Homogène
	40	138	99.65	164.35	Homogène
	60	125	99.65	164.35	Homogène
	90	110	99.65	164.35	Homogène
	150	117	99.65	164.35	Homogène
	300	115	99.65	164.35	Homogène
	600	138	99.65	164.35	Homogène
	720	79	53.44	98.56	Homogène
	1440	82	51.13	92.87	Homogène

IV.4.2 Test de la médiane (ou test de Mood) :

Le test de la Médiane ou test de Mood est ainsi choisi pour vérifier l'homogénéité de la série (**Voir le chapitre III**). Donc. Les résultats des tests de Mood des séries des intensités maximales annuelles pour chaque station de pluviographe sont résumés dans les tableaux suivant.

Tableau IV.16 : Les résultats de test de la Médiane des séries (station de Djelfa)

Station	Temps	X _{med}	N	Ns _{Obs}	Ts _{Obs}	Ns _{Cal}	Ts _{Cal}	Observation
Djelfa 17 02 08	1	0.80	26	13	4	8.41	7.97	Homogène
	5	0.75	26	13	4	8.41	7.97	Homogène
	10	0.41	26	13	3	8.41	7.97	Homogène
	20	0.24	25	12	4	8.00	7.91	Homogène
	30	0.17	25	12	4	8.00	7.91	Homogène
	40	0.15	25	12	4	8.00	7.91	Homogène
	60	0.12	25	12	4	8.00	7.91	Homogène
	90	0.09	25	12	3	8.00	7.91	Homogène
	150	0.08	25	12	4	8.00	7.91	Homogène
	300	0.05	25	12	4	8.00	7.91	Homogène
	600	0.02	25	12	6	8.00	7.91	Homogène
	720	0.02	23	11	5	7.20	7.79	Homogène
	1440	0.01	23	11	3	7.20	7.79	Homogène

Tableau IV.17 : Les résultats de test de la Médiane des séries (station de MERGUBE B/H)

Station	Temps	X_{med}	N	Ns_{Obs}	Ts_{Obs}	Ns_{Cal}	Ts_{Cal}	Observation
MERGUEB B / HAFFAF 17 02 19	1	0.625	27	13	7	8.81	8.02	Homogène
	5	0.600	27	13	8	8.81	8.02	Homogène
	10	0.500	27	13	6	8.81	8.02	Homogène
	20	0.300	27	13	4	8.81	8.02	Homogène
	30	0.238	27	13	6	8.81	8.02	Homogène
	40	0.193	27	13	4	8.81	8.02	Homogène
	60	0.151	27	13	4	8.81	8.02	Homogène
	90	0.128	27	13	5	8.81	8.02	Homogène
	150	0.084	27	13	3	8.81	8.02	Homogène
	300	0.043	27	13	4	8.81	8.02	Homogène
	600	0.024	27	13	4	8.81	8.02	Homogène
	720	0.026	26	12	4	8.41	7.97	Homogène
1440	0.014	26	12	4	8.41	7.97	Homogène	

Tableau IV.18 : Les résultats de test de la Médiane des séries (station de DAR CHIOUKH)

Station	Temps	X_{med}	N	Ns_{Obs}	Ts_{Obs}	Ns_{Cal}	Ts_{Cal}	Observation
DAR CHIOUKH 17 05 03 +	1	0.800	23	11	4	7.20	7.79	Homogène
	5	0.688	23	11	4	7.20	7.79	Homogène
	10	0.550	23	11	3	7.20	7.79	Homogène
	20	0.362	23	11	3	7.20	7.79	Homogène
	30	0.281	23	11	3	7.20	7.79	Homogène
	40	0.233	23	11	3	7.20	7.79	Homogène
	60	0.159	23	11	3	7.20	7.79	Homogène
	90	0.108	23	11	4	7.20	7.79	Homogène
	150	0.089	23	11	4	7.20	7.79	Homogène
	300	0.058	23	11	4	7.20	7.79	Homogène
	600	0.029	23	11	4	7.20	7.79	Homogène
	720	0.022	18	8	4	5.23	7.44	Homogène
	1440	0.011	17	8	3	4.84	7.36	Homogène

La taille de la série étant N, la quantité Ns_{Obs} et Ts_{Obs} . Soit $Ns_{Obs} > Ns_{Cal}$ et $Ts_{Obs} < Ts_{Cal}$. L'hypothèse nulle du test de la Médiane est donc vérifiée.

IV.5 Ajustement des intensités pluviales aux lois statistique :

IV.5.1 Choix du type de loi :

Une loi de probabilité se définit d'une part par sa formulation mathématique, ce qui distingue les différents types de lois, et d'autre part, par les valeurs des paramètres qui entrent dans la formulation mathématique et qui sont estimés d'après l'échantillon observé. A partir de cet échantillon, nous nous proposons de choisir la forme mathématique de la loi de probabilité (problème de bonne adéquation) et d'en calculer le mieux possible les paramètres numériques de cette loi (problème d'ajustement).

Dans cette étude, nous nous limiterons à l'emploi de quatre types de lois statistiques, chaqu'une de ces lois ne dépendant que de trois paramètres au plus, les lois sont : Log-normale, Log-normale (3 param.), Pearson type III, Log-Pearson type III. (Voir le chapitre I).

IV.5.2 Résultats de l'ajustement :

L'ajustement a été établi par le programme HYFRAN, autant nous donnons dans les tableaux suivant les résultats de calculs l'intensité fréquentielle en fonction leur durée par les différentes lois utilisées correspondant aux différentes périodes de retour (années), et pour chaque station.

Les ajustements de chaque modèle examiné (qui motionnée ci-dessus), correspondants aux séries des intensités maximales annuelles en fonction leur durée (1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 300, 600, 720 et 1440 min), et pour trois stations pluviographes de bassin du Zahrez sont présentés en annexe 6. Les figures IV.8 (a à d) montrent le prototype des ajustements pour la durée 1 et 5 min de la station de Djelfa.

IV.5.2.1 La station de pluviographe de Djelfa 17 02 08 :

IV.5.2.1.1 Pour de la durée 1 min :

Tableau IV.19 : L'intensité fréquentielle de la durée 1 min

Station	Djelfa 17 02 08					
	5	10	20	50	100	1000
Log-normale	1.520	2.020	2.540	3.290	3.910	6.340
Log-normale (3 param.)	1.670	2.270	2.910	3.830	4.580	7.500
Pearson type III	1.730	2.090	2.430	2.860	3.180	4.200
Log-Pearson type III	1.430	2.020	2.770	4.090	5.410	12.900

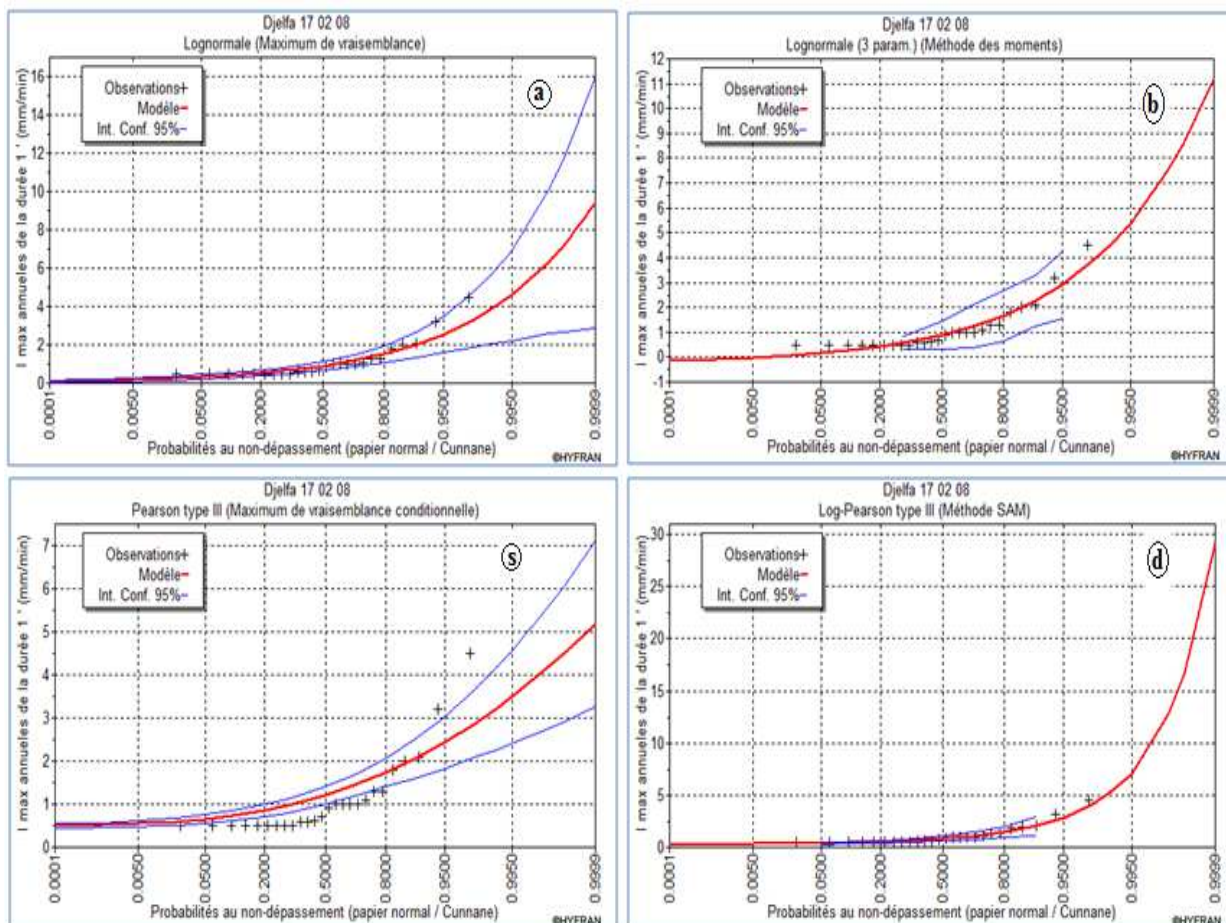


Fig. IV.8 Ajustements des données des intensités maximale annuelle pour 1min, par la loi : (a) Log-normal, (b) Log-normale (3 param.), (c) Pearson type III, (d) Log-Pearson type III.

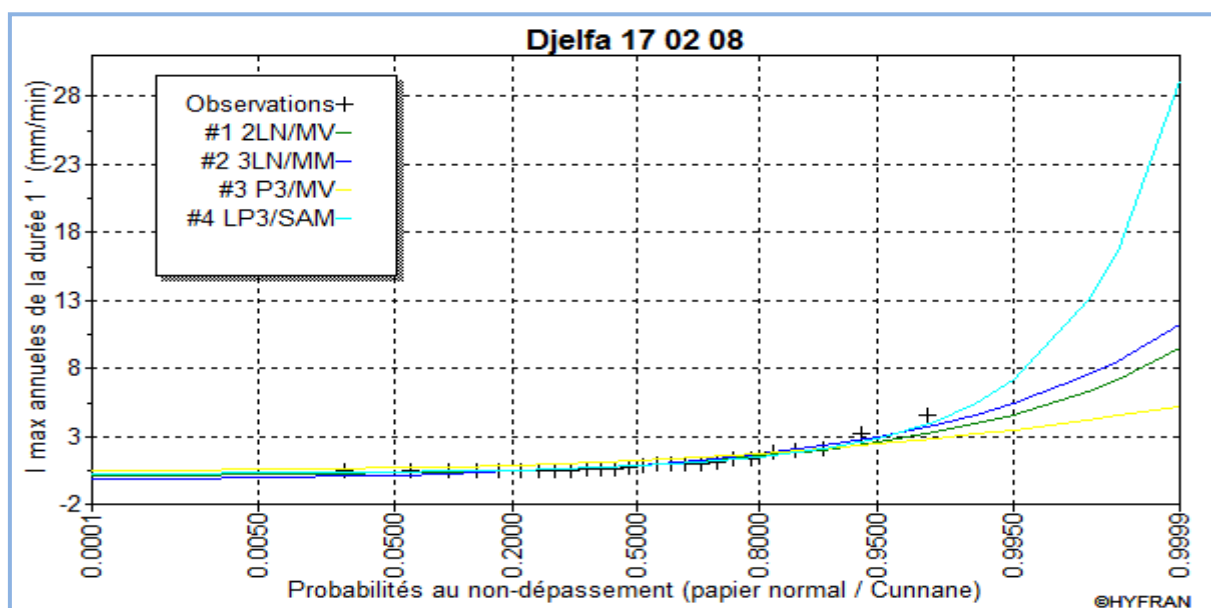


Fig. IV.9 Comparaison graphique des quatre lois d'ajustements des données des intensités maximale annuelle pour 1 min

IV.5.2.1.2 Pour de la durée 5 min :

Tableau IV.20 : L'intensité fréquentielle de la durée 5 min

Station	Djelfa 17 02 08					
	5	10	20	50	100	1000
Log-normale	1.28	1.80	2.38	3.25	3.50	6.18
Log-normale (3 param.)	1.36	1.81	2.25	2.85	3.32	5.02
Pearson type III	1.37	1.84	2.31	2.90	3.35	4.81
Log-Pearson type III	1.25	1.75	2.32	3.22	4.01	7.54

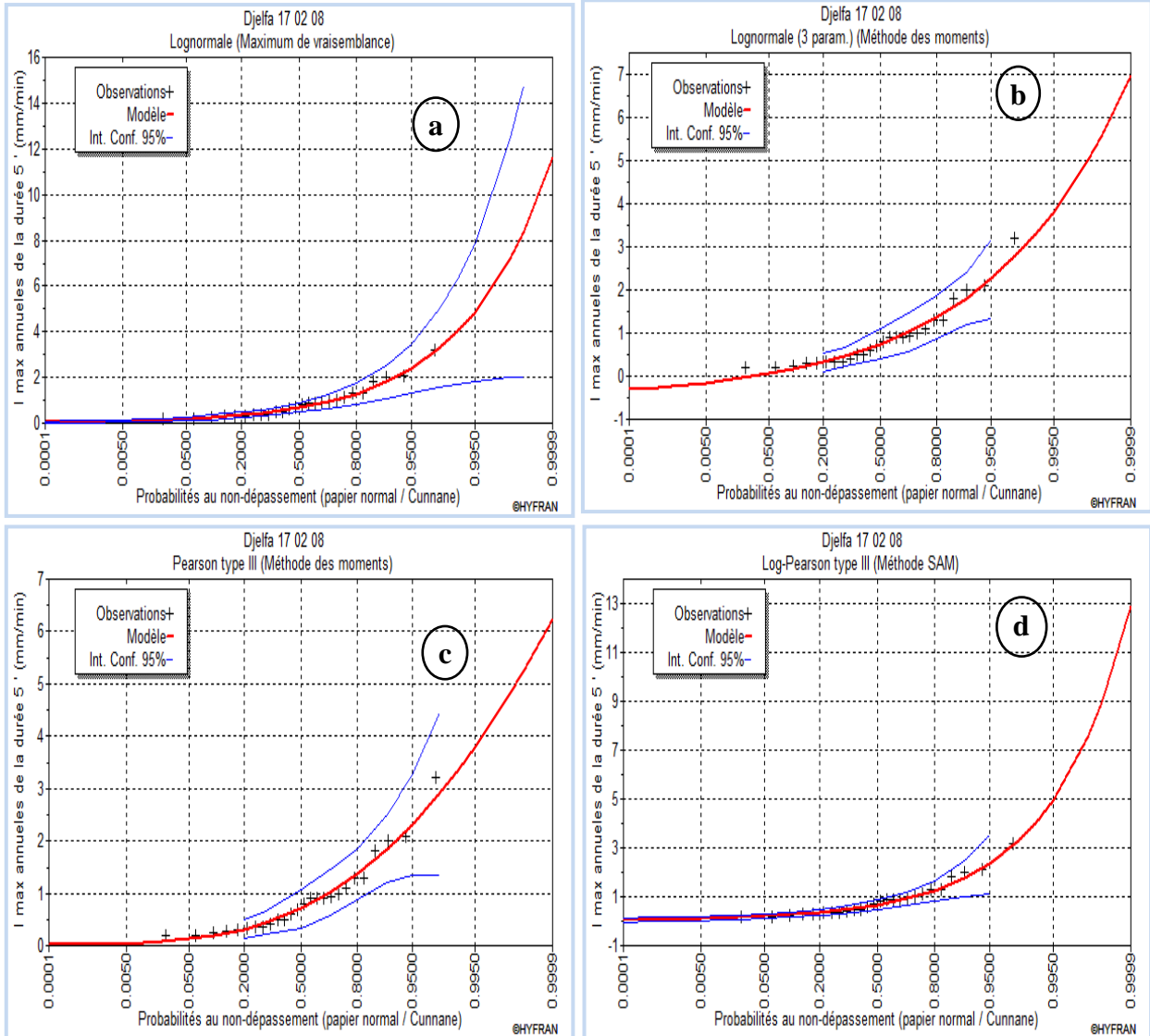


Fig. IV.10 Ajustements des données des intensités maximale annuelle pour 5 min, par la loi : (a) Log-normale, (b) Log-normale (3 param.), (c) Pearson type III, (d) Log-Pearson type III.

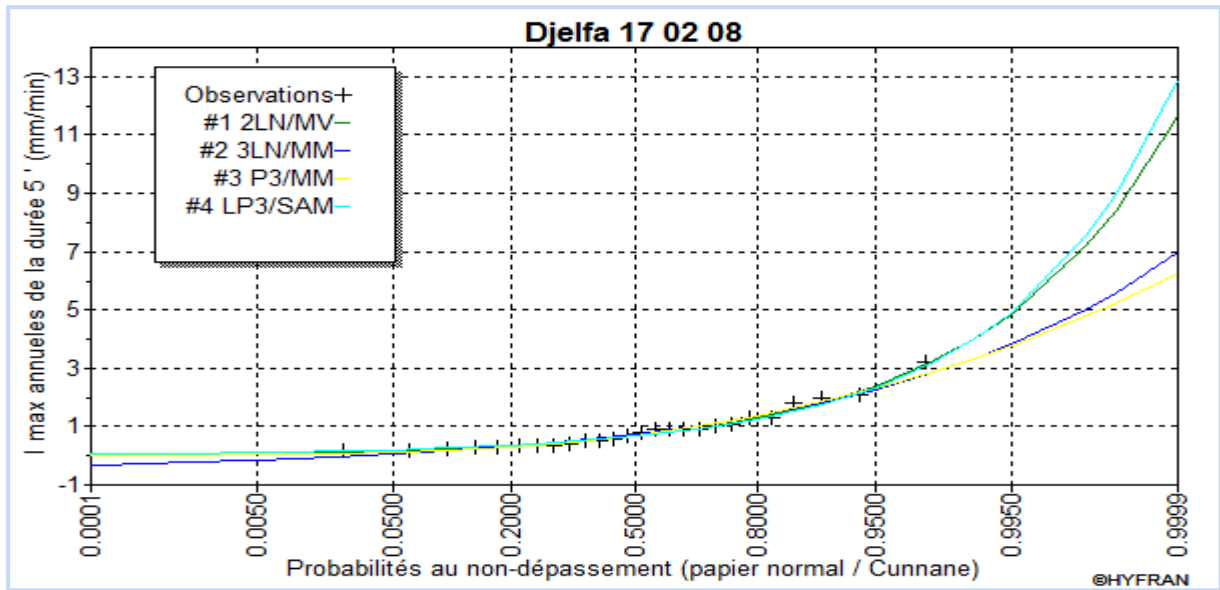


Fig. IV.11 Comparaison graphique des quatre lois d'ajustements des données des intensités maximale annuelle pour 5 min

Nous présentons aussi dans l'annexe les autres figures des courbes d'ajustement des données des intensités pluviales sur les papiers de probabilité log normale.

Alors, les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions homogénéité - stationnarité sont réunies. Parmi les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet à prime abord d'accepter ou de rejeter la loi (Toute sinuosité, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement). La loi de distribution théorique loi Log-normale a donné le meilleur ajustement des pluies de courtes durées, au vu du test de khi² comparativement aux autres lois de l'ajustement, pour la détermination des quantiles pour chaque pas de temps.

Les tableaux suivant représentent les résultats d'ajustement des intensités pluviales fréquentielles par la loi log normale dans différents intervalles de temps, période de retour et les paramètres des courbes de fréquences pour chaque station de pluviographe.

Tableau IV.21 : Intensités pluviales fréquentielles et les paramètres des courbes de fréquences : Djelfa 17 02 08

Durée de l'averse t (min)	Paramètres des courbes fréquentielle			Intensité des pluies (mm/min) fréquentielle %						Intensités des pluies observées (mm/min)		
	Ecart-type	C _v	C _s	80 (5 ans)	90 (10 ans)	95 (20 ans)	98 (50 ans)	99 (100 ans)	99.9 (1000 ans)	I _{min}	I _{moy}	I _{max}
1	0.950	0.845	2.360	1.520	2.020	2.540	3.290	3.910	6.340	0.500	1.124	4.500
5	0.718	0.805	1.660	1.280	1.800	2.380	3.250	3.500	6.180	0.200	0.892	3.200
10	0.527	0.842	1.560	0.884	1.230	1.610	2.180	2.680	4.730	0.150	0.627	2.000
20	0.278	0.828	1.380	0.494	0.714	0.968	1.360	1.710	3.250	0.045	0.335	1.068
30	0.185	0.777	1.500	0.343	0.477	0.626	0.851	1.040	1.850	0.035	0.237	0.758
40	0.140	0.724	1.440	0.280	0.384	0.498	0.668	0.812	1.400	0.031	0.194	0.602
60	0.096	0.647	1.420	0.210	0.280	0.354	0.462	0.551	0.905	0.025	0.148	0.434
90	0.067	0.617	0.998	0.161	0.220	0.284	0.380	0.462	0.795	0.017	0.109	0.292
150	0.041	0.521	0.473	0.119	0.162	0.209	0.278	0.337	0.576	0.007	0.079	0.177
300	0.024	0.481	0.716	0.076	0.103	0.133	0.176	0.213	0.362	0.003	0.050	0.117
600	0.011	0.401	0.107	0.038	0.048	0.058	0.072	0.083	0.124	0.004	0.027	0.050
720	0.009	0.402	0.680	0.029	0.035	0.041	0.048	0.054	0.073	0.009	0.023	0.043
1440	0.006	0.542	0.418	0.017	0.023	0.030	0.039	0.047	0.070	0.002	0.011	0.025

Tableau IV.22 : Intensités pluviales fréquentielles et les paramètres des courbes de fréquences, MERGUEB B/ HAFFAF (17 02 19)

Durée de l'averse (t) min	Paramètres des courbes fréquentielle			Intensité des pluies (mm/min) fréquentielle %						Intensité des pluies observées (mm/min)		
	Ecart-type	C _v	C _s	80	90	95	98	99	99.9	I _{min}	I _{moy}	I _{max}
				(5 ans)	(10 ans)	(20 ans)	(50 ans)	(100 ans)	(1000 ans)			
1	0.303	0.394	1.010	1.0866	1.3354	1.5688	1.9031	2.4577	3.5496	0.500	0.769	1.500
5	0.348	0.536	0.545	0.9150	1.1900	1.4700	1.8800	2.2000	3.4600	0.200	0.649	1.400
10	0.357	0.636	1.000	0.7940	1.0500	1.3300	1.7200	2.0500	3.3500	0.114	0.561	1.400
20	0.274	0.669	0.541	0.5990	0.8320	0.9610	1.0900	1.8200	3.2100	0.100	0.409	0.950
30	0.173	0.630	0.636	0.3920	0.5280	0.6750	0.8900	1.0700	1.7900	0.070	0.274	0.656
40	0.146	0.615	0.664	0.3380	0.4520	0.5035	0.5750	0.9010	1.4900	0.053	0.237	0.525
60	0.128	0.693	1.440	0.2600	0.3470	0.4410	0.5400	0.6900	1.1400	0.037	0.184	0.525
90	0.104	0.683	1.160	0.2180	0.2960	0.3800	0.5030	0.6070	1.0300	0.027	0.152	0.401
150	0.055	0.570	1.340	0.1340	0.1710	0.2090	0.2630	0.3060	0.4700	0.023	0.096	0.253
300	0.025	0.500	1.050	0.0670	0.0834	0.1000	0.1230	0.1400	0.2050	0.015	0.050	0.121
600	0.018	0.566	1.160	0.0436	0.0566	0.0703	0.0897	0.1050	0.1660	0.006	0.031	0.082
720	0.040	1.210	4.330	0.0432	0.0535	0.0639	0.0774	0.0900	0.1440	0.007	0.033	0.220
1440	0.008	0.521	0.344	0.0222	0.0295	0.0372	0.0482	0.0574	0.0935	0.002	0.015	0.031

Tableau IV.23 : Intensités pluviales fréquentielles et les paramètres des courbes de fréquences (DAR CHIOUKH 17 05 03)

Durée de l'averse (t) min	Paramètres des courbes fréquentielle			Intensités des pluies (mm/min) fréquentielle %						Intensités des pluies observées (mm/min)		
	Ecart-type	Cv	Cs	80 (5 ans)	90 (10 ans)	95 (20 ans)	98 (50 ans)	99 (100 ans)	99.9 (1000 ans)	I _{min}	I _{moy}	I _{max}
1	1.740	1.100	2.080	2.110	2.980	3.950	5.420	6.700	12.100	0.5000	1.5859	6.5000
5	0.523	0.659	1.340	1.180	1.640	2.150	2.920	3.570	6.290	0.1010	0.7935	2.3459
10	0.274	0.508	0.509	0.796	1.060	1.350	1.760	2.110	3.490	0.0857	0.5395	1.1803
20	0.185	0.493	0.254	0.535	0.693	0.858	1.090	1.280	2.010	0.0861	0.3761	0.7366
30	0.154	0.504	0.490	0.428	0.549	0.675	0.850	0.992	1.530	0.0828	0.3056	0.6652
40	0.141	0.553	1.180	0.353	0.452	0.554	0.696	0.811	1.240	0.0738	0.2545	0.6652
60	0.109	0.565	1.250	0.269	0.346	0.426	0.539	0.629	0.974	0.0507	0.1934	0.5100
90	0.068	0.537	1.430	0.172	0.216	0.261	0.323	0.373	0.555	0.0370	0.1259	0.3379
150	0.053	0.569	2.330	0.126	0.157	0.189	0.233	0.267	0.394	0.0270	0.0932	0.2897
300	0.031	0.535	1.590	0.079	0.099	0.119	0.146	0.168	0.247	0.0187	0.0586	0.1599
600	0.016	0.474	1.470	0.045	0.054	0.063	0.075	0.084	0.116	0.0141	0.0340	0.0812
720	0.013	0.499	0.668	0.035	0.045	0.056	0.070	0.082	0.116	0.0052	0.0250	0.0541
1440	0.007	0.529	0.941	0.019	0.023	0.028	0.035	0.040	0.059	0.0059	0.0138	0.0274

IV.5.3 Test d'adéquation d'ajustement statistique :

Comme nous l'avons déjà mentionné, nous ne connaissons qu'un échantillon de la population à étudier. D'après cet échantillon, nous choisirons la formulation mathématique de la loi de probabilité et nous calculerons les paramètres numériques de cette loi. On peut alors se demander quelle est la probabilité pour que la loi retenue représente effectivement la population mère dont l'échantillon est a priori représentatif (loi Log-normale). En testant cette hypothèse H_0 , on court deux risques :

- un risque de première espèce qui consiste à rejeter à tort l'hypothèse alors qu'elle est vraie.

La probabilité de ce risque est appelée niveau de signification à α %. Elle est définie par la valeur numérique du test, α étant toujours exprimé en probabilité au dépassement de cette valeur numérique ;

- un risque de deuxième espèce qui est d'accepter à tort l'hypothèse alors qu'elle est fausse.

La probabilité de ce risque étant β , on appelle puissance du test la valeur $(1-\beta)$.

Parmi tous les tests existants, le test du (Khi^2) est le plus pratique et le plus utilisé bien qu'il ne soit pas très puissant (**LABORDE. J.P., 2000**).

IV.5.4 Le test du Khi^2 :

Lorsqu'on procède à un ajustement d'une loi théorique de probabilité pour un échantillon la question qui se pose est de savoir si cette loi s'adapte d'une façon satisfaisante (**Touaïbia, B., 2004**).

Un examen graphique aussi intéressant qu'il soit ne pourrait suffire, il faut pouvoir tester par le calcul la qualité de l'ajustement réalisé. On utilise à cet effet le test de Khi^2 . Les règles d'emploi sont les suivantes :

- Le découpage en classes qui doit introduire des classes d'égale probabilité théorique et d'un effectif théorique d'au moins cinq (5) valeurs par classe.
- Calcul de x^2_{cal} :

$$x^2_{cal} = \sum_{i=1}^k \frac{(ni - \mu_i)^2}{\mu_i}$$

Avec :

n_i : effectif observé de la classe i .

μ_i : effectif théorique de la classe i .

- Calcul de nombre de degré de liberté.

$$U = k-1-p.$$

Avec :

P : nombre de paramètres à partir des valeurs expérimentales pour ajuster à la loi théorique.

- k : nombre de classe.

Donc, le résultat de vérification pour chaque station de pluviographe de bassin du Zahrez est donné dans les tableaux suivant.

Tableau IV.24 les résultats de test de Khi^2 des différents intervalles de temps pour la station de Djelfa 17 08 02

Résultats	1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600	720	1440
X^2	27.85	3.62	5.23	1.6	2.72	4.96	2.72	5.52	6.08	11.12	7.2	2.87	2.26
p-value	0	0.461	0.264	0.809	0.606	0.291	0.606	0.238	0.193	0.025	0.126	0.580	0.688
Degrés de liberté	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Nombre de classes	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Tableau IV.25 les résultats de test de Khi^2 des différents intervalles de temps pour la station de MERGUBE B H

Résultats	1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600	720	1440
X^2	15.78	2.81	3.85	4.37	7.48	6.96	4.89	1.78	2.81	2.3	5.41	6.31	0.92
p-value	0.003	0.589	0.426	0.358	0.113	0.138	0.299	0.777	0.589	0.681	0.248	0.177	0.921
Degrés de liberté	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Nombre de classes	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Tableau IV.26 les résultats de test de Khi^2 des différents intervalles de temps pour la station de DAR CHIOUKH

Résultats	1	5	10	20	30	40	60	90	150	300	600	720	1440
X^2	21.74	3.48	5.3	2.87	2.87	7.74	1.04	1.04	1.65	4.09	2.87	2	2.41
p-value	0	0.481	0.258	0.580	0.580	0.102	0.903	0.903	0.799	0.394	0.580	0.572	0.491
Degrés de liberté	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Nombre de classes	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6

Conclusion

L'objectif de l'actuel chapitre est de déterminer intensités pluviale au moyen des données pluviométriques et pluviographiques. Dans une première étape, l'intensité est déterminée par les formules empiriques (**formules de Grisolle, de Mantana et de Keiffer et Chu.**). Dans la deuxième, elle est déterminée par le dépouillement des pluviographes. L'étude a été menée en utilisant toutes les données disponibles de l'**ANRH** de Djelfa. Ces données sont issues de deux sources : les fichiers de pluies journalières maximales mensuelles pour dix stations et des bandes d'enregistrement pour trois stations pluviographes à augets basculeur. Les stations pluviographiques sont : Djelfa, MERGUEB B/HAFFAF et DAR CHIOUKH. Les périodes d'observation sont respectivement 1976- 2002, 1971-1998 et 1978-2003. Le dépouillement est basé sur des bandes d'enregistrement des 943 d'épisodes pour la station de Djelfa, 1580 d'épisodes pour la station de MERGUEB B/H et 313 d'épisodes pour la station de DAR CHIOUKH. Les averses ont été établies pour des durées de références suivantes ; 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 300, 720 et 1440 minutes. Le travail de dépouillement et de mise en forme de ces données ont été une opération longue et fastidieuse.

Le test d'homogénéité de Wilcoxon à été utilisé pour détecter les anomalies qui peuvent être incluse dans les données de mesures de ces séries. Ce test a montré que les données d'observation sont homogènes et issue de la même population statistique. Ainsi, dans ce chapitre nous avons testés quelques lois couramment utilisées en hydrologie (Log-normal, Log-normale (3 param.), Pearson type III, Log-Pearson type III) pour déterminer les quantiles des intensités pluviales. Il s'est avéré que les lois Log-normale s'ajustent au mieux aux données empiriques (données des intensités pluviales) par contre pour les autres lois utilisées les points expérimentaux (observés) ne s'alignent pas bien avec les droites d'ajustement de ces dernières. Nous avons retenu la loi log-normale pour la suite de l'étude. L'ajustement a été établi par le programme "HYFRAN" (voir l'annexe). L'application des tests d'adéquation consiste à vérifier l'hypothèse H_0 , selon la laquelle une certaine loi de répartition $F(x)$ s'ajuste mieux aux points expérimentaux. L'un des tests qu'on a utilisé est le test du Khi^2 .

Un fichier est crée identifiant toutes les averses enregistrées (numéro, date, durée et intensité pluviale) voir la annexe. Ces données seront utilisées dans la modélisation des intensités pluviales, cette dernière fera l'objet d'une étude approfondie dans le chapitre suivant.

Chapitre V :
Modélisation de l'intensité pluviale du Zahrez.

V.1 Modélisation de l'intensité pluviale :

Il est souhaitable de disposer d'un grand nombre d'observations d'intensités caractéristiques mesurées pendant de longues années au moyen d'un pluviographe spécialement conçu à cet effet pour évaluer avec exactitude les intensités pendant des dépouillement de bandes d'enregistrement des averses pour des durées de références : 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 300, 720, 1440 minutes et de tracer des courbes intensité-durée pour chaque station. Un fichier donnée annexes (3, 4 et 5) est crée identifiant toutes les averses enregistrées (numéro, date, durée, intensité pluviale). Pour illustration nous présentons dans le tableau IV.8, un exemple de dépouillement de l'averse enregistrée le 06-02-98 dans la station Djelfa (17 02 08).

Les intensités pluviales sur les divers intervalles du temps ont été calculées par la relation:

$$I_t = \frac{P_t}{t} \quad (V.1)$$

- P_t : pluie de durée (pluie de courte durée),
- t : temps de pluie.

La relation entre l'intensité pluviale et la durée de pluie est inversement proportionnelle. Cette intensité décroît avec l'augmentation de la durée de pluie. L'évolution dans le temps de l'intensité pluviale de quelques averses choisies arbitrairement est présentée dans la fig. V.1.

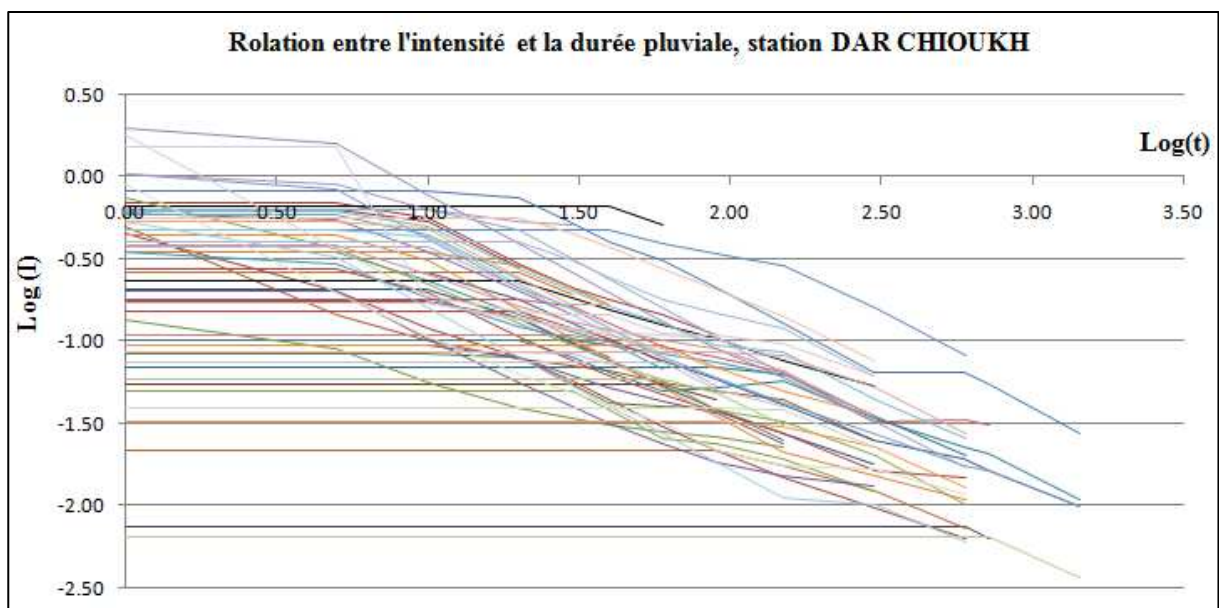


Fig. V.1: Evolution de l'intensité pluviale dans le temps.

Comme le montre cette figure, les pentes des courbes caractérisant la réduction de l'intensité pluviale avec l'augmentation de la durée, ainsi que les intensités pluviales limites (intersection de la courbe avec l'axe des ordonnées) sont très variées.

A la première lecture de ces courbes, deux constatations peuvent être décrites, la première : les courbes des intensités pluviales, pour toutes les averses, l'approximation de la relation $[\log(I_t) = f(\log(t))]$ n'est pas linéaire. Le deuxième constat c'est que l'intensité pluviale chute d'une façon très significative dans les intervalles du temps [1-300 mn]. Le non linéarité de la relation dans ces intervalles réduits est lié au caractère de formation et de chute de pluie (Samokhin et all 1980).

V.2 La relation intensité-durée :

Nous présentons comme exemple la relation entre l'intensité pluviale et la durée de pluie du 27-06-1980 observée à la station de Djelfa (Fig. V.2). L'analyse de cette averse nous a permis d'établir la relation (V.1).

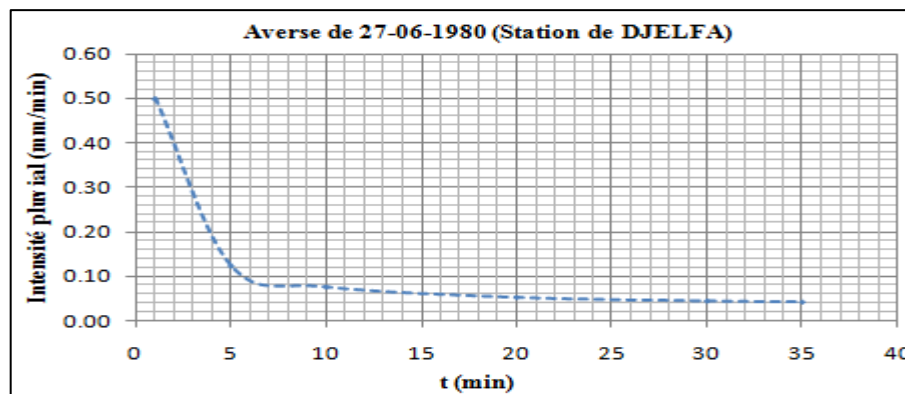


Fig. V.2 : Averse de 27-06-1980 à Djelfa (Courbe Intensité – Durée)

On remarque que les intensités diminuent lors que la durée augmente. La courbe des intensités en fonction de la durée définit ce qu'on appelle la relation intensité-durée pour l'averse considéré (fig. V.2). La forme générale de cette relation est donnée par la forme suivante:

$$I_t = \frac{A}{t^n} = A * t^{-n} \quad (V.2)$$

- I_t : intensité pluviale (mm/min) correspondant à la durée t (mm),
- A : Intensité de pluie limite, quant t \longrightarrow 1 min,

- n : exposant de réduction de l'intensité pluviale avec l'augmentation du temps de pluie.

L'usage de cette formulation (V.2), permettra aux utilisateurs de comparer les résultats observés avec les résultats obtenus, suivant le tableau V.1.

Tableau V.1: Comparaison des intensités pluviales calculée et observée 27-VI-1980 DJELFA

durée t (min)	1	5	10	20	30	35
pluie maximale (mm)	0.500	0.618	0.765	1.059	1.353	1.500
It observée (mm/min)	0.500	0.124	0.076	0.053	0.045	0.043
It calculée (mm/min)	0.434	0.145	0.091	0.057	0.043	0.039
écart absolu	0.066	0.022	0.014	0.004	0.002	0.004
écart absolu en % $\frac{I_{Cal} - I_{Obs}}{I_{Obs}} * 100$	13.20	17.60	18.57	6.90	4.74	9.74

V.3 Relation entre l'intensité pluviale, la durée et la fréquence (courbes I-D-F) :

Après avoir constitué des rangs statistiques des intensités maximales correspondantes à chaque intervalle de référence, un ajustement aux lois théoriques est effectué pour déterminer les quantiles de ces mêmes intensités. Le meilleur ajustement est donné par la loi log-normale, loi dissymétrique recommandée pour les régimes subdésertiques et désertiques (**Dubreuil, 74**). Le tableau suivant regroupe les valeurs d'ajustement des intensités pluviales, les paramètres des courbes d'ajustement à savoir l'intensité moyenne (I_M), le coefficient de variation (C_v) et le coefficient d'asymétrie (C_s) ainsi que les intensités maximales observées ($I_{max\ Obs}$) durant toute la période de mesure.

Tableau V.2 : Intensités pluviales fréquentielles et les paramètres des courbes de fréquences DAR CHIOUKH.

Durée min	Paramètres des courbes fréquentielle			Intensités des pluies (mm/min) fréquentielle %						I max Obs (mm/min)
				80	90	95	98	99	99.9	
	I_M	C_v	C_s	(5 ans)	(10 ans)	(20 ans)	(50 ans)	(100 ans)	(1000 ans)	
1	1.586	1.100	2.080	2.110	2.980	3.950	5.420	6.700	12.100	6.500
5	0.793	0.659	1.340	1.180	1.640	2.150	2.920	3.570	6.290	2.346
10	0.540	0.508	0.509	0.796	1.060	1.350	1.760	2.110	3.490	1.180
20	0.376	0.493	0.254	0.535	0.693	0.858	1.090	1.280	2.010	0.737
30	0.306	0.504	0.490	0.428	0.549	0.675	0.850	0.992	1.530	0.665
40	0.255	0.553	1.180	0.353	0.452	0.554	0.696	0.811	1.240	0.665
60	0.193	0.565	1.250	0.269	0.346	0.426	0.539	0.629	0.974	0.510
90	0.126	0.537	1.430	0.172	0.216	0.261	0.323	0.373	0.555	0.338
150	0.093	0.569	2.330	0.126	0.157	0.189	0.233	0.267	0.394	0.290
300	0.059	0.535	1.590	0.079	0.099	0.119	0.146	0.168	0.247	0.160
600	0.034	0.474	1.470	0.045	0.054	0.063	0.075	0.084	0.116	0.081
720	0.025	0.499	0.668	0.035	0.045	0.056	0.070	0.082	0.126	0.054
1440	0.014	0.529	0.941	0.019	0.023	0.028	0.035	0.040	0.059	0.027

Les relations Intensité-Durée-Fréquence sont présentées dans la Fig. V.3 Généralement toutes les analyses des averses ont permis de définir deux lois générales de la pluviosité qui peuvent s'exprimer de la manière suivante:

- 1- Pour une même fréquence d'apparition - donc une même période de retour - l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte;
- 2- A durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc que sont temps de retour sera grand)

L'analyse des relations $[\log (I_{t, T}) = f(\log t)]$, présentées dans la Fig. V.2, cette figure montre à l'évidence de prototype des courbes Intensité-Durée-Fréquence de la station de DAR CHIOUKH.

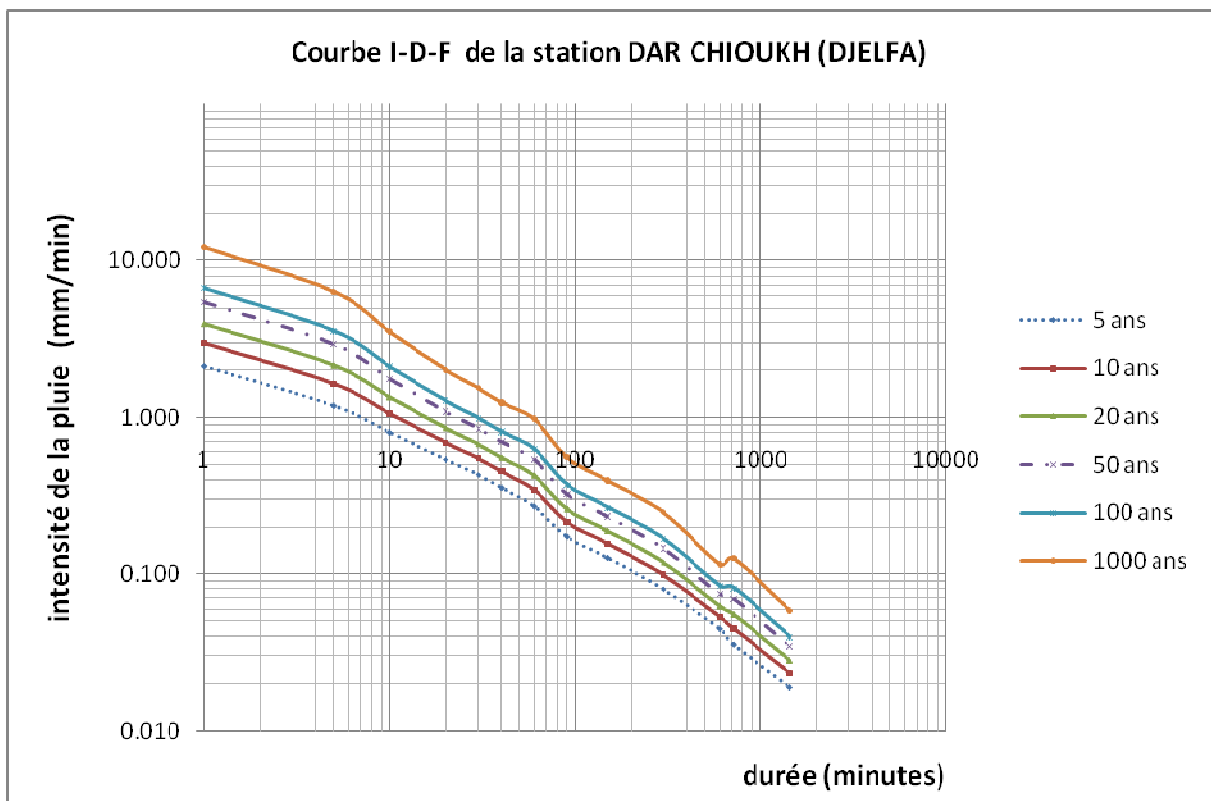


Fig. V.3 : Courbes I-D-F de la station de DAR CHIOUKH

La relation IDF forme un groupe de courbes parallèles décroissantes. L'intensité diminue avec la durée (t), et augmente avec la période de retour (T). Touchant les courbes I-D-F des autres stations des pluviographes du bassin du Zahrez, DJELFA et MERGUBE BEN HAFFAF voir le chapitre suivant.

V.4 Modélisation des courbes I-D-F :

Le dimensionnement des différentes composantes (réseaux d'égout, bassin de rétention ...) des systèmes de gestion des eaux pluviales est établi en fonction de la période de retour des évènements de pluies intenses (**Bourrier, 1997**). Cette information est souvent exprimée sous la forme de courbe IDF. En effet, les courbes IDF déterminent la relation mathématique entre l'intensité moyenne maximale i , la durée d'agrégation t , et la période de retour T (ou son équivalent, qui est la fréquence au dépassement).

La méthodologie d'établissement des courbes intensité-durée-fréquence utilisée dans cette étude est constituée de trois étapes. Dans la première étape, une distribution de probabilité est ajustée à chaque échantillon de chaque durée. Dans la seconde étape, on détermine les quantiles correspondant à plusieurs périodes de retour spécifiées, en utilisant la distribution ajustée et enfin, on modélise les courbes IDF en ajustant une équation empirique sur les quantiles estimés pour chaque période de retour.

V.5 Méthodologie de la modélisation des courbes IDF

Il existe une multitude de modèle empirique (**Montana, Talbot, Kimijirma, Wanieslita, voir Soro et al. 2008. Meylan et al. 1999 et Koutsoyiannis et al.1998**) exprimant la relation IDF. Le modèle retenu, est basé sur la méthode de Montana. Il présente l'avantage d'être plus consistant, en règle générale, on décrit ces courbes par une équation de régression, ce qui facilite l'utilisation des données.

La modélisation mathématique permet d'établir une relation fonctionnelle de type puissance, et de proposer un modèle qui relie l'intensité pluviale, à la durée et à la fréquence :

$$I_{t,T} = \frac{A_T}{t^n} = A_T * t^{-n} \quad (\text{V.3})$$

- $I_{(t,T)}$: représente l'intensité de la pluie, de durée (t) et de période de retour (T),
- A_T : constante géographique fonction de la période de retour (T),
- $n_{(T)}$: exposant, fonction de la période de retour (T).

Le type puissance a donné le meilleur ajustement au vu du coefficient de détermination R^2 très élevé. La formulation de ces modèles est donnée dans le tableau V.3.

Tableau V.3 : Coefficients de régression pour les courbes I-D-F

Station	Période de retour					
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
DAR CHIOUKH (1978-2003)	$i = 3.418 t^{-0.67}$ $R^2 = 0.978$	$i = 4.753 t^{-0.68}$ $R^2 = 0.981$	$i = 6.233 t^{-0.70}$ $R^2 = 0.983$	$i = 8.446 t^{-0.72}$ $R^2 = 0.985$	$i = 10.34 t^{-0.73}$ $R^2 = 0.986$	$i = 18.26 t^{-0.76}$ $R^2 = 0.988$
DJELFA (1976-2002)	$i = 3.030 t^{-0.67}$ $R^2 = 0.964$	$i = 4.291 t^{-0.68}$ $R^2 = 0.958$	$i = 5.693 t^{-0.69}$ $R^2 = 0.953$	$i = 7.832 t^{-0.70}$ $R^2 = 0.945$	$i = 9.344 t^{-0.70}$ $R^2 = 0.941$	$i = 17.28 t^{-0.72}$ $R^2 = 0.925$
MERGUEB B/H (1971-1998)	$i = 3.977 t^{-0.69}$ $R^2 = 0.983$	$i = 5.437 t^{-0.70}$ $R^2 = 0.980$	$i = 6.637 t^{-0.7}$ $R^2 = 0.98$	$i = 8.190 t^{-0.69}$ $R^2 = 0.979$	$i = 11.41 t^{-0.72}$ $R^2 = 0.968$	$i = 19.27 t^{-0.73}$ $R^2 = 0.958$

i : mm/min

t : min

A partir des résultats précédents nous avons identifié des paramètres, reliant l'intensité pluviale à la durée de pluie et à la fréquence pour chaque station donnée par le numérateur de l'équation (V.3).

V.5.1 Identification des paramètres de la relation I-D-F :

V.5.1.1 Paramètre A_t :

La valeur de (A_T) paramètre géographique, dans le modèle proposé peut être assimilée à une intensité maximale limite pour une période de retour (T). Dans notre cas (A_T) varie entre 3.42 à 18.26 en fonction de la période de retour (T) pour la station de DAR CHIOUKH, entre 3.03 à 17.28 pour la station de DJELFA, et entre 3.98 à 19.27 pour la station de MERGUBE B/H/AFFAF. La relation de [$A_T = f(T)$] est présentée dans Figure V.4

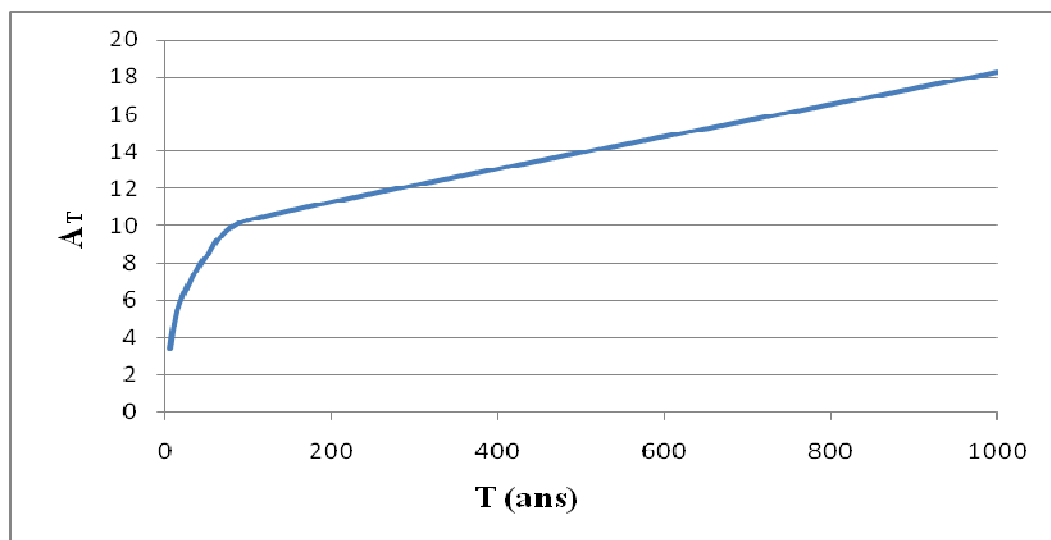


Figure V.4 : La relation entre A_T et T (Station on DAR CHIOUKH).

Le tableau V.4 présente la formulation de ces modèles (La relation entre A_T et T). Le coefficient de corrélation de cette liaison est très élevé (R^2).

Le tableau V.4 : La relation entre A_T et T

Station	$A_T = f(T)$	R^2
DAR CHIOUKH	$A_T = 2.321 T^{0.310}$	$R^2 = 0.981$
DJELFA	$A_T = 2.039 T^{0.321}$	$R^2 = 0.981$
MERGUEB B/H	$A_T = 2.674 T^{0.239}$	$R^2 = 0.986$

V.5.1.2 Identification du paramètre (exposant) n_T :

L'exposant climatique (n_T) indique la réduction de l'intensité pluviale avec l'augmentation de la durée de pluie. Dans notre cas (n) varie de 0.67 à 0.76. La Figure V.5 donne la relation (n) en fonction (T) pour la station de DAR CHIOUKH.

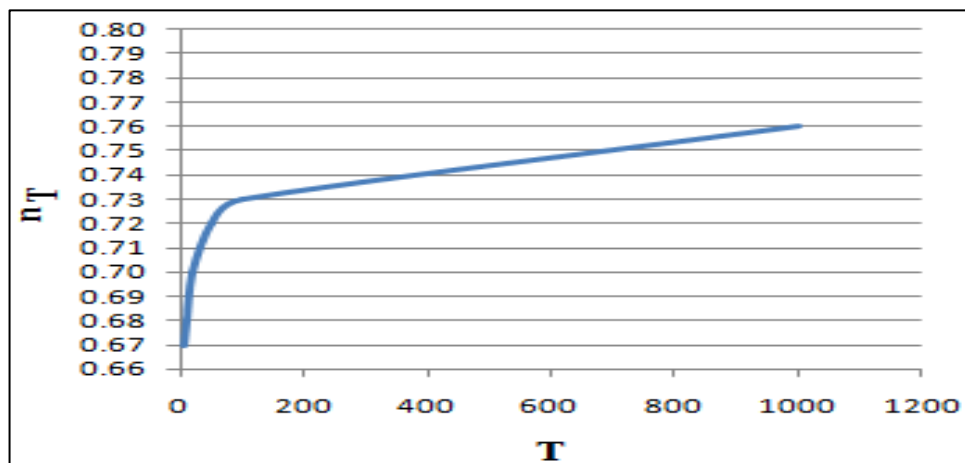


Fig. V.5 : La relation entre (n) et (T) (station de DAR CHIOUKH).

Le coefficient de corrélation et la relation (n) en fonction de (T) pour les 03 stations de la zone d'étude, est donnée dans le tableau suivant :

Le tableau V.5 : La relation entre n_T et T

Station	$n_T = f(T)$	R^2
DAR CHIOUKH	$n_T = 0.647 T^{0.024}$	$R^2 = 0.969$
DJELFA	$n_T = 0.660 T^{0.013}$	$R^2 = 0.957$
MERGUEB B/H	$n_T = 0.678 T^{0.010}$	$R^2 = 0.919$

La relation des paramètres A_T et n_T en fonction de la période (T) est proportionnelle.

V.6 Le Modèle Final Proposé :

Le modèle final proposé relie l'intensité pluviale en fonction de la durée de pluie et de la fréquence : $i=f(T, t)$.

Les modèles empiriques doivent donc nécessairement prendre correctement en compte cet effet. Les différentes périodes de retour considérées pour le calcul des courbes I-D-F sont les suivantes: T = 5, 10, 20, 50, 100 et 1000 années. Nous présentons ci-après les différents modèles de relations I-D-F que nous appliquerons ensuite aux données des stations de bassin du Zahrez.

Le tableau V.6 : donnée les modèles finals proposés pour chaque station.

Le tableau V.6 : Les modèles finals proposés

Station	$I = f(T, t)$
DAR CHIOUKH	$I_{T/DAR.CHIOUKH} = \frac{A_T}{t^{n_T}} = \frac{2.321 * T^{0.310}}{t^{0.647 * T^{0.024}}}$
DJELFA	$I_{T/DJELFA} = \frac{A_T}{t^{n_T}} = \frac{2.039 * T^{0.321}}{t^{0.660 * T^{0.013}}}$
MERGUEB B/H	$I_{T/MERGUEB.B/H} = \frac{A_T}{t^{n_T}} = \frac{2.674 * T^{0.293}}{t^{0.678 * T^{0.010}}}$

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de modéliser les courbes IDF, le modèle élaboré se devait de fournir l'estimation la plus précise et la plus fiable possible de la hauteur de pluie (ou intensité) sur une durée donnée pour la période de retour voulue.

Afin d'atteindre ce but, le modèle IDF devait reposer sur une étude rigoureuse des événements pluvieux extrêmes. Ainsi, avant de mener cette analyse, l'homogénéité des données disponibles a été vérifiée et validée. Il en est ressorti qu'une analyse fréquentielle des événements extrêmes basée sur une approche série max annuelle (SMA) n'était pas envisageable (voir Touaibia et al., 2004 ; Bouaichi et al 2006 ; Boukhelifa et al., 1010). En effet, après le processus de validation des données, la série des maxima annuels ne comptait plus que 26 années d'observation pour la station de DAR CHIOUKH, 27 années pour la station de DJELFA et 28 années pour la station de MERGUBE B / HAFFAF.

Le dépouillement d'une série de pluies journalières permet la constitution des courbes IDF qui ne sont qu'un ajustement à une fonction exponentielle appelée loi de Montana (eq. V.3), où (I = Intensité de pluie (mm/min), t = durée (min), et a et n = paramètres (sans unités)). L'anamorphose logarithmique permet le passage à un modèle linéaire plus maniable et facile à exploiter (Fig. V.3).

Ces conclusions préconisent donc l'utilisation d'une formule type Montana sur des bases physique et probabiliste plus solides. Le modèle IDF proposé fourni des intensités pluviales un petit peu élevées uniquement pour l'intervalle de temps (1 min) cela est lié probablement au problème d'échantillonnage (absence de valeurs d'intensités très élevées dans la série) en plus l'intensité pluviale appartenant à cet intervalle constitue une limite qui est très difficile à déterminer même en présence d'une longueur d'une série très élevée.

Chapitre VI :
Interprétations des résultats

VI.1 L'intensité pluviale :

L'intensité moyenne (i_m) d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie totale observée durant la durée (t) de l'averse. On peut aussi 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. Précisons tout de suite, que l'on peut concevoir cette étude sous deux aspects :

- l'étude de la statistique des pluies sur différentes durées;
- l'étude de la pluie en fonction du temps ; ceci concerne le dépouillement des hyétogramme et la constitution de hyétogramme-types (Fig. IV.2).

Un dépouillement, un par un, des pluviogrammes de chacun des épisodes pluvieux enregistrés est effectué. Ce dépouillement permet de déterminer, pour chaque événement pluvieux, les plus fortes hauteurs de la pluie (ou intensité) correspondant chacune à des durées bien déterminées (1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 300, 600, 720 et 1440min) au cours de ce même évènement. Les dépouillements des averses enregistrées pour chacune des stations pluviographiques du bassin du Zahrez sont présentés en annexe, le tableau IV.7 représente la répartition des nombres d'épisodes pluvieux en fonction de leur durée.

Après avoir constitué des rangs statistiques des intensités maximales annuelles correspondantes à chaque intervalle de référence, un traitement statistique a été effectué. Plusieurs tests statistiques ont été utilisés pour s'assurer de l'homogénéité des séries des intensités pluviales établies. Pour nos séries, nous avons utilisé le test de Wilcoxon qui confirme que les séries sont homogènes.

Dans le chapitre IV, nous avons testés quelques lois couramment utilisées en hydrologie (Log-normal, Log-normale (3 param.), Pearson type III, Log-Pearson type III) pour déterminer les quantiles des intensités pluviales. Il s'est avéré que les lois Log-normale et Log-Pearson type III s'ajustent au mieux aux données empiriques (données des intensités pluviales) par contre pour les autres lois utilisées les points expérimentaux (observés) ne s'alignent pas bien avec les droites d'ajustement de ces dernières.

Nous avons retenu la loi log-normale pour la suite de l'étude. L'ajustement a été établi par le programme HYFRAN (voir l'annexe). L'application des tests d'adéquation consiste à

vérifier l'hypothèse H_0 , selon la laquelle une certaine loi de répartition $F(x)$ s'ajuste mieux aux points expérimentaux. L'un des tests qu'on a utilisé est le test du Khi^2 (Chapitre IV). Les données traitées seront utilisées dans la modélisation des intensités pluviale, cette dernière fera l'objet d'une étude approfondie dans le chapitre V.

VI.2 Modélisation des courbes IDF :

Cette étude a porté sur l'estimation de la réponse hydrologique du bassin versant 17 (ZAHREZ). Les étapes de la modélisation du processus de la réponse hydrologique sont la modélisation de la pluie. L'approche statistique pour l'estimation de la pluie de projet est basée dans cette étude, sur le modèle pluviométrique des courbes intensité-durée-fréquence.

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

1. On choisit la distribution de probabilité la mieux appropriée à chaque série de hauteurs maximales annuelles des précipitations de courtes durées allant de (1 à 1440 min).
2. On calcule les quantiles correspondant à plusieurs périodes de retour spécifiées ($T=5, 10, 20, 50$ et 100 et 1000 ans), en utilisant la distribution sélectionnée précédemment
3. On modélise les courbes IDF en ajustant les équations empiriques considérées aux quantiles estimées.

Après avoir choisi le modèle statistique le mieux approprié à chaque série de données et estime les quantiles des intensités maximales annuelles pour les périodes de retour spécifiées ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ et 1000 ans), nous avons déterminé les paramètres de modèle empirique, le détail est mentionnés précédemment dans le chapitre V.

Les modèles de calcul de l'intensité pluviale en fonction de la durée de l'averse et de la fréquence, pour chaque station sont les suivant:

1^{er} modèle pour la station de DAR CHIOUKH :

$$I_{T/DAR.CHIOUKH} = \frac{A_T}{t^{n_T}} = \frac{2.321 * T^{0.310}}{t^{0.647 * T^{0.024}}}$$

2^{ème} modèle pour la station de DJELFA :

$$I_{T/DJELFA} = \frac{A_T}{t^{n_T}} = \frac{2.039 * T^{0.321}}{t^{0.660 * T^{0.013}}}$$

3^{ème} modèle pour la station de MERGUBE B / H :

$$I_{T/MERGUBE.B/H} = \frac{A_T}{t^{n_T}} = \frac{2.674 * T^{0.293}}{t^{0.678 * T^{0.010}}}$$

VI.3 Résultats et Discussion :

Le résultat de calcul et la comparaison sont présentés dans les figures ci-dessous. Dans chacun des trois modèles, la durée (t) est toujours exprimée en minutes tandis que l'intensité (i) est toujours exprimée en dixième de millimètres par minute.

Sur les figures suivantes sont présentées des courbes IDF obtenues au moyen de l'ajustement des trois équations empiriques aux quantiles des intensités maximales annuelles des station pluviographiques de la région de Zahrez, correspondant à plusieurs périodes de retour spécifiées (T = 5, 10, 20, 50 et 100 et 1000 ans). Les courbes IDF établies à partir du modèle empirique de Montana sont des séries de droites parallèles sur l'échelle logarithmique, alors que celles établies à partir des modèles empiriques à deux paramètres possèdent des parties recourbées. Ces courbes représentent plus correctement l'aspect infini d'une intensité instantanée que les droites parallèles.

Les paramètres d'un modèle empirique de Montana à deux paramètres défini l'ampleur de recourbement et les points où les courbes IDF commencent à devenir des lignes droites. Les paramètres sont : la valeur de (A_T) paramètre géographique et l'exposant climatique (n_T) ; ces paramètres augmentent avec l'accroissement de la période de retour en allongeant la ligne droite des courbes IDF (voir le chapitre V).

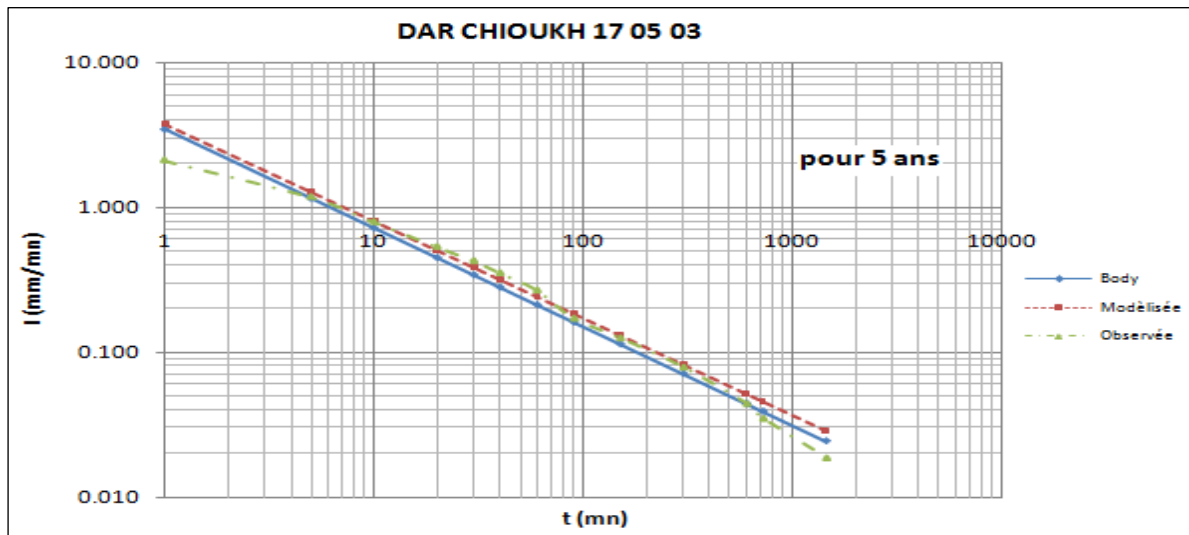


Fig. VI.1 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 5 ans

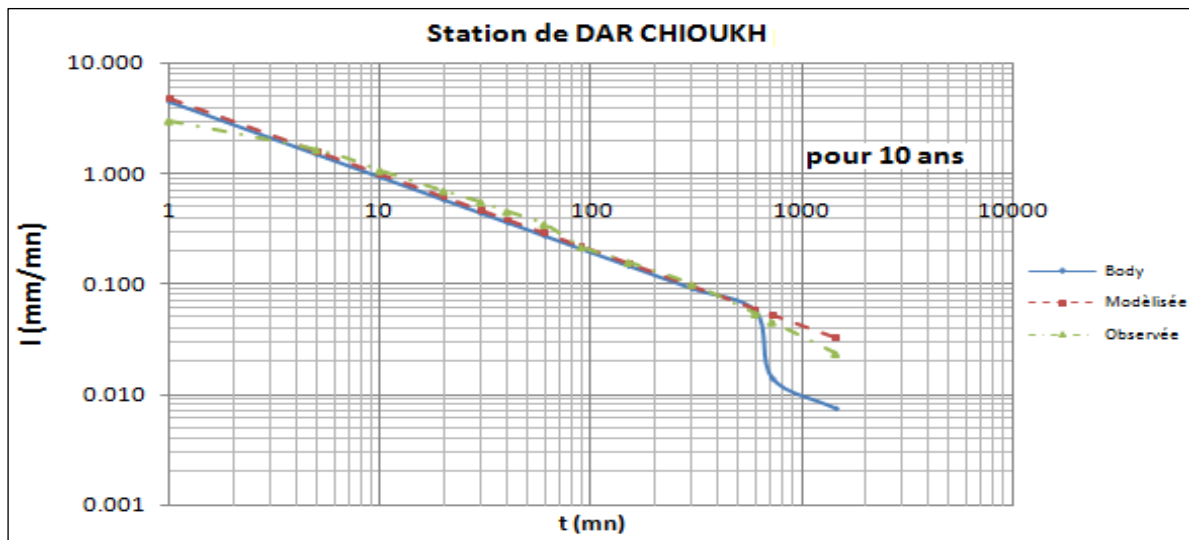


Fig. VI.2 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 10 ans

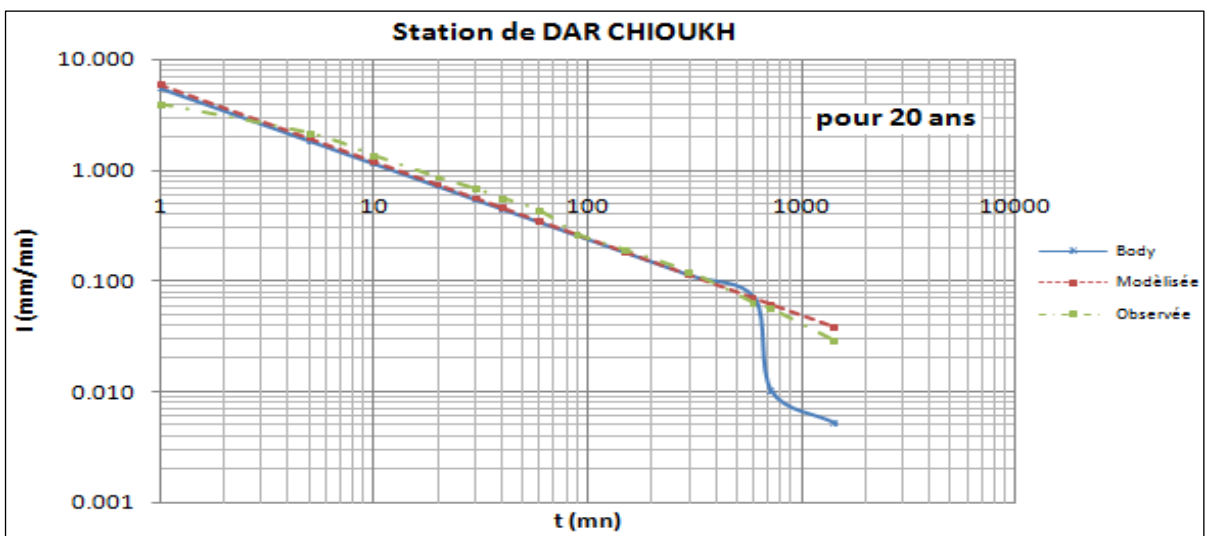


Fig. VI.3 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 20 ans

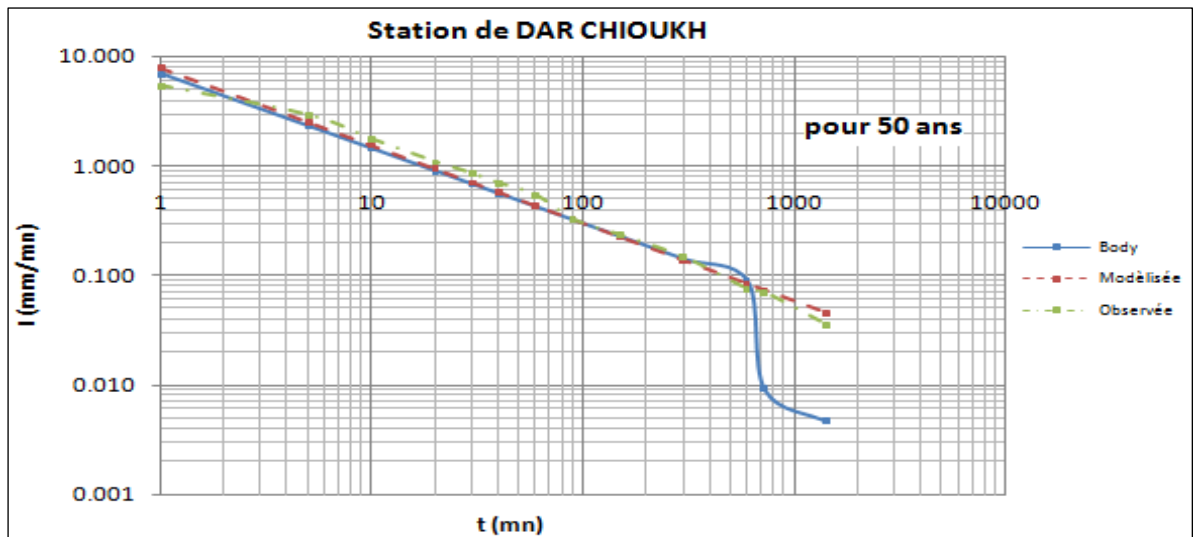


Fig. VI.4 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 50 ans

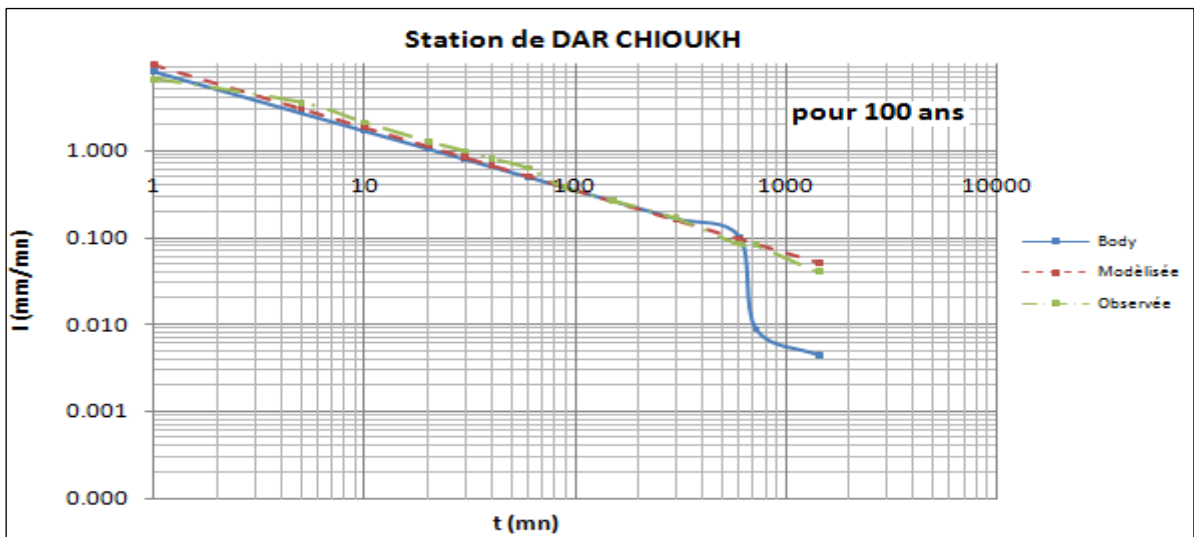


Fig. VI.5 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 100 ans

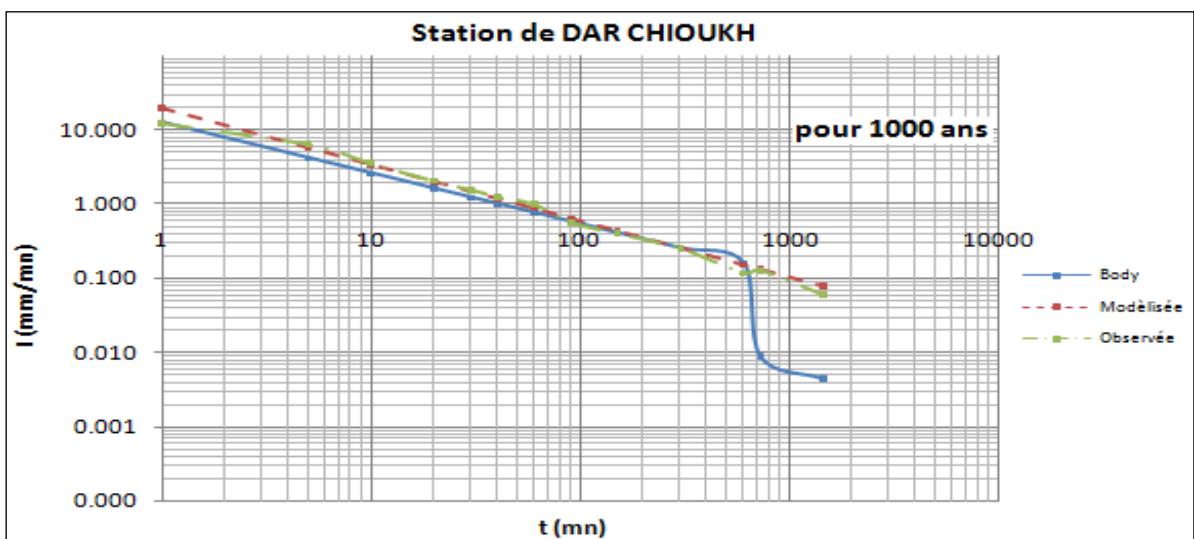


Fig. VI.6 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 1000 ans .

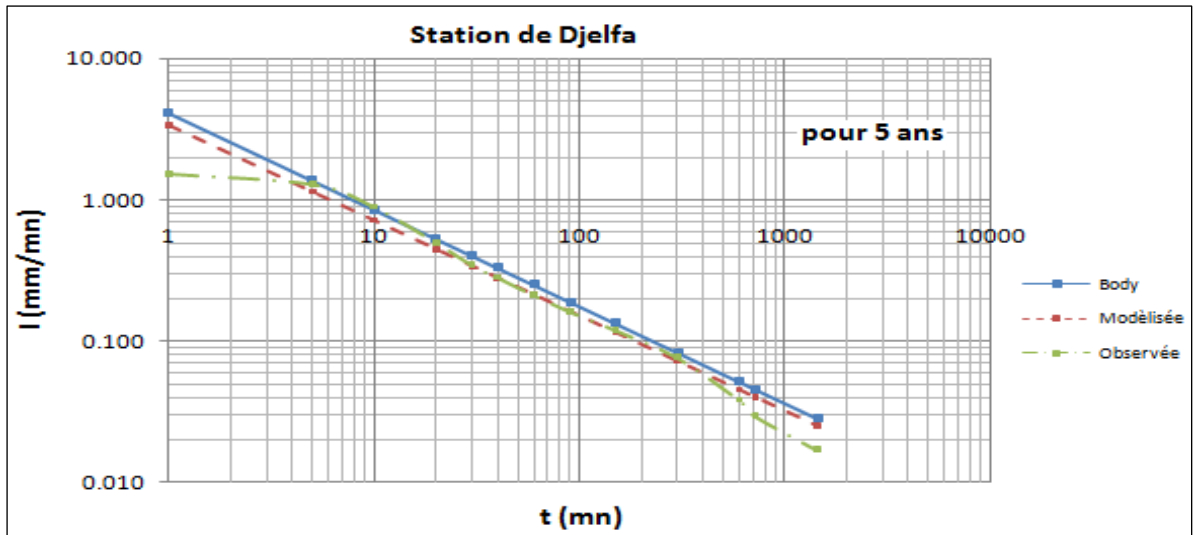


Fig. VI.7 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 5 ans .

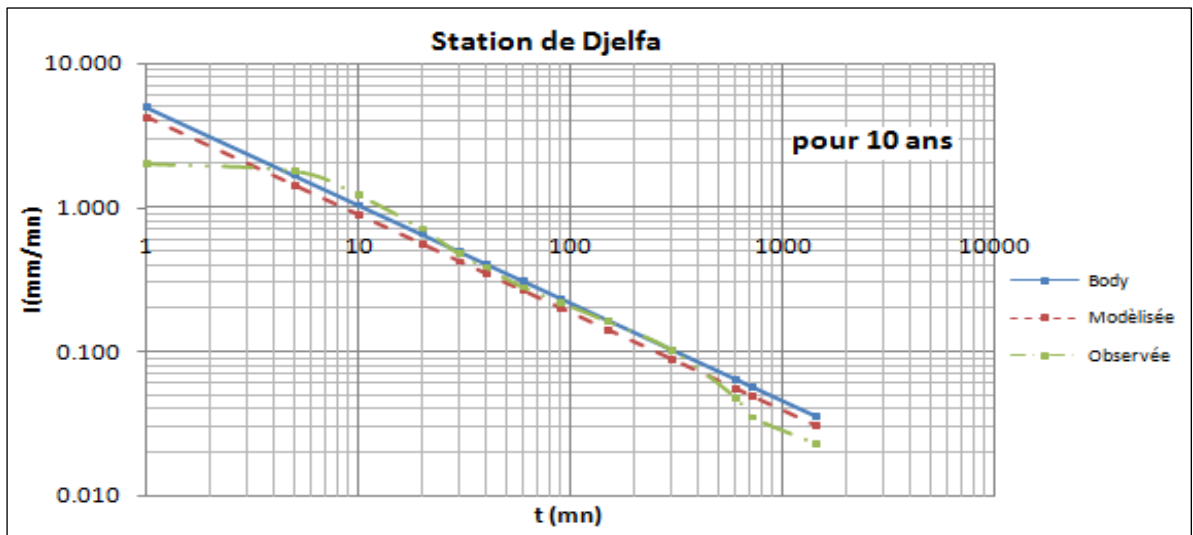


Fig. VI.8 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 10 ans .

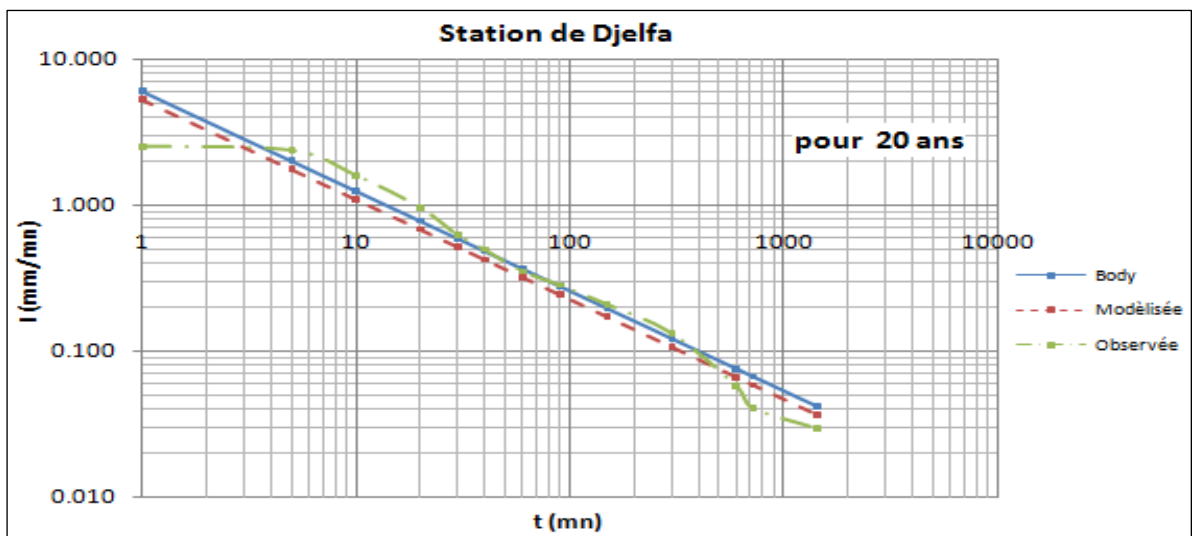


Fig. VI.9 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 20 ans .

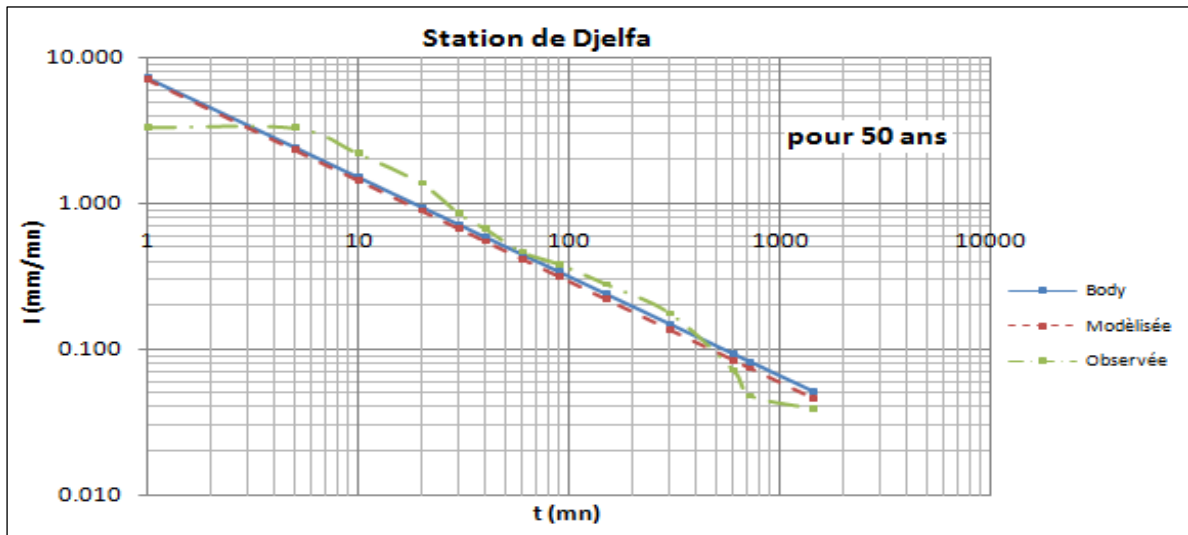


Fig. VI.10 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 50 ans .

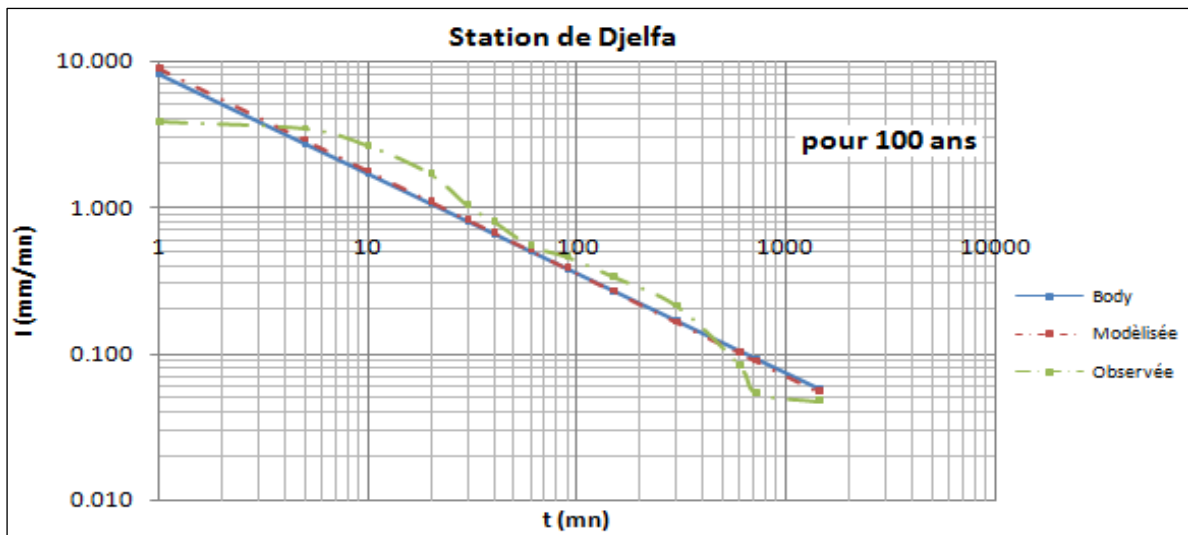


Fig. VI.11 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 100 ans .

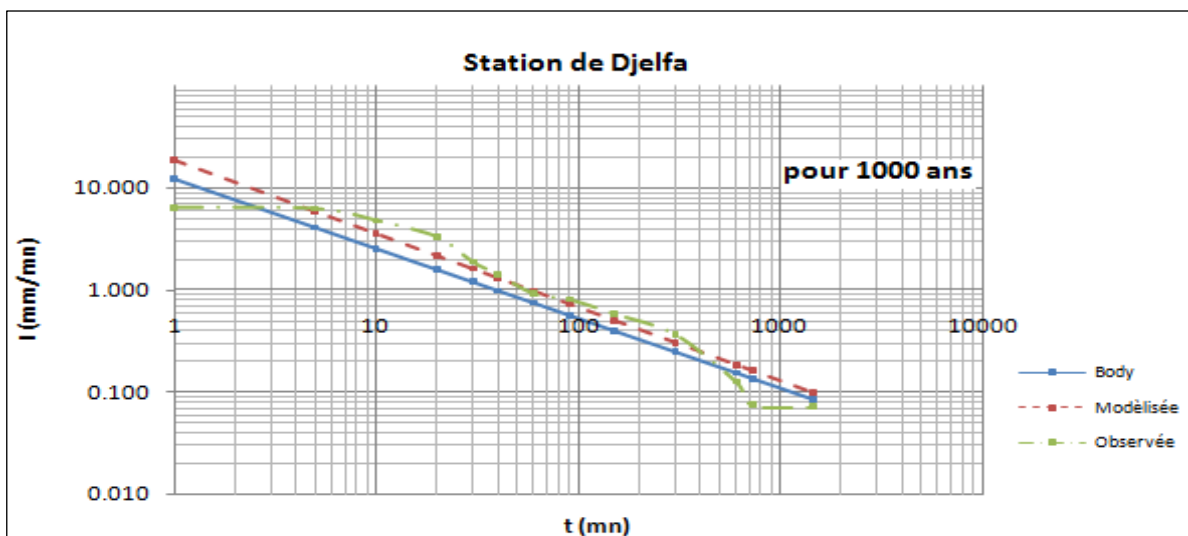


Fig. VI.12 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 1000 ans.

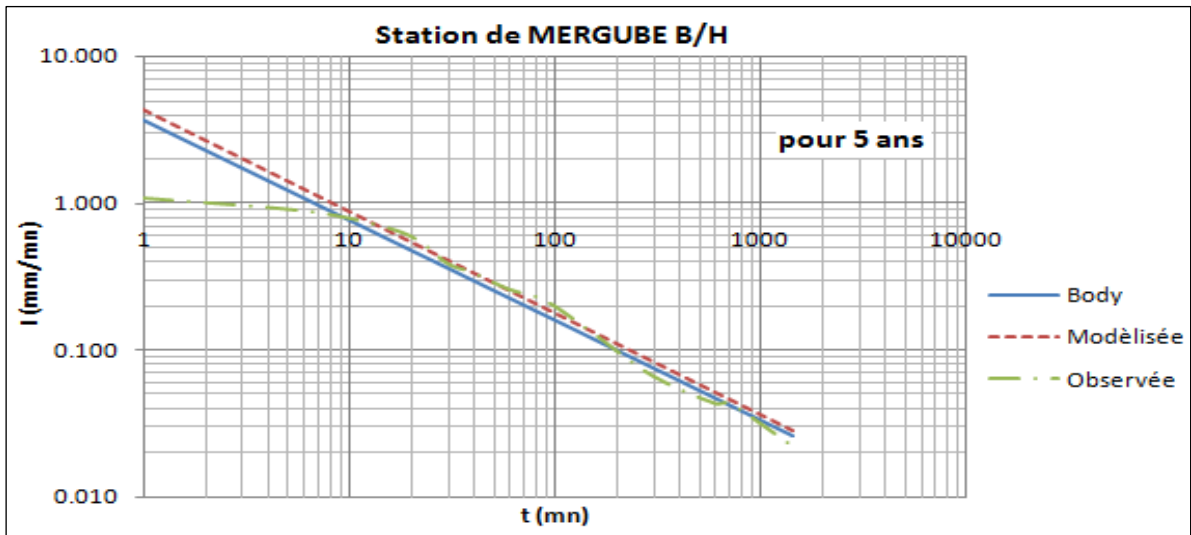


Fig. VI.13 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 5 ans .

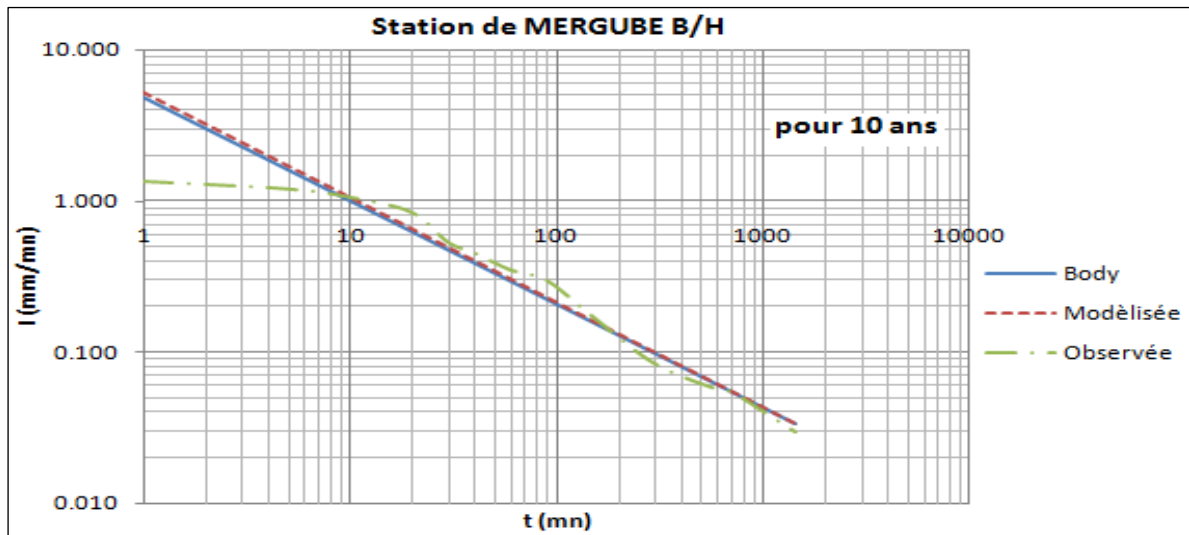


Fig. VI.14 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 10 ans.

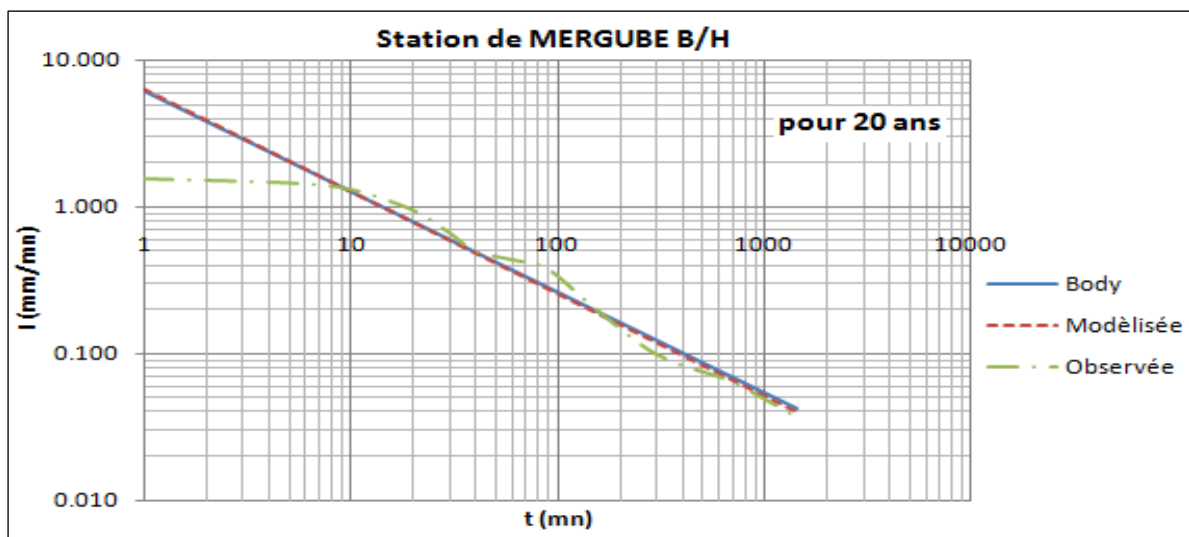


Fig. VI.15 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 20 ans .

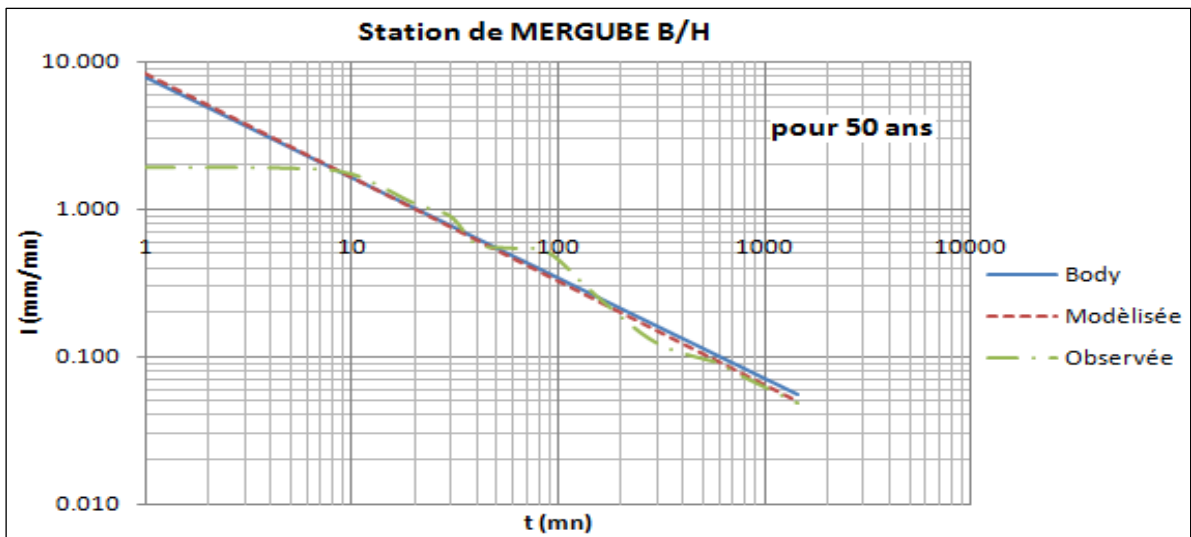


Fig. VI.16 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 50 ans.

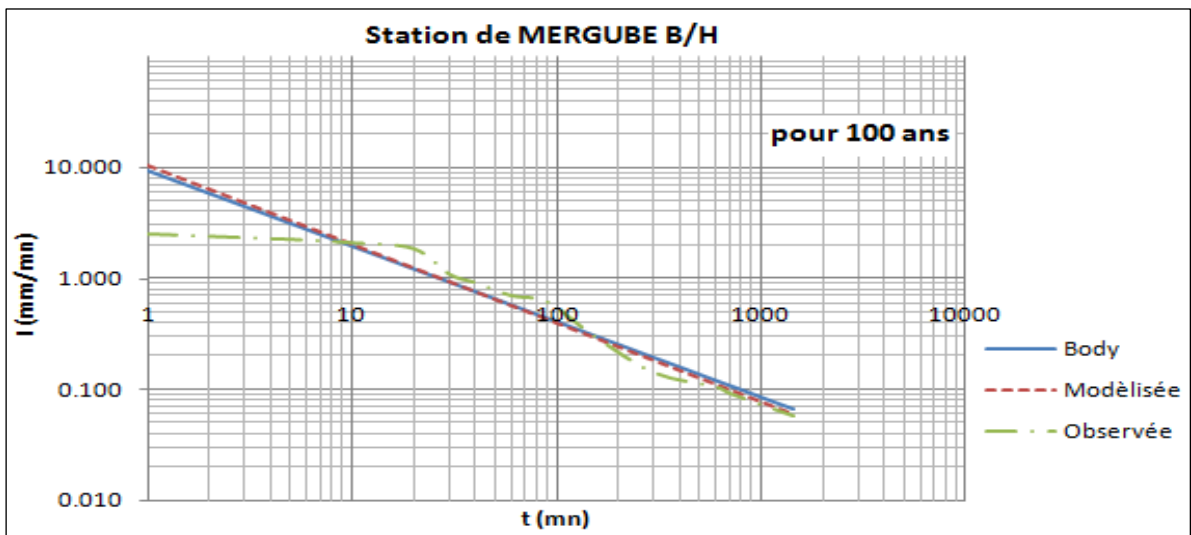


Fig. VI.17 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 100 ans .

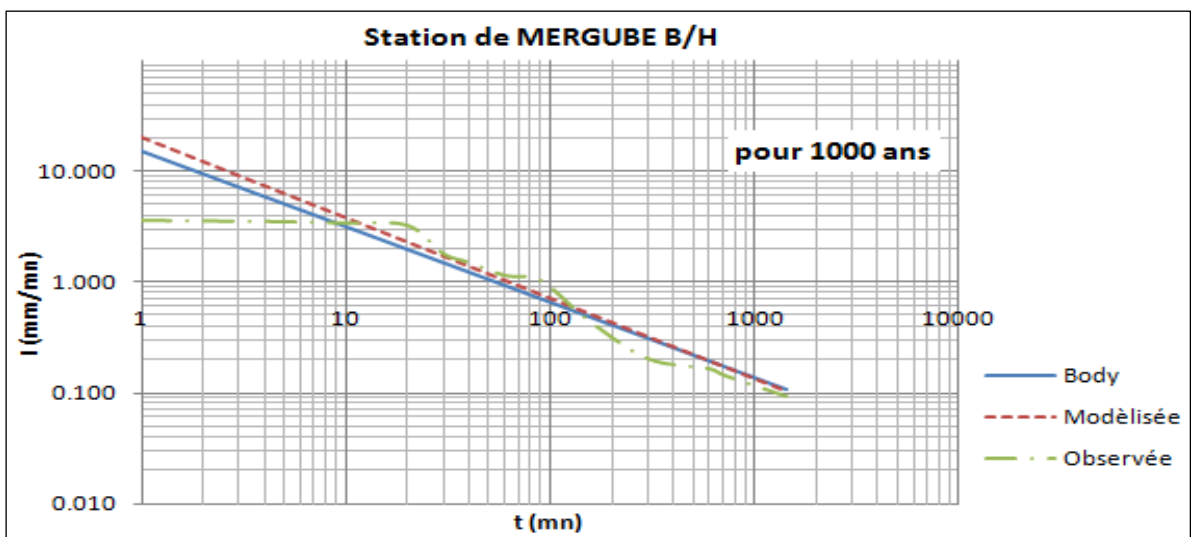


Fig. VI.18 : Comparaison des intensités de pluviale de période de retour 1000 ans.

VI.5 Intensités durées fréquences :

Les figures VI. (1 à 18), représentent les trois courbes IDF (intensités pluviale observée, modélisée et de Body). Les courbes IDF modélisée de la région de bassin versant du Zahrez ont été établies à partir de modèle empirique de Montana. Chacune de ces figures est réalisée en échelle logarithmique pour les périodes de retour de 5, 10, 20, 50, 100 et 1000 ans. Les points représentent les valeurs des quantiles estimés. Les courbes sont disposées dans l'ordre croissant des périodes de retour.

A la première lecture de ces courbes, quelques constatations peuvent être décrites :

- la première : les courbes IDF montrent des pentes de valeurs négatives, ce qui indique que les intensités des averses s'atténuent généralement lorsque la durée de l'averse augmente.
- Les courbes de l'intensité pluviale modélisée pour toutes les fréquences sont représentées par des droites, ainsi que les courbes de l'intensité pluviale de body pour les deux stations de pluviographe de DJELFA et MERGUB B / H.
- Pour la station de DAR CHIOUKH, les courbes de l'intensité pluviale de body sont réparties en trois intervalles, Le premier [1-600 minute] pour les fréquences (T= 10, 20, 50 et 100 ans) les courbes de body sont peu coïncidences avec les courbes modélisée, et pour (T = 1000 ans) la courbe IDF de body et modélisé sont conniventes, par contre la fréquence (5 ans) sont conniventes jusqu'à la durée de 1440 min (fig.VI.1 à 6). Le second intervalle [360-600 minute], dans le domaine temporel, nous observons l'émergence d'une légère intensité de la pluie pour body, et en fin [600-1440 minute] est une phase qui se caractérise par une chute remarquable des valeurs de l'intensité pluviale pour body.
- Pour la station de DJELFA, les courbes de l'intensité pluviale modélisée et de body sont conniventes pour les fréquences (T= 5, 10, 20 et 1000 ans) (fig. VI.7, 8, 9 et 12), pour les fréquences (T= 50 et 100 ans) ces courbes sont peu coïncidences (fig. VI.10 et VI.11).
- Pour la station de MERGUB B / H, les courbes de l'intensité pluviale modélisée et de body sont parallèles pour la fréquence (T= 5 ans) fig. VI.13 ; Par contre, pour les fréquences (T= 10, 20, 50 et 100 ans) sont peu coïncidences (fig. VI.14, 15, 16 et 17), et pour (T = 1000 ans) la courbe IDF de body et modélisé est conniventes (fig. VI.18).

- Les courbes de l'intensité pluviale observées ne possèdent pas une même allure de courbure.

- On constate que les courbes IDF observées restent sensiblement les mêmes sur 15 min ; 10 min et 1 min. Par contre l'intensité augmente nettement entre 15 min et 60min. Il faut certainement y voir ici l'influence de la précision du dépouillement des pluviogramme. Pour que l'on puisse estimer avec une bonne précision l'intensité des précipitations sur 15 min, il faut que le pas de digitalisation du pluviogramme soit inférieur au 15 min (**J-P Laborde, 2007**).

- Au niveau des stations de bassin du Zahrez (Bv. 17), les valeurs des intensités sont les plus fortes ; ceci peut être dû à leur situation topographique (relativement élevée).

- Les averses de courte durée (inférieure ou égale à 15 mn) disposent d'une forte intensité supérieure à 1 mm/min pour une occurrence de moins 10 ans. À partir d'une occurrence de 10 ans les intensités des averses de courtes durées deviennent très importantes dépassant 70 mm/h surtout pour la durée de 5 minutes.

Dans la première phase, nous remarquons que les premières séries de mesure se caractérisent par des fortes intensités pluviales, notamment les premières gouttes tombées, ces valeurs sont assez grandes au début du au déclenchement des pluies, elles correspondent à différents mécanismes d'ascendance (formation des nuages) et présentent des caractéristiques d'intensité et de durée diverses.

VI.6 Validation des modèles :

Pour vérifier la fiabilité de la méthodologie établie pour des éventuels calculs de l'intensité pluviale, ces valeurs modélisées par les courbes I-D-F, sont comparées à celles mesurées par le pluviographe de chaque 03 stations pluviométriques du bassin versant du Zahrez. Le résultat de calcul et la comparaison sont présentés dans les tableaux précédents.

A partir des résultats de comparaisons des intensités pluviales observées et modélisées, on conclue que le modèle I-D-F proposé fourni des intensités pluviales un petit peu élevées uniquement pour l'intervalle de temps (1 min) cela est lié probablement au problème d'échantillonnage (absence de valeurs d'intensités très élevées dans la série) en plus l'intensité pluviale appartenant à cet intervalle constitue une limite qui est très difficile à déterminée même en présence d'une longueur d'une série très élevée.

Les écarts entre les valeurs modélisées et observés, ne sont pas significatifs et varient avec l'augmentation de la période de retour (inférieure 5%). Le modèle des courbes IDF permet d'extrapoler les intensités vers des durées plus grandes (<1jour), avec une erreur moyenne de 5% pour la plus grande période de retour estimée ($T = 1000$ ans), ce qui est à notre sens acceptable.

Ces courbes sont en effet développées à partir d'une série d'intensités maximales obtenues de plusieurs événements pluvieux distincts; il n'existe pas en fait d'averse réelle qui aurait une fréquence constante pour chaque paire intensité-durée. Les courbes IDF peuvent être utilisées pour plusieurs applications. Pour l'utilisation de la méthode rationnelle, par exemple, on utilise ces courbes pour trouver une intensité de pluie correspondant à une durée et à une fréquence. Les courbes IDF peuvent également être utilisées pour établir la fréquence d'un événement pluvieux qui a été mesuré, en prenant une intensité moyenne pour la durée de l'événement ou en considérant différentes durées à l'intérieur de la pluie observée. Finalement, les courbes IDF peuvent servir de base pour développer des pluies synthétiques pour la conception.

**CONCLUSION
GENERALE**

Conclusion Générale:

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

Le but de travail est de modéliser l'intensité pluviale sur la base de données pluviométriques et pluviographiques. Dans une première étape elle est déterminée par la formule empirique (formules de Mantana), par la suite par le dépouillement des pluviographes. Ce travail a été fait sur toutes les stations disponibles à l'ANRH de Djelfa à la fin de l'année 2012. Ces données sont issues de deux sources : les fichiers de pluies journalières maximales mensuelles et des bandes d'enregistrement pour 03 stations pluviographiques à augets basculeur (Djelfa, MERGUEB B/HAFFAF et DAR CHIOUKH). Les périodes d'observation sont respectivement 1976- 2002, 1971-1998 et 1978-2003. Le dépouillement des bandes d'enregistrement (943 averses) pour la station de Djelfa, (1581 averses) pour la station de MERGUEB B/H et (313 averses) pour la station de DAR CHIOUKH. Les averses ont été établies pour des durées de références suivantes 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 150, 300, 720 et 1440 minutes. Le travail de dépouillement et de mise en forme de ces données a été une opération longue et fastidieuse.

Le test d'homogénéité de Wilcoxon à été utilisé pour détecter les anomalies qui peuvent être incluse dans les données de mesures de ces séries. Ce test a montré que les données d'observation sont homogènes et issue de la même population statistique. Ainsi, Dans cette étude nous avons testés quelques lois couramment utilisées en hydrologie (Log-normal, Log-normale (3 param.), Pearson type III, Log-Pearson type III) pour déterminer les quantiles des intensités pluviales.

Il s'est avéré que les lois Log-normale s'ajustent au mieux aux données empiriques (données des intensités pluviales) par contre pour les autres lois utilisées les points expérimentaux (observés) ne s'alignent pas bien avec les droites d'ajustement de ces dernières. Nous avons retenu la loi log-normale pour la suite de l'étude. L'ajustement a été établi par le programme "HYFRAN" (voir l'annexe). L'application des tests d'adéquation consiste à vérifier l'hypothèse H_0 , selon la laquelle une certaine loi de répartition $F(x)$

s'ajuste mieux aux points expérimentaux. L'un des tests qu'on a utilisé, est le test du Khi carré.

Un fichier est créé identifiant toutes les averses enregistrées (numéro, date, durée et intensité pluviale) voir les annexes. Ces données seront utilisées dans la modélisation des intensités pluviale.

L'information sur la pluviométrie est d'une importance capitale pour les projets d'aménagement hydraulique ou hydrologique. Les aménagistes ont besoin de connaître les paramètres de la pluie probable afin de dimensionner les ouvrages qu'ils projettent ou qu'ils entretiennent. Les données pluviographiques et leur analyse statistique sont d'un grand intérêt dans ce domaine. A partir de ce type de données, il est possible d'établir des lois de comportement qui lient l'intensité, la durée et la fréquence d'apparition des pluies qui peuvent être représentées selon des courbes caractéristiques dites courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF). Il s'agit souvent d'une famille de courbes, dont chacune représente une certaine fréquence d'occurrence ou une certaine période de retour exprimée en années.

Ce travail tente d'estimer l'occurrence des fortes intensités des pluies à partir des courbes IDF modélisées, dans la région du Zahrez (Bv. 17), malgré son climat semi-aride, est souvent affectée par de très fortes intensités horaires atteignant parfois des valeurs excessives.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **ANRH.** Données pluviométrique, Pluviographiques, climatologique. Document interne et des bandes enregistrements des stations pluviographiques des bassins du Zahrez (l'ANRH. Djelfa. Algérie).
- **ANRH. Etude générale des crues du Nord de l'Algérie (2009)** a été réalisée par groupement de bureaux d'études : STUCKY-ENHYD, STUCKY France, et Avec la participation du Professeur J-P LBOEDE. EN collaboration avec les services de l'ANRH :
M. TAIBI Rachid, Directeur Générale,
M. BOUGUERRA Khier, Chef du service hydrologie,
M. BELHOULI Larbi, Chef du service Etude
- **ANRH. (SOGREAH).** MODELISATION DES GRANDS AQUIFERES, ETUDE DE MODELISATION DE 5 SYSTEMES D'AQUIFERES- BASSIN DES ZAHREZ, Rapport finale Mares 2010 n° 1 340315.
- **SAAD Bennis, Université du Québec, Ecole de technologie supérieur, 2^e édition,** Hydraulique et hydrologie ; 453 P.
- **SARI Ahmed, INITIATION A L'HYDROLOGIE DE SURFACE ;**
Tome 1 Cours ;
Tome 2 exercices.
- **Body K.** (1985), Pluie en Algérie. (Analyse fréquentielle). Synthèse Régionale. Ministère de l'hydraulique. INRH. Constantine.
- **Boutoutaou D.** (2007), les laves torrentielles et la catastrophe de Bab el Oued. Séminaire national. 06 au 07 novembre 2007. Institute Hydrométéorologique de formation et recherche (IHFR) - Oran.
- **LABORDE. J.P,** (2000) ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE 204P
- **Touaïbia, B. (2004),** Manuel Pratique d'Hydrologie, Edition Madani, Blida, Algérie.
- **P.H. BOIS,** (2000). HYDROLOGIE GENERALE, 175 P.
- **Abderrazak BOUANANI** HYDROLOGIE, TRANSPORT SOLIDE ET MODELISATION Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie) thèse Doctorat, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN, 250 P.
- **Grisolet, H.** (1948), Etude des averses orageuses de la région parisienne, la météorologie, 4 (11), p 175-195p.
- **J.DEREFFYE,** Étude phénoménologique des précipitations pluvieuses. Modélisation mathématique des intensités de pluie en un point du sol Revue de statistique appliquée, tome 30, n o 3 (1982), p. 39-63.
- **Organisation météorologique mondiale,** GUIDE DES PRATIQUES HYDROLOGIQUES Cinquième édition 1994, publication OMM n° 168, Genève, 793 p.
- **Beaulieu, C., Ouarda, T. B. M. J., Seidou, O.** (2007) Synthèse des techniques d'homogénéisation des séries climatiques et analyse d'applicabilité aux séries de précipitations. J. Sci. Hydrol. 52(1), 18-37.

- **Dubreuil, P.** (1974), Initiation à l'analyse Hydrologique, Ed. Masson et CIE, ORSTOM, Paris.
- **Eichert B.S., Knidler J., Shultz G. A., Sokolov A.** (1985). Méthodes de calcul pour les études hydrologiques concernant l'aménagement des eaux. Etudes et rapports d'hydrologie 38, Unesco, Paris, 121 p.
- **Mustapha BOUKHELIFA.** (2010). Contribution à la modélisation de la relation "pluie débit" en absence de données hydrométriques : cas d'une zone urbaine (ville de Tipasa). Thèse de Magister. ENSH, Blida.
- **Tamara Benabdesselam,** Estimation De La Réponse Hydrolog Bassin Versant Urbanisé ; European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.29 No.3 (2009), pp.334-348.
- **M. ROCHE,** HYDROLOGIE DE SURFACE, GAUTHIER - VILLARS ÉDITEUR - PARIS 1963. 431 P.
- **Koutsoyiannis. D., Kozonis, D. & Manetas, A.** (1998) A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. . J. Hydrol. 206, 118 – 135.
- **Citation Van de Vyver, H. & Demarée, G. R.** (2010) Construction of Intensity–Duration – Frequency (IDF) curves for precipitation at Lubumbashi, Congo, under the hypothesis of inadequate data. Hydrol. Sci. J.55 (4), 555 – 564.
- **Demarée, G.** (1985) Intensity–duration–frequency relationship of point precipitation at Uccle. Reference period 1934–1983. Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, Publications Reeks A, nr. 116.
- **Bedel J.A.,** 1980, Essais d'ajustements régionaux sur les intensités de pluie, in La Météorologie 5^{ème} série n° 20-21 numéro spécial "précipitations et hydrologie", p 151-160.
- **Masson J.M,** 1980 : Analyse d'une longue série pluviographiques Montpellier Bel Air 1920-1971, in La Météorologie 5^{ème} série n° 20-21 numéro spécial « précipitations et hydrologie », p 105-118.
- **Zitouni M.T,** 1996 : Etude des Intensités Durées Fréquences (I.D.F) de la station du Kef DRE, Commissariat Régionale au Développement Agricole du Kef, 14p.
- **Amin, M. Z. M., Desa, M. N. M., Daud, Z. M.** (2008) Malaysia, Ch. 6, Asian Pacific FRIEND - Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Analysis for the Asia Pacific Region, ed. by T. M. Daniell and G. Q. Tabios III, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 2, 12-22, Regional Steering Committee for Southeast Asia and the Pacific, UNESCO Office, Jakarta, 2008. 53 - 57.
- **Benkhaled, A.** (2007) Distribution statistiques des pluies maximales annuelles dans la région du Cheliff, comparaison des techniques et résultats. Courrier du savoir, 8, 83-91.
- **Bacro, J-N, Chaouche, A.** (2006) Incertitude d'estimation des pluies extrêmes du pourtour méditerranéen: illustration par les données de Marseille. J.sci. Hydrol., 51(3), 389-405.
- **Bendjoudi, H., Hubert, P., Schertzer, D., Lovejoy, S.** (1997) Interprétation multifractale des courbes intensité-durée-fréquence des précipitations. Compte Rendu Acad. Sci., Sci. de la terre et des planètes, 325, 323-326.
- **Bendjoudi, H., Hubert, P., Schertzer, D., Lovejoy, S.** (1997) Interprétation multifractale des courbes intensité-durée-fréquence des précipitations. Compte Rendu Acad. Sci., Sci. de la terre et des planètes, 325, 323-326.

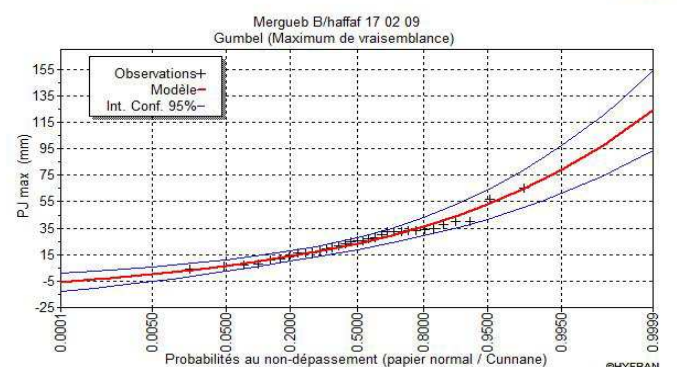
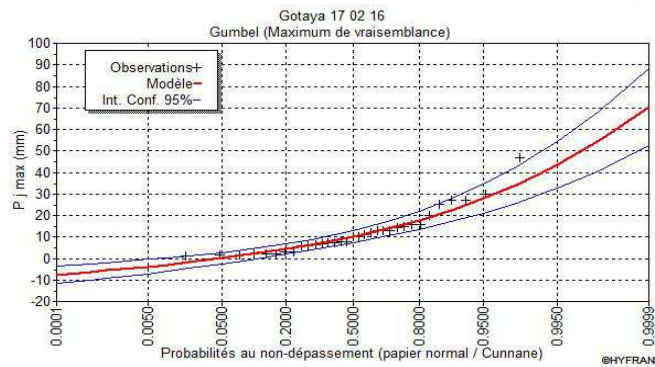
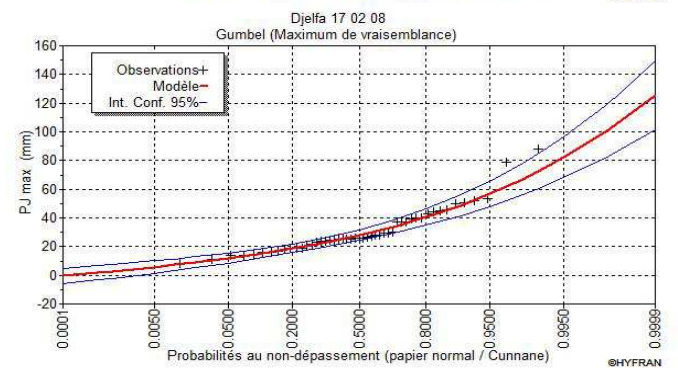
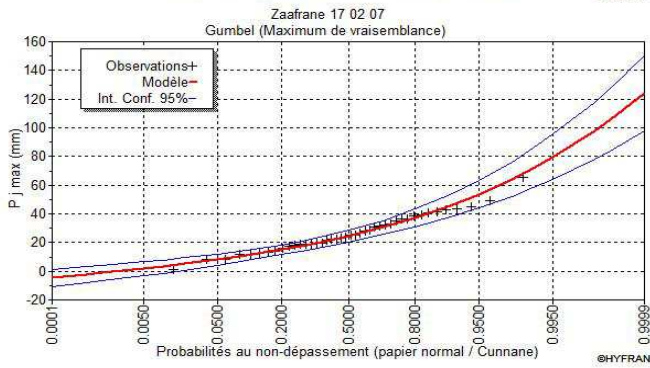
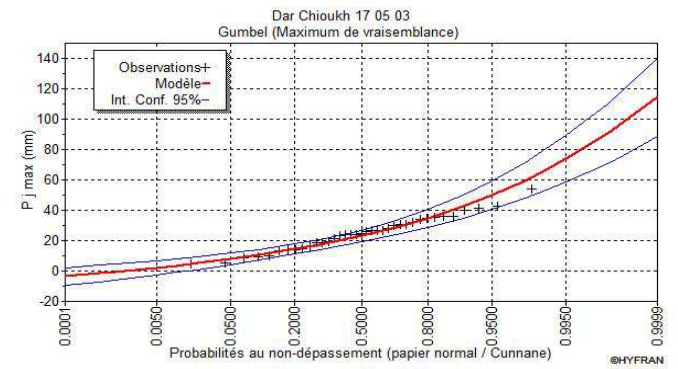
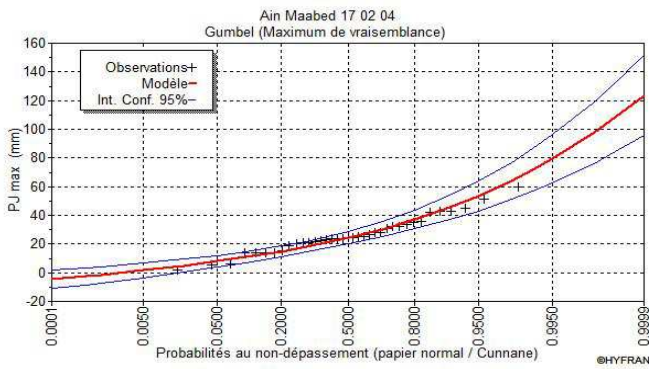
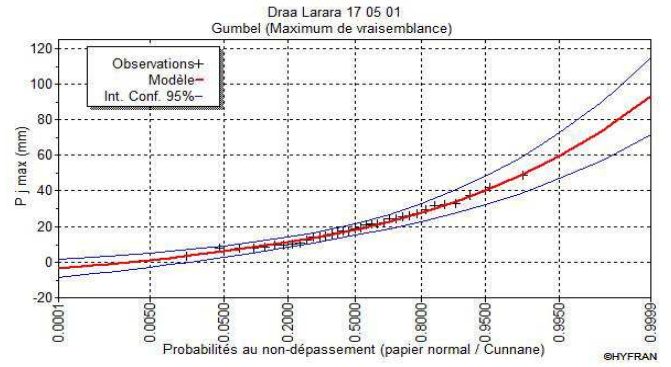
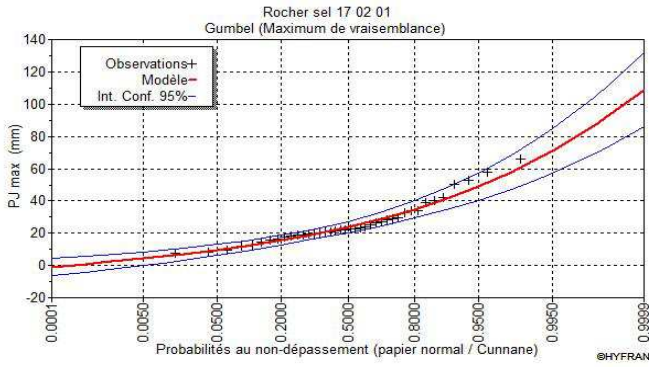
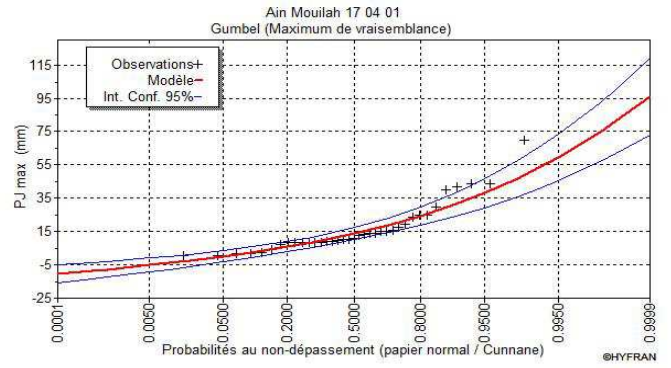
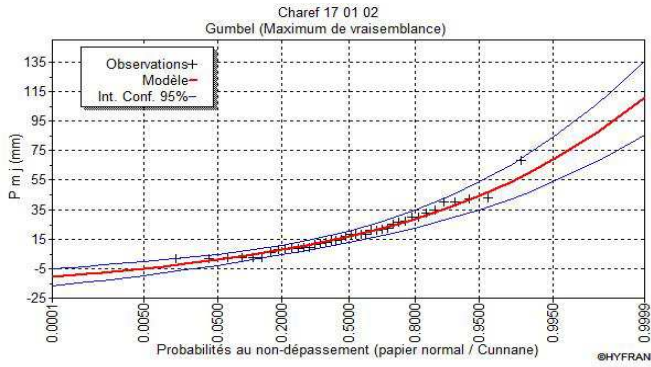
- **Ben-Zvi, A.** (2009) Rainfall intensity-duration-frequency relationships derived from large partial duration series. *J. hydrol.* 367, 104-114.
- **Aronica, G., Cannarozzo, M.** (2000) Studying the hydrological response of urban catchments using a semi-distributed linear non-linear model. *J. Hydrol.*, 238, 35-43
- **Lam, K. H., Milton, J., Nadeau, M. & Viscovi, L.** (2004) Mise à jour des courbes d'intensité durée fréquence des pluies de courte durée du climat récent au Québec. 57^e congrès annuel de l'association Canadienne des ressources hydriques. 16 –17 Juin, Montréal, Qc, Canada.
- **Bacro, J-N, Chaouche, A.** (2006) Incertitude d'estimation des pluies extrêmes du pourtour méditerranéen: illustration par les données de Marseille. *J. sci. Hydrol.* 51(3), 389-405.
- **ACHOUR FARID, 1997**, Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi aride, application de méthodologie nouvelles au Bassin du Chélif, Algérie, thèse Doctorat, Université des sciences et technologie Alger, 1-64.
- **AISSANI BOUALEM 1982**, Cartographie automatique de champs pluviométriques (région algéroise) *Science de la terre, Informatique géologique*, 17,198.
- **ARLERY, R. et al.** 1973, *Climatologie - méthodes et pratiques*. 434 p.
- **ASSABA. M et J.P.LABORDE**, 2000, La prise en compte du relief dans l'estimation des pluies mensuelle ; le cas de la corse, publications de l'association internationale de climatologie n°13, 150-157.
- **BEROLO. W., CHAMOUX. C et LABORDE. J.P.**, 2000, Cartographie des précipitations annuelles, mensuelles, et journalières extrêmes sur les Alpes Maritimes, publications de l'association internationale de climatologie n°13, 158-167.
- **DESIRE. E**, 1975, Recherche statistique sur les précipitations en Picardie. *Homme et terres du Nord*, 1975, 2.
- **HUMBERT ET AL.** 1998, cartographie des précipitations par paramétrisation omnidirectionnelle du relief, la méthode PLUVIA. Publication de l'AIC, 11,259-256
- **HUMBERT. J et PAUL. P**, 1982, Répartition spatiale des précipitations.
- **KIFFER WEISSE, A.**1998 ; Etude des précipitations exceptionnelles de pas de temps court en relief accidenté (Alpes Françaises), méthode de cartographie des précipitations extrêmes, thèse de Doctorat, INPG, Grenoble, 314p.
- **LABORDE J.P.**1989 : Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques de l'Algérie du Nord, projet PNUD.
- **LEVIANDIER. Th.**, 1991, Le traitement des pluies in les données météorologique anciennes, Météo France, ministère de l'Environnement, p. 27-32
- **LO FATOU JINE**, 1989, Estimation des précipitations en utilisant le relief (AURELHY)
- **LUBES-NIEL H.** 1998, Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revu Scientifique Eau* 11 (3), 383-408
- **RODIER. J** 1964, L'analyse de l'eau 1^{ère} édition, Dunod.
- **SIVRUK. B ET GEIGER. L**, 1981, « Selection of distribution types for extremes of precipitations, Operational Hydrology », Report 21, WMO, Geneva.

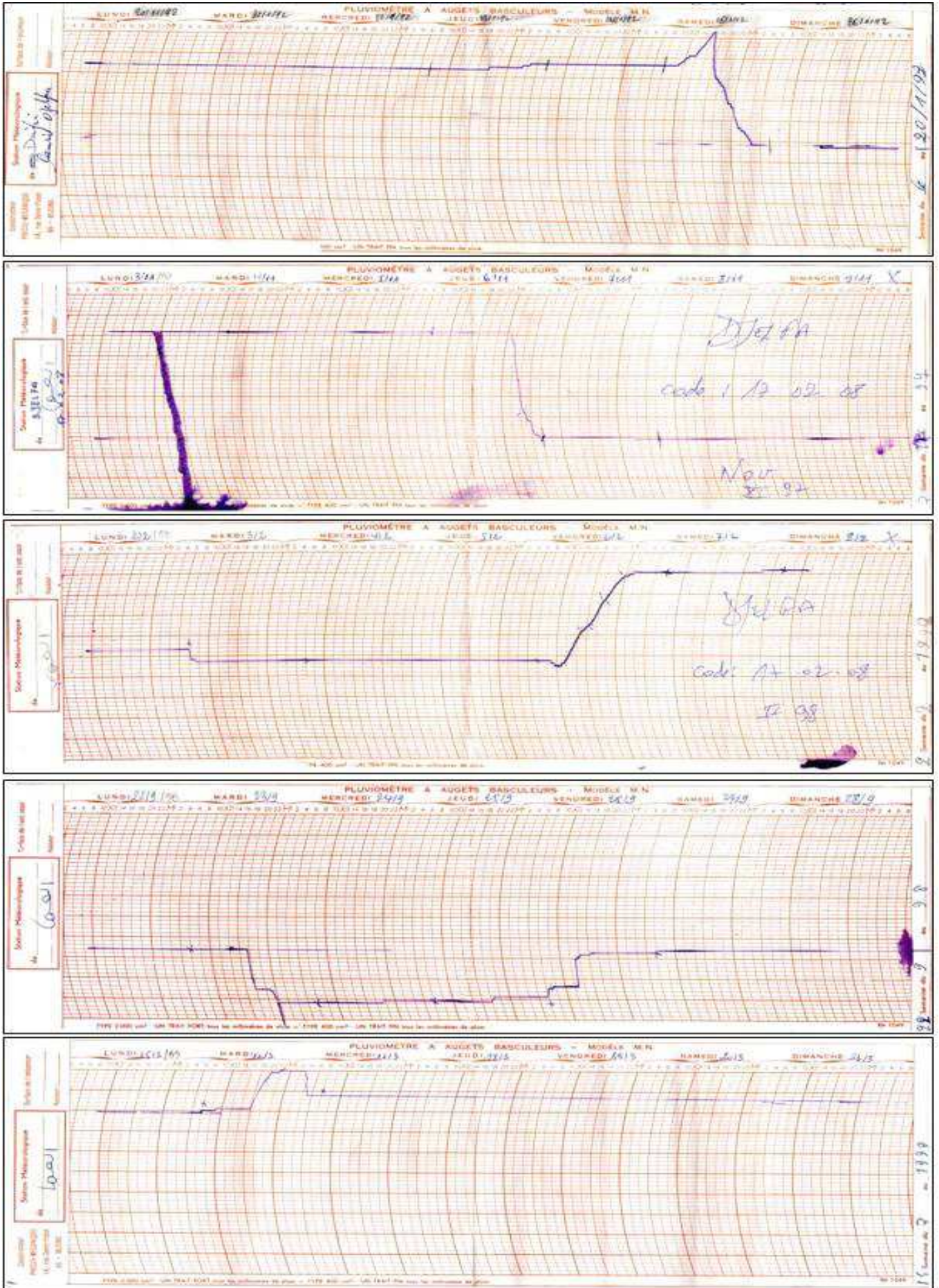
- **CLAUDE COSANDY et MARK ROBINSON**, 2000, hydrologie continentale édition Armand Colain, 360p.
- **HUBERT et A.**, 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques - application à des séries de précipitation et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of hydrology* 110,349-367.
- **HUBERT ET AL**, 1998. XII èmes journées hydrologiques de L'ORSTOM, Montpellier, 10-11 oct.1996.
- **DEMARÉE G.** (1985). Intensity-duration-frequency relationship of point precipitation at Uccle. Reference Period 1934-1983. *Publicaties K.M.I., Reeks A*, nr. 116, 52 p.
- **WILLEMS P.** (2000). Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types. *Journal of Hydrology*, 233, p. 189-205.
- **Coles, S., Pericchi, L. R., Sisson, S.:** A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling, *J. of Hydrology*, 273(1-4), pp 35-50. 2003.
- **Gomer, D.** Ecoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marn eux sous climat semi-aride méditerranéen. Bassin de la Mina. Thèse Université de Karlsruhe. Allemagne.137 p. 1994.
- **Gumbel, E.** Statistics of extremes. Columbia Univ. press, 1958.
- **Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., Wood, E.F.** - Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics.* vol. 27, no 3, pp 251-261. 1985.
- **Koutsoyiannis, D., Baloutso s, G.:** Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences, *Natural Hazards*, 22(1), pp 31-51. 2000.
- **Koutsoyiannis, D.** On the appropriateness of the Gumbel distribution for modelling extreme rainfall, *Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop, Hydrological Risk*, University of Bologna, Bologna, 2003.
- **Pickands, J.**, Statistical inference using extreme order statistics. *The annals of statistics*, (3)1, 119-131, 1975.
- **Kingumbi, A., Mailhot, A.** (2010) Courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) : comparaison des estimateurs des durées partielles et des maximums annuels. *J. Sci. Hydrol.* 55(2), 162-176.
- **Stedinger, J. R., Vogel, R. M., Foufoula-Georgiou, E.:** Frequency Analysis of Extreme events, in: *Handbook of Hydrology*, edited by Maidment, D. R., McGraw-Hill Book Company, 18, pp 18.1-18.66, 1993.
- **Wilks, D. S.:** Comparison of three-parameter probability distributions for representing annual extreme and partial duration precipitation series, *Water Resour. Res.*, 29(10), pp 3543-3549. 1993.
- **TOUAZI. M et J.P.LABORDE**, 2000, Cartographie des pluies annuelles en Algérie du Nord. Publication de l'AIC n°13, p 191-199.
- **Gargouri-Ellouze, E., Chebchoub, A.** (2008) Modélisation de la structure de dépendance hauteur-durée d'évènements pluvieux par la copule de Gumbel. *J. sci. hydrol.* 53(4), 802-817.
- **LABORDE. J.P**, 1982, Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques; prise en compte des relations pluviométrie-morphométrie, *la Houille Blanche* 2004, 1982. 331-338.

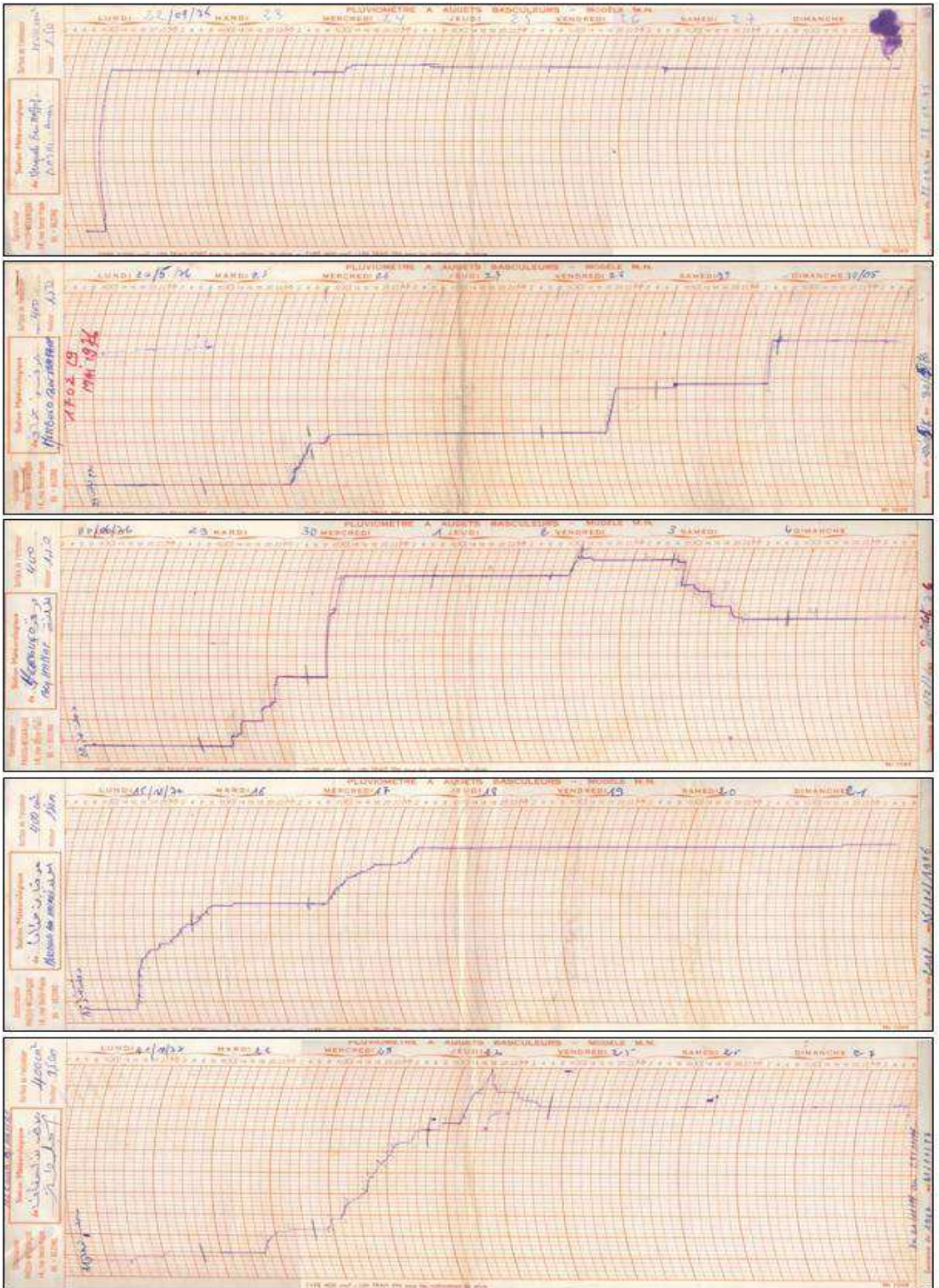
- **Berne, A.** (2002) Précipitations Méditerranéennes intenses en milieu urbain : interprétation physique et analyse statistique de mesures à fines échelles spatio-temporelles, impact de la variabilité spatiale sur la réponse de bassins versants. Thèse de doctorat, université de Joseph Fourier, Grenoble. France. 215p.
- **J.L.Bertrand.Krajewski.** (2000), Mesures en hydrologie Urbaine et Assainissement. Ed." TEC & DOC ", p113-120.
- **Mailhot, A., Duchesne, S., Caya, D., Talbot, G.** (2007) Assessment of future change in intensity–duration–frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *J. hydrol.* 347, 197– 210.
- **Lambole, A.** (2006) Statistiques (A166), in *Technique de l'ingénieur. Volume A.* Editions Technique de l'ingénieur. Paris. France. A166 1-A166 41p.
- **Svensson. C., Clarke, R.T. & Jones, D. A.** (2007) An experimental comparison of methods for estimating rainfall intensity-duration-frequency relations from fragmentary records. *J. hydrol.* 341, 79 – 89.
- **DUBIEF J,** 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara,Inst. Météo.Phy. Glob. Alg. Alger, 457p.
- **Soro, G.E., Goula Bi Tié, A., Kouassi, F.W., Koffi, K., Kamagate, B., Doumouya, I., Savane, I. et Srohorou, B.** (2008) Courbes intensité durée fréquence des précipitations en climat tropical humide : cas de la région d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *European j. Sci. Res.*,21(3), 394-405.
- **Mestre** (2000) Méthodes statistiques pour l'homogénéisation de longues séries climatiques. Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier. Toulouse. France. 230p.
- **Muller, A.** (2006) Comportement asymptotique de la distribution des pluies extrêmes en France. Thèse de doctorat. Université de Montpellier II. Montpellier, France. 245p.
- **Mohymont, B., Demarée, G. R.** (2006) Courbes intensité–durée–fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. *J. Sci. Hydrol.* 51(2), 239–253.
- **SNEYERS R.** (1977). L'intensité maximale des précipitations enBelgique. IRM, Publications Série B, No. 86, Bruxelles, 15 p.
- **Masson J.M,** 1980 : Analyse d'une longue série pluviographiques Montpellier Bel Air 1920-1971, in *La Météorologie 5ème série n° 20-21 numéro spécial « précipitations et hydrologie »*, p 105-118.
- **Meylan, P. and Musy, A.** (1999), - Hydrologie fréquentielle. Office fédéral de l'éducation et de la science/suisse (n 96.01). pp 181, 251, 275, 305, 371.
- **Duband, D.** (1982), - Hydrologie statistique approfondie. Ecole national supérieure d'hydraulique de Grenoble. pp. II-11.
- **Laborde, J.P.** (2000), - Elément l'hydrologie de surface. Université de Nice - Sophia Antipolis. Ed. 2000, pp 66, 82, 117,119.

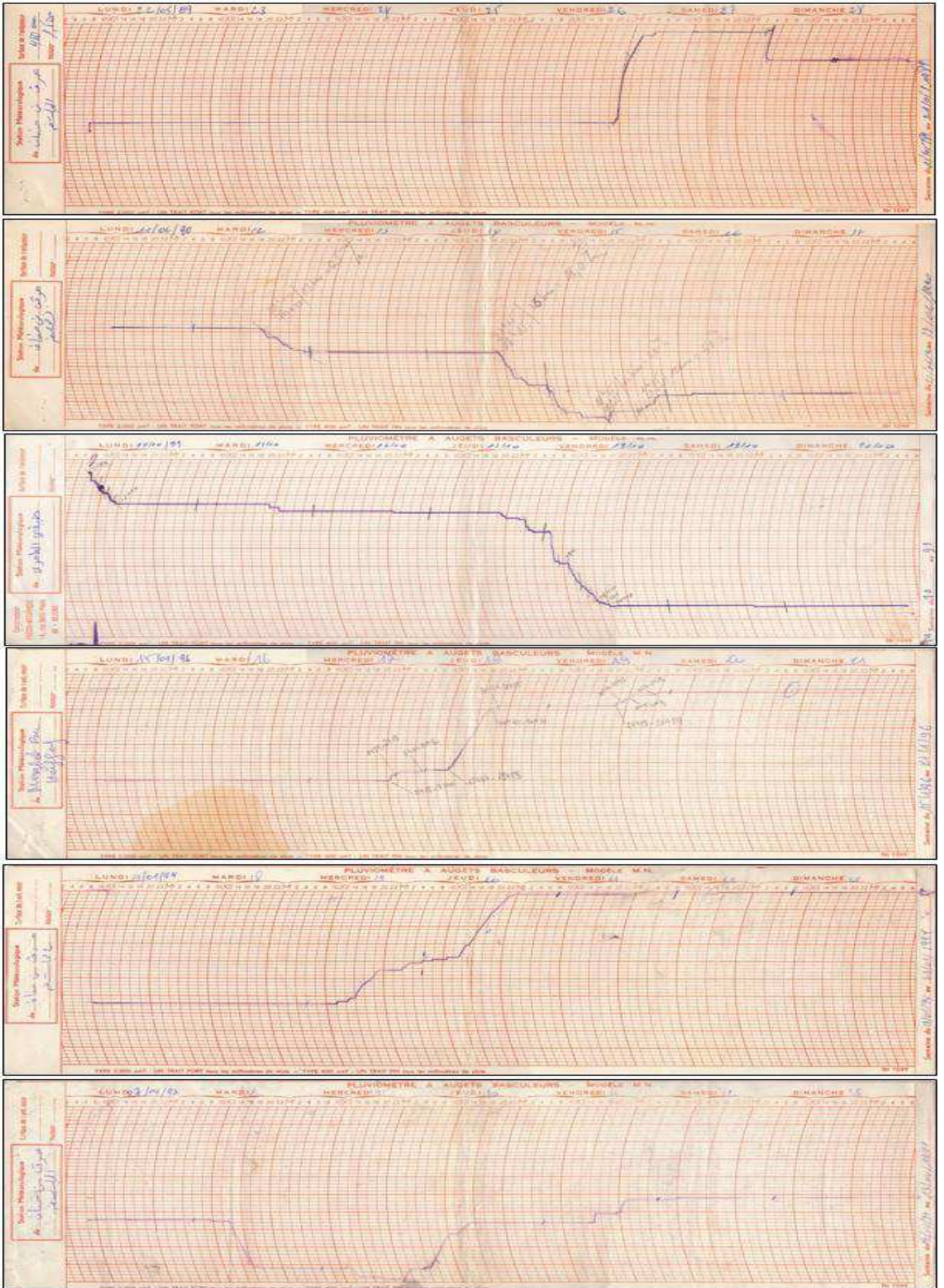
ANNEXE

ANNEXE 1









ANNEXE 3

Dépouillement de quelques averses et choix des pluies maximales dans les intervalles de temps à la station de DAR GHIOUKH

Dépouillement de l'averse					Choix des pluies max dans les intervalles					
Date	Heur	Min	quantité de pluie depuis le commencement de l'averse [mm]	Intensité [mm/min]	Intervalle [min]	Début et fin d'intervalle heur : min	Pluie [mm]	Intensité [mm/min]		
15/08/1978	15/08/1978				1	13:37	13:38	0,20769	0,20769	
	13	37	0	-	5	13:37	13:42	1,03846	0,20769	
	13	50	2,7	0,2077	10	13:37	13:47	2,07692	0,20769	
	18	18	5,3	0,0097	20	13:37	13:57	2,76791	0,13840	
					30	13:37	14:07	2,86493	0,09550	
					40	13:37	14:17	3,05896	0,07647	
					60	13:37	14:37	3,15597	0,05260	
					90	13:37	15:07	3,44701	0,03830	
					150	13:37	16:07	4,02910	0,02686	
					281	13:37	18:18	5,30000	0,01886	
10/01/1980	10/01/1980				1	17:20	17:21	0,08421	0,08421	
	17	20	0	-	5	17:20	17:25	0,42105	0,08421	
	17	39	1,6	0,0842	10	17:20	17:30	0,84211	0,08421	
	18	2	1,7	0,0043	20	17:20	17:40	1,60435	0,08022	
	18	55	3,7	0,0377	30	17:20	17:50	1,64783	0,05493	
					40	17:20	18:00	1,69130	0,04228	
					60	17:20	18:20	2,37925	0,03965	
					90	17:20	18:50	3,51132	0,03901	
					95	17:20	18:55	3,70000	0,03895	
	08/12/1987	08/12/1987				1	18:12	18:13	0,35000	0,35000
18		12	0	-	5	18:12	18:17	1,75000	0,35000	
18		18	2,1	0,3500	10	18:12	18:22	2,31714	0,23171	
18		53	4	0,0543	20	18:12	18:32	2,86000	0,14300	
					30	18:12	18:42	3,40286	0,11343	
					40	18:12	18:52	3,94571	0,09864	
15/08/1993	15/08/1993				1	16:57	16:58	0,53333	0,53333	
	16	57	0	-	5	16:57	17:02	2,66667	0,53333	
	17	6	4,8	0,5333	10	16:57	17:07	4,80833	0,48083	
	17	30	5	0,0083	20	16:57	17:17	4,89167	0,24458	
	17	33	6,6	0,5333	30	16:57	17:27	4,97500	0,16583	
					36	16:57	17:33	6,60000	0,18333	
21/04/1998	21/04/1998				1	02:06	02:07	0,20513	0,20513	
	23	18	0	-	5	02:06	02:11	1,02564	0,20513	
	0	5	4,4	0,0936	10	02:06	02:16	2,05128	0,20513	
	0	42	4,5	0,0027	20	02:06	02:26	4,10256	0,20513	
	1	38	9,8	0,0946	30	02:06	02:36	6,15385	0,20513	
	2	6	10,4	0,0214	40	02:06	02:46	8,03818	0,20095	
	2	45	18,4	0,2051	60	02:06	03:06	8,80182	0,14670	
	3	40	20,5	0,0382	90	02:06	03:36	9,94727	0,11053	
	4	59	21	0,0063	150	01:10	03:40	13,3500	0,08900	
	6	21	24,6	0,0439	300	01:38	06:38	18,3878	0,06129	
	6	32	25,1	0,0455	434	23:18	06:32	16,7545	0,03860	
	15/01/2003	15/01/2003				1	13:19	13:20	0,70000	0,70000
		8	8	0	-	5	13:19	13:24	0,73175	0,14635
8		15	1,7	0,2429	10	13:19	13:29	0,77143	0,07714	
9		33	2,3	0,0077	20	13:19	13:39	0,85079	0,04254	
13		19	2,5	0,0009	30	13:19	13:49	0,93016	0,03101	
13		20	3,2	0,7000	40	13:19	13:59	1,00952	0,02524	
16		29	4,7	0,0079	60	13:19	14:19	1,16825	0,01947	
17		13	5,3	0,0136	90	13:19	14:49	1,40635	0,01563	
21		16	28,9	0,0971	150	13:19	15:49	1,88254	0,01255	
					300	13:19	18:19	9,20988	0,03070	
					600	11:16	21:16	26,50885	0,04418	
					720	09:16	21:16	26,73077	0,03713	
					788	08:08	21:16	28,90000	0,03668	

ANNEXE 4

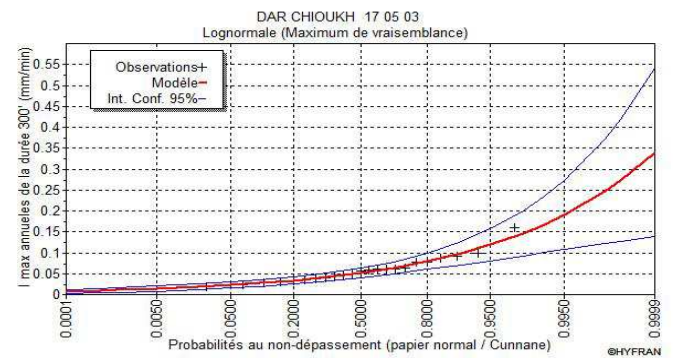
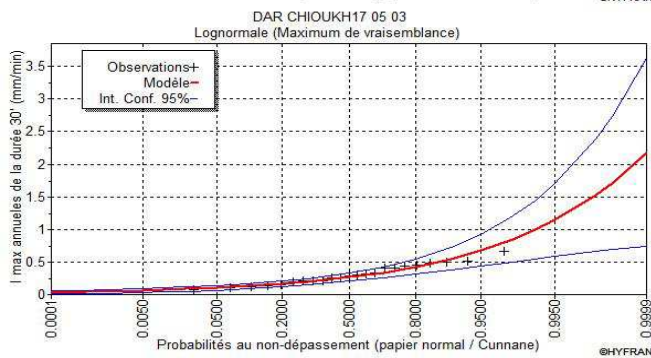
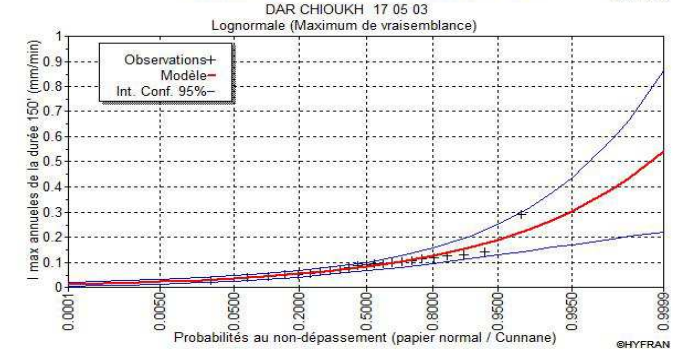
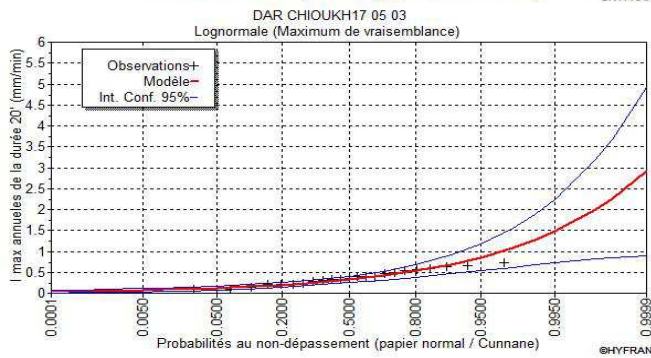
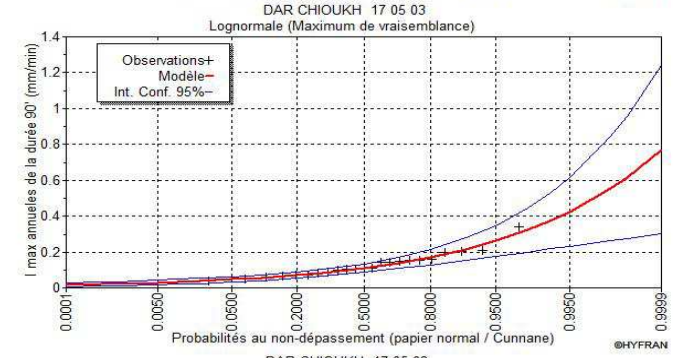
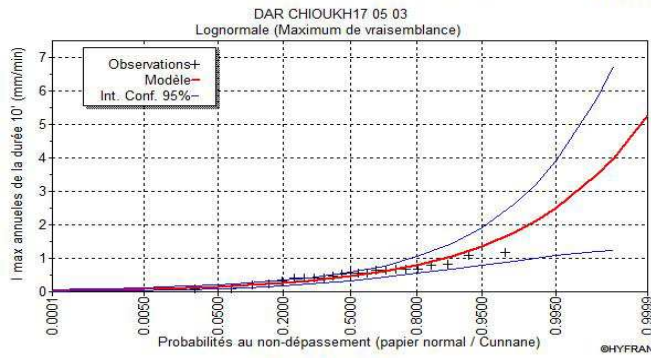
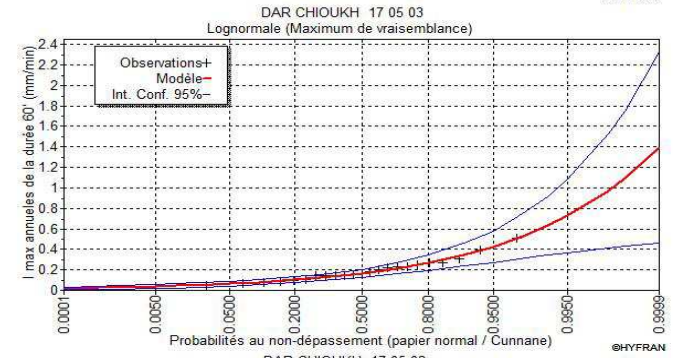
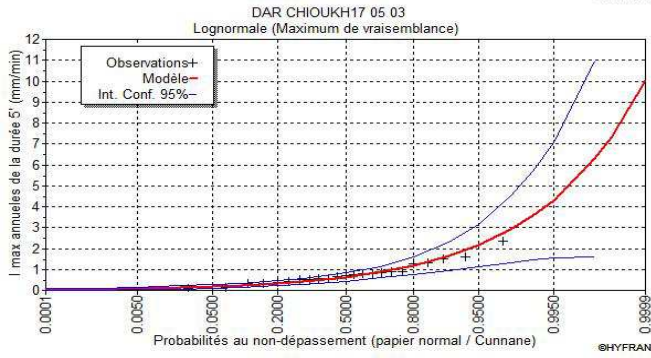
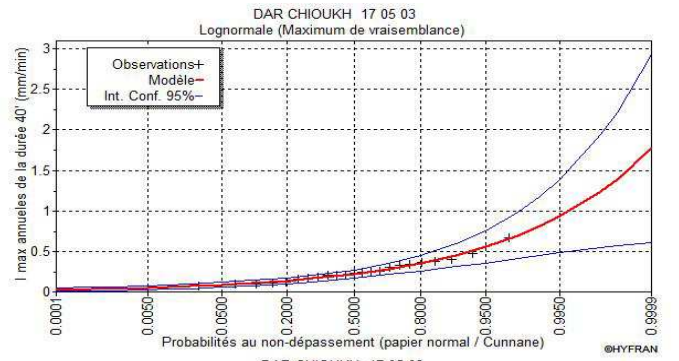
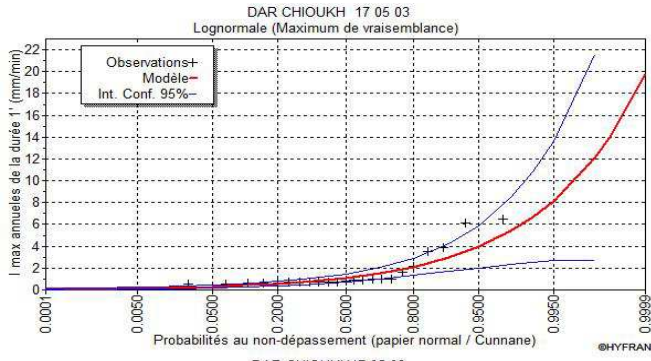
Dépouillement de quelques averses et choix des pluies maximales dans les intervalles de temps à la station de DJELFA									
Dépouillement de l'averse					Choix des pluies max dans les intervalles				
Date	Heur	Min	quantité de pluie depuis le commencement de l'averse [mm]	Intensité [mm/min]	Intervalle [min]	Début et fin d'intervalle heur : min	Pluie [mm]	Intensité [mm/min]	
02/05/1976	02/05/1976				1	12:00	12:01	0,6000	0,6000
	11	50	0	-	5	12:00	12:05	3,0000	0,6000
	12	0	1	0,1000	10	11:50	12:00	3,5000	0,3500
		5	4	0,6000	20	11:50	12:10	4,0074	0,2004
	17	45	4,5	0,0015	30	11:50	12:20	4,0221	0,1341
					40	11:50	12:30	4,0368	0,1009
					60	11:50	12:50	4,0662	0,0678
					90	11:50	13:20	4,1103	0,0457
					150	11:50	14:20	4,1985	0,0280
					300	11:50	16:50	4,4191	0,0147
					355	11:50	17:45	4,5000	0,0127
25-I-1979	25/01/1979				1	17:30	17:31	0,5000	0,5000
	17	30	0	-	5	17:30	17:35	0,6356	0,1271
		31	0,5	0,5000	10	17:30	17:40	0,8051	0,0805
	18	30	2,5	0,0339	20	17:30	17:50	1,1441	0,0572
					30	17:30	18:00	1,4831	0,0494
					40	17:30	18:10	1,8220	0,0456
				60	17:30	18:30	2,5000	0,0417	
25-IV-1983	25/04/1983				1	02:10	02:11	0,1583	0,1583
	2	10	0	-	5	02:10	02:15	0,7917	0,1583
	3	10	9,5	0,1583	10	02:10	02:20	1,5833	0,1583
	5	10	17	0,0625	20	02:10	02:30	3,1667	0,1583
	6	10	19,5	0,0417	30	02:10	02:40	4,7500	0,1583
		40	22	0,0833	40	02:10	02:50	6,3333	0,1583
					60	02:10	03:10	9,5000	0,1583
					90	02:10	03:40	11,3750	0,1264
				150	02:10	04:40	15,1250	0,1008	
				270	02:10	06:40	22,0000	0,0815	
30-III-1991	30/03/1991				1	08:00	08:01	0,1583	0,1583
	8	0	0	-	5	08:00	08:05	0,7917	0,1583
	9	0	9,5	0,1583	10	08:00	08:10	1,5833	0,1583
	10	10	12	0,0357	20	08:00	08:20	3,1667	0,1583
	11	50	24,5	0,1250	30	08:00	08:30	4,7500	0,1583
	22	40	25	0,0008	40	08:00	08:40	6,3333	0,1583
	23	40	25,5	0,0083	60	08:00	09:00	9,5000	0,1583
	2	0	26	0,0036	90	08:00	09:30	10,5714	0,1175
					150	08:00	10:30	14,5000	0,0967
					300	08:00	13:00	24,5538	0,0818
					600	08:00	18:00	24,7846	0,0413
				720	08:00	20:00	24,8769	0,0346	
				1080	08:00	02:00	26,0000	0,0241	
27/09/2000	27/09/2000				1	09:50	09:51	0,2857	0,2857
	9	50	0	-	5	09:50	09:55	1,4286	0,2857
	10	25	10	0,28571	10	09:50	10:00	2,8571	0,2857
	11	20	11,5	0,02727	20	09:50	10:10	5,7143	0,2857
	12	5	13,5	0,04444	30	09:50	10:20	8,5714	0,2857
	0	40	14	0,00066	40	09:50	10:30	10,1364	0,2534
					60	09:50	10:50	10,6818	0,1780
					90	09:50	11:20	11,5000	0,1278
					150	09:50	12:20	13,5099	0,0901
					300	09:50	14:50	13,6093	0,0454
					600	09:50	19:50	13,8079	0,0230
				720	09:50	21:50	13,8874	0,0193	
				890	09:50	00:40	14,0000	0,0157	

ANNEXE 5

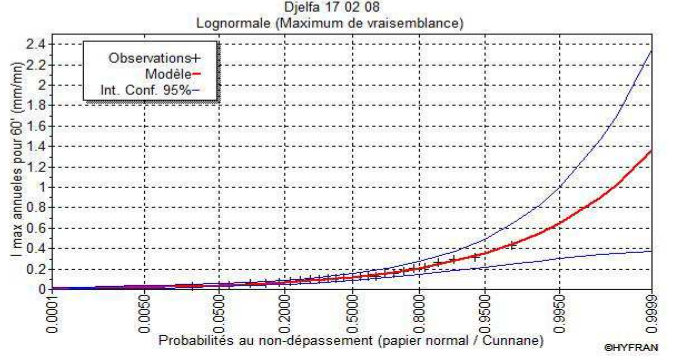
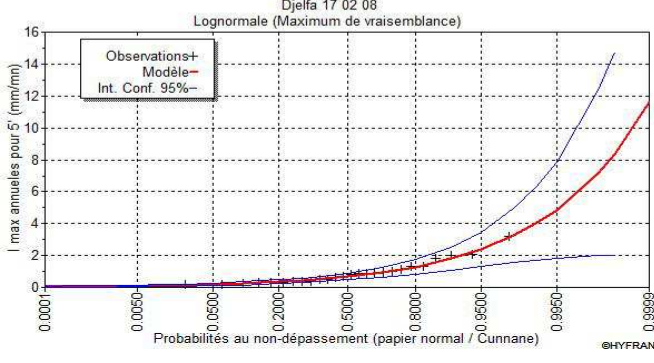
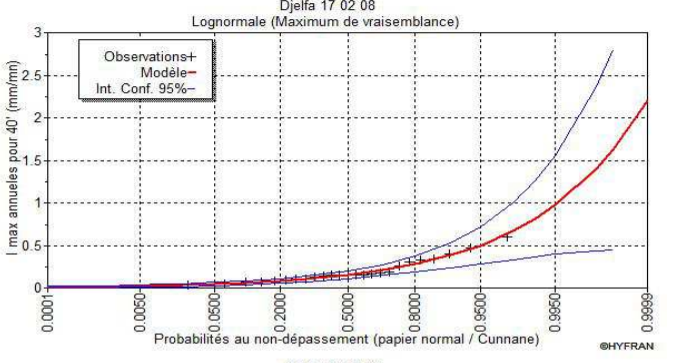
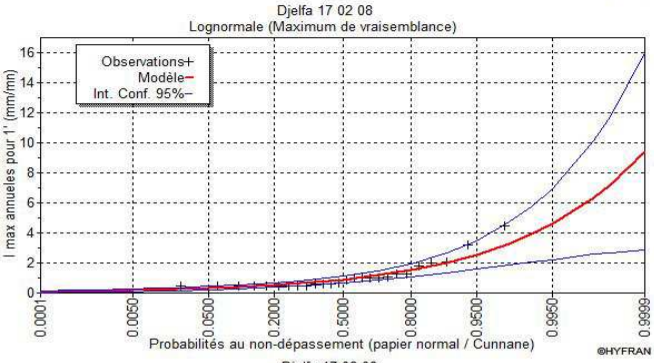
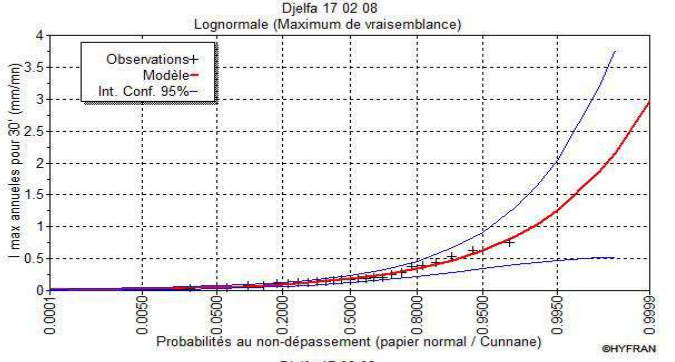
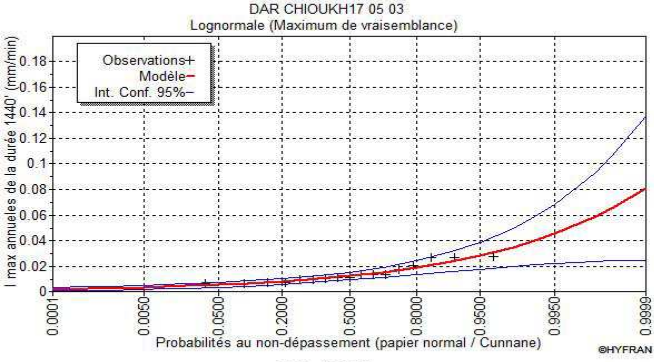
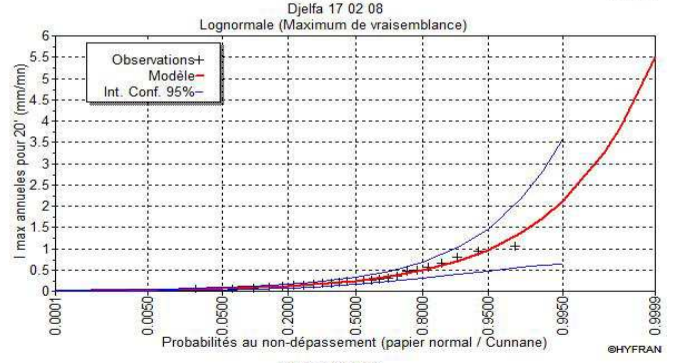
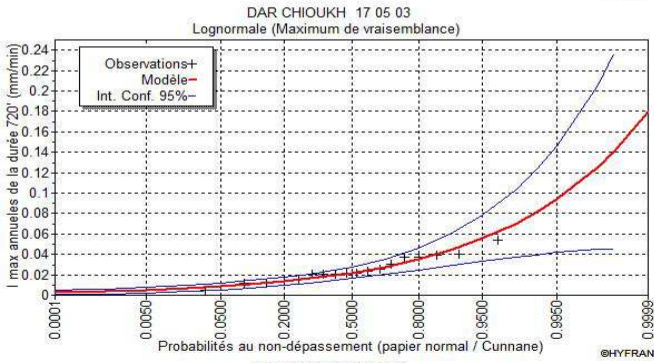
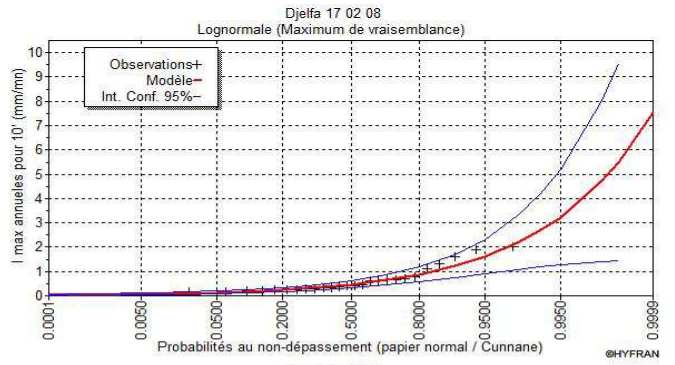
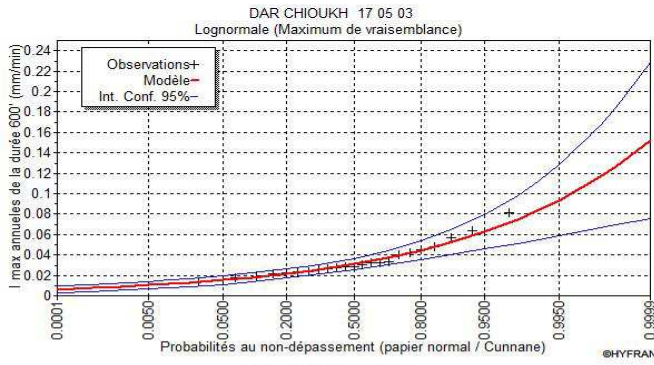
ANNEXE 5

Dépouillement de quelques averses et choix des pluies maximales dans les intervalles de temps à la station de MERGUB B H								
Dépouillement de l'averse					Choix des pluies max dans les intervalles			
Date	Heur	Min	quantité de pluie depuis le commencement de l'averse [mm]	Intensité [mm/min]	Intervalle [min]	Début et fin d'intervalle heur : min	Pluie [mm]	Intensité [mm/min]
07/01/1972	1	0	0	-	1	01:00 01:01	0,10000	0,10000
	1	20	2	0,10000	5	01:00 01:05	0,50000	0,10000
	2	30	3,5	0,02143	10	01:00 01:10	1,00000	0,10000
					20	01:00 01:20	2,00000	0,10000
					30	01:00 01:30	2,21429	0,07381
					40	01:00 01:40	2,42857	0,06071
					60	01:00 02:00	2,85714	0,04762
				90	01:00 02:30	3,50000	0,03889	
07/01/1977	15	25	0	-	1	15:25 15:26	0,16000	0,16000
	15	50	4	0,16000	5	15:25 15:30	0,80000	0,16000
	0	56	4,5	0,00092	10	15:25 15:35	1,60000	0,16000
	1	30	5	0,01471	20	15:25 15:45	3,20000	0,16000
	3	20	6	0,00909	30	15:25 15:55	4,00458	0,13349
	3	40	7,5	0,07500	40	15:25 16:05	4,01374	0,10034
	7	59	9	0,00579	60	15:25 16:25	4,03205	0,06720
					90	15:25 16:55	4,05952	0,04511
					150	15:25 17:55	4,11447	0,02743
					300	15:25 20:25	4,25183	0,01417
				600	15:25 01:25	4,92647	0,00821	
				720	15:25 03:25	6,37500	0,00885	
				994	15:25 07:59	9,00000	0,00905	
29/10/1982	11	54	0	-	1	11:54 11:55	0,50000	0,50000
	11	55	0,5	0,50000	5	11:54 11:59	0,58101	0,11620
	18	30	8,5	0,02025	10	11:54 12:04	0,68228	0,06823
	0	6	10,5	0,00595	20	11:54 12:14	0,88481	0,04424
					30	11:54 12:24	1,08734	0,03624
					40	11:54 12:34	1,28987	0,03225
					60	11:54 12:54	1,69494	0,02825
					90	11:54 13:24	2,30253	0,02558
					150	11:54 14:24	3,51772	0,02345
					300	11:54 16:54	6,55570	0,02185
				600	11:54 21:54	9,71429	0,01619	
				720	11:54 23:54	10,42857	0,01448	
				732	11:54 00:06	10,50000	0,01434	
14/02/1993	23	40	0	-	1	23:40 23:41	0,03611	0,03611
	2	40	6,5	0,03611	5	23:40 23:45	0,18056	0,03611
	4	30	7	0,00455	10	23:40 23:50	0,36111	0,03611
					20	23:40 00:00	0,72222	0,03611
					30	23:40 00:10	1,08333	0,03611
					40	23:40 00:20	1,44444	0,03611
					60	23:40 00:40	2,16667	0,03611
					90	23:40 01:10	3,25000	0,03611
				150	23:40 02:10	5,41667	0,03611	
				290	23:40 04:30	7,00000	0,02414	
02/01/1998	12	50	0	-	1	12:50 12:51	0,01111	0,01111
	16	35	2,5	0,01111	5	12:50 12:55	0,05556	0,01111
					10	12:50 13:00	0,11111	0,01111
					20	12:50 13:10	0,22222	0,01111
					30	12:50 13:20	0,33333	0,01111
					40	12:50 13:30	0,44444	0,01111
					60	12:50 13:50	0,66667	0,01111
					90	12:50 14:20	1,00000	0,01111
					150	12:50 15:20	1,66667	0,01111
				225	12:50 16:35	2,50000	0,01111	

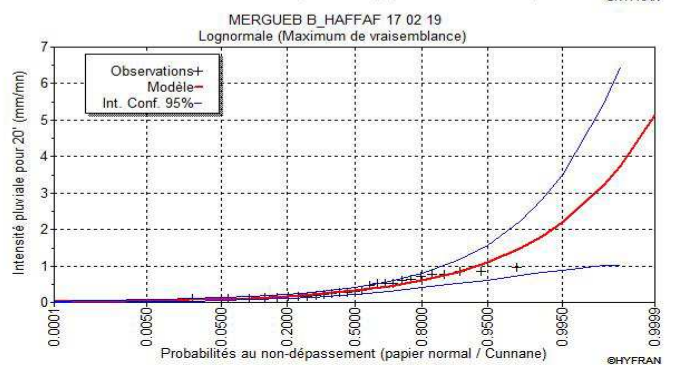
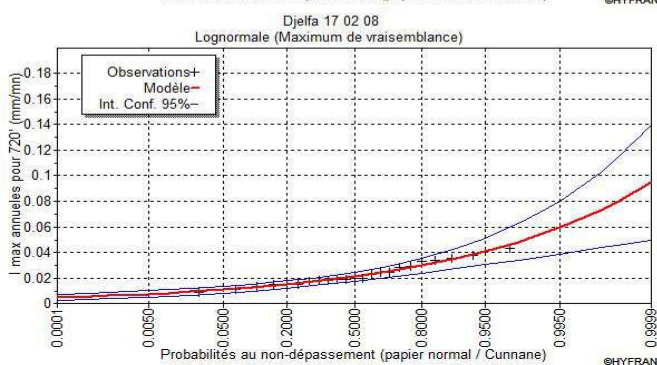
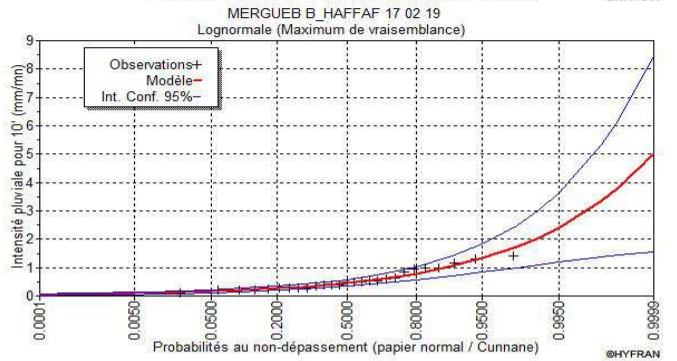
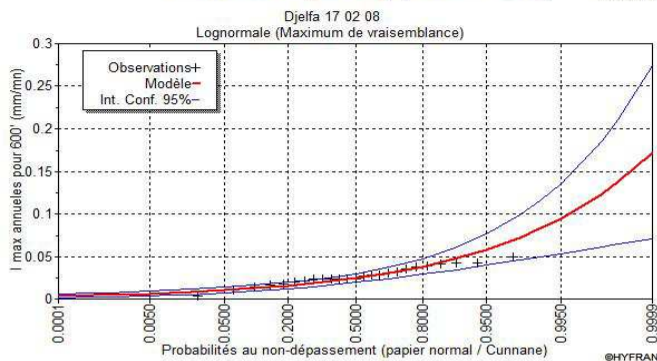
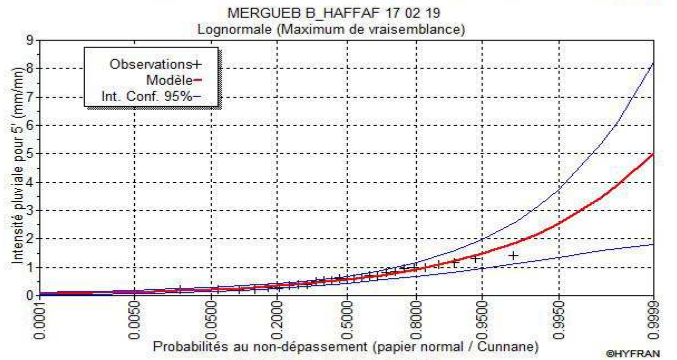
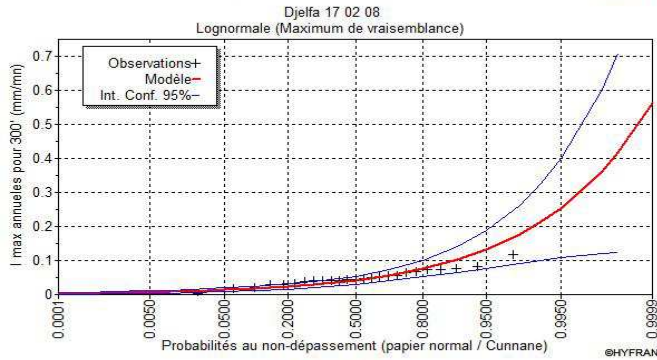
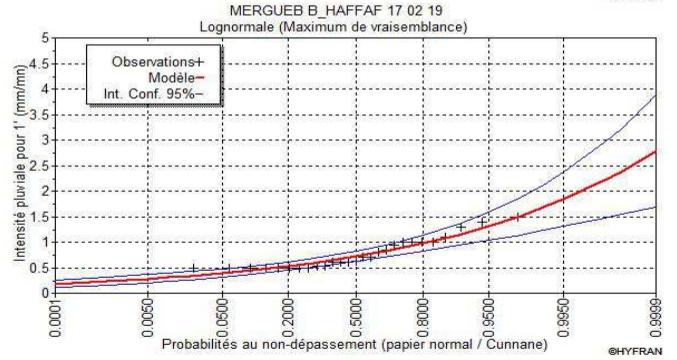
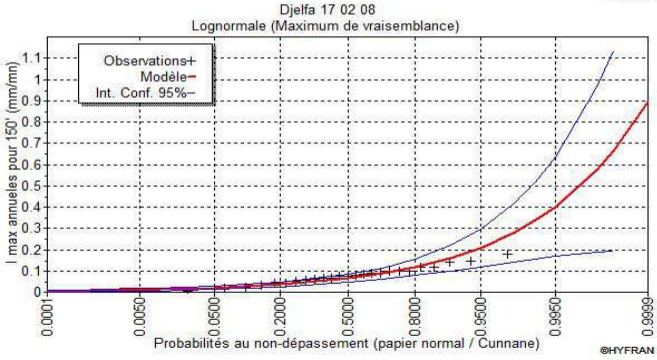
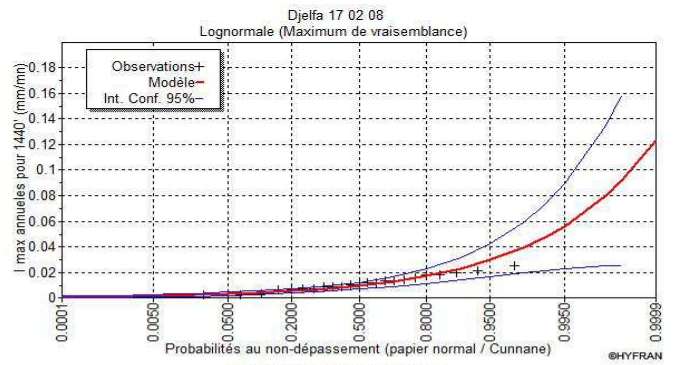
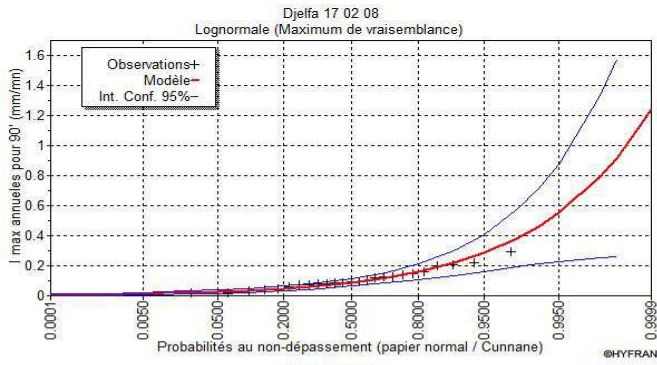
ANNEXE 6



ANNEXE 6



ANNEXE 6



ANNEXE 6

