

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVRSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

Mémoire

PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN HYDRAULIQUE

OPTION : HYDRAULIQUE GENERALE

Thème

**CONTRIBUTION METHODOLOGIQUE DE LA
MODELISATION DE L' INTENSITES DE PLUIE
DE COURTE DUREE**

Présenté par :

Mr : KASMI MOULOU

Ingénieur d'Etat en Hydraulique Urbaine

Devant le jury composé de :

Dr. CHELOUAH	Nasser	MCA - Université Béjaia	Président
Dr. HOUICHI	Larbi	MCA - Université Batna	Rapporteur
Dr. BRAHIMI	Malek	MCA - Université Béjaia	Examineur
Dr. DJEMILI	Lakhdar	MCA - Université Annaba	Examineur

2011-2012

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVRSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

Mémoire

PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN HYDRAULIQUE

OPTION : HYDRAULIQUE GENERALE

Thème

**CONTRIBUTION METHODOLOGIQUE DE LA
MODELISATION DE L' INTENSITES DE PLUIE
DE COURTE DUREE**

Présenté par :

Mr : KASMI MOULOU

Ingénieur d'Etat en Hydraulique Urbaine

Devant le jury composé de :

Dr. CHELOUAH	Nasser	MCA - Université Béjaia	Président
Dr. HOUICHI	Larbi	MCA - Université Batna	Rapporteur
Dr. BRAHIMI	Malek	Pr - Université Béjaia	Examineur
Dr. DJEMILI	Lakhdar	MCA - Université Annaba	Examineur

2011-2012

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Avant toute chose nous remercions le dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la foi à fin de mener ce travail à terme

Nos plus vifs remerciement vont aux :

*Mon encadreur Monsieur **HOUICHI LARBI**, Maître de Conférences au Département d'hydraulique à l'université hadj Lakhdar BATNA, de m'avoir encadré tout le long de ce travail, je le remercie pour ces conseils, sa disponibilité, ces recommandations et surtout sa patience « merci pour tout »*

*Monsieur **CHELOUAH NASSER**, Maître de Conférences à l'université de Bejaia de me faire l'honneur de présider le jury ; ainsi que tous les membres de la commission de jury:*

*Monsieur **DJEMILI Lakhdar**, Maître de Conférences à l'Université Badji Mokhtar- Annaba.*

*Monsieur **BRAHIMI MALEK** Professeur à l'Université de Bejaia.*

*Mes remerciements vont aussi envers Monsieur **BERREKSI ALI** enseignant au département d'hydraulique à l'université de Béjaia*

*Mes collègues de promotion surtout **LOUCIF**.
Tous mes amis et ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.*

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail

❖ *A mes parents*

❖ *A mes amis*

❖ *A mes cousins et mes cousines*

Sommaire

INTRODUCTION GENERAL

CHAPITRE I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT DE L'ART CERNANT LA NOTION DE L'INTENSITE DE PLUIE

I.1. Introduction.....	04
I.2. Principes de mesure.....	04
I.3. Appareils de mesure de la pluie.....	05
I.3.1. pluviomètres.....	05
I.3.2. Pluviographes à augets basculeurs.....	05
I.3.3. Pluviographes à siphons et à flotteurs.....	06
I.4. Les erreurs de mesure de la pluie.....	07
I.5. Définition du bassin versant.....	08
I.6. Formes de précipitations autres que la pluie.....	08
I.6.1. Hauteur des précipitations.....	08
I.6.2. Notion de temps de retour.....	09
I.6.3. Durée de précipitation.....	09
I.6.4. Fréquence.....	09
I.7. Intensité de précipitation.....	10
I.7.1. Notion d'averses.....	10
I.7.2. Courbes déduites des enregistrements d'un pluviographe.....	10
I.8. Définition des courbes intensités durées fréquence.....	12
I.8.1. Le but des courbes <i>IDF</i>	13
I.8.2. Méthodes de construction de courbes <i>IDF</i>	13
I.9. Modélisation des courbes <i>IDF</i>.....	13
I.10. Citations de quelques travaux ayant traités les modèles <i>IDF</i>.....	14
I.10.1. Modèle combiné de Talbot-Montana.....	14
I.11. Conclusion.....	16

CHAPITRE II

COLLECTE DE LA BASE DE DONNEES ISSUE DES PLUVIOGRAPHES

II.1. Introduction.....	18
II.2. Données Utilisées Issues Des Stations Disponibles.....	18
II.3. Conclusion.....	22

CHAPITRE III

ANALYSE FREQUENTIELLE ET LOIS USUELLES DE PROBABILITE

III.1. Introduction.....	24
III.2. Lois de distributions statistiques et leur utilité en Hydrologie Urbaine.....	24
III.2.1. Loi Normale ou loi de Gauss.....	24
III.2.2. Loi log-Normale ou loi de Galton.....	25
III.2.3. Loi log-Normale à trois paramètres.....	25
III.2.4. Loi Gamma à trois paramètres.....	25
III.2.5. Loi Weibull à trois paramètres.....	26
III.2.6. Loi des plus grandes valeurs extrêmes (Extreme value Type I).....	26
III.3. Analyse Fréquentielle.....	26
III.3.1. Formules courantes de calcul de la fréquence empirique.....	27
III.3.2. Notions de fréquence et période de retour.....	28
III.3.3. Exemples de calcul des quantiles et des fréquences ou périodes de retour correspondantes pour quelques lois de probabilité.....	29
III.4. Test D'adéquation.....	30
III.4.1. Test d'adéquation du khi-deux (χ^2).....	30
III.4.2. Test d'adéquation de Kolmogorov Smirnov (KS).....	31
III.4.3. Test d'adéquation d'Anderson-Darling (AD).....	31
III.5. Estimation des paramètres des lois de distribution par la méthode de vraisemblance.....	32
III.6. Comparaison et sélection des lois de distribution après les tests d'adéquations...	33
III.7. Conclusion.....	34

CHAPITRE IV

RECHERCHE D'UNE RELATION CONVENABLE POUR L'ESTIMATION DES INTENSITES DE PLUIE DE COURTE DUREE

IV.1. Introduction.....	36
IV.2. Description de quelques modèles IDF usuels issus de la littérature.....	36
IV.2.1. Modèle dit ANRH (M0).....	36
IV.2.2. Modèles type Montana et Talbot.....	37
IV.3. Quelques critères de performances pour le choix des modèles IDF.....	39
IV.4. Etude détaillée et application à la station de Batna codée 070316 (station plus complète).....	40
IV.4.1. Application du modèle dit ANRH (Modèle M0).....	40
a) Dépouillement à intensité constante.....	40
b) Mise en forme des fichiers.....	41
b.1) Programme de mise en forme des dépouillements (MEFDEP).....	41
b.2) Programme de calcul de pluie de durée t (DEPCONS).....	41
b.3) Programme des sommes glissantes (SGL).....	42
b.4) Traitement statistique en vue de la recherche de la loi Intensité-Durée- Fréquence.....	42
IV.4.2. Application des autres modèles (Modèle M1,...M12) aux données de la station de Batna codée (070316).....	43
IV.4.2.1. Fichier de données caractérisées par un maximum par année et ajustées à la loi de Gumbel.....	43
IV.4.2.2. Fichier de données caractérisées par un maximum par année et ajustées à la loi log-Normale.....	47

IV.4.2.3. Fichier de données caractérisées par deux maximums par année et ajustées à la loi de Gumbel (Série gonflée).....	50
IV.4.2.4. Fichier de données caractérisées par deux maximums par année et ajustées à la loi log-Normale (Série gonflée).....	54
IV.4.2.5. Fichier de données au delà d'un seuil ajustées à la loi adéquate (Série tronquée).....	57
IV.4.2.5.1. Durée de 15 mn.....	58
IV.4.2.5.1. Durée de 30 mn.....	59
IV.4.2.5.3. Durée de 1H.....	60
IV.4.2.5.4. Durée de 2H.....	61
IV.4.2.5.5. Durée de 3H.....	62
IV.4.2.5.6. Durée de 6H.....	63
IV.4.2.5.7. Durée de 12H.....	64
IV.4.2.5.8. Durée de 24H.....	65
IV.5. Conclusions et recommandations issues de l'étude détaillée de la station de Batna.....	71
IV.5.1. A-propos des lois de distribution.....	72
IV.5.2. A-propos des tailles des échantillons.....	72
IV.5.3. A-propos des modèles testés.....	72
IV.5.4. Variation des paramètres du modèle M4 selon la loi ajustée et la taille Analyisée.....	72
IV.6. Application privilégiée des modèles décrits aux stations disponibles.....	73
IV.6.1. Application du modèle M4 à la station Bir Mourad Reis (020509) du Côtier Algérois.....	74
IV.6.2. Application pour la station Ain Roua Côtier Constantinois.....	76
IV.6.3. Application pour la station Mostaganem Côtier Oranais.....	79
IV.6.4. Application pour la station Beni Ourtilane Soummam.....	81
IV.7. Déduction sommaire à propos de la répartition spatiale des paramètres du modèle M4 adopté.....	84
IV.7. conclusion.....	85

CONCLUSION GENERALE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

LISTES DES FIGURES ET CARTES

Fig. I.1. Pluviomètre.....	05
Fig. I.2. Principe de fonctionnement d'un pluviographe.....	06
Fig. I.3. Pluviographes à augets basculeurs.....	07
Fig. I.4. Le pluviographe à siphon (le dispositif ouvert).....	07
Fig. I.5. Courbe des pluies cumulées.....	11
Fig. I.6. Le Hyétogramme.....	11
Fig. I.7. Séparation des averses dans le Hyétogramme.....	12
Fig. I.8. Lois combinées Montana et Talbot, notion de durée pivot.....	15
Fig. II.1. Localisation des bassins hydrographiques servant de base de données..	19
Fig. IV.1. Feuille hyétogramme sur la table du digitaliseur.....	40
Fig. IV.2. Fichier résultat de digitalisation.....	40
Fig. IV.3. Fichier résultat mis en forme par MEFDEP.....	41
Fig. IV.4. Fichier résultat donné par DEPCONS.....	41
Fig. IV.5. Fichier résultat donné par SGL et valeurs Pjmax correspondantes.....	42
Fig. IV.6. Résultat graphique donné par MAC.IDF.....	43
Fig. IV.7. Résultat numérique donné par MAC.IDF.....	43
Fig. IV.8. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an) Station de Batna.....	44
Fig. IV.9. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel) Station de Batna.....	45
Fig. IV.10. Intensités de pluie observées et calculées par M4 (un max/an et loi de Gumbel): Station de Batna.....	47
Fig. IV.11. Ajustement à une loi log-Normale des pluies de durée 3H (1max/an) Station de Batna.....	47
Fig. IV.12. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (un max/an et loi log-Normale) Station de Batna.....	48
Fig. IV.13. Intensités M4 en fonction des intensités observées (1max/an et loi log-Normale): Station de Batna.....	50
Fig. IV.14. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (2max/an) Station de Batna.....	51
Fig. IV.15. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (2max/an et loi de Gumbel): Station Batna.....	52
Fig. IV.16. Intensités M4 en fonction des intensités observées (2max/an et loi de Gumbel): Station de Batna.....	53
Fig. IV.17. Ajustement à une loi log-Normale des pluies de durée 3H (2max/an) Station de Batna.....	54
Fig. IV.18. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (2max/an et loi log-Normale) Station de Batna.....	55
Fig. IV.19. Intensités M4 en fonction des intensités observées (2max/an et loi log-Normale): Station de Batna.....	57
Fig. IV.20. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 15 mn Station de Batna.....	59
Fig. IV.21. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 30 mn Station de Batna.....	60

Fig. IV.22. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 1H Station de Batna.....	61
Fig. IV.23. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 2H Station de Batna.....	62
Fig. IV.24. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 3H Station de Batna.....	63
Fig. IV.25. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 6H Station de Batna.....	64
Fig. IV.26. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 12H Station de Batna.....	65
Fig. IV.27. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 24H Station de Batna.....	66
Fig. IV.28. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (au-delà des seuils et Meilleurs lois) Station de Batna.....	67
Fig. IV.29. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (au-delà des seuils et loi log-Normale) Station de Batna.....	68
Fig. IV.30. Intensités M4 en fonction des intensités observées (au-delà des seuils et Meilleurs lois) Station de Batna.....	70
Fig. IV.31. Intensités M4 en fonction des intensités observées (au-delà des seuils et loi log-Normale) Station de Batna.....	70
Fig. IV.32. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an) Station de Bir Mourad Reis.....	75
Fig. IV.33. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel): Station de Bir Mourad Reis.....	75
Fig. IV.34. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel) Station de Bir Mourad Reis.....	76
Fig. IV.35. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an) Station de Ain Roua.....	77
Fig. IV.36. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel) Station de Ain Roua.....	78
Fig. IV.37. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel) Station de Ain Roua.....	79
Fig. IV.38. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an) Station de Mostaganem.....	80
Fig. IV.39. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel) Station de Mostaganem.....	80
Fig. IV.40. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel) Station de Mostaganem.....	81
Fig. IV.41. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an) Station de Beni Ourtilane.....	82
Fig. IV.42. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel) Station de Beni Ourtilane.....	83
Fig. IV.43. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel) Station de Beni Ourtilane.....	84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Situations, altitudes, noms et codes des stations à étudier.....	20
Tableau II.2. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an) Station de Batna : Hauts plateaux Constantinois.....	20
Tableau II.3. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (2max/an) Station de Batna : Hauts plateaux Constantinois.....	20
Tableau II.4. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an) Station de Bir Mourad Reis : Côtier Algérois.....	21
Tableau II.5. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Ain Roua : Côtier Constantinois.....	21
Tableau II.6. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Mostaganem : Côtier Oranais.....	21
Tableau II.7. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Beni Ourtilane : Soummam.....	22
Tableau IV.1. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Batna.....	44
Tableau IV.2. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Batna.....	44
Tableau IV.3. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Batna.....	45
Tableau IV.4. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Critères de performance: Station de Batna.....	46
Tableau IV.5. Quantiles pour log-Normale (1max/an): Station de Batna.....	48
Tableau IV.6. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi log-Normale)- Paramètres des modèles: Station de Batna.....	49
Tableau IV.7. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi log-Normale)- Critères de performance: Station de Batna.....	49
Tableau IV.8. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (2max/an): Station de Batna.....	51
Tableau IV.9. Quantiles pour Gumbel (2max/an): Station de Batna.....	51
Tableau IV.10. Résultats de l'application des modèles IDF (2max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Batna.....	52
Tableau IV.11. Résultats de l'application des modèles IDF (2max. par an et loi de Gumbel)- Critères de performance: Station de Batna.....	53

Tableau IV.12. Quantiles pour log-Normale (2max/an): Station de Batna.....	54
Tableau IV.13. Résultats de l'application des modèles IDF (2max. par an et loi log-Normale)- Paramètres des modèles: Station de Batna.....	55
Tableau IV.14. Résultats de l'application des modèles IDF (2max. par an et loi log-Normale)- Critères de performance: Station de Batna.....	56
Tableau IV.15. Caractéristiques des échantillons (avec seuils) aux diverses durées: Station de Batna.....	58
Tableau IV.16. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (avec seuils): Station de Batna.....	58
Tableau IV.17. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 15 mn: Station de Batna.....	59
Tableau IV.18. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 30 mn: Station de Batna.....	60
Tableau IV.19. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 1H: Station de Batna.....	61
Tableau IV.20. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 2H: Station de Batna.....	62
Tableau IV.21. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 3H: Station de Batna.....	63
Tableau IV.22. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 6H: Station de Batna.....	64
Tableau IV.23. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 12H: Station de Batna.....	65
Tableau IV.24. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 24H: Station de Batna.....	66
Tableau IV.25. Quantiles pour Meilleurs lois (au delà des seuils) : Station de Batna.....	67
Tableau IV.26. Quantiles pour Meilleurs lois (au delà des seuils) : Station de Batna.....	67
Tableau IV.27. Résultats de l'application des modèles IDF (au-delà des seuils et Meilleurs lois)- Paramètres des modèles: Station de Batna.....	68
Tableau IV.28. Résultats de l'application des modèles IDF (au-delà des seuils et log-Normale)- Paramètres des modèles: Station de Batna.....	69
Tableau IV.29. Résultats de l'application des modèles IDF (au-delà des seuils et Meilleurs lois)- Critères de performance: Station de Batna.....	69

Tableau IV.30. Résultats de l'application des modèles IDF (au-delà des seuils et loi log-Normale)- Critères de performance: Station de Batna.....	69
Tableau IV.31. Comparaison des quantiles selon les lois de distributions et les tailles des échantillons pour la petite période de retour de 5 ans: Station de Batna.....	71
Tableau IV.32. Comparaison des quantiles selon les lois de distributions et les tailles des échantillons pour la grande période de retour de 100 ans: Station de Batna.....	71
Tableau IV.33. Evolution des paramètres du modèle M4 selon la loi ajustée et la taille analysée: Station de Batna.....	73
Tableau IV.34. Coordonnées géographiques, altitudes, noms et codes des stations à étudier.....	74
Tableau IV.35. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Bir Mourad Reis.....	74
Tableau IV.36. Quantiles pour Gumbel (1max/an) : Station de Bir Mourad Reis.....	75
Tableau IV.37. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Bir Mourad Reis.....	76
Tableau IV.38. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Critères de performance: Station de Bir Mourad Reis.....	76
Tableau IV.39. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Ain Roua	77
Tableau IV.40. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Ain Roua.....	77
Tableau IV.41. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Ain Roua.....	78
Tableau IV.42. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Critères de performance: Station de Ain Roua	78
Tableau IV.43. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Mostaganem.....	79
Tableau IV.44. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Mostaganem.....	80
Tableau IV.45. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Mostaganem.....	81
Tableau IV.46. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Critères de performance: Station de Mostaganem.....	81
Tableau IV.47. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an): Station de Beni Ourtilane.....	82

Tableau IV.48. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Beni Ourtilane.....	82
Tableau IV.49. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Beni Ourtilane.....	83
Tableau IV.50. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Critères de performance: Station de Beni Ourtilane.....	83
Tableau IV.51. Aperçu sur la variation spatiale des paramètres du modèle M4.....	85

ملخص: بالنسبة لأغلبية المنشآت الري و خصوصا أنظمة الصرف الصحي في طرقه الوحديوية و المنفصلة (مياه الأمطار نقط)، التحجيم يقوم على أساس الطريقة المسماة الأسلوب العقلاني و تعتمد على معرفة شدة المطر و هي أيضا تتعلق بفترة حدوثها (تردد) و مدة العاصفة بحيث أن مدة العاصفة تفرن بين بمدة التركيز و من هنا نشأت فكرة الكثافة-المدة-الترددات و نرمر إليها ب (ك-م-ت).

بالنسبة إلى الأمطار الصغيرة و بالنسبة إلى الجزاء، أصغر من (0.25 ساعة)، النموذج الكلاسيكي من نوع مونتانا يعطي قيم مبالغ فيها لشدة المطر و على هذا الأساس يفقد صلاحيته و تطبيقه و هذا نظرا لكونه يعطي قيم مبالغ فيها فيما يخص التدفق السطحي.

في هذه الأطروحة حاولنا دراسة هذه المشكلة و تقديم نموذج مزدوج بين نموذج مونتانا و نموذج طالبو. تبين أن النموذج المسمى في الدراسة ب (م4) أنه أحسن النماذج من بين الاثني عشر نموذج و هذا من خلال عدة معايير من بينها معامل التحديد (R^2) و معدل الجذر التربيعي للأخطاء (م.ج.ت.أ). إن قاعدة البيانات تتكون من عينات لأمطار في أوقات مختلفة من 0.25 ساعة من خلال محطات قياسي الأمطار (بئر مراد رايس، عين الرود، باتنة، مستغانم، بني أورتيلان).

كتوضيح و تطبيق النموذج (م0) المقترح من طرف الوكالة الوطنية للموارد المائية و نموذج (م4) لمحطة باتنة و هذا لسلسلة تتكون من قيمتين عظيمتين و ضبط السلسلة عن طريق قانون اللوغاريتمي عادي، فإن قيمة معامل التحديد تتغير قيمته من 0.9609 بالنسبة للنموذج (م0) إلى 0.9917 بالنسبة للنموذج (م4).

نظرا لقلة للمحطات المستعملة تمكنا من وضع أهمية استمرارية هذه الدراسة من أجل إثراء الجوانب العلمية لتغيرات عوامل النموذج (م4).

كلمات البحث: النمذجية، صيغة مونتانا، طالبو، منحنيات (شدة، مدة، ترددات)، حجم العينات، احتمالات التوزيع، الكفاءة المثالية.

Abstract:

For the majority of the hydraulic works in particular the sewer systems in unit or separate system (only rainwater), the design based on the famous relation called rational method, bases on the correct knowledge of the rainy Intensity, itself dependent on a period of occurrence or (Frequency) and on the Duration of the shower likened by time in the duration of concentration. From where concept: noted Intensity-Duration-Frequency (IDF). For the rains in short time and for the collector of which the time of concentration is lower than ($0.25H$), the classic model of Montana give an exaggerated values for the corresponding intensity and loses as a consequence its validity and its interest of applicability since it overestimates the flows streamed with the detriment of the economy of the projects.

In the present thesis we tried to study this problem and to present in the purpose the model resulting from an association of the models of Montana and Talbot. It has proved that the model found, indicated in the study by M4, is the best among a dozen formulations which rest on diverse considerations, and it is true according to several criteria of performances, among others, the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error (RMSE). The database consists of samples of the rains of the diverse durations from $0.25H$ to $24H$, outcomes of stations of (Bir Mourad Reis, Ain Roua, Batna, Mostaganem and Beni Ourtilane), situated respectively in catchment basins (Côtier Algérois, Côtier Constantinois, Hauts plateaux Constantinois, Côtier Oranais and Soummam).

As an indication and in application of the M0 model adopted by the National Agency of the Hydraulic Resources (ANRH) and the M4 model, to the data of the station of Batna, with series formed by two maximums by year fitted to a log-normal law, the value of R^2 passes from 0.9609 for the M0 to 0.9997 for the M4 and the value of the RMSE passes in its turn of 4.36mm / hour in 0.39 mm / hour. With the little of stations used, one could nevertheless put forward the need for continuing the study to enrich the aspects of the spatial variation of the parameters of the M4 model once applied to wide and more representative geographical area.

Keywords: Modeling, Montana-Talbot formula, *IDF* curves, size samples, probability distributions, adequacy, performance.

Résumé:

Pour la majorité des ouvrages hydrauliques et notamment les réseaux d'assainissement en système unitaire ou séparatif (eaux de pluie seules), le dimensionnement basé sur la fameuse méthode dite rationnelle, repose sur la connaissance correcte de l'Intensité de pluie, elle-même dépendante d'une période d'occurrence (Fréquence) voulue et de la Durée de l'averse assimilée par fois au temps de concentration. D'où la notion : Intensité-Durée-Fréquence notée (*IDF*). Pour les petites pluies et pour des tronçons de temps de concentration inférieures à (0.25H), le modèle classique type Montana donne des valeurs exagérées pour l'intensité correspondante et perd en conséquence sa validité et son intérêt d'applicabilité du moment qu'il surestime les débits ruisselés au détriment de l'économie des projets.

Dans le présent mémoire nous avons tenté d'étudier cette problématique et de présenter en finalité un modèle résultant d'une association des modèles de Montana et Talbot. Il s'est avéré que le modèle trouvé, désigné dans l'étude par M4, soit le meilleur parmi une douzaine de formulations qui reposent sur des diverses considérations, et ce, selon plusieurs critères de performances, entre autres, le coefficient de détermination (R^2) et la racine de la moyenne des erreurs quadratiques (RMSE). La base de données est composée des échantillons des pluies des diverses durées de 0.25H à 24H, issues des stations pluviographiques (Bir Mourad Reis, Ain Roua, Batna, Mostaganem et Beni Ourtilane), situées respectivement dans les bassins hydrographiques (Côtier Algérois, Côtier Constantinois, Hauts plateaux Constantinois, Côtier Oranais et Soummam).

A titre indicatif et en application du modèle M0 adopté par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et le modèle M4, aux données de la station de Batna, avec des séries formées de deux maximums par année ajustées à une loi log-Normale, la valeur de R^2 passe de 0.9609 pour M0 à 0.9997 pour M4 et la valeur de la RMSE passe à son tour de 4.36mm/h à 0.39 mm/h. Avec le peu de stations utilisées, on a pu quand même mettre en exergue la nécessité de poursuivre l'étude pour enrichir les aspects de la variation spatiale des paramètres du modèle M4 une fois appliqué à un étendu géographique plus représentatif.

Mots clés: Modélisation, Formule de Montana-Talbot, courbes IDF, taille des échantillons, probabilité de distributions, adéquation, performance.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En hydrologie urbaine, les réponses des réseaux d'assainissement aux précipitations ont des formes très complexes et dépendent de toute l'évolution des précipitations depuis les durées de quelques minutes jusqu'à des durées de plusieurs heures.

La connaissance des précipitations constitue un élément fondamental pour l'étude et la compréhension du fonctionnement des systèmes d'évacuation dans les ouvrages hydrotechniques et dans les réseaux d'assainissement urbain en temps de pluie: elle est indispensable pour dimensionner un système d'évacuation au sens large du mot qui s'étend d'un petit ou grand réseau d'assainissement jusqu'aux évacuateurs de crue dans les barrages et les retenus, elle permet d'évaluer le fonctionnement des systèmes d'évacuation par rapport à des valeurs de référence, notamment les périodes de retour ou la notion d'événement pluvieux exceptionnel, elle permet de caler des modèles de simulation et/ou de dimensionnement, elle permet, à moyen terme, d'établir des statistiques pluviométriques locales spécifiques d'une agglomération ou d'un bassin versant naturel ou urbanisé.

Pour la plupart des ouvrages hydrauliques et notamment les réseaux d'assainissement en système unitaire ou séparatif (eaux de pluie), le dimensionnement tributaire de la méthode dite rationnelle, qui est particulièrement très utile lorsque les débits locaux ne sont plus jaugés, repose sur la connaissance plus au moins correcte de l'intensité de pluie, elle-même dépendante de la durée de l'averse assimilée par fois au temps de concentration. Pour les petites pluies ou pour des tronçons de temps de concentration inférieures à 30 min (0.25H), le modèle classique type Montana donne des valeurs asymptotiques très fortes pour l'intensité correspondante et perd en conséquence sa validité et son intérêt d'applicabilité du moment qu'il exagère les débits ruisselés au détriment de l'économie des projets. La tentation de remplacement dudit modèle s'avère très légitime en s'appuyant sur la notion d'intensité instantanée aux durées presque nulles et toujours dans l'ordre de grandeur d'une période de retour à envisager selon la nature et l'échelle des projets.

Dans le présent mémoire, la tâche à accomplir est de présenter une méthodologie de développement d'une formulation pour l'estimation de l'intensité de pluie liée aux courtes durées et une période de retour voulue moyennant une base de donnée adéquate et à la disposition, qui provient des pluviographes des stations pluviométriques. Le premier chapitre doit être une recherche bibliographique et un état de l'art cernant la notion de l'intensité de

pluie. Le deuxième chapitre doit porter sur la collecte de la base de données issue des pluviographes. Dans le troisième chapitre, nous donnerons les modèles les plus usuels, nommés lois de probabilité, rencontrés dans le contexte de l'étude ainsi que leur applicabilité pratique. Leurs expressions mathématiques seront également données. Deux types de modèles seront traités, il s'agit des modèles à deux et à trois paramètres. Le dernier et le quatrième chapitre sera consacré complètement à toutes les applications possibles, et ce, moyennant toutes les données disponibles, concernant les pluies des diverses durées de 0.25H à 24H, issues des stations pluviographiques (Bir Mourad Reis, Ain Roua, Batna, Mostaganem et Beni Ourtilane), situées respectivement dans les bassins hydrographiques (Côtier Algérois, Côtier Constantinois, Hauts plateaux Constantinois, Côtier Oranais et Soummam). Il s'agit de faire des analyses fréquentielles cherchant en premier lieu la meilleure loi de distribution et la plus adéquate et en deuxième lieu en cherchant par voie de conséquence le modèle :intensité-durée- fréquence (*IDF*) le plus robuste caractérisé par des indices et des critères de performance les plus usuels et incontournables.

Une conclusion générale, couronnée par des recommandations et des perspectives de l'étude, sera donnée pour mener à bien les objectifs de la présente thèse.

CHAPITRE I
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE ET
ETAT DE L'ART CERNANT LA
NOTION DE L'INTENSITE DE PLUIE

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT DE L'ART CERNANT LA NOTION DE L'INTENSITE DE PLUIE

I.1. INTRODUCTION

La connaissance des précipitations constitue un élément fondamental pour l'étude et la compréhension du fonctionnement des systèmes d'évacuation dans les ouvrages hydrotechniques et dans les réseaux d'assainissement urbain en temps de pluie:

- elle est indispensable pour dimensionner un système d'assainissement ;
- elle permet d'évaluer le fonctionnement du système par rapport à des valeurs de référence, notamment les périodes de retour ou la notion d'événement pluvieux exceptionnel ;
- elle constitue un paramètre explicatif des débits et des volumes observés sur le système, et pour partie des masses polluantes transférées dans les réseaux et rejetées dans les milieux aquatiques ;
- elle permet de caler des modèles de simulation et/ou de dimensionnement ;
- elle permet, à moyen terme, d'établir des statistiques pluviométriques locales spécifiques d'une agglomération ou d'un bassin versant.

I.2. PRINCIPES DE MESURE

Il existe deux catégories principales d'appareils de mesure des précipitations :

Les pluviomètres et les pluviographes. Les pluviomètres indiquent la hauteur d'eau totale précipitée, en mm (1 mm équivaut $1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$), sur des durées généralement inférieures ou égales à 24 heures et en large définition (2 à 3 jours) d'où la notion de **courte durée**.

Les pluviographes permettent de déterminer le cumul de la hauteur de pluie précipitée au cours du temps, et donc de déterminer l'intensité de la pluie, en mm/h, sur des pas de temps courts, en général, les pas de temps étant fixes ou variables.

Il existe plusieurs types de pluviographes, avec des technologies différentes. Les deux types les plus couramment utilisés en hydrologie urbaine sont les pluviographes à augets basculeurs et les pluviographes à pesée (**Bertrand-Krajewski et al. (2000)**).

I.3. APPAREILS DE MESURE DE LA PLUIE

I.3.1. Pluviomètres

Les pluviomètres, dont les modèles sont très divers (**Sevruck et Klemm (1989)**), indiquent la hauteur d'eau précipitée pendant un intervalle de temps donné, en général 24 heures (figure I.1). L'eau collectée par la surface réceptrice est conservée dans un récipient gradué directement en millimètres d'eau. La lecture du volume permet de connaître la hauteur de pluie précipitée. Après lecture, le récipient est vidé et remis en place (**Brouyaux et Tricot (2006)**).



Fig. I.1. Pluviomètre

I.3.2. Pluviographes à augets basculeurs

Le principe de cet appareil est très simple. L'eau de pluie est recueillie dans un cône de réception appelé impluvium et s'écoule à travers un ajutage calibré vers un auget. Lorsque cet auget est rempli, il bascule sous l'effet du déplacement de son centre de gravité : l'eau s'écoule à l'extérieur de l'appareil et l'auget opposé se remplit à son tour jusqu'au prochain basculement. Lors de chaque basculement, un dispositif couplé aux augets permet de fermer un contact électrique. Les impulsions électriques sont horodatées et enregistrées sur une centrale d'acquisition de données (**Réménéras (1980)**). (Voir figures I.2 et I.3).

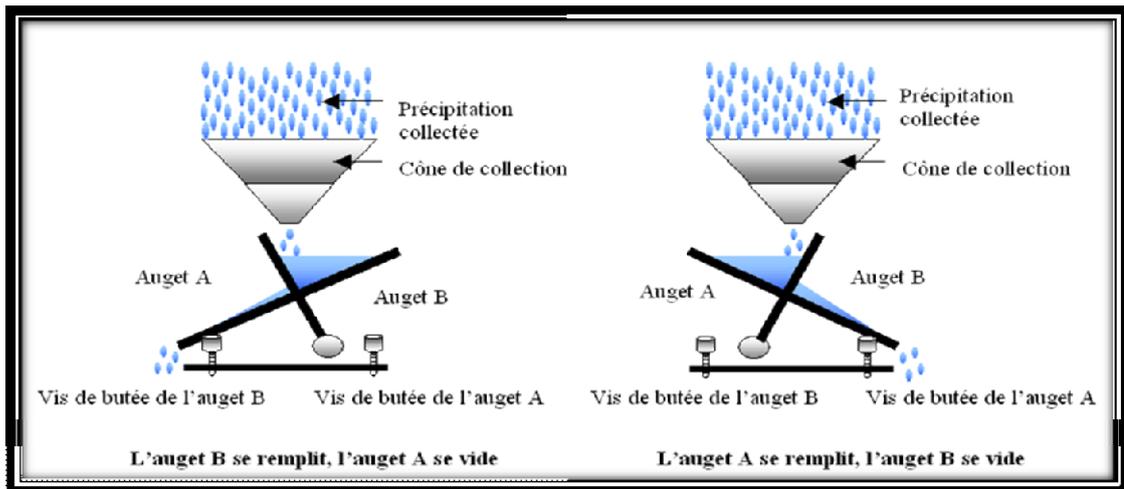


Fig. I.2. Principe de fonctionnement d'un pluviographe



Fig. I.3. Pluviographes à auges basculeurs

I.3.3. Pluviographes à siphons et à flotteurs

L'accumulation de la pluie dans un réservoir cylindrique est enregistrée par l'élévation d'un flotteur. Lorsque le cylindre est plein, un siphon s'amorce et le vide rapidement. Le mouvement du flotteur est relié à un enregistreur.



Fig. I.4. Le pluviographe à siphon (le dispositif ouvert)

I.4. LES ERREURS DE MESURE DE LA PLUIE

La quantité d'eau recueillie par un pluviomètre ou un pluviographe pendant un intervalle de temps est liée à la pluie moyenne pendant ce même intervalle de temps. Différents travaux (**Oberlin (1980)** ; **Lavabre (1990)**) permettent de dresser une liste non exhaustive des différents types d'erreur. Nous pouvons distinguer 4 grandes catégories d'erreurs, dues:

A l'environnement de l'appareil

- ✓ mauvaise implantation de l'appareil;
- ✓ influence du vent sur le pouvoir de captation (la présence du vent modifie le flux de précipitations en créant des turbulences, ce qui conduit à une légère sous-estimation des intensités de pluie).

A l'appareil

- ✓ mise en charge de l'eau dans le cône suite à l'obturation totale ou partielle du conduit d'écoulement ;
- ✓ pertes dues au sur-remplissage des augets lors des pluies intenses;
- ✓ débordement du pluviomètre au cours d'un épisode;
- ✓ stockage d'eau dû à une vidange incomplète;
- ✓ pertes par mouillage (erreur de 2 à 10%).

A l'enregistrement des mesures

- ✓ mauvais comptage des basculements;
- ✓ décalage de la base de temps;
- ✓ pertes d'information.

Aux erreurs de lecture

Une quantité d'eau non négligeable n'a pas été mesurée au cours de l'événement (**Weisse (1998)**).

I.5. DEFINITION DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un "système" est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire (**Meylan et al (2005)**).

Le bassin versant représente une unité spatiale de référence pour l'hydrologie. Il est défini comme l'étendue drainée par un cours d'eau et ses affluents et limité par des lignes de partage des eaux et caractérisé par un exutoire (**Musy et Higy (2003)**). Le bassin versant urbanisé est un bassin versant dont le débit de ruissellement à la décharge se déverse dans une bouche d'égout.

I.6. FORMES DE PRECIPITATIONS AUTRES QUE LA PLUIE

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (brume, 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. Les précipitations constituent l'unique "entrée" des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants (**Chocat (2009)**).

I.6.1. Hauteur des précipitations

Elle est définie comme étant l'épaisseur comptée suivant la verticale de la barre d'eau qui s'accumulerait sur une surface horizontale en supposant qu'il n'y a aucune perte pour les précipitations liquides. Cette hauteur est exprimée en (mm), pour les précipitations solides elle est exprimée en équivalent d'eau après la fonte.

I.6.2. Notion de temps de retour

Les projets d'aménagements hydrauliques ou hydrologiques sont souvent définis par rapport à une averse type associée aux fréquences probables d'apparition.

Lorsque l'on étudie des grandeurs comme les précipitations (caractérisées à la fois par leur hauteurs et leur durées) ou les débits de crue d'un point de vue statistique, on cherche donc et, en règle générale, à déterminer par exemple la probabilité pour qu'une intensité i ne soit pas atteinte ou dépassée (i.e. soit inférieure ou égale à une valeur x_i).

Cette probabilité est donnée, si i représente une variable aléatoire, par la relation suivante:

$$F(x_i) = P(i \leq x_i) \quad (1.1)$$

On nomme cette probabilité fréquence de non dépassement. Son complément à l'unité $1 - F(x_i)$ est appelé probabilité de dépassement, fréquence de dépassement ou encore fréquence d'apparition.

On définit alors le **temps de retour** T d'un événement comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Soit :

$$T = \frac{1}{1 - F(x_i)} \quad (1.2)$$

I.6.3. Durée de précipitation

C'est le temps pendant lequel les précipitations se produisent, il est exprimé en heure ou en minute.

I.6.4. Fréquence

La fréquence F est le nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit pendant une durée déterminée. La fréquence est l'inverse ($1/T$: au sens mathématique) de la période de retour.

Pour rappel, un phénomène est périodique s'il se reproduit identique à lui-même à intervalles de temps réguliers.

En étude statistique, la **fréquence** désigne un nombre d'éléments par rapport à un groupe plus large auquel ils appartiennent. Cette fréquence peut s'exprimer en pourcent ou en fraction de 1 (1 signifiant 100% du groupe), (**Chocat (2009)**).

I.7. INTENSITE DE PRECIPITATION

L'intensité d'une précipitation se définit comme le flux d'eau traversant une section horizontale unitaire. Bien entendu, cette intensité est instantanée ou quasi instantanée compte tenu des possibilités de mesure (**Laborde (2000)**).

Définir l'intensité de la pluie est relativement simple. Soit $h(t)$ la hauteur cumulée de pluie en fonction du temps. On appellera $i(t)$, intensité de la pluie à l'instant t , le terme:

$$i(t) = \frac{dh}{dt} \quad (1.3)$$

Cette intensité s'exprime en hauteur par unité de temps, généralement en (mm/h) ou en (mm/mn), par fois en (l/s/ha).

L'intensité de la précipitation varie en fonction de la durée, de la fréquence des orages et de la position géographique du bassin versant. Elle se désigne alors par : $i(t, T)$.

I.7.1. Notion d'averses

On désigne en général par "averse" un ensemble de pluies associé à une perturbation météorologique bien définie. La durée d'une averse peut donc varier de quelques minutes à une centaine d'heures et intéresser une superficie allant de quelques kilomètres carrés (orages) à quelques milliers (pluies cycloniques). On définit finalement une averse comme un épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité (**Musy et Higy (2003)**).

I.7.2. Courbes déduites des enregistrements d'un pluviographe

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

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

La courbe des hauteurs de pluie cumulées (figure I.5), représente en ordonnée, pour chaque instant t , l'intégrale de la hauteur de pluie tombée depuis le début de l'averse.

Le hyétogramme (figure I.6), est la représentation, sous la forme d'un histogramme, de l'intensité de la pluie en fonction du temps. Il représente la dérivée en un point donné, par rapport au temps, de la courbe des précipitations cumulées. Les éléments importants d'un hyétogramme sont le pas de temps Δt et sa forme. Communément, on choisit le plus petit pas de temps possible selon la

capacité des instruments de mesure. Quant à la forme du hyétogramme, elle est en général caractéristique du type de l'averse et varie donc d'un événement à un autre.

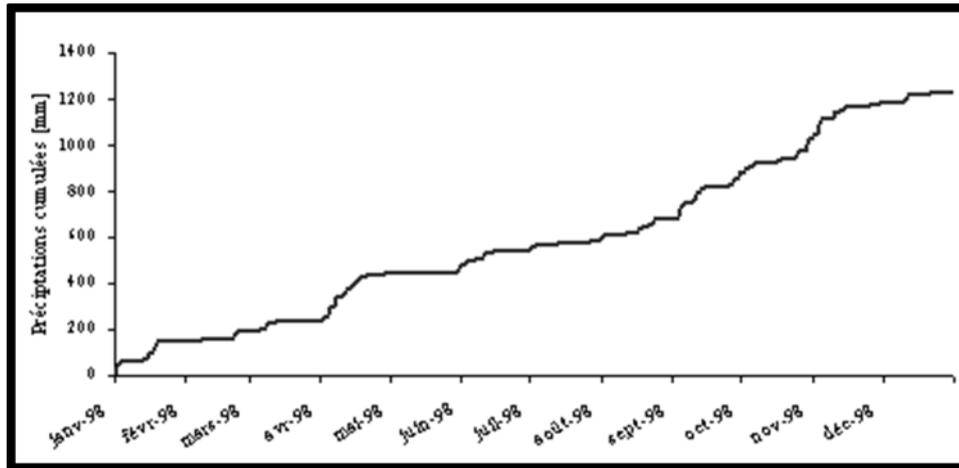


Fig. I.5. Courbe des pluies cumulées

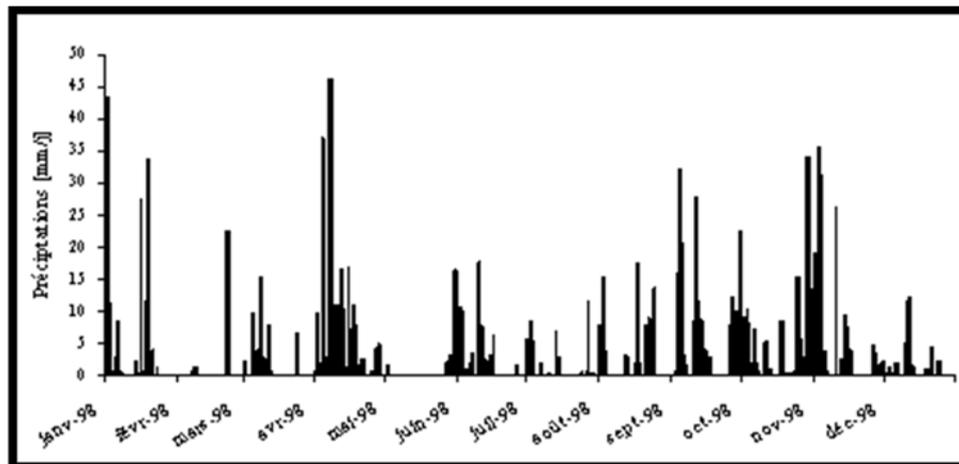


Fig. I.6. Le Hyétogramme

Le critère de continuité d'un épisode pluvieux varie selon le bassin versant. Généralement, deux averses sont considérées comme distinctes : (1) si la précipitation ΔH tombant durant l'intervalle de temps Δt qui les sépare est inférieure à un certain seuil et (2) si cet intervalle de temps est lui-même supérieur à une certaine valeur définie compte tenu du type de problème étudié. En représentant les averses sous forme de hyétogramme, la problématique de la séparation des averses se résume comme suit (figure I.7).

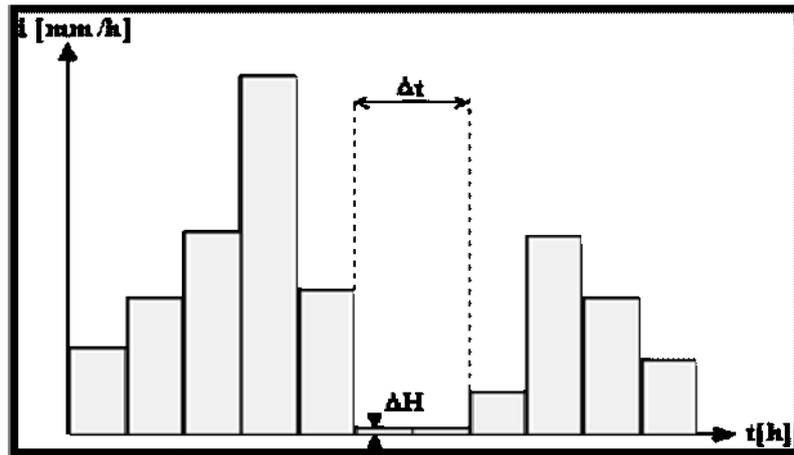


Fig. I.7. Séparation des averses dans le Hyétogramme

I.8. DEFINITION DES COURBES INTENSITE DUREE FREQUENCE (*IDF*)

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

De l'observation on déduit que, en moyenne, plus la durée analysée (D) augmente, plus l'intensité diminue : les averses les plus brèves sont souvent les plus violentes ; au contraire les longues pluies, d'automne par exemple, sont généralement assez tranquilles (de faible intensité).

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

Pour mieux caractériser le phénomène on associe à chaque événement une probabilité d'apparition ou fréquence (F). Pratiquement les ingénieurs et les hydrologues parlent de temps de retour (T) : tel événement se produit, en moyenne sur une longue période, toutes les k années.

Ainsi donc, par l'observation soignée des précipitations et l'analyse statistique des résultats il est possible d'établir une loi de comportement qui lie l'intensité, la durée et la fréquence c'est une courbe *IDF*.

I.8.1. Le but des courbes IDF

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 autorités ont, elles, besoins de ces mêmes paramètres pour décider des objectifs de protection (**Musy et Higy (2003)**).

A titre d'exemple on peut citer:

- Dimensionnement de drainages agricoles;
- Dimensionnement de canalisations d'évacuation des eaux pluviales;
- Corrections de cours d'eau;
- Dispositifs d'infiltration des eaux pluviales;
- Dispositifs de rétention des eaux pluviales;
- Evacuateurs de crue dans les barrages et les retenues....

I.8.2. Méthodes de construction de courbes IDF

L'analyse des séries d'intensités moyennes maximales d'événement comporte plusieurs étapes que nous décrivons ci-après :

- ✓ la construction des échantillons pour l'analyse ;
- ✓ l'étude statistique des échantillons avec éventuellement l'ajustement d'une loi de distribution permettant l'estimation de la fréquence d'apparition des observations ; éventuellement, l'ajustement d'expressions mathématiques reliant pour une fréquence donnée, les observations à diverses échelles de temps (par exemple : loi de Montana, loi de Talbot), (**Hugo (2000)**).

Les courbes IDF évoluent à long terme et doivent être mise à jour, (**Raiford et al. (2007)**).

I.9. MODELISATION DES COURBES IDF

Un modèle est une représentation d'un objet ou d'un phénomène dans un cadre idéalisé par les hypothèses et les règles qui ont servi à sa construction.

Il simplifie la réalité et ne garde que les caractéristiques essentielles par rapport aux objectifs auquel il cherche à répondre.

De nombreuses méthodes ont été développées pour produire une information hydrologique non disponible sur la base des données hydrométéorologiques. La plupart de ces modèles ont été développées pour simuler les débits résultant de diverses sollicitations pluviométriques.

Les modèles hydrologiques sont divers et variés, il est courant de distinguer trois approches de modélisations, l'une est dite physique, l'autre empirique et la dernière est baptisée conceptuelle.

- ❖ **L'approche physique** : consiste à utiliser des lois physiques, il s'agit des lois de conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement.
- ❖ **L'approche empirique** : reposent sur les relations observées entre les entrées et les sorties de l'hydro système considéré à l'aide d'un ensemble d'équations développées et ajustées sur la base de données météorologiques.
- ❖ **L'approche conceptuelle** : se placent entre les deux modèles précédent ; les modèles conceptuelles imposent une représentation simplifiée de la description de l'hydro système à savoir sa géométrie de ses caractéristiques physiques ainsi que le processus physique qui en régissent le comportement.

I.10. CITATIONS DE QUELQUES TRAVAUX AYANT TRAITÉS LES MODÈLES *IDF*

Dans ce paragraphe, on citera les plus connus des modèles *IDF* issus de la littérature dans la vision d'un état de l'art dans le contexte général de ce mémoire. Les détails en relations et désignations des composants des formules seront encore données et rappelées ultérieurement dans le chapitre convenable méthodologiquement. Les modèles les plus communément testés s'inspirent des formulations générales de type MONTANA ou TALBOT ou combiné MONTANA-TALBOT.

I.10.1. Modèle combiné de TALBOT-MONTANA

A- Loi de MONTANA

Pour un temps de retour T donné l'intensité i (mm/h) d'une pluie de durée t (h) s'écrit:

$$i(t, T) = at^{-b} \quad (1.4)$$

Où a et b sont les deux paramètres de la loi de Montana.

Dans un graphique en coordonnées doublement logarithmiques la loi de Montana est représentée par une droite qui s'écrit:

$$\ln i(t, T) = \ln a - b \ln t \quad (1.5)$$

B- Loi de TALBOT

Pour un temps de retour T donné l'intensité i (mm/h) d'une pluie de durée t (h) s'écrit :

$$i(t, T) = \frac{c}{t + d} \quad (1.6)$$

Où c et d sont les paramètres de la loi de Talbot.

C- Loi combinée MONTANA-TALBOT

Meylan et Musy (1999) ont proposé un modèle composite consistant à adopter la relation de Talbot pour les faibles durées et celle de Montana pour les durées élevées. Le principe c'est d'introduire d'abord une limite de validité appelée la durée de pivot t_p (voir la figure I.8).

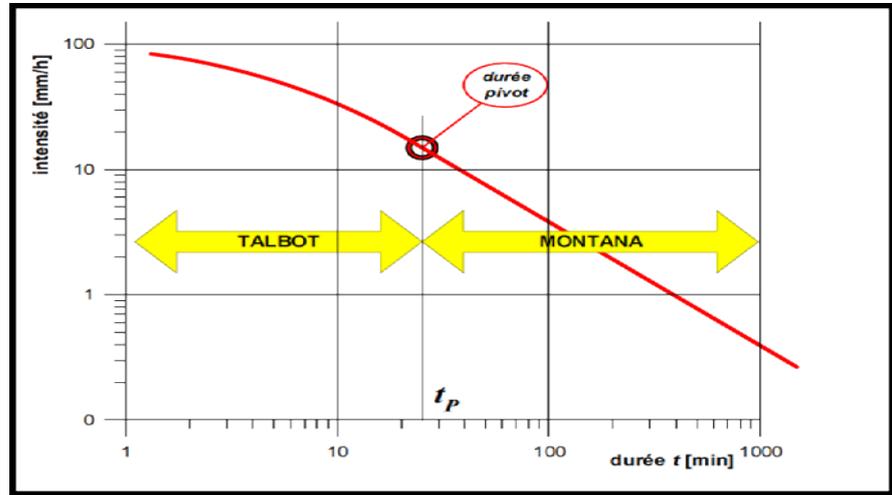


Fig. I.8. Lois combinées Montana et Talbot, notion de durée pivot (**Meylan (2005)**)

On essayera dans le même rythme d'étude de tester les modèles utilisés par **Chow (1988)**, **Koutsoyiannis et al. (1998)**, **Dongo (2005)**, **Mohyont et al. (2006)**, **Nhat et al. (2006)**, **Abderrahmen (2009)** et **Soro et al. (2010)**.

I.11. CONCLUSION

Dans le présent chapitre, l'accent a été mis sur les différents modèles des intensités de pluie liées à la fois aux durées et aux fréquences, d'où la notion IDF objet de tout développement ultérieur dans les prochains chapitres. Après avoir défini les termes de base : pluie, durée de pluie, fréquence d'une pluie et le milieu physique qui est le bassin versant. Les différentes méthodes de mesures des pluies, et les diverses représentations de leurs évolutions en fonction du temps, ont été à l'occasion décrites. Dans la logique d'un état de l'art qui sert à cerner la notion des IDF, les modèles de base ont été rappelés au travers les travaux entrepris par plusieurs auteurs par le passé ancien et plus récent. Ces modèles de base sont en l'occurrence les modèles type Montanari et Talbot. Ces dits modèles seront appliqués et testés moyennant des bases de données disponibles et à la disposition dans le contexte de la présente étude. Le chapitre deux doit être réservé à la collecte des données à utiliser par la suite dans le but de recherche d'une relation convenable adéquate à adopter pour modéliser les courbes IDF de nos stations selon les caractéristiques intrinsèques de notre climat et les conditions de fonctionnement des stations pluviométriques Algériennes.

CHAPITRE II
COLLECTE DE LA BASE DE DONNEES
ISSUE DES PLUVIOGRAPHES

II. COLLECTE DE LA BASE DE DONNEES ISSUE DES PLUVIOGRAPHES

II.1. INTRODUCTION

La mesure des précipitations est l'une des tâches les plus complexes en météorologie car on observe une forte variation spatiale selon le déplacement de la perturbation, le lieu de l'averse, la topographie et les obstacles géographiques locaux gênant sa captation. L'enregistrement des pluies en général, des averses en particulier, se fait au moyen de divers appareils de mesure. Les plus classiques sont les pluviomètres et les pluviographes, à enregistrement graphique ou digital.

Les pluviographes (enregistreurs graphiques), Il s'agit d'appareils de type (par exemple : bague de 400 cm², capacité d'auget de 0,5 mm). L'information de base est constituée par le nombre de basculements d'auget observé chaque minute, en ne conservant que celles au cours desquelles au moins un basculement a été observé.

Chaque station fait l'objet d'un numéro d'identification, servant de référence à toute donnée qui en provient. Il comporte le code, le nom de la station qui le nom du site d'implantation.

L'Algérie est dotée d'un nombre plus au moins suffisant des stations pluviométriques mais insuffisant en stations pluviographiques. Outre le problème de panne de plusieurs stations.

Le deuxième obstacle c'est la préparation des données pour qu'elles puissent être utilisées car les résultats donnés par les pluviographes sont inutilisables à l'état initial brute et nécessitent un traitement spéciale par des programmes appropriés à la disposition de l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH), tels que :

Les logiciels « PLUIE », le logiciel « MEFDEP », le logiciel « DEPCONS » et le Logiciel « SGL ». Les résultats de l'application de ces logiciels seront donnés plus loin dans le chapitre IV du présent mémoire.

II.2. DONNEES UTILISEES ISSUES DES STATIONS DISPONIBLES

Les stations disponibles se caractérisent par des tailles supérieures ou au moins égales à 10 (voir tableau II.1). Elles sont réparties sur des bassins hydrographiques qui se distinguent géographiquement (figures II.1), et ce, dans le but d'envisager l'aspect de la variation spatiale des paramètres du modèle : intensité-durée-fréquence (*IDF*) cherché. La station de Batna qui se localise dans les hauts plateaux constantinois sera considérée référentielle vue la qualité de ces données et la taille plus au moins longues de ces séries chronologiques.

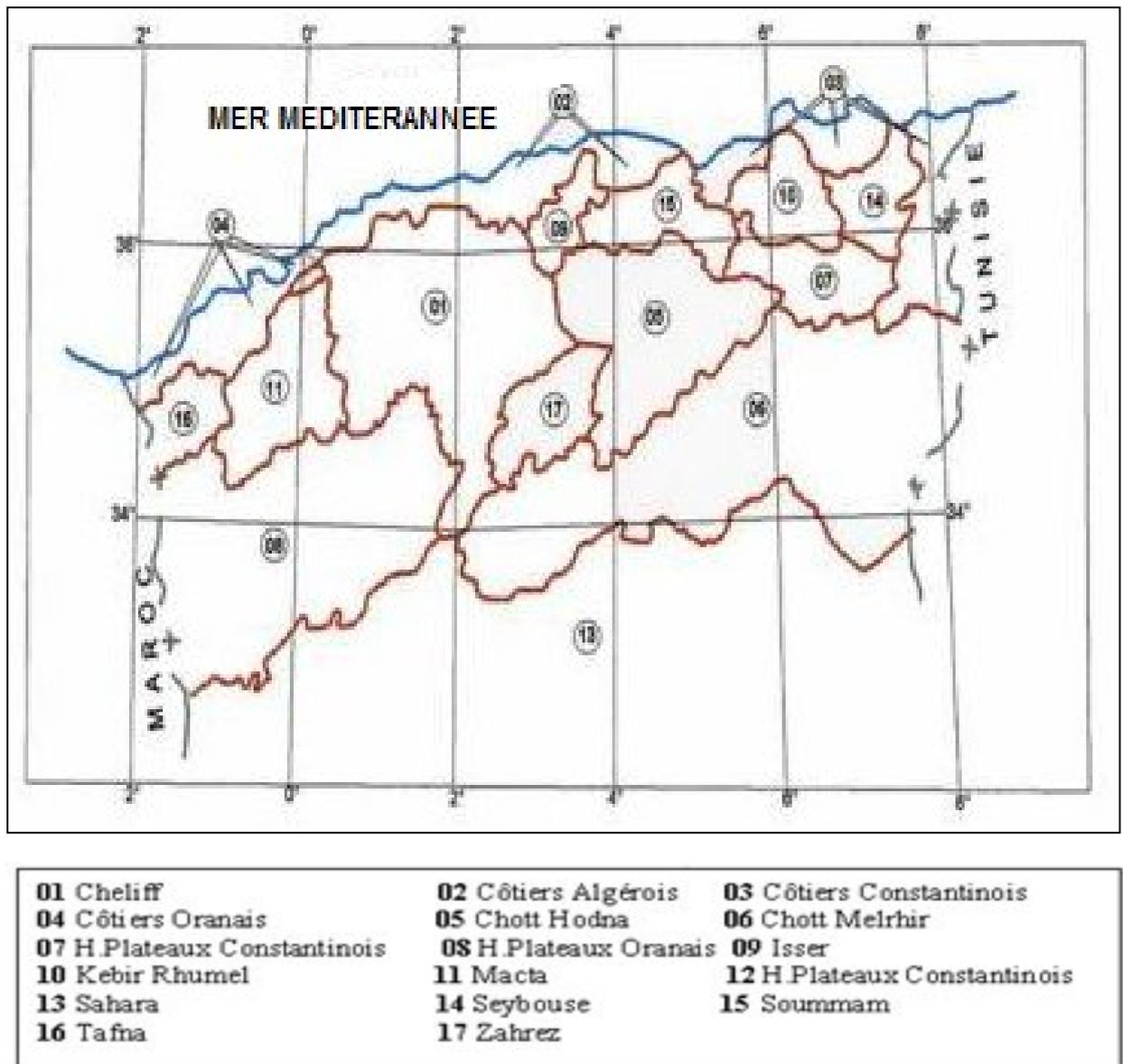


Fig. II.1. Localisation des bassins hydrographiques servant de base de données

Tableau II.1. Situations, altitudes, noms et codes des stations à étudier

Bassin Hydrographique	Nom Station	Code Station	X Lambert (Km)	Y Lambert (Km)	Longitude (°;')"	Latitude (°;')"	Altitude (m)
Hauts plateaux Constantinois	Batna	070316	814.7	257.35	6 10 19 E	35 33 53 N	1040
Côtier Algérois	Bir Mourad Reis	020509	531.1	382.8	3 2 54 E	36 44 46 N	140
Côtier Constantinois	Ain Roua	030205	723.08	339.95	5 11 9 E	36 19 59 N	1100
Côtier Oranais	Mostaganem	040612	264.8	296.25	0 5 32 W	35 56 16 N	80
Soummam	Beni Ourtilane	150708	693.05	351.45	4 51 19 E	36 26 43 N	1020

Toutes les caractéristiques de base à savoir : la taille de l'échantillon, la moyenne arithmétique, l'écart type et le coefficient de variation de chaque série chronologique des pluies ponctuelles mesurées au niveau des stations à étudier sont récapitulées dans les tableaux qui suivent :

Tableau II.2. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):Station de Batna : **Hauts plateaux Constantinois**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.
15 mn	24	9.2	3.8	0.41	2.2	20
30 mn	24	14.3	7.2	0.51	3.8	38
1 H	24	18.3	9.4	0.51	6.5	39
2 H	24	22.2	10.7	0.48	8.1	47.1
3 H	24	24.5	10.3	0.42	10.6	47.5
6 H	24	29.4	10.3	0.35	12.8	49.2
12 H	24	35.5	11.7	0.33	14	53.3
24 H	24	43.4	15.7	0.36	14.4	73.8
Pjmax	24	36.4	13.8	0.38	18.2	64.4

Tableau II.3. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**2max/an**):Station de Batna : **Hauts plateaux Constantinois**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.
15 mn	48	7.8	3.4	0.43	2.2	20
30 mn	48	11.8	6.2	0.52	3.6	38
1 H	48	15.1	8.1	0.53	5.5	39.1
2 H	48	18.4	9.2	0.51	7.7	47.1
3 H	48	20.2	9.3	0.46	8.3	47.5
6 H	48	24.8	9.8	0.40	10.8	49.2
12 H	48	30.3	12.4	0.41	12.6	53.3
24 H	48	36	15.7	0.44	12.2	73.8
Pjmax	48	33.6	13	0.39	16.5	64.4

Tableau II.4. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Bir Mourad Reis : **Côtier Algérois**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.
15 mn	13	12.21	4.78	0.392	7.1	24.2
30 mn	13	17.82	10.10	0.566	9.6	48.4
1 H	13	22.70	13.54	0.597	13.3	62.6
2 H	13	29.69	13.92	0.469	18.5	70
3 H	13	35.56	15.12	0.425	21.9	74.4
6 H	13	46.72	13.82	0.296	33.1	76.3
12 H	13	64.08	18.49	0.289	48.0	118.0
24 H	13	84.62	14.17	0.167	68.1	118.0

Tableau II.5. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Ain Roua : **Côtier Constantinois**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.
15 mn	15	11.85	6.25	0.527	4.2	30.6
30 mn	15	15.93	7.79	0.489	6.6	36.5
1 H	15	17.72	10.07	0.568	9.2	47.8
2 H	15	20.3	11.18	0.551	10.6	55.5
3 H	15	23.1	11.7	0.507	13.7	61.5
6 H	15	29.83	14.17	0.480	16.6	75
12 H	15	35.7	15.67	0.439	16.6	75
24 H	15	42.37	18.75	0.443	16.6	75

Tableau II.6. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Mostaganem : **Côtier Oranais**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.
15 mn	23	9.16	10.67	1.164	1.7	51.9
30 mn	23	12.57	12.38	0.985	2.7	63.4
1 H	23	16.8	15.7	0.936	3.8	83.1
2 H	23	24.0	26.9	1.120	6.1	140.4
3 H	23	28.1	29.0	1.031	7.6	153.3
6 H	23	33.7	31.21	0.926	13.4	168.0
12 H	23	39.0	33.36	0.829	14.1	170.8
24 H	23	42.5	35.0	0.823	14.1	173.1

Tableau II.7. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Beni Ourtilane : **Soummam**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.
15 mn	19	9.34	5.05	0.541	1.5	19.4
30 mn	19	11.8	5.87	0.496	2.7	24.2
1 H	19	13.8	5.53	0.400	4.0	25.0
2 H	19	16.9	4.75	0.280	5.2	25.0
3 H	19	19.5	4.40	0.225	7.1	25.8
6 H	19	24.2	6.42	0.265	7.6	35.7
12 H	19	32.1	9.50	0.296	11.6	48.6
24 H	19	37.2	11.20	0.301	13.3	54.9

II.3. CONCLUSION

Le présent chapitre a été une présentation géographique et statistique des données de base qui vont servir aux testes des modèles IDF sélectionnées. Les stations de mesure des pluies en fonction des durées ont été caractérisées par leurs emplacements dans les entités hydrographiques, et ce, par leurs coordonnées, leurs codes et naturellement par leurs noms.

Chaque station pluviographique a été caractérisée par le nombre d'années de mesure disponibles et fiables remplissant une certaine exigence statistique portant sur la taille des séries de mesure qui doivent dans la mesure du possible être supérieur à 10 valeurs dans la série. En bref, cinq bassins hydrographiques ont fait la base de cette étude, chaque bassin a été représenté par une station pluviographique ayant les conditions requises à savoir : les Hauts plateaux Constantinois représenté par la station de Batna prise comme station référentielle vu la taille des ses échantillons et la fiabilité de ces données, le Côtier Algérois représenté par la station de Bir Mourad Reis, le Côtier Constantinois représenté par la station de Ain Roua, le Côtier Oranais représenté par la station de Mostaganem et en fin la Soummam représentée par la station de Beni Ourtilane. Le chapitre suivant va être consacré aux définitions des analyses fréquentielles et les lois de probabilité usuelles.

CHAPITRE III
ANALYSE FREQUENTIELLE ET LOIS
DE PROBABILITE USUELLES

III. ANALYSE FREQUENTIELLE ET LOIS USUELLES DE PROBABILITE

III.1. INTRODUCTION

En hydrologie et en hydrologie urbaine, on entend par série chronologique une succession d'événements généralement climatologiques, ordonnées en fonction du temps à différentes échelles (journalière, hebdomadaire, décadaire, mensuelle ou annuelle,...).

Une série chronologique peut présenter une tendance, une saisonnalité et un résidu.

Dans le cas de l'hydrologie, on s'occupera de la composante « tendance », celle-ci correspondant à l'évolution à long terme de la série.

Afin de décrire le comportement statistique des processus hydrologiques, plusieurs modèles mathématiques fréquents peuvent être utilisés selon le type de la variable à considérer.

Dans ce chapitre, nous allons donner les modèles les plus usuels rencontrés dans notre contexte d'étude ainsi que leur applicabilité pratique. Les expressions mathématiques seront également données. Deux types de modèles seront traités, il s'agit des modèles à deux et trois paramètres.

III.2. LOIS DE DISTRIBUTIONS STATISTIQUES ET LEUR UTILITE EN HYDROLOGIE URBAINE

III.2.1. Loi Normale ou loi de Gauss

La distribution Normale est un modèle mathématique fréquentiel où les valeurs observées dans la série chronologique ne s'écartent pas trop d'une tendance centrale, généralement c'est la valeur moyenne qui ne diffère aussi pas trop de la médiane et du mode s'il existe.

Les effectifs se distribuant d'une manière sensiblement symétrique par rapport à une valeur centrale, la courbe qui traduit la distribution à savoir la densité de probabilité est alors en cloche où son maximum est, par suite, très proche de la moyenne.

L'expression mathématique de la fonction de répartition de la loi normale pour la variable brute x , de moyenne μ et d'écart type σ est donnée par la relation (3.1).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.1)$$

Posons :

$u = \frac{x - \mu}{\sigma}$: Variable centrée réduite de Gauss. F(u) est tabulée (voir **Laborde (2000)**).

III.2.2. Loi log-Normale ou loi de Galton

Dans la distribution log-Normale, la variable brute x est transformée en « $\ln x$ » et puis elle sera ajustée à une loi normale.

L'expression mathématique de la fonction de densité de probabilité de la loi log-normale, de moyenne $e^{\mu+\sigma^2/2}$ et de variance $e^{2\mu+\sigma^2(e^{\sigma^2}-1)}$ est donnée par la relation (3.2).

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.2)$$

III.2.3. Loi log-Normale à trois paramètres

L'expression mathématique de la fonction de densité de probabilité de la loi log-normale à trois paramètres, de moyenne $\theta + e^{\mu+\sigma^2/2}$ et de variance $e^{2\mu+\sigma^2(e^{\sigma^2}-1)}$ est donnée par la relation (3.3).

$$f(x) = \frac{1}{(x-\theta)\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln(x-\theta) - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.3)$$

Le paramètre de position est désigné par μ , le paramètre d'échelle est $\sigma > 0$ et le seuil θ . Les valeurs de x doivent être supérieures au seuil θ .

III.2.4. Loi Gamma à trois paramètres

Dans la distribution Gamma à trois paramètres, la variable x doit être supérieure ou égale au seuil θ ($x \geq \theta$). L'expression mathématique de la fonction de densité de probabilité de la loi

Gamma à trois paramètres (de forme α , d'échelle λ et de seuil θ), de moyenne $\theta + \frac{\alpha}{\lambda}$ et de variance $\frac{\alpha}{\lambda^2}$ est donnée par la relation (3.4).

$$f(x) = \frac{\lambda^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\lambda(x-\theta)}}{\Gamma(\alpha)} \quad (3.4)$$

La fonction $\Gamma(\alpha)$ est la fonction Gamma, décrite mathématiquement par l'expression (3.5), (Abramowitz et Stegun (1965)):

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{+\infty} u^{\alpha-1} e^{-u} du \quad (3.5)$$

III.2.5. Loi Weibull à trois paramètres

Dans la distribution Weibull à trois paramètres, la variable x doit être supérieure ou égale au seuil θ ($x \geq \theta$). L'expression mathématique de la fonction de densité de probabilité de la loi de Weibull à trois paramètres (de forme $\alpha > 0$, d'échelle $\beta > 0$ et de seuil θ), de moyenne

$\theta + \frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$ et de variance $\frac{\beta^2}{\alpha} \left[2\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 \right]$ est donnée par la relation (3.6).

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} (x - \theta)^{\alpha-1} e^{-\left[\frac{(x-\theta)}{\beta}\right]^\alpha} \quad (3.6)$$

La fonction $\Gamma(\alpha)$ est la fonction Gamma, déjà décrite selon la relation (3.5).

III.2.6. Loi des plus grandes valeurs extrêmes (Extreme value Type I)

La fonction de densité de probabilité de la loi des plus grandes valeurs extrêmes est donnée par l'expression suivante, relation (3.7), (Chow (1988), Jenkinson (1955) et Onibon et al. (2004)).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left\{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right) - \exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right\} \quad (3.7)$$

Avec : $u = \bar{x} - 0.5772\alpha$ et $\alpha = \frac{\sqrt{6}s_x}{\pi}$, où s_x est l'écart type.

III.3. ANALYSE FREQUENTIELLE

L'hydrologie fréquentielle a pour but de prévoir l'occurrence (période de retour) d'un événement hydrologique dans le futur par le calcul des quantiles (valeurs estimées et attribuées à l'événement lié à une fréquence ou période de retour voulue), et ce, en se basant sur l'interprétation de l'historique des événements hydrologiques d'où l'importance accordée à la disponibilité et la fiabilité de l'information. Quatre étapes essentielles peuvent être distinguées pour faire l'analyse fréquentielle :

- Choix d'un échantillon de données satisfaisant certains critères statistiques (taille acceptable, sans lacunes si possible, ôté de valeurs aberrantes,...).
- Ajuster des lois de probabilité théorique reflétant l'échantillon.
- Faire des tests statistiques pour vérifier l'adéquation de la loi appropriée.
- Exploitation de la loi adéquate pour estimer des quantiles et prévoir l'avenir.

La distribution statistique possède deux principales caractéristiques à savoir une capacité descriptive et une capacité prédictive.

La capacité descriptive concerne la force du modèle à ajuster l'évolution dans le temps des données. La capacité prédictive concerne l'estimation des quantiles pour les fortes périodes de retour (correspondantes aux fréquences rares) avec robustesse et sans doute dans un intervalle de confiance défini.

III.3.1. Formules courantes de calcul de la fréquence empirique

Chaque distribution requiert sa propre formule de probabilité empirique, mais il n'existe pas de formules analytiques exactes pour le calcul des fréquences empiriques. Les formules se basant sur la médiane sont indépendantes de la distribution parente des échantillons, et sont utilisées d'une manière standard (**Oucherif 2012**).

Les valeurs sont classées par ordre croissant ou décroissant ce qui nous donne les fréquences au non dépassement et au dépassement respectivement car par ordre décroissant la valeur de rang r est toujours dépassée par la valeur de rang $r-1$; même raisonnement pour les fréquences au non dépassement.

En ayant les valeurs classées, la formule générale donnant la fréquence empirique est la suivante :

$$F(r) = \frac{r - a}{N + 1 - 2a} \quad (3.8)$$

Les formules des fréquences empiriques les plus courantes sont :

- Formule de Californie : Elle constitue l'une des premières formules proposées et a pour formule :

$$F(r) = \frac{r}{N} \quad (3.9)$$

Avec :

r : rang attribué aux fréquences des valeurs de l'échantillon de taille N classées par ordre croissant ou décroissant.

- Pour $a=0.5$ dans la relation (3.8), on retrouve la formule de Hazen :

$$F(r) = \frac{r - 0.5}{N} \quad (3.10)$$

- Pour $a=0$, on retrouve la formule de Weibull :

$$F(r) = \frac{r}{N+1} \quad (3.11)$$

- Pour $a=0.3$, on retrouve la formule de Chegodayev :

$$F(r) = \frac{r-0.3}{N+0.4} \quad (3.12)$$

- Pour $a=0.4$, on retrouve la formule de Cunnane:

$$F(r) = \frac{r-0.4}{N+0.2} \quad (3.13)$$

- Pour $a=0.44$, on retrouve la formule de Gringorten:

$$F(r) = \frac{r-0.44}{N+0.12} \quad (3.14)$$

A ces formules, on ajoute celle de Tukey:

$$F(r) = \frac{3r-1}{3N+1} \quad (3.15)$$

III.3.2. Notions de fréquence et période de retour

Le temps de retour correspond à la moyenne de l'intervalle de récurrence du premier dépassement de la variable étudiée, et ce, sur un grand nombre d'occurrence.

Rappelons que l'intervalle de récurrence correspond à la période séparant deux occurrences de l'événement considéré.

Le temps de retour noté T a pour formule :

$$T = \frac{1}{1-F(x)} \quad (3.16)$$

Où $F(x)$ correspond à la probabilité au non dépassement. Par suite, le temps de retour représente l'inverse de la probabilité au dépassement correspondant à T . Ce qui est logique, puisque pour une faible probabilité au dépassement, le temps de retour est fort, ce qui correspond à l'occurrence d'un événement rare.

En termes plus clairs, sur une très longue période, l'événement d'amplitude dépassant (x_T) se réalisera en moyenne une fois toutes les T années. La notion de moyenne est à souligner, car

cela implique que la date exacte de l'occurrence de l'événement reste inconnue. C'est pour cela que la notion de temps de retour ne constitue point une notion calendaire mais plutôt probabiliste.

Le calcul du temps de retour pour les différentes distributions sera traité dans la section suivante à savoir le calcul des quantiles, ces deux aspects allant de paire.

III.3.3. Exemples de calcul des quantiles et des fréquences ou périodes de retour correspondantes pour quelques lois de probabilité

Comme déjà mentionné en (III.3) et en étapes quatre, après avoir choisi le modèle fréquentiel adéquat (la loi de distribution théorique la plus justifiée), nous pourrons alors l'exploiter pour le calcul des quantiles (valeurs estimées et attribuées à l'événement lié à une fréquence ou période de retour voulue).

Nous allons donner à titre d'exemple la formule mathématique des quantiles correspondant à la loi log-Normale, pour les lois de distributions déjà définies, le lecteur peut se référer aux documents spécifiques ou aux manuels d'utilisation des logiciels dotés de ces applications.

- **Loi log-Normale**

Pour la loi log-Normale, la relation mathématique qui donne les quantiles s'écrit :

$$\log x_T = \mu_{\log} + u_T \sigma_{\log} \quad (3.17)$$

L'expression mathématique de la fonction de répartition de la loi log-normale, de moyenne μ_{\log} , σ_{\log} et u_T sont la moyenne des **log** des valeurs brutes x , l'écart type correspondant et la variable centrée réduite de Gauss de période de retour T (correspondante à une fréquence F), respectivement.

Pour obtenir le temps de retour correspondant à une valeur donnée (ou sa fréquence correspondante), il suffit de faire l'opération inverse, en commençant par la détermination la variable centrée réduite de Gauss u_T grâce à l'expression suivante déduite de l'équation précédente :

$$u_T = \frac{\log x_T - \mu_{\log}}{\sigma_{\log}} \quad (3.18)$$

Puis, on tire à partir de la table célèbre de Laplace-Gauss, la fréquence au non dépassement (FND) correspondant à u_T et on obtiendra ainsi le temps de retour voulu par la relation (3.16) avec $F(x)=FND$.

III.4. TEST D'ADEQUATION

Un test d'adéquation consiste à vérifier le degré de vraisemblance de l'hypothèse selon laquelle les données analysées (séries chronologiques) suivent la distribution testée. Pour ce faire, on définit deux types d'hypothèses appelées hypothèse nulle H_0 et hypothèse alternative H_1 . L'hypothèse nulle constitue en l'hypothèse selon laquelle la statistique de test choisie est vraie. L'hypothèse alternative, quant à elle, elle représente la négation de l'hypothèse nulle.

Selon les propriétés mathématiques du test, celui-ci peut être paramétrique ou non paramétrique.

Les tests paramétriques consistent à tester une hypothèse portant sur les paramètres de la distribution étudiée (position, échelle, forme, ...). Il est donc utilisé pour démontrer l'existence d'un effet comme la corrélation entre deux paramètres ou la différence entre caractéristiques statistiques.

Quant aux tests non paramétriques, contrairement aux tests paramétriques, ils servent à tester l'hypothèse selon laquelle la distribution théorique choisie s'ajuste à la distribution empirique étudiée. Ils ne font donc pas d'hypothèses particulières sur les paramètres de cette dernière.

Plusieurs tests de ce type peuvent être distingués dont nous citerons: le test du **khi-deux** (χ^2), le test de **Kolmogorov Smirnov (KS)**, et le test d'**Anderson-Darling (AD)**.

III.4.1. Test d'adéquation du khi-deux (χ^2)

Le test du khi-deux (χ^2) est un test asymptotique car il converge toujours vers une distribution khi-deux pour une grande taille N de l'échantillon.

Ce test divise l'étendue de X formé par (x_1, x_2, \dots, x_N) en k intervalles et compare les comptages observés O_i (nombre de données observées dans l'intervalle i) aux effectifs attendus pour la loi ajustée P_i (nombre de données attendues dans l'intervalle i).

On montre par le théorème de *Pearson*, que la distribution inconnue tend vers une Khi-deux quand la taille de l'échantillon tend vers l'infini.

La statistique de test du khi-deux (χ^2) qui s'écrit selon la relation (3.19) est comparé à une loi du Khi-carré à $k-p-1$ degrés de liberté, où p est le nombre de paramètres estimés lors de l'ajustement de la loi sélectionnée.

$$(\chi^2) = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - P_i)^2}{P_i} \quad (3.19)$$

Le test du Khi-deux concerne à l'origine les variables discrètes mais il est aussi applicable pour des variables continues et ce en discrétisant la distribution de probabilité continue $F(x)$ en un nombre fini k de probabilités.

Mais, le choix de k est problématique car si k est petit, les tranches seront grandes, d'où la perte de l'information suite au regroupement car le test ne distinguera pas bien entre les différentes distributions d'où la faiblesse la limite de ce type de test. Dans le cas contraire, le nombre d'observations par tranche sera très réduit ce qui rend le test imprécis.

III.4.2. Test d'adéquation de Kolmogorov Smirnov (KS)

Ce test compare la fonction de répartition des données à la fonction de répartition de la loi ajustée. Il évalue d'abord la fonction de répartition ajustée pour chaque valeur des données :

$$z_{(i)} = \widehat{F}(x_i) \quad (3.20)$$

Il calcule et affiche ensuite la distance maximale D^+ de la fonction de répartition empirique au-dessus de la fonction de répartition ajustée et la distance maximale D^- de la fonction de répartition empirique au-dessous de la fonction de répartition ajustée.

$$D^+ = \max_i \left\{ \frac{i}{N} - z_{(i)} \right\} \quad (3.21)$$

$$D^- = \max_i \left\{ z_{(i)} - \frac{i-1}{N} \right\} \quad (3.22)$$

La statistique de **Kolmogorov Smirnov** est la plus grande de ces deux distances :

$$KS = \max(D^+, D^-) \quad (3.23)$$

Une valeur approximative de la probabilité est alors calculée.

III.4.3. Test d'adéquation d'Anderson-Darling (AD)

Le test d'Anderson-Darling est un test d'adéquation qui représente une modification du test de Kolmogorov-Smirnov. Il calcule une statistique qui donne une mesure pondérée de l'aire entre la fonction de répartition empirique et la fonction de répartition de la loi ajustée. La statistique est calculée par la relation (3.24) et sera comparé à une probabilité selon un taux de signification fixé.

$$AD = -N - \frac{\sum_{i=1}^n ((2i-1)\ln(z_{(i)}) + (2N+1-2i)\ln(1-z_{(i)}))}{N} \quad (3.24)$$

$z_{(i)}$ est la fonction de distribution cumulative de la distribution considérée.

Le test d'Anderson-Darling utilise la distribution spécifiée dans le calcul des valeurs critiques. Ce qui lui donne avantage car il prend en considération les valeurs extrêmes. Mais l'inconvénient est qu'il faudra calculer les valeurs critiques pour chaque distribution.

Il existe actuellement des tables où figurent les valeurs critiques pour certaines lois.

III.5. ESTIMATION DES PARAMETRES DES LOIS DE DISTRIBUTION PAR LA METHODE DE VRAISEMBLANCE

La vraisemblance est le moyen permettant d'identifier la distribution de laquelle dérive l'échantillon sur lequel on travaille et les paramètres inconnus à l'aide de données. Elle concerne le fait que tous les individus x_i de l'échantillon tiré proviennent de la même population étudiée.

La méthode du maximum de vraisemblance permet de sélectionner la distribution rendant maximale la vraisemblance de l'échantillon dont les individus sont tous tirés simultanément.

Soit X une variable aléatoire de densité de probabilité $f(x, \theta)$ dont l'expression analytique est connue mais la valeur numérique de l'un des paramètres ou de tous les paramètres, en l'occurrence θ , est inconnue.

On se propose donc l'inférence du paramètre θ numériquement, et ce, à partir de la construction d'une expression analytique fonction des réalisations de la variable aléatoire X dans un échantillon de taille N .

On définit la fonction de vraisemblance L (notation universelle) comme suit :

$$L(x_1, x_2, \dots, x_N, \theta) = f(x_1, \theta) \times f(x_2, \theta) \times \dots \times f(x_N, \theta) = \prod_{i=1}^N f(x_i, \theta) \quad (3.25)$$

θ est un vecteur représentant les paramètres qu'on cherche. Il peut être unidimensionnel, si la fonction de densité de probabilité dépend uniquement d'un seul paramètre, ou multidimensionnel, si la fonction densité de probabilité dépend de plus d'un paramètre.

Le problème de tout estimateur est qu'il se calcule à partir d'un échantillon, alors qu'on cherche les paramètres de toute une population. On cherche alors la valeur du paramètre θ , pour laquelle la vraisemblance atteint son maximum tout en espérant que cette valeur soit

proche de celle ayant engendré réellement l'échantillon. C'est donc une méthode d'estimation et par suite un problème d'optimisation. Mathématiquement, il suffit de dériver la fonction L pour obtenir la valeur en question. Pour simplifier les calculs, il est préférable de passer au logarithme de L . On parlera alors de log-vraisemblance notée $\log-L$. Notons que puisque la fonction logarithmique est monotone et croissante, alors les fonctions vraisemblance et log-vraisemblance atteindront le même maximum. La valeur recherchée de θ est donc la même dans les deux cas.

III.6. COMPARAISON ET SELECTION DES LOIS DE DISTRIBUTION APRES LES TESTS D'ADEQUATION

Après ajustement de plusieurs lois de distribution candidats et avoir réalisés les tests d'adéquation les plus connus (khi-deux, Kolmogorov-Smirnov, et d'Anderson-Darling). Le problème du choix de la loi la plus adéquate se pose au modélisateur pour prendre en charge à la fois l'optimisation et la parcimonie des modèles.

Deux critères de sélection des lois adéquats seront adoptés pour et par la présente contribution. Il s'agit des fameux critères basés sur la vraisemblance : le critère d'information d'**Akaike (1974)**, désigné par AIC et le critère d'information Bayésien (**Schwarz (1978)**), désigné par BIC . Les deux critères sont donnés respectivement par la relation (3.26) et la relation (3.27) :

$$AIC = -2\log(L) + 2p \quad (3.26)$$

$$BIC = -2\log(L) + 2p\log(N) \quad (3.27)$$

Où L est la fonction de vraisemblance définie par la relation (3.25), p est le nombre de paramètres de la loi de distribution candidate et N est la taille de l'échantillon considéré.

Le meilleur modèle d'ajustement est celui qui présente les valeurs minimales des critères AIC et BIC (**Rao et Hamed (2001)**).

Le critère BIC tend le mieux à pénaliser les distributions à trois paramètres que son homologue AIC . Une fois les deux critères présentent des conclusions non en concordance, le critère BIC est considéré prioritaire par principe de parcimonie (**Soro et al. (2010)**).

III.7. CONCLUSION

Le présent chapitre a été consacré à l'exposition des lois de distribution, à deux et à trois paramètres, destinées aux échantillons à valeur extrêmes. Les tests d'adéquation de ces lois une fois choisies pour l'ajustement ajustés sont donnés en définitions et en formulations mathématiques (le test **khi-deux**, le test de **Kolmogorov Smirnov** et le test d'**Anderson-Darling**). La notion d'analyse fréquentielle a été cernée selon les besoins de l'étude. La méthode d'estimation des deux ou trois paramètres des lois de distribution a été rappelée du point de vue mathématique c'est la méthode de vraisemblance. Enfin, les critères de pénalisation de choix des modèles **IDF** ont été définis, (le critère d'information d'**Akaike**, désigné par **AIC** et le critère d'information Bayésien, désigné par **BIC**). Le chapitre suivant doit donc porter sur la recherche d'une (ou des) relation(s) convenable(s) pour l'estimation des intensités de pluie de courte durée pour la zone d'étude déjà décrite dans le chapitre deux.

CHAPITRE IV
RECHERCHE D'UNE RELATION
CONVENABLE POUR L'ESTIMATION
DES INTENSITES DE PLUIE DE
COURTE DUREE

IV. RECHERCHE D'UNE RELATION CONVENABLE POUR L'ESTIMATION DES INTENSITES DE PLUIE DE COURTE DUREE

IV.1. INTRODUCTION

Dans le présent chapitre, l'étude sera consacrée à la description de quelques modèles *IDF* usuels issus de la bibliographie, entre autre le modèle adopté par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) sera testé dans une vision comparative. Douze autres modèles, à deux, à trois, à quatre et à cinq paramètres, seront alors appliqués et testés. Le choix du meilleur modèle sera basé sur les critères de qualité incontournables d'usage courant et les plus puissants. Le modèle à retenir en finalité sera le fruit de toutes les tentatives appliquées aux données les plus complètes concernant la station pluviographique de Batna dans les Hauts plateaux Constantinois.

IV.2. DESCRIPTION DE QUELQUES MODELES *IDF* USUELS ISSUS DE LA LITTERATURE

On se contentera de décrire quelques modèles *IDF* usuels issus de la littérature qu'on va appliquer par la suite aux données les plus complètes de la station de Batna (070316) et plus loin aux données des stations disponibles que nous avons eu l'occasion de les collecter dans le contexte de ce mémoire.

IV.2.1. Modèle dit ANRH (M0)

Le modèle adopté par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) est un modèle du type Montana, formulé selon la relation (4.0), décrit en détail dans le rapport n°1 intitulé : Elaboration de programmes relatifs à l'étude Intensité- Durée-Fréquence (ANRH (1993)).

$$i_{(t,T)} = P_{j_{\max(T)}} a t^{(b-1)} \quad (4.0)$$

Où :

$i_{(t,T)}$ est l'intensité de pluie de courte durée t ayant une fréquence correspondante à une période de retour T .

$P_{j_{\max}}$ est la pluie maximale journalière de fréquence correspondante à une période de retour T .

a et b sont des paramètres régionaux du modèle *IDF*.

La note descriptive de l'ANRH consiste en l'élaboration de programmes qui se résument en :

- Une mise en forme des fichiers de dépouillement à intensité constante.

- La transformation des fichiers de dépouillement à intensité constante en des fichiers pour chaque durée choisie.
- Un traitement statistique en vue de la recherche de la loi Intensité-Durée-Fréquence.

Ces trois étapes seront appliquées plus loin au poste pluviographique de Batna ayant pour code 070316.

IV.2.2. Modèles type Montana et Talbot

Des modèles du type Montana, Talbot et Montana-Talbot associés seront appliqués ultérieurement, leurs différentes formulations sont données par **Chow (1988)**, **Laborde (2000)** et **Mohymont (2006)**.

Modèle (M1) :

$$i_{(t,T)} = at^{-b} \quad (4.1)$$

Modèle (M2) :

$$i_{(t,T)} = (a_1 \ln T + a_2)t^{-b} \quad (4.2)$$

Modèle (M3) :

$$i_{(t,T)} = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (4.3)$$

Modèle (M4) :

$$i_{(t,T)} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{kd(a + g \ln T)}{(t+d)}, t \leq 0.5h \\ \frac{a + g \ln T}{t^{(1-b)}}, t > 0.5h \end{array} \right\} \quad (4.4)$$

NB : La considération du point de durée limite égale à 0.5h est basé sur les travaux de **Body (1981)**.

Modèle (M5) :

$$i_{(t,T)} = \frac{a(b - \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})))}{(t+c)^d} \quad (4.5)$$

Modèle (M6) :

$$i_{(t,T)} = \frac{a(b - \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})))}{t(1 + (\frac{c}{t})^d)} \quad (4.6)$$

Modèle (M7) :

$$i_{(t,T)} = \frac{a + b \ln T}{t \left(\frac{1}{c+d \ln T} \right)} \quad (4.7)$$

Modèle (M8) :

$$i_{(t,T)} = \frac{a + b \ln T}{(t + e) \left(\frac{1}{c+d \ln T} \right)} \quad (4.8)$$

Modèle (M9) :

$$i_{(t,T)} = \frac{a + b \ln T}{t \left(\frac{1}{(c+d \ln T)+e} \right)} \quad (4.9)$$

Modèle (M10) :

$$i_{(t,T)} = \frac{c}{t^e + f} \quad (4.10)$$

Modèle (M11) :

$$i_{(t,T)} = \frac{cT^m}{t + f} \quad (4.11)$$

Modèle (M12) :

$$i_{(t,T)} = \frac{cT^m}{t^e + f} \quad (4.12)$$

$a_1, a_2, a, b, c, d, e, f, g, k$ et m sont des paramètres régionaux des modèles IDF.

IV.3. QUELQUES CRITERES DE PERFORMANCES POUR LE CHOIX DES MODELES IDF

Dans la littérature et dans diverses disciplines, on constate que plusieurs indices et critères de performance ont été énumérés, testés et approuvés par des chercheurs spécialisés en modélisation. On se limitera dans cette contribution aux notions de : coefficients de détermination (\mathbf{R}^2), la pente de la droite de régression entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle appliqué ainsi que la valeur à l'origine (interception) de cette même droite (disposition du nuage formé par l'observé et le prédit par rapport à la première bissectrice d'équation $y=x$) et enfin la racine de la moyenne des erreurs quadratique notée **RMSE**.

Le coefficient de détermination (\mathbf{R}^2), donné par la relation (4.13) peut être interprété comme la proportion de la variance de des valeurs M_i du modèle de moyenne \bar{M} imputable à la variance des valeurs O_i observées ayant une moyenne \bar{O} pour un échantillon de taille N .

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}} \right]^2 \quad (4.13)$$

La pente de la droite de régression entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle appliqué ainsi que la valeur à l'origine de cette même droite désignée par (l'interception) sont données respectivement par les relations (4.14) et (4.15).

$$pente = \frac{\text{Covariance}(O_i, M_i)}{\text{Variance}(O_i)} \quad (4.14)$$

$$int\ erception = \bar{M} - pente * \bar{O} \quad (4.15)$$

La racine de la moyenne des erreurs quadratique notée par **RMSE** est donnée par la relation (4.16) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2} \quad (4.16)$$

Un modèle est jugé meilleur (adéquat à adopter) s'il possède (un \mathbf{R}^2 et une pente) qui sont proches de l'unité, une valeur à l'origine (interception) proche de zéro et une **RMSE** à forte possibilité la plus faible.

IV.4. ETUDE DETAILLEE ET APPLICATION A LA STATION DE BATNA CODEE 070316 (STATION PLUS COMPLETE)

IV.4.1. Application du modèle dit ANRH (Modèle M0)

a) Dépouillement à intensité constante

Le dépouillement se fait sur digitaliseur (figure IV.1) en utilisant un logiciel nommé "PLUIE". Il donne à la sortie autant de fichiers que d'averses dépouillées et affecte à chaque fichier un nom composé du nom de la station et la date de l'averse. Pour Batna, l'opération donne à la sortie (par exemple : BA19700104 ; BA (Batna), 1970 (l'an 1970), 01 (le mois de janvier), 04 (le quatrième jour). Le code de la station est 070316 (taille de la bague du pluviographe : 400cm^2 , total pluviométrique saisi (issue du pluviomètre) est 15mm, quantité de pluie digitalisée est 14.98mm (pluviographe), par exemple 22 points digitalisés et les coordonnées de ces points), (figure IV.2).

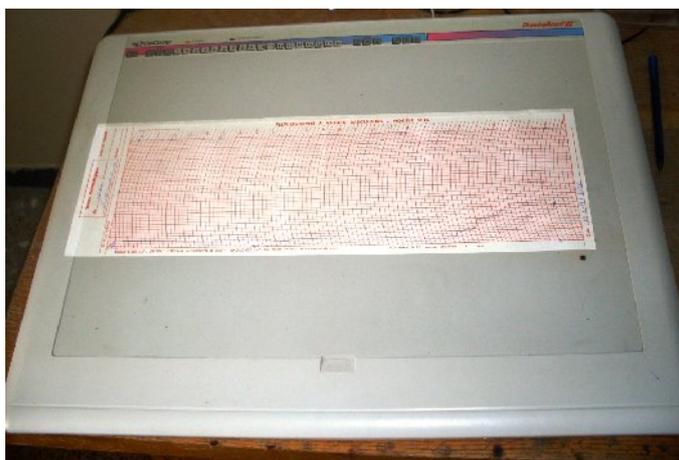


Fig. IV.1. Feuille hyétogramme sur la table du digitaliseur

070316	400	0	15.0	n
14.9801				
22				
1.67751E+01	1.69762E+01	1.77356E+01	1.79574E+01	
2.66641E+01				
2.68455E+01	2.71392E+01	2.72414E+01	2.76413E+01	
2.77040E+01				
2.78265E+01	2.79614E+01	2.80056E+01	2.82863E+01	
2.86619E+01				
2.90415E+01	2.91582E+01	2.96286E+01	2.97012E+01	
2.98563E+01				
2.99783E+01	3.01406E+01			
3.07250E+00	2.14277E+00	2.09146E+00	3.05913E+00	
3.09555E+00				
5.05179E+00	5.04268E+00	5.56096E+00	5.56422E+00	
6.00169E+00				
6.10617E+00	8.99357E+00	9.03993E+00	1.00082E+01	
1.00917E+01				
1.09918E+01	1.10388E+01	1.39751E+01	1.40562E+01	
1.49545E+01				
1.50360E+01	1.60723E+01			

Fig. IV.2. Fichier résultat de digitalisation

b) Mise en forme des fichiers

Les fichiers créés par le programme "PLUIE" sont inutilisables à l'état initial.

Trois programmes de mise en forme de ces fichiers sont mis au point pour obtenir un dépouillement à pas de temps constants de 15mn, 30mn, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, et 24h.

b.1) Programme de mise en forme des dépouillements (MEFDEP)

Ce programme fait une mise en forme des fichiers averse données par le logiciel "PLUIE». Il crée un fichier dont le nom est le code de la station (070316).

Le fichier (070316) contient autant d'enregistrements que de points digitalisés et chaque enregistrement contient : (le code de la station, la date de l'averse, l'heure, la pluie correspondante cumulée et le code qualité), (figure IV.3).

Code	Date	Heure	P(mm)	C.Q
070316	19700104	20.38	0.0	1
070316	19700104	21.33	5.0	1
070316	19700104	21.33	5.1	1
070316	19700104	21.56	5.3	1
070316	19700104	3.52	5.4	1
070316	19700104	4.53	5.5	1
070316	19700105	9.08	0.0	1
070316	19700105	9.08	0.0	1
070316	19700105	9.23	0.2	1
070316	19700105	10.17	0.3	1

Fig. IV.3. Fichier résultat mis en forme par MEFDEP

b.2) Programme de calcul de pluie de durée t (DEPCONS)

C'est un programme qui calcule la pluie par pas de temps variable et intensité constante donné par le programme "MEFDEP". Le fichier de sortie (070316.DEP) contient (la date des averse et la quantité de pluie observée pour un pas de temps de 15mn), (figure IV.4).

Date	P(mm)
19700104	1.36
19700104	1.36
19700104	1.36
19700104	0.97
19700104	0.20
19700104	0.04
19700104	0.00
19700104	0.00
19700104	0.00

Fig. IV.4. Fichier résultat donné par DEPCONS

b.3) Programme des sommes glissantes (SGL)

A partir du fichier de dépouillement à pas de temps constant de 15mn donné par (DEPCONS), le logiciel (SGL) calcule les quantités de pluie correspondant aux autres pas de temps (30mn, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, et 24h). Pour chaque averse, ce programme effectue une sommation glissante sur le fichier (070316.DEP). Une fois cette opération terminée seule la valeur maximale de l'averse est retenue. Ainsi pour tout les pas de temps, on aura autant de valeurs que d'averses dépouillées, (figure IV.5).

Date	15mn	30mn	1H	2H	3H	6H	12H	24H	Pjmax
1970	10,5	16,7	18,0	21,0	26,1	37,5	44,5	56,4	18,20
1971	10,7	18,6	20,9	30,2	30,4	31,3	31,3	31,3	31,40
1972	20,0	38,0	39,1	40,8	42,0	45,5	47,0	53,0	64,40
1973	5,6	7,9	9,3	10,0	11,1	13,2	20,4	28,8	32,70
1974	5,5	8,7	13,0	15,2	19,2	27,5	31,6	45,1	25,80
1975	8,0	8,6	9,1	14,0	15,3	20,8	29,3	35,1	20,70
.....									

Fig. IV.5. Fichier résultat donné par SGL et valeurs Pjmax correspondantes

b.4) Traitement statistique en vue de la recherche de la loi Intensité-Durée-Fréquence

De nombreuses études précédentes montrent que les pluies de courtes durées se répartissent suivant des lois à comportement exponentiel. Seules les lois de Gumbel et log-Normale seront utilisées dans un contexte de comparaison et suite à l'expérience Algérienne issue des études de régionalisation (**Body (1981)**).

L'investigation de la relation (4.0), représentant le modèle (M0) dit modèle ANRH, donne en finalité les valeurs des paramètres du modèle (*a* et *b*).

Nous disposons du fichier de la figure IV.5, résultat donné par SGL, une macro (**MAC.IDF**) sur le tableur Excel sera utilisée et qui consiste à :

- Ajuster les pluies pour chaque pas de temps et les pluies journalières maximales (Pjmax) à une loi de Gumbel et une loi log-Normale.
- Déterminer à partir des ajustements les valeurs de la pluie pour chaque pas de temps et pour les fréquences (0.99, 0.95, 0.9, 0.8).
- Déterminer les valeurs des paramètres (*a* et *b*) du modèle.

Le fichier donné est formé de 24 valeurs maximales pour chaque pas de temps allant de 1970 au 1993.

Les résultats de cette procédure sont donnés sur les figures IV.6 et IV.7, finalement les paramètres du modèle sont : $a=0.492$ et $b= 0.284$

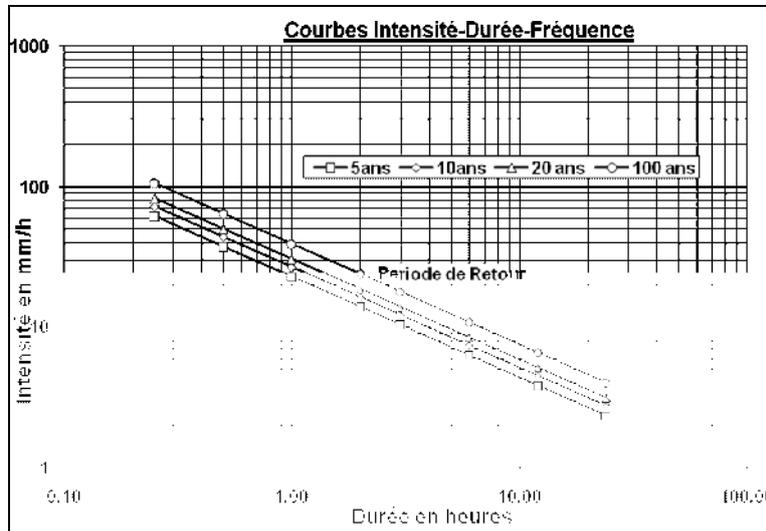


Fig. IV.6. Résultat graphique donné par MAC.IDF

Periode	Fréquence	a	b
5 ans	0,80	0,478	0,296
10 ans	0,90	0,488	0,287
20 ans	0,95	0,495	0,280
100 ans	0,99	0,506	0,270
MOY		0,492	0,284

Fig. IV.7. Résultat numérique donné par MAC.IDF

IV.4.2. Application des autres modèles (Modèle M1,...M12) aux données de la station de Batna codée (070316)

IV.4.2.1. Fichier de données caractérisées par un maximum par année et ajustées à la loi de Gumbel

Avec le même fichier (figure IV.5), les données aux différents pas de temps de taille $N=24$ (un maximum par année (de 1970 au 1993), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau IV.1), sont ajustées à une loi de **Gumbel**, et ce, moyennant plusieurs logiciels appropriés (à titre d'exemple sur la figure IV.8, les pluies de 3H sont ajustées par le logiciel Hydrolab 98.2, (**Laborde (1998)**). La détermination des quantiles aux divers pas de temps correspondants aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans),

(voir tableau IV.2 et figure IV.9), a permet de tester les 12 modèles sélectionnés. Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.3 et IV.4.

Les tableaux comporteront logiquement les noms des modèles, leurs paramètres et les critères de qualité ou de performance liés à chaque tentative de modélisation.

Tableau IV.1. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Batna

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Etendu	Asymétrie	Aplatissement
15 mn	24	9.2	3.8	0.41	2.2	20	17.8	1.66	1.87
30 mn	24	14.3	7.2	0.51	3.8	38	34	3.05	4.0
1 H	24	18.3	9.4	0.51	6.5	39	32.6	1.71	0.044
2 H	24	22.2	10.7	0.48	8.1	47.1	39	1.33	0.392
3 H	24	24.5	10.3	0.42	10.6	47.5	37	1.023	-0.543
6 H	24	29.4	10.3	0.35	12.8	49.2	36.4	0.448	-0.065
12 H	24	35.5	11.7	0.33	14	53.3	39.3	-0.419	-1.171
24 H	24	43.4	15.7	0.36	14.4	73.8	59.4	0.685	-0.551
Pjmax	24	36.4	13.8	0.38	18.2	64.4	46.2	1.29	-0.727

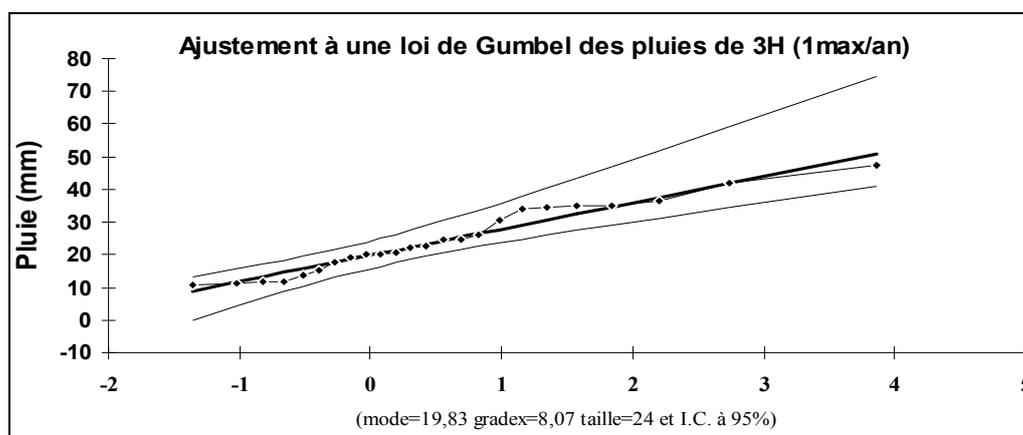


Fig. IV.8. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an):
Station de Batna

Tableau IV.2. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Batna

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Gumbel (1max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	47.5	39.0	25.1	14.9	10.6	6.1	3.7	2.3
T=10 ans	56.3	47.4	30.6	18.1	12.7	7.1	4.2	2.7
T=20 ans	64.7	55.5	35.8	21.1	14.6	8.1	4.8	3.0
T=50 ans	75.7	66.0	42.6	24.9	17.1	9.4	5.5	3.5
T=100 ans	83.8	73.9	47.7	27.9	19.0	10.3	6.0	3.9

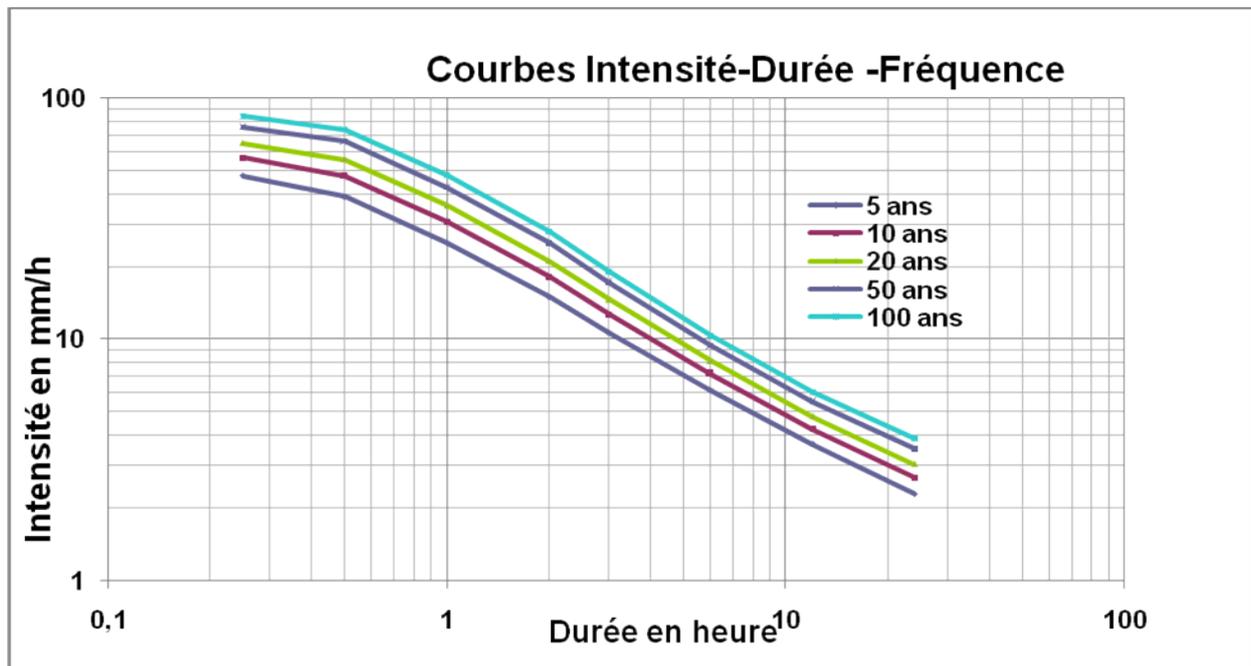


Fig. IV.9. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel): Station de Batna

Tableau IV.3. Résultats de l'application des modèles IDF (1max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles										
	a_1	a_2	a	b	c	d	e	f	g	k	m
(ANRH) M0			0.492	0.284							
M1			32.546	0.562							
M2	6.253	13.367		0.560							
M3			52.699	0.193	1.085	1.302					
M4			14.524	0.188		1.329			7.155	2.125	
M5			17.335	2.242	1.031	1.268					
M6			8.735	2.236	0.374	1.482					
M7			12.702	6.431	1.731	0.014					
M8			66.531	26.173	0.622	0.010	1.433				
M9			12.703	6.431	0.831	0.014	0.900				
M10					69.084		1.186	0.842			
M11					32.174			0.632			0.193
M12					33.038		1.112	0.725			0.202

NB : Les paramètres ($a_1, a_2, a, b, c, d, e, f, g, k, m$) des 12 modèles sont déterminés par le **Solveur Excel** basé sur la méthode de résolution numérique de Newton-Raphson qui

minimise la moyenne de l'erreur quadratique issue de la comparaison des valeurs réelles (observées ou mesurées) et les valeurs prédites ou simulées par le modèle considéré.

Tableau IV.4. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)- Critères de performance: Station de Batna

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i>pen</i>	<i>interception</i>	<i>RMSE</i>
(ANRH) M0	0.9463	1.099	-1.960	6.5072
M1	0.8736	0.836	5.050	8.4818
M2	0.9661	0.927	2.729	4.5226
M3	0.9948	1.006	-0.434	1.7521
M4	0.9995	0.9998	0.001	0.5062
M5	0.9956	1.006	-0.408	1.6092
M6	0.9991	1.012	-0.635	0.8223
M7	0.9658	0.928	2.614	4.5188
M8	0.9956	1.017	-0.920	1.7167
M9	0.9658	0.928	2.614	4.5188
M10	0.9018	0.915	1.908	7.4146
M11	0.9932	0.985	0.549	1.9640
M12	0.9949	1.005	-0.530	1.7415

Le modèle ANRH (M0) et les 12 autres modèles se distinguent en modèles à :

- Deux paramètres (M0 et M1).
- Trois paramètres (M2, M10, M11).
- Quatre paramètres (M3, M5, M6, M7, M12).
- Cinq paramètres (M4, M8, M9).

Du tableau IV.4, il ressort que le modèle ANRH (M0) est le meilleur modèle parmi ceux à deux paramètres avec une *RMSE* égale à 6.5072 mm/heure. Le modèle M11 est le meilleur modèle parmi ceux à trois paramètres avec une *RMSE* égale à 1.964 mm/heure. Le modèle M6 est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une *RMSE* égale à 0.8223 mm/heure. Le modèle M4 est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une *RMSE* égale à 0.5062 mm/heure.

Sauf contrainte d'estimation des paramètres des modèles (principe de parcimonie), le modèle M4 semble le meilleur modèle du point de vue qualité et performance (figure IV.10).

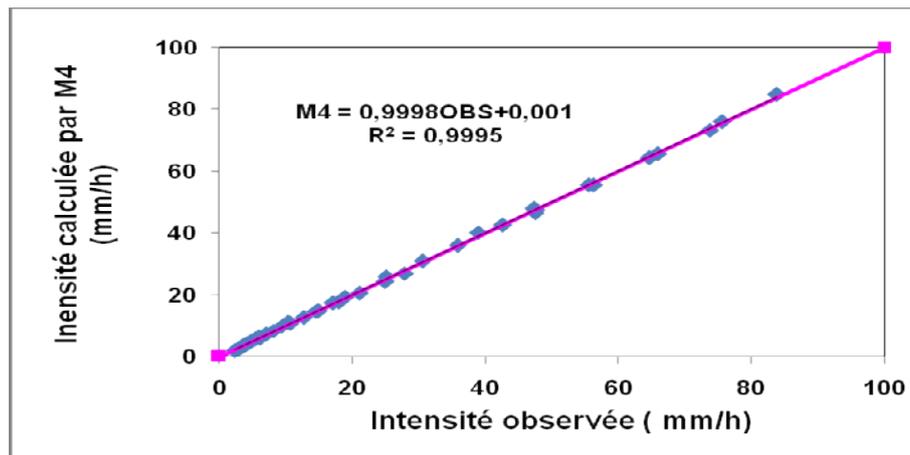


Fig. IV.10. Intensités de pluie observées et calculées par M4 (un max/an et loi de Gumbel): Station de Batna

IV.4.2.2. Fichier de données caractérisées par un maximum par année et ajustées à la loi log-Normale

Les données aux différents pas de temps du même fichier (figure IV.5), de taille $N=24$ (un maximum par année (de 1970 au 1993)), sont ajustées cette fois ci à une loi **log-Normale** (à titre d'exemple sur la figure IV.11, les pluies de 3H sont ajustées par le logiciel Hydrolab). La détermination des quantiles aux divers pas de temps correspondants aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau IV.5 et figure IV.12), a permis de même de tester les 12 modèles sélectionnés outre le modèle de l'ANRH (M0). Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.6 et IV.7.

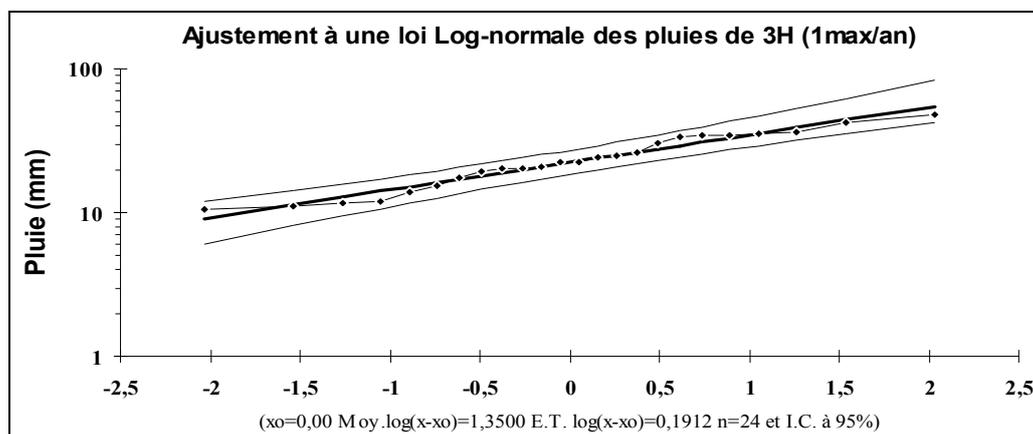


Fig. IV.11. Ajustement à une loi log-Normale des pluies de durée 3H (1max/an): Station de Batna

Tableau IV.5. Quantiles pour log-Normale (1max/an): Station de Batna

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles log-Normale (1max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	49.2	38.8	24.9	15.0	10.8	6.3	3.8	2.3
T=10 ans	60.0	48.3	31.2	18.7	13.1	7.5	4.5	2.8
T=20 ans	70.7	58.0	37.6	22.3	15.4	8.6	5.1	3.2
T=50 ans	85.1	71.1	46.4	27.3	18.4	10.0	6.0	3.8
T=100 ans	96.2	81.5	53.3	31.2	20.8	11.1	6.6	4.2

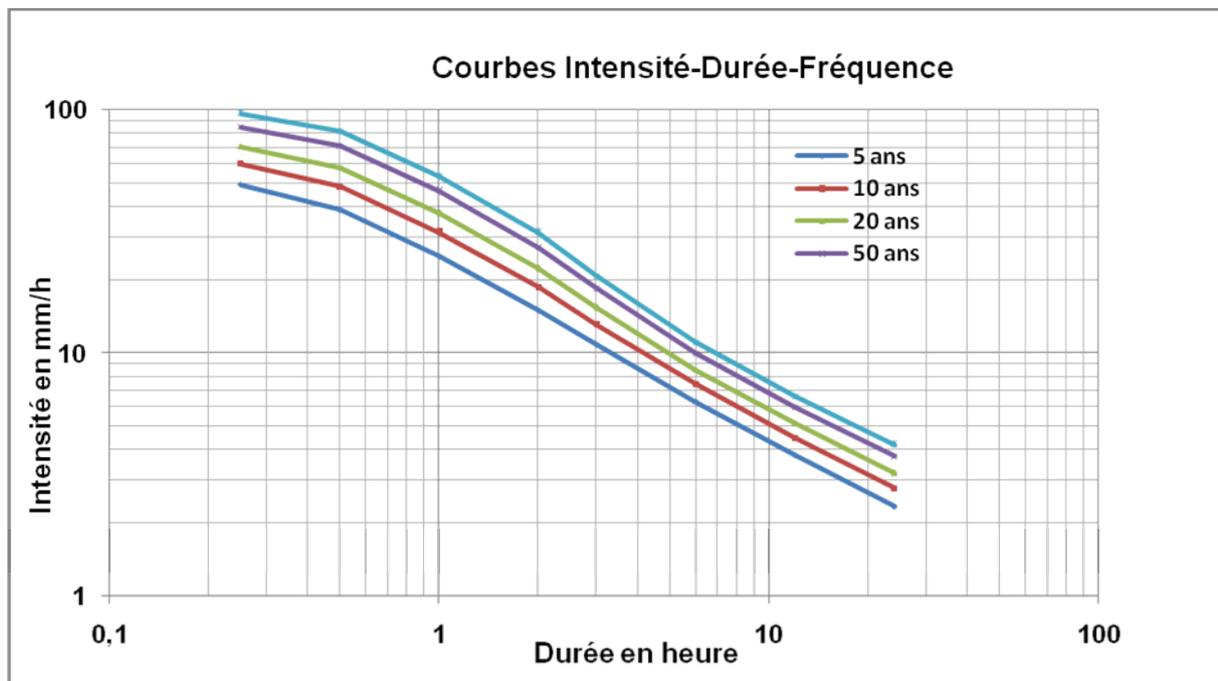


Fig. IV.12. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (un max/an et loi log-Normale): Station de Batna

Tableau IV.6. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi log-Normale**)-
Paramètres des modèles: Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles										
	a_1	a_2	a	b	c	d	e	f	g	k	m
(ANRH) M0			0.478	0.284							
M1			34.822	0.574							
M2	7.961	10.269		0.573							
M3			49.325	0.225	1.039	1.308					
M4			11.729	0.186		0.964			8.866	2.322	
M5			17.954	1.488	0.844	1.181					
M6			11.049	1.507	0.383	1.361					
M7			10.195	7.984	1.708	0.010					
M8			65.292	27.644	0.564	0.027	1.359				
M9			10.225	7.975	0.820	0.009	0.890				
M10				68.370		1.129	0.727				
M11					29.935			0.589			0.225
M12					33.687		1.146	0.751			0.226

Tableau IV.7. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi log-Normale**)-
Critères de performance: Station de Batna

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i>pen</i> t	<i>inter</i> ception	<i>RMSE</i>
(ANRH) M0	0.9443	0.9970	-1.3300	6.2375
M1	0.8525	0.8194	5.8532	10.0667
M2	0.9735	0.9390	2.4658	4.3995
M3	0.9966	1.0104	-0.6120	1.5948
M4	0.9994	0.9997	0.0112	0.6336
M5	0.9974	1.0059	-0.3779	1.3678
M6	0.9992	1.0103	-0.5714	0.8541
M7	0.9734	0.9403	2.4358	4.3974
M8	0.9969	1.0210	-1.1761	1.6766
M9	0.9734	0.9402	2.4402	4.3974
M10	0.8742	0.8848	2.9978	9.2418
M11	0.9957	0.9909	0.3730	1.7166
M12	0.9971	1.0081	-0.4954	1.4473

Du tableau IV.7, il ressort de même que le modèle ANRH (M0) est le meilleur modèle parmi ceux à deux paramètres avec une **RMSE** égale à 6.2375 mm/heure. Le modèle M11 est le meilleur modèle parmi ceux à trois paramètres avec une **RMSE** égale à 1.7166 mm/heure. Le

modèle M6 est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une **RMSE** égale à 0.8541 mm/heure. Le modèle M4 est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une **RMSE** égale à 0.6336 mm/heure.

Pour la majorité des modèles, notamment le modèle M4, l'ajustement de la loi log-Normale n'améliore plus les performances des modèles d'où la préférence de garder la loi de Gumbel pour ce cas de figure concernant les échantillons à différents pas de temps avec un maximum par année. Il faut signaler que l'introduction de la loi log-Normale améliore légèrement le modèle M0 adopté par les études de l'ANRH pour une série formée par un maximum par année.

Sauf contrainte d'estimation des paramètres des modèles (principe de parcimonie), le modèle M4 demeure le meilleur modèle en termes de qualité ou performance (figure IV.13).

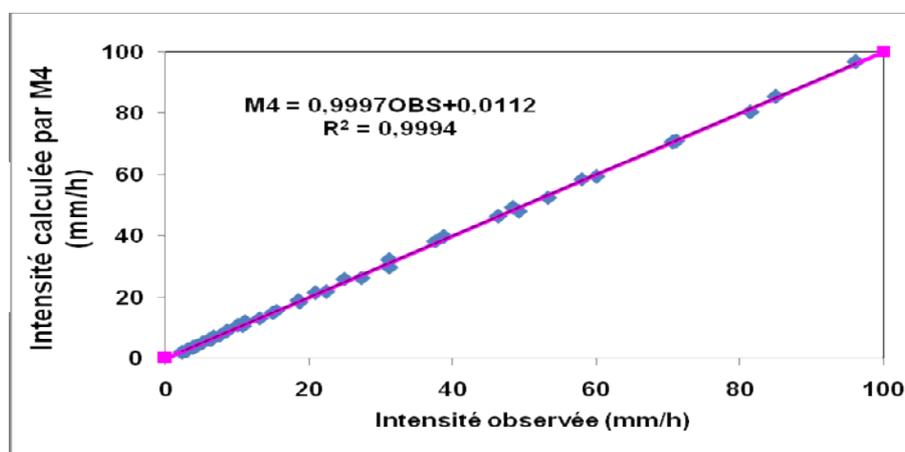


Fig. IV.13. Intensités M4 en fonction des intensités observées (1max/an et loi log-Normale): Station de Batna

IV.4.2.3. Fichier de données caractérisées par deux maximums par année et ajustées à la loi de Gumbel (Série gonflée)

Les données aux différents pas de temps ont été enrichies vers des séries gonflées de taille $2*N=2*24$ (deux maximums par année (de 1970 au 1993)), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau IV.8), les nouvelles séries sont ajustées à une loi de **Gumbel** (à titre d'exemple sur la figure IV.14, les pluies de 3H sont ajustées par le logiciel Hydrolab). La détermination des quantiles aux divers pas de temps correspondants aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau IV.9 et figure IV.15), a permis de même de tester les 12 modèles sélectionnés outre le modèle de l'ANRH (M0). Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.10 et IV.11.

Tableau IV.8. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (2max/an):
Station de Batna

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Etendu	Asymétrie	Aplatissement
15 mn	48	7.8	3.4	0.43	2.2	20	17.8	2.96	3.319
30 mn	48	11.8	6.2	0.52	3.6	38	34.4	5.194	8.235
1 H	48	15.1	8.1	0.53	5.5	39.1	33.6	3.64	2.211
2 H	48	18.4	9.2	0.51	7.7	47.1	39.4	3.397	1.574
3 H	48	20.2	9.3	0.46	8.3	47.5	39.2	2.881	0.730
6 H	48	24.8	9.8	0.40	10.8	49.2	38.4	1.791	-0.274
12 H	48	30.3	12.4	0.41	12.6	53.3	40.7	0.607	-1.847
24 H	48	36	15.7	0.44	12.2	73.8	59.6	1.716	-0.371
Pjmax	48	33.6	13	0.39	16.5	64.4	47.9	2.129	-0.650

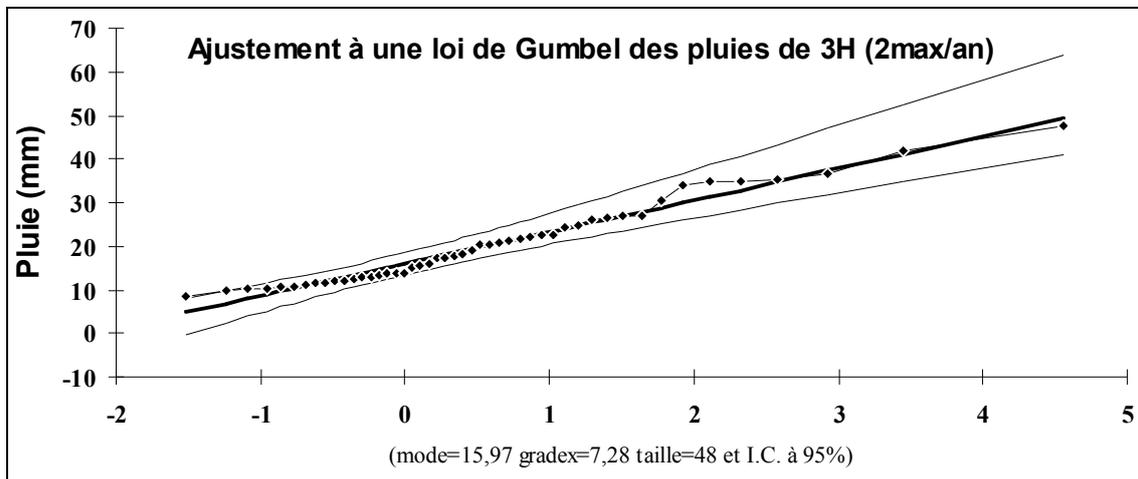


Fig. IV.14. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (2max/an):
Station de Batna

Tableau IV.9. Quantiles pour Gumbel (2max/an): Station de Batna

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Gumbel (2max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	41.0	32.5	20.9	12.5	9.0	5.3	3.3	2.0
T=10 ans	48.9	39.7	25.7	15.2	10.8	6.3	3.9	2.3
T=20 ans	56.5	46.6	30.2	17.8	12.5	7.2	4.5	2.7
T=50 ans	66.3	55.6	36.1	21.1	14.8	8.4	5.2	3.2
T=100 ans	73.7	62.3	40.5	23.6	16.5	9.3	5.8	3.5

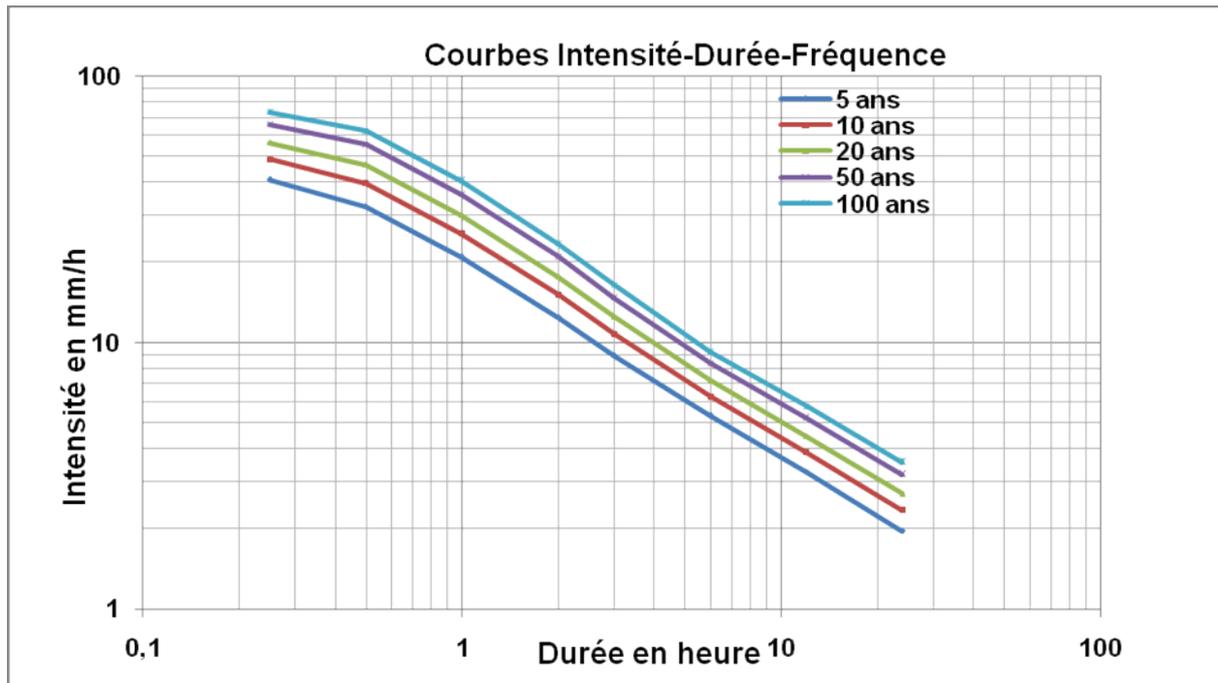


Fig. IV.15. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (2max/an et loi de Gumbel): Station de Batna

Tableau IV.10. Résultats de l'application des modèles IDF (2max. par an et loi de Gumbel)- Paramètres des modèles: Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles										
	a_1	a_2	a	b	c	d	e	f	g	k	m
(ANRH) M0			0.414	0.284							
M1			27.762	0.570							
M2	5.472	10.982		0.567							
M3			5.693	0.195	1.214	1.408					
M4			11.779	0.211		0.974			6.155	2.334	
M5			15.946	2.042	1.050	1.303					
M6			7.948	2.113	0.402	1.313					
M7			10.358	5.641	1.702	0.016					
M8			66.530	26.171	0.580	0.011	1.539				
M9			10.454	5.611	0.820	0.014	0.889				
M10				54.746		1.119		0.734			
M11				26.592				0.601			0.196
M12				32.169			1.180	0.834			0.190

Tableau IV.11. Résultats de l'application des modèles IDF (2max. par an et loi de Gumbel)-
Critères de performance: Station de Batna

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i>pen</i> t	<i>interception</i>	<i>RMSE</i>
(ANRH) M0	0.9512	1.0170	-1.7300	4.7177
M1	0.8773	0.8403	4.0506	7.1485
M2	0.9748	0.9410	1.9579	3.3472
M3	0.9956	1.0178	-0.7973	1.4684
M4	0.9997	1.0005	-0.0273	0.3678
M5	0.9969	1.0166	-0.7189	1.2364
M6	0.9990	1.0134	-0.5757	0.7618
M7	0.9745	0.9424	1.8491	3.3428
M8	0.9960	1.0274	-1.1919	1.5442
M9	0.9746	0.9421	1.8589	3.3428
M10	0.8982	0.9117	1.7668	6.4689
M11	0.9956	0.9946	0.1697	1.3467
M12	0.9960	1.0107	-0.4218	1.3250

Du tableau IV.11, il ressort que le modèle ANRH (M0) est le meilleur modèle parmi ceux à deux paramètres avec une *RMSE* égale à 4.7177 mm/heure. Le modèle M11 est le meilleur modèle parmi ceux à trois paramètres avec une *RMSE* égale à 1.3467 mm/heure. Le modèle M6 est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une *RMSE* égale à 0.7618 mm/heure. Le modèle M4 est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une *RMSE* égale à 0.3678 mm/heure. Les intensités calculées par le modèle M4 en fonction des intensités observées (2max/an et loi de Gumbel) sont illustrées par la figure IV.16.

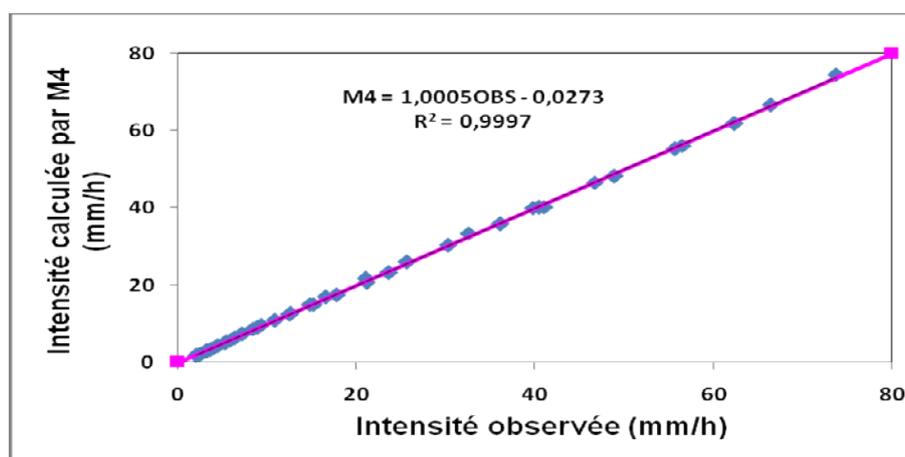


Fig. IV.16. Intensités M4 en fonction des intensités observées (2max/an et loi de Gumbel):
Station de Batna

IV.4.2.4. Fichier de données caractérisées par deux maximums par année et ajustées à la loi log-Normale (Série gonflée)

Les mêmes données aux différents pas de temps, qui ont été enrichies vers des séries gonflées de taille $2*N=2*24$ (deux maximums par année (de 1970 au 1993)), sont ajustées alternativement à une loi **log-Normale** (à titre d'exemple sur la figure IV.17, les pluies de 3H sont ajustées par le logiciel Hydrolab). La détermination des quantiles aux divers pas de temps correspondants aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau IV.12 et figure IV.18), a permis de même de tester les 12 modèles sélectionnés outre le modèle de l'ANRH (M0). Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.13 et IV.14.

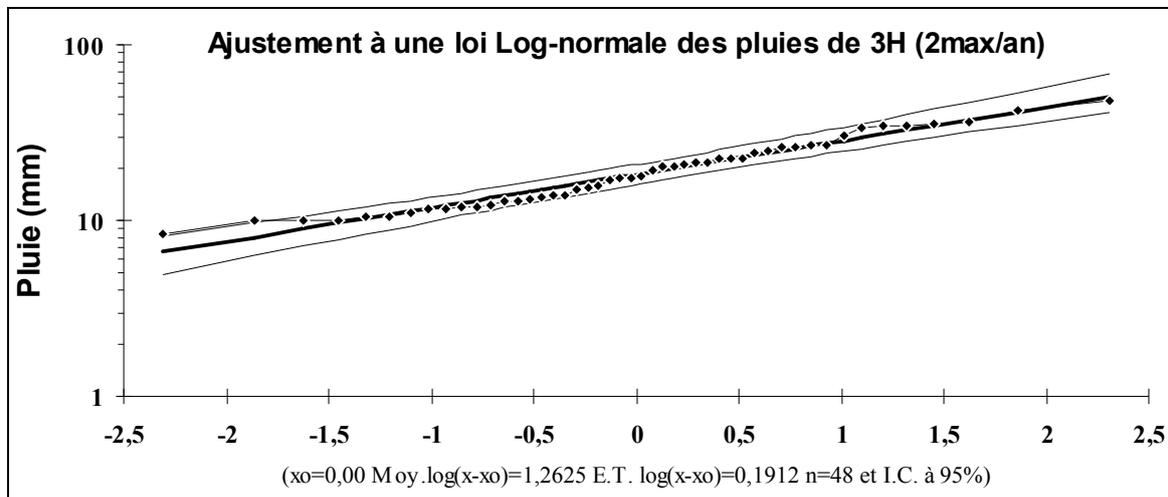


Fig. IV.17. Ajustement à une loi log-Normale des pluies de durée 3H (2max/an): Station de Batna

Tableau IV.12. Quantiles pour log-Normale (2max/an): Station de Batna

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles log-Normale (2max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	41.6	31.6	20.3	12.2	8.8	5.4	3.3	2.0
T=10 ans	50.8	39.2	25.3	14.9	10.7	6.4	4.1	2.4
T=20 ans	59.9	46.7	30.4	17.7	12.6	7.4	4.7	2.9
T=50 ans	72.1	56.9	37.3	21.4	15.1	8.7	5.7	3.5
T=100 ans	81.6	65.0	42.8	24.3	17.0	9.8	6.4	3.9

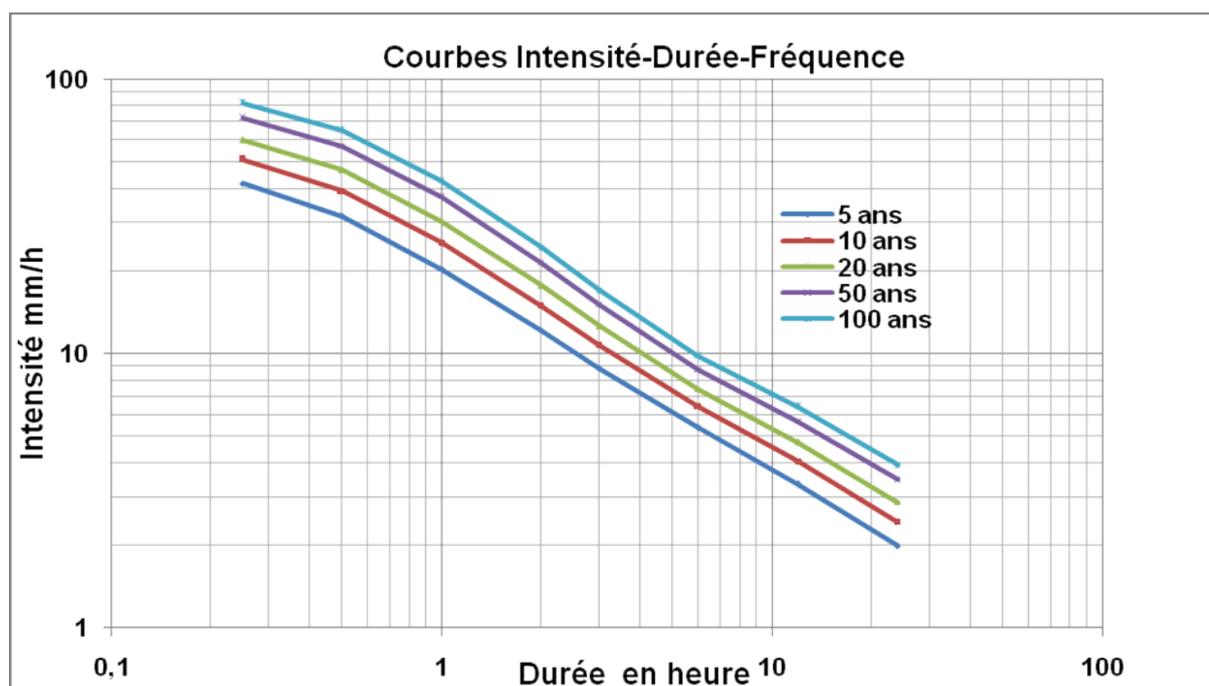


Fig. IV.18. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (2max/an et loi log-Normale): Station de Batna

Tableau IV.13. Résultats de l'application des modèles IDF (2max. par an et loi log-Normale)- Paramètres des modèles: Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles										
	a_1	a_2	a	b	c	d	e	f	g	k	m
(ANRH) M0			0.432	0.284							
M1			24.485	0.589							
M2	6.425	8.666		0.587							
M3			48.750	0.219	1.151	1.435					
M4			9.647	0.213		0.662			7.006	2.694	
M5			10.647	1.549	0.546	1.014					
M6			9.453	1.549	0.424	1.152					
M7			8.644	6.433	1.678	0.006					
M8			66.580	26.173	0.525	0.023	1.457				
M9			8.641	6.434	0.804	0.007	0.873				
M10					48.746		1.021	0.548			
M11					23.753			0.533			0.221
M12					24.480		1.040	0.573			0.221

Le tableau IV.14 va nous indiquer que le modèle ANRH (M0) soit le meilleur modèle parmi ceux à deux paramètres avec une **RMSE** égale à 4.3602 mm/heure. Le modèle M11 est le meilleur modèle parmi ceux à trois paramètres avec une **RMSE** égale à 1.0928 mm/heure. Le

modèle M6 est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une *RMSE* égale à 0.7920 mm/heure. Le modèle M4 est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une *RMSE* égale à 0.3918 mm/heure. Les intensités calculées par le modèle M4 en fonction des intensités observées (2max/an et loi log-Normale) sont illustrées par la figure IV.16.

Pour la majorité des modèles, notamment le modèle M4, l'ajustement de la loi log-Normale n'améliore plus les performances des modèles d'où la préférence de garder la loi de Gumbel pour le cas de figure concernant les échantillons à différents pas de temps avec deux maximums par année. Il faut encore une fois signaler que l'introduction de la loi log-Normale améliore légèrement le modèle M0 adopté par les études de l'ANRH pour la série gonflée.

Tableau IV.14. Résultats de l'application des modèles IDF (**2max. par an et loi log-Normale**)- Critères de performance: Station de Batna

Modèles	Critères de performance			
	<i>R</i> ²	<i>pen</i> <i>te</i>	<i>inter</i> <i>ception</i>	<i>RMSE</i>
(ANRH) M0	0.9609	1.010	-1.301	4.3602
M1	0.8645	0.8386	4.2525	7.9444
M2	0.9833	0.9563	1.5005	2.8799
M3	0.9959	1.0235	-1.0729	1.5423
M4	0.9997	1.0020	-0.0898	0.3918
M5	0.9983	1.0062	-0.3021	0.9063
M6	0.9990	1.0127	-0.5729	0.7920
M7	0.9832	0.9515	1.4856	2.8787
M8	0.9958	1.0332	-1.5301	1.7806
M9	0.9832	0.9573	1.4854	2.8787
M10	0.8781	0.8877	2.4309	7.5055
M11	0.9975	1.0022	-0.1423	1.0928
M12	0.9976	1.0074	-0.3548	1.0827

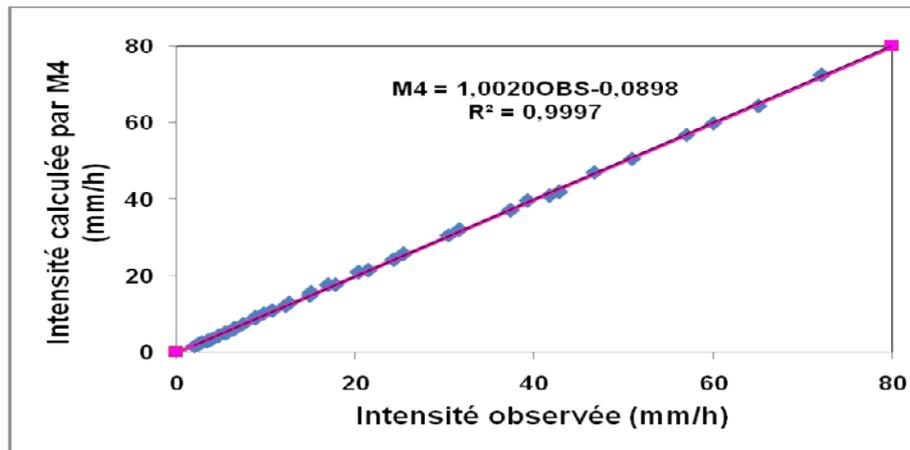


Fig. IV.16. Intensités M4 en fonction des intensités observées (2max/an et loi log-Normale): Station de Batna

Remarque1 : Pour ce qui suit, on se contentera de ne considérer que les modèles caractérisés par un coefficient de détermination au delà de la valeur $R^2 > 0.99$, ce qui induit de ne prendre en compte que les modèles qui donnent des $RMSE < 2 \text{ mm/h}$. Ce compromis conduit à écarter, pour tous les cas étudiés, les six modèles (M0, M1, M2, M7, M9 et M10) et à garder pour le test les sept modèles (M3, M4, M5, M6, M8, M11 et M12).

IV.4.2.5. Fichier de données au delà d'un seuil ajustées à la loi adéquate (Série tronquée)

Dans la vision d'enrichir davantage et d'une façon légitime les échantillons des pluies de la station de Batna à différents pas de temps, nous allons faire recours à l'astuce naturelle qui consiste à considérer toutes les valeurs au de la d'un seuil des valeurs des pluies à un pas de temps déterminé. Nous allons considérer comme seuil le minimum des maxima pour chaque durée de temps (15mn, ..., 24h), et ce, pour être en cohérence avec la réalité physique des événements pluvieux (averses) au sein de la région de Batna (1970-1993), ponctuellement mesurés au niveau de la station codée 070316. La prise en compte de ce seuil évite la pénalisation des valeurs qui succèdent strictement la valeur maximale et offre la possibilité de valoriser un évènement même faible en valeur quoi qu'il est événementiel dans son contexte naturel lié au pas de temps déterminé. Au cours de la période (1970-1993), les caractéristiques des échantillons à différents pas de temps sont résumées dans le tableau IV.15 ainsi que les statistiques de base dans le tableau IV.16.

NB : Nous allons faire l'analyse fréquentielle pour les échantillons tronqués sans valeur répétées dans le but de ne plus avoir des quantiles influencés par les valeurs extrêmes faibles.

Les données formées par les valeurs de pluie de différentes durées ayant des différents seuils seront ajustées aux lois de distributions décrites dans le chapitre précédent à savoir les lois à

deux paramètres (log-Normale et la plus grande valeur extrême) et à trois paramètres (log-Normale (3p), Gamma (3p) et Weibull (3p)).

Tableau IV.15. Caractéristiques des échantillons (**avec seuils**) aux diverses durées:
Station de Batna

Durée	Seuil (mm)	Taille avec valeurs répétées	Taille sans valeurs répétées
15 mn	2.2	199	68
30 mn	3.8	161	77
1 H	6.5	108	69
2 H	8.1	117	73
3 H	10.6	91	69
6 H	12.8	100	78
12 H	14	106	84
24 H	14.4	130	98

Tableau IV.16. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées
(**avec seuils**): Station de Batna

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Etendu	Asymétrie	Aplatissement
15 mn	68	6.5	4.43	0.53	2.2	20	17.7	4.391	4.095
30 mn	77	9.95	5.65	0.57	3.8	38	34.2	7.368	12.724
1 H	69	13.66	7.24	0.53	6.5	39.1	32.6	5.703	5.247
2 H	73	15.86	7.84	0.495	8.1	47.1	39	6.646	6.915
3 H	69	18.97	8.08	0.426	10.6	47.5	36.9	5.056	3.459
6 H	78	22.42	8.53	0.38	12.8	49.2	36.4	4.304	2.062
12 H	84	25.39	10.48	0.413	14.0	53.3	39.3	3.928	0.038
24 H	98	27.8	13.74	0.494	14.4	73.8	59.4	6.064	3.666

IV.4.2.5.1. Durée de 15 mn

Les données formées par les 68 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 15 mn ayant pour seuil 2.2 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.17 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 15 mn est visualisé sur la figure IV.17.

Tableau IV.17. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 15 mn :
Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 68	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Weibull (3 paramètres)	3	0.967 172	0.0408 591	0.146 358	-165.054	336. 108	341.10 3053	1
Gamma (3 paramètres)	3	0.992 36	0.0448 173	0.212 911	-165.525	337. 05	342.04 5053	2
Log-normale	2	0.995 697	0.0519 651	0.258 893	-168.417	340. 834	344.16 4036	3
Log-normale (3 paramètres)	3	0.986 725	0.0567 683	0.301 57	-167.815	341. 63	346.62 5053	4
Plus grande valeur extrême	2	0.891 844	0.0610 532	0.528 524	-170.411	344. 822	348.15 2036	5

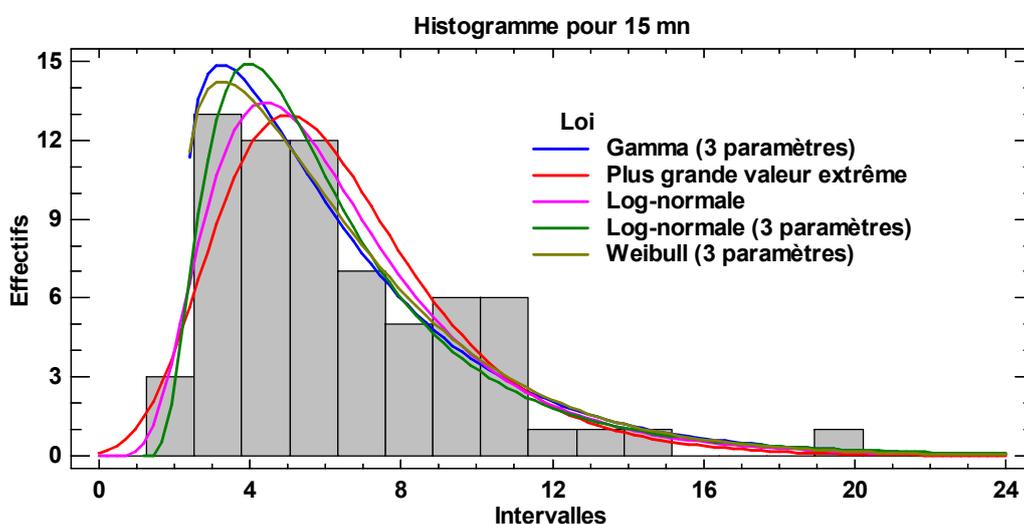


Fig. IV.17. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 15 mn :
Station de Batna

IV.4.2.5.1. Durée de 30 mn

Les données formées par les 77 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 30 mn ayant pour seuil 3.8 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.18 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 30 mn est visualisé sur la figure IV.18.

Tableau IV.18. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 30 mn:
Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 77	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Weibull (3 paramètres)	3	0.971 55	0.0599 609	0.235 873	-216.429	438. 858	444.17 6944	1
Gamma (3 paramètres)	3	0.756 571	0.0686 022	0.292 175	-216.568	439. 136	444.45 4944	2
Log-normale	2	0.791 573	0.0713 141	0.475 377	-219.768	445. 536	450.85 4944	3
Log-normale (3 paramètres)	3	0.628 52	0.0606 07	0.440 051	-222.309	448. 618	452.16 3963	4
Plus grande valeur extrême	2	0.180 223	0.0762 503	0.836 622	-225.578	455. 156	458.70 1963	5

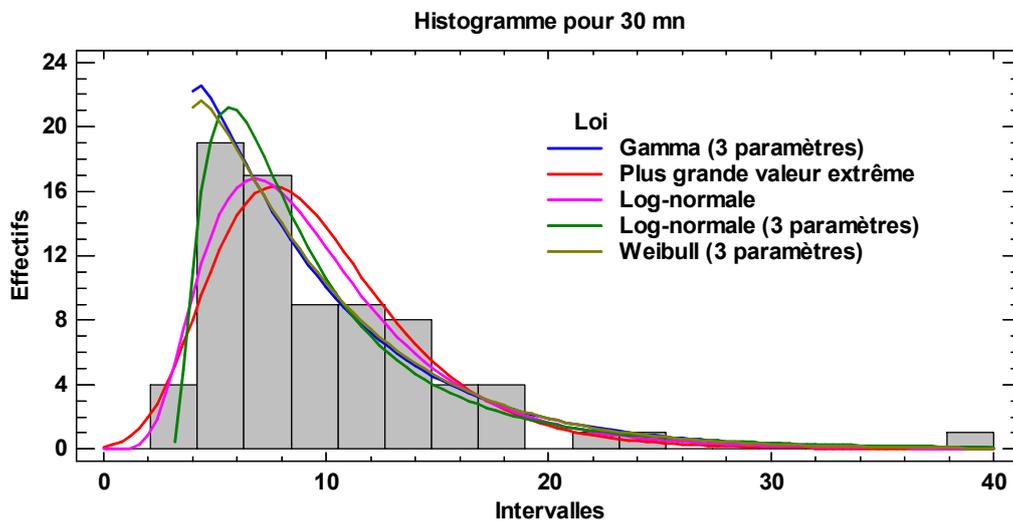


Fig. IV.18. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 30 mn:
Station de Batna

IV.4.2.5.3. Durée de 1H

Les données formées par les 69 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 1H ayant pour seuil 6.5 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.19 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 1H est visualisé sur la figure IV.19.

Tableau IV.19. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 1H:
Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 69	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Weibull (3 paramètres)	3	0.995 663	0.0606 179	0.675 853	-202.658	411. 316	416.34 9095	1
Gamma (3 paramètres)	3	0.977 893	0.0858 006	0.980 639	-204.502	415. 004	420.03 7095	2
Log-normale (3 paramètres)	3	0.784 09	0.0685 502	0.411 179	-208.562	423. 124	428.15 7095	3
Log-normale	2	0.472 958	0.0945 68	0.949 08	-216.072	436. 144	439.49 9396	4
Plus grande valeur extrême	2	0.260 133	0.1104 51	1.429 1	-218.77	441. 54	444.89 5396	5

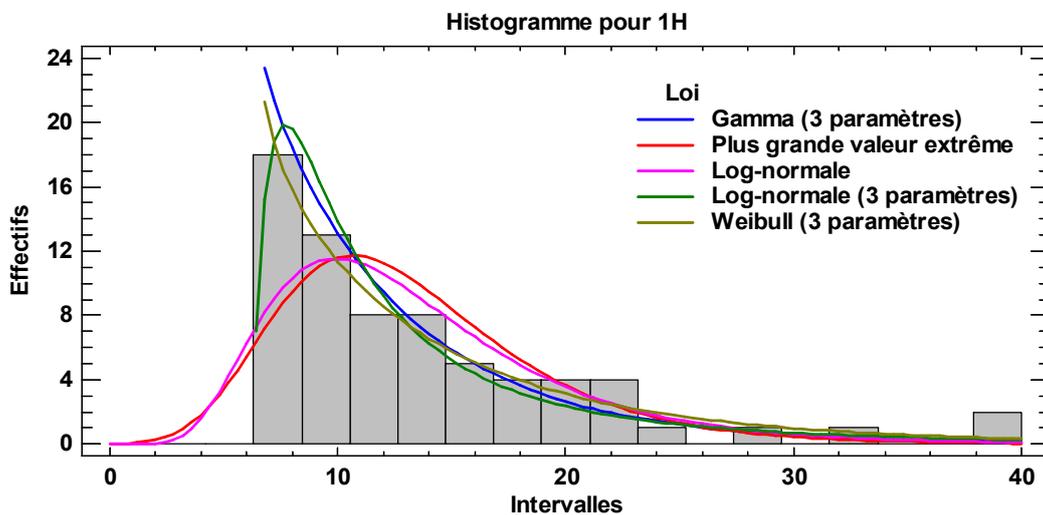


Fig. IV.19. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 1H:
Station de Batna

IV.4.2.5.4. Durée de 2H

Les données formées par les 73 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 2H ayant pour seuil 8.1 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.20 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 2H est visualisé sur la figure IV.20.

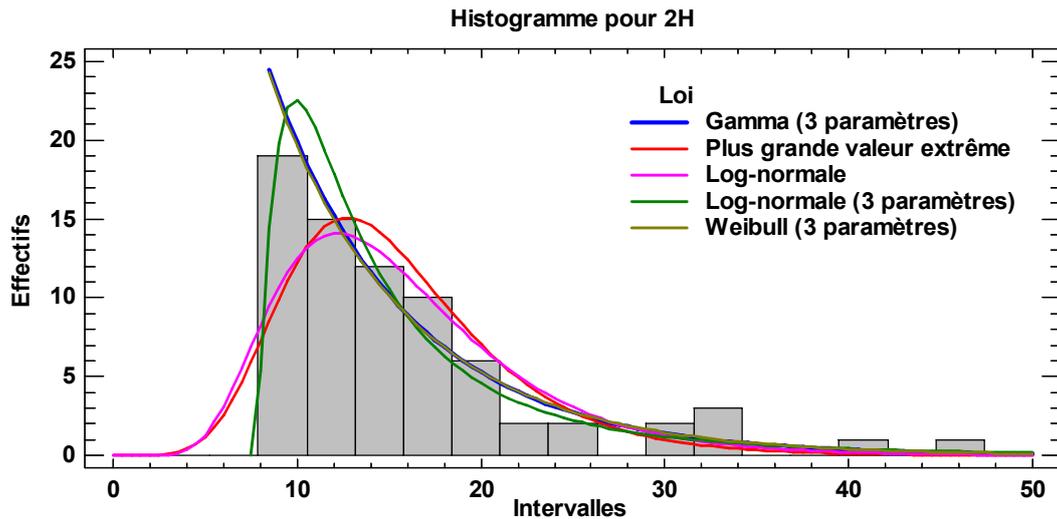


Fig. IV.20. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 2H: Station de Batna

Tableau IV.20. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 2H: Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 73	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Weibull (3 paramètres)	3	0.920 98	0.0477 526	0.533 291	-222.12	450. 24	455.41 9937	1
Gamma (3 paramètres)	3	0.808 36	0.0444 65	0.605 196	-222.207	450. 414	455.59 3937	2
Log-normale (3 paramètres)	3	0.871 122	0.0480 864	0.185 187	-224.013	454. 026	459.20 5937	3
Log-normale	2	0.107 516	0.0862 72	1.190 05	-232.902	469. 804	473.25 7291	4
Plus grande valeur extrême	2	0.156 831	0.0908 336	1.458 67	-234.393	472. 786	476.23 9291	5

IV.4.2.5.5. Durée de 3H

Les données formées par les 69 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 3H ayant pour seuil 10.6 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.21 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 3H est visualisé sur la figure IV.21.

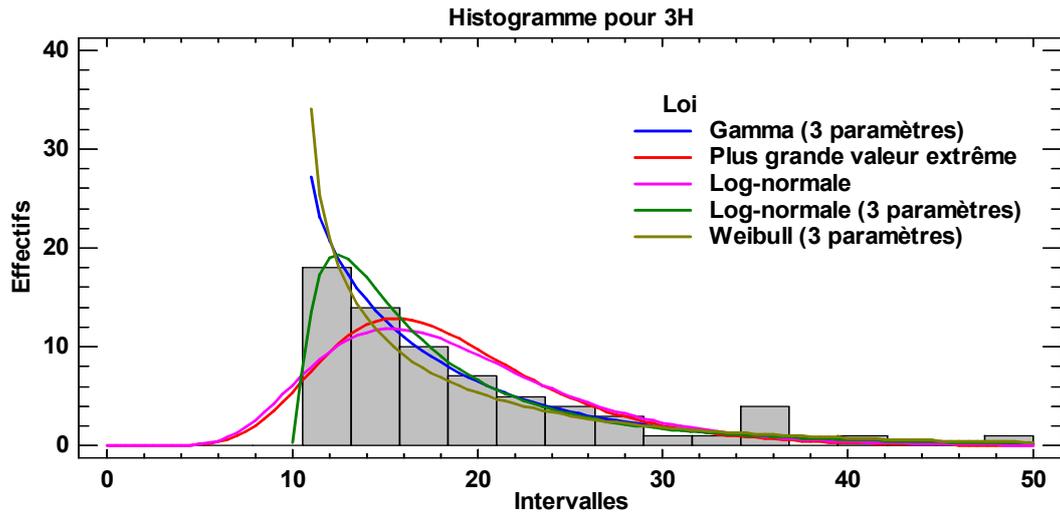


Fig. IV.21. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 3H: Station de Batna

Tableau IV.21. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 3H: Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 69	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Weibull (3 paramètres)	3	0.297 069	0.1145 79	1.730 05	-211.403	428. 806	433.83 9095	1
Gamma (3 paramètres)	3	0.703 628	0.0716 612	1.065 01	-212.353	430. 706	435.73 9095	2
Log-normale (3 paramètres)	3	0.977 893	0.0546 947	0.239 637	-218.993	443. 986	449.01 9095	3
Log-normale	2	0.357 822	0.1051 02	1.180 95	-227.21	458. 42	461.77 5396	4
Plus grande valeur extrême	2	0.260 133	0.1096 84	1.376 35	-227.547	459. 094	462.44 9396	5

IV.4.2.5.6. Durée de 6H

Les données formées par les 78 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 6H ayant pour seuil 12.8 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.22 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 6H est visualisé sur la figure IV.22.

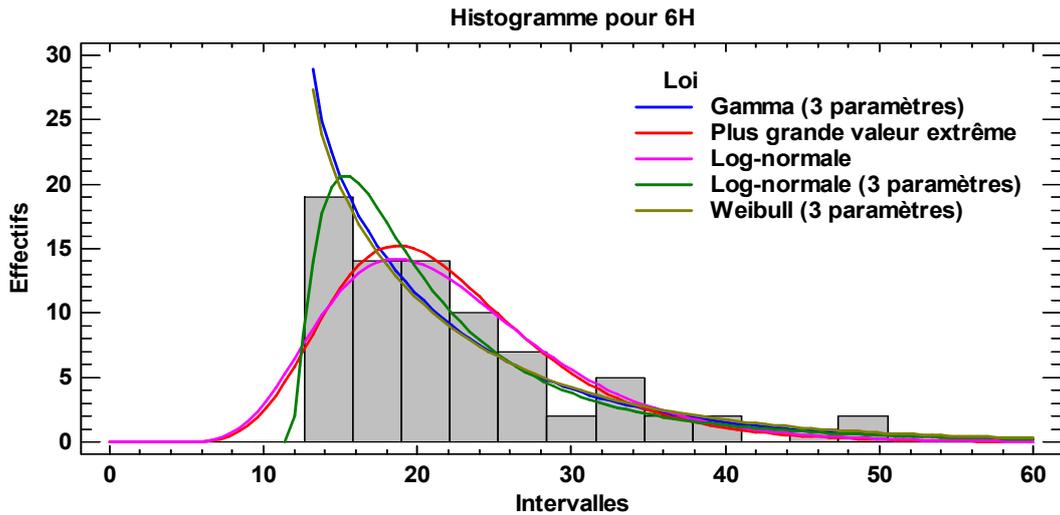


Fig. IV.22. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 6H: Station de Batna

Tableau IV.22. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 6H: Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 78	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Gamma (3 paramètres)	3	0.462 428	0.0878 81	0.826 691	-251.619	509. 238	514.59 0568	1
Weibull (3 paramètres)	3	0.238 887	0.0669 737	0.746 705	-253.022	512. 044	517.39 6568	2
Log-normale (3 paramètres)	3	0.425 66	0.0772 216	0.652 982	-260.355	526. 71	532.06 2568	3
Log-normale	2	0.192 248	0.0814 906	0.809 38	-265.775	535. 55	539.11 8378	4
Plus grande valeur extrême	2	0.214 456	0.0902 142	0.950 537	-265.827	535. 654	539.22 2378	5

IV.4.2.5.7. Durée de 12H

Les données formées par les 84 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 12H ayant pour seuil 14.0 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.23 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 12H est visualisé sur la figure IV.23.

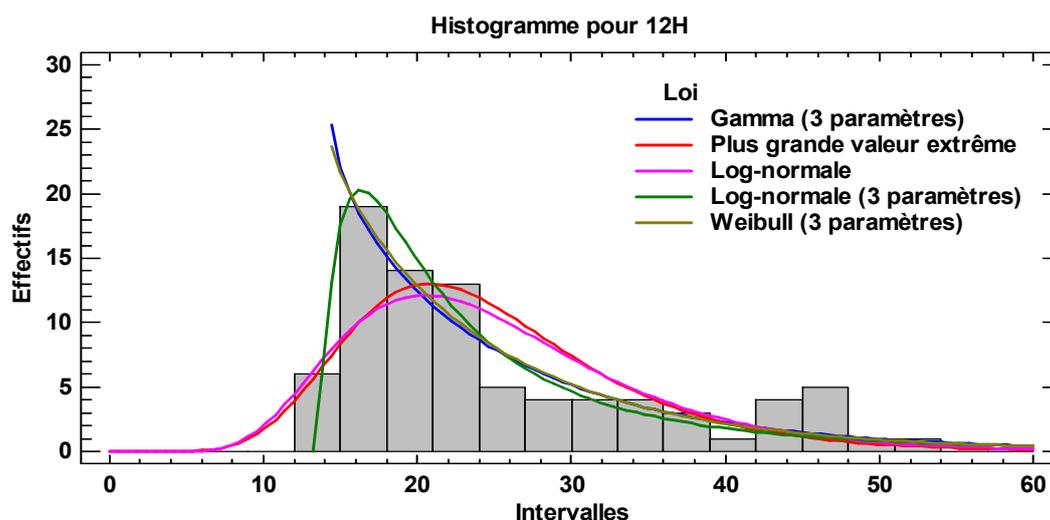


Fig. IV.23. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 12H: Station de Batna

Tableau IV.23. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 12H: Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 84	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Gamma (3 paramètres)	3	0.299 93	0.0505 786	0.654 51	-285.556	577. 112	582.65 7676	1
Weibull (3 paramètres)	3	0.495 571	0.0561 384	0.680 662	-287.444	580. 888	586.43 3676	2
Log-normale (3 paramètres)	3	0.069 0409	0.0681 786	0.577 279	-292.976	591. 952	597.49 7676	3
Log-normale	2	0.146 326	0.1080 21	1.805 87	-302.333	608. 666	612.36 3117	4
Plus grande valeur extrême	2	0.001 0243	0.0999 086	2.185 81	-303.058	610. 116	613.81 3117	5

IV.4.2.5.8. Durée de 24H

Les données formées par les 98 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 24H ayant pour seuil 14.4 mm, sont ajustées aux lois sus-citées et les résultats sont donnés par le tableau IV.24 qui fait ressortir que la loi de log-Normale (2p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 24H est visualisé sur la figure IV.24.

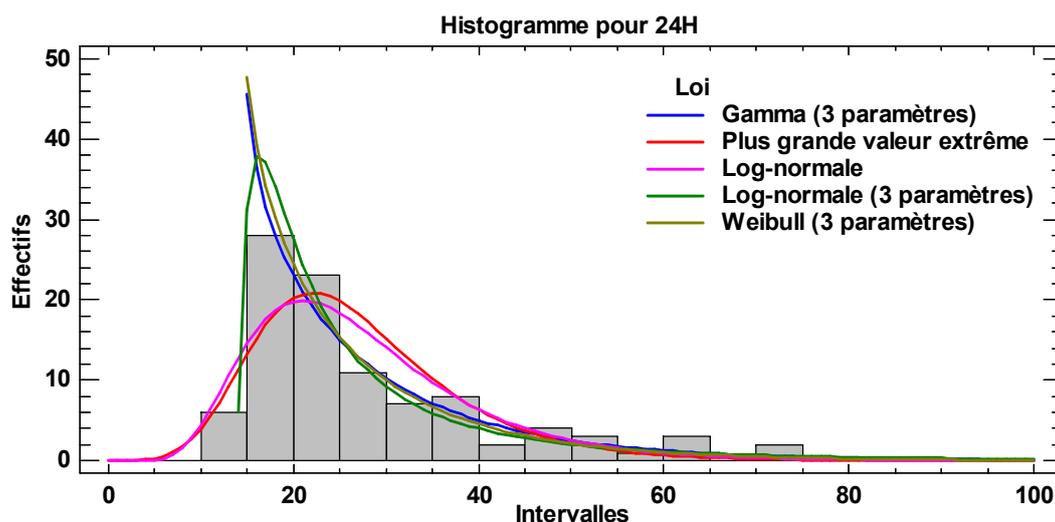


Fig. IV.24. Ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 24H: Station de Batna

Tableau IV.24. Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 24H: Station de Batna

Comparaison des lois alternatives	Taille : 98	Tests d'adéquation			Critères de sélection			Classement
		Nb. paramètres estimés	χ^2	KS	AD	Log-vraisemblance	AIC	
Gamma (3 paramètres)	3	0.925 559	0.0518 072	0.409 95	-346.867	699. 734	705.68 1356	1
Weibull (3 paramètres)	3	0.989 803	0.0746 712	0.876 99	-349.238	704. 476	710.42 3356	2
Log-normale (3 paramètres)	3	0.739 136	0.0647 345	0.526 845	-357.434	720. 868	726.81 5356	3
Log-normale	2	0.005 44636	0.1017 38	1.872 21	-371.342	746. 684	750.64 8904	4
Plus grande valeur extrême	2	0.000 43785	0.1055 82	2.515 76	-374.123	752. 246	756.21 0904	5

A l'exception de la durée de 15 mn où toutes les lois se rapprochent sensiblement (figure IV.17). On constate, en examinant les histogrammes des diverses durées (30 mn, ..., 24 H), que les lois à trois paramètres surestiment les quantiles surtout concernant les fréquences faibles (50 ans et 100 ans) et que les lois à deux paramètres quant à elles, elles les sous-estiment (figures IV.18 à IV.24). La loi log-Normale à 3 paramètres donne des valeurs intermédiaires pour tous les cas.

Les mêmes données aux différentes durées et aux seuils différents, qui ont été enrichies vers des séries tronquées de tailles variées, sont ajustées alternativement aux meilleurs lois sélectionnées moyennant les critères *AIC* et *BIC* et à la loi log-Normale à deux paramètres qui se positionne en premier en son genre. La détermination des quantiles aux diverses durées

correspondants aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableaux IV.25, IV.26 et figures IV.25, IV.26), a permet de même de tester les 07 modèles sélectionnés (*M3, M4, M5, M6, M8, M11 et M12*) caractérisés par des $R^2 > 0.99$ et des $RMSE < 2 \text{ mm/h}$.

Tableau IV.25. Quantiles pour Meilleurs lois (au delà des seuils) : Station de Batna

Durée	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Meilleurs lois: Intensité (mm/h)							
T=5 ans	35.8	27.3	19.5	10.3	8.2	4.7	2.7	1.5
T=10	45.1	35.1	25.7	13.0	10.9	5.9	3.4	1.9
T=20	53.9	42.8	32.0	15.7	14.0	7.1	4.1	2.3
T=50	65.1	52.7	40.6	19.3	18.4	8.7	5.1	2.9
T=100	73.2	60.2	47.2	22.0	21.9	9.9	5.8	3.4
Loi	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Gamma	Gamma	Gamma

Tableau IV.26. Quantiles pour Meilleurs lois (au delà des seuils) : Station de Batna

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles log-Normale: Intensité (mm/h)							
T=5 ans	35.0	26.6	17.9	10.2	8.0	4.7	2.7	1.5
T=10 ans	43.8	33.2	21.9	12.2	9.5	5.5	3.2	1.8
T=20 ans	52.7	39.8	25.9	14.2	10.8	6.2	3.7	2.1
T=50 ans	64.8	48.8	31.2	16.8	12.6	7.2	4.3	2.5
T=100 ans	74.5	55.9	35.4	18.7	14.0	7.9	4.7	2.8

Les corbes Intensité-Durée-Fréquence sont illustrées par les figures IV.25 et IV.26.

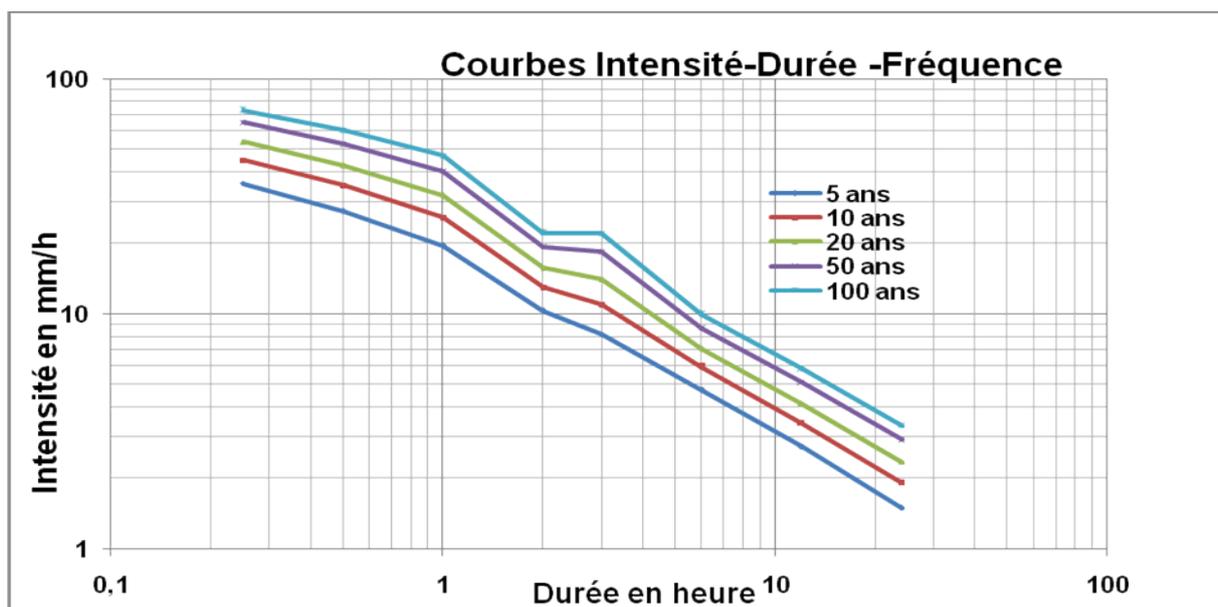


Fig. IV.25. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (au-delà des seuils et Meilleurs lois): Station de Batna

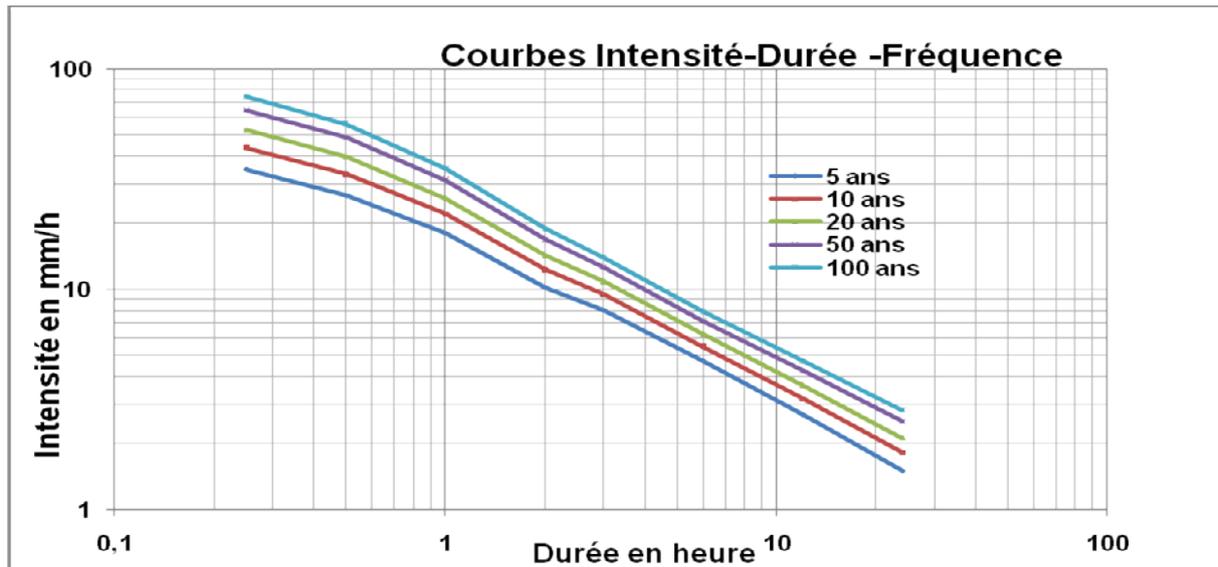


Fig. IV.26. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (au-delà des seuils et loi log-Normale): Station de Batna

Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.27, IV.28 et IV.29, IV.30.

Tableau IV.27. Résultats de l'application des modèles IDF (**au-delà des seuils et Meilleurs lois**)- Paramètres des modèles: Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles								
	a	b	c	d	e	f	g	k	m
M3	52.691	0.241	1.441	1.432					
M4	7.828	0.162		0.774			8.087	2.194	
M5	17.243	1.105	1.010	1.185					
M6	10.980	1.144	0.528	1.170					
M8	66.530	26.170	0.522	0.035	1.640				
M11			23.952			0.705			0.243
M12			27.417		1.128	0.889			0.241

Tableau IV.28. Résultats de l'application des modèles IDF (**au-delà des seuils et log-Normale**)- Paramètres des modèles: Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles								
	a	b	c	d	e	f	g	k	m
M3	52.691	0.229	1.297	1.656					
M4	7.571	0.182		0.515			6.056	3.074	
M5	17.237	1.271	1.006	1.437					
M6	8.186	1.353	0.396	1.086					
M8	66.530	26.173	0.477	0.022	1.494				
M11			17.927			0.445			0.233
M12			17.779		1.007	0.444			0.234

Tableau IV.29. Résultats de l'application des modèles IDF (**au-delà des seuils et Meilleurs lois**)- Critères de performance: Station de Batna

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i> pente </i>	<i> interception </i>	<i> RMSE </i>
M3	0.9902	1.005	-0.372	1.9960
M4	0.9957	0.996	0.081	1.2993
M5	0.9927	0.999	-0.106	1.6941
M6	0.9933	0.996	0.010	1.6255
M8	0.9922	1.016	-0.782	1.8575
M11	0.9906	0.983	0.473	1.9266
M12	0.9911	0.996	0.014	1.8716

Tableau IV.30. Résultats de l'application des modèles IDF (**au-delà des seuils et loi log-Normale**)- Critères de performance: Station de Batna

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i> pente </i>	<i> interception </i>	<i> RMSE </i>
M3	0.9948	1.029	-1.222	1.6537
M4	0.9993	1.003	-0.125	0.5161
M5	0.9971	1.028	-1.101	1.3021
M6	0.9989	1.009	-0.378	0.7369
M8	0.9937	1.034	-1.438	1.8576
M11	0.9976	1.004	-0.218	0.9474
M12	0.9977	1.006	-0.321	0.9465

Les tableaux IV.29 et IV.30 nous indiquent que le modèle **M6** est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une **RMSE** égale à 1.6255 mm/heure pour les meilleures lois de distributions sélectionnées et une **RMSE** égale à 0.7369 mm/heure pour la loi log-Normale. Le modèle **M4** est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une **RMSE** égale à 1.2993 mm/heure pour les meilleures lois de distributions sélectionnées et une **RMSE** égale à 0.5161mm/heure pour la loi log-Normale. Les intensités calculées par le modèle M4 en fonction des intensités observées (au-delà des seuils, meilleures lois et loi log-Normale, respectivement) sont illustrées par les figures IV.27 et IV.28.

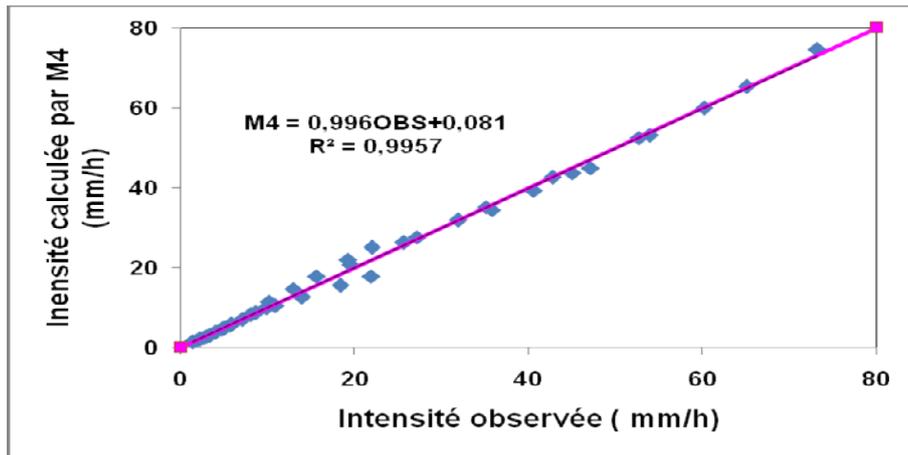


Fig. IV.27. Intensités M4 en fonction des intensités observées (au-delà des seuils et Meilleurs lois) : Station de Batna

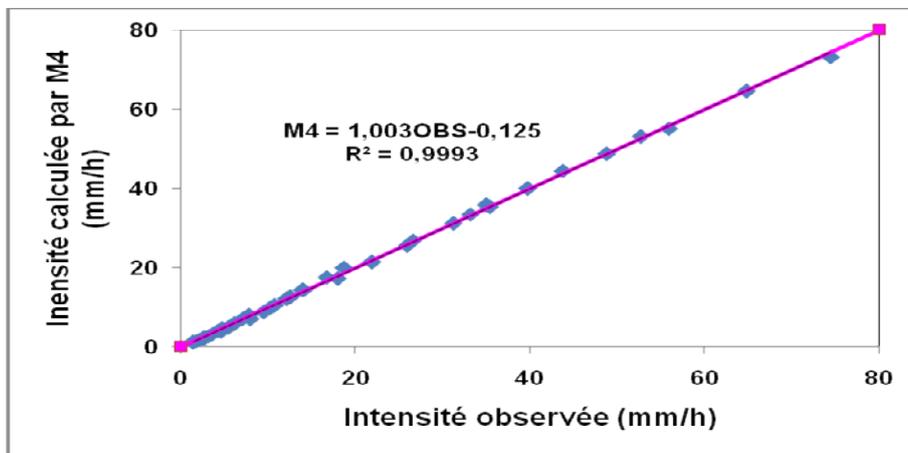


Fig. IV.28. Intensités M4 en fonction des intensités observées (au-delà des seuils et loi log-Normale) : Station de Batna

Pour le présent cas de figure qui consiste à considérer les valeurs de pluies au-delà des seuils pour diverses durées, le modèle M4 se présente comme meilleur modèle à considérer pour l'élaboration des courbes intensité- durée -fréquence. Le fait d'avoir sélectionnées des lois de distributions pour l'ajustement des divers séries chronologique par des critères appropriés, n'implique pas forcément d'avoir des critères de performances les plus meilleurs. On constate en paradoxe que la loi log-Normale donne de meilleurs résultats.

IV.5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS ISSUES DE L'ETUDE DETAILLEE DE LA STATION DE BATNA

Dans cette section d'étude nous allons essayer de tirer des enseignements à propos des aspects d'études entrepris à savoir :

- L'influence du choix des lois de distributions
- L'influence des tailles des séries chronologiques analysées
- Décision concernant les modèles IDF à retenir.

Nous allons considérer, pour mener à bien nos comparaisons, la plus petite période de retour (5 ans) et la plus grande (100 ans). Les deux tableaux qui suivent résument les résultats déjà élaborés et induit à faire des conclusions concernant le choix des lois de distribution ainsi que l'influence des tailles des échantillons.

Tableau IV.31. Comparaison des quantiles selon les lois de distributions et les tailles des échantillons pour la petite période de retour de 5 ans: Station de Batna

PDR	Durées en heures								
5 ans	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0	Lois
Quantiles (mm/h)	47.5	39.0	25.1	14.9	10.6	6.1	3.7	2.3	1max/an (Gumbel)
	49.2	38.8	24.9	15.0	10.8	6.3	3.8	2.3	1max/an (Log-Normale)
	41.0	32.5	20.9	12.5	9.0	5.3	3.3	2.0	2max/an (Gumbel)
	41.6	31.6	20.3	12.2	8.8	5.4	3.3	2.0	2max/an (Log-Normale)
	35.8	27.3	19.5	10.3	8.2	4.7	2.7	1.5	Seuils (Meilleures lois)
	35.0	26.6	17.9	10.2	8.0	4.7	2.7	1.5	Seuils (Log-Normale)

Tableau IV.32. Comparaison des quantiles selon les lois de distributions et les tailles des échantillons pour la grande période de retour de 100 ans: Station de Batna

PDR	Durées en heures								
100 ans	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0	Lois
Quantiles (mm/h)	83.8	73.9	47.7	27.9	19.0	10.3	6.0	3.9	1max/an (Gumbel)
	96.2	81.5	53.3	31.2	20.8	11.1	6.6	4.2	1max/an (Log-Normale)
	73.7	62.3	40.5	23.6	16.5	9.3	5.8	3.5	2max/an (Gumbel)
	81.6	65.0	42.8	24.3	17.0	9.8	6.4	3.9	2max/an (Log-Normale)
	73.2	60.2	47.2	22.0	21.9	9.9	5.8	3.4	Seuils (Meilleures lois)
	74.5	55.9	35.4	18.7	14.0	7.9	4.7	2.8	Seuils (Log-Normale)

IV.5.1. A-propos des lois de distribution

Les tableaux IV.30 et IV.31, font ressortir qu'il est tout à fait logique d'avoir, pour une durée fixe, des quantiles qui décroissent lorsque les lois ajustées sont à deux paramètres et ces mêmes quantiles sont exagérées lorsque qu'il s'agit des lois à trois paramètres, et ce, comme déjà signalé au travers les histogrammes examinés.

La figure IV.25 reflète des cassures des courbes *IDF*, au niveau des durées 1H, 2H et 3H, ces cassures s'accroissent toute en allant vers les grandes périodes de retour (20 ans, 50 ans et 100 ans), ce qui est inconvenient d'avoir une disparition du parallélisme des courbes IDF ce qui mène en conséquence à ne plus avoir des proportions des quantiles en fonction des fréquences.

IV.5.2. A-propos des tailles des échantillons

Les tableaux IV.30 et IV.31, font ressortir qu'il est tout à fait logique d'avoir, pour une durée fixe, des quantiles qui décroissent lorsque les tailles des échantillons croissent après les avoir enrichis par le biais des techniques des séries gonflées ou tronquées.

IV.5.3. A-propos des modèles testés

En définitif, on peut conclure que le modèle **M4** se présente comme meilleur modèle quel que soit le critère pris en compte, en rappelant que le modèle **M4** est une association du modèle Montana et Talbot ayant l'inconvenient issu de l'optimisation de ces cinq paramètres qui peut dépasser les limites du Solveur Excel et nécessite en revanche d'autres techniques d'optimisation plus robustes.

On peut noter en outre : « ajuster le meilleur modèle selon les critères *AIC* et *BIC* ne permet plus au modèle sélectionné d'avoir la plus faible *RMSE* ».

IV.5.4. Variation des paramètres du modèle M4 selon la loi ajustée et la taille analysée

Le tableau IV.33 résume les valeurs des cinq paramètres du modèle M4 selon les cas de figure étudiés. On constatera en examinant ces valeurs qu'on ne peut conclure à propos de leur variation en fonction des lois ajustées (pas de règle générale à déduire). Quant à l'évolution des paramètres en fonction des tailles des échantillons analysés (pour la même loi log-normale) on peut faire ressortir ce qui suit, sinon on ne peut conclure:

- Les paramètres *a*, *d* et *g* décroissent quand les échantillons sont enrichis (tailles plus grandes, par gonflement ou par troncature).

- A l'inverse, le paramètre k croît en valeur quand les échantillons sont enrichis (tailles plus grandes, par gonflement ou par troncature).
- Le paramètre b est plus stable.

Tableau IV.33. Evolution des paramètres du modèle M4 selon la loi ajustée et la taille analysée: Station de Batna

Modèle	Paramètres					Lois
	a	b	d	g	k	
M4	14.524	0.188	1.329	7.155	2.125	1max/an (Gumbel)
	11.729	0.186	0.964	8.866	2.322	1max/an (Log-Normale)
	11.779	0.211	0.974	6.155	2.334	2max/an (Gumbel)
	9.647	0.213	0.662	7.006	2.694	2max/an (Log-Normale)
	7.828	0.162	0.774	8.087	2.194	Seuils (Meilleures lois)
	7.571	0.182	0.515	6.056	3.074	Seuils (Log-Normale)

IV.6. APPLICATION PRIVILEGIEE DES MODELES DECRITS AUX STATIONS DISPONIBLES

Pour le reste des stations disponibles (tableau IV.34), on appliquera le modèle M4 (vu sa commodité issue des recommandations du paragraphe précédent), avec l'ajustement de la loi de distribution de Gumbel qui reflète le phénomène naturel en tant que loi des valeurs extrêmes (du moment que les stations à étudier ultérieurement ne possèdent que les données concernant un max/an), outre la simplicité d'application de cette fameuse loi favorisée dans le contexte Algérien. Les stations disponibles se caractérisent par des tailles supérieures ou au moins égales à 10. Elles sont réparties sur des bassins hydrographiques qui se distinguent géographiquement, et ce, dans le but d'envisager l'aspect de la variation spatiale des paramètres du modèle M4. La station de Batna qui se localise dans les hauts plateaux constantinois est déjà étudiée en détail dans les sections précédentes et elle est considérée référentielle vue la qualité de ces données et la taille plus au moins longues de ces séries.

Tableau IV.34. Coordonnées géographiques, altitudes, noms et codes des stations à étudier

Bassin Hydrographique	Nom Station	Code Station	Longitude (°;')"	Latitude (°;')"	Altitude (m)
Côtier Algérois	Bir Mourad Reis	020509	3 2 54 E	36 44 46 N	140
Côtier Constantinois	Ain Roua	030205	5 11 9 E	36 19 59 N	1100
Côtier Oranais	Mostaganem	040612	0 5 32 W	35 56 16 N	80
Hauts plateaux Constantinois	Batna	070316	6 10 19 E	35 33 53 N	1040
Soummam	Beni Ourtilane	150708	4 51 19 E	36 26 43 N	1020

IV.6.1. Application du modèle M4 à la station Bir Mourad Reis (020509) du Côtier Algérois

Les données aux différentes durées de taille $N=13$ (un maximum par année (de 1978 au 1990), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau IV.35), sont ajustées à une loi de **Gumbel**, et ce, moyennant le logiciel Hydrolab (à titre d'exemple sur la figure IV.29, les pluies de 3H sont ajustées à cette loi). La détermination des quantiles aux diverses durées correspondantes aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau IV.36 et figure IV.30), a permis de tester le modèle M4 adopté. Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.37 et IV.38.

Tableau IV.35. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Bir Mourad Reis

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Etendu	Asymétrie	Aplatissement
15 mn	13	12.21	4.78	0.392	7.1	24.2	17.1	2.369	1.887
30 mn	13	17.82	10.10	0.566	9.6	48.4	38.8	3.867	5.790
1 H	13	22.70	13.54	0.597	13.3	62.6	43.3	3.566	4.876
2 H	13	29.69	13.92	0.469	18.5	70	51.5	3.322	4.408
3 H	13	35.56	15.12	0.425	21.9	74.4	52.5	2.428	1.955
6 H	13	46.72	13.82	0.296	33.1	76.3	43.2	1.366	-0.006
12 H	13	64.08	18.49	0.289	48.0	118.0	70.0	3.319	4.632
24 H	13	84.62	14.17	0.167	68.1	118.0	49.9	1.664	0.855

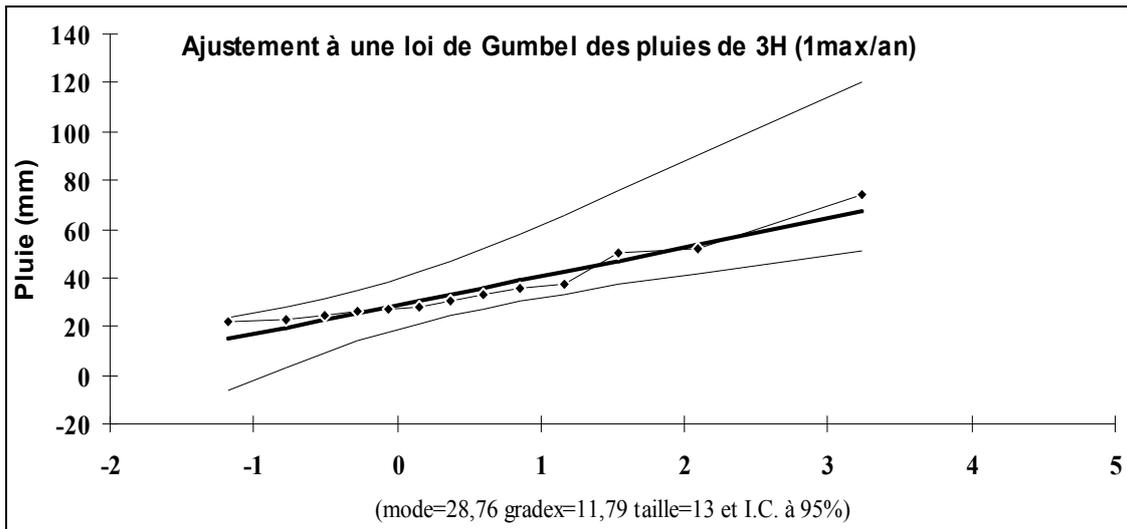


Fig. IV.29. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an): Station de Bir Mourad Reis

Tableau IV.36. Quantiles pour Gumbel (1max/an) : Station de Bir Mourad Reis

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Gumbel (1max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	47.5	39.0	25.1	14.9	10.6	9.4	6.4	4.0
T=10 ans	56.3	47.4	30.6	18.1	12.7	10.8	7.4	4.3
T=20 ans	64.7	55.5	35.8	21.1	14.6	12.1	8.2	4.6
T=50 ans	75.7	66.0	42.6	24.9	17.1	13.8	9.3	5.1
T=100 ans	83.8	73.9	47.7	27.9	19.0	15.0	10.2	5.4

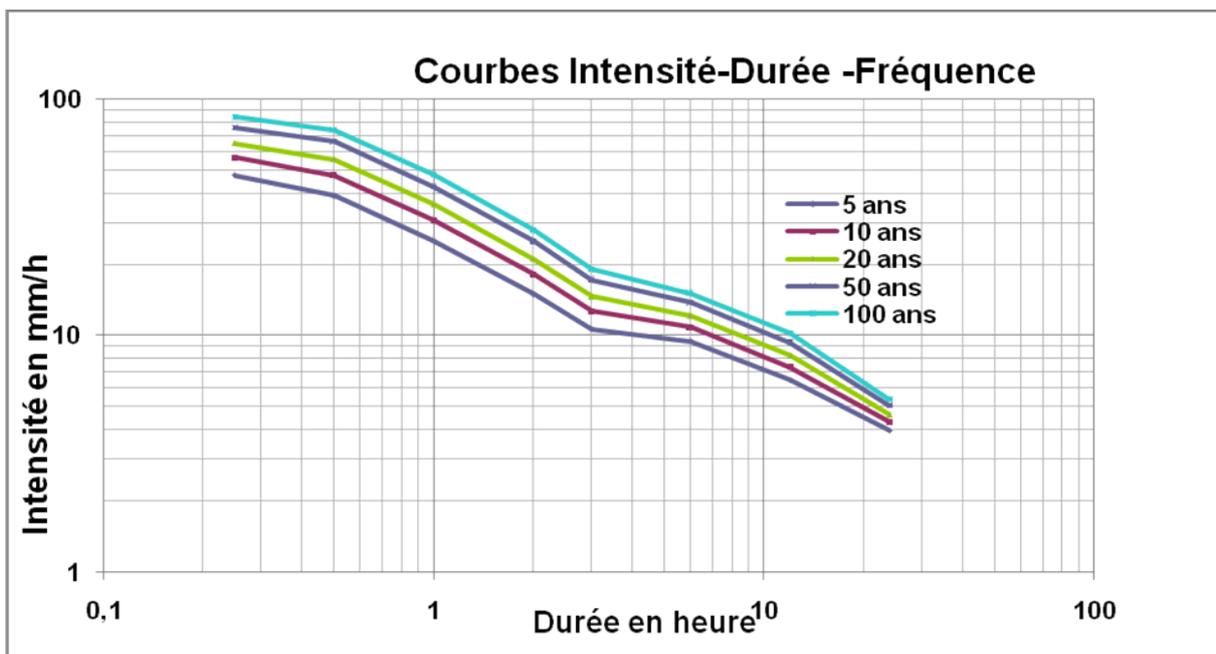


Fig. IV.30. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel): Station de Bir Mourad Reis

Tableau IV.37. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)-
Paramètres des modèles: Station de Bir Mourad Reis

Modèles	Paramètres des modèles				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>k</i>
M4	14.200	0.330	1.329	6.919	2.188

Tableau IV.38. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)-
Critères de performance: Station de Bir Mourad Reis

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i>pente</i>	<i>interception</i>	<i>RMSE</i>
M4	0.9968	1.0044	-0.267	1.3047

Les intensités de pluie observées et calculées par le modèle M4 sont confrontées sur la figure IV.31. Le nuage de point se répartit presque parfaitement autour de la première bissectrice.

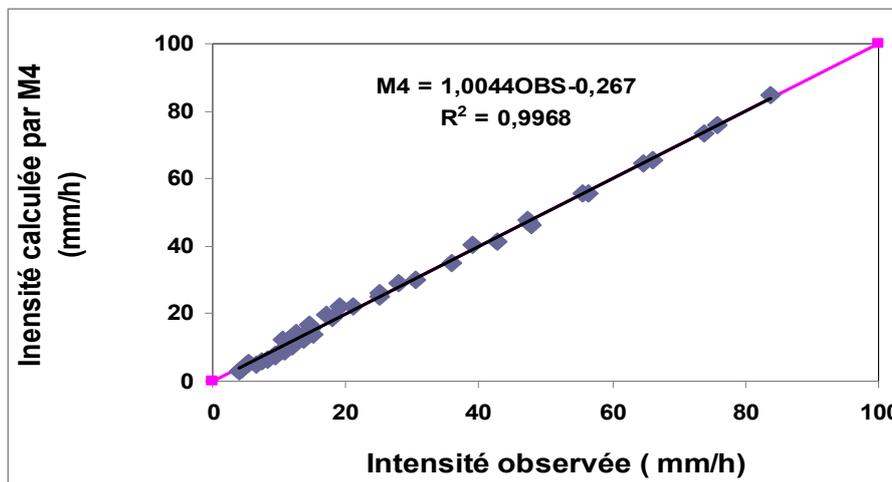


Fig. IV.31. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel):
Station de Bir Mourad Reis

IV.6.2. Application pour la station Ain Roua Côtier Constantinois

Les données aux différentes durées de taille $N=15$ (un maximum par année (de 1977 au 1993), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau IV.39), sont ajustées à une loi de **Gumbel**, et ce, moyennant le logiciel Hydrolab (à titre d'exemple sur la figure IV.32, les pluies de 3H sont ajustées à cette loi). La détermination des quantiles aux diverses durées correspondantes aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau IV.40 et figure IV.33), a permis de tester le modèle M4 adopté. Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.41 et IV.42.

Tableau IV.39. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Ain Roua

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Etendu	Asymétrie	Aplatissement
15 mn	15	11.85	6.25	0.527	4.2	30.6	26.4	3.104	4.450
30 mn	15	15.93	7.79	0.489	6.6	36.5	29.9	2.165	1.985
1 H	15	17.72	10.07	0.568	9.2	47.8	38.6	3.445	4.343
2 H	15	20.3	11.18	0.551	10.6	55.5	44.9	4.042	5.805
3 H	15	23.1	11.7	0.507	13.7	61.5	47.8	4.495	7.210
6 H	15	29.83	14.17	0.480	16.6	75	58.4	4.053	6.188
12 H	15	35.7	15.67	0.439	16.6	75	58.4	2.067	1.159
24 H	15	42.37	18.75	0.443	16.6	75	58.4	1.169	-0.458

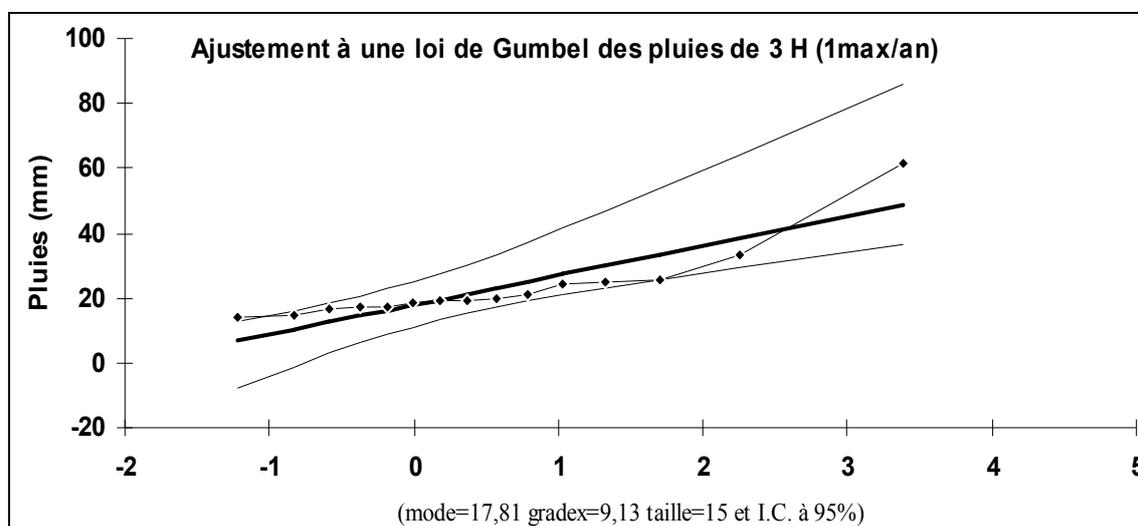


Fig. IV.32. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an):
Station de Ain Roua

Tableau IV.40. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Ain Roua

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Gumbel (1max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	65.4	43.1	25.0	14.2	10.5	6.7	3.9	2.3
T=10 ans	80.0	52.2	30.9	17.4	12.8	8.1	4.7	2.8
T=20 ans	94.1	61.0	36.5	20.6	15.0	9.4	5.4	3.2
T=50 ans	112.2	72.3	43.8	24.6	17.8	11.1	6.4	3.8
T=100 ans	125.8	80.8	49.3	27.7	19.9	12.4	7.1	4.2

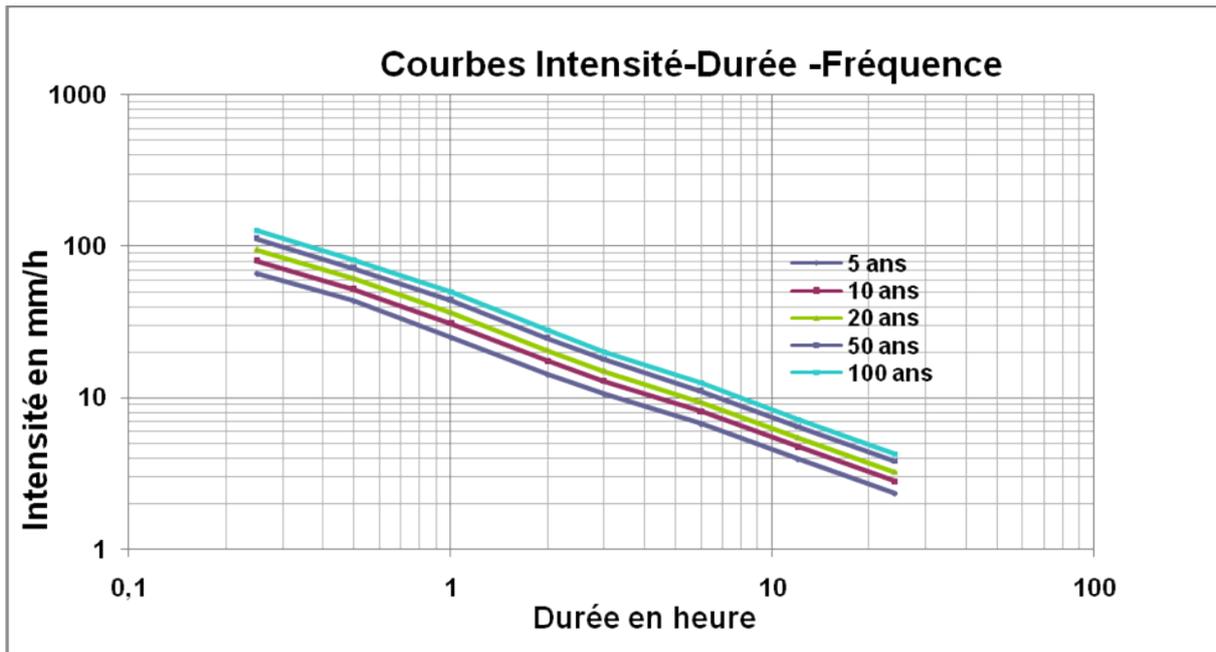


Fig. IV.33. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel): Station de Ain Roua

Tableau IV.41. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)- Paramètres des modèles: Station de Ain Roua

Modèles	Paramètres des modèles				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>k</i>
M4	13.772	0.207	0.206	7.612	5.678

Tableau IV.42. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)- Critères de performance: Station de Ain Roua

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i>pente</i>	<i>interception</i>	<i>RMSE</i>
M4	0.9998	0.9995	0.0112	0.4827

Les intensités de pluie observées et calculées par le modèle M4 sont confrontées sur la figure IV.34. Le nuage de point se répartit parfaitement autour de la première bissectrice.

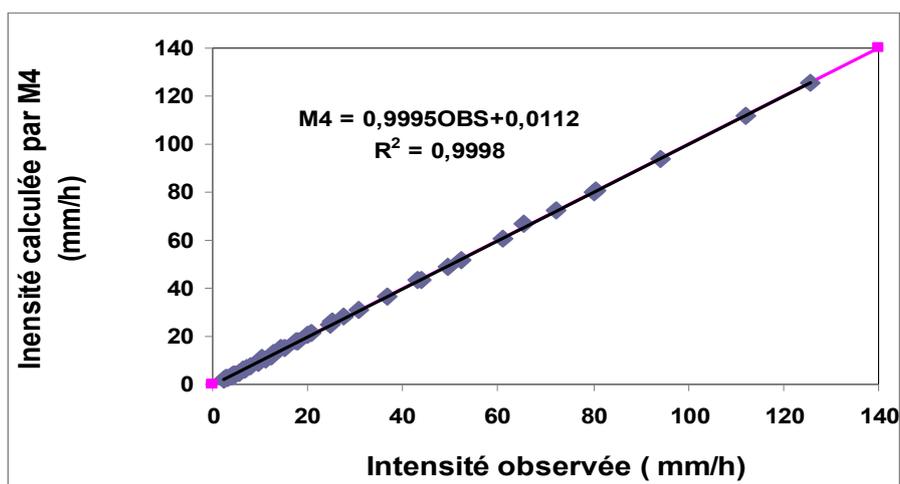


Fig. IV.34. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel): Station de Ain Roua

IV.6.3. Application pour la station Mostaganem Côtier Oranais

Les données aux différentes durées de taille $N=23$ (un maximum par année (de 1977 au 1999), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau IV.43), sont ajustées à une loi de **Gumbel**, et ce, moyennant le logiciel Hydrolab (à titre d'exemple sur la figure IV.35, les pluies de 3H sont ajustées à cette loi). La détermination des quantiles aux diverses durées correspondantes aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau IV.44 et figure IV.36), a permis de tester le modèle M4 adopté. Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.45 et IV.46.

Tableau IV.43. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**): Station de Mostaganem

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Etendu	Asymétrie	Aplatissement
15 mn	23	9.16	10.67	1.164	1.7	51.9	50.2	6.607	12.237
30 mn	23	12.57	12.38	0.985	2.7	63.4	60.7	6.718	13.404
1 H	23	16.8	15.7	0.936	3.8	83.1	79.3	7.207	15.268
2 H	23	24.0	26.9	1.120	6.1	140.4	134.4	7.860	17.252
3 H	23	28.1	29.0	1.031	7.6	153.3	146.3	7.883	17.383
6 H	23	33.7	31.21	0.926	13.4	168.0	154.6	7.651	16.742
12 H	23	39.0	33.36	0.829	14.1	170.8	156.7	6.482	12.846
24 H	23	42.5	35.0	0.823	14.1	173.1	159.0	5.446	8.765

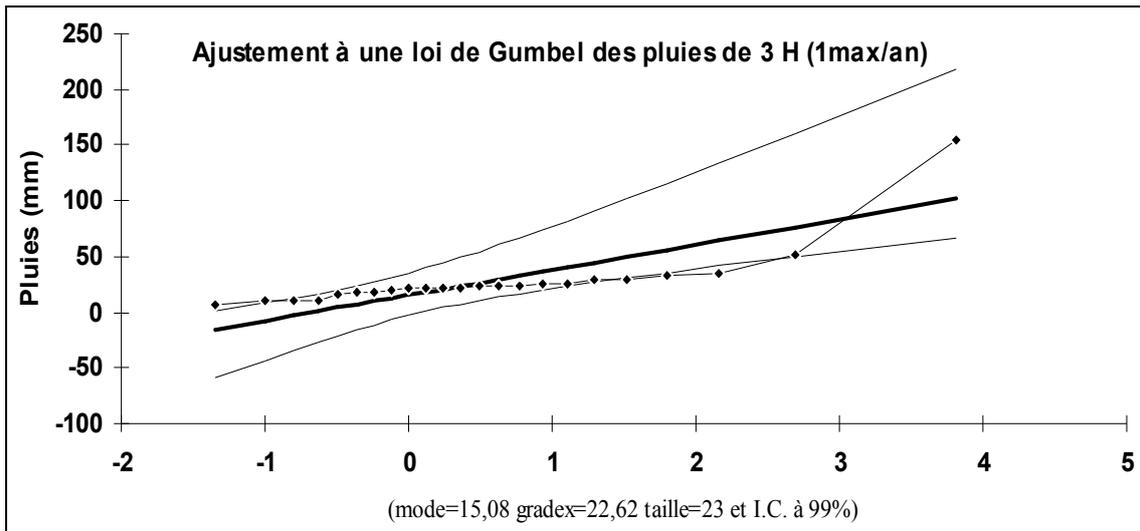


Fig. IV.35. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an): Station de Mostaganem

Tableau IV.44. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Mostaganem

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Gumbel (1max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	67.4	43.0	28.1	21.7	16.3	9.4	5.2	2.8
T=10 ans	92.4	57.5	37.3	29.5	22.0	12.4	6.8	3.7
T=20 ans	116.3	71.4	46.1	37.1	27.4	15.3	8.3	4.5
T=50 ans	147.4	89.3	57.5	46.9	34.4	19.1	10.2	5.6
T=100 ans	170.6	102.8	66.1	54.2	39.7	21.9	11.7	6.3

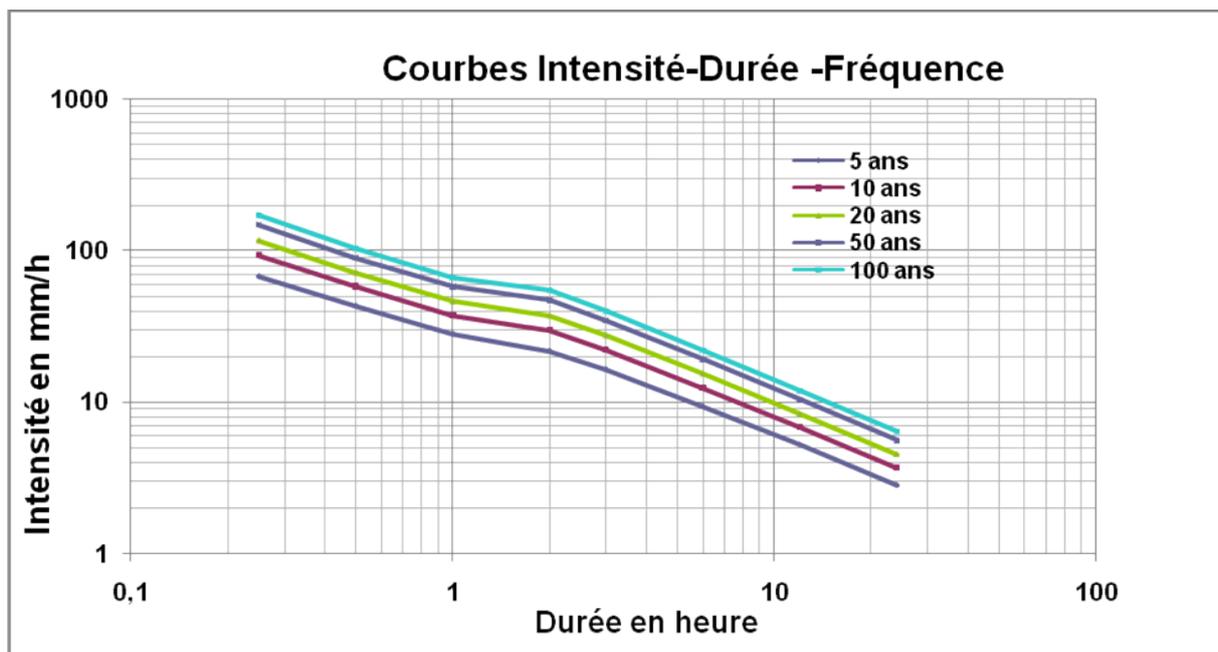


Fig. IV.36. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel): Station de Mostaganem

Tableau IV.45. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)-
Paramètres des modèles: Station de Mostaganem

Modèles	Paramètres des modèles				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>k</i>
M4	12.475	0.370	0.137	12.905	6.500

Tableau IV.46. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)-
Critères de performance: Station de Mostaganem

Modèles	Critères de performance			
	<i>R</i> ²	<i> pente </i>	<i>interception</i>	<i>RMSE</i>
M4	0.9925	0.9775	1.8742	3.603

Les intensités de pluie observées et calculées par le modèle M4 sont confrontées sur la figure IV.37. Le nuage de point se répartit d'une façon acceptable autour de la première bissectrice.

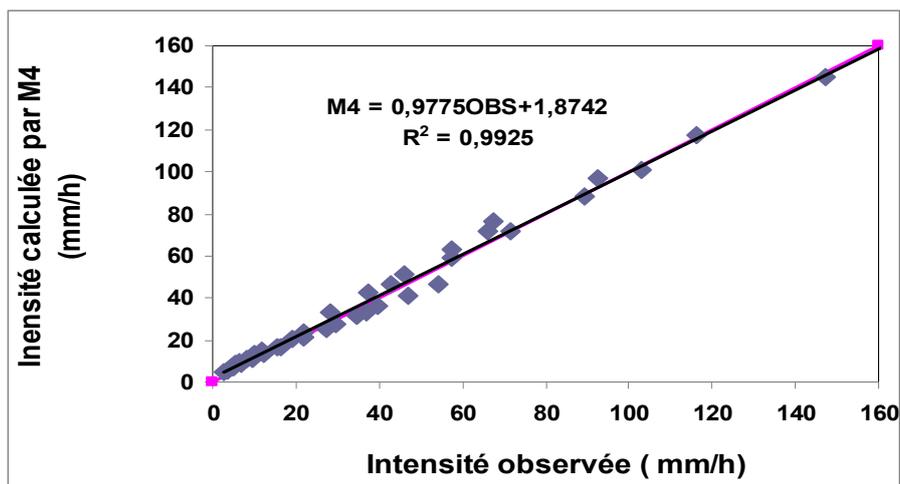


Fig. IV.37. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel):
Station de Mostaganem

IV.6.4. Application pour la station Beni Ourtilane Soummam

Les données aux différentes durées de taille $N=19$ (un maximum par année (de 1974 au 1992), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau IV.47), sont ajustées à une loi de **Gumbel**, et ce, moyennant le logiciel Hydrolab (à titre d'exemple sur la figure IV.38, les pluies de 3H sont ajustées à cette loi). La détermination des quantiles aux diverses durées correspondantes aux périodes de retour (5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau IV.48 et figure IV.39), a permis de tester le modèle M4 adopté. Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux IV.49 et IV.50.

Tableau IV.47. Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (**1max/an**):
Station de Beni Ourtilane

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Etendu	Asymétrie	Aplatissement
15 mn	19	9.34	5.05	0.541	1.5	19.4	17.9	0.433	-0.436
30 mn	19	11.8	5.87	0.496	2.7	24.2	21.5	0.556	-0.433
1 H	19	13.8	5.53	0.400	4.0	25.0	21.0	0.590	-0.362
2 H	19	16.9	4.75	0.280	5.2	25.0	19.9	-1.041	0.699
3 H	19	19.5	4.40	0.225	7.1	25.8	18.7	-2.238	2.137
6 H	19	24.2	6.42	0.265	7.6	35.7	28.0	-0.938	1.186
12 H	19	32.1	9.50	0.296	11.6	48.6	37.0	-0.262	-0.049
24 H	19	37.2	11.20	0.301	13.3	54.9	41.6	-0.387	-0.330

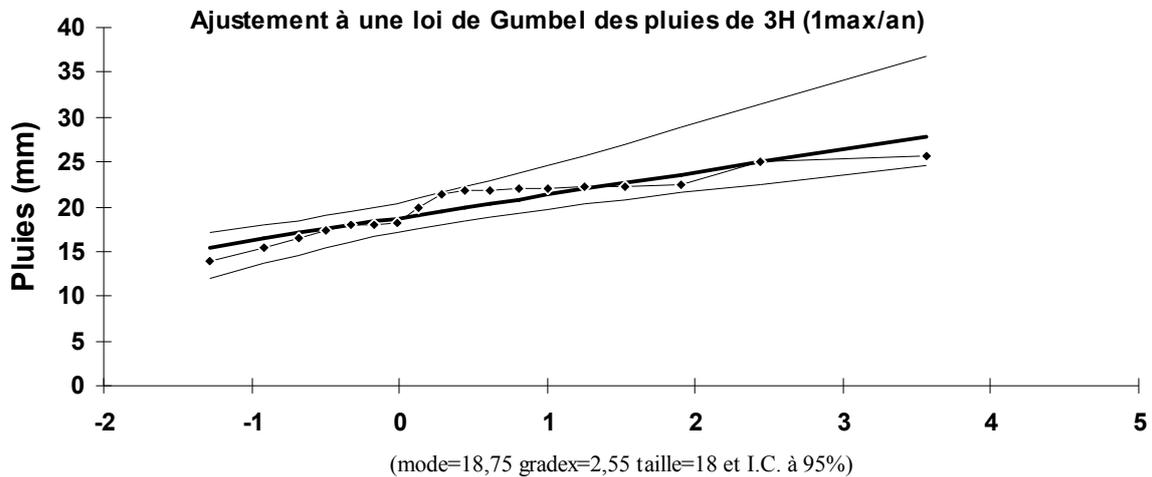


Fig. IV.38. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an):
Station de Beni Ourtilane

Tableau IV.48. Quantiles pour Gumbel (1max/an): Station de Beni Ourtilane

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Gumbel (1max/an): Intensité (mm/h)							
T=5 ans	51.9	32.1	17.8	10.2	7.5	4.8	3.3	1.9
T=10 ans	63.7	39.0	21.0	11.3	8.2	5.3	3.7	2.1
T=20 ans	75.1	45.6	24.1	12.4	8.8	5.8	4.1	2.4
T=50 ans	89.7	54.1	28.1	13.9	9.6	6.4	4.6	2.7
T=100 ans	100.7	60.5	31.1	14.9	10.2	6.9	5.0	2.9

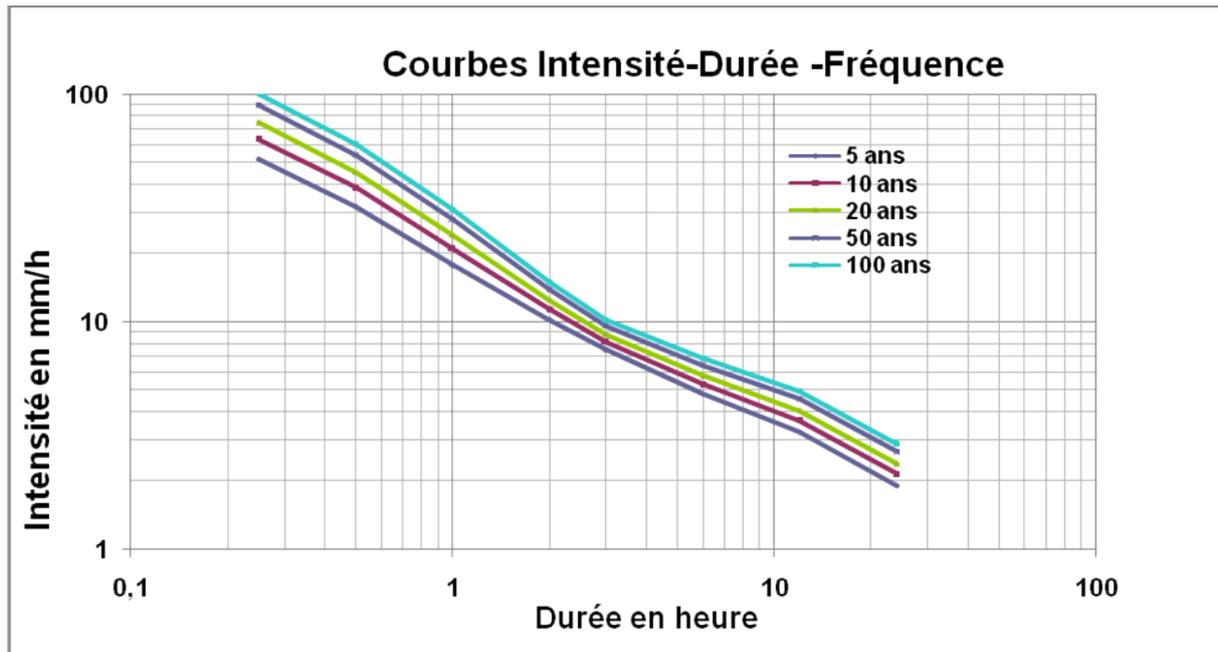


Fig. IV.39. Courbe Intensité- Durée- Fréquence (1max/an et loi de Gumbel): Station de Beni Ourtilane

Tableau IV.49. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)- Paramètres des modèles: Station de Beni Ourtilane

Modèles	Paramètres des modèles				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>k</i>
M4	8.654	0.154	0.138	4.920	9.009

Tableau IV.50. Résultats de l'application des modèles IDF (**1max. par an et loi de Gumbel**)- Critères de performance: Station de Beni Ourtilane

Modèles	Critères de performance			
	R^2	<i>pente</i>	<i>interception</i>	<i>RMSE</i>
M4	0.9987	1.0069	-0.3725	0.9582

Les intensités de pluie observées et calculées par le modèle M4 sont confrontées sur la figure IV.40. Le nuage de point se répartit d'une façon parfaite autour de la première bissectrice.

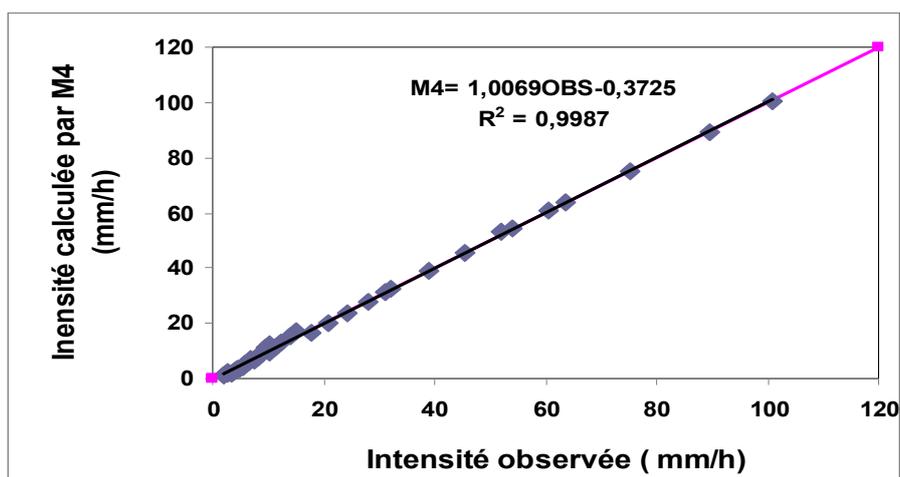


Fig. IV.40. Intensités M4 en fonction des intensités observées (un max/an et loi de Gumbel): Station de Beni Ourtilane

IV.7. Déduction sommaire à propos de la répartition spatiale des paramètres du modèle M4 adopté

A l'exception de la station de Mostaganem qui semble avoir des données de pluviométrie non fiables où ces mêmes données sortent du commun avec des ajustements forcés à la loi de Gumbel ce qui implique des violations statistiques (voir par exemple la figure IV.35). En outre les séries de diverses durées de cette station se caractérisent en particulier par des asymétries et des aplatissements forts et positifs (voir tableau IV.43).

La station de Mostaganem sera écartée de toutes remarques ou constatations concernant l'évolution spatiale des paramètres du modèle M4.

Le tableau IV.51 récapitule les valeurs des paramètres du modèle M4 qui présentent vraiment une tendance de variation dans l'espace d'étude disponible. Il s'agit en l'occurrence des paramètres *a*, *b*, *d*, *g* et *k*. Dans la présente contribution on ne peut que soulever la problématique de l'évolution spatiale des paramètres des modèles *IDF* car on ne peut plus rigoureusement parlons déduire une ou plusieurs lois de variation des ces paramètres qu'à travers un étendu géographique plus vaste. Néanmoins avec les quatre stations utilisées, on a pu mettre en exergue la nécessité de poursuivre l'étude pour mettre à terme l'aspect de variation des paramètres qui sera couronné en conséquence logique et utile par une cartographie à l'échelle régionale ou nationale.

Il ne faut pas perdre de vue que le but de cette étude est de trouver le meilleur modèle IDF pour accomplir la tâche de dimensionnement des ouvrages d'évacuation.

Tableau IV.51. Aperçu sur la variation spatiale des paramètres du modèle M4

Bassin Hydrographique	Nom Station	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>k</i>	Longitude (°;')"	Latitude (°;')"	Altitude (m)
Côtier Algérois	Bir Mourad Reis	14.200	0.330	1.329	6.919	2.188	3 2 54 E	36 44 46 N	140
Côtier Constantinois	Ain Roua	13.772	0.207	0.206	7.612	5.678	5 11 9 E	36 19 59 N	1100
Hauts plateaux Constantinois	Batna	14.524	0.188	1.329	7.155	2.125	6 10 19 E	35 33 53 N	1040
Soummam	Beni Ourtilane	8.654	0.154	0.138	4.920	9.009	4 51 19 E	36 26 43 N	1020

IV.7. CONCLUSIONS

Ce dernier chapitre a été consacré complètement à toutes les applications possibles, et ce, moyennant toutes les données disponibles, concernant les pluies des diverses durées de 0.25H à 24H, issues des stations pluviographiques (Bir Mourad Reis, Ain Roua, Batna, Mostaganem et Beni Ourtilane), situées respectivement dans les bassins hydrographiques (Côtier Algérois, Côtier Constantinois, Hauts plateaux Constantinois, Côtier Oranais et Soummam). Il s'agit des analyses fréquentielles cherchant en premier lieu la meilleure loi de distribution et la plus adéquate et en deuxième lieu en cherchant en conséquence le modèle **IDF** le plus robuste caractérisé par un coefficient de détermination le plus proche de l'unité avec la plus faible racine de la moyenne des erreurs quadratiques. Outre le modèle adopté par l'ANRH, douze autres modèles ont été testés et classés selon les critères de performance usuels et incontournables. Le modèle **M4**, décrit par la relation (4.4), a été alors adopté et sélectionné en tant que meilleur modèle et selon tous les critères de choix, même du point de vue de la pente de la droite tendance du nuage, formé par les valeurs calculées en fonction de leurs homologues observées, qui est toujours proche de l'unité avec des valeurs à l'origine quasiment nulles. Le modèle **M4** ainsi adopté par la présente étude est une association des deux modèles Montana et Talbot ayant ainsi le défaut du nombre relativement élevé de paramètres à optimiser et qui sont (a , b , d , g et k). Le modèle **M4** demeure le meilleur quelque soit la taille des échantillons traités à savoir : un maximum par année, deux maximums par année et au-delà des seuils choisis selon une logique réaliste répondant à la nature des choses ; les seuils ont été pris comme minimums des maximums caractérisant chaque durée prise en compte. Un essai de recherche de la variation spatiale des paramètres du modèle **M4** a été finalement soulevé sans conclusion définitive vu le nombre restreint des stations pluviographiques disponibles.

Nous recommandons au terme de ce chapitre considérer :

- la loi de Gumbel comme loi de distribution la plus appropriée pour l'ajustement des séries à taille ordinaire (un maximum par année),
- la loi log-Normale comme loi de distribution la mieux adaptée pour les séries gonflées (deux maximums par année),
- les lois Weibull pour des durées inférieures à 6H et Gamma pour des durées supérieures, et ce, concernant les séries tronquées (au-delà des seuils fixés et justifiés).

Quant aux quantiles et toujours à titre d'exemple et indicatif, prenons une période de retour $T=100$ ans, l'intensité de pluie d'une durée de 6H passe de la valeur 11.1 mm/h pour un échantillon normal (un max/an) à 7.9 mm/h pour une série tronquée, à cet effet nous pouvons utiliser :

- la plus grande valeur (11.1 mm/h) dans un contexte d'une étude initiale pour un projet à réaliser dans des mesures de sécurité,
- et la plus faible valeur (7.9 mm/h) dans un contexte d'étude de rénovation au sens d'une expertise et d'un diagnostique.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La connaissance des précipitations constitue un élément fondamental pour l'étude et la compréhension du fonctionnement des systèmes d'évacuation dans les ouvrages hydrotechniques et dans les réseaux d'assainissement urbain en temps de pluie. Elle est indispensable pour dimensionner un système d'évacuation au sens large du mot qui s'étend d'un petit ou grand réseau d'assainissement jusqu'aux évacuateurs de crue dans les barrages et les retenus. Dans la présente thèse de Magistère, nous avons présenter une formulation pour l'estimation de l'intensité de pluie liée aux courtes durées et une période de retour voulue moyennant une base de donnée adéquate et à la disposition, qui provient des pluviographes d'un nombre non suffisant de stations pluviographiques.

Le travail est subdivisé en quatre chapitres et une conclusion générale. Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique et un état de l'art cernant la notion de l'intensité de pluie. Le deuxième chapitre est réservé pour la collecte de la base de données issue des pluviographes. Dans le troisième chapitre, nous avons donné les modèles les plus usuels, nommés lois de probabilité, rencontrés dans le contexte de l'étude ainsi que leur applicabilité pratique. Deux types de modèles ont été examinés, il s'agit des modèles à deux et à trois paramètres à savoir : la loi log-Normale, la loi des Plus grandes valeurs extrêmes type I (Gumbel), log-Normale à trois paramètres, Gamma à trois paramètres et la loi de Weibull à trois paramètres. Le dernier chapitre a été consacré complètement à toutes les applications possibles, et ce, moyennant toutes les données disponibles, concernant les pluies des diverses durées de 0.25H à 24H, issues des stations pluviographiques (Bir Mourad Reis, Ain Roua, Batna, Mostaganem et Beni Ourtilane), situées respectivement dans les bassins hydrographiques (Côtier Algérois, Côtier Constantinois, Hauts plateaux Constantinois, Côtier Oranais et Soummam). Il s'agit des analyses fréquentielles cherchant en premier lieu la meilleure loi de distribution la plus adéquate et en deuxième lieu en cherchant en conséquence le modèle intensité-durée-fréquence (*IDF*) le plus robuste caractérisé par un coefficient de détermination (R^2) le plus proche de l'unité et avec la plus faible racine de la moyenne des erreurs quadratiques (*RMSE*). Outre le modèle adopté par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), douze autres modèles ont été testés et classés selon les critères de performance usuels et incontournables. Le modèle **M4**, décrit par la relation (4.4), a été alors adopté et sélectionné entant que meilleur modèle et selon tous les critères de choix,

même concernant la pente de la droite tendance du nuage formé par les valeurs calculées en fonction de leurs homologues observées qui est toujours proche de l'unité avec tout de même des valeurs à l'origine quasiment nulles. Le modèle **M4** ainsi adopté par la présente étude est une association des deux modèles déjà connus ; Montana et Talbot.

A titre d'exemple et indicatif et en application des modèles **M0** adopté par l'ANRH et **M4** adopté par la présente étude , aux données de la station de Batna, avec des séries formées de deux maximums par année ajustées à une loi log-Normale , la valeur du R^2 passe de 0.9609 pour le modèle **M0** à 0.9997 pour le modèle **M4** et la valeur de la **RMSE** passe à son tour de 4.36mm/h à 0.39 mm/h.

Le modèle résultant présente le défaut d'avoir un nombre élevé de paramètres à optimiser et qui sont (a , b , d , g et k), quoiqu'il demeure le meilleur quelque soit la taille des échantillons traités à savoir : un maximum par année, deux maximums par année et au-delà des seuils choisis selon une logique réaliste répondant à la nature des choses ; les seuils ont été pris comme minimums des maximas caractérisant chaque durée prise en compte. Un essai de recherche de la variation spatiale des paramètres du modèle **M4** a été finalement soulevé sans conclusion définitive vu le nombre restreint des stations pluviographiques disponibles. Explicitement, on peut annoncer que les valeurs des paramètres du modèle **M4** présentent réellement une tendance de variation dans l'espace d'étude disponible. Bien que dans la présente contribution on ne peut que soulever la problématique de l'évolution spatiale des paramètres des modèles **IDF** du moment qu'on ne peut guère, rigoureusement parlons, déduire une ou plusieurs lois de variation des ces paramètres qu'à travers un étendu géographique plus vaste. Néanmoins avec les quatre stations utilisées, on a pu mettre en exergue la nécessité de poursuivre l'étude pour mettre à terme l'aspect de variation spatiale des paramètres qui sera couronné en conséquence logique et utile par une cartographie à l'échelle régionale ou nationale.

Nous recommandons au terme de cette contribution de considérer : la de Gumbel comme loi de distribution la plus appropriée pour l'ajustement des séries à taille ordinaire (un maximum par année), la loi log-Normale comme loi de distribution la mieux adaptée pour les séries gonflées (deux maximums par année), la loi de Weibull pour des durées inférieures à 6H et la loi Gamma pour des durées supérieures, et ce, concernant les séries tronquées (au-delà des seuils fixés et justifiés).

Quant aux quantiles et toujours à titre d'exemple et indicatif, prenons une période de retour $T=100$ ans, l'intensité de pluie d'une durée de 6H passe de la valeur 11.1mm/h pour un échantillon normal (un max/an) à 7.9 mm/h pour une série tronquée, à cet effet nous pouvons utiliser la plus grande valeur dans un contexte d'une étude initiale pour un projet à réaliser dans des mesures de sécurité et la plus faible valeur dans un contexte d'étude de rénovation au sens d'une expertise et d'un diagnostique.

REFERENCE
BIBLIOGRAPHIQUE

Références:

Abderrahmen, A. (2009). Estimation de l'occurrence des intensités horaires des pluies exemple du centre-est Tunisien. *Geographia Technica*. Université de Tunis. Numéro spécial. p.11-16.

Abramowitz, M., Stegun, I. A. (1965). Handbook of mathematical functions. Dovers, New York, p. 932.

Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Control*, 19: 716-723.

ANRH (1993). Etude des pluies de courtes durées- Elaboration de programmes relatifs à l'étude Intensité - Durée - Fréquence. Rapport n°1, Département : Hydrologie. Service : Climatologie.

Bertrand-Krajewski, J.L., Laplace, D., Joannis, C., Chebbo, G. (2000). Mesurage en hydrologie urbaine et assainissement. Editions Tec et Doc. Paris (France).

Brouyaux, F., Tricot Ch. (2006). Contribution à l'analyse des composantes climatologiques et météorologiques. Institut royal météorologique de Belgique (IRM). Département Services opérationnels et aux Usagers.

Body K. (1981). Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie – Synthèse régionale : Détermination des paramètres principaux par station et leur répartition spatiale. INRH Constantine. (Document corrigé et complété par Sarvary I. en 1985).

Chocat, B. (2009). Encyclopédie de l'hydrologie urbain et assainissement.

Chow, V.T. , Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology. Mc Graw-Hill International Editions. Civil Engineering Series.

Dongo, K., Diomandé, M., Cissé, G., Tanner, M., Biémi, J., (2005). Optimizing Montana's model to permit urban drainage in humid tropical environment: the case of Abidjan (Côte d'Ivoire). Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), UFR –STRM, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement.

Hugo, G. (2000). Modélisation stochastique de la pluie à l'aide de modèles invariants d'échelle. Université du Québec INRS-Eau .90p.

Jenkinson, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological event. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 81, 158–171.

Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., Alexandros Manetas, A. (1998). A comprehensive study of rainfall intensity-duration-frequency relationship, *J. of Hydrol.*, 206, 118-135.

Laborde, J. P. (1998). Logiciel Hydrolab 98.2. URL du certificat de référencement :

<http://www.legalis.net/cgi-iddn/certificat.cgi?IDDN.FR.010.0075748.000.R.C.1999.027.20700>

Laborde, J. P. (2000). Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice - Sophia Antipolis. France (pp. 204).

Lavabre, J. (1990). Métrologie des pluies. Les incertitudes liées aux mesures pluviographiques. Service Technique de l'Urbanisme. Cémagref Aix en Provence.

Meylan, P., Musy A. (1999). Hydrologie fréquentielle, Editions HGA, Bucarest.

Meylan, P. (2005). Courbes intensité-durée-fréquence (IDF)- Proposition d'un modèle global. AIC Ingénieurs conseils SA, Lausanne.

Meylan, P., Grandjean P., Thöni M. (2005). Intensités des pluies de la région genevoise – Directive IDF. Etat de Genève. DIAE. SECOE. DynEau.

Meylan, P., Favre, A.C., Musy, A. (2008). Hydrologie fréquentielle. Collection science et ingénierie de l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne. Première édition. ISBN 978-2-88074-797-8..196p.

Mohyont, B., Demarée, G. R. (2006). Courbes Intensité - Durée - Fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. Hydrological Sciences, Journal des Sciences Hydrologiques, 51(2).

Musy, A., Higy C. (2003). Hydrologie une science de la nature. Presse polytechnique et universitaire de romande. Première édition ISBN 2-88074-546-2. 309p.

Onibon, H., Ouarda, T.B.M.J., Barbet, M., St-Hilaire, A., Bobee, B., Bruneau, P. (2004). Analyse fréquentielle régionale des précipitations journalières maximales annuelles au Québec, Canada. Hydrological Sciences, Journal des Sciences Hydrologiques, 49(4).

Oberlin, G., Galea, G., Rosique, J.B. (1980). Le tarage des pluviographes. La météorologie VI^{ème} série, N° 20-21.

Oucherif, A. (2012). Choix du modèle fréquentiel adéquat par minimisation des critères pénalisés AIC-BIC. Projet de fin d'études (Ingéniorat), Ecole Polytechnique, El Harrach-Alger.

Rao, A.R., Hamed , K.H. (2001). Flood Frequency analysis. CRC Press, New York, United States, pp: 350.

Raiford, J. P., Aziz, N. M., Khan A. A., Powell, D. N. (2007). Rainfall Depth-Duration-Frequency Relationships for South Carolina, North Carolina, and Georgia. American Journal of Environmental Sciences 3 (2): 78-84.

Réméniéras, G. (1980). L'hydrologie de l'ingénieur. Édition Eyrolles. ISSN 0399-4198

Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a mode. Ann. Stat. 6: 461-464.

Sevruk, B., Klemm, S. (1989). Catalogue of national standard precipitation gauges. World Meteorological Organisation. Instruments and Observing Methods Rep., WMO/TD-N° 313, 50pp.

Soro, G.E., Goula Bi, T.A., Kouassi, F.W., Srohourou, B. (2010). Update of Intensity-Duration- Frequency Curves for Precipitation of Short Durations in Tropical Area of West Africa (Cote d'Ivoire). *Journal of Applied Sciences* 10(9): 704-715.