

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques



Filière : Sciences Agronomiques

Option : Aménagement Hydro-Agricole

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Sciences Agronomiques

Thème :

**Application de l'hydrologie fréquentielle à l'étude
des pluies maximales : cas des bassins versants
algériens**

Présenté par :

- Mlle Bougrara Hind
- Mlle Bengharsallah Hala
- Mlle Haddad Ilham
- Mlle Bouguedah Youmna

Membres de Jury:

| | | | |
|-----------------------|-------|-----------|-------------------------------------|
| Mr : Mr. HADDAM Salim | (Pr) | Président | Université du 20 Août 1955 – Skikda |
| Mr : Mr. Haddad Sadek | (MAA) | Examineur | Université du 20 Août 1955 – Skikda |
| Mr : HEBAL Aziz | (MCA) | Promoteur | Université du 20 Août 1955 – Skikda |

Année universitaire : 2021-2022

Résumé

Ce travail tente de trouver le modèle statistique (loi théorique) le plus adéquat à l'estimation des valeurs rares des pluies maximales journalières du bassin versant de Chellif.

De ce fait, commençons par la recherche d'une classe de lois de probabilité qui s'ajustent le mieux aux valeurs observées de la variable aléatoire "pluie maximale journalière" à l'aide de méthodes spécifiques conçues pour cette fin. La seconde étape s'étend sur l'établissement d'un classement des lois qui donnent les meilleurs ajustements ; cela se fait sur la base d'application de différents critères de choix à savoir : le BIC, l'AICc et le critère de Schwarz basé sur les concepts de probabilité ; a priori et a posteriori. Ce dernier nous a permis d'établir un classement basé sur l'unique information tirée des observations de chaque site indépendamment, puis d'exploiter l'information tirée des sites voisins à travers une approche bayésienne.

Les résultats obtenus nous permettent de constater que la loi Log-Normale est la loi qui ajuste le mieux les séries des pluies maximales journalières du bassin versant de Chellif.

Mots clés

Modèle statistique, valeurs rares, pluies maximales journalières, Chellif, critères AICc, critères BIC, critères de Schwarz, loi Log-Normale.

ملخص

هذا العمل يحاول أن يجد النموذج الإحصائي الأكثر ملائمة لتقدير القيم النادرة للأمطار اليومية القصوى لحوض الشلف.

وبالتالي، بدأنا بالبحث عن صنف قانون الاحتمالات الذي يتناسب مع القيم المرصودة للأمطار اليومية القصوى بعد المقارنة بين مختلف قوانين الاحتمالات وطرق التقدير بالاستعانة باختبارات الملائمة.

المرحلة الثانية، تعتمد على ترتيب هاته القوانين، من خلال الاعتماد على معايير مختلفة متمثلة في AICc، BIC ومعيار شوارز. في هاته المرحلة حاولنا وضع الترتيب من خلال الاعتماد على معلومات كل محطة على حدي، ومن تم استغلال هاته المعلومات في المحطات القريبة من خلال الاعتماد على نموذج بايزي.

النتائج المتحصلة عليها تسمح لنا ان نقول ان قانون اللوغاريتم الطبيعي هو القانون الذي يتناسب مع سلاسل الأمطار اليومية القصوى لحوض الشلف.

الكلمات المفتاحية

النموذج الإحصائي، القيم النادرة، الأمطار اليومية القصوى، الشلف، AICc، BIC، معيار شوارز، اللوغاريتم الطبيعي.

Abstract

This work attempts to find the most appropriate statistical model to estimate the values of rare rain daily maximum of Chellif.

For that, starting by the research of the low of probability that best fits the values observed of the random variable of “rain daily maximum” after a comparing different probability distributions and estimation method using the adequacy tests. The second step covers the establishment of a classification of laws that gives the best results; this is made possible through the application of different criteria including: the BIC, AICc and the Schwarz criterion based on the concepts of probability, a priori and posteriori. This last allowed us to establish a ranking based on the unique information from the observations of each site separately, and then to exploit information from nearby sites through a Bayesian approach.

The results obtained allow us to conclude that, the Log-Normal low is the best low to fits the annuals serials of rain daily maximum of Chellif.

Key words

Statistical model, rare values, rain daily maximum, Chellif, BIC, AICc, Schwarz criterion, Log-Normal.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant qui nous donne la connaissance, la patience et le pouvoir à rédiger ce modeste travail. Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés à la réalisation de mémoire de fin d'étude. En particulier :

Notre encadreur, Monsieur HEBAL AZIZ qui nous avoir aidé et dirigé tout au long de la réalisation de ce travail, Pour son soutien et sa grande générosité.

Nos profonds remerciements pour les membres de jury qui ont acceptés d'évaluer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos gratitudees à l'équipe de la direction des ressources en eau pour leurs collaborations et leurs aides.

Un grand remerciement aux enseignant(e)s du département d'agronomie de l'Université 20 août 1955 Skikda, Surtout les enseignants de la spécialité Aménagement Hydro-Agricole Pour leur soutien moral.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à nos familles, tous nos proches et amis, qui nous ont accompagnés, aidés, soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Dédicace



*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donnée
la vie, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma
réussite, à ma très chère Mère*

*A mon Père, qui a été mon ombre durant toutes
les années des études, qui a veillé à me donner
l'aide, à m'encourager et à me protéger, que dieu
les gardes et les protèges.*

A mes adorables soeurs : Meriem, Zina, Asma

A mon frère : Boubakar

*A l'âme de mes grands-parents que dieu les accueillerais dans son
vaste paradis*

A tous ceux que j'aime et m'aiment



Hind

Dédicace



*Je dédie ce modeste travail
À la source de mes efforts, le symbole de tendresse, qui s'est
sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite*

À ma mère.

*À mon cher père, pour son amour,
son soutien, ses encouragements et ses sacrifices.*

Que dieu les gardes et les protèges.

À toute ma famille.

Mes sœurs : Mira et Zayneb

Mes frères.

A mon mari.

À tous ceux que me sont chers.



Hala



Dédicace

Je dédie ce mémoire

*A mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience,
leur amour, leur soutien et leurs encouragements*

A mes frères

A mes amis et mes camarades

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du
moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur*



Ilham



Dédicace

Je dédie ce mémoire

*A ma chère mère qui m'a toujours soutenu avec
amour et patience, que dieu la garde et la protège
pour moi*

A mon très cher père

A mon fiancé Alla

A mon frère Bassem

A mes chères sœur Hadil et Rayen

A toute la famille bouguedah



Youmna

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Résumé | |
| Remerciement | |
| Dédicace | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Liste des abréviations | |
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre I : Généralités | |
| I.1. Introduction | 3 |
| I.2. Définition et composantes du cycle hydrologique | 3 |
| I.3. Définition et divisions de l'hydrologie | 4 |
| I.3.1. L'hydrologie déterministe | 4 |
| I.3.2. L'hydrologie probabiliste | 5 |
| I.4. Les différents modèles d'étude des processus stochastiques en hydrologie | 5 |
| I.4.1. Définition et propriétés des processus | 5 |
| I.4.2. Les modèles d'interprétation ou de reconstitution | 6 |
| I.4.3. Les modèles de simulation | 6 |
| I.4.4. Les modèles de prévision | 7 |
| I.4.5. Les modèles de prédétermination | 8 |
| I.5. Le bassin versant | 9 |
| I.5.1. Caractéristiques de forme | 10 |
| I.5.1.1. La surface | 10 |
| I.5.1.2. Le périmètre | 10 |
| I.5.1.3. Indice de compacité ou indice Gravelius | 10 |
| I.5.1.4. Rectangle équivalent | 10 |
| I.5.2. Caractéristiques du relief | 11 |

| | |
|--|----|
| I.5.2.1. Hypsométrie (Altitudes) | 11 |
| I.5.2.2. L'indice de pente | 11 |
| I.5.3. Caractéristiques du réseau hydrographique | 12 |
| I.5.3.1. Densité de drainage (Dd) | 12 |
| I.5.3.2. Coefficient de torrencialité (C_t) | 13 |
| I.5.3.3. Temps de concentration (T_c) | 13 |
| I.6. Les précipitations | 13 |
| I.6.1. Définition des précipitations | 13 |
| I.6.2. Mécanisme de formation des précipitations | 14 |
| I.6.3. Types de précipitations | 14 |
| I.6.3.1. Précipitations convectives | 15 |
| I.6.3.2. Précipitations orographiques | 15 |
| I.6.3.3. Précipitations cycloniques | 15 |
| I.6.4. Mesure des précipitations | 16 |
| I.6.4.1. Le pluviomètre | 16 |
| I.6.4.2. Le pluviographe | 16 |
| I.6.4.3. Nivomètre | 16 |
| I.6.5. Publication des données pluviométriques | 16 |
| Chapitre II : Hydrologie fréquentielle | |
| II.1. Introduction | 17 |
| II.2. Traitement de données | 17 |
| II.2.1. Répartition, échantillon et variable aléatoire | 17 |
| II.2.2. Comblement de lacunes d'observations | 18 |
| II.2.3. Vérification des hypothèses (I.I.D) | 18 |
| II.2.3.1. Indépendance (test de Wald-Wolfowitz) | 19 |
| II.2.3.2. Stationnarité (test de Kendall) | 20 |
| II.2.3.3. Homogénéité (test de Wilcoxon) | 20 |
| II.3. Analyse fréquentielle | 21 |
| II.3.1. Procédure d'une analyse fréquentielle | 21 |

| | |
|--|-----------|
| II.3.2. Choix de la formule empirique | 22 |
| II.3.2.1. FPE basées sur les fréquences échantillonnages | 22 |
| II.3.2.2. La distribution des fréquences échantillonnages | 22 |
| II.3.2.3. La distribution des statistiques d'ordre | 22 |
| II.3.3. Méthodes d'Ajustement | 23 |
| II.3.3.1. Méthode du Maximum de Vraisemblance | 23 |
| II.3.3.2. Méthode des Moments | 24 |
| II.3.3.3. Méthode des Moments Pondérés | 24 |
| II.3.4. Application d'un test d'adéquation | 24 |
| II.3.4.1. Test du χ^2 de Pearson | 24 |
| II.3.4.2. Test de Kolmogorov-Smirnov | 25 |
| II.3.4.3. Test d'Anderson-Darling | 25 |
| II.3.4.4. Test W_n^2 d'Anderson | 26 |
| II.4. Conclusion | 26 |

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude et traitement de données

| | |
|---|-----------|
| III.1. Introduction | 27 |
| III.2. Présentation de la zone d'étude | 27 |
| III.2.1. Caractéristiques du bassin versant du Chellif | 27 |
| III.2.1.1. Situation géographique | 27 |
| III.2.1.2. Réseau hydrographique | 28 |
| III.2.1.3. Morphologie du bassin | 29 |
| A. La lithologie du bassin versant | 30 |
| B. Pédologie du bassin versant | 30 |
| C. Végétation du bassin versant | 31 |
| D. Géologie du bassin versant | 31 |
| E. Climatologie du bassin versant | 32 |
| III.2.1.4. Caractéristiques morphologiques du bassin | 32 |
| III.2.1.4.1. Caractéristiques de forme | 32 |
| III.2.1.4.2. Caractéristiques du relief | 33 |

| | |
|--|----|
| III.2.1.4.2.1. Hypsométrie | 33 |
| III.2.1.4.2.2. Indice de pente | 34 |
| III.2.1.4.2.3. Hydrographie | 35 |
| III.3. Données utilisées | 36 |
| III.3.1. Données collectées | 36 |
| III.3.2. Critères de choix des stations pluviométriques à utiliser | 36 |
| III.3.3. Localisation des stations retenues | 38 |
| III.3.4. Périodes de fonctionnement des stations pluviométriques utilisées | 40 |
| III.3.5. Comblement de lacunes d'observations | 41 |
| III.3.6. Application des tests de vérification des hypothèses IID | 42 |
| Chapitre IV : Matériels et méthodes | |
| IV.1. Introduction | 46 |
| IV.2. Matériels utilisés | 46 |
| IV.2.1. Présentation des logiciels utilisés | 46 |
| IV.2.1.1. Le logiciel HYFRAN-PLUS (HYdrological FREquency ANalysis PLUS) | 46 |
| IV.2.1.2. Système d'Information Géographique (SIG) | 47 |
| IV.2.1.3. Le logiciel Excel | 47 |
| IV.3. Méthodes | 48 |
| IV.3.1. Choix du type de modèles | 48 |
| IV.3.1.1. Rappel sur la théorie des valeurs extrêmes | 48 |
| IV.3.1.2. Classification des lois usuelles en hydrologie par type de Modèle | 49 |
| A. Classification des lois par domaine d'attraction | 49 |
| B. Classifications des lois par rapport à leurs queues droites | 50 |
| IV.3.1.3. Critères de choix du type de modèles | 52 |
| A. Graphique Log-Log | 53 |
| B. Graphique de Fonction Moyenne des Excès (FME) | 55 |
| C. Graphique des rapports du maximum et de la somme | 55 |

| | |
|---|----|
| IV.3.2. Choix du modèle le plus adéquat à l'estimation des valeurs non Observées | 56 |
| IV.3.2.1. Le Critère d'Information d'Akaike (AIC) | 57 |
| IV.3.2.2. Le Critère d'Information Bayésien (BIC) | 57 |
| IV.3.2.3. La méthode de Schwarz | 58 |
| Chapitre V : Résultats et discussions | |
| V.1. Introduction | 59 |
| V.2. Choix du type de modèles | 59 |
| V.2.1. Résultats du R_0 | 59 |
| V.2.2. Discussion | 61 |
| V.3. Choix du meilleur modèle d'ajustement | 61 |
| V.3.1. Présentation des lois utilisées | 61 |
| V.3.2. Choix de la formule empirique | 62 |
| V.3.3. Méthodes d'Ajustement | 62 |
| V.3.4. Application d'un test d'adéquation | 62 |
| V.3.5. Caractéristiques des échantillons | 62 |
| V.3.6. Estimation des paramètres des lois et test d'adéquation | 63 |
| V.3.7. Résultats et discussions | 68 |
| V.4. Conclusion | 78 |
| Conclusion générale | 79 |
| Références bibliographiques | |
| Annexes | |

Liste des figures

Chapitre I : Généralités

| | | |
|------------|--|----|
| Figure I.1 | Le cycle hydrologique | 3 |
| Figure I.2 | Distinction entre un bassin versant réel et bassin versant | 9 |
| Figure I.3 | Les différents types de précipitations | 15 |

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude et traitement des données

| | | |
|--------------|---|----|
| Figure III.1 | Localisation de la zone d'étude | 27 |
| Figure III.2 | Le réseau hydrographique du bassin versant du Chellif | 29 |
| Figure III.3 | Carte de situation des sous bassins versants du Chellif | 30 |
| Figure III.4 | Emplacement des stations pluviométriques choisies | 39 |

Chapitre IV : Matériels et méthodes

| | | |
|-------------|---|----|
| Figure IV.1 | Distributions ordonnées par rapport à leurs queues droites | 50 |
| Figure IV.2 | Diagramme des critères de choix entre les classes C, D et E | 53 |
| Figure IV.3 | Illustration du graphique Log-Log pour la caractérisation des lois de la classe C | 54 |

Chapitre V : Résultats et discussions

| | | |
|------------|---|----|
| Figure V.1 | La distribution de différentes lois sur la région d'étude | 74 |
|------------|---|----|

Liste des tableaux

| | | |
|--|---|-----------|
| Chapitre III : Présentation de la zone d'étude et traitement de données | | |
| Tableau III.1 | Caractéristiques de forme des sous bassin du Chellif | 32 |
| Tableau III.2 | Altitudes moyennes, maximales et minimales des sous bassin du Chellif | 33 |
| Tableau III.3 | Indice de pente des sous bassins du Chellif | 34 |
| Tableau III.4 | Densité de drainage des sous bassins du Chellif | 35 |
| Tableau III.5 | Caractéristiques des stations pluviométriques retenues du Chellif | 37 |
| Tableau III.6 | La période de fonctionnement des stations retenues | 40 |
| Tableau III.7 | Nombre d'observations et lacunes pour chaque station | 41 |
| Tableau III.8 | Résultat de la vérification des hypothèses IID | 43 |
| Chapitre IV : Matériels et méthodes | | |
| Tableau IV.1 | Classification des lois usuelles en hydrologie par domaine | 50 |
| Tableau IV.2 | Classement des lois selon les caractéristiques de l'extrémité droite | 51 |
| Chapitre V : Résultats et discussions | | |
| Tableau V.1 | Valeurs de R_0 et la classe d'appartenance de chaque station | 60 |
| Tableau V.2 | Fonctions de densité de probabilité des lois utilisées | 61 |
| Tableau V.3 | Caractéristiques des séries de données utilisées | 62 |
| Tableau V.4 | Valeurs des paramètres estimés par la méthode du maximum de vraisemblance | 64 |
| Tableau V.5 | Quantiles centennaux au non dépassement (Q100). Valeurs de la statistique χ^2 calculés et P-v% pour chaque loi et chaque station | 66 |
| Tableau V.6 | Résultats de P (Mi/x), BIC et AICc pour chaque série de données étudiées | 70 |
| Tableau V.7 | Résultats de calculs après une augmentation des probabilités a Priori de (10%) en faveur de la loi LN | 75 |
| Tableau V.8 | Résultats de calculs après une augmentation des probabilités a Priori de (30% au total) en faveur de la loi LN | 76 |
| Tableau V.9 | Résultats de calcul après une modification des probabilités a priori jusqu'à 70.75% | 77 |
| Tableau V.10 | Quantiles calculés par la loi Log Normal des séries de la région d'étude | 77 |

Liste des abréviations

Δt : Intervalle de temps.

μ^r : Moments théoriques non centrés d'ordre r .

μr : Moments théoriques centrés d'ordre r .

a_{i+1}, a_i : Côtes de ligne de niveaux du bassin.

AICc : Critère d'information d'Akaike corrigé.

AIC : Critère d'information d'Akaike.

ANRH : Agence nationale des ressources hydrique.

B : Halphen type B.

B_i : Fraction de surface comprise entre l'altitude a_i et a_{i+1} (a_i, a_{i+1}) altitude des courbes de niveau du bassin.

BIC : Critère d'Information Bayésien.

BICmin : Plus petite valeur observée de BIC sur tous les modèles comparés.

Br : Moments pondérés théoriques.

BV : Bassin versant.

Ck : Coefficient d'aplatissement.

Cs : Coefficient d'asymétrie.

Ct : Coefficient de torrentialité.

Cv : Coefficient de variation.

D : Dénivelée.

DAF : Domaine d'attraction de Fréchet.

DAG : Domaine d'attraction de Gumbel.

DAW : Domaine d'attraction de Weibull.

Dd : Densité de drainage.

ET : Exponential tail.

EV1 : Gumbel.

EV2 : Fréchet.

EVT : Théorie des valeurs extrêmes.

$F(x_i)$: Fréquences théoriques au non-dépassement.

$F(x)$: Distribution expérimentale.

$F(x)$: Fonction de densité de probabilité.

$F(x)$: Fonction de non dépassement.

- F0(x)** : Distribution théorique.
- FME** : Fonction moyenne des excès.
- FPE** : Formule de probabilité empirique.
- Ft** : Fréquence des talwegs élémentaires.
- G2** : Gamma.
- G(x)** : Famille paramétrique de distribution.
- GEV** : Valeurs extrêmes généralisées.
- GI** : Gamma inverse.
- GPA** : Loi de Pareto généralisée.
- GPD** : Generalized Pareto distribution.
- H** : Hauteur entre deux courbes de niveaux consécutives.
- H Δ t** : Hauteur de pluie tombée.
- HA** : Halphen type A.
- HIB** : Halphen B inverse.
- Hmax** : Altitude maximale.
- Hmin** : Altitude minimale.
- Hmoy** : Altitude moyenne.
- HYFRAN-PLUS** : HYdrological FREquency Analysis Plus.
- H5%** : Altitude correspond à 5% de la surface.
- H50%** : Altitude médiane correspond à 50% de la surface.
- H95%** : Altitude correspond à 95% de la surface.
- ID** : Indépendant et Identiquement Distribué.
- Ig** : Indice de pente globale.
- Im** : Pente moyenne du bassin.
- IP** : Indice de pente de roche.
- K** : Statistique d'ordre de la valeur d'observée.
- K** : Nombre de classe.
- Kc** : Indice de compacité.
- l** : Largeur du rectangle équivalent.
- L** : Longueur du rectangle équivalent.
- Li** : Longueur de la courbe de niveau.
- 2LN** : Log-Normale.
- LP3** : Log-Pearson III.
- M** : Estimations de moments théoriques centrés d'ordre r.

m'r : Estimations de moments théoriques non centrés d'ordre r .

MDL : Minimum description length.

N : Nombre des talwegs d'ordre 1.

n : Nombre d'observation.

NE : North-East.

NW : North-West.

P : Périmètre du bassin versant.

P : Nombre de paramètres estimés d'après l'échantillon.

P(Mi) : Probabilité a priori attribué au modèle M_i .

P (Mi/X) : Probabilité a posteriori attribué au modèle M_i .

P(x) : Fonction de dépassement.

P3 : Pearson III.

P_{j, max} (2, 10, 100, 1000) : Pluies journalières maximales de périodes de retour 2, 10, 100, et 1000 ans.

POT : Peaks Over Threshold.

PPRI : Plans de prévention des risques d'inondations.

Prob : Probabilité.

P-v : Erreur de première espèce.

Q₁₀₀ : Quantile de période de retour de 100 ans.

Qc : Débit critique.

R0 : Coefficient de corrélation observée.

Rc : Coefficient de corrélation critique.

Rc (1%) : Coefficient de corrélation critique au niveau de signification de 1%.

S : Surface du bassin versant.

SAD : Système d'Aide à la Décision.

SE : South-East.

SIG : Système d'Information Géographique.

SW : South-West.

T : Temps de retour.

tc : Temps de concentration.

Var : Variance.

W2 : Weibull.

W(x) : Fonction de pondération.

x(F) : Valeur de la variable x de fréquence F .

$\alpha, u, c, \lambda, m, \mu, \sigma$: Paramètres des lois de probabilité.

β_2 : Aplatissement.

γ_1 : Symétrie.

χ^2 : Khi deux.

Introduction générale

La pluie est source de vie. Elle est un élément essentiel pour le développement de la vie sur terre, elle peut provoquer parfois des catastrophes naturelles telles que les inondations.

Les inondations sont les phénomènes hydrologiques les plus dangereux. L'établissement des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI) pour la protection des populations avec leurs habitations, les zones industrielles, les plaines irrigables ...etc, et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (barrages, digues, ponts, etc.) sont basés sur la détermination des valeurs maximales des précipitations responsables des dégâts et des catastrophes.

L'analyse fréquentielle est une méthode de prédiction consistant à étudier des événements passés afin de déterminer la probabilité de réapparition future. La prédiction des événements extrêmes repose sur la définition de ce qu'on appelle « Modèle Fréquentiel » qui est la description du comportement statistique d'un phénomène donné (**Souanef, 2015**).

Le choix d'un modèle fréquentiel à utiliser pour estimer des valeurs rares est difficile ; puisque lorsque certains modèles fréquentiels sont acceptés par les différents tests d'adéquations appliqués aux données observées, parmi ceux-ci qu'elle est le modèle fréquentiel qui ajuste mieux nos séries par rapport aux autres modèles.

L'objectif principal de ce travail est de trouver le modèle statistique (loi théorique) le plus adéquat à l'estimation des valeurs rares des pluies maximales journalières du bassin versant de Chellif.

Pour ce faire, le travail s'articule autour de cinq chapitres avec une introduction et une conclusion générale.

Dans le premier chapitre, Nous donnerons quelques définitions des termes et des notions de base nécessaires pour toute étude hydrologique.

Le deuxième chapitre traite les notions de l'hydrologie fréquentielle, dans lequel nous essayons de donner les différents tests de vérification des données et aussi les classes des lois utilisées en hydrologie et les différents critères de choix de modèle le plus adéquat à l'ajustement des valeurs extrêmes.

Le troisième chapitre s'étend sur la présentation de la région d'étude et des données utilisées. Dans ce chapitre ; nous présentons les caractéristiques de la région d'étude et aussi

les stations retenues, les caractéristiques statistiques des séries de données de pluies maximales journalières à étudier et nous vérifions des hypothèses IID (indépendance, stationnarité et homogénéité), nécessaires pour l'application d'une analyse fréquentielle.

Le quatrième chapitre s'étend sur la présentation des matériels et méthodes appliqués pour le bon aboutissement de ce travail.

Le cinquième chapitre est réservé aux résultats obtenus et discussions, dans ce chapitre, nous présentons les différentes classes des séries de données et des ajustements statistiques des lois de probabilité et du choix des distributions les plus adaptées, ainsi que de la détermination des quantiles de pluies maximales journalières.

Et nous terminerons ce travail par une conclusion générale, dans laquelle nous dressons un bilan global des résultats obtenus et des perspectives futures de cette recherche.



Chapitre I : Généralités

Chapitre I : Généralités

I.1. Introduction

L'hydrologie est une science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol.

Dans ce chapitre on va présenter, d'une façon générale, les notions de base de l'hydrologie et des précipitations.

I.2. Définition et composantes du cycle hydrologique

Le cycle hydrologique est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre, accompagnée de changements d'état, qui peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol. Cette définition implique que les mécanismes régissant le cycle hydrologique ne surviennent pas seulement les uns à la suite des autres, mais sont aussi concomitants. Le cycle hydrologique n'a donc ni commencement, ni fin.

La figure I.1 montre les cheminements les plus importants que peut suivre une particule d'eau à la surface de la terre.

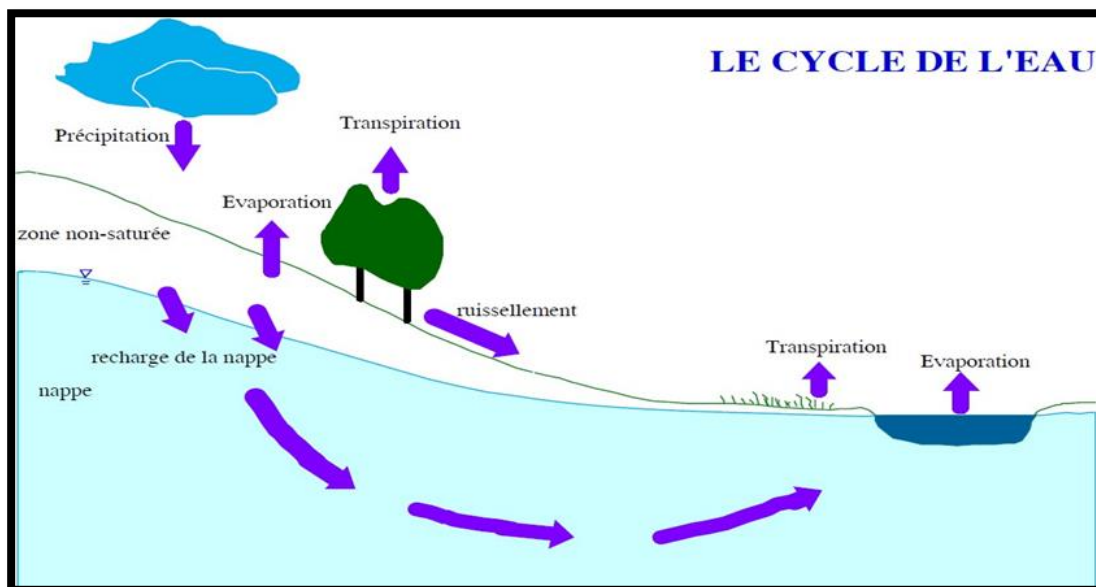


Figure I.1. Le cycle hydrologique (Soukatchoff, 2012)

A partir de la figure ci-dessus, on peut tirer les informations suivantes : L'alimentation des eaux souterraines provient de l'infiltration des eaux à partir de la surface, une partie va ruisseler et une partie retourne à l'atmosphère par évaporation à partir des plans d'eau et transpiration à partir des plantes.

I.3. Définition et divisions de l'hydrologie

D'une façon très générale, l'hydrologie peut se définir comme l'étude du cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux. L'hydrologie au sens large regroupe :

- La climatologie, pour la partie aérienne du cycle de l'eau (précipitations, retour à l'atmosphère, transferts, etc.) ;
- L'hydrologie de surface au sens strict, pour les écoulements à la surface des continents ;
- L'hydrodynamique des milieux non saturés pour les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines (infiltration, retour à l'atmosphère à partir des nappes, etc.) ;
- L'hydrodynamique souterraine (sensu stricto) pour les écoulements en milieux saturés.

L'hydrologie de surface est la science qui traite essentiellement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface des continents. Ces problèmes se ramènent généralement à des prévisions (associer à une date une certaine grandeur) ou des prédéterminations (associer à une grandeur une certaine probabilité) de débits ou de volume en un point ou sur une surface (**Laborde, 2009**).

Les tendances dans l'étude des phénomènes hydrologiques ont permis de diviser l'hydrologie en deux parties : l'hydrologie déterministe ou paramétrique et l'hydrologie probabiliste ou stochastique.

I.3.1. L'hydrologie déterministe

Etudie les phénomènes hydrologiques en considérant des relations précises de cause à effet, sans tenir compte des conditions aléatoires du phénomène lui-même ou certaines de ces Composantes. Les méthodes déterministes sont basées sur l'étude fine du passage des précipitations aux débits (**Hebal, 2018**).

I.3.2. L'hydrologie probabiliste

Traite des phénomènes soumis aux lois du hasard ou aux lois physiques. Ces dernières sont tellement complexes que leur examen complet s'avère physiquement ou économiquement impossible. La facilité opérationnelle obtenue par l'ordinateur et le développement de certaines techniques mathématiques (analyse de systèmes, modèles, ...etc.) sont à la base de cette approche. Lorsque l'analyse probabiliste d'un phénomène est dépendante du temps, certains auteurs l'appellent analyse stochastique, d'où l'expression hydrologie stochastique (**Hebal et al, 2013**).

I.4. Les différents modèles d'étude des processus stochastiques en hydrologie

I.4.1. Définition et propriétés des processus

Les définitions suivantes permettent de décrire un processus stochastique hydrométéorologique :

- ❖ Processus stochastique : est une chronologie de variables ou d'événements inscrit dans le temps qui induit un ordre dans leurs occurrences. Il est donc caractérisé par un ou plusieurs variables aléatoires multidimensionnelles : $Z(x_1, x_2, \dots, x_n)$;
- ❖ Processus stochastique hydrométéorologique : c'est un Processus stochastique, en général à deux dimensions, l'espace et le temps, caractérisé par une variable aléatoire hydrométéorologique, c'est-à-dire descriptive d'un phénomène hydrométéorologique :
 - $Z(x, t)$ $x = \{x^1, x^2\}$ coordonnées géographiques ;
 - $t^i = \{t^1, t^2, \dots, t^{n_x}\}$ ensemble d'instant où ont été obtenues les observations de Z .

Toute étude hydrologique a pour finalité de comprendre et connaître d'avantage un ou plusieurs processus hydrométéorologiques, et /ou d'utiliser leurs propriétés statistiques pour aider certains décideurs à mieux dimensionner et mieux gérer en continu des ouvrages ou des dispositifs soumis aux aléas hydrométéorologiques.

Pour comprendre et mieux agir, les processus et les structures sous-jacentes des phénomènes physiques ont été recherchés (ex : précipitations), et finalement des

représentations schématisées baptisées « modèles » ont été développées. Ces derniers se classent, selon leur finalité, en quatre catégories (Miquel et Gaume, 2012).

I.4.2. Les modèles d'interprétation ou de reconstitution

Ils aident à mesurer, observer, constater et estimer. Qu'il agisse d'acquérir l'information la plus « représentative » pour un effort de mesure donné, et donc de sélectionner les futurs lieux d'observation, ou bien d'évaluer une grandeur intégratrice d'une grande diversité spatiale, ou encore de compléter une information momentanément manquante. Ils servent donc autant à décrire qu'à décider.

❖ Objectifs et principes

Si, en un point donné, un dispositif de mesure de pluie ou de débit tombe en panne momentanément, alors on va chercher à reconstituer tout ou partie de l'information manquante.

Plus généralement, pour des raisons économiques évidentes, il est impossible de mesurer tous et partout : se pose alors la question de choisir des emplacements de mesures de telle sorte qu'à partir de cette information il soit possible d'« estimer » les valeurs de la variable hydrologique en tout point du champ spatial. C'est donc une sorte d'interpolation. Dans tous les cas le principe est le même : il s'agit de « reconstituer » au mieux la réalisation d'un processus dont on connaît une partie, et ceci compte tenu des structures de processus que l'on mettra en évidence.

La reconstitution de l'information manquante se fait par différentes méthodes :

- Transfert d'information entre deux sites par régression linéaire ;
- Interpolation spatiale par la méthode du « krigeage » ;
- Interpolation spatiale par « l'Analyse en composantes Principales ».

I.4.3. Les modèles de simulation

Ils reproduisent un processus, ou une partie de processus, à partir d'observations existantes, mais ils peuvent aussi générer des scénarios possibles et conformes statistiquement au processus étudié.

Ces modèles sont par exemple très utiles pour simuler les effets ou le fonctionnement futur d'un ouvrage. Ils permettent de faire des projections sur l'avenir, et sont intéressants au plan décisionnel, en particulier pour l'analyse des risques, y compris économiques.

❖ Objectifs et principes

Les modèles de simulation ne cherchent pas à reproduire une partie de la réalisation d'un processus, mais à générer des scénarios « possibles » d'un processus dont on connaît une réalisation. D'un point de vue pratique ces scénarios, par exemple s'il s'agit de débits, peuvent être utiles comme données d'entrée pour vérifier le bienfondé d'une gestion de crue, pour calculer le bilan économique de l'exploitation d'un réservoir, etc.

Les modèles de simulation souvent sollicités pour décrire les évolutions temporelles, autant que spatiales, en générant des séries. Par exemple générer plusieurs centaines d'années de débits journaliers.

Leur principe est d'utiliser des générateurs de variables aléatoires qui devront respecter la structure statistique des processus à reproduire.

Il existe plusieurs types de ce modèle :

- Modèle Markovien stationnaire ;
- Modèle Markovien général ;
- Modèles Autorégressifs stationnaires ;
- Modèles conceptuels.

I.4.4. Les modèles de prévision

Ce sont des modèles utilisés à un instant t pour prévoir la venir en devine qu'ils auront une finalité essentiellement opérationnelle : alerte en période de crue, anticipation en période de sécheresse, plus généralement aide à la gestion de la ressource en eau d'un bassin.

❖ Objectifs et principes

Les modèles de prévision cherchent, à un instant donné t , à « prévoir » pour des instant futurs ($t+\Delta t$) le devenir d'une réalisation connue jusqu'à t par exemple, connaissant jusqu'à aujourd'hui le débit d'un cours d'eau en un point donné ainsi que les précipitations en quelques

endroits du bassin versant, comment prévoir le débit du même cours d'eau, au même endroit, demain, après-demain, etc.

Leur principe est finalement proche des modèles de simulation à chaque pas de temps t , prévoir revient à générer un, ou plusieurs scénarios, pour en tirer le comportement futur le plus probable, conditionné à l'information connue. Pratiquement tous les modèles passés en revue pour simuler, sont utilisables en prévision.

I.4.5. Les modèles de prédétermination

Utilisés pour évaluer la probabilité d'occurrence d'un événement, mais non le moment où il se produira, et surtout utile au projecteur, à ceux qui doivent dimensionner un ouvrage soumis aux aléas hydrométéorologiques, à évaluer les risques.

❖ Objectifs et principes :

Quand il faut dimensionner un pont, ou rééquilibrer un cours d'eau traversant un périmètre irrigué pour qu'il laisse passer une crue sans dommage, on ne s'intéresse pas au moment où la crue se produira, on ne cherche donc pas à prévoir, mais à évaluer la probabilité d'occurrence qu'une crue ne dépasse une valeur critique : c'est la prédétermination.

On choisira une ou plusieurs variables utiles pour le projecteur, et on évaluera la probabilité d'occurrence de ces variables pendant une durée de référence. C'est par exemple pour le pont, la probabilité que le débit maximum d'une crue ne dépasse une valeur Q_c au cours d'une année. On est avantage dans une problématique de risque qui associe probabilité d'occurrence d'un événement et dommages associés.

❖ Temps de retour ou de récurrence

La notion de temps de retour est destinée à caractériser la fréquence d'apparition d'un événement, ou plus exactement : c'est l'intervalle de temps durant lequel la valeur de l'événement considéré est atteinte ou dépassée une fois en moyenne.

En statistique le temps de retour est défini comme l'inverse de la fréquence de dépassement.

$$T = 1 / p(x) = 1 / 1 - F(x) \quad (\text{I-1})$$

Avec :

- $p(x)$: Fréquence de dépassement ;
- $F(x)$: Fréquence de non dépassement.

Les séries étudiées représentent des débits instantanés maximums annuels mesurés au niveau des différents cours d'eau. Elles ne sont pas forcément de même étendue et ne se rapportent pas par conséquent toujours aux mêmes périodes (**Tabou et Alouane, 2017**).

I.5. Le bassin versant

Le bassin versant est défini comme la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout en écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée « exutoire » pour poursuivre son trajet à l'aval. Le bassin versant est limité par les lignes des partages des eaux (**Hebal, 2016**).

Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions : Bassin versant topographique (sous-sol imperméable) et bassin versant hydrologique (sous-sol Perméable).

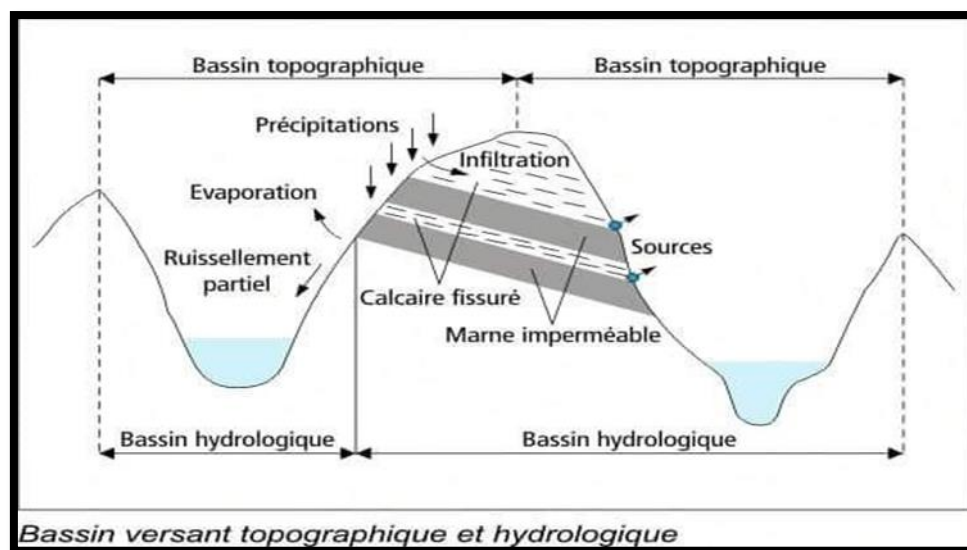


Figure I.2. Distinction entre un bassin versant réel et bassin versant topographique (Boutaya et Chalal, 2017)

I.5.1. Caractéristiques de forme

I.5.1.1. La surface

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Elle s'obtient par plan métrage sur une carte topographique après que l'on y ait tracé les limites topographiques et éventuellement hydrogéologiques. La surface A d'un bassin s'exprime généralement en km² (Laborde, 2009).

I.5.1.2. Le périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, il est exprimé en Km. Il est mesuré à l'aide d'un curvimètre ou par des logiciels (Tabou, 2017).

I.5.1.3. Indice de compacité ou indice Gravelius

Il est utilisé pour caractériser la forme d'un bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau. Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface (Laborde, 2009).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{I-2})$$

Avec :

- **P** : Périmètre du bassin en Km ;
- **S** : Surface du bassin en Km² ;
- Si, **Kc** tend vers 1 : le bassin est ramassé.

I.5.1.4. Rectangle équivalent

Il est défini par sa longueur L et sa largeur l et par la même surface du bassin versant A. Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules suivantes (Hebal, 2016).

❖ **La longueur :**

$$L = \frac{Kc \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (\text{I-3})$$

❖ **La largeur :**

$$I = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (\text{I-4})$$

I.5.2. Caractéristiques du relief

I.5.2.1. Hypsométrie (Altitudes)

La variation d'altitudes à l'intérieur d'un bassin ainsi que l'altitude moyenne sont des données essentielles aux études de la température et des précipitations.

La description détaillée de l'élévation d'un bassin est donnée par les courbes hypsométriques, et à partir de celles-ci, nous pouvons déterminer les caractéristiques de relief, à savoir :

- L'altitude maximale (H max) ;
- L'altitude minimale (H min) ;
- L'altitude médiane correspond à 50% de la surface (H50%) ;
- L'altitude moyenne (H moy) déterminée par l'expression (1-7) ;
- L'altitude correspond à 5% de la surface (H5%) ;
- L'altitude correspond à 95% de la surface (H95%) ;
- La dénivelée (D= H5% - H95%).

I.5.2.2. L'indice de pente

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications

❖ Indice de pente de roche I_p

Il permet de déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant, il est calculé par l'expression suivante (Hebal, 2016).

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^N \sqrt{B_i (a_i - a_{i-1})} \quad (\text{I-5})$$

Avec :

- I_p : indice de pente de roche en % ;
- B_i : fraction de surface comprise entre l'altitude a_i et a_{i+1} (a_i, a_{i+1}) altitude des courbes de niveau du bassin (m) ;

- **L** : longueur du rectangle équivalent en (Km) ;
- **a_{i+1}, a_i** : Côtes de ligne de niveaux du bassin en (m).

❖ **L'indice de pente globale (I_g)**

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, on a proposé un indice encore plus simple : la pente globale (**Laborde, 2009**).

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (\text{I-6})$$

Avec :

- **D** : Dénivelée en m ;
- **L** : Longueur du rectangle équivalent en Km.

❖ **Indice de pente moyenne (I_m)**

La pente moyenne d'un bassin versant peut se calculer par l'expression suivante (**Hebal, 2016**).

$$I_m = \frac{H(0.5L_{1+} + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n)}{A} \quad (\text{I-7})$$

Avec :

- **I_m** : pente moyenne du bassin en (%) ;
- **H** : hauteur entre deux courbes de niveaux consécutives (m) ;
- **L_i** : longueur de la courbe de niveau en (Km) ;
- **A** : superficie du bassin versant (Km²) ;
- **L** : longueur du rectangle équivalent en (Km).

I.5.3. Caractéristiques du réseau hydrographique

I.5.3.1. Densité de drainage (D_d)

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant, elle est exprimée en Km/Km² (**Laborde, 2009**).

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \quad (\text{I-8})$$

Avec :

- $\sum_{i=1}^n l_i$: Longueur totale cumulée des talwegs ;
- S : Surface du bassin versant (Km²).

I.5.3.2. Coefficient de torrentialité (C_t)

$$C_t = F_t \times D_d \quad (\text{I-9})$$

Avec :

- F_t : Fréquence des talwegs élémentaires.

$$F_t = \frac{N}{S} \quad (\text{I-10})$$

Avec :

- N : Nombre des talwegs d'ordre 1.

I.5.3.3. Temps de concentration (T_c)

C'est le temps que met une goutte de pluie la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il peut être calculé par la formule de Giandotti :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{I-11})$$

Avec :

- L : longueur du talweg principal.

I.6. Les précipitations

I.6.1. Définition des précipitations

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombe sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations occultes ou déposées (rosé, gelée blanche, givre). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent

l'unique « l'entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants (Hebal, 2016).

I.6.2. Mécanisme de formation des précipitations

La formation des précipitations nécessite la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. La saturation est une condition essentielle à tout déclenchement de la condensation. Divers processus thermodynamiques sont susceptibles de réaliser la saturation des particules atmosphériques initialement non saturées et provoquer leur condensation :

- Saturation et condensation par refroidissement isobare (à pression constante) ;
- Saturation et condensation par détente adiabatique ;
- Saturation et condensation par apport de vapeur d'eau ;
- Saturation par mélange et par turbulence.

La saturation n'est cependant pas une condition suffisante à la condensation ; cette dernière requiert également la présence de noyaux de condensation (impuretés en suspension dans l'atmosphère d'origines variées - suie volcanique, cristaux de sable, cristaux de sel marin, combustions industrielles, pollution) autour desquels les gouttes ou les cristaux se forment. Lorsque les deux conditions sont réunies, la condensation intervient sur les noyaux ; il y a alors apparition de gouttelettes microscopiques qui grossissent à mesure que se poursuit l'ascendance, celle-ci étant le plus souvent la cause génératrice de la saturation. Les noyaux de condensation jouent en fait un rôle de catalyseur pour la formation de gouttelettes d'eau.

Pour qu'il y ait précipitations il faut encore que les gouttelettes ou les cristaux composant les nuages (les hydrométéores) se transforment en gouttes de pluie. Ce phénomène est lié à l'accroissement de ces éléments dont la masse devient suffisante pour vaincre les forces d'agitation (Musy, 2005).

I.6.3. Types de précipitations

Il existe différents types de précipitations : les précipitations convectives, les précipitations orographiques et les précipitations frontales (Figure I.3).

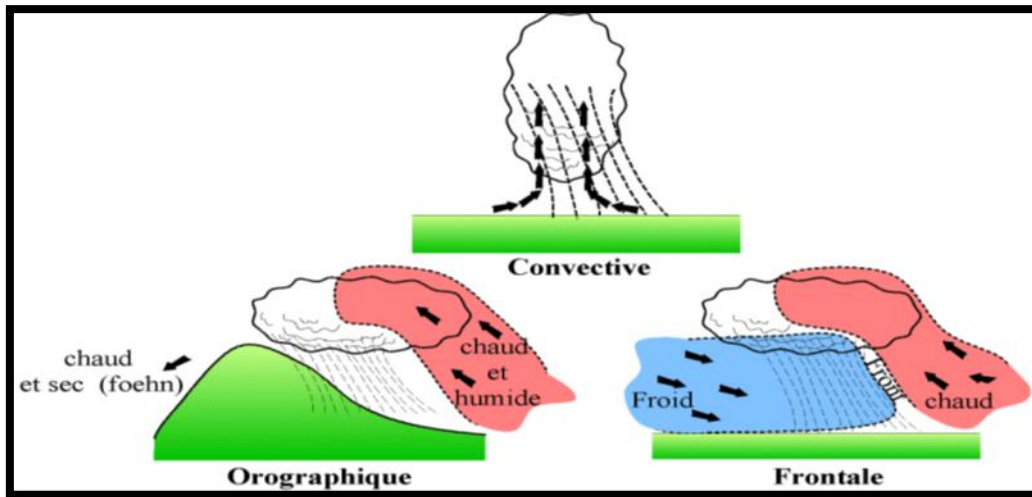


Figure I.3. Les différents types de précipitations (Bois, 2000)

I.6.3.1. Précipitations convectives

Elles résultent d'une ascension rapide des masses d'air dans l'atmosphère. Elles sont associées aux cumuls et cumulo-nimbus, à développement verticale important, et sont donc générées par le processus de Bergeron. Les précipitations résultantes de ce processus sont en général orageuses, de courtes durées (moins d'une heure), de forte intensité et de faible extension spatiale (Hebal, 2016).

I.6.3.2. Précipitations orographiques

Comme son nom l'indique (du grec oros, montagne), ce type de précipitations résulte de la rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique particulière. Par conséquent, ce type de précipitations n'est pas « spatialement mobile » et se produit souvent au niveau des massifs montagneux. Ses caractéristiques dépendent de l'altitude, la pente et de son orientation, mais aussi de la distance séparant l'origine de la masse d'air chaude du lieu de soulèvement (Hebal, 2016).

I.6.3.3. Précipitations cycloniques

Ces précipitations se forment lorsque deux masses d'air de température et d'humidité différentes se rencontrent. Les masses d'air chaudes ont tendance à monter tandis que les masses d'air froides et sèches glissent sous l'air chaud (Touibia, 2004).

I.6.4. Mesure des précipitations

I.6.4.1. Le pluviomètre

Le pluviomètre est un appareil très simple qui comporte une surface réceptrice limitée par une collerette cylindrique ; l'eau traversant cette surface est dirigée par un entonnoir vers un seau récepteur. Si durant un certain intervalle de temps ∇t , on a récupéré un volume V à travers la surface réceptrice, la hauteur de pluie $H\nabla t$ tombée est $H\nabla t = V/S$ (**Laborde, 2009**).

I.6.4.2. Le pluviographe

Instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit les intensités (**Musy, 2005**).

I.6.4.3. Nivomètre

Ces appareils sont utilisés en région montagneuse où la neige est prépondérante. Ils permettent de connaître non seulement l'importance quantitative du manteau neigeux mais aussi son état (**Touibia, 2004**).

I.6.5. Publication des données pluviométriques

La publication des données pluviométriques est du ressort des services publics qui le font généralement sous forme d'annuaires. Les annuaires pluviométriques regroupent, pour chacune des stations de mesure, les résultats suivants :

- La hauteur pluviométrique journalière ;
- La hauteur pluviométrique mensuelle ;
- La hauteur pluviométrique annuelle ;
- Le module pluviométrique annuel moyen (moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations annuelles) ;
- La fraction pluviométrique mensuelle (rapport entre le module annuel et le module mensuel considéré) ;
- Les moyennes, le nombre moyen de jours de pluie, la variabilité des précipitations et des jours de pluie ;
- Les cartes de la pluviométrie mensuelle et annuelle (**Musy, 2005**).



Chapitre II :
Hydrologie fréquentielle

Chapitre II : Hydrologie fréquentielle

II.1. Introduction

La collecte et le traitement des données pluviométriques sont des phases importantes avant l'analyse fréquentielle. Avant de traiter statistiquement ces données il est primordial d'en vérifier quelque hypothèse.

En hydrologie, l'analyse fréquentielle comprend l'ensemble des méthodes et techniques statistiques dévolues à l'analyse d'une série de données pour le choix de type de modèle et le modèle d'ajustement selon différents critères.

Dans ce chapitre nous tentons de donner toute la théorie disponible à l'heure actuelle concernant ces aspects.

II.2. Traitement de données

II.2.1. Répartition, échantillon et variable aléatoire

On appelle population un ensemble fini ou infini d'événements. Un échantillon est un sous-ensemble de la population. La taille de l'échantillon est le nombre d'événements qui le constituent. On dira qu'un échantillon est exhaustif lorsque sa taille est celle de la population.

En hydrologie de surface, les populations sont généralement infinies et par conséquent, les échantillons sont non exhaustifs.

On appelle variable aléatoire (ou variante), le caractère numérique (ou non) qui distingue chaque événement de l'échantillon ou de la population.

Par ailleurs, les valeurs numériques x que peut prendre la variante X sont comprises entre deux bornes x_a et x_b . Finies ou infinies : $-\infty \leq x_a \leq x_b \leq +\infty$ L'intervalle (x_a, x_b) est appelé intervalle de variation de la variable aléatoire X (**Laborde, 2000**).

II.2.2. Comblement de lacunes d'observations

Les caractéristiques climatiques, telles que les pluies et les évapotranspirations sont soumises à une variation spatiale continue. Ceci permet dans une limite bien déterminée l'interpolation, voire même l'extrapolation de ces caractéristiques.

Les outils d'interpolation sont multiples : mathématiques et cartographique :

- La méthode cartographique, en tenant compte de la continuité spatiale de la pluie, consiste à tracer les cartes de la pluie pour l'année donnée et de cette même carte on tire la valeur correspondante pour telle ou telle station où l'observation manque ;
- Les méthodes mathématiques sont fondées sur l'analyse de régression simple ou multiple qui nécessite un volume d'observations simultanées au niveau des différentes stations, y compris celles où il y a des lacunes à combler.

II.2.3. Vérification des hypothèses (I.I.D)

Une hypothèse fondamentale de l'estimation est de vérifier qu'un échantillon de données est une collection d'événements qui appartiennent bien à la même population d'événements et que les événements sont indépendants. Les statisticiens introduisent souvent l'abréviation I.I.D pour qualifier un tel échantillon (indépendant et identiquement distribué).

Un échantillon identiquement distribué est un échantillon d'événements appartenant à la même population et qui peuvent être décrits à l'aide de la même loi de probabilité. Mathématiquement, cela implique que pour un échantillon (x_i) , il existe une loi f paramétrée par Θ telle que $x_i \sim f(\Theta)$. Ici le symbole \sim signifie « est tiré selon la loi ».

Un échantillon d'événements indépendants est par définition, une collection d'événements qui, pris deux à deux, vérifient **Prob $(x_i, x_j) = \text{Prob } (x_i) \cdot \text{Prob } (x_j)$** . Cela signifie qu'il n'existe aucune corrélation entre deux événements distincts.

En pratique, il n'existe pas de méthode standard pour tester si un échantillon est composé d'événements indépendants et identiquement distribués. On se contente d'hypothèses que l'on peut vérifier par la suite. Par exemple, en ne considérant dans les échantillons que les valeurs supérieures à un seuil, on peut éviter certains problèmes des corrélations (à courte portée entre deux événements) (**Ancey, 2006**).

On envisage deux hypothèses exclusives H_0 et H_1 ; H_0 est l'hypothèse que l'on veut tester et H_1 est une hypothèse contraire.

Lorsque l'on teste l'hypothèse H_0 , la probabilité de commettre l'erreur est notée α et on l'appelle le niveau de signification.

Si $\alpha = 0.05$, cela signifie que l'on a :

- 5 chances de 100 de prendre une mauvaise décision en rejetant l'hypothèse H_0 , alors que cette hypothèse est vraie ;
- 95 chances sur 100 de prendre la bonne décision en acceptant H_0 alors qu'elle est fausse (**Hebal et al, 2013**).

II.2.3.1. Indépendance (test de Wald-Wolfowitz)

L'indépendance signifie qu'il n'y a aucun lien entre les observations successives (absence d'autocorrélation) (**Percheron et Lozère, 2004**).

- **H0** : x_1, \dots, \dots, x_N : observations indépendantes ;
- **H1** : x_1, \dots, \dots, x_N : observations dépendantes.

Pour cela on calcule la statistique R :

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} X_i X_{i+1} + X_1 X_N \tag{II-1}$$

(Hypothèse de série circulaire : $x_{N+1} = x_1$).

$$R \sim N[\bar{R}, \text{var } R] \tag{II-2}$$

$$\bar{R} = (S_1^2 - S_2) / (N-1) \tag{II-3}$$

$$\text{var } R = (S_2^2 - S_4) / (N-1) - \bar{R}^2 + (S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4) / (N-1)(N-2) \tag{II-4}$$

Avec :

$\mu_r = \sum_{i=1}^N x_i^r$ (Moment non centré d'ordre r de l'échantillon) donc :

$$s = N \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^r = \sum_{i=1}^N X_i^r \quad (\text{II-5})$$

$$u = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{\text{var } R}} \sim N(0,1) \quad (\text{II-6})$$

Et on accepte H_0 si $-u_{\alpha/2} \leq u \leq u_{\alpha/2}$ (au niveau de signification α) :

- Valeur critique au niveau 5% : $u_{2.5\%} = 1.96$;
- Valeur critique au niveau 1% : $u_{0.5\%} = 2.58$ (**Kouider, 2003**).

II.2.3.2. Stationnarité (test de Kendall)

Le test de Kendall permet d'éprouver l'hypothèse selon laquelle les données sont stationnaires, c'est-à-dire que la série n'a pas tendance à augmenter (ou diminuer) avec le temps. Cette hypothèse nulle étant ici acceptée au seuil de 5% ou 1%, on conclut qu'il n'y a aucune tendance dans les données (**Béliveau, 2006**).

- **H0** : la moyenne des X_i constante (stationnarité) ;
- **H1** : la moyenne des X_i n'est pas constante.

Sous l'hypothèse H_0 , la distribution asymptotique (N grand) de S est normale avec :

- **Moyenne** : $E(S) = 0$;
- **Variance**: $\text{var } S = N(N-1)(2N+5) / 18$.

En vérifiant que les caractéristiques statistiques soient invariantes avec le temps est évidemment indispensable pour la crédibilité de l'estimation :

- **H0** : il n'y a aucune tendance dans les observations ;
- **H1** : il n'y a une tendance dans les observations (**Hebal et al, 2013**).

II.2.3.3. Homogénéité (test de Wilcoxon)

Le test d'homogénéité compare deux échantillons afin de vérifier s'ils sont issus de la même population ou non.

Pour tester l'homogénéité de données issues de deux populations, on utilise les deux statistiques équivalentes de Mann-Whitney et Wilcoxon (**Musy et Higy, 2004**).

On regroupe les observations des 2 sous-échantillons dans un échantillon unique en les classant par ordre croissant. Les hypothèses à vérifier pour le test de Wilcoxon à l'échelle annuelle sont :

- **H0** : les moyennes des deux sous échantillon sont égales ;
- **H1** : les moyennes des deux sous échantillon sont différentes (**Hebal et al, 2013**).

II.3. Analyse fréquentielle

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

Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant (modélisant) le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée : la probabilité d'observer une pluie journalière supérieure ou égale à x mm vaut p %. La loi de Gumbel est l'exemple le plus commun de modèles fréquents utilisés en hydrologie (**Musy et Meylan, 1999**).

II.3.1. Procédure d'une analyse fréquentielle

Les différentes étapes constituant une analyse fréquentielle sont :

- Classement des valeurs étudiées par ordre croissant ou décroissant (selon qu'on travaille avec une probabilité au non dépassement ou au dépassement) ;
- Choix de la formule empirique pour l'estimation des probabilités empiriques des valeurs observées ;
- Ajustement des lois théoriques aux échantillons utilisés ;
- Application des tests d'adéquations pour vérifier le bon ajustement des lois théoriques avec les échantillons observés ;
- Calcul des intervalles de confiance ;
- Choix du type de modèles, puis du modèle le plus adéquat à l'estimation des valeurs non observées des échantillons utilisés.

II.3.2. Choix de la formule empirique

La détermination de la meilleure formule de probabilité empirique a toujours été un défi pour les hydrologues depuis l'adoption des méthodes probabilistes. De nombreuses formules ont été proposées pour différents auteurs et de bonnes études de synthèse existent dans la littérature, par exemple **Cunnane (1978)**, **Ji et al (1984)**, **Harter (1984)**. Ces formules sont cependant assez semblables d'un point de vue pratique, ce qui laisse supposer que des efforts supplémentaires sur ce sujet seraient peu justifiés (**Rosbjerg et al, 1992**).

Le choix de ces formules basées sur :

II.3.2.1. FPE basées sur les fréquences échantillonnages

Prend uniquement les fréquences cumulées des observations. Lorsque les n valeurs d'un échantillon sont classés en ordre décroissant, $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_m \geq \dots \geq x_n$, la valeur de rang m (x_m) est dépassée par $m-1$ autres valeurs, ce qui permet d'estimer la probabilité de dépassement de x_{mx} par :

$$p_m = \frac{m-1}{n} \quad (\text{II-7})$$

Cependant, si $m=1$, on obtient $p_1=0$, ce qui n'a en pratique pas de sens. Pour pallier cet inconvénient la méthode dite Californie compte le nombre d'observations égales ou supérieures à la valeur de rang m , d'où la formule :

$$P_m = m/n \quad (\text{II-8})$$

Ainsi **Hazen (1914)** a suggéré d'utiliser la moyenne arithmétique des estimations données par la relation : (**Rosbjerg et al, 1992**).

$$P_m = (m-0.5) / n \quad (\text{II-9})$$

II.3.2.2. La distribution des fréquences échantillonnages

Les FPE devraient être indépendantes de la distribution parente mais est basée non pas sur les fréquences échantillonnages elles-mêmes, mais sur leur distribution.

II.3.2.3. La distribution des statistiques d'ordre

Est basée sur la distribution de la statistique d'ordre X_m elle-même au lieu de celle de sa fréquence (**Rosbjerg et al, 1992**).

Dans cette dernière, la probabilité de dépassement de la plus grande valeur observée est alors évaluée à $1/n$, ce qui est plus acceptable. Cependant cette formule présente l'inconvénient d'obtenir pour probabilité de dépassement de la plus petite observation (x_n) la valeur $p_n = 1$ (Rosbjerg et al, 1992).

Pour résoudre ce problème, plusieurs formules ont été proposées en introduisant un paramètre a . Ces dernières ont la forme générale suivante :

$$F(x(K)) = (K-a) / (n-2a+1) \quad (\text{II-10})$$

Avec :

- K : statistique d'ordre de la valeur d'observée ;
- n : taille totale de l'échantillon utilisé ;
- a : paramètre de formule ; $0 \leq a \leq 0.5$.
- ❖ $a = 0.00 \Rightarrow$ formule de Weibull ;
- ❖ $a = 0.30 \Rightarrow$ formule de Chegodayev ;
- ❖ $a = 0.40 \Rightarrow$ formule de Cunnane ;
- ❖ $a = 0.44 \Rightarrow$ formule de Gringorter ;
- ❖ $a = 0.5 \Rightarrow$ formule de Hazen (Hebal et al, 2013).

II.3.3. Méthodes d'Ajustement

Il faut bien comprendre que les ajustements que nous allons réaliser vont ensuite être utilisés pour prendre des décisions aux conséquences économiques significatives. C'est surtout vrai dans le domaine de la sécurité, d'où les recherches, et parfois les polémiques, à propos de ces méthodes de décision.

II.3.3.1. Méthode du Maximum de Vraisemblance

La vraisemblance d'un échantillon est définie comme la probabilité de l'observer, c'est le produit des densités de probabilité des différentes valeurs. L'application sur une série de données de n valeurs donne :

$$V = f(x_1) \cdot f(x_2) \cdot \dots \cdot f(x_n) \quad (\text{II-11})$$

Si l'on suppose que l'échantillon est iid la valeur de la fonction de (densité de) probabilité conjointe au point $x = (x_1, \dots, x_n)$ ne dépend que des paramètres Θ inconnus elle est donnée par : $P(x; \Theta)$ (Djerboua, 2001).

II.3.3.2. Méthode des Moments

La méthode des moments consiste simplement à évaluer les moments théoriques non centrés μ'_r et centrés μ_r avec leurs estimations (m'_r et m , respectivement) obtenues à partir de l'échantillon. Nous devons considérer au moins autant de moments indépendants qu'il y a de paramètres à estimer. En général les moments d'ordre le plus faible possible sont utilisés. Par exemple pour les lois à 2 paramètres nous nous servons de la moyenne μ'_1 (et de la variance μ_2). Il est à remarquer que pour les lois à 3 paramètres. Il n'est pas possible d'utiliser en plus le moment non centré d'ordre 2, μ'_2 car $\mu_2 = \mu'_2 - \mu'^2_1$ et dans ce cas les moments choisis ne sont pas indépendants (Meylan et al, 2012).

II.3.3.3. Méthode des Moments Pondérés

La méthode des moments pondérés a été développée par Landwehr et al (1979). Elle se base sur le même principe que la méthode des moments et consiste à évaluer les moments pondérés théoriques B_r (ou a_s) et leurs estimations b_r , (ou a_s) obtenues à partir de l'échantillon. Pour une distribution à 3 paramètres, cela revient à résoudre le système $B_i = b_i$, $i=0,1,2$.

Cette méthode est surtout intéressante, si à partir de $F(x)$ il est possible de trouver une expression analytique $x(F)$, car dans ce cas nous pouvons obtenir directement B_r comme :

$$B_r = \int x(F)[F(x)]^r dF \quad (\text{II-12})$$

II.3.4. Application d'un test d'adéquation

Lorsqu'on procède à un ajustement d'une loi de probabilité théorique, le problème qui se pose est de savoir si cette loi s'adapte adéquatement à la distribution empirique envisagée. L'examen graphique ne peut suffire, il peut être testé par le calcul de la qualité de l'ajustement réalisé. Ces tests d'adéquation consistent à prendre une règle de décision concernant la validité d'une hypothèse relative à l'accord global d'une distribution empirique avec une distribution théorique spécifiée a priori ou ajustée sur les observations.

II.3.4.1. Test du χ^2 de Pearson

Ce test est appliqué dans une situation où l'on observe la répartition de n objets dans I classes. Il est utilisé pour tester l'hypothèse que la répartition s'effectue selon une distribution théorique (Morgenthaler, 2007).

Pour mettre en œuvre ce test, on procède de la façon suivante :

- On découpe l'échantillon de n éléments, en K classes ($K > 4$) de façon à ce que chaque classe contienne théoriquement plus de 5 éléments ;
- Soit n_i le nombre d'éléments contenus dans la i ème classe et $n'_i (> 5)$ le nombre théorique qui devrait s'y trouver ; on forme le terme suivant :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \quad (\text{II-13})$$

Cette variable χ^2 suit une loi de probabilité dite loi du χ^2 , à n degrés de liberté avec :

$$n = K - p - 1 \quad (\text{II-14})$$

Avec :

- **K** : nombre de classes ;
- **p** : nombre de paramètres estimés d'après l'échantillon (**Hebal et al, 2013**).

II.3.4.2. Test de Kolmogorov-Smirnov

Le test de Kolmogorov-Smirnov consiste à mesurer, pour une variable aléatoire continue, la plus grande distance entre la distribution théorique $F_0(x)$ et la distribution expérimentale $F_n(x)$. Nous avons donc $H_0 : F(x) = F_0(x) \forall x$ et $H_1 : F(x) \neq F_0(x)$ pour au moins une valeur de x . La distribution empirique, ou observée, se calcule, dans la théorie de Kolmogorov-Smirnov, par la relation classique :

$$F(x_r) = r/n \quad (\text{II-15})$$

On définit alors la statistique d comme suit :

$$\begin{cases} d^+ = \text{Max} \left\{ \frac{r}{n} - F_0(x_{[r]}) \right\}, \forall r = 1, 2, \dots, n \\ d^- = \text{Max} \left\{ F_0(x_{[r]}) - \frac{r-1}{n} \right\}, \forall r = 1, 2, \dots, n \\ d = \text{Max} \{ d^+, d^- \} \end{cases} \quad (\text{II-16})$$

II.3.4.3. Test d'Anderson-Darling

Le test d'Anderson-Darling consiste à comparer la distribution théorique $f_0(x)$ à la distribution expérimentale $F(x)$ en calculant la statistique suivante :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [F(x) - F_0(x)]^2 w(x) dF(x) \quad (\text{II-17})$$

Où $w(x)$ est une fonction de pondération.

Le cas standard d'Anderson-Darling correspond à la fonction de pondération suivante :

$$w(x) = \frac{1}{F_0(x)[1 - F_0(x)]} \quad (\text{II-18})$$

Qui permet de donner plus d'influence aux faibles et fortes fréquences.

II.3.4.4. Test W_n^2 d'Anderson

Ce test, un peu plus fastidieux à mettre en œuvre (tout au moins manuellement), est plus efficace que le test du χ^2 . Analogue dans son esprit, il favorise les valeurs extrêmes et considère individuellement chaque élément de l'échantillon.

Soit un échantillon de taille n où x_i est la i ème valeur dans l'échantillon classé par ordre croissant ; on peut estimer pour chaque x_i , sa fréquence théorique au non-dépassement $F(x_i)$ à partir de l'ajustement que l'on désire tester. On construit alors ainsi W_n^2 :

$$W_n^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((2i - 1) \text{Ln}[F(x_i)] + (2n - 2i + 1) \text{Ln}[1 - F(x_i)]) \quad (\text{II-19})$$

La variable u définie comme suit à partir de W_n^2 permet de caractériser la qualité de l'ajustement :

$$u = \frac{\text{Ln}[W_n^2 - 0,18/n^{1/4}] + 0,8 + 1/\sqrt{n}}{0,65} \quad (n \geq 10) \quad (\text{II-20})$$

II.4. Conclusion

Un modèle est une représentation simplifiée du comportement statistique réel de la variable hydrologique considéré. Il est donc nécessairement imparfait. Il est essentiel de vérifier l'ajustement statistique par des tests différents.



Chapitre III :

***Présentation de la zone
d'étude et traitement de
données***

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude et traitement de données

III.1. Introduction

L'étude des pluies maximales journalières a été effectuée, dans ce travail, à partir des données tirées des stations pluviométriques implantées dans différents endroits du bassin de Chellif. Les caractéristiques (de forme, du relief, etc.) de ce bassin et le traitement des données sont présentées dans ce chapitre.

III.2. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Chellif est le plus vaste bassin hydrographique en Nord de l'Algérie, parmi les 5 régions hydrographiques regroupant les 17 grands bassins du pays dont le numéro est 01 dans le répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques. La figure suivante présente la localisation de ce dernier.

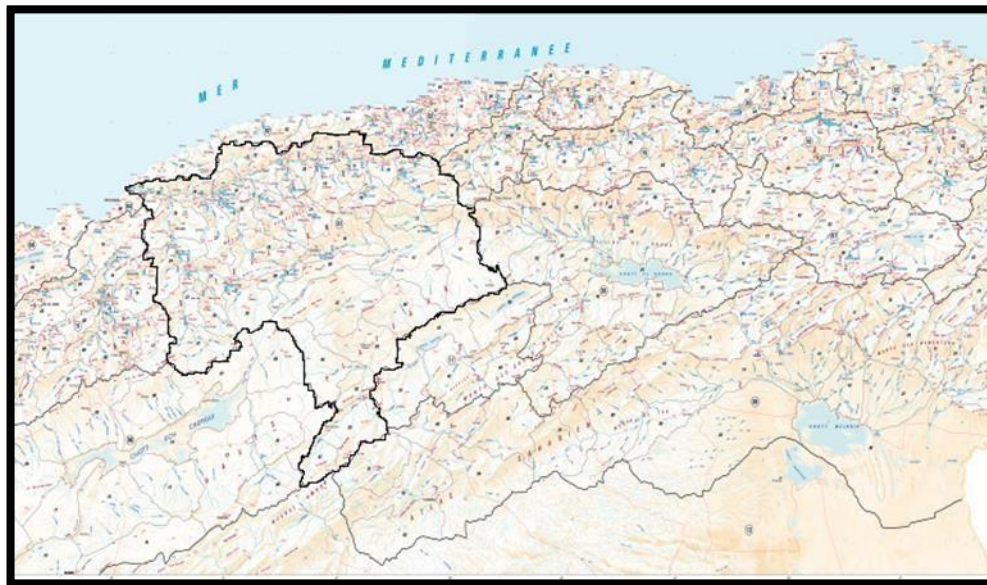


Figure III.1. Localisation de la zone d'étude

III.2.1. Caractéristiques du bassin versant du Chellif

III.2.1.1. Situation géographique

Située au centre ouest de l'Algérie du Nord, Le bassin du Chellif est limitée au Nord par le Côtiers Algérois Ouest, à l'Ouest par la Macta, au Sud par les Bassins versants : les hauts plateaux Oranais, le Sahara, Chott Melrhir et Zahrez et à l'Est par les bassins versants : Chott

Hodna et Isser. La région est bordée par deux chaînes principales, l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud. Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le bassin du Cheliff appartient l'unité hydrographique du Chellif-Zahrez.

Le bassin versant du Chellif qui s'étend sur 43 900 Km², il est compris en longitude entre 0° 12" Est et 3° 87" Est et en latitude entre 33° 91" Nord et 36° 58" Nord, son cours d'eau principale mesure 725 km environ. Il est divisé par l'ANRH en 36 sous bassins.

III.2.1.2. Réseau hydrographique

Le bassin Chellif résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Touil et Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 km² et 3 651 km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Chellif.

- L'oued Touil prend sa source dans l'Atlas saharien, près d'Aflou dans les monts de Djebel Ammour. Il traverse les hautes plaines de quatre wilaya successivement : Laghouat, Djelfa, Tiaret et Médéa au barrage Boughzoul, avec une orientation SW-NE jusqu'à Chahbounia à Médéa pour confluer avec l'oued Nahr Ouassel qui coule en oblique vers le Nord-Est et traverse successivement (03) wilayas : Tiaret, Tissemsilt et Médéa.
- L'Oued Chellif résultant de jonction des deux grands cours d'eau précédents, prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit la chaîne de Médéa (Boughari). Ensuite, suivant une orientation SE-NW il traverse le massif de Gantass, et enfin il coule on oblique de l'Est à l'Ouest, traversant ainsi successivement (04) wilayas : Ain Defla, Chellif, Relizane et Mostaganem, jusqu'à son embouchure dans une large vallée vers lamer méditerranée. Sur la majeure partie de son cours d'eau, il serpente au fond d'une vallée parallèle à la mer bordée au sud par le massif des Ouarsenis et au nord par la chaîne côtière des monts du Dahra et du Zaccar. De Boughzoul à l'embouchure du Chellif, la distance en ligne droite est d'environ 250 km et la dénivellation à peu près 625 m. Durant tout ce parcours, l'Oued Chellif ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive droite sauf l'Oued Ebda et l'Oued RasOuahrane, mais sur sa rive gauche, il collecte les eaux de l'Oued Deurdeur, Harreza, Rouina Zeddine, Fodda, Sly, Rhiou, Djediouia et l'affluent important plus au Ouest : Oued Mina qui suit une direction Sud-Nord.
- Les cours d'eau du massif Côtier du Dahra, qui s'étend sur une centaine de kilomètres d'Est en Ouest et sur une trentaine de kilomètres de large, sont orientés Sud-Nord vers

la méditerranée et sont très courts et présentent une forte pente (Oued Damous, Allala, Tarzoult et Kramis).

De cet ensemble, il est possible de délimiter trois grandes parties du bassin :

- ❖ Le bassin Chellif à l'amont du barrage Boughzoul : correspondant à l'Oued Touilet Nahr Ouassel ainsi que le bassin du Zahrez.
- ❖ Le bassin Chellif à l'aval du barrage Boughzoul : formé par l'Oued Chellif et ses affluents jusqu'à son embouchure.
- ❖ Le bassin Côtier-Dahra : correspondant de l'Ouest à l'Est aux Oueds de Kramis, Allala et Damous. (Mehaiguen, 2005).

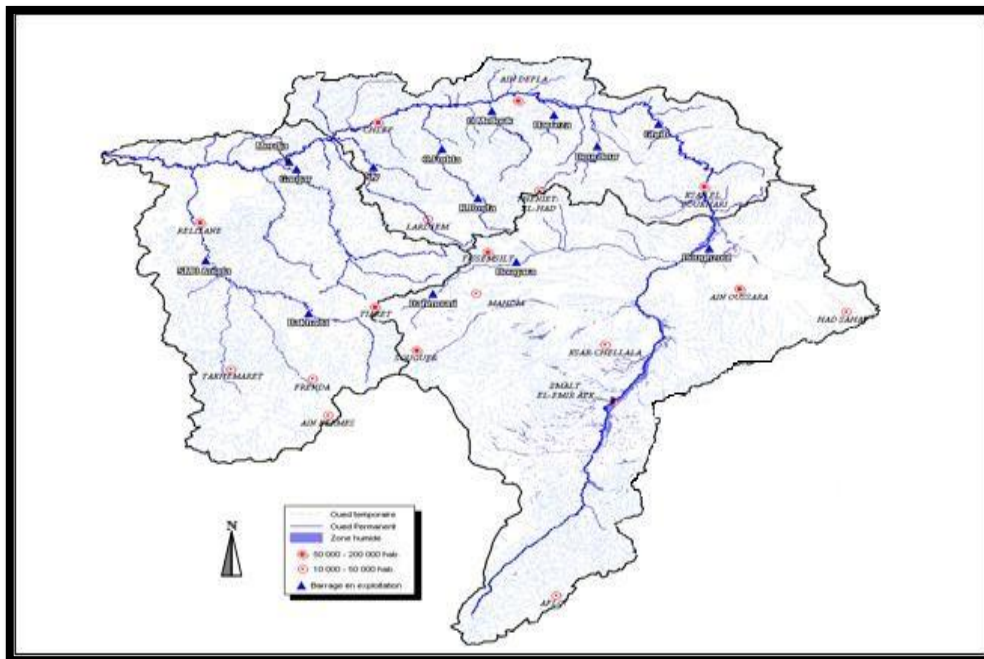


Figure III.2. Le réseau hydrographique du bassin versant du Chellif. (Mehaiguen, 2005)

III.2.1.3. Morphologie du bassin

Le bassin versant du Chellif se compose de 36 sous bassins correspondant aux unités hydrologiques, certaines sont contrôlées par des stations hydrométriques.

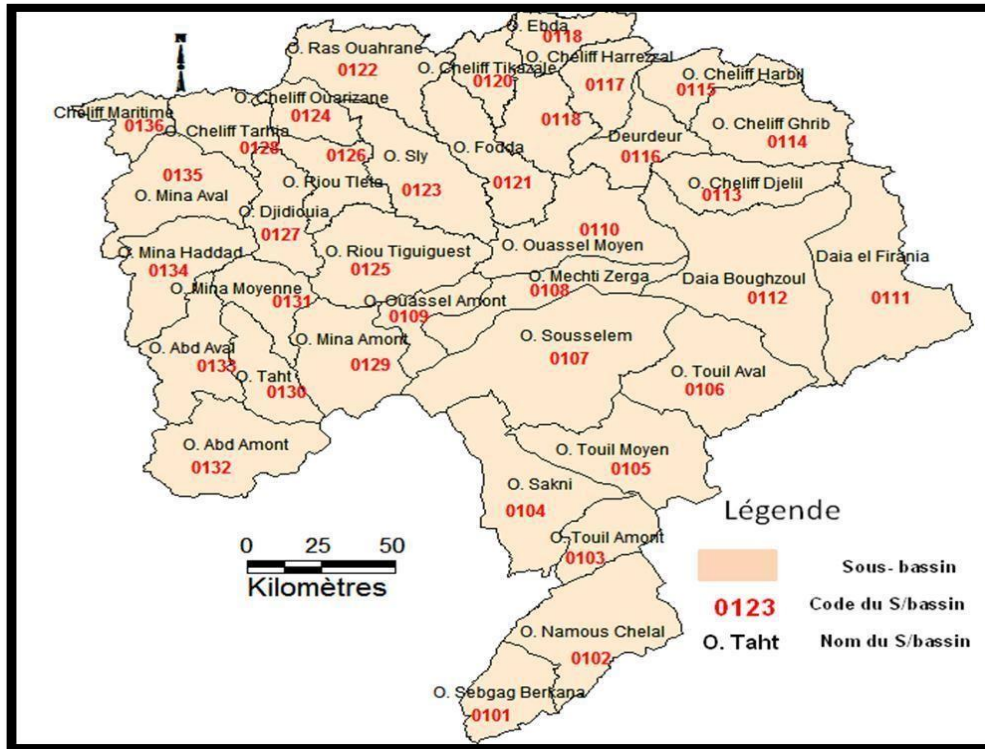


Figure III.3. Carte de situation des sous bassins versants du Chellif (Elmeddahi, 2016)

A. La lithologie du bassin versant

L'Ebda assure par ses barres de calcaires à joint siliceux et calcschiste très imperméables (au Nord) une fermeture hydrologique. Les autres bassins relèvent de la tectonique de nappe massif Tellien.

Les autres formations, toutes très imperméables comprennent du flysch de l'Albo-Cénomaniens, qui couvre 68 % de la surface de Zeddine, avec pour le Fodda des pentes très fortes. Puis le complexe Marnes, Grés, Calcaires du Crétacé supérieur, fortement tectonisés, broyés, redressés.

Un point commun entre ces bassins: le matériel transporté par les rivières consiste en sable et limons, argile et sels dissous.

B. Pédologie du bassin versant

Les sols du bassin de Chellif sont composés de quatre grands ensembles.

- Les sols alluviaux peu évolués du bassin de Chellif ont des caractères qui dépendent essentiellement des modes d'alluvionnement. Les caractères qui sont

déterminés par la nature des alluvions sont relativement constants ;

- Les sols hydromorphes sont assez étendus malgré le climat. Parfois ils sont dus à l'affleurement des nappes phréatiques ;
- Les sols salés des plaines du Chellif sont dans la très grande majorité des cas des sols primaires dans lesquels la dynamique saisonnière des sels est assez faible ;
- Le type de sols automorphes des plaines de Chellif est le sol marron.

Les principaux caractères communs de tous ces sols sont un pH supérieur à 7, la présence d'horizons d'accumulation du calcaire même lorsque la roche mère n'est pas carbonatée, une nette argilification, des teneurs en sels solubles et la répartition des matières organiques.

C. Végétation du bassin versant

Les sols du Bas-Chellif sont, soit occupés par l'agriculture, soit abandonnés pour être occupés par la végétation halophyte. L'agriculture concerne essentiellement :

- les vergers d'agrumes et d'oliviers dont la date de plantation remonte le plus souvent au milieu du vingtième siècle ; ces vergers sont irrigués et se localisent le plus souvent dans les périmètres des oueds Rhiou, Djédiouia et Ouarizane ;
- les cultures maraîchères irriguées (melon, pastèque, artichaut, oignon...) sont cultivées dans les périmètres irrigués et se concentrent au bord des lits d'oueds ;
- les cultures céréalières en sec principalement sur les sols calcimagnésiques du plateau de Benziane. On les retrouve également dans les périmètres irrigués.

Selon l'étude de **MCDONALD et BNEDER (1990)**, ces types de cultures occupent respectivement : orge 20 %, blé 8.5 %, olivier 3.6 %, melons, pastèques et artichaut 6.7 % de la surface agricole utile. Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps. En été, certains types de sols, tels que ceux de la Gaa sont totalement dépourvus de végétation.

D. Géologie du bassin versant

Les plaines de Chellif correspondent à un Chapelet de bassin de sédimentation échelonné entre les méridiens d'Alger et de Mostaganem, en Algérie Centrale. Ces bassins occupent le fond du synclinorium intertellien et sont séparés par des seuils qui correspondent à des soulèvements transversaux; les mouvements tectoniques se manifestent

par des tremblements de terre. L'étude des sols et des niveaux a confirmé la persistance de mouvement tectonique : les plaines sont des bassins de sédimentation et les nappes alluviales récentes s'étalent largement dans les zones où la subsidence est maxima, les formations anciennes n'étant conservées que le long des bordures des plaines.

E. Climatologie du bassin versant

Le climat du Chellif se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides et peut être appelé méditerranéen semi-aride moyen tempéré (Gomer, 1994). La température moyenne annuelle est de 18.7 °C. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 457 mm selon la carte d'isohyètes établie par l'ANRH (ANRH, 1993). L'humidité relative est de 64 %. La saison pluvieuse s'étale sur 9 mois (de Septembre à Mai) avec un maximum enregistré entre Février et Mars.

III.2.1.4. Caractéristiques morphologiques du bassin

III.2.1.4.1. Caractéristiques de forme

Nous, nous intéressons dans cette partie particulièrement aux unités hydrologiques. Les caractéristiques de forme des sous bassins représentatif du Chellif sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau III.1. Caractéristiques de forme des sous bassins du Chellif

| Sous Bassins | Code Sous Bassin | Périmètre (km) | Surface (km ²) | Indice de compacité (km) | Longueur rectan. Equiv. (km) | Largeur rectan. Equiv. (km) |
|---------------------|------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Oued Sebgag Berkana | 0101 | 139.50 | 791.00 | 2.01 | 19.00 | 62.00 |
| Oued Namous Chelal | 0102 | 268.50 | 2019.00 | 1.67 | 38.00 | 100.00 |
| Oued Touil Amont | 0103 | 177.00 | 963.80 | 1.60 | 25.00 | 63.00 |
| Oued Sakni | 0104 | 156.50 | 1329.00 | 1.50 | 23.00 | 52.00 |
| Oued Touil Moyen | 0105 | 203.30 | 1403.00 | 1.52 | 30.00 | 69.00 |
| Oued Touil Aval | 0106 | 233.90 | 2033.00 | 1.45 | 35.00 | 76.00 |
| Oued Soussalem | 0107 | 292.70 | 2833.00 | 1.54 | 42.00 | 101.00 |
| Oued Mehti Zerga | 0108 | 251.30 | 1549.00 | 1.79 | 35.00 | 100.00 |
| Oued Ouassel Amont | 0109 | 152.00 | 699.30 | 1.61 | 22.00 | 55.00 |
| Oued Ouassel Moyen | 0110 | 222.10 | 1403.00 | 1.66 | 31.00 | 82.00 |
| Dait El Firania | 0111 | 284.60 | 2339.00 | 1.65 | 40.00 | 105.00 |
| Diaa Boughezoul | 0112 | 338.80 | 2617.00 | 1.85 | 47.00 | 140.00 |
| Oued Chellif Djelil | 0113 | 179.96 | 992.85 | 1.60 | 77.10 | 12.88 |
| Oued Chellif Ghrib | 0114 | 176.81 | 1383.69 | 1.33 | 68.08 | 20.32 |
| Oued Chellif Harbil | 0115 | 167.95 | 767.29 | 1.70 | 73.54 | 10.43 |
| Oued Deurdeur | 0116 | 185.65 | 857.64 | 1.46 | 82.42 | 10.41 |

| | | | | | | |
|------------------------|------|--------|---------|------|-------|-------|
| Oued Chellif Harraza | 0117 | 142.68 | 743.67 | 1.76 | 58.66 | 12.68 |
| Oued Ebda | 0118 | 141.10 | 680.55 | 1.51 | 59.02 | 11.53 |
| Oued Rouina Zeddine | 0119 | 173.69 | 898.54 | 1.62 | 74.84 | 12.01 |
| Oued Chellif Tikazel | 0120 | 142.58 | 570.52 | 1.67 | 62.10 | 9.19 |
| Oued Fodda | 0121 | 212.75 | 1161.32 | 1.75 | 94.02 | 12.35 |
| Oued Ras Ouahrane | 0122 | 224.12 | 1437.44 | 1.66 | 97.28 | 14.78 |
| Oued Sly | 0123 | 225.12 | 1405.47 | 1.68 | 98.26 | 14.30 |
| Oued Chellif Ouarizane | 0124 | 122.13 | 564.72 | 1.44 | 49.70 | 11.36 |
| Oued Tiguiguest | 0125 | 202.89 | 1513.02 | 1.46 | 83.28 | 18.17 |
| Oued Rhiou Tleta | 0126 | 185.18 | 928.45 | 1.70 | 81.15 | 11.44 |
| Oued Djidiouia | 0127 | 162.00 | 799.40 | 1.60 | 69.50 | 11.50 |
| Oued Chellif Tarhia | 0128 | 145.00 | 759.63 | 1.47 | 59.80 | 12.70 |
| Oued Mina Amont | 0129 | 176.00 | 1277.66 | 1.38 | 69.66 | 18.34 |
| Oued Taht | 0130 | 128.00 | 657.57 | 1.40 | 51.14 | 12.86 |
| Oued Mina Moyenne | 0131 | 162.00 | 892.21 | 1.52 | 67.85 | 13.15 |
| Oued Abd Amont | 0132 | 188.00 | 1352.80 | 1.43 | 76.26 | 17.74 |
| Oued Abd Aval | 0133 | 198.00 | 1228.61 | 1.58 | 84.45 | 14.55 |
| Oued Mina Hadda | 0134 | 193.00 | 1250.98 | 1.53 | 81.07 | 15.43 |
| Oued Mina Aval | 0135 | 212.00 | 1462.52 | 1.55 | 98.69 | 16.31 |
| Oued Chellif Maritime | 0136 | 112.00 | 431.41 | 1.51 | 46.78 | 9.22 |

Les valeurs de l'indice de compacité (Tableau III.1) montrent que les sous bassins sont de forme allongée ($K_c > 1$).

III.2.1.4.2. Caractéristiques du relief

III.2.1.4.2.1. Hypsométrie

Les valeurs des altitudes moyennes, maximales et minimales des sous bassins du bassin versant du Chellif sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.2. Altitudes moyennes, maximales et minimales des sous bassins du Chellif

| Sous bassins | Code Sous Bassin | Hmoy | Hmin | Hmax |
|---------------------|------------------|------|------|------|
| Oued Sebgag Berkana | 0101 | 1410 | 1100 | 1700 |
| Oued Namous Chelal | 0102 | 1205 | 900 | 1700 |
| Oued Touil Amont | 0103 | 1050 | 800 | 1300 |
| Oued Sakni | 0104 | 1130 | 800 | 1500 |
| Oued Touil Moyen | 0105 | 970 | 700 | 1400 |
| Oued Touil Aval | 0106 | 870 | 600 | 1300 |
| Oued Soussalem | 0107 | 1000 | 600 | 1500 |
| Oued Mechti Zerga | 0108 | 890 | 600 | 1200 |
| Oued Ouassel Amont | 0109 | 1060 | 800 | 1300 |
| Oued Ouassel Moyen | 0110 | 950 | 700 | 1700 |
| Dait El Firania | 0111 | 840 | 600 | 1500 |
| Diaa Bougezoul | 0112 | 790 | 600 | 1600 |
| Oued Chellif Djelil | 0113 | 900 | 600 | 1800 |

| | | | | |
|------------------------|------|------|-----|------|
| Oued Chellif Ghrib | 0114 | 870 | 500 | 1600 |
| Oued Chellif Harbil | 0115 | 600 | 300 | 1300 |
| Oued Deurdeur | 0116 | 980 | 300 | 1800 |
| Oued Chellif Harraza | 0117 | 575 | 300 | 1600 |
| Oued Ebda | 0118 | 610 | 200 | 1500 |
| Oued Rouina Zeddine | 0119 | 640 | 200 | 1700 |
| Oued Chellif Tikazel | 0120 | 370 | 200 | 1100 |
| Oued Fodda | 0121 | 785 | 200 | 1800 |
| Oued Ras Ouahrane | 0122 | 375 | 100 | 1100 |
| Oued Sly | 0123 | 710 | 100 | 1700 |
| Oued Chellif Ouarizane | 0124 | 275 | 75 | 1000 |
| Oued Tiguiguest | 0125 | 805 | 300 | 1300 |
| Oued Rhiou Tleta | 0126 | 460 | 75 | 1300 |
| Oued Djidiouia | 0127 | 550 | 200 | 1000 |
| Oued Chellif Tarhia | 0128 | 310 | 50 | 800 |
| Oued Mina Amont | 0129 | 1095 | 600 | 1300 |
| Oued Taht | 0130 | 910 | 600 | 1300 |
| Oued Mina Moyenne | 0131 | 650 | 300 | 1300 |
| Oued Abd Amont | 0132 | 1100 | 800 | 1400 |
| Oued Abd Aval | 0133 | 775 | 300 | 1300 |
| Oued Mina Hadda | 0134 | 490 | 100 | 1200 |
| Oued Mina Aval | 0135 | 345 | 50 | 900 |
| Oued Chellif Maritime | 0136 | 215 | 0 | 700 |

III.2.1.4.2.2. Indice de pente

L'indice de pente est très utilisé, il sert comme la base des classifications des bassins versants. La pente moyenne et globale des sous bassins du Chellif sont portées dans le tableau suivant.

Tableau III.3. Indice de pente des sous bassins du Chellif

| Sous bassins | Code Sous Bassin | Ig |
|---------------------|------------------|-------|
| Oued Sebgag Berkana | 0101 | 6.45 |
| Oued Namous Chelal | 0102 | 5.00 |
| Oued Touil Amont | 0103 | 4.76 |
| Oued Sakni | 0104 | 7.69 |
| Oued Touil Moyen | 0105 | 5.80 |
| Oued Touil Aval | 0106 | 6.58 |
| Oued Sousselem | 0107 | 6.93 |
| Oued Mechti Zerga | 0108 | 4.00 |
| Oued Ouassel Amont | 0109 | 5.45 |
| Oued Ouassel Moyen | 0110 | 6.10 |
| Dait El Firania | 0111 | 4.76 |
| Diaa Boughezoul | 0112 | 4.29 |
| Oued Chellif Djelil | 0113 | 16.91 |

| | | |
|------------------------|------|-------|
| Oued Chellif Ghrib | 0114 | 17.67 |
| Oued Chellif Harbil | 0115 | 15.01 |
| Oued Deurdeur | 0116 | 19.41 |
| Oued Chellif Harraza | 0117 | 23.87 |
| Oued Ebda | 0118 | 23.73 |
| Oued Rouina Zeddine | 0119 | 21.38 |
| Oued Chellif Tikazel | 0120 | 14.49 |
| Oued Fodda | 0121 | 18.08 |
| Oued Ras Ouahrane | 0122 | 11.31 |
| Oued Sly | 0123 | 17.30 |
| Oued Chellif Ouarizane | 0124 | 20.12 |
| Oued Tiguiguest | 0125 | 13.21 |
| Oued Rhiou Tleta | 0126 | 16.02 |
| Oued Djidiouia | 0127 | 12.95 |
| Oued Chellif Tarhia | 0128 | 10.04 |
| Oued Mina Amont | 0129 | 11.51 |
| Oued Taht | 0130 | 15.65 |
| Oued Mina Moyenne | 0131 | 16.21 |
| Oued Abd Amont | 0132 | 9.22 |
| Oued Abd Aval | 0133 | 13.03 |
| Oued Mina Hadda | 0134 | 14.80 |
| Oued Mina Aval | 0135 | 10.03 |
| Oued Chellif Maritime | 0136 | 12.85 |

III.2.1.4.2.3. Hydrographie

Le tableau suivant donne la densité de drainage des sous bassins du Chellif.

Tableau III.4. Densité de drainage des sous bassins du Chellif

| Sous bassins | Code Sous Bassin | Dd |
|----------------------|------------------|------|
| Oued Sebgag Berkana | 0101 | 0.69 |
| Oued Namous Chelal | 0102 | 0.69 |
| Oued Touil Amont | 0103 | 0.56 |
| Oued Sakni | 0104 | 0.27 |
| Oued Touil Moyen | 0105 | 0.46 |
| Oued Touil Aval | 0106 | 0.42 |
| Oued Sousselem | 0107 | 0.56 |
| Oued Mechti Zerga | 0108 | 0.52 |
| Oued Ouassel Amont | 0109 | 0.46 |
| Oued Ouassel Moyen | 0110 | 0.67 |
| Dait El Firania | 0111 | 0.34 |
| Diaa Bougezoul | 0112 | 0.42 |
| Oued Chellif Djelil | 0113 | 0.61 |
| Oued Chellif Ghrib | 0114 | 0.57 |
| Oued Chellif Harbil | 0115 | 0.52 |
| Oued Deurdeur | 0116 | 0.59 |
| Oued Chellif Harraza | 0117 | 0.48 |

| | | |
|------------------------|------|------|
| Oued Ebda | 0118 | 0.69 |
| Oued Rouina Zeddine | 0119 | 0.84 |
| Oued Chellif Tikazel | 0120 | 0.70 |
| Oued Fodda | 0121 | 0.93 |
| Oued Ras Ouahrane | 0122 | 0.81 |
| Oued Sly | 0123 | 0.88 |
| Oued Chellif Ouarizane | 0124 | 0.74 |
| Oued Tiguiguest | 0125 | 0.71 |
| Oued Rhiou Tleta | 0126 | 0.77 |
| Oued Djidiouia | 0127 | 0.77 |
| Oued Chellif Tarhia | 0128 | 0.65 |
| Oued Mina Amont | 0129 | 0.62 |
| Oued Taht | 0130 | 0.69 |
| Oued Mina Moyenne | 0131 | 0.62 |
| Oued Abd Amont | 0132 | 0.45 |
| Oued Abd Aval | 0133 | 0.71 |
| Oued Mina Hadda | 0134 | 0.81 |
| Oued Mina Aval | 0135 | 0.48 |
| Oued Chellif Maritime | 0136 | 0.45 |

III.3. Données utilisées

III.3.1. Données collectées

La collecte de données hydrométéorologiques représente une étape importante de toute recherche scientifique notamment en hydrologie de surface. Dans le cas de notre étude, nous avons collecté les données (pluies maximales journalières) des 131 stations implantées dans différents endroits de la zone d'étude.

Celles-ci ont été fournies par l'antenne régionale de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Oran.

III.3.2. Critères de choix des stations pluviométriques à utiliser

Notre première préoccupation, dans le cadre de la présente étude, était d'identifier les stations pluviométriques à retenir pour la suite de cette recherche. Nous avons procédé alors au recensement de toutes les stations pluviométriques intérieures et limitrophes du bassin.

Un seul critère a été appliqué aux stations recensées, en vue de bâtir la liste finale des stations à conserver. Ce critère concerne la taille des séries de données des stations. Ce dernier, pour des raisons de fiabilité des études statistiques, doit être supérieur à un seuil minimal.

Afin de pouvoir appliquer la méthode des maxima, le nombre d'observations pour chaque série formée doit être supérieur à 20 ($n > 20$) (Hebal et Remini, 2011).

Les noms, codes et coordonnées de quelques stations choisies (une par sous bassin) parmi celles collectées dans cette étude sont données dans le tableau III.5, cela concerne tous ce qui vient par la suite. Le reste des stations sont données dans l'annexe 01.

Tableau III.5. Caractéristiques des stations pluviométriques retenues de Chellif

| Nom de station | Code station | X (km) | Y (km) |
|-----------------------|--------------|--------|--------|
| / | 010204 | - | - |
| / | 010502 | - | - |
| Sidi Boudaoud | 010706 | 470.59 | 229.55 |
| Mehdia | 010803 | - | - |
| Sougueur | 010901 | 390.55 | 210.75 |
| Colonel Bougara | 011003 | 433.30 | 251.15 |
| / | 011106 | - | - |
| Chahbounia | 011206 | 491.30 | 249.35 |
| Ksar El Boukhari | 011301 | 504.55 | 288.10 |
| Zoubiria Mongomo | 011404 | 513.50 | 312.80 |
| Tamzguida | 011501 | 497.00 | 323.89 |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603 | 461.10 | 285.30 |
| Arib Chellif | 011702 | 245.20 | 230.00 |
| Arib Ebda | 011801 | 439.60 | 335.60 |
| El Touaibia | 011901 | 431.35 | 312.85 |
| El Abadia 1 | 012001 | 407.15 | 327.90 |
| Fodda Bge | 012108 | 400.95 | 305.90 |
| Benairia | 012205 | 381.85 | 340.69 |
| Souk El Had | 012304 | 395.85 | 272.70 |
| Merdja Kh | 012403 | 347.65 | 306.05 |
| Oued Lilli | 012501 | 370.32 | 248.12 |
| Ammi Moussa | 012605 | 357.40 | 286.15 |
| Kenenda | 012703 | - | - |
| El Hmadna Village | 012802 | 326.45 | 291.55 |
| Tiaret | 012908 | 373.40 | 232.80 |
| Kef Mahboula | 013001 | 331.45 | 224.33 |
| / | 013103 | - | - |
| / | 013201 | - | - |
| Takhmaret | 013304 | 316.40 | 203.10 |
| / | 013410 | - | - |
| Relizaine | 013505 | 304.54 | 275.43 |
| / | 013606 | - | - |

Le nombre d'observations des échantillons est différent d'une station à l'autre, selon la durée de fonctionnement de celle-ci, sur la période fournie et le nombre d'années lacunaires.

Le traitement des données était un travail long et fastidieux, vu la qualité médiocre de celles-ci. Après critique de données tout en respectant la condition fixée plus haut, 111 séries de données ont été retenues parmi les 131 fournies.

III.3.3. Localisation des stations retenues

L'emplacement de ces stations est donné dans la figure suivante.

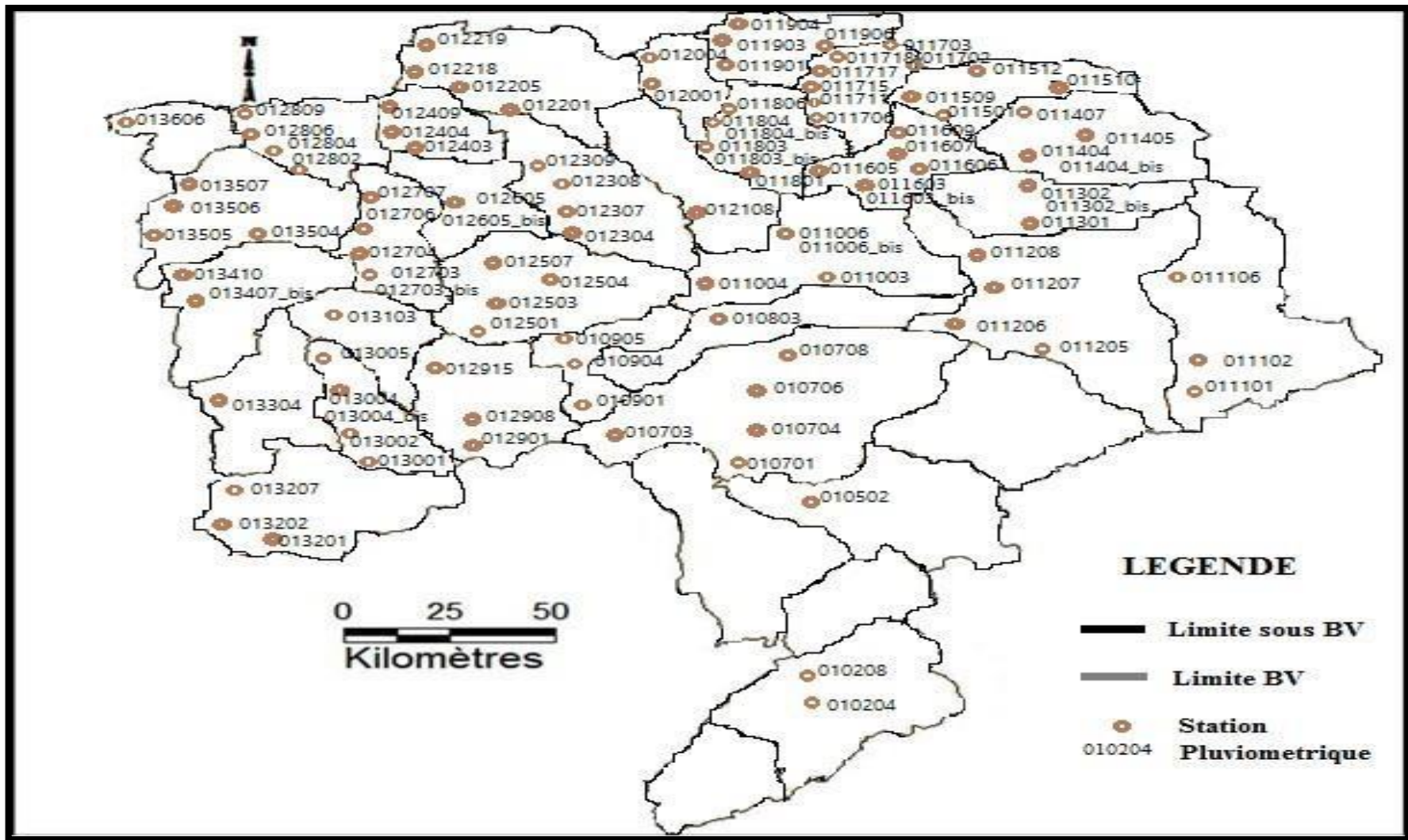


Figure III.4. Emplacement des stations pluviométriques choisies

III.3.4. Périodes de fonctionnement des stations pluviométriques utilisées

Les données des stations utilisées sont incluses entre l'année hydrologique (1905–1906) et l'année (2004–2005), l'année hydrologique débute le 1^{er} septembre et se termine le 31 août de l'année suivante. Le tableau suivant donne la période de fonctionnement de quelques stations retenue (une par sous bassin), le reste des stations sont présentées dans l'Annexe 02.

Tableau III.6. La période de fonctionnement des stations retenues

| Nom de station | Code station | Données Fournies |
|-----------------------|--------------|------------------|
| / | 010204 | 1967-2003 |
| / | 010502 | 1967-2004 |
| Sidi Boudaoud | 010706 | 1972-2004 |
| Mehdia | 010803 | 1952-2003 |
| Sougueur | 010901 | 1913-2003 |
| Colonel Bougara | 011003 | 1925-2003 |
| / | 011106 | 1980-2004 |
| Chahbounia | 011206 | 1967-2004 |
| Ksar El Boukhari | 011301 | 1972-2004 |
| Zoubiria Mongomo | 011404 | 1913-1955 |
| Tamzguida | 011501 | 1969-1995 |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603 | 1921-1945 |
| Arib Chellif | 011702 | 1975-2004 |
| Arib Ebda | 011801 | 1966-2004 |
| El Touaibia | 011901 | 1970-2004 |
| El Abadia 1 | 012001 | 1972-2004 |
| Fodda Bge | 012108 | 1948-1994 |
| Benairia | 012205 | 1969-2005 |
| Souk El Had | 012304 | 1967-2003 |
| Merdja Kh | 012403 | 1970-1991 |
| Oued Lilli | 012501 | 1975-2003 |
| Ammi Moussa | 012605 | 1916-1955 |
| Kenenda | 012703 | 1938-1961 |
| El Hmadna Village | 012802 | 1967-2003 |
| Tiaret | 012908 | 1964-2003 |
| Kef Mahboula | 013001 | 1968-1996 |
| / | 013103 | 1970-2000 |
| / | 013201 | 1977-2003 |

| | | |
|-----------|--------|-----------|
| Takhmaret | 013304 | 1972-2003 |
| / | 013410 | 1972-2003 |
| Relizaine | 013505 | 1967-2003 |
| / | 013606 | 1970-2003 |

III.3.5. Comblement de lacunes d'observations

Le comblement de lacunes d'observation a été effectué par la méthode de la régression linéaire. Cette méthode permet le comblement de lacunes d'observation par rapport à une station de référence, cette dernière doit être proche à une station à corriger. Pour combler les lacunes d'une station Y, on choisit la station de référence X qui lui était le mieux corrélée. Ainsi, par application de l'équation de la droite de régression linéaire, on procède au calcul des valeurs de Y manquantes.

Le tableau suivant donne le nombre de lacunes enregistrées pour quelques stations répondant aux critères de choix retenus plus haut, pour le reste des stations (voir Annexe 03).

Tableau III.7. Nombre d'observations et lacunes pour chaque station

| Nom de station | Code station | Nombre d'observation | Nombre de lacune | Pourcentage de lacunes (%) |
|-----------------------|--------------|----------------------|------------------|----------------------------|
| / | 010204 | 68 | 2 | 5.40 |
| / | 010502 | 38 | 4 | 10.52 |
| Sidi Boudaoud | 010706 | 33 | 5 | 15.15 |
| Mehdia | 010803 | 52 | 2 | 3.84 |
| Sougueur | 010901 | 91 | 2 | 2.19 |
| Colonel Bougara | 011003 | 79 | 4 | 5.06 |
| / | 011106 | 25 | 4 | 16.00 |
| Chahbounia | 011206 | 38 | 5 | 13.15 |
| Ksar El Boukhari | 011301 | 33 | 4 | 12.12 |
| Zoubiria Mongomo | 011404 | 43 | 2 | 4.65 |
| Tamzguida | 011501 | 27 | 1 | 3.84 |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603 | 25 | 1 | 4.00 |
| Arib Chellif | 011702 | 30 | 1 | 3.03 |
| Arib Ebda | 011801 | 39 | 1 | 2.56 |
| El Touaibia | 011901 | 35 | 0 | 0 |
| El Abadia 1 | 012001 | 33 | 1 | 3.03 |
| Fodda Bge | 012108 | 47 | 2 | 4.25 |
| Benairia | 012205 | 37 | 4 | 10.81 |
| Souk El Had | 012304 | 37 | 5 | 13.51 |
| Merdja Kh | 012403 | 22 | 2 | 7.69 |
| Oued Lilli | 012501 | 29 | 0 | 0 |
| Ammi Moussa | 012605 | 40 | 0 | 0 |
| Kenenda | 012703 | 24 | 0 | 0 |
| El Hmadna Village | 012802 | 37 | 0 | 0 |

| | | | | |
|--------------|--------|----|---|-------|
| Tiaret | 012908 | 40 | 1 | 2.50 |
| Kef Mahboula | 013001 | 29 | 2 | 6.89 |
| / | 013103 | 31 | 0 | 0 |
| / | 013201 | 27 | 0 | 0 |
| Takhmaret | 013304 | 32 | 0 | 0 |
| / | 013410 | 32 | 2 | 6.25 |
| Relizaine | 013505 | 37 | 4 | 10.81 |
| / | 013606 | 34 | 2 | 5.88 |

III.3.6. Application des tests de vérification des hypothèses IID

Pour qu'on puisse exploiter le nombre maximum de stations dans cette étude, un seuil de signification de 1 % a été choisi. Dans ces conditions, le tableau qui suit donne les résultats des tests de vérification des hypothèses IID, appliqués aux différents échantillons.

Les tests utilisés dans ce travail sont : (I) Indépendance : absence d'autocorrélation (test Wald–Wolfowitz) ; (ID) Identiquement Distribuées : homogénéité (test d'homogénéité à l'échelle annuelle de Wilcoxon), stationnarité (test de Kendall).

Le tableau III.8 présente les résultats des trois tests utilisés pour vérifier si les données des échantillons collectés sont indépendantes et identiquement distribuées. On doit s'assurer de cette condition afin de pouvoir ajuster une distribution statistique par la suite. Le tableau suivant donne les résultats de ces tests appliqués à quelques échantillons choisis (un par sous bassin), le reste des résultats se trouvent sur l'annexe 04.

Tableau III.8. Résultat de la vérification des hypothèses IID

| Nom de station | Code station | Test d'indépendance | | | Test de Kendall | | | Test d'homogénéité | | |
|-----------------------|--------------|---------------------|------|----------|-----------------|------|----------|--------------------|------|----------|
| | | P | U | Décision | P | K | Décision | P | W | Décision |
| / | 010204 | 0.91 | 0.10 | Accepté | 0.05 | 1.93 | Accepté | 0.01 | 2.52 | Accepté |
| / | 010502 | 0.74 | 0.32 | Accepté | 0.08 | 1.71 | Accepté | 0.06 | 1.82 | Accepté |
| Sidi Boudaoud | 010706 | 0.46 | 0.72 | Accepté | 0.02 | 2.26 | Accepté | 0.01 | 2.34 | Accepté |
| Mehdia | 010803 | 0.24 | 1.17 | Accepté | 0.27 | 1.09 | Accepté | 0.66 | 0.43 | Accepté |
| Sougueur | 010901 | 0.53 | 0.62 | Accepté | 0.04 | 2.01 | Accepté | 0.13 | 1.50 | Accepté |
| Colonel Bougara | 011003 | 0.90 | 0.11 | Accepté | 0.39 | 0.84 | Accepté | 0.49 | 0.68 | Accepté |
| / | 011106 | 0.52 | 0.64 | Accepté | 0.08 | 1.70 | Accepté | 0.02 | 2.20 | Accepté |
| Chahbounia | 011206 | 0.53 | 0.62 | Accepté | 0.33 | 0.95 | Accepté | 0.46 | 0.73 | Accepté |
| Ksar El Boukhari | 011301 | 0.28 | 1.06 | Accepté | 0.55 | 0.58 | Accepté | 0.44 | 0.75 | Accepté |
| Zoubiria Mongomo | 011404 | 0.87 | 0.15 | Accepté | 0.76 | 0.29 | Accepté | 0.41 | 0.81 | Accepté |
| Tamzguida | 011501 | 0.28 | 1.07 | Accepté | 0.06 | 1.85 | Accepté | 0.19 | 1.31 | Accepté |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603 | 0.18 | 1.33 | Accepté | 0.72 | 0.35 | Accepté | 0.89 | 0.13 | Accepté |
| Arib Chellif | 011702 | 0.88 | 0.14 | Accepté | 0.02 | 2.31 | Accepté | 0.11 | 1.57 | Accepté |
| Arib Ebda | 011801 | 0.11 | 1.59 | Accepté | 0.19 | 1.28 | Accepté | 0.06 | 1.82 | Accepté |
| El Touaibia | 011901 | 0.51 | 0.65 | Accepté | 0.26 | 1.12 | Accepté | 0.29 | 1.05 | Accepté |
| El Abadia 1 | 012001 | 0.51 | 0.65 | Accepté | 0.39 | 0.85 | Accepté | 0.65 | 0.45 | Accepté |
| Fodda Bge | 012108 | 0.85 | 0.18 | Accepté | 0.27 | 1.09 | Accepté | 0.18 | 1.34 | Accepté |
| Benairia | 012205 | 0.72 | 0.34 | Accepté | 0.76 | 0.30 | Accepté | 0.80 | 0.24 | Accepté |
| Souk El Had | 012304 | 0.41 | 0.81 | Accepté | 0.48 | 0.69 | Accepté | 0.15 | 1.42 | Accepté |
| Merdja Kh | 012403 | 0.71 | 0.35 | Accepté | 0.01 | 2.48 | Accepté | 0.05 | 1.94 | Accepté |
| Oued Lilli | 012501 | 0.07 | 1.80 | Accepté | 0.14 | 1.44 | Accepté | 0.32 | 0.98 | Accepté |
| Ammi Moussa | 012605 | 0.51 | 0.65 | Accepté | 0.64 | 0.46 | Accepté | 0.96 | 0.04 | Accepté |
| Kenenda | 012703 | 0.27 | 1.09 | Accepté | 0.32 | 0.99 | Accepté | 0.97 | 0.02 | Accepté |
| El Hmadna Village | 012802 | 0.02 | 2.27 | Accepté | 0.17 | 1.36 | Accepté | 0.12 | 1.53 | Accepté |

| | | | | | | | | | | |
|--------------|--------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| Tiaret | 012908 | 0.01 | 0.43 | Accepté | 0.68 | 0.40 | Accepté | 0.90 | 0.12 | Accepté |
| Kef Mahboula | 013001 | 0.91 | 0.10 | Accepté | 0.61 | 0.50 | Accepté | 0.72 | 0.34 | Accepté |
| / | 013103 | 0.01 | 2.49 | Accepté | 0.33 | 0.96 | Accepté | 0.18 | 1.32 | Accepté |
| / | 013201 | 0.20 | 1.25 | Accepté | 0.60 | 0.52 | Accepté | 0.62 | 0.48 | Accepté |
| Takhmaret | 013304 | 0.03 | 2.07 | Accepté | 0.25 | 1.13 | Accepté | 0.71 | 0.35 | Accepté |
| / | 013410 | 0.64 | 0.46 | Accepté | 0.77 | 0.29 | Accepté | 0.90 | 0.11 | Accepté |
| Relizaine | 013505 | 0.64 | 0.46 | Accepté | 0.42 | 0.79 | Accepté | 0.44 | 0.75 | Accepté |
| / | 013606 | 0.20 | 1.26 | Accepté | 0.46 | 0.72 | Accepté | 0.91 | 0.10 | Accepté |

Les résultats finals, montrent que 106 séries de données parmi les 111 traitées et comblées plus haut, sont indépendantes et identiquement distribuées, et par conséquent une analyse fréquentielle peut être appliquée.



Chapitre IV :

Matériels et méthodes

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous tentons de donner des définitions des logiciels utilisés ainsi que les méthodes suivies au cours de cette étude.

IV.2. Matériels utilisés

IV.2.1. Présentation des logiciels utilisés

IV.2.1.1. Le logiciel HYFRAN-PLUS (HYdrological FREquency ANalysis PLUS)

Le logiciel HYFRAN-PLUS (HYdrological FREquency ANalysis PLUS) est un système d'aide à la décision, permet d'effectuer une analyse fréquentielle sur un échantillon de données indépendantes et identiquement distribuées (IID). Il comporte des outils statistiques puissants et faciles à utiliser pour analyser des données hydrologiques et en particulier des événements extrêmes. HYFRAN-PLUS peut être également utilisé pour l'analyse de n'importe quelle série de données IID.

HYFRAN-PLUS comporte une interface Windows très conviviale avec des icônes pour :

- Les tests d'hypothèses d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité;
- L'estimation des paramètres pour 21 distributions statistiques;
- L'estimation des événements de période de retour et de leurs intervalles de confiance.

Les méthodes implémentées dans le logiciel HYFRAN-PLUS offrent une grande flexibilité pour analyser une large gamme de séries particulièrement des données de valeurs extrêmes. La comparaison des ajustements peut être réalisée à l'aide des critères d'Information d'Akaike (AIC), d'Information Bayésien (BIC) et de graphiques. Ces approches permettent de tester la qualité d'ajustement au niveau de la partie centrale de la distribution. Un Système d'aide à la décision (SAD), a été récemment inclus dans HYFRAN-PLUS, avec des outils puissants pour le choix du meilleur ajustement pour tenir compte des valeurs extrêmes. Le développement du SAD est basé sur les dernières recherches dans la théorie des valeurs extrêmes et l'analyse du comportement asymptotique des lois de probabilité. Le SAD permet de déterminer la classe des distributions de probabilité qui ont le même comportement

asymptotique que la queue de la distribution empirique. Cette sélection est très importante pour l'estimation des événements de grande période de retour.

IV.2.1.2. Système d'Information Géographique (SIG)

Le système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement.

MapInfo Professional est un système d'information géographique (SIG) à l'origine bureautique créé dans les années 1980 aux États-Unis. C'est un logiciel qui permet de réaliser des cartes en format numérique. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones et images raster. Ce système permet de créer, d'afficher et de modifier toutes formes d'informations géographiquement référencées (**Boukli et Fissa, 2015**).

Ce logiciel nous a permis de créer des cartes détaillées afin d'améliorer les présentations et faciliter la prise de décision.

IV.2.1.3. Le logiciel Excel

Excel est un tableur. Un tableur est un logiciel permettant de manipuler des données numériques et d'effectuer des calculs de manière automatique sur des nombres stockés dans des tableaux. Il permet également de créer facilement des représentations graphiques à partir des données saisies (diagrammes en barres, courbe, diagramme circulaire, etc.).

Un document Excel est appelé classeur. Il est composé d'une ou plusieurs feuilles de calcul. À l'ouverture d'un classeur, Excel présente une feuille de calcul, ainsi que des onglets en bas à gauche de l'écran permettant l'accès à d'autres feuilles de calcul.

Ce logiciel est un outil modifiable et évolutif qui nous permet d'afficher clairement nos données sous forme de tableaux et de graphiques. En plus, les modèles de calcul sont rapides à développer et à modifier. Enfin, il vous fait gagner un temps précieux.

Ce tableur a été utilisé pour traiter et combler les séries lacunaires, en profitant de son outil de régression linéaire très puissant.

IV.3. Méthodes

Dans ce travail nous essayons de donner le modèle statistique le plus adéquat à l'estimation des valeurs rares de pluies maximales journalières du bassin versant du Chellif.

Pour ce faire, la première étape consiste en la détermination du type de modèles qui peut représenter le mieux nos séries de données. La seconde étape s'étend sur l'établissement d'un classement des modèles appartenant au type choisi dans l'étape précédente, et qui présentent la meilleure adéquation aux distributions empiriques étudiées.

IV.3.1. Choix du type de modèles

IV.3.1.1. Rappel sur la théorie des valeurs extrêmes

La Théorie des Valeurs Extrêmes (EVT), nous fournit des outils pour estimer la loi des observations, et calculer les quantiles extrêmes à l'aide de cette loi estimée. Elle permet d'extrapoler le comportement de la queue de distribution des données à partir des plus grandes données observées (**Embrechts et al, 1997**). Elle est basée sur l'approximation asymptotique des lois des maxima convenablement normalisés de vecteurs aléatoires dont les composantes sont des variables supposées I.I.D (Indépendante et Identiquement Distribuée).

Pour l'étude des extrêmes hydrologiques, deux approches ont été développées : la méthode des blocks maxima qui n'analyse que les valeurs maximales sur un intervalle de temps donné (en hydrologie cet intervalle est l'année), et la méthode des excès ou méthode POT (Peaks Over Threshold). Cette méthode ne retient que les valeurs maximales des événements qui dépassent un seuil fixe (threshold). Dans ce travail la première méthode est celle qui sera utilisée, pour cela elle sera développée dans ce qui suit.

L'analyse probabiliste des risques liés à l'occurrence des pluies maximales journalières s'effectue à partir d'un échantillon constitué de la plus forte valeur journalière mesurée chaque année.

Le théorème de Fisher-Tippett (**Fisher et Tippett, 1928**), puis **Gnedenko (1943)** montre que, si l'échantillon des valeurs maximales correctement normalisé, converge à une distribution non-dégénérée, alors il appartient à une des trois distributions suivantes (fonction de répartition fdr) :

$$\Lambda(x) = \exp(-\exp(-x)) \quad x \in \mathfrak{R} \qquad \text{Gumbel} \qquad \text{(IV-1)}$$

$$\Phi_{\xi}(x) = \begin{cases} \exp(-x^{-\xi}) & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad \xi > 0 \qquad \text{Fréchet} \qquad \text{(IV-2)}$$

$$\Psi_{\xi}(x) = \begin{cases} \exp(-(-x^{-\xi})) & x \leq 0 \\ 0 & x > 0 \end{cases} \quad \xi > 0 \qquad \text{Weibull} \qquad \text{(IV-3)}$$

Etant donné qu'il est difficile de travailler avec trois distributions à la fois, **Von Mises (1954)** et **Jenkinson (1955)** ont proposé une famille paramétrique de distribution $G(x) = G_{\mu, \omega, \xi}(x)$ ou distribution des valeurs extrêmes généralisées (GEV) qui permet de résumer toutes les distributions limites possibles de la loi asymptotique du maximum d'un échantillon.

$$G_{\mu, \sigma, \xi}(x) = \begin{cases} \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)_+^{-1}\right)^{\frac{1}{\xi}}\right) & \text{si } \xi \neq 0 \\ \exp\left(-\exp\left(-\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)_+\right)\right) & \text{si } \xi = 0 \end{cases} \qquad \text{(IV-4)}$$

Avec :

- $x_+ = \max(0, x)$

Ainsi le paramètre de forme ξ donne, à travers ses différentes valeurs possibles, une grande flexibilité à la distribution GEV de sorte à prendre en compte les trois types de comportement asymptotiques représentés par les distributions extrêmes ci-dessus :

- Si $\xi > 0$, on dit que G appartient au Domaine d'Attraction de Fréchet (DAF);
- Si $\xi = 0$, on dit que G appartient au Domaine d'Attraction de Gumbel (DAG);
- Si $\xi < 0$, on dit que G appartient au Domaine d'Attraction de Weibull (DAW).

IV.3.1.2. Classification des lois usuelles en hydrologie par type de modèle

A. Classification des lois par domaine d'attraction

Les lois usuelles sont surtout, ceux, appartenant au Domaine d'Attraction de Fréchet (DAF) ou de Gumbel (DAG).

Les spécialistes en mathématique statistique donnent une classification des lois théoriques par rapport à leurs extrémités droites : les lois à décroissance exponentielle (pour la fonction de survie) appartenant au DAG, tandis que les lois à décroissance puissance appartenant au DAF. Nous pouvons classer les lois usuelles en hydrologie comme suit :

Tableau IV.1. Classification des lois usuelles en hydrologie par domaine d'attraction

| Domaine d'attraction | Fréchet ($\xi > 0$) | Gumbel ($\xi = 0$) |
|----------------------|--|--|
| Loi | Fréchet, Halphen B^{-1} , Inverse Gamma, Log-Pearson III, Pareto | Gumbel, Normale, Log-Normale, Gamma, Exponentiel, Halphen A, Pearson III, Weibull II |

B. Classifications des lois par rapport à leurs queues droites

El Adlouni et al. (2008) ont développé une nouvelle approche de classification, basé sur le diagramme log-log, et la fonction moyenne des excès (FME), permet de distinguer trois principales catégories dans lesquelles on peut classer les distributions les plus utilisées en hydrologie.

- La classe C (distributions à variations régulières) : Fréchet (EV2), Halphen B Inverse (HIB), Log-Pearson III (LP3), Gamma Inverse (GI);
- La classe D (distributions sub-exponentielles) : Halphen type A (HA), Halphen type B (B), Gumbel (EV1), Pearson III (P3), Gamma (G2);
- La classe E (loi exponentielle).

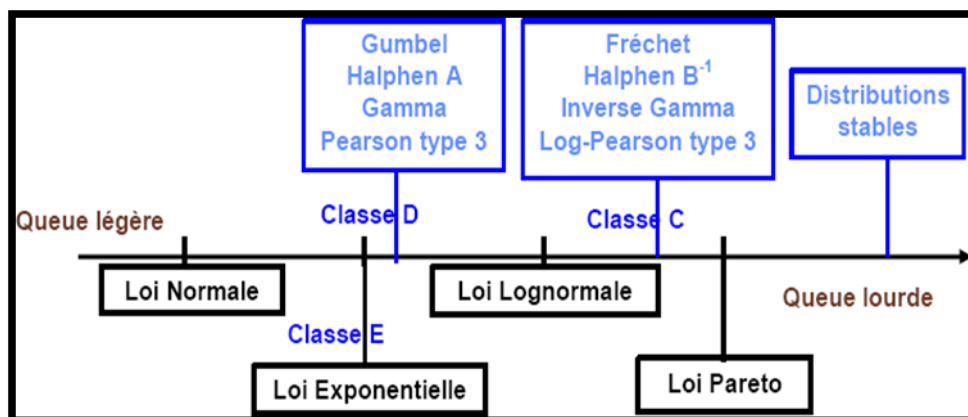


Figure IV.1. Distributions ordonnées par rapport à leurs queues droites (El Adlouni et al, 2007)

Cette classification, différente de la précédente par le fait qu'elle subdivise les lois exponentielles en deux catégories : d'une part la loi exponentielle proprement dite, et d'autre part une famille des lois dite sub-exponentielle. Dans cette classification la loi log-Normale (2LN) n'appartient à aucune classe, elle a un comportement asymptotique qui se situe à la frontière des classes C et D. Cependant la courbe produite par la méthode log-log correspondant à la distribution log-Normale (2LN) est très semblable à celle d'une distribution régulièrement variable (classe C). Mais pour des raisons de sécurité, **El Adlouni et al. (2008)** ont suggéré de considérer 2LN comme étant une loi de la classe D.

Une deuxième classification donnée par **Ouarda et al. (1994)**, dans laquelle on déduit le comportement asymptotique des quantiles, en fonction de la période de retour T, pour plusieurs distributions utilisées en hydrologie (Tableau IV.2). Cette classification permet de déterminer les distributions appartenant à chacun des domaines d'attraction maximum des extrêmes.

Tableau IV.2. Classement des lois selon les caractéristiques de l'extrémité droite (Ouarda et al, 1994)

| Classe | caractéristiques | loi | valeurs des paramètres |
|-------------------------------------|--------------------|--|--|
| I : $x \approx T^P$ | | | |
| Classe C | $P = 1/\alpha$ | Log-Pearson 3 (α, λ, m) | $\alpha > 0, \lambda > 0, m \in \mathfrak{R}$ |
| Classe C | $P = 1/\alpha$ | Log-Logistic (α, λ) | $\alpha > 0, \lambda > 0$ |
| Classe C | $P = -1/s \lambda$ | Gamma Généralisée (s, α, λ) | $s < 0, \alpha > 0, \lambda > 0$ |
| Classe C | $P = 1/\lambda$ | Gamma Inverse (α, λ) | $\alpha > 0, \lambda > 0$ |
| Classe C | $P = -1/k$ | Fréchet (α, k, u) | $\alpha > 0, k < 0, u \in \mathfrak{R}$ |
| Classe B | $P = -1/k$ | Pareto Généralisée (α, k) | $\alpha > 0, k < 0$ |
| Classe C | $P = -1/c$ | Weibull (α, c) | $\alpha > 0, c < 0$ |
| Classe C | $P = 1/2v$ | Halphen type B-1 (α, v, m) | $\alpha \in \mathfrak{R}, v > 0, m > 0$ |
| II : $x \approx \exp(\ln(T)^{1/2})$ | | | |
| Classe D | | Log-Normale 2 (μ, σ) | $\mu \in \mathfrak{R}, \sigma > 0$ |
| Classe D | | Log-Normale 3 (μ, σ, m) | $\mu \in \mathfrak{R}, \sigma > 0, m \in \mathfrak{R}$ |
| III : $x \approx \ln(T)^P$ | | | |
| Classe D | $P = 1$ | Pearson type 3 (α, λ, m) | $\alpha > 0, \lambda > 0, m \in \mathfrak{R}$ |
| Classe D | | Gamma (α, λ) | $\alpha > 0, \lambda > 0$ |
| Classe E | | Exponentielle (α, m) | $\alpha > 0, m \in \mathfrak{R}$ |
| Classe D | | Halphen type A (α, v, m) | $\alpha > 0, v \in \mathfrak{R}, m > 0$ |
| Classe D | | LF (λ, β) | $\lambda > 0, \beta > 0$ |

| | | | |
|-----------------|--------------------------|--|---|
| Classe D | | Gumbel (α, u) | $\alpha > 0, u \in \mathfrak{R}$ |
| Classe D | $P = 1/2$ | Halphen type B (α, v, m) | $\alpha \in \mathfrak{R}, v > 0, m > 0$ |
| --- | | N (μ, σ) | $\mu \in \mathfrak{R}, \sigma > 0$ |
| Classe D | $P = 1/s$ | Generalized Gamma (s, α, λ) | $s > 0, \alpha > 0, \lambda > 0$ |
| Classe D | $P = 1/c$ | Weibull (α, c) | $\alpha > 0, c > 0$ |
| IV : $x \leq P$ | | | |
| | $P = m$ | Pearson 3(α, λ, m) | $\alpha < 0, \lambda > 0, m \in \mathfrak{R}$ |
| | $P = 0$ (Borne à droite) | Gamma (α, λ) | $\alpha < 0, \lambda > 0$ |
| | $P = \exp(m/\ln a (e))$ | Log-Pearson 3(α, λ, m) | $\alpha < 0, \lambda > 0, m \in \mathfrak{R}$ |
| | $P = 1$ | Log-Logistic (α, λ) | $\alpha < 0, \lambda > 0$ |
| | $P = u + \alpha/k$ | Weibull (α, k, u) | $\alpha > 0, k > 0, u \in \mathfrak{R}$ |
| | $P = \alpha/k$ | Pareto Généralisée (α, k) | $\alpha > 0, k > 0$ |

IV.3.1.3. Critères de choix du type de modèles

Les méthodes développées permettent d'identifier la classe la plus adéquate pour l'ajustement d'un échantillon donné. Ces méthodes sont:

- Le graphique Log-Log;
- Le graphique du rapport max-somme;
- La fonction moyenne des excès (FME).

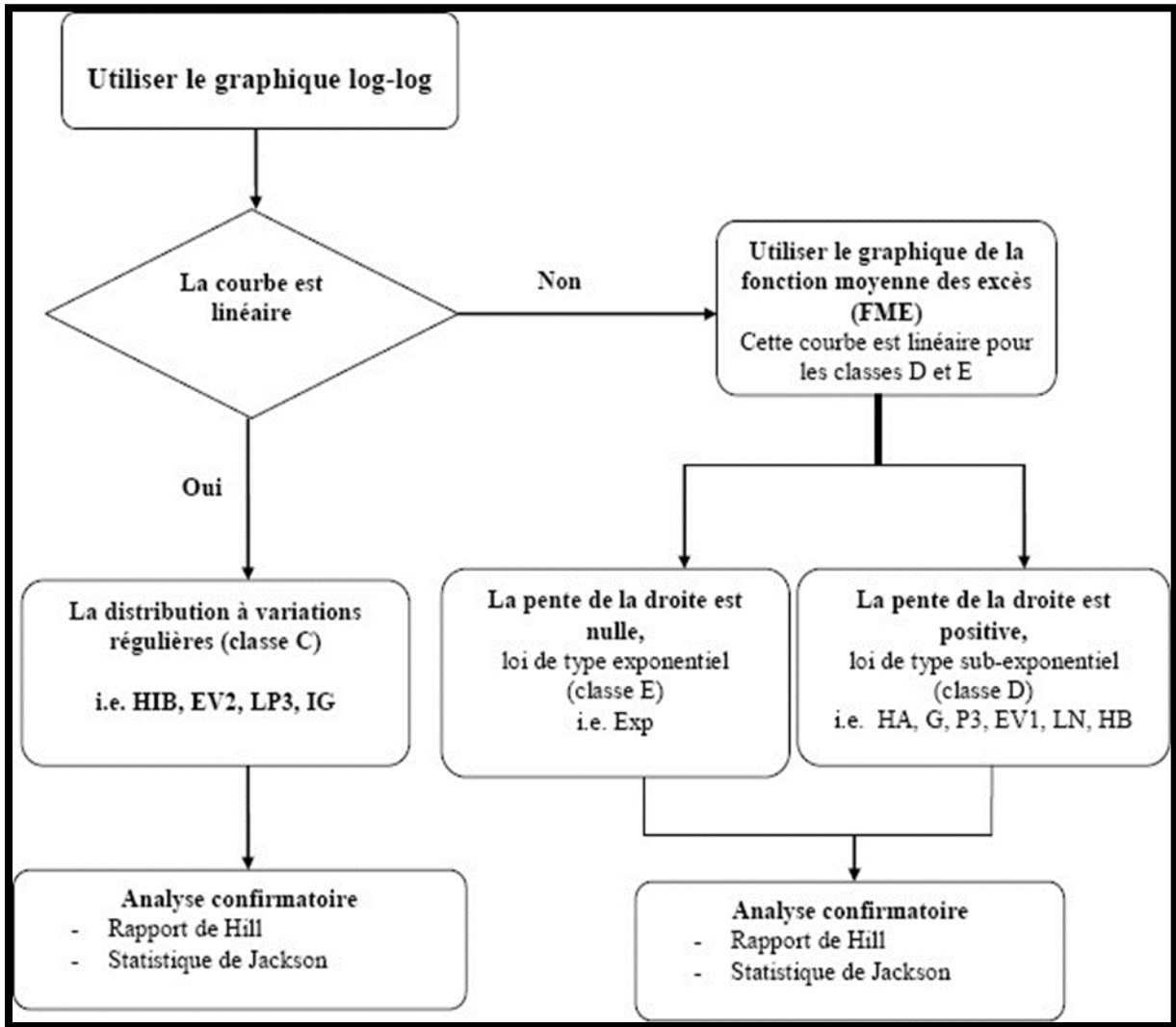


Figure IV.2. Diagramme des critères de choix entre les classes C, D et E (El Adlouni et al, 2008)

A. Graphique Log-Log

Pour les distributions de type exponentiel de moyenne θ , la fonction de survie (probabilité au dépassement) $\bar{F}(u) = P(X > u)$ est donnée par :

$$\bar{F}(u) = P(X > u) = e^{-u/\theta} \tag{IV-5}$$

Et pour les distributions à variations régulières (asymptotiquement de type puissance) :

$$\bar{F}(u) = P(X > u) \approx C \int_u^\infty \frac{1}{x^\alpha} dx = C \left[\frac{x^{-\alpha+1}}{1-\alpha} \right]_u^\infty = C_1 u^{-\alpha+1} \tag{IV-6}$$

(Pour $\alpha > 1$, qui est équivalente à la condition d'existence de la moyenne).

En considérant $\log (P (X > u))$, on obtient respectivement pour les deux types de distributions $-\frac{u}{\theta}$ et $\log (C_1) - (\alpha > 1) \log (u)$. Ainsi, en portant sur un graphique les valeurs de $\log (P (X > u))$ en fonction de $\log u$, on devrait obtenir une courbe linéaire pour les distributions de la classe C, et concave pour les autres distributions qui ne sont pas à variations régulières (Figure IV.3).

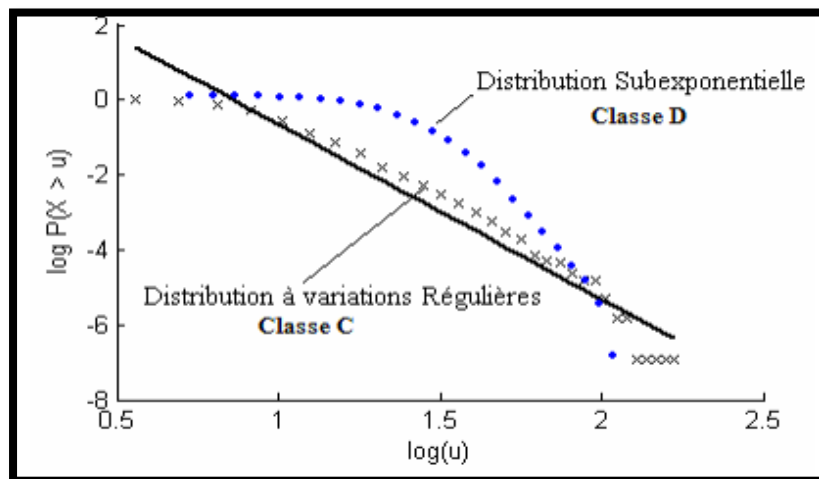


Figure IV.3. Illustration du graphique Log-Log pour la caractérisation des lois de la classe C (El Adlouni et al, 2007)

Ce diagramme est donc, linéaire pour les échantillons distribués selon une loi de la classe C (des distributions à variations régulières), i.e. Fréchet (EV2), Halphen type B Inverse (HIB), Log-Pearson type 3 (LP3), Gamma Inverse (GI). Lorsque le diagramme n'est pas linéaire on suggère l'emploi de la méthode FME (Fonction moyenne des excès) pour discriminer les classes D et E.

En effet, si le coefficient de corrélation observé (R_o) est supérieur à la valeur critique (R_c) au niveau de signification 5%, alors le coefficient de corrélation n'est pas significativement différent de 1 au niveau de signification 5% et l'hypothèse H_0 de linéarité est acceptée à ce niveau ; le choix le plus adéquat correspond alors à une loi de la classe C des distributions à variations régulières : Halphen type B Inverse (HIB), Fréchet (EV2), Log-Pearson type 3 (LP3), Gamma Inverse (GI) (El Adlouni et al, 2007).

B. Graphique de Fonction Moyenne des Excès (FME)

Cette méthode est basée sur la moyenne des excès $(u) = E[X - u \mid X > u]$ pour un seuil u donné. Cette fonction est constante pour les distributions de type exponentiel (classe E). Pour un échantillon $x_{[1]}, \dots, x_{[k]}, \dots, x_{[n]}$ ordonné dans un ordre décroissant, et où $x_{[1]}, \dots, x_{[k]}$ sont les dépassements au seuil u , une estimation de $\square \square$ e u est donnée par :

$$\hat{e}(u) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_{[i]} - u). \quad (\text{IV-7})$$

L'utilisation de la méthode FME (fonction moyenne des excès) permet, donc, de discriminer entre la classe D (des distributions sub-exponentielles) et la classe E (loi Exponentielle). En effet, si en plus du fait que la courbe de la fonction FME est linéaire pour les distributions des classes D et E (au niveau des observations les plus élevées), la pente :

- Est nulle, la loi la plus adéquate appartient à la classe E (loi Exponentielle);
- Est strictement positive, la distribution la plus adéquate appartient à la classe D des distributions sub-exponentielles : Halphen type A (HA), Gumbel (EV1), Halphen type B (HB), Pearson type III (PIII), Gamma (G2).

Notons que dans le SAD, cette méthode devrait logiquement être utilisée après la méthode log-log. En effet, si l'hypothèse H_0 de la méthode log-log est rejetée (la distribution n'est pas à variations régulières) la méthode FME permet de tester si la distribution est exponentielle ou non.

C. Graphique des rapports du maximum et de la somme

Cette méthode est basée sur le rapport du maximum et de la somme (max-sum ratio) défini par :

$$R_n(p) = \frac{\max(X_1^p, \dots, X_n^p)}{\sum_{i=1}^n X_i^p} \quad (\text{IV-8})$$

Ce rapport tend vers 0 lorsque n tend vers l'infini si et seulement si $E[X^p] < \infty$. En traçant le graphique de $R_n(p)$ en fonction de n pour différentes valeurs de p , on peut déterminer la forme de la distribution. En effet, si ce rapport tend vers l'infini pour les grandes valeurs de n , on peut croire que $E[X^p] = \infty$ et on est donc en présence d'une distribution de type puissance. Sinon, la distribution est de type exponentiel. En pratique, on présente la fonction R_n en fonction de n pour différentes valeurs de p . Si la courbe ne tend pas

vers zéro à partir d'une certaine valeur 0_p , alors la distribution appartient à la classe C et p_0 correspond à l'indice des valeurs extrêmes.

IV.3.2. Choix du modèle le plus adéquat à l'estimation des valeurs non observées

La sélection de modèles est un problème bien connu en statistique. Beaucoup d'hydrologues utilisent les tests d'adéquation comme outil permettant de choisir le modèle statistique le plus approprié. Un test d'adéquation, ne peut que conduire à conclure que les données disponibles permettent, ou ne permettent pas, de rejeter l'hypothèse que le modèle est apte à décrire les valeurs observées (**Meylan et Musy, 1999**). Les tests d'adéquation sont notoirement peu puissants, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas suffisamment capables de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors que c'est l'hypothèse alternative H_1 qui est vraie.

Toutefois, il existe dans la littérature une grande variété de critères de choix. Lesquels nous pouvons les classer en deux catégories : des critères graphiques et des critères d'information (**Favre et al, 2008**). Dans ce travail, nous utiliserons les critères d'information, pour cette raison elles seront développées dans ce qui suit.

Lorsque le modèle est fixé, la théorie de l'information basée sur la minimisation d'un critère pénalisé fournit un cadre rigoureux pour l'élaboration d'estimateurs performants.

Les premiers critères apparaissant dans la littérature sont l'Akaike Information Criterion AIC (**Akaike, 1974**), le Bayesian Information Criterion BIC (**Schwarz, 1978**), le Minimum Description Length MDL (**Rissanen, 1978**) et le Cp de Mallows (**Mallows, 1974**). Parmi ces critères, AIC et BIC ont été largement diffusés et appliqués. D'un point de vue théorique, beaucoup de travaux ont été réalisés concernant leurs propriétés statistiques et leur adaptation à des modèles spécifiques. En particulier, plusieurs versions corrigées du critère AIC ont été proposées : AICc (**Hurvich et Tsai, 1989**) et c-AIC (**Sugiura, 1978**) pour de petites tailles d'échantillons par rapport au nombre de paramètres à estimer ; AICR (**Ronchetti, 1985**) pour une régression avec erreurs non-gaussiennes ; QAIC (**Burnham et Anderson, 2002**) et c-QAIC (**Shi et Tsai, 1998**) pour des données sur-dispersées.

Nous nous intéressons ici au critère BIC et AICc, ces deux critères étant souvent mis en concurrence dans la pratique, et utilisés lors de la sélection des modèles pour choisir le meilleur d'entre eux à partir d'un ensemble de modèles acceptable.

IV.3.2.1. Le Critère d'Information d'Akaike (AIC)

Le Critère d'Information d'Akaike (AIC), qui a été proposé par **Hirotsugu Akaike (1974)** :

$$\text{AIC} = -2\log(L) + 2k \quad (\text{IV-9})$$

Avec:

- **L** : est la vraisemblance maximisée et **k** : le nombre de paramètres dans le modèle.

Avec ce critère, la déviance du modèle ($-2\log(L)$) est pénalisée par 2 fois le nombre de paramètres. L'AIC représente donc un compromis entre le biais (qui diminue avec le nombre de paramètres) et la parcimonie (nécessité de décrire les données avec le plus petit nombre de paramètres possible).

Quand le nombre de paramètres k est grand par rapport au nombre d'observation n ; i.e., si $n/k < 40$, il est recommandé d'utiliser l'AIC corrigé donnée par **Hurvich et Tsai (1995)** :

$$\text{AICc} = \text{AIC} + \frac{2k(k+1)}{(n-k-1)} \quad (\text{IV-10})$$

IV.3.2.2. Le Critère d'Information Bayésien (BIC)

Les valeurs de l'AIC sont parfois, très proches l'un de l'autre pour différents modèles à comparer, et il est délicat de décider lequel d'entre eux est réellement le meilleur. Une approche possible est d'utiliser l'ensemble de ces modèles pour réaliser les inférences (**Burnham et Anderson, 2002**), (**Posada et Buckley, 2004**). A cet effet, la tendance actuelle est plutôt de se baser sur le BIC (Bayésian information criterion) :

$$\text{BIC} = -2\log(L) + k\log(n) \quad (\text{IV-11})$$

Avec:

- **L** : est la vraisemblance maximisée, et **k** : le nombre de paramètres dans le modèle, et **n** : le nombre d'observations.

Le BIC a été initialement proposé (**Schwarz, 1978**) pour sélectionner les modèles dans le cas de grands échantillons (plusieurs milliers d'observations) pour lesquels le BIC aboutit à des modèles plus parcimonieux. Cependant, les bases théoriques sous-tendant les deux approches (AIC et BIC) sont différentes, l'utilisation de l'AIC étant en premier lieu dans

un objectif de prédiction, et non de décision vis-à-vis de la signification statistique des paramètres retenus dans le modèle (**Riplay, 2003**).

Un modèle est meilleur qu'un autre s'il a un AICc (ou BIC) plus petit. Si la complexité du vrai modèle n'augmente pas avec la taille de l'ensemble des données, le BIC est le critère choisi, autrement l'AICc est préféré.

IV.3.2.3. La méthode de Schwarz

La méthode de Schwarz (**Schwarz, 1978**), basé sur le BIC et les notions de probabilité a priori et probabilité a posteriori, est un critère puissant pour le choix du modèle adéquat. Dans ce critère le BIC a l'avantage de pouvoir générer des facteurs de bayes approximatifs. Ceux-ci peuvent être combinés à une distribution de probabilité a priori d'un ensemble de loi pour obtenir des probabilités a posteriori pour ces mêmes modèles. Dans ce cas la relation donnant le BIC devienne (**Lebarbier et Mary-Huard, 2004**) :

$$\text{BIC}_i = -2 \cdot \log(L) + k \cdot \log(n) - 2 \cdot \log(P(M_i)) \quad (\text{IV-12})$$

Avec :

- **P(M_i)** : est la probabilité a priori attribuée au modèle M_i.

La probabilité a posteriori est donnée par (**Lebarbier et Mary-Huard, 2004**) :

$$P(M_i|X) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\Delta\text{BIC}_i\right)}{\sum_{l=1}^m \exp\left(-\frac{1}{2}\Delta\text{BIC}_l\right)} \quad (\text{IV-13})$$

Avec :

$$\Delta\text{BIC}_i = \text{BIC}_i - \text{BIC}_{\min} \quad (\text{IV-14})$$

Avec :

- **BIC_{min}** : désigne la plus petite valeur observée de BIC sur tous les modèles comparés.

Cette probabilité tend vers 1 pour le modèle quasi-vrai lorsque n tend vers l'infini, et vers 0 pour tous les autres. Au vu des considérations précédentes, nous pouvons définir cette probabilité comme la probabilité que M_i soit le modèle quasi-vrai de la liste considérée, sachant les données (**Lebarbier et Mary-Huard, 2004**).

Les probabilités a posteriori servent à construire un classement des modèles statistiques. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus grandes valeurs.



Chapitre V :

Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Introduction

Dans ce chapitre nous traitons la caractérisation statistique des séries de pluies maximales journalières étudiées. La première étape consiste à faire le choix du type de modèles, tandis que la deuxième étape ; les ajustements statistiques des lois de probabilité et du choix des distributions les plus adaptées à l'estimation des valeurs extrêmes de pluies maximales journalières, comme il a été indiqué dans le chapitre précédent.

V.2. Choix du type de modèles

Parmi les critères de choix du type de modèles (le graphique Log-Log, le graphique du rapport max-somme, la fonction moyenne des excès (FME), le rapport de Hill, statistique de Jackson, le test ET et le test (GPD) qui ajuste mieux nos séries), on choisit le diagramme log-log. Ce graphique est utilisé pour distinguer d'une part la classe C et d'autre part les classes D et E (El Adlouni et al, 2008).

La classe E comporte la loi exponentielle proprement dite qui est un cas particulier de la loi GPD ($\xi=0$) ; cette dernière est adaptée à la modélisation des séries constituées par des valeurs supérieures à un seuil donné (séries des excès : POT). Dans notre cas nous utilisons des séries des pluies maximales journalières (Bloc maximas) et nous ne parlerons que de la classe D.

Pour vérifier l'hypothèse de linéarité dans le diagramme log-log. on calcule le coefficient de corrélation associé à la courbe représentée dans ce diagramme.

Des études de simulation ont permis d'obtenir pour les niveaux de signification 5% et 1%. Des valeurs critiques pour tester l'hypothèse H_0 : l'échantillon est issu d'une loi de la classe C. Si le coefficient de corrélation observée R_0 est supérieur à la valeur critique au niveau de signification choisi, alors l'hypothèse H_0 est vraie. Sinon, l'hypothèse : H_1 : l'échantillon est issu d'une loi de la classe D (El Adlouni et al, 2008).

V.2.1. Résultats du R_0

Pour notre étude, on choisit la valeur critique au niveau de signification de 1 %. Le tableau suivant donne ; les valeurs calculées de R_0 , les valeurs critiques R_c au niveau de signification de 1 % et la classe d'appartenance de chaque station pour quelques stations

retenues dans cette étude (une par sous bassins), cela sera appliqué à tout le reste du document, pour le reste des résultats voir Annexes (Annexe 05).

Tableau V.1. Valeurs de R_0 et la classe d'appartenance de chaque station

| Nom de station | Code station | R_0 | R_c (1%) | Classes |
|-----------------------|--------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| / | 010204 | 0.94 | 0.95 | D |
| / | 010502 | 0.96 | 0.97 | D |
| Sidi Boudaoud | 010706 | 0.83 | 0.97 | D |
| Mehdia | 010803 | 0.97 | 0.96 | C |
| Sougueur | 010901 | 0.93 | 0.94 | D |
| Colonel Bougara | 011003 | <u>0.95</u> | <u>0.95</u> | Critique |
| / | 011106 | 0.89 | 0.97 | D |
| Chahbounia | 011206 | 0.96 | 0.97 | D |
| Ksar El Boukhari | 011301 | 0.92 | 0.97 | D |
| Zoubiria Mongomo | 011404 | 0.90 | 0.96 | D |
| Tamzguida | 011501 | 0.96 | 0.97 | D |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603 | 0.96 | 0.97 | D |
| Arib Chellif | 011702 | 0.92 | 0.97 | D |
| Arib Ebda | 011801 | 0.90 | 0.97 | D |
| El Touaibia | 011901 | 0.98 | 0.97 | C |
| El Abadia 1 | 012001 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| Fodda Bge | 012108 | 0.97 | 0.96 | C |
| Benairia | 012205 | 0.96 | 0.97 | D |
| Souk El Had | 012304 | 0.92 | 0.97 | D |
| Merdja Kh | 012403 | 0.95 | 0.97 | D |
| Oued Lilli | 012501 | 0.96 | 0.97 | D |
| Ammi Moussa | 012605 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| Kenenda | 012703 | 0.89 | 0.97 | D |
| El Hmadna Village | 012802 | 0.95 | 0.97 | D |
| Tiaret | 012908 | 0.90 | 0.97 | D |
| Kef Mahboula | 013001 | 0.99 | 0.97 | C |
| / | 013103 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| / | 013201 | 0.95 | 0.97 | D |
| Takhmaret | 013304 | 0.92 | 0.97 | D |
| / | 013410 | 0.82 | 0.97 | D |
| Relizaine | 013505 | 0.93 | 0.97 | D |
| / | 013606 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |

V.2.2. Discussion

On remarque que 86 stations de pluies maximales journalières sur les 106 retenues dans cette étude (81.13%), appartenant à la classe D. C'est-à-dire, que celles-ci présentent un comportement asymptotiquement sub-exponentiel.

Les stations : 010704 ,011003 ,011302_bis ,011904 ,012001 ,012409 ,012503 ,012605 ,012605_bis ,012915 ,013103 ,013407_bis ,013606 présentent un coefficient de corrélation observé (R_0) égale à celui critique (R_c) au niveau de signification de 1%, Dans le cas où ces stations sont uniques, on préfère les classées dans la classe C, mais dans notre cas ou 81.13 % des stations appartenant à la classe D, il est préférable de classer ces dernières dans la classe D. Sept stations seulement appartenant à la classe C, avec des coefficients de corrélation observé (R_0) trop faible proche à celui critique.

Ces résultats nous permettent de conclure que le type de modèles susceptibles de mieux ajuster nos séries de pluies maximales journalières annuelles observées au niveau de la zone d'étude, est la classe des distributions Sub-exponentielles (classe D).

V.3. Choix du meilleur modèle d'ajustement

V.3.1. Présentation des lois utilisées

Dans cette phase nous choisirons le meilleur modèle d'ajustement, parmi ceux de la classe D (Gumbel (EV1), Weibull (W2), Gamma (G2), Pearson III (P3) et Log-Normale (2LN frontière entre classe D et C)). La classe D a été sélectionnée dans la phase précédente comme étant la meilleure classe (type) de lois susceptible de mieux ajuster nos séries de données. Les lois appartenant à cette classe sont présentées dans le tableau suivant (**Béliveau, 2006**).

Tableau V.2. Fonctions de densité de probabilité des lois utilisées

| Loi | Fonction de densité de probabilité | Paramètres |
|----------------------|---|----------------------|
| Gumbel (EV1) | $f(x) = \frac{1}{a} \exp \left[-\frac{x-u}{a} - \exp \left(\frac{x-u}{a} \right) \right]$ | α, u |
| Weibull (W2) | $f(x) = \frac{c}{a} \left(\frac{x}{a} \right)^{c-1} \exp \left[-\left(\frac{x}{a} \right)^c \right]$ | α, c |
| Person type III (P3) | $f(x) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} (x-m)^{\lambda-1} e^{-\alpha(x-m)}$ | α, λ, m |
| Log-Normale (2LN) | $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma\pi x}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right]$ | μ, σ |
| Gamma (G2) | $f(x) = \frac{a^\lambda}{\Gamma(\lambda)} x^{\lambda-1} e^{-ax}$ | α, λ |

V.3.2. Choix de la formule empirique

Les formules empiriques en générale introduisant un paramètre “ a ” qui est le paramètre de formule ($0 \leq a \leq 0.5$).

$$F(x(K)) = (K-a) / (n-2a+1) \quad (V-1)$$

Parmi les différentes formules proposées par les chercheurs on a choisi la formule de Hazen ($a = 0.5$) vue ; sa simplicité, sa large utilisation et sa meilleure adaptation aux échantillons de différent taille tel qu’il est le cas ici.

V.3.3. Méthodes d’Ajustement

L’ajustement a été faite en se basant sur la méthode du maximum de vraisemblance à cause de ses propriétés asymptotiques fort intéressantes et puisque elle permet de calculer la variance des paramètres estimés.

V.3.4. Application d’un test d’adéquation

Parmi les différents tests utilisés on a choisi le test de χ^2 pour se renseigner sur l’adéquation de ces lois aux différents échantillons utilisés.

V.3.5. Caractéristiques des échantillons

Le tableau suivant donne les différentes caractéristiques de quelques échantillons utilisés dans cette étude (un par sous bassin), le reste des résultats sont présentées dans l’Annexe 06.

Tableau V.3. Caractéristiques des séries de données utilisées

| Code station | Nombre d'obs. | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-Type | Médiane | (Cv) | (Cs) | (Ck) |
|--------------|---------------|---------|---------|---------|------------|---------|------|------|-------|
| 010204 | 68.00 | 8.50 | 82.50 | 31.25 | 15.30 | 28.05 | 0.48 | 1.19 | 4.27 |
| 010502 | 38.00 | 1.50 | 84.20 | 22.71 | 19.16 | 18.00 | 0.84 | 1.87 | 5.54 |
| 010706 | 33.00 | 2.60 | 49.60 | 18.07 | 10.56 | 16.00 | 0.58 | 0.94 | 3.55 |
| 010803 | 52.00 | 17.60 | 81.20 | 33.95 | 13.49 | 31.65 | 0.39 | 2.08 | 7.16 |
| 010901 | 91.00 | 11.00 | 79.50 | 32.48 | 13.75 | 30.00 | 0.42 | 1.27 | 4.28 |
| 011003 | 79.00 | 17.20 | 96.90 | 33.05 | 12.57 | 31.10 | 0.38 | 2.13 | 10.21 |
| 011106 | 25.00 | 1.20 | 40.50 | 12.76 | 10.28 | 9.00 | 0.80 | 1.10 | 3.23 |
| 011206 | 38.00 | 6.50 | 81.30 | 23.01 | 19.34 | 17.55 | 0.84 | 2.01 | 5.52 |
| 011301 | 33.00 | 8.60 | 34.50 | 19.38 | 6.17 | 19.00 | 0.31 | 0.65 | 3.10 |
| 011404 | 43.00 | 13.80 | 95.40 | 43.46 | 18.87 | 41.60 | 0.43 | 0.82 | 3.14 |
| 011501 | 27.00 | 24.00 | 128.00 | 49.70 | 23.84 | 42.00 | 0.47 | 1.80 | 5.45 |

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 011603 | 25.00 | 20.80 | 102.00 | 52.62 | 24.35 | 46.80 | 0.46 | 0.84 | 2.33 |
| 011702 | 30.00 | 21.00 | 66.30 | 37.41 | 11.41 | 34.20 | 0.30 | 0.64 | 2.54 |
| 011801 | 39.00 | 22.10 | 83.50 | 47.34 | 17.52 | 41.40 | 0.37 | 0.55 | 2.09 |
| 011901 | 35.00 | 13.50 | 69.80 | 28.67 | 13.20 | 24.20 | 0.46 | 1.68 | 4.90 |
| 012001 | 33.00 | 20.70 | 92.00 | 34.11 | 13.24 | 31.00 | 0.38 | 2.81 | 11.45 |
| 012108 | 47.00 | 20.40 | 146.90 | 41.95 | 21.06 | 36.50 | 0.50 | 3.17 | 14.18 |
| 012205 | 37.00 | 29.10 | 147.70 | 55.74 | 29.96 | 43.60 | 0.53 | 1.67 | 4.95 |
| 012304 | 37.00 | 14.00 | 84.40 | 40.79 | 17.78 | 37.40 | 0.43 | 0.80 | 2.85 |
| 012403 | 22.00 | 9.80 | 88.40 | 28.81 | 17.08 | 24.60 | 0.59 | 2.21 | 7.09 |
| 012501 | 29.00 | 20.00 | 73.00 | 36.47 | 13.33 | 35.00 | 0.36 | 1.11 | 3.31 |
| 012605 | 40.00 | 16.70 | 133.00 | 40.70 | 21.29 | 37.00 | 0.52 | 2.64 | 10.25 |
| 012703 | 24.00 | 22.30 | 92.00 | 49.64 | 17.85 | 46.25 | 0.35 | 0.63 | 2.44 |
| 012802 | 37.00 | 13.50 | 78.80 | 31.10 | 14.16 | 26.50 | 0.45 | 1.51 | 4.89 |
| 012908 | 40.00 | 20.30 | 104.00 | 45.68 | 17.37 | 41.25 | 0.38 | 1.16 | 4.26 |
| 013001 | 29.00 | 16.60 | 161.80 | 38.99 | 28.46 | 30.70 | 0.73 | 3.29 | 12.44 |
| 013103 | 31.00 | 19.30 | 135.00 | 43.21 | 24.55 | 36.20 | 0.56 | 2.36 | 7.74 |
| 013201 | 27.00 | 16.00 | 72.00 | 29.77 | 14.70 | 23.20 | 0.49 | 1.39 | 3.79 |
| 013304 | 32.00 | 11.80 | 58.10 | 31.33 | 11.10 | 28.40 | 0.35 | 0.76 | 2.81 |
| 013410 | 32.00 | 12.50 | 37.80 | 26.43 | 6.00 | 26.90 | 0.22 | -0.55 | 2.98 |
| 013505 | 37.00 | 13.80 | 61.60 | 29.56 | 9.98 | 28.80 | 0.33 | 1.17 | 4.55 |
| 013606 | 34.00 | 12.60 | 94.40 | 31.76 | 16.57 | 26.05 | 0.52 | 2.12 | 7.14 |

V.3.6. Estimation des paramètres des lois et test d'adéquation

Les tableaux suivants présentent les paramètres des lois et les quantiles centennaux au non dépassement (Q_{100}) et les valeurs de la statistique χ^2 et P-v% (erreur de première espèce) de quelques stations retenues dans cette étude (une par sous bassin), le reste des stations sont présentées sur Annexe 07.

Tableau V.4. Valeurs des paramètres estimés par la méthode du maximum de vraisemblance

| Code Station | Gumbel | | Weibull | | Log-Normale | | Gamma | | Pearson III | | |
|--------------|--------|----------|----------|------|-------------|----------|----------|-----------|-------------|-----------|-------|
| | u | α | α | c | μ | σ | α | λ | α | λ | m |
| 010204 | 24.47 | 11.38 | 35.41 | 2.18 | 3.33 | 0.48 | 0.14 | 4.63 | - | - | - |
| 010502 | 14.98 | 11.88 | 24.73 | 1.30 | 2.79 | 0.88 | 0.07 | 1.68 | 0.06 | 1.40 | 0.95 |
| 010706 | 13.23 | 8.42 | 20.34 | 1.81 | 2.69 | 0.69 | 0.15 | 2.72 | 0.17 | 3.36 | -1.44 |
| 010803 | 28.57 | 8.57 | - | - | 3.46 | 0.33 | 0.25 | 8.51 | - | - | - |
| 010901 | 26.48 | 9.89 | - | - | 3.40 | 0.39 | 0.19 | 6.48 | 0.13 | 3.25 | 8.60 |
| 011003 | 27.82 | 8.60 | - | - | 3.43 | 0.33 | 0.26 | 8.75 | - | - | - |
| 011106 | 8.15 | 7.43 | 13.80 | 1.27 | 2.18 | 0.94 | 0.11 | 1.51 | - | - | - |
| 011206 | - | - | - | - | 2.88 | 0.67 | 0.09 | 2.18 | - | - | - |
| 011301 | 16.46 | 5.31 | 21.56 | 3.36 | 2.91 | 0.32 | 0.52 | 10.21 | 0.48 | 8.61 | 1.47 |
| 011404 | 34.74 | 15.14 | 49.10 | 2.48 | 3.67 | 0.44 | 0.12 | 5.52 | 0.09 | 3.60 | 7.19 |
| 011501 | 39.85 | 15.29 | 56.31 | 2.23 | 3.81 | 0.41 | 0.11 | 5.81 | - | - | - |
| 011603 | 41.47 | 18.27 | 59.65 | 2.37 | 3.86 | 0.45 | 0.09 | 5.24 | 0.05 | 1.69 | 19.34 |
| 011702 | 32.03 | 9.25 | 41.53 | 3.54 | 3.57 | 0.30 | 0.30 | 11.55 | 0.11 | 2.15 | 19.33 |
| 011801 | 39.08 | 14.15 | 53.18 | 2.96 | 3.79 | 0.37 | 0.16 | 7.64 | 0.08 | 2.38 | 18.40 |
| 011901 | 23.21 | 8.43 | 32.46 | 2.31 | 3.27 | 0.39 | 0.21 | 6.21 | 0.09 | 1.49 | 13.10 |
| 012001 | 29.10 | 7.71 | 38.24 | 2.56 | 3.47 | 0.30 | 0.28 | 9.73 | - | - | - |
| 012108 | 34.39 | 11.45 | - | - | 3.65 | 0.37 | 0.15 | 6.41 | - | - | - |
| 012205 | - | - | - | - | 3.90 | 0.45 | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| 012304 | 32.58 | 13.98 | 46.12 | 2.48 | 3.61 | 0.43 | 0.13 | 5.61 | 0.09 | 2.74 | 10.61 |
| 012403 | 21.99 | 10.59 | 32.68 | 1.87 | 3.23 | 0.49 | 0.14 | 4.07 | - | - | - |
| 012501 | 30.51 | 9.68 | 40.92 | 2.90 | 3.53 | 0.34 | 0.24 | 8.75 | 0.08 | 1.40 | 19.63 |
| 012605 | 32.64 | 12.50 | - | - | 3.61 | 0.41 | - | - | - | - | - |
| 012703 | 41.21 | 14.67 | 55.62 | 3.04 | 3.84 | 0.36 | 0.16 | 8.42 | 0.09 | 3.33 | 16.27 |
| 012802 | 25.04 | 9.71 | 35.19 | 2.34 | 3.35 | 0.40 | 0.19 | 5.97 | 0.09 | 1.73 | 12.66 |
| 012908 | 37.89 | 13.15 | 51.31 | 2.77 | 3.75 | 0.36 | 0.17 | 7.84 | 0.10 | 3.08 | 15.50 |
| 013001 | 29.49 | 13.08 | - | - | 3.52 | 0.48 | - | - | - | - | - |
| 013103 | 33.85 | 13.77 | - | - | 3.65 | 0.44 | 0.11 | 4.75 | - | - | - |
| 013201 | 23.45 | 9.69 | - | - | 3.29 | 0.43 | 0.17 | 5.22 | - | - | - |
| 013304 | 26.17 | 9.06 | 35.08 | 3.03 | 3.38 | 0.35 | 0.27 | 8.49 | 0.22 | 5.98 | 4.63 |
| 013410 | 23.26 | 6.55 | 28.70 | 5.27 | 3.24 | 0.26 | 0.64 | 16.98 | - | - | - |
| 013505 | 25.06 | 7.84 | 32.99 | 3.07 | 3.33 | 0.32 | 0.33 | 9.84 | 0.20 | 3.92 | 10.10 |
| 013606 | 25.17 | 10.18 | 36.02 | 2.07 | 3.35 | 0.43 | 0.16 | 5.16 | - | - | - |

Tableau V.5. Quantiles centennaux au non dépassement (Q_{100}). Valeurs de la statistique χ^2 calculés et P-v% pour chaque loi et Chaque station

| Code Station | R_obs | Gumbel | | | Weibull | | | Log-Normale | | | Gamma | | | Pearson III | | |
|--------------|-------|--------|----------|------|---------|----------|------|-------------|----------|------|--------|----------|------|-------------|----------|------|
| | | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v |
| 010204 | 0.94 | 76.85 | 11.71 | 0.11 | 71.18 | 12.29 | 0.09 | 85.65 | 12.29 | 0.09 | 74.48 | 12.29 | 0.09 | - | 21.41 | 0.00 |
| 010502 | 0.96 | 69.65 | 4.53 | 0.47 | 79.74 | 8.32 | 0.13 | 127.80 | 6.63 | 0.24 | 81.36 | 7.47 | 0.18 | 85.79 | 11.26 | 0.02 |
| 010706 | 0.83 | 51.97 | 6.52 | 0.25 | 47.29 | 6.52 | 0.25 | 74.77 | 14.76 | 0.01 | 52.67 | 8.45 | 0.13 | 50.88 | 9.42 | 0.05 |
| 010803 | 0.97 | 68.04 | 9.62 | 0.14 | - | 26.23 | 0.00 | 69.45 | 6.85 | 0.33 | 66.70 | 8.23 | 0.22 | - | 245.35 | 0.00 |
| 010901 | 0.93 | 72.00 | 10.41 | 0.31 | - | 26.49 | 0.00 | 75.25 | 10.41 | 0.31 | 69.23 | 13.31 | 0.14 | 73.39 | 7.24 | 0.51 |
| 011003 | 0.95 | 67.43 | 10.53 | 0.22 | - | 30.86 | 0.00 | 67.67 | 14.99 | 0.05 | 64.40 | 18.61 | 0.01 | - | 329.11 | 0.00 |
| 011106 | 0.89 | 42.36 | 6.08 | 0.19 | 45.51 | 1.60 | 0.80 | 80.05 | 3.84 | 0.42 | 48.07 | 2.72 | 0.60 | - | - | - |
| 011206 | 0.96 | - | 16.74 | 0.00 | - | 21.37 | 0.00 | 85.72 | 5.37 | 0.37 | 73.52 | 14.21 | 0.01 | - | 27.68 | 0.00 |
| 011301 | 0.92 | 40.90 | 14.27 | 0.01 | 33.95 | 12.82 | 0.02 | 39.29 | 0.96 | 0.93 | 36.21 | 12.33 | 0.03 | 36.54 | 12.33 | 0.01 |
| 011404 | 0.9 | 104.40 | 5.35 | 0.49 | 90.84 | 8.28 | 0.21 | 111.80 | 5.77 | 0.44 | 97.55 | 4.51 | 0.60 | 101.80 | 5.35 | 0.37 |
| 011501 | 0.96 | 110.20 | 3.85 | 0.42 | 111.4 | 6.44 | 0.16 | 118.40 | 2.81 | 0.58 | 109.70 | 2.81 | 0.58 | - | - | - |
| 011603 | 0.96 | 125.50 | 6.64 | 0.15 | 113.6 | 11.12 | 0.02 | 136.20 | 8.32 | 0.08 | 120.20 | 6.64 | 0.15 | 138.30 | 8.32 | 0.03 |
| 011702 | 0.91 | 74.61 | 2.20 | 0.69 | 63.93 | 3.13 | 0.53 | 72.14 | 4.07 | 0.39 | 67.64 | 3.60 | 0.46 | 77.37 | 2.67 | 0.44 |
| 011801 | 0.9 | 104.20 | 10.44 | 0.06 | 89.09 | 12.49 | 0.02 | 105.50 | 10.44 | 0.06 | 95.97 | 13.31 | 0.02 | 107.40 | 5.51 | 0.23 |
| 011901 | 0.98 | 62.03 | 5.91 | 0.31 | 62.78 | 13.69 | 0.01 | 66.22 | 5.91 | 0.31 | 61.95 | 10.49 | 0.06 | 72.11 | 3.63 | 0.45 |
| 012001 | 0.97 | 64.62 | 2.15 | 0.82 | 69.43 | 12.82 | 0.02 | 66.18 | 5.55 | 0.35 | 64.52 | 7.00 | 0.22 | - | 158.76 | 0.00 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|--------|-------|------|-------|-------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|--------|------|
| 012108 | 0.97 | 87.08 | 5.66 | 0.46 | - | 29.40 | 0.00 | 92.36 | 8.34 | 0.21 | 89.73 | 9.87 | 0.13 | - | 205.19 | 0.00 |
| 012205 | 0.96 | - | 18.57 | 0.00 | - | 18.14 | 0.00 | 143.90 | 0.90 | 0.93 | - | 22.46 | 0.00 | - | - | - |
| 012304 | 0.92 | 96.91 | 1.27 | 0.93 | 85.22 | 3.86 | 0.56 | 103.40 | 2.14 | 0.83 | 91.08 | 2.14 | 0.83 | 98.28 | 1.27 | 0.86 |
| 012403 | 0.97 | 70.71 | 2.55 | 0.46 | 73.78 | 3.64 | 0.30 | 80.70 | 0.91 | 0.82 | 71.86 | 4.73 | 0.19 | - | 36.36 | 0.00 |
| 012501 | 0.96 | 75.07 | 9.38 | 0.05 | 69.22 | 11.79 | 0.01 | 75.98 | 12.28 | 0.01 | 71.07 | 12.28 | 0.01 | 85.33 | 4.55 | 0.20 |
| 012605 | 0.97 | 90.18 | 11.20 | 0.04 | - | 23.20 | 0.00 | 96.96 | 10.00 | 0.07 | - | 18.00 | 0.00 | - | 105.60 | 0.00 |
| 012703 | 0.89 | 108.70 | 2.83 | 0.58 | 91.84 | 2.25 | 0.68 | 108.50 | 2.83 | 0.58 | 98.48 | 4.58 | 0.33 | 106.00 | 2.83 | 0.41 |
| 012802 | 0.95 | 69.72 | 6.89 | 0.22 | 67.56 | 8.62 | 0.12 | 74.06 | 4.30 | 0.50 | 68.02 | 6.46 | 0.26 | 78.06 | 1.27 | 0.86 |
| 012908 | 0.90 | 98.42 | 5.60 | 0.34 | 89.06 | 12.80 | 0.02 | 99.55 | 5.20 | 0.39 | 91.87 | 5.60 | 0.34 | 99.07 | 6.40 | 0.17 |
| 013001 | 0.99 | 89.71 | 4.55 | 0.33 | - | 21.93 | 0.00 | 103.70 | 10.34 | 0.03 | - | 20.48 | 0.00 | - | 72.14 | 0.00 |
| 013103 | 0.97 | 97.23 | 2.19 | 0.70 | - | 14.84 | 0.00 | 108.30 | 2.19 | 0.70 | 102.00 | 7.16 | 0.12 | - | 66.32 | 0.00 |
| 013201 | 0.95 | 68.07 | 11.11 | 0.02 | - | 17.85 | 0.00 | 74.52 | 9.04 | 0.06 | 68.09 | 8.52 | 0.07 | - | - | - |
| 013304 | 0.92 | 67.88 | 1.00 | 0.96 | 57.98 | 4.50 | 0.47 | 67.43 | 1.00 | 0.96 | 61.58 | 3.00 | 0.70 | 63.01 | 2.00 | 0.73 |
| 013410 | 0.82 | 53.40 | 13.50 | 0.01 | 38.33 | 8.50 | 0.13 | 47.02 | 11.50 | 0.04 | 43.59 | 7.50 | 0.18 | - | 224.00 | 0.00 |
| 013505 | 0.93 | 61.15 | 12.51 | 0.02 | 54.25 | 4.73 | 0.44 | 59.71 | 9.05 | 0.10 | 55.76 | 6.46 | 0.26 | 59.29 | 12.51 | 0.01 |
| 013606 | 0.97 | 72.01 | 6.47 | 0.26 | 75.31 | 14.00 | 0.01 | 78.62 | 6.47 | 0.26 | 72.90 | 9.29 | 0.09 | - | 86.94 | 0.00 |

V.3.7. Résultats et discussions

En hydrologie, le choix du meilleur modèle d'ajustement n'est pas simple. La complexité de cette sélection réside dans le fait qu'on souhaite prédire des quantiles pour des périodes de retour élevées pour lesquelles nous ne disposons pas souvent de suffisamment de données (**Kouider, 2003**).

Il existe différentes procédures permettant de comparer des ajustements de lois de probabilité et de sélectionner celle qui s'ajuste le mieux aux données.

Les critères d'informations (le critère de Schwarz, le critère d'information Bayésien BIC et le critère d'information d'Akaike modifié AICc) seront appliqués. Les deux derniers sont utilisés pour s'assurer qu'une distribution de probabilité spécifiée représente bien les données. Le meilleur ajustement pour chacun des deux critères correspond à la plus faible valeur de son coefficient (**Kouider, 2003**). Le BIC et le AICc sont des critères de classement local seulement en tenant compte du principe de parcimonie, ils ne peuvent pas bénéficier de l'information régionale ; ils sont utilisés pour confirmer les résultats obtenus par le critère de Schwarz (**Hebal et Remini, 2011**).

Le critère de Schwarz peut inclure l'information supplémentaire sous forme de distribution de probabilités a priori, laquelle doit refléter l'information que nous avons acquis sur la pertinence de la loi pour ajuster la variable hydrologique en question. Cette information peut être basée sur notre expérience, ou sur une étude régionale par exemple. Lorsque nous ne disposons d'aucune information a priori bien structurée, il est indispensable de diviser la probabilité a priori également entre les différentes lois à classer (**Hebal et Remini, 2011**).

Vu le manque d'informations supplémentaires à présent sur le phénomène étudié, il est nécessaire de passer en premier lieu par une analyse locale dans laquelle le choix du modèle le plus adéquat consiste en l'établissement d'un classement pour chaque station indépendamment des autres, basé sur l'évaluation de la vraisemblance du modèle théorique en question, le nombre de paramètres de celui-ci (principe de parcimonie) et la taille de l'échantillon. Dans ce cas, la distribution a priori est supposée uniforme pour toutes les lois présentant un ajustement suffisant avec les données de chaque station (**Hebal et Remini, 2011**).

Plus le nombre de paramètres d'une loi est grand, plus l'incertitude dans l'estimation de ces paramètres est importante. Les distributions à deux paramètres ont l'avantage d'être simples et moins sensibles aux erreurs d'échantillonnage. Les distributions à trois paramètres ont l'avantage d'offrir une flexibilité de forme. Cet avantage peut devenir un inconvénient dans le

cas des séries de petite taille qui peuvent être très sensibles aux fluctuations des paramètres des lois (**Kouider, 2003**).

Il ne reste maintenant que l'établissement d'un classement des lois les plus fiables à l'estimation des quantiles extrêmes parmi ceux qui présentent un ajustement acceptable aux données observées de chaque station.

Les résultats d'application des critères cités plus haut à savoir : les valeurs de $P(M_i/x)$, BIC et AICc pour quelques séries de données étudiées (une par sous bassin), sont donnés dans le tableau V.6, le reste des résultats est donnée dans l'annexe 09.

Tableau V.6. Résultats de P (Mi/x), BIC et AICc pour chaque série de données étudiées

| Code Station | AICc | | | | | P (Mi/x) | | | | | BIC | | | | | Choix de la loi | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|------------|-------------|
| | EV 1 | W2 | 2LN | G2 | P 3 | EV 1 | W2 | 2LN | G2 | P 3 | EV 1 | W2 | 2LN | G2 | P 3 | Lois (PMi/x) | Lois (BIC) | Lois (AICc) |
| 010204 | 550.58 | 557.11 | 549.64 | 550.73 | - | 28.00 | 1.07 | 44.93 | 26.00 | - | 554.83 | 561.36 | 553.89 | 554.98 | - | 2LN | 2LN | EV1 |
| 010502 | 316.44 | 313.45 | 314.29 | 312.32 | 314.32 | 5.62 | 25.08 | 16.53 | 44.20 | 8.58 | 319.37 | 316.38 | 317.21 | 315.25 | 318.53 | G2 | G2 | G2 |
| 010706 | 247.59 | 246.84 | 251.11 | 247.21 | 249.55 | 24.67 | 35.82 | 4.23 | 29.86 | 5.43 | 250.18 | 249.43 | 253.70 | 249.79 | 253.20 | W2 | W2 | W2 |
| 010803 | 395.55 | - | 396.91 | 402.86 | - | 65.23 | - | 33.08 | 1.69 | - | 399.20 | - | 400.56 | 406.52 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 010901 | 712.16 | - | 711.44 | 716.03 | 714.43 | 37.37 | - | 53.55 | 5.40 | 3.67 | 717.04 | - | 716.32 | 720.91 | 721.68 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011003 | 596.68 | - | 597.10 | 603.43 | - | 54.25 | - | 43.89 | 1.85 | - | 601.25 | - | 601.68 | 608.01 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011106 | 184.41 | 179.66 | 180.77 | 179.55 | - | 3.42 | 36.75 | 21.05 | 38.79 | - | 186.30 | 181.55 | 182.66 | 181.44 | - | G2 | G2 | G2 |
| 011206 | - | - | 300.48 | 307.86 | - | - | - | 97.56 | 2.44 | - | - | - | 303.41 | 310.79 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011301 | 215.51 | 217.42 | 215.25 | 214.81 | 217.21 | 23.84 | 9.20 | 27.20 | 33.82 | 5.94 | 218.11 | 220.01 | 217.84 | 217.41 | 220.88 | G2 | G2 | G2 |
| 011404 | 372.15 | 374.43 | 372.31 | 371.80 | 373.78 | 27.38 | 8.75 | 25.31 | 32.68 | 5.88 | 375.37 | 377.65 | 375.53 | 375.01 | 378.45 | G2 | G2 | G2 |
| 011501 | 239.17 | 246.92 | 238.25 | 241.28 | - | 33.87 | 0.70 | 53.65 | 11.78 | - | 241.26 | 249.01 | 240.38 | 243.38 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011603 | 228.94 | 231.14 | 227.91 | 228.88 | 228.82 | 20.76 | 6.92 | 34.80 | 21.36 | 16.17 | 230.83 | 233.02 | 229.79 | 230.77 | 231.33 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011702 | 231.37 | 234.84 | 231.23 | 231.71 | 232.26 | 28.59 | 5.06 | 30.63 | 24.14 | 11.58 | 233.73 | 237.19 | 233.59 | 234.07 | 235.54 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011801 | 333.15 | 335.65 | 332.74 | 333.05 | 333.83 | 25.40 | 7.29 | 31.26 | 26.67 | 9.38 | 336.14 | 338.64 | 335.73 | 336.04 | 338.13 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011901 | 267.56 | 278.27 | 266.86 | 270.79 | 265.88 | 25.49 | 0.12 | 36.17 | 5.09 | 33.13 | 270.29 | 281.00 | 269.59 | 273.52 | 269.77 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012001 | 246.65 | 266.02 | 248.68 | 253.56 | - | 71.76 | 0.00 | 25.98 | 2.26 | - | 249.24 | 268.61 | 251.27 | 256.15 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 012108 | 388.04 | - | 387.81 | 396.47 | - | 46.74 | - | 52.57 | 0.69 | - | 391.46 | - | 391.23 | 399.90 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012205 | - | - | 339.42 | - | - | - | - | 100.00 | - | - | - | - | 342.29 | - | - | 2LN | 2LN | 2LN |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|
| 012304 | 315.61 | 318.04 | 315.08 | 315.37 | 316.69 | 24.72 | 7.34 | 32.20 | 27.98 | 7.76 | 318.48 | 320.91 | 317.95 | 318.23 | 320.79 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012403 | 179.39 | 184.15 | 177.60 | 180.20 | - | 23.77 | 2.20 | 58.18 | 15.85 | - | 180.94 | 185.70 | 179.15 | 181.75 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012501 | 228.44 | 235.02 | 228.49 | 230.16 | 226.88 | 26.02 | 0.97 | 25.30 | 10.98 | 36.73 | 230.70 | 237.29 | 230.76 | 232.43 | 230.01 | P3 | P3 | P3 |
| 012605 | 336.52 | - | 335.16 | - | - | 33.71 | - | 66.29 | - | - | 339.56 | - | 338.21 | - | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012703 | 207.69 | 209.29 | 207.45 | 207.53 | 209.60 | 25.35 | 11.39 | 28.49 | 27.40 | 7.38 | 209.47 | 211.07 | 209.23 | 209.31 | 211.93 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012802 | 291.33 | 299.71 | 290.34 | 293.24 | 290.78 | 26.66 | 0.40 | 43.71 | 10.30 | 18.93 | 294.20 | 302.57 | 293.21 | 296.10 | 294.88 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012908 | 336.41 | 343.54 | 336.25 | 337.65 | 338.26 | 35.08 | 0.99 | 38.00 | 18.86 | 7.07 | 339.46 | 346.59 | 339.30 | 340.70 | 342.66 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013001 | 252.32 | - | 247.62 | - | - | 8.71 | - | 91.29 | - | - | 254.59 | - | 249.89 | - | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013103 | 269.73 | - | 267.47 | 272.98 | - | 23.32 | - | 72.08 | 4.59 | - | 272.16 | - | 269.91 | 275.41 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013201 | 214.98 | - | 213.31 | 216.14 | - | 25.84 | - | 59.64 | 14,52 | - | 217.07 | - | 215.40 | 218.22 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013304 | 244.51 | 247.55 | 244.60 | 244.62 | 246.91 | 30.25 | 6.63 | 28.99 | 28.66 | 5.47 | 247.02 | 250.06 | 247.11 | 247.13 | 250.44 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 013410 | 218.27 | 207.53 | 215.77 | 212.89 | - | 0.43 | 91.78 | 1.49 | 6.31 | - | 220.78 | 210.04 | 218.29 | 215.40 | - | W2 | W2 | W2 |
| 013505 | 271.86 | 278.78 | 271.80 | 272.75 | 274.05 | 34.72 | 1.09 | 35.69 | 22.25 | 6.25 | 274.72 | 281.65 | 274.67 | 275.61 | 278.15 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013606 | 272.80 | 283.06 | 271.24 | 275.60 | - | 29.10 | 0.17 | 63.52 | 7.20 | - | 275.47 | 285.72 | 273.90 | 278.26 | - | 2LN | 2LN | 2LN |

Selon le critère de Schwarz (probabilité a posteriori), sur les 106 stations de cette étude, 65 parmi celles-ci suivent la loi Log-normal (61.32%), 18 stations suivent la loi Gumbel (16.98%), 16 stations suivent la loi Gamma (15.09%), 04 stations suivent la loi Pearson III (3.77%), et 03 stations suivent la loi Weibull (2.83%). Pour le critère BIC, nous ne voyons aucun changement des pourcentages obtenues, tandis que celui de AICc il confirme ces résultats dans 95 % de cas. On remarque que pour les 41 stations qui ne suivent pas la loi Log-Normale, cette dernière est classée en deuxième position pour 24 stations (61.32%). Cela signifie que cette loi est la meilleure alternative aux lois classées en première position.

Kouider en (2003), a constaté que les deux critères BIC et AICc proposent de retenir la même loi de probabilité classée en premier par le critère de Schwarz, sur 95 % de cas de l'ensemble des données ajustées. Dans notre étude ces deux critères confirment les résultats de classement donnés par le critère de Schwarz à 100% et 95% de cas respectivement, ce qui donne un avantage pour la validité de classement selon ce dernier.

Cette différence sur les résultats obtenus pour le BIC et l'AICc peut être expliquée par le fait que lorsque n est petit (comme dans notre cas), le choix optimal pour AICc n'est pas forcément le vrai modèle. Ce dernier peut être trop complexe pour la quantité de données n disponibles, et il peut exister un autre modèle moins complexe réalisant un meilleur compromis biais-variance. Cet inconvénient favorise donc le BIC, puisque lui seul a pour objectif de sélectionner le vrai modèle. Cela est démontré par **Bozdogan (1987)** qui a travaillé sur des simulations de données à partir d'un modèle choisi-le vrai modèle- qui fait partie d'une liste des modèles établis. Puisque l'on connaît le vrai modèle, on regarde sur un grand nombre de simulations lequel des deux critères le retrouve le plus souvent. Les résultats obtenus montrent que le BIC sélectionne le vrai modèle et l'AIC le vrai modèle ou un modèle plus grand (surtout pour n petit), ce qui amène l'auteur à conclure que le BIC est plus performant pour le choix du vrai modèle. En plus, le BIC pénalise plus fortement les paramètres libres du modèle que l'AICc. Dans la pratique, il a été observé que le critère BIC sélectionne des modèles de dimension plus petite que le critère AIC, ce qui n'est pas surprenant puisque le BIC pénalise plus que l'AIC (dès que n devient supérieur à 7) (**Lebarbier et Mary-Huard 2004**).

La seconde phase de calcul sera portée sur l'exploitation des informations supplémentaires contenues dans les résultats obtenus précédemment. Qui sont :

- ❖ Une tendance régionale à suivre la loi Log-Normale (homogénéité spatiale des phénomènes), traduit par la majorité des échantillons étudiés (61.32%) suivent cette dernière (voir figure V.1) ;

- ❖ Pour les stations complètes ou présentant moins de 10 % de lacunes (c'est-à-dire les sites les mieux renseignés) qui sont au nombre de 89 stations, la tendance est davantage en faveur de la loi Log-Normale ; 55 séries de données parmi ces dernières (61.80 %) suivent celle-ci, ce qui montre la forte puissance de la loi 2LN à modéliser les échantillons de pluies maximales journalières annuelles de bonne qualité ;
- ❖ La loi Log-Normale est classée en deuxième position pour 24 séries de données parmi les 41 qui n'y suivent pas. Dans ces cas, la différence sur les probabilités a posteriori entre la loi Log-Normale et celle classée en première position n'excédant pas 22.64% dans 100 % de cas respectivement, ce qui montre que, pour ces dernières la distribution d'échantillonnage elle-même n'est pas connue précisément, alors elles peuvent être issue d'une distribution Log-Normale.

À ces considérations hydrologiques présentant l'information régionale qui sera introduite dans le modèle sous forme de probabilité a priori- s'ajoutent des considérations théoriques et pratiques, caractérisant la robustesse des lois utilisées. Ces dernières seront prises en compte pour consolider le choix de l'a priori. Ces considérations peuvent être résumées en :

- ❖ L'utilisation de distributions de Weibull et Gamma ont été limitées en pratique en raison des problèmes de calcul numérique de leurs fonctions de répartitions, et favorise la loi Log-Normale vu sa simplicité de mise en œuvre;
- ❖ La fonction de densité de probabilité de la loi Weibull pour le cas où ($c < 1$), est une fonction décroissante de x en tout point du domaine et les propriétés asymptotiques usuelles de la méthode du maximum de vraisemblance ne s'appliquent pas (**Perreault et al, 1992**);
- ❖ La loi de Pearson III est une loi à trois paramètres et celles de 2LN, G2 et W2 sont à deux paramètres, information qu'on n'a pas exploitée précédemment pour la probabilité a priori $P(M_i)$ (prise égale pour toutes les lois).

Toutes ces constatations signifient que la loi Log-Normale peut être la loi la plus adéquate pour représenter les distributions des valeurs extrêmes des pluies maximales journalières de notre région.

La figure V.1 donne la répartition spatiale de meilleures lois selon le critère de Schwarz

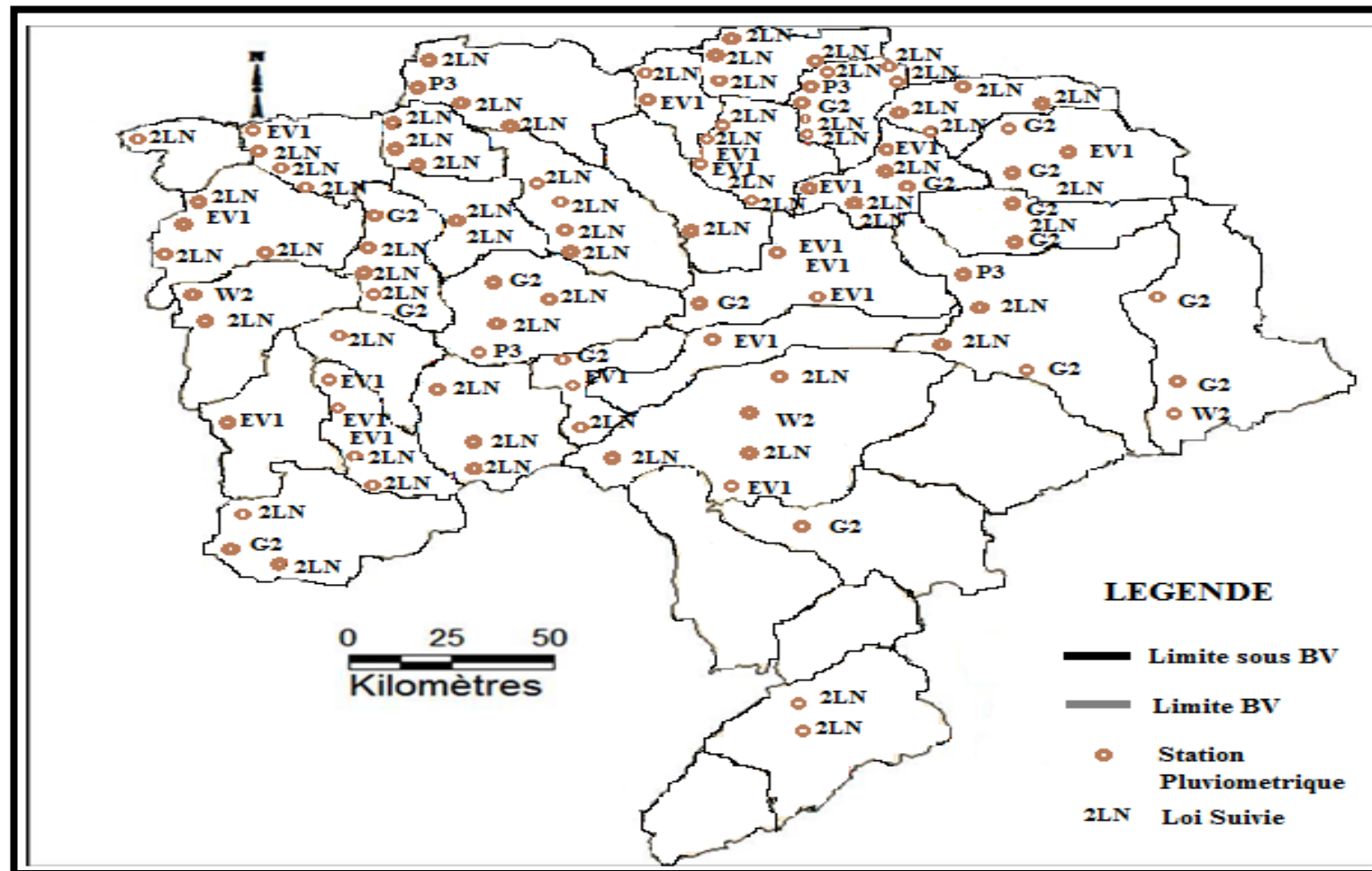


Figure V.1. La distribution de différentes lois sur la région d'étude

Une fois l'analyse locale est établie, les résultats sont exposés, les discussions et les conclusions sont tirées, nous passons maintenant à une analyse régionale basée sur l'exploitation des informations supplémentaires contenues dans les résultats obtenus précédemment.

Cela nous offre la possibilité de lancer une deuxième phase de calcul basée sur les informations supplémentaires citées plus haut. Ces dernières sont introduites numériquement dans les calculs sous forme de distribution de probabilité a priori $P(M_i)$. Pour cela, celle-ci a été modifiée de telle sorte qu'elle doit refléter la tendance régionale allant en faveur de la loi Log-Normale. On a commencé par des petites modifications sur les probabilités a priori $P(M_i)$ sur les échantillons qui ne suivent pas la loi Log-Normale (prise égale pour toutes les lois utilisées dans la phase précédentes et vaut 20, 25, 33.33 et 50 % selon le nombre de lois adéquates pour chaque station), et la valeur maximale tolérable sur les $P(M_i)$ a été fixé à 30, 35, 43.33 et 60 % respectivement, cette valeur est estimée capable de résumer toutes les informations supplémentaires citées plus haut sans risque (rappelons que 61.32% des séries suivent la loi Log-Normale). Dans ces conditions les résultats de calcul des nouvelles probabilités a posteriori pour chacune des lois et pour chaque station sont présentés sur le tableau V.7.

Tableau V.7. Résultats de calculs après une augmentation des probabilités aPriori de (10%) en faveur de la loi LN

| Code Station | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) |
|--------------|--------|---------|---------|---------|-------------|---------|-------|---------|-------------|---------|
| | Gumbel | | Weibull | | Log-Normale | | Gamma | | Pearson III | |
| 010701 | 22.00 | 34.06 | 15.50 | 2.01 | 26.00 | 35.08 | 21.00 | 25.40 | 15.50 | 3.44 |
| 010905 | 22.00 | 22.94 | 16.50 | 10.41 | 24.00 | 31.27 | 21.00 | 30.43 | 16.50 | 4.95 |
| 011003 | 31.00 | 48.76 | - | - | 39.00 | 49.63 | 30.00 | 1.61 | - | - |
| 011004 | 23.40 | 28.34 | 13.50 | 5.61 | 27.20 | 31.28 | 22.40 | 31.10 | 13.50 | 3.68 |
| 011006 | 20.50 | 43.57 | 17.50 | 0.04 | 24.20 | 43.73 | 20.30 | 9.61 | 17.50 | 3.04 |
| 011006_bis | 31.50 | 46.62 | - | - | 38.00 | 46.76 | 30.50 | 6.63 | - | - |
| 011208 | 33.75 | 29.09 | - | - | 35.00 | 60.88 | 31.00 | 7.12 | 0.25 | 2.91 |
| 011301 | 21.00 | 23.71 | 16.00 | 6.98 | 25.00 | 32.21 | 20.00 | 32.04 | 18.00 | 5.06 |
| 011302 | 22.00 | 25.23 | 17.00 | 10.71 | 25.00 | 30.34 | 23.00 | 29.91 | 13.00 | 3.80 |
| 011404 | 23.00 | 27.71 | 13.00 | 5.01 | 29.00 | 32.29 | 22.00 | 31.63 | 13.00 | 3.36 |
| 011407 | 20.50 | 19.96 | 15.75 | 15.82 | 28.00 | 30.56 | 20.00 | 29.28 | 15.75 | 4.37 |
| 011609 | 24.00 | 36.74 | 12.50 | 1.24 | 28.00 | 36.75 | 23.00 | 16.97 | 12.50 | 8.31 |
| 011715 | 25.00 | 25.57 | 12.50 | 2.42 | 26.25 | 34.66 | 23.75 | 34.19 | 12.50 | 3.15 |
| 011803 | 32.50 | 43.82 | - | - | 36.50 | 43.99 | 31.00 | 12.19 | - | - |
| 011804_bis | 24.50 | 45.82 | 22.00 | 0.03 | 29.50 | 45.98 | 24.00 | 8.18 | - | - |
| 012501 | 28.00 | 35.36 | 8.00 | 0.38 | 29.00 | 35.61 | 27.00 | 14.39 | 8.00 | 14.26 |
| 012507 | 25.75 | 31.98 | 11.00 | 2.12 | 27.25 | 32.19 | 25.00 | 31.23 | 11.00 | 2.48 |
| 012707 | 29.00 | 25.49 | 10.00 | 7.79 | 33.00 | 33.49 | 28.00 | 33.23 | - | - |
| 013004 | 23.50 | 44.22 | 12.75 | 0.22 | 28.00 | 44.22 | 23.00 | 11.62 | 12.75 | 0.02 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 013004_bis | 25.25 | 43.88 | 19.75 | 0.31 | 30.00 | 44.06 | 25.00 | 11.75 | - | - |
| 013005 | 22.00 | 34.80 | 16.75 | 2.07 | 23.50 | 34.81 | 21.00 | 24.22 | 16.75 | 4.10 |
| 013202 | 23.50 | 25.95 | 15.13 | 9.27 | 24.00 | 30.27 | 22.25 | 30.05 | 15.13 | 4.46 |
| 013304 | 25.00 | 31.88 | 12.00 | 3.36 | 26.50 | 32.29 | 24.50 | 29.61 | 12.00 | 2.77 |
| 013506 | 21.00 | 43.14 | 18.50 | 0.13 | 22.00 | 43.75 | 20.00 | 9.00 | 18.50 | 3.98 |

D’après les résultats obtenus, après une petite augmentation (10%) de la probabilité a priori (origine : 20, 25, ou 33 %), on observe que la loi Log-Normale est classée en 1^{ère} position pour 24 stations d’avantage. Ce qui ramène le pourcentage des séries qui suivent cette dernière à 83.96%, chose qui nous permet d’être plus confiants en ce qui concerne la bonne adéquation de cette dernière par rapport aux autres lois pour l’ajustement des séries de données de notre région.

Cela nous donne un argument pour augmenter la probabilité a priori de 20% d’avantage, c.-à-d. 30% au total. Les résultats de calcul des nouvelles probabilités a posteriori pour chacune des lois et pour chaque station qui restent sont présentés sur le tableau V.8.

Tableau V.8. Résultats de calculs après une augmentation des probabilités aPriori de (30% au total) en faveur de la loi LN

| Code Station | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) |
|--------------|--------|---------|---------|---------|-------------|---------|-------|---------|-------------|---------|
| | Gumbel | | Weibull | | Log-Normale | | Gamma | | Pearson III | |
| 010502 | 17.25 | 5.06 | 10.50 | 13.76 | 45.75 | 39.51 | 16.00 | 36.96 | 10.50 | 4.71 |
| 010803 | 25.00 | 48.90 | - | - | 50.25 | 49.85 | 24.75 | 1.25 | - | - |
| 010904 | 19.00 | 48.68 | 17.00 | 0.00 | 45.20 | 49.45 | 18.80 | 1.87 | - | - |
| 011101 | 17.25 | 12.82 | 10.00 | 25.88 | 46.75 | 29.07 | 16.00 | 27.90 | 10.00 | 4.33 |
| 011102 | 17.25 | 15.60 | 15.25 | 18.46 | 36.00 | 30.55 | 16.25 | 30.22 | 15.25 | 5.17 |
| 011106 | 22.00 | 3.23 | 15.00 | 23.71 | 42.00 | 38.03 | 21.00 | 35.03 | - | - |
| 011205 | 14.00 | 31.54 | 13.25 | 0.45 | 45.00 | 33.05 | 14.50 | 31.65 | 13.25 | 3.31 |
| 011405 | 15.80 | 34.57 | - | - | 55.00 | 34.67 | 15.20 | 27.40 | 14.00 | 3.36 |
| 011606 | 25.00 | 31.29 | 9.50 | 3.18 | 32.00 | 32.20 | 24.00 | 31.24 | 9.50 | 2.09 |
| 011717 | 32.00 | 39.19 | 2.00 | 0.07 | 33.00 | 39.70 | 31.00 | 13.49 | 2.00 | 7.54 |
| 012001 | 18.00 | 49.13 | 15.00 | 0.00 | 50.00 | 49.40 | 17.00 | 1.46 | - | - |
| 012218 | 30.00 | 46.47 | 0.50 | 0.00 | 39.25 | 46.58 | 29.75 | 3.98 | 0.50 | 2.97 |
| 012703_bis | 24.50 | 15.87 | 7.50 | 10.59 | 45.50 | 37.10 | 22.50 | 36.44 | - | - |
| 012809 | 35.00 | 49.01 | - | - | 65.00 | 50.99 | - | - | - | - |

Les résultats obtenus, après une petite augmentation (30%) de la probabilité a priori (origine : 20, 25, 33, ou 50 %), montrent que la loi Log-Normale est classée en 1^{ère} position pour 14 stations d’avantage. Ce qui ramène le pourcentage des séries qui suivent cette dernière à 97.16%.

Pour cela nous avons augmenté la probabilité a priori progressivement jusqu’à 70.75%.

Les résultats de calculs sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau V.9. Résultats de calcul après une modification des probabilités a priori jusqu'à 70.75%

| Code Station | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) | P(Mi) | P(Mi/x) |
|--------------|--------|---------|---------|---------|-------------|---------|-------|---------|-------------|---------|
| | Gumbel | | Weibull | | Log-Normale | | Gamma | | Pearson III | |
| 010706 | 11.25 | 26.68 | 4.00 | 13.77 | 70.75 | 28.76 | 10.00 | 28.70 | 4.00 | 2.09 |
| 011605 | 13.00 | 32.97 | 7.50 | 1.03 | 60.00 | 33.72 | 12.00 | 30.35 | 7.50 | 1.93 |
| 013410 | 22.90 | 4.80 | 0.10 | 4.50 | 62.40 | 45.54 | 14.60 | 45.16 | - | - |

Les stations 010706, 011605, 013410, ont présenté un comportement Log-Normale pour des probabilités a priori égales 70.75%, 60, et 62.40% respectivement, Cela signifie que les séries de pluies maximales journalières annuelles du bassin de Chellif, suivent la loi Log-Normale. Par conséquent cette dernière est choisie pour estimer les valeurs exceptionnelles de pluies maximales.

Les quantiles de pluies maximales journalières annuelles, calculés par la meilleure loi choisie (loi Log-Normale) pour quelques stations choisies (une par sous bassin) du bassin versant de Chellif sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau V.10. Quantiles calculés par la loi Log Normal des séries de la région d'étude

| Code Station | Log-Normale | | | |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | P _{j, max_2} (mm) | P _{j, max_10} (mm) | P _{j, max_100} (mm) | P _{j, max_1000} (mm) |
| 010204 | 27.95 | 51.79 | 85.65 | 123.70 |
| 010502 | 16.41 | 50.83 | 127.80 | 250.70 |
| 010706 | 14.87 | 36.20 | 74.77 | 127.10 |
| 010803 | 31.98 | 49.02 | 69.45 | 89.57 |
| 010901 | 30.01 | 49.79 | 75.25 | 101.70 |
| 011003 | 31.18 | 47.78 | 67.67 | 87.26 |
| 011106 | 8.85 | 29.78 | 80.05 | 164.80 |
| 011206 | 17.99 | 42.51 | 85.72 | 143.10 |
| 011301 | 18.44 | 27.98 | 39.29 | 50.37 |
| 011404 | 39.59 | 70.15 | 111.80 | 157.30 |
| 011501 | 45.50 | 77.04 | 118.40 | 162.00 |
| 011603 | 47.70 | 85.01 | 136.20 | 192.10 |
| 011702 | 35.80 | 52.66 | 72.14 | 90.79 |
| 011801 | 44.28 | 71.42 | 105.50 | 140.20 |
| 011901 | 26.40 | 43.81 | 66.22 | 89.57 |
| 012001 | 32.37 | 48.00 | 66.18 | 83.69 |
| 012108 | 38.72 | 62.51 | 92.36 | 122.90 |
| 012205 | 49.87 | 89.39 | 143.90 | 203.70 |
| 012304 | 37.22 | 65.34 | 103.40 | 144.60 |
| 012403 | 25.36 | 47.98 | 80.70 | 118.00 |

| | | | | |
|--------|-------|-------|--------|--------|
| 012501 | 34.41 | 53.24 | 75.98 | 98.55 |
| 012605 | 37.06 | 62.95 | 96.96 | 133.00 |
| 012703 | 46.65 | 74.26 | 108.50 | 143.10 |
| 012802 | 28.54 | 48.26 | 74.06 | 101.30 |
| 012908 | 42.80 | 68.14 | 99.55 | 131.30 |
| 013001 | 33.81 | 62.70 | 103.70 | 149.90 |
| 013103 | 38.75 | 68.25 | 108.30 | 151.70 |
| 013201 | 26.97 | 47.21 | 74.52 | 104.00 |
| 013304 | 29.51 | 46.52 | 67.43 | 88.44 |
| 013410 | 25.65 | 35.82 | 47.02 | 57.37 |
| 013505 | 28.07 | 42.54 | 59.71 | 76.49 |
| 013606 | 28.74 | 50.03 | 78.62 | 109.40 |

V.4. Conclusion

La loi Log-Normale est la loi la plus adéquate pour l'estimation des valeurs non observées des pluies maximales journalières annuelles (valeurs rares) dans le bassin versant du Chellif selon les 3 critères BIC, AICc et Schwarz. Par conséquent, celle-ci est retenue pour modéliser et estimer les pluies maximales journalières extrêmes de la région étudiée.

Conclusion générale

L'intérêt principal de ce travail a été de déterminer un modèle statistique capable de rendre compte du régime des pluies maximales journalières du bassin versant Chellif. Grâce à l'utilisation de différents techniques et critères pour le choix du type de modèle en premier lieu, puis du modèle qui ajuste mieux nos séries en second lieu.

L'utilisation du diagramme log-log a permis de déterminer le type de modèle (la classe) de nos séries de données grâce aux valeurs du coefficient de corrélation R_0 . Les résultats montrent que la classe D (distribution asymptotiquement de type sub-exponentiel) est le type susceptible de mieux ajuster nos séries.

L'analyse des séries des pluies maximales journalières par les différents critères d'information : Le critère de Schwarz (probabilité a priori $P(M_i)$ et la probabilité a posteriori $P(M_i/x)$ et les deux critères d'informations : bayésien BIC et Akaike modifié AICc pour déterminer le modèle le plus adéquat parmi les différentes lois de la classe D (Gumbel, Weibull, Log-Normale, Gamma et Pearson type III).

Les résultats obtenus montrent que la loi Log-Normale est celle la plus adéquate pour l'estimation des valeurs extrêmes des pluies maximales journalières du bassin de Chellif. Ces résultats sont surprenant du fait des coutumes et pratiques instaurées en Algérie, hérités de l'époque coloniale, allant en faveur de loi de Gumbel, pour laquelle aucune station étudiée ne présente un comportement asymptotique à cette dernière.

Malgré les obstacles que nous avons trouvés dans notre chemin ; liés à la taille réduite des séries de données, le manque de subventions avec des services concernés par la fourniture des données et la fiabilité de ces dernières, nous avons pu réaliser ce travail qui constitue un pas sur le chemin de l'étude des valeurs rares des pluies maximales journalières en Algérie. Il doit être poursuivi par d'autres études complémentaires, telle que l'utilisation des informations supplémentaires sur les régions hydrologiquement homogènes qui doivent être introduites dans les calculs comme une probabilité a priori, ce qui permet une amélioration des résultats obtenus.

Références bibliographiques

1. **Akaike, H. 1974.** A new-look at statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control. AU, 19. pp : 716-722.
2. **Ancey, C. 2006.** Dynamique des avalanches. Vol I. Edition HGA. Bucharest. 335 pages.
3. **A.N.R.H. 1993.** Carte Pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Ministère de l'Équipement, Edition INCT, Alger.
4. **Béliveau, J. 2006.** Analyse fréquentielle multivariée de la pointe, du volume et de la durée de la crue. Thèse Maître ès sciences. Faculté des sciences et de génie. Université Laval. Québec. 60 pages.
5. **Bois, P.H. 2000.** Hydrologie générale. Institut national polytechnique de Grenoble.180 pages.
6. **Boukli, C. et Fissa, A. 2015.** Cours Système d'information géographique. Hydraulique. Tlemcen : Université Boubakra Belkaid.73 pages.
7. **Boutaya, I. et Chalal, S. 2017.** Etude de la vulnérabilité à la pollution de la région Boulimat par la méthode DRASTIC. Mémoire de master. Environnement et santé publique. Bejaia : Université Abderrahmane Mira. 44 pages.
8. **Bozdogan, H. 1987.** Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical. Psychometrika, 52, pp 345-370.
9. **Burnham, K.P. et Anderson, D.R. 2002.** Model selection and multi-model, inference: a practical information-theoretic approach. Vol II. Springer-Verlag. New York. 481page.
10. **Cunnane, C. 1978.** Unbiased plotting position. Journal of hydrology 37,205-222 pages.
11. **Djrboua, A. 2001.** Prédétermination des pluies et crues extrêmes dans les alpes franco-italiennes, prévision quantitative des pluies journalières par la méthode des analogues. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Grenoble. France. 240 pages.
12. **El Adlouni, S. , Bobée, B. et Ouarda, T.B.M.J. 2007.** Caractérisation des distributions à queue lourde pour l'analyse des crues. Rapport de recherche n° R-929. Université du Québec. Canada. 83 pages.

13. **El Adlouni, S., Bobée, B. et Ouarda, T.B.M.J. 2008.** On the tails of extreme event distributions in Hydrology. Submitted to Journal of Hydrology. Canada: University of Quebec. 53 pages.
14. **El Meddahi, N. 2016.** Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du chellif. Thèse de doctorat en sciences. Faculté d'agriculture et de génie civil. Université Hassiba ben Bouali chellif. 50 pages.
15. **Embrechts, P., Klüppelberg, C. et Mikosch, T. 1997.** Modeling Extremal Events for Insurance and Finance, Applications of Mathematics; stochastique modeling and applied probability. Vol. 33. Springer, Berlin. 643 pages.
16. **Fisher, R.A. et Tippett, L.H.C. 1928.** Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of sample. Proc Camb Philos Soc 24 : 180-190.
17. **Gnedenko, B. 1943.** Sur la distribution limite du terme maximum d'une série aléatoire. Ann Math 44 : 423-453.
18. **Gomer, D. 1994.** Écoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen, Bassin de la Mina, Thèse Université de Karlsruhe, Allemagne, 137 p.
19. **Harter, L. 1984.** Another look at plotting positions. Communications in statistics-Theory and Methods. Vol 13. 1613-1633 pages.
20. **Hazen, A. 1914.** Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply. Trans. ASCE. 77: 1547-1550.
21. **Hebal, A. et Remini, B. 2011.** Choix du modèle fréquentiel le plus adéquat à l'estimation des valeurs extrêmes de crues (cas du nord de L'Algérie). Revue canadienne de génie civil vol 38, N° 8, pp. 881-892.
22. **Hebal, A., Remini, B. et Makhlouf, H., 2013.** Choix du modèle fréquentiel le plus adéquat à l'estimation des valeurs rares de pluies maximales annuelles du bassin versant de l'Isser (Nord-centre de l'Algérie). Congrès SHF (Evènement extrême d'inondation), Lyon, 13-14 Novembre.
23. **Hebal, A. 2016.** Cours Hydrologie des bassins versants. Aménagement hydro-Agricole. Université 20 Aout 1955 –Skikda-. 41 pages.
24. **Hebal, A. 2018.** Cours Hydrologie statistiques appliquée. Aménagement hydro-Agricole. Université 20 Aout 1955 –Skikda-. 62 pages.
25. **Hurvich, C.M. et Tsai, C.L. 1989.** Regression and time series model selection in small samples. Biometrika. pp. 297-307.

26. **Hurvich, C.M., et Tsai, C.L. 1995.** Model selection for extended quasi-likelihood models in small samples. *Biometrics* 51: 1077-1084.
27. **Jenkinson, A.F. 1955.** The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Q.J.R. Meteorol. soc.* 81. pp.158-171.
28. **Kouider, A. 2003.** Analyse fréquentielle locale des crues au Québec. Thèse maîtrise Es science. Canada : Université du Québec. 264 pages.
29. **Laborde, J.P. 2000.** Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice - Sophia Antipolis. 204 pages.
30. **Laborde, J.P. 2009.** Elément d'hydrologie de surface. Université de Sophia Nice Antipolis. 198 pages.
31. **Landwehr, J.M., Matalas, N.C. et Wallis, J.R. 1979.** Probability weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. *Water Resources Research*, 15, pp 1055-1064.
32. **Lebarbier, E. et Mary-Huard, T. 2004.** Le critère BIC : fondements théoriques et interprétation. INRIA, Thème 4, Rapport de recherche, 20 pages.
33. **Mallows, C.L. 1974.** Some comments on Cp. *Technometrics*, 15: 661-675.
34. **McDonald, et Bneder, 1990.** Étude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhath Benziane et du réaménagement du Bas-Chéliff, Bureau National d'Étude pour le Développement Rural.
35. **Mehaiguen, M. 2005.** Bilan hydrologique et ressources en eau de surface du bassin Cheliff-Zahrez. Thèse de doctorat. MEDDI Mohamed.
36. **Meylan, P. et Musy, A. 1999.** Hydrologie fréquentielle. Vol I. Edition. HGA. Bucarest. 415 pages.
37. **Meylan, P. Musy, A. et Favre, A.C. 2012.** Hydrologie fréquentielle : une science prédictive. Presses polytechniques et universitaires de romande. 168 pages.
38. **Miquel, J. et Gaume, E. 2012.** Hydrologie quantitative : Processus, modèles et aide à la décision. Springer Paris. 617 pages.
39. **Morgenthaler, S. 2007.** Introduction à la statistique. Vol 3. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne. 369 pages.
40. **Musy, A. et Meylan, P. 1999.** Hydrologie fréquentielle. Vol I. Edition. HGA. Bucarest. 415 pages.
41. **Musy, A. et Higy, Ch. 2004.** Hydrologie : une science de la nature. Vol I. Edition EPFL. Lausanne. Suisse. 314p.

42. **Musy, A. 2005.** Cours Hydrologie générale : le cycle et le bilan hydrologique ». Laboratoire d'hydrologie et Aménagements (HYDRAM). Suisse : Ecole polytechnique Fédérale, Lausanne.
43. **Ouarda, T.B.M.J. Ashkar, F. Bensaïd, E. et Hourani, I. 1994.** Distributions statistiques utilisées en hydrologie : Transformation et propriétés asymptotiques. Rapport scientifique. Département de Mathématiques. Université de Moncton, N.B. Canada. 31 pages.
44. **Percheron, A. et Lozère, P. 2004.** Analyse des impacts des étiages de la rivière montmorency sur les usages de la ressource en eau. Mémoire Ingénieur. Ecole nationale d'ingénierie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg. 90 pages.
45. **Perreault, L., Bobé, B. et Fortin, V. 1992.** Approximation des quantiles de la loi Pearson Type 3 standardisée par les polynômes Tchebichef. Rapport scientifique N°346. Université de Québec. 24 pages.
46. **Posada, D. et Buckley, T.R. 2004.** Model selection and model averaging in phylogenetic: Avantages of Akaike Information criterion and Bayesian Approaches Over Likelihood Ratio Tests. Vol 53, Issue 05, pages 793-808.
47. **Ripley, B.D. 2003.** Model selection in complex classes of models. <http://web.maths.unsw.edu.au/~inge/statlearn/ripley1.pdf>.
48. **Rissanen, J. 1978.** Modelling by the shortest data description. Automatica, 14: 465-471.
49. **Ronchetti, M. 1985.** Robust model selection in regression. Statis. Probab. Lett. 3: 21-23.
50. **Rosbjerg, D., Correa, J. et Rasmussen, P.F. 1992.** Justification des formules de probabilité empirique basées sur la médiane de la statistique d'ordre. Revue des sciences de l'eau. Vol V. N° 04. ISSN. Pp12 pages.
51. **Schwarz, G. 1978.** Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics 6 : 461-464.
52. **Shi, P. et Tsai, C.L. 1998.** A note on the unification of the Akaike information criterion. J.R. Statist. Soc. B 60: 551-558.
53. **Souanef, N. 2015.** Analyse fréquentielle des débits de crues d'Oued Abiod. Mémoire de master. Hydraulique urbaine. Biskra, Université de Mohamed khider. 134 pages.
54. **Soukatchoff, V.M. 2012.** Hydrologie et hydrogéologie. 3^{ème} année ST. Ecole des mines de Nancy. 102 pages.

55. **Sugiura, A. 1978.** Further analysis of the data by akaike's information criterion and the finite corrections. Communications in Statistics, Theory and methods: A7: 13-26.
56. **Tabou, K. et Alouane, N.E.H. 2017.** Estimation des valeurs extrêmes des pluies maximales journalières de l'Est de l'Algérie. Mémoire de Master, Aménagement hydro-Agricole. Université 20 Aout 1955 –Skikda-. 98 pages.
57. **Touibia, B. 2004.** Manuel pratique en hydrologie. Presse Madani frères, Guerouaou. 163 pages.

Annexes

Annexe 01 : Caractéristiques des stations pluviométriques retenues de Chellif

| Nom de station | Code station | X (km) | Y (km) |
|-----------------------|--------------|--------|--------|
| / | 010208 | - | - |
| / | 010701 | - | - |
| Rechaiga | 010703 | - | - |
| / | 010704 | - | - |
| / | 010708 | - | - |
| Dahmouni Tlimuler | 010904 | 388.80 | 235.95 |
| Ain Sebain | 010905 | 401.30 | 238.85 |
| Khemisti | 011004 | 434.15 | 263.30 |
| Tissemsilt | 011006 | 420.40 | 257.00 |
| Tissemsilt | 011006_bis | - | - |
| / | 011101 | - | - |
| / | 011102 | - | - |
| / | 011205 | - | - |
| / | 011207 | - | - |
| Boughzoul | 011208 | 507.10 | 272.25 |
| Derrag | 011302 | 472.00 | 289.85 |
| Derrag | 011302_bis | 472.00 | 289.85 |
| Zoubiria Mongomo | 011404_bis | 513.50 | 312.80 |
| Ghrib Bge | 011405 | 487.25 | 318.40 |
| Ghrib Amont | 011407 | 495.45 | 308.79 |
| Médéa Secteur | 011509 | 504.85 | 329.80 |
| / | 011510 | - | - |
| Ain Sultan Pep | 011512 | 464.10 | 326.50 |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603_bis | 461.10 | 285.30 |
| Theniet El Had | 011605 | 438.95 | 286.45 |
| Sidi Mokerfi | 011606 | 463.20 | 304.25 |
| Tarik Ibn Zyad | 011607 | 450.30 | 299.60 |
| / | 011609 | - | - |
| Bordj El Amir Khaled | 011703 | 455.85 | 313.80 |
| El Khemis ANRH | 011706 | 458.80 | 328.20 |
| Sidi Lakhdar | 011711 | 452.00 | 329.65 |
| El Ababsa | 011715 | 443.95 | 318.05 |
| / | 011717 | - | - |
| / | 011718 | - | - |
| Sidi Medjahed | 011803 | - | - |
| Sidi Medjahed | 011803_bis | - | - |
| Ain Defla | 011804 | 434.60 | 329.90 |
| Ain Defla | 011804_bis | 434.60 | 329.90 |

| | | | |
|---------------------------|------------|--------|--------|
| El Anneb | 011806 | - | - |
| Toutia El Hassania | 011903 | 430.00 | 294.20 |
| Rouina Mairie | 011904 | 419.80 | 327.30 |
| Rouina Mines | 011906 | 421.50 | 324.49 |
| Tikazal | 012004 | 414.38 | 321.69 |
| Ouled Fares | 012201 | 368.10 | 326.65 |
| D ^{mne} Si Tayeb | 012218 | 363.78 | 320.00 |
| El Asnam(Chellif) Dda | 012219 | 378.65 | 320.50 |
| Ain Lellou | 012307 | 397.40 | 293.60 |
| Ouled Ben Aek | 012308 | 371.70 | 303.90 |
| Ouled Sly | 012309 | 365.20 | 312.70 |
| / | 012404 | - | - |
| / | 012409 | - | - |
| Sidi Hosni | 012503 | 392.95 | 242.05 |
| / | 012504 | - | - |
| / | 012507 | - | - |
| Ammi Moussa | 012605_bis | 357.40 | 286.15 |
| Kenenda | 012703_bis | - | - |
| / | 012704 | - | - |
| / | 012706 | - | - |
| / | 012707 | - | - |
| Dne Sidi Lakhdar | 012804 | 318.10 | 300.20 |
| Djediouia Chellif | 012806 | 329.59 | 298.20 |
| / | 012809 | - | - |
| / | 012901 | - | - |
| / | 012915 | - | - |
| Frenda | 013002 | 348.60 | 197.00 |
| Ain El Hadid | 013004 | 334.50 | 197.00 |
| Ain El Hadid | 013004_bis | 334.50 | 197.00 |
| / | 013005 | - | - |
| / | 013202 | - | - |
| / | 013207 | - | - |
| / | 013407_bis | - | - |
| / | 013504 | - | - |
| El Matmar | 013506 | 300.10 | 271.50 |
| L'hillil | 013507 | 288.35 | 271.35 |

Annexe 02 : La période de fonctionnement des stations retenues

| Nom de station | Code station | Données Fournies |
|----------------|--------------|------------------|
| / | 010208 | 1983-2003 |
| / | 010701 | 1969-2003 |
| Rechaiga | 010703 | 1967-2003 |
| / | 010704 | 1967-2004 |

| | | |
|---------------------------|------------|-----------|
| / | 010708 | 1973-2003 |
| Dahmouni Tlimuler | 010904 | 1969-2003 |
| Ain Sebain | 010905 | 1967-2003 |
| Khemisti | 011004 | 1925-1950 |
| Tissemsilt | 011006 | 1916-1961 |
| Tissemsilt | 011006_bis | 1973-2003 |
| / | 011101 | 1913-1944 |
| / | 011102 | 1967-2003 |
| / | 011205 | 1914-1998 |
| / | 011207 | 1967-2004 |
| Boughzoul | 011208 | 1948-2004 |
| Derrag | 011302 | 1913-1937 |
| Derrag | 011302_bis | 1967-2004 |
| Zoubiria Mongomo | 011404_bis | 1967-2004 |
| Ghrib Bge | 011405 | 1940-2004 |
| Ghrib Amont | 011407 | 1976-2004 |
| Médéa Secteur | 011509 | 1976-2004 |
| / | 011510 | 1972-2004 |
| Ain Sultan Pep | 011512 | 1978-2004 |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603_bis | 1966-2004 |
| Theniet El Had | 011605 | 1905-2004 |
| Sidi Mokerfi | 011606 | 1968-2004 |
| Tarik Ibn Zyad | 011607 | 1954-2004 |
| / | 011609 | 1984-2004 |
| Bordj El Amir Khaled | 011703 | 1952-2004 |
| El Khemis ANRH | 011706 | 1966-2004 |
| Sidi Lakhdar | 011711 | 1972-2004 |
| El Ababsa | 011715 | 1972-2004 |
| / | 011717 | 1975-2004 |
| / | 011718 | 1984-2004 |
| Sidi Medjahed | 011803 | 1916-1951 |
| Sidi Medjahed | 011803_bis | 1967-2004 |
| Ain Defla | 011804 | 1910-1938 |
| Ain Defla | 011804_bis | 1962-2004 |
| El Anneb | 011806 | 1972-2004 |
| Toutia El Hassania | 011903 | 1969-2004 |
| Rouina Mairie | 011904 | 1976-2001 |
| Rouina Mines | 011906 | 1972-2004 |
| Tikazal | 012004 | 1972-2004 |
| Ouled Fares | 012201 | 1972-2004 |
| D ^{mne} Si Tayeb | 012218 | 1971-2004 |
| El Asnam(Chellif) Dda | 012219 | 1971-2003 |
| Ain Lellou | 012307 | 1967-1992 |
| Ouled Ben Aek | 012308 | 1967-2004 |

| | | |
|-------------------|------------|-----------|
| Ouled Sly | 012309 | 1964-2004 |
| / | 012404 | 1965-1987 |
| / | 012409 | 1971-2003 |
| Sidi Hosni | 012503 | 1961-2003 |
| / | 012504 | 1969-1998 |
| / | 012507 | 1970-2003 |
| Ammi Moussa | 012605_bis | 1967-2002 |
| Kenenda | 012703_bis | 1967-2002 |
| / | 012704 | 1967-2002 |
| / | 012706 | 1977-2002 |
| / | 012707 | 1972-1994 |
| Dne Sidi Lakhdar | 012804 | 1967-2003 |
| Djediouia Chellif | 012806 | 1973-2003 |
| / | 012809 | 1974-2003 |
| / | 012901 | 1973-2003 |
| / | 012915 | 1973-2003 |
| Frenda | 013002 | 1932-2003 |
| Ain El Hadid | 013004 | 1914-1956 |
| Ain El Hadid | 013004_bis | 1964-2003 |
| / | 013005 | 1974-2003 |
| / | 013202 | 1974-2003 |
| / | 013207 | 1977-1998 |
| / | 013407_bis | 1972-1993 |
| / | 013504 | 1972-2003 |
| El Matmar | 013506 | 1967-2003 |
| L'hillil | 013507 | 1967-2003 |

Annexe 03 : Nombre d'observations et lacunes pour chaque station

| Nom de station | Code station | Nombre d'observation | Nombre de lacune | Pourcentage de lacunes (%) |
|-----------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| / | 010208 | 21 | 1 | 4.76 |
| / | 010701 | 35 | 1 | 2.85 |
| Rechaiga | 010703 | 37 | 0 | 0 |
| / | 010704 | 38 | 8 | 21.05 |
| / | 010708 | 31 | 0 | 0 |
| Dahmouni Tlimuler | 010904 | 35 | 0 | 0 |
| Ain Sebain | 010905 | 37 | 0 | 0 |
| Khemisti | 011004 | 26 | 2 | 7.69 |
| Tissemsilt | 011006 | 46 | 7 | 15.21 |
| Tissemsilt | 011006_bis | 31 | 0 | 0 |
| / | 011101 | 32 | 1 | 3.12 |
| / | 011102 | 37 | 2 | 5.40 |
| / | 011205 | 85 | 3 | 3.52 |

| | | | | |
|---------------------------|------------|-----|----|-------|
| / | 011207 | 38 | 2 | 5.26 |
| Boughzoul | 011208 | 57 | 1 | 1.75 |
| Derrag | 011302 | 25 | 1 | 4 |
| Derrag | 011302_bis | 38 | 2 | 5.26 |
| Zoubiria Mongomo | 011404_bis | 38 | 0 | 0 |
| Ghrib Bge | 011405 | 65 | 1 | 1.53 |
| Ghrib Amont | 011407 | 29 | 0 | 0 |
| Médéa Secteur | 011509 | 29 | 0 | 0 |
| / | 011510 | 33 | 1 | 3.03 |
| Ain Sultan Pep | 011512 | 27 | 0 | 0 |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603_bis | 39 | 2 | 5.12 |
| Theniet El Had | 011605 | 100 | 13 | 13 |
| Sidi Mokerfi | 011606 | 37 | 1 | 2.70 |
| Tarik Ibn Ziad | 011607 | 51 | 6 | 11.76 |
| / | 011609 | 21 | 2 | 9.52 |
| Bordj El Amir Khaled | 011703 | 53 | 5 | 9.43 |
| El Khemis ANRH | 011706 | 39 | 3 | 7.69 |
| Sidi Lakhdar | 011711 | 33 | 2 | 6.06 |
| El Ababsa | 011715 | 33 | 2 | 6.06 |
| / | 011717 | 30 | 0 | 0 |
| / | 011718 | 21 | 0 | 0 |
| Sidi Medjahed | 011803 | 36 | 1 | 2.77 |
| Sidi Medjahed | 011803_bis | 38 | 0 | 0 |
| Ain Defla | 011804 | 29 | 0 | 0 |
| Ain Defla | 011804_bis | 43 | 2 | 5.88 |
| El Anneb | 011806 | 33 | 0 | 0 |
| Toutia El Hassania | 011903 | 36 | 4 | 11.11 |
| Rouina Mairie | 011904 | 26 | 1 | 0 |
| Rouina Mines | 011906 | 33 | 2 | 6.06 |
| Tikazal | 012004 | 33 | 0 | 0 |
| Ouled Fares | 012201 | 33 | 1 | 3.03 |
| D ^{mne} Si Tayeb | 012218 | 34 | 1 | 2.94 |
| El Asnam(Chellif) Dda | 012219 | 33 | 2 | 6.06 |
| Ain Lellou | 012307 | 26 | 2 | 7.69 |
| Ouled Ben Aek | 012308 | 38 | 2 | 5.26 |
| Ouled Sly | 012309 | 41 | 4 | 9.75 |
| / | 012404 | 23 | 3 | 13.04 |
| / | 012409 | 33 | 0 | 0 |
| Sidi Hosni | 012503 | 43 | 3 | 7.14 |
| / | 012504 | 30 | 2 | 6.66 |
| / | 012507 | 34 | 0 | 0 |
| Ammi Moussa | 012605_bis | 36 | 1 | 2.77 |
| Kenenda | 012703_bis | 36 | 1 | 2.77 |
| / | 012704 | 36 | 1 | 2.77 |

| | | | | |
|-------------------|------------|----|---|-------|
| / | 012706 | 26 | 1 | 3.84 |
| / | 012707 | 23 | 0 | 0 |
| Dne Sidi Lakhdar | 012804 | 37 | 1 | 2.70 |
| Djediouia Chellif | 012806 | 31 | 1 | 3.22 |
| / | 012809 | 30 | 2 | 6.66 |
| / | 012901 | 31 | 4 | 12.90 |
| / | 012915 | 31 | 0 | 0 |
| Frenda | 013002 | 72 | 3 | 4.16 |
| Ain El Hadid | 013004 | 43 | 0 | 0 |
| Ain El Hadid | 013004_bis | 40 | 2 | 5 |
| / | 013005 | 30 | 4 | 13.33 |
| / | 013202 | 30 | 0 | 0 |
| / | 013207 | 22 | 0 | 0 |
| / | 013407_bis | 22 | 3 | 13.63 |
| / | 013504 | 32 | 3 | 9.37 |
| El Matmar | 013506 | 37 | 2 | 5.40 |
| L'hillil | 013507 | 37 | 3 | 8.10 |

Annexe 04 : Résultat de la vérification des hypothèses IID

| Nom de station | Code Station | Test d'indépendance | | | Test de kendall | | | Test d'homogénéité | | |
|-------------------|--------------|---------------------|------|----------|-----------------|------|----------|--------------------|------|----------|
| | | P | U | Décision | P | K | Décision | P | W | Décision |
| / | 010205 | 0.84 | 0.19 | Accepté | 0.00 | 2.79 | Rejeté | 0.00 | 3.02 | Rejeté |
| / | 010208 | 0.99 | 0.01 | Accepté | 0.30 | 1.02 | Accepté | 0.41 | 0.81 | Accepté |
| / | 010701 | 0.55 | 0.59 | Accepté | 0.32 | 0.97 | Accepté | 0.59 | 0.52 | Accepté |
| Rechaiga | 010703 | 0.21 | 1.22 | Accepté | 0.01 | 0.29 | Accepté | 0.02 | 2.23 | Accepté |
| / | 010704 | 0.29 | 1.05 | Accepté | 0.02 | 2.26 | Accepté | 0.03 | 2.14 | Accepté |
| / | 010708 | 0.92 | 0.09 | Accepté | 0.91 | 0.10 | Accepté | 0.75 | 0.31 | Accepté |
| / | 010804 | 0.29 | 1.50 | Accepté | 0.00 | 2.65 | Rejeté | 0.01 | 2.94 | Accepté |
| Dahmouni Tlimuler | 010904 | 0.85 | 0.18 | Accepté | 0.34 | 0.95 | Accepté | 0.53 | 0.62 | Accepté |
| Ain Sebain | 010905 | 0.15 | 1.41 | Accepté | 0.90 | 0.17 | Accepté | 0.84 | 0.19 | Accepté |
| Khemisti | 011004 | 0.06 | 1.87 | Accepté | 0.21 | 1.23 | Accepté | 0.13 | 1.42 | Accepté |
| Khemisti | 011004_bis | 0.00 | 1.38 | Rejeté | 0.77 | 1.99 | Accepté | 0.66 | 1.83 | Accepté |
| Tissemsilt | 011006 | 0.50 | 0.67 | Accepté | 0.87 | 0.15 | Accepté | 0.77 | 0.28 | Accepté |
| Tissemsilt | 011006_bis | 0.91 | 0.10 | Accepté | 0.59 | 0.52 | Accepté | 0.41 | 0.81 | Accepté |
| / | 011101 | 0.09 | 1.66 | Accepté | 0.48 | 0.69 | Accepté | 0.25 | 1.13 | Accepté |
| / | 011102 | 0.01 | 2.47 | Accepté | 0.77 | 0.28 | Accepté | 1.00 | 0.00 | Accepté |
| / | 011205 | 0.31 | 1.00 | Accepté | 0.58 | 0.53 | Accepté | 0.68 | 0.40 | Accepté |
| / | 011207 | 0.61 | 0.50 | Accepté | 0.55 | 0.59 | Accepté | 0.77 | 0.29 | Accepté |
| Boughzoul | 011208 | 0.85 | 0.18 | Accepté | 0.45 | 0.74 | Accepté | 0.87 | 0.15 | Accepté |
| Derrag | 011302 | 0.60 | 0.52 | Accepté | 0.32 | 0.98 | Accepté | 0.06 | 1.87 | Accepté |
| Derrag | 011302_bis | 0.95 | 0.06 | Accepté | 0.33 | 0.96 | Accepté | 0.01 | 2.36 | Accepté |
| Zoubiria Mongomo | 011404_bis | 0.10 | 1.64 | Accepté | 0.03 | 2.12 | Accepté | 0.01 | 2.44 | Accepté |
| Ghrib Bge | 011405 | 0.30 | 1.03 | Accepté | 0.07 | 1.80 | Accepté | 0.11 | 1.56 | Accepté |
| Ghrib Amont | 011407 | 0.67 | 0.41 | Accepté | 0.98 | 0.01 | Accepté | 0.94 | 0.06 | Accepté |
| Médéa Secteur | 011509 | 0.35 | 0.92 | Accepté | 0.63 | 0.46 | Accepté | 0.61 | 0.50 | Accepté |
| / | 011510 | 0.45 | 0.74 | Accepté | 0.68 | 0.40 | Accepté | 0.67 | 0.41 | Accepté |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| Ain Sultan Pep | 011512 | 0.28 | 1.07 | Accepté | 0.01 | 2.48 | Accepté | 0.19 | 1.28 | Accepté |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603_bis | 0.34 | 0.93 | Accepté | 0.32 | 0.99 | Accepté | 0.71 | 0.36 | Accepté |
| / | 011604 | 0.16 | 1.38 | Accepté | 0.00 | 2.65 | Rejeté | 0.00 | 2.99 | Rejeté |
| Theniet El Had | 011605 | 0.69 | 0.39 | Accepté | 0.17 | 1.35 | Accepté | 0.06 | 1.81 | Accepté |
| Sidi Mokerfi | 011606 | 0.74 | 0.32 | Accepté | 0.01 | 2.55 | Accepté | 0.02 | 2.24 | Accepté |
| Tarik Ibn Ziyad | 011607 | 0.85 | 0.17 | Accepté | 0.17 | 1.36 | Accepté | 0.17 | 1.36 | Accepté |
| / | 011609 | 0.39 | 0.84 | Accepté | 0.73 | 0.33 | Accepté | 0.91 | 0.10 | Accepté |
| Bordj El Amir Khaled | 011703 | 0.37 | 0.89 | Accepté | 0.03 | 2.12 | Accepté | 0.20 | 1.28 | Accepté |
| El Khemis ANRH | 011706 | 0.31 | 0.99 | Accepté | 0.20 | 1.27 | Accepté | 0.10 | 1.64 | Accepté |
| Sidi Lakhdar | 011711 | 0.74 | 0.33 | Accepté | 0.01 | 2.34 | Accepté | 0.01 | 2.57 | Accepté |
| El Ababsa | 011715 | 0.66 | 0.42 | Accepté | 0.84 | 0.20 | Accepté | 0.33 | 0.97 | Accepté |
| / | 011717 | 0.59 | 0.53 | Accepté | 0.30 | 1.03 | Accepté | 0.81 | 0.22 | Accepté |
| / | 011718 | 0.32 | 0.99 | Accepté | 0.78 | 0.27 | Accepté | 0.86 | 0.17 | Accepté |
| Sidi Medjahed | 011803 | 0.42 | 0.79 | Accepté | 0.58 | 0.54 | Accepté | 0.61 | 0.50 | Accepté |
| Sidi Medjahed | 011803_bis | 0.57 | 0.55 | Accepté | 0.05 | 1.93 | Accepté | 0.10 | 1.62 | Accepté |
| Ain Defla | 011804 | 0.19 | 1.29 | Accepté | 0.33 | 0.95 | Accepté | 0.32 | 0.98 | Accepté |
| Ain Defla | 011804_bis | 0.27 | 1.10 | Accepté | 0.01 | 2.48 | Accepté | 0.01 | 2.53 | Accepté |
| El Anneb | 011806 | 0.30 | 1.01 | Accepté | 0.42 | 0.79 | Accepté | 0.39 | 0.84 | Accepté |
| Toutia El Hassania | 011903 | 0.16 | 1.37 | Accepté | 0.20 | 1.28 | Accepté | 0.82 | 0.22 | Accepté |
| Rouina Mairie | 011904 | 0.55 | 0.59 | Accepté | 0.41 | 0.81 | Accepté | 0.47 | 0.72 | Accepté |
| Rouina Mines | 011906 | 0.04 | 1.98 | Accepté | 0.76 | 0.29 | Accepté | 0.73 | 0.34 | Accepté |
| Tikazal | 012004 | 0.44 | 0.76 | Accepté | 0.22 | 1.20 | Accepté | 0.33 | 0.95 | Accepté |
| Ouled Fares | 012201 | 0.51 | 0.64 | Accepté | 0.60 | 0.51 | Accepté | 0.57 | 0.55 | Accepté |
| D ^{mne} Si Tayeb | 012218 | 0.14 | 1.45 | Accepté | 0.51 | 0.65 | Accepté | 0.54 | 0.60 | Accepté |
| El Asnam(Chellif) Dda | 012219 | 0.83 | 0.21 | Accepté | 0.27 | 1.08 | Accepté | 0.54 | 0.61 | Accepté |
| Ain Lellou | 012307 | 0.45 | 0.74 | Accepté | 0.13 | 1.49 | Accepté | 0.11 | 1.56 | Accepté |
| Ouled Ben Aek | 012308 | 0.59 | 0.53 | Accepté | 0.29 | 1.04 | Accepté | 0.27 | 1.08 | Accepté |
| Ouled Sly | 012309 | 0.93 | 0.08 | Accepté | 0.06 | 1.87 | Accepté | 0.05 | 1.90 | Accepté |
| / | 012404 | 0.75 | 0.31 | Accepté | 0.11 | 1.58 | Accepté | 0.13 | 1.50 | Accepté |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|
| / | 012409 | 0.27 | 1.09 | Accepté | 0.84 | 0.20 | Accepté | 0.95 | 0.05 | Accepté |
| Sidi Hosni | 012503 | 0.70 | 0.38 | Accepté | 0.01 | 2.50 | Accepté | 0.04 | 2.04 | Accepté |
| / | 012504 | 0.09 | 1.68 | Accepté | 0.80 | 0.24 | Accepté | 0.66 | 0.43 | Accepté |
| / | 012507 | 0.33 | 0.97 | Accepté | 0.81 | 0.23 | Accepté | 0.50 | 0.67 | Accepté |
| Ammi Moussa | 012605_bis | 0.08 | 1.74 | Accepté | 0.66 | 0.43 | Accepté | 0.59 | 0.53 | Accepté |
| Kenenda | 012703_bis | 0.05 | 1.92 | Accepté | 0.12 | 1.53 | Accepté | 0.24 | 1.15 | Accepté |
| / | 012704 | 0.63 | 0.46 | Accepté | 0.85 | 0.17 | Accepté | 0.96 | 0.04 | Accepté |
| / | 012706 | 0.96 | 0.04 | Accepté | 0.91 | 0.11 | Accepté | 0.38 | 0.87 | Accepté |
| / | 012707 | 0.05 | 1.88 | Accepté | 0.11 | 1.55 | Accepté | 0.09 | 1.66 | Accepté |
| Dne Sidi Lakhdar | 012804 | 0.29 | 1.04 | Accepté | 0.98 | 0.01 | Accepté | 0.54 | 0.60 | Accepté |
| Djediouia Chellif | 012806 | 0.50 | 0.67 | Accepté | 0.15 | 1.41 | Accepté | 0.31 | 1.00 | Accepté |
| / | 012809 | 0.13 | 1.49 | Accepté | 0.53 | 0.62 | Accepté | 0.24 | 1.17 | Accepté |
| / | 012901 | 0.18 | 1.32 | Accepté | 0.52 | 0.62 | Accepté | 0.54 | 0.61 | Accepté |
| / | 012915 | 0.77 | 0.29 | Accepté | 0.94 | 0.06 | Accepté | 0.87 | 0.15 | Accepté |
| Frenda | 013002 | 0.16 | 1.38 | Accepté | 0.04 | 1.99 | Accepté | 0.06 | 1.83 | Accepté |
| Ain El Hadid | 013004 | 0.11 | 1.59 | Accepté | 0.74 | 0.32 | Accepté | 0.64 | 0.46 | Accepté |
| Ain El Hadid | 013004_bis | 0.59 | 0.52 | Accepté | 0.85 | 0.18 | Accepté | 0.93 | 0.08 | Accepté |
| / | 013005 | 0.92 | 0.09 | Accepté | 0.02 | 2.21 | Accepté | 0.18 | 1.33 | Accepté |
| / | 013202 | 0.11 | 1.59 | Accepté | 0.01 | 2.42 | Accepté | 0.06 | 1.83 | Accepté |
| / | 013207 | 0.02 | 2.17 | Accepté | 0.79 | 0.25 | Accepté | 0.71 | 0.36 | Accepté |
| / | 013407 | 0.01 | 2.39 | Accepté | 0.00 | 2.80 | Rejeté | 0.01 | 2.57 | Accepté |
| / | 013407_bis | 0.94 | 0.07 | Accepté | 0.73 | 0.33 | Accepté | 0.39 | 0.85 | Accepté |
| / | 013504 | 0.61 | 0.50 | Accepté | 0.72 | 0.35 | Accepté | 0.41 | 0.81 | Accepté |
| El Matmar | 013506 | 0.76 | 0.29 | Accepté | 0.38 | 0.87 | Accepté | 0.19 | 1.30 | Accepté |
| L'hillil | 013507 | 0.28 | 1.06 | Accepté | 0.76 | 0.30 | Accepté | 0.91 | 0.10 | Accepté |

Annexe 05 : Valeurs de R₀ et la classe d'appartenance de chaque station

| Nom de station | Code station | R ₀ | R _c (1%) | Classes |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------------|
| / | 010208 | 0.96 | 0.97 | D |
| / | 010701 | 0.90 | 0.97 | D |
| Rechaiga | 010703 | 0.98 | 0.97 | C |
| / | 010704 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| / | 010708 | 0.94 | 0.97 | D |
| Dahmouni Tlimuler | 010904 | 0.95 | 0.97 | D |
| Ain Sebain | 010905 | 0.96 | 0.97 | D |
| Khemisti | 011004 | 0.90 | 0.97 | D |
| Tissemsilt | 011006 | 0.93 | 0.96 | D |
| Tissemsilt | 011006_bis | 0.96 | 0.97 | D |
| / | 011101 | 0.86 | 0.97 | D |
| / | 011102 | 0.89 | 0.97 | D |
| / | 011205 | 0.79 | 0.95 | D |
| / | 011207 | 0.94 | 0.97 | D |
| Boughzoul | 011208 | 0.94 | 0.96 | D |
| Derrag | 011302 | 0.95 | 0.97 | D |
| Derrag | 011302_bis | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| Zoubiria Mongomo | 011404_bis | 0.95 | 0.97 | D |
| Ghrib Bge | 011405 | 0.87 | 0.96 | D |
| Ghrib Amont | 011407 | 0.93 | 0.97 | D |
| Médéa Secteur | 011509 | 0.93 | 0.97 | D |
| / | 011510 | 0.90 | 0.97 | D |
| Ain Sultan Pep | 011512 | 0.96 | 0.97 | D |
| Bordj Amir Abdelkader | 011603_bis | 0.94 | 0.97 | D |
| Theniet El Had | 011605 | 0.84 | 0.94 | D |
| Sidi Mokerfi | 011606 | 0.89 | 0.97 | D |
| Tarik Ibn Ziyad | 011607 | 0.91 | 0.96 | D |
| / | 011609 | 0.94 | 0.97 | D |
| Bordj El Amir Khaled | 011703 | 0.93 | 0.96 | D |
| El Khemis ANRH | 011706 | 0.91 | 0.97 | D |
| Sidi Lakhdar | 011711 | 0.96 | 0.97 | D |
| El Ababsa | 011715 | 0.90 | 0.97 | D |
| / | 011717 | 0.95 | 0.97 | D |
| / | 011718 | 0.95 | 0.97 | D |
| Sidi Medjahed | 011803 | 0.85 | 0.97 | D |
| Sidi Medjahed | 011803_bis | 0.96 | 0.97 | D |
| Ain Defla | 011804 | 0.88 | 0.97 | D |
| Ain Defla | 011804_bis | 0.92 | 0.96 | D |
| El Anneb | 011806 | 0.95 | 0.97 | D |
| Toutia El Hassania | 011903 | 0.96 | 0.97 | D |

| | | | | |
|---------------------------|------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Rouina Mairie | 011904 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| Rouina Mines | 011906 | 0.91 | 0.97 | D |
| Tikazal | 012004 | 0.93 | 0.97 | D |
| Ouled Fares | 012201 | 0.95 | 0.97 | D |
| D ^{mne} Si Tayeb | 012218 | 0.98 | 0.97 | C |
| El Asnam(Chellif) Dda | 012219 | 0.94 | 0.97 | D |
| Ain Lellou | 012307 | 0.92 | 0.97 | D |
| Ouled Ben Aek | 012308 | 0.93 | 0.97 | D |
| Ouled Sly | 012309 | 0.87 | 0.96 | D |
| / | 012404 | 0.90 | 0.97 | D |
| / | 012409 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| Sidi Hosni | 012503 | <u>0.96</u> | <u>0.96</u> | Critique |
| / | 012504 | 0.93 | 0.97 | D |
| / | 012507 | 0.91 | 0.97 | D |
| Ammi Moussa | 012605_bis | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| Kenenda | 012703_bis | 0.93 | 0.97 | D |
| / | 012704 | 0.94 | 0.97 | D |
| / | 012706 | 0.95 | 0.97 | D |
| / | 012707 | 0.88 | 0.97 | D |
| Dne Sidi Lakhdar | 012804 | 0.96 | 0.97 | D |
| Djediouia Chellif | 012806 | 0.96 | 0.97 | D |
| / | 012809 | 0.98 | 0.97 | C |
| / | 012901 | 0.90 | 0.97 | D |
| / | 012915 | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| Frenda | 013002 | 0.92 | 0.95 | D |
| Ain El Hadid | 013004 | 0.94 | 0.96 | D |
| Ain El Hadid | 013004_bis | 0.96 | 0.97 | D |
| / | 013005 | 0.95 | 0.97 | D |
| / | 013202 | 0.91 | 0.97 | D |
| / | 013207 | 0.93 | 0.97 | D |
| / | 013407_bis | <u>0.97</u> | <u>0.97</u> | Critique |
| / | 013504 | 0.94 | 0.97 | D |
| El Matmar | 013506 | 0.96 | 0.97 | D |
| L'hillil | 013507 | 0.93 | 0.97 | D |

Annexe 06 : Caractéristiques des séries de données utilisées

| Code station | Nombre d'obs. | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-Type | Médiane | (Cv) | (Cs) | (Ck) |
|--------------|---------------|---------|---------|---------|------------|---------|------|------|------|
| 010208 | 21.00 | 10.50 | 100.40 | 29.36 | 19.26 | 23.80 | 0.65 | 2.73 | 9.06 |
| 010701 | 35.00 | 10.00 | 74.60 | 31.19 | 12.41 | 30.00 | 0.39 | 1.28 | 5.21 |
| 010703 | 37.00 | 13.40 | 75.60 | 29.04 | 16.01 | 24.10 | 0.55 | 1.65 | 4.45 |
| 010704 | 38.00 | 8.700 | 163.40 | 39.48 | 35.19 | 26.55 | 0.89 | 2.21 | 6.70 |
| 010708 | 31.00 | 14.50 | 54.00 | 26.19 | 11.24 | 22.50 | 0.42 | 1.09 | 2.76 |

| | | | | | | | | | |
|------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 010904 | 35.00 | 22.60 | 104.50 | 37.95 | 14.41 | 33.30 | 0.37 | 2.98 | 13.24 |
| 010905 | 37.00 | 14.00 | 44.00 | 28.45 | 8.918 | 27.00 | 0.31 | 0.37 | 1.96 |
| 011004 | 26.00 | 14.80 | 74.00 | 38.48 | 13.00 | 37.50 | 0.33 | 0.82 | 3.40 |
| 011006 | 46.00 | 15.00 | 95.00 | 37.12 | 13.98 | 36.05 | 0.37 | 1.83 | 7.54 |
| 011006_bis | 31.00 | 19.60 | 82.50 | 35.29 | 14.57 | 30.20 | 0.41 | 1.74 | 5.22 |
| 011101 | 32.00 | 12.40 | 60.00 | 31.62 | 10.98 | 32.15 | 0.34 | 0.26 | 2.88 |
| 011102 | 37.00 | 10.50 | 52.50 | 28.88 | 9.585 | 29.00 | 0.33 | 0.44 | 2.92 |
| 011205 | 85.00 | 6.50 | 81.00 | 28.97 | 11.21 | 27.10 | 0.38 | 1.21 | 6.66 |
| 011207 | 38.00 | 8.20 | 85.00 | 22.50 | 13.92 | 21.20 | 0.61 | 2.64 | 11.27 |
| 011208 | 57.00 | 11.50 | 60.80 | 24.03 | 10.21 | 21.70 | 0.42 | 1.27 | 4.40 |
| 011302 | 25.00 | 21.50 | 92.00 | 52.28 | 19.31 | 48.50 | 0.36 | 0.56 | 2.17 |
| 011302_bis | 38.00 | 21.40 | 123.00 | 47.16 | 19.78 | 45.10 | 0.41 | 2.01 | 7.47 |
| 011404_bis | 38.00 | 17.00 | 91.50 | 39.28 | 17.75 | 35.10 | 0.45 | 1.31 | 3.79 |
| 011405 | 65.00 | 10.50 | 115.30 | 44.00 | 16.90 | 43.20 | 0.38 | 1.27 | 6.37 |
| 011407 | 29.00 | 17.50 | 67.80 | 40.22 | 13.64 | 38.30 | 0.33 | 0.35 | 2.05 |
| 011509 | 29.00 | 20.60 | 147.00 | 57.11 | 26.51 | 51.70 | 0.46 | 1.56 | 5.41 |
| 011510 | 33.00 | 17.70 | 115.70 | 39.22 | 22.33 | 30.40 | 0.56 | 1.63 | 5.06 |
| 011512 | 27.00 | 18.50 | 92.80 | 42.11 | 20.80 | 34.60 | 0.49 | 1.18 | 3.01 |
| 011603_bis | 39.00 | 17.90 | 146.10 | 48.10 | 23.58 | 45.00 | 0.49 | 2.09 | 8.49 |
| 011605 | 100.00 | 9.00 | 109.60 | 47.29 | 19.11 | 44.45 | 0.40 | 0.78 | 3.39 |
| 011606 | 37.00 | 13.10 | 80.40 | 37.86 | 14.92 | 34.40 | 0.39 | 0.82 | 3.23 |
| 011607 | 51.00 | 19.00 | 108.20 | 48.03 | 21.07 | 45.00 | 0.43 | 0.90 | 3.28 |
| 011609 | 21.00 | 21.80 | 68.80 | 38.17 | 13.03 | 36.50 | 0.34 | 1.21 | 3.28 |
| 011703 | 53.00 | 16.00 | 86.00 | 40.71 | 15.76 | 38.00 | 0.38 | 0.94 | 3.30 |
| 011706 | 39.00 | 17.30 | 69.00 | 36.81 | 12.36 | 34.50 | 0.33 | 0.75 | 2.56 |
| 011711 | 33.00 | 20.00 | 90.00 | 38.26 | 16.22 | 32.60 | 0.42 | 1.44 | 4.29 |
| 011715 | 33.00 | 16.10 | 63.70 | 35.23 | 9.882 | 34.70 | 0.28 | 0.78 | 3.68 |
| 011717 | 30.00 | 20.30 | 73.70 | 36.89 | 13.98 | 32.75 | 0.37 | 1.06 | 2.88 |
| 011718 | 21.00 | 16.70 | 59.70 | 31.16 | 11.42 | 29.60 | 0.36 | 1.08 | 3.23 |
| 011803 | 36.00 | 26.00 | 152.0 | 59.30 | 21.52 | 60.05 | 0.36 | 2.23 | 10.06 |
| 011803_bis | 38.00 | 20.00 | 132.6 | 54.22 | 26.75 | 45.25 | 0.49 | 1.21 | 3.52 |
| 011804 | 29.00 | 26.00 | 64.90 | 38.22 | 11.98 | 32.30 | 0.31 | 0.84 | 2.03 |
| 011804_bis | 43.00 | 18.40 | 99.00 | 38.20 | 14.25 | 35.30 | 0.37 | 2.07 | 8.80 |
| 011806 | 33.00 | 23.70 | 136.0 | 55.78 | 22.61 | 51.00 | 0.40 | 1.51 | 5.57 |
| 011903 | 36.00 | 22.10 | 64.30 | 39.17 | 11.41 | 37.75 | 0.29 | 0.47 | 2.03 |
| 011904 | 26.00 | 18.20 | 95.20 | 35.16 | 16.18 | 30.20 | 0.46 | 2.28 | 7.74 |
| 011906 | 33.00 | 15.20 | 54.30 | 29.33 | 10.37 | 24.20 | 0.35 | 0.81 | 2.38 |
| 012004 | 33.00 | 17.90 | 59.00 | 33.50 | 10.84 | 31.50 | 0.32 | 0.65 | 2.55 |
| 012201 | 33.00 | 17.20 | 85.00 | 36.09 | 16.47 | 31.40 | 0.45 | 1.42 | 4.39 |
| 012218 | 34.00 | 17.60 | 75.70 | 32.40 | 13.78 | 27.40 | 0.42 | 1.80 | 5.18 |
| 012219 | 33.00 | 15.90 | 60.00 | 32.16 | 11.73 | 27.30 | 0.36 | 0.73 | 2.19 |
| 012307 | 26.00 | 24.00 | 101.2 | 44.62 | 17.44 | 40.65 | 0.39 | 1.45 | 4.89 |
| 012308 | 38.00 | 16.00 | 95.00 | 34.83 | 16.35 | 32.60 | 0.46 | 1.60 | 5.81 |
| 012309 | 41.00 | 10.90 | 103.0 | 30.28 | 14.98 | 28.50 | 0.49 | 2.90 | 13.87 |

| | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 012404 | 23.00 | 15.40 | 96.00 | 31.56 | 16.16 | 28.00 | 0.51 | 3.02 | 11.14 |
| 012409 | 33.00 | 9.000 | 114.9 | 34.73 | 22.51 | 28.00 | 0.64 | 2.03 | 6.33 |
| 012503 | 43.00 | 15.00 | 51.00 | 28.32 | 8.33 | 26.90 | 0.29 | 0.68 | 2.87 |
| 012504 | 30.00 | 17.50 | 73.00 | 36.68 | 14.49 | 32.15 | 0.39 | 0.93 | 2.67 |
| 012507 | 34.00 | 12.00 | 65.70 | 31.06 | 11.20 | 29.80 | 0.36 | 1.00 | 4.15 |
| 012605_bis | 36.00 | 19.10 | 88.50 | 38.33 | 17.20 | 31.20 | 0.44 | 1.34 | 3.73 |
| 012703_bis | 36.00 | 8.700 | 73.00 | 33.33 | 18.47 | 30.35 | 0.55 | 0.61 | 2.26 |
| 012704 | 36.00 | 13.50 | 73.30 | 32.46 | 14.26 | 28.15 | 0.43 | 1.22 | 3.56 |
| 012706 | 26.00 | 19.70 | 88.30 | 41.91 | 17.91 | 39.05 | 0.42 | 1.34 | 3.83 |
| 012707 | 23.00 | 12.60 | 58.50 | 29.18 | 12.05 | 28.00 | 0.41 | 0.56 | 2.48 |
| 012804 | 37.00 | 13.20 | 105.3 | 32.22 | 19.08 | 25.50 | 0.59 | 2.45 | 8.42 |
| 012806 | 31.00 | 19.60 | 81.60 | 35.90 | 17.24 | 30.40 | 0.48 | 1.56 | 3.96 |
| 012809 | 30.00 | 20.30 | 81.40 | 30.92 | 14.18 | 26.00 | 0.45 | 2.30 | 6.85 |
| 012901 | 31.00 | 12.40 | 58.30 | 28.29 | 10.92 | 25.50 | 0.38 | 0.82 | 2.95 |
| 012915 | 31.00 | 12.70 | 84.00 | 33.12 | 16.21 | 30.00 | 0.48 | 1.50 | 4.56 |
| 013002 | 72.00 | 17.00 | 73.20 | 36.54 | 11.54 | 35.20 | 0.31 | 0.80 | 3.79 |
| 013004 | 43.00 | 18.20 | 66.00 | 35.70 | 12.58 | 31.20 | 0.35 | 0.97 | 2.78 |
| 013004_bis | 40.00 | 16.70 | 67.00 | 30.73 | 10.62 | 29.05 | 0.34 | 1.49 | 5.16 |
| 013005 | 30.00 | 12.50 | 54.00 | 28.31 | 9.673 | 24.95 | 0.34 | 1.09 | 3.79 |
| 013202 | 30,00 | 4.80 | 37.00 | 18.08 | 8.69 | 16.10 | 0.48 | 0.75 | 2.34 |
| 013207 | 22.00 | 15.30 | 65.00 | 28.40 | 13.89 | 21.75 | 0.48 | 1.15 | 2.89 |
| 013407_bis | 22.00 | 18.20 | 75.30 | 31.44 | 14.96 | 26.50 | 0.47 | 1.68 | 4.38 |
| 013504 | 32.00 | 14.00 | 62.80 | 28.13 | 11.03 | 26.50 | 0.39 | 1.16 | 4.06 |
| 013506 | 37.00 | 11.10 | 69.50 | 28.75 | 12.25 | 26.00 | 0.42 | 1.88 | 6.39 |
| 013507 | 37.00 | 15.00 | 85.40 | 34.82 | 14.02 | 32.60 | 0.40 | 1.61 | 5.77 |

Annexe 07 : Valeurs des paramètres estimés par la méthode du maximum de vraisemblance

| Code Station | Gumbel | | Weibull | | Log-Normale | | Gamma | | Pearson III | | |
|--------------|--------|----------|----------|------|-------------|----------|----------|-----------|-------------|-----------|--------|
| | u | α | α | c | μ | σ | α | λ | α | λ | m |
| 010208 | 22.17 | 10.94 | 33.25 | 1.73 | 3.24 | 0.51 | 0.12 | 3.74 | - | - | - |
| 010701 | 25.62 | 9.73 | 35.07 | 2.64 | 3.36 | 0.39 | 0.22 | 7.03 | 0.19 | 5.29 | 3.75 |
| 010703 | 22.46 | 9.85 | - | - | 3.25 | 0.46 | 0.15 | 4.46 | - | - | - |
| 010704 | 26.13 | 19.05 | 43.42 | 1.32 | 3.40 | 0.70 | 0.05 | 1.99 | - | - | - |
| 010708 | 21.22 | 7.69 | - | - | 3.18 | 0.39 | 0.24 | 6.54 | - | - | - |
| 010904 | 32.48 | 8.69 | 42.47 | 2.58 | 3.58 | 0.30 | 0.26 | 10.12 | - | - | - |
| 010905 | 24.16 | 7.58 | 31.66 | 3.53 | 3.29 | 0.32 | 0.36 | 10.38 | 0.22 | 4.21 | 9.49 |
| 011004 | 32.41 | 11.02 | 42.93 | 3.15 | 3.59 | 0.34 | 0.24 | 9.28 | 0.23 | 8.98 | 0.57 |
| 011006 | 31.20 | 10.05 | 41.62 | 2.69 | 3.55 | 0.34 | 0.23 | 8.65 | 0.15 | 4.03 | 11.03 |
| 011006_bis | 29.26 | 9.27 | - | - | 3.49 | 0.35 | 0.21 | 7.71 | - | - | - |
| 011101 | 26.19 | 10.18 | 35.31 | 3.17 | 3.38 | 0.38 | 0.24 | 7.74 | 0.64 | 48.11 | -43.47 |
| 011102 | 24.24 | 8.58 | 32.19 | 3.27 | 3.30 | 0.35 | 0.30 | 8.89 | 0.43 | 16.74 | -9.92 |
| 011205 | 23.86 | 9.16 | 32.51 | 2.67 | 3.29 | 0.39 | 0.24 | 6.98 | 0.25 | 7.71 | -1.32 |
| 011207 | 17.07 | 8.57 | 25.47 | 1.79 | 2.97 | 0.51 | 0.16 | 3.78 | - | - | - |
| 011208 | 19.55 | 7.15 | - | - | 3.10 | 0.38 | 0.27 | 6.57 | 0.11 | 1.49 | 11.30 |
| 011302 | 43.14 | 16.01 | 58.68 | 2.98 | 3.89 | 0.37 | 0.14 | 7.68 | 0.10 | 4.35 | 11.65 |
| 011302_bis | 39.00 | 13.56 | 53.11 | 2.46 | 3.78 | 0.36 | 0.15 | 7.34 | - | - | - |
| 011404_bis | 31.59 | 12.25 | 44.47 | 2.37 | 3.58 | 0.41 | 0.15 | 5.96 | 0.07 | 1.70 | 16.18 |
| 011405 | 36.36 | 13.83 | - | - | 3.71 | 0.39 | 0.16 | 7.14 | 0.18 | 8.73 | -4.15 |
| 011407 | 33.61 | 11.81 | 44.93 | 3.28 | 3.63 | 0.35 | 0.21 | 8.74 | 0.18 | 6.39 | 5.32 |
| 011509 | 45.65 | 19.06 | 64.61 | 2.30 | 3.95 | 0.43 | 0.09 | 5.61 | 0.06 | 2.54 | 16.34 |
| 011510 | 29.85 | 14.15 | - | - | 3.54 | 0.49 | - | - | - | - | - |
| 011512 | 32.99 | 14.24 | 47.81 | 2.21 | 3.63 | 0.45 | 0.11 | 5.01 | - | - | - |
| 011603_bis | 38.36 | 15.95 | 54.43 | 2.16 | 3.77 | 0.43 | 0.11 | 5.40 | - | - | - |
| 011605 | 38.44 | 15.57 | 53.28 | 2.64 | 3.77 | 0.42 | 0.13 | 6.20 | 0.13 | 6.67 | -1.54 |

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| 011606 | 30.95 | 12.18 | 42.60 | 2.72 | 3.55 | 0.40 | 0.17 | 6.74 | 0.16 | 5.55 | 3.12 |
| 011607 | 38.39 | 16.41 | 54.30 | 2.45 | 3.77 | 0.43 | 0.11 | 5.56 | 0.06 | 1.96 | 16.24 |
| 011609 | 32.40 | 3.59 | 42.64 | 3.09 | 3.59 | 0.31 | 0.26 | 10.24 | 0.08 | 1.42 | 21.19 |
| 011703 | 33.54 | 12.10 | 45.80 | 2.75 | 3.63 | 0.37 | 0.18 | 7.33 | 0.11 | 3.11 | 12.84 |
| 011706 | 31.10 | 9.62 | 41.13 | 3.20 | 3.55 | 0.32 | 0.26 | 9.69 | 0.14 | 3.23 | 14.46 |
| 011711 | 31.31 | 10.84 | 43.20 | 2.50 | 3.57 | 0.37 | 0.18 | 6.96 | - | - | - |
| 011715 | 30.59 | 8.55 | 38.88 | 2.72 | 3.52 | 0.28 | 0.38 | 13.43 | 0.35 | 11.62 | 2.32 |
| 011717 | 30.66 | 9.88 | 41.48 | 2.82 | 3.54 | 0.34 | 0.22 | 8.22 | 0.07 | 1.29 | 20.07 |
| 011718 | 25.99 | 8.72 | 34.93 | 2.91 | 3.37 | 0.34 | 0.27 | 8.60 | - | - | - |
| 011803 | 50.33 | 15.48 | - | - | 4.02 | 0.32 | 0.16 | 9.62 | - | - | - |
| 011803_bis | 42.49 | 18.65 | 61.53 | 2.19 | 3.88 | 0.45 | 0.09 | 4.91 | 0.05 | 1.80 | 18.64 |
| 011804 | - | - | - | - | 3.60 | 0.29 | - | - | - | - | - |
| 011804_bis | 32.27 | 10.03 | 42.78 | 2.69 | 3.58 | 0.32 | 0.23 | 9.09 | - | - | - |
| 011806 | 45.95 | 16.38 | 62.80 | 2.58 | 3.95 | 0.37 | 0.13 | 7.31 | 0.07 | 2.69 | 20.03 |
| 011903 | 33.73 | 9.37 | 43.40 | 3.76 | 3.62 | 0.29 | 0.31 | 12.37 | 0.12 | 2.36 | 20.26 |
| 011904 | 28.76 | 9.82 | - | - | 3.48 | 0.37 | 0.19 | 6.73 | - | - | - |
| 011906 | 24.58 | 7.77 | 32.87 | 3.05 | 3.32 | 0.33 | 0.30 | 8.96 | 0.12 | 1.94 | 14.39 |
| 012004 | 28.40 | 8.79 | 37.33 | 3.34 | 3.46 | 0.32 | 0.30 | 10.19 | 0.12 | 2.23 | 16.07 |
| 012201 | 28.98 | 11.38 | 40.85 | 2.34 | 3.49 | 0.41 | 0.16 | 5.90 | - | - | - |
| 012218 | 26.80 | 8.42 | 36.57 | 2.46 | 3.40 | 0.35 | 0.23 | 7.45 | 0.09 | 1.35 | 17.37 |
| 012219 | 26.74 | 8.86 | 36.11 | 2.98 | 3.40 | 0.35 | 0.25 | 8.33 | 0.11 | 2.02 | 14.89 |
| 012307 | 37.00 | 12.49 | 50.16 | 2.68 | 3.73 | 0.35 | 0.17 | 7.95 | - | - | - |
| 012308 | 27.82 | 11.36 | 39.42 | 2.27 | 3.45 | 0.42 | 0.16 | 5.59 | - | - | - |
| 012309 | 24.45 | 9.63 | 34.21 | 2.12 | 3.32 | 0.41 | 0.19 | 5.81 | - | - | - |
| 012404 | 25.62 | 9.25 | 35.71 | 2.09 | 3.36 | 0.39 | 0.19 | 6.10 | - | - | - |
| 012409 | 25.80 | 13.51 | 39.33 | 1.73 | 3.39 | 0.54 | 0.09 | 3.39 | - | - | - |
| 012503 | 24.41 | 6.89 | 31.38 | 3.61 | 3.30 | 0.29 | 0.43 | 12.24 | 0.26 | 4.82 | 9.88 |
| 012504 | 30.11 | 10.72 | 41.33 | 2.73 | 3.53 | 0.37 | 0.19 | 7.31 | 0.08 | 1.81 | 16.53 |
| 012507 | 25.92 | 9.17 | 34.78 | 2.92 | 3.37 | 0.36 | 0.26 | 8.28 | 0.22 | 6.15 | 3.91 |

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|--------|-------------|-----------|
| 012605_bis | 30.93 | 11.47 | 43.39 | 2.39 | 3.56 | 0.39 | 0.16 | 6.18 | - | - | - |
| 012703_bis | 24.65 | 14.82 | 37.72 | 1.94 | 3.33 | 0.61 | 0.09 | 3.15 | - | - | - |
| 012704 | 26.21 | 10.08 | 36.71 | 2.44 | 3.39 | 0.40 | 0.19 | 6.17 | 0.10 | 2.04 | 12.32 |
| 012706 | 34.10 | 12.62 | 47.33 | 2.50 | 3.65 | 0.39 | 0.15 | 6.67 | 0.07 | 1.62 | 18.79 |
| 012707 | 23.43 | 10.05 | 32.90 | 2.67 | 3.28 | 0.43 | 0.20 | 6.03 | - | - | - |
| 012804 | 25.02 | 10.72 | 36.57 | 1.87 | 3.35 | 0.45 | 0.13 | 4.41 | - | - | - |
| 012806 | 28.74 | 10.74 | - | - | 3.49 | 0.40 | 0.16 | 5.76 | - | - | - |
| 012809 | 25.62 | 7.33 | - | - | 3.39 | 0.35 | - | - | - | - | - |
| 012901 | 23.24 | 8.55 | 31.82 | 2.80 | 3.27 | 0.37 | 0.25 | 7.33 | 0.13 | 2.41 | 10.75 |
| 012915 | 26.19 | 11.22 | 37.54 | 2.20 | 3.40 | 0.44 | 0.15 | 5.16 | 0.08 | 1.83 | 11.43 |
| 013002 | 31.16 | 9.47 | 40.64 | 3.31 | 3.55 | 0.31 | 0.28 | 10.57 | 0.18 | 4.70 | 11.30 |
| 013004 | 30.05 | 9.20 | 40.00 | 3.01 | 3.51 | 0.33 | 0.25 | 9.19 | 266.52 | 10981538.96 | -41166.75 |
| 013004_bis | 26.14 | 7.54 | 34.34 | 2.95 | 3.37 | 0.31 | 0.32 | 10.09 | - | - | - |
| 013005 | 23.94 | 7.71 | 31.61 | 3.06 | 3.28 | 0.33 | 0.33 | 9.57 | 0.25 | 5.76 | 5.91 |
| 013202 | 14.06 | 6.78 | 20.50 | 2.27 | 2.78 | 0.49 | 0.25 | 4.56 | 0.20 | 3.09 | 2.68 |
| 013207 | 22.27 | 9.38 | - | - | 3.24 | 0.44 | 0.18 | 5.18 | - | - | - |
| 013407_bis | 25.25 | 9.29 | - | - | 3.36 | 0.40 | 0.19 | 6.00 | - | - | - |
| 013504 | 23.18 | 8.28 | 31.64 | 2.70 | 3.26 | 0.37 | 0.26 | 7.47 | 0.09 | 1.35 | 13.69 |
| 013506 | 23.68 | 8.32 | 32.41 | 2.44 | 3.28 | 0.37 | 0.24 | 7.09 | 0.16 | 3.22 | 8.68 |
| 013507 | 28.81 | 10.00 | 39.18 | 2.58 | 3.48 | 0.36 | 0.21 | 7.52 | 0.12 | 2.80 | 12.40 |

Annexe 08 : Quantiles centennaux au non dépassement (Q_{100}). Valeurs de la statistique χ^2 calculés et P-v% pour chaque loi et chaque station

| Code Station | R_obs | Gumbel | | | Weibull | | | Log-Normale | | | Gamma | | | Pearson III | | |
|--------------|-------|--------|----------|------|---------|----------|------|-------------|----------|------|--------|----------|------|-------------|----------|------|
| | | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v | Q_100 | χ^2 | P-v |
| 010208 | 0.96 | 72.55 | 1.57 | 0.66 | 80.00 | 6.14 | 0.10 | 83.81 | 2.71 | 0.43 | 75.55 | 2.71 | 0.43 | - | 23.29 | 0.00 |
| 010701 | 0.90 | 70.40 | 2.71 | 0.74 | 62.54 | 5.91 | 0.31 | 71.93 | 2.71 | 0.74 | 64.82 | 3.17 | 0.67 | 66.24 | 2.71 | 0.60 |
| 010703 | 0.98 | 67.80 | 4.73 | 0.44 | - | 15.54 | 0.00 | 76.30 | 3.00 | 0.70 | 70.09 | 11.65 | 0.03 | - | - | - |
| 010704 | 0.97 | 113.80 | 11.68 | 0.03 | 137.5 | 10.84 | 0.05 | 155.00 | 4.95 | 0.42 | 131.00 | 8.32 | 0.13 | - | 23.89 | 0.00 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|--------|------|
| 010708 | 0.94 | 56.61 | 9.42 | 0.05 | - | 20.71 | 0.00 | 60.11 | 10.77 | 0.02 | 55.66 | 11.68 | 0.01 | - | - | - |
| 010904 | 0.95 | 72.48 | 5.00 | 0.41 | 76.70 | 12.31 | 0.03 | 72.98 | 7.74 | 0.17 | 71.05 | 8.20 | 0.14 | - | 161.80 | 0.00 |
| 010905 | 0.96 | 59.04 | 5.16 | 0.39 | 48.75 | 9.05 | 0.10 | 57.13 | 5.16 | 0.39 | 52.91 | 8.19 | 0.14 | - | - | - |
| 011004 | 0.90 | 83.14 | 7.92 | 0.09 | 69.64 | 11.69 | 0.01 | 80.94 | 4.15 | 0.38 | 73.77 | 10.62 | 0.03 | 73.91 | 10.62 | 0.01 |
| 011006 | 0.93 | 77.48 | 3.30 | 0.76 | 73.33 | 15.04 | 0.01 | 77.27 | 4.87 | 0.56 | 72.59 | 8.00 | 0.23 | 76.33 | 7.61 | 0.17 |
| 011006_bis | 0.96 | 71.96 | 7.16 | 0.12 | - | 15.74 | 0.00 | 75.18 | 6.71 | 0.15 | 71.33 | 8.06 | 0.08 | - | - | - |
| 011101 | 0.86 | 73.06 | 11.00 | 0.05 | 57.08 | 8.50 | 0.13 | 72.51 | 10.00 | 0.07 | 63.83 | 6.50 | 0.26 | 59.07 | 7.00 | 0.13 |
| 011102 | 0.89 | 63.74 | 4.73 | 0.44 | 51.29 | 8.19 | 0.14 | 62.11 | 4.73 | 0.44 | 56.03 | 6.89 | 0.22 | 54.27 | 10.35 | 0.03 |
| 011205 | 0.79 | 66.01 | 13.22 | 0.10 | 57.51 | 18.92 | 0.01 | 67.49 | 13.22 | 0.10 | 60.35 | 8.56 | 0.38 | 59.92 | 15.55 | 0.02 |
| 011207 | 0.94 | 56.54 | 5.37 | 0.37 | 59.67 | 10.42 | 0.06 | 64.82 | 3.26 | 0.65 | 57.65 | 2.84 | 0.72 | - | 41.16 | 0.00 |
| 011208 | 0.94 | 52.45 | 17.56 | 0.01 | - | 29.14 | 0.00 | 55.01 | 17.56 | 0.01 | 51.00 | 17.56 | 0.01 | 59.48 | 9.49 | 0.14 |
| 011302 | 0.95 | 116.80 | 3.28 | 0.51 | 97.94 | 4.40 | 0.35 | 117.70 | 3.28 | 0.51 | 105.80 | 5.52 | 0.23 | 110.60 | 5.52 | 0.13 |
| 011302_bis | 0.97 | 101.40 | 10.84 | 0.05 | 98.71 | 9.16 | 0.10 | 103.50 | 10.84 | 0.05 | 96.75 | 7.89 | 0.16 | - | 132.11 | 0.00 |
| 011404_bis | 0.95 | 87.97 | 4.95 | 0.42 | 84.63 | 13.79 | 0.01 | 93.71 | 2.84 | 0.72 | 86.00 | 5.79 | 0.32 | 98.44 | 3.68 | 0.45 |
| 011405 | 0.87 | 100.00 | 12.38 | 0.08 | - | 21.62 | 0.00 | 102.00 | 15.46 | 0.03 | 91.00 | 14.54 | 0.04 | 89.74 | 12.38 | 0.05 |
| 011407 | 0.93 | 87.97 | 0.69 | 0.95 | 71.57 | 3.59 | 0.46 | 86.52 | 1.17 | 0.88 | 78.41 | 2.62 | 0.62 | 80.02 | 2.14 | 0.54 |
| 011509 | 0.93 | 133.40 | 4.07 | 0.39 | 125.40 | 5.03 | 0.28 | 142.40 | 4.07 | 0.39 | 127.50 | 2.14 | 0.71 | 138.40 | 3.10 | 0.37 |
| 011510 | 0.90 | 94.97 | 12.33 | 0.03 | - | 18.15 | 0.00 | 108.20 | 12.33 | 0.03 | - | 19.61 | 0.00 | - | - | - |
| 011512 | 0.96 | 98.50 | 9.56 | 0.04 | 95.33 | 10.07 | 0.03 | 108.30 | 9.04 | 0.06 | 97.60 | 9.56 | 0.04 | - | - | - |
| 011603_bis | 0.94 | 111.80 | 6.33 | 0.27 | 110.10 | 7.97 | 0.15 | 119.70 | 7.97 | 0.15 | 108.70 | 5.51 | 0.35 | - | 58.44 | 0.00 |
| 011605 | 0.84 | 110.10 | 6.56 | 0.68 | 95.01 | 14.96 | 0.09 | 115.90 | 6.08 | 0.73 | 102.20 | 5.12 | 0.82 | 101.60 | 5.36 | 0.71 |
| 011606 | 0.89 | 87.01 | 9.49 | 0.09 | 74.61 | 7.32 | 0.19 | 89.59 | 5.16 | 0.39 | 79.71 | 8.62 | 0.12 | 80.94 | 9.49 | 0.05 |
| 011607 | 0.91 | 113.9 | 3.53 | 0.74 | 101.20 | 6.71 | 0.34 | 121.50 | 2.82 | 0.83 | 107.50 | 4.59 | 0.59 | 122.60 | 2.47 | 0.78 |
| 011609 | 0.94 | 76.55 | 7.29 | 0.06 | 69.88 | 9.57 | 0.02 | 75.84 | 10.14 | 0.01 | 71.23 | 9.57 | 0.02 | 86.88 | 8.43 | 0.01 |
| 011703 | 0.93 | 89.24 | 5.58 | 0.47 | 79.77 | 10.34 | 0.11 | 91.09 | 6.26 | 0.39 | 83.54 | 7.28 | 0.29 | 89.75 | 6.26 | 0.28 |
| 011706 | 0.91 | 75.37 | 3.05 | 0.69 | 66.29 | 12.90 | 0.02 | 74.64 | 3.87 | 0.56 | 69.74 | 5.51 | 0.35 | 75.25 | 3.05 | 0.54 |
| 011711 | 0.96 | 81.22 | 9.42 | 0.09 | 79.46 | 14.27 | 0.01 | 85.32 | 8.94 | 0.11 | 79.76 | 7.48 | 0.18 | - | - | - |
| 011715 | 0.90 | 69.94 | 1.67 | 0.89 | 58.59 | 5.06 | 0.40 | 65.27 | 2.64 | 0.75 | 61.36 | 2.15 | 0.82 | 61.73 | 2.15 | 0.70 |
| 011717 | 0.95 | 76.12 | 5.47 | 0.24 | 71.23 | 11.53 | 0.02 | 78.24 | 3.60 | 0.46 | 73.20 | 7.80 | 0.09 | 88.25 | 5.93 | 0.11 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|--------|------|
| 011718 | 0.95 | 66.11 | 2.71 | 0.43 | 58.96 | 1.57 | 0.66 | 66.16 | 2.71 | 0.43 | 61.01 | 0.43 | 0.93 | - | - | - |
| 011803 | 0.85 | 121.60 | 9.33 | 0.09 | - | 16.00 | 0.00 | 119.10 | 9.78 | 0.08 | 112.60 | 14.22 | 0.01 | - | 104.89 | 0.00 |
| 011803_bis | 0.96 | 128.30 | 8.74 | 0.12 | 123.30 | 12.53 | 0.02 | 141.20 | 5.79 | 0.32 | 126.60 | 11.68 | 0.03 | 142.10 | 3.26 | 0.51 |
| 011804 | 0.88 | - | 20.97 | 0.00 | - | 27.72 | 0.00 | 72.30 | 0.80 | 0.92 | - | 28.21 | 0.00 | - | - | - |
| 011804_bis | 0.94 | 78.42 | 2.42 | 0.87 | 75.46 | 11.63 | 0.07 | 77.82 | 2.42 | 0.87 | 73.66 | 2.84 | 0.82 | - | 153.53 | 0.00 |
| 011806 | 0.95 | 121.30 | 4.09 | 0.53 | 113.40 | 9.42 | 0.09 | 124.10 | 2.15 | 0.82 | 114.60 | 3.61 | 0.60 | 124.70 | 1.67 | 0.79 |
| 011903 | 0.96 | 76.85 | 3.11 | 0.68 | 65.11 | 4.00 | 0.54 | 73.92 | 3.11 | 0.68 | 69.61 | 4.89 | 0.42 | 78.64 | 1.78 | 0.77 |
| 011904 | 0.97 | 73.96 | 2.54 | 0.63 | - | 16.00 | 0.00 | 78.18 | 4.15 | 0.38 | 74.07 | 5.23 | 0.26 | - | 65.54 | 0.00 |
| 011906 | 0.91 | 60.33 | 7.48 | 0.18 | 54.22 | 10.39 | 0.06 | 60.83 | 7.00 | 0.22 | 56.78 | 8.45 | 0.13 | 64.65 | 6.03 | 0.19 |
| 012004 | 0.93 | 68.87 | 7.00 | 0.22 | 58.96 | 7.00 | 0.22 | 67.26 | 7.00 | 0.22 | 62.60 | 6.03 | 0.30 | 71.21 | 4.09 | 0.39 |
| 012201 | 0.95 | 81.37 | 3.61 | 0.60 | 78.29 | 9.42 | 0.09 | 86.56 | 3.12 | 0.68 | 79.24 | 3.61 | 0.60 | - | - | - |
| 012218 | 0.98 | 65.57 | 6.00 | 0.30 | 67.90 | 14.47 | 0.01 | 69.34 | 7.41 | 0.19 | 66.17 | 8.35 | 0.13 | 76.92 | 3.65 | 0.45 |
| 012219 | 0.94 | 67.55 | 11.36 | 0.04 | 60.24 | 13.79 | 0.01 | 68.56 | 10.88 | 0.05 | 63.56 | 12.82 | 0.02 | 71.82 | 6.52 | 0.16 |
| 012307 | 0.92 | 94.46 | 1.46 | 0.83 | 88.50 | 4.15 | 0.38 | 96.15 | 1.46 | 0.83 | 89.39 | 0.92 | 0.92 | - | - | - |
| 012308 | 0.93 | 80.09 | 1.58 | 0.90 | 77.21 | 6.63 | 0.24 | 85.55 | 1.58 | 0.90 | 77.83 | 1.58 | 0.90 | - | - | - |
| 012309 | 0.87 | 68.77 | 4.85 | 0.43 | 70.22 | 10.32 | 0.06 | 72.32 | 2.51 | 0.77 | 66.85 | 7.20 | 0.20 | - | 61.44 | 0.00 |
| 012404 | 0.90 | 68.20 | 4.09 | 0.39 | 74.11 | 8.96 | 0.06 | 72.08 | 4.09 | 0.39 | 68.54 | 3.48 | 0.48 | - | 69.22 | 0.00 |
| 012409 | 0.97 | 87.99 | 3.12 | 0.68 | 95.05 | 8.94 | 0.11 | 105.10 | 3.12 | 0.68 | 92.71 | 4.09 | 0.53 | - | 36.09 | 0.00 |
| 012503 | 0.96 | 56.12 | 2.42 | 0.87 | 47.88 | 9.12 | 0.16 | 53.58 | 2.42 | 0.87 | 50.47 | 3.26 | 0.77 | 53.20 | 2.42 | 0.78 |
| 012504 | 0.93 | 79.45 | 5.00 | 0.28 | 72.23 | 10.60 | 0.03 | 81.92 | 5.00 | 0.28 | 75.34 | 6.87 | 0.14 | 86.43 | 1.73 | 0.62 |
| 012507 | 0.91 | 68.14 | 2.71 | 0.74 | 58.61 | 5.06 | 0.40 | 67.56 | 2.71 | 0.74 | 61.51 | 2.24 | 0.81 | 62.74 | 3.18 | 0.52 |
| 012605_bis | 0.97 | 83.73 | 8.44 | 0.13 | 82.21 | 14.67 | 0.01 | 89.37 | 7.56 | 0.18 | 82.93 | 9.78 | 0.08 | - | - | - |
| 012703_bis | 0.93 | 92.86 | 6.67 | 0.24 | 82.82 | 6.22 | 0.28 | 117.6 | 4.89 | 0.42 | 91.57 | 3.56 | 0.61 | - | - | - |
| 012704 | 0.94 | 72.59 | 5.33 | 0.37 | 68.63 | 9.33 | 0.09 | 76.77 | 4.44 | 0.48 | 70.24 | 4.89 | 0.42 | 78.56 | 10.22 | 0.03 |
| 012706 | 0.95 | 92.17 | 6.31 | 0.17 | 87.09 | 4.69 | 0.32 | 96.32 | 6.31 | 0.17 | 88.51 | 3.62 | 0.46 | 103.10 | 5.23 | 0.15 |
| 012707 | 0.88 | 69.69 | 2.26 | 0.68 | 58.29 | 3.48 | 0.48 | 73.00 | 2.26 | 0.68 | 63.65 | 2.26 | 0.68 | - | - | - |
| 012804 | 0.96 | 74.38 | 4.73 | 0.44 | 82.72 | 14.24 | 0.01 | 83.40 | 6.03 | 0.30 | 78.11 | 11.65 | 0.03 | - | 94.68 | 0.00 |
| 012806 | 0.96 | 78.16 | 1.74 | 0.78 | - | 17.55 | 0.00 | 84.98 | 3.10 | 0.54 | 79.44 | 9.87 | 0.04 | - | - | - |
| 012809 | 0.98 | 59.34 | 12.93 | 0.01 | - | 17.13 | 0.00 | 67.55 | 0.86 | 0.92 | - | 19.00 | 0.00 | - | 117.47 | 0.00 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 012901 | 0.90 | 62.58 | 1.29 | 0.86 | 54.90 | 4.90 | 0.29 | 63.80 | 1.74 | 0.78 | 58.05 | 1.74 | 0.78 | 64.40 | 3.10 | 0.37 |
| 012915 | 0.97 | 77.84 | 3.55 | 0.47 | 75.09 | 9.87 | 0.04 | 84.71 | 4.45 | 0.34 | 76.03 | 7.61 | 0.10 | 86.25 | 6.26 | 0.09 |
| 013002 | 0.92 | 74.75 | 13.86 | 0.08 | 64.42 | 14.47 | 0.07 | 72.22 | 12.33 | 0.13 | 67.62 | 12.60 | 0.12 | 71.12 | 12.94 | 0.07 |
| 013004 | 0.94 | 72.41 | 4.93 | 0.55 | 66.39 | 14.14 | 0.02 | 72.94 | 7.86 | 0.24 | 68.63 | 8.70 | 0.19 | 64.63 | 12.47 | 0.02 |
| 013004_bis | 0.96 | 60.86 | 7.60 | 0.17 | 57.54 | 14.40 | 0.01 | 60.58 | 5.20 | 0.39 | 57.57 | 3.60 | 0.60 | - | 13.60 | 0.00 |
| 013005 | 0.95 | 59.44 | 10.13 | 0.03 | 52.00 | 9.67 | 0.04 | 58.05 | 10.13 | 0.03 | 53.80 | 10.13 | 0.03 | 55.48 | 9.67 | 0.02 |
| 013202 | 0.91 | 45.30 | 2.20 | 0.69 | 40.16 | 6.40 | 0.17 | 51.03 | 2.20 | 0.69 | 43.31 | 2.20 | 0.69 | 45.30 | 2.20 | 0.53 |
| 013207 | 0.93 | 65.45 | 10.18 | 0.01 | - | 21.64 | 0.00 | 71.91 | 8.00 | 0.04 | 65.11 | 8.55 | 0.03 | - | - | - |
| 013407_bis | 0.97 | 68.00 | 1.45 | 0.69 | - | 15.09 | 0.00 | 73.63 | 0.91 | 0.82 | 68.67 | 5.27 | 0.15 | - | - | - |
| 013504 | 0.94 | 61.31 | 4.00 | 0.54 | 55.62 | 5.50 | 0.35 | 62.48 | 4.00 | 0.54 | 57.41 | 3.50 | 0.62 | 71.06 | 3.50 | 0.47 |
| 013506 | 0.96 | 62.01 | 5.16 | 0.39 | 60.53 | 13.38 | 0.02 | 63.89 | 6.46 | 0.26 | 59.59 | 5.59 | 0.34 | 63.30 | 5.59 | 0.23 |
| 013507 | 0.93 | 74.85 | 8.62 | 0.12 | 70.73 | 9.92 | 0.07 | 76.31 | 12.08 | 0.03 | 70.90 | 8.62 | 0.12 | 76.87 | 9.92 | 0.04 |

Annexe 09 : Résultats de P (Mi/x), BIC et AICc pour chaque série de données étudiées

| Code | AICc | | | | | P (Mi/x) | | | | | BIC | | | | | Choix de la loi | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|------|------|
| | EV 1 | W2 | 2LN | G2 | P 3 | EV 1 | W2 | 2LN | G2 | P 3 | EV 1 | W2 | 2LN | G2 | P 3 | Lois | Lois | Lois |
| 010208 | 173.37 | 178.79 | 171.13 | 174.49 | - | 21.22 | 1.42 | 65.20 | 12.16 | - | 174.79 | 180.20 | 172.55 | 175.91 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 010701 | 272.29 | 277.25 | 272.57 | 272.79 | 275.02 | 34.72 | 2.91 | 30.26 | 27.13 | 4.98 | 275.02 | 279.98 | 275.30 | 275.52 | 278.91 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 010703 | 295.57 | - | 292.39 | 297.42 | - | 15.81 | - | 77.90 | 6.29 | - | 298.45 | - | 295.26 | 300.29 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 010704 | 356.16 | 354.58 | 343.31 | 350.89 | - | 0.16 | 0.35 | 97.29 | 2.20 | - | 359.08 | 357.51 | 346.24 | 353.82 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 010708 | 231.52 | - | 230.73 | 233.33 | - | 34.56 | - | 51.43 | 14.01 | - | 233.96 | - | 233.16 | 235.77 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 010904 | 268.36 | 288.42 | 270.07 | 274.86 | - | 68.21 | 0.00 | 29.13 | 2.65 | - | 271.09 | 291.15 | 272.80 | 277.59 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 010905 | 268.77 | 269.78 | 268.33 | 268.11 | 270.03 | 22.06 | 13.35 | 27.57 | 30.67 | 6.35 | 271.64 | 272.64 | 271.19 | 270.98 | 274.13 | G2 | G2 | G2 |
| 011004 | 208.54 | 210.68 | 208.64 | 208.26 | 210.83 | 27.29 | 9.36 | 25.92 | 31.29 | 6.14 | 210.53 | 212.67 | 210.63 | 210.25 | 213.51 | G2 | G2 | G2 |
| 011006 | 361.43 | 375.09 | 361.76 | 364.43 | 364.90 | 46.39 | 0.05 | 39.43 | 10.34 | 3.80 | 364.80 | 378.46 | 365.13 | 367.81 | 369.81 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011006_bis | 243.39 | - | 243.76 | 247.23 | - | 50.55 | - | 42.03 | 7.42 | - | 245.83 | - | 246.20 | 249.67 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011101 | 249.60 | 247.11 | 249.96 | 247.90 | 249.66 | 12.13 | 42.22 | 10.14 | 28.45 | 7.06 | 252.12 | 249.62 | 252.48 | 250.41 | 253.20 | W2 | W2 | W2 |
| 011102 | 275.96 | 275.38 | 276.09 | 274.52 | 276.69 | 17.52 | 23.45 | 16.44 | 36.02 | 6.57 | 278.82 | 278.24 | 278.95 | 277.38 | 280.79 | G2 | G2 | G2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|
| 011205 | 644.08 | 652.42 | 646.26 | 644.02 | 646.13 | 40.03 | 0.62 | 13.47 | 41.31 | 4.58 | 648.82 | 657.15 | 651.00 | 648.76 | 653.16 | G2 | G2 | G2 |
| 011207 | 290.33 | 297.79 | 286.75 | 291.07 | - | 12.95 | 0.31 | 77.76 | 8.98 | - | 293.26 | 300.72 | 289,68 | 294.00 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011208 | 412.44 | - | 411.03 | 415.08 | 405.41 | 5.95 | - | 12.01 | 1.58 | 80.46 | 416.29 | - | 414.89 | 418.94 | 411.09 | P3 | P3 | P3 |
| 011302 | 220.37 | 221.57 | 220.25 | 220.12 | 222.48 | 25.02 | 13.75 | 26.48 | 28.37 | 6.38 | 222.26 | 223.45 | 222.14 | 222.00 | 224.99 | G2 | G2 | G2 |
| 011302_bis | 322.77 | 334.71 | 322.75 | 325.72 | - | 44.58 | 0.11 | 45.11 | 10.19 | - | 325.70 | 337.64 | 325.68 | 328.65 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011404_bis | 317.06 | 325.02 | 315.98 | 318.89 | 315.72 | 23.99 | 0.45 | 41.16 | 9.61 | 24.80 | 319.99 | 327.96 | 318.91 | 321.82 | 319.92 | 2LN | 2LN | P3 |
| 011405 | 546.08 | - | 548.57 | 546.47 | 548.53 | 45.01 | - | 12.97 | 37.08 | 4.94 | 550.24 | - | 552.72 | 550.62 | 554.66 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011407 | 236.69 | 236.63 | 236.46 | 235.88 | 238.33 | 20.24 | 20.87 | 22.69 | 30.43 | 5.77 | 238.96 | 238.90 | 238.73 | 238.15 | 241.47 | G2 | G2 | G2 |
| 011509 | 266.92 | 272.10 | 266.36 | 267.75 | 268.83 | 30.24 | 2.26 | 39.96 | 19.99 | 7.55 | 269.19 | 274.37 | 268.63 | 270.01 | 271.96 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011510 | 287.56 | - | 283.84 | - | - | 13.50 | - | 86.50 | - | - | 290.15 | - | 286.44 | - | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011512 | 235.11 | 239.51 | 233.46 | 235.77 | - | 24.36 | 2.70 | 55.43 | 17.51 | - | 237.20 | 241.59 | 235.55 | 237.86 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011603_bis | 344.57 | 353.72 | 343.34 | 346.29 | - | 30.48 | 0.31 | 56.33 | 12.87 | - | 347.56 | 356.71 | 346.33 | 349.28 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011605 | 865.46 | 871.30 | 868.48 | 865.47 | 867.56 | 42.12 | 2.27 | 9.33 | 42.00 | 4.27 | 870.54 | 876.39 | 873.56 | 870.55 | 875.12 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011606 | 303.92 | 306.56 | 304.36 | 303.84 | 306.16 | 30.42 | 8.13 | 24.46 | 31.64 | 5.35 | 306.78 | 309.42 | 307.22 | 306.71 | 310.26 | G2 | G2 | G2 |
| 011607 | 450.16 | 454.10 | 449.44 | 449.97 | 450.04 | 24.21 | 3.38 | 34.62 | 26.65 | 11.14 | 453.77 | 457.70 | 453.05 | 453.57 | 455.32 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011609 | 165.50 | 170.98 | 165.81 | 166.96 | 166.87 | 35.23 | 2.28 | 30.21 | 16.98 | 15.30 | 166.92 | 172.40 | 167.23 | 168.38 | 168.59 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011703 | 435.94 | 443.16 | 435.49 | 436.94 | 437.07 | 32.00 | 0.86 | 40.08 | 19.37 | 7.69 | 439.63 | 446.86 | 439.18 | 440.64 | 442.48 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011706 | 303.83 | 309.56 | 303.82 | 304.94 | 305.22 | 34.54 | 1.97 | 34.67 | 19.86 | 8.97 | 306.82 | 312.55 | 306.81 | 307.93 | 309.52 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011711 | 268.62 | 277.72 | 268.22 | 271.26 | - | 39.91 | 0.42 | 48.95 | 10.71 | - | 271.21 | 280.30 | 270.80 | 273.84 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011715 | 246.43 | 249.76 | 245.92 | 245.75 | 248.16 | 24.19 | 4.58 | 31.22 | 34.04 | 5.97 | 249.02 | 252.35 | 248.51 | 248.34 | 251.82 | G2 | G2 | G2 |
| 011717 | 238.28 | 245.30 | 238.31 | 240.35 | 235.10 | 18.36 | 0.55 | 18.03 | 6.52 | 56.54 | 240.53 | 247.66 | 240.66 | 242.70 | 238.38 | P3 | P3 | P3 |
| 011718 | 161.11 | 164.93 | 161.02 | 161.82 | - | 34.55 | 5.10 | 36.15 | 24.21 | - | 162.52 | 166.35 | 162.43 | 163.24 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011803 | 313.95 | - | 314.18 | 316.42 | - | 45.75 | - | 40.90 | 13.35 | - | 316.75 | - | 316.98 | 319.22 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011803_bis | 349.10 | 354.70 | 347.05 | 349.75 | 347.46 | 17.31 | 1.05 | 48.27 | 12.52 | 20.85 | 352.03 | 357.63 | 349.98 | 352.68 | 351.66 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011804 | - | - | 223.27 | - | - | - | - | 100.00 | - | - | - | - | 225.54 | - | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011804_bis | 338.06 | 352.82 | 338.42 | 341.46 | - | 49.60 | 0.03 | 41.33 | 9.04 | - | 341.28 | 356.04 | 341.64 | 344.68 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 011806 | 293.18 | 300.67 | 292.90 | 294.70 | 294.91 | 34.65 | 0.82 | 39.78 | 16.20 | 8.55 | 295.77 | 303.26 | 295.49 | 297.29 | 298.57 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011903 | 277.87 | 280.93 | 277.67 | 278.07 | 278.30 | 27.32 | 5.90 | 30.07 | 24.63 | 12.08 | 280.67 | 283.73 | 280.47 | 280.87 | 282.30 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 011904 | 207.76 | - | 207.61 | 211.14 | - | 44.20 | - | 47.63 | 8.17 | - | 209.76 | - | 209.61 | 213.14 | - | 2LN | 2LN | 2LN |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|
| 011906 | 244.69 | 250.41 | 244.68 | 246.14 | 244.22 | 30.48 | 1.74 | 30.51 | 14.77 | 22.50 | 247.27 | 253.00 | 247.27 | 248.72 | 247.88 | 2LN | 2LN | P3 |
| 012004 | 250.77 | 254.14 | 250.52 | 250.98 | 251.59 | 27.76 | 5.13 | 31.36 | 24.98 | 10.77 | 252.35 | 256.73 | 253.11 | 253.56 | 255.25 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012201 | 270.77 | 277.70 | 269.68 | 272.23 | - | 30.92 | 0.97 | 53.20 | 14.91 | - | 273.36 | 280.29 | 272.27 | 274.81 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012218 | 26.05 | 274.67 | 261.59 | 265.95 | 257.25 | 17.58 | 0.02 | 13.47 | 1.52 | 67.41 | 263.71 | 277.34 | 264.25 | 268.61 | 261.03 | P3 | P3 | EV1 |
| 012219 | 253.35 | 258.14 | 253.10 | 254.42 | 252.89 | 28.23 | 2.57 | 31.95 | 16.53 | 20.73 | 255.93 | 260.73 | 255.69 | 257.01 | 256.55 | 2LN | 2LN | P3 |
| 012307 | 218.14 | 224.60 | 217.99 | 219.65 | - | 38.70 | 1.53 | 41.60 | 18.18 | - | 220.13 | 226.59 | 219.98 | 221.64 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012308 | 310.51 | 318.11 | 309.13 | 311.83 | - | 28.33 | 0.63 | 56.41 | 14.62 | - | 313.44 | 321.04 | 312.06 | 314.76 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012309 | 320.26 | 333.63 | 319.40 | 323.28 | - | 36.22 | 0.05 | 55.73 | 8.01 | - | 323.37 | 336.73 | 322.51 | 326.39 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012404 | 181.06 | 191.56 | 180.61 | 184.41 | - | 40.88 | 0.21 | 51.27 | 7.64 | - | 182.72 | 193.23 | 182.27 | 186.08 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012409 | 284.49 | 290.00 | 280.60 | 284.87 | - | 11.25 | 0.72 | 78.73 | 9.30 | - | 287.08 | 292.58 | 283.19 | 287.46 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012503 | 303.65 | 308.56 | 303.38 | 303.79 | 305.35 | 29.66 | 2.55 | 33.95 | 27.68 | 6.16 | 306.87 | 311.78 | 306.60 | 307.01 | 310.01 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012504 | 242.16 | 247.07 | 241.73 | 243.19 | 241.81 | 27.25 | 2.34 | 33.76 | 16.25 | 20.40 | 244.51 | 249.42 | 244.08 | 245.54 | 245.09 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012507 | 259.84 | 263.57 | 259.94 | 259.83 | 262.14 | 30.36 | 4.70 | 28.88 | 30.54 | 5.51 | 262.50 | 266.23 | 262.60 | 262.49 | 265.91 | G2 | G2 | G2 |
| 012605_bis | 297.05 | 305,84 | 296.02 | 299.42 | - | 33.42 | 0.41 | 55.96 | 10.21 | - | 299.85 | 308.64 | 298.82 | 302.22 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012703_bis | 311.25 | 309.69 | 310.79 | 309.42 | - | 1.41 | 31.42 | 18.14 | 36.03 | - | 314.05 | 312.49 | 313.59 | 312.22 | - | G2 | G2 | G2 |
| 012704 | 285.93 | 292.94 | 285.15 | 287.47 | 286.15 | 28.88 | 0.87 | 42.71 | 13.34 | 14.20 | 288.73 | 295.74 | 287.94 | 290.27 | 290.15 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012706 | 219.13 | 224.88 | 218.68 | 220.49 | 219.21 | 28.55 | 1.61 | 35.82 | 14.51 | 19.51 | 221.12 | 226.87 | 220.67 | 222.48 | 221.89 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012707 | 181.67 | 181.92 | 181.39 | 181.07 | - | 22.78 | 20.17 | 26.30 | 30.57 | - | 183.34 | 183.58 | 183.05 | 182.74 | - | G2 | G2 | G2 |
| 012804 | 302.23 | 314.07 | 299.05 | 305.50 | - | 16.37 | 0.04 | 80.39 | 3.20 | - | 305.09 | 316.94 | 301.91 | 308.36 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012806 | 253.52 | - | 252.40 | 256.34 | - | 33.34 | - | 58.50 | 8.15 | - | 255.96 | - | 254.83 | 258.78 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012809 | 228.40 | - | 229.56 | - | - | 64.09 | - | 35.91 | - | - | 230.76 | - | 231.92 | - | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 012901 | 234.68 | 238.03 | 234.24 | 234.93 | 235.60 | 27.01 | 5.06 | 33.62 | 23.82 | 10.49 | 237.12 | 240.47 | 236.68 | 237.37 | 239.01 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 012915 | 253.24 | 259.05 | 252.23 | 254.32 | 253.97 | 26.84 | 1.47 | 44.54 | 15.68 | 11.46 | 255.68 | 261.48 | 254.66 | 256.75 | 257.38 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013002 | 552.24 | 560.60 | 551.69 | 552.24 | 553.32 | 28.27 | 0.43 | 37.19 | 28.32 | 5.79 | 556.62 | 564.98 | 556.07 | 556.61 | 559.79 | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013004 | 332.57 | 341.97 | 332.91 | 335.19 | 345.40 | 47.05 | 0.43 | 39.76 | 12.72 | 0.04 | 335.79 | 345.18 | 336.13 | 338.41 | 350.07 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 013004_bis | 293.25 | 305.78 | 293.99 | 296.67 | - | 53.33 | 0.10 | 36.92 | 9.65 | - | 296.30 | 308.83 | 297.04 | 299.72 | - | EV1 | EV1 | EV1 |
| 013005 | 219.60 | 224.70 | 219.74 | 220.24 | 222.41 | 34.50 | 2.70 | 32.30 | 25.15 | 5.34 | 221.96 | 227.06 | 222.09 | 222.59 | 225.69 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 013202 | 213.49 | 214.67 | 213.23 | 213.09 | 215.21 | 23.88 | 13.25 | 27.28 | 29.21 | 6.38 | 215.85 | 217.03 | 215.59 | 215.45 | 218.49 | G2 | G2 | G2 |
| 013207 | 174.50 | - | 173.01 | 175.13 | - | 26.02 | - | 55.00 | 18.98 | - | 176.05 | - | 174.55 | 176.68 | - | 2LN | 2LN | 2LN |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|
| 013407_bis | 174.64 | - | 173.97 | 176.80 | - | 36.58 | - | 51.00 | 12.42 | - | 176.18 | - | 175.52 | 178.34 | - | 2LN | 2LN | 2LN |
| 013504 | 240.56 | 246.11 | 240.18 | 241.48 | 240.10 | 27.29 | 1.71 | 33.06 | 17.26 | 20.68 | 243.08 | 248.62 | 242.69 | 243.99 | 243.63 | 2LN | 2LN | P3 |
| 013506 | 278.75 | 290.18 | 278.82 | 281.79 | 282.03 | 43.57 | 0.14 | 42.18 | 9.54 | 4.57 | 281.62 | 293.04 | 281.68 | 284.65 | 286.13 | EV1 | EV1 | EV1 |
| 013507 | 291.80 | 301.34 | 291.75 | 293.99 | 294.03 | 39.30 | 0.33 | 40.29 | 13.14 | 6.93 | 294.66 | 304.20 | 294.61 | 296.85 | 298.13 | 2LN | 2LN | 2LN |

**Annexe 10 : Quantiles calculés par la loi Log-Normale des séries de la région
d'étude**

| Code Station | Log-Normale | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| | P_{j, max_2} (mm) | P_{j, max_10} (mm) | P_{j, max_100} (mm) | P_{j, max_1000} (mm) |
| 010208 | 25.54 | 49.15 | 83.81 | 123.80 |
| 010701 | 29.01 | 47.84 | 71.93 | 96.91 |
| 010703 | 25.85 | 46.93 | 76.30 | 108.90 |
| 010704 | 30.12 | 74.27 | 155.00 | 265.40 |
| 010708 | 24.22 | 39.96 | 60.11 | 81.00 |
| 010904 | 36.09 | 53.19 | 72.98 | 91.97 |
| 010905 | 27.10 | 40.86 | 57.13 | 72.98 |
| 011004 | 36.43 | 56.55 | 80.94 | 105.20 |
| 011006 | 35.00 | 54.14 | 77.27 | 100.20 |
| 011006_bis | 33.03 | 51.96 | 75.18 | 98.47 |
| 011101 | 29.60 | 48.49 | 72.51 | 97.30 |
| 011102 | 27.27 | 42.91 | 62.11 | 81.38 |
| 011205 | 26.92 | 44.67 | 67.49 | 91.26 |
| 011207 | 19.60 | 37.88 | 64.82 | 95.98 |
| 011208 | 22.22 | 36.61 | 55.01 | 74.07 |
| 011302 | 48.92 | 79.33 | 117.70 | 157.00 |
| 011302_bis | 43.98 | 70.48 | 103.50 | 137.10 |
| 011404_bis | 36.04 | 61.01 | 93.71 | 128.20 |
| 011405 | 40.96 | 67.70 | 102.00 | 137.60 |
| 011407 | 37.94 | 59.75 | 86.52 | 113.40 |
| 011509 | 52.11 | 90.64 | 142.40 | 198.00 |
| 011510 | 34.53 | 64.78 | 108.20 | 157.40 |
| 011512 | 37.99 | 67.67 | 108.30 | 152.80 |
| 011603_bis | 43.72 | 76.13 | 119.70 | 166.50 |
| 011605 | 43.54 | 74.65 | 115.90 | 159.80 |
| 011606 | 35.10 | 58.81 | 89.59 | 121.90 |
| 011607 | 43.79 | 76.84 | 121.50 | 169.90 |
| 011609 | 36.32 | 54.48 | 75.84 | 96.57 |
| 011703 | 37.97 | 61.48 | 91.09 | 121.40 |
| 011706 | 34.93 | 53.07 | 74.64 | 95.76 |
| 011711 | 35.55 | 57.58 | 85.32 | 113.70 |
| 011715 | 33.93 | 48.65 | 65.27 | 80.91 |
| 011717 | 34.67 | 54.29 | 78.24 | 102.20 |
| 011718 | 29.37 | 45.94 | 66.16 | 86.38 |
| 011803 | 56.25 | 85.03 | 119.10 | 152.40 |
| 011803_bis | 48.80 | 87.61 | 141.20 | 200.00 |
| 011804 | 36.60 | 53.25 | 72.30 | 72.30 |
| 011804_bis | 36.12 | 55.13 | 77.82 | 100.10 |

| | | | | |
|------------|-------|-------|--------|--------|
| 011806 | 52.02 | 83.99 | 124.10 | 165.10 |
| 011903 | 37.60 | 54.56 | 73.92 | 92.28 |
| 011904 | 32.58 | 52.77 | 78.18 | 104.20 |
| 011906 | 27.71 | 42.73 | 60.83 | 78.74 |
| 012004 | 31.87 | 48.09 | 67.26 | 85.94 |
| 012201 | 33.08 | 56.20 | 86.56 | 118.70 |
| 012218 | 30.25 | 47.77 | 69.34 | 91.04 |
| 012219 | 30.25 | 47.48 | 68.56 | 89.68 |
| 012307 | 41.84 | 66.17 | 96.15 | 126.30 |
| 012308 | 31.77 | 54.83 | 85.55 | 118.40 |
| 012309 | 27.72 | 47.01 | 72.32 | 99.07 |
| 012404 | 29.01 | 47.90 | 72.08 | 97.17 |
| 012409 | 29.77 | 59.63 | 105.1 | 159.00 |
| 012503 | 27.17 | 39.50 | 53.58 | 66.95 |
| 012504 | 34.21 | 55.34 | 81.92 | 109.10 |
| 012507 | 29.21 | 46.36 | 67.56 | 88.96 |
| 012605_bis | 35.27 | 58.87 | 89.37 | 121.30 |
| 012703_bis | 28.20 | 61.92 | 117.60 | 187.80 |
| 012704 | 29.87 | 50.24 | 76.77 | 104.70 |
| 012706 | 38.82 | 64.04 | 96.32 | 129.80 |
| 012707 | 26.79 | 46.54 | 73.00 | 101.40 |
| 012804 | 28.65 | 51.61 | 83.40 | 118.40 |
| 012806 | 32.84 | 55.44 | 84.98 | 116.10 |
| 012809 | 29.78 | 46.76 | 67.55 | 88.39 |
| 012901 | 26.39 | 42.92 | 63.80 | 85.26 |
| 012915 | 29.97 | 53.12 | 84.71 | 119.1 |
| 013002 | 34.83 | 52.05 | 72.22 | 91.75 |
| 013004 | 33.78 | 51.62 | 72.94 | 93.91 |
| 013004_bis | 29.22 | 43.66 | 60.58 | 76.95 |
| 013005 | 26.84 | 41.06 | 58.05 | 74.78 |
| 013202 | 16.14 | 30.43 | 51.03 | 74.45 |
| 013207 | 25.71 | 45.31 | 71.91 | 100.80 |
| 013407_bis | 28.86 | 48.35 | 73.63 | 100.10 |
| 013504 | 26.27 | 42.34 | 62.48 | 83.03 |
| 013506 | 26.74 | 43.21 | 63.89 | 85.03 |
| 013507 | 32.53 | 52.03 | 76.31 | 101.00 |

Nom et prénom : Bougrara Hind

Nom et prénom : Bengharsallah Hala

Nom et prénom : Haddad Ilham

Nom et prénom : Bouguedah Youmna

Titre : Application de l'hydrologie fréquentielle à l'étude des pluies maximales : cas des bassins versants algériens

Résumé :

Ce travail tente de trouver le modèle statistique (loi théorique) le plus adéquat à l'estimation des valeurs rares des pluies maximales journalières du bassin versant de Chellif.

De ce fait, commençons par la recherche d'une classe de lois de probabilité qui s'ajustent le mieux aux valeurs observées de la variable aléatoire "pluie maximale journalière" à l'aide de méthodes spécifiques conçues pour cette fin. La seconde étape s'étend sur l'établissement d'un classement des lois qui donnent les meilleurs ajustements ; cela se fait sur la base d'application de différents critères de choix à savoir : le BIC, l'AICc et le critère de Schwarz basé sur les concepts de probabilité ; a priori et a posteriori. Ce dernier nous a permis d'établir un classement basé sur l'unique information tirée des observations de chaque site indépendamment, puis d'exploiter l'information tirée des sites voisins à travers une approche bayésienne.

Les résultats obtenus nous permettent de constater que la loi Log-Normale est la loi qui ajuste le mieux les séries des pluies maximales journalières du bassin versant de Chellif.

Mots clés :

Modèle statistique, valeurs rares, pluies maximales journalières, Chellif, critères AICc, critères BIC, critères de Schwarz, loi Log-Normale.