

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement (ex. Génie Rural)

THÈSE DE DOCTORAT

en Génie Rural

ANALYSE HYDROLOGIQUE DE QUELQUES BASSINS VERSANTS DU NORD ALGERIEN : EAUX SUPERFICIELLES, CRUES ET AMENAGEMENTS

Par

Aziz HEBAL

Devant le jury composé de :

A. GUENDOUZ	Professeur, Univ. de Blida	Président
B. REMINI	Professeur, Univ. de Blida	Directeur de thèse
S. A. HAMOUDI	Professeur, Univ. de Chlef	Examineur
M. HABI	Professeur, Univ. de Tlemcen	Examineur
M. LADJEL	M.C.A., Univ. de Sétif	Examineur
M. BESSENASSE	M.C.A., Univ. de Blida	Examineur

Blida, Février 2013

RÉSUMÉ

Résumé :

La première partie de ce travail s'étend sur l'étude de la variabilité spatiotemporelle des eaux de superficielles dans le Nord de l'Algérie représenté par les bassins : Seybouse situé dans l'Est, Isser au Centre et Tafna dans la partie Ouest du Nord de l'Algérie, et cela pour développer un ensemble d'éléments et d'outils de prise de décision pour une meilleure gestion hydraulique des barrages.

Pour ce faire, une étude des pluies s'est avérée nécessaire pour pouvoir expliquer par la suite la variation des écoulements puisque ces dernières constituent l'élément moteur de l'écoulement de surface, finalement il a été constaté une décroissance spatiale des pluies en allant de l'est vers l'ouest et du nord vers le sud et une succession des périodes humides et sèches dans le temps.

L'analyse quantitative détaillée des débits liquides a montré une irrégularité de la répartition des apports d'eau tant dans l'espace que dans le temps. L'établissement des bilans inter annuels ont fait ressortir la faiblesse du coefficient d'écoulement des trois bassins étudiés, ce qui traduit par de fortes pertes des quantités d'eau due à l'évapotranspiration essentiellement.

La deuxième partie du ce travail concerne l'étude des crues dans le Nord algérien. Dans un premier lieu nous avons tenté de donner un classement des lois fréquentielles les plus adéquates à l'estimation des quantiles extrêmes de crues du Nord de l'Algérie représenté ici par les grands bassins versants : Cheliff, Côtiers Algérois, Isser, Seybouse et Tafna.

Pour ce faire, la première étape consiste en la détermination du type de lois qui peut représenter le mieux nos séries de données. La seconde étape s'étend sur l'établissement d'un classement des lois retenues. Cela est rendu possible grâce à l'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. Dans cette étape nous avons essayé 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 mettent la loi Gamma en première position.

En second lieu nous avons essayé d'estimer les débits maximaux probables par différentes méthodes, à savoir : méthodes statistiques, hydrométéorologiques et sommaires, puis de dresser une comparaison entre ces dernières et, nous avons pris comme cas d'étude, le bassin versant de l'Isser. Les résultats obtenus montrent une divergence remarquable entre les différents débits calculés.

Mots clés : Variabilité spatiotemporelle des pluies, variabilité spatiotemporelle des débits, bilan hydrique, analyse fréquentielle, Nord de l'Algérie, valeurs extrêmes de crues, analyse régionale.

ملخص:

الجزء الأول من هذا العمل يركّز على دراسة التغير المكاني والزمني لموارد المياه السطحية في شمال الجزائر ممثلة بالأحواض التالية : سييوس في شرق الجزائر، يسر في الوسط و تافنة في الجزء الغربي من الجزائر ، وذلك لوضع مجموعة من عناصر وأدوات صنع القرار لتحسين إدارة مياه السدود.

للقيام بذلك، هناك حاجة إلى دراسة الأمطار لشرح التغيرات اللاحقة في التدفقات نظرا لأنها هي مصدر الجريان السطحي للمياه، وقد تمّ التّوصّل إلى نتيجة مفادها أنّ التساقطات المطرية تتناقص من الشرق الى الغرب ومن الشمال إلى الجنوب، و أنّ هناك سلسلة متناوبة من الفترات الممطرة والجافة على امتداد الفترة المدروسة.

وأظهر التحليل الكمي المفصل لمعدلات التدفق، التوزيع غير المنتظم لإمدادات المياه على حد سواء في المكان والزمان. وقد بيّن إنشاء المحصّلات المائية السنوية، ضعف معامل السيالان للأحواض الثلاثة التي تمت دراستها، مما أدى إلى ضياع كميات كبيرة من المياه بسبب التبخر بشكل أساسي.

الجزء الثاني من هذا العمل يتعلق بدراسة الفيضانات في شمال الجزائر. في المقام الأول حاولنا إعطاء ترتيب لأنظمة التردد الأكثر ملائمة لتقدير تدفقات الفيضانات العظمى في شمال الجزائر التي يمثلها هنا الأحواض التالية : الشلف، الساحل العاصمي الغربي، سييوس، يسر و تافنه. للقيام بذلك، فإن الخطوة الأولى تتمثل في تحديد نوع القوانين التي يمكن أن تمثل أفضل، سلاسل المعطيات المتوفرة لدينا . أما الخطوة الثانية فتشمل إنشاء ترتيب للقوانين المعتمدة سابقا وهذا ممكن من خلال تطبيق معايير مختلفة من بينها: BIC، AICc ومعيار شوارتز المبني على أسس مفاهيم الاحتمالات: البداهة السابقة و اللاحقة. في هذه الخطوة حاولنا وضع ترتيب استنادا إلى معلومات فريدة من الملاحظات من كل موقع على حدة، وبعد ذلك محاولة استغلال المعلومات المتأتية من المواقع القريبة و هذا من خلال نهج بايزي. النتائج التي تم الحصول عليها أظهرت أنّ قانون غاما يأتي في المركز الأول.

بعد ذلك قمنا بإجراء تقدير للتدفقات العظمى المحتملة للفيضانات باستعمال عدّة طرق والمتمثلة في : الطرق الإحصائية، الهيدروميتيورولوجية و الموجزة، ثم إجراء مقارنة بين هذه الطرق. و قد وقع الاختيار من أجل إجراء هذا الجزء من الدراسة على حوض يسر. فيما أثبتت النتائج المتحصل عليها تباعدا ملحوظا بين مختلف القيم المحسوبة.

مفتاح الكلمات:

التغيرات المكانية-الزمانية لسقوط الأمطار، التغيرات المكانية-الزمانية لتدفق المياه، الموازنة المائية، تحليل تكراري، شمال الجزائر، القيم العظمى للفيضانات، التحليل الجهوي.

Abstract:

The first part of this work extends on the study of spatial and temporal variability of surface water resources in the North of Algeria represented by watersheds: Seybouse located in the East, Isser in the Centre and Tafna in the North West of Algeria, and that to develop a set of elements and tools of decision making for better water management of dams. To do this, a study of rain was needed in order to explain subsequent changes in flows since they are the driving force of surface runoff, finally it was found a spatial decay of rainfall from East to West and from North to South and a succession of wet and dry periods in time. The detailed quantitative analysis of liquid flow rates showed an irregular distribution of water supply both in space and in time. The establishment of inter annual assessments have highlighted the weakness of the runoff coefficient of the three basins studied, which resulted in heavy losses amounts of water due to evapotranspiration essentially.

The second part of this work concerns the study of floods in northern Algeria. In the first place we tried to give a classification of the most appropriate frequency laws for the estimation of extremes quantiles of flooding in northern Algeria represented here by large watersheds: Cheliff, West Coastal Algiers, Isser, Seybouse and Tafna. To do this, the first step consists on determining the type of laws that can best represent our data sets. The second stage covers the establishment of a classification of laws adopted. 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 a posteriori. In this step we tried 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 show that Gamma law is in the first position. Secondly we tried to estimate the probable maximums flows through various methods including: statistical methods, hydrometeorological and summary, then we draw a comparison between them and we took as a case study, the watershed of the Isser. The results show a remarkable divergence between the different flows values calculated.

Keywords:

Spatial and temporal variability of rainfall, spatial and temporal variability of flow, water balance, frequency analysis, northern Algeria, extremes of floods, regional analysis.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, mes premiers remerciements vont naturellement à celui qui a encadré cette thèse. C'est donc un grand merci que j'adresse à Monsieur B. REMINI, Professeur, département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, faculté de la technologie, université Saâd Dahlab de Blida.

Comme je remercie Monsieur S. EL ADLOUNI, Professeur, Institut National de Statistique et d'Économie Appliquée (INSEA de Rabat, Maroc), Chaire en Hydrologie statistique (Hydro-Québec / CRSNG / Alcan), de m'avoir répondu toutes les fois que j'ai sollicité son aide aussi bien pour la bibliographie nécessaire à mes travaux de recherche, que pour les critiques apportées aux discussions de certains résultats.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur B. BOBEE, Professeur Émérite, Institut national de la recherche scientifique (INRS) Centre Eau, Terre et Environnement, Chaire en Hydrologie statistique (Hydro-Québec / CRSNG / Alcan) de m'avoir aidé en acceptant de consulter une partie importante de ce travail de thèse et de donner ses critiques et remarques très précieuses.

Je remercie vivement Monsieur A. GUENDOUZ, Professeur, université Saâd Dahlab de Blida, pour l'honneur qu'il me fait en présidant le jury de cette thèse.

Je tiens à remercier Monsieur S.A. HAMOUDI, Professeur, université Hassiba Ben Bouali de Chlef, d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse en qualité d'examineur.

Je tiens également à remercier Monsieur M. HABI, Professeur, université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse en qualité d'examineur.

Comme je tiens à remercier Monsieur M. LADJEL, Maître de conférences « A », université Ferhat Abbas de Sétif, d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse en qualité d'examineur.

Je tiens à remercier Monsieur M. BESSENASSE, Maître de conférences « A », université Saâd Dahlab de Blida, d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse en qualité d'examineur.

Que tous veuillent bien trouver ici le témoignage de mes plus vifs remerciements.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes collègues : S. HEDDAM, H. BOUZERD, A. AMMARI et O. ADJISSI, pour toute l'aide précieuse qu'ils m'ont apporté au cours de mes travaux, qui sans cette aide, ce travail ne serait pas arrivé à bout. Ainsi que pour le soutien moral qu'ils m'ont constamment apporté au cours de mes travaux.

Mes remerciements vont aussi aux ingénieurs de l'ANRH : M^{elle} F. YAGOUBI et Mr. M. BOUDALIA de l'antenne régional d'Oran, Mr. M. RAHMANI de l'antenne régional de Blida et Mr. M. BOUMAAZA de l'antenne régional de Constantine, pour l'aide précieuse apportée au cours de mes travaux en ce qui concerne la collecte de données nécessaires à l'élaboration de ce travail de recherche.

Merci à tous ceux que j'ai croisé de plus ou moins loin dans le cadre du ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	1
REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIÈRES	6
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX	8
INTRODUCTION GÉNÉRALE	18
PREMIÈRE PARTIE : ZONE D'ÉTUDE ET DONNÉES UTILISÉES	23
1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	24
1.1 Nord de l'Algérie	24
1.2 Présentation des bassins versants étudiés	30
1.3 Caractéristiques du bassin versant du Cheliff	37
1.4 Caractéristiques du bassin versant des Côtiers algérois Ouest	44
1.5 Caractéristiques du bassin versant d l'Isser	49
1.6 Caractéristique du bassin versant de la Seybouse	55
1.7 Caractéristiques du bassin versant de la Tafna	60
2 DONNÉES UTILISÉES	67
2.1 Introduction	67
2.2 Présentation des données	67
2.3 Traitement des données	77
2.4 Conclusion	92
DEUXIÈME PARTIE : EAUX SUPERFICIELLES ET AMÉNAGEMENTS	94
3 ÉTUDE DES PLUIES	95
3.1 Introduction	95
3.2 Choix des séries pluviométriques homogènes	96
3.3 Variation spatiale des pluies annuelles	96
3.4 Étude de la variabilité temporelle des pluies	102
3.5 Analyse fréquentielles des pluies annuelles	144
4 ANALYSE DES DÉBITS D'EAU	125
4.1 Introduction	125
4.2 Choix de séries hydrométriques homogènes	96
4.3 Débits moyens annuels	126
4.4 Débits moyens mensuels	137
4.5 Débits moyens journaliers	142

4.6	Analyse fréquentielles des débits moyens annuels	146
4.7	Conclusion	148
5	AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES	150
5.1	Introduction	150
5.2	Aménagements de l'époque coloniale en Algérie	150
5.3	Les aménagements récents en Algérie	152
5.4	Description des barrages et retenues des bassins étudiés	160
5.5	Analyse des conditions de mobilisation des eaux superficielles des bassins étudiés	173
5.6	Conclusion	176
	TROISIÈME PARTIE : ÉTUDE DES CRUES	177
6	CHOIX DU MODÈLE FRÉQUENTIEL LE PLUS ADÉQUAT À L'ESTIMATION DES VALEURS EXTRÊMES DE CRUES	178
6.1	Introduction	180
6.2	Problématique et objectifs	180
6.3	Données utilisées	181
6.4	Choix du type de modèles	183
6.5	Choix du modèle le plus adéquat	199
6.6	Conclusion	221
7	INTERCOMPARAISON DES MÉTHODES DE CALCUL DE CRUES	224
7.1	Introduction	224
7.2	Méthodes statistiques	225
7.3	Méthodes hydrométéorologiques	230
7.4	Les méthodes sommaires	251
7.5	Comparaison entre les différentes méthodes d'estimation des débits de crues	253
	CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	262
	APPENDICES	270
A.	Symboles et abréviations	271
B.	Liste des stations pluviométriques des bassins étudiés	278
C.	Liste des stations hydrométriques des bassins étudiés	281
D.	Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques des bassins étudiés	285
E.	Caractéristiques des séries de pluies annuelles et mensuelles utilisées	290
F.	Valeurs des paramètres μ , σ et u pour le calcul d'un quantile donné	297
G.	Calcul de $Q_{\max, \text{inst}}$ par la méthode de l'hydrogramme synthétique	299
	REFERENCES	304

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Situation géographique de l'Algérie du Nord	25
Figure 1.2	Évolution de la pluviométrie du nord de l'Algérie de 1922 jusqu'au 2005	26
Figure 1.3	Pluviométrie de l'Algérie du Nord	26
Figure 1.4	Carte des écoulements moyens annuels sur le Nord de l'Algérie	28
Figure 1.5	Carte du couvert végétal d'Algérie	29
Figure 1.6	Carte géologique d'Algérie du Nord d'après carte géologique	30
Figure 1.7	Carte de Situation du bassin versant du Cheliff	37
Figure 1.8	Réseau Hydrographique du Haut-Moyen et Bas Cheliff	40
Figure 1.9	Situation géographique du Côtiers Algérois Ouest	44
Figure 1.10	Réseau hydrographique du Côtiers Algérois Ouest	47
Figure 1.11	Situation du B.V. d'Isser selon le découpage de l'ANRH	50
Figure 1.12	Réseau hydrographique de l'Isser	52
Figure 1.13	Situation du BV. de la Seybouse selon le découpage de l'ANRH	55
Figure 1.14	Réseau hydrographique de la Seybouse	58
Figure 1.15	Situation du BV de la Tafna selon le découpage de l'ANRH	61
Figure 1.16	Réseau hydrographique de la Tafna	64
Figure 2.1	Localisation des stations pluviométriques du bassin Seybouse	70
Figure 2.2	Localisation des stations pluviométriques du bassin Isser	71
Figure 2.3	Localisation des stations pluviométriques du bassin Tafna	71

Figure 2.4	Localisation des stations hydrométriques des bassins : Cheliff, Côtiers Algérois Ouest et Isser	75
Figure 2.5	Stations hydrométriques de la Seybouse	76
Figure 2.6	Localisation des stations hydrométriques de la Tafna	77
Figure 3.1	Précipitations moyennes interannuelles aux stations pluviométriques du bassin Seybouse	98
Figure 3.2	Précipitation moyenne interannuelle aux stations pluviométriques du bassin Isser	100
Figure 3.3	Précipitation moyenne annuelle aux stations pluviométriques du bassin Tafna	101
Figure 3.4	Tracé du polygone de Thiessen pour le bassin de la Seybouse	105
Figure 3.5	Tracé du polygone de Thiessen pour le bassin d'Isser	105
Figure 3.6	Tracé du polygone de Thiessen pour le bassin de la Tafna	106
Figure 3.7	Variabilité temporelle de la pluie annuelle moyenne sur les trois bassins étudiés : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna	108
Figure 3.8	Variations mensuelles des précipitations dans les bassins : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna	113
Figure 3.9	Variation saisonnière des précipitations dans les bassins : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna	114
Figure 4.1	Variations interannuelles des modules des bassins : a) Seybouse b) Isser et c) Tafna	128
Figure 4.2	Variation interannuelle des pluies et des lames d'eau écoulées : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna	135
Figure 4.3	Variations des débits moyens mensuels au cours de l'année des trois bassins : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna	139
Figure 4.4	Variations interannuelles des débits mensuels des bassins : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna	141
Figure 4.5	Variations des débits moyens journaliers du bassin Seybouse : a) année moyenne b) année humide c) année sèche	143
Figure 4.6	Variations des débits moyens journaliers du bassin Isser :	144

	a) année moyenne b) année humide c)année sèche	
Figure 4.7	Variations des débits moyens journaliers de bassin Tafna : a) Année moyenne b) année humide c) année sèche	145
Figure 4.8	Graphiques d'ajustement à la loi normale des trois stations : a) Merbeck, b) Lakhdaria et c) Pierre du chat	147
Figure 4.9	Graphique d'ajustement à la loi log normale des trois stations : a) Merbeck, b) Lakhdaria et c) Pierre du chat	147
Figure 5.1	Les barrages d'Algérie et périmètres irrigués avant 1952	151
Figure 5.2	Situation des barrages de la région Nord-est algérien	156
Figure 5.3	Situation des barrages de la région Nord-Ouest algérien	156
Figure 5.4	Répartition des retenues collinaires à travers le Nord algérien	158
Figure 6.1	Exemples de densités associées à la loi des valeurs extrêmes : ($\xi = 0$, $\xi = 1$, $\xi = -1$)	186
Figure 6.2	Distributions ordonnées par rapport à leurs queues droites	188
Figure 6.3	Quatre familles de comportement asymptotique (extrait de Meylan etMusy 1999)	191
Figure 6.4	Diagramme des critères de choix entre les classes C, D et E (tirée de El Adlouni et al. 2008)	192
Figure 6.5	Illustration du graphique Log-Log pour la caractérisation des lois de la classe C	193
Figure 6.6	Graphique de Fonction Moyenne des Excès (FME)	195
Figure 6.7	Diagramme des moments : aplatissement β_2 -symétrie γ_1	200
Figure 6.8	Diagramme des rapports des L-Moments : L aplatissement τ_4 -L symétrie τ_3 de quelques distributions usuelles	201
Figure 6.9	Débits journaliers de 23 stations au Massachusetts	202
Figure 6.10	Distribution spatiale des lois théoriques les mieux classées pour les bassins : Cheliff (01), Côtiers Algérois (02) et Isser (09)	215
Figure 6.11	Distribution spatiale des lois théoriques les mieux classées	216

	pour le bassin de la Seybouse	
Figure 6.12	Distribution spatiale des lois théoriques les mieux classées pour le bassin de la Tafna	216
Figure 7.1	Débits maxima annuels de l'Oued Isser au droit de la station Lakhdaria (période 1966/2000)	286
Figure 7.2	Graphiques d'ajustement des lois théoriques aux données de la station de Lakhdaria : a) Période 66/00 et b) Période 72/97	230
Figure 7.3	Schéma conceptuel de l'algorithme du modèle SMA	235
Figure 7.4	Polygone de Thiessen pour le bassin de l'Isser au droit de la station de Lakhdaria	241
Figure 7.5	Distribution chronologique des pluies maximales journalières sur le bassin de l'Isser (série synthétique) pour la période 1772/1997	243
Figure 7.6	Ajustement graphique des pluies maximales du bassin Isser aux lois Gumbel et Log normale	245
Figure 7.7	Tracé des isochrones du bassin versant de l'Isser	247
Tableau 1.1	Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM	35
Tableau 1.2	Classification du relief selon Ds par l'ORSTOM	35
Tableau 1.3	Caractéristiques de forme des sous bassins de Cheliff	38
Tableau 1.4	Altitudes caractéristiques des sous bassins de Cheliff	39
Tableau 1.5	Indices de pentes des sous bassins de Cheliff	39
Tableau 1.6	Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de Cheliff	41
Tableau 1.7	Caractéristiques de forme des sous bassins du Côtiers Algérois ouest	45
Tableau 1.8	Altitudes caractéristiques des sous bassins de l'Algérois Ouest	45
Tableau 1.9	Indices de pentes des sous bassins de l'Algérois Ouest	46
Tableau 1.10	Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de	46

l'Algérois

Tableau 1.11	Caractéristiques de forme des sous bassin de l'Isser	50
Tableau 1.12	Altitudes caractéristiques des sous bassins de l'Isser	51
Tableau 1.13	Indices de pentes des sous bassins de l'Isser	51
Tableau 1.14	Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de l'Isser	52
Tableau 1.15	Caractéristiques de forme des sous bassins de la Seybouse	56
Tableau 1.16	Altitudes caractéristiques des sous bassins de la Seybouse	56
Tableau 1.17	Indices de pentes des sous bassins de la Seybouse	56
Tableau 1.18	Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de la Seybouse	57
Tableau 1.19	Caractéristiques de forme des sous bassins de la Tafna	61
Tableau 1.20	Altitudes caractéristiques des sous bassins de la Tafna	62
Tableau 1.21	Indices de pentes et reliefs des sous bassins	62
Tableau 1.22	Paramètres hydrographiques des sous bassins de la Tafna	63
Tableau 2.1	Caractéristique des stations pluviométriques du bassin Isser	69
Tableau 2.2	Caractéristique des stations pluviométriques du bassin Seybouse	69
Tableau 2.3	Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin Tafna	70
Tableau 2.4	Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Cheliff	74
Tableau 2.5	Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Côtiers Algérois Ouest	74
Tableau 2.6	Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Isser	74
Tableau 2.7	Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Seybouse	75
Tableau 2.8	Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Tafna	76

Tableau 2.9	Résultat des tests I.I.D des séries pluviométriques utilisées de l'Isser (pluies annuelles)	88
Tableau 2.10	Résultat des tests IID des séries pluviométriques utilisées de la Seybouse (pluies annuelles)	89
Tableau 2.11	Résultat des tests I.I.D des séries pluviométriques utilisées de la Tafna (pluies annuelles)	89
Tableau 2.12	Résultat de vérification des hypothèses I.I.D pour les séries hydrométriques utilisées (débits maximums annuels)	91
Tableau 2.13	Résultat des tests I.I.D des séries hydrométriques utilisées (débits moyens annuels)	92
Tableau 3.1	Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin de la Seybouse	97
Tableau 3.2	Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin Isser	99
Tableau 3.3	Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin de la Tafna	100
Tableau 3.4	Surfaces d'influences de chaque station calculées par la méthode de Thiessen du bassin Seybouse	105
Tableau 3.5	Surfaces d'influences de chaque station calculées par la méthode de Thiessen du bassin Isser	106
Tableau 3.6	Surfaces d'influences de chaque station calculées par la méthode de Thiessen du bassin Tafna	106
Tableau 3.7	Constitution de la série synthétique pour chaque bassin	107
Tableau 3.8	Moyenne, écart-type et coefficient de variation des séries pluviométriques 1975-1998 du bassin Seybouse	110
Tableau 3.9	Moyenne, écart-type et coefficient de variation des séries pluviométriques 1975-1998 du bassin Isser	110
Tableau 3.10	Moyenne, écart-type et coefficient de variation des séries pluviométriques 1975-1998 du bassin Tafna	111
Tableau 3.11	Paramètres des lois d'ajustement de quelques stations des trois bassins	123

Tableau 3.12	Pluies annuelles en mm pour des périodes de récurrences données	124
Tableau 4.1	Débits moyens annuels des trois bassins : Seybouse, Isser et Tafna	127
Tableau 4.2	Valeurs caractéristiques des modules au niveau des bassins versants	129
Tableau 4.3	Débits spécifiques et lames d'eau écoulées	130
Tableau 4.4	Hydraulicité des trois bassins : Seybouse, Isser et Tafna	131
Tableau 4.5	Bilans moyens annuels du bassin Seybouse	133
Tableau 4.6	Bilans moyens annuels du bassin Isser	134
Tableau 4.7	Bilans moyens annuels du bassin Tafna	134
Tableau 4.8	Déficit interannuelle moyen calculé par les formules de Turc et Coutagne	137
Tableau 4.9	Répartition des débits mensuels	138
Tableau 4.10	Disponibilités mensuelles moyennes en eaux de surface des bassins : Seybouse, Isser et Tafna	142
Tableau 4.11	Paramètres d'ajustement des lois normale et lognormale	146
Tableau 4.12	Résultats de la statistique χ^2 et l'erreur de la première espèce α pour les trois stations	148
Tableau 4.13	Estimation des quantiles de débits (m^3/s) des trois bassins par les lois normale et Log Normale	148
Tableau 5.1	Barrages en exploitation de la région Est algérien	153
Tableau 5.2	Barrages en exploitation de la région Centre algérien	154
Tableau 5.3	Barrages en exploitation de la région Ouest algérien	155
Tableau 5.4	Grands barrages en construction ou en étude dont la capacité supérieure à $10 hm^3$	157
Tableau 5.5	Principales caractéristiques des grands barrages du bassin de la Tafna	160

Tableau 5.6	Les petits barrages à travers le bassin de la Tafna	164
Tableau 5.7	Les retenues collinaires à travers le bassin de la Tafna	165
Tableau 5.8	Principales caractéristiques des grands barrages du bassin de la Seybouse	165
Tableau 5.9	Les petits barrages à travers le bassin de la Seybouse	166
Tableau 5.10	Les retenues collinaires à travers le bassin de la Seybouse	167
Tableau 5.11	Principales caractéristiques des grands barrages du bassin de l'Isser	169
Tableau 5.12	Les retenues collinaires à travers le bassin de l'Isser	172
Tableau 5.13	Caractéristiques des grands barrages pour chaque bassin étudié	173
Tableau 5.14	État de la mobilisation des eaux de surface avant 2008 pour les trois bassins	174
Tableau 5.15	État actuel de la mobilisation des eaux de surface pour les trois bassins	175
Tableau 5.16	Comparaison des taux de mobilisation des eaux de surface entre les trois bassins	176
Tableau 6.1	Caractéristiques des échantillons utilisés dans les cinq bassins	182
Tableau 6.2	Classification des lois usuelles en hydrologie par domaine d'attraction	187
Tableau 6.3	Classification des lois selon les caractéristiques de l'extrémité droite	190
Tableau 6.4	Valeurs R_0 et classe d'appartenance de chaque station	198
Tableau 6.5	Fonctions de densité de probabilité des lois utilisées	207
Tableau 6.6	Paramètres des lois utilisées (méthode du maximum de vraisemblance)	208
Tableau 6.7	Quantiles centennaux au non dépassement ($Q_{99\%}$), valeurs de la statistique (χ^2) et erreur de la première espèce (α) calculés pour chaque station et pour différentes lois utilisées	209

Tableau 6.8	Résultats de calcul pour chaque station des trois bassins selon les différents critères choisis	212
Tableau 6.9	Résultats de calcul après une légère modification des probabilités a priori	220
Tableau 6.10	Résultats de calcul avec la nouvelle distribution a priori	221
Tableau 6.11	Résultats de calcul pour les dernières stations	221
Tableau 7.1	Caractéristiques statistiques de l'échantillon et de la population	227
Tableau 7.2	Vérification des hypothèses I.I.D pour les données de la station de Lakhdaria	228
Tableau 7.3	Résultats d'application du test χ^2 de Pearson	228
Tableau 7.4	Paramètres d'ajustement des lois théoriques aux données de la station Lakhdaria	228
Tableau 7.5	Valeurs des quantiles de crues pour différentes périodes de retour de la station Lakhdaria (m^3/s)	229
Tableau 7.6	Le taux de pertes constant pour les différents types du sol	233
Tableau 7.7	Les avantages et les inconvénients du modèle de pertes	237
Tableau 7.8	Surfaces d'influence de chaque station calculées par la méthode de Theissen pour le bassin Isser au droit de la station Lakhdaria	242
Tableau 7.9	Série synthétique représentative des pluies maximales journalières sur le bassin Isser	243
Tableau 7.10	Caractéristiques de l'échantillon utilisé (série synthétique)	244
Tableau 7.11	Vérification des hypothèses I.I.D	244
Tableau 7.12	Résultats de l'application du test χ^2	244
Tableau 7.13	Paramètre des lois utilisées	244
Tableau 7.14	Estimation des quantiles de pluies maximales journalières en (mm) par les lois Gumbel et Log Normale	245
Tableau 7.15	Vitesse V calculée pour différentes valeurs de la pente	247

Tableau 7.16	Méthode de détermination des surfaces débitantes	248
Tableau 7.17	Pluies maximales journalières en (mm) pour les périodes de retour les plus usuelles	250
Tableau 7.18	Quantiles de débits max instantanés calculés par la méthode de l'hydrogramme synthétique	250
Tableau 7.19	Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Mallet-Gauthier	254
Tableau 7.20	Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Turraza	255
Tableau 7.21	Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Turraza modifiée	255
Tableau 7.22	Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Giandotti pour C=66	256
Tableau 7.23	Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Giandotti pour C=0.01	256
Tableau 7.24	Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Fuller	258
Tableau 7.25	Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Fuller avec des coefficients de multiplication modifiés	258
Tableau 7.26	Résultats de calculs des débits de crues par les différentes méthodes	259

INTRODUCTION GÉNÉRALE

A l'instar des pays de la rive Sud du bassin méditerranéen, l'Algérie, pays à climat essentiellement aride à semi-aride dans la majeure partie de son territoire, est confronté au problème du développement et de la gestion durable de ses ressources en eau. En effet, bien que disposant d'importantes chaînes de montagnes, d'une large ouverture maritime et par une grande disparité géographique, ces ressources en eau sont limitées vis-à-vis d'une forte demande qui résulte de la croissance démographique, de l'amélioration des conditions de vie, du développement des différentes industries et de l'extension de l'irrigation.

Devant ces contraintes, l'Algérie a fourni, depuis les années soixante, d'importants efforts de mobilisation de son potentiel hydraulique pour faire face à l'accroissement démographique et assurer son développement socio-économique.

Cependant, le potentiel hydraulique limité nécessite, parallèlement à la poursuite de l'effort de mobilisation, une maîtrise des phénomènes hydrologiques extrêmes par l'établissement des plans directeurs de développement des ressources en eau à l'échelle des bassins versants, d'adopter une stratégie de gestion de la demande en eau afin de satisfaire les besoins en eau et d'assurer les conditions d'une utilisation bénéfique de ces ressources hydriques, d'améliorer les performances des infrastructures (barrages, ouvrages de transfert d'eau....ect).

Dans le cadre de ce travail, on s'intéresse à l'analyse hydrologique des écoulements superficiels de quelques bassins versants situés dans le Nord Algérien, en conditions normales ainsi qu'en période de crise liée aux événements extrêmes suite à la fameuse crue de l'oued Kébir-Rhumel, survenue fin décembre 1984 et début janvier 1985 où le débit max observé à la station d'El Ancer atteint une valeur de $6308 \text{ m}^3/\text{s}$, aussi la crue du 09 au 10

novembre 2001 sur la région d'Alger (Bab El Oued) et celle de Ghardaïa survenu en 2008. Ces crues exceptionnelles ont provoqué en un temps record des pertes humaines et des dégâts matériels considérables.

Dans son rapport sur l'aménagement du territoire et de l'environnement, l'ex Conseil National Économique et Social a souligné le rôle stratégique de l'eau dans le développement global du pays et l'urgence de ce saisir la question des ressources hydriques selon une approche objective et multidimensionnelle. Depuis toujours, le problème de mobilisation des ressources hydriques constitue une préoccupation stratégique dans la politique de développement national. Celles-ci dépendent du climat qui dans le cas de l'Algérie est aride à semi-aride et elles décroissent du Nord au Sud. Les eaux de surface constituent la plus grande partie des ressources globales au niveau de la zone tellienne qui se déversent vers la Méditerranée.

La gestion des ressources en eau rejoint des préoccupations diverses : l'aménagement des cours d'eau, la construction des barrages et leur protection contre l'envasement, la lutte contre les risques d'inondation. Les dégâts considérables affectant les infrastructures hydrauliques destinées à la mobilisation des ressources en eau de surface et à la production agricole perturbent les activités économiques du pays. Il est primordial de mettre en place des infrastructures nécessaires à la protection des vallées contre les inondations et de procéder à la construction de digues pour se protéger contre les débordements de l'oued.

Face à cette variabilité qui détermine la disponibilité en eau, il est nécessaire de maîtriser et stocker l'eau de surface pendant les périodes humides pour pouvoir l'utiliser à l'ensemble des besoins en eau du pays pendant les périodes sèches. Ces difficultés expriment donc clairement le besoin avéré d'approfondir la connaissance des régimes hydrologiques en régions arides à semi-arides, leur variabilité spatiale et temporelle, et la maîtrise des phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les crues pour aboutir à une vision générale sur leur mode de fonctionnement hydrologique.

En Algérie, on s'est intéressé, depuis quelques années, à l'étude des phénomènes d'écoulement extrême; suite au fameux événement de la crue de l'oued Koriche, survenue d'une manière brutale et inattendue le 09 et 10 Novembre 2001, à l'origine des pertes humaines et des dégâts matériels d'une portée très considérable causés par ces inondations. Le bassin de l'oued Koriche est caractérisé par des pentes fortes et des terrains relativement imperméables, de nature lithologique variée. Ceci confère aux écoulements un caractère torrentiel et boueux, et offre un environnement propice aux pulsations brutales des cours d'eau.

La ville de Sidi Belabes a connu pas mal d'inondation, la dernière date depuis 1997, qui provoque le balayage des infrastructures routières, des terres agricoles, des bâtiments ainsi qu'une grande partie des infrastructures d'irrigation. Ceci n'a pas manqué de provoquer un grand déséquilibre au niveau des systèmes de production et de l'environnement écologique.

Si ces phénomènes exceptionnels sont suffisamment étudiés sous certains climats tempérés, il n'en n'est pas de même pour les climats à déficit hydrique et notamment dans les pays en voie de développement où l'équipement des stations de mesure reste très limité.

Ce travail de recherche portera essentiellement sur cinq grands bassins versants représentatifs du Nord algérien situés en climat semi-aride, qui sont :

- La Seybouse qui représente le Nord Est de l'Algérie ;
- Le Cheliff, le Côtiers Algérois Ouest et l'Isser qui représentent la partie centrale du Nord de l'Algérie ;
- Et enfin, la Tafna pour le Nord Ouest de l'Algérie.

Ces régions d'étude ont été choisi car :

- Elles sont soumises aux influences contrastées de la Méditerranée au Nord, et des hauts plateaux au Sud, en passant par les chaînes montagneuses du Tell ;
- Elles représentent les trois régions du Nord de l'Algérie à savoir : Est, Centre et Ouest. Ce qui leurs permet de représenter la disparité climatogéographique du Nord de l'Algérie ;

- Le choix s'est porté aussi du fait de la qualité et de la disponibilité des données, et en fonction des risques, manque d'eau et transfert massif d'eau intra ou inter-bassins pour équilibrer la répartition des eaux entre les bassins disposant de ressources en eaux excédentaires et ceux qui en sont déficitaires.

Ce travail de recherche s'articulera autour de trois parties principales :

Après une introduction générale, la première partie de ce travail concerne la présentation de la zone d'étude et des données utilisées, dans laquelle une description générale des secteurs d'étude qui comprend la localisation géographique des différents bassins versants étudiés à l'échelle du Nord algérien, la détermination des différents paramètres physiques qui influencent les écoulements superficiels et des caractéristiques géologiques (diverses affleurements perméables et imperméables) et climatologiques (aperçu sur le climat) de chaque bassin versant étudié. Puis nous procéderons à la présentation des données utilisées toute en donnant les codes stations, les coordonnées et les périodes de fonctionnement de chaque station et tout autre caractéristique nécessaire au bon aboutissement du travail. Par la suite nous exposerons les divers outils du traitement statistique des données pluviométriques et hydrométriques utilisées en donnant à chaque fois les résultats des traitements qu'elles subissent.

Dans la seconde partie, l'étude des eaux superficielles et aménagement, portera sur trois bassins représentatifs du Nord de l'Algérie en l'occurrence les bassins des oueds ; Isser où est érigé le deuxième plus grand barrage en Algérie, Seybouse et Tafna. Ceci repose sur l'application des méthodes statistiques pour analyser les séries chronologiques des pluies et des débits, à fin de pouvoir caractériser la variabilité spatio-temporelle du régime hydrologique au sein de chaque bassin versant étudié. Cette étude, mettra en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement et l'évaluation des apports liquides annuels, saisonniers, mensuels et journaliers dans les bassins concernés. En fin, et après un bref historique sur les barrages de la colonisation, l'inventaire sur l'aménagement de barrages hydrauliques sera dressé : ouvrages en exploitation,

en construction et ceux à l'étude. Ensuite sera abordé le taux de régularisation des apports des cours d'eau, des bassins étudiés.

Dans la troisième partie de ce travail, une analyse fréquentielle des débits extrêmes permet l'ajustement à des lois statistiques les plus adéquates et conduit à déterminer les probabilités d'occurrence ainsi que les périodes de retour et donc une estimation des quantiles de crues au sein de chaque bassin versant. La dernière phase de cette analyse sera portée sur une inter-comparaison de différentes méthodes d'estimation de valeurs rares de crues appliquées couramment dans le contexte algérien.

Et enfin, nous terminerons ce travail par une conclusion générale et des perspectives de cette recherche.

PREMIÈRE PARTIE
ZONE D'ÉTUDE ET DONNÉES UTILISÉES

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

1.1 Nord de l'Algérie

La zone d'étude correspond à la région nord d'Algérie (figure 1.1), s'étendant sur une superficie de 330000 km², soit environ 20 % du territoire national où se trouve localisée la quasi-totalité des populations et des activités. Au plan administratif, cet espace est structuré en 39 Wilayas, totalisant 26.5 millions d'habitants, soit une densité moyenne de 69 habitants/km². C'est un ensemble constitué par une succession de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux et de plaines, composé de deux sous-ensembles : le Tell et les Hautes Plaines steppiques.

Le Tell est ordonné en alignements alternés de massifs, de hauteur moyenne, dominés par une dorsale calcaire du Jurassique et du Crétacé où l'on retrouve les monts du Zaccar, de l'Atlas Blidéen, Babors, Hodna, Collo, Skikda, Aurès, les monts des Nememcha, les massifs du Djurdjura (2300 m) et de dépressions représentées par les basses plaines oranaises, la plaine de Cheliff et la plaine de Mitidja.

Tandis que les Hautes plaines steppiques sont localisées entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, à des altitudes comprises entre 900 et 1200 m, parsemées de dépressions salées, chotts ou sebkhas. On distingue deux grands ensembles :

- Les steppes occidentales, qui sont constituées des hautes plaines sud oranaises et sud algéroises, dont l'altitude décroît du djebel Mzi à l'Ouest à la dépression salée du Hodna au Centre ;

- Les steppes orientales à l'Est du Hodna sont formées par les hautes plaines du sud constantinois.

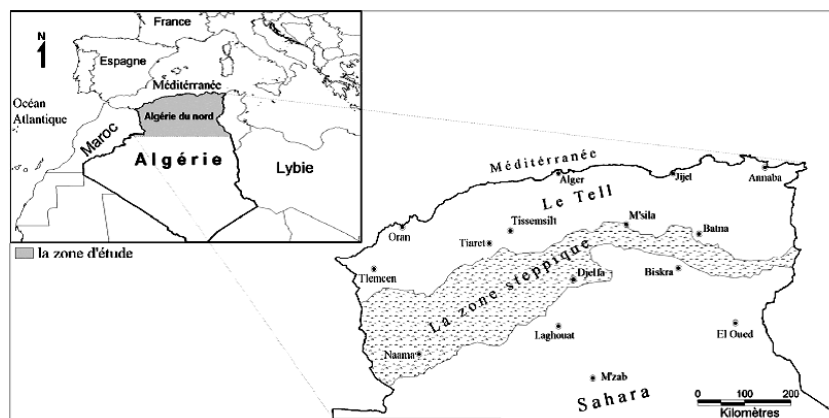


Figure 1.1 : Situation géographique du Nord de l'Algérie.

1.1.1 Climat

Soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, le climat est de type méditerranéen extra tropical tempéré sur la bande côtière mais à tendance continentale à l'intérieur des terres avec des écarts de température plus importants.

La température varie naturellement suivant l'altitude des localités. Pendant les hivers les plus froids, sa moyenne varie de 3 °C à 8 °C; cependant, dans certains lieux très élevés, elle s'abaisse jusqu'à 2 °C ou 3 °C. L'été, les plus fortes chaleurs ne dépassent pas 35 °C ou 38°C à l'ombre; lorsque le sirocco souffle, elles peuvent aller jusqu'à 40 °C.

Les pluies se caractérisent par une irrégularité très importante. Cette irrégularité croît à mesure que se réduit la tranche d'eau reçue et que s'affirment les influences continentales. Parallèlement, le nombre de jours de pluies diminue et la part des pluies souvent orageuses d'automne, de printemps et d'été s'accroît.

L'Algérie connaît depuis l'année 1975 une baisse graduelle de la pluviométrie illustrée sur les graphes suivants représentant la distribution des pluies annuelles sur la période allant de l'année hydrologique 1922/1923 jusqu'à l'année 2005/2006, des régions : Oran, Alger et Constantine respectivement.

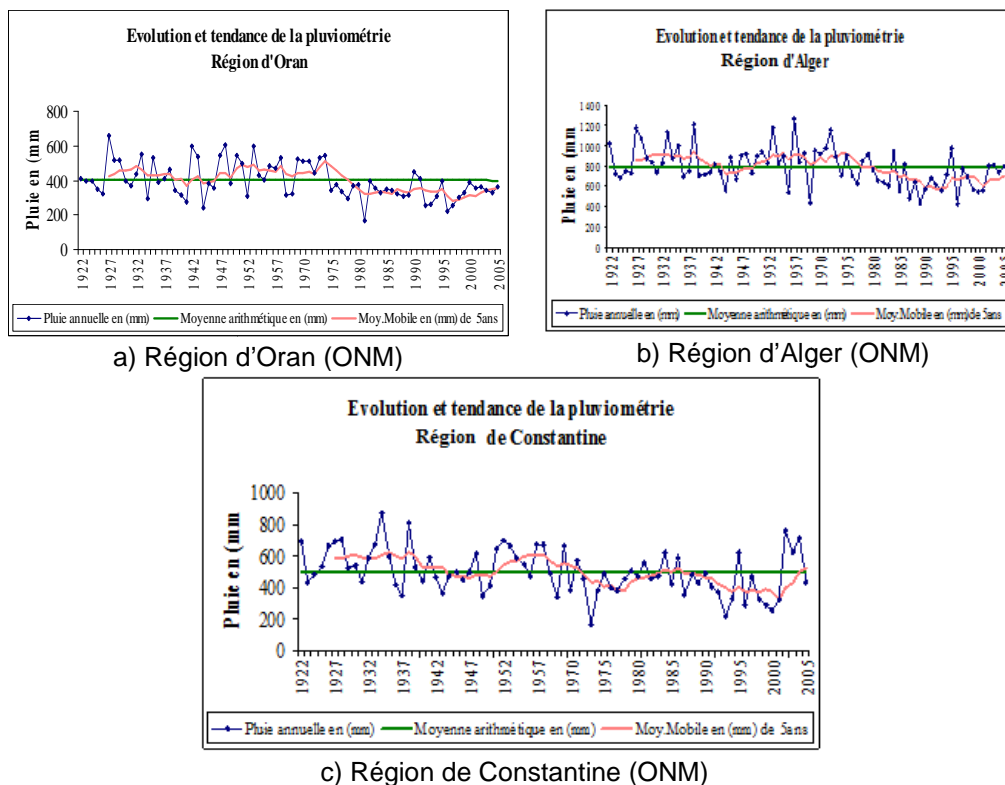
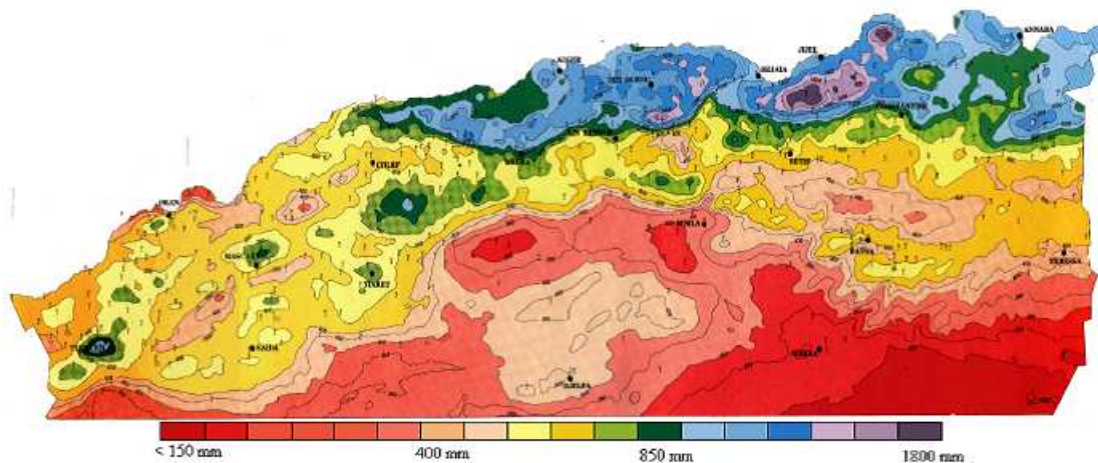


Figure 1.2 : Évolution de la pluviométrie du Nord de l'Algérie de 1922 jusqu'au 2005 (ONM).

La répartition spatiale de la pluviométrie se caractérise par une variation du



gradient pluviométrique d'Est en Ouest et du Nord au Sud (Figure 1.3).

Figure 1.3 : Carte pluviométrie du Nord de l'Algérie [1].

1.1.2 Réseau hydrographique

Du point de vue hydrographique, l'Algérie est subdivisée en 17 bassins versants qui se regroupent en 03 classes :

- Les bassins tributaires de la Méditerranée (11 bassins) ; bassins des oueds drainant l'Atlas Tellien et les côtiers sahéliens :
 - $S = 130000 \text{ km}^2$;
 - $Pa = 400 - 1400 \text{ mm/an.}$;
- Les bassins endoréiques des hautes plaines (04 bassins) :
 - Eaux de surface se perdant dans les chotts ;
 - $S = 100000 \text{ km}^2$;
 - $Pa = 300 \text{ mm/an.}$
- Les bassins sahariens (02 bassins) : bassins du Chott Melrhir et du Sahara :
 - $Pa = 20 - 150 \text{ mm/an.}$

Avec :

S : Surface en km^2 ;

Pa : Pluie annuelle en mm.

1.1.3 Sol

On distingue plusieurs types de sols regroupant les sols minéraux bruts ou sols très peu évolués, les sols peu évolués, les sols calcimagnésiques, les sols isohumiques et les sols halomorphes [2]. Dans presque toute l'étendue du Tell, le sol arable, très profond, est argilo-calcaire, mais toujours mélangé d'une proportion plus ou moins considérable de sable. Ce sol, lorsqu'il peut être irrigué, est d'une étonnante fertilité, à condition cependant que le sable n'y soit pas prédominant.

1.1.4 Ressources hydriques

La question des ressources en eau reste une préoccupation majeure pour l'Algérie. Les ressources en eau conventionnelle proviennent essentiellement des eaux de surface, totalisant un volume annuel moyen de 12.4 milliards de m³, dont 90 % dans la zone tellienne (Figure 1.4). A cette réserve s'ajoutent les eaux souterraines, estimées à 1.8 milliards de m³.

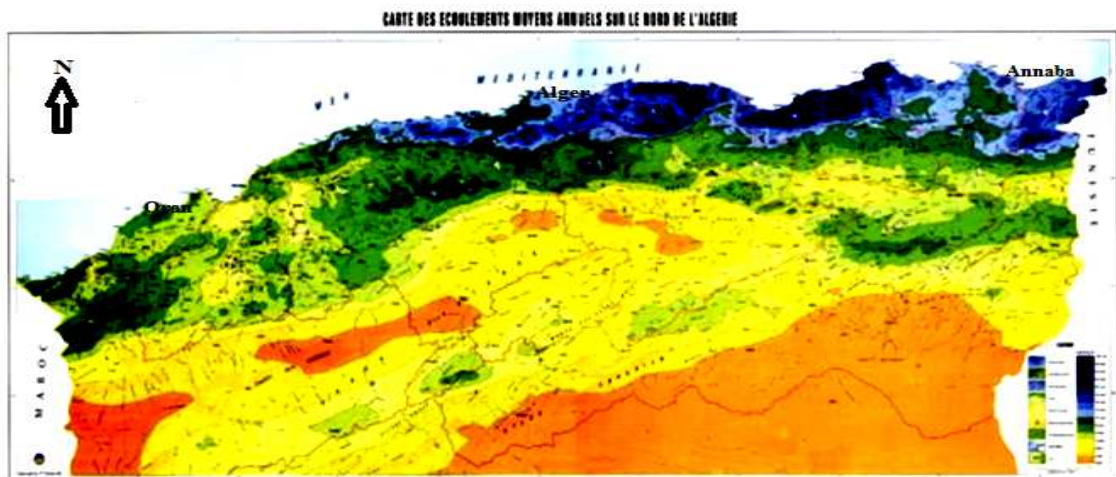


Figure 1.4 : Carte des écoulements moyens annuels sur le Nord de l'Algérie [3].

1.1.5 Couvert végétal

En allant du nord de l'Algérie vers le sud on traverse différents paysages : les forêts de chênes et de pins, des maquis et matorrals (thuya, olivier et lentisque) vers les steppes semi arides et arides (alfa, sparte et armoise) puis les écosystèmes désertiques (acacias et divers espèces graminées) (figure 1.5).

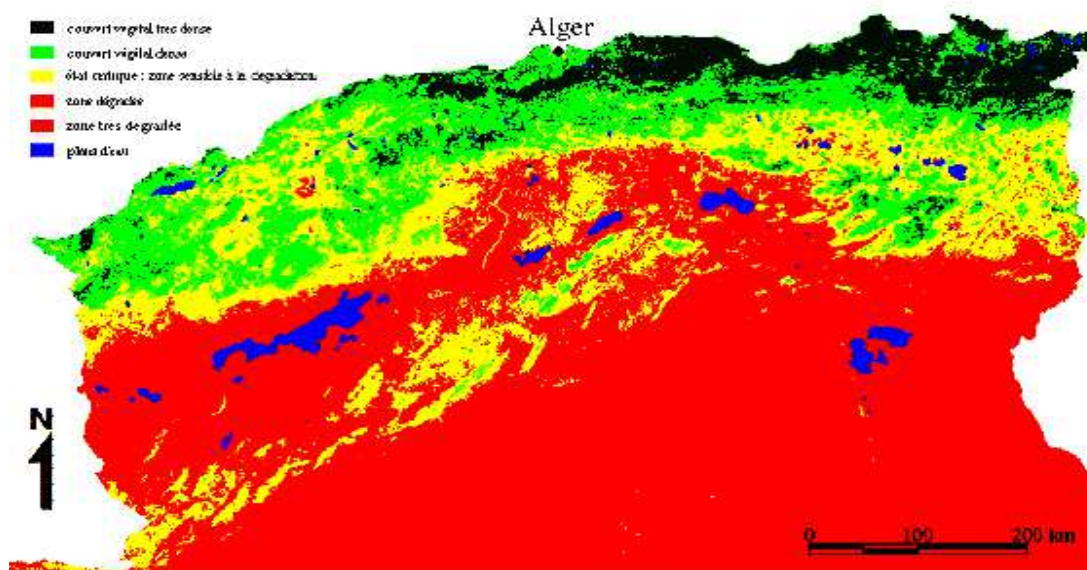


Figure 1.5 : Carte du couvert végétal d'Algérie [4].

La dernière décennie a été catastrophique pour la couverture forestière du pays, où près de la moitié de la couverture végétale du pays est partie en fumé spécialement lors des incendies de Août 2007.

1.1.6 Géologie

La constitution géologique de l'Algérie du Nord présente une remarquable uniformité. A la base du sous-sol accessible règne une couche mince, mais discontinue, de roches éruptives, granit, porphyre, amphibole. En un petit nombre de points, elle est recouverte de lits de gneiss, de micaschistes et de calcaire cristallisé, roches métamorphiques des terrains paléozoïques. Mais la presque totalité du sous-sol appartient aux terrains mésozoïques. Le système jurassique y est à peine représenté. Le terrain crétacé inférieur y prédomine de beaucoup et on y constate aussi la présence du Crétacé supérieur. Sur les plaines s'étend un manteau formé soit d'alluvions, soit de terrain éocène. Les roches du Crétacé inférieur consistent surtout en calcaire compact, en marnes et en grès. Ces masses sont en général de couleur noire ou d'un brun très foncé, ce qui donne à l'Algérie du Nord l'aspect d'un terrain calciné. Cette impression résulte principalement de la vue des gorges et des érosions des montagnes (figure 1.6).

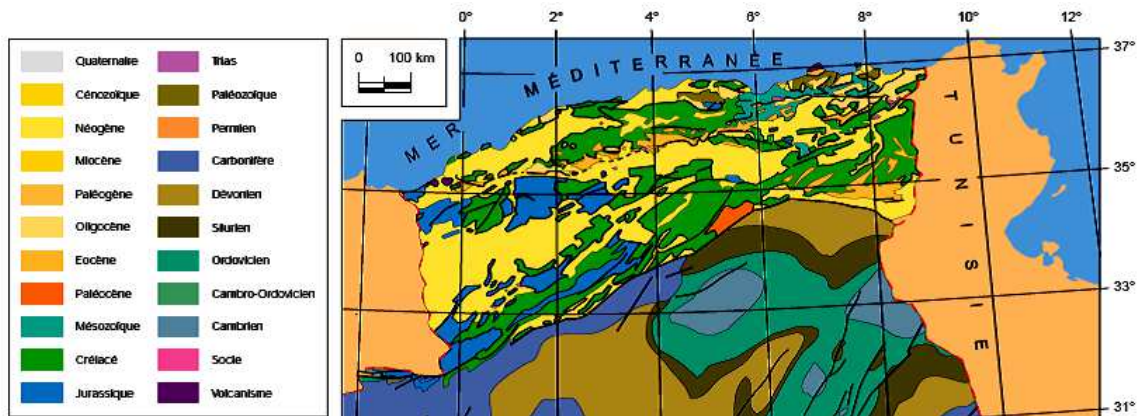


Figure 1.6 : Carte géologique d'Algérie du Nord d'après carte géologique internationale de l'Afrique (feuille n°2), CGMW/UNESCO 1990.

1.2 Présentation des bassins versants étudiés

La région d'étude comporte cinq grands bassins versants Algériens, à savoir :

- La Seybouse qui représente le Nord Est de l'Algérie ;
- Le Cheliff, les Côtiers Algérois Ouest et l'Isser qui représentent la partie centrale du Nord de l'Algérie ;
- Et enfin, la Tafna pour le Nord Ouest de l'Algérie.

Ces bassins versants ont été choisis pour l'étude de la disponibilité de la ressource superficielle en eaux du Nord de l'Algérie, ainsi que le crues (normalisation d'un modèle statistique et étude comparative de différentes méthodes d'estimation de valeurs extrêmes de crues), vu ; l'importance que requiert ces bassins vis à vis des ouvrages hydrauliques qui alimentent les différentes wilayas du nord Algérien en eau potable et eau pour l'irrigation, l'importance des crues observées dans ces bassins et leurs emplacements très favorable à l'étude de la variabilité spatiale des ressources en eau dans le Nord algérien.

La région d'étude située dans le Nord algérien. Elle s'étend sur une superficie totale de 83086 km², répartie en : 43900 km² pour le Cheliff (01), 8598 km² pour le Côtier-algérois ouest (02), 4137 km² pour l'Isser (09), 6471 km² pour

la Seybouse (14) et 7245 km² pour la Tafna (16). Du point de vue administratif, cette région chevauche sur plusieurs wilayas :

- Alger, Médéa, Bouira, Tizi Ouzou, Boumerdes, Tipaza, Cheliff, Tissemsilt, Djelfa, Tiaret, Relizane, Aïn Defla et Mostaganem pour les bassins : Cheliff, Cotiers Algérois ouest et Isser ;
- Annaba, Guelma, Skikda, El-Taref, Souk Ahras, Constantine et Oum El-Bouaghi pour le bassin Seybouse ;
- Tlemcen, Aïn Temouchent, Sidi –Bel-Abbes pour le bassin Tafna.

1.2.1 Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

Les caractéristiques morphométriques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration caractérise en partie la vitesse, et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations et influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu ; la taille du bassin versant (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoute encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique.

1.2.1.1 Caractéristiques de forme

La forme du bassin versant est la configuration géométrique telle qu'elle est projetée sur un plan horizontal. Elle influence directement le temps de réponse du bassin, c'est à dire sur le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage et par conséquent sur l'hydrogramme de crue [5].

1.2.1.1.1 Indice de compacité ou indice de gravelus

Il est défini par la relation

$$Kc = 0.28 \frac{P_b}{\sqrt{S}} \quad (1-1)$$

Avec :

P_b : Périmètre du bassin en Km ;

S : Surface du bassin en Km².

Si, Kc tend vers 1 : le bassin est ramassé.

Si, Kc > 1 le bassin est allongé.

1.2.1.1.2 Coefficient de forme « Rf »

Selon Horton, ce paramètre est le rapport entre la superficie du bassin et le carré de la longueur du cours d'eau principal (Lm) :

$$Rf = \frac{S}{Lm^2} \quad (1-2)$$

Avec :

Lm : distance entre l'embouchure et le point le plus éloigné du bassin suivant le cours d'eau principale en Km.

1.2.1.1.3 Coefficient de forme « Kf »

Il exprime le rapport entre la largeur moyenne et la longueur axiale.

$$Kf = \frac{Bm}{La} \quad (1-3)$$

Avec :

Bm : largeur du cours d'eau principal en Km ;

La : longueur axiale du bassin en Km.

1.2.1.1.4 Élancement « Re »

Ce rayon de circulation entre la superficie du bassin et celle du cercle dont la circonférence est égale au périmètre du bassin, soient :

$$Re = \frac{4\Pi S}{P_b^2} = 1256 \frac{S}{P_b^2} \quad (1-4)$$

La valeur de ce paramètre est 1 pour un bassin circulaire et de 0.78 pour un bassin carré.

1.2.1.1.5 Rectangle équivalent

Il est défini par sa longueur " L_r " et sa largeur " l " et par la même surface du bassin versant " S ". Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules suivantes :

La longueur :

$$L_r = \frac{Kc\sqrt{S}}{L.I2} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{L.I2}{Kc} \right)^2} \right] \quad (1-5)$$

La largeur :

$$l = \frac{Kc\sqrt{S}}{L.I2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{L.I2}{Kc} \right)^2} \right] \quad (1-6)$$

Puisque : $2*(L_r+l)=P_b$ et $L_r*l=S$.

1.2.1.2 Caractéristiques du relief

1.2.1.2.1 Hypsométrie d'un bassin

La variation d'altitude à l'intérieur d'un bassin ainsi que l'altitude moyenne sont des données essentielles aux études de la température et des précipitations [5].

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 (Hmax) ;
- L'altitude minimale (Hmin) ;
- L'altitude médiane correspond à 50% de la surface (H50%) ;
- L'altitude moyenne (Hmoy) 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%).

$$H_{moy} = \sum_{i=1}^n \frac{se_i \cdot H_i}{S} \quad (1-7)$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin (m) ;

se_i : surface comprise entre deux courbes de niveaux i et $i+1$ (Km^2) ;

H_i : altitude entre ces deux courbes de niveaux (m) ;

1.2.1.2.2 Indice de pente

Selon DUBREUIL [6], le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant pour permettre des comparaisons et des classifications entre bassins. Ils sont déterminés à partir de la connaissance des courbes hypsométriques.

➤ 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 :

$$I_p = \frac{I}{\sqrt{L_r}} \sum_{i=1}^N \sqrt{se_i (H_{i+1} - H_i)} \quad (1-8)$$

Avec :

I_p : indice de pente de roche en % ;

H_{i+1} et H_i : Côtes de courbes de niveaux du bassin en (m).

➤ Indice de pente global I_g :

Il est utilisé pour la classification des bassins versants, cet indice donné en (%) est déterminé par la formule :

$$I_g = \frac{D}{L_r} \quad (1-9)$$

I_g : Indice de pente global (m/Km) ;

D : Dénivelée en m.

Le tableau suivant donne une classification du relief adopté par l'ORSTOM selon cet indice.

Tableau 1.1 : Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM [7].

$I_g < 0.002$ m/Km	Relief très faible
$0.002 < I_g < 0.005$	Relief faible
$0.005 < I_g < 0.01$	Relief assez faible
$0.01 < I_g < 0.02$	Relief modère
$0.02 < I_g < 0.05$	Relief assez fort
$0.05 < I_g < 0.5$	Relief fort
0.5 m/Km $< I_g$	Relief très fort

➤ Dénivelée spécifique D_s :

$$D_s = I_g \cdot S^{1/2} \quad (1-10)$$

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins (tableau 1.2).

Tableau 1.2 : Classification du relief selon D_s par l'ORSTOM [7].

$D_s < 10$ m	Relief très faible
10 m $< D_s < 25$ m	Relief faible
25 m $< D_s < 50$ m	Relief assez faible
50 m $< D_s < 100$ m	Relief modère
100 m $< D_s < 250$ m	Relief assez fort
250 m $< D_s < 500$ m	Relief fort
$D_s > 500$ m	Relief très fort

➤ Pente moyenne d'un bassin versant « I_m » :

La pente moyenne d'un bassin versant peut se calculer par l'expression suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n)}{S} \quad (1-11)$$

Avec :

I_m : pente moyenne du bassin en (%) ;

ΔH : hauteur entre deux courbes de niveaux consécutives (m) ;

L_i : longueur de la courbe de niveau i en (Km).

1.2.1.3 Caractéristiques du réseau hydrographique

1.2.1.3.1 Densité de drainage Dd

C'est le rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin versant, elle est exprimée en Km/Km², soit :

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \quad (1-12)$$

Avec :

$$\sum_{i=1}^n l_i : \text{Longueur totale cumulée des talwegs.}$$

1.2.1.3.2 Coefficient de torrentialité (C_t)

$$C_t = F_t \times D_d \quad (1-13)$$

Avec :

F_t : Fréquence des talwegs élémentaires :

$$F_t = \frac{N_t}{S} \quad (1-14)$$

N_t : Nombre des talwegs d'ordre 1.

1.2.1.3.3 Temps de concentration (t_c)

C'est le temps que met une goutte de pluie la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il existe plusieurs formules de calcul de ce paramètre, la plus utilisée en Algérie est celle de Giandotti.

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_t}{0.8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (1-15)$$

Avec :

L_t : longueur du talweg principal.

1.3 Caractéristiques du bassin versant du Cheliff

1.3.1 Situation géographique

Située au centre ouest de l'Algérie du Nord (figure 1.7), Le bassin du Cheliff 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 Cheliff-Zahrez.

Le bassin versant du Cheliff qui s'étend sur 43900 Km², est le plus vaste bassin hydrographique du nord du pays, 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 trente six sous bassins.

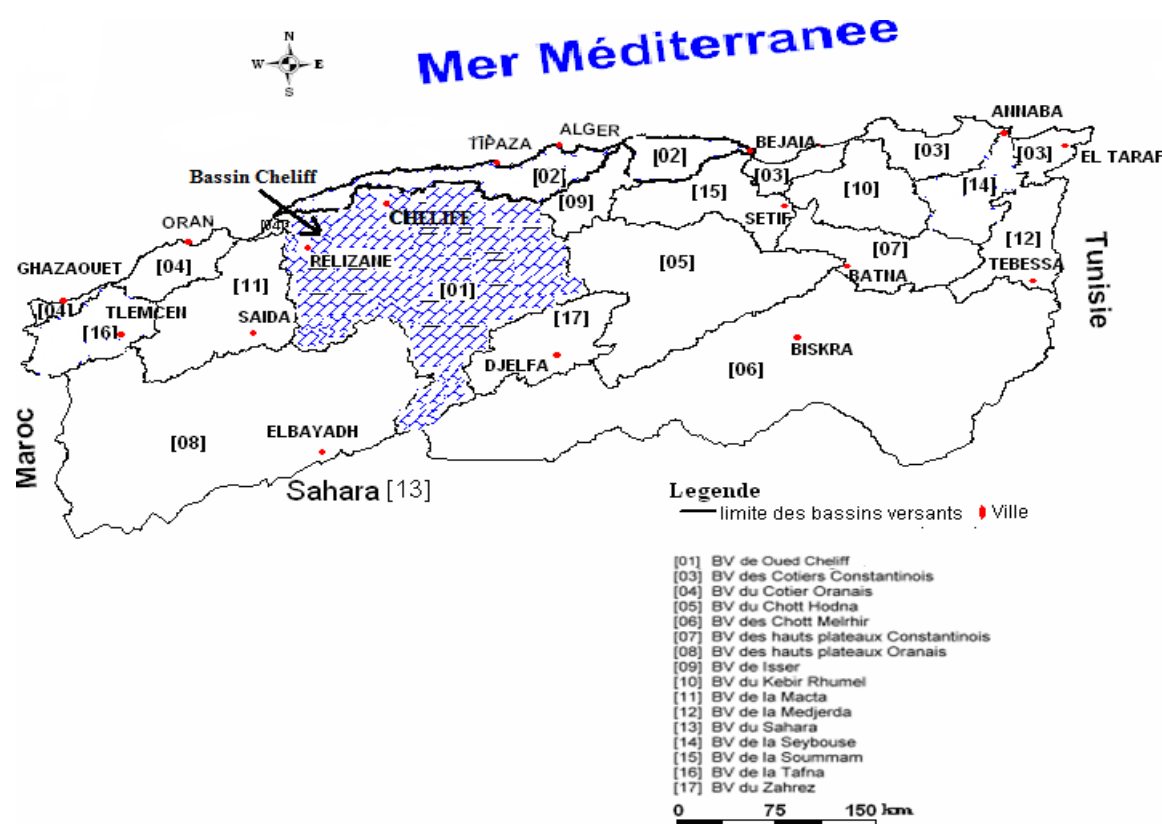


Figure 1.7 : Carte de Situation du bassin versant du Cheliff.

1.3.2 Caractéristiques morphométriques

1.3.2.1 Caractéristiques de forme

Nous, nous intéresserons dans cette partie particulièrement aux unités hydrologiques contrôlées par des stations de jaugeage. Les caractéristiques de forme de quelques sous bassins représentatifs du Cheliff au droit des principales stations de mesure sont données dans le tableau suivant.

Tableau 1.3 : Caractéristiques de forme des sous bassins de Cheliff.

Sous bassin	Station	Code	S (Km ²)	P _b (Km)	K _c	Rectangle équivalent	
						L _r (Km)	l (Km)
Oued Ghrib Cheliff	Ghrib Amont	011407	21705	705	1.34	273	79.51
Oued Cheliff Harbil	Tamzguida	011501	157	50.5	1.15	14.2	11.06
Oued Deurdeur	Marabout Blanc	011601	830	160	1.55	67.4	129.69
Oued Cheliff Harraza	Arib Cheliff	011702	24520	1025	1.83	459	53.42
Oued Cheliff Harraza	El Ababsa	011715	102	40.5	1.12	10.8	9.44
Oued Ebda	Arib Ebda	011801	270	70	1.19	23.5	11.49
Oued Rouina/Zeddine	B.O Tahar	011905	865	123	1.17	39.7	21.79
Oued Cheliff Tighzal	El Abadia 1	012001	26414	1069	1.84	479.4	55.1
Oued Ras Ouahrane	Ouled Fares	012201	262	66	1.14	19.7	13.3
Oued Ras Ouahrane	Ponteba Défluent	012203	27880	1137	1.9	514.4	54.2
Oued Sly	Ouled Ben A.E.K	012311	1225	145	1.16	45.5	26.92
Oued Cheliff Tarhia	Djidiouia Cheliff	012806	34550	1317	1.98	601	57.49
Oued Mina Amont	Sidi Ali Ben Amar	012909	1200	135	1.09	41.3	29.06
Oued Taht	Kef Mahboula	013001	680	115	1.23	40.48	16.8
Oued Abd Aval	Takhmart	013301	1550	201	1.43	81.6	19.03
Oued Abd Aval	Ain Amara	013302	2480	225	1.26	81.69	30.36
Oued Mina Hadda	Sidi AEK Djillali	013401	470	91	1.29	37.36	12.58
Oued Mina Hadda	Oued El Abtal	013402	4126	295	1.28	108.94	37.87
Oued Cheliff Maritime	Sidi Bel Attar	013602	43700	1380	1.85	619	70.6

Source ANRH

On remarque que la plupart des sous bassins ont une forme allongée.

1.3.2.2 Caractéristiques du relief

1.3.2.2.1 Hypsométrie

Les caractéristiques du relief sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 1.4 : Altitudes caractéristiques des sous bassins de Cheliff.

Sous bassin	Station	Code	H _{max} (m)	H _{min} (m)	H _{moy} (m)	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)	D (m)
Oued Ghrib Cheliff	Ghrib Amont	011407	1813	500	705	1752	350,00	1402
Oued Cheliff Harbil	Tamzguida	011501	1267	490	842	1138	600	538
Oued Deurdeur	Marabout Blanc	011601	1813	268	1040	1100	500	600
Oued Cheliff Harraza	Arib Cheliff	011702	1813	23	1035	1521	403	1118
Oued Cheliff Harraza	El Ababsa	011715	765	313	476	625	380	245
Oued Ebda	Arib Ebda	011801	1417	275	736	1115	313	802
Oued Rouina/Zeddine	B.O Tahar	011905	1786	205	478	1632	482	1150
Oued Cheliff Tighzal	El Abadia 1	012001	1813	153	983	1485	365	1120
Oued Ras Ouahrane	Ouled Fares	012201	960	155	363	920	210	710
Oued Ras Ouahrane	Ponteba Défluent	012203	1983	132	1059	1805	560	1245
Oued Sly	Ouled Ben A.E.K	012311	1661	160	717	1520	180	1340
Oued Cheliff Tarhia	Djidiouia Cheliff	012806	1983	51	1015	1795	213	1582
Oued Mina Amont	Sidi Ali Ben Amar	012909	1250	475	719	1118	640	478
Oued Taht	Kef Mahboula	013001	1250	475	852	1213	710	775
Oued Abd Aval	Takhmart	013301	1300	600	1004	1249	897	700
Oued Abd Aval	Ain Amara	013302	1339	288	711	1225	448	1051
Oued Mina Hadda	Sidi AEK Djillali	013401	1160	225	588	1018	381	935
Oued Mina Hadda	Oued El Abtal	013402	1339	205	810	1243	492	1134
Oued Cheliff Maritime	Sidi Bel Attar	013602	1983	20	993	1705	70	1635

Source ANRH

1.3.2.2.2 Indices de pentes

Les indices de pentes sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 1.5 : Indices de pentes des sous bassins de Cheliff.

Sous bassin	Station	Code	Ip %	Ig m/Km	Relief selon Ig	Ds (m)	Relief selon Ds
Oued Ghrib Cheliff	Ghrib Amont	011407	20	5.14	Très fort	475	Fort
Oued Cheliff Harbil	Tamzguida	011501	21	37.89	Très fort	256	Fort
Oued Deurdeur	Marabout Blanc	011601	21	8.9	Très fort	381	Fort
Oued Cheliff Harraza	Arib Cheliff	011702	18	2.44	Très fort	229	Fort
Oued Cheliff Harraza	El Ababsa	011715	19	22.69	Très fort	561	Très fort
Oued Ebda	Arib Ebda	011801	20	34.13	Très fort	604	Très fort
Oued Rouina/Zeddine	B.O Tahar	011905	17	28.97	Très fort	380	Fort
Oued Cheliff Tighzal	El Abadia 1	012001	10	2.34	Très fort	583	Très fort
Oued Ras Ouahrane	Ouled Fares	012201	15	36.04	Très fort	404	Fort
Oued Ras Ouahrane	Ponteba Défluent	012203	10	2.42	Très fort	1031	Très fort
Oued Sly	Ouled Ben A.E.K	012311	19	29.45	Très fort	489	Fort
Oued Cheliff Tarhia	Djidiouia Cheliff	012806	13	2.63	Très fort	401	Fort
Oued Mina Amont	Sidi Ali Ben Amar	012909	12	11.57	Très fort	757	Très fort
Oued Taht	Kef Mahboula	013001	39.71	19.1	Très fort	498	Fort
Oued Abd Aval	Takhmart	013301	26.4	8.6	Très fort	355	Fort
Oued Abd Aval	Ain Amara	013302	30.2	15.5	Très fort	772	Très fort
Oued Mina Hadda	Sidi AEK Djillali	013401	46.1	25.03	Très fort	542	Très fort
Oued Mina Hadda	Oued El Abtal	013402	25.6	10.04	Très fort	688	Très fort
Oued Cheliff Maritime	Sidi Bel Attar	013602	12	2.64	Très fort	552	Très fort

Source ANRH

Les paramètres du réseau hydrographique sont présentés sur le tableau suivant.

Tableau 1.6 : Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de Cheliff.

Sous bassin	Station	Code	$\sum L_i$ (Km)	Dd (Km / Km ²)	L_t (Km)	C_t	t_c (h)
Oued Ghrib Cheliff	Ghrib Amont	011407	13301	0.61	297.5		
Oued Cheliff Harbil	Tamzguida	011501	502	3.2	26	32	5.94
Oued Deurdeur	Marabout Blanc	011601	468	0.56	62	17.8	9.37
Oued Cheliff Harraza	Arib Cheliff	011702	15513	0.63	476		
Oued Cheliff Harraza	El Ababsa	011715	326	3.2	17	18.6	6.45
Oued Ebda	Arib Ebda	011801	875	3.2	37	128	7.06
Oued Rouina/Zeddine	B.O Tahar	011905	350	0.8	53	25.2	14.91
Oued Cheliff Tighzal	El Abadia 1	012001	17638	0.67	525		
Oued Ras Ouahrane	Ouled Fares	012201	969	3.7	41	42	10.94
Oued Ras Ouahrane	Ponteba Défluent	012203	19106	0.7	549	43.3	61.23
Oued Sly	Ouled Ben A.E.K	012311	1470	1.2	79	63.2	5.94
Oued Cheliff Tarhia	Djidiouia Cheliff	012806	23554	0.68	634		
Oued Mina Amont	Sidi Ali Ben Amar	012909	732	0.61	57		
Oued Taht	Kef Mahboula	013001	2768	4.07	53	24.4	11.83
Oued Abd Aval	Takhmart	013301	5979	3.84	40	7.48	9.21
Oued Abd Aval	Ain Amara	013302	9187	3.7	118	8.4	22.86
Oued Mina Hadda	Sidi AEK Djillali	013401	1150	2.44	47	5.4	10.31
Oued Mina Hadda	Oued El Abtal	013402	18256	4.42	90	15.01	19.91
Oued Cheliff Maritime	Sidi Bel Attar	013602	28938	0.67	759		

Source ANRH

L'examen du tableau 1.6, montre que le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la surface mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie, la pluviométrie et le relief. En effet, deux bassins ayant la même superficie ne se comportent pas forcément de la même façon. Tels est le cas par exemple pour les bassins des oueds B.O Tahar et Marabout Blanc qui possèdent presque la même superficie mais des temps de concentrations différents, respectivement égaux à 14 h 55 mn et 9 h 22 mn.

1.3.4 Climat

Le climat du Cheliff 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 [8]. 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 [1]. 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.

1.3.5 Géologie

Les plaines de Cheliff 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.

1.3.6 Lithologie

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.

1.3.7 Pédologie

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

Les sols alluviaux peu évolués du bassin de Cheliff 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 Cheliff 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 Cheliff 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.

1.3.8 Végétation

Les sols du Bas-Chélif 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 [9], 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.

1.4 Caractéristiques du bassin versant des Côtiers algérois Ouest

1.4.1 Situation Géographique

Situé au Nord centre d'Algérie (figure 1.9), il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le bassin de l'Isser, au sud par le bassin de Cheliff qui le borde à l'Ouest aussi. La limite sud est constituée principalement par la chaîne montagneuse de l'Atlas Tellien. La partie ouest du bassin appartient au bassin hydrographique Cheliff-Zahrez, tandis que la partie Est à l'Algérois-Soummam-Hodna.

Le bassin des Côtiers Algérois est contenu entre les latitudes $36^{\circ}1'$ et $36^{\circ}58'$ Nord et entre les longitudes $5^{\circ}6'$ et $0^{\circ}7'$ Ouest. Il couvre une superficie de 11972 km², et il est divisé par l'ANRH en vingt sous bassins hydrologique.

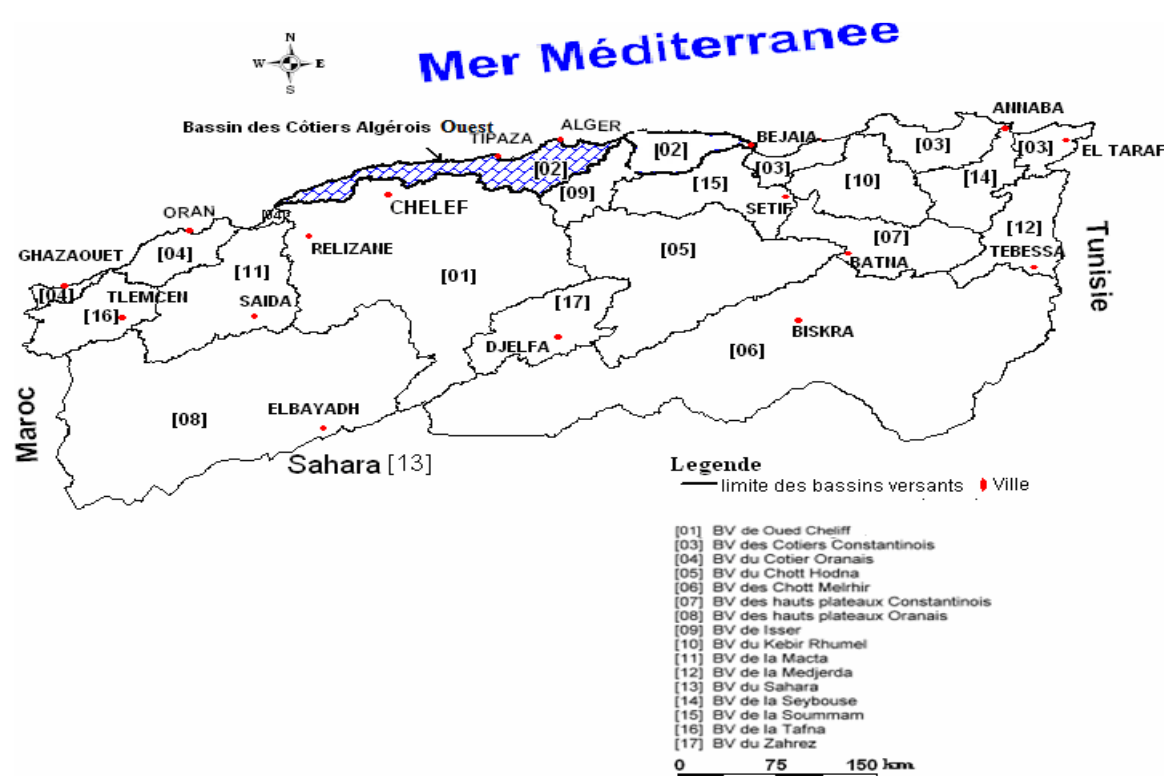


Figure 1.9. Situation géographique du Côtiers Algérois Ouest.

1.4.2 Caractéristiques morphométriques

1.4.2.1 Caractéristiques de forme

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques de forme et du relief des différents sous bassins drainés par les cours d'eau passant par les

stations hydrométriques implantées dans différents endroits du Côtier Algérois ouest.

Tableau 1.7 : Caractéristiques de forme des sous bassins du Côtiers Algérois ouest.

Sous bassin	Station	Code	S (km ²)	P _b (km)	K _c	Rectangle Équivalent	
						L _r (km)	l (km)
Côtier Ténès	Sidi Akacha	020207	295	78	1.27	28.7	10.28
Côtiers Cherchell	Borj Ghobrini	020301	215	65	1.24	21.5	10
Côtiers Cherchell	Pont RN11	020323	55	18	0.68	10.39	5.29
Côtier Cap Matifou	Ouled Ali	020627	37	24	1.1	7	5.29
Oued Djer-Bouroumi	Tarzoute	021002	215	60	1.15	18.2	11.81
Oued Djer-Bouroumi	Boumedfaa	021006	336	76	1.16	24	14
Oued Djer-Bouroumi	El Affroun	021007	395	90	1.27	33	11.97
Oued Djer-Bouroumi	Attatba	021011	680	125	1.35	48.5	14.02
Oued Chiffa	Amont des Gorges	021126	316	73	1.15	23.6	13.39
Oued Mazafran	Fer à Cheval	021201	1900	185	1.19	61.7	30.89
Oued El Hrarrach Amont	Rocher des Pigeons	021301	387	75	1.06	19.7	19.64
Oued El Hrarrach Maritime	Gorges de larbaa	021402	130	47	1.15	14.6	2.05
Oued El Hrarrach Maritime	Baraki	021418	970	143	1.28	53.3	18.2

Source ANRH

De l'indice de compacité, on déduit que la plupart des sous bassins sont plus ou moins allongés.

1.4.2.2 Caractéristiques du relief

Les tableaux suivants résument les principales caractéristiques du relief des différents sous bassins drainés par les cours d'eau passant par les stations hydrométriques implantées dans différents endroits du Côtier Algérois ouest.

1.4.2.2.1 Hypsométrie

Tableau 1.8 : Altitudes caractéristiques des sous bassins de l'Algérois Ouest.

Sous bassin	Station	Code	H _{max}	H _{min}	H _{moy}
Côtier Ténès	Sidi Akacha	020207	996	80	317
Côtiers Cherchell	Borj Ghobrini	020301	1417	14	387
Côtiers Cherchell	Pont RN11	020323	736	25	254
Côtier Cap Matifou	Ouled Ali	020627	832	67	323
Oued Djer-Bouroumi	Tarzoute	021002	1386	120	508
Oued Djer-Bouroumi	Boumedfaa	021006	1530	200	543
Oued Djer-Bouroumi	El Affroun	021007	1530	100	513
Oued Djer-Bouroumi	Attatba	021011	1530	40	469
Oued Chiffa	Amont des Gorges	021126	1629	290	833
Oued Mazafran	Fer à Cheval	021201	1629	10	446
Oued El Hrarrach Amont	Rocher des Pigeons	021301	1629	146	830
Oued El Hrarrach Maritime	Gorges de Larbaa	021402	1288	350	701
Oued El Hrarrach Maritime	Baraki	021418	1629	20	525

Source ANRH

1.4.2.2 Indices de pentes

Tableau 1.9 : Indices de pentes des sous bassins de l'Algérois Ouest.

Sous bassin	Station	Code	Ip	Ig (%)	Relief selon Ig	Ds	Relief selon Ds
Côtier Ténès	Sidi Akacha	020207	0.16	3.19	Assez fort	94	modéré
Côtiers Cherchell	Borj Ghobrini	020301	0.22	6.65	Fort	73	modéré
Côtiers Cherchell	Pont RN11	020323	0.22	6.84	Fort	148	Assez fort
Côtier Cap Matifou	Ouled Ali	020627	0.29	10.92	Assez fort	116	Assez fort
Oued Djer-Bouroumi	Tarzoute	021002	0.21	6.96	Fort	101	Assez fort
Oued Djer-Bouroumi	Boumedfaa	021006	0.19	5.54	Assez fort	80	modéré
Oued Djer-Bouroumi	El Affroun	021007	0.18	4.33	Assez fort	86	modéré
Oued Djer-Bouroumi	Attatba	021011	0.14	3.07	Fort	102	Assez fort
Oued Chiffa	Amont des Gorges	021126	0.2	5.67	Fort	102	Assez fort
Oued Mazafran	Fer à Cheval	021201	0.26	2.65	Fort	66	modéré
Oued El Hrarrach Amont	Rocher des Pigeons	021301	0.24	7.53	Fort	51	modéré
Oued El Hrarrach Maritime	Gorges de Larbaa	021402	0.24	6.42	Fort	98	modéré
Oued El Hrarrach Maritime	Baraki	021418	0.15	3.02	Assez fort	55	modéré

Source ANRH

On voit clairement sur le tableau précédent que le relief est assez fort à fort pour l'indice Ig et modéré à assez fort pour Ds, malgré que la plupart des cours d'eau prennent leurs sources à des altitudes assez importantes mais ils atteignent rapidement pour la plupart des larges bandes de plaines tel que la Mitidja, avant de rejoindre la mer.

1.4.3 Hydrographie

Le réseau hydrographique du bassin du Côtiers Algérois Ouest est assez développé. Les principales caractéristiques du réseau hydrographique sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 1.10 : Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de l'Algérois.

Sous bassin	Station	Code	Dd (km/km ²)	C _t	L _t (km)	t _c (h)
Côtier Tenes	Sidi Akacha	020207	4.7	44.9	35	9.84
Côtiers Cherchell	Borj Ghobrini	020301	3.1	27.3	34	7.00
Côtiers Cherchell	Pont RN11	020323	3.6	32.76	16	4.68
Côtier Cap Matifou	Ouled Ali	020627	2.8	15.4	14	3.54
Oued Djer-Bouroumi	Tarzoute	021002	3.4	22.8	42	8.00
Oued Djer-Bouroumi	Boumedfaa	021006	2.5	16.5	30	8.00
Oued Djer-Bouroumi	El Affroun	021007	2.5	16.0	50	9.50
Oued Djer-Bouroumi	Attatba	021011	2.6	15.6	65	13.00
Oued Chiffa	Amont des Gorges	021126	3.3	17.1	37	7.00
Oued Mazafran	Fer à Cheval	021201	2.8	21.0	96	19.00
Oued El Hrarrach Amont	Rocher des Pigeons	021301	5.2	69.2	35	6.00
Oued El Hrarrach Maritime	Gorges de Larbaa	021402	5.0	73.0	15	4.54
Oued El Hrarrach Maritime	Baraki	021418	3.0	21.96	59	12.00

Source ANRH

A l'Est on trouve Oued Boudouaou, plus à l'Ouest Oued Djemaa qui prend sa source sur les hauteurs de Larbaa à Tablat, ce dernier est un effluent de Oued El Harrach qui commence son parcours à plus de 1200 m d'altitude sur les hauteurs du Rocher des Pigeons.

Dans la Mitidja on trouve Oued Mazafran qui prend naissance aux environs d'Attatba après rencontre d'Oued Djer et Bouroumi, pour être rejoint plus loin par Oued Chiffa au Sud Ouest de Koléa pour se jeter en mer à Douaouda. Le tracé d'Oued Djer commence sur les hauteurs de Djebel Ganntas à environ 1500 m d'altitude, quand à Bouroumi il commence sur les monts de l'Atlas Tellien à Djebel Ganntas au Sud de Djebel Mouzaïa à près de 1400 m d'altitude. Pour Chiffa c'est au Nord de Ouzera qu'il apparaît à près de 1500 m d'altitude.

A l'Ouest les principaux oueds sont Nador, Bourkika, El Hachem qui naît au pied de Djebel Bou Maad, Damous à Djebel Sidi Bernous, et Oued Allalah qui rejoint la mer à Ténés (figure 1.10).

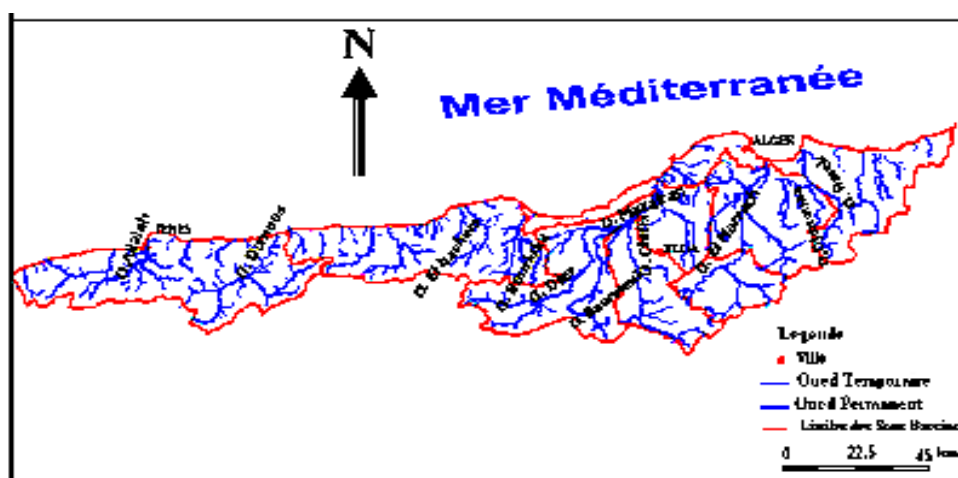


Figure 1.10 : Réseau hydrographique du Côtiers Algérois Ouest.

1.4.4 Climat

Le climat de la région est un climat type méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été avec une pluviométrie moyenne avoisinant les 900 mm par an, sauf que l'Est est beaucoup plus pluvieux que l'Ouest qui s'approche d'un climat semi-aride. Donc le bassin des Côtiers Algérois a un potentiel pluviométrique assez important.

Pour la température, le bassin est caractérisé par un climat assez doux, où les minima sont de l'ordre de 12°C à Alger, 10°C à Blida ou 8°C dans les hauteurs comme Miliana ou Tablat. Les températures maximales dépassent rarement les 30°C en moyenne en été.

1.4.5 Géologie

A l'Est, du côté de la Mitidja, on constate une sédimentation active dans les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas Blidéen, dans cette zone à la fin du pliocène et au quaternaire ; deux réservoirs aquifères se sont individualisés, l'Astien formé de calcaire et de grès et le quaternaire formé de galets et de graviers.

A l'Ouest du côté de Nador, le phénomène d'affaissement synclinal du bassin pendant le Miocène a été accompagné par l'apparition de roches volcaniques à la périphérie du bassin, notamment à la bordure sud. Le Pliocène marque la fin d'une période de sédimentation et le début du léger plissement de l'anticlinal du sahel lequel isole complètement la Mitidja.

1.4.6 Lithologie

Le sous bassin du Côtier Ténès jaugé par la station Sidi Okacha, est très érodé constitué à 73 % d'Argiles helvétiques, de marnes de catenien et de marnes schisteuses du crétacé supérieur. Les formations résistantes n'occupent que 17 % de la superficie du bassin.

Les hauteurs de l'Oued Bouroumi à Tarzoute présente une formation érodée, constituée à 71 % de marnes et d'argiles du miocène supérieur et du crétacé supérieur. Les formations résistantes (grès et poudingues du miocène) occupent 10 % de la superficie.

Oued EL Harrach à l'amont de Hammam Melouane présente des formations résistantes de grès, poudingues du miocène, calcaire marneux du crétacé moyen et des schistes du crétacé inférieur, ces formations constituent 54 % du bassin. Les formations érodables constituent 18 % de la

superficie, elles se composent de marnes schistoïdes, et d'argiles noires du miocène et du crétacé supérieur.

1.4.7 Pédologie

On retrouve sur les zones côtières des lithosols sur des calcaires durs et grès calcaires durs aux environs de Tipaza à Bouharoune et des lithosols sur des gneiss dans la zone de Sidi Fredj. Sur le littoral entre Douaouda et Aïn Benian on retrouve des sols dunaires issus essentiellement d'apports éoliens.

Les sols peu évolués d'apport alluvial sont très fréquents au voisinage des lits des oueds tels que le Mazafran ou le Nador. Les sols les plus répondus sont des sols rouges méditerranéen, et les sols bruns calcaires et les bruns méditerranéens.

1.4.8 Végétation

Le couvert végétal se compose de maquis dense de feuille de résineux et de cultures (figure 1.5). On voit que la zone la plus cultivée est la Mitidja d'une superficie de 140000 hectares, où les principales cultures sont les cultures maraîchères, les agrumes et les vignes.

A l'Ouest de Tipaza, le couvert est moins dense à dégradé spécialement à cause de la diminution des précipitations par rapport à l'Est, et les cultures sont principalement maraîchères concentré sur la fine bande de plaine au voisinage de la côte.

1.5 Caractéristiques du bassin versant d'Isser

1.5.1 Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Isser est situé dans le Nord algérien (figure 1.11). Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Nord Est et Nord Ouest par les Côtiers Algérois, à l'Est par le Soummam et au Sud par les bassins du Chott Hodna et le Cheliff. Il appartient au bassin hydrographique de l'Algérois-Soummam-Hodna.

Le bassin versant de l'oued Isser au droit du barrage de Beni Amarane draine une superficie de 4126 km², son cours d'eau principale mesure 170 Km de longueur. Il est divisé par l'ANRH en cinq sous bassins.

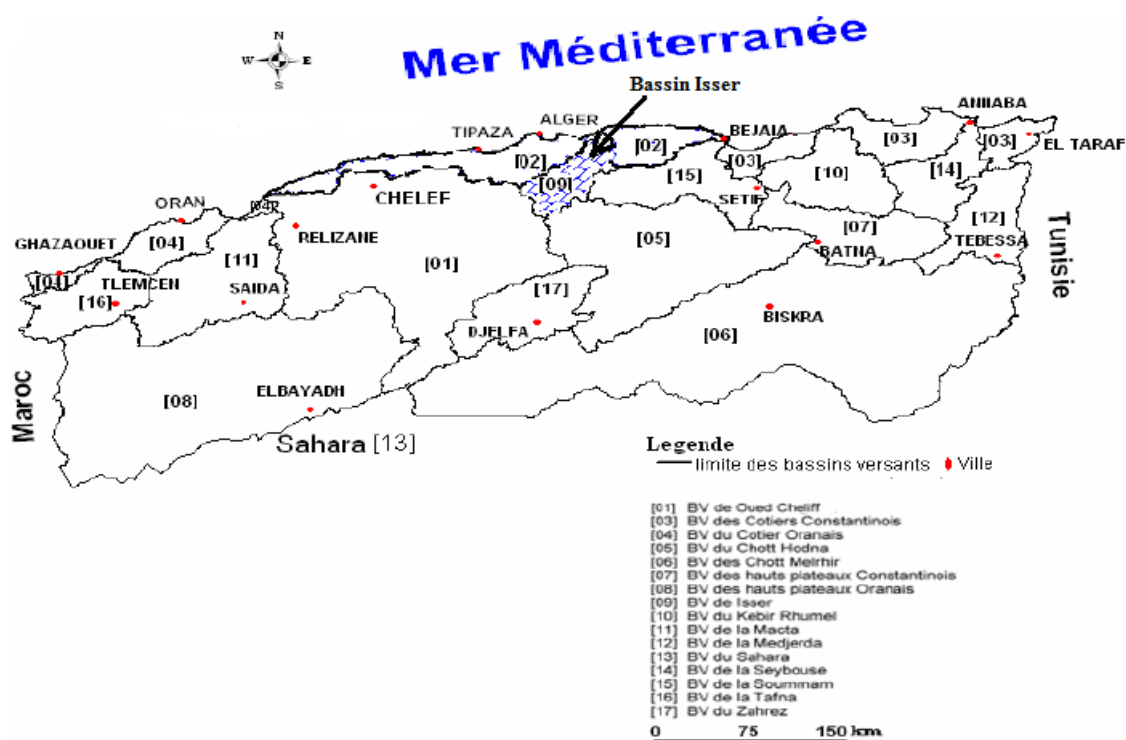


Figure 1.11 : Situation du B.V. d'Isser selon le découpage de l'ANRH.

1.5.2 Caractéristiques morphométriques

1.5.2.1 Caractéristiques de forme

Le tableau suivant présente les différentes caractéristiques de forme du bassin Isser.

Tableau 1.11 : Caractéristiques de forme des sous bassin de l'Isser.

Sous bassin	Station	Code	S Km ²	P _b Km	K _c	R _f	K _f	Rectangle équivalent	
								L _r (Km)	l (Km)
O. Melah Kerza	Mezahim	090101	665	136	1.19	0.33	0.4	37	17.97
O. Melah Yagour	El Omara	090205	39	28					
O. Zeroua	Beni Slimane	090305	273	71	1.20	0.4	0.43	24.2	11.28
	Dechmya	090309	73	41	1.10	0.55	0.66	9.55	7.644
O. Isser Moyen	La Traille	090408	2570	210	1.16	0.22	0.36	66.1	38.88
	Gare Omar	090416	400	121					
	Kadder	090420	1390						
O. Isser Maritime	Lakhdaria	090501	3615	270	1.26	0.09	0.18	98.2	36.81

Source ANRH

On voit clairement que la plupart des sous bassins ont une forme plus ou moins ramassée.

1.5.2.2 Caractéristiques du relief

1.5.2.2.1 Hypsométrie

Les différentes altitudes caractéristiques des sous bassins de l'Isser sont présentées sur le tableau suivant.

Tableau 1.12 : Altitudes caractéristiques des sous bassins de l'Isser.

Sous bassin	Station	Code	H _{max} (m)	H _{min} (m)	H _{moy} (m)	D (m)
O. Melah Kerza	Mezahim	090101	1231	679	956	872
O. Melah Yagour	El Omania	090205	1067	760	936	
O. Zeroua	Beni Slimane	090305	1371	600	940	771
	Dechmya	090309	1810	810	940	1000
O. Isser Moyen	La Traille	090408	1810	349	843	1461
	Gare Omar	090416	954	301	620	
	Kadder	090420				
O. Isser Maritime	Lakhdaria	090501	1810	90	710	1720

Source ANRH

1.5.2.2.2 Indices de pentes

Le tableau suivant présente les différents indices de pente calculés pour le bassin de l'Isser.

Tableau 1.13 : Indices de pentes des sous bassins de l'Isser.

Sous bassin	Station	Code	Ds m	Relief selon Ds	Ig %	Relief selon Ig	Ip %	Im %
O. Melah Kerza	Mezahim	090101	499.71	Très fort	19.38	Fort	15	54
O. Melah Yagour	El Omania	090205						
O. Zeroua	Beni Slimane	090305	489.96	Fort	29.65	Fort	13	53
	Dechmya	090309	742.96	Très fort	86.96	Très fort	22	60
O. Isser Moyen	La Traille	090408	679.5	Très fort	13.4	Fort	12	51
	Gare Omar	090416						
	Kadder	090420						
O. Isser Maritime	Lakhdaria	090501	517.07	Très fort	8.6	Fort	11	48.5

Source ANRH

On remarque que selon les deux paramètres ; Ig et Ds le relief des différents sous bassin de l'Isser se range dans les classes ; fort à très fort.

1.5.3 Hydrographie

Pour le haut Isser, on y trouve deux principaux cours, l'Oued Mellah et l'Oued Isser. L'Oued Isser est formé par la réunion de l'Oued El hammam issu de calcaires marneuses de crétacé inférieur de berrouaghia et de l'Oued Mellah qui draine un tiers de la superficie de ce bassin (figure 1.12).

Le moyen Isser, il est drainé par les Oueds: Djemaa à l'Est, Bouhamoud à l'Ouest et Isser au milieu.

Tandis que le bas Isser, est traversé par l'oued Isser et quelques affluents à l'Est et à l'Ouest de celui-ci.

Tableau 1.14 : Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de l'Isser.

Sous bassin	Station	Code	D_d Km/Km ²	C_t	L_t Km	R_l	R_c
O. Melah Kerza	Mezahim	090101	3.03	19.39	59	0.65	0.69
O. Melah Yagour	El Omaria	090205			10		
O. Zeroua	Beni Slimane	090305	2.4	17.5	26	0.72	0.68
	Dechmya	090309	2.4	17.5	11	0.84	0.55
O. Isser Moyen	La Traille	090408	3.2	23.98	109	0.52	0.73
	Gare Omar	090416			36		
	Kadder	090420					
O. Isser Maritime	Lakhdaria	090501	3.6	29.5	200	0.34	0.62

Source ANRH

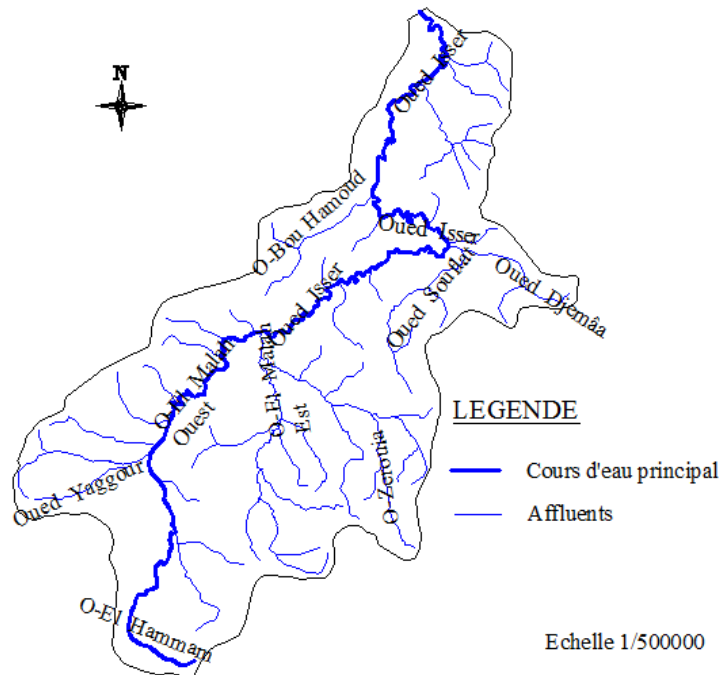


Figure 1.12 : Réseau hydrographique de l'Isser.

1.5.4 Climat

D'après SOGETHA-SOGREAH [10], la région de l'oued Isser est soumise au climat de l'atlas tellien, présentant des degrés de continentalité qui croit très rapidement en s'éloignant de la mer.

Le bassin est soumis à un climat méditerranéen intermédiaire. Entre le climat Tellien de montagne pluvieux et à l'amplitude thermique faible, avec des chutes de neige et le climat Tellien de plaine plus sec relativement chaud et présentant de forts écarts de température. Le bassin versant de l'oued Isser est caractérisé par une température relativement humide d'octobre au mois d'Avril et sèche de Mai à Septembre. La température moyenne annuelle à Beni Slimane altitude (600 m) est de l'ordre de 14 °c.

1.5.5 Géologie

La région étude fait partie de l'ensemble géologique de l'atlas tellien, une zone plissée de l'alpine de l'Afrique du nord l'étude géologique du bassin versant de l'oued Isser a mis en évidence une structure tectonique complexe constituée par un empilement de nappes imbriquées et déterminant chacune un domaine structurale propre a lithologie variée.

L'analyse minéralogique par diffraction aux rayons X montrent que les types d'argiles sont constitués principalement de kaolinite, d'illite, de chlorite, de vermiculite et de smectite, dans des proportions relatives différentes qui favorisent l'érosion ravinante.

1.5.6 Lithologie

Le haut Isser est constitué à 60% de formation marneuse et marno-calcaire appartenant au crétacé inférieur, moyen et supérieur. Les argiles et sable rouge de l'aquitaniens continental occupent 13 % du bassin. On y trouve également des alluvions en terrasses du quaternaire continental. Ces formations occupent 12% de la surface du bassin. Des pointements triasiques dans le crétacé supérieur ont provoqué la salure des eaux de l'oued Mellah.

Les schistes argileux, les marnes grises et schisteuses avec des couches de grés occupent 70 % du moyen Isser. Ces formations appartiennent au crétacé inférieur, moyen et supérieur. On rencontre l'oligocène marin dont les formations sont présentées par des conglomérats, grés et marnes constituent 13.41% de la superficie totale de bassin. Le miocène inférieur est représenté par des grés et

marnes ; ces formations constituent 4 % du bassin. Les alluvions du quaternaire continentales occupent 6.90% de la superficie totale [11].

Le bas Isser est constitué de 43.15% des formations marneuses des grés et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin. Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grés et des marnes constituant 14.91% du bas Isser. Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 19.84% de la superficie totale. Le créacé inférieur occupe 2.11 % du bassin. Les alluvions de quaternaire continentales occupent 18.6 % du bas Isser.

1.5.7 Pédologie

D'après une étude de l'ANRH [11], il est noté que dans les versants où la morphodynamique est instable, l'existence, des grés calcaires, des sols rouges fersiallitiques, des sols calcimagnésiques (sols bruns calcaires et bruns calciques) quand il y a une alternance de ces grés calcaires avec des marnes. Dans les dépressions, l'étude a montré la présence des vertisols et des sols calcaires à caractère vertique sur les marnes miocènes.

1.5.8 Végétation

Dans le haut Isser La caractéristique la plus apparente est l'absence d'une couverture végétale arbustive dense. Les collines marneuses de haut Isser sont couvertes des cultures céréalières, maraîchères et fourragères.

Les cultures annuelles occupent la quasi-totalité des terres agricoles de moyen Isser. Les plaines, tout en long d'oued Isser sont couvertes des cultures maraîchères et d'arboricultures fruitières. Les collines sont occupées par la céréaliculture et l'arboriculture. On note que le moyen Isser est menue d'un couvert végétal forestier dense, seuls subsistes les forêts au sud du bassin, mais souvent dégradées.

On rencontre le même problème de végétation arbustive dans le bas Isser. Les cultures annuelles dominant la majeure partie basse du bassin. Les collines

sont couvertes d'une grande partie de céréaliculture et fourragère. Quant aux montagnes et les piémonts, on y trouve de l'olivier et autres espèces forestières.

1.6 Caractéristique du bassin versant de la Seybouse

1.6.1 Situation géographique

Le bassin versant de la Seybouse se situe au Nord-est de l'Algérie et couvre 6471 Km². Il est limité au Nord par la mer méditerranéenne, à l'Est et l'Ouest par les Côtiers constantinois, au sud par le Kébir-Rhumel, les hauts plateaux Constantinois et de la Mdjerda. Il appartient au bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (figure 1.13).

La Seybouse, oued méditerranéen, naît dans les hautes plaines semi-arides, sur le revers méridional de l'Atlas Tellien, il coule du sud vers le nord. Le bassin versant de l'oued Seybouse est divisé selon l'ANRH en cinq sous bassins hydrographiques.

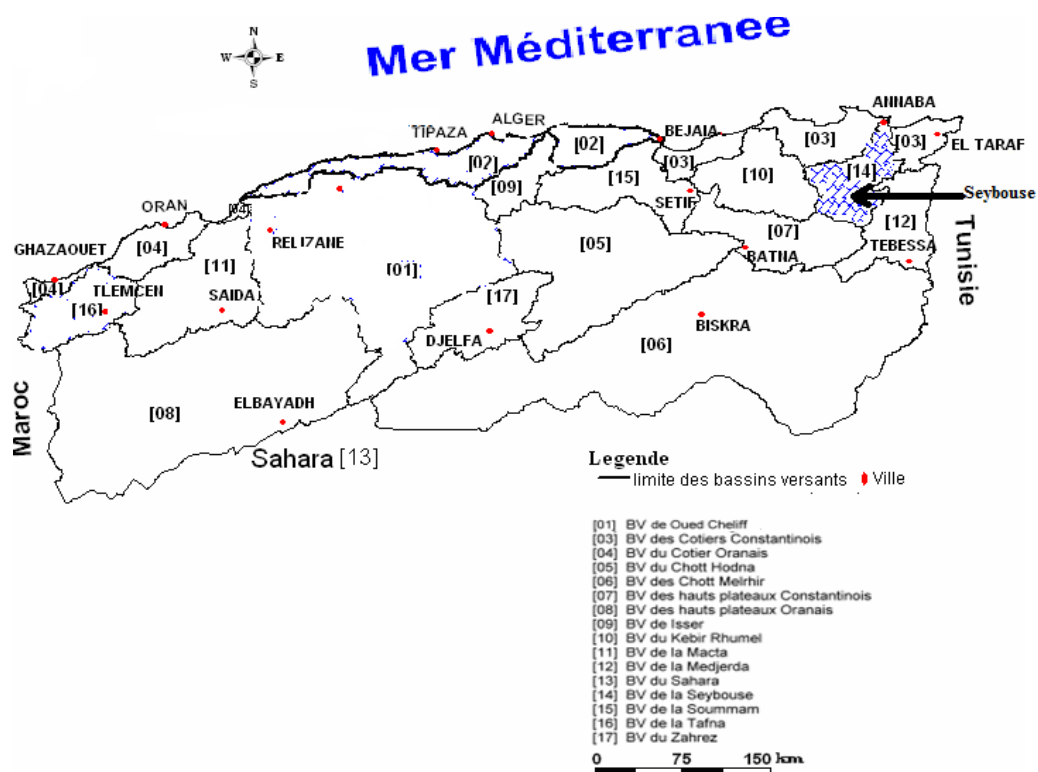


Figure 1.13 : Situation du BV de la Seybouse selon le découpage de l'ANRH.

1.6.2 Caractéristiques morphométriques

1.6.2.1 Caractéristiques de forme

Tous les résultats de calcul sont résumés dans le tableau 1.15.

Tableau 1.15 : Caractéristiques de forme des sous bassins de la Seybouse.

Sous bassin	Nom station	Code station	S (km ²)	P _b (km)	K _c	Rectangle équivalent	
						L _r (km)	l (km)
Le haut cheref	Moulin Rochfort	140202	1710	190	1.3	70.9	24.1
O. Bouhamdene	Medjez Amar II	140301	1105	140	1.2	46	24
O. Bouhamdene	Bordj Sabath	140302	304				
O. Mellah	Bouchegouf	140501	550	120	1.4	48.7	11.3
Basse Seybouse	Mirebek	140601	5955	330	1.2	111.7	53.3
Basse Seybouse	Ain Berda	140602	103	45	1.2	16.1	6.4

Source ANRH

On peut dire que les sous bassins de la Seybouse ont une forme plus ou moins allongée.

1.6.2.2 Caractéristiques du relief

Le bassin de la Seybouse se caractérise par l'hétérogénéité du relief et son cloisonnement (plaines, montagne, vallées, collines, versants...). Les caractéristiques du relief sont présentées dans les tableaux suivants.

1.6.2.2.1 Hypsométrie

Tableau 1.16 : Altitudes caractéristiques des sous bassins de la Seybouse.

Sous bassin	Nom station	Code station	H _{min} (m)	H _{max} (m)	H _{moy} (m)
O. Charef	Moulin Rochfort	140202	710	1635	885
O. Bouhamdene	Medjez Amar II	140301	270	1281	785
O. Bouhamdene	Bordj Sabath	140302		1281	856
O. Mellah	Bouchegouf	140501	95	1317	641
O. Seybouse maritime	Mirebek	140601	10	1635	684
O. Seybouse maritime	Ain Berda	140602	55	927	305

Source ANRH

1.6.2.2.2 Indices de pentes

Tableau 1.17 : Indices de pentes des sous bassins de la Seybouse.

Sous bassin	Nom station	Code station	Ip (%)	Im (%)
O. Charef	Moulin Rochfort	140202	8	21.3
O. Bouhamdene	Medjez Amar II	140301	13	11.2
O. Bouhamdene	Bordj Sabath	140302		14.9
O. Mellah	Bouchegouf	140501	15	23
O. Seybouse maritime	Mirebek	140601		6.9
O. Seybouse maritime	Ain Berda	140602	16	28.3

Source ANRH

1.6.3 Hydrographie

La Seybouse (figure 1.14) draine un ensemble de régions très hétérogènes. Aux hautes plaines, aux reliefs assez simple et aux écoulements lents et parfois même nuls, succède l'Atlas Tellien fortement accidenté se structure très complexe ou les réseaux hydrographique et tantôt adapté, tantôt inadapté à la structure les oueds sont à débits irréguliers. Le profil en long, permet l'évacuation rapide des eaux.

L'existence de dépression et de bassins renfermant des nappes alluviales traversées et reliées par la Seybouse permettant de régulariser l'écoulement saisonnier de cet oued, vu la part important des précipitations d'hivers reçues par cette chaîne montagneuse.

A la sortie de cette dernière, la Seybouse pénètre dans la plaine d'Annaba perdant sa torrencialité. Le réseau est en partie en baïonnettes qui sont dû au compartimentage des volumes montagneux influencés par la lithologie.

La Seybouse présente un chevelu hydrographique de plus de 3000 Km, dont quarante deux oueds ont une longueur supérieur à 10 Km .Il présente des ensembles naturels très hétérogènes, ce qui engendre des modes d'alimentation et de ruissellements différents.

Tableau 1.18 : Caractéristiques hydrographiques des sous bassins de la Seybouse.

Sous bassin	Nom station	Code station	D_d (Km/Km ²)	C_t	L_t (Km)
O. Charef	Moulin Rochfort	140202			43
O. Bouhamdene	Medjez Amar II	140301			90
O. Bouhamdene	Bordj Sabath	140302			51
O. Mellah	Bouchegouf	140501	4	25.2	53
O. Seybouse maritime	Mirebek	140601			239
O. Seybouse maritime	Ain Berda	140602	2.8	17.4	24

Source ANRH

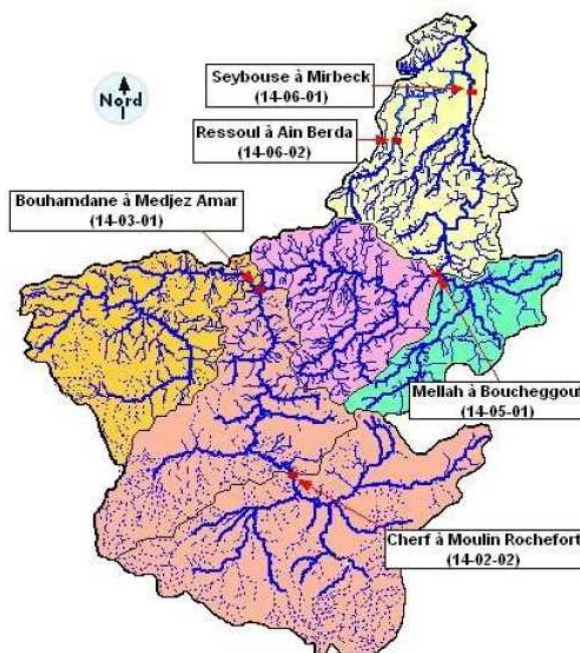


Figure 1.14 : Réseau hydrographique de la Seybouse.

1.6.4 Climat

La haute Seybouse est un secteur montagnard correspond un climat typiquement méditerranéen dégradé, avec des étés chauds et des hivers relativement doux ; l'amplitude annuelle caractérise le degré de continentalité du climat dans le secteur Sud du bassin de la Seybouse.

Pour La moyenne Seybouse, la saison chaude va de mai à octobre avec une température moyenne de 25°C, le maximum étant atteint au mois d'Aout, elle correspond à la saison sèche, avec une absence des précipitations. La saison humide correspond à la saison pluvieuse, elle s'étale d'octobre à avril, avec une température moyenne inférieur à 15 °C.

Le maximum des températures enregistré dans la basse Seybouse est d'environ 46 °C au mois de juillet et le minimum est d'environ 23 °C.

1.6.5 Géologie

Le bassin versant de la Seybouse s'étend sur quatre grandes unités géologiques orientées Sud-ouest, Nord-est :

- L'Atlas Saharien constitué de synclinaux occupés par un matériel miocène, pliocène et quaternaire.

- L'Atlas tellien constitué de marnes, de marno-calcaire et de calcaires du crétacé inférieur très tectonisé.
- La chaîne Numidique qui est une nappe de charriage d'argiles et de grès oligocènes.
- Le massif de l'Edougt qui forme un anticlinal dont l'axe orienté S-W, N-E. constitué des cristallophyllines.

1.6.6 Lithologie

La haute Seybouse est formée d'une suite d'anticlinaux et de synclinaux. Ces derniers sont remplis d'argiles, de sables et des formations de cailloutis. Les marno-calcaires du crétacé moyen alternent avec des marnes, formant un terrain très peu perméable. Dans l'ensemble, le terrain de la haute Seybouse présente une perméabilité variable. Cette zone reste pauvre en eau dans l'ensemble.

La moyenne Seybouse draine quatre sous bassins. Le bas Cherf occupe un synclinal comportant un remplissage mio-plio-quaternaire de matériel argileux, sableux et graveleux, le bassin de Bouhamdane où les couches lithologiques dominantes sont composées de grès numidiens, d'argiles et de marnes à perméabilité très faibles, le bassin de Guelma est constitué de terrains sédimentaires d'âge crétacé oligocène, mio-pliocène et quaternaire et le bassin du Melah au sud, constitué de calcaire yprésien et de marnes et marno-calcaires.

La basse Seybouse au Sud constituée d'argile rouge numidiennes sur lesquelles reposent des grès peu perméables. Au Sud-ouest, ce sont les marno-calcaires et les flyschs d'Ain Berda qui dominent. Au centre, la plaine d'Annaba correspond à un fossé d'effondrement rempli au dessus d'un substratum de flyschs numidien imperméable, par des sédiments pliocènes et quaternaires.

1.6.7 Pédologie

Une zone de grande perméabilité formée essentiellement de calcaires, formation quaternaires et alluvions, elle située dans la partie Sud du bassin de Guelma, une zone de moyenne perméabilité formée du sable, calcaire –marneux et argile calcique. Elle est située dans la plaine d'Annaba et enfin, une zone de faible perméabilité formée d'argile et se situe dans la moyenne Seybouse.

1.6.8 Végétation

Le cas du bassin de la Seybouse, est caractérisé par une dégradation et défrichement en montagnes très accentué ; cela est dû aux incendies, aux petites agricultures extensives et les surpâturages observés dans la région. La haute Seybouse c'est le bassin le plus dénudé en couverture végétale. Durant l'été, la végétation herbacée se réduit à presque rien. La moyenne Seybouse couverte de forêts telliennes, le type de peuplement forestier est constitué essentiellement de Chêne liège et de Chêne zen. La basse Seybouse situé dans la zone nord de la chaîne atlastique, elle est couverte de forêt tellienne de type Chêne liège et Chêne zen.

1.7 Caractéristiques du bassin versant de la Tafna

1.7.1 Situation géographique

Le bassin versant de la Tafna, situé au Nord -Ouest du territoire Algérien (figure 1.15), s'étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km². Il est limité au Nord par la mer méditerranéenne et le bassin des Côtiers Oranais, à l'Est par la Macta, au Sud par le bassin des hauts plateaux Oranais et à l'Ouest les frontières Marocaines (pour sa partie Algérienne). Le bassin versant de la Tafna appartient à l'ensemble de l'Oranie-Chott Cherguis. Le bassin versant est divisé en huit sous bassins hydrographiques selon l'ANRH.

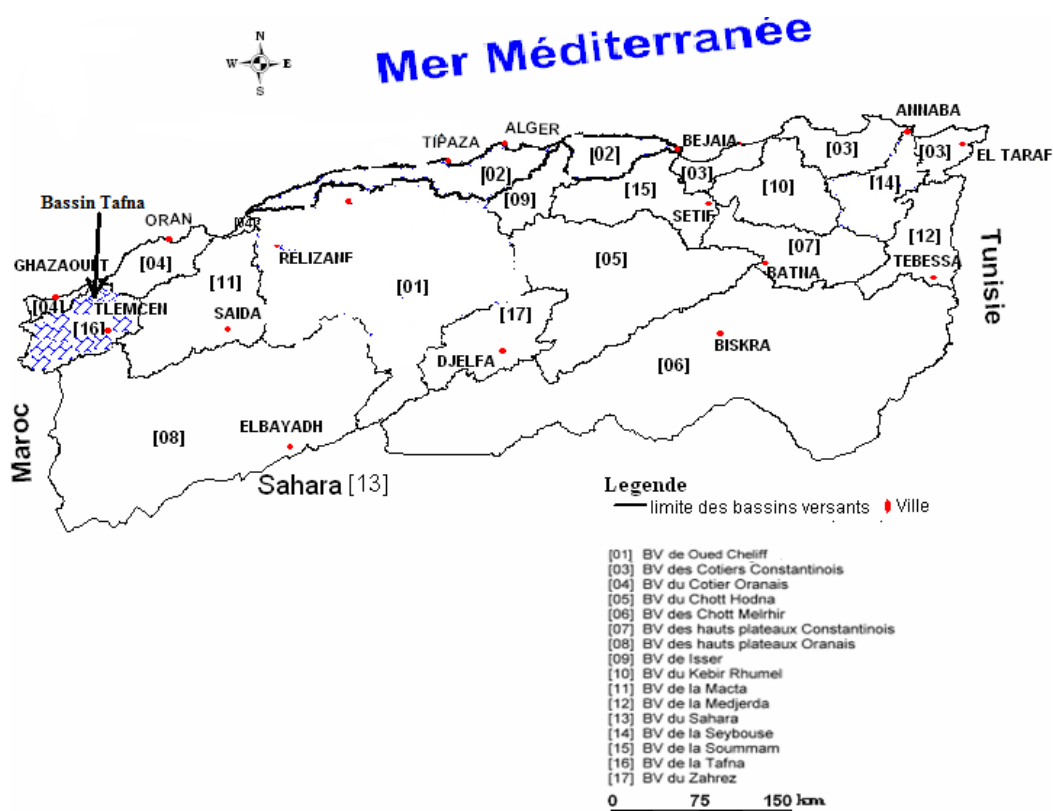


Figure 1.15 : Situation du BV de la Tafna selon le découpage de l'ANRH.

1.7.2 Caractéristiques morphométriques

1.7.2.1 Caractéristique de forme

Les différentes caractéristiques de forme des sous bassins de la Tafna sont calculées et portées sur le tableau suivant.

Tableau 1.19 : Caractéristiques de forme des sous bassins de la Tafna [12].

Sous Bassin	S (Km ²)	P _b (Km)	K _c	Rectangle équivalent	
				L _r (Km)	l (Km)
Oued Khemis	350	93	1.39	37.32	9.4
Oued Sebdou	255.5	78	1.37	30.70	8.32
Oued Mouilah	2650	230	1.25	82.96	31.94
Oued Zitoun	140	65	1.54	24	5.83
Oued Boumessoud	118	59	1.52	24.53	4.81
Oued En Nchef	86	46.7	1.41	9.04	9.51
Oued Sikkak	463	116	1.50	48.49	9.55
Oued Chouly	288.9	115	1.28	21.7	13.31
Oued Isser	1139.74	180	1.49	85.26	13.37
Oued Boukiou	117.3	58	1.50	23.91	4.9

Les valeurs de l'indice de compacité (tableau 1.19) montrent que les bassins des oueds Mouilah et Chouly sont les plus compacts ($K_c < 1.3$), alors que le bassin le plus allongé correspond à celui de l'oued Boumessoud ($K_c =$

1.52). Outre ces données extrêmes toutes les autres valeurs sont très rapprochées, les formes des bassins correspondants étant donc plus ou moins semblables.

1.7.2.2 Caractéristiques du relief

1.7.2.2.1 Hypsométrie

A partir des courbes hypsométriques et les histogrammes des fréquences altimétriques, on a tiré les altitudes caractéristiques des sous bassins de la Tafna (tableau 1.20).

Tableau 1.20 : Altitudes caractéristiques des sous bassins de la Tafna [12].

Bassins	Altitude la plus fréquente (m)	Altitude de fréquence 50% (m)	H _{max} (m)	H _{min} (m)	D (m)
Oued Khemis	1400-1250	1410	1700	650	709
Oued Sebdou	1100-1000	1060	1465	688	491
Oued Mouilah	600-400	687	1430	285	913
Oued Zitoun	500-400	485	1326	150	936
Oued Boumessaoud	800-700	630	1246	200	859
Oued En Nchef	-	-	-	-	145
Oued Sikkak	400-300	575	1500	200	1018
Oued Chouly	1400-1300	1075	1616	502	803
Oued Isser	800-600	785	1625	275	938
Oued Boukiou	300-200	362	1138	100	478

1.7.2.2.2 Indices de pentes

En vu de bien caractériser les pentes du bassin, Les valeurs de I_g, I_p et D_s sont calculées et portées sur le tableau suivant.

Tableau 1.21 : Indices de pentes et reliefs des sous bassins [12].

Sous bassin	I _p	I _g	Relief selon I _g	D _s	Relief selon D _s
Oued Khemis	2.89	0.019	Modère	355.5	Fort
Oued Sebdou	1.46	0.016	Modère	255.5	Fort
Oued Mouilah	1.16	0.011	Modère	566.6	Très fort
Oued Zitoun	2.09	0.039	Assez fort	461.4	Fort
O. Boumessaoud	1.96	0.035	Assez fort	380.2	Fort
Oued En Nchef	0.44	0.016	Modère	148.4	Assez fort
Oued Sikkak	1.52	0.021	Assez fort	451.9	Fort
Oued Chouly	0.19	0.037	Assez fort	628.8	Très fort
Oued Isser	0.10	0.011	Assez fort	371.3	Fort
Oued Boukiou	1.65	0.020	Assez fort	216.6	Assez fort

Les résultats du tableau 1.21, montrent d'après la classification de l'ORSTOM (tableau 1.1), que les fortes valeurs de I_g (0.02 < I_g < 0.05) concernent les bassins situés à l'amont de la basse Tafna, ce qui permet de les ranger dans la

classe de relief assez fort. Les valeurs les plus faibles (relief modéré) correspondent aux bassins de la haute Tafna.

Les valeurs de Ds (tableau. 1.2), traduisent bien l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief. En effet, les plus fortes valeurs concernent les bassins situés à l'amont de la Tafna, ce qui permet de les ranger dans les classes de relief fort à très fort. Ceci est lié, à la massivité des reliefs calcaires karstifiés que comporte ce secteur.

1.7.3 Hydrographie

L'oued Tafna (figure 1.16) est un cours d'eau de 170 Km de long, il prend sa source dans les Monts de Tlemcen. Les principaux affluents de la partie orientale sont ; l'oued Isser et l'oued Sikkak, la partie occidentale comprenant la Haute Tafna (oued Sebdou et oued Khemis) et l'oued Mouilah et finalement la partie septentrionale, les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette dernière. Le tableau suivant donne les paramètres importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau.

Tableau 1.22 : Paramètres hydrographiques des sous bassins de la Tafna [12].

Sous Bassin	Dd	RC	RI	Ct	tc
Oued Khemis	3.22	3.88	2.08	17.6	06 h 00
Oued Sebdou	2.88	3.43	2.38	15.2	07 h 00
Oued Mouilah	0.16	3.88	2.34	0.0032	20 h 30 mn
Oued Zitoun	2.42	3.50	3.16	5.5	05 h 30 mn
Oued Boumessaoud	2.39	3.55	2.83	6.9	04 h 30 mn
Oued En Nchef	2.51	3.37	1.82	-	-
Oued Sikkak	1.51	3.76	2.63	1.9	09 h 30 mn
Oued Chouly	0.61	3.76	2.81	2.7	05 h 15 mn
Oued Isser	1.08	3.70	2.05	2.1	14 h 30 mn
Oued Boukiou	2.97	4.25	2.53	26.9	06 h 00

Les valeurs élevées du coefficient de torrentialité (tableau 1.22) correspondent respectivement aux chevelus hydrographiques : Boukiou, Khemis et Sebdou issus d'un secteur montagneux et pluvieux. Par contre, les basses valeurs des autres bassins, sont liées soit à la faiblesse des précipitations, ou encore à la forte perméabilité des formations lithologiques.

L'examen du tableau 1.22, montre aussi que le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la surface mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie, la pluviométrie et le relief.

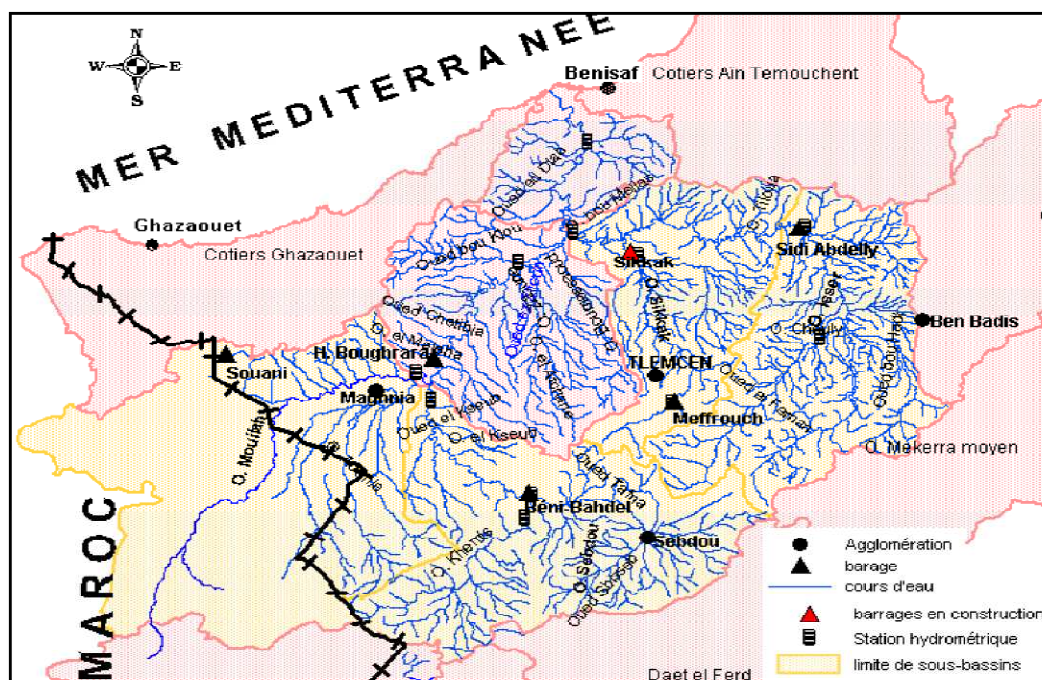


Figure 1.16 : Réseau hydrographique de la Tafna [12].

1.7.4 Climat

Le bassin de la Tafna présente diverses zones pluviométriques bien distinctes. Au Nord, apparaît une zone pluviométrique relativement homogène entre 400 et 450 mm qui correspond à la zone littorale (basse Tafna). Au centre, le cloisonnement du relief entraîne une mosaïque de climats locaux. Le dôme traduit des écarts marqués dans la pluviométrie, dépendamment de l'altitude, cet écart varie entre 450 et 550 m.

Contrairement aux précipitations, les saisons thermiques semblent bien tranchées. La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, mois pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide correspond à Novembre-Avril. Le maximum de température est atteint en juillet Août avec une moyenne de 25 °C, alors que le minimum d'environ 8 °C se situe en janvier.

1.7.5 Géologie

Le bassin de la Tafna comprend de grandes plaines, dont les deux principales sont celle de Maghnia à l'Ouest et celle des Ghossels à l'Est entourées de massifs élevés :

- Le massif des Traras comprenant la chaîne des Fillaoucène qui s'étendent vers l'Ouest par le massif des Béni-Snassen ;
- Les monts de Tlemcen dessinant la bordure sud du bassin et s'interposent entre deux domaines bien définis : Le domaine des nappes du Tell au Nord et le domaine stable des hautes plaines oranaises au Sud.

La terminaison occidentale des monts de Tlemcen qui s'élève graduellement du Nord vers le Sud est occupée par un massif montagneux représenté par les monts de Rhar-Roubane.

1.7.6 Lithologie

Les sous bassins sont formés essentiellement par des formations perméables à semi perméables qui occupent la presque totalité de la superficie du bassin, ce qui favorise l'infiltration des eaux de surface. Toutefois, l'abondance relative de formations carbonatés karstiques, représentées par les dolomies de Tlemcen et de Terny dans les bassins de Sebdou, Sikkak et Isser permet sans doute de différencier le comportement hydrologique de ces bassins à celui du Mouilah dont plus de la moitié de la superficie est occupée par des alluvions plio_quaternaires surmontant les marnes et grés miocènes au niveau de la plaine de Maghnia. L'oued Isser peut aussi avoir des comportements différents qui seraient dus à l'abondance relative des marnes et argiles qui occupent 40% de la surface du bassin. Les marnes et argiles étant plus facilement érodables et transportables en suspension.

1.7.7 Pédologie

En peut conclure que les sols du bassin de la Tafna sont composés de quatre grands ensembles :

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

1.7.8 Végétation

Le paysage végétal du bassin de la Tafna a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies et par une petite agriculture extensive et un surpâturage endémique. Ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion.

Dans la haute Tafna La végétation reste étroitement liée à la pluviométrie. En effet, dans le secteur Sud, les zones en cours de reboisement et les forêts claires ainsi que le couvert mort dominant ;

Dans la moyenne de Tafna La distribution du couvert végétal, montre que la moitié de la superficie du bassin est constitué de terrains nus, localisés au Sud .Ces terrains susceptibles d'être transpercés par l'effet de pluies violentes, correspondent à une zone plate à pente inférieure à 5%. L'autre partie du bassin se trouve suffisamment couverte pour résister aux menaces érosives ;

Dans la basse de Tafna La distribution du couvert végétal, indique qu'au niveau du bassin de l'Isser, la superficie occupée par un couvert insuffisant (couvert forestier dégradé ou mort) s'élève à 44837 ha soit 39.34% de la surface totale.

CHAPITRE 2

DONNÉES UTILISÉES

2.1 Introduction

Les données pluviométriques ou hydrométriques sont des variables hydrologiques, leurs mesures sont effectuées grâce à plusieurs stations implantées dans différents endroits bien étudiés. Ce chapitre aborde d'une part la présentation de ces données et d'autre part les traitements qu'elles subissent.

2.2 Présentation des données

2.2.1 Données pluviométriques

2.2.1.1 Les précipitations

Les précipitations regroupent toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide ou solide (bruine, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosées, gelée blanche, givre...) elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les appareils de mesure des précipitations les plus utilisés sont :

- Les pluviomètres ;
- Les pluviographes ;
- Les nivomètres ;
- Les radars.

2.2.1.2 Caractéristiques des stations pluviométriques

Les données pluviométriques utilisées dans ce travail sont celles des trois grands bassins : Isser, Seybouse et Tafna, ainsi que celles des stations limitrophes à ces derniers. Les données collectées sont :

- Pluies mensuelles des trois bassins étudiés, qui seront utilisées pour l'étude des eaux superficielles de ces bassins ;
- Pluies maximales journalières du bassin de l'Isser, qui seront utilisées dans la partie étude des crues pour la prédétermination des crues du bassin versant de l'Isser au droit de la station de Lakhdaria en utilisant la méthode de l'hydrogramme synthétique.

Nous avons collecté les données pluviométriques de quatre vingt neuf (89) stations implantées dans différents endroits de la zone d'étude. Celles-ci ont été fournies par les différentes antennes régionales de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Elles sont incluses entre l'année hydrologique (1910/1911) et l'année (2007/2008). En Algérie l'année hydrologique débute le 1er septembre et se termine le 31 août de l'année suivante.

Les tableaux 2.1, 2.2 et 2.3 donnent ; les codes, les coordonnées et l'intervalle de temps des données qui nous ont été fournies par les services hydrologiques de l'ANRH des stations retenues dans cette étude pour chacun des trois bassins, à savoir : Isser, Seybouse et Tafna respectivement. Le lecteur peut se référer aux appendices B et D pour se renseigner sur la totalité des stations existantes, celles collectées et leurs localisations pour les trois bassins en question.

Tableau 2.1 : Caractéristique des stations pluviométriques du bassin Isser

N°	Nom station	Code	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	Données fournies	Type
1	Chellalat El Adaoura	050102	565.00	293.80	990	69/03	PV
2	Souk El Djemââ	050103	576.9	304.15	830	67/05	PV+PG
3	Souaghi	090104	263.45	233.5	935	73/02	PV
4	El Omania	090201	530.2	329.2	790	59/03	PV+PG
5	Tablet Drs	090203	554.75	345.8	450	70/06	PV
6	El Omania Pep	090205	533.05	327.45	659	71/04	PV
7	Djouab	090301	566.95	315.55	825	69/06	PV
8	Béni Slimane	090302	557.2	322.65	600	67/98	PV
9	Pont De La Traille	090304	559.15	343	370	68/06	PV
10	Dechmya	090314	578.5	316.35	850	68/05	PV+PG
11	Khabouzia	090401	579.15	334.35	720	69/05	PV
12	Souk El Khamis	090402	584	343.4	782	68/04	PV
13	Djebahia	090403	594.8	353.45	390	69/05	PV
14	Ouled Touati	090413	576.65	347.5	831	67/98	PV
15	Lakhdaria Gorges	090502	579	369.5	50	67/01	PV
16	Ouled Bouhadadda	090503	574.55	372.3	425	68/98	PV
17	Tizi Chenif	090506	596.3	366.1	415	51/04	PV+PG
18	Bordj Menail Pepin	090510	591	390.25	27	71/98	PV
19	Chabet El Ameur	090512	588.85	371.4	260	51/01	PV+PG
20	Sour El Ghozlane	150101	590.60	316.45	882	70/98	Au

Source ANRH

Tableau 2.2 : Caractéristique des stations pluviométriques du bassin Seybouse

N°	Nom de station	Code	X (Km)	Y (Km)	Z(m)	Données fournies
1	Zardesas Bge	030903	875.3	374.6	200	1960-2006
2	Bouati Mahmoud	031105	914.15	375.6	150	1967-2005
3	Ain Beida	070707	924.15	288	1004	1960-2007
4	Ain Seymour	120103	/	/	/	1960-2007
5	Mdaouroch	120403	960.85	320.65	870	1960-2006
6	Ksar sbahi	140104	910.5	319	860	1970-1998
7	Fomel	140105	922.5	318.5	740	1971-2006
8	Ain Makhloof	140205	/	/	/	1970-2008
9	Bordj spath	140302	888.73	355.02	525	1970-2008
10	Héliopolis	140403	924.48	366.79	/	1974-2005
11	Guelma lycée	140412	923.815	361.24	/	1972-2006
12	Mechroha	140502	961.15	351.55	750	1960-2006
13	Bouchegouf	140505	948.72	362.49	95	1960-2006
14	Breda	140606	937.28	387.73	/	1960-2006
15	El karma	140609	943.69	394.66	/	1960-2007
16	Kef Mourad	140611	953.29	389.54	/	1960-2006
17	Pont bouchet	140631	949.97	402.82	/	1967-2006

Source ANRH

Tableau 2.3 : Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin Tafna

N°	Station	Code	X (Km)	Y (Km)	Données fournies
1	B-ouassine	160303	90,8	180,7	1974-1998
2	Sebdou	160401	131,2	158,5	1974-2005
3	Béni-bahdel	160403	115,0	164,6	1974-2005
4	Khemis	160406	/	/	1970-1998
5	S/Medjahed	160407	102,8	173,1	1974-2005
6	Merchiche	160410	/	/	1970-1998
7	Hbghrara	160501	/	/	1969-2008
8	Sabra	160502	115,1	178,7	1974-2005
9	Lalla Setti	160507	/	/	1970-2008
10	Zsbamar	160517	102,7	202,5	1974-2005
11	Dj. Chouachi	160518	/	/	1974-2008
12	Chouly	160601	151,8	181,2	1974-2005
13	Merbah	160602	/	/	1970-2008
14	Sbnakhla	160610	158,5	200,4	1974-2005
15	Mefrouch	160701	/	/	1970-2008
16	Bensakran	160702	143,4	205,3	1974-2005
17	Hennaya	160715	102,7	202,5	1973-2005
18	Pierre du chat	160802	122,4	213,2	1974-2005

Source ANRH

2.2.1.3 Localisations des stations pluviométriques

Les figures 2.1, 2.2 et 2.3 donnent la situation géographique des stations pluviométriques utilisées dans cette étude pour chaque bassin.

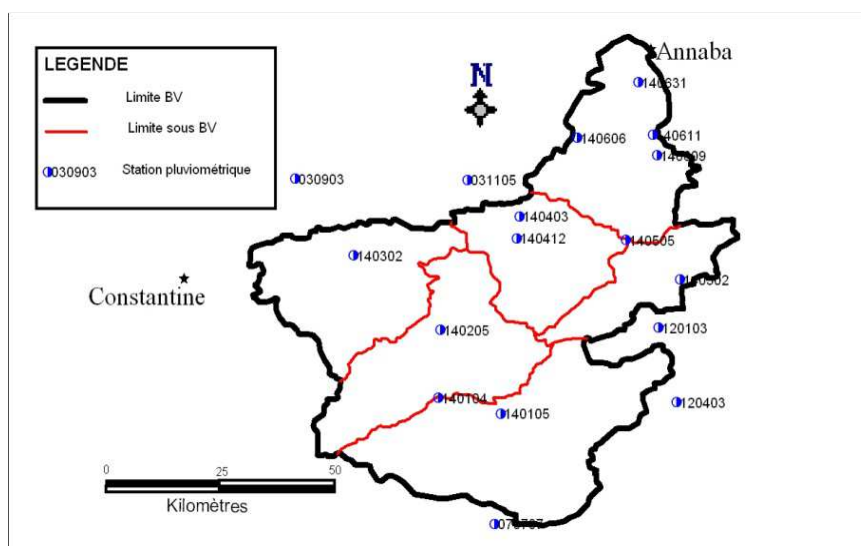


Figure 2.1 : Localisation des stations pluviométriques du bassin Seybouse

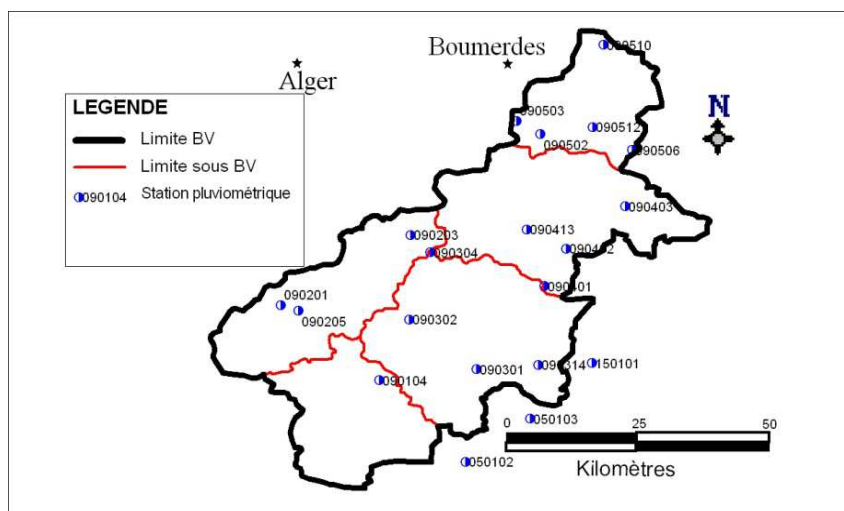


Figure 2.2 : Localisation des stations pluviométriques du bassin Isser

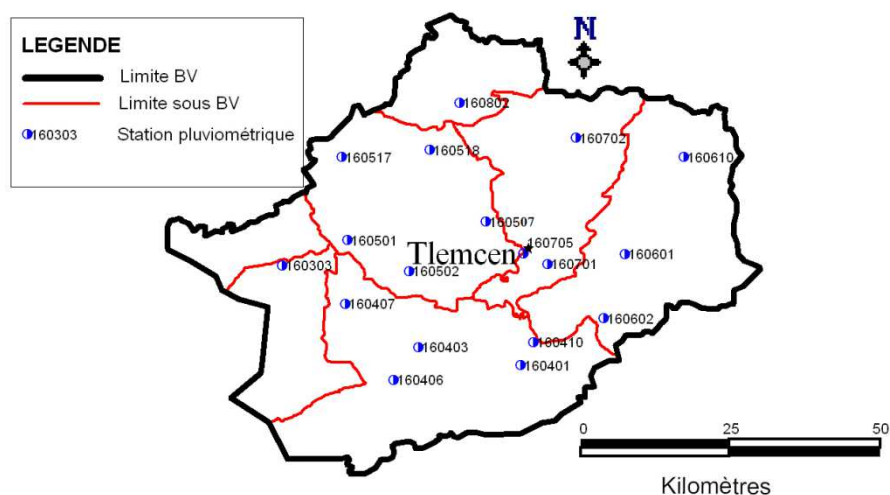


Figure 2.3 : Localisation des stations pluviométriques du bassin Tafna

2.2.2 Données hydrométriques

2.2.2.1 Hydrométrie

La science qui s'occupe de la mesure des débits et de sa variation dans le lit d'une rivière ou d'un oued s'appelle hydrométrie.

Seule la variable débit reflète physiquement le comportement du bassin versant, et peut être interprétée dans le temps et l'espace. Généralement on ne dispose pas d'une mesure directe et continue des débits mais d'un enregistrement des variations de la hauteur d'eau en une section donnée (station hydrométrique). On passe alors de la courbe des hauteurs d'eau en fonction du temps : $H=f(t)$

(appelée limnigramme), à celle des débits : $Q = f(t)$ (appelée hydrogramme) par l'établissement d'une courbe de tarage $Q = f(H)$.

Un bon tracé d'une courbe de tarage $Q (H)$ exige un minimum de sept jaugeages bien repartis. Dont la détermination de cette dernière est généralement effectuée au moyen de campagnes de mesures de débits épisodiques.

Un jaugeage est donc une mesure quasiment instantanée du débit d'un cours d'eau, les techniques utilisées sont nombreuses et généralement complémentaires; elles s'appuient sur des principes très différents selon les cas.

2.2.2.2 Mesure des hauteurs d'eau

La mesure des hauteurs d'eau ou de la variation d'un plan d'eau s'effectue dans une station qui comporte au moins une échelle de mesure des hauteurs (échelle limnimétrique) et éventuellement un limnigraphe qui fournit sur un support un enregistrement continu des variations du niveau d'eau dans la rivière en fonction du temps. Les outils les plus utilisés pour la mesure des hauteurs d'eau sont :

- Les limnigraphes à flotteur ;
- Les limnigraphes dits à bulles ;
- Sondes piezorésistives immergées (S.P.I) ;
- Limnigraphes à ultra – sons.

2.2.2.3 Mesure des débits

Les techniques utilisées sont nombreuses et généralement complémentaires ; elles s'appuient sur des principes très différents selon les cas. Les plus utilisés sont :

- Réservoirs étalonnés ;
- Jaugeage au moulinet ;
- Jaugeage au flotteur ;
- Jaugeage chimique ;

- Jaugeage par déversoir.

2.2.2.4 Caractéristiques et localisation des stations hydrométriques

Nous avons collecté les données hydrométriques (débits maximaux annuels) de quatre vingt dix huit (98) stations implantées dans différents endroits des bassins concernés par cette étude. Elles sont incluses entre l'année hydrologique (1966/1967) et l'année (2007/2008), l'année hydrologique débute le 1^{er} septembre et se termine le 31 août de l'année suivante.

Ces données seront utilisées pour le choix des modèles fréquentiels les plus adéquats à l'estimation des valeurs rares de crues dans le Nord de l'Algérie. La méthode utilisée dans ce travail est celle des maxima annuels. Pour cela nous avons procédé à la formation des échantillons constitués par les débits maxima annuels instantanés de crues calculés à partir des hauteurs d'eau observées et d'une relation hauteur-débit (courbe de tarage) établie par les services d'hydrologie de l'ANRH. Le nombre d'observations des échantillons ainsi formés 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.

Nous avons collecté aussi les séries de mesure des débits moyens journaliers des stations : Lakhdaria, Merbek et Pierre du chat, ces dernières représentent les stations de contrôle des grands bassins versant : Isser, Seybouse et Tafna respectivement. Ces données seront utilisées pour l'étude des débits et des bilans hydrologiques de ces bassins.

Nous avons limité la présentation ici aux stations retenues seulement, pour plus d'informations sur les stations collectées, le lecteur peut se référer aux appendices C et D. En effet, les tableaux 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 et 2.8 donnent les principales caractéristiques des stations retenues, tandis que les figures 2.4, 2.5 et 2.6 montrent leurs localisations.

2.2.2.4.1 Bassin Cheliff

Tableau 2.4 : Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Cheliff

N°	Code	Station	Oued	X (km)	Y (km)	Z (m)	S (Km ²)	P _b (Km)	Données Fournies	Type
1	011407	Ghrib Amont	Cheliff	495.45	308.80		1899	705	76/96	Au
2	011601	Marabout Blanc	Deurdeur	460.17	315.60		830	162	91/08	Cl
3	011702	Arib Chelif	Cheliff	439.50	332.55		24520	1025	68/03	Au
4	011715	El Ababsa	Harraza	443.90	318.50		102	41	73/07	Cl
5	011905	Bir Ouled Tahar	Zeddine	432.75	312.50		435		90/08	Au
6	012201	Larbaa Ouled Fares	Ouahrane	368.10	326.65		262	85	83/07	Au
7	012203	Ponteba Defluent	Cheliff	393.90	327.40		27820	1137	83/07	Cl
8	012501	Oued Lili	Tiguiguest	370.32	248.12	508	420	94	75/06	Cl
9	012601	A.Moussa	Rhiou	357.40	286.40	135	1890	190	75/06	Cl
10	012701	Djidiouia Rn4	Djidiouia	332.60	293.90	70	835	135	75/06	Cl
11	012806	Djidiouia "C"	Cheliff	329.60	298.20	51	34550	1317	75/06	Cl
12	013001	Kef Mahboula	Taht	331.45	224.34	475	652	115	75/96	Cl
13	013301	Takhemaret	El Abd	312.75	202.80	630	1550	162	75/06	Cl
14	013302	A. Amara	El Abd	316.45	233.12	275	2480	225	75/06	Cl
15	013401	S.A.Djillali	Haddad	308.95	244.53	235	470	91	75/06	Cl
16	013402	O.El Abtal	Mina	316.50	245.65	240	5400	295	75/06	Cl
17	013602	S.Bel Attar	Cheliff	280.75	305.55	2	43700	1380	75/06	Cl

Au : Automatique ; Cl : Classique

Source ANRH

2.2.2.4.2 Bassin Côtiers Algérois Ouest

Tableau 2.5 : Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Côtiers Algérois Ouest

N°	Code	Station	Oued	X (km)	Y (km)	Z (m)	S (Km ²)	P _b (Km)	Données Fournies	Type
1	020207	Sidi Akkacha	Allalah	375.75	354.30	0	295		83/07	Cl
2	020301	Rocher des Pigeons	El Harrach	532.05	354.75	146	387	75	74/06	Au
3	020323	Pont Rn11	Bellah	458.65	367.50	50	55	35	74/06	Cl
4	021007	El Affroun	Djer	490.45	350.70	100	395	90	69/93	Cl
5	021126	Amont Des Gorges	Chiffa	506.15	342.30	290	316	73	69/96	Au
6	021418	Baraki	El Harrach	535.00	376.30	20	970	143	79/02	Cl

Au : Automatique ; Cl : Classique

Source ANRH

2.2.2.4.3 Bassin de l'Isser

Tableau 2.6: Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Isser

N°	Code	Station	Oued	X (km)	Y (km)	Z (m)	S (km ²)	P _b (km)	Données fournies	Type
1	090101	Mezahim	Malah Ouest	539.70	322.65	679	665	136	73/94	Cl
2	090305	Beni Slimane	Malah Est	557.55	322.25	600	273	71	73/97	Au
3	090416	Gare Omar	Djemaa	591.50	356.90	301	400	121	73/96	Cl
4	090501	Lakhdaria	Isser	579.10	368.75	90	3615	270	66/06	Cl

Au : Automatique ; Cl : Classique

Source ANRH

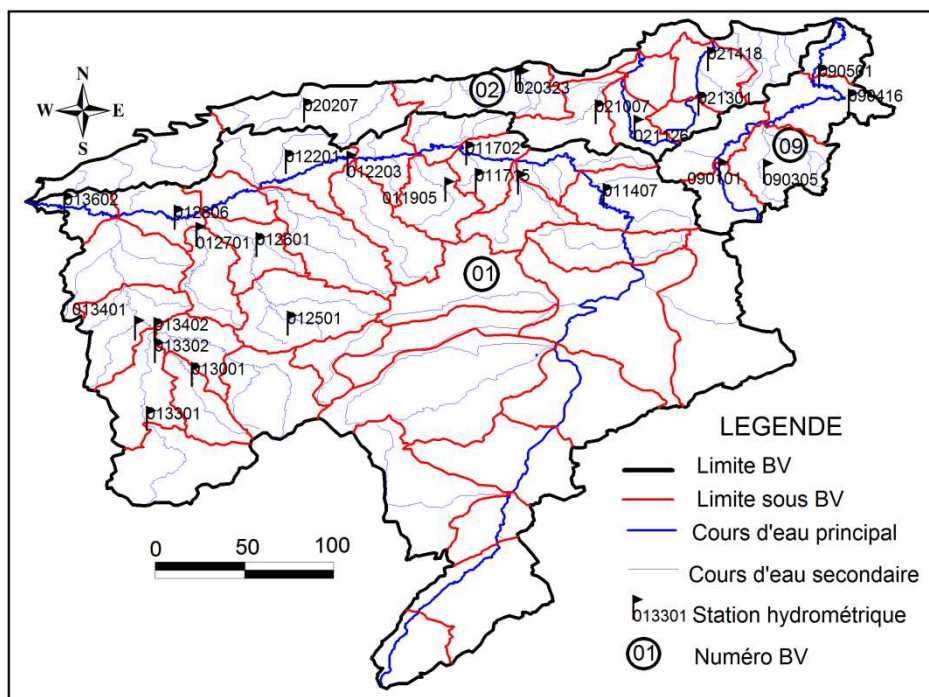


Figure 2.4 : Localisation des stations hydrométriques des bassins : Cheliff, Côtiers Algérois Ouest et Isser

2.2.2.4.4 Bassin de la Seybouse

Tableau 2.7: Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Seybouse

N°	Nom station	Code	Oued	X (°)	Y (°)	Z (m)	S (km ²)	P _b (km)	Données fournies
1	Moulin Rochfort	140202	Cherf amont	7.596	36.092	710	1710	190	71/93
2	Medjez Amar II	140301	Bouhamdane	7.042	36.413	270	1105	140	68/02
3	Bordj Sabath	140302	Bouhamdane	7.3	36.437	520	304		73/04
4	Bouchegouf	140501	Mellah	7.705	36.457	95	550	120	48/03
5	Mirebek	140601	Seybouse inférieure	7.599	36.679	10	5955	330	68/90
6	Ain Berda	140602	Ressoul	7.763	36.742	55	103	45	63/02

Source ANRH

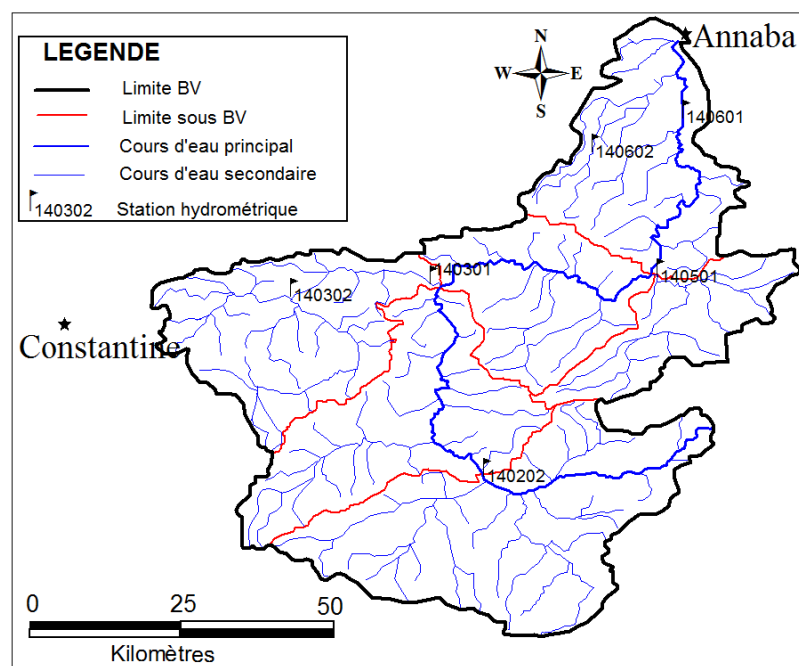


Figure 2.5 : Stations hydrométriques de la Seybouse

2.2.2.4.5 Bassin de la Tafna

Tableau 2.8 : Caractéristiques des stations hydrométriques du bassin Tafna

N°	STATION	CODE	OUED	X (km)	Y (km)	Z (m)	S (km ²)	P _b (km)	Données fournies	Type
1	Pont rn7/a	160202	Mouillah	83.5	182.4	420	1820	187	75/05	Au
2	Sebdou	160401	Tafna	131.25	156.57	875	195	58	82/05	Au
3	B.bahdel	160402	Tafna	119	163.3	665	600	100	79/05	Au
4	Zahra	160409	Khemis	114.65	161.5	660	345	80	75/05	Cl
5	V.Tafna	160426	Tafna	101.9	178.65	315	1268		87/05	Au
6	Pont rn35	160504	Mouillah	101.9	185.5	285	2650	230	75/97	Cl
7	Zenata	160507	Boumessaoud	120.1	194.6	205	116	49	75/05	Cl
8	Hennaya	160509	Boumessaoud	125.45	188.1	410	46	30	75/05	Cl
9	Pont rn7	160601	Chouly	149.8	181.2	720	170	60	75/05	Au
10	Sidi Aissa	160614	Issser	127.35	199.8	380	866		85/05	Au
11	Bensekrane	160702	ISSER	143.38	205.2	246	1230	150	75/05	Cl
12	Remchi	160703	ISSER	122.9	208.85	75	1935	180	75/04	Cl
13	Ain Youcef	160704	Sikkak	131.7	201.7	210	320	85	75/97	Cl
14	Meffrouch	160726	Nachef	133.25	177.9	113	66		88/05	Au
15	P.du Chat	160801	Tafna	122.3	213.12	65	6900	305	75/05	Au

Au : Automatique ; Cl : Classique

Source ANRH

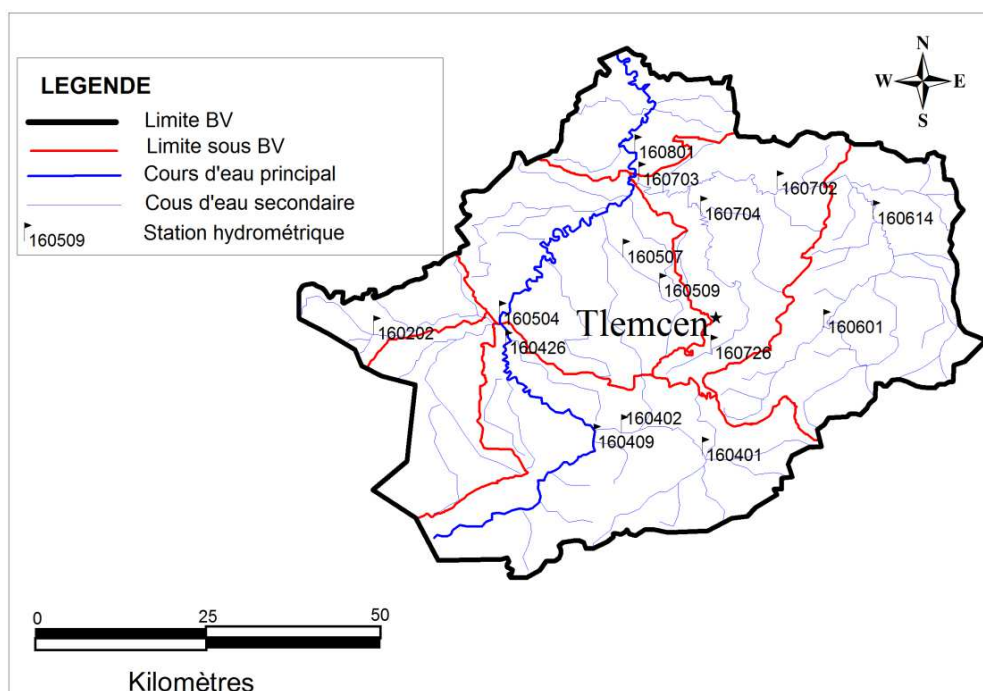


Figure 2.6 : Localisation des stations hydrométriques de la Tafna

2.3 Traitement de données

Les données hydrologiques, présentées souvent sous forme de séries statistiques, sont sujettes la plupart du temps à des erreurs qu'on appelle « erreurs systématiques » qui peuvent être commises pendant les mesures. Elles sont dues principalement à [13] :

- Erreurs d'observation ;
- Erreurs de transcription et de calcul (les plus fréquentes) ;
- Erreurs de copie (dans les centres) ;
- Erreurs d'impression (généralement corrigées dans les bulletins ultérieurs) ;
- Erreurs dues à l'imprécision de l'appareillage lui-même ;
- Erreurs qui découlent de la situation d'une station dans un microclimat ;
- Erreurs dues au remplacement d'un appareillage ancien par un autre nouveau;

- Erreurs dues au changement de l'environnement de la station de mesure.

Dans notre cas, les données pluviométriques et hydrométriques collectées sont qualifiées de qualité médiocre présentant plusieurs lacunes et anomalies ce qui rend leur traitement un travail long et fastidieux.

La première étape de ce traitement consistait en la vérification de la qualité des séries formées (examen visuel, cohérence des débits amont-aval, détection des valeurs aberrantes...etc) et le remplissage des lacunes tout en se basant sur la recherche des liaisons qui existent entre les différentes séries d'observations étudiées, par le biais de la régression et corrélation qui constituent l'outil mathématique le plus ancien et le plus largement utilisé.

La deuxième étape a porté sur l'application des différents tests statistiques aux échantillons utilisés pour vérifier les hypothèses I.I.D (échantillon Indépendant et Identiquement Distribué), conditions nécessaires pour toute analyse fréquentielle de données [14].

2.3.1 Comblement des lacunes d'observations

Il est important d'avoir des séries complètes de données pour effectuer une analyse fréquentielle. La collecte des données est coûteuse. Des événements peuvent avoir forcé l'interruption de la prise de mesures et pour qu'on puisse utiliser ces dernières, nous devons préalablement procéder au comblement des lacunes existantes au niveau des séries collectées. Pour cela plusieurs techniques ont été employées en hydrologie. Nous citons dans ce qui suit les plus utilisées.

2.3.1.1 Méthode de la moyenne des stations environnantes

C'est une méthode basée sur la moyenne arithmétique des valeurs connues des stations environnantes de celle à combler.

$$\hat{X} = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2-1)$$

Avec :

\hat{X} : Valeur manquante à la station à combler ;

X_i : Valeur connue à la station i ;

n_s : Nombre de stations autour de la station à combler.

La valeur annuelle moyenne de la station à combler ne doit différer de plus de 10 % de la valeur annuelle moyenne de chacune des autres stations.

2.3.1.2 La méthode du rapport normal

Même approche que la précédente sauf qu'elle se base sur une valeur pondérée.

$$\hat{X} = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^n w_i X_i \quad (2-2)$$

Avec :

w_i : Coefficient de pondération pour la station i , il est donné par :

$$w_i = \frac{A_c}{nA_i} \quad (2-3)$$

Avec :

A_c : Valeur annuelle moyenne de la station à combler ;

A_i : Valeur annuelle moyenne de la station i .

2.3.1.3 La méthode de la régression linéaire

En statistiques, étant donné un échantillon aléatoire (Y_i, X_i) , $i = 1, 2 \dots, n$, un modèle de régression simple suppose la relation affine suivante entre Y_i et X_i :

$$Y_i = aX_i + b \quad i = 1, \dots, n \quad (2-4)$$

La régression linéaire consiste à déterminer une estimation des valeurs a et b et à quantifier la validité de cette relation grâce au coefficient de corrélation linéaire r .

En utilisant la méthode des moindres carrés, on obtient :

$$r = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{(n-1)\sigma_X\sigma_Y}$$

$$a = r \frac{\sigma_Y}{\sigma_X} \quad (2-5)$$

$$b = \bar{y} - r \frac{\sigma_Y}{\sigma_X} \bar{x}$$

Avec :

\bar{x} : Moyenne arithmétique des x_i ;

\bar{y} : Moyenne arithmétique des y_i ;

σ_X : Écart-type empirique des x_i ;

σ_Y : Écart-type empirique des y_i ;

On peut démontrer que r est toujours compris entre -1 et +1. En pratique sa valeur absolue est rarement égale à 1, mais on estime généralement que l'ajustement est valide dès que ce coefficient est assez proche de +1 ou -1. On utilise souvent le r^2 appelé coefficient de détermination. Dans ce cas l'ajustement est valide dès que ce coefficient est assez proche de 1.

2.3.1.4 Moyens d'appréciation du gain obtenu par l'extension

Le bénéfice de l'extension de la série Y à l'aide de la série X pour la connaissance de la série Y est d'autant plus grand que le coefficient de corrélation r_{xy} est élevé. Ce bénéfice a été traduit par R. VERON [15] en efficacité relative E .

$$E = 1 + \left(1 - \frac{k}{n}\right) \left[\frac{1 - (k-2)r^2}{(k-3)} \right] \quad (2-6)$$

$r = r_{xy}$: coefficient de corrélation calculé sur k années.

E : Efficacité relative de \bar{y}_k et de \bar{y} défini par le rapport de la variance de \bar{y} à celle de \bar{y}_k .

Ce bénéfice est traduit, en utilisant E sous forme d'un gain réel d'information que l'on exprime à l'aide du nombre d'années efficaces ou fictives n' à laquelle correspond l'échantillon y étendu.

n' varie de k à n (gain maximum, liaison fonctionnelle entre x et y et $r=1$).

$n' = \frac{k}{E}$ avec $k \geq 3$ (il est impensable de faire une régression avec moins de 4 valeurs). On obtient une nouvelle série observée durant n' années [16].

2.3.1.5 Méthode des rapports

Cette méthode employée souvent pour compenser les lacunes dans les observations ou pour corriger les hétérogénéités dans les séries. Le choix de cette méthode s'impose dans le cas de la brièveté de la période d'observations.

La méthode des rapports utilise le rapport entre totaux ou moyennes de valeurs de deux séries concomitantes comme facteur multiplicateur du total, ou de la moyenne de la série disponible. En d'autre terme c'est le rapport des valeurs d'un mois considéré lacunaire et pendant une série ou le mois est le même dans les différentes stations pour le comblement des lacunes à l'échelle mensuelle, par exemple.

L'équation de cette méthode est :

$$Y = b X \quad (2-7)$$

Avec :

Y : valeur d'un mois donné à la station à combler ;

X : valeur correspondante à la station de référence ;

b : constante d'ajustement estimé du rapport :

$$b=V/U \quad (2-8)$$

Avec :

V_s : somme des valeurs pendant une période homogène de la station à ajuster ;

U : somme des valeurs pour la période correspondante à la station de comparaison.

Par la suite, on procède à l'élaboration d'une matrice des coefficients de corrélation entre les stations à l'échelle mensuelle et annuelle. L'intérêt de cette matrice, fait ressortir des affinités pour les différentes stations généralement par couple, donc les deux sont comparables entre elles.

Si toutes les conditions sont requises on procède à estimer les données manquantes de chaque mois en appliquant l'équation (2-7).

2.3.1.6 Méthodes utilisées dans ce travail

Dans notre cas, le comblement des lacunes annuelles, entre stations, a été fait en utilisant la régression linéaire qui constitue l'outil mathématique le plus ancien et le plus largement utilisé.

Par la suite et afin de combler les lacunes au niveau des valeurs mensuelles et journalières des séries courtes, nous avons utilisé la méthode de rapports déjà utilisée en Algérie par GHACHI [17], ACHIT [18] et d'autres et ce vu l'impossibilité de les traiter par la méthode de régression linéaire en raison de la masse importante de données collectées.

2.3.2 Vérification des hypothèses (I.I.D)

2.3.2.1 Déroulement d'un test statistique

En général nous disposons d'échantillons de taille réduite à partir desquels nous voulons généraliser certaines conclusions.

Pour effectuer cette généralisation, on doit faire certaines hypothèses et évaluer les risques d'erreurs dus à une information incomplète. On envisage deux hypothèses exclusives H_0 et H_1 :

- H_0 est l'hypothèse que l'on veut tester ;
- 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 à acceptant H_0 alors qu'elle est vraie.

2.3.2.2 Échantillon Indépendant et Identiquement Distribué (I.I.D)

L'analyse fréquentielle des variables hydrologiques se base sur l'exploitation de données, présentées souvent sous forme de séries. Ces dernières doivent remplir certaines conditions pour être utilisées, ces conditions sont : l'indépendance, l'homogénéité, la stationnarité et la singularité que l'on regroupe sous la notion « échantillon Indépendant et Identiquement Distribué (I.I.D) ». Pour vérifier ces hypothèses les tests utilisés dans ce travail sont :

- Indépendance : absence d'autocorrélation ; test de WALD-WOLFOWITZ [19] ;

- Identiquement Distribuées : homogénéité ; test d'homogénéité à l'échelle annuelle de WILCOXON-MANN-WHITNEY [20], stationnarité ; test de KENDALL [21] et absence de valeurs singulières ; test de GRUBBS et BECK [22].

2.3.2.2.1 Indépendance (test de Wald-Wolfowitz)

L'indépendance signifie qu'il n'y a aucun lien entre les observations successives (absence d'autocorrélation), par exemple ; les débits journaliers sont des variables dépendantes, tandis que les débits maximums annuels sont des variables indépendantes en général.

Pour un échantillon de taille N , le test de WALD-WOLFOWITZ considère la valeur statistique R :

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} X_i X_{i+1} + X_1 X_N \quad (2-9)$$

Si les observations sont indépendantes, alors R_w suit une loi normale :

$$R_w \sim N[\bar{R}, \text{var } R] \quad (2-10)$$

De moyenne :

$$\bar{R} = \frac{(S_1^2 - S_2)}{(N - 1)} \quad (2-11)$$

Et de variance :

$$\text{var } R = \frac{(S_1^2 - S_2)}{(N - 1)} - \bar{R}^2 + \frac{(S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4)}{(N - 1)(N - 2)} \quad (2-12)$$

Avec :

$$S_r = N m_r \quad (2-13)$$

m_r : moment non centré d'ordre r de l'échantillon.

$$S_r = N \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^r = \sum_{i=1}^N x_i^r \quad (2-14)$$

On calcul la statistique U :

$$u = \frac{Rw - \bar{R}}{\sqrt{\text{var } Rw}} \quad (2-15)$$

Qui suit une loi normale $N(0,1)$, et on teste l'hypothèse d'indépendance en comparant U avec la valeur normale standard à la probabilité de dépassement de $\alpha/2$. L'échantillon est indépendant 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% : $u_{0.5\%} = 2.58$.

2.3.2.2.2 Stationnarité (test de Kendall)

Il ya une stationnarité, si les caractéristiques statistiques (moyenne, variance, ...) d'un échantillon donné sont invariantes dans le temps. Par contre, on parle de non stationnarité, en particulier, s'il y a un changement (brusque ou graduel) dans la moyenne.

Pour un échantillon classé par ordre chronologique : x_1, x_2, \dots, x_N , on calcule la statistique S_k telle que :

$$S_k = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (j > i) \quad (2-16)$$

Nous avons :

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \text{ concordance avec les rangs} \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \text{ discordance avec les rangs} \end{cases}$$

La distribution asymptotique (N grand) de S_k est normale avec :

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

Pour vérifier la stationnarité on aura :

- Si S_k est voisin de sa moyenne, alors les observations sont stationnaires ;
- Si S_k est élevé, donc les observations sont non stationnaires.

2.3.2.2.3 Homogénéité (test de Wilcoxon-mann-whitney)

Ce test utilise les numéros des observations dans la série variationnelle obtenue en ordonnant l'échantillon global de taille N . le numéro d'observation x_i dans l'échantillon s'appelle ordre ou rang, et sera désigné par $R_{i,N}$. la série x_i classée par ordre croissant est subdivisée en deux échantillons de taille N_1 et N_2 , où $N=N_1 + N_2$ (avec $N_1 < N_2$).

Le test de WILCOXSON considère les quantités suivantes :

$$V = R - N_1(N_1 + 1)/2 \quad (2-17)$$

$$W = N_1N_2 - V \quad (2-18)$$

Avec :

R : Somme des rangs des éléments du premier échantillon de taille n_1 dans la série considérée ;

V : Représente le nombre de fois où un élément de l'échantillon un (01) suit dans l'ordre un élément de l'échantillon deux (02).

La valeur statistique de MANN-WHITNEY U est définie par la plus petite des deux valeurs de V et W , sa moyenne est :

$$\bar{U} = N_1N_2/2 \quad (2-19)$$

Et sa variance est :

$$\text{Var}(U) = \frac{1}{12(N_1 + N_2)N_1N_2} \quad (2-20)$$

La fonction de répartition de U est définie pour un risque d'erreur, par la quantité :

$$|U| = (U - \bar{U})/(\text{var}(U))^{1/2} \quad (2-21)$$

Cette quantité est comparée avec la variable standardisée correspondant à une probabilité de dépassement $\alpha/2$. La convergence est très rapide si N_1 et N_2 sont supérieurs à huit.

2.3.2.2.4 Singularité (test de Grubbs et Beck)

Ce test est très utilisé à cause de sa simplicité. Il peut détecter les points singuliers de la série en calculant les statistiques suivantes :

$$X_h = \text{Exp}(\bar{x}_l + K_N S_l) \quad (2-22)$$

$$X_i = \text{Exp}(\bar{x}_l - K_N S_l) \quad (2-23)$$

Où :

\bar{x}_l et S_l : Sont respectivement, la moyenne et la variance des logarithmes naturels des éléments constituant l'échantillon ;

K_N : Est une valeur statistique du test de GRUBBS et BECK, tabulée pour différentes tailles d'échantillons de niveaux de signification.

Au niveau de 10% l'approximation polynomiale suivante a été donnée :

$$k_N = -3,62201 + 6,28446 N^{1/4} - 2,49835 N^{3/4} - 0,037911 N \quad (2-24)$$

Avec :

N : Taille de l'échantillon.

En appliquant ce test, tous les points de l'échantillon supérieurs à X_h ou inférieurs à X_i sont considérés comme points singuliers qu'il faut comparer avec les autres valeurs des autres stations.

2.3.2.3 Résultat de l'application des tests

2.3.2.3.1 Données pluviométriques

Les tableaux suivants donnent les résultats des tests de vérification des hypothèses I.I.D appliqués aux différentes séries de pluies annuelles des données collectées des trois bassins : Isser, Seybouse et Tafna respectivement. Nous avons limité la présentation ici à l'erreur de première espèce α seulement.

Tableau 2.9 : Résultat des tests I.I.D des séries pluviométriques utilisées de l'Isser (pluies annuelles)

N°	Station	Code	Indépendance	Homogénéité	Stationnarité	Singularité	
			α (%)	α (%)	α (%)	X_h	X_i
1	Chellalat El Adaoura	050102	41.71	6.06	33.34	631.0	97.1
2	Souk El Djemââ	050103	52.35	28.55	90.13	824.5	94.3
3	Souaghi	090104	42.68	75.08	30.92	716.8	155.7
4	El Omaria	090201	43.37	19.39	94.07	950.1	169.3
5	Tablet Drs	090203	34.99	70.75	14.33	1162.7	214.5
6	El Omaria Pep	090205	64.12	6.90	86.21	788.3	108.8
7	Djouab	090301	97.72	63.75	1.85	937.6	196.5
8	Béni Slimane	090302	41.71	6.06	63.75	720.1	157.4
9	Pont De La Traille	090304	36.40	88.52	30.92	964.5	186.5
10	Dechmya	090314	1.21	1.11	44.19	943.9	142.3
11	Khabouzia	090401	74.45	50.67	1.92	844.7	120.5
12	Souk El Khamis	090402	47.16	37.08	67.33	1037.3	195.9
13	Djebahia	090403	38.06	7.83	63.75	1116.5	210.8
14	Ouled Touati	090413	51.30	8.85	28.61	932.7	154.4
15	Lakhdaria Gorges	090502	79.94	6.90	7.82	1456.7	253.3
16	Ouled Bouhadadda	090503	54.76	37.08	28.61	1622.5	263.4
17	Tizi Chenif	090506	45.34	0.86	63.75	1577.4	261.5
18	Bordj Menail Pepin	090510	46.16	40.25	2.40	1322.3	257.5
19	Chabet El Aneur	090512	49.70	12.60	98.02	1416.1	258.0
20	Sour El Ghozlane	150101	2.26	40.25	26.43	863.7	169.5

Les résultats montrent que quinze séries de pluies annuelles du bassin Isser sont : indépendantes, homogènes, stationnaires et ne présentent pas de singularité au niveau de signification 5%, un test au moins est échoué à ce niveau pour cinq stations mais ils sont tous acceptés au niveau de signification de 1%.

Tableau 2.10 : Résultat des tests IID des séries pluviométriques utilisées de la Seybouse (pluies annuelles)

N°	Station	Code	Indépendance	Homogénéité	Stationnarité	Singularité	
			α (%)	α (%)	α (%)	X_h	X_i
1	Bouati Mahmoud	030903	27	30	24	1435.7	258.9
2	Zardesas Bge	031105	55	36	38	1560.6	250.0
3	Ain Beida	070707	19	36	82	832.9	174.6
4	Ain Seymour	120103	11	66	70	2731.7	257.6
5	Mdaouroch	120403	51	74	13	792.2	123.3
6	Ksar sbahi	140104	83	30	26	786.0	143.3
7	Fomel	140105	87	83	63	686.0	119.0
8	Ain Makhloof	140205	23	50	86	1383.7	151.4
9	Bordj spath	140302	87	53	44	1371.7	152.4
10	Héliopolis	140403	17	88	90	1339.7	224.2
11	Guelma lycée	140412	2	90	10	1152.0	212.4
12	Mechroha	140502	81	50	47	2975.5	209.1
13	Boucheouf	140505	15	36	78	1143.4	215.9
14	Breda	140606	17	42	50	1302.3	246.1
15	El karma	140609	34	47	47	1229.2	222.9
16	Kef Mourad	140611	82	45	45	1282.3	201.2
17	Pont bouchet	140631	39	74	74	1274.5	238.9

Seize séries de pluies annuelles du bassin de la Seybouse sont indépendantes, stationnaires et homogènes au niveau de signification 5%, la station 140412 n'est pas indépendante pour ce niveau mais elle l'est pour le niveau de signification 1 %.

Tableau 2.11: Résultat des tests I.I.D des séries pluviométriques utilisées de la Tafna (pluies annuelles)

N°	Station	Code	Indépendance	Homogénéité	Stationnarité	Singularité	
			α (%)	α (%)	α (%)	X_h	X_i
1	B-ouassine	160303	18.26	47.05	9.65	577.4	97.0
2	Sebdou	160401	79.04	8.70	8.70	824.0	151.0
3	Béni-bahdel	160403	39.06	43.57	63.75	854.1	164.8
4	Khemis	160406	30.50	90.80	100.00	929.4	126.9
5	S/Medjahed	160407	18.65	75.08	63.75	628.8	113.3
6	Merchiche	160410	96.60	9.99	44.20	753.5	154.2
7	H. boughrara	160501	4.89	75.10	78.50	634.5	69.5
8	Sabra	160502	41.20	62.36	86.21	748.7	172.6
9	Lalla setti	160507	77.50	19.39	18.86	1072.1	217.5
10	Zsbamar	160517	23.11	43.57	33.34	844.2	171.9
11	Dj. chouachi	160518	18.86	4.04	15.02	592.4	112.6
12	Chouly	160601	84.75	7.83	4.45	835.1	174.5
13	Merbah	160602	63.25	21.45	63.25	829.1	160.9
14	Sbnakhla	160610	87.88	12.60	20.58	717.7	145.6
15	Mefrouch	160701	68.87	23.66	28.61	1224.5	233.2
16	Bensakran	160702	53.00	53.00	37.70	736.0	162.8
17	Hennaya	160715	36.30	79.50	82.30	832.7	168.4
18	Pierre du chat	160802	97.21	37.07	61.99	684.1	125.9

Dix neuf séries de pluies annuelles de la Tafna sont : indépendantes, stationnaires, homogènes et ne présentent pas de singularité au niveau de signification 5%, à part la station 160518 qui est homogène au niveau de

signification 1% et celle de 16601 qui est stationnaire au même niveau de signification seulement.

Finalement et d'une manière générale, nous pouvons dire que quarante huit (48) séries parmi celles collectées de différents bassins sont : indépendantes, stationnaires, homogènes et ne présentent pas de singularité et par conséquent, les hypothèses I.I.D sont vérifiées au niveau de signification 5%. Pour huit autres un test au moins est échoué pour ce niveau de signification mais tous réussis au niveau 1%.

Habituellement en hydrologie on retient uniquement les échantillons où les tests sont réussis au niveau de signification 5% seulement, mais dans notre cas nous avons retenu les échantillons acceptés au niveau de signification 1% par ces tests et ce, pour pouvoir exploiter le maximum de valeurs réellement collectées et éviter leurs substitution par des valeurs corrigées. Cela est valable même pour les données hydrométriques.

2.3.2.3.2 Données hydrométriques

Le tableau suivant donne les résultats des tests de vérification des hypothèses I.I.D appliqués aux différentes séries de débits maximums annuels des données collectées des cinq bassins : Cheliff, Côtiers Algérois Ouest, Isser, Seybouse et Tafna respectivement. Nous avons limité la présentation ici à l'erreur de première espèce α seulement.

Tableau 2.12 : Résultat de vérification des hypothèses I.I.D pour les séries hydrométriques utilisées (débits maximums annuels)

Bassin	Code	Station	Homogénéité	Indépendance	Stationnarité	Singularité	
			α (%)	α (%)	α (%)	Xh	Xi
Cheliff	011407	Ghrib Amont	91.58	9.65	85.62	512.50	25.54
	011601	Marabout Blanc	22.10	69.87	11.76	302.54	5.53
	011702	Arib Cheliff	5.90	3.45	1.87	977.94	5.41
	011715	El Ababsa	26.42	74.80	77.04	60.66	6.62
	011905	Bir Ouled Tahar	30.72	62.64	41.49	190.17	13.35
	012201	Larbaa Ouled Fares	78.18	42.83	23.46	849.44	0.98
	012203	Ponteba Defluent	44.17	88.72	36.92	545.64	16.76
	012501	Oued Lili	54.01	65.34	49.66	662.68	3.35
	012601	A.Moussa	56.66	2.99	78.57	1173.90	48.88
	012701	Djidiouia Rn4	79.72	95.75	94.58	2545.12	6.57
	012806	Djidiouia "C"	90.34	75.37	9.54	4627.21	14.67
	013001	Kef Mahboula	21.84	10.00	20.11	836.03	17.17
	013301	Takhemaret	7.72	90.79	7.25	6087.83	1.96
	013302	A. Amara	17.26	88.70	3.09	2518.27	7.53
	013401	S.A.Djillali	33.27	8.22	100.00	1164.89	1.67
	013402	O.El Abtal	1.35	2.52	1.19	2042.67	25.09
013602	S.Bel Attar	92.13	3.03	14.38	10170.98	10.01	
Côtiers Algérois Ouest	020207	Sidi Akkacha	14.87	36.94	22.46	686.08	10.91
	020301	Rocher des Pigeons	10.74	26.21	11.81	6033.61	0.45
	020323	Pont Rn11	0.00	56.59	6.99	225.82	3.94
	021007	El Affroun	5.19	40.49	3.17	31820.82	0.17
	021126	Amont Des Gorges	30.11	68.72	22.06	3836.04	6.89
	021301	Rocher Des Pigeons	69.36	83.43	49.86	12011.40	3.76
	021418	Baraki	9.29	40.86	30.91	3242.67	14.35
Tafna	160202	Pont Rn7/A	28.24	48.59	38.34	8639.81	2.83
	160402	Beni Bahdel	11.48	1.1	59.25	1609.49	2.54
	140426	Village Tafna	8.17	45.03	26.78	6891.87	0.08
	160801	Pierre Du Chat	73.69	39.54	62.65	20627.3	1.52
	160726	Mefrouche	3.17	10.95	89.63	378.08	0.27
	160704	Ain Youcef	14.81	56.12	80.94	121.64	1.85
	160703	Remchi	90.1	94.3	94.58	6047.88	0.39
	160702	Bensekra Ne	6.8	2.71	9.45	3548.68	0.04
	160614	Sidi Aissa	59.74	78.58	49.78	9684.61	0.22
	160601	Chouly Pont Rn7	32.15	70.84	31.53	4812.55	0.02
	160509	Hennaya Cd45	9.45	6.64	10.47	335.3	0.15
	160507	Zenata	26.68	94.57	94.9	9267.45	0.02
	160504	Sidi Belkheir	20.69	54.36	54.96	11216	1.28
	160409	Zahra	36.37	42.31	42.31	7783.2	0.07
160401	Sebdou	5.7	1.06	75.26	19185.7	0.06	
Seybouse	140501	Boucheougouf	40.33	95.83	52.31	3814.63	2.32
	140301	Medjez Amar 2	34.1	8.44	60.41	173847	0.01
	140602	Ain Berda	62.29	95.18	32.19	17318.7	0.11
	140601	Mirebeck	66.5	56.84	50.86	6447.51	8.08
	140202	Moulin Rechfort	49.88	58.65	90.56	257.53	3.54
	140302	Bordj Sabath	81.91	97.15	70.85	11360.9	0.15
Isser	90101	Mezahim	54.58	100	99.69	446.7	9.3
	90305	Beni Slimane	27.23	8.25	38.82	373.36	12.08
	90416		51.81	100	44.33	195.26	7.74
	90501	Lakhdaria	29.85	28.04	56.43	2760.00	116.67

Les résultats montrent que pour trente neuf (39) échantillons (séries de débits maximums annuels) parmi ceux traités les hypothèses I.I.D (indépendant, homogène, stationnaire et pas de singularité) sont vérifiées au niveau de signification 5% et pour dix autres, un test au moins est échoué à ce niveau mais acceptés au niveau de signification de 1%.

En ce qui concerne les séries de débits moyens annuels, l'étude a porté sur les stations de contrôle des trois bassins : Isser, Seybouse et Tafna qui sont : Lakhdaria, Merbeck et Pierre du chat respectivement.

Le tableau suivant présente les résultats des tests de vérification des hypothèses I.I.D appliqués à ces séries. Nous avons limité la présentation ici à l'erreur de première espèce α seulement.

Tableau 2.13 : Résultat des tests I.I.D des séries hydrométriques utilisées (débits moyens annuels)

Code	Station	Indépendance	Homogénéité	Stationnarité
		α (%)	α (%)	α (%)
140601	Merbeck	85.00	34.00	39.00
090501	Lakhdaria	1.33	1.28	1.72
160801	Pierre du chat	10.07	6.61	9.22

On remarque que les séries des débits moyens annuelles de Merbeck et Tafna sont indépendantes, stationnaires et homogènes au niveau de signification 5 %, par contre les tests sont échoués pour la station de Lakhdaria à ce niveau de signification mais ils sont acceptés au niveau de 1%.

2.4 Conclusion

Après critique et traitement de données tout en respectant les conditions suivantes :

- Afin de pouvoir appliquer l'analyse fréquentielle, le nombre d'observations pour chaque série formée doit être supérieur à vingt ($n > 20$) [23] ;

- Le nombre de lacunes à remplir doit obéir à la loi de VERON [15] concernant le gain d'information maximum tolérable sur le nombre de valeurs estimées.

Dans ces conditions, pour les données pluviométriques collectées et après traitement de données nous avons pu tirer les statistiques suivantes :

- Nombre de stations dont les données sont fournies : 89 (36 dans le Isser, 35 dans le Seybouse et 18 dans le Tafna) ;
- Nombre de stations retenus dans cette étude : 55 (20 dans le Isser, 17 dans le Seybouse et 18 dans le Tafna).

Ces dernières sont présentées sur les tableaux ; 2.1, 2.2 et 2.3.

En ce qui concerne les données hydrométriques et après traitement de ces dernières, nous avons tiré les statistiques suivantes :

- Nombre totale de stations : 98 (40 dans le Cheliff, 23 dans le Côtiers Algérois Ouest, 08 dans le Isser, 07 dans le Seybouse et 20 dans le Tafna) ;
- Nombre de stations en arrêt avec absence totale de données : 20 (12 dans le Cheliff, 04 dans le Côtiers Algérois Ouest, 01 dans le Isser, 01 dans le Seybouse et 02 dans le Tafna) ;
- Nombre de stations dont les données sont disponibles : 78 (28 dans le Cheliff, 19 dans le Côtiers Algérois Ouest, 07 dans le Isser, 06 dans le Seybouse et 18 dans le Tafna) ;
- Nombre de stations retenus dans cette étude : 49 (17 dans le Cheliff, 07 dans le Côtiers Algérois Ouest, 04 dans le Isser, 06 dans le Seybouse et 15 dans la Tafna).

Les stations hydrométriques retenues pour cette étude sont celles présentées dans les tableaux : 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 et 2.8.

DEUXIÈME PARTIE

EAUX SUPERFICIELLES ET AMÉNAGEMENTS

CHAPITRE 3

ÉTUDE DES PLUIES

3.1 Introduction

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

Leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale ;

Leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques ;

Leurs totaux journaliers générateurs de crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des autres paramètres physiques cités plus haut et climatiques (températures et évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettent une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

C'est pourquoi nous consacrerons, à travers ce chapitre, un développement spécial aux précipitations des bassins :

- Seybouse qui représente la partie Est du Nord de l'Algérie ;
- Isser qui représente la partie centrale de Nord de l'Algérie ;

- Et enfin la Tafna qui représente la partie Ouest du Nord de l'Algérie.

Ce choix à été dicté par :

- La disponibilité de données pluviométriques et hydrométriques de ces bassins ;
- La possibilité d'accès à ces données.

Ce qui nous permet d'étudier la distribution spatiale et temporelle des eaux superficielles du Nord de l'Algérie.

Les caractéristiques des stations pluviométriques retenues dans cette partie du travail sont consignés dans les tableaux 2.1, 2.2 et 2.3 du chapitre 2.

3.2 Choix des séries pluviométriques homogènes

Au vu de l'état des données disponibles, il s'agissait de faire un choix difficile entre des séries relativement longues mais émanant d'un nombre réduit de stations, et des séries plus courtes mais permettant d'intégrer à l'étude le plus grand nombre de stations. Nous avons opté, en définitive, pour la deuxième solution dans laquelle nous avons retenu toutes les stations vérifiant les critères fixés dans le chapitre précédent mais pour une masse de données appartenant à une période de référence communes à toutes les stations allant de l'année hydrologique 1975/1976 jusqu'à celle de 1998/1999, c'est-à-dire pour une durée de 24 ans. Cela nous permet de faire de bonnes comparaisons dans l'espace et dans le temps entre les différentes régions étudiées.

3.3 Variation spatiale des pluies annuelles

La notion de la moyenne pluviométrique estompe la réalité des faits climatiques, notamment en domaine méditerranéen, sa connaissance demeure nécessaire pour aborder l'étude de l'abondance des cours d'eau et surtout la détermination du bilan moyen annuel de l'écoulement. Elle permet également de cerner la variabilité des pluies sur de longues périodes d'observation, néanmoins,

cette variabilité doit être précisée par des moyens statistiques qui permettent de lier les hauteurs précipitées à leur durée de récurrence.

3.3.1 Bassin de la Seybouse

Le tableau ci-dessous (tableau 3.1) illustre les hauteurs des pluies moyennes, maximales, minimales, nombre d'années qui ont enregistré des hauteurs supérieures aux moyennes et le rapport entre les valeurs extrêmes pour chaque station (rapport du module de l'année la plus humide P_M à celui de l'année la plus sèche P_m).

Tableau 3.1 : Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin de la Seybouse et ses limitrophes

Code station	Moyenne (mm)	Max (mm)	Année	Min (mm)	Année	Nbre d'années > moy	PM/Pm
030903	662.58	1039.40	84/85	421.80	87/88	12	2.46
031105	687.45	986.40	84/85	380.40	96/97	10	2.59
070707	400.13	683.48	95/96	218.20	96/97	10	3.13
120103	965.14	1389.70	86/87	230.00	82/83	13	6.04
120403	332.72	571.30	76/77	135.20	85/86	12	4.23
140104	353.94	558.00	84/85	196.80	96/97	10	2.84
140105	299.46	519.80	97/98	170.30	93/94	11	3.05
140205	512.91	1177.08	98/99	106.10	96/97	10	11.09
140302	506.86	820.50	86/87	89.00	78/79	12	9.22
140403	597.38	904.70	83/84	257.30	96/97	13	3.52
140412	532.09	795.30	86/87	245.30	96/97	12	3.24
140502	941.36	1811.30	98/99	298.60	87/88	11	6.07
140505	534.34	811.80	95/96	340.80	93/94	13	2.38
140606	610.99	863.00	97/98	382.10	87/88	11	2.26
140609	565.82	872.04	84/85	325.20	96/97	10	2.68
140611	555.09	825.40	84/85	261.65	89/90	13	3.15
140631	595.73	900.20	84/85	366.10	87/88	11	2.46

On remarque que les hauteurs moyennes interannuelles de la plus part des stations sont rapprochées (500 à 700 mm), ces stations situent dans le nord du bassin, c.à.d. plus proche de la mer ou à des altitudes moyennes. Les stations qui ont une forte pluviométrie sont celles qui situent à de grandes altitudes (120103 et 140502), tandis que celles présentant la plus faible pluviométrie observée sur le bassin de la Seybouse situent dans la partie centre et sud de ce dernier.

Le coefficient d'irrégularité du régime des précipitations annuelles (rapport du module de l'année la plus humide P_M à celui de l'année la plus sèche P_m) est en moyenne de 4.14 pour le bassin de la Seybouse. Il varie de 2.26 (140606) jusqu'à plus de 11.09 (140205). Les stations qui enregistrent une moyenne ou grande

pluviométrie sont celle qui ont des coefficients d'irrégularité les plus faibles, tandis que celles qui présentent une faible pluviométrie ont des coefficients d'irrégularité les plus élevés. Ceci traduit une irrégularité aussi bien spatiale que temporelle du régime pluviométrique dans le bassin de la Seybouse. L'influence du relief ainsi que celle de la mer sont les causes essentielles.

La figure 3.1 représente les pluies moyennes interannuelles de différentes stations du bassin de la Seybouse.

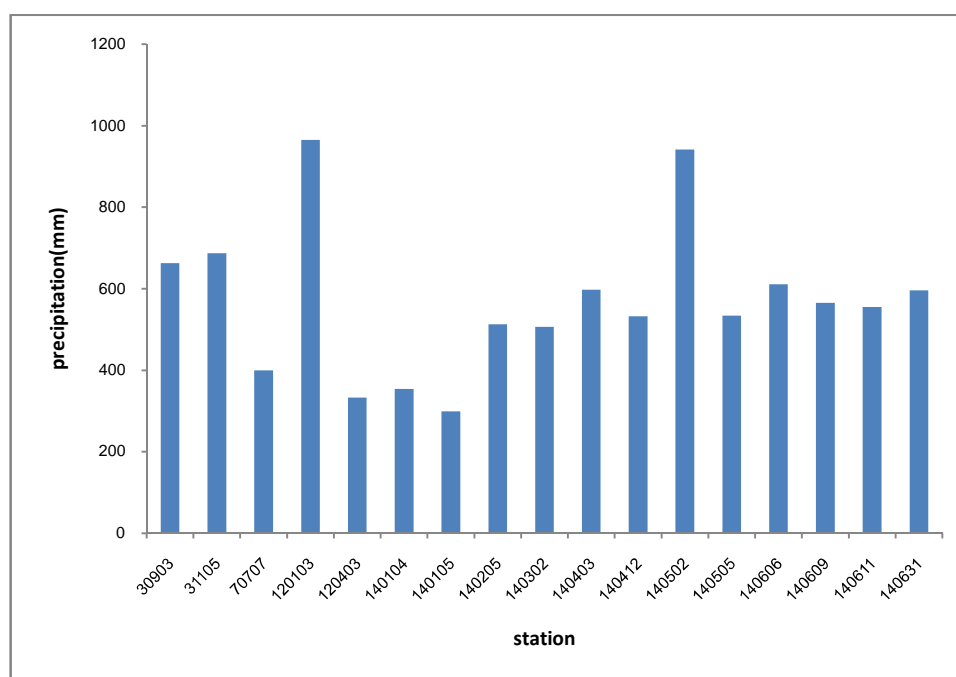


Figure 3.1 : Précipitations moyennes interannuelles aux stations pluviométriques du bassin Seybouse

3.3.2 Bassin Isser

Le tableau ci-dessous (tableau 3.2) illustre les hauteurs des pluies moyennes, maximales, minimales, nombre d'années qui ont enregistré des hauteurs supérieures aux moyennes et le rapport entre les valeurs extrêmes pour chaque station.

Tableau 3.2 : Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin Isser et ses limitrophes

Code station	Moyenne (mm)	Max (mm)	Année	Min (mm)	Année	Nbre d'années > moy	PM/Pm
050102	257.5	383.8	76/77	98.3	88/89	13	3.90
050103	300.1	508.2	94/95	81.7	83/84	13	6.22
090104	346.2	532.1	75/76	214.8	96/97	13	2.48
090201	429.4	795.631	94/95	215.7	96/97	12	3.69
090203	537.7	793.3	97/98	300.3	96/97	12	2.64
090205	310.9	511.5	79/80	85.2	96/97	13	6.00
090301	453.2	640	75/76	292.2	83/84	14	2.19
090302	348.7	506.1	75/76	229.2	96/79	13	2.21
090304	451.5	704.3	84/85	242.1	96/97	11	2.91
090314	397.8	757.6	78/79	173.3	97/98	10	4.37
090401	341.3	535.5	94/95	106.3	90/91	14	5.04
090402	482.1	743.5	75/76	268.5	96/97	13	2.77
090403	520.5	732.5	97/98	288.7	96/97	10	2.54
090413	407.3	639.7	75/76	181.7	96/97	12	3.52
090502	661.6	939.6	75/76	346.9	96/97	12	2.71
090503	710.2	1026.4	84/85	356.1	96/97	12	2.88
090506	705.8	1331.26	86/87	395.1	96/97	7	3.37
090510	628.1	831.6	91/92	402.5	96/97	12	2.07
090512	655.4	948.7	75/76	387.3	96/97	10	2.45
150101	403.1	571.6	92/93	166.0	83/84	13	3.44

La plus part des stations ont des hauteurs pluviométriques moyennes interannuelles comprises entre 400 et 500 mm, ces dernières se situent en majorité au centre du bassin à des altitudes varie entre 400 et 800 m, les stations qui ont des fortes pluviométries (> à 500 mm) sont celles qui se situent au nord du bassin plus proche de la mer ou qui ont des altitudes élevées. Le reste des stations qui situées loin de la mer (vers le sud) présentent de faible pluviométries (< à 400 mm).

Le coefficient d'irrégularité du régime des précipitations est en moyenne de 3.37 pour ce bassin. Il varie de 2.07 (090510) jusqu'à plus de 6.22 (050103). De même que précédemment, on remarque que les stations où la pluie est abondante ont des coefficients d'irrégularité les plus faibles, tandis que celle qui présentent une faible pluviométrie ont des coefficients d'irrégularité les plus élevés. Ceci traduit une irrégularité aussi bien spatiale que temporelle du régime pluviométrique dans le bassin d'Isser. L'influence du relief ainsi que celle de la mer sont les causes essentielles.

La figure 3.2 représente les pluies moyennes interannuelles de différentes stations du bassin de l'Isser.

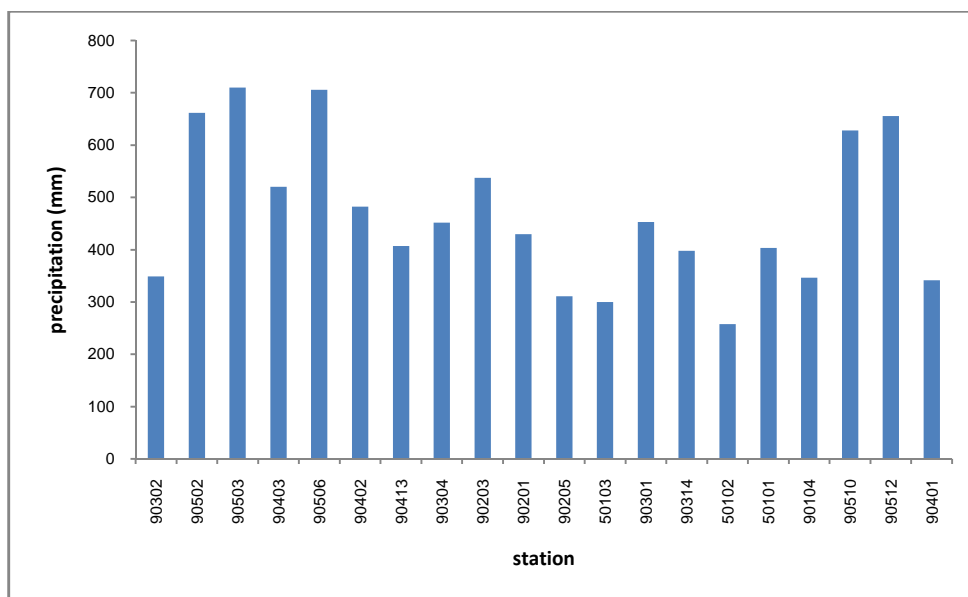


Figure 3.2 : Précipitation moyenne interannuelle aux stations pluviométriques du bassin Isser

3.3.3 Bassin Tafna

Le tableau ci-dessous (tableau 3.3) illustre les hauteurs des pluies moyennes, maximales, minimales, nombre d'années qui ont enregistré des hauteurs supérieures aux moyennes et le rapport entre les valeurs extrêmes pour chaque station.

Tableau 3.3 : Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin de la Tafna

Code station	Moy (mm)	Max (mm)	Année	Min (mm)	Année	Nbre d'années > moy	PM/Pm
160303	244.0	415.6	80/81	121.4	82/83	10	3.42
160401	373.9	694	95/96	222.2	96/97	10	3.12
160403	396.3	597.4	95/96	210.5	82/83	11	2.84
160406	372.6	713.1	95/96	114.4	98/99	12	6.23
160407	400.8	618.7	80/81	228.4	81/82	12	2.71
160410	356.4	627.5	95/96	233.9	87/88	10	2.68
160501	221.3	370	75/76	74.1	82/83	10	4.99
160502	371.9	514.9	80/81	227	82/83	11	2.27
160507	514.6	726.5	75/76	341.5	78/79	11	2.13
160517	358.7	504.7	80/81	236.6	82/83	11	2.13
160518	265.6	473.4	81/82	149.8	87/88	9	3.16
160601	276.6	465.3	80/81	133	82/83	11	3.5
160602	385.9	617.7	95/96	252.6	87/88	9	2.45
160610	400.7	610.7	75/76	218.4	87/88	12	2.8
160701	575.5	840.2	95/96	353	87/88	10	2.38
160702	305.3	494.2	80/81	135.6	81/82	14	3.64
160715	393.3	560.2	80/81	209.2	82/83	12	2.68
160802	336.7	541.5	1995	212.3	87/88	12	2.55

D'une manière générale les moyennes pluviométriques interannuelles dans ce bassin sont faibles de l'ordre de 200 mm à 400 mm, les plus faibles sont enregistrées dans l'ouest du bassin. Les stations 160701 et 160507 présentent des moyennes un peu élevée (> 500 mm), ces stations se situées dans les monts de Tlemcen à des altitudes plus élevées.

Le coefficient d'irrégularité est en moyenne de 3.09 pour le bassin de la Tafna. Il varie de 2.13 (160517 et 160507) jusqu'à 6.23 (160406). De même que précédemment, on remarque que les stations où la pluie est abondante ont des coefficients d'irrégularité les plus faibles, tandis que celle qui présentent une faible pluviométrie ont des coefficients d'irrégularité les plus élevés. Ceci traduit une irrégularité aussi bien spatiale que temporelle du régime pluviométrique dans ce bassin. Ceci s'explique par l'influence du relief ainsi que celle de la mer.

La figure 3.3 représente les pluies moyennes interannuelles de différentes stations du bassin de la Tafna.

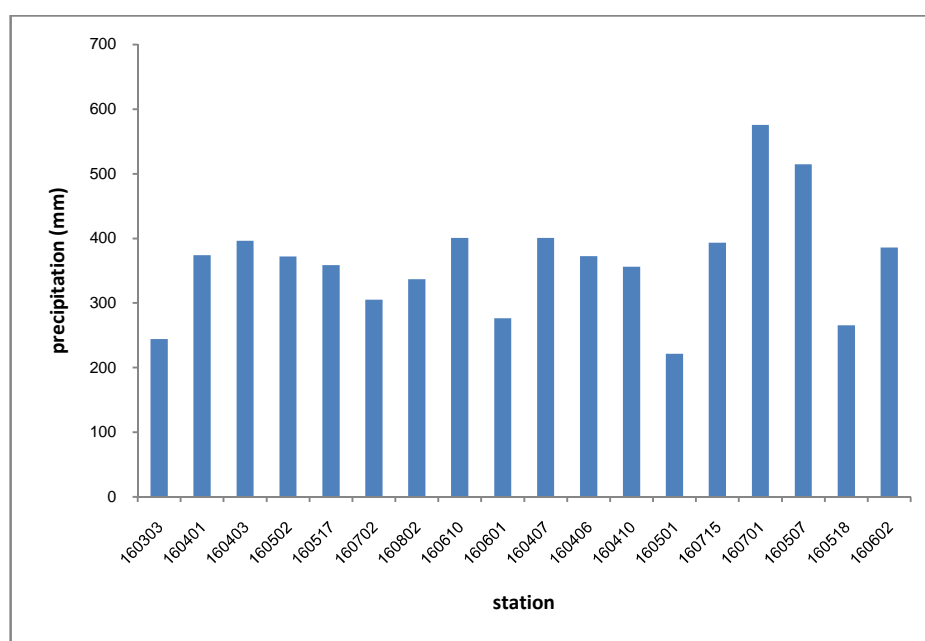


Figure 3.3 : Précipitation moyenne annuelle aux stations pluviométriques du bassin Tafna

Enfin on peut conclure que la répartition des pluies du nord de l'Algérie subit quatre influences : celle de l'altitude, les conditions topographiques, la longitude et enfin celle de l'éloignement de la mer. Ainsi nous avons pu montrer que cette répartition obéit aux trois lois suivantes :

- La hauteur de la pluie augmente avec l'altitude, les stations situées sur les monts de Tlemcen dans le bassin de la Tafna est un bon exemple ;
- Elle augmente de l'ouest à l'est ;
- Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

Ce résultat vient confirmer les constatations faites par plusieurs chercheurs qui ont travaillé sur les précipitations du Nord de l'Algérie [12], [24], [25], [26], [27].

3.4 Étude de la variabilité temporelle des pluies

Aux variations spatiales des précipitations annuelles s'ajoutent des variations temporelles. L'analyse de ces dernières sur un bassin versant passe par la détermination d'une série de pluies moyennes spatiale sur ce bassin. Cela rendu possible à travers différentes méthodes mise en œuvre par plusieurs auteurs. Cette détermination est très importante car la pluie est l'un des processus hydrologiques les plus variables non seulement dans le temps mais aussi dans l'espace en fonction des paramètres régionaux et/ou locaux comme la vitesse du vent ou la topographie.

3.4.1 Établissement d'une série moyenne des pluies annuelles pour chaque bassin

3.4.1.1 Méthodes de calcul de la pluie moyenne d'un bassin versant

La pluie moyenne sur un bassin versant peut être évalué a partir de données ponctuelles obtenus en plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité, plusieurs méthodes permet cette évaluation telle que ; la moyenne arithmétique, la moyenne analytiques, la méthode des isohyètes et celle de Thiessen.

3.4.1.1.1 Moyenne arithmétique

Cette méthode peut donner des résultats médiocres même dans une région de pluviosité homogène, car une averse particulière peut avoir une distribution spatiale hétérogène.

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n p_i \quad (3-1)$$

P_i : Précipitation à la station i ;

N : nombre total des stations pluviométrique.

3.4.1.1.2 La moyenne analytique

Cette méthode utilise la corrélation qui existe entre les précipitations et les altitudes.

3.4.1.1.3 Méthode des isohyètes

La méthode des isohyètes est plus précise que celle de Thiessen mais plus laborieuse. Si l'on dispose des cartes d'isohyètes dans la région d'étude, il est plus important de les utiliser directement. Dans le cas contraire, il faut tracer le réseau d'isohyètes du bassin à partir d'observations.

Lorsque l'on trace le réseau d'isohyètes, il faut tenir compte des stations qui se trouvent à l'extérieur du bassin (ceci reste valable pour la méthode de Thiessen). La précipitation moyenne est calculée par la formule :

$$p_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \bar{p}_i}{S} \quad (3-2)$$

Avec :

\bar{p}_i : Précipitation moyenne pour la surface i ;

$$\bar{p}_i = \frac{p_i + p_{i+1}}{2} \quad (3-3)$$

S : surface totale du bassin ;

S_i : surface comprise entre 2 isohyètes consécutives P_i et P_{i+1} .

3.4.1.1.4 Méthode de Theissen

C'est une méthode purement géométrique et très utilisée, elle permet d'identifier à partir de la densité du réseau pluviométrique, les zones d'influences et la précipitation moyenne, Cette dernière est donnée par la formule :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S} \quad (3-4)$$

Avec :

S_i : surface d'influence du pluviomètre i ;

P_i : précipitation au poste i ;

S : surface du bassin versant.

Le principe de cette méthode est le suivant :

- Les stations pluviométriques sont reportées sur le bassin versant selon leurs coordonnées Lambert ;
- Des séries de droites sont tracées reliant les postes pluviométriques deux à deux sans s'entrecouper, formant ainsi des triangles ;
- Au milieu de chaque coté du triangle, une médiatrice est tracée ;
- L'intersection des médiatrices des triangles délimite la zone d'influence de chaque poste pluviométrique ;
- La surface affectée à chaque poste pluviométrique et planimétrie permettant de calculer la pluie moyenne sur l'ensemble du bassin.

3.4.1.2 Tracé du polygone de Theissen pour les bassins étudiés

Parmi les méthodes citées plus haut celle du polygone de Theissen est la plus pratique et la plus utilisée, pour cela cette dernière est utilisée dans ce travail.

Les tracés des polygones de Theissen pour la détermination des surfaces d'influences de chaque poste pluviométrique sont montrés dans les figures suivantes :

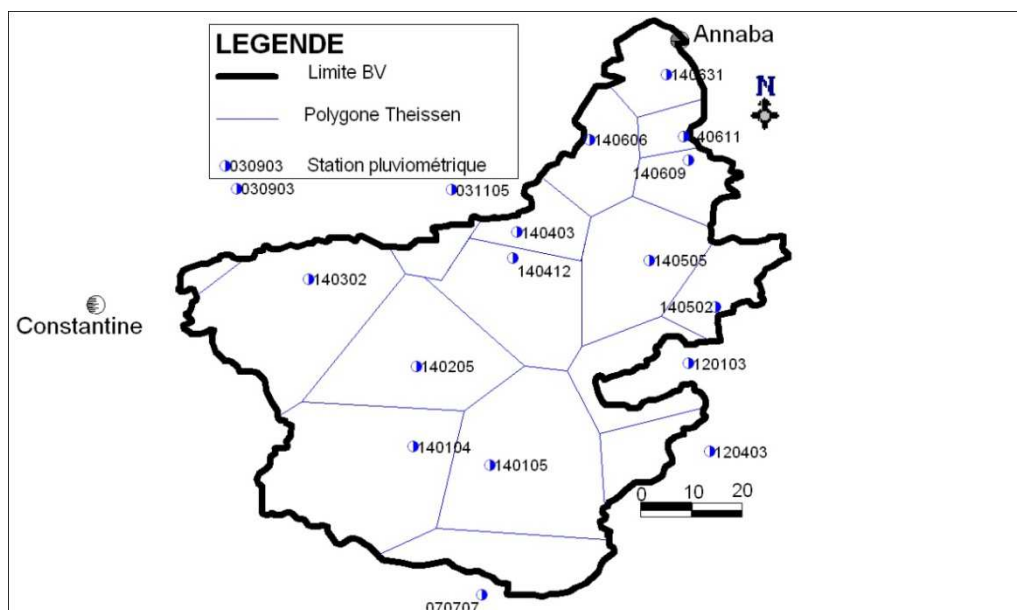


Figure 3.4 : Tracé du polygone de Thiessen pour le bassin de la Seybouse

Tableau 3.4 : Surfaces d'influences de chaque station calculées par la méthode de Thiessen du bassin Seybouse

Code station	Surface (Km ²)	Code station	Surface (Km ²)
030903	46.4954	120403	188.0597
140302	835.2635	120103	274.0662
140104	871.8258	140502	253.2533
070707	362.1417	140505	495.3759
140105	852.6218	140609	209.7162
140205	654.3590	140631	237.3258
031105	101.4625	140611	101.2051
140403	199.0859	140606	291.9235
140412	503.8276		

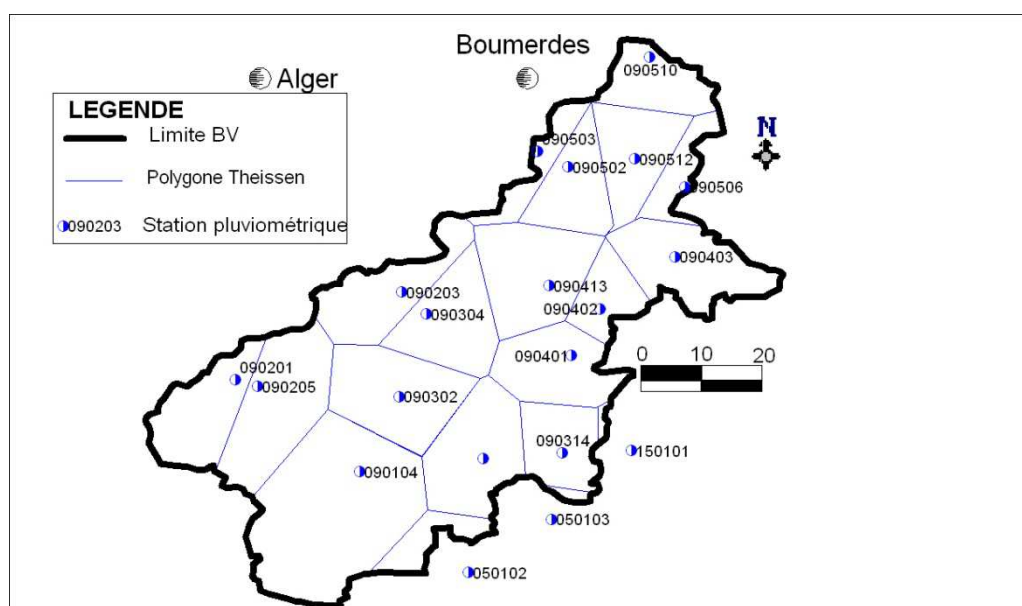


Figure 3.5 : Tracé du polygone de Thiessen pour le bassin d'Isser

Tableau 3.5 : Surfaces d'influences de chaque station calculées par la méthode de Thiessen du bassin Isser

Code station	Surface (Km ²)	Code station	Surface (Km ²)
090205	224.6889	090304	235.6206
090201	319.6865	090401	225.1917
090203	234.8507	090402	123.2361
090104	645.1223	090413	288.8982
050102	91.4225	090403	269.3215
090301	277.9485	090510	162.5316
050103	12.4748	090506	96.3060
150101	9.8313	090512	198.6339
090314	166.8723	090502	178.0257
090302	293.3421	090503	99.0964

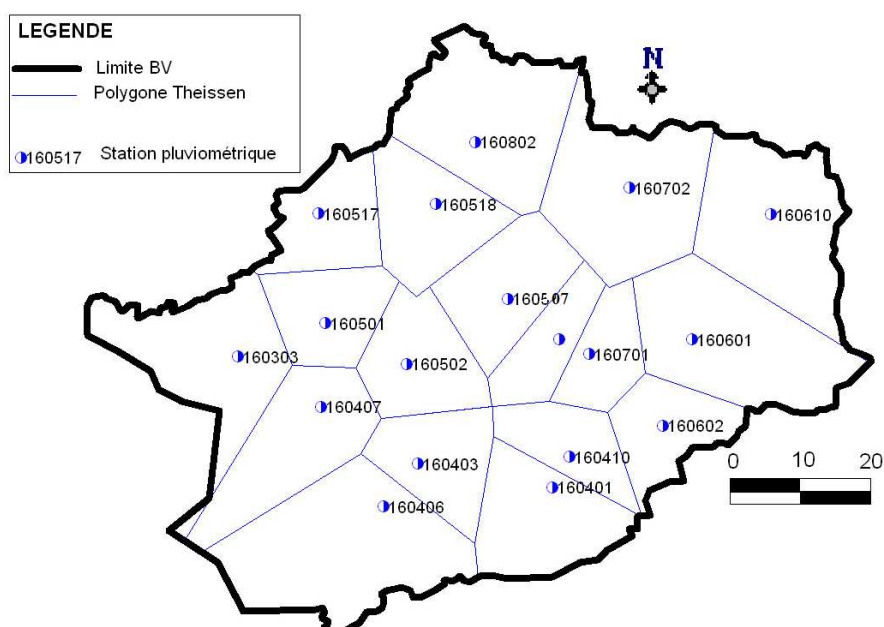


Figure 3.6 : Tracé du polygone de Thiessen pour le bassin de la Tafna

Tableau 3.6 : Surfaces d'influences de chaque station calculées par la méthode de Thiessen du bassin Tafna

Code station	Surface (Km ²)	Code station	Surface (Km ²)
160303	385.8728	160517	207.5503
160401	283.3044	160518	253.7095
160403	211.9518	160601	441.938
160406	529.3307	160602	193.8794
160407	319.2368	160610	418.2467
160410	167.8237	160701	144.5377
160501	198.8067	160702	426.1566
160502	230.9810	160715	147.5447
160507	248.8272	160802	420.1800

3.4.1.3 Constitution de la série synthétique

Afin d'obtenir une pluie moyenne représentative pour chaque bassin nous devons construire une série dite synthétique en utilisant la méthode de Thiessen.

Le tableau suivant représente les données de la pluie moyenne calculées par cette méthode.

Tableau 3.7: Constitution de la série synthétique pour chaque bassin

Année	Pluies moyennes Seybouse (mm)	Pluies moyennes Isser (mm)	Pluies moyennes Tafna (mm)
1975	507.9	622.1	464.6
1976	561.0	410.8	423.2
1977	419.4	396.8	349.4
1978	461.4	494.5	336.2
1979	474.2	571.4	458.4
1980	523.0	473.7	491.3
1981	515.6	455.2	245.0
1982	383.9	433.3	219.5
1983	580.8	393.5	294.9
1984	696.3	539.4	296.7
1985	375.6	468.4	403.5
1986	673.6	510.4	421.4
1987	342.8	335.2	225.3
1988	409.3	416.0	292.5
1989	406.4	351.4	303.5
1990	604.1	402.5	421.4
1991	590.8	546.1	426.9
1992	543.5	378.1	300.7
1993	368.0	349.4	307.6
1994	492.9	538.1	354.6
1995	640.0	483.0	499.7
1996	275.8	258.8	282.6
1997	647.4	550.0	350.9
1998	658.6	439.1	278.0

3.4.2 Variation temporelle des pluies annuelles

Après avoir déterminé les séries synthétiques représentatives de chaque bassin, nous allons étudier dans ce paragraphe la variation interannuelle des pluies moyennes annuelles. Les figures ci-dessous donnent l'allure générale de cette variabilité sur la période étudiée (75/76 jusqu'à 98/99).

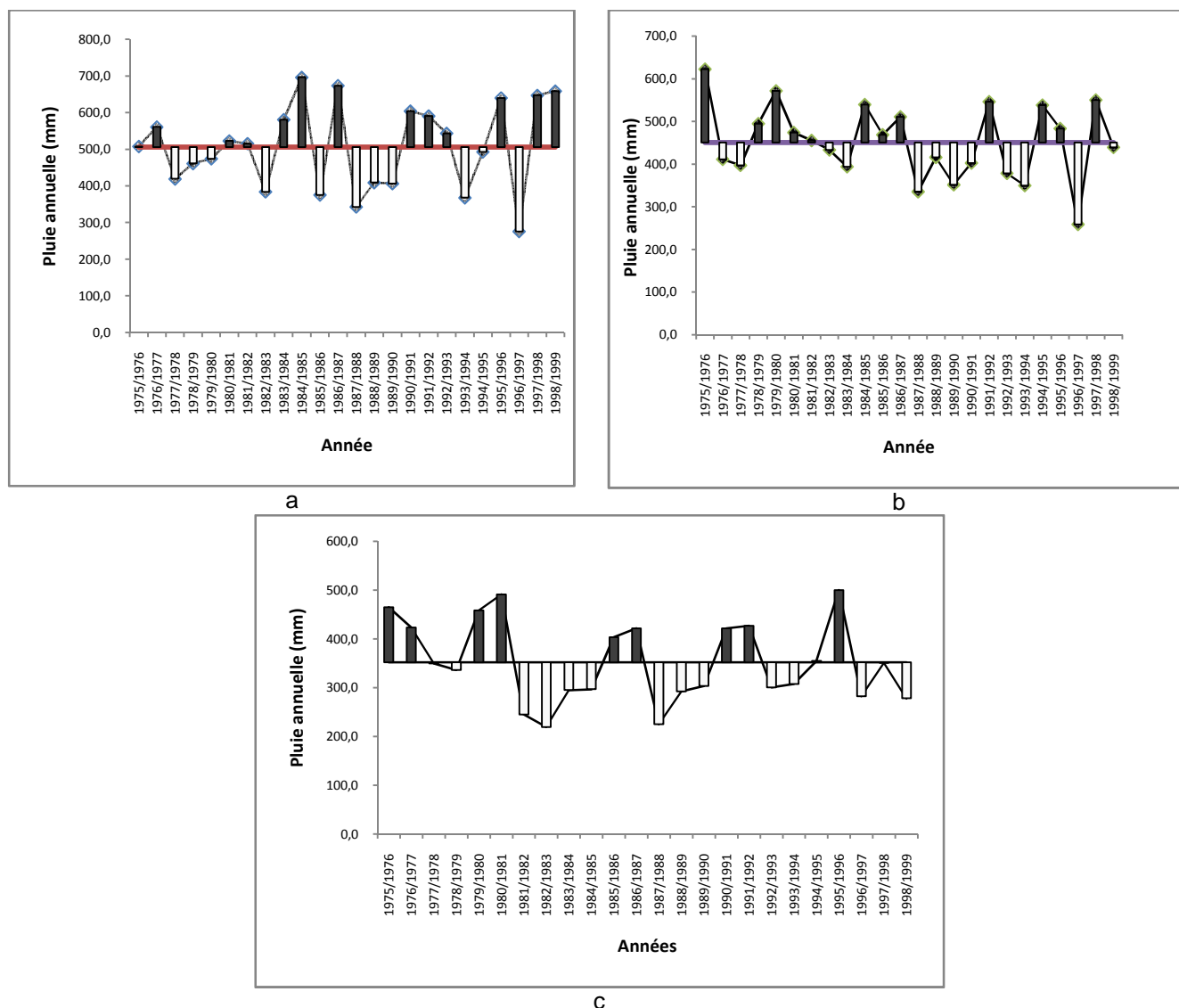


Figure 3.7 : Variabilité temporelle de la pluie annuelle moyenne sur les trois bassins étudiés : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna

A partir de ces figures, on remarque l'irrégularité de la distribution des pluies sur les 24 ans étudiés pour chaque bassin, aussi on observe une alternance entre des périodes sèches et humides dans les trois régions, les différentiations les plus marquées sont ; celle concernant la moyenne interannuelle qui est de l'ordre de 506.3 mm au Seybouse, 450 mm à Isser et 350 mm au niveau de la Tafna, ainsi que le nombre des années sèches qui est plus grand au niveau de la Tafna qu'à celui de Seybouse et Isser, avec une tendance déficitaire pour le bassin de la Tafna observée à partir de l'année 81/82.

Le phénomène de variabilité interannuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation (C_v) traduisant la dispersion relative des pluies, ce dernier est donné par la formule suivante :

$$C_v = \frac{S_e}{\bar{x}} \quad (3-5)$$

Avec :

S_e : Écart type empirique (racine carrée empirique de la variance) ;

\bar{x} : Moyenne de l'échantillon pluviométrique (la somme des hauteurs des pluies sur le nombre d'années d'observations pour les modules annuelles).

Les tableaux 3.8, 3.9 et 3.10 donnent les résultats de calcul de ces paramètres pour les stations représentatives de chaque bassin, les résultats de toutes les stations sont reportés en appendice E.

Tableau 3.8 : Moyenne, écart-type et coefficient de variation des séries pluviométriques 1975-1998 du bassin Seybouse

Code station	Caractéristiques	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
140104	Moyenne (mm)	27.36	21.39	29.53	43.56	40.74	39.42	43.64	38.56	39.38	16.47	6.67	7.23	353.94
	Écart-type	27.99	17.70	24.11	48.42	32.63	35.79	23.71	32.61	30.52	16.93	10.77	9.04	104.62
	Cv	1.02	0.83	0.82	1.11	0.80	0.91	0.54	0.85	0.78	1.03	1.61	1.25	0.30
140302	Moyenne (mm)	29.10	38.20	60.56	82.65	67.34	61.63	58.37	45.83	37.85	13.36	4.00	7.98	506.86
	Écart-type	24.55	30.44	46.19	83.19	48.67	58.53	42.15	26.33	27.94	16.51	6.71	10.82	158.23
	Cv	0.84	0.80	0.76	1.01	0.72	0.95	0.72	0.57	0.74	1.24	1.68	1.36	0.31
140403	Moyenne (mm)	31.30	52.34	73.06	85.25	81.71	73.23	67.09	59.71	41.65	17.78	5.51	8.76	597.38
	Écart-type	26.99	43.52	55.65	70.84	47.95	60.57	33.92	44.06	31.63	17.39	10.53	12.64	156.63
	Cv	0.86	0.83	0.76	0.83	0.59	0.83	0.51	0.74	0.76	0.98	1.91	1.44	0.26
140502	Moyenne (mm)	44.65	79.32	123.00	117.50	114.37	112.69	128.24	100.98	88.11	24.77	3.16	4.53	941.36
	Écart-type	60.30	60.96	91.84	97.28	61.60	98.91	81.82	60.37	69.92	23.40	8.03	7.53	402.38
	Cv	1.35	0.77	0.75	0.83	0.54	0.88	0.64	0.60	0.79	0.94	2.54	1.66	0.43
140606	Moyenne (mm)	34.86	61.86	82.18	86.88	88.00	67.75	65.68	60.75	39.18	13.85	2.59	7.44	610.99
	Écart-type	30.78	46.20	53.27	59.00	40.03	41.29	34.67	35.66	27.37	11.76	5.69	8.81	132.56
	Cv	0.88	0.75	0.65	0.68	0.45	0.61	0.53	0.59	0.70	0.85	2.20	1.19	0.22

Tableau 3.9 : Moyenne, écart-type et coefficient de variation des séries pluviométriques 1975-1998 du bassin Isser

Code station	Caractéristiques	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
090302	Moyenne (mm)	21.75	30.94	39.34	39.37	43.76	39.89	38.21	38.06	35.91	12.36	7.06	6.84	348.73
	Écart-type	20.83	27.05	24.37	30	31.32	26.26	28.4	22.71	35.59	13.2	14.15	9.43	78.9
	Cv	0.96	0.87	0.62	0.76	0.72	0.66	0.74	0.6	0.99	1.07	2	1.38	0.23
090502	Moyenne (mm)	27.56	56.88	89.19	99.77	89.1	88.81	71.54	69.16	48.56	11.98	7.63	7.94	661.58
	Écart-type	20.31	36.57	55.01	66.33	55.68	68.55	57.46	47.38	47.72	14.41	14.05	11.84	148.28
	Cv	0.74	0.64	0.62	0.66	0.62	0.77	0.8	0.69	0.98	1.2	1.84	1.49	0.22
090403	Moyenne (mm)	28.71	47.41	72.6	81.57	70.2	74.48	64.34	54.43	42.68	8.79	4.44	7.38	520.53
	Écart-type	30.37	33.61	44.94	57.69	43.21	52.47	48.13	32.11	38.59	9.8	8.04	9.94	126.1
	Cv	1.06	0.71	0.62	0.71	0.62	0.7	0.75	0.59	0.9	1.11	1.81	1.35	0.24
090203	Moyenne (mm)	26.78	45.87	67.46	81.66	79.58	67.94	56.4	52.3	38.14	10.18	3.82	7.57	537.69
	Écart-type	28.04	40.24	47.97	61.08	67.62	60.5	44.91	36.66	37.31	9.92	7.09	11.58	132.78
	Cv	1.05	0.88	0.71	0.75	0.85	0.89	0.8	0.7	0.98	0.97	1.85	1.53	0.25
090104	Moyenne (mm)	23.59	30.95	33.41	40.23	43.04	35.27	34.7	40.96	36.25	9.06	8.81	9.91	346.17
	Écart-type	26	23.06	25.11	35.74	35.32	25.42	29.24	26.99	34.66	7.54	19.17	11.3	81
	Cv	1.1	0.75	0.75	0.89	0.82	0.72	0.84	0.66	0.96	0.83	2.18	1.14	0.23

Tableau 3.10 : Moyenne, écart-type et coefficient de variation des séries pluviométriques 1975-1998 du bassin Tafna

Code station	Caractéristiques	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
160501	Moyenne (mm)	10.94	16	25.15	25.32	26.12	34.62	34.24	23.08	19.1	3.88	0.69	2.22	221.36
	Écart-type	11.99	18.98	25.06	30.28	20.72	26.56	33.3	24.44	20.15	8.49	1.64	5.64	83.51
	Cv	1.1	1.19	1	1.2	0.79	0.77	0.97	1.06	1.05	2.19	2.39	2.54	0.38
160715	Moyenne (mm)	17.51	24.84	48.33	42.85	49.97	56.53	59.15	42.22	38.15	6.78	2.91	4.12	393.36
	Écart-type	17.71	22.01	31.65	41.63	39.31	39.05	53.73	39.43	34.37	10.93	5.74	5.14	94.81
	Cv	1.01	0.89	0.65	0.97	0.79	0.69	0.91	0.93	0.9	1.61	1.98	1.25	0.24
160406	Moyenne (mm)	9.78	22.36	37.78	44.1	53.96	55.51	57.75	40.09	32.46	10.68	4.08	4.03	372.6
	Écart-type	10.82	23.39	25.75	46.5	39.78	50.56	62.11	43.96	35.27	29.62	8.85	6.14	138.32
	Cv	1.11	1.05	0.68	1.05	0.74	0.91	1.08	1.1	1.09	2.77	2.17	1.52	0.37
160303	Moyenne (mm)	9.35	20.76	29.95	26.99	27.53	34.18	35.43	28.26	22	5.47	1.28	2.87	244.06
	Écart-type	13.12	28.83	27.62	27.07	21.52	23.95	32.82	24.78	20.02	15.11	2.25	5.8	78.56
	Cv	1.4	1.39	0.92	1	0.78	0.7	0.93	0.88	0.91	2.76	1.75	2.02	0.32
160802	Moyenne	11.35	22.5	42.68	35.94	42.37	45.84	44.91	28.03	24.2	5.01	0.78	1.72	305.33
	Écart-type	12.63	24.3	33.79	36.23	35.69	39.69	34.75	24.95	23.61	12.8	1.6	5.03	84.7
	Cv	1.11	1.08	0.79	1.01	0.84	0.87	0.77	0.89	0.98	2.55	2.05	2.93	0.28
160610	Moyenne (mm)	14.58	23.15	38.48	41.9	45.87	50.59	50.4	31.46	29.13	8.04	2.22	3.04	336.75
	Écart-type	16.67	25.48	26.43	35.4	32.87	44.99	45.87	21.37	26.76	17.21	4.76	7.54	91.22
	Cv	1.14	1.1	0.69	0.85	0.72	0.89	0.91	0.68	0.92	2.14	2.15	2.48	0.27

Les variations temporelles des précipitations annuelles restent, toutefois moins marquées qu'à l'échelle mensuelle. Les valeurs du coefficient de variation relatives à la période (1975-1998) pour les différentes stations oscillent entre 0.22 et 0.38 pour les stations du bassin de Seybouse, 0.19 et 0.38 pour les stations de Isser et entre 0.22 et 0.38 pour le Tafna, ce qui implique une variabilité assez faible dans l'ensemble, par rapport à la variabilité des précipitations mensuelles qui s'exprime parfois par un coefficient de variation 10 fois plus élevé.

Il est à remarquer que la variabilité interannuelle est légèrement plus forte dans les stations à faible pluviométrie, autrement dit, l'irrégularité pluviométrique s'accroît là où la hauteur de pluie est la plus faible.

3.4.3 Pluies mensuelles et les régimes saisonniers

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là même le régime des cours d'eau, l'érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension. Cependant, si le phénomène de variabilité des précipitations mensuelles ou saisonnières se prête facilement à l'analyse, vu son caractère tranché dans les bassins, il est néanmoins, malaisé de définir des saisons pluviométriques spatialement homogènes et ce, en raison des différences de régimes de précipitations déterminés eux-mêmes par des variantes à la fois géographiques et météorologiques.

Les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période (1975/1998), traduisent clairement les variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle. Ainsi, on peut distinguer (figure 3.8 et 3.9) deux périodes distinctes :

- Une période sèche qui correspond à la saison d'été (juin, juillet et août) caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué ;
- Une période humide qui correspond au reste de l'année ; cependant, il faut souligner que cette période pluvieuse est elle aussi marquée par une succession de mois humides et de mois relativement secs.

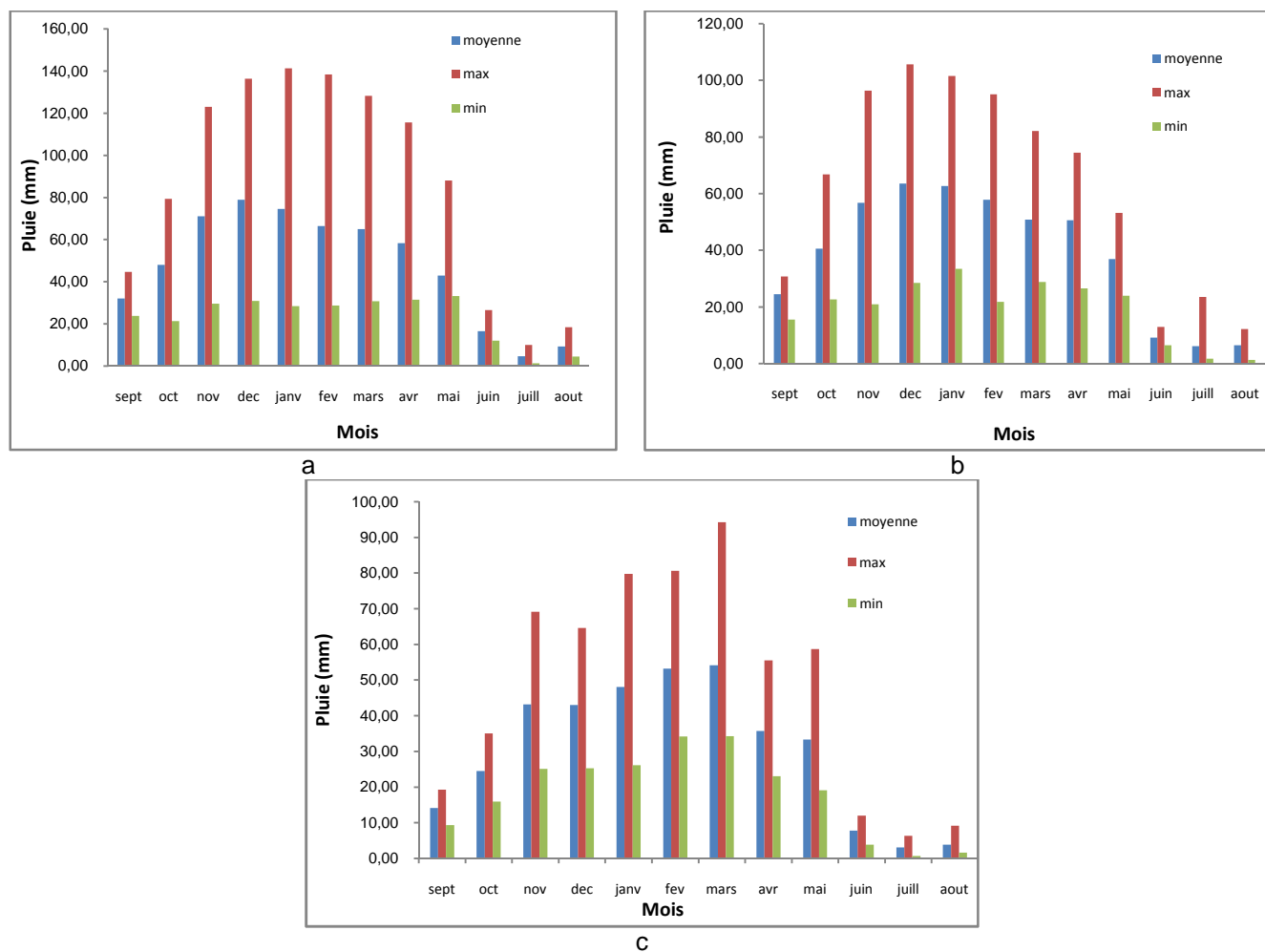


Figure 3.8 : Variations mensuelles des précipitations dans les bassins :

Seybouse, b) Isser et c) Tafna

Aussi on remarque que le mois le plus pluvieux diffère d'un bassin à l'autre. Au Seybouse, janvier est le mois le plus pluvieux avec une hauteur d'environ 140 mm, au Isser c'est décembre qui reçoit la plus grande partie des pluies annuelles avec une hauteur moyenne d'environ 110 mm, tandis qu'au Tafna le moi de mars est le plus pluvieux avec une hauteur d'environ 90 mm, mais en générale le moi le plus pluvieux se situe en hiver (décembre, janvier et février) et les mois les plus secs sont représentés par juillet et Août.

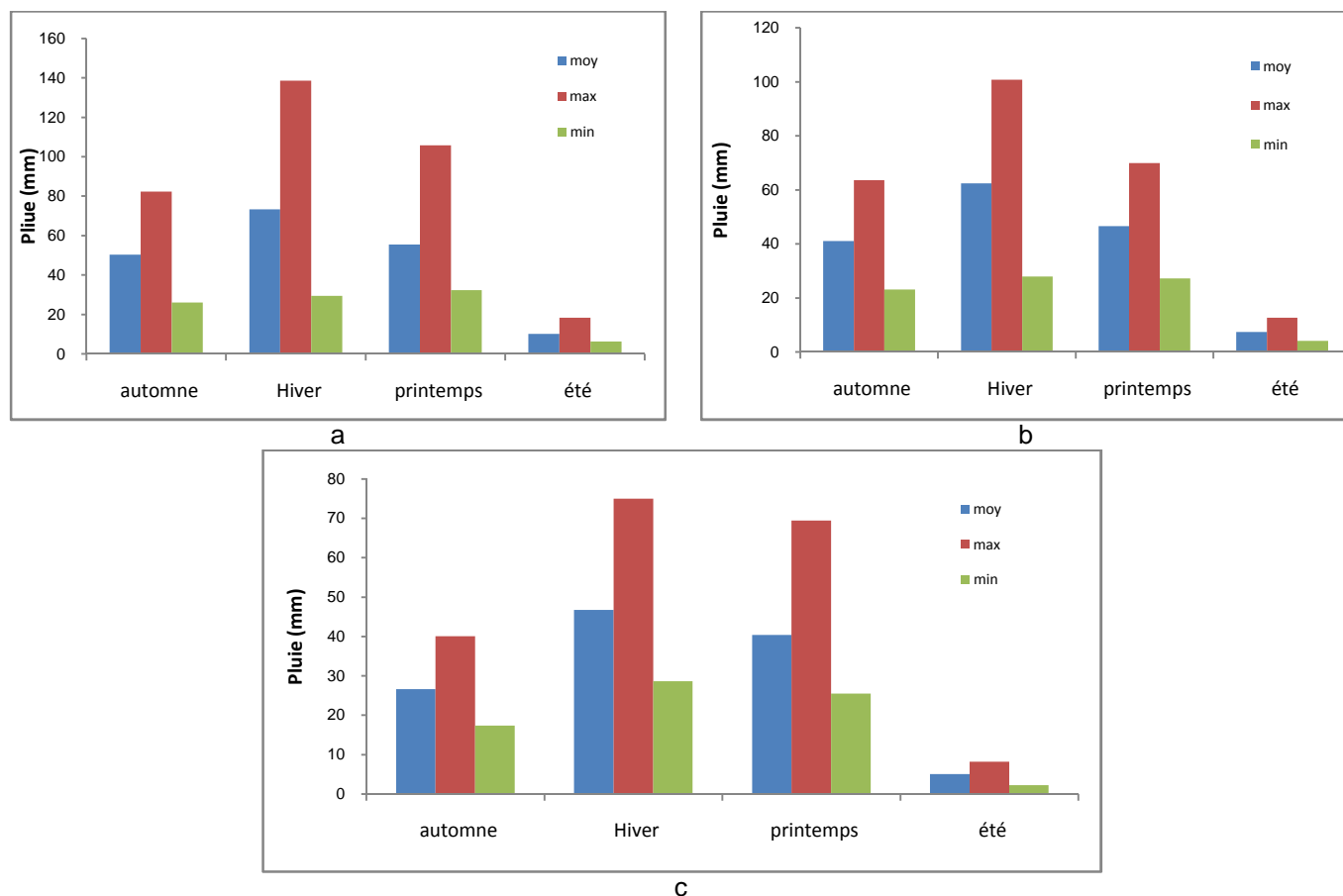


Figure 3.9 : Variation saisonnière des précipitations dans les bassins :

a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna

La forte variabilité intermensuelle des précipitations, apparaît à travers les valeurs élevées des coefficients de variation mensuelle (tableau 3.8, 3.9 et 3.10). Les plus fortes valeurs concernent les mois d'été où il est compris entre 1 et 3. Cette variabilité s'explique par une indigence pluviométrique des mois secs d'été.

3.5 Analyse fréquentielle des pluies annuelles

Pour mieux cerner l'irrégularité inter annuelle des pluies qui a un rôle essentiel et décisif sur l'écoulement fluvial et afin de caractériser le régime des précipitations annuelles, nous allons essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles dans le but d'aboutir à une estimation des paramètres d'ajustement et calculer les variables réduites.

Nous avons utilisés le logiciel HYFRAN pour l'ajustement des séries pluviométriques des modules moyennes annuelles de différentes stations.

HYFRAN est un logiciel permettant d'ajuster différentes lois statistiques à un échantillon d'observations indépendantes et identiquement distribuées. Ce logiciel a été développé par l'équipe de la Chaire CRSNG/Hydro Québec en hydrologie statistique de l'Institut national de la recherche scientifique du Canada.

3.5.1 Procédé d'une analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle d'un échantillon de données consiste en :

- Classement des valeurs observées de l'échantillon étudié par ordre croissant ou décroissant selon que l'on travail en probabilité au dépassement ou au non dépassement ;
- Choix d'une formule empirique adéquate à l'estimation des probabilités empiriques des valeurs observées ;
- Ajustement d'une loi théorique à l'échantillon étudié ;
- Application d'un test d'adéquation pour vérifier le bon ajustement de la loi théorique utilisée avec l'échantillon de données observées ;
- Calcul des intervalles de confiance ;
- Choix du modèle le plus adéquat à l'estimation des valeurs non observées des échantillons utilisées.

3.5.1.1 Choix de la formule empirique

La détermination de la formule de probabilité empirique (FPE) a toujours été un défi pour l'hydrologue depuis l'adoption des méthodes probabilistes. De nombreuses formules ont été proposées par différents auteurs et de bonnes études de synthèse existent dans la littérature, par exemple : CUNNANE [28], JI et al. [29], HARTER [30], BEARD [31], WEIBULL [32], [33], BERNARD et BOS-LEVENBACH ([33], CHEGODAYEV ([34], GUMBEL [35] et HAZEN [36].

Ces formules sont cependant assez semblables d'un point de vue pratique, ce qui laisse supposer que des efforts supplémentaires sur ce sujet seraient peut justifier.

Le choix de ces formules est basé sur :

- Les fréquences échantionnelles : en prend en compte uniquement les fréquences cumulées des observations ;
- La distribution des fréquences échantillonnelles : que les FPE devraient être indépendantes de la distribution parente mais est basée non pas sur les fréquences échantillonnelles elles-mêmes, mais sur leur distribution ;
- 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.

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 $p_n = 1$.

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

$$F [x(R_s)] = (R_s - a_p) / (n - 2a_p + 1) \quad (3-6)$$

Avec :

R_s : statistique d'ordre de la valeur observée ;

n : taille totale de l'échantillon utilisé ;

a_p : paramètre de formule ; $0 \leq a \leq 0.5$:

$a_p = 0.00 \Rightarrow$ formule de WEIBULL ;

$a_p = 0.30 \Rightarrow$ formule de CHEGODAYEV ;

$a_p = 0.40 \Rightarrow$ formule de CUNNANE ;

$a_p = 0.44 \Rightarrow$ formule de GRINGORTER ;

$a_p = 0.5 \Rightarrow$ formule de HAZEN.

Dans ce travail la formule de HAZEN a été choisie vue ; sa simplicité, sa large utilisation et sa meilleure adaptation aux échantillons de petite taille tel qu'il est le cas ici.

3.5.1.2 Ajustement d'une loi théorique à un échantillon de données

L'ajustement d'une loi théorique à un échantillon de données, consiste en la détermination des paramètres de cette loi qui nous donnent la meilleure approximation possible des valeurs observées. A cet effet, deux problèmes qui se posent : quelle loi théorique doit-on utilisée et quelle est la méthode d'ajustement qui donne les meilleures approximations.

3.5.1.2.1 Choix de la loi théorique

Plusieurs lois ont été utilisées en hydrologie, mais l'expérience montre que les distributions des pluies annuelles s'ajustent bien avec les lois : normale ou loi de Gauss et loi Log normal. Pour cela ces lois seront utilisées dans ce travail.

a) Loi normale ou loi de Gauss

Une variable appartienne à la distribution normale lorsque sa fonction de répartition est de la forme :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} \quad (3-7)$$

Avec :

$F(x)$: Fréquence au non dépassement de la variable x ;

u : variable réduite de Gauss, elle est donnée par :

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (3-8)$$

\bar{x} : Moyenne de la variable aléatoire ;

σ : Le paramètre de dispersion ou l'écart-type, racine carrée de la variance ($\sqrt{\sigma^2}$) ;

σ^2 : La variance donnée par :

$$\sigma^2 = \frac{1}{1-N} \left[\sum x_i^2 - N\bar{x}^2 \right] \quad (3-9)$$

La transformation $x = \bar{x} + \sigma u$ est l'équation de la droite de Henry sur papier à probabilité gaussienne.

Une particularité de la loi normale est que le paramètre de tendance centrale ou de position \bar{x} et à la fois la moyenne, le mode et la médiane.

b) Loi Log normale ou loi de Galton

Une variable aléatoire X a une distribution log normale lorsque : $Y = \ln X$ suit la loi normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variables, Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} \quad (3-10)$$

La variable réduite u est de la forme :

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \quad (3-11)$$

3.5.1.2.2 Méthodes d'Ajustement d'une lois théorique à une distribution empirique

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. Parmi les méthodes les plus utilisées, on cite :

a) Méthode du Maximum de Vraisemblance

La probabilité d'avoir eu dans l'échantillon une valeur comprise entre $x_i + d_{x/2}$ et $x_i - d_{x/2}$ est, selon la loi définie par sa fonction de densité :

$$f(x_i, \alpha_1, \dots, \alpha_p) d_x = \Pr(x_i - d_{x/2} < X < x_i + d_{x/2}) \quad (3-12)$$

Si les valeurs x_i sont indépendantes, alors la probabilité d'avoir tirée (dans n'importe quel ordre) les n valeurs x_1, x_2, \dots, x_n (à plus ou moins $d_{x/2}$) est le produit

de ces n probabilités, c'est donc une fonction des p paramètres pour les n valeurs x_i données.

La méthode du maximum de vraisemblance consiste à maximiser cette probabilité, c'est à dire choisir les valeurs des p paramètres qui rendent cet échantillon le plus probable possible, au vu d'une loi choisie préalablement. La résolution analytique de cette maximisation est plus ou moins simple selon les lois.

b) Méthode des Moments

Soit $f(x, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p)$ la famille de lois (une expression théorique paramétrée), et soit un échantillon de n valeurs x_i de la variable X . Dans cette famille de lois, on choisira la loi spécifique (donc on choisira les valeurs spécifiques des paramètres $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$) telle que: p moments théoriques de cette loi $f(x, \dots)$ soient égaux aux : p moments empiriques correspondants, calculés sur les x_i .

D'où un système plus ou moins compliqué de p équations à p inconnues (les α_k), qui nécessite d'explicitier les relations entre les paramètres et l'expression théorique de ces moments.

Cette méthode donne pour de nombreuses lois des résultats simples, aussi est-elle couramment utilisée. Mais elle donne beaucoup de poids aux valeurs extrêmes, ce qui peut être problématique.

c) Méthode des Moments Pondérés

Comme dans la méthode des moments classiques, on va :

- définir des quantités que l'on peut exprimer théoriquement à l'aide des paramètres de la loi analytique ;
- et que l'on pourra estimer facilement à l'aide des données mais en faisant apparaître la probabilité associée à ces données.

Cela s'applique particulièrement à des lois facilement inversibles, où l'on peut facilement exprimer x en fonction de $F(x)$. Cette méthode a été introduite par GREENWOOD et al. [37].

Dans notre travail la méthode utilisée est celle du maximum de vraisemblance, vue ses caractéristiques forts intéressantes.

3.5.1.3 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 test d'adéquation consiste 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 à priori ou ajustée sur les observations.

3.5.1.3.1 Test du χ^2 de Pearson

Parmi tous les tests existants, le test du χ^2 de K. PEARSON est le plus pratique et le plus utilisé bien qu'il ne soit pas très puissant.

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 $i^{\text{ème}}$ classe et n'_i (> 5) le nombre théorique qui devrait s'y trouver ; on forme le terme suivant :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \quad (3-13)$$

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

$$n = K_s - p - 1 \quad (3-14)$$

Avec :

K_s : Nombre de classes ;

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

3.5.1.3.2 Le 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 $F(x)$ et la distribution expérimentale $F_0(x)$. 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 :

$$\hat{F}(x_{[r]}) = \frac{r}{n} \quad (3-5)$$

On définit alors la statistique d comme suit :

$$\begin{cases} d^+ = \text{Max} \left\{ \frac{r}{n} - F_0(x_{[r]}) \right\}, \forall r = 1, 2, \dots, n \\ d^- = \text{Max} \left\{ F_0(x_{[r]}) - \frac{r-1}{n} \right\}, \forall r = 1, 2, \dots, n \\ d = \text{Max} \{ d^+, d^- \} \end{cases} \quad (3-16)$$

3.5.1.3.3 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 :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [F(x) - F_0(x)]^2 w(x) dF(x) \quad (3-17)$$

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

Le cas standard D'ANDERSON-DARLING correspond à la fonction de pondération suivante :

$$w(x) = \frac{1}{F_0(x)[1 - F_0(x)]} \quad (3-18)$$

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

3.5.1.3.4 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 $i^{\text{ème}}$ 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 :

$$w_n^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((2i - 1) \text{Ln}[F(x_i)] + (2n - 2i + 1) \text{Ln}[F(x_i)]) \quad (3-19)$$

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

$$u = \frac{\text{Ln}[w_n^2 - 0.18/n^{1/4}] + 0.8 + 1/\sqrt{n}}{0.65} \quad (n \geq 10) \quad (3-20)$$

Le test de χ^2 de Pearson est le plus utilisé en hydrologie fréquentielle, et par conséquent, il sera utilisé dans ce travail.

3.5.2 Application aux échantillons utilisés

Le tableau qui suit donne quelques exemples des équations de la droite de Henry pour les lois normale et log normale, ainsi que les paramètres de ces dernières pour quelques stations de chaque bassin (une par sous bassin). Les résultats des autres stations sont reportés sur l'appendice F.

Tableau 3.11 : Paramètres des lois d'ajustement de quelques stations des trois bassins

Bassin	Station	Lois	μ	Σ	Droit de Henry
Seybouse	140104	normale	353.9	104.62	$Q=353.94+104.62*u$
		log normale	5.8	0.30	$\text{Log } Q=5.85+0.3*u$
	140302	normale	506.8	158.23	$Q=506.86+158.23*u$
		log normale	6.1	0.43	$\text{Log } Q= 6.16+0.43*u$
	140403	normale	597.3	156.63	$Q=597.38+156.63*u$
		log normale	6.3	0.28	$\text{Log } Q=6.36+0.28*u$
	140502	normale	941.3	402.38	$Q=941.36+402.38*u$
		log normale	6.7	0.47	$\text{Log } Q=6.75+0.47*u$
	140606	normale	610.9	132.56	$Q=610.99+132.56*u$
		log normale	6.3	0.22	$\text{Log } Q=6.39+0.22*u$
Isser	090104	normale	346.1	81.00	$Q=346.18+81*u$
		log normale	5.8	0.24	$\text{log}Q=5.82+0.24*u$
	090203	normale	537.7	132.78	$Q=537.7+132.78*u$
		log normale	6.2	0.26	$\text{Log } Q= 6.26+0.26*u$
	090302	normale	257.5	79.69	$Q=257.53+79.69*u$
		log normale	5.5	0.36	$\text{Log } Q= 5.5+0.36*u$
	090502	normale	661.5	148.28	$Q=661.58+148.28*u$
		log normale	6.4	0.24	$\text{Log } Q= 6.47+0.24*u$
	090413	Normale	407.2	128.19	$Q=407.2+128.19*u$
		Log normale	5.9	0.33	$\text{Log } Q= 5.9+0.33*u$
Tafna	160501	normale	221.3	83.51	$Q= 221.36+83.51*u$
		log normale	5.3	0.44	$\text{Log } Q= 5.32+0.44*u$
	160715	normale	393.3	94.81	$Q= 393.36+94.81*u$
		log normale	5.9	0.26	$\text{Log } Q= 5.94+0.26*u$
	160406	normale	372.6	138.32	$Q = 372.60+138.32*u$
		log normale	5.8	0.40	$\text{Log } Q= 5.85+0.4*u$
	160303	normale	244.0	78.56	$Q = 244+78.56*u$
		log normale	5.4	0.33	$\text{Log } Q = 5.45+0.33*u$
	160802	normale	1423.5	5471.63	$Q = 1423.55+5471.63*u$
		log normale	5.8	0.97	$\text{Log } Q = 5.87+0.97*u$
160610	normale	336.7	91.21	$Q = 336.79+91.21*u$	
	log normale	5.7	0.27	$\text{Log } Q =5.78+0.27*u$	

Le tableau 3.12 donne, à titre indicatif, les quantiles probables des pluies annuelles pour les périodes de retour les plus usuelles en hydrologie de quelques stations de chaque bassin. Pour le calcul des autres quantiles pour l'importe quelle station, nous pouvons utiliser la droite de HENRY en se référant à l'appendice F pour avoir les valeurs de μ , σ et u correspondantes.

Tableau 3.12 : Pluies annuelles en mm pour des périodes de récurrences données

Bassin	Station	Lois	Période de retour (ans)					
			2	5	10	100	1000	
Seybouse	140104	Normale	353.9	441.9	488.0	597.3	677.2	
		log normale	21.4	32.1	42.6	83.5	131.0	
	140302	Normale	506.8	640.0	709.6	875.0	995.8	
		log normale	473.4	443.9	825.6	1299.2	1809.5	
	140403	Normale	597.3	729.1	798.1	961.8	1081.4	
		log normale	651.0	731.5	918.8	1114.8	1384.5	
	140502	Normale	941.3	1280.0	1457.1	1877.6	2184.9	
		log normale	854.9	1266.1	1554.8	2531.9	3615.8	
	140606	Normale	610.9	722.5	780.8	919.4	1020.7	
		log normale	596.9	720.2	861.8	1003.4	1190.0	
	Isser	090302	Normale	257.5	324.5	359.6	442.9	503.8
			log normale	243.6	329.8	386.4	562.9	741.1
090502		Normale	661.5	324.5	851.6	1006.6	1119.8	
		log normale	644.1	790.6	880.1	1135.3	1367.4	
090203		Normale	537.7	649.4	707.8	846.6	948.0	
		log normale	521.0	649.6	729.0	958.7	1171.2	
090104		Normale	346.1	414.3	450.0	534.6	596.5	
		log normale	337.1	411.4	456.6	584.7	700.5	
Tafna	160501	Normale	221.0	292.0	328.0	416.0	479.0	
		log normale	203.7	295.7	359.4	570.9	800.7	
	160715	Normale	402.0	487.0	532.0	638.0	716.0	
		log normale	381.4	475.2	533.1	700.5	855.2	
	160406	Normale	373.0	489.0	550.0	694.0	800.0	
		log normale	347.3	485.1	577.8	874.9	1184.9	
	160303	Normale	244.0	310.1	344.7	426.8	486.8	
		log normale	232.0	306.1	353.8	499.3	642.1	
	160802	Normale	311.0	378.0	413.0	496.0	556.0	
		log normale	300.0	381.0	433.0	584.0	727.0	
	160610	Normale	336.7	413.5	453.6	549.0	618.6	
		log normale	325.3	407.4	606.1	458.3	743.5	

CHAPITRE 4

ANALYSE DES DÉBITS D'EAU

4.1 Introduction

Le comportement hydrologique d'un cours d'eau est lié à la diversité des facteurs physico géographiques, et dont la dominance a trait, comme on l'a vu aux facteurs climatiques.

Une évaluation précise des ressources superficielles en eau et de leur variabilité passe donc par la prise en compte des :

- Débits moyens annuels et bilans hydrologiques ;
- Régimes fluviaux et variations saisonnières des débits ;
- Débits moyens journaliers.

Étant donné l'absence totale de toute étude globale, les cours d'eau du Nord de l'Algérie appartenant au domaine hydroclimatique à caractère méditerranéen méritent d'être étudiés afin de dégager les caractéristiques de leurs régimes. Pour ce faire, nous avons choisi trois grands bassins du nord de l'Algérie, à savoir : Seybouse, Isser et Tafna, représentés par leurs stations de contrôle : Merbeck, Lakhdaria et Pierre du chat respectivement.

Les caractéristiques de ces stations hydrométriques sont consignées dans les tableaux 2.6, 2.7 et 2.8 respectivement (Chapitre 2).

4.2 Choix des séries hydrométriques homogènes

Comme pour les pluies, la période de référence communes aux trois stations hydrométriques citées plus haut est celle allant de l'année hydrologique 1975/1976 jusqu'à l'année 1990/1991, date pour laquelle la station de Merbeck ne dispose plus de données. Nous n'effectuerons pas une extension des données

hydrométriques (maximisation intrinsèque de l'information au sens de P. Dubreuil (1974), car il semble préférable de baser notre analyse sur des données réellement observées et non théoriquement extrapolées, d'autant plus que l'étendue des échantillons et la forte irrégularité du régime hydrologique des bassins ne justifient guère une telle opération.

Nous disposons donc de séries de données hydrométriques représentant trois bassins à trois stations de période de 16 ans. Par conséquent cette dernière est choisie pour l'étude de la distribution spatiale et temporelle des eaux de surface du nord de l'Algérie, ainsi que des bilans hydrologiques.

4.3 Débits moyens annuels

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin. Le module brut ou absolu est généralement exprimé en m^3/s et le module spécifique se traduit en $\text{L}/\text{S}/\text{km}^2$.

4.3.1 Variations des débits annuels moyens bruts

Le tableau 4.1 montre que le bassin de la Seybouse a un débit de $10.14 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une surface de 5955 km^2 au niveau de la station de contrôle Merbeck, le bassin d'Isser transite un débit de $6.67 \text{ m}^3/\text{s}$ qui a une petite surface de 3637 km^2 au niveau de la station de contrôle Lakhdaria et finalement le bassin de la Tafna qui a une grande surface de l'ordre de 6900 km^2 affiche un débit de $3.58 \text{ m}^3/\text{s}$ au niveau de la station de contrôle pierre du chat, ce débit qui est relativement faible s'explique par la présence des années sèches.

Tableau 4.1 : Débits moyens annuels des trois bassins : Seybouse, Isser et Tafna

Bassin	Seybouse		Isser		Tafna	
Code stations	140601		90501		160801	
année	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)
1975-1976	7.69	1.29	13.18	3.62	7.18	1.04
1976-1977	10.91	1.83	4.8	1.32	5.39	0.78
1977-1978	6.96	1.17	3.99	1.10	3.58	0.52
1978-1979	7.74	1.30	8.47	2.33	3.39	0.49
1979-1980	1.21	0.20	12.33	3.39	9.32	1.35
1980-1981	9.37	1.57	8.42	2.32	6.96	1.01
1981-1982	5.57	0.94	6.11	1.68	2.11	0.31
1982-1983	5.64	0.95	7.77	2.14	1.29	0.19
1983-1984	24.02	4.03	3.4	0.93	0.81	0.12
1984-1985	29.24	4.91	8.86	2.44	1	0.14
1985-1986	3.91	0.66	4.36	1.20	2.64	0.38
1986-1987	25.52	4.29	12.1	3.33	5.7	0.83
1987-1988	1.65	0.28	1.51	0.42	0.86	0.12
1988-1989	2.05	0.34	4.82	1.33	2.26	0.33
1989-1990	3.49	0.59	2.07	0.57	1.78	0.26
1990-1991	17.3	2.91	4.68	1.29	3.15	0.46
Moyenne	10.14	1.7	6.67	1.84	3.58	0.52
Ecar-type	8.61	1.51	3.52	1	2.5	0.37
Cv	0.85	0.89	0.52	0.54	0.7	0.71

On remarque que pour le bassin de la Seybouse, la plupart des valeurs sont inférieures à la moyenne 10.14 m³/s. La valeur maximale de 29.24 m³/s est observée durant l'année 1984-1985 tandis que celle la plus basse est de 1.21 m³/s dans l'année 1979-1980.

Concernant le bassin de Isser ; presque la moitié des valeurs sont inférieures à la moyenne qui est de l'ordre de 6.67m³/s et la valeur maximale est de 13.8 m³/s dans l'année 1975-1976 et la plus basse est de 1.51m³/s dans l'année 1987-1988.

Et enfin pour la Tafna, la valeur moyenne des débits annuels est de l'ordre de 3.58 m³/s et la plupart des valeurs sont inférieures à la moyenne. La valeur apparaît la plus élevée 9.32 m³/s correspond à l'année (1979-1980) et la valeur minimale de l'ordre 0.81 m³/s dans l'année (1983-1984).

A partir de ces constats on peut conclure que les débits moyens annuels des trois bassins sont en ordre décroissant suivant la direction de l'Est vers l'Ouest.

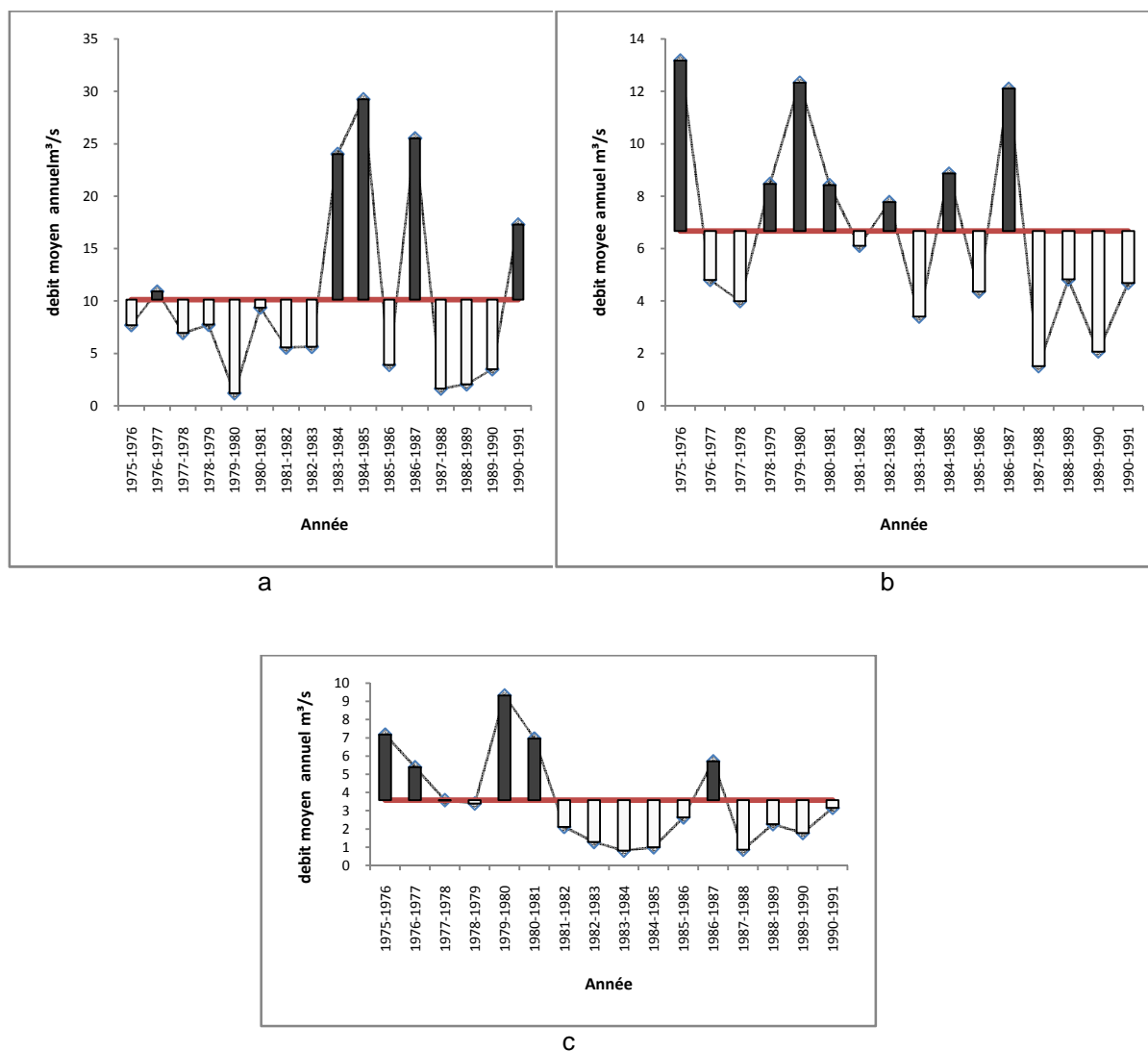


Figure 4.1 : Variations interannuelles des modules des bassins :
a) Seybouse b) Isser et c) Tafna

Les variabilités interannuelles des débits moyens des bassins ; Seybouse, Isser et Tafna sur la période 1975-1976 à 1990-1991, montre plusieurs phases distinguées (figure 4.1).

Dans le bassin de la Seybouse on observe deux phases sèche et humide alternativement réparties au cours du temps ; depuis 1975 à 1983 période sèche plus longue puis une période humide qui va de 1984 à 1988 puis une période sèche allant de 1987 à 1990.

Pour le bassin de Isser les variabilités interannuelles des débits et aussi irrégulières entre humide et sèche. La période sèche est plus longue que la

période humide, cette dernière incluse la valeur maximale dans l'année 1984-1985.

L'étude de la variabilité interannuelle du bassin de la Tafna montrent aussi qu'il ya deux périodes ; la première est humide qui va de 1975 à 1981 et la seconde est sèche et plus longue de 1982 à 1991, mais il existe une année humide qui sépare cette phase en 1987.

Le tableau 4.2 donne les moyennes, les valeurs max et min, le nombre d'années supérieures à la moyenne, les coefficients d'immodération et les coefficients de variation de chaque station étudiées.

Tableau 4.2 : Valeurs caractéristiques des modules au niveau des bassins versants

Bassins	Stations	Moy (m ³ /s)	Max (m ³ /s)	Min (m ³ /s)	Nombre d'ann>moy	$R_i = \frac{QM}{Qm}$	Cv
Seybouse	Merbeck	10.14	29.24 (84-85)	1.21 (79-80)	5 sur 16	24.16	0.85
Isser	Lakhdaria	6.67	13.18 (75-76)	1.51 (87-88)	7 sur 16	8.72	0.52
Tafna	P. du chat	3.58	9.32 (79-80)	0.81 (83-84)	5 sur 16	11.50	0.70

Le nombre d'années supérieures à la moyenne dans les deux bassins ; Seybouse et Tafna sont égaux et donnent la valeur de 5 sur 16 ans, dans le bassin Isser le nombre d'années supérieures à la moyenne est plus grand que pour les deux autres bassins et affiche une valeur de 7 sur 16 ans.

4.3.2 Variations des débits annuels moyens spécifiques

Afin de mieux cerner la variation de l'écoulement dans les trois bassins, nous utiliserons les modules spécifiques, car ces derniers permettent de les comparer entre eux en ramenant le débit à l'unité de surface. L'abondance spécifique des bassins (tableau 4.3) varie d'une part en fonction de la distribution des précipitations et d'autre part en fonction des caractéristiques physiographiques de chaque bassin, à savoir ; la lithologie et le couvert végétal.

Tableau 4.3 : Débits spécifiques et lames d'eau écoulées

Bassins	Cours d'eau	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	Le (mm)
Seybouse	Seybouse	10.14	1.70	53.7
Isser	Isser	6.67	1.84	57.8
Tafna	Tafna	3.58	0.52	16.0

Avec :

Q : Débit annuel (m³/s) ;

q : Débit spécifique (l/s/km²) ;

Le : lame d'eau écoulée (mm).

Le bassin versant de Seybouse s'étend sur 5955 km² au droit de la station de Merbeck, il reçoit plus de précipitations. Son débit spécifique est de 1.70 l/s/km² correspondant à une lame d'eau écoulée de 53.7 mm. Le bassin versant d'Isser dont la surface est de 3637 km² au droit de la station de Lakhdaria reçoit moins de précipitations, son débit spécifique est de 1.84 l/s/km², soit une lame d'eau écoulée de 57.8 mm qui est plus grande que les deux autres bassins. Quant au bassin de la Tafna qui s'étend une surface de 6900 km² au droit de la station Pierre le chat, son débit spécifique est relativement faible 0.52 l/s/km² avec une lame d'eau écoulée de 16 mm.

La lame d'eau varie en fonction de la surface ; lorsque la surface accroît la lame d'eau décroît.

4.3.3 L'irrégularité interannuelle des modules et leur répartition statistique

L'irrégularité inter annuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations de l'hydraulicité, C'est à dire le rapport du débit d'une année particulière (Q_i) au débit moyen d'une longue série d'observation (Q_{moyen}). Elle peut être complétée par d'autres critères statistiques simples tels que le coefficient de variation, ainsi que le coefficient d'immodération (R_i) donné par le rapport des modules extrêmes ($R_i = Q_M/Q_m$).

4.3.3.1 L'hydraulicité

Les séries hydrométriques permettent de cerner l'évolution des débits sur des années successives, Les courbes des variations interannuelles des modules, montrent de fortes fluctuations de débits d'une année à l'autre ainsi qu'une indigence quasi-générale de l'écoulement pendant ces dernières années. En témoignent les valeurs de l'hydraulicité qui sont en majorité inférieures à la moyenne annuelle (Tableau 4.4).

Tableau 4.4 : Hydraulicité des trois bassins : Seybouse, Isser et Tafna

Bassins	Seybouse	Isser	Tafna
Stations	Merbeck	lakhdaria	Pierre du chat
Code	14 06 01	09 05 01	16 08 01
Année	Qi/Qm	Qi/Qm	Qi/Qm
1975-1976	0.75	1.98	2.0
1976-1977	1.07	0.72	1.5
1977-1978	0.68	0.60	1.0
1978-1979	0.76	1.27	0.94
1979-1980	0.11	1.85	2.6
1980-1981	0.92	1.26	1.94
1981-1982	0.54	0.92	0.58
1982-1983	0.55	1.16	0.36
1983-1984	2.36	0.51	0.22
1984-1985	2.88	1.33	0.27
1985-1986	0.38	0.65	0.73
1986-1987	2.51	1.81	1.59
1987-1988	0.16	0.23	0.24
1988-1989	0.2	0.72	0.63
1989-1990	0.34	0.31	0.49
1990-1991	1.7	0.70	0.87
Max	2.88	1.98	2.6
Min	0.11	0.23	0.22

La plupart des années hydrologiques sont déficitaires. Ce fait, confirme l'hypothèse formulée quant à la tendance climatique "sèche". Certaines valeurs des modules annuels sont élevées, conséquence aux fortes crues de saison froide qu'avaient connue ces bassins.

4.3.3.2 Coefficient d'immodération (R_j)

Le coefficient d'immodération des régimes des débits annuels est le rapport du module de l'année humide Q_M à celui de l'année sèche Q_m .

Les coefficients d'immodérations varient entre 24.16 à Seybouse, 8.72 à Isser et 11.5 à la Tafna.

4.3.3.3 Coefficient de variation (Cv)

La variation interannuelle des débits moyens peut être aussi précisée par le coefficient de variation (Cv) (tableau 4.2), les valeurs du coefficient de variation sont élevées, nous relevons les plus fortes valeurs au niveau de Seybouse 0.85 et puis celle de la Tafna 0.70 et Isser de 0.52, cette variabilité dans l'ensemble est liée à l'alimentation essentiellement pluviale irrégulière des cours d'eau, d'autant plus qu'il s'agit d'une période climatique "sèche".

4.3.4 Bilan hydrique

C'est la quantité d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un bassin donnés :

$$P+S_r = R+Ev+(S_r \pm \Delta S) \quad (4-1)$$

Avec :

P : précipitations totales de la période considérée (liquide et solide) (mm) ;

S_r : ressources (accumulation) de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) (mm) ;

R : ruissellement de surface et écoulements souterrains (mm) ;

Ev : évaporation (y compris évapotranspiration) (mm) ;

$S_r + \Delta S$: ressources accumulées à la fin de la période (mm).

Elle peut s'écrire encore sous la forme simplifiée suivante :

$$Ev=I-O\pm\Delta S \quad (4-2)$$

Avec :

Ev : évaporation (mm) ou (m³) ;

I : volume entrant (mm) ou (m³) ;

O : volume sortant (mm) ou (m³) ;

ΔS : variation de stockage (mm) ou (m^3).

Si le bassin versant naturel est relativement imperméable, la variation de stock sur une période donnée peut être considérée comme nulle ($\Delta S=0$). Dès lors, on peut introduire le déficit d'écoulement D_e dans l'équation qui s'écrit :

$$D_e = I - O \quad (4-3)$$

4.3.4.1 Bilans annuels

Nous exprimons par P la tranche d'eau précipitée et par Le la lame d'eau écoulee équivalente en mm. La différence de ces deux notions ($P - Le$) donne ce qu'on appelle : déficit moyen annuel de l'écoulement (D_e) en mm.

Le rapport (Le/P) est appelé, coefficient moyen annuel de l'écoulement " C_r ". Les tableaux 4.5, 4.6 et 4.7 donnent les résultats de calculs des bassins ; Seybouse, Isser et Tafna respectivement.

Tableau 4.5 : Bilans moyens annuels du bassin Seybouse

Année	P_{moy}	Q (m^3/s)	Le (mm)	D_e (mm)	C_r %
1975/1976	501.0	7.69	40.5	460.5	8.09
1976/1977	548.0	10.91	57.5	490.4	10.49
1977/1978	412.2	6.96	36.7	375.5	8.90
1978/1979	448.3	7.74	40.8	407.5	9.10
1979/1980	472.8	1.21	6.3	466.4	1.34
1980/1981	521.1	9.37	49.4	471.7	9.48
1981/1982	506.8	5.57	29.3	477.4	5.79
1982/1983	370.9	5.64	29.7	341.1	8.01
1983/1984	563.9	24.02	126.6	437.2	22.46
1984/1985	682.3	29.24	154.2	528.1	22.60
1985/1986	370.2	3.91	20.6	349.6	5.56
1986/1987	664.8	25.52	134.5	530.2	20.24
1987/1988	340.5	1.65	8.7	331.8	2.55
1988/1989	403.1	2.05	10.8	392.3	2.68
1989/1990	399.2	3.49	18.4	380.8	4.60
1990/1991	600.0	17.3	91.2	508.7	15.20
Moyenne	487.8	10.14	53.4	434.3	10.96

Tableau 4.6 : Bilans moyens annuels du bassin Isser

Année	P_{moy}	Q (m ³ /s)	Le (mm)	D_e (mm)	C_r %
1975/1976	587.5	13.18	114.5	472.9	19.49
1976/1977	387.6	4.8	41.7	345.9	10.76
1977/1978	364.9	3.99	34.6	330.2	9.50
1978/1979	467.1	8.47	73.6	393.4	15.77
1979/1980	539.2	12.33	107.1	432.0	19.87
1980/1981	438.4	8.42	73.1	365.2	16.69
1981/1982	434.0	6.11	53.1	380.9	12.23
1982/1983	403.1	7.77	67.5	335.5	16.75
1983/1984	356.0	3.4	29.5	326.4	8.30
1984/1985	489.6	8.86	77.0	412.6	15.72
1985/1986	437.3	4.36	37.9	399.4	8.66
1986/1987	461.3	12.1	105.1	356.1	22.79
1987/1988	303.6	1.51	13.1	290.5	4.32
1988/1989	389.8	4.82	41.9	347.9	10.74
1989/1990	340.3	2.07	17.9	322.3	5.28
1990/1991	369.8	4.68	40.6	329.1	10.99
Moyenne	423.1	6.67	57.9	365.1	13.70

Tableau 4.7 : Bilans moyens annuels du bassin Tafna

Année	P_{moy}	Q (m ³ /s)	Le (mm)	D_e (mm)	C_r %
1975/1976	468.4	7.18	46.4	422.0	9.91
1976/1977	424.1	5.39	34.8	389.2	8.21
1977/1978	352.5	3.58	23.1	329.3	6.56
1978/1979	336.0	3.39	21.9	314.1	6.52
1979/1980	462.3	9.32	60.2	402.1	13.03
1980/1981	491.1	6.96	45.0	446.1	9.16
1981/1982	252.2	2.11	13.4	238.7	5.33
1982/1983	223.3	1.29	8.3	215.0	3.73
1983/1984	298.3	0.81	5.2	293.1	1.75
1984/1985	299.0	1.00	6.4	292.5	2.16
1985/1986	408.0	2.64	17.0	390.9	4.18
1986/1987	424.7	5.7	36.8	387.8	8.67
1987/1988	228.4	0.86	5.5	222.9	2.43
1988/1989	297.9	2.26	14.6	283.3	4.90
1989/1990	303.4	1.78	11.5	291.9	3.79
1990/1991	425.9	3.15	20.3	405.6	4.78
Moyenne	356.0	3.58	23.1	332.85	6.50

La figure 4.2 schématise la variation interannuelle des pluies et des lames d'eau écoulées.

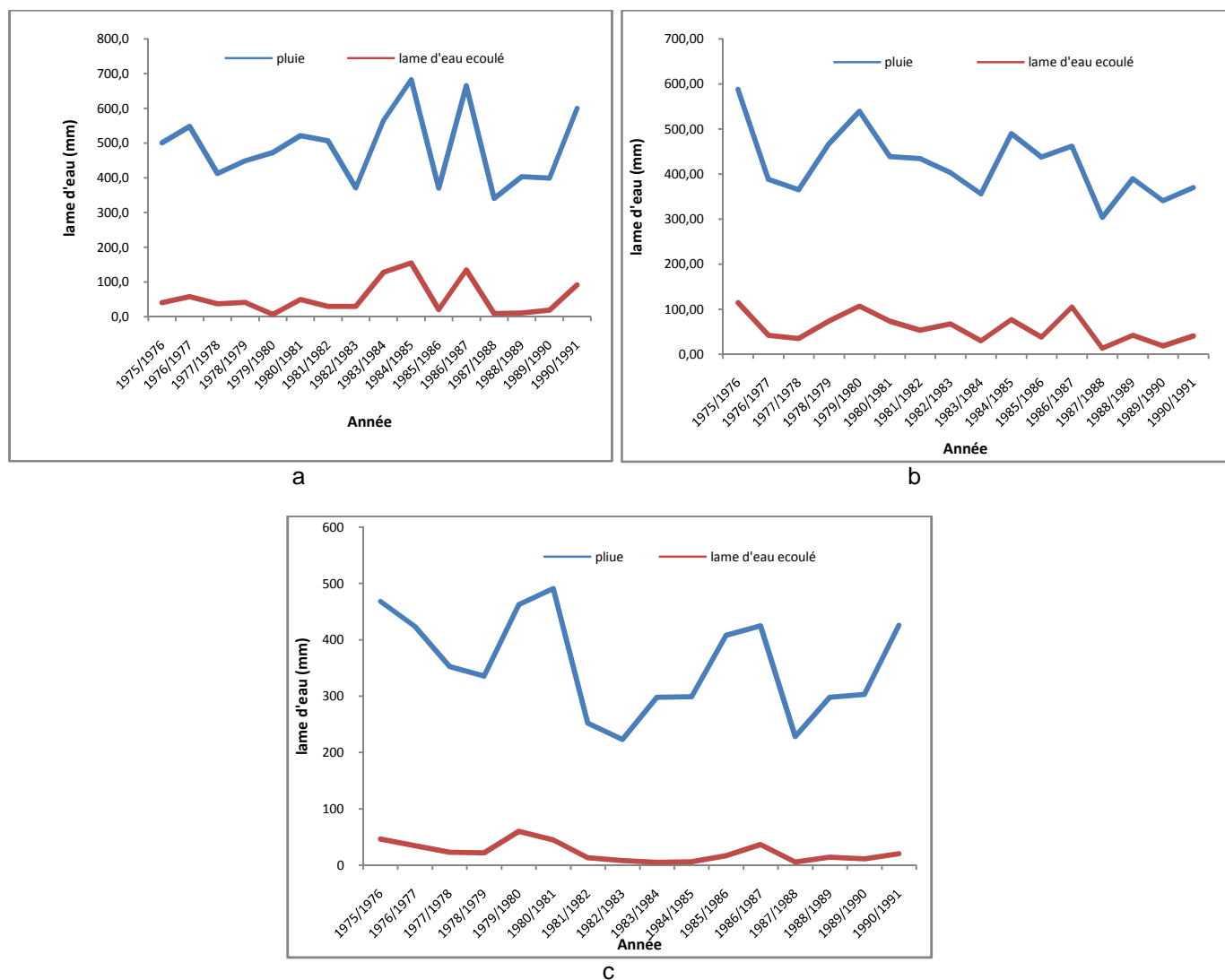


Figure 4.2 : Variation interannuelle des pluies et des lames d'eau écoulées :
a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna

Le déficit annuel moyen de l'écoulement augmente avec l'accroissement du total pluviométrique moyen annuel, il passe de 434.3 mm sur le bassin de la Seybouse à 365.2 mm sur le bassin Isser et 332.8 mm sur le bassin Tafna. Le coefficient de ruissellement est de 10.96 % à la Seybouse, 13.70 % à Isser et 6.5 % à la Tafna.

En note que ce coefficient varie d'un bassin à un autre, selon les caractéristiques pédologiques (la perméabilité du sol) et les facteurs thermiques (température moyenne) :

- Le bassin de Isser a une grande valeur de coefficient car le sol est imperméable (des grés calcaires, sols rouges fersiallitiques, sols

calcimagnésiques) ;

- Le bassin de la Seybouse a un coefficient moyen puisque le type de sol est peu perméable ; formée du sable, calcaire-marneux et des sols argileux ;
- Le bassin Tafna a un coefficient faible car, il est composé essentiellement des formations perméables à semi perméables qui occupent la presque totalité de la superficie du bassin, ce qui favorise l'infiltration.

4.3.4.2 Bilans interannuels moyens

Ce déficit d'écoulement représente essentiellement les pertes dues à l'évaporation. Il peut être estimé à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul. A titre illustratif, les formules les plus utilisées en Algérie sont les formules de Turc et Coutagne.

4.3.4.2.1 Formule de Turc

$$D_e = \frac{1}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (4-4)$$

Avec :

L_{cr} : coefficient régional, il est donné par la formule suivante :

$$L_{cr} = 300 + 25 T_a + 0.05 T_a^3 \quad (4-5)$$

Avec :

T_a : température moyenne annuelle (°C), égale à ; 18 C° pour le bassin de la Seybouse, 14 C° pour Isser et 16.5 pour la Tafna.

4.3.4.2.2 Formule de Coutagne

$$D = P - mP^2 \quad (4-6)$$

Avec :

m : coefficient régional calculé par la formule suivante :

$$m = 1 / (0.8 + 0.16 T_a) \quad (4-7)$$

Tableau 4.8 : Déficit interannuel moyen calculé par les formules de Turc et Coutagne

Bassin	Turc (mm)	Coutagne (mm)	Déficits interannuels moyens observés (mm)
Seybouse	461.6	487.9	434.4
Isser	388.2	423.1	365.2
Tafna	349.0	356.0	332.9

Les déficits calculés par les méthodes de Turc et Coutagne pour les bassins étudiés, sont en général proches de ceux des déficits observés, se qui montre la puissance d'estimation de déficit hydrique dans les bassins algérien par ces formules.

La connaissance du déficit d'écoulement permet d'évaluer le comportement du système ou la fiabilité des données sensées le décrire, par comparaison entre les valeurs du déficit calculées directement et les valeurs estimées dans un bassin versant plus grand.

4.4 Débits moyens mensuels

L'analyse des débits moyens mensuels permet de mettre en évidence les régimes des cours d'eau et leurs variations interannuelles ou inter saisonnières. Ces régimes peuvent être traduits par divers critères numériques et graphiques parmi lesquels on retiendra principalement les coefficients mensuels de débits (*CMD*).

4.4.1 Coefficient mensuel de Débits

Les coefficients mensuels ou rapports des débits moyens mensuels au module de la période considérée, pris pour l'unité, ont l'avantage de permettre la comparaison des variations mensuelles du régime des cours d'eau de débits très différents. Les *CMD* inférieurs à l'unité correspondent aux mois de basses eaux et les *CMD* supérieures à l'unité représentent les mois de hautes eaux.

L'examen du tableau 4.9 et les histogrammes de la figure 4.3 montrent que les maxima mensuels sont observés au mois de février pour le bassin Seybouse et Isser et au mois de mars pour le bassin de la Tafna, alors que les minima mensuels sont enregistrés en juillet et août.

Les régimes moyens de ces bassins à alimentation essentiellement pluviale comportent généralement des hautes eaux de saison froide, et des basses eaux de saison chaude. La période des hautes eaux commence au mois de décembre pour le Seybouse et Isser, alors quelle commence au mois de novembre pour la Tafna. Tandis que la période des basses eaux commence au mois de mars pour les bassins d'Isser et Tafna et au mois de mai pour la Seybouse.

Tableau 4.9 : Répartition des débits mensuels (m³/s)

	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mar.	avril	mai	Jiu	juil.	aout	Ann
Bassin Seybouse													
Moy	1.9	2.78	7.72	15.31	21.89	27.77	20.23	15.18	4.62	1.81	1.14	1.12	10.14
CMD	0.18	0.27	0.76	1.51	2.16	2.74	1.99	1.49	0.45	0.17	0.11	0.11	/
Max	8.27	8.49	56.6	80.83	114.55	157.42	82.21	66.12	12.04	5.85	5.69	4.43	29.24
Min	0.0	0.62	0.48	0.58	0.29	0.34	2.36	1.32	0.46	0.07	0.0	0.0	1.21
σ	2.17	2.28	13.35	21.63	29.51	41.27	22.48	17.37	3.44	1.62	1.45	1.38	8.61
CV	1.14	0.82	1.72	1.41	1.34	1.48	1.11	1.14	0.74	0.89	1.27	1.23	0.85
Bassin Isser													
Moy	1.50	2.35	4.48	12.86	10.71	17.94	15.98	6.83	4.5	1.36	0.89	0.34	6.67
CMD	0.16	0.25	0.51	1.36	1.13	1.90	1.70	0.72	0.47	0.14	0.09	0.05	/
Max	13.02	7.92	16.42	39.03	39.99	72.37	46.99	22.94	17.13	3.71	6.83	2.61	13.18
Min	0	0.07	0.37	0.28	1.48	0.52	0.97	0.01	1.10	0.13	0.01	0.01	1.51
σ	3.13	2.40	4.96	12.96	9.60	21.08	14.39	5.46	4.09	1.00	1.84	0.64	3.52
CV	2.07	1.01	1.02	1.00	0.89	1.17	0.89	0.89	0.79	0.90	0.73	2.05	0.52
Bassin Tafna													
Moy	1.03	3.44	5.12	4.57	4.96	7.04	9.69	2.77	2.46	1.04	0.57	0.39	3.58
CMD	0.29	0.95	1.42	1.27	1.38	1.96	2.69	0.77	0.68	0.29	0.15	0.10	/
Max	4.63	28.02	32.81	24.35	16.77	21.45	34.62	8.03	14.05	5.16	3.56	2.29	9.32
Min	0.00	0.00	0.00	0.26	0.36	0.51	0.43	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.81
σ	1.32	6.63	7.97	5.90	4.84	6.26	10.53	2.38	3.29	1.33	0.97	0.64	2.50
CV	1.27	1.93	1.52	1.29	0.97	0.89	1.08	0.85	1.34	1.27	1.69	1.65	0.70

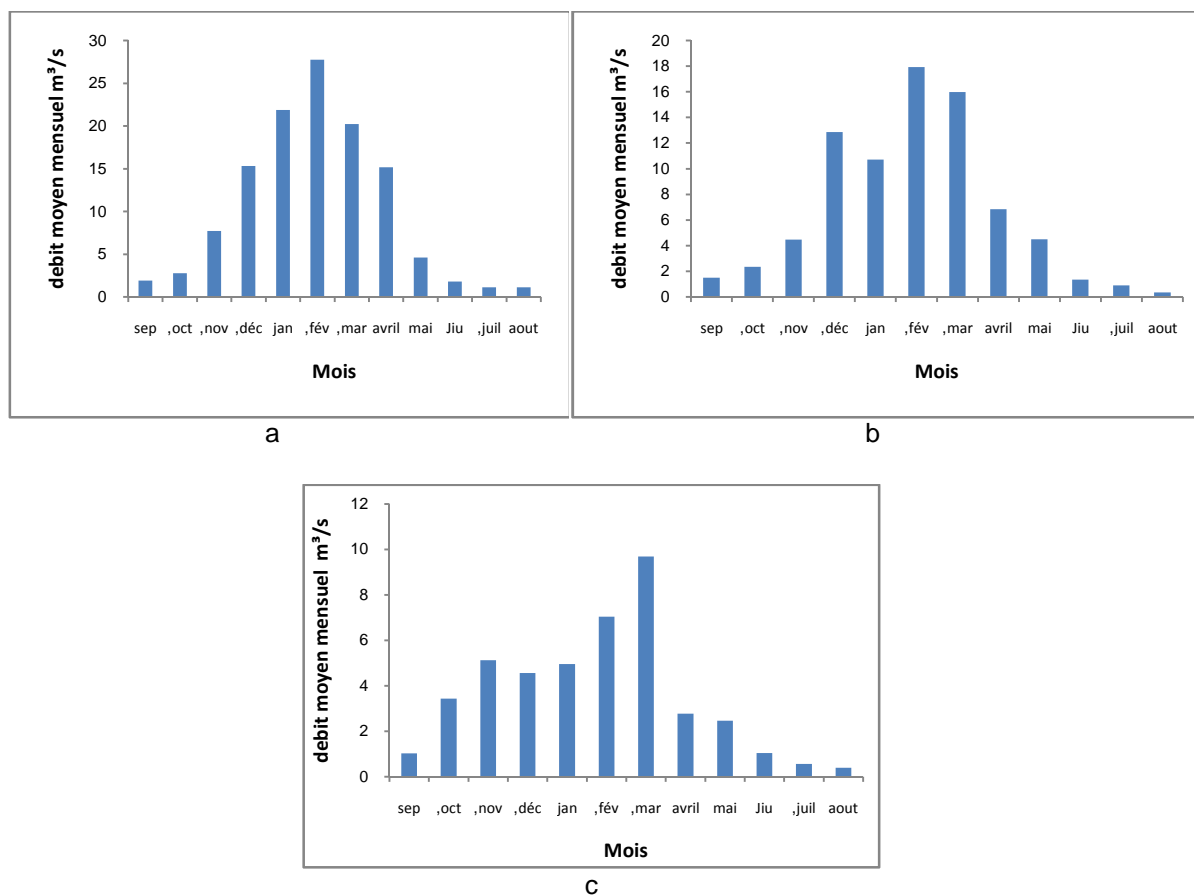


Figure 4.3 : Variations des débits moyens mensuels au cours de l'année des trois bassins : a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna

Les valeurs moyennes mensuelles hydrométriques relatives à la période (1975/1990), traduisent clairement les variations mensuelles de la distribution des débits à l'échelle annuelle. Ainsi on peut distinguer (figure 4.3) deux périodes distinctes :

- Une période sèche qui correspond à la saison d'été (juin, juillet et août), caractérisée par un déficit hydrométrique bien marqué ;
- Une période humide qui correspond au reste de l'année, cette période est elle aussi marquée par une succession de mois humides et de mois relativement secs.

On peut aussi noter que le mois qui correspond à un débit plus élevé diffère d'un bassin à l'autre (figure 4.3). Dans les bassins de la Seybouse et Isser il se situe en hiver (février) et pour le bassin de la Tafna il se situe au printemps pendant le mois de mars. Les mois les plus secs sont représentés par ceux de juillet et août dans les trois bassins.

4.4.2 Coefficient de variation

L'irrégularité mensuelle (tableau 4.9) ressort parfaitement des valeurs calculées du C_v pour les différents bassins et pour les différents mois de l'année. Il apparaît en effet que l'écoulement mensuel est extrêmement variable, pour certains mois le coefficient de variation dépasse largement l'unité et est compris entre 0.74 et 1.72 pour Seybouse, entre 0.89 et 2.07 pour Isser et entre 0.85 et 1.93 pour Tafna.

4.4.3 Modifications interannuelles du régime mensuel

La répartition mensuelle des débits dans l'année et ses variations conditionne, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement mensuel et par là même le régime des cours d'eau. Les valeurs moyennes mensuelles hydrométriques relatives à la période 1975/1990, traduisent clairement les variations mensuelles de la distribution des débits à l'échelle annuelle.

Les valeurs moyennes des fluctuations mensuelles au cours de la période 1975/1990 (figure 4.4), ne s'observent pas toujours de la même façon d'une année à l'autre.

A Seybouse pendant 16 ans, le maximum est de 157.42 m³/s se trouve dans l'année 84-85, le minimum a été enregistré pendant l'année 79-80 et pour l'Isser le maximum est de 72.37 m³/s dans l'année 75-76 et le minimum a été enregistré dans l'année 87-88, tandis que le maximum observé au bassin Tafna est très différent de celui de la Seybouse et il est de 34.62 m³/s se trouvant dans l'année 79-80 et le minimum dans l'année 83-84.

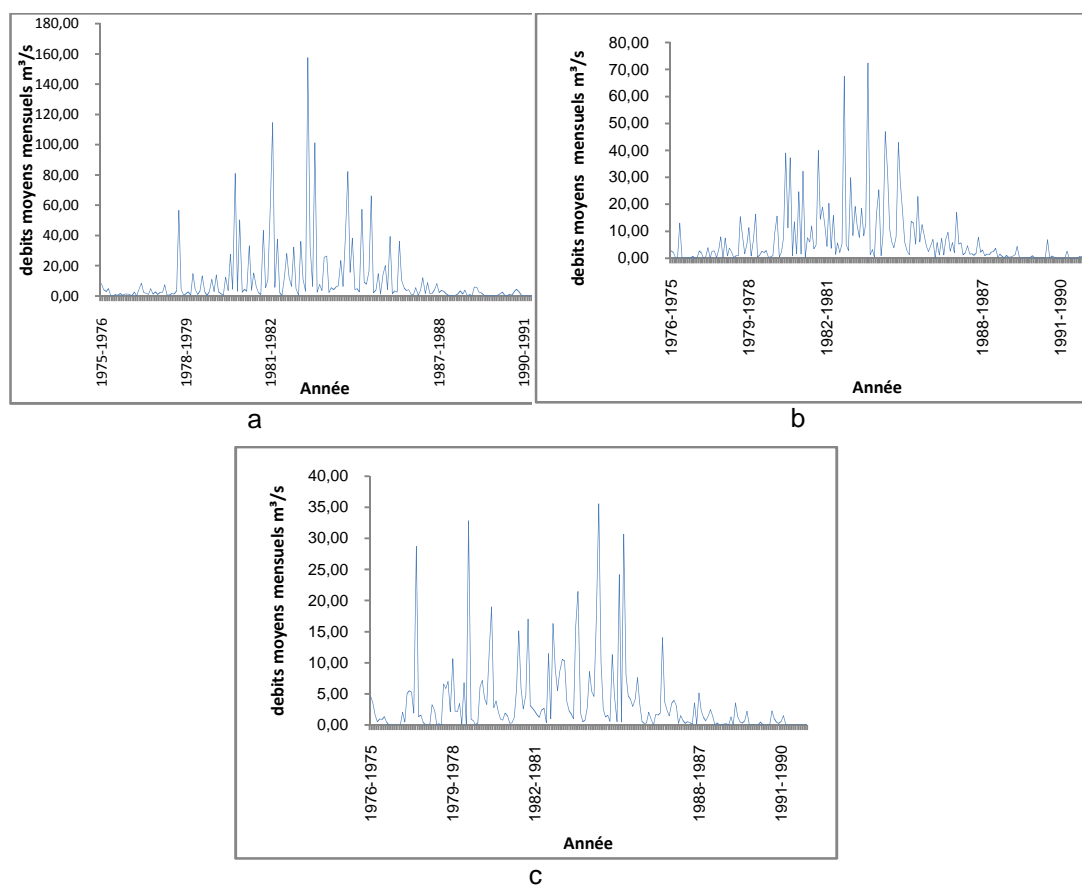


Figure 4.4 : Variations interannuelles des débits mensuels des bassins :

a) Seybouse, b) Isser et c) Tafna

4.4.4 Ressources mensuelles en eau de surface disponible

Les ressources en excès sont observées en saison froide où les besoins sont relativement modérés et les ressources déficitaires en saison chaude où les besoins surtout agricoles, sont extrêmement élevés en raison des conditions bioclimatiques des bassins.

Les disponibilités en eau sont plus importantes pendant les mois de hautes eaux par opposition aux déficits marqués des mois de basses eaux.

Tableau 4.10 : Disponibilités mensuelles moyennes en eaux de surface (hm³)
des bassins : Seybouse, Isser et Tafna

	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mar.	avril	mai	Jui	juil.	aout	Ann
Bassin Seybouse													
Apport moy	9.13	10.70	15.99	37.74	62.34	67.32	65.00	49.33	16.99	7.77	5.21	4.82	29.6
Apport max	21.44	22.74	146.71	216.50	306.81	380.83	220.19	171.38	32.25	15.16	15.24	21.44	408.6
Apport min	0.00	1.64	1.25	1.54	0.77	0.85	6.31	3.40	1.23	0.17	0.00	0.00	38.4
Bassin Isser													
Apport moy	6.96	9.42	8.2	16.82	46.32	26.25	20.51	10.35	12.83	2.7	0.67	1.34	13.53
Apport max	35.41	31.62	25.87	46.52	19.97	71.23	80.08	30.01	48.46	9.96	4.36	5.24	80.08
Apport min	0.05	0.39	0.08	1.67	2.49	1.96	0.37	0.33	0.64	0.03	0.01	0.01	0.01
Bassin Tafna													
Apport moy	2.76	6.67	9.64	9.24	10.96	12.90	27.20	6.36	5.92	2.29	1.15	0.84	7.99
Apport max	14.49	75.05	85.05	65.22	44.91	51.89	92.73	20.82	37.63	13.36	9.53	6.13	170.6
Apport min	0.00	0.00	0.01	0.15	0.96	1.08	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La moyenne de ces apports mensuels varie entre 4.82 et 67.32 hm³ pour Seybouse, entre 0.67 et 46.32 hm³ pour Isser et entre 0.84 et 27.20 hm³ pour Tafna. Le maximum peut atteindre respectivement 380.83, 80.08 et 92.73 hm³ pour le Seybouse (février), Isser (mars) et Tafna (mars).

4.5 Débits moyens journaliers

L'étude du régime fluvial, à l'échelle journalière, mérite une analyse car les oueds subissent des variations journalières importantes. Nous possédons une chronique des débits moyens journaliers.

4.5.1 Variations journalières des débits

4.5.1.1 Bassin Seybouse

Les débits moyens journaliers (Figure 4.5a) varient selon une fréquence propre à chaque mois. Au début de l'automne, une grande partie de la lame d'eau précipitée ruisselle étant donné que le sol est complètement sec et étanche à cause d'une longue période estivale sèche.

Pour l'année humide 1984-1985, la courbe des débits journaliers (figure 4.5b) fait ressortir une diminution des débits dans l'automne et augmentation très élevée dans l'hiver, au printemps on observe une augmentation mais moins marquée que celle d'hiver.

Pour l'année sèche 1979-1980 (figure 4.5c), le débit journalier minimal atteint 1.21 m³/s.

La courbe de débits journaliers fait ressortir une diminution des débits pendant les deux périodes de l'automne et l'hiver et une augmentation brusque dans le printemps.

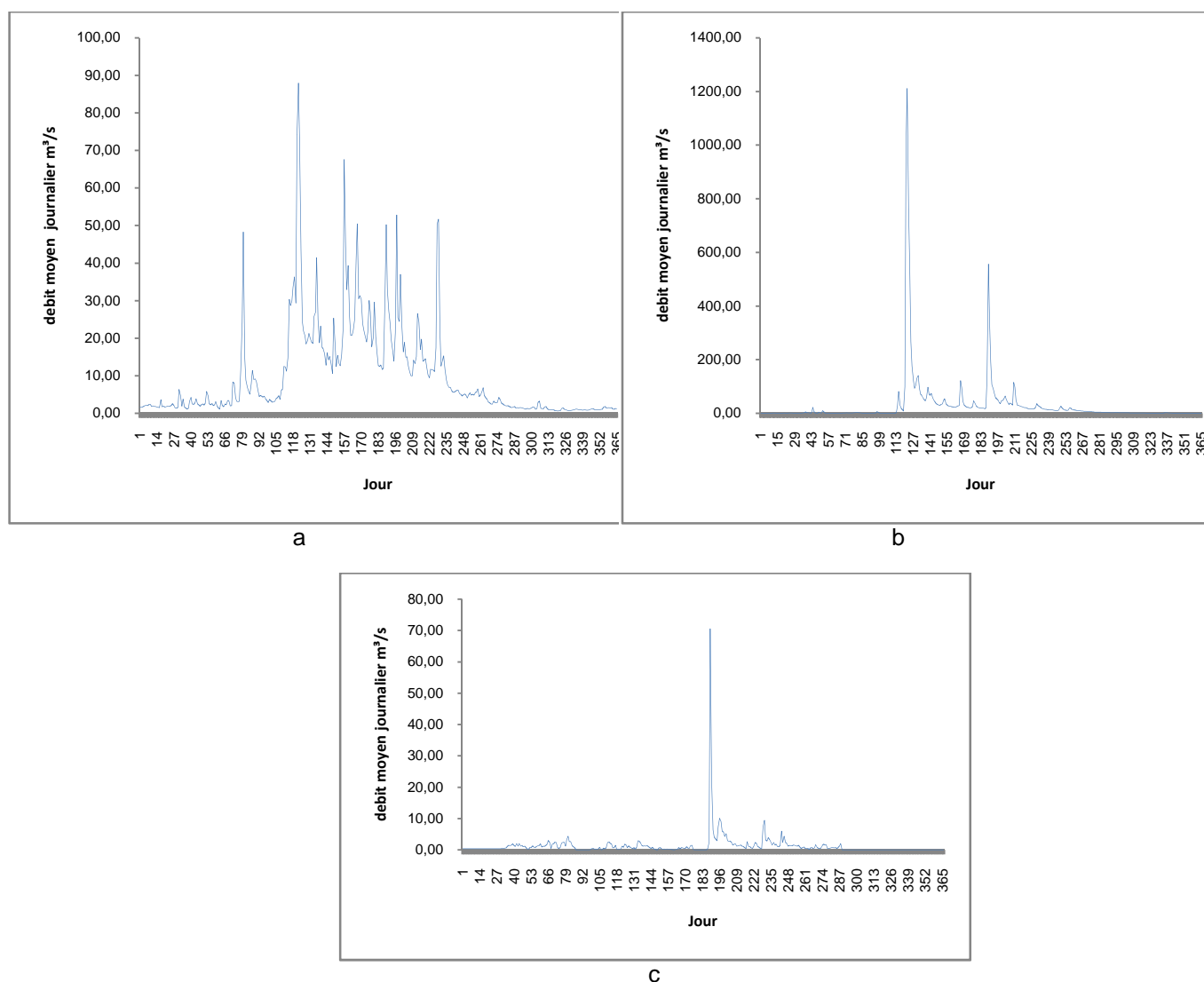


Figure 4.5 : Variations des débits moyens journaliers du bassin Seybouse
a) année moyenne b) année humide c) année sèche

4.5.1.2 Bassin Isser

La figure 4.6a fait ressortir une augmentation de débits dans l'hiver et le printemps et une diminution dans l'été.

Pour l'année humide 1975-1976, la courbe des débits journaliers (figure 4.6b) fait ressortir plusieurs augmentations des débits journaliers, celle qui a la valeur la plus élevée est enregistrée dans la saison d'hiver.

Pour l'année sèche 1987-1988 (figure 4.6c), le débit journalier minimal atteint $1.51\text{m}^3/\text{s}$. La courbe de débits journaliers montre aussi des valeurs élevées en automne.

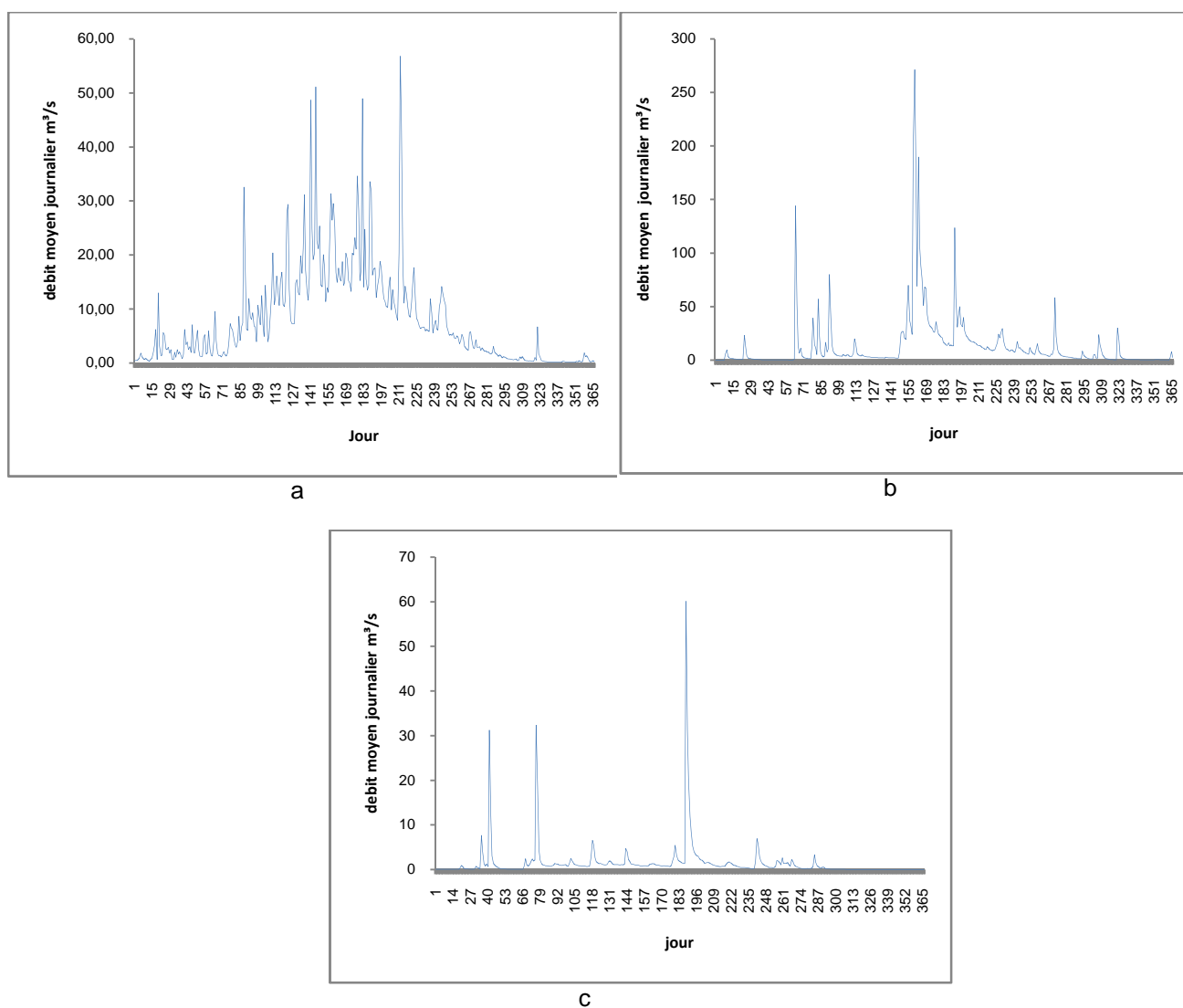


Figure 4.6 : Variations des débits moyens journaliers du bassin Isser :
a) année moyenne b) année humide c) année sèche

4.5.1.3 Bassin Tafna

La figure 4.7a fait ressortir une augmentation très élevée pendant les saisons d'hiver et du printemps, d'une autre façon tous les mois sont pluvieux à part les mois juin, juillet et août.

Pour l'année humide 1979-1980, la courbe des débits journaliers (figure 4.7b) fait ressortir plusieurs augmentations des débits journaliers, celles qui ont des valeurs plus élevées correspondent à l'automne et au printemps.

Pour l'année sèche 1983-1984 (figure 4.7c), le débit journalier minimal atteint $0.81\text{m}^3/\text{s}$.

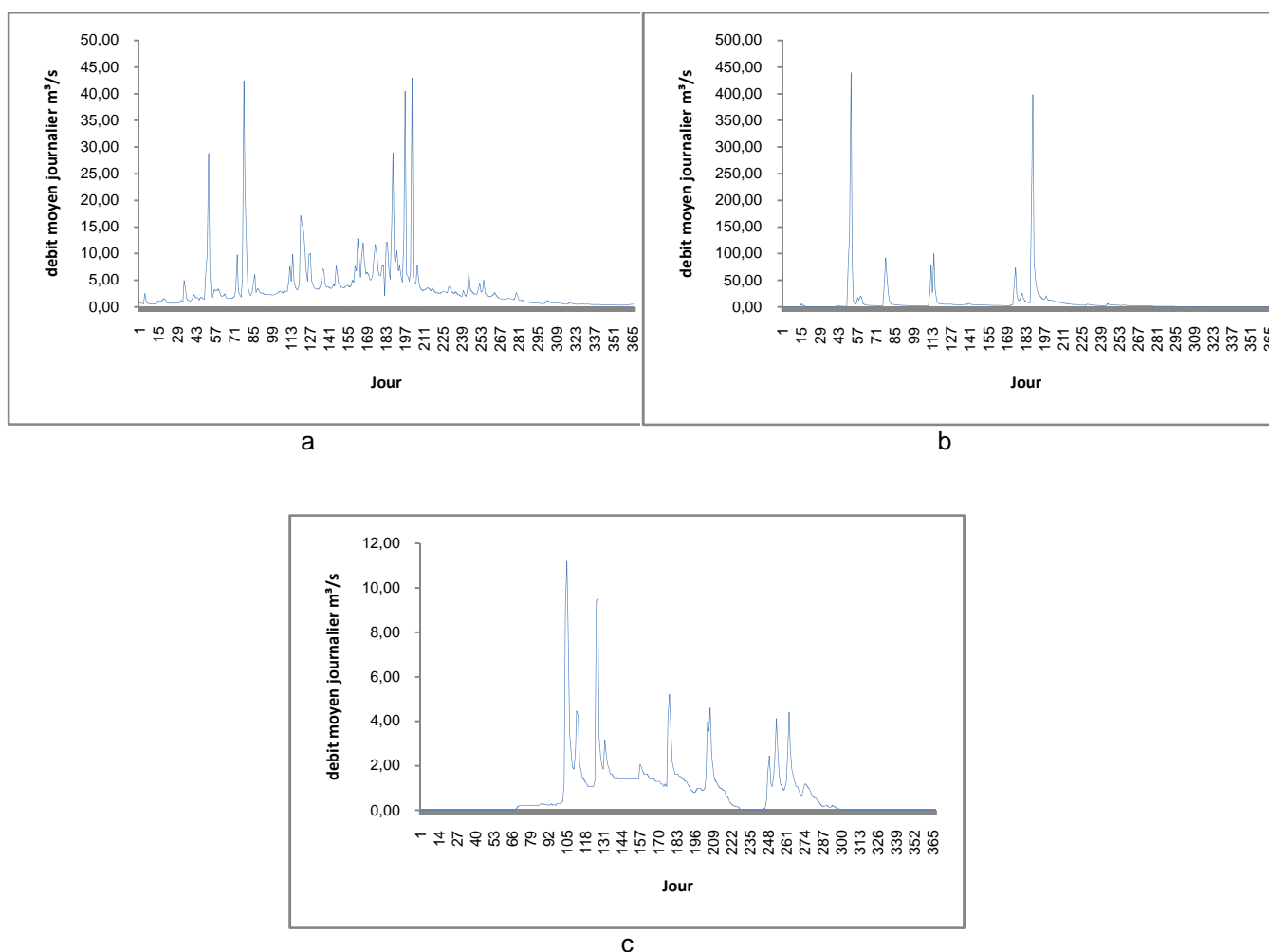


Figure 4.7 : Variations des débits moyens journaliers du bassin Tafna :
a) année moyenne b) année humide c) année sèche

4.6 Analyse fréquentielles des débits moyens annuels

Toute la théorie, concernant la procédure de l'ajustement des pluies annuelles avec des lois théorique, exposée dans la section cinq du chapitre précédent reste valable ici. En effet, l'ajustement est fait pour les deux lois déjà utilisées pour les pluies : la loi Normale et la loi Log normale.

Dans cette section les données utilisées ne sont pas celles correspondent à la période communes entre les trois stations (1975/1990) mais pour la totalité de données disponibles pour chaque station.

Les résultats de calcul des paramètres d'ajustement des lois normale et log normale avec les trois séries hydrométriques (Merbeck, Lakhdaria, Pierre du chat), sont donnés le tableau 4.11.

Tableau 4.11 : Paramètres d'ajustement des lois ; normale et lognormale

Station	Lois	μ	σ
Merbeck	Normale	11.16	9.00
	Log Normale	2.05	0.91
Lakhdaria	Normale	8.46	7.29
	Log Normale	1.81	0.85
Pierre du chat	Normale	3.04	2.40
	Log Normale	0.83	0.75

Les figures ; 4.8 et 4.9 représentent respectivement les graphiques d'ajustement des lois normale et log normale avec les trois séries hydrométriques (Merbeck, Lakhdaria, Pierre du chat).

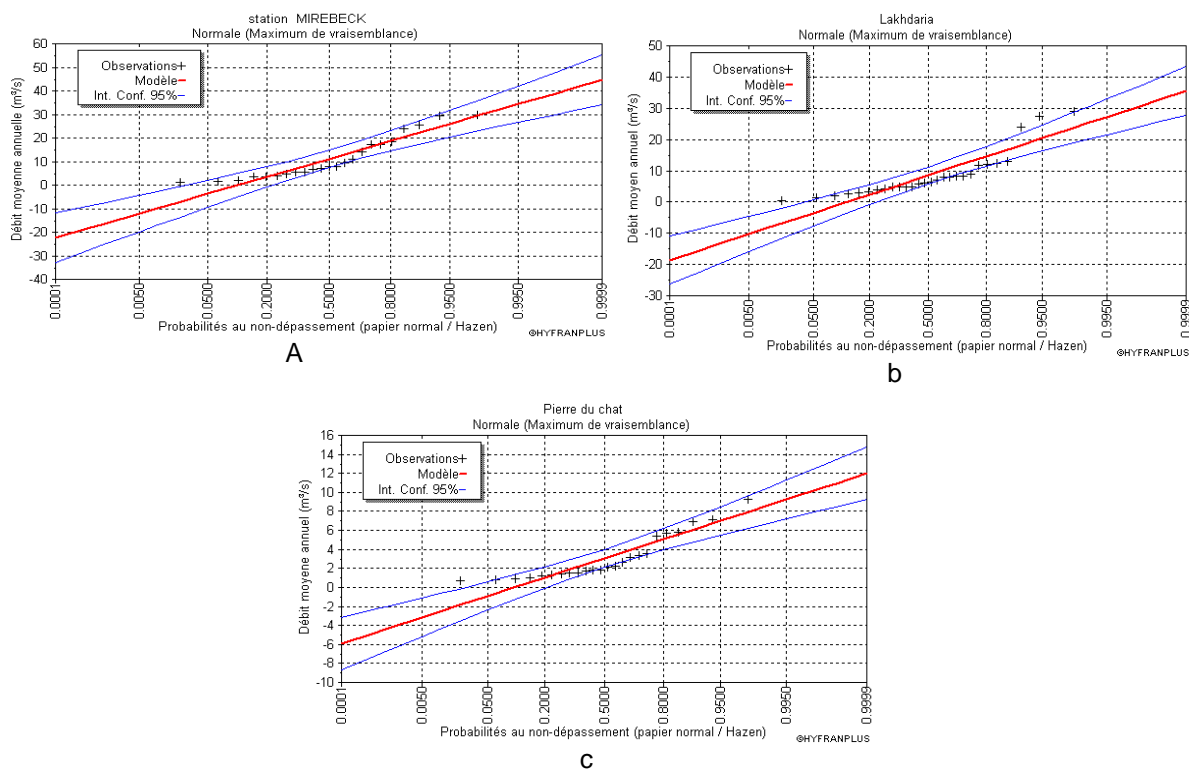


Figure 4.8 : Graphiques d'ajustement à la loi normale des trois stations
a) Merbeck, b) Lakhdaria et c) Pierre du chat

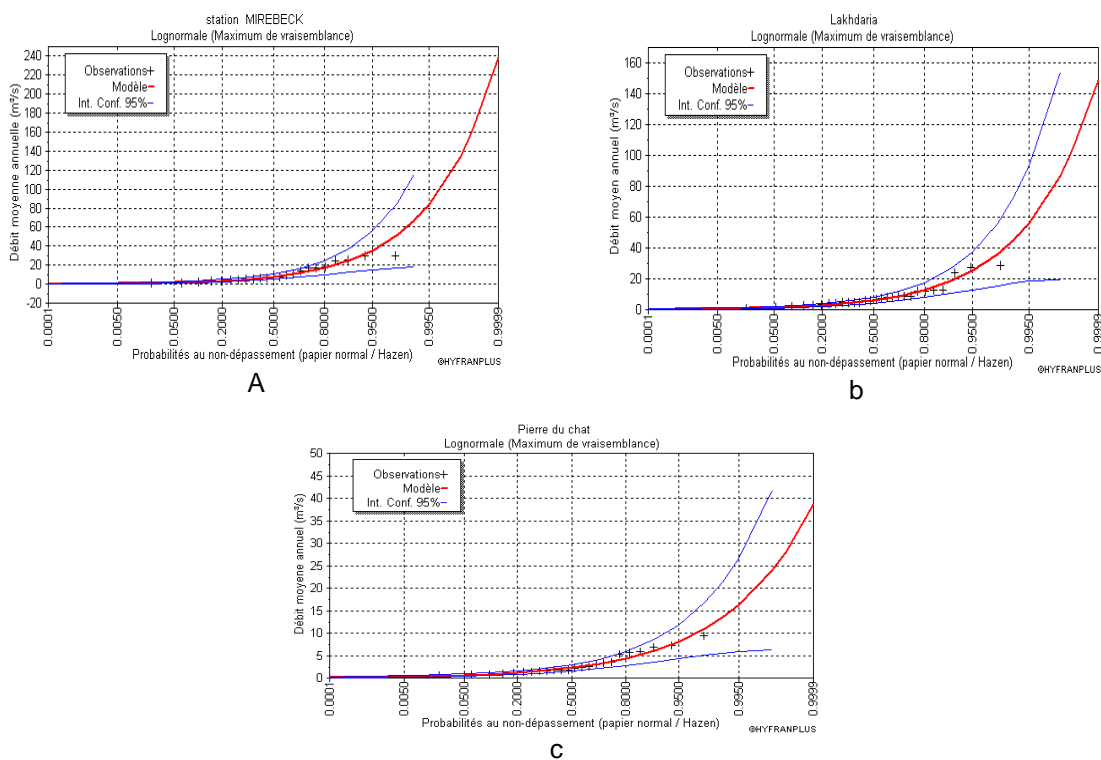


Figure 4.9 : Graphique d'ajustement à la loi log normale des trois stations
a) Merbeck, b) Lakhdaria et c) Pierre du chat

Un test de χ^2 a été appliqué pour se renseigner sur l'adéquation de l'ajustement des lois ; normal et log normal, les résultats de ce test sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 4.12 : Résultats de la statistique χ^2 et l'erreur de la première espèce α pour les trois stations

Station	Résultats du test χ^2	Normale	Log Normale
Merbeck	α (%)	1	90
	χ^2	12.61	1.04
Lakhdaria	α (%)	2.6	47
	χ^2	11.00	3.50
Pierre du chat	α (%)	1.34	33.2
	χ^2	20.33	4.58

On remarque que pour la loi log normale, elle est toujours adéquate pour le niveau de signification 5%. Tandis que pour la loi normale, elle n'est pas adéquate à ce niveau de signification pour toutes les stations, mais elle l'est pour niveau de signification 1%.

Le tableau 4.13 donne les résultats de calcul des quantiles en (m^3/s) des trois stations utilisées pour les lois, normale et log normale et, pour les périodes de retour les plus usuelles en hydrologie.

Tableau 4.13 : Estimation des quantiles de débits (m^3/s) des trois bassins par les lois normale et Log Normale

Station	Lois	Période de retour (ans)					
		1000	100	20	10	5	2
Merbeck	normale	38.9	32.1	25.9	22.7	18.7	11.1
	log normale	134	66.2	35.4	25.3	16.9	7.81
Lakhdaria	normale	29.8	24.4	19.7	17.1	14.0	8.09
	log normale	82.3	42.8	23.9	17.5	12.0	5.84
Pierre du chat	normale	9.68	7.92	6.36	5.53	4.52	2.59
	log normale	33.0	16.0	8.41	5.96	3.93	1.77

On remarque que la station de Merbeck présente toujours les plus grands quantiles que les deux autres stations. La station de Lakhdaria vient en deuxième position.

4.7 Conclusion

L'insuffisance de l'équipement hydrométrique et le manque de données précises ont été largement ressentis dans la compréhension de certains phénomènes hydrologiques. En dépit de données de débits parfois fragmentaires,

L'interprétation statistique et graphique des données nous a permis de saisir les variations spatiales de l'écoulement superficiel des bassins étudiés ainsi que sa forte variabilité temporelle ; annuelle et surtout mensuelles et journalières.

L'analyse des variations mensuelles des débits a permis de dégager spécialement à partir des coefficients mensuels des débits, les nuances de régimes hydrologiques à alimentation essentiellement pluviale liés aux régimes climatiques mais plus ou moins modifiés par le rôle de la lithologie. Ils ont fait apparaître la forte opposition entre l'abondance hivernale et l'indigence estivale des cours d'eau.

CHAPITRE 5

AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES

5.1 Introduction

L'Algérie a consenti des efforts considérables en matière d'investissement pour la réalisation d'un nombre important d'ouvrages de mobilisation, de transferts, de traitement et d'adduction des ressources en eau en vue de répondre à la demande sans cesse croissante des divers usages de l'eau.

Les ressources en eau, qu'elles soient superficielles ou souterraines, ont un impact direct sur le développement socio-économique d'une région. Ainsi, il est indispensable avant toute tentative de mobilisation de bien étudier leur contexte hydrologique. Une fois leur mode de gisement identifié, on opte pour le type d'ouvrage le mieux adapté techniquement et économiquement. Ces ouvrages peuvent être : des grands barrages, moyens barrages ou des retenues collinaires.

Dans la région du Nord de l'Algérie, la conjoncture climatique se caractérise, depuis une trentaine d'années, par une pluviométrie en baisse à laquelle s'ajoute une explosion démographique qui a mené à une mobilisation intensive des ressources en eau. Dans ce chapitre nous apportons une contribution à l'analyse de la mobilisation des ressources en eau dans les trois bassins étudiés dans cette partie du travail. Les ressources en eau des bassins sont-elles mobilisées convenablement, rationnellement ou alors dans le seul souci de répondre rapidement aux besoins de la population ?

5.2 Aménagements de l'époque coloniale en Algérie

C'est à l'époque coloniale qu'est liée la naissance de la grande hydraulique en Algérie. Pour des raisons évidentes, les programmes de barrages réalisés par

la colonisation ont été concentrés sur l'Ouest du pays (une douzaine de barrages en Oranie destinés principalement à l'irrigation) pourtant moins favorisée par la pluviométrie que la région Est. Les 17 barrages existant en 1952 (Figure 5.1) comportaient 93 % de leur capacité totale à l'Ouest du méridien d'Alger [38].

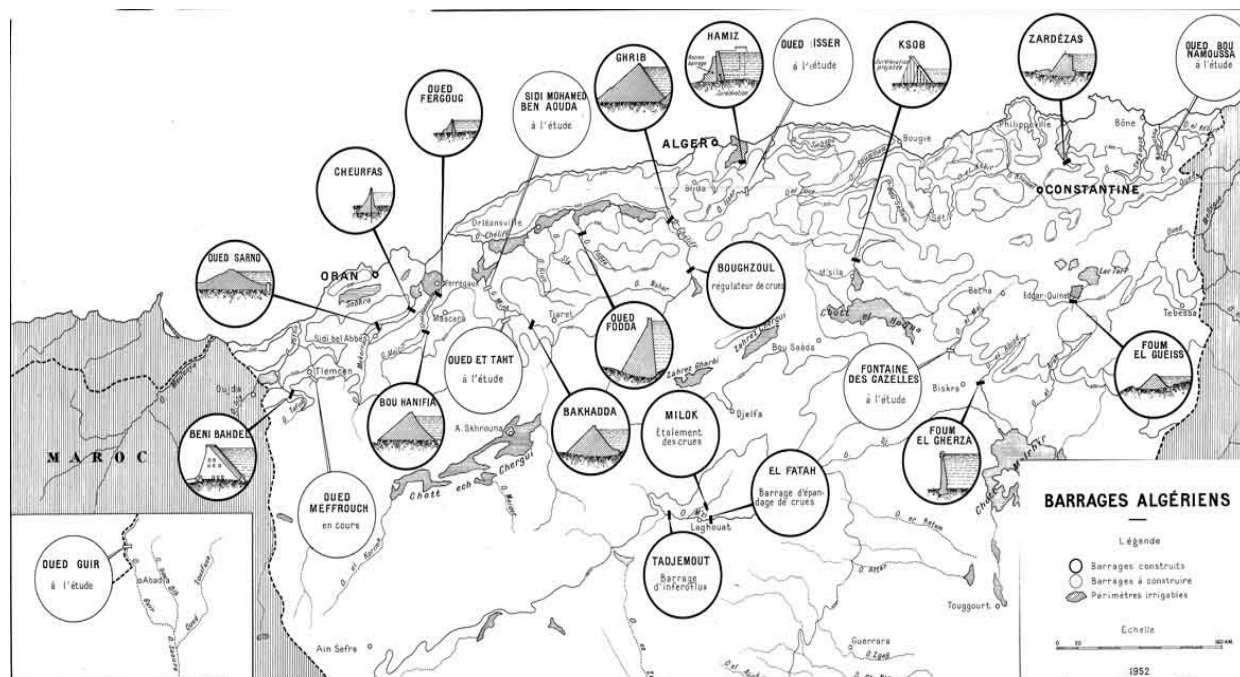


Figure 5.1 : Les barrages d'Algérie et périmètres irrigués avant 1952

Les premiers barrages-réservoirs furent construits en Algérie (1850-1894) évoquée par ARRUS [39], sont au nombre de sept ; 5 ouvrages en Oranie (Cheurfas, Djidiouia, Tlelat, Fergoug et Magoum) et 2 autres tout près d'Alger (Hamiz et Meurad), totalisant un volume de 65 hm³ et aucun barrage n'a été construit dans la région de l'Est algérien.

Il faudra attendre la seconde génération de barrages, issue en réalité du programme de 1920 (grands travaux d'infrastructure et hydrauliques), pour voir s'ériger dans l'Est algérien 3 barrages, de taille plutôt modeste, en l'occurrence Zardézas, Ksob et Foug El Gueiss. Leur capacité cumulée représentait moins de 4 % de la capacité totale (800 hm³) des barrages érigés sur l'ensemble du territoire au cours de la période 1926-1945. Ils faisaient partie d'un programme comportant l'édification de neuf barrages nouveaux (dont Oued Fodda, Ghrif, Bouhazoul, Bakhadda, Beni Bahdel, Bou Hanifia) et la surélévation de 2 barrages édifiés au 19^{ème} siècle (Hamiz et Cheurfas).

La période 1945-1962 connut quant à elle, la mise en chantier de 2 nouveaux barrages dans l'Est : le barrage de Foug El Gherza sur l'oued El Abiod et celui de Cheffia sur l'oued Bounamoussa. Ils s'ajoutèrent à ceux lancés pendant cette même période dans les autres régions du pays (barrage de Sarno, barrage de Meffrouch, barrage de Fergoug et surélévation de Bakhadda.

L'Est algérien hérite, au jour de l'Indépendance, d'une capacité installée de 234 hm³. Par rapport à l'ensemble du territoire, cette capacité, somme toute théorique (car en partie affectée par l'envasement) représentait autour de 16 % du volume potentiel mobilisé par la vingtaine de barrages algériens hérités de la colonisation. Elle ne représente, au fait, qu'une faible part (moins de 5 %) du potentiel en eaux de surface que recèle la région.

5.3 Les aménagements récents en Algérie

5.3.1 Les grands barrages

Après le vide relatif qu'avait connu l'Algérie pendant les deux décennies succédant son indépendance, un effort notable de relance de la grande hydraulique a été entrepris pendant la période 1980-2010 et qui se poursuit actuellement avec la mise en chantier de 1 à 2 barrages en moyenne par an. L'Algérie se voit, aujourd'hui, dotée de 65 grands barrages en exploitation (tableau 5.1, 5.2, 5.3, figure 5.2 et 5.3) et 71 ouvrages en construction ou en étude (tableau 5.4). La capacité totale des barrages en exploitation est de 6935.65 hm³ tandis que le volume régularisé est de 3941.8 hm³/an.

La répartition de ces barrages est devenue plus au moins équitable entre les différentes régions de l'Algérie.

L'Est algérien est doté actuellement de 24 barrages totalisant une capacité de 2790.68 hm³ avec un volume régularisé total de 1954.1 hm³/an. Cela signifie que cette région représente 40.24 % de la capacité totale de stockage en Algérie, autrefois été de 16 % seulement ce qui explique la tendance de la tutelle à construire les barrages dans les régions les plus abondantes en eau de surface. Le tableau 5.1 donne une description sommaire des barrages de l'Est algérien.

Tableau 5.1 : Barrages en exploitation de la région Est algérien

N°	Wilaya	Barrage	Capacité estimée hm ³	Volume régularisé hm ³ /an	Destination
1	Batna	Koudiat Medaour	62	116	AEP-IRR-(réservoir - tampon)
2	Bejaia	Tichy Haf	80	66	-
3	Béjaia	Ighil Emda	102	110	Hydro- Elec
4	Biskra	F. El Gherza	16.9	13	IRR.Palmeraie Sidi -Okba
5	Biskra	F.D. Gazelles	55.5	14	IRR. PalmeraieLoutaya
6	Bordj.B.A	Ain Zada	121.7	50	AEP Setif,Bordj - Bou - Arreridjet El-Eulma
7	El Taref	Cheffia	167.1	95	AEP Annaba AEI El-Hadjar et IRR. Périmètre Bounamoussa
8	El Taref	Mexa	47	37	AEP Annaba, El -Tarf et El-Kalla
9	Guelma	H.Debagh	216.2	55	AEP Guelma, Roknia et IRR. Périmètre Bouchegouf
10	Jijel	El-Agrem	33.9	21,5	AEP Jjiel
11	Jijel	Erraguène	184	99	Hydro- Elec
12	Jijel	Kissir	68	48	AEP-AEI-IRR
13	Khenchela	F.- El-Gueiss	0.48	3.2	AEP Kais et IRR. Remila
14	Khenchela	Babar	41	12	IRR de l'aval
15	Mila	Beni Haroun	960	960	AEP Mila, Constantine, Oum-El-Bouagui, Batna, Khechella, Jijel Irr Mila
16	Mila	Oued Athmania	33	Tampon	AEP-IRR-AEI –Ttransf.
17	Mila	H.Grouz	44	16	AEP Constantine
18	M'sila	Ksob	15.6	20	IRR. Périmètre du K'sob (M'sila)
19	S.Ahras	Ain-Dalia	76	45	AEP Souk-Ahras
20	S.Ahras	Oued-Cherf	157	30	IRR. Par Pompape
21	Skikda	Zardezas	25.3	32	AEP Skikda; El-Harrouch / AEI Skikda et IRR. Saf-saf
22	Skikda	Guenitra	124	48	AEP Skikda / AEI Skikda et IRR. Périmètre Safsaf
23	Skikda	Beni-Zid	40	20	AEP Collo/IRR. Beni – Zid et Guebli
24	Skikda	Zit Emba	120	43.4	IRR, Périmètre de Maghnia
Total		24 barrages	2790.68	1954.1	

AEP : alimentation en eau potable, AEI : alimentation en eau industrielle, IRR : irrigation

(Source ANBT)

Pour la région du Centre 15 barrages sont en exploitation aujourd'hui avec une capacité totale de 1425.25 hm³ et un volume régularisé de 721.2 hm³/an ce qui représente 20.55 % de la capacité totale installée. Le tableau 5.2 donne une description sommaire des barrages du Centre algérien.

Tableau 5.2 : Barrages en exploitation de la région Centre algérien

N°	Wilaya	Barrage	Capacité estimée hm ³	Volume régularisé hm ³ /an	Destination
1	Blida	Bouroumi	188	35	AEP Hammam-Righa; Boumedfaa et IRR. Mitidja-Ouest
2	Bouira	Tilesdit	164.55	164.55	AEP à raison de 17 hm ³ , AEI à raison de 6 hm ³ , et IRR
3	Bouira	Lekhal	29	17	AEP Ain-Bessem et IRR. Périmètre Les Arribs
4	Bouira	Koudiet Acerdoune	640	172	AEP-IRR
5	Boumerdes	Hamiz	15.6	17	Transfert Keddara et IRR Périmètre Mitidja Est
6	Boumerdes	Keddara	143.8	165	AEP Alger et Boumerdes
7	Boumerdes	Beni-Amrane	15.6	TRANSF.	Transfert Keddara par pompage
8	Medea	Boughzoul	35.6	TRANSF.	Transfert Ghrib
9	Medea	Harbil	1	TRANSF.	Transfert Bouroumi
10	Medea	Ladrat	10.6	4.7	IRR. Périmètre de Beni-Slimane
11	Tipasa	Meurad	0.25	1	IRR. Vergers Hadjout
12	Tipasa	Boukourdane	96	49	AEP Tipaza; Cherchell et IRR. Mitidja-Ouest
13	Tissemsilt	K.Rosfa	75	75	AEP de Tissemsilt
14	Tissemsilt	C. Bougara	11	5.5	IRR. Par Pompage Tiaret et Tissemsilt
15	Tizi-Ouzou	Taksebt	175	180	AEP Tizi-Ouzou et Alger
Total		15 barrages	1425.25	721.2	

AEP : alimentation en eau potable, AEI : alimentation en eau industrielle, IRR : irrigation

Source ANBT

Concernant l'Ouest, où sont érigés les premiers barrages en Algérie puis le major parti des barrages de l'époque coloniale, le nombre s'élève à 26 barrages ce qui représente 40 % du nombre totale des barrages en Algérie lequel été de 93 % avant 1952, cette diminution est expliquée par l'augmentation du nombre de barrages dans l'Est algérien qui passe de 4 barrages avant 1952 à 24 barrages aujourd'hui. Les vingt six barrages de l'Ouest algérien totalisant une capacité installée de 2719.72 hm³ qui représente 39.21 % de la capacité totale et, un volume régularisé de 1266.72 hm³/an. Le tableau 5.3 donne une description sommaire des barrages de l'Ouest algérien.

Tableau 5.3 : Barrages en exploitation de la région Ouest algérien

N°	Wilaya	Barrage	Capacité estimée hm3	Volume régularisé hm3/an	Destination
1	Ain Defla	Smbt	75	75	Irrigation
2	Ain-Defla	Ghrib	145.2	105	AEP Médea et Berrouaghia et IRR. Périm Haut Cheliff
3	Ain-Defla	Deurdeur	110.2	40	AEP Tissemsilt et IRR. Périmètre Haut Cheliff
4	Ain-Defla	Harreza	69.2	23	IRR. Périmètre Haut Cheliff
5	Ain-Defla	Oued Mellouk	127	38	AEP Rouina. Bourached. Zeddine. El- Mayenne. Irr. Périmètre d'El- Amra. Abadia. et Rouina
6	Bechar	Djorf-Torba	296.4	100	AEP Béchar. Kenadsa et IRR. Périmètre d' Abadla
7	Chlef	Oued-Fodda	125.5	69	IRR. Périmètre Moyen Cheliff
8	Chlef	Sidi-Yacoub	278.9	98	AEP CHLEF et IRR. Périmètre Moyen et Bas Cheliff
9	El Bayaadh	Brezina	122.5	11.5	IRR. Brezina
10	Mascara	Bou-Hanifia	48.4	TRANSF.	Transfert Fergoug AEP -Hacine
11	Mascara	Fergoug	3.93	93	AEP Oran. Mohamadia/ AEI - Arzew et IRR. Habra
12	Mascara	Ouizert	90.83	TRANSF.	Transfert Bou-Hanifia
13	Mascara	Cheurfas II	81	45	IRR. Périmètre de Sig
14	Mostaganem	Kramis	45.38	45	AEP localités de Achaacha. Boughanem. Nekmaria. Khadra. Sidi Lakhdar et zones d'extension IRR périmètre de 4 300 HA
15	Relizane	S.M.B.A	159.4	100	AEP Relizane et Périmètre de la Mina
16	Relizane	Merdja.S.A	48	40	IRR. Périmètre Bas Cheliff
17	Relizane	Gargar	437.1	120	AEP Oran et IRR Relizane
18	S.B.Abbes	Sarno	21.16	10	AEP -Sidi- Hamadouche (S.Bel-Abbes)
19	Tiaret	Bakhadda	43.8	44	AEP Tiaret et IRR. Tiaret
20	Tiaret	Dahmouni	38.6	9	IRR. Tiaret
21	Tlemcen	Beni-Bahdel	55.5	48	AEP - Oran et IRR. Périmètre de Maghnia
22	Tlemcen	Meffrouch	14.5	17	AEP - Tlemcen
23	Tlemcen	Sidi-Abdelli	106	50	AEP Oran et Ain - Témouchent
24	Tlemcen	Sikak	27	27	AEP de Tlemcen et IRR plaine de Hennaya
25	Tlemcen	Souani	17.6		IRR. Périmètre de Maghnia
26	Tlemcen	H. Boughrara	177	59	AEP Oran et Maghnia et IRR. Périmètre de la Tafna
27	Tlemcen	Dzioua	13		AEP
Total		26 barrages	2719.72	1266.5	

AEP : alimentation en eau potable, AEI : alimentation en eau industrielle, IRR : irrigation.

Source ANBT

Les figures 5.2 et 5.3 donnent la situation géographique des barrages de l'Est et l'Ouest algériens respectivement.

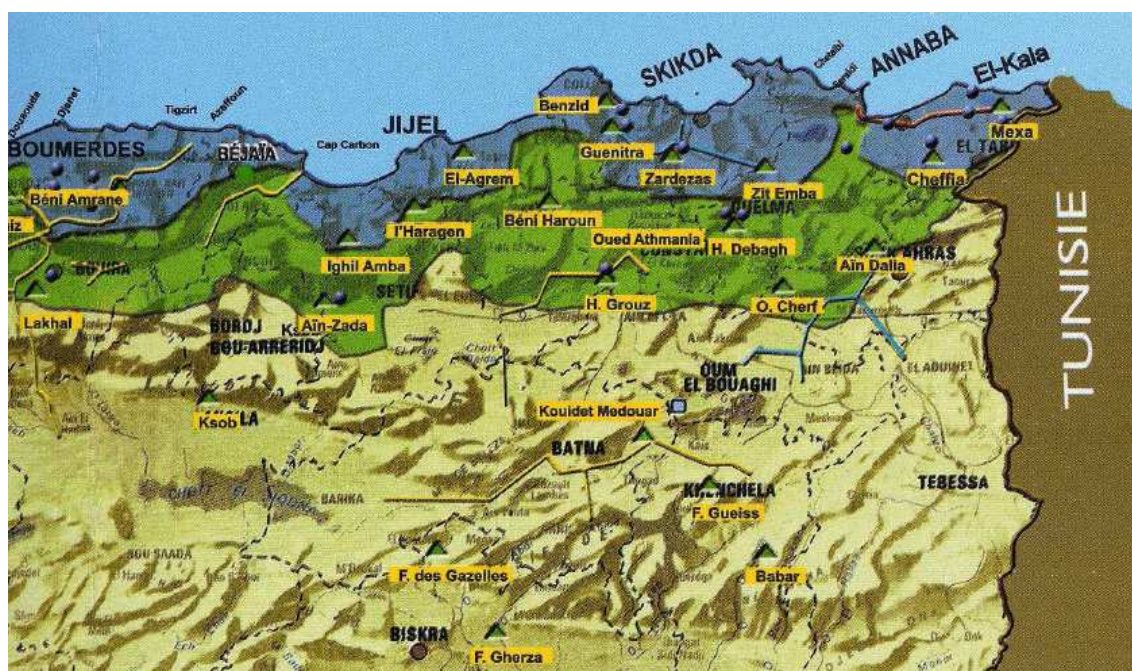


Figure 5.2 : Situation des barrages de la région Nord-Est algérien (Source ANBT)

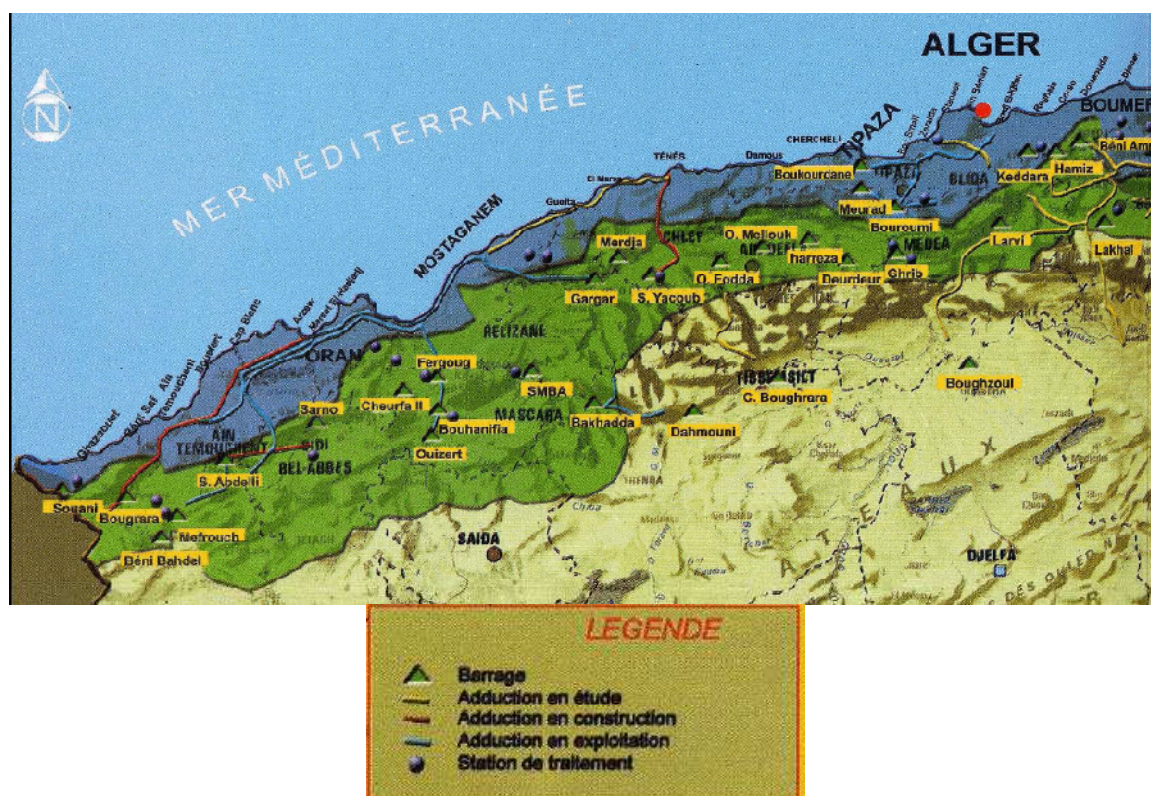


Figure 5.3 : Situation des barrages de la région Nord-Ouest algérien (Source ANBT)

Le tableau suivant donne le nombre de barrages en cours de construction ou en phase d'étude. Le nombre donné est limité uniquement aux barrages dont la capacité totale dépasse les $10 \text{ hm}^3/\text{an}$, leur volume régularisé est de l'ordre de $1332.45 \text{ hm}^3/\text{an}$ ce qui augmente la capacité totale régularisée des barrages algériens à $5274.25 \text{ hm}^3/\text{an}$.

Tableau 5.4 : Grands barrages en construction ou en étude dont la capacité supérieure à 10 hm³ [40]

Désignation		Nombre	Volume régularisé (Hm ³ /an)
En étude	1- en cours de lancement	20	
	2- en cours	14	190.62
	3- Achevées	22	640.15
En construction		13	501.68
Total		71	1332.45

5.3.2 Petits barrages et retenues collinaires

La mise en œuvre des ressources hydrologiques est soumise à divers aléas, contraintes voire nuisances. Les sites de barrages, techniquement et économiquement faisables, étant quasiment tous identifiés et leur exploitation pratiquement programmée pour les 20 ans à venir, il convient de les compléter par des petits barrages et retenues collinaires sur les micro-bassins intermédiaires, en favorisant des aménagements en cascade en vue d'une utilisation optimale des eaux.

Les retenues collinaires représentent un intérêt indéniable sur le plan tant pratique (délais de réalisation assez courts) qu'économique (projets fort peu coûteux comparés aux barrages). Un inventaire établi par les différents Agences de bassins hydrographiques montre que la capacité globale de ces petits ouvrages (954 unités au total) avoisine les 116.13 hm³, répartis comme suit (figure 5.4) :

- Constantinois-Seybouse-Mellegue : Cinq bassins de l'Est algérien comportant 319 unités d'une capacité totale de 38 hm³;
- Algérois-Hodna-Sommame : Trois grands bassins versants comportant 269 retenues pour une capacité totale de 42 hm³;
- Cheliff-Zahrez : Deux grands bassins avec 186 retenues totalisant une capacité de 35.13 hm³. Ce bassin est menu aussi de huit prises d'eau sur oued avec un volume régularisé de 57 hm³/an ;
- Oranie - Chott Chergui : Quatre grands bassins contenant 180 retenues pour un volume régularisé de 1 hm³/an.

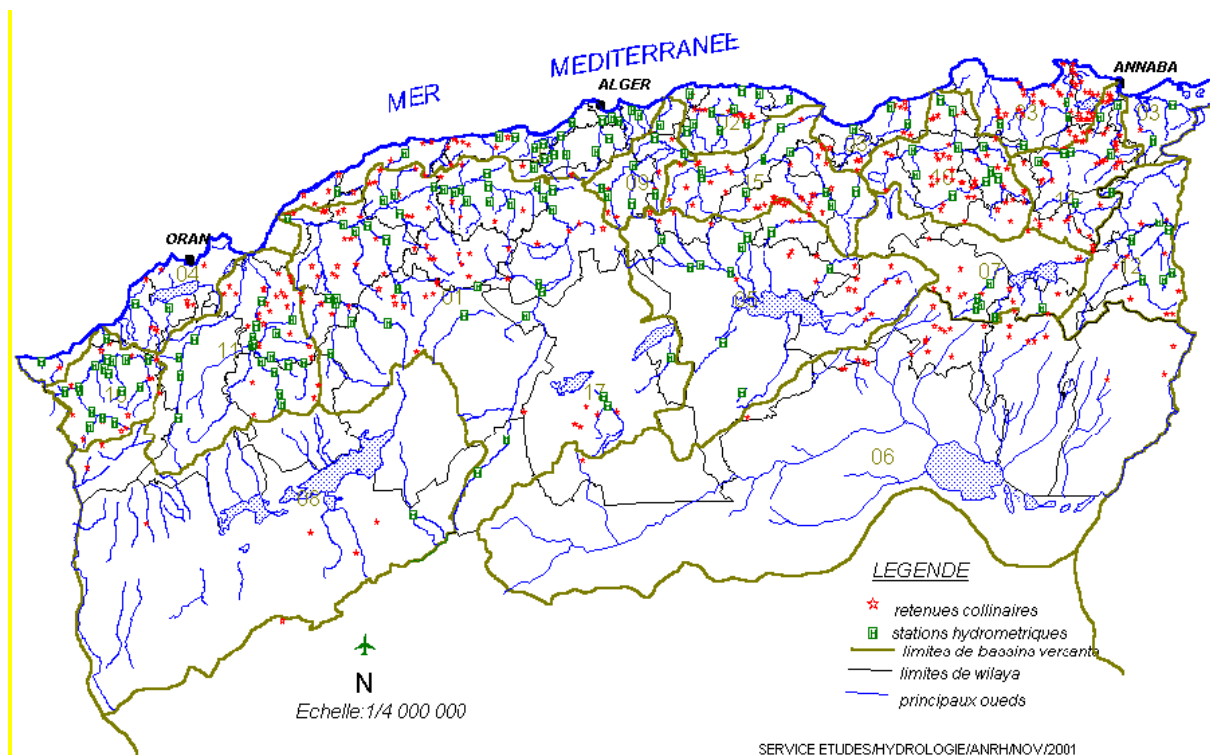


Figure 5.4 : Répartition des retenues collinaires à travers le Nord algérien (Source ANRH 2001)

Un projet de construction de 500 retenues collinaires a été lancé depuis l'an 2000 [41], L'impact de ces petits aménagements sur la mise en valeur hydro-agricole demeure, néanmoins, assez faible. Cette technique mérite pourtant d'être largement valorisée, avec une prise en charge plus efficace à l'amont (entretien des ouvrages hydrauliques) et à l'aval (gestion participative des bénéficiaires des aires d'irrigation pour une meilleure utilisation de l'eau).

5.3.3 Les grands transferts d'eau dans le Nord algérien

Pour pallier contre l'irrégularité spatiale de la répartition des eaux de surface, plusieurs transferts entre bassins versants ont été programmés, parmi lesquels on cite :

- l'aménagement d'El Taref, dispositif qui regroupe six barrages régularisant plus de $300 \text{ hm}^3/\text{an}$: desserte du pôle urbano-industriel d'Annaba, les villes d'El Kala et El Taref et les grands périmètres d'irrigation des plaines du Kébir -Est et de Bounamoussa ;
- le système de Beni Haroun ($504 \text{ hm}^3/\text{an}$) dans le Constantinois ;

- les systèmes Est et Ouest du transfert Petite Kabylie-Sétif-Hodna (313 hm³/an) et aménagement des hautes plaines sétifiennes ;
- Transfert à partir du barrage Tichy-Haf : Ce transfert est destiné à l'approvisionnement en eau potable de 22 communes (854000 hab) situées sur le couloire Akbou - Béjaia (150 hm³/an) et l'irrigation de 6400 hectares dans la vallée de la Soummam et 3200 ha dans la région du Sahel.
- Transfert à partir du barrage Tilesdit : Cet aménagement est destiné au renforcement de l'approvisionnement en eau potable et industrielle de 12 communes (291000 hab) de la wilaya de Bouira.
- Transfert Douéra-Mazafran-El Harrach : Ce transfert est inscrit dans le cadre du plan de développement hydro-agricole de la plaine de la Mitidja. Il est destiné à l'irrigation de la partie Est du périmètre de la Mitidja centre (17180 ha).
- Transfert à partir du barrage Koudiat Acerdoune: Le barrage de Koudiat-Acerdoune, qui régularise les eaux de l'oued Isser, a une capacité de 640 millions de mètres cubes. Deux transferts à partir de ce barrage sont programmés ; le premier vers le barrage de Keddara (178 hm³/an) pour le renforcement de l'alimentation en eau de la capitale et, le deuxième transfert à partir de ce barrage vise la satisfaction en eau potable des wilayas ; M'Sila, Tizi Ouzou, Bouira et Médéa (notamment la nouvelle ville de Boughzoul) situées sur les couloirs Koudiat Acerdoune-Ain El Hadjel-Boughezoul et Ouadhias. En plus de l'alimentation des populations de ces cinq wilayas, les eaux de ce barrage serviront à l'irrigation des périmètres de Mitidja Est et le moyen Isser.
- Transfert Taksebt - Alger: Le barrage de taksebt est situé sur l'axe de l'Oued Aïssi, affluent principal de l'oued Sébaou dans la wilaya de Tizi Ouzou. Le transfert des eaux du barrage de Taksebt vise l'alimentation en eau potable des wilayas de Tizi Ouzou (57 hm³), de Boumerdes et Alger (118 hm³/an) et l'irrigation du périmètre Isser-Algérois
- Dérivation oued Djer: Ce transfert permettra l'irrigation de 24000 hectares de la Mitidja Ouest grâce au transfert de 21 hm³ vers la retenue du barrage de Bouroumi situé dans la wilaya de Ain Defla ;

- enfin, le système d'aménagement « MAO » dans l'Oranie et le captage des eaux du Chellif (155 hm³/an) en vue de réduire le stress hydrique de la frange Nord-Ouest du pays (couloir Mostaganem-Arzew-Oran), climatiquement très défavorisée.

5.4 Description des barrages et retenues des bassins étudiés

5.4.1 Le bassin versant de la Tafna

5.4.1.1 Les grands barrages

Jusqu'à l'année 1980, les deux grands barrages Beni Bahdel et Meffrouche arrivaient à subvenir aux besoins de la population locale ainsi qu'à celle de la ville d'Oran. L'accroissement de la population, la diminution non négligeable de la pluviométrie ainsi que le développement socio-économique de la région a poussé les autorités locales à chercher à mobiliser encore plus de ressources en eau. Ainsi, d'autres grands ouvrages ont été réalisés dont ceux consignés dans le tableau 5.5. Ce dernier résume les principales caractéristiques des grands barrages réalisés à travers le bassin de la Tafna.

Tableau 5.5 : Principales caractéristiques des grands barrages du bassin de la Tafna

Nom du barrage	Capacité en hm ³	Volume régularisable hm ³ /an	Surface du Bassin versant en km ²	Date de mise en service
Beni Bahdel	63	74	1016	1952
Meffrouche	15	15	90	1963
Sidi Abdelli	110	50	1137	1987
Hammam Boughrara	177	56	4000	1998
Sikkak	30	25	251	2006
Souani	14	Transf	/	2005

La capacité de stockage totale des grands barrages installés à travers ce bassin est de 409 hm³ tandis que le volume régularisé est de 220 hm³/an.

5.4.1.1.1 Le barrage Beni Bahdel

C'est le plus ancien barrage de la région. Il a été réalisé au temps de la colonisation française à 30 km au sud-ouest de Tlemcen, est choisi en raison du débit régulier et assez abondant de la Tafna qui l'alimente et qui reçoit à

cet endroit son affluent l'oued Khémis. La capacité initiale du barrage est évaluée à 63 hm^3 et est censé pouvoir régulariser un volume de 74 hm^3 , la superficie de son bassin versant est de 990 km^2 . La mise en eau est effectuée en 1940. L'aménagement comporte :

- Le barrage principal : D'une longueur de 350 m, à une hauteur de 54 m, il se compose de trois tronçons :
 - Rive droite: se raccordant à la montagne, un barrage à poids de 50 m ;
 - Au milieu: un barrage de 220 m, constitué de onze voûtes, renforcées par des contreforts ;
 - Rive gauche: se raccordant à la butte, un second barrage à poids de 80 m de longueur ;
- Deux digues de cols, de même hauteur entre elles ; 15m : la première, dite du " Col Nord ", de 226 m de longueur, se situe à 650 m au sud du barrage; la deuxième, dite du " Col de la Route ", a 451 m de longueur et se situe à 700 m au sud-ouest de la précédente.

Le projet initial réservait l'eau à l'irrigation des 5000 ha de cultures de la plaine de Maghnia exclusivement, avec une hauteur de 47 m. La conjoncture climatique a fait que les eaux ont été détournées pour assurer l'AEP de la ville d'Oran qui souffrait d'un manque d'eau énorme; Sa nouvelle destination impliquait sa surélévation de 7 m, pour atteindre 54 m. Le manque d'eau dans la ville d'Oran est en voie de règlement, particulièrement par l'approvisionnement à partir d'autres sources (autres barrages et station de dessalement des eaux). Une partie des eaux de cette retenue sera prochainement réaffectée vers le groupement urbain de Tlemcen.

5.4.1.1.2 Le barrage de Sidi Abdelli

Le barrage d'El-Izdihar à Sidi Abdelli est situé sur l'oued Isser au Nord du village de Sidi Abdelli et à l'amont de la ville de Ben Sekrane, à 37 km de la ville de Tlemcen, au lieu de coordonnées Lambert : $X=150.50 \text{ km}$, $Y=206.200 \text{ km}$, il est mis en eau en 1988. C'est un barrage en remblais à noyau central. D'une capacité totale de 110 hm^3 et un volume régularisé de 50 hm^3 pour une hauteur de 60m, la crête se situe à la côte 353.50 mNGA, le niveau de la retenue normale

étant de 345.00 mNGA. La superficie du bassin versant est de 1140 Km², l'apport moyen annuel est de 61 hm³ et la crue du projet est de 4430 m³/s. L'aménagement comporte : un écran d'étanchéité, un évacuateur de crues, une prise d'eau, une vidange de fond et un tunnel.

Les eaux de ce barrage ont été initialement destinées à l'irrigation. A la suite du déficit pluviométrique enregistré dans l'ouest Oranais dès le début des années 1980, les eaux mobilisées par ce barrage ont été réaffectées pour l'approvisionnement de la ville d'Oran, la ville de Sidi Bel Abbés et toutes les agglomérations qui se trouvent dans ce couloir.

5.4.1.1.3 Le barrage de Hammam Boughrara

Ce barrage est situé dans la partie ouest de l'Algérie est porte le nom de la localité distante de 1 km en aval du barrage. Les coordonnées Lambert qui définissent le site du barrage Hammam Boughrara sont : X = 102.9 km et Y = 185.2 km où la côte du lit de l'Oued est à environ 259 m au dessus du niveau de la mer. Sa première mise en eau est date depuis l'année 1999. La superficie du bassin versant au site du barrage est de 4000 km².

Les calculs de la régularisation du Barrage Hammam Boughrara ont montré que ce barrage peut garantir un volume de 59 hm³/an, dont 23.6 hm³/an pour l'alimentation en eau potable et 35.4 hm³/an pour l'irrigation, sous la cote de la retenue normale de 305 m qui correspond à une capacité totale de 177 hm³.

Au moment de l'étude de ce barrage, il a été proposé d'utiliser les eaux mobilisées pour la mise en valeur agricole de la moyenne et basse Tafna. Actuellement, il y'a des lâchées d'eau qui sont effectuées dans ce but. Deux transfert d'eau sont prévus : le premier est achevé et il permet l'acheminement de 17 hm³/an vers les deux réservoirs de 5000 m³ chacun, de la ville de Maghnia. Le second transfert est prévu vers Oran et acheminera 33 hm³/an. Il est en cours de lancement. Il faut noter que pour ce barrage, il est encore prévu un transfert vers la station de Bou Hallou. Ce dernier est encore au stade d'étude.

5.4.1.1.4 Le barrage Sikkak

C'est un barrage en terre d'une capacité totale de 27 hm³ et un volume régularisé de 25 hm³, la superficie de son bassin versant est de 326 km². Les coordonnées Lambert du site sont : X = 131.8 km et Y = 202 .2 km et, la côte de lit de l'oued est de 178 mNGA. La mise en eau du barrage est effectuée en 2004. L'apport moyen annuel au site du barrage est de 46.4 hm³/an et la crue millinale est estimée à 1622m³/s.

Ce barrage au départ a été prévu pour la mise en valeur agricole des plaines d'Hennaya et d'El Fehoul. Dès l'achèvement des travaux, une adduction pour assurer un transfert des eaux vers le groupement urbain de Tlemcen (G.U.T), a été posée. Les volumes d'eau refoulés sont peu important 7 hm³/an.

5.4.1.1.5 Barrage El Mefrouche

Le barrage d'El Mefrouche, situé à 10 km environ, sur les hauteurs, au sud de la ville de Tlemcen. Ce barrage, à voûtes multiples en béton d'une capacité de 15 hm³ et un volume régularisé de 17 hm³/an, draine une superficie de 85 km² au droit de son site. Il est exploité depuis l'année 1963.

Le barrage avait pour but essentiel de fournir l'alimentation en eau potable de la ville de Tlemcen avec irrigation de 4500 ha et de compléter l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran venant du barrage des Beni-Bahdel, il est destiné aussi à l'irrigation du périmètre de Maghnia, si l'excédent du débit recueilli le permettait une fois le débit réservé aux villes de Tlemcen et d'Oran retiré.

5.4.1.1.6 Le barrage Souani

Ce barrage d'une réserve de 14 hm³ est constitué de trois digues en terre réalisé à proximité du village du même nom. La réserve était censée recevoir l'excédent du barrage Béni Bahdel évalué à 14 hm³. En effet, ce dernier dont la capacité initiale était évaluée à 63 hm³ était censé pouvoir régulariser un volume de 74 hm³. L'idée a consisté à vouloir récupérer cet excédent en réalisant le

réservoir de Souani et une conduite de transfert d'environ une vingtaine de Km avec l'installation de nombreux équipements.

Les eaux transférées vers ce barrage vont être utilisées pour l'irrigation du périmètre de Maghnia et des plaines avoisinantes le barrage.

5.4.1.2 Les petits barrages

Ces ouvrages de moindre importance sont surtout destinés à la mise en valeur agricole. Étant assez importants, ils nécessitent une étude détaillée qui demande beaucoup d'investissements et notamment les reconnaissances de terrain. Huit ouvrages ont déjà été réalisés et le volume d'eau ainsi mobilisé est de 7.38 hm³ (tableau 5.6).

Tableau 5.6 : Les petits barrages à travers le bassin de la Tafna [41],

Nom	Surface du Bassin versant (km ²)	Capacité hm ³	Hauteur de la digue (m)	Superficie irrigable (km ²)	Localité
O. El Guettara	21.4	0.5	15	80	Amieur
O. El Atchane	45.59	0.916	18	100	Ouled Riah
O. Sidi Senouci	15.5	0.5	13	80	Sidi Abdelli
Chabet El Alia	20.0	0.5	14	80	Sidi Abdelli
O. Magoura	50.0	1.4	8	120	Bouihi
O. Aich	24.9	1.783	18.0	120	Beni Boussaid
O. Tiloua	22.4	0.781	18.5	100	
O. Khalfoun	78	1.0	17	200	Ouled mimoun

5.4.1.3 Les retenues collinaires

Les retenues réalisées à travers le bassin de la Tafna sont de petits ouvrages en terre destinés à emmagasiner des quantités d'eau peu importantes variant de 10000 à 100000 m³. Les volumes d'eau mobilisés par ce moyen sont surtout destinés à la mise en valeur agricole à petite échelle et l'abreuvement du Cheptel [43].

Jusqu'à l'année 2000 il y avait 91 retenues (tableau 5.7), dont 20 seulement sont fonctionnelles dont la capacité totale est négligeable.

Tableau 5.7 : Les retenues collinaires à travers le bassin de la Tafna [44]

DAIRA	Période de réalisation		Etat en juin 2000
	1985/1989	1990/2000	
Maghnia	05		Envasé à 100%
Mansourah	04		1 en bon état
Sebdou	09		06 en bon état
Remchi	13		02 en bon état
Nédroma	09		Détruites
O. Mimoun	14		Détruites
Bab El Assa	14		03 en bon état
Sabra	07		01 en bon état
Chetouane		04	Hors service
Honaine		02	Hors service
Fillaoucène		02	Hors service
A. Tellout		08	07 en bon état
Total	75	16	20

5.4.2 Le bassin versant de la Seybouse

5.4.2.1 Les grands barrages

Le bassin versant de la Seybouse est doté de deux grands barrages dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 5.8 : Principales caractéristiques des grands barrages du bassin de la Seybouse

Wilaya	Commune	Dénomination	Capacité (hm ³)	V. Régularisé (hm ³ /an)	Année de mise en eau
Souk Ahras	Zouabi	Foum El Khanga	157	30	1995
Guelma	Bouhamdane	Hammam Debagh	220	55	1987

La capacité de stockage de ces deux barrages est de 377 hm³ dont le volume régularisé est de 85 hm³.

5.4.2.1.1 Barrage de Hammame Dbagh

En 1987, est achevé le barrage de Hammam Debagh sur l'oued Bouhamdane, à 23 km de la ville de Guelma et à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Dèbagh. C'est un barrage en terre d'une hauteur de 93 m, une longueur en crête de 430 m, largeur en crête de 9 m et une largeur à la base de 516 m. Le volume de la digue est 6.5 hm³. Pour la retenue, le niveau maximal est 372.50 mNGA, le niveau de la retenue normale est 360 mNGA, le niveau au volume mort est de 315 mNGA et la capacité utile atteint 200 hm³.

La retenue créée est d'une capacité totale de 220 hm³ permettant une régulation annuelle de 55 à 60 hm³. Le bassin versant s'étend sur 1050 km² donnant un apport inter annuel de 69 hm³. La crue maximale retenue par la réalisation est de 3500 m³/s.

Ce barrage est destiné à l'irrigation (34 hm³/an) des 2 périmètres Guelma-Boucheougouf (dont la superficie s'étend sur 13000 ha) et Dréan-Besbès dans la wilaya d'El Taraf d'une part et, l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et des centres avoisinants (19 hm³/an) d'autre part.

5.4.2.1.2 Barrage Foum El Khanga (Oued Cherf)

En 1995, est réceptionné le barrage de Foum El Khanga, sur l'oued Cherf à une vingtaine de km de la ville de Sedrata, wilaya de Souk Ahras. C'est un barrage en enrochement d'un volume total de 157 hm³ et un volume régularisé de 30 hm³/an. Il draine une superficie de 1710 km².

Il est destiné à l'irrigation de la plaine de Ksar Sebihi-Sedrata (un projet de 9000 ha au total).

5.4.2.2 Les petits barrages

Quatre petits barrages en exploitation à travers le bassin de la Seybouse dont les informations y concernant sont peu disponibles. Le tableau V.9 donne les caractéristiques de ces barrages que nous avons pu collecter pour ce bassin.

Tableau 5.9 : Les petits barrages à travers le bassin de la Seybouse

Wilaya	Commune	Dénomination	Capacité (hm3)	V. Régularisable (hm3/an)
Souk Ahras	Tiffech	Tiffech	5.8	/
Guelma	Sellaoua Anouna	K. Haricha		/
	Ain Makhoulouf	Medjez El B'gare	2.86	/
Annaba	Ain Berda	Koudiat Mahcha		10

(Source ABH-CSM 2011)

Deux barrages seulement dont leur capacité est connu, elle avoisine 8.66 hm³.

5.4.2.3 Les retenues collinaires

Soixante dix neuf retenues collinaires ont été construites sur le territoire du bassin de la Seybouse, dont les capacités varient de 10000 m³ jusqu'à 800000 m³. Leurs caractéristiques sont consignées dans le tableau 5.10.

Tableau 5.10 : Les retenues collinaires à travers le bassin de la Seybouse

Wilaya	Commune	Dénomination	Capacité (x 1000 m ³)
Constantine	Ben Badis	Bouden	700
	Ben Badis	Oued El Haria	180
	Ben Badis	Oued Magroune	320
	Ben Badis	Oued Tassenga	170
	Ain Abid	Touifeza	675
El Taref	Drean	Boufara 1	100
	Drean	Boufara 2	250
Guelma	Bordj Sabath	Ain Bouras	500
	Oued Zenati	Bled Ben Rabeh	100
	Ras El Agba	Boutouila	30
	Ras El Agba	El Akba	10
	Oued Zenati	El Aleg	100
	Bouati Mahmoud	Hadjar Gafta	440
	Ras El Agba	Oued Eddefla	40
	Hammam Debagh	Rihana	65
	Medjez Amar	Ain Arar	70
	Khezaras	Ben Mabrouk	70
	Belkheir	Besbessa	25
	Boumahra Ahmed	Chaabet Labba	30
	Heliopolis	Goutrate	20
	Belkheir	Meddraoua	30
	Medjez Amar	Medjez Ammar	25
	Boucheqouf	Bir El Aneb	30
	Oued Cheham	Bouquetaya	30
	Oued Cheham	Koudiat Rim	10
	Medjez Sfa	Medjez Sfa	10
	Ain Ben Beida	Bir Chegrane	25
	Nechmaya	Hadjar Gafta	500
	Ain Ben Beida	Ladraoua	30
	Oued Fragha	Moumena	20
	Nechmaya	Oued Nekla	40
	Oued Fragha	Quarante Cinq	25
	Oued Fragha	Saidia	50
	Ain Ben Beida	Sidi Mansour	25

Suite tableau 5.10 : Les retenues collinaires à travers le bassin de la Seybouse

Wilaya	Commune	Dénomination	Capacité (x 1000 m ³)
Souk Ahras	Tiffech	Ain Salah	110
	Bir Bouhouche	Bir Bouhouche	192
	Sedrata	Chaabet El Melah	33
	Sedrata	Chaabet Nakess	/
	Ain Babouche	Djebel Hammimet	135
	Ragouba	El Habil	60
	Sedrata	Essouk	53
	Sedrata	Hamimine	230
	Mechroha	Mezraet O.benchich	35
	Berriche	Ouden Djedj	50
	Oum El Adhaim	Oum El Adhaim	100
	Ragouba	Ross Eddis	87.48
	Ragouba	Sidi Makhlof	144
	Berriche	Zorg	283
	Mechroha	Henchir Guigueb	800
Oum El Baouaghi	Ksar Sbahi	Gourn	40
	Ksar Sbahi	Mebdouaa	35
	Ksar Sbahi	N'goussa	20
	Ain Diss	Bir Ammar	20
	Ain Diss	Chaabet El Merra	423
	Ain Diss	Morhat	123
	Berriche	Chaabet El Melah	200
	Berriche	El Oussaa	70
Annaba	Ain Berda	Amrani Slimane	70
	Ain Berda	Belhouchet	46
	Ain Berda	Bendjemaa	300
	Ain Berda	Diaf Abdellah 1	70
	Ain Berda	Diaf Abdellah 2	140
	Ain Berda	Diaf Abdellah 3	290
	Ain Berda	Diaf Hmada	30
	Ain Berda	Djeraya	70
	Ain Berda	Djeraya	70
	Ain Berda	Hemil Boubakeur 1	80
	Ain Berda	Hemil Boubakeur 2	80
	Ain Berda	Kadri 1	150
	Ain Berda	Kadri 2	220
	Ain Berda	Medjez 1	90
	Ain Berda	Medjez 2	45
	Ain Berda	Medjez 3	60
	El Bouni	Nedjai	90
	Ain Berda	Nessekh	190
	Ain Berda	Sedrati	22
	Ain Berda	Selmoune	50
Ain Berda	Stah	70	
Ain Berda	Toumi Ali	70	
Ain Berda	Toumi Lakrim	60	
Total		80 retenues	10351.48

(Source ABH-CSM 2011)

Ces retenues totalisent une capacité de 10.35 hm³.

5.4.3 Bassin de l'Isser

5.4.3.1 Les grands barrages

Le bassin versant de l'Isser dispose de trois grands barrages dont celui considéré comme le deuxième plus grand barrage en Algérie en l'occurrence celui de Koudiet Acerdoune mise en eau récemment (2008) et, qui représente la quasi-totalité du capacité de stockage de ce bassin. Le tableau 5.11 présente les caractéristiques des barrages du bassin Isser.

Tableau 5.11. Principales caractéristiques des grands barrages du bassin de l'Isser

Wilaya	Commune	Nomination	Capacité (Hm ³)	Volume régularisé (Hm ³ /an)	Année de mise en eau
Boumerdes	Beni Amrane	Beni Amrane	15.6	transf	1988
Médéa	El Omaria	Ladrat	10.6	4.7	1989
Bouira	Maala	Koudiet Acerdoune	640	172	2008

La capacité totale de stockage des barrages implantés au niveau du bassin Isser est de 666.2 hm³ avec un volume régularisé de 176.7 hm³/an.

5.4.3.1.1 Barrage de Koudiet acerdoune

Le barrage de Koudiat Acerdoune est un vrai exemplaire qui a vu le jour en Algérie. Il est implanté au cœur des montagnes de Zbarbar sur l'oued Isser dans la commune de Maala à 15 km au sud de la ville de Lakhdaria et à environ 80 km au Sud-Est d'Alger. Les coordonnées qui définissent le site du barrage sont : latitude = 36°29' et longitude = 3°35'. Il a été mis en eau en 2008.

Le barrage est de type poids en béton compacté au rouleau (BCR) et il figure parmi les 20 barrages en BCR les plus importants de la planète ce qui représente aujourd'hui pour l'Algérie une fierté toute particulière. L'ouvrage a une hauteur de 121 m, une longueur en crête de 492 m et une largeur à la base de 134 m. il sera alimenté par un bassin versant s'étendant sur une superficie de 2790 km², avec une capacité de stockage de l'ordre de 640 hm³, ce barrage sera le 2^{em} plus important en Algérie après celui de Beni Haroun et pourra régulariser annuellement 178 hm³.

Cet aménagement permettra d'alimenter 34 agglomérations réparties entre les wilayas de Bouira, Médéa, M'Sila, Tizi Ouzou, Bougazoul (nouvelle ville) pour une population avoisinant les 800000 habitants ($70 \text{ hm}^3/\text{an}$). Il assurera également l'irrigation de 18000 ha de terres agricoles de la Mitidja-Est et de 1000 ha de la plaine du Moyen-Isser ($108 \text{ hm}^3/\text{an}$).

5.4.3.1.2 Barrage de Beni-Amrane

Ce barrage est situé à 70 km au Sud-Est d'Alger, sur l'oued Isser est porte le nom de la localité où il est implanté dans la wilaya de Boumerdès, il se trouve à l'aval du barrage de Koudiet Acerdoune. Les coordonnées Lambert qui définissent le site du barrage Hammam Boughrara sont : $X = 570.10 \text{ km}$ et $Y = 369.75 \text{ km}$, c'est un barrage de type enrochement et sa mise en eau est effectuée en 1988. La superficie du bassin versant drainé par l'oued Isser au droit du barrage de Beni-Amrane est de 4126 km^2 .

Le barrage de Beni-Amrane fait partie de l'aménagement du système Isser-Keddara-Boudouaou-Alger. L'aménagement est destiné à satisfaire les besoins en eau potable du Grand Alger et des villes se trouvant dans la zone Est de la Mitidja, entre Alger et l'Oued Boudouaou. Cet aménagement consiste-en :

- Un barrage de 39.5 m de hauteur donnant origine à une retenue de 15.6 hm^3 , un ouvrage de prise et une station de pompage, ayant une capacité de $7 \text{ m}^3/\text{s}$, sur l'oued Isser, près de Béni Amrane ;
- Une conduite de 2 m de diamètre et de 31.3 km de longueur, reliant le barrage de Beni Amrane à la retenue de Keddara.

L'apport annuel minimum enregistré est de 132 hm^3 , tandis que le maximum est de 975 hm^3 .

5.4.3.1.3 Barrage Ladrat

Ce barrage se situe dans la wilaya de Médéa et plus précisément dans la commune de l'Omaria sur l'oued Ladrat. Les coordonnées Lambert qui définissent le site du barrage Hammam Boughrara sont : $X = 533.30 \text{ km}$ et $Y = 326.55 \text{ km}$. C'est un petit barrage en terre d'une capacité de 10.6 hm^3 et un volume régularisé

de 4.7 hm³, drainant un bassin versant d'une superficie de 73.5 Km². Sa mise en eau est date depuis l'année 1989.

L'apport moyen annuel est de l'ordre de 8.1 hm³ avec des débits de pointe de crue de 175 m³/s et 375 m³/s respectivement pour des périodes de retour de 10 ans et 100 ans. L'apport annuel minimum enregistré est de 3.6 hm³ tandis que le maximum est de 13.5 hm³, la côte de la crête est de 680.6 mNGA et celle du fond de l'oued est de 650 mNGA.

Il est destiné à l'irrigation du périmètre de Béni Slimane et à la consommation domestique des agglomérations avoisinantes.

5.4.3.2 Les retenues collinaires

Le bassin versant de l'Isser est doté de 47 retenues collinaires d'une capacité allant de 5000 m³ jusqu'à 630000 m³. Leurs caractéristiques sont présentées sur le tableau 5.12.

Tableau 5.12 : Les retenues collinaires à travers le bassin de l'Isser

Wilaya	Commune	Nom de l'oued	Nom de l'ouvrage	Capacité x1000 m ³	État général
Boumerdès	Laghata	/	Koudiet El Arais	60	/
		/	DAS Saoudi	100	/
	Bordj Menail	/	Ouled Besbes	80	/
		/	Bousbaa	60	/
	Chaabet El Aneur	/	Izguer Achour	100	/
		/	DAS Bacha	60	/
		/	Raby	80	/
		/	VAS	90	/
	Isser	/	DAS Meftah	60	/
		/	Haouch Bouteldja	250	/
	Ammal	/	Ouled Ben M'Chek	80	/
	Ouled Moussa	/	DAS Rih	100	/
		/	DAS Rih	80	/
		/	Sidi Salem	60	/
	Sidi Daoud	/	Azib Tolba	40	/
		/	DAS Fedag	40	/
		/	DAS Bourahla1	20	/
		/	DAS Bourahla2	40	/
	Médéa	Ouled Brahim	/	Chabet Drabine	170
/			Chabet Defla	210	Bon
Sidi Ziane		/	Chabet Mehadjer	5	Mauvais
Bousskène		/	Oued Benloulou	307	Bon
Rebaia		/	Chabet Sfai	93	Mauvais
		/	Chabet Ain Bouaicha	67	Bon-
Sidi Zahar		/	Ouled Chérigué	100	Bon
Souagui		/	Chabet Bouhalfia	60	/
El Aziza		/	Oued Messai	630	/
		/	Oued Anseur El Hadj	70	/
Djoueb		/	Oued Boulardjem	555	/
		/	Djoueb 02	25	Mauvais
		/	Chabet El Farfachia	60	Bon
Beni Slimane		/	Chabet Latouch	120	/
		/	Chabet Arous	60	/
		/	Chabet Loualouia	80	Mauvais
		/	Chabet Matreg	186	Bon-
Sidi Rabie		/	Chabet Bled Khedairia	170	/
		/	Chabet Touriah	185	/
	/	B.S 18	48	/	
	/	Chabet Meharzia	35	/	
Bouira	Bir Ghalou	Guerria	Guerria	31	Mauvais
		Bouchiouane	Bouchiouane	20	Bon
	Aomar	Foudia	Foudia	144	Moyen
	Djebahia	Djelada	Djelada	20	Moyen
	Souk El Khemis	Merdja El Arida	Merdja El Arida	343	Bon
	Lakhdaria	Bouderbala	Oued Tamda	57	Bon
	Khabouzia	Merdja el Ariba	Merdja el Ariba	295	Bon
Total			47 retenues	5576	

(Source ABH-AHS 2011)

La capacité totale des 47 retenues existantes au sein du bassin Isser est de 5.58 hm³.

5.4.4 Conclusion

La plupart des barrages que nous avons décrits ont été réalisés dans le cadre de la mise en valeur agricole. L'alimentation en eau potable des populations étant prioritaire, leurs eaux ont été détournées en partie ou en totalité à cette fin. Le déficit pluviométrique, l'accroissement de la population sont les principaux facteurs qui ont conduit à cette réaffectation.

Pour ce qui est des petits ouvrages, à savoir les retenues collinaires et les petits barrages, il faut signaler qu'une bonne partie de ces retenues est actuellement non fonctionnelle à la suite d'un important envasement ou alors à une détérioration due à des intempéries.

5.5 Analyse des conditions de mobilisation des eaux superficielles des bassins étudiés

Le tableau suivant montre les capacités de mobilisation des eaux de surface pour chaque bassin étudié.

Tableau 5.13 : Caractéristiques des grands barrages pour chaque bassin étudié

Caractéristiques	Bassin										
	Isser			Seybouse		Tafna					
	Ladrat	Koudiet Acerdoun	Beni Amrane	Foum Khanga	H. Dbagh	Beni Bahdel	Sidi Abdeli	H. Bougrara	Sekak	Mafrouch	Souani
Pluie (mm)	429.0	407.3	661.6	299.5	506.9	396.3	337.0	221.4	393.4	575.6	244.1
Surface drainée (km ²)	73.5	2790.0	4126.0	1710	1050	990.0	1140.0	4000.0	326.0	85.0	-
Capacité de stockage (hm ³)	10.6	640.0	15.6	157.0	220.0	63.0	110.0	177.0	27.0	15.0	14.0
Volume régularisé (hm ³ /an)	4.7	172.0	52.1	30.0	55.0	74.0	50.0	59.0	25.0	17.0	tampon
Apport annuel moyen (hm ³ /an)	8.1		210.5		69.0		61.0		46.4		
Année de mise en eau	1989	2008	1988	1995	1987	1940	1988	1999	2004	1963	2005
Totale des surfaces contrôlées (km ²)	4126			2760		5466					
Surface contrôlées / surface totale (%)	99.78			42.61		75.45					

Le bassin de l'Isser avec une pluviométrie moyenne de 450 mm (1860.75 hm³/an) contient trois grands barrages, le premier est rentré en service uniquement en 1988 avec une capacité faible avoisine les 15 hm³ et le plus récent

achevé seulement en 2008 et il n'atteint pas encore sa capacité maximale d'exploitation pour la simple raison ; le non achèvement des adductions à partir de ce dernier. Dans ce bassin, les barrages contrôlent plus de 99 % de la superficie totale. Le bassin de la Seybouse, le plus arrosé avec une pluviométrie moyenne de 506.3 mm (3279.81 hm³/an), comporte deux grands barrages contrôlant plus de 42 % de la surface totale du bassin, dont le plus ancien a été mis en eau en 1987 seulement. Le bassin versant de la Tafna avec une pluviométrie moyenne de 350 mm (2535.75 hm³/an), la plus faible parmi les trois bassins, est doté de six grands barrages, dont le premier date depuis les années quarante, ces derniers contrôlent plus de 75 % de la surface totale du bassin.

Tableau 5.14 : État de la mobilisation des eaux de surface avant 2008 pour les trois bassins

Caractéristiques	Bassin		
	Isser	Seybouse	Tafna
Surface totale (km ²)	4135	6478	7245
Pluies moyennes (hm ³ /an)	1860.75	3279.81	2535.75
Capacité de stockage avant 2008 (hm ³)	31.58	396.01	416.38
Capacité de stockage/apport de pluies (avant 2008) (%)	1.70	12.07	16.42
Volume régularisable moyen (hm ³ /an)	238.80	432.53	338.89
Volume régularisé avant 2008 (hm ³ /an)	56.8	85	220
Volume régularisé /apport de pluies (avant 2008) (%)	3.05	2.59	8.68
Taux de mobilisation des ressources en eau avant 2008 (%)	23.79	19.65	64.92
Apport annuel moyen estimé à l'embouchure (avant 2008) (hm ³ /an)	182.00	347.53	118.89
Débit spécifique q (l/s/km ²)	1.83	1.7	0.52
Coefficient d'écoulement sans prise en compte des volumes régularisés (%)	13.7	10.96	6.5
Coefficient d'écoulement en tenant compte des volumes régularisés (%)	12.83	12.36	13.36

Avant l'année 2008, date de la mise en eau du grand barrage de Koudiet Acredoune, le taux de mobilisation des ressources superficielles en eaux (tableau 5.14) été de 23.79 % pour Isser avec une capacité de stockage totale de 31.58 hm³. Pour Seybouse le taux été de 19.65 % pour une capacité totale de 396.01 hm³. Tandis que celui de la Tafna, le taux de mobilisation est le plus élevé avoisinant les 65 % avec une capacité de 416.38 hm³. On remarque, à partir des statistiques exposées dans les tableaux 5.13 et 5.14, que l'abondance de la ressource superficielle en eaux n'est pas prise en compte comme critère essentiel de choix pour l'implantation des barrages en Algérie, mais beaucoup plus la demande en eau de la région qui impose ce choix.

Les conditions topographiques ou climatiques ne permettent pas parfois de réaliser des ouvrages de mobilisation, comme les barrages, à

proximité des lieux où le besoin en eau est important. Le recours aux transferts entre bassins ou à l'intérieur du même bassin devient presque incontournable. Ce transfert d'eau peut viser à satisfaire la demande en eau potable, la demande industrielle ou agricole.

C'est dans ce contexte que l'état algérien vient de construire le géant barrage sur l'oued Isser, celui de Koudiet Acerdoune qui desserve cinq wilayas et deux grands périmètres irrigués. Ce barrage mis en eau pendant l'année 2008, vient d'augmenter le taux de mobilisation des eaux de surfaces pour le bassin versant de l'Isser à presque 96 % du volume totale mobilisable avec une capacité de stockage totale de l'ordre de 671.58 hm³ (tableau 5.15), cet ouvrage est un exemple de la politique à suivre en Algérie pour remédier contre le déficit hydrique et la non régularité de la distribution spatiale des eaux de surface dans les prochaines décennies .

Tableau 5.15 : État actuel de la mobilisation des eaux de surface pour les trois bassins

Caractéristiques	Bassin		
	Isser	Seybouse	Tafna
Capacité de stockage actuelle (hm ³)	671.58	396.01	416.38
Volume totale de stockage /apport de pluies (actuel) (%)	36.09	12.07	16.42
Volume régularisé actuel (hm ³ /an)	228.8	85	220
Volume régularisé /apport de pluies (actuel) (%)	12.30	2.59	8.68
Taux de mobilisation des ressources en (actuel) (%)	95.81	19.65	64.92
Apport annuel moyen estimé à l'embouchure (actuel) (hm ³ /an)	10.00	347.53	118.89

Ces ouvrages de mobilisations qui ont été lancés pour pallier au déficit en eau potable et d'irrigation, sont malheureusement exécutés sans l'appui d'étude globale. En effet, le bassin de l'Isser qui ne représente que 23.15% de la superficie totale et seulement 23.64 % du volume total régularisable des trois bassins, régularise près de 43% du volume régularisé actuellement par les trois bassins en question. Le bassin versant de la Seybouse, qui représente 36.28 % de la surface totale et près de 43 % du volume total régularisable, ne régularise actuellement que 15.92 % du volume total régularisé par les trois bassins. Alors que celui de la Tafna, qui représente la plus grande superficie par rapport aux deux autres bassins (40.57 % de la surface totale) et près de 34 % du volume régularisable, régularise 41.21 % du volume total régularisé par les trois bassins (tableau 5.16).

Tableau 5.16. Comparaison des taux de mobilisation des eaux de surface entre les trois bassins

Taux (%)	Bassin		
	Isser	Seybouse	Tafna
pourcentage de la surface totale (%)	23.15	36.28	40.57
pourcentage de la pluie totale (%)	23.57	44.31	32.12
pourcentage de la capacité de stockage totale actuelle (%)	45.26	26.69	28.06
Pourcentage du volume régularisable total (%)	23.64	42.82	33.55
Pourcentage du volume régularisé total (%)	42.86	15.92	41.21
Taux d'exploitation actuel (%)	95.81	19.65	64.92

5.6 Conclusion

Les résultats qu'on a obtenus dans ce travail confirme le fait que les ouvrages de stockages dans les trois bassins étudiés sont mal répartis, où on trouve une zone comme le Seybouse ayant des apports moyens de pluies de l'ordre de 3279.81 hm³/an, ne dispose que de deux ouvrages et quelques retenues collinaires d'une capacité totale de 396.01 hm³, avec un taux de mobilisation de près de 20 % en moyenne des ressources superficielles disponibles. Aussi l'Isser, avec 1860.75 hm³/an de pluies, ne dispose d'aucun ouvrage d'envergure avant l'année 2008, pour un taux de mobilisation de l'ordre de 23.79 %. Entre autre, le Tafna avec un apport de pluies moyen de l'ordre de 2535.75 hm³/an est doté de six grands barrages totalisant une capacité de 416.38 hm³ et un taux de mobilisation de près de 65%, ce qui lui rend le bassin le mieux équipé en terme d'ouvrage de mobilisation des eaux de surface malgré la faible pluviométrie de la région (350 mm/an).

Ce paradoxe, nous a poussé à dire que le choix des sites de barrages à l'échelle nationale contredit la réalité en terme d'apports liquides et, que les ouvrages de mobilisation des eaux superficielles sont mal répartis entre région du point de vue disponibilité de la ressource en eaux.

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DES CRUES

CHAPITRE 6

CHOIX DU MODÈLE FRÉQUENTIEL LE PLUS ADÉQUAT À L'ESTIMATION DES VALEURS EXTRÊMES DE CRUES

6.1 Introduction

L'évaluation des valeurs extrêmes de crues revêt un grand intérêt en hydrologie pour la résolution des problèmes relatifs à l'occupation des sols et au dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Durant les vingt-cinq dernières années, cinq milliards de personnes ont été affectées par des désastres naturels ayant pour conséquence des pertes économiques autour du monde avoisinant 1 trillions USD [45]. Les inondations, en particulier, sont les phénomènes hydrologiques les plus dangereux. Celles-ci affectent le territoire national algérien de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social du pays. Les inondations de : 1968 en Algérie, 1974 des bassins versants de l'algérois et de Sebaou, 2001 d'Alger, 2008 de Ghardaïa et 2011 d'Elbayadh sont des exemples. D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois (485 communes) est susceptible d'être inondée en partie ou en totalité. Ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices en Algérie, provoquant d'importants dégâts humains et matériels.

Face à l'accroissement du risque à travers le monde, plusieurs chercheurs ont travaillé sur le développement des théories et modèles pour l'étude des valeurs extrêmes. Le mérite en revient à d'éminents mathématiciens, qui, par leurs travaux ont tracé le chemin de la théorie des valeurs extrêmes (EVT) comme : FRÉCHET [46], FISHER et TIPPETT [47], GNEDENKO [48] et surtout GUMBEL [49], [50], [35], qui a contribué le plus à la généralisation de cette théorie. Les deux dernières décennies ont vu le développement de la modélisation statistique

des valeurs extrêmes, comme en témoignent les nombreux travaux récents: [51], [52], [53], [54] et [55].

Une grande confusion règne encore en ce qui concerne les modèles statistiques utilisés, et plus particulièrement de leur type, dont le choix, est souvent basé sur des habitudes locales, qui, à la longue, deviennent de véritables coutumes [56]. Le choix est si grand que le non-spécialiste s'y perd un peu, et que certains pays ont tout simplement normalisé, par textes de loi, l'analyse des débits extrêmes, par exemple ; la loi log Pearson III (LP3) est adoptée aux États-Unis [57] et [58], et en Australie [59] ; celle de la distribution Log-Normal à 3 paramètres (LN3) en Ontario, GEV au Royaume-Uni [60], et LN2 en Chine [59].

Dans ce chapitre nous venons mettre l'accent sur les modèles statistiques les plus adéquats à l'estimation des quantiles extrêmes non observables à partir des observations faites au niveau des stations implantées aux différents endroits des bassins versants : Seybouse, Isser, Cheliff, Côtier-algérois ouest et Tafna situés dans le nord de l'Algérie.

Pour ce faire, la démarche à suivre comporte deux grandes étapes distinctes : la première concerne le choix du type (classe) des lois qui ajusterait le mieux nos séries de données, dans laquelle les classifications les plus connues concernant la queue droite des distributions seront présentées, y compris celle décrite dans EL ADLOUNI et at. [55], cette dernière sera utilisée dans ce travail. Puis nous exposerons les différents critères utilisés pour se renseigner sur l'appartenance d'un échantillon donné à une classe précise selon la classification adoptée. La deuxième étape, concerne le choix des meilleures lois parmi ceux du type choisi précédemment, là où nous allons exposer la majorité des critères utilisés actuellement que nous avons groupé dans deux grandes familles : critères d'information et critères graphiques.

Les critères d'information, qui seront utilisés dans ce travail, sont de deux types :

- ceux qui ne permettent qu'une analyse locale de chaque site indépendamment des autres -dans lesquels la seule information utilisée

est celle contenue dans les données numériques brutes constituant l'échantillon du site en question-, nous utiliserons pour cela les critères BIC [61] et L'AICc [62];

- et ceux qui permettent une analyse qui combine l'information locale du site considéré, avec l'information supplémentaire tirée de l'analyse locale des sites avoisinants ce dernier, c'est l'analyse multistations ou l'analyse régionale. Le critère qui sera utilisé dans ce cas est celui de Schwarz décrit par LEBARBIER et MARY-HUARD [63].

6.2 Problématique et objectifs

Comme il a été cité plus haut, le choix du modèle statistique à utiliser pour l'extrapolation des queues de distribution des données vers les valeurs non observables est délicat. Une question importante se pose : lorsque plusieurs modèles statistiques sont acceptés par les tests d'adéquations aux données observées, lequel parmi ceux-ci est le plus fiable?

En Algérie aucun essai de normalisation n'a été entrepris, tant à l'échelle du bassin versant, qu'aux échelles régionale ou bien du pays, et les opérationnels dans le domaine de l'hydrologie utilisent pour l'estimation des valeurs extrêmes, l'une des méthodes suivantes :

- pour la plupart des scientifiques, les crues de l'Algérie suivent une loi Gumbel ou une loi Pearson III. Nous avons essayé de chercher la référence scientifique de cette tendance et avons pour cela consulté les études scientifiques et les travaux des chercheurs dans le domaine de l'hydrologie. L'absence de résultats de cette démarche nous a conduits à conclure que cette référence était une habitude héritée de la période coloniale, et avec le temps elle est devenue une véritable coutume ne nécessitant pas d'être démontrée;
- beaucoup d'hydrologues utilisent les tests d'adéquation comme outil permettant de choisir le modèle statistique le plus approprié ; tel est le cas pour ACHITE et MEDDI [64] qui ont travaillé sur des pluies maximales journalières annuelles. 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 [56];

- quelques bureaux d'études, utilisent souvent le modèle qui donne la valeur maximale $x(F)$ du quantile cherché pour la simple raison d'avoir un coefficient de sécurité élevé sans penser à l'économie du projet;
- le reste préfère prendre une moyenne des quantiles fournis par tous les modèles acceptés par les tests d'adéquations. Même si ces valeurs sont surestimées ou bien sous-estimées et aboutissent à des chiffres économiquement absurdes, sachant que l'écart entre les quantiles estimés par les différents modèles va d'une simple variation au double, et parfois plus.

Ce travail vient mettre l'accent sur le modèle statistique le plus adéquat à l'estimation des quantiles extrêmes non observables à partir des observations faites au niveau des stations implantées aux différents endroits des bassins versants : Cheliff, Côtier-algérois Ouest, Isser, Seybouse et Tafna situés dans le nord de l'Algérie.

6.3 Données utilisées

L'étude a portée sur cinq grands bassins versant du Nord de l'Algérie à savoir :

- Seybouse représente la partie Est du Nord de l'Algérie ;
- Cheliff, Côtiers Algérois Ouest et Isser représentent la partie centrale de Nord de l'Algérie ;
- Et enfin Tafna qui représente la partie Ouest du Nord de l'Algérie.

Le choix de ces bassins s'impose seulement par la disponibilité et la possibilité d'accès aux données de ces derniers.

Le tableau qui suit donne les caractéristiques des différents échantillons utilisés.

Tableau 6.1 : Caractéristiques des échantillons utilisés dans les cinq bassins

Code station	N	Min	Max	Moy	Ecart-type	Médiane	Coef de variation (Cv)	Coef d'asym (Cs)	Coef d'aplat (Ck)
011407	21	29.65	402.00	149.31	106.11	116.00	0.71	0.94	2.64
011601	25	6.22	170.00	57.29	45.16	45.45	0.79	1.09	3.00
011702	32	9.40	537.20	114.74	119.65	75.67	1.04	2.11	6.46
011715	27	5.40	62.50	24.37	14.91	22.80	0.61	0.79	2.58
011905	21	14.43	191.00	64.46	46.47	56.00	0.72	1.34	3.72
012001	23	1.01	130.60	43.74	33.79	37.76	0.77	1.25	3.55
012203	23	18.80	234.35	101.13	55.02	95.00	0.54	0.78	2.85
012501	31	7.00	351.85	74.99	79.57	49.58	1.06	2.33	7.51
012601	31	39.32	1120.00	311.67	227.78	263.46	0.73	1.63	5.78
012701	31	19.45	684.96	214.47	208.86	131.50	0.97	1.12	2.60
012806	27	32.94	2797.71	362.11	521.84	286.00	1.44	4.17	17.62
013001	26	2.16	319.84	115.39	93.80	80.97	0.81	0.88	2.26
013301	23	1.30	936.00	181.55	191.06	99.25	1.05	2.95	10.70
013302	31	18.70	954.00	228.38	232.48	133.50	1.02	1.47	4.02
013401	31	4.44	242.00	73.59	68.91	55.00	0.94	1.12	2.87
013402	31	31.85	896.47	317.12	238.55	288.00	0.75	0.99	2.94
013602	31	51.20	2110.00	570.15	597.22	363.98	1.05	1.32	3.13
020207	25	17.72	357.20	123.51	101.21	117.90	0.82	1.14	2.95
020301	24	1.96	397.24	96.77	93.17	74.33	0.96	1.62	5.02
020323	33	7.20	226.00	45.04	49.78	26.36	1.11	2.43	7.61
021007	25	0.72	341.83	141.12	110.82	117.28	0.79	0.36	1.69
021126	28	2.55	731.50	235.15	171.55	198.84	0.73	1.14	3.64
021301	22	3.50	725.16	341.30	244.20	363.87	0.72	0.10	1.33
021418	24	37.80	1500.00	356.20	380.35	228.80	1.07	1.84	4.91

Suite Tableau 6.1

Code station	N	Min	Max	Moy	Ecart-type	Médiane	Coef de variation (Cv)	Coef d'asym (Cs)	Coef d'aplat (Ck)
090101	21	7.43	380.00	89.39	78.55	78.16	0.88	2.66	9.15
090305	24	7.65	538.90	92.28	101.39	72.97	1.10	4.01	15.77
090416	23	3.67	122.04	48.18	30.16	48.40	0.63	0.72	2.67
090501	33	64.08	1080.00	412.36	245.28	365.30	0.59	1.01	3.43
140202	29	2.74	345.00	75.76	93.16	33.70	1.23	1.88	4.78
140301	29	2.62	1235.66	211.78	311.24	60.40	1.47	1.95	5.27
140302	30	0.73	418.78	97.55	101.48	101.48	1.04	1.48	4.40
140501	37	9.00	784.00	176.40	175.01	120.02	0.99	1.78	5.52
140601	24	15.28	1306.80	465.66	428.93	302.24	0.92	0.90	2.20
140602	39	1.91	169.60	57.25	49.20	44.95	0.86	0.84	2.45
160202	31	5.80	1465.00	281.34	365.15	165.40	1.30	2.43	7.14
160401	24	0.61	1060.00	133.32	227.88	46.30	1.71	3.26	11.59
160402	27	4.23	447.84	121.41	119.99	63.48	0.99	1.30	3.29
160409	31	0.64	316.40	54.31	71.91	29.10	1.32	2.43	7.59
160426	21	0.14	151.40	39.22	41.07	26.30	1.05	1.55	3.85
160504	23	6.52	1912.00	257.52	425.26	132.00	1.65	3.05	10.22
160507	31	0.59	459.94	42.43	85.77	11.70	2.02	4.17	18.26
160509	31	0.46	87.80	12.92	16.66	9.82	1.29	3.39	13.59
160601	31	0.84	193.00	26.20	41.50	8.16	1.58	2.91	10.05
160614	21	0.79	442.20	109.12	127.93	51.30	1.17	1.66	3.97
160702	31	0.21	430.80	32.58	76.47	11.36	2.35	5.01	23.73
160703	30	4.85	940.80	116.72	185.08	53.07	1.59	3.39	13.40
160704	23	2.58	70.80	22.75	20.80	15.84	0.91	1.25	2.97
160726	21	0.84	93.00	22.83	24.87	12.22	1.09	1.56	3.95
160801	31	19.58	2451.00	429.60	630.35	184.20	1.47	2.03	5.23

6.4 Choix du type de modèles

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle, dépendra du bon choix du modèle fréquentiel (et plus particulièrement de son type) que diverses pistes peuvent contribuer à faciliter ce choix. Dans ce qui suit nous présenterons quelques procédés pratiques pour choisir le type de modèles qui fournissent le meilleur ajustement à un ensemble de données, particulièrement pour la queue droite (événements extrêmes).

6.4.1 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 [51]. 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 débits maximum des crues, deux approches ont été développées : La méthode des block maxima qui n'analyse que les valeurs maximales sur un intervalle de temps donné, en hydrologie cet intervalle est l'année (on parle alors des maxima annuels), 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).

6.4.1.1 Méthode des maxima annuels (block maxima)

L'analyse probabiliste des risques liés à l'occurrence des débits extrêmes de crues s'effectue à partir d'un échantillon constitué de la plus forte valeur mesurée chaque année, notée X_A . Le théorème de FISHER-TIPPETT [47], Puis GNEDENKO [48] montre que, si l'échantillon X_A des maxima annuels correctement normalisé, converge à une distribution non-dégénérée, alors il appartient à une des trois distributions suivantes (fonction de répartition fdr) :

Gumbel :

$$\Lambda(x) = \exp(-\exp(-x)) \quad x \in \mathbb{R} \quad (6-1)$$

Fréchet :

$$\Phi_{\xi}(x) = \begin{cases} \exp(-x^{-\xi}) & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad \xi > 0 \quad (6-2)$$

Weibull negative:

$$\Psi_{\xi}(x) = \begin{cases} \exp(-(-x^{-\xi})) & x \leq 0 \\ 0 & x > 0 \end{cases} \quad \xi > 0 \quad (6-3)$$

Étant donné qu'il est difficile de travailler avec trois distributions à la fois, VON MISES [65] et JENKINSON [66] ont proposé une famille paramétrique de distribution $G(x) = G_{\mu,\sigma,\xi}(x)$ ou distribution des valeurs extrêmes généralisées (GEV) (generalized extreme values), qui permet de résumer toutes les distributions limites possibles de la loi asymptotique du maximum d'un échantillon.

$$G_{\mu,\sigma,\xi}(x) = \begin{cases} \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)_+^{-\frac{1}{\xi}}\right)\right) & \text{si } \xi \neq 0 \\ \exp\left(-\exp\left(-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)_+\right)\right) & \text{si } \xi = 0 \end{cases} \quad (6-4)$$

Où : $x_+ = \max(0, x)$

μ , σ , ξ : étant respectivement, les paramètres de position, de dispersion et de forme.

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 ;
- Si $\xi = 0$, on dit que G appartient au domaine d'attraction de Gumbel ;
- Si $\xi < 0$, on dit que G appartient au domaine d'attraction de Weibull.

En posant $\mu=0$, $\sigma=1$, on obtient la forme standard de la distribution GEV :

$$GEV_{\xi}(x) = G_{\xi}(x) = \begin{cases} \exp\left(-\left(1 + \xi x\right)_+^{-\frac{1}{\xi}}\right) & \text{si } \xi \neq 0 \\ \exp(-\exp(-x)) & \text{si } \xi = 0 \end{cases} \quad (6-5)$$

Où :

G_{ξ} est la fonction de répartition de la loi des valeurs extrêmes (GEV) ;

ξ est l'indice des valeurs extrêmes (paramètre de forme) ;

la notion x_+ désigne $\max(x, 0)$.

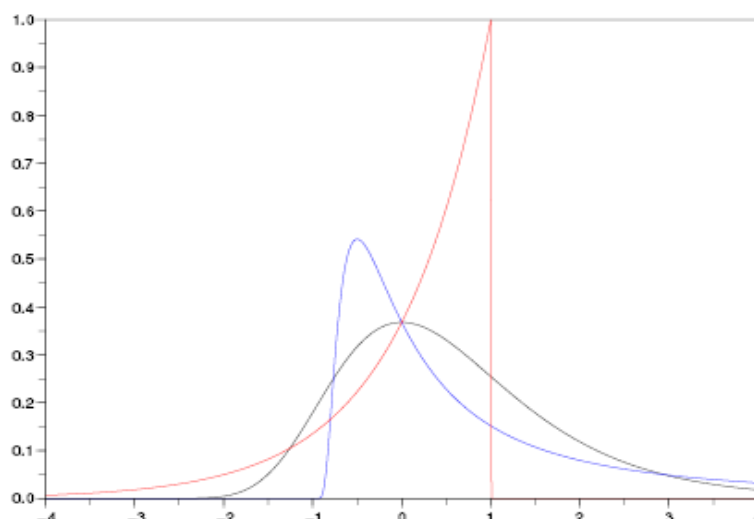


Figure 6.1 : Exemples de densités associées à la loi des valeurs extrêmes :
($\xi = 0$, $\xi = 1$, $\xi = -1$) [67]

6.4.1.2 Méthode des excès (POT)

La 2^{ème} méthode d'estimation de queues de distribution est la méthode des excès ou POT (Peaks over threshold), introduite dans [68]. Soit u un réel suffisamment grand appelé seuil. La méthode des excès s'appuie sur l'approximation de la loi des excès au-dessus du seuil u de la variable aléatoire X des maximums annuel, c'est-à-dire de la loi conditionnelle de la variable aléatoire $X - u$ sachant que $X > u$. La fonction de répartition des excès est définie par :

$$F_u(y) = P(X - u < y / X > u) \quad (6-6)$$

D'après le théorème de PICKANDS [68], si F appartient à l'un des 3 domaines d'attraction de la loi des valeurs extrêmes, la fonction de répartition F_u peut être approchée par une loi de Pareto généralisée (GPD) définie pour $\sigma > 0$ par :

$$\begin{aligned} \text{si } \xi \neq 0, \quad G_{\xi, \sigma}(x) &= 1 - \left(1 + \frac{\xi x}{\sigma}\right)_+^{-\frac{1}{\xi}} \\ \text{si } \xi = 0, \quad G_{\xi, \sigma}(x) &= 1 - \exp(-x/\sigma) \end{aligned} \quad (6-7)$$

Sur la base de ces résultats, il est possible d'estimer des quantiles extrêmes. Un quantile extrême q_n d'ordre $(1 - p_n)$ est défini par l'équation $F(q_n) = 1 - p_n$ avec $p_n = 1/n$, n désignant la taille de l'échantillon. Un tel quantile étant généralement situé au-delà de l'observation maximale, des techniques spécifiques

d'estimation sont nécessaires. La méthode POT s'appuie sur le théorème de PICKANDS [68] pour estimer q_n par :

$$\hat{q}_n = u_n + \frac{\hat{\sigma}_n}{\hat{\xi}_n} \left(\left(\frac{np_n}{k_n} \right)^{\hat{\xi}_n} - 1 \right) \quad (6-8)$$

Où k_n désigne le nombre d'excès au-delà du seuil u_n , et $\hat{\sigma}_n$ et $\hat{\xi}_n$ sont des estimateurs des paramètres de la loi GPD.

6.4.2 Classification des lois usuelles en hydrologie par type de modèles

En hydrologie statistique, et pour l'étude des valeurs extrêmes, les lois usuelles sont surtout ceux, appartenant au Domaine d'Attraction de Fréchet (DAF) ou de Gumbel (DAG). Sur la base des caractérisations spécifiques de ces dernières, les spécialistes en mathématique statistique donnent le domaine d'attraction de chaque loi théorique. Le tableau 6.2 spécifie l'appartenance de la plupart des lois usuelles en hydrologie.

Tableau 6.2 : Appartenance des lois usuelles en hydrologie aux domaines d'attractions

Domaine d'attraction	Fréchet ($\xi > 0$)	Gumbel ($\xi = 0$)
Lois	Fréchet, Halphen B ⁻¹ , Chi-Deux, Inverse Gamma, Log-Pearson III, Pareto, Cauchy et Student	Gumbel, Normale, Weibull II, Gamma, Exponentiel, Halphen A, Log-normale et Pearson III

On remarque que ; les lois à décroissance exponentielle (pour la fonction de survie) appartenant au DAG, tandis que celles à décroissance puissance appartenant au DAF.

6.4.2.1 Classification des lois par rapport à leurs queues droites

EL ADLOUNI et al. [55] ont développé une nouvelle approche de classification, basé sur le diagramme log-log [53], et la fonction moyenne des excès (FME) [51], permet de distinguer trois principales catégories dans lesquelles on peut classer les distributions les plus utilisées en hydrologie pour représenter les débits max de crues :

- La classe C (distributions à variations régulières) : Fréchet (EV2), Halphen B Inverse (HIB), Log-Pearson III (LP3) et Gamma Inverse (GI) ;

- La classe D (distributions sub-exponentielles) : Halphen type A (HA), Gumbel (EV1), Pearson III (P3) et Gamma (G) ;
- La classe E (loi exponentielle).

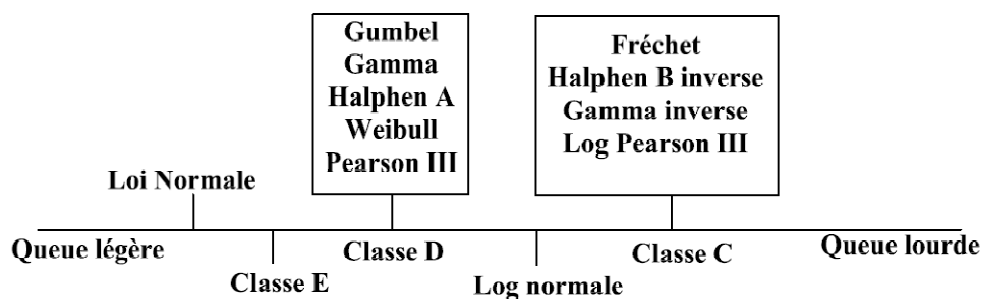


Figure 6.2 : Distributions ordonnées par rapport à leurs queues droites

Le point fort de cette classification par rapport à la précédente, c'est quelle fait subdiviser 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 (LN) 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 (LN) est très semblable à celle d'une distribution régulièrement variable (classe C). En effet, suivant les indications données par EL ADLOUNI et al. [55] : les mécanismes qui produisent les distributions LN sont très semblables à ceux qui produisent des distributions régulièrement variables (classe C), alors nous suggérons de considérer LN comme étant une loi de la classe C.

OUARDA et al [69] ont donné une classification basée sur le comportement asymptotique de la fonction densité de probabilité f : Pour une période de retour, T , assez grande on a l'équivalence suivante [35], [69] :

$$T \iff \left(\frac{1}{f(x_T)} \right)' = - \frac{f'(x_T)}{f^2(x_T)} \quad (6-9)$$

En effet, pour une période de retour T assez grande : $\bar{F}(x_T) = 1 - F(x_T) = \frac{1}{T}$ et $f(x_T)$ tendent vers 0. Au voisinage de l'infini le rapport de ces deux fonctions est équivalent au rapport de leurs dérivées (Règle de l'Hopital) :

$$\lim_{x_T \rightarrow \infty} \frac{f(x_T)}{1 - F(x_T)} \Leftrightarrow \lim_{x_T \rightarrow \infty} \frac{f'(x_T)}{-f(x_T)} \Rightarrow T = \frac{1}{1 - F(x_T)} \Leftrightarrow -\frac{f'(x_T)}{f^2(x_T)} = \left(\frac{1}{f}\right)'(x_T) \quad (6-10)$$

On en déduit le comportement asymptotique, des quantiles en fonction de la période de retour T , pour plusieurs distributions utilisées en hydrologie (tableau 6.3).

La classification donnée par OUARDA et al. [69] permet de déterminer les distributions appartenant à chacun des domaines d'attraction maximum des extrêmes. A partir du Tableau 6.3 on remarque que les distributions appartenant à la première classe (classe I) sont les distributions de type puissance, Ces distributions appartiennent aussi à la classe des distributions sub-exponentielles (classe D), c'est pour cette raison qu'on les retrouve dans d'autres classes du même tableau. Dans la même classe, des distributions sub-exponentielles, qui contiennent les distributions du domaine d'attraction maximum de Gumbel, on retrouve des distributions à queue légère. On retrouve aussi, à partir de cette classification, le problème de discrimination entre la classe des distributions à variations régulière (Classe I) et la loi Log-normale (Classe II).

Tableau 6.3 : Classification des lois selon les caractéristiques de l'extrémité droite [69]

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		Lognormale 2 (μ, σ)	$\mu \in \mathfrak{R}, \sigma > 0$
Classe D		Lognormale 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 : $x \leq P$			
(borne à droite)	$P = m$	Pearson 3(α, λ, m)	$\alpha < 0, \lambda > 0, m \in \mathfrak{R}$
	$P = 0$	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)	$\alpha > 0, k > 0$

6.4.2.2 Classification basée sur le variable réduite « u » de Gumbel

LEBEL [70] a fait une comparaison du comportement de différentes lois pour de grandes valeurs de $F(x)$ (ou de x), c'est-à-dire pour la queue de la distribution. Il a conclu que, si, par convention, la fréquence cumulée $F(x)$ est transformée en une variable u de Gumbel ($u = -\ln(-\ln F)$), les 4 types de comportements suivants peuvent être distingués :

1. $x = u^{1/n}$, avec $n > 1$: loi normale, loi de Goodrich ($\beta < 1$) ;
2. $x = u$, croissance asymptotiquement exponentielle : loi de Gumbel, Pearson III, Goodrich ($\beta = 1$), loi des fuites;
3. $x = u^n$, avec $n > 1$: loi de Goodrich ($\beta > 1$) ;

4. $x = \exp(u^n)$, avec $n > 0$: Log normale (Galton), Pearson V, Fréchet, log Gamma.

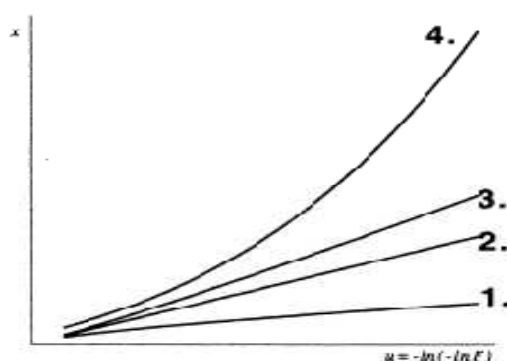


Figure 6.3 : Quatre familles de comportement asymptotique [99]

Il est clair que cette classification fait distinguer la loi normale des lois exponentielles, et sépare ces dernières, des lois puissances par une classe intermédiaire (loi de Goodrich ($\beta > 1$)).

6.4.2.3 Classification basée sur le développement historique des distributions

Selon MALAMUD et TURCOTTE [54], les lois les plus utilisées généralement en hydrologie peuvent être divisées en quatre groupes : la famille normale (normale, log-normales), la famille des valeurs extrême généralisées (GEV) (GEV, Gumbel, Fréchet et Weibull Inverse), la famille de Pearson type 3 (gamma, Pearson III et log-Pearson III), et la distribution de Pareto généralisée. De tels groupes sont déduits du développement historique de ces distributions, et aucune indication sur le comportement de queue de ces classes n'a été donnée.

6.4.3 Critères de choix du type de modèles

Les méthodes développées dans [55] permettent d'identifier la classe la plus adéquate pour l'ajustement d'un échantillon donné. Ces méthodes sont (Figure 6.4):

- Le graphique Log-Log ;
- Le graphique du rapport max-somme [53] ;
- La fonction moyenne des excès (FME) [51] ;
- Le rapport de HILL [71] ;

➤ Statistique de JACKSON [72] ;

À ces dernières, nous pouvons ajouter les approches développées dans [73] qui sont : Test ET (Exponential Tail) et Test GPD (Generalized Pareto Distribution).

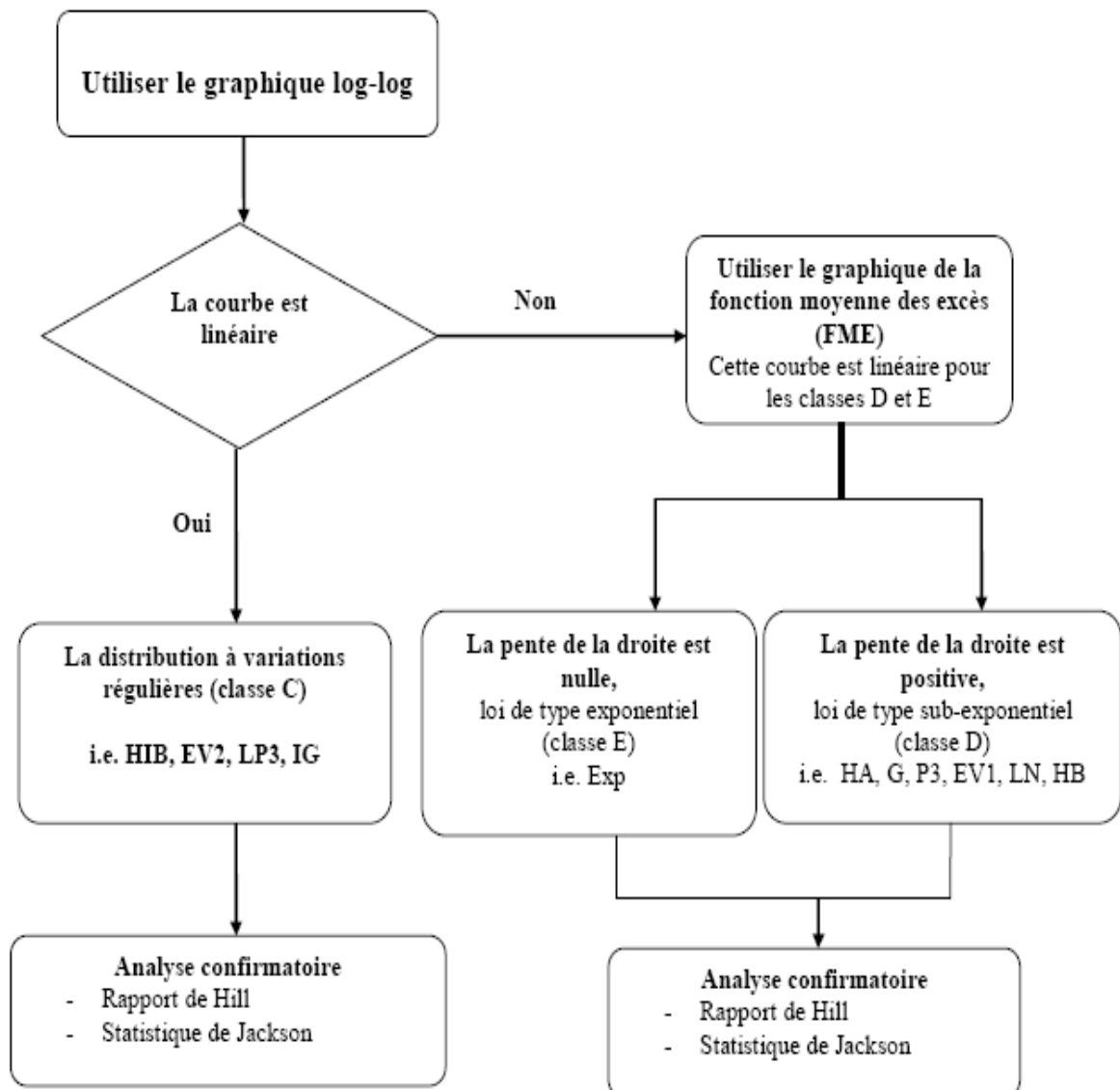


Figure 6.4 : Diagramme des critères de choix entre les classes C, D et E [55]

6.4.3.1 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 :

$$\bar{F}(u) = P(X > u) = e^{-u/\theta} \quad (6-11)$$

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

$$\bar{F}(u) = P(X > u) \approx C \int_u^{\infty} \frac{1}{x^\alpha} dx = C \left[\frac{x^{-\alpha+1}}{1-\alpha} \right]_u^{\infty} = C_1 u^{-\alpha+1} \quad (6-12)$$

(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 6.5).

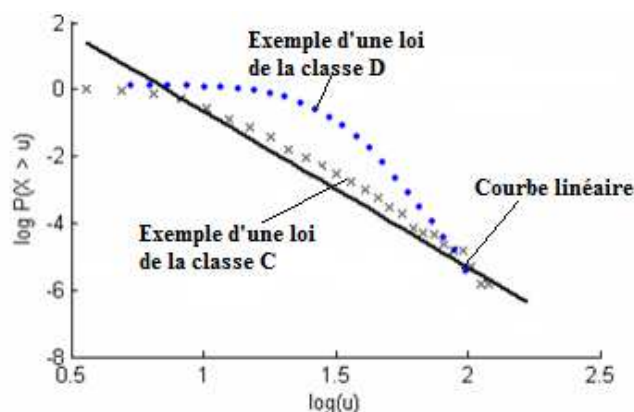


Figure 6.5 : Illustration du graphique Log-Log pour la caractérisation des lois de la classe C

Ce diagramme est donc, linéaire pour les échantillons distribués selon une loi de la classe C (des distributions à variations régulières) : Fréchet (EV2), Halphen type B Inverse (HIB), Log-Pearson type III (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 (Figure 5); 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).

6.4.3.2 Graphique de Fonction Moyenne des Excès (FME)

Cette méthode est basée sur la moyenne des excès $(u) = E[X - u / X > u]$ 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 $\hat{e}(u)$ est donnée par :

$$\hat{e}(u) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_{[i]} - u) \quad (6-13)$$

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, Figure 6.6-a) ;
- 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 (G) (Figure 6.6-b).

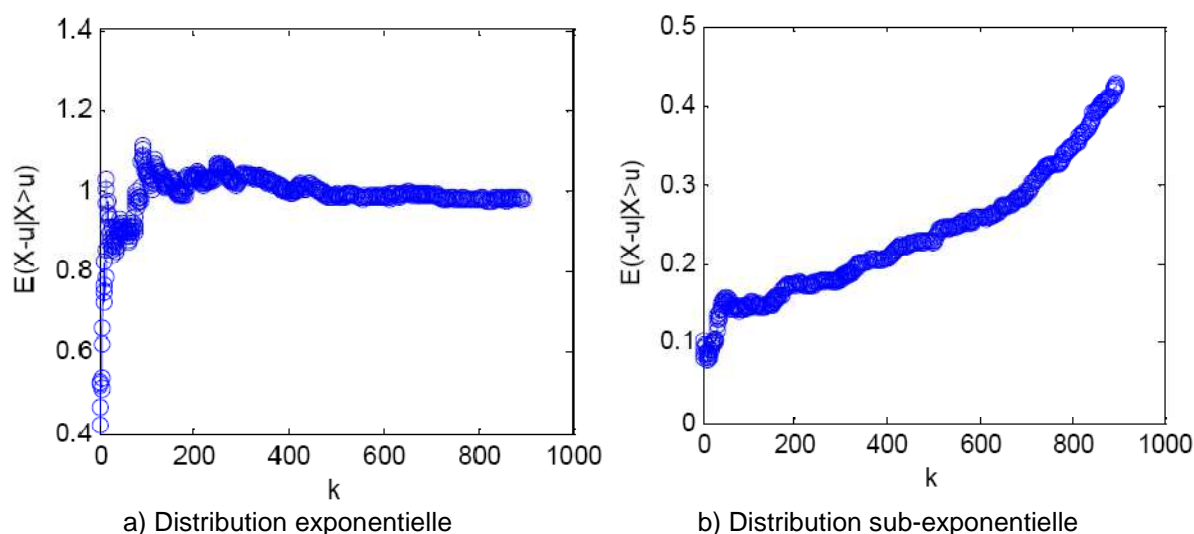


Figure 6.6 : Graphique de Fonction Moyenne des Excès (FME)

Notons que 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.

6.4.3.3 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 :

$$R_n(p) = \frac{\max(X_1^p, \dots, X_n^p)}{\sum_{i=1}^n X_i^p} \quad (6-14)$$

Où p est une puissance. 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 p_0 , alors la distribution appartient à la classe C et p_0 correspond à l'indice des valeurs extrêmes.

6.4.3.4 Graphique du rapport de Hill

Soit le rapport de HILL :

$$a_n(x_k) = \frac{\sum_{i=1}^n I(X_i > x_k)}{\sum_{i=1}^n \log\left(\frac{X_i}{x_k}\right) * I(X_i > x_k)} \quad (6-15)$$

où $I(X > x) = \begin{cases} 1 & \text{si } X > x \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

et les X_i sont les valeurs de la variable X et x_k est la $k^{\text{ème}}$ plus grande valeur de X . Sur le graphique de $a_n(x_k)$ en fonction de x_k , on cherche une région stable pour déterminer l'estimateur de la queue de la distribution.

Notons que l'estimateur de HILL, comme plusieurs autres estimateurs, a été développé à partir de la linéarité du graphique Log-Log ou celui de la moyenne empirique des excès. La pente de la partie linéaire de ces graphiques peut être considérée pour l'estimation de l'indice des valeurs extrêmes pour les distributions de la classe de Pareto ou la classe C des distributions à variations régulières [71]. D'autres tests basés sur le même principe ont été développés récemment [53].

6.4.3.5 Statistique de Jackson

BEIRLANT et al. [74] ont présenté un nouveau test pour l'identification des distributions de type Pareto ou appartenant à la classe C d'une manière générale. Ce test, basé sur la statistique de JACKSON, a été développé comme test d'ajustement pour la loi exponentielle [72]. Le fait qu'une transformation logarithmique d'une variable distribuée suivant une loi de Pareto suit une loi exponentielle a permis l'extension de ce test pour l'identification des variables qui ont un comportement de Pareto. Après avoir modifié la statistique de Jackson et l'avoir appliqué aux observations de l'extrémité droite de l'échantillon, BEIRLANT et al. [74] ont déterminé la loi limite de la statistique du test ainsi qu'une correction du biais dans le cas des échantillons de taille finie.

6.4.3.6 Test ET et Test GPD

Le test ET (Exponential Tail) et le test GPD (Generalized Pareto Distribution) introduits par GARRIDO [73] sont deux tests d'adéquation pour la queue de distribution. Ils sélectionnent par comparaison avec la méthode POT (Peaks Over Threshold) les modèles centraux produisant de bonnes estimations de la queue de distribution. Lorsqu'on souhaite reconstituer la loi des observations aussi bien dans la région centrale qu'extrême, on applique d'abord à un ensemble de modèles un test usuel (ANDERSON-DARLING ou CRAMER-VON MISES) puis un test d'adéquation de la queue de distribution (ET ou GPD).

6.4.4 Résultats et interprétations

Parmi les tests cités plus haut, utilisés pour choisir le type de la loi qui ajuste le mieux nos séries de données, nous optons au diagramme log-log. Ce diagramme est utilisé essentiellement pour distinguer les lois à décroissance puissance (lois de la classe C), de ceux à décroissance exponentielle (lois de la classe D et E) [55]. La classe E comporte la loi exponentielle, qui est un cas particulier de la loi GPD ($\xi=0$), cette dernière est adaptée à la modélisation des séries des excès (POT). Dans notre cas nous utiliserons des séries des maxima annuels, alors nous ne parlons 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 [55]. Si le coefficient de corrélation observée R_o 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.

Les valeurs critiques données par EL ADLOUNI et al. [55], sont :

- Valeur critique au niveau 5% (R_c) = 0,96 ;
- Valeur critique au niveau 1% (R_c) = 0,97.

Ces valeurs sont calculées par simulation en fonction de la taille N des échantillons ($30 \leq N \leq 200$). Le tableau qui suit donne les valeurs calculées de R_0 , et la classe d'appartenance pour chaque station des trois bassins.

Tableau6.4 : Valeurs R_0 et classe d'appartenance de chaque station

Bassin	Code station	R0	Classe	Bassin	Code station	R0	Classe	Bassin	Code station	R0	Classe
Cheliff	011702	0.95	D	Côtiers Algérois ouest	020207	0.93	D	Tafna	160401	0.91	D
	011715	0.91	D		020301	0.94	D		160202	0.96	-
	011407	0.93	D		020323	0.96	-		160402	0.91	D
	011601	0.90	D		021007	0.88	D		160426	0.94	D
	011905	0.92	D		021126	0.87	D		160801	0.91	D
	012201	0.92	D		021301	0.75	D		160726	0.96	-
	012203	0.93	D		021418	0.94	D		160704	0.94	D
	012501	0.92	D	Isser	090101	0.87	D		160703	0.94	D
	012601	0.85	D		090305	0.92	D		160702	0.99	C
	012701	0.89	D		090416	0.85	D		160614	0.95	D
	012806	0.94	D		090501	0.93	D		160601	0.95	D
	013001	0.87	D	Seybouse	140501	0.92	D		160509	0.97	-
	013301	0.86	D		140301	0.96	-		160507	0.95	D
	013302	0.87	D		140601	0.90	D		160504	0.94	D
	013401	0.89	D		140602	0.86	D		160409	0.96	-
	013402	0.90	D		140202	0.96	-				
013602	0.88	D	140302		0.91	D					

On remarque que 41 séries des débits maxima annuels sur les 49 utilisées (83.67 %) dans cette étude, appartenant à la classe D, dont : 17 parmi les 17 utilisées (100 %) pour le bassins de Cheliff, 06 parmi les 07 utilisées (85.71%) pour le Côtiers Algérois ouest, 04 parmi les 04 utilisées (100%) pour le bassin de Isser, 04 parmi les 06 utilisées (66.66%) pour le bassin de la Seybouse et 10 parmi les 15 utilisées (66.66 %) pour le bassin de la Tafna, c'est-à-dire, que ceux-ci présentent un comportement sur leurs queues droite de distribution asymptotiquement sub-exponentiel. Les stations : 020323, 140202, 140301, 160202, 160409, et 160726, présentent un coefficient de corrélation observé (R_0) égale à celui critique (R_c) au niveau de signification de 5% , tandis que la station 160509 présente aussi un (R_0) égale à (R_c) au niveau de signification de 1% ; dans le cas où ces stations sont uniques on préfèrent les classées dans la classe C, mais dans notre cas où 83.67 % des stations appartenant à la classe D, il est préférable de les reclassées dans cette dernière, ce qui mène le nombre totale des stations appartenant à la classe D à 48 sur les 49 utilisées (97.96 %).

Ces résultats nous laissent conclure que le type de modèle susceptible de mieux ajuster les distributions des débits maxima annuels observés au niveau de

la zone d'étude est sensiblement le type sub-exponentiel (homogénéité spatiale du phénomène).

6.5 Choix du modèle le plus adéquat

Après avoir déterminé le type de modèles susceptibles de mieux ajuster les séries de données de la zone d'étude, il nous sera utile maintenant de faire le choix entre ces modèles. A cet effet, les ajustements sont faits pour les lois de la classe D (Gumbel (EV1), Weibull (W2), Halphen A (HA), Gamma (G2), Pearson III (P3)), cette dernière a été choisie dans la section précédente.

On ce qui concerne le mode d'ajustement appliqué dans cette partie du travail, le lecteur peut consulter la section 4 du chapitre 3, tous ce qu'a été dit dans cette section reste valable ici.

6.5.1 Critères de choix du modèle le plus adéquat

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 [56]. 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 : les critères graphiques et les critères d'information.

6.5.1.1 Critères graphiques

6.5.1.1.1 Utilisations du Diagramme des moments classiques

L'introduction du diagramme des moments classiques (l'aplatissement β_2 en fonction de la symétrie γ_1 , ou $(\beta_1 = \gamma_1^2)$), par K. PEARSON à l'occasion du

développement de son système de lois de probabilité, a permis de faciliter le choix du modèle à adopter. Dans ce diagramme, les lois à deux paramètres se figurent comme un point, tandis que les autres lois sous forme de courbes [75].

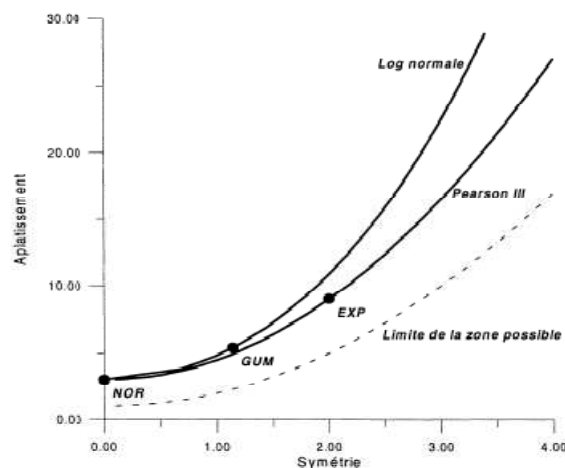


Figure 6.7 : Diagramme des moments : aplatissement β_2 -symétrie γ_1 [56]

Deux critiques adressées à cette méthode :

- La première c'est la difficulté d'estimation correcte des moments d'ordre trois et quatre ;
- La deuxième critique également tient à ce que les courbes représentatives des différentes lois utilisées en hydrologie sont relativement confinées, ce qui rend une bonne différenciation assez difficile [56].

6.5.1.1.2 Utilisations du Diagramme des L-Moments

Une nouvelle technique vient remplacer le diagramme des moments classiques, c'est la méthode des L-Moments. HOSKING [76] et HOSKING et WALLIS [77] ont donné un exposé de la théorie des L-Moments et des rapports des L-Moments. HOSKING et WALLIS [77] donnent, pour beaucoup de distributions d'usage courant, des expressions pour les L-Moments des distributions et des algorithmes pour estimer les paramètres des distributions en égalisant les L-Moments d'échantillon et de population. Selon WALLIS (60), la nouvelle technique des L-Moments peut être une base utile pour éliminer plusieurs distributions envisageables à partir d'autres considérations, et une aide à l'identification d'un groupe de distribution les plus aptes à l'utilisation dans une

modélisation subséquente. VÖGEL et FENNESSEY [78], ont démontré les avantages de la technique et, en particulier le fait que les L-Moments permettent une meilleure différenciation des diverses lois tout en présentant une excellente robustesse.

Comme précédemment les lois à deux paramètres sont figurées par un point, pour la loi log normale et celle de Pearson III des approximations polynomiales sont proposées, Pour la loi de Pareto généralisée (GPA) et la loi des extrêmes généralisés (GEV) on utilise les expressions des L-Moments qui sont fonction du coefficient de forme uniquement.

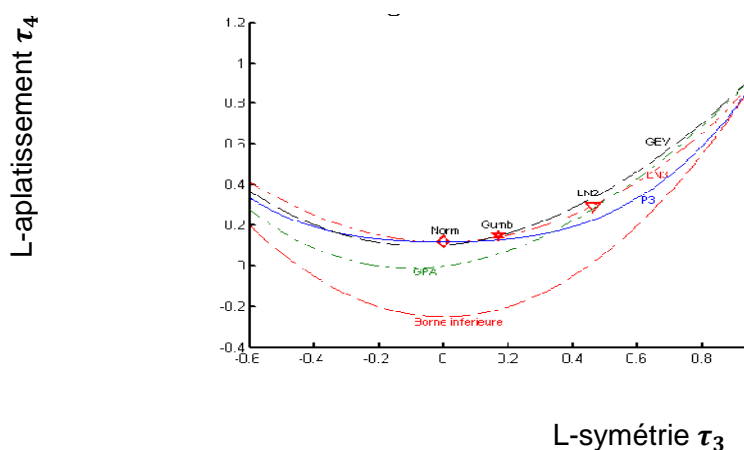


Figure 6.8 : Diagramme des rapports des L-Moments : L aplatissement τ_4 -L symétrie τ_3 de quelques distributions usuelles [76]

6.5.1.1.3 Critère basée sur l'analyse régionale

Une tendance de la technique du diagramme des L-Moments, vient d'apparaître : c'est l'analyse régionale, qui, postule une certaine homogénéité spatiale. C'est ainsi que le choix du modèle se base, non plus sur l'étude d'une station unique, mais sur l'ensemble des stations d'une région supposée homogène. Cette approche est conforme à la conclusion adopté par MATHERON [79] (comme il vient plus loin), consistant à multiplier les sources d'information d'une part, et à introduire des informations non numériques d'autre part (ici sous la forme d'un postulat d'homogénéité spatiale des phénomènes).

La figure 6.3 illustre, la représentation dans un diagramme des L-Moments des débits moyens journaliers de 23 stations du Massachusetts, réalisée par

VOGEL et FENNESSEY [78]. Cette représentation montre que le modèle adopté est la loi de Pareto généralisée (GPA).

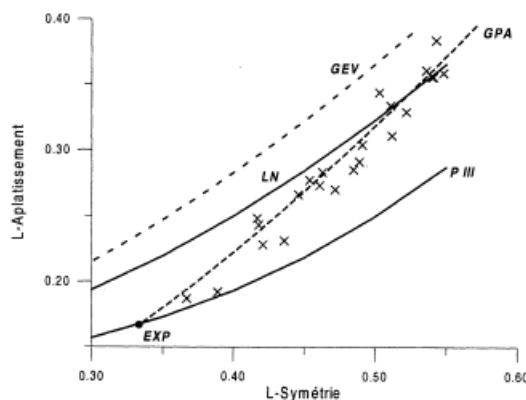


Figure 6.9 : Débits journaliers de 23 stations au Massachusetts [78]

Il convient encore de noter que l'approche régionale est utilisée, non seulement pour aider au choix d'un modèle fréquentiel, mais également sous la forme d'une analyse fréquentielle régionale [80], [81].

6.5.1.2 Critères d'information

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* [82], le Bayesian Information Criterion *BIC* [61], le Minimum Description Length *MDL* [83] et le *C_p* de MALLOW'S [84]. 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* [62] et *c-AIC* [85] pour de petites tailles d'échantillons par rapport au nombre de paramètres à estimer, *AICR* [86] pour une régression avec erreurs non-gaussiennes, *QAIC* [87] et *c-QAIC* [88] pour des données sur-dispersées.

Il existe ainsi une littérature très fournie sur la sélection de modèles par critère pénalisé, qui se développe encore actuellement avec l'apparition d'outils

sophistiqués de probabilité, comme par exemple les inégalités de concentration et de déviation, permettant à la fois la construction de critères et leur étude [63].

Nous nous intéressons ici au critère *BIC* et *AIC*, 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.

6.5.1.2.1 Le Critère d'Information d'Akaike (AIC)

Le Critère d'Information d'Akaike (*AIC*), qui a été proposé par HIROTSUGU AKAIKE [82] est donné par :

$$AIC = -2\log(L) + 2k \quad (6-16)$$

où 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 ($n/k < 40$), il est recommandé d'utiliser l'*AIC* corrigé donnée par HURVICH et TSAI [62] :

$$AIC_c = AIC + ((2k(k+1))/(n-k-1)) \quad (6-17)$$

6.5.1.2.2 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. A cet effet, la tendance actuelle est plutôt de se baser sur le *BIC* (Bayesian Information Criterion) qui fait intervenir n la taille de l'échantillon [61] :

$$BIC = -2\log(L) + k\log(n) \quad (6-18)$$

où 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 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 [90].

Un modèle est meilleur qu'un autre s'il a un *AIC* (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'*AIC* est préféré.

6.5.1.2.3 La méthode de Schwarz

Le problème qui se pose est le suivant : est-il satisfaisant d'avoir un classement basé sur l'unique information tirée des observations numériques de chaque station indépendamment des autres (c'est-à-dire localement) ou bien y a-t-il une nécessité d'avoir à y inclure l'information contenu dans les observations des autres stations et tout autre information supplémentaire ?

Selon WALLIS [60], si la distribution n'est pas connue, une estimation ponctuelle de $x(F)$ -c'est à dire une estimation basée sur un échantillon unique issu de l'observation d'une seule station- ne devrait jamais être effectuée ni utilisée. Une exception possible à cette règle pourrait être la situation où « $T \ll n$ » (n nombre d'années d'observation). WALLIS a employé une approche différente : l'approche régionale ou multistations. Il convient de souligner l'importance capitale de cette dernière. C'est en effet, pour l'essentiel, ici que nous véhiculons au modèle une information positive non contenue dans les données numériques brutes : expérience de cas semblables, avis d'experts, analogie avec d'autres phénomènes etc. Seul, cet apport positif permet de comprendre que nous puissions tirer (en apparence) des données plus qu'il n'y est réellement contenu [56]. Il est clair que l'estimation des paramètres de la loi théorique dépend de la taille de l'échantillon, et les erreurs observées résultent des incertitudes ou erreurs d'échantillonnage.

Devant de tels constats, et pour pallier l'insuffisance des observations vue la taille généralement réduite des échantillons utilisés en hydrologie, ce qui rend les estimations locales, entachées d'erreurs et leur fiabilité est mise en cause, on aura recours à une analyse régionale plutôt que locale.

La méthode de SCHWARZ [61], basé sur le *BIC* et les notions de probabilité a priori et probabilité a posteriori, offre cette possibilité. 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 devient [63]:

$$BIC_i = -2 \log(L) + k \log(n) - 2 \log(P(M_i)) \quad (6-19)$$

La probabilité a posteriori est donnée par [63] :

$$P(M_i|X) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \Delta BIC_i\right)}{\sum_{l=1}^m \exp\left(-\frac{1}{2} \Delta BIC_l\right)} \quad (6-20)$$

Avec :

$$\Delta BIC_i = BIC_i - BIC_{min} \quad (6-21)$$

où 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 [63].

Dans cette méthode les informations des autres sites servent à établir la loi a priori via les modèles théorique tandis que l'information du site cible est utilisée dans l'évaluation de la vraisemblance du modèle. Cette approche présente deux points forts :

- les observations des autres sites n'ont pas un poids plus important que les observations du site cible ; ainsi, l'information régionale pourra être contredite par les observations locales notamment dans le cas de régions hétérogènes;
- le modèle est basé sur des fondements théoriques sûrs et non sur un concept de normalisation obscur. De plus, les incertitudes liées à ce nouveau modèle peuvent facilement être évaluées en obtenant, par exemple, les intervalles de crédibilité [90].

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

La validité des critères peut être évaluée par rapport à certaines considérations asymptotiques. Ces considérations sont :

- le bon modèle a une probabilité limite d'être choisi égale à un s'il est un élément de l'ensemble des modèles considérés;
- le meilleur modèle parmi tous les modèles incorrects est choisi de façon convergente lorsque le bon modèle ne fait pas partie des alternatives considérées.

6.5.2 Résultats et interprétations

6.5.2.1 Présentation des lois utilisées

Après avoir déterminé le type de modèles susceptibles de mieux simuler le comportement des queues droites des distributions de crues de différents sites retenus dans cette étude dans la section précédente, il sera utile maintenant de faire le choix entre les modèles constituant le type choisi. À cet effet, les ajustements sont faits pour les lois de la classe D (retenue précédemment) à savoir : Gumbel (EV1), Weibull (W2), Halphen A (HA), Gamma (G2) et Pearson III (P3), leurs fonctions de densité de probabilité sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 6.5 : Fonctions de densité de probabilité des lois utilisées

Lois	Fonctions de densité de probabilité	Paramètres	Références
Gumbel (EV1)	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$	α, u	[91]
Weibull (W2)	$f(x) = \frac{c}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha} \right)^{c-1} \exp \left[-\left(\frac{x}{\alpha} \right)^c \right]$	α, c	[92]
Halphen (HA)	$f(x) = \frac{1}{2m^{2\nu} K_{\nu}(2\alpha)} x^{\nu-1} \exp \left[-\alpha \left(\frac{x}{m} + \frac{m}{x} \right) \right]$	α, m, ν	[93]
Pearson III (P3)	$f(x) = \frac{\alpha^{\lambda}}{\Gamma(\lambda)} (x-m)^{\lambda-1} e^{-\alpha(x-m)}$	α, λ, m	[94]
Gamma (G2)	$f(x) = \frac{\alpha^{\lambda}}{\Gamma(\lambda)} x^{\lambda-1} e^{-\alpha x}$	α, λ	[94]

Les lois ; Gumbel, Weibull et Gamma sont des lois à deux paramètres, tandis que celles de Halphen A et Pearson III sont des lois à trois paramètres.

6.5.2.2 Estimation des paramètres des lois et test d'adéquation

L'estimation des paramètres de ces lois, a été faite par la méthode du maximum de vraisemblance à cause de ses propriétés asymptotiques fort intéressantes, un test de χ^2 est appliqué pour se renseigner sur l'adéquation de ces lois aux différents échantillons utilisés dans cette étude.

Sur le tableau 6.6 sont présentés les paramètres des lois utilisées tandis que sur le tableau 6.7 sont présentés les quantiles centennaux au non dépassement ($Q_{100 \text{ ans}}$), les valeurs de la statistique χ^2 et l'erreur de première espèce α .

Tableau 6.6 : Paramètres des lois utilisées (méthode du maximum de vraisemblance)

Code station	Gumbel		Weibull		Halphen A			Gamma		Pearson III		
	μ	α	α	c	α	m	v	α	λ	α	λ	m
011407	100.93	79.20	166.14	1.50	0.63	69.24	0.84	0.01	2.03	-	-	-
011601	37.13	32.40	62.48	1.33	0.40	19.16	0.92	0.03	1.63	-	-	-
011702	67.92	68.80	118.56	1.08	0.34	59.76	0.20	0.01	1.24	0.01	1.06	9.40
011715	17.47	11.49	27.51	1.76	0.89	11.32	1.30	0.11	2.71	-	-	-
011905	44.12	32.70	71.93	1.52	0.74	36.11	0.63	0.03	2.18	-	-	-
012201	28.82	24.73	46.81	1.26	Converge vers Gamma			0.03	1.34	-	-	-
012203	75.46	45.09	114.29	1.98	Converge vers Gamma			0.03	3.23	0.03	3.54	-3.57
012501	44.41	45.61	-	-	0.34	42.58	0.10	0.02	1.21	-	-	-
012601	214.02	158.79	346.19	1.48	0.43	76.28	1.56	0.01	2.05	0.004	1.30	34.75
012701	123.21	137.98	218.68	1.05	0.30	119.92	0.07	0.01	1.12			
012806	204.89	219.92	356.00	0.97	0.31	358.95	-0.49	0.00	1.10	0.001	0.82	32.94
013001	72.80	67.79	123.13	1.22	0.01	1.26	1.31	0.01	1.35	-	-	-
013301	111.11	107.05	185.93	1.06	Converge vers Gamma			0.01	1.12	-	-	-
013302	130.15	146.00	231.96	1.04	0.31	145.12	-0.05	0.01	1.12	-	-	-
013401	43.27	46.99	-	-	0.23	22.38	0.54	0.01	1.11	-	-	-
013402	209.48	1777.36	346.46	1.36	0.26	58.14	1.33	0.01	1.63	-	-	-
013602	315.64	379.21	558.50	0.95	0.25	310.79	0.021	0.00	0.99	-	-	-
020207	78.74	71.25	133.78	1.28	0.44	56.58	0.54	0.01	1.55	-	-	-
020301	57.60	62.72	-	-	0.06	6.73	0.84	0.01	0.94	-	-	-
020323	26.67	25.79	46.88	1.09	0.33	90.39	-1.25	0.03	1.35	0.02	0.85	7.20
021007	87.65	91.88	-	-	Converge vers Gamma			0.01	0.90	-	-	-
021126	158.36	127.68	254.96	1.35	Converge vers Gamma			0.01	1.50	-	-	-
021301	220.42	211.31	361.23	1.22	Converge vers Gamma			0.00	1.19	-	-	-
021418	202.59	225.78	361.15	1.03	0.32	263.47	-0.2	0.00	1.13	-	-	-
090101	59.20	48.16	97.18	1.29	Converge vers Gamma			0.02	1.68	0.02	1.59	7.43
090305	61.51	44.68	-	-	Converge vers Gamma			0.02	1.72	-	-	-
090416	34.03	24.55	53.81	1.65	Converge vers Gamma			0.04	2.18	0.05	2.84	-4.29
090501	465.18	1.80	-	-	0.43	67.10	2.54	0.01	2.82	0.01	2.32	27.59
140202	39.28	50.75	67.95	0.82	0.20	31.50	0.16	0.01	0.90	0.01	1.13	-23.17
140301	90.21	168.03	166.62	0.70	0.07	61.51	0.03	0.00	0.54	0.00	1.05	-107.83
140302	54.21	66.91	95.87	0.96	0.04	5.33	0.72	0.01	0.80	0.01	1.82	-39.28
140501	104.54	108.41	182.24	1.08	0.30	73.11	0.39	0.01	1.21	0.01	1.27	-20.74
140601	271.40	305.84	474.56	1.05	0.16	86.28	0.76	0.00	1.08	0.01	4.95	-488.65
140602	34.81	36.35	60.42	1.17	0.11	6.56	0.91	0.02	1.07	0.05	5.68	-60.03
160202	148.32	185.69	243.45	0.78	0.15	69.27	0.43	0.00	0.87	0.00	0.90	5.80
160401	57.31	101.62	91.21	0.61	0.05	14.65	0.35	0.00	0.58	0.00	0.62	0.61
160402	69.68	78.36	122.97	1.03	0.19	29.08	0.65	0.01	1.08	0.01	2.35	-62.60
160409	27.62	37.73	46.33	0.76	0.08	7.84	0.46	0.01	0.72	0.01	0.76	0.64
160426	21.95	26.11	38.42	0.96	0.01	0.56	0.73	0.02	0.76	0.03	1.66	-13.71
160504	113.22	191.34	182.33	0.63	0.12	145.87	-0.19	0.00	0.65	0.00	0.61	6.52
160507	17.28	32.79	24.10	0.54	0.08	17.74	-0.12	0.01	0.54	0.01	0.49	0.59
160509	7.31	8.04	11.23	0.78	0.14	2.43	0.64	0.07	0.96	0.06	0.90	0.46
160601	11.81	19.70	19.30	0.65	0.10	9.86	-0.02	0.02	0.60	0.01	0.47	0.84
160614	56.50	76.97	100.76	0.86	0.03	5.93	0.62	0.01	0.71	0.01	1.45	-44.79
160702	13.84	23.49	-	-	0.07	6.17	0.23	0.02	0.59	0.01	0.56	0.21
160703	54.95	84.36	85.88	0.65	0.14	63.75	-0.15	0.01	0.69	0.00	0.57	4.85
160704	13.71	13.94	23.92	1.14	0.35	10.66	0.34	0.06	1.29	0.08	2.57	-10.57
160726	12.35	15.85	21.93	0.92	0.13	5.10	0.44	0.04	0.84	0.05	1.65	-9.13
160801	191.71	317.02	338.45	0.70	0.14	343.99	-0.37	0.00	0.68	0.00	0.59	19.58

Tableau 6.7 : Quantiles centennaux au non dépassement ($Q_{99\%}$), valeurs de la statistique (χ^2) et erreur de la première espèce (α) calculés pour chaque station et pour différentes lois utilisées

Code station	Gumbel (EV1)			Weibull (W2)			Halphen A (HA)			Gamma (G2)			Pearson III (P3)		
	Q99% (m3/s)	χ^2	α (%)	Q99% (m3/s)	χ^2	α (%)	Q99% (m3/s)	χ^2	α (%)	Q99% (m3/s)	χ^2	α (%)	Q99% (m3/s)	χ^2	α (%)
011407	465.30	3.86	27.73	459.75	1.57	66.59	539.12	2.71	25.74	492.49	3.86	27.73	-	-	
011601	186.16	2.72	60.57	197.47	3.84	42.81	212.39	1.60	65.94	208.37	3.84	42.81	-	-	
011702	383.97	12.00	3.48	487.25	8.50	13.07	-	4.00	40.60	475.28	8.00	15.62	571.43	10.00	4.04
011715	70.35	2.81	58.93	65.46	1.78	77.65	77.90	2.81	42.11	71.12	2.81	58.93	-	-	
011905	194.55	1.00	80.13	196.97	2.14	54.33	237.15	1.75	45.58	205.98	2.14	54.33	-	-	
012201	142.59	4.09	39.44	157.10	1.65	79.94	-	-		174.48	1.65	79.94	-	-	
012203	282.87	5.91	20.57	247.18	5.91	20.57	-	-		275.20	5.91	20.57	271.67	5.91	11.59
012501	254.21	6.71	15.20	-	-		-	9.87	1.97	313.56	5.81	21.41	-	13.48	0.37
012601	944.47	10.32	3.53	972.66	7.16	12.76	1042.66	1.29	73.14	1023.04	5.81	21.41	1155.42	3.10	37.69
012701	757.94	11.23	2.41	940.56	6.71	15.20	-	2.65	44.96	932.11	4.00	40.60	-	-	
012806	1216.56	10.59	3.15	1721.20	5.93	20.47	-	9.04	2.88	1587.13	4.89	29.89	-	9.04	2.88
013001	384.66	6.85	14.42	429.97	2.00	73.58	-	2.00	57.24	458.82	2.00	73.58	-	-	
013301	603.56	8.96	6.22	783.83	12.61	1.34	-	-		790.65	12.61	1.34	-	16.26	0.10
013302	801.99	13.48	0.91	1012.96	6.26	18.07	-	4.90	17.90	992.21	7.61	10.68	-	-	
013401	149.02	3.55	47.06	-	-		-	0.84	84.02	165.01	2.19	70.02	-	-	
013402	1025.39	1.29	86.30	1066.90	0.84	93.32	1246.46	2.19	53.32	1153.79	2.65	61.88	-	-	
013602	2060.09	8.97	6.19	-	-	12.76	-	-	4.47	2635.45	1.74	78.31	-	-	
020207	406.51	6.08	19.33	441.22	7.20	12.57	472.90	3.84	27.93	460.00	7.20	12.57	-	-	
020301	345.59	2.83	58.61	-	-		-	4.58	20.5	460.52	2.25	68.99	-	-	
020323	145.32	15.24	0.94	189.29	8.94	11.15	-	5.06	28.11	178.73	13.79	1.70	236.93	11.85	1.85
021007	510.33	2.72	60.57	-	-		-	-		682.48	3.84	42.81	-	-	
021126	745.72	4.00	40.6	791.21	8.50	7.49	-	-		889.66	8.50	7.49	-	-	
021301	1192.49	4.73	19.29	1264.21	6.36	9.52	-	-		1440.45	1.45	5.87	-	-	
021418	1241.22	4.00	40.60	1588.19	1.67	79.68	-	4.00	26.15	1541.47	1.08	89.69	-	-	

Suite tableau 6.7 : Quantiles centennaux au non dépassement ($Q_{99\%}$), valeurs de la statistique (χ^2) et erreur de la première espèce (α) calculés pour chaque station et pour différentes lois utilisées

Code station	Gumbel (EV1)			Weibull (W2)			Halphen A (HA)			Gamma (G2)			Pearson III (P3)		
	$Q_{99\%}$ (m ³ /s)	χ^2	α (%)	$Q_{99\%}$ (m ³ /s)	χ^2	α (%)	$Q_{99\%}$ (m ³ /s)	χ^2	α (%)	$Q_{99\%}$ (m ³ /s)	χ^2	α (%)	$Q_{99\%}$ (m ³ /s)	χ^2	α (%)
090101	280.76	3.29	3.29	316.19	9.00	3.29	342.67	11.29	0.00	321.09	11.29	1.00	392.70	7.86	2.00
090305	267.07	8.08	8.08	352.47	25.58	8.08	343.00	25.58	0.00	327.59	11.58	2.00	415.01	13.33	0.00
090416	146.99	5.91	5.91	135.36	3.48	5.91	-	5.91	21.0	153.99	5.91	21.00	146.03	5.91	12.00
090501	1172.35	5.06	5.06	1086.83	3.12	5.06	1200.00	3.61	46.00	1184.16	3.61	67	1226.27	3.61	46.00
140202	272.731	13.24	13.24	438.881	6.00	13.24	-	2.62	45.39	367.938	7.93	9.41	405.904	17.10	0.07
140301	863.183	29.17	29.17	1490.34	4.55	29.17	-	5.03	16.93	1353.91	5.03	28.38	1325.36	30.14	0.00
140302	361.984	8.27	8.27	469.285	3.60	8.27	-	2.20	53.19	504.615	1.27	86.70	434.485	10.13	1.75
140501	603.250	19.43	19.43	747.611	7.32	19.43	-	3.86	42.46	740.637	6.03	30.36	786.437	12.51	1.39
140601	1678.31	12.75	12.75	2036.92	6.33	12.75	-	5.17	16.00	2066.26	5.75	21.86	1733.86	18.00	0.04
140602	202.006	3.87	3.87	223.516	3.46	3.87	-	4.69	32.03	254.357	3.87	56.80	200.769	4.69	32.03
160202	1002.53	9.42	9.42	1729.97	3.10	9.42	-	1.74	63.00	1391.42	0.84	93.00	1620.97	7.61	5.00
160401	524.79	24.42	24.42	1098.05	5.75	24.42	-	3.42	33.00	1088.50	8.08	9.00	1088.50	6.92	7.00
160402	430.13	12.15	12.15	541.29	7.48	12.15	-	8.00	5.00	537.52	6.44	17.00	506.96	11.11	1.00
160409	201.18	10.77	10.77	341.38	7.16	10.77	-	7.16	7.00	296.02	7.16	13.00	351.53	9.42	2.00
160426	142.06	3.86	3.86	190.06	3.29	3.86	-	3.86	15.00	208.08	1.00	80.00	177.21	2.14	34.00
160504	993.42	21.13	21.13	2047.84	10.78	21.13	-	5.91	1.00	1482.05	13.22	1.00	2079.56	5.91	11.60
160507	168.10	28.39	28.39	411.11	4.90	28.39	-	2.19	53.00	271.07	7.16	13.00	391.50	4.00	18.00
160509	44.28	5.35	5.35	78.90	9.42	5.35	-	4.90	18.00	60.64	7.16	13.00	77.08	6.71	8.00
160601	102.43	27.48	27.48	199.56	2.19	27.48	-	3.10	38.00	157.10	3.55	47.00	244.53	3.10	38.00
160614	410.56	5.57	5.57	599.57	3.29	5.57	-	6.71	3.00	600.07	3.86	28.00	547.04	11.86	0.00
160702	121.90	21.61	21.61	-	-	21.61	-	5.35	15.00	197.22	12.13	6.00	298.24	13.48	0.00
160703	443.03	23.20	23.20	890.04	6.67	23.20	-	1.73	63.00	651.57	1.27	87.00	918.49	4.07	25.00
160704	45.08	4.70	4.70	91.13	4.09	4.70	-	4.09	25.00	92.43	3.48	48.00	88.87	10.17	2.00
160726	85.28	1.57	1.57	115.62	6.71	1.57	-	6.71	3.00	114.99	2.71	44.00	106.48	4.43	11.00
160801	1650.04	22.97	22.97	3018.05	15.29	22.97	-	2.65	45.00	2413.76	8.52	7.00	3094.22	13.94	0.00

6.5.2.3 Choix du modèle le plus adéquat

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.

Dans ce contexte, les critères d'informations (le critère de Schwarz, le critère d'information bayésien *BIC* et le critère d'information d'akaïke modifié *AICc*) ont été appliqués. Ces critères servent à construire un classement des modèles fréquentiels les plus fiables. 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, nous les utiliserons pour confirmer les résultats obtenus par le critère de SCHWARZ. Ce derniers 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.

Vu le manque d'informations supplémentaires sur le phénomène étudié (manque d'expérience, absence des études régionales, pas d'analogie avec d'autre phénomène), nous devons passé 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 paramètre de celui-ci (principe de parcimonie), et la taille de l'échantillon. C'est-à-dire, qu'à part les données numériques de l'échantillon, aucune information supplémentaire ne sera prise en compte dans les calculs. Dans ce cas, la distribution a priori est supposée uniforme pour toutes les lois présentant un ajustement suffisant avec les données de chaque station. Les résultats de calculs des cinq lois les mieux classées selon ces critères et dans ces conditions, sont présentés dans le tableau 6.8.

Tableau 6.8 : Résultats de calcul pour chaque station des trois bassins selon les différents critères choisis

Code Station	Gumbel			Weibull			Halphen A			Gamma			Pearson III		
	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc
011407	10.74	255.993	254.571	35.02	253629	252.207	12.97	255.615	253.894	41.27	253.301	251.879	-	-	-
011601	4.95	260.068	258.175	38.68	255.955	254.062	12.59	258.200	255.287	43.79	255.707	253.814	-	-	-
011702	0.23	383.834	381.316	29.81	374.080	371.563	31.13	373.994	370.454	38.83	373.552	371.034	-	-	-
011715	15.30	223.486	221.394	31.76	222.025	219.934	10.82	224.179	221.334	42.12	221.461	219.369	-	-	-
011905	14.20	219.297	217.875	28.39	217.913	216.491	14.64	219.237	217.516	42.77	217.093	215.671	-	-	-
012201	18.36	226.220	224.549	46.99	224.340	222.670	Converge vers Gamma			34.64	224.951	223.28	-	-	-
012203	25.83	252.270	250.599	34.60	251.685	250.014	Converge vers Gamma			32.71	251.798	250.127	6.85	254.924	252.781
012501	0.33	345.891	353.454	-	-	-	48.72	335.927	332.514	50.94	335.838	333.399	-	-	-
012601	11.38	419.800	417.361	27.09	418.065	415.626	8.56	420.368	416.955	41.27	417.223	414.784	11.69	419.745	416.332
012701	0.06	413.972	411.533	30.07	41.589	399.150	37.33	401.156	397.743	32.53	401.432	398.993	-	-	-
012806	0.10	389.050	386.959	16.80	378.700	376.608	65.33	375.984	373.139	17.77	378.588	376.496	-	-	-
013001	3.55	309.051	307.057	46.12	303.922	301.928	8.21	307.374	304.691	42.12	304.104	302.104	-	-	-
013301	4.44	296.133	294.462	47.28	291.402	289.731	Converge vers Gamma			48.28	291.360	289.689	-	-	-
013302	0.05	418.188	415.734	26.33	405.526	403.072	44.52	404.476	401.031	29.11	405.326	402.872	-	-	-
013401	0.28	346.195	343.756	-	-	-	29.43	336.893	333.480	70.28	335.152	332.713	-	-	-
013402	5.34	426.159	423.720	44.80	421.905	419.466	8.52	425.224	421.811	41.34	422.066	419.627	-	-	-
013602	0.06	477.257	474.818	28.17	462.278	459.410	44.15	461.379	457.077	27.67	462.313	459.445	-	-	-
020207	3.37	299.783	297.891	36.64	295.011	293.118	16.92	296.556	294.043	43.07	294.687	292.787	-	-	-
020301	1.30	282.020	280.235	-	-	-	18.23	276.734	274.4	80.47	273.764	271.979	-	-	-
020323	0.02	333.117	330.524	2.44	323.789	321.205	93.02	316.519	312.858	4.52	322.569	319.976	-	-	-
021007	3.89	310.184	308.291	-	-	-	Converge vers Gamma			96.11	303.772	301.879	-	-	-
021126	22.90	366.535	364.351	47.88	365.006	362.822	Converge vers Gamma			29.83	365.952	363.768	-	-	-
021301	8.05	309.520	307.970	53.85	305.720	304.170	Converge vers Gamma			38.10	306.412	304.862	-	-	-
021418	0.24	345.773	343.988	27.35	336.340	334.555	42.27	335.470	333.136	30.14	336.146	334.361	-	-	-

Suite tableau 6.8 : Résultats de calcul pour chaque station des trois bassins selon les différents critères choisis

Code station	Gumbel			Weibull			Halphen A			Gamma			Pearson III		
	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc	P(Mi X)	BIC	AICc
090101	18.48	235.773	234.351	34.19	234.543	233.121	Converge vers Gamma			47.33	233.893	232.471	-	-	-
090305	44.09	268.405	266.620	-	-	-	Converge vers Gamma			55.91	267.929	266.144	-	-	-
090416	21.02	224.634	222.963	43.40	223.184	221.513	Converge vers Gamma			29.03	223.988	222.317	6.55	226.966	224.822
090501	20.88	456.506	453.913	28.61	455.876	453.283	6.60	458.809	455.148	37.06	455.359	452.766	6.85	458.734	455.073
140202	-	-	-	-	-	-	52.30	315.34	312.204	47.70	315.53	313.257	-	-	-
140301	-	-	-	-	-	-	82.26	362.61	363.579	17.74	365.68	366.149	-	-	-
140302	0.03	340.555	354.12	-	-	-	17.71	340.56	340.343	82.26	340.55	338.194	-	-	-
140501	-	-	-	33.51	463.626	460.76	25.71	464.15	460.050	40.78	463.23	460.365	-	-	-
140601	0.48	358.172	356.39	43.51	349.160	347.38	12.41	351.66	349.335	43.60	349.15	347.371	-	-	-
140602	0.27	412.362	409.37	-	-	-	16.93	404.07	399.77	82.80	400.90	397.906	-	-	-
160202	0.01	435.70	433.26	-	-	-	40.89	417.524	415.984	59.10	416.788	415.682	-	-	-
160401	-	-	-	-	-	-	33.04	284.700	282.210	66.96	283.290	281.430	-	-	-
160402	0.20	330.37	328.35	41.92	319.710	430.310	14.49	321.83	318.310	43.39	319.640	317.620	-	-	-
160409	0.00	336.43	333.99	-	-	-	29.90	315.818	312.405	70.10	314.114	311.675	-	-	-
160426	0.44	211.50	210.08	-	-	-	18.02	204.067	202.346	81.30	201.053	199.631	0.24	212.69	210.97
160504	-	-	-	-	-	-	83.61	301.090	298.947	16.39	304.349	302.678	-	-	-
160507	-	-	-	-	-	-	94.70	285.186	281.773	5.30	290.953	288.514	-	-	-
160509	0.14	240.05	237.61	-	-	-	24.32	229.778	226.365	75.54	227.511	225.072	-	-	-
160601	-	-	-	-	-	-	85.22	261.463	258.050	14.78	264.966	262.527	-	-	-
160614	0.06	257.85	256.43	-	-	-	20.65	246.032	244.310	79.29	243.341	241.919	-	-	-
160702	-	-	-	-	-	-	54.12	277.643	274.230	45.88	277.973	275.534	-	-	-
160703	0.00	375.452	373.09	-	-	-	88.23	345.245	341.964	11.77	349.272	346.914	-	-	-
160704	1.39	201.92	200.24	36.70	195.372	193.701	20.69	196.518	194.374	41.21	195.140	193.469	-	-	-
160726	0.22	190.53	189.11	-	-	-	30.44	180.669	178.947	69.34	179.023	177.601	-	-	-
160801	-	-	-	-	-	-	97.16	434.248	430.835	2.84	441.313	438.874	-	-	-

Les résultats obtenus sont surprenants, du fait qu'ils viennent de contredire ce qui a été une conviction en Algérie depuis longtemps. Pour le critère de Schwarz (probabilité a posteriori), il montre que ; dans le bassin de Cheliff sur les 17 stations utilisées, 09 (52.94%) suivent la loi gamma, 04 la loi Halphen A (23.53%) et 04 (23.53%) suivent celle de Weibull, tandis que pour le bassin du Côtiers Algérois, 03 stations sur 07 suivent la loi Gamma (42.86%), 02 stations suivent la loi de Halphen A (28.57%) et 02 suivent celle de Weibull (28.57%), en ce qui concerne le bassin d'Isser 03 stations sur 04 suivent la loi Gamma (75%) et une seule station suit la loi Weibull (25%), pour le bassin de la Seybouse 04 stations sur les 06 utilisées suivent la loi Gamma (66.66%) et 02 suivent la loi Halphen A (33.34%), finalement pour la Tafna sur les 15 stations utilisées, 09 parmi celles-ci suivent la loi Gamma (60%) et 06 suivent la loi Halphen A (40%). En total 57.14% des stations utilisées dans cette étude suivent la loi Gamma, 28.57% suivent la loi Halphen A, 14.29% suivent celle de Weibull et aucun échantillon ne suit ni la loi Gumbel ni celle de Pearson III, comme a été convaincu auparavant. Le critère *BIC* vient confirmer ces résultats dans 100% de cas, tandis que le critère *AICc* dans 93.88% de cas. Nous remarquons aussi que sur 81.63% des échantillons qui ne suivent pas la loi Gamma, cette dernière est classée en deuxième position.

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 [95] qui a travaillé sur des simulations de données à partir d'un modèle précis -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 *AICc*, ce qui n'est pas surprenant puisque le *BIC* pénalise plus que l'*AICc* (dès que n devient supérieur à 7) [63]. Par conséquent, les résultats obtenus avec le *BIC* seront retenus par la suite. Les figures suivantes montrent la répartition spatiale des meilleures lois pour chaque station et chaque bassin.

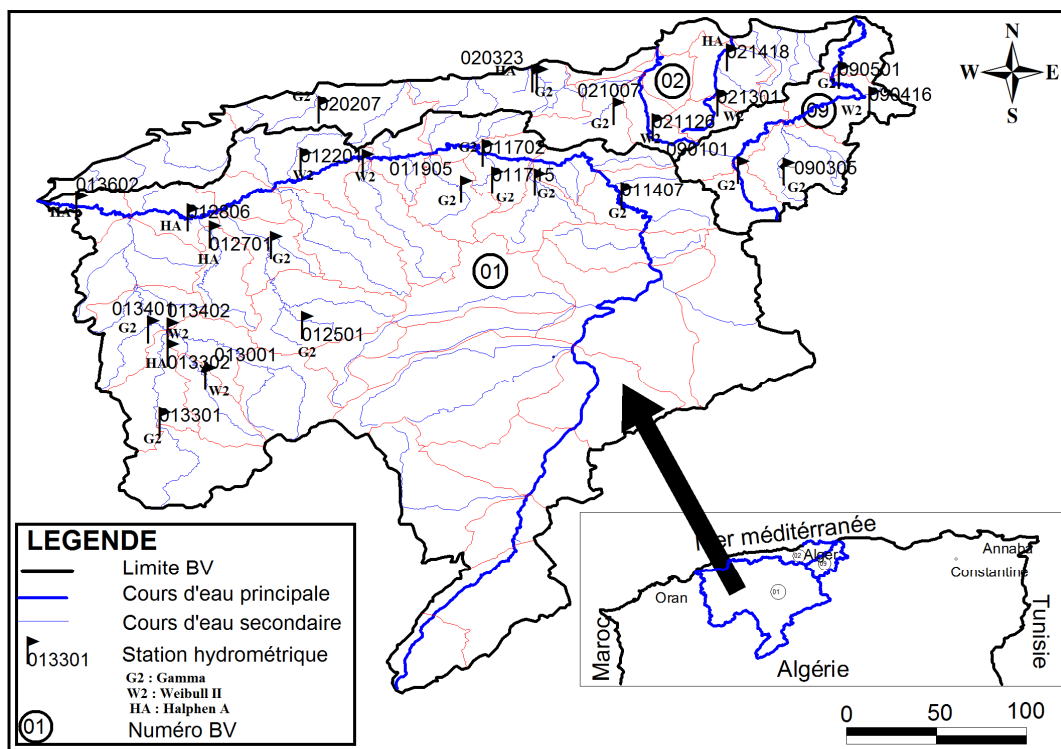


Figure 6.10 : Distribution spatiale des lois théoriques les mieux classées pour les bassins : Chelif (01), Côtiers Algérois (02) et Isser (09)

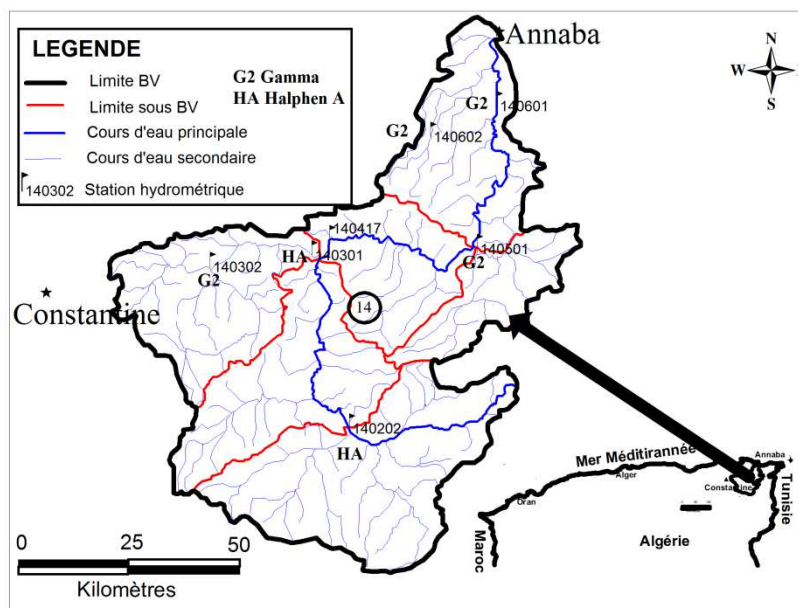


Figure 6.11 : Distribution spatiale des lois théoriques les mieux classées pour le bassin de la Seybouse

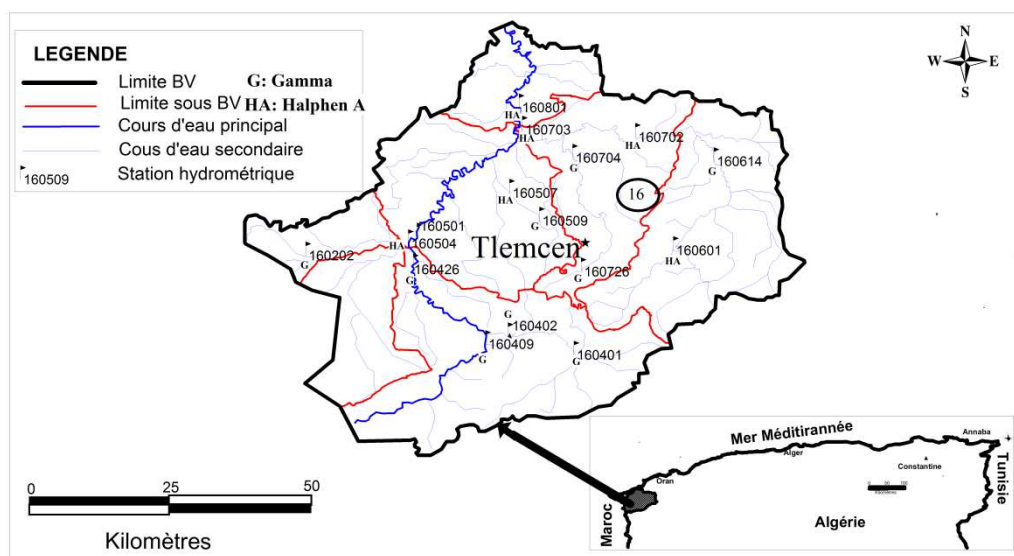


Figure 6.12 : Distribution spatiale des lois théoriques les mieux classées pour le bassin de la Tafna

En fait, les lois Gumbel et Pearson III ont un paramètre d'origine (v , u) respectivement (voir tableau 6.4) et l'intervalle de définition de la variable dépend de ce paramètre. Il en résulte qu'il ne peut y avoir d'estimation optimale dans ce cas pour une taille donnée d'échantillon (taille réduite comme est le cas ici). Par contre les lois : Gamma, Halphen A et Weibull 2, ne possédant pas ce paramètre, il en résulte que l'on peut obtenir pour ces distributions une estimation optimale des paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance quelle que soit la

taille de l'échantillon. Une étude de simulation a été entreprise par EL ADLOUNI et al. [96] pour évaluer les erreurs liées à l'ajustement des distributions de Halphen aux échantillons produits par la distribution GEV et vice-versa. Pour la classe sub-exponentielle, la loi Halphen A (et par conséquent celle de Gamma) donne des résultats meilleurs que celle de Gumbel (EV1) particulièrement dans le cas des échantillons de petite dimension. Cette conclusion vient confirmer nos résultats.

La loi Gamma, n'est qu'une loi Pearson III à deux paramètres, c'est-à-dire sans décalage (paramètre d'origine $m = 0$, voir tableau 6.4). La loi Halphen A comprend trois paramètres : deux paramètres de forme α et ν , un paramètre d'échelle m mais n'a pas de paramètre d'origine, elle comprend comme cas limite la loi Gamma [97], [98]. Le grand intérêt de ces lois (HA et G2) est de posséder des statistiques conjointement exhaustives des paramètres. Il en résulte que quelle que soit la taille de l'échantillon considéré, l'estimation des paramètres est optimale et correspond aux estimateurs du maximum de vraisemblance lorsqu'une solution existe [98]. Une statistique exhaustive est une fonction des observations qui, à elle seule, résume toute l'information relative à l'état du paramètre à estimer. Les estimateurs basés sur des statistiques exhaustives sont efficaces, i.e. ils ont une variance minimale quelle que soit la taille de l'échantillon. Il s'agit donc d'une propriété très importante particulièrement dans le cas des petits échantillons rencontrés en hydrologie. De plus, ces estimateurs sont asymptotiquement sans biais. Les lois de Halphen sont les seules lois à trois paramètres utilisées en hydrologie à posséder cette propriété enviable. L'utilisation de distribution de Halphen A a cependant été limitée en pratique en raison des problèmes de calcul numérique de la fonction de normalisation : la fonction de Bessel modifiée de seconde espèce [99]. La loi Weibull à deux paramètres, a été largement utilisée comme modèle probabiliste dans des études sur les temps de survie [91]. Son utilisation en hydrologie est justifiée par le lien qui l'associe aux lois des valeurs extrêmes. En effet, elle se prête bien à l'étude d'événements extrêmes tels que les crues. L'expression loi de Weibull II recouvre en fait toute une famille de lois, en particulier, le cas où ($c = 1$) correspond à la loi exponentielle à un paramètre (c'est-à-dire sans paramètre d'origine), et le cas ($c = 2$) correspond à la loi de Rayleigh, importantes en matière de processus stochastique. Ces lois constituent

surtout des approximations particulièrement utiles dans des techniques diverses. L'inconvénient de cette loi est le cas où ($c < 1$), ici la fonction de densité de probabilité 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. En pratique, il n'est pas recommandé d'utiliser la méthode du maximum de vraisemblance lorsqu'il y a de fortes raisons de croire que le paramètre de forme c est inférieur à 1 [92]. Malgré ces propriétés fortes intéressantes, les lois : Gamma, Halphen A et Weibull II, sont mal connues en Algérie et d'utilisation rare.

Enfin, une remarque importante que nous ne pouvons pas l'en faire passer sans commentaire : le classement des lois établi selon les différents critères proposés, n'est pas identique à celui basé sur la distribution de la statistique χ^2 par ordre croissant (voir tableau 6.7 et 6.8). Ce résultat vient confirmer ce qu'il a été annoncé par MEYLAN et MUSY [56] : les tests d'adéquation ne permettent pas de comparer entre elles plusieurs hypothèses nulles (plusieurs modèles fréquentiels) et de choisir la meilleure : en aucun cas un test, aussi élaboré soit-il, ne permettra de conclure que c'est un autre modèle qui aurait dû être adopté.

Une fois l'analyse locale est établie, les résultats sont exposés, les discussions et les conclusions sont tirées, on passe maintenant à la seconde phase d'analyse basée sur l'exploitation des informations supplémentaires contenues dans les résultats obtenus précédemment ou d'autres informations théoriques qui peuvent aider au choix des meilleures lois en utilisant un modèle bayésien. Ces informations peuvent être résumées en :

- une tendance régionale à suivre la loi Gamma (homogénéité spatiale des phénomènes), traduite par la majorité des échantillons étudiés (57.14%) suivent cette dernière;
- sur les 35 stations complètes ou présentant moins de 10% de lacunes (c'est-à-dire les sites les bien renseignés), la tendance est davantage en faveur de la loi Gamma (64% des échantillons suivent celle-ci);
- la loi Gamma est classée en deuxième position pour vingt séries de données parmi les vingt et un qui n'y suivent pas. Dans ces cas, la

différence sur les probabilités a posteriori entre la loi Gamma et celle classée en première position n'excédant pas 13% dans 30.77% de cas, 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 Gamma;

- parmi les trente stations installées en tête de différents oueds (figure 6.10, 6.11 et 6.12), seulement huit stations ne suivent pas la loi Gamma. Alors il y a une forte probabilité que ces dernières aussi présentent réellement un comportement Gamma.

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 :

- les lois Halphen A et Gamma possèdent des statistiques conjointement exhaustives des paramètres. Il en résulte que quelle que soit la taille de l'échantillon considéré, l'estimation des paramètres est optimale et correspond aux estimateurs du maximum de vraisemblance lorsqu'une solution existe [98];
- la loi Halphen A comprend comme cas limite la loi Gamma [97] et [98]. En effet, trente et un séries de données sur les quarante neuf utilisées dans cette étude, présentent un comportement HA qui converge ou tend vers la loi Gamma (α converge ou tend vers 0 et $v > 0$) (voir tableau 6.7);
- l'utilisation de distribution de Halphen A a été limitée en pratique en raison des problèmes de calcul numérique de la fonction de normalisation : la fonction de Bessel modifiée de seconde espèce [99];
- la fonction de densité de probabilité de la loi Weibull II 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 [92];
- la loi Halphen A est une loi à trois paramètres et celles de Gamma et Weibull 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 Gamma peut être la loi la plus adéquate pour l'ajustement des valeurs extrêmes de crues de notre région. Cela nous offre la possibilité de lancer une deuxième phase de calcul basée sur les informations supplémentaires citées en haut (analyse régionale). Ces dernières sont introduites numériquement dans les calculs sous forme de distribution de probabilité a priori $P(M_i)$. Pour cela, nous devons modifier celle-ci de telle sorte qu'elle doit refléter la tendance régionale allant en faveur de la loi Gamma. Nous commençons par des petites modifications sur les probabilités a priori $P(M_i)$ sur les échantillons qui ne suivent pas la loi Gamma, et nous fixons la valeur maximale tolérable sur les $P(M_i)$ à 56%, valeur que nous estimons capable de résumer toutes les informations supplémentaires citées plus haut (rappelons que 57.14% des séries suivent la loi Gamma). 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 qui suit.

Tableau 6.9 : Résultats de calcul après une légère modification des probabilités a priori

Code station	Gumbel		Weibull		Halphen A		Gamma		Pearson III	
	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)
012201	28.00	15.33	28.00	39.23	-	-	44.00	45.44	-	-
012203	25.00	25.31	25.00	33.90	-	-	27.00	34.61	23.00	6.18
012701	20.00	0.05	25.00	28.24	25.00	35.06	30.00	36.66	-	-
012806	10.00	0.04	20.00	14.96	14.00	40.71	56.00	44.29	-	-
013001	20.00	2.63	26.00	44.46	25.00	7.61	29.00	45.29	-	-
013302	-	-	40.00	33.89	20.00	28.65	40.00	37.46	-	-
013402	23.00	4.72	25.00	42.99	24.00	7.85	28.00	44.44	-	-
013602	20.00	0.01	25.00	27.55	20.00	34.54	35.00	37.89	-	-
021126	20.00	13.21	30.00	42.58	-	-	50.00	44.21	-	-
021301	25.00	5.70	30.00	45.75	-	-	45.00	48.55	-	-
021418	10.00	0.08	25.00	23.00	27.00	38.39	38.00	38.53	-	-
090416	20.00	15.93	24.00	39.49			36.00	39.62	20.00	4.97
140202	-	-	-	-	45.00	47.29	55.00	52.71	-	-
140301	-	-	-	-	15.00	45.00	5.00	55.00	-	-
160702	-	-	-	-	45	49.11	55	50.89	-	-

On remarque, qu'après une légère modification de la probabilité a priori en faveur de la loi Gamma, quinze échantillons parmi les vingt et un qui ne suivent pas cette dernière, présentent des valeurs de la probabilité a posteriori mettant la loi Gamma en première position, ce qui ramène le pourcentage des séries qui

suivent cette dernière à 87.76% en total, chose qui nous permet d'être plus confiant en ce qui concerne la bonne adéquation de cette loi par rapport aux autres pour l'ajustement des séries de données de la région concernée par cette étude et donc d'augmenter la probabilité a priori à 80% et de donner davantage de poids à cette loi pour les stations qui restent.

Tableau 6.10 : Résultats de calcul avec la nouvelle distribution a priori

Code station	Gumbel		Weibull		Halphen A		Gamma		Pearson III	
	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)
160504	-	-	-	-	14.00	49.79	72.00	50.21	14.00	-
160601	-	-	-	-	10.00	41.88	80.00	58.12	10.00	-
160703	10.00	0.00	-	-	10.00	49.98	75.00	50.02	5.00	-

Les résultats obtenus, ramènent le pourcentage des stations qui suivent la loi Gamma à 93.88%, c'est-à-dire 46 stations sur les 49 utilisées. Vu les résultats obtenus jusqu'à présent qui vont en faveur de la loi Gamma, nous sommes devenu de plus en plus convaincu que celle-ci est la mieux adaptée à l'estimation des valeurs rares des crues dans cette région. Cela nous pousse à donner des valeurs de P(Mi) plus élevée pour les stations qui restent.

Tableau 6.11 : Résultats de calcul pour les dernières stations

Code station	Gumbel		Weibull		Halphen A		Gamma		Pearson III	
	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)
020323	2.00	0.01	4.00	1.24	4.00	47.19	90.00	51.56	-	-
160507	-	-	-	-	4.00	44.82	88.00	55.18	8.00	-
160801	-	-	-	-	2.00	41.12	98.00	58.88	-	-

Les résultats finals montrent que toutes les séries de données des stations utilisées suivent la loi Gamma. Par conséquent, celle-ci est retenue pour modéliser et estimer les débits extrêmes de crues de la région étudiée.

6.6 Conclusion

Le travail effectué a permis de mettre en exergue le modèle fréquentiel simulant le mieux les distributions des débits extrêmes de crues du nord de l'Algérie représenté par cinq grand bassins versants répartis de l'est vers l'ouest à savoir : Seybouse, Isser, Côtier-algérois Ouest, Cheliff et Tafna respectivement. Cela est rendu possible grâce à l'utilisation de plusieurs techniques et critères

pour guider le choix du type de modèle en premier lieu, puis du modèle lui-même par la suite.

L'utilisation du diagramme log-log, nous a permis au début, de mettre l'accent sur le type de modèle susceptible de mieux ajuster nos séries de données. Les résultats montrent que ces dernières appartiennent à la classe D (distribution asymptotiquement de type sub-exponentiel). Par la suite, l'application du critère d'information de Schwarz (basé sur le BIC et les concepts de probabilité a priori $P(M_i)$ et la probabilité a posteriori $P(M_i|X)$) -pour guider le choix du modèle le plus adéquat- aux différentes lois de la classe D qui s'ajuste bien avec nos séries de données, met la loi Gamma en brillance, ce qui est confirmé par HEBAL et REMINI dans leurs travaux [100], [101], [102], [103]. L'application des critères d'information bayésien BIC et d'information d'akaike corrigé AICc, viennent confirmer ce choix. Ce résultat est surprenant du fait des coutumes prédominantes en Algérie allant en faveur des lois Gumbel ou Pearson III.

Ainsi, la recherche des régions hydrologiquement homogènes sur la zone d'étude peut être bénéfique pour le choix du modèle adéquat ; elle serait considérée comme une information supplémentaire et doit être introduite dans les calculs sous forme d'une probabilité a priori, aidant ainsi à l'amélioration des résultats obtenus.

Aussi, l'utilisation des critères graphiques de choix des modèles fréquentiels les plus adéquats tel que : le diagramme des L-moments données par HOSKING [76], celui des rapports de moments établi par MORLAT [97] et celui de PEARSON, peuvent aider à l'enrichissement et la consolidation des résultats.

Enfin, nous pouvons dire que ce travail constitue un pas sur le chemin de l'étude des valeurs extrêmes des crues en Algérie. Il doit être poursuivi par d'autres études complémentaires telles celles citée plus haut et de penser à son extension sur tous les bassins versants du nord algérien afin d'en tirer des informations supplémentaires plus sûrs (la nouvelle étendue géographique étant plus importante), cela contribuerait à l'amélioration des résultats obtenus jusqu'à présent et pouvoir généraliser un modèle fréquentiel qui ajusterait

convenablement l'ensemble des séries hydrologiques observées en Algérie du Nord.

CHAPITRE 7

INTERCOMPARAISON DES MÉTHODES DE CALCUL DE CRUES

7.1 Introduction

De nombreuses méthodes existent pour l'estimation des débits extrêmes de crues. Le choix d'une méthode plutôt qu'une autre dépend bien souvent de la présence ou de l'absence de données hydrologiques et doit être adapté aux caractéristiques climatiques et régionales. Ces méthodes peuvent être classées en trois grands groupes :

- Les méthodes statistiques basées sur l'exploitation des observations passées des valeurs extrêmes de débits ;
- Les méthodes hydrométéorologiques basées sur l'exploitation de l'information pluies maximales tout en recherchant des relations acceptables de passage pluie maximale probable-débit max probable ;
- Les méthodes sommaires basées sur l'exploitation de quelques paramètres géographiques ou climatiques caractéristiques de la région étudiée.

Chacune entre elles a ses avantages et ses inconvénients ainsi que son domaine d'application et ses conditions d'utilisation.

Dans ce chapitre nous allons traiter le problème du choix d'une méthode d'estimation des valeurs extrêmes de crues tout en faisant une comparaison entre les différentes méthodes applicables actuellement en Algérie à savoir : les méthodes statistiques, hydrométéorologiques et sommaires. Et nous avons choisi comme cas d'étude le bassin versant de l'Oued Isser, pour la simple raison, que nous disposons d'une masse de données suffisante pour bien mener cette étude.

7.2 Méthodes statistiques

7.2.1 Introduction

Lorsque l'on dispose d'observations de débits de crues il est possible de procéder à un ajustement statistique puis à une extrapolation sur les fréquences. Cette méthode est parfaitement justifiée si on dispose suffisamment d'observations (20 ans est un strict minimum selon DAUTREBANDE et al. [23]).

Les méthodes statistiques d'estimation des débits des crues les plus utilisées sont :

- Méthode d'échantillonnage fixe comme la méthode des maxima annuels qui est la plus répandue dans le monde mais elle est insuffisante dans un échantillon de taille inférieure à 30 ;
- Méthodes statistiques basées la transformation pluie-débit comme la méthode du Gradex ; elle est valable que pour des bassins versants limités et homogènes ;
- Méthodes stochastiques utilisées pour des variables complexes par la modélisation statistique du processus à l'échelle journalière et mensuelle ;
- Méthode de renouvellement dont le principe est de probabiliser les débits de toutes les crues et l'occurrence d'apparition dans le temps.

7.2.2 Données utilisées

Les observations sont faites sur une durée suffisante, de l'ordre de 35 ans. La variable utilisée est le débit maximum instantané de l'Oued Isser au droit de la station de Lakhdaria, lequel est représenté sur le graphique suivant.

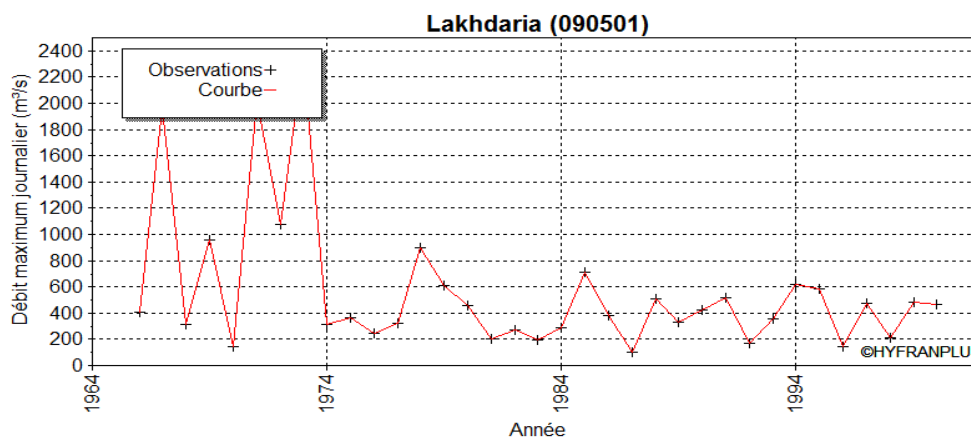


Figure 7.1 : Débits maxima annuels de l'Oued Isser au droit de la station Lakhdaria (période 1966/2000)

Dans ce travail l'échantillon est pris par la méthode à échantillonnage fixe en raison de leur simplicité et de la taille suffisante de l'échantillon (35 ans) (figure 7.1).

Nous avons choisi deux périodes différentes ; la première s'étend de 1966 jusqu'à 2000 représente la totalité de données que nous disposons pour cette station et, la deuxième de 1972 jusqu'à 1997 représente la période homogène à partir de laquelle la série synthétique de pluies maximales journalières représentative du bassin a été constituée, ce qui permet une bonne comparaison des quantiles trouvés par les méthodes ; probabilistique et hydrométéorologique.

7.2.3 Résultats et interprétations

On rappelle la démarche à suivre qui est donnée dans le paragraphe 4.4 du chapitre 4 (analyse fréquentielle), elle est la suivante :

- Après avoir rangé les débits du plus fort au plus faible, on associe à chacun une fréquence empirique. On vérifie les hypothèses d'indépendance, de stationnarité, et d'homogénéité ;
- Puis on choisit parmi les lois classiques (Gamma, Gumbel, Log normale, Pearson III etc...) celle qui s'ajuste le mieux à l'échantillon des crues maxima annuelles observées ;
- Il conviendra enfin de vérifier les résultats des tests d'adéquation (Test du Khi-2, par exemple).

Les ajustements sont faits pour les cinq lois de la classe D, à savoir ; la loi Gamma, la loi Gumbel, Weibull, Halphen A et celle de Pearson III. Concernant les fonctions de densité de probabilités de ces dernières, le lecteur peut consulter le paragraphe 6.5.2 du chapitre 6 (cf. tableau 6.5).

Comme précédemment (analyse fréquentielle des pluies, des débits moyens annuels et des débits max annuels), le choix est porté sur :

- La formule de Hazen pour le calcul de la probabilité empirique ;
- La méthode du maximum de vraisemblance pour le calcul des paramètres d'ajustement de différentes lois utilisées ;
- Et enfin le test de χ^2 pour se renseigner sur l'adéquation de ces lois aux données de notre échantillon.

Le tableau suivant résume les caractéristiques statistiques de l'échantillon utilisé et de la population représentée par les différentes lois appliquées.

Tableau 7.1 : Caractéristiques statistiques de l'échantillon et de la population

Séries	Distribution	N	Min	Max	Moy	Écart-type	Médiane	(Cv)	(Cs)	(Ck)
Série 1966/2000	Échantillon	35	102.50	2350.0	568.72	533.06	408.00	0.94	2.28	6.62
	Gumbel		/	/	532.41	360.59	473.17	0.68	1.14	2.40
	Weibull		0.00	/	575.40	454.53	465.52	0.79	1.39	5.61
	Halphen A		0.00	/	568.72	574.55	398.26	1.01	4.65	46.61
	Gamma		0.00	/	568.72	417.25	470.34	0.73	1.47	6.23
	Pearson III		102.50	/	650.33	498.25	508.71	0.77	1.81	7.96
Série 1972/1997	Échantillon	26	102.50	2350.00	496.90	442.40	374.55	0.89	3.20	12.07
	Gumbel		/	/	473.60	292.77	425.50	0.62	1.14	2.40
	Weibull		0.00	/	503.26	370.28	421.80	0.74	1.23	4.97
	Halphen A		0.00	/	496.90	425.43	372.76	0.86	3.72	30.37
	Gamma		0.00	/	496.90	330.13	425.84	0.66	1.33	5.65
	Pearson III		102.50	/	605.02	430.30	488.77	0.71	1.71	7.40

N : Nbre. d'observation, Cv : Coef. de variation, Cs : Coef. d'asymétrie, Ck : Coef. d'aplatissement

Le tableau suivant donne les résultats des tests de vérification des hypothèses I.I.D (indépendance (test WALD-WOLFOWITZ [19]), homogénéité (test d'homogénéité à l'échelle annuelle de WILCOXON [20]), stationnarité (test de KENDALL [21]) appliqués aux deux séries utilisées.

Tableau 7.2 : Vérification des hypothèses I.I.D pour les deux séries

Séries utilisées	Indépendance	Stationnarité	Homogénéité
	α (%)	α (%)	α (%)
Série 1966/2000	56.65	28.04	29.85
Série 1972/1997	7.09	50.85	69.97

La vérification des hypothèses I.I.D montre que les deux séries utilisées sont homogènes, stationnaires et indépendantes.

Le tableau suivant donne les résultats d'application du test de χ^2 de PEARSON.

Tableau 7.3 : Résultats d'application du test χ^2 de PEARSON

Lois	Série 1966/2000		Série 1972/1997	
	Statistique χ^2 de Pearson	Erreur de première espèce α (%)	Statistique χ^2 de Pearson	Erreur de première espèce α (%)
Gumbel	6.37	27.17	1.46	83.34
Weibull	9.11	10.46	6.85	14.42
Halphen A	1.34	85.41	2	57.24
Gamma	5.91	31.46	4.15	38.56
Pearson III	12.31	1.52	11.69	0.85

Les résultats montrent ; que toutes les lois choisies sont adéquates aux distributions empiriques de données des deux séries utilisées (66/00 et 72/97) au niveau de signification 5%, sauf celle de Pearson III où elle n'est pas adéquate avec les données de la série 66/00 qu'au seuil de signification 1% uniquement, tandis qu'elle n'est pas adéquate aux données de la série 72/97 pour les deux niveaux (1% et 5%). Alors on ne retient par la suite que les quatre lois les plus adéquates ; Gumbel, Weibull, Halphen A et Gamma.

Les paramètres des lois utilisées sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 7.4 : Paramètres d'ajustement des lois théoriques aux données de la station Lakhdaria

Séries utilisées	Gumbel		Weibull		Halphen A			Gamma	
	μ	α	α	c	A	m	v	α	λ
Série 1966/2000	370.13	281.15	550.59	1.38	0.45	1521.46	-1.86	0.002	1.86
Série 1972/1997	341.83	228.28	562.72	1.28	0.61	1218.64	-2.07	0.005	2.27

Les résultats de calculs des quantiles pour les périodes de retour au non dépassement les plus usuelles sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 7.5 : Valeurs des quantiles de crues pour différentes périodes de retour de la station Lakhdaria (m^3/s)

T (ans)	P (%)	Série 1966/2000				Série 1972/1997			
		EV1	W2	HA	G2	EV1	W2	HA	G2
10000	99.99	2959.60	3539.40	/	3496.90	2444.30	2766.20	/	2710.00
2000	99.95	2507.10	3044.60	/	2964.80	2076.90	2405.70	/	2317.30
1000	99.90	2312.10	2824.60	/	2733.40	1918.60	2244.10	/	2145.90
200	99.50	1859.10	2294.10	/	2188.90	1550.70	1850.50	/	1741.00
100	99.00	1663.50	2055.30	2857.40	1950.30	1391.90	1671.20	2759.80	1562.70
50	98.00	1467.20	1808.50	2731.20	1708.20	1232.50	1484.30	1734.90	1380.90
20	95.00	1205.20	1467.00	1540.10	1381.00	1019.90	1222.50	1256.20	1133.60
10	90.00	1002.80	1193.50	1116.00	1125.50	855.54	1009.70	943.60	938.73
5	80.00	791.84	901.22	765.40	858.77	684.23	778.20	673.57	732.95
3	66.67	623.93	668.02	549.65	656.94	547.90	589.56	499.85	574.55
2	50.00	473.17	465.52	398.26	470.34	425.50	421.80	372.76	425.84

Les résultats obtenus montrent clairement l'effet de la taille de l'échantillon utilisé pour l'estimation des valeurs rares de crues. En fait, pour la série de 1966/2000 (35 ans) les valeurs estimées pour chaque période de retour sont plus élevées que celles estimées à partir de la série de 1972/1997 (26 ans). Ainsi on remarque la divergence des quantiles estimés par différentes lois théoriques utilisées pour chaque série.

La figure 7.2 présente les graphiques d'ajustement des lois : Gamma, Gumbel, Weibull, Halphen A et Pearson III aux données de la station de Lakhdaria.

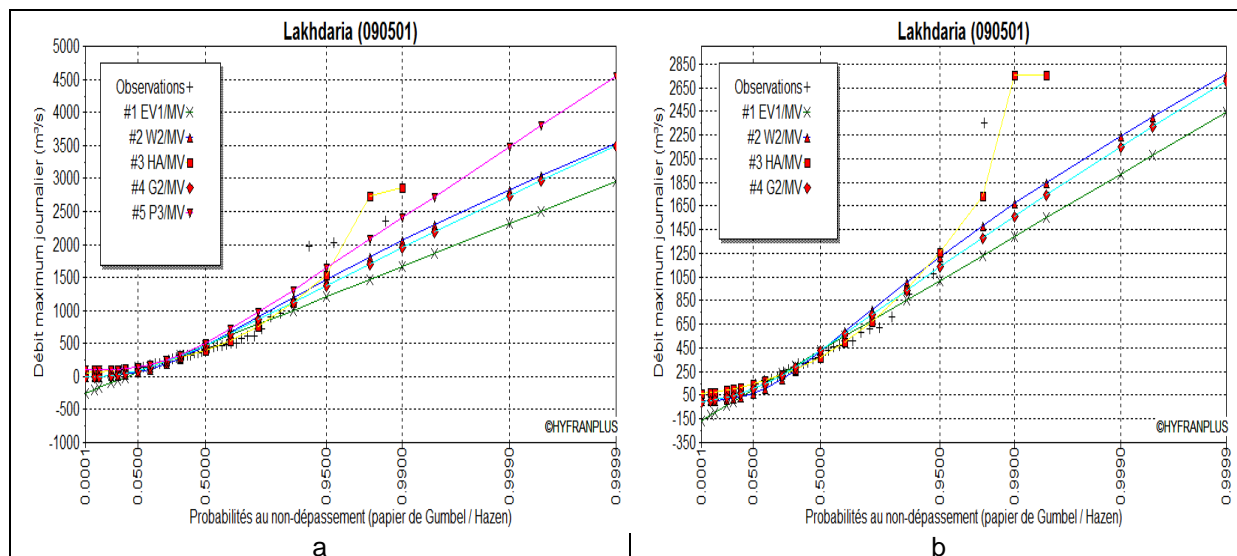


Figure 7.2 : Graphiques d'ajustement des lois théoriques aux données de la station de Lakhdaria : a) Période 66/00 et b) Période 72/97

7.3 Méthodes hydrométéorologiques

Les méthodes hydrométéorologiques sont basées sur l'étude fine du passage des précipitations aux débits. Ce passage est très complexe puisqu'il dépend d'une foule de paramètres : structure de la pluie, nature du bassin versant et degré d'humidification, état de la végétation, capacité d'évaporation, etc.

Donc on peut mieux cerner le problème des relations averses-crués :

- Un premier point est de définir la "pluie nette" (ce qui ruisselle) à partir de la pluie utile ou de la pluie totale. Une approche de ce passage est possible par les fonctions de production ;
- Connaissant la pluie nette, un second problème est de la répartir dans le temps pour avoir l'hydrogramme. Ce passage se fait par des fonctions de transfert.

7.3.1 Fonction de production

Le passage de la pluie totale à la pluie nette est certainement l'étape décisive. C'est pourtant là que réside le plus d'incertitudes et que les erreurs les plus grossières peuvent être commises.

Le problème se pose de la façon suivante: à un instant t et durant un intervalle de temps dt , la quantité de pluie tombée est $I(t) dt = dp(t)$; durant ce même intervalle, la quantité $J(t) dt$ s'est perdue. On appellera coefficient de ruissellement $kr(t)$, le rapport entre la pluie ruisselée et la pluie totale [7]:

$$kr(t) = \frac{I(t) - J(t)}{I(t)} = 1 - \frac{J(t)}{I(t)} \quad (7-1)$$

Manifestant, le coefficient de ruissellement variera dans le temps avec l'intensité de la pluie, avec la nature du sol et son état d'humidification initial.

Le calcul des lames d'eau ruisselées se fait en soustrayant aux précipitations totales les quantités d'eau qui sont stockées, infiltrées ou évaporées sur le bassin versant. L'interception, l'infiltration, le stockage et l'évaporation sont considérés comme étant des pertes. Pour calculer ces dernières, plusieurs modèles ont été mis en œuvre :

- Modèle de perte initiale et à taux constant ;
- Modèle à déficit et à taux de perte constant ;
- Modèle basé sur le Curve Number (CN) ;
- Modèle de Green et Ampt.

Pour tous ces modèles, les pertes sont calculées pour chaque intervalle de temps et soustraites à la moyenne surfacique de précipitations de cet intervalle. La quantité d'eau restante désigne l'excès de précipitation. Cette quantité est considérée uniforme sur tout le bassin versant et représente le volume d'écoulement de surface.

7.3.1.1 Le modèle de pertes initiales et à taux constant

Ce modèle considère que le potentiel du taux de pertes maximum, noté f_c , est constant, et inclut le taux de pertes initiales I_a qui représente l'interception et le stockage dans les dépressions de surfaces. L'interception est une conséquence de l'absorption de la pluie par le couvert végétal et le stockage de surface est la conséquence de la topographie du bassin versant : l'eau stockée dans les dépressions de surface sera soit évaporée soit

infiltrée. Tant que I_a n'est pas atteint, il n'y a pas de ruissellement. On peut résumer ce fonctionnement de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 & \text{Si } \sum_i P_i \leq I_a \text{ alors, } P_{et} = 0 \\
 & \text{Si } \sum_i P_i \leq I_a \text{ et } P_t \geq f_c \text{ alors, } P_{et} = P_t - f_c \\
 & \text{Si } \sum_i P_i \leq I_a \text{ et } P_t \leq f_c \text{ alors, } P_{et} = 0
 \end{aligned} \tag{7-2}$$

où,

P_t : La moyenne surfacique des précipitations au temps t ;

P_{et} : le ruissellement au temps t donné par :

$$P_{et} = \begin{cases} P_t - f_c & \text{si } P_t > f_c \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \tag{7-3}$$

La difficulté de cette méthode réside dans la détermination des pertes initiales et du taux de pertes constantes. La première dépend des conditions qui ont précédés l'évènement pluvieux à étudier (par exemple si le sol était déjà saturé en eau par des pluies précédentes, les pertes initiales seront quasiment nulles). Ces pertes dépendent aussi de l'aménagement et de la nature des sols. Le second dépend des propriétés physiques du sol du bassin et de la nature du sol.

Si le sol du bassin versant est saturé, I_a sera proche de zéro. Si le sol est drainé, alors I_a représentera la quantité d'eau qui tombe sur le bassin versant sans qu'il y ait de ruissellement ; cette quantité est fonction de la nature de terrain du bassin versant, occupation du sol, type et utilisation du sol. A titre indicatif, on estime que ces pertes sont égales à 10 ou 20% de la pluie totale pour une forêt, alors qu'en zone urbaine elles sont comprises entre 2 et 5 mm de hauteur d'eau.

Le taux de perte constant qui correspond au pouvoir d'absorption du sol est exprimé en mm/h. On peut toutefois se servir des valeurs données dans le tableau suivant.

Tableau 7.6 : Le taux de pertes constant pour les différents types du sol
[104]

Groupe	Type du sol	Ordre de grandeur du taux de pertes (mm/h)
A	Sable profond, loess profond, limons agrégés	7.5 à 11
B	Loess peu profond, terre sableuse	3.5 à 7.5
C	Terre argileuse, terre sableuse peu profonde, sols à faible teneur en matière organique, sols argileux	1.2 à 3.5
D	Sols gonflant fortement sous l'effet de l'eau, argiles plastiques lourdes, sols salins.	0 à 1.2

7.3.1.2 Modèle à déficit et à taux de perte constant

Une variante du modèle cité précédemment est le modèle quasi continu qui prend en compte des périodes sans pluie au cours de l'évènement et qui intègre donc une régénération (avec un taux à fixer) des pertes initiales. C'est le modèle "Déficitaire et à taux constant". Pour utiliser ce modèle on doit connaître ; le taux de pertes initiales, le taux de pertes constant et le taux de régénération. Ce dernier peut être estimé comme étant la somme du taux d'évaporation et du taux de percolation.

7.3.1.3 Le modèle du Curve Number (CN)

Ce modèle estime l'excès de précipitations comme une fonction; des précipitations cumulées, de la couverture et de l'humidité initiale du sol à partir de l'équation suivante :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S_{pr}} \quad (7-4)$$

Où :

P_e : L'excès de précipitation ;

P : total des précipitations accumulées au temps t ;

I_a : Les pertes initiales ;

S_{pr} : potentiel maximum de rétention.

On a par ailleurs la relation empirique ci-dessous, qui a été développée à partir d'une analyse menée sur un ensemble de petits bassins versants expérimentaux qui donne I_a en fonction de S_{pr} .

$$I_a = 0.2S_{pr} \quad (7-5)$$

On obtient donc :

$$P_e = \frac{(P - 0.2S_{pr})^2}{P + 0.8S_{pr} + S_{pr}} \quad (7-6)$$

Le potentiel de rétention maximum, S_{pr} , et les caractéristiques du bassin versant sont reliées par l'intermédiaire du nombre de courbe CN (Curve Number) par :

$$S_{pr} = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (7-7)$$

CN peut être estimé comme une fonction du type du sol, d'occupation du sol et des conditions hydriques précédentes du bassin versant.

7.3.1.4 Le modèle de Green & Ampt

Il est l'un des plus utilisés, c'est un modèle conceptuel d'infiltration et de précipitation. Sa fonction de production est basée sur la loi de Darcy généralisée aux milieux non saturés combinée avec le principe de conservation de la masse. Les pertes sur les zones perméables sont calculées par la formule suivante :

$$f_t = K_h \left[\frac{1 + (\varphi - \theta_i)S_f}{F_t} \right] \quad (7-8)$$

Où :

K_h : Conductivité hydraulique saturée ;

φ : La porosité ;

$(\varphi - \theta_i)$: Le volume du déficit hydrique ;

S_f : un paramètre tabulé qui exprime l'aspiration avant mouillage ;

F_t : représente les pertes cumulées aux temps t .

L'excès des précipitations est calculé, ensuite, en soustrayant à la moyenne surfacique des précipitations (P_{moy}) pour le même intervalle de temps les pertes calculées par l'équation précédente.

7.3.1.5 Le modèle continue SMA (Sol-Moisture Accounting)

Contrairement aux modèles précédents, SMA est un modèle qui permet d'étudier de longues périodes avec alternance de la pluie et du temps sec. Le modèle simule le mouvement de l'eau à travers les différents éléments d'un bassin versant. A partir des données de précipitations et d'évapotranspiration, le modèle calcule le ruissellement de surface, les infiltrations et les pertes dues à l'évapotranspiration et les percolations profondes.

Le modèle SMA représente le bassin versant avec une série de couches de stockage interconnectées entre elles. La figure VII.3 représente la façon dont les couches de stockages sont connectées. Chacune est représentée par le taux d'apport, de sortie et de sa capacité de stockage qui commande la quantité d'eau perdue ou supplémentaire.

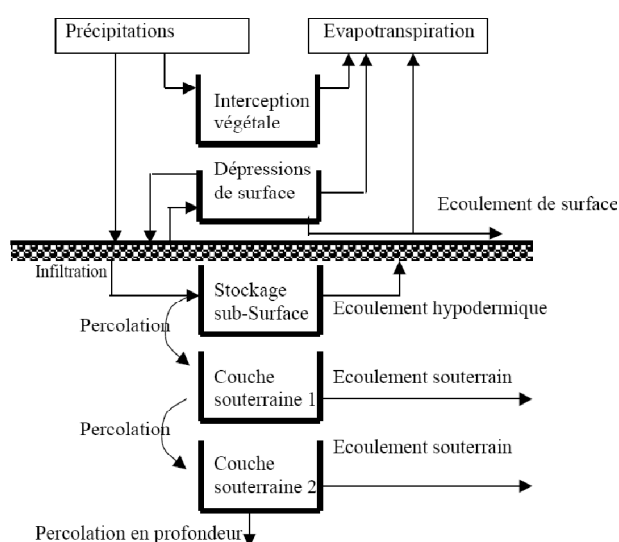


Figure 7.3 : Schéma conceptuel de l'algorithme du modèle SMA

Le modèle SMA calcule l'écoulement à l'entrée et à la sortie de chaque couche de stockage.

7.3.1.6 Application et limitation des modèles de calcul des pertes

Le choix du modèle de calcul des pertes et l'estimation des différents paramètres sont une étape critique dans le passage pluie-débit. Le tableau 7.7 liste les différents avantages et inconvénients de cette alternative. Cependant, ceux-ci sont seulement des directives et devraient être complétées par la connaissance et l'expérience de l'utilisateur.

Tableau 77 : Les avantages et les inconvénients du modèle de pertes

Modèles	Avantages	Inconvénients
Modèle de pertes initiales et à taux constant et le modèle déficitaire à taux constant	<p>Ces modèles ont été utilisés avec succès dans plusieurs essais aux Etats Unis.</p> <p>Faciles à installer et à utiliser.</p> <p>Les modèles incluent seulement quelques paramètres nécessaires qui expliquent la variation du volume de l'écoulement.</p> <p>Le modèle à déficit peut être utilisé pour des simulations à long terme.</p>	<p>Difficile de l'appliquer pour un bassin non jaugé en raison du manque de rapport physique direct entre les paramètres et les propriétés du bassin.</p> <p>Le modèle paraît très simplifié pour prévoir les pertes au cours de l'événement, même s'il prévoit bien les pertes totales.</p>
La méthode de Curve Number (CN)	<p>La méthode est simple, prévisible et stable.</p> <p>Compte seulement sur un paramètre, qui change en fonction du type de sol, de l'occupation et l'utilisation de la terre, les conditions en surface, et l'état antécédant d'humidité.</p> <p>Méthode bien établie, largement admise pour l'usage aux USA et à l'étranger.</p>	<p>La méthode ne tient pas compte de la théorie des écoulements non saturés.</p> <p>Le taux d'infiltration approchera zéro pour une précipitation à longue durée, plutôt que constante.</p> <p>Ce modèle a été développé avec des données de petits bassins versants agricoles aux Etats Unis, donc son applicabilité ailleurs est incertaine.</p> <p>L'abstraction initiale par défaut (0.2S) ne dépend pas des caractéristiques de la pluie, donc si elle est utilisée, elle sera la même pour des averses à des périodes de retour différentes.</p> <p>La méthode ne tient pas compte de l'intensité des précipitations</p>
La méthode de Green & Ampt	<p>Les différents paramètres peuvent être estimés à partir des informations sur le sol, pour des bassins versants non jaugés.</p>	<p>Ce modèle n'est pas trop utilisé par les professionnels.</p> <p>Il est moins efficace que les modèles empiriques.</p>

7.3.2 Fonction de transfert

Nous venons de voir quelles sont les techniques qui permettent de passer de la quantité de pluie $I(t) dt$ tombée durant un intervalle de temps dt à la quantité $d[R(t)]$ qui va se mettre à ruisseler. Il nous reste à savoir maintenant à quel moment arrivera ce ruissellement à l'exutoire. Ce passage sera étudié par le biais de la fonction de transfert. Les plus connues sont :

- L'hydrogramme unitaire ;
- L'hydrogramme synthétique ;
- La méthode de Sokolovski.

7.3.2.1 Facteurs influençant le choix de la méthode d'estimation

Plusieurs facteurs peuvent entrer en jeu quant au choix de la méthode d'estimation, entre autre :

- Facteurs climatiques : averse (intensité, variabilité), climat (répartition saisonnière...), orientation du bassin versant par rapport aux vents dominants ;
- Caractéristiques physiques du bassin versant : altitude, topographie, forme, géologie, pédologie, végétation conditionnent la vitesse de ruissellement ;
- Variabilité de l'écoulement ;
- Disponibilité des données: type de données, taille des séries, importance spatiale du réseau d'observations, fiabilité des données, variations saisonnières enregistrées ;
- Expérience résultant des ruptures des barrages provoqués par les crues ;
- Règlement et normes : dans ce cas, de nombreux pays imposent la probabilité de la crue de projet en fonction de diverses catégories de barrages ;
- Projet : taille, importance et les conséquences s'il y a une rupture ;
- Facteurs économiques : l'analyse économique des risques est devenue très importante dans l'évaluation des projets.

Si l'on veut faire une étude détaillée sur les crues, il est important de séparer le ruissellement de surface de l'écoulement hypodermique et de l'écoulement souterrain.

On limite la présentation ici aux deux premières méthodes seulement.

7.3.2.2 Méthode de l'hydrogramme unitaire

Développée par SHERMAN [105], cette méthode a pour but d'étudier le débit Q d'un bassin versant apporté par simple ruissellement. Son but est de déterminer pour un temps donné et une probabilité P %, le débit de ruissellement à l'exutoire d'un bassin versant.

Pour appliquer cette méthode, il faut procéder comme suit :

- Sélectionner les averses homogènes couvrant la totalité du bassin versant dans le temps ;
- Séparer le ruissellement, de l'écoulement de base en reportant sur papier Semi-logarithmique la décrue ;
- Retracer l'hydrogramme de ruissellement de la crue ;
- Chercher pour chaque tranche ; la lame ruisselée, le débit Q et le rapport Q/Pn , en présentant les résultats sous forme de tableau. Sur l'hydrogramme de crue, on affecte des numéros pour chaque tranche de lame ruisselée ;
- Déterminer le temps de l'averse. On peut utiliser la formule de Snyder :

$$t_a = \frac{t_r}{5.5} \quad (7-9)$$

Avec :

t_a : durée de l'averse ;

t_r : temps de réponse du bassin versant.

7.3.2.3 Méthode de l'hydrogramme synthétique ou méthode des isochrones

Cette méthode développée par LARRIEU [106] est basée sur la concentration des eaux du bassin versant et le tracé des isochrones.

Certaines hypothèses sont admises quant à son application :

- Répartition uniforme de l'averse génératrice de la crue sur le bassin versant ;
- Vitesse de transfert des eaux est constante de l'amont à l'aval ;
- Formule de GIANDOTTI reste valable pour le calcul du temps de concentration ;
- Pluie efficace est calculée à partir d'une réduction des pertes.

La construction de l'hydrogramme de crue probable passe par la détermination du débit maximum correspondant.

Cette méthode est retenue dans cette étude.

7.3.3 Données utilisées

La pluie maximale est définie comme étant la plus forte précipitation d'une durée déterminée qui est physiquement possible sur une surface donnée, dans un site géographique et à une certaine période de l'année.

Pour un bassin versant donné, il existe une pluie maximale qui produira la crue critique pour une durée critique à un exutoire.

Après traitement et comblement de lacunes des séries de pluies maximales journalières (cf. chapitre 2), nous avons retenu vingt stations pluviométriques pour le bassin versant de l'oued Isser, dont ; 17 stations se trouvant à l'intérieur du bassin et 03 stations lui sont limitrophes (cf. figure 2.2).

7.3.4 Analyse des pluies maximale journalières sur l'ensemble d'un bassin versant

L'analyse des pluies est basée sur les relevés pluviométriques effectués dans un certain nombre de stations sur les surfaces topographiques considéré. Elle est basée sur l'hypothèse que la pluie tombée a une station est représentative de celle tombée tout au tour de cette station sur une étendu plus ou moins large selon la densité du réseau que l'on appel zone d'influence du pluviomètre.

La détermination de la pluie maximale moyenne représentative de l'ensemble du bassin versant peut être calculée par diverses méthodes. Les plus utilisées sont celle de Thiessen et celle des isohyètes. Un exposé détaillé concernant ces méthodes est donné au chapitre 3. La méthode retenue ici est celle de Thiessen. La figure 7.4, donne le polygone de Thiessen pour le bassin de l'Isser au droit de la station de Lakhdaria

7.3.4.1 Constitution de la série synthétique

Après constitution des séries de pluies maximales représentative pour chaque station, on construit un échantillon par la méthode de Thiessen pour obtenir une série dite synthétique. La mise en œuvre de cette méthode est donnée au chapitre 3 (cf. figure 3.5).

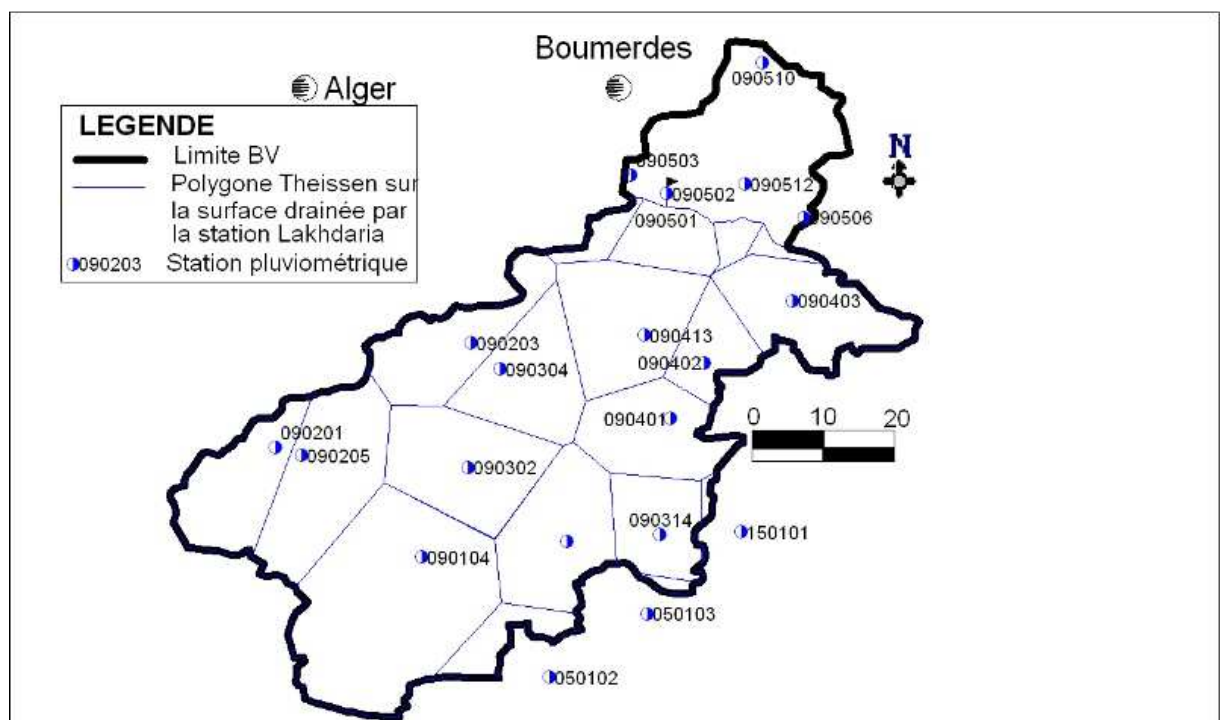


Figure 7.4 : Polygone de Thiessen pour le bassin de l'Isser au droit de la station de Lakhdaria

Le tableau qui suit donne les surfaces d'influence pour chaque station, mais dans ce cas on prend comme exutoire du bassin le site de la station hydrométrique de Lakhdaria et non pas l'embouchure de l'Oued Isser à la mer comme été le cas dans le chapitre 3 (étude des pluies).

Tableau 7.8 : Surfaces d'influence de chaque station calculées par la méthode de Theissen pour le bassin Isser au droit de la station Lakhdaria

Code	Surface d'influence (Km ²)	
	Au droit de l'embouchure du bassin à la mer	Au droit de la station de Lakhdaria
090205	224.6889	224.6889
090201	319.6865	319.6865
090203	234.8507	234.8507
090104	645.1223	645.1223
050102	91.4225	91.4225
090301	277.9485	277.9485
050103	12.4748	12.4748
150101	9.8313	9.8313
090314	166.8723	166.8723
090302	293.3421	293.3421
090304	235.6206	235.6206
090401	225.1917	225.1917
090402	123.2361	123.2361
090413	288.8982	288.8982
090403	269.3215	269.3215
090510	162.5316	/
090506	96.3060	20.0429
090512	198.6339	31.3853
090502	178.0257	112.7822
090503	99.0964	45.0130
Total	4153.1016	3627.7314

Le tableau suivant donne les résultats de calculs des pluies maximales moyennes du bassin versant Isser, calculées par la méthode de Theissen sur la période 1972/1997 (cf. formule 3-4).

Tableau 7.9 : Série synthétique représentative des pluies maximales journalières sur le bassin Isser

Année	$\overline{P_{max,j}}$	Année	$\overline{P_{max,j}}$
1972	56.0	1985	58.8
1973	60.7	1986	50.9
1974	51.7	1987	32.9
1975	39.3	1988	39.8
1976	40.6	1989	35.1
1977	39.1	1990	38.5
1978	48.6	1991	63.3
1979	49.6	1992	54.3
1980	53.1	1993	54.1
1981	35.7	1994	47.3
1982	46.3	1995	47.5
1983	31.3	1996	23.5
1984	46.6	1997	35.3

Le graphique suivant donne la distribution chronologique des pluies maximales journalières sur le bassin de l'Isser (série synthétique) pour la période 1772/1997.

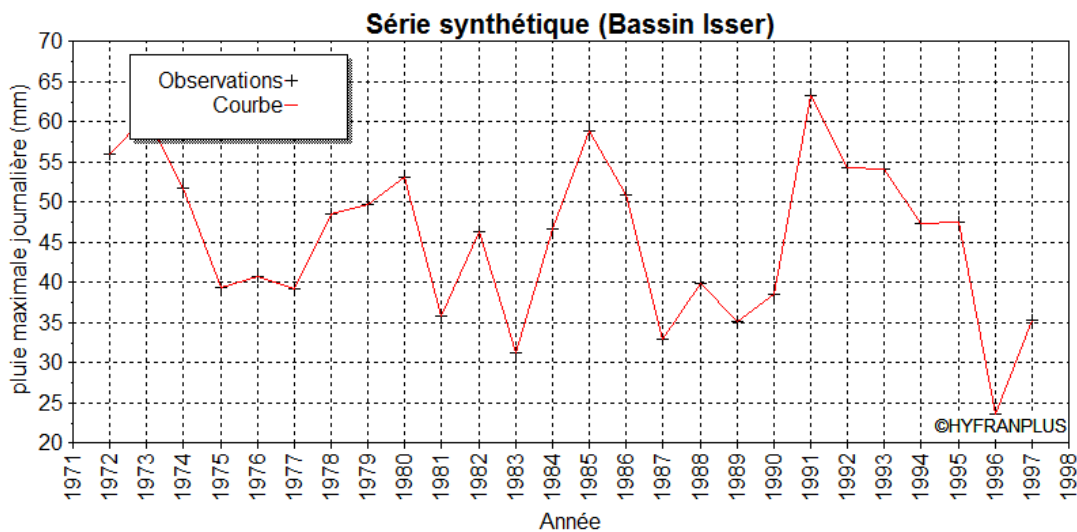


Figure 7.5 : Distribution chronologique des pluies maximales journalières sur le bassin de l'Isser (série synthétique) pour la période 1772/1997

7.3.4.2 Ajustement de l'échantillon constitué à des lois statistiques

En Algérie les lois les plus utilisées pour l'ajustement des pluies maximales journalières sont celles de Log normal et de GUMBEL [64]. Pour cela les ajustements de la série synthétique sont faits avec ces dernières.

Le tableau suivant donne les caractéristiques statistiques de l'échantillon utilisé (série synthétique) et probabilistiques des populations mère tirées des lois Gumbel et Log normale.

Tableau 7.10 : Caractéristiques de l'échantillon utilisé (série synthétique)

Caractéristiques	Echantillon	Gumbel	Lognormale
Nombre d'observations	26	/	/
Minimum	23.5	/	0.00
Maximum	63.3	/	/
Moyenne	45.4	46.0	45.5
Ecart-type	9.97	12.7	10.9
Médiane	46.9	44.0	44.2
Coefficient de variation (Cv)	0.22	0.28	0.24
Coefficient d'asymétrie (Cs)	-0.17	1.14	0.73
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.15	2.40	3.96

Tableau 7.11: Vérification des hypothèses I.I.D

Indépendance	Stationnarité	Homogénéité
α (%)	α (%)	α (%)
12.90	25.20	29.90

Après vérification des hypothèses d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité de la série synthétique on constate que toutes ces conditions sont réunies, donc la série synthétique est indépendante, stationnaire et homogène.

Tableau 7.12 : Résultats de l'application du test χ^2

Lois	Statistique χ^2 de Pearson	Erreur de première espèce α (%)
Gumbel	9.54	0.0490
Log normale	6.85	0.1442

On remarque que les deux lois sont adéquates au niveau de signification 5%.

Le tableau suivant donne les paramètres calculés par la méthode du maximum de vraisemblance pour les deux lois utilisées.

Tableau 7.13 : Paramètre des lois utilisées

Lois	Paramètres			
	u	α	Σ	μ
Gumbel	40.309274	9.937392		
Log normale			0.235410	3.789760

Tandis que le tableau suivant donne les quantiles de pluies maximales journalières du bassin Isser pour les fréquences les plus usuelles en hydrologie.

Tableau 7.14 : Estimation des quantiles de pluies maximales journalières en (mm) par les lois Gumbel et Log Normale

Période de retour	Fréquence au non dépassement	P _{maxj, p%} (mm)	
		Gumbel	Log normale
T	P (%)		
10000	99.99	132	106
2000	99.95	116	96.0
1000	99.90	109	91.6
200	99.50	92.9	81.1
100	99.00	86.0	76.5
50	98.00	79.1	71.8
20	95.00	69.8	65.2
10	90.00	62.7	59.8
5	80.00	55.2	53.9
3	66.67	49.3	49.0
2	50.00	44.0	44.2

La figure suivante montre l'ajustement graphique des pluies maximales journalières du bassin Isser (série synthétique) aux lois Gumbel (EV1) et Log normale (LN2).

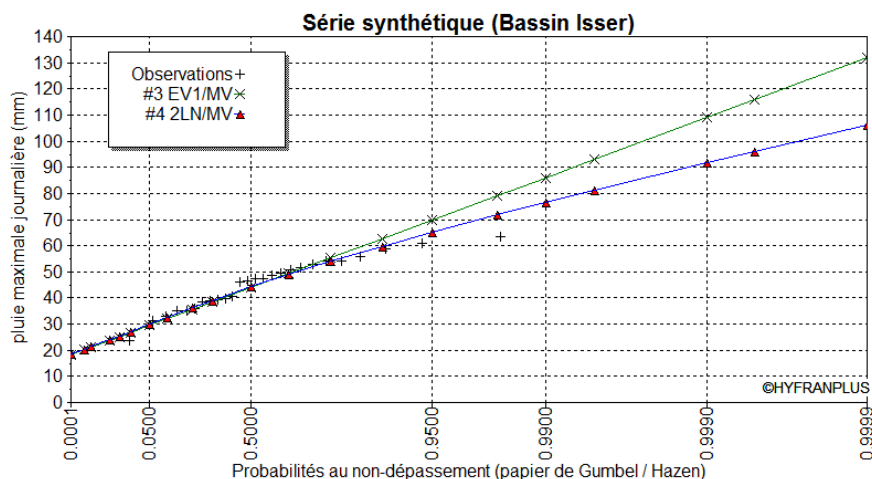


Figure 7.6 : Ajustement graphique des pluies maximales du bassin Isser aux lois Gumbel et Log normale

7.3.5 Détermination de l'hydrogramme probable par la méthode synthétique

7.3.5.1 Construction d'un réseau d'isochrones

L'isochrone est une ligne, un lieu géométrique de points tels que le temps de parcours d'une goutte d'eau depuis chacun de ces points jusqu'à l'embouchure est le même.

L'isochrone la plus éloignée représente le temps de concentration du bassin, c'est-à-dire que le temps mis pour que toute la surface du bassin contribue à l'écoulement dans l'exutoire après une averse supposée homogène. Le tracé du réseau consiste [107] :

- Diviser le réseau d'écoulement en segments de longueur constante à partir de l'embouchure jusqu'à la partie amont des plus petits talwegs tributaires ;
- Après numérotation, chacun des points est caractérisé par trois paramètres :
- La distance à l'embouchure ;
- L'élévation relative ;
- Le temps de parcours de l'eau; c'est ce paramètre qui apparaît sur la carte topographique du bassin versant.

Le temps de parcours de l'eau du point i , jusqu'à l'exutoire est :

$$t_i = \frac{d_i}{V_m} \quad (7-10)$$

Avec :

d_i : distance mesurée suivant le trajet de l'eau ;

V_m : vitesse moyenne de l'eau pouvant être estimée par la formule suggérée par l'institut d'hydrologie bavarois [107] :

$$V_m = 20 \sin^{\alpha}_{3/5} \quad (7-11)$$

Avec :

$$\sin \alpha_i \cong \text{tg} \alpha_i = \frac{\Delta H_i}{d_i} \quad (7-12)$$

Avec :

ΔH_i : dénivelée entre le point et l'exutoire ;

α_i : angle de terrain (voir pente moyenne du bassin versant).

Tableau 7.15 : Vitesse V calculée pour différentes valeurs de la pente [107]

Pente %	0.1	0.5	1	5	10	15	20	30
V m/s	0.311	0.838	1.265	3.292	4.999	6.401	7.62	9.601

- Tracer de façon aléatoire un certain nombre de points éparpillés sur le bassin à partir de chacun, on dessine le parcours probable de l'eau (c'est-à-dire une ligne de pente maximale) jusqu'à la rencontre du cours d'eau ou de l'un des talwegs.

Une fois que tous les points sont identifiés par le temps de parcours, le tracé du réseau d'isochrone est déterminé par interpolation (figure 7.7).

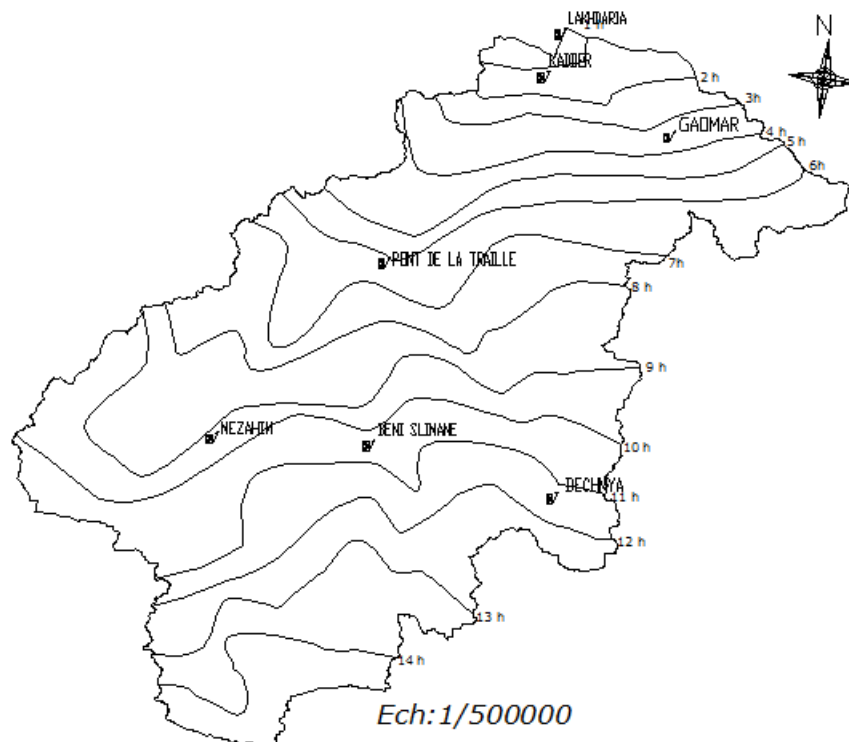


Figure 7.7 : Tracé des isochrones du bassin versant de l'Isse

7.3.5.2 Méthode de calcul du débit maximum

Pour l'application de la méthode, il faut tracer les isochrones sur le bassin versant.

Le débit est donné par la formule suivante :

$$Q_{max} = \frac{S_{max} I_{eff}}{3.6} \quad (7-13)$$

Avec:

S_{max} : surface maximum débitante (km²) ;

I_{eff} : intensité efficace (mm/h), donnée par :

$$I_{eff} = \frac{P_{eff}}{t_{eff}} \quad (7-14)$$

Où :

P_{eff} : Pluie efficace en mm ;

t_{eff} : Temps efficace en heure.

Les isochrones sont tracées sur le bassin versant après avoir calculé la vitesse de transfert des eaux V_t , défini comme étant le rapport entre la longueur du cours d'eau principal et le temps de concentration des eaux. Elle est exprimée en général en Km/h.

Les surfaces débitantes S_i sont déterminées par planimétrie. Ces surfaces sont déterminées pour chaque pas de temps, comme le montre le tableau suivant [107] :

Tableau 7.16 : Méthode de détermination des surfaces débitantes

S (km ²) teff (h)	A1	A2	A3	A4	A5	Amax débitante
1	A1	A2	A3	A4	A5	A1
2		A1+A2	A2+A3			A1+A2
3			A1+A2+A3	A2+A3+A4		A1+A2+A3
4				A1+A2+...+A4	A2+A3+...+A5	A1+A2+...+A4
5					A1+A2+...+A5	A1+A2+...+A5

Pour connaître le débit maximum il faut connaître l'intensité efficace (voir relation 7-14), cette dernière nécessite la connaissance de la pluie efficace donnée par :

$$P_{eff} = P_{net} - D \quad (7-15)$$

avec :

$$P_{net} = P_{maxj,p\%} \quad (7-16)$$

$$P_{max\ t, p\%} = P_{max\ j, p\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad (7-17)$$

La pluie maximale journalière probable $P_{maxj, p\%}$ est déterminée par ajustement des pluies maximales journalières à une loi statistique (cf. tableau 7.14).

L'exposant climatique "b" peut être calculé en reportant sur papier log-log l'intensité moyenne maximale de l'averse moyenne du bassin versant en fonction du temps. Il représente la pente de la droite correspondante. Pour l'Algérie, souvent, il est lu sur la carte de BODY (ANRH).

Le déficit d'écoulement D est déterminé par l'un des modèles de calcul des pertes cités plus haut (cf. paragraphe 2.1) s'il n'est pas connu dans la région d'étude. Dans notre cas nous avons utilisé le modèle de pertes initiales et à taux constant pour deux cas de figure ; la première basée sur les travaux de Coutagne en Algérie où les pertes initiales sont estimées à 13 mm et le taux constant à 0.5 mm/h et, la deuxième basée sur des valeurs calées du modèle des pertes pour simuler le mieux le mode de fonctionnement du bassin Isser.

7.3.5.3 Passage des pluies maximales aux débits maximaux

Après ajustement des pluies par les lois log normale et Gumble qui s'adaptent mieux au contexte Algérien, on définit l'hydrogramme de crue pour les quantiles de pluies maximales journalières les plus usuelles, qui sont mentionnés dans le tableau 7.17.

Tableau 7.17 : Pluies maximales journalières en (mm) pour les périodes de retour les plus usuelles

Période de retour	Fréquence au non dépassement	P _{maxj, p%} (mm)	
		Gumbel	Log normal
T	P (%)		
10000	99.99	132.0	106.0
1000	99.90	109.0	91.6
100	99.00	86.0	76.5
10	90.00	62.7	59.8

Vu la taille et le nombre importants des tableaux de calculs, on ne présente ici que les résultats finals trouvés des débits maximaux instantanés de périodes de retour les plus usuelles, pour les deux lois utilisées (Log normal et Gumbel) et pour les deux cas traités pour le modèle des pertes : paramètres recommandés par COUTAGNE et paramètres calés à partir des recommandations de OUAZAR [104] (cf. tableau 7.6). Le reste des résultats est présenté sur l'appendice G.

Tableau 7.18 : Quantiles de débits max instantanés calculés par la méthode de l'hydrogramme synthétique

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Q _{maxj, p%} (m ³ /s)			
		Paramètres de Coutagne (modèle des pertes)		Paramètres calés (modèle des pertes)	
T	P (%)	Gumbel	Log normal	Gumbel	Log normal
10000	99.99	6038.98	4584.83	3935.72	2755.81
1000	99.90	4752.62	3779.46	2891.95	2119.83
100	99.00	3466.26	2934.94	1874.02	1473.48
10	90.00	2163.12	2000.93	933.7	814.87

On remarque que les valeurs de débits max instantanés estimés en utilisant les paramètres de COUTAGNE sont très élevées, tandis que celles estimés en utilisant les paramètres de OUAZAR sont moins élevées. On remarque aussi que l'étendue des valeurs estimées par la loi Gumbel est plus grande que celle des valeurs estimées par la loi Log normale, qui est de l'ordre de 3875.86 m³/s et 2583.90 m³/s pour le modèle de Coutagne et 3000.02 m³/s et 1940.94 m³/s pour celui de Ouazar pour les deux lois respectivement.

7.3.6 Conclusion

Les méthodes hydrométéorologiques étudient le mécanisme de crue par l'exploitation des connaissances pluviométriques sur le bassin à fin d'obtenir la valeur du débit maximal. Ces méthodes restent prometteuses et opérationnelles malgré leur complexité et leur limitation pour des bassins versants homogènes ainsi qu'elles sont bien adaptées aux estimations d'événements extrêmes.

7.4 Les méthodes sommaires

En absence de données, on a recours aux formules empiriques pour le calcul du débit maximum probable. Plusieurs formules statistiques ou rationnelles sont couramment utilisées en ingénierie pour le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques. Comme elles sont étroitement tributaires des données ayant permis leurs calages, lorsqu'on les confronte, les résultats sont souvent très variables. Des problèmes se posent également concernant la robustesse de ces méthodes. On distingue quatre types :

- Méthodes d'estimation par analogies entre bassins versants voisins ;
- Méthodes statistiques sommaires :
 - Méthodes Crupedix ;
 - Méthode Socose ;
- Méthodes pseudo-déterministes :
 - Méthode SCS simplifiée ;
 - La méthode rationnelle ;
- Méthodes déterministes :
 - Formule de Mallet-Gauthier ;
 - Formule de Turraza ;
 - Formule Giandotti ;
 - Formule Fuller.

Dans cette partie du travail, on va essayer de calculer les débits max de crues du bassin versant de l'Oued Isser au droit de la station de Lakhdaria par les méthodes déterministes, puisque ; ce sont les plus utilisées en Algérie, ainsi que les méthodes statistiques sommaires et les méthodes pseudo-déterministes dépendent d'un foule de paramètres qui ne sont pas disponibles sur notre bassin.

D'une manière générale, ces formules empiriques sont de trois types :

- Formules tenant compte l'effet de la surface (Turraza et Giandotti) ;
- Formules tenant compte l'effet de la période de retour (Fuller pour le calcul du débit moyen max journalier probable) ;

- Formules tenant compte l'effet des deux paramètres à la fois (Maillet-Gauthier et Fuller pour le débit max instantané probable).

7.4.1 Évolution du débit avec la surface

Les paramètres essentiels qui influent sur le débit de crue de fréquence donnée pour un bassin versant sont :

- la surface ;
- la pluviométrie ;
- la nature géologique du bassin.

Dans une région restreinte où on peut supposer que "géologie" et surtout "pluviométrie" varient peu, il est possible d'étudier l'évolution du débit de crue de fréquence F en fonction de la surface du bassin. La quasi-totalité des études montrent qu'en première approximation, le débit Q_F de fréquence F varie comme une fonction puissance de la surface S :

$$Q_F = a_r S^b \quad (7-18)$$

Le terme b est inférieur à 1, ce qui traduit l'amortissement du débit de pointe de crue en fonction de la surface. Le coefficient " a_r " est lui une variable régionale intégrant essentiellement "pluviométrie" et "géologie".

7.4.2 Évolution du débit avec la fréquence

De nombreux auteurs ont proposé de relier la variation du débit à celle de la période de retour T par des relations du type :

$$Q(T) = Q(1) (1 + \beta \log T) \quad (7-19)$$

Avec :

$Q(T)$: étant le débit de période de retour T années ;

$Q(1)$: étant la crue dite annuelle ;

β : est un coefficient régional variant généralement de 0.7 à 0.8 mais pouvant atteindre parfois des valeurs supérieures à 2.

Le caractère local de cette valeur β ne permet pas de donner ici les valeurs à prendre dans chaque cas particulier. On peut seulement constater que le débit devenant une fonction linéaire de la période de retour, cela sous-entend que les lois de distribution des débits de crue ont un comportement asymptotiquement exponentiel.

7.5 Formule de Mallet-Gauthier

Dans leur étude sur les problèmes de l'eau en Algérie, ils ont établi une formule exprimant le débit maximum de crue en fonction des précipitations, de la surface du bassin versant et d'un coefficient K caractéristiques géographiques et climatiques du bassin versant.

$$Q_{max,p\%} = 2K_e \log(1 + 20\bar{H}) \frac{S}{\sqrt{L_t}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \quad (7-20)$$

Avec :

K_e : constante comprise entre 1 et 3 ;

\bar{H} : Précipitation moyenne interannuelle en m ;

S : surface du bassin versant en km² ;

L_t : longueur du talweg principal en km ;

T : période de retour (ans).

Les résultats trouvés en appliquant cette formule sont mentionnés sur le tableau 7.19.

Tableau 7.19 : Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Mallet-Gauthier

\bar{H} (m)	S (km ²)	L (km)	T (ans)	Q _{max, p%} (m ³ /s)	
				K=1	K=3
0.45	3627.73	98.2	10	106.42	319.26
0.45	3627.73	98.2	100	401.96	1205.88
0.45	3627.73	98.2	1000	697.50	2092.49
0.45	3627.73	98.2	10000	993.03	2979.10

On remarque que cette formule donne des valeurs extrêmes de crues acceptables pour K = 3, surtout pour les grands périodes de retour.

7.5.1 Formule de Turraza

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale des précipitations déterminée sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{max, p\%} = \frac{C_{rc} \bar{i}_{tc} S}{3.6} \quad (7-21)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant en km² ;

\bar{i}_{tc} : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h ;

C_{rc} : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité au dépassement P % :

- P=10%, C_{rc} =0.6 ;
- P=1%, C_{rc} =0.7 ;
- P=0.1%, C_{rc} =0.8 ;
- P=0.01%, C_{rc} =0.9.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant 7.20.

Tableau 7.20 : Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Turraza

S (km ²)	\bar{i}_{tc}	Probabilité au dépassement P (%)	T (ans)	C _{rc}	Q _{max. p%} (m ³ /s)
3627.73	28.2	10	10	0.6	17050.33
3627.73	28.2	1	100	0.7	19892.05
3627.73	28.2	0.1	1000	0.8	22733.77
3627.73	28.2	0.01	10000	0.9	25575.50

Les quantiles calculés par cette formule sont loin d'être acceptés et sont largement surestimés, par conséquent elles ne sont pas représentatifs de la région d'étude. Nous avons essayé d'améliorer les résultats trouvés par cette méthode et ayant pour cela remplacer l'intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration par celle probable pour différentes période de retour dans une première tentative et, par l'intensité efficace maximale probable dans une deuxième tentative. Les résultats trouvés sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau 7.21: Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Turraza modifiée

T (ans)	T _c (h)	S (km ²)	P _{tc. P%} (mm)	Perte (mm)	P _{eff.tc. P%} (mm)	I _{tc. P%} (mm/h)	I _{eff. tc. P%} (mm/h)	C _{rc}	Q _{Itc. P%} (m ³ /s)	Q _{Ieff.tc. P%} (m ³ /s)	Q _{Imoy. max} (m ³ /s)
10	7.1	3627.73	38.8	23.2	15.6	5.5	2.2	0.6	3306.90	1330.81	17050.33
100			53.2	26.7	26.5	7.5	3.7	0.7	5284.17	2631.49	19892.05
1000			67.4	30.2	37.3	9.5	5.2	0.8	7654.14	4230.79	22733.77
10000			81.6	33.6	48.0	11.5	6.8	0.9	10427.9	6135.93	25575.50

On remarque que les résultats trouvés en utilisant les intensités maximales efficaces probables pendant une durée égale au temps de concentration sont meilleurs que ceux trouvés avec les intensités maximales brutes probables pour la même durée.

7.5.2 Formule de Giandotti

$$Q_{max, p\%} = \frac{CS h_{tc, p\%} \sqrt{h_{moy} - h_{min}}}{4\sqrt{S} + 1.5L_t} \quad (7-22)$$

Avec :

S : Surface du bassin versant en km² ;

L_t : Longueur du talweg principal en km ;

h_{moy} : Altitude moyenne en m ;

h_{min} : Altitude minimale en m ;

$h_{tc,p\%}$: Lamme d'eau précipitée pour une probabilité donnée et d'une durée égale au temps de concentration des eaux ;

C : Coefficient topographique variant entre 66 et 166.

Les quantiles calculés par cette formule sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau 7.22 : Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Giandotti pour C=66

T (ans)	C	P _{tc, P%} (mm)	S (km ²)	L (km)	h_{moy} (m)	h_{min} (m)	Q _{max, P%} (m ³ /s)
10	66	38.8	3627.73	98.2	750	90	7903298.72
100		53.2					10824712.37
1000		67.4					13719693.58
10000		81.6					16614674.80

Avec un coefficient topographique le minimum possible (C=66), les résultats sont inacceptables et sont loin d'être réalistes. Pour améliorer les résultats trouvés nous avons cherché d'autres valeurs du coefficient C donnant des quantiles acceptables, les meilleurs correspondent à un C = 0.01. Le tableau suivant donne les résultats de calculs.

Tableau 7.23 : Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Giandotti pour C=0.01

T (ans)	C	P _{tc, P%} (mm)	S (km ²)	L (km)	h_{moy} (m)	h_{min} (m)	Q _{max, P%} (m ³ /s)
10	0.01	38.8	3627.73	98.2	750	90	1197.47
100		53.2					1640.11
1000		67.4					2078.74
10000		81.6					2517.37

Avec cette valeur du coefficient C les résultats sont nettement améliorés, ce qui nous laisse penser que cette dernière (C=0.01) est la plus adéquate à l'estimation des quantiles rares de crues du bassin Isser au droit de la station de Lakhdaria en utilisant la formules de GIANDOTTI.

7.5.3 Formule de Fuller

Fuller est l'un des premiers à introduire la notion fondamentale de la variation du débit maximum probable en fonction de la période de retour T .

$$Q(T) = Q_1(1 + 0.8 \log T) \quad (7-23)$$

Avec :

$Q(T)$: maximum de débit journalier qu'on a des chances de retrouver une fois au cours d'une période de retour de T années (débit journalier de fréquence $1/T$) ;

Q_1 : moyenne des débits maxima journaliers (moyenne des crues annuelles).

La formule de Fuller permet d'établir les débits de crues les plus probables pour des fréquences au dépassement respectives 10%, 1%, 0.1% et 0.01%, soit :

- $Q_{10\%} = 1.8 Q_1$ pour la crue décennale ($T=10$ ans) ;
- $Q_{1\%} = 2.6 Q_1$ pour la crue centennale ($T=100$ ans) ;
- $Q_{0.1\%} = 3.4 Q_1$ pour la crue millénaire ($T=1000$ ans) ;
- $Q_{0.01\%} = 4.2 Q_1$ pour la crue dicamillénaire ($T=10000$ ans).

Pour passer de ces débits moyens maxima journaliers aux débits instantanés de pointe, Fuller propose la formule suivante :

$$Q_{max,p\%} = Q_{p\%} \left[1 + \frac{2.66}{S^{0.33}} \right] \quad (7-24)$$

Avec :

S : surface du bassin versant en km^2 ;

$Q_{p\%}$: débit moyen maximum journalier de probabilité $P\%$.

Les résultats de calculs pour les deux périodes ; 1966/2000 et 1972/1997 sont reportés sur le tableau suivant 7.24.

Tableau 7.24 : Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Fuller

T (ans)	Coeff. de multiplication	S (km ²)	Période 1966/2000			Période 1972/1997		
			Q ₁ (m ³ /s)	Q _{max. j. moy. P%} (m ³ /s)	Q _{max. inst. P%} (m ³ /s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q _{max. j. moy. P%} (m ³ /s)	Q _{max. inst. P%} (m ³ /s)
10	1.8	3627.73	279.76	503.57	593.16	312.93	563.27	663.49
100	2.6	3627.73	279.76	727.38	856.78	312.93	813.62	958.37
1000	3.4	3627.73	279.76	951.18	1120.41	312.93	1063.96	1253.25
10000	4.2	3627.73	279.76	1174.99	1384.04	312.93	1314.31	1548.14

Les résultats trouvés avec cette formule sont sous-estimés pour les deux périodes étudiées. Pour avoir des résultats meilleurs nous avons modifié les coefficients de multiplication « coefficients de pointes » et ayant les résultats suivants :

Tableau 7.25 : Quantiles de débits max instantanés calculés par la formule de Fuller avec des coefficients de multiplication modifiés

T (ans)	Coeff. de multiplication	S (km ²)	Période 1966/2000			Période 1972/1997		
			Q ₁ (m ³ /s)	Q _{max. j. moy. P%} (m ³ /s)	Q _{max. inst. P%} (m ³ /s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q _{max. j. moy. P%} (m ³ /s)	Q _{max. inst. P%} (m ³ /s)
10	2.8	3627.73	279.76	783.33	922.69	312.93	876.20	1032.09
100	4.6	3627.73	279.76	1286.90	1515.85	312.93	1439.48	1695.58
1000	6.4	3627.73	279.76	1790.46	2109.01	312.93	2002.75	2359.06
10000	8.2	3627.73	279.76	2294.03	2702.16	312.93	2566.03	3022.55

7.5.4 Conclusion

Les méthodes sommaires sont multiples mais souvent d'une portée assez régionale elles méritent donc d'exister, parce qu'en absence totale d'informations hydrologiques, elles permettent une estimation globale des débits. C'est leur principal avantage mais malheureusement, la variabilité des résultats est souvent très forte d'une formule à l'autre.

7.6 Comparaison entre les différentes méthodes d'estimation des débits de crues

Le tableau 7.26 récapitule les résultats de calculs des débits extrêmes de crues probables par les différentes méthodes utilisées dans ce chapitre.

Tableau 7.26 : Résultats de calculs des débits de crues par les différentes méthodes

T (ans)	P (%)	Débit maximum instantané probable, P% (m ³ /s)																		
		Méthodes statistiques								Méthodes hydrométéorologiques				Méthodes sommaires						
		Série 1966/2000				Série 1972/1997				Paramètres de Coutagne		Paramètres selon recommandations de Ouazar		Maillet et Gouthier	Turraza	Turraza proposé	Giandotti	Giandotti proposé	Fuller	Fuller proposé
		EV1	W2	HA	G2	EV1	W2	HA	G2	Gumbel	Log normal	Gumbel	Log normal							
10	90.00	1002.80	1193.50	1116.00	1125.50	855.54	1009.70	943.60	938.73	2163.12	2000.93	933.7	814.87	319.26	17050.33	1330.81	7903298.72	1197.47	663.49	1032.09
100	99.00	1663.50	2055.30	2857.40	1950.30	1391.90	1671.20	2759.80	1562.70	3466.26	2934.94	1874.02	1473.48	1205.88	19892.05	2631.49	10824712.37	1640.11	958.37	1695.58
1000	99.90	2312.10	2824.60	/	2733.40	1918.60	2244.10	/	2145.90	4752.62	3779.46	2891.95	2119.83	2092.49	22733.77	4230.79	13719693.58	2078.74	1253.25	2359.06
10000	99.99	2959.60	3539.40	/	3496.90	2444.30	2766.20	/	2710.00	6038.98	4584.83	3935.72	2755.81	2979.10	25575.50	6135.93	16614674.80	2517.37	1548.14	3022.55

Les résultats de calculs des débits extrêmes de crues par les différentes méthodes ; statistiques, hydrométéorologiques et sommaires (tableau 7.26), montrent une grande dispersion entre les valeurs trouvées.

En premier lieu, pour les méthodes statistiques nous avons constaté une grande divergence entre les valeurs trouvées ; pour chaque loi théorique utilisées dans cette étude à savoir : Gumbel, Weibull, Halphen A et Gamma d'une part et, pour la même loi mais pour différentes taille de l'échantillon (ici 66/00 et 72/97) d'autre part.

En second lieu, pour les méthodes hydrométéorologiques on a constaté aussi une grande variabilité des résultats pouvant atteindre le double. Cela est du principalement au mauvais choix du modèle des pertes qui reste l'un des plus grands obstacles au développement des relations pluie-débit à l'heure actuelle. Ici on a essayé de chercher un modèle des pertes qui donne des résultats rapprochés à ceux trouvés par les méthodes statistiques pour la même période homogène entre les pluies et les débits (1972/1997) en se basant pour cela sur les directives de OUAZAR [104].

Concernant les méthodes sommaires, nous avons constaté que la seule formule qui donne des valeurs comparables avec les deux familles précédentes est celle de Maillet et Gauthier, cela peut être due au contexte où cette formule est établit qui est le Nord de l'Algérie. Le reste des formules donnent des valeurs surestimées ou sous-estimées, cela est dû au mauvais choix des paramètres de ces formules qui ne sont pas valables au contexte Algérien. D'une manière générale, ces formules peuvent être une vraie alternative pour le calcul des débits extrêmes probables en cas d'absence de données hydrométriques et pluviométriques pour une évaluation grossière de ces derniers. Seulement il ne faut pas utiliser ces formules aveuglement tell qu'il est le cas en Algérie, mais veiller pour cela, à ce que les paramètres de la formule à utiliser sont calés par rapport à la région où elle doit être utilisés.

Ces écarts importants observés entre les valeurs de débits maximum de crues probables calculés par les différentes méthodes citées plus haut, peuvent être expliqué par :

- Les méthodes sommaires sont basées sur l'expérimentation et sur certaines informations propres à certaines régions et leur généralisation à d'autres régions engendre beaucoup d'erreurs, donc quelque soit la formule les incertitudes de ces méthodes sont fortes et nombreuses ;
- Les méthodes hydrométéorologiques supposent avant leur emploi que la pluie ruisselée est homogène sur l'ensemble du bassin mais la réalité du terrain indique le contraire, parce que la nature géologique, les caractéristiques physiques et la pédologie du bassin sont différents d'un endroit à l'autre ;
- Les méthodes hydrométéorologiques supposent aussi que la vitesse de transfert des eaux de l'amont à l'aval du bassin est constante et cela s'avère impossible à cause de l'hétérogénéité de la répartition du couvert végétal et des pentes, par exemple, donc le tracé des isochrones qui est basé sur cette vitesse sera mal déterminé ;
- Le passage de la pluie totale à la pluie efficace est une étape délicate parce que là réside le plus d'incertitude et que les erreurs les plus grossières peuvent être commises ;
- Le choix d'une pluie maximale annuelle représentative pour chaque station peut être erroné parce que on néglige beaucoup d'événements importants comme : la date où la pluie est tombée (quelle saison de l'année) qui influe sur la vitesse d'infiltration, et le coefficient de ruissellement.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE LA RECHERCHE

Les objectifs de ce travail de thèse consistaient à analyser la disponibilité et l'état de mobilisation de la ressource superficielle en eaux du Nord de l'Algérie, ainsi que l'étude de crues (normalisation d'un modèle statistique et étude comparative de différentes méthodes d'estimation de valeurs extrêmes de crues), vu ; l'importance que requiert ces bassins vis à vis des ouvrages hydrauliques qui alimentent les différentes wilayas du nord Algérien en eau potable, industrielle et eau pour l'irrigation, l'importance des crues observées dans ces bassins et leurs emplacements très favorable à l'étude de la variabilité spatiale des ressources en eau dans le Nord algérien.

Arrivés au terme de notre étude, nous pensons que notre travail ne serait pas complet si nous ne faisons pas le bilan des réponses que nous avons apportées, de ceux nouveaux qui ont surgi et qui devront retenir l'attention de ceux qui nous succèdent.

Dans ce travail nous avons procédé à l'analyse détaillée des éléments suivants.

1. Région d'étude et données utilisées

1.1. Région d'étude

La région d'étude comporte cinq grands bassins versants représentant le Nord de l'Algérie, à savoir :

- La Seybouse qui représente le Nord Est de l'Algérie ;
- Le Cheliff, le Côtiers Algérois Ouest et l'Isser qui représentent la partie centrale du Nord de l'Algérie ;
- Et enfin, la Tafna pour le Nord Ouest de l'Algérie.

1.2. Données utilisées

Les données pluviométriques utilisées dans ce travail sont :

- Les séries de pluies mensuelles des trois bassins concernés par l'étude des ressources en eau, à savoir : Isser, Seybouse et Tafna, ainsi que celles des stations limitrophes à ces derniers. Au totale quatre vingt neuf (89) stations ont été collectées et traitées;
- Les séries de pluies maximales journalières du bassin de l'Isser, au totale trente six (36) stations ont été collectées et traitées.

Les données hydrométriques utilisées dans ce travail sont :

- Les séries de débits maximaux annuels des cinq grands bassins concernés par l'étude des crues, à savoir : Le Cheliff, le Côtiers Algérois Ouest, Isser, Seybouse et Tafna. Au total quatre vingt dix huit (98) stations ont été collectées et traitées;
- Les séries de mesure des débits moyens journaliers des stations : Lakhdaria, Merbek et Pierre du chat, ces dernières représentent respectivement les stations de contrôle des grands bassins versant : Isser, Seybouse et Tafna.

2. Analyse des eaux superficielles et aménagements

Dans cette partie du travail l'analyse est portée sur trois grands bassins versants du Nord algérien, à savoir : Isser, Seybouse et Tafna.

2.1. Analyse de pluies

L'étude de la variabilité spatiotemporelle des pluies a été réalisée sur une période de 24 ans dans l'ensemble du nord de l'Algérie. L'étude de ces dernières dans le contexte inter régionales montre une forte hétérogénéité concernant leur répartition spatiale. Dans cette étude nous avons pu montrer que la répartition des pluies du nord de l'Algérie subit trois influences : celle de l'altitude, les conditions topographiques, la longitude et enfin celle de l'éloignement de la mer. Ainsi nous nous pouvons dire que cette répartition obéit aux trois lois suivantes :

- La hauteur de la pluie augmente avec l'altitude, les stations situées sur les monts de Tlemcen dans le bassin de la Tafna est un bon exemple ;
- Elle augmente de l'ouest à l'est ;
- Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

L'étude temporelle à différentes échelles du temps (mensuelle, saisonnière et annuelle) a permis de mettre en évidence les différentes périodes sèches et humides. Les variations temporelles des précipitations annuelles restent, toutefois moins marquées qu'à l'échelle mensuelle. Les valeurs du coefficient de variation relatives à la période (1975-1998) pour les différentes stations oscillent entre 0.22 et 0.38 pour les stations du bassin de Seybouse, 0.19 et 0.38 pour les stations de Isser et entre 0.22 et 0.38 pour le Tafna, ce qui implique une variabilité assez faible dans l'ensemble, par rapport à la variabilité des précipitations mensuelles qui s'exprime parfois par un coefficient de variation 10 fois plus élevé.

Il est à remarquer que la variabilité interannuelle est légèrement plus forte dans les stations à faible pluviométrie, autrement dit, l'irrégularité pluviométrique s'accroît là où la hauteur de pluie est la plus faible.

La forte variabilité intermensuelle des précipitations, apparaît à travers les valeurs élevées des coefficients de variation mensuelle, les plus fortes valeurs concernent les mois d'été où il est compris entre 1 et 3, cette variabilité marquée en été s'explique par une indigence pluviométrique des mois secs d'été.

L'étude fréquentielle montre que les séries de pluies du Nord de l'Algérie s'ajustent bien avec les lois ; Normale et Lognormale.

2.2. Analyse de débits

L'étude de la variabilité spatiotemporelle des débits a été réalisée sur une période de 16 ans et cela due à l'insuffisance de l'équipement hydrométrique, de leur état et le manque de données précises, qui ont été largement ressentis dans la compréhension de certains phénomènes hydrologiques, particulièrement liés aux formes de l'écoulement. En dépit de données de débits parfois fragmentaires, nous avons pu néanmoins, dégager les grands traits du régime d'écoulement de nos bassins.

L'interprétation statistique et graphique des données nous a permis de saisir les variations spatiales de l'écoulement superficiel en liaison avec les données climatiques et physiographiques des bassins. L'étude montre que les

ressources d'eau en Algérie sont très variables d'une manière décroissante de l'est vers l'ouest.

Le calcul des bilans inter annuels ont fait ressortir la faiblesse du coefficient d'écoulement, qui est très faible au niveau du bassin de la Tafna (6.5 %), un peu plus grand au bassin de la Seybouse (10.96 %) et il est le plus grand pour celui d'Isser de l'ordre de 13.7 %. L'importance du coefficient d'écoulement au niveau du ce dernier serait due à sa taille plus réduite et à la perméabilité faible du système souterrain du bassin permettant un déstockage plus rapide qui soutient l'écoulement superficiel.

L'étude temporelle des débits a montré une forte variabilité, annuelle et surtout saisonnières et journalières. L'analyse des variations saisonnières des débits a permis de dégager spécialement à partir des coefficients mensuels des débits, les nuances de régimes hydrologiques à alimentation essentiellement pluviale liés aux régimes climatiques mais plus ou moins modifiés par le rôle de la lithologie. Ils ont fait apparaître la forte opposition entre l'abondance hivernale et l'indigence estivale des cours d'eau.

L'étude fréquentielle montre que les séries de débits moyens annuels utilisées s'ajustent bien avec les lois ; Normale et Lognormale.

2.3. Aménagements hydrauliques

Dans cette partie, nous avons pu montrer que la mauvaise planification de l'implantation des ouvrages de stockage a conduit à la perte des quantités importantes d'eau. En effet, la région la plus riche en eau qui est l'est selon notre étude, représenté par le bassin de la Seybouse, ne contient que deux barrages seulement en exploitation, tandis que celle la plus pauvre en eau qui est l'ouest, représenté par le bassin de la Tafna, contient six barrages en exploitation, ce qui mène à une perte des quantités considérables d'eau, au niveau de l'est algérien, vu le manque de moyens de stockage.

De cela on constate qu'il est nécessaire de revoir la stratégie d'implantation des ouvrages pour des critères plus rigoureux en termes de disponibilité de ressource en eaux et de sites et, qu'une nouvelle conception d'ensemble s'impose

devant se traduire par la réalisation d'un système hydraulique régional interconnecté et rationnellement géré, au-delà des aménagements ponctuels répondant à des besoins précis.

Ainsi, nous proposons pour résoudre les problèmes de manque et perte de l'eau, de procéder à l'implantation de nouveaux barrages dans la région de l'est pour pouvoir stocker l'excès d'eau des années humides et de l'y utiliser pendant les années sèches qui sont plus étendues comme nous l'avons vu dans cette étude. Ainsi que, de lancer des projets de grands transfert d'eau inter-régions, tel que les complexes Beni Haroun et Koudiet Acerdoune, pour combler le manque d'eau observé dans les régions centre et ouest du pays en vue d'avoir une certaine homogénéité et un certain équilibre concernant la répartition spatiale des ressources superficielles en eau, pour qu'on puisse assurer un développement socioéconomiques équilibré entre différents région de notre pays.

Dans ce sens, l'expérience tunisienne est intéressante à plus d'un titre. Ce pays voisin dispose moins de ressources, mais a été précurseur dans la mise en œuvre d'un cas poussé d'aménagement « en chaîne » dans sa région Nord : le Plan d'Aménagement des Ressources en Eau du Nord de la Tunisie [108], [109]. Il interconnecte une dizaine de barrages au profit du canal du Cap Bon et est géré à l'aide d'un modèle (EAUTUN) qui simule sur ordinateur la gestion des eaux sur l'ensemble des bassins concernés en prenant en considération tous les ouvrages existants et prévus suivant un plan d'utilisation préalablement fixé par l'administration [40].

Mais ces transferts doivent être mûrement réfléchis car ils constituent des investissements très lourds et l'échec n'est pas toléré. L'aménagement de transfert d'eau entre le barrage Béni Bahdel et celui de Souani (W. de Tlemcen) constitue un exemple, ce dernier a été projeté pour une mise en valeur agricole du périmètre de la région. Le projet a été achevé mais jamais exploité à cause de la faiblesse des eaux mobilisées par le barrage Béni Bahdel.

3. Analyse de crues

3.1. Choix du modèle fréquentiel

L'étude dans cette partie de la recherche est portée sur cinq grands bassins du Nord de l'Algérie, à savoir : Cheliff, Côtiers Algérois Ouest, Isser, Seybouse et Tafna.

Le travail effectué a permis de mettre en exergue le modèle fréquentiel simulant le mieux les distributions des débits extrêmes de crues du nord de l'Algérie. Cela est rendu possible grâce à l'utilisation de plusieurs techniques et critères pour guider le choix du type de modèle en premier lieu, puis du modèle lui-même par la suite.

L'utilisation du diagramme log-log, nous a permis au début, de mettre l'accent sur le type de modèle susceptible de mieux ajuster nos séries de données. Les résultats montrent que ces dernières appartenant à la classe D (distribution asymptotiquement de type exponentiel). Par la suite, l'application du critère d'information de Schwarz (basé sur le BIC et les concepts de probabilité a priori $P(M_i)$ et la probabilité a posteriori $P(M_i|X)$) -pour guider le choix du modèle le plus adéquat- aux différentes lois de la classe D qui s'ajuste bien avec nos séries de données, met la loi Gamma en brillance. L'application des critères d'information bayésien BIC et d'information d'akaike modifié AICc, viennent de confirmer ce choix. Ce résultat est surprenant, du fait des coutumes prédominantes en Algérie allant en faveur des lois Gumbel et Pearson III.

Une étude comparative approfondie des lois les mieux classées à savoir : la loi Gamma, La loi Halphen A et la loi Weibull II du point de vue caractéristiques mathématiques et statistiques s'avère nécessaire pour qu'on puisse mieux comprendre et expliquer les résultats obtenus. A titre d'exemple, comme nous l'avons signalé plus haut : la loi Halphen A comporte comme cas limite la loi Gamma, cette relation et en vu des résultats obtenus (24 stations ont un α qui tend vers 0 et un $v > 0$), nous permettent de conclure que la loi Halphen A peut construire une vraie alternative de celle de Gamma.

Ainsi, la recherche des régions hydrologiquement homogènes sur la zone d'étude peut être bénéfique pour le choix du modèle adéquat, celle-là est

considérer comme une information supplémentaire et doit être introduite dans les calculs sous forme d'une probabilité a priori, aidant ainsi à l'amélioration des résultats obtenus.

Aussi, l'utilisation des critères graphiques de choix des modèles fréquentiels les plus adéquats tel que : le diagramme des L-moments données par HOSKING [76], celui des rapports de moments établit par MORLAT [97] et celui de PEARSON, peuvent aider à l'enrichissement et la consolidation des résultats.

En fin, nous pouvons dire que ce travail constitue un pas sur le chemin de l'étude des valeurs extrêmes des crues en Algérie, il doit être poursuivi par d'autres études complémentaires telles qu'il a été citée en haut, ainsi que, de penser à son extension sur tous le nord Algérien pour en tirer des informations supplémentaires plus sûrs (puisque la nouvelle étendue géographique est plus importante), aidant à l'amélioration des résultats obtenus jusqu'à présent, et de pouvoir généraliser un modèle fréquentiel pouvant ajuster convenablement l'ensemble des séries hydrologiques observées en Algérie du Nord.

3.2. Intercomparaison des méthodes de calcul de crues

Ici l'étude est portée uniquement sur le bassin versant de l'Isser, pour lequel nous avons testé trois familles de méthodes utilisées couramment en Algérie pour l'estimation des débits de crues, qui sont : les méthodes statistiques, hydrométéorologiques et sommaires.

Après une comparaison entre les résultats trouvés par ces trois méthodes, nous avons constaté des écarts importants entre les valeurs estimées des débits de crues, surtout pour les méthodes empiriques, car elles ont été établies pour des bassins versants bien déterminées ayant des caractéristiques d'ordre topographiques, géomorphologique,.....etc. particulières.

4. Perspectives

Ce travail constitue une première contribution dans l'analyse hydrologique, de plusieurs bassins représentatifs de différentes régions du Nord de l'Algérie. Toutefois, nous ne prétendons pas avoir ramené tous les éléments de réponse à

la complexité des problèmes posés. Aussi, dans les travaux futurs que nous projetons de réaliser nous proposons :

- L'étude de tous les grands bassins du Nord de l'Algérie ;
- L'utilisation d'autres méthodes et modèles qui ne sont pas utilisés ici ;
- Synthétiser les résultats, en collaboration avec d'autres chercheurs pour déterminer des modèles régionaux.

Pour réaliser cet ambitieux programme, il est nécessaire de palier à certaines difficultés rencontrées lors de l'élaboration de notre travail et qui consistent essentiellement aux problèmes liés à :

- L'acquisition des données disponibles aux prés des services compétentes (ANRH, ONM) ;
- La fiabilité des données en particulier celles des débits et les lacunes qu'elles comportent.

APPENDICES

APPENDICE A

LISTE DES SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

ABH-AHS	: Agence des Bassins Hydrographiques Algérois-Hodna-Soummam ;
ABH-CMS	: Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois-Melghe-Seybouse ;
A_c	: Valeur annuelle moyenne de la station à combler ;
AEI	: Alimentation en eau industrielle ;
AEP	: Alimentation en eau potable ;
A_i	: Valeur annuelle moyenne de la station i ;
AIC	: Critère d'Information d'Akaike ;
AIC_c	: Critère d'Information d'Akaike corrigé ;
ANAT	: Agence nationale de l'aménagement du territoire ;
ANBT	: Agence nationale de grands barrages et transferts ;
ANRH	: Agence nationale des ressources hydrauliques ;
BCR	: Béton compacté au rouleau ;
BIC	: Critère d'Information bayésien ;
BIC_{min}	: La plus petite valeur observée de BIC sur tous les modèles comparés ;
B_m	: Largeur du cours d'eau principal ;
C	: Coefficient topographique variant entre 66 et 166 ;
CMD	: Coefficient mensuel du débit ;
CN	: Curve number ;
C_r	: Coefficient moyen annuel de l'écoulement ;
C_{rc}	: Coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité au dépassement P % ;
C_v	: Coefficient de variation ;

D	: La dénivelée ;
D_d	: Densité de drainage ;
D_e	: Déficit d'écoulement observé ;
D_s	: Dénivelée spécifique ;
E	: Efficacité relative ;
Ev	: Évaporation y compris évapotranspiration ;
EV1	: Loi de Gumbel ;
EVT	: Extrême Values Theory ;
F (x)	: Fréquence au non dépassement de la variable x ;
F	: Fréquence d'apparition d'un débit Q_f ;
F(x)	: Fonction de répartition de probabilité ;
FPE	: Formule de probabilité empirique ;
F_t	: Fréquence des talwegs élémentaires ;
F_t	: Pertes cumulées aux temps t ;
G.U.T	: Groupement urbain de Tlemcen ;
G2	: Loi Gamma ;
GEV	: Generalized Extreme Values;
H_0	: Hypothèse que l'on veut tester ;
H_1	: Hypothèse contraire ;
H5%	: L'altitude correspond à 5% de la surface ;
H50%	: L'altitude médiane correspond à 50% de la surface;
H95%	: L'altitude correspond à 95% de la surface ;
HA	: Loi de Halphen type A ;
H_i	: Altitude entre deux courbes de niveaux ;
Hmax	: L'altitude maximale ;
Hmin	: L'altitude minimale ;
Hmoy	: L'altitude moyenne du bassin ;
\overline{H}	: Précipitation moyenne interannuelle en m ;
I	: Volume entrant ;
I.I.D	: Observations Indépendantes et Identiquement Distribuées ;
la	: Pertes initiales ;

I_{eff}	: Intensité efficace ;
I_g	: Indice de pente global ;
I_m	: Pente moyenne du bassin versant ;
I_P	: Indice de pente de roche ;
IRR	: Irrigation ;
K	: Nombre de paramètres dans le modèle ;
K_c	: Coefficient de Gravelus ;
K_e	: Constante comprise entre 1 et 3 ;
K_f	: Coefficient de forme ;
K_h	: Conductivité hydraulique saturée ;
K_N	: Statistique du test de Grubbs et Beck, tabulée pour différentes tailles d'échantillons et de niveaux de signification ;
K_s	: Nombre de classes ;
L	: La vraisemblance maximisée ;
L_a	: Longueur axiale du bassin ;
L_{cr}	: Coefficient régional ;
L_e	: Lamme d'eau écoulée ;
L_i	: Longueur de la courbe de niveau i ;
L_m	: Distance entre l'embouchure et le point le plus éloigné du bassin suivant le cours d'eau principale ;
L_r	: Longueur du rectangle équivalent en Km ;
L_t	: Longueur du talweg principal ;
N	: Taille de l'échantillon ;
N_s	: Nombre total des stations pluviométrique ;
N_t	: Nombre des talwegs d'ordre 1 ;
O	: Volume sortant ;
P	: Total des précipitations accumulées au temps t ;
$P(M_i)$: Probabilité a priori attribué au modèle M_i ;
$P(M_i X)$: Probabilité a posteriori calculée pour le modèle M_i ;
P3	: Loi de Pearson III.
P_a	: Pluie annuelle;
P_b	: Périmètre du bassin ;

P_e	: L'excès de précipitation ;
P_{eff}	: Pluie efficace ;
P_{eff}	: Pluie efficace ;
P_{et}	: Ruissellement au temps t ;
P_i	: Précipitation à la station i ;
$P_{maxj, p\%}$: Pluie maximale journalière de probabilité p % ;
P_{net}	: Pluie nette ;
POT	: Peaks Over Threshold;
P_t	: La moyenne surfacique des précipitations au temps t ;
Q	: Débit moyen annuel ;
Q(1)	: Crue dite annuelle ;
Q(T)	: Débit de période de retour T années ;
Q_1	: Moyenne des débits maxima journaliers (moyenne des crues annuelles) ;
Q_F	: Débit de fréquence F ;
Q_{max}	: Débit maximum ;
$Q_{p\%}$: Débit moyen maximum journalier de probabilité P % ;
R	: Ruissellement de surface et écoulements souterrains ;
R_e	: Élanement ;
R_f	: Coefficient de forme ;
R_i	: Coefficients d'immodération ;
R_r	: Somme des rangs des éléments du premier échantillon de taille n_1 dans la série considérée ;
R_s	: Statistique d'ordre de la valeur observée ;
R_w	: Valeur de la statistique du test de Wald-Wolfowitz ;
S	: Surface du bassin versant ;
S_e	: Écart type empirique (racine carrée de la variance empirique) ;
S_f	: Paramètre tabulé qui exprime l'aspiration avant mouillage ;
S_{e_i}	: Surface élémentaire (surface comprise entre 2 isohyètes consécutives P_i et P_{i+1} ou surface d'influence du pluviomètre i) ;
S_i	: Surface débitante ;
S_k	: Valeur de la statistique du test de Kendall ;

S_i	: La variance des logarithmes naturels des éléments constituant l'échantillon ;
SMA	: Sol moisture accounting.
S_{max}	: Surface maximum débitante ;
S_{pr}	: Potentiel maximum de rétention ;
S_r	: Ressources accumulées de la période précédente ;
T	: Période de retour d'un événement ;
T_a	: Température moyenne annuelle ;
U	: Somme des valeurs pour la période correspondante à la station de comparaison ;
V	: Représente le nombre de fois où un élément de l'échantillon 1 suit dans l'ordre un élément de l'échantillon 2 ;
V_m	: Vitesse moyenne de l'eau ;
V_s	: Somme des valeurs pendant une période homogène de la station à ajuster ;
V_t	: Vitesse de transfert des eaux ;
W2	: Loi de Weibull ;
X	: Valeur correspondante à la station de référence ;
X, Y	: Coordonnées Lambert du site de barrages.
X_i	: Valeur connue à la station i ;
\hat{X}	: Valeur manquante à la station à combler ;
Y	: Valeur d'un mois donné à la station à combler ;
a_r	: Variable régionale intégrant essentiellement pluviométrie et géologie ;
a_p	: Paramètre de formule la formule empirique ;
b	: Constante d'ajustement d'une loi ;
b_c	: L'exposant climatique ;
d_i	: Distance mesurée suivant le trajet de l'eau ;
dt	Intervalle de temps ;
dp (t)	Quantité de pluie tombée durant l'intervalle dt ;
f(x)	: Fonction de densité de probabilité ;
fc	: Taux de pertes maximum ;
h_{min}	: Altitude minimale ;

h_{moy}	: Altitude moyenne ;
$h_{\text{tc}, p\%}$: Lame d'eau précipitée pour une probabilité donnée et d'une durée égale au temps de concentration des eaux ;
$\overline{i_{\text{tc}}}$: Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration ;
$J(t)$	Quantité de pluie perdue ;
$kr(t)$	Coefficient de ruissellement ;
l	Largeur du rectangle équivalent ;
m	: Coefficient régional ;
mNGA	: Mètre niveau guide algérien ;
m_r	: Moment non centré d'ordre r de l'échantillon ;
n	: Nombre d'années d'observation ou taille de l'échantillon utilisé ;
n'	: Nombre d'années efficaces ou fictives ;
n_s	: Nombre de stations autour de la station à combler ;
p	: Nombre de paramètres estimés d'après l'échantillon ;
\overline{p}_i	: Précipitation moyenne pour la surface i ;
q	: Débit spécifique ;
r	: Coefficient de corrélation linéaire ;
s_i	: Surface comprise entre deux courbes de niveaux i et $i+1$;
t_a	: Durée de l'averse ;
t_{eff}	: Temps efficace ;
t_c	Temps de concentration ;
t_r	: Temps de réponse du bassin versant ;
u	: Variable réduite de Gauss, elle est donnée par ;
w_i	: Coefficient de pondération pour la station i ;
$x(F)$: Valeur de la variable x de fréquence F ;
\overline{x}	: Moyenne arithmétique des x_i ;
\overline{y}	: Moyenne arithmétique des y_i ;
α	: Erreur de la première espèce ;
α	: Niveau de signification ;
$\alpha, m, \lambda, c,$ u, v	: Paramètres des lois fréquentiels théoriques ;

α_i	: Angle de terrain ;
β	: Coefficient régional variant généralement de 0.7 à 0.8 ;
ΔH_i	: Dénivelée entre le point et l'exutoire ;
μ, σ	: Paramètres des lois Normale et Lognormal, représente la moyenne et l'écart-type théoriques respectivement.
μ, σ	: Paramètres des lois Normale et Lognormal, représente la moyenne et l'écart-type théoriques respectivement.
μ, σ, ξ	: Paramètres de position, de dispersion et de forme respectivement ;
σ	: Le paramètre de dispersion ou l'écart-type, racine carrée de la variance ($\sqrt{\sigma^2}$) ;
σ^2	: La variance ;
σ_x	: Écart-type empirique des x_i ;
σ_y	: Écart-type empirique des y_i ;
$(\varphi - \theta_i)$: Le volume du déficit hydrique ;
φ	: La porosité ;
χ^2	: Statistique de Pearson.

APPENDICE B

Liste des stations pluviométriques des bassins étudiés

Tableau B.1 : Stations pluviométriques du bassin Isser

N°	Nom station	Code	X(Km)	Y(Km)	Z(m)	Données fournies	Type
1	Ain Boucif	011104	540.75	287.80	1250	67/04	PV
2	Ksar El Boukhari Gr	011301	503.80	287.90	630	99/03	PV
3	Zoubiria Mongorno	011404	513.50	312.60	932	94/04	PV+PG
4	Medea Secteur	011509	504.80	329.80	935	78/03	Au
5	Hamiz Barrage	020602	558.50	367.40	130	63/04	Au
6	Ouzera	021112	513.20	328.40	880	78/02	PV
7	El Arba	021403	541.10	362.95	100	67/00	PV
8	Ain Nessissa	050101	583.20	290.35	680	68/02	Au
9	Chellalat El Adaoura	050102	565.00	293.80	990	69/03	PV
10	Souk El Djemââ	050103	576.90	304.15	830	67/05	PV+PG
11	Souaghi	090104	263.45	233.50	935	73/02	PV
12	El Omaria	090201	530.20	329.20	790	59/03	PV+PG
13	Mahtere	090202	542.85	342.50	875	68/93	PV+PG
14	Tablet Drs	090203	554.75	345.8	450	70/06	PV
15	El Omaria Pep	090205	533.05	327.45	659	71/04	PV
16	Berrouaghia	090208	519.20	315.00	928	10/73	
17	Djouab	090301	566.95	315.55	825	69/06	PV
18	Béni Slimane	090302	557.20	322.65	600	67/98	PV
19	Pont De La Traille	090304	559.15	343.00	370	68/06	PV
20	Dechmya	090314	578.50	316.35	850	68/05	PV+PG
21	Beni Slimane Seuil I	090317	556.63	329.82	629	83/02	Au
22	Khabouzia	090401	579.15	334.35	720	69/05	PV
23	Souk El Khamis	090402	584.00	343.4	782	68/04	PV
24	Djebahia	090403	594.80	353.45	390	69/05	PV
25	Kadiria	090405	588.36	359.80	178	26/75	PV
26	Tazerout	090406	571.00	362	500	80/00	Au
27	Ouled Touati	090413	576.65	347.5	831	67/98	PV
28	Lakhdaria Gorges	090502	579.00	369.5	50	67/01	PV
29	Ouled Bouhadadda	090503	574.55	372.3	425	68/98	PV
30	B.Menail Pm C.Eau	090505	590.50	382.75	27	67/78	PV
31	Tizi Chenif	090506	596.30	366.1	415	51/04	PV+PG
32	Les Issers	090508	587.10	382.25	29	35/79	PV
33	Bordj Menail Pepin	090510	591.00	390.25	27	71/98	PV
34	Chabet El Ameur	090512	588.85	371.4	260	51/01	PV+PG
35	Sour El Ghozlane	150101	590.60	316450	882	70/98	Au
36	El Hachimia	150103	600.65	325.1	730	71/04	PV

Source ANRH

Tableau B.2 : Stations pluviométriques du bassin Seybouse

N°	Nom station	Code	X (Km)	Y (Km)	Z(m)	Données fournies	Type
1	Bouati Mahmoud	031105	914.15	375.6	150	67/05	
2	Berrahal	031302	923.21	403.42	/	60/06	
3	Annaba Ville	031415	951.10	411.35	50	86/08	
4	Cheffia	031501	977.15	381.30	170	71/08	C (bg cheffia)
5	Bouhadjar	031503	984.20	369.75	300	60/06	
6	Zardesas Bge	039003	875.30	374.6	200	60/06	
7	Ain Beida	070707	924.15	288	1004	60/07	PG
8	Constantine ANRH	100410	850.35	344/75	595	84/07	
9	Ain Fakroun	100503	876.60	305.50	920	60/02	
10	Ould Nacer	100527	876.80	320.70	839	70/07	
11	Ain Seymour	120103	/	/	/	60/07	
12	Cheikhe Abdellah	120113	956.55	339.25	700	98/07	PG
13	Ain Dalia	120114	954.30	338.29	/	98/08	C
14	El Aouinet	120402	967.80	297.40	650	60/07	
15	Mdaouroch	120403	960.85	320.65	870	60/06	PG
16	Berriche	140103	921.85	300.50	800	71/08	
17	Cheikh Rabag	140103	909.20	310.05	865	71/08	
18	Ksar Spahi	140104	910.5	319	860	70/98	
19	Fomel	140105	922.5	318.5	740	71/06	
20	Fom El Khennga	140105	922.50	318.50	740	71/06	
21	Terraguelt	140115	942.10	296.70	868	71/08	C
22	Tamlouka	140204	/	/	/	05/07	PG
23	Ain Makhloof	140205	/	/	/	70/08	
24	Bordj Spath	140302	888.73	355.02	525	70/08	
25	El Aria	140304	870.85	343.10	807	70/97	PG
26	Ain Abid	140307	/	/	/	05/08	
27	Héliopolis	140403	924.48	366.79	/	74/05	
28	Guelma Lycée	140412	923.82	361.24	/	72/06	PG
29	Mechroha	140502	961.15	351.55	750	60/06	
30	Bouchegouf	140505	948.72	362.49	95	60/06	
31	Breda	140606	937.28	387.73	/	60/06	
32	Boukhamouza	140607	/	/	/	68/06	
33	El Karma	140609	943.69	394.66	/	60/07	
34	Kef Mourad	140611	953.29	389.54	/	60/06	
35	Pont Bouchet	140631	949.97	402.82		67/06	PG

Source ANRH

Tableau B.3 : Stations pluviométriques du bassin Tafna

N°	Station	Code	X (Km)	Y (Km)	Données fournies	Type
1	B-ouassine	160303	90.8	180.7	74/98	
2	Sebdou	160401	131.2	158.5	74/05	PG
3	Béni-bahdel	160403	115	164.6	74/05	C
4	Khemis	160406	/	/	70/98	
5	S/Medjahed	160407	102.8	173.1	74/05	
6	Merchiche	160410	/	/	70/98	
7	Hbghrara	160501	/	/	69/08	C
8	Sabra	160502	115.1	178.7	74/05	
9	Lallasetti	160507	/	/	70/08	C
10	Zsbamar	160517	102.7	202.5	74/05	PG
11	Dj. Chouachi	160518	/	/	74/05	
12	Chouly	160601	151.8	181.2	74/05	
13	Merbah	160602	/	/	70/08	
14	Sbnakhla	160610	158.5	200.4	74/05	C
15	Mefrouch	160701	/	/	70/08	C
16	Bensakran	160702	143.4	205.3	74/05	
17	Hennaya	160715	102.7	202.5	73/05	
18	Pierre du chat	160802	122.4	213.2	74/05	

Source ANRH

PG : Pluviographe ;

PV : Pluviomètre ;

Au : Automatique ;

C : Station climatique.

APPENDICE C

Liste des stations hydrométriques des bassins étudiés

Tableau C.1 : Stations hydrométriques du bassin Côtiers Algérois Ouest

N°	Code	Station	Oued	X (km)	Y (km)	Z (m)	S (Km ²)	P (Km)	Données Fournies	Type
1	020114	Kramis	Kramis	317.42	325.49	70			89/01	CI
2	020207	Sidi Akkacha	Allalah	375.75	354.30	0	295		83/07	CI
3	020301	Rocher des Pigeons	El Harrach	532.05	354.75	146	387	75	74/06	Au
4	020318	Hadjout	Bourkika	475.80	358.80	76	72	52	83/90	Au
5	020323	Pont Rn11	Bellah	458.65	367.50	50	55	35	74/06	CI
6	020331	Mesdour	Boukdir	461.85	356.45	204	76	39	93/04	Au
7	020608	REGHAIA	REGHAIA	557.82	382.23		50	35	AAD	
8	020627	Ouled Ali	Barek	552.85	371.55	100	37	28	83/93	Au
9	020629	Pont D9	Hamiz	556.30	373.05	70	160		83/06	CI
10	020632	Reghaia	Reghaia	557.82	382.23	20	50	35	78/92	Au
11	021001	/							AAD	
12	021002	Tarzoute	Djer				215	60	AAD	
13	021006	Bou Medfaa	Djer	483.55	343.35	200	336	76	85/93	CI
14	021007	El Affroun	Djer	490.45	350.70	100	395	90	69/93	CI
15	021011	Attatba	Bouroumi	498.60	3628.50	40	680	125	81/96	Au
16	021024	Sidi Rached	Haloula	498.60	362.85	0	0		71/02	Au
17	021126	Amont Des Gorges	Chiffa	506.15	342.30	290	316	73	69/96	Au
18	021201	Fer A Cheval	Mazafran	510.05	372.20	10	1900	185	81/94	Au
19	021402	Larbaa	Djemaa	543.80	358.00	350	130		73/94	CI
20	021418	Baraki	El Harrach	535.00	376.30	20	970	143	79/02	CI
21	021427	Douar Makli							AAD	
22	021443	Altairac	Smar	539.55	379.05	22	173	57	73/86	CI

Au : Automatique ; CI : Classique ; AAD : En arrêt avec absence totale de données

Source ANRH

Tableau C.2 : Stations hydrométriques du bassin Cheliff

N°	Code	Station	Oued	X (km)	Y (km)	Z(m)	S (Km2)	P (Km)	Données Fournies	Type
1	010207	/							AAD	
2	010706	Sidiboudaoud	Ouerk	470.60	229.55		2690		AAD	Cl
3	010711	F. Ferhat	Sousslem	417.08	228.02	890	490	110	AAD	Cl
4	010907	Ain Sebain	Ouassel	401.12	239.77	896	515		73/85	Cl
5	011001	C.Bougara	Ouassel	432.45	251.92	801	1000	200	AAD	Cl
6	011210	Sidi Bouabdallah	Ouerk	483.10	245.80		11460		83/01	Au
7	011407	Ghrib Amont	Cheliff	495.45	308.80		1899	705	76/96	Ar
8	011501	Tamesguida	Harbil	497.00	323.90		157	51	87/97	Ar
9	011503	/							AAD	
10	011514	Djenane B O	Cheliff	475.65	325.20		0		91/07	Cl
11	011601	Marabout Blanc	Deurdeur	460.17	315.60		830	162	91/08	Cl
12	011602	/							AAD	
13	011701	/							AAD	
14	011702	Arib Chelif	Cheliff	439.50	332.55		24520	1025	68/03	Au
15	011715	El Ababsa	Harraza	443.90	318.50		102	41	73/07	Cl
16	011801	Arib Ebda	Ebda			275	270	70	83/95	
17	011905	Bir Ouled Tahar	Zeddine	432.75	312.50		435		90/08	Au
18	011906	/							AAD	
19	011915	/							AAD	
20	012001	El Abadia	Cheliff	407.90	327.42		26414		80/92	Au
21	012004	Tikezal	Tikezal	414.30	321.70		130	61	90/02	Cl
22	012117	/							AAD	
23	012201	Larbaa Ouled Fares	Ouahrane	368.10	326.65		262	85	83/07	Au
24	012203	Ponteba Defluent	Cheliff	393.90	327.40		27820	1137	83/07	Cl
25	012204	Sobha	Ras	387.70	316.30		445		AAD	Au
26	012311	Ouled Ben Aek	Sly	372.55	301.70		1225	145	85/07	Cl
27	012501	Oued Lili	Tiguiguest	370.32	248.12	508	420	94	75/06	Cl
28	012601	A.Moussa	Rhiou	357.40	286.40	135	1890	190	75/06	Cl
29	012603	Rhiou Rn4	Rhiou	341.80	298.10	62	2360	262	75/90	Cl
30	012701	Djidiouia Rn4	Djidiouia	332.60	293.90	70	835	135	75/06	Cl
31	012806	Djidiouia "C"	Cheliff	329.60	298.20	51	34550	1317	75/06	Cl
32	012902	/							AAD	
33	012909	S.A.Benamar	Mina	357.35	225.85	600	1200	135	75/06	Cl
34	013001	Kef Mahboula	Taht	331.45	224.34	475	652	115	75/96	Cl
35	013301	Takhemaret	El Abd	312.75	202.80	630	1550	162	75/06	Cl
36	013302	A. Amara	El Abd	316.45	233.12	275	2480	225	75/06	Cl
37	013401	S.A.Djillali	Haddad	308.95	244.53	235	470	91	75/06	Cl
38	013402	O.El Abtal	Mina	316.50	245.65	240	5400	295	75/06	Cl
39	013510	Relizane Amt	Mina	270.00	306.30	81			75/85	Cl
40	013602	S.Bel Attar	Cheliff	280.75	305.55	2	43700	1380	75/06	Cl

Au : Automatique ; Cl : Classique ; AAD : En arrêt avec absence totale de données

Source ANRH

Tableau C.3 : Stations hydrométriques du bassin Isser

N°	Code	Station	Oued	X (km)	Y (km)	Z (m)	S (km ²)	P (km)	Données fournies	Type
1	090101	Mezahim	Malah	539.70	322.65	679	665	136	73/94	Cl
2	090205	El Omaria	Ladrat	533.35	327.30	760	39	28	73/82	Cl
3	090305	Beni Slimane	Maleh Est	557.55	322.25	600	273	71	73/97	Au
4	090309	Dechmya	Zeroua	578.25	316.45	810	73	41	72/85	Cl
5	090408	La Traille	Isser	559.25	343.25	349	2570	210	70/85	Au
6	090416	Gare Omar	Djemaa	591.50	356.90	301	400	121	73/96	Cl
7	090420	Kadder	Bouhamoud	577.20	363.87		1390		AAD	Cl
8	090501	Lakhdaria	Isser	579.10	368.75	90	3615	270	66/06	Cl

Au : Automatique ; Cl : Classique ; AAD : En arrêt avec absence totale de données Source ANRH

Tableau C.4 : Stations hydrométriques du bassin Seybouse

N°	Station	Code	Oued	X (°)	Y (°)	Z (m)	S (km ²)	P (km)	Données fournies
1	Moulin Rochfort	140202	Cherf amont	7.596	36.092	710	1710	190	71/93
2	Medjez Amar II	140301	Bouhamdane	7.042	36.413	270	1105	140	68/02
3	Bordj Sabath	140302	Bouhamdane	7.3	36.437	520	304		73/04
4	/	140417	Seybouse supérieure						AAD
5	Bouchegouf	140501	Mellah	7.705	36.457	95	550	120	48/03
6	Mirebek	140601	Seybouse inférieure	7.599	36.679	10	5955	330	68/90
7	Ain Berda	140602	Ressoul	7.763	36.742	55	103	45	63/02

Au : Automatique ; Cl : Classique ; AAD : En arrêt avec absence totale de données Source ANRH

Tableau C.5 : Stations hydrométriques du bassin Tafna

N°	Station	Code	Oued	X (km)	y (km)	z (m)	S (km ²)	P (km)	Données fournies	Type
1	Pont rn7/a	160202	Mouillah	83.50	182.40	420	1820	187	75/05	Au
2	Legfaf	160316	Ouerdefou	100.00	183.30	343			99/05	Au
3	Sebdou	160401	Tafna	131.25	156.57	875	195	58	82/05	Au
4	B.bahdel	160402	Tafna	119.00	163.30	665	600	100	79/05	Au
5	Kef oued	160408	Tafna	105.45	170.80		1050	150	AAD	Cl
6	Zahra	160409	Khemis	114.65	161.50	660	345	80	75/05	Cl
7	V.Tafna	160426	Tafna	101.90	178.65	315	1268		87/05	Au
8	H.Boughra ra	160501	Tafna	103.70	185.80	270	4000	280	75/86	Cl
9	Dj.Chouac hi	160503	Boukiou	1160	202.90	130	120	48	AAD	Cl
10	Pont rn35	160504	Mouillah	101.90	185.50	285	2650	230	75/97	Cl
11	Zenata	160507	Boumessaou d	120.10	194.60	205	116	49	75/05	Cl
12	Hennaya	160509	Boumessaou d	125.45	188.10	410	46	30	75/05	Cl
13	Pont rn7	160601	Chouly	149.80	181.20	720	170	60	75/05	Au
14	Sidi Aissa	160614	Issser	127.35	199.80	380	866		85/05	Au
15	Bensekran e	160702	ISSER	143.38	205.20	246	1230	150	75/05	Cl
16	Remchi	160703	ISSER	122.90	208.85	75	1935	180	75/04	Cl
17	Ain Youcef	160704	Sikkak	131.70	201.70	210	320	85	75/97	Cl
18	Meffrouch	160726	Nachef	133.25	177.90	113	66		88/05	Au
19	S. Moussa	160727	Sikkak	133.15	197.25	250	268		99/05	Au
20	P.du Chat	160801	Tafna	122.30	213.12	65	6900	305	75/05	Au

Au : Automatique ; Cl : Classique ; AAD : En arrêt avec absence totale de données

Source ANRH

APPENDICE D

Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques des bassins étudiés



Figure D.1 : Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin Isser

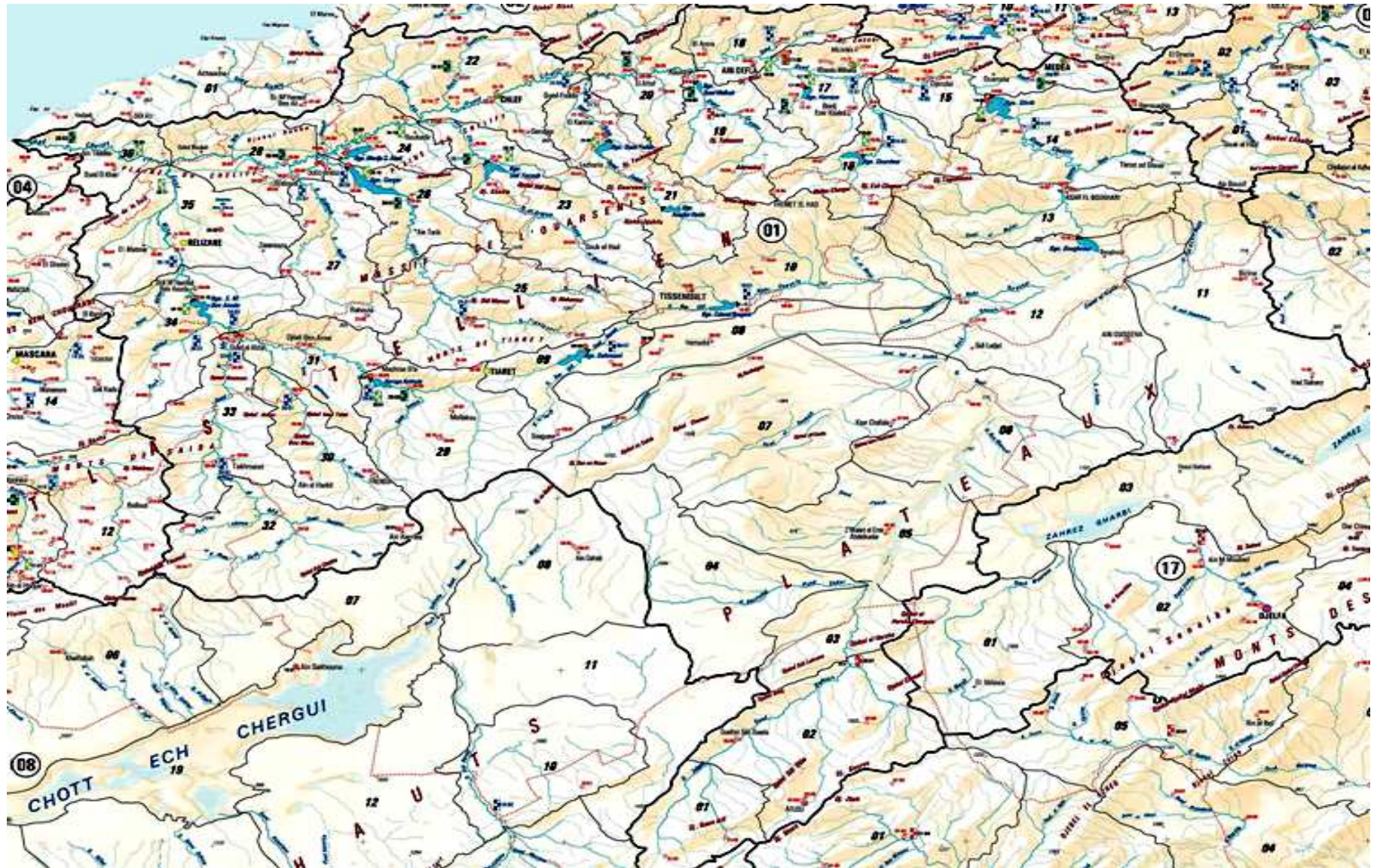


Figure D.2 : Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin de Chelif (ANRH 2005)



Figure D.3 : Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin du Côtiers Algérois Ouest (ANRH 2005)

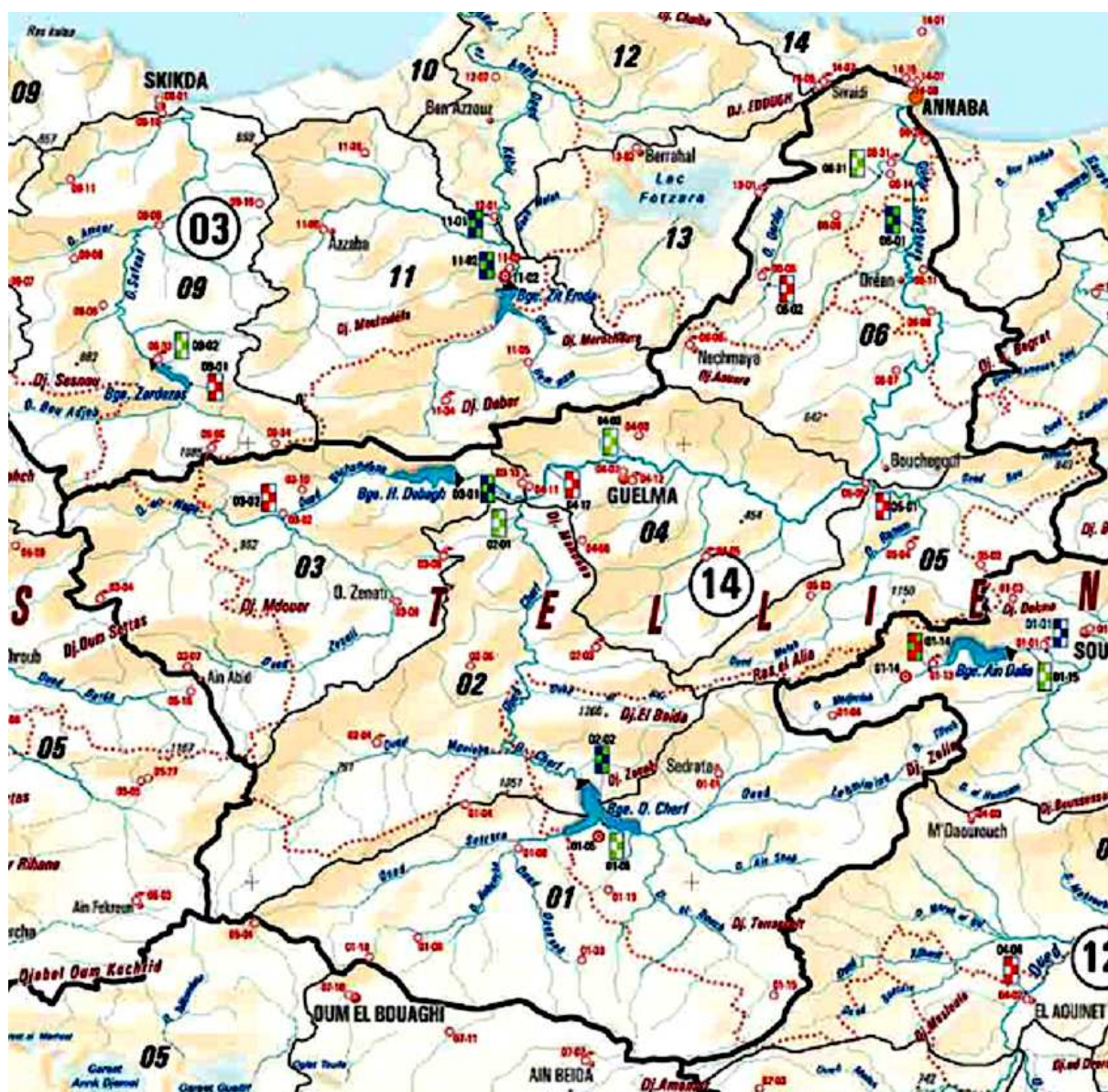


Figure D.4 : Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin Seybouse (ANRH 2005)

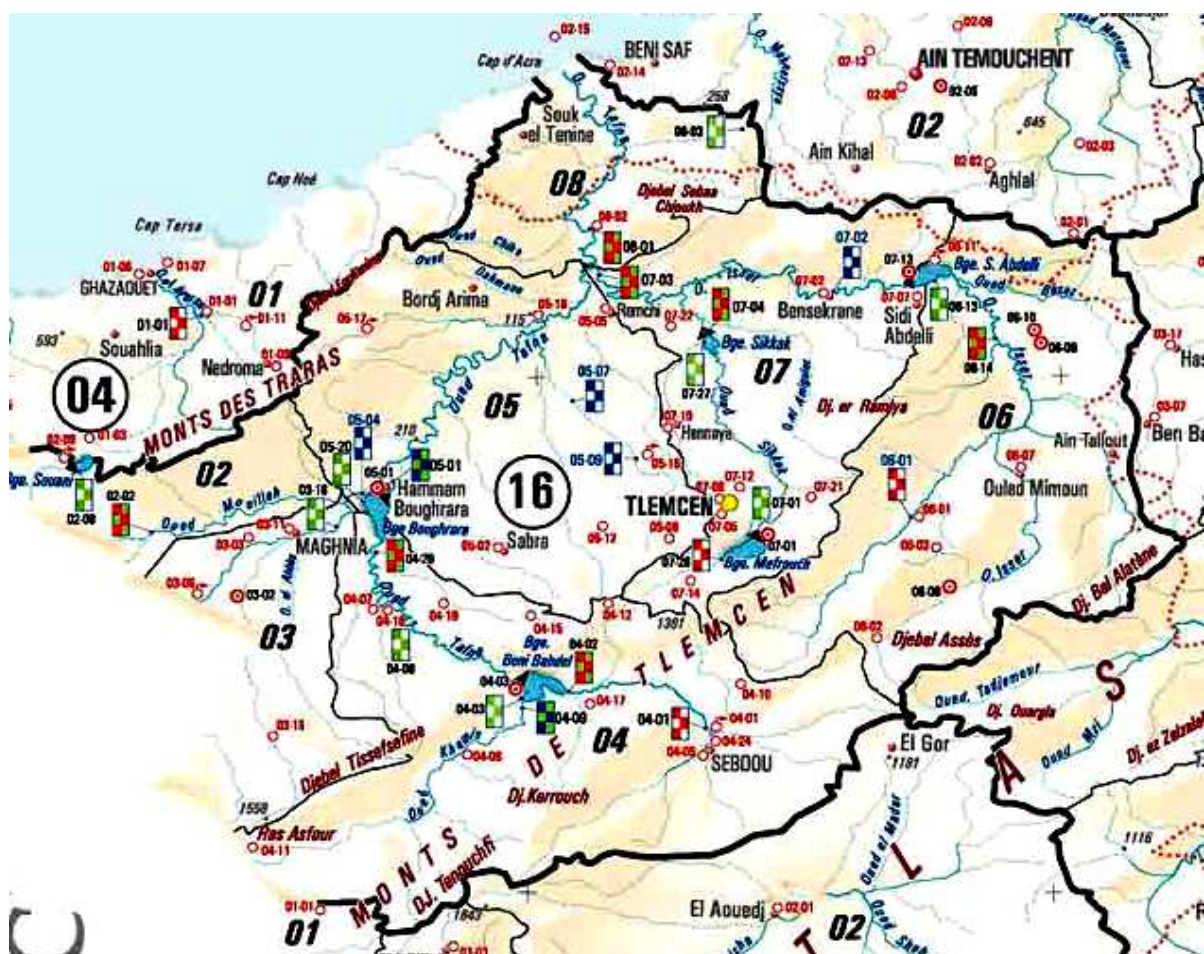


Figure D.5 : Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin Tafna (ANRH 2005)

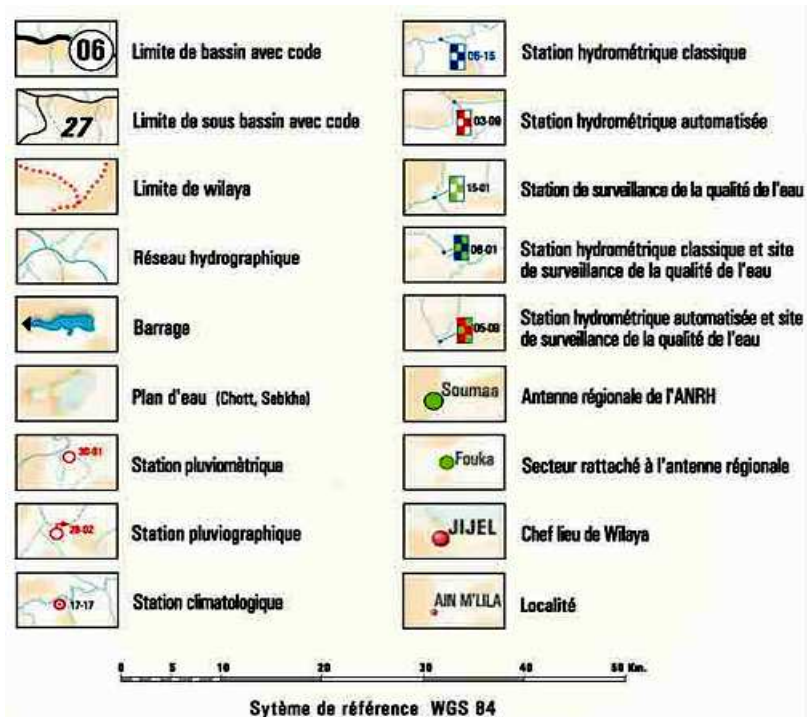


Figure D.6 : Légende communes aux figures C.1, C.2, C.3, C.4 et C.5 (ANRH 2005)

APPENDICE E

Caractéristiques des séries de pluies annuelles et mensuelles utilisées

Tableau E.1 : Caractéristiques des séries de données pluviométriques utilisées pour le bassin de Seybouse

Code	Caract.	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
030903	\bar{x}	38.5	57.2	83.0	108.7	94.8	81.7	70.6	61.9	39.8	14.4	4.3	7.6	662.6
	S	37.1	43.7	55.9	102.2	55.0	66.1	38.7	38.4	25.8	11.1	7.8	8.3	148.3
	Cv	0.97	0.76	0.67	0.94	0.58	0.81	0.55	0.62	0.65	0.77	1.82	1.09	0.22
	CMP %	5.80	8.64	12.53	16.41	14.30	12.34	10.65	9.34	6.00	2.18	0.65	1.15	
	CSP %	26.97			43.05			26.00			3.98			
031105	\bar{x}	31.3	58.7	92.3	104.9	96.2	83.3	79.4	64.0	47.9	16.8	4.9	7.9	687.5
	S	25.8	47.9	70.7	88.3	56.2	60.6	41.1	37.2	42.0	13.7	9.5	8.7	183.4
	Cv	0.82	0.82	0.77	0.84	0.58	0.73	0.52	0.58	0.88	0.81	1.93	1.10	0.27
	CMP %	4.55	8.54	13.43	15.26	13.99	12.12	11.54	9.31	6.96	2.45	0.71	1.15	
	CSP %	26.51			41.37			27.82			4.31			
070707	\bar{x}	38.9	33.5	40.7	37.9	35.9	38.0	45.6	35.2	39.4	26.6	9.9	18.5	400.1
	S	34.8	25.7	31.8	34.2	24.1	36.3	23.1	24.1	34.0	24.5	14.5	18.4	96.8
	Cv	0.90	0.77	0.78	0.90	0.67	0.96	0.51	0.69	0.86	0.92	1.46	1.00	0.24
	CMP %	9.72	8.38	10.18	9.47	8.98	9.49	11.40	8.79	9.84	6.64	2.48	4.62	
	CSP %	28.28			27.95			30.04			13.74			
120103	\bar{x}	35.5	64.7	115.6	136.3	141.3	138.3	116.8	115.6	61.0	23.6	3.5	12.9	965.1
	S	31.1	53.7	93.2	114.0	71.4	112.3	59.6	77.7	55.8	20.6	7.6	16.5	278.4
	Cv	0.88	0.83	0.81	0.84	0.51	0.81	0.51	0.67	0.91	0.87	2.19	1.28	0.29
	CMP %	3.68	6.70	11.98	14.12	14.64	14.33	12.10	11.98	6.32	2.44	0.36	1.33	
	CSP %	22.36			43.10			30.40			4.14			
120403	\bar{x}	28.0	26.1	34.7	35.1	28.4	32.8	35.1	39.3	37.0	16.0	7.0	13.3	332.7
	S	27.4	22.3	31.6	32.9	15.5	27.9	19.5	29.0	33.0	16.6	10.5	15.4	112.3
	Cv	0.98	0.85	0.91	0.94	0.55	0.85	0.56	0.74	0.89	1.04	1.51	1.16	0.34
	CMP %	8.43	7.85	10.42	10.54	8.54	9.84	10.54	11.81	11.11	4.82	2.09	4.00	
	CSP %	26.70			28.92			33.46			10.91			
140104	\bar{x}	27.4	21.4	29.5	43.6	40.7	39.4	43.6	38.6	39.4	16.5	6.7	7.2	353.9
	S	28.0	17.7	24.1	48.4	32.6	35.8	23.7	32.6	30.5	16.9	10.8	9.0	104.6
	Cv	1.02	0.83	0.82	1.11	0.80	0.91	0.54	0.85	0.78	1.03	1.61	1.25	0.30
	CMP %	7.73	6.04	8.34	12.31	11.51	11.14	12.33	10.89	11.13	4.65	1.88	2.04	
	CSP %	22.12			34.96			34.35			8.58			
140105	\bar{x}	29.6	23.0	31.3	30.9	28.5	28.7	30.7	31.5	34.7	13.8	8.2	8.6	299.5
	S	30.7	19.3	30.1	32.1	25.8	29.2	16.5	24.8	27.3	14.3	16.8	10.5	97.9
	Cv	1.04	0.84	0.96	1.04	0.90	1.02	0.54	0.79	0.79	1.03	2.04	1.22	0.33
	CMP %	9.89	7.69	10.44	10.32	9.53	9.58	10.25	10.51	11.58	4.60	2.75	2.86	
	CSP %	28.01			29.43			32.34			10.21			
120205	\bar{x}	28.3	40.9	68.9	70.7	59.9	55.6	65.4	53.6	35.5	16.7	5.7	11.8	512.9
	S	21.6	35.2	73.1	69.6	39.2	42.7	43.2	39.6	27.5	14.8	10.6	13.5	198.8
	Cv	0.76	0.86	1.06	0.98	0.65	0.77	0.66	0.74	0.77	0.89	1.88	1.15	0.39
	CMP %	5.52	7.98	13.43	13.77	11.69	10.84	12.75	10.45	6.92	3.26	1.10	2.29	
	CSP %	26.93			36.30			30.12			6.66			
140302	\bar{x}	29.1	38.2	60.6	82.7	67.3	61.6	58.4	45.8	37.9	13.4	4.0	8.0	506.9
	S	24.6	30.4	46.2	83.2	48.7	58.5	42.2	26.3	27.9	16.5	6.7	10.8	158.2
	Cv	0.84	0.80	0.76	1.01	0.72	0.95	0.72	0.57	0.74	1.24	1.68	1.36	0.31
	CMP %	5.74	7.54	11.95	16.31	13.29	12.16	11.52	9.04	7.47	2.64	0.79	1.57	
	CSP %	25.22			41.75			28.02			5.00			
140403	\bar{x}	31.3	52.3	73.1	85.3	81.7	73.2	67.1	59.7	41.7	17.8	5.5	8.8	597.4
	S	27.0	43.5	55.7	70.8	48.0	60.6	33.9	44.1	31.6	17.4	10.5	12.6	156.6
	Cv	0.86	0.83	0.76	0.83	0.59	0.83	0.51	0.74	0.76	0.98	1.91	1.44	0.26
	CMP %	5.24	8.76	12.23	14.27	13.68	12.26	11.23	10.00	6.97	2.98	0.92	1.47	
	CSP %	26.23			40.21			28.20			5.37			

Suite Tableau E.1

140412	\bar{x}	30.5	48.3	65.5	72.1	67.5	61.4	58.9	55.1	44.7	15.5	4.4	8.2	532.1
	S	23.7	38.7	48.8	54.4	39.1	47.3	30.6	36.1	30.4	17.1	7.4	12.1	128.9
	Cv	0.78	0.80	0.75	0.76	0.58	0.77	0.52	0.66	0.68	1.10	1.67	1.47	0.24
	CMP %	5.73	9.08	12.31	13.55	12.69	11.53	11.07	10.35	8.40	2.91	0.83	1.55	
	CSP %	27.12			37.77			29.82			5.30			
140502	\bar{x}	44.7	79.3	123.0	117.5	114.4	112.7	128.2	101.0	88.1	24.8	3.2	4.5	941.4
	S	60.3	61.0	91.8	97.3	61.6	98.9	81.8	60.4	69.9	23.4	8.0	7.5	402.4
	Cv	1.35	0.77	0.75	0.83	0.54	0.88	0.64	0.60	0.79	0.94	2.54	1.66	0.4
	CMP %	4.74	8.43	13.07	12.48	12.15	11.97	13.62	10.73	9.36	2.63	0.34	0.48	
	CSP %	26.24			36.60			33.71			3.45			
140505	\bar{x}	28.7	46.2	66.4	70.4	70.2	58.9	64.3	58.8	40.4	14.6	2.9	12.6	534.3
	S	22.3	37.5	46.1	54.2	33.8	43.5	32.7	36.4	27.0	13.2	6.6	19.3	136.7
	Cv	0.78	0.81	0.70	0.77	0.48	0.74	0.51	0.62	0.67	0.90	2.25	1.53	0.26
	CMP %	5.36	8.64	12.42	13.18	13.14	11.02	12.02	11.00	7.56	2.73	0.55	2.37	
	CSP %	26.43			37.34			30.59			5.65			
140606	\bar{x}	34.9	61.9	82.2	86.9	88.0	67.8	65.7	60.8	39.2	13.9	2.6	7.4	611.0
	S	30.8	46.2	53.3	59.0	40.0	41.3	34.7	35.7	27.4	11.8	5.7	8.8	132.6
	Cv	0.88	0.75	0.65	0.68	0.45	0.61	0.53	0.59	0.70	0.85	2.20	1.19	0.22
	CMP %	5.71	10.12	13.45	14.22	14.40	11.09	10.75	9.94	6.41	2.27	0.42	1.22	
	CSP %	29.28			39.71			27.10			3.91			
140609	\bar{x}	23.8	47.2	75.8	88.5	90.3	66.6	59.4	54.9	35.6	13.4	2.6	7.9	565.8
	S	18.7	46.9	47.5	59.7	45.1	47.1	37.6	32.8	26.8	20.3	5.8	11.0	141.6
	Cv	0.79	0.99	0.63	0.68	0.50	0.71	0.63	0.60	0.75	1.51	2.26	1.39	0.25
	CMP %	4.21	8.34	13.39	15.64	15.95	11.77	10.49	9.70	6.30	2.37	0.45	1.40	
	CSP %	25.94			43.35			26.48			4.22			
140611	\bar{x}	29.5	56.1	78.7	80.0	78.3	63.4	56.1	58.5	35.8	12.0	1.3	5.5	555.1
	S	25.6	49.3	54.7	64.2	41.1	41.5	32.3	44.2	22.7	12.6	3.7	8.3	156.2
	Cv	0.87	0.88	0.70	0.80	0.52	0.66	0.58	0.76	0.63	1.05	2.84	1.50	0.3
	CMP %	5.32	10.11	14.18	14.41	14.10	11.41	10.10	10.53	6.46	2.16	0.23	0.99	
	CSP %	29.61			39.92			27.09			3.39			
140631	\bar{x}	34.9	60.9	86.6	89.1	84.8	66.4	60.0	57.0	33.2	12.7	2.5	7.8	595.7
	S	29.7	56.7	51.3	59.3	39.4	51.4	36.5	36.5	22.7	12.0	5.8	10.8	137.9
	Cv	0.85	0.93	0.59	0.67	0.46	0.77	0.61	0.64	0.68	0.95	2.34	1.39	0.23
	CMP %	5.86	10.23	14.53	14.96	14.23	11.15	10.07	9.56	5.58	2.13	0.41	1.31	
	CSP %	30.61			40.33			25.20			3.85			

Tableau E.2 : Caractéristiques des séries de données pluviométriques utilisées pour le bassin de l'Isser

Code	Caract.	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
90302	moyenne	21.8	30.9	39.3	39.4	43.8	39.9	38.2	38.1	35.9	12.4	7.1	6.8	348.7
	ecart-type	20.8	27.1	24.4	30.0	31.3	26.3	28.4	22.7	35.6	13.2	14.2	9.4	78.9
	Cv	0.96	0.87	0.62	0.76	0.72	0.66	0.74	0.60	0.99	1.07	2.00	1.38	0.23
	CMP %	6.24	8.87	11.28	11.29	12.55	11.44	10.96	10.91	10.30	3.54	2.02	1.96	
	CSP %	26.03			34.80			31.73			7.43			
90502	moyenne	27.6	56.9	89.2	99.8	89.1	88.8	71.5	69.2	48.6	12.0	7.6	7.9	661.6
	ecart-type	20.3	36.6	55.0	66.3	55.7	68.6	57.5	47.4	47.7	14.4	14.1	11.8	148.3
	Cv	0.74	0.64	0.62	0.66	0.62	0.77	0.80	0.69	0.98	1.20	1.84	1.49	0.22
	CMP %	4.17	8.60	13.48	15.08	13.47	13.42	10.81	10.45	7.34	1.81	1.15	1.20	
	CSP %	25.99			41.56			28.33			4.12			
90503	moyenne	30.7	64.9	95.0	105.7	101.5	95.1	80.1	74.4	52.2	9.2	4.2	4.6	717.6
	ecart-type	26.5	44.0	56.4	79.4	62.5	72.2	73.4	53.4	56.0	9.9	8.9	6.6	163.3
	Cv	0.86	0.68	0.59	0.75	0.62	0.76	0.92	0.72	1.07	1.08	2.10	1.45	0.23
	CMP %	4.28	9.05	13.24	14.73	14.15	13.25	11.17	10.36	7.27	1.28	0.59	0.63	
	CSP %	26.57			42.13			28.80			2.51			
90403	moyenne	28.7	47.4	72.6	81.6	70.2	74.5	64.3	54.4	42.7	8.8	4.4	7.4	520.5
	ecart-type	30.4	33.6	44.9	57.7	43.2	52.5	48.1	32.1	38.6	9.8	8.0	9.9	126.1
	Cv	1.06	0.71	0.62	0.71	0.62	0.70	0.75	0.59	0.90	1.11	1.81	1.35	0.24
	CMP %	5.52	9.11	13.95	15.67	13.49	14.31	12.36	10.46	8.20	1.69	0.85	1.42	
	CSP %	9.53			14.49			10.34			1.32			
90402	moyenne	20.7	42.7	61.9	70.0	66.7	63.6	53.7	53.0	33.1	6.9	3.5	6.2	482.1
	ecart-type	17.6	37.4	47.3	45.7	48.0	51.2	45.9	38.1	34.9	9.5	8.4	9.8	123.2
	Cv	0.85	0.88	0.76	0.65	0.72	0.81	0.85	0.72	1.05	1.39	2.43	1.57	0.26
	CMP %	4.30	8.86	12.85	14.53	13.83	13.19	11.14	11.00	6.87	1.42	0.72	1.29	
	CSP %	26.00			41.55			29.01			3.43			
90413	moyenne	23.4	39.0	48.3	60.6	61.8	65.4	54.0	54.8	31.7	6.9	4.1	1.3	407.3
	ecart-type	21.5	32.6	35.9	55.0	62.0	60.9	54.6	42.2	35.0	8.6	9.8	3.0	128.2
	Cv	0.92	0.83	0.74	0.91	1.00	0.93	1.01	0.77	1.10	1.25	2.41	2.23	0.31
	CMP %	5.76	9.58	11.87	14.88	15.17	16.06	13.26	13.46	7.79	1.69	1.00	0.33	
	CSP %	24.54			41.60			31.13			2.72			
90304	moyenne	26.7	42.2	54.0	62.5	64.9	54.9	44.8	42.7	35.9	8.5	7.1	7.3	451.5
	ecart-type	31.4	43.9	32.3	49.5	47.6	47.3	35.7	24.6	36.4	10.3	16.4	12.3	118.4
	Cv	1.18	1.04	0.60	0.79	0.73	0.86	0.80	0.58	1.01	1.21	2.31	1.68	0.26
	CMP %	5.90	9.34	11.95	13.84	14.36	12.17	9.93	9.46	7.96	1.89	1.57	1.62	
	CSP %	27.20			40.37			27.35			5.08			
90203	moyenne	26.8	45.9	67.5	81.7	79.6	67.9	56.4	52.3	38.1	10.2	3.8	7.6	537.7
	ecart-type	28.0	40.2	48.0	61.1	67.6	60.5	44.9	36.7	37.3	9.9	7.1	11.6	132.8
	Cv	1.05	0.88	0.71	0.75	0.85	0.89	0.80	0.70	0.98	0.97	1.85	1.53	0.25
	CMP %	4.98	8.53	12.55	15.19	14.80	12.64	10.49	9.73	7.09	1.89	0.71	1.41	
	CSP %	26.060			42.62			27.31			4.01			
90201	moyenne	20.4	35.5	51.9	59.7	51.4	68.6	50.8	42.6	32.9	7.0	5.4	3.2	429.4
	ecart-type	24.4	34.4	34.5	50.0	38.5	61.4	39.2	30.3	28.2	6.9	13.8	7.7	131.9
	Cv	1.20	0.97	0.67	0.84	0.75	0.89	0.77	0.71	0.86	0.99	2.57	2.42	0.31
	CMP %	4.76	8.27	12.08	13.90	11.97	15.99	11.83	9.93	7.65	1.63	1.25	0.74	
	CSP %	25.10			41.86			29.41			3.63			
90205	moyenne	19.2	26.0	30.6	39.8	41.9	39.2	31.6	33.4	32.6	6.6	4.7	6.0	311.6
	ecart-type	19.9	23.8	25.1	36.0	38.3	28.9	28.4	23.5	31.3	7.1	15.0	10.6	101.2
	Cv	1.04	0.92	0.82	0.90	0.91	0.74	0.90	0.70	0.96	1.07	3.17	1.77	0.32
	CMP %	6.18	8.33	9.81	12.78	13.44	12.58	10.13	10.72	10.47	2.13	1.51	1.92	
	CSP %	24.32			38.80			31.33			5.56			

Suite Tableau E.2

50103	moyenne	25.7	22.6	29.0	36.4	40.4	30.5	37.4	37.5	24.0	7.2	4.3	5.2	300.1
	ecart-type	30.0	20.2	20.9	26.5	40.8	26.0	33.9	23.0	21.1	9.6	9.4	10.0	106.8
	Cv	1.17	0.89	0.72	0.73	1.01	0.85	0.91	0.61	0.88	1.33	2.19	1.93	0.36
	CMP %	8.57	7.53	9.67	12.12	13.48	10.15	12.46	12.49	7.99	2.39	1.42	1.72	
	CSP %		25.78			35.75			32.94			5.53		
90301	moyenne	25.3	30.1	53.8	52.3	65.0	48.3	48.7	61.5	36.4	12.9	8.0	10.9	453.2
	ecart-type	23.3	21.5	39.5	41.3	50.0	40.9	47.0	43.1	34.3	13.9	15.5	12.7	100.0
	Cv	0.92	0.71	0.73	0.79	0.77	0.85	0.97	0.70	0.94	1.08	1.93	1.17	0.22
	CMP %	5.58	6.65	11.87	11.54	14.34	10.65	10.75	13.57	8.03	2.85	1.77	2.40	
	CSP %		24.09			36.53			32.35			7.02		
90314	moyenne	15.5	32.8	48.1	49.1	57.4	47.9	42.9	55.9	26.9	9.5	7.0	4.7	397.8
	ecart-type	15.6	34.1	38.6	42.3	45.6	36.2	51.1	46.5	31.6	9.3	12.1	10.2	151.5
	Cv	1.00	1.04	0.80	0.86	0.79	0.75	1.19	0.83	1.17	0.98	1.74	2.15	0.38
	CMP %	3.91	8.24	12.10	12.33	14.44	12.05	10.79	14.06	6.77	2.38	1.75	1.19	
	CSP %		24.25			38.82			31.61			5.32		
50102	moyenne	25.7	22.7	21.0	28.5	33.4	21.8	28.8	26.6	26.2	11.6	5.7	5.6	257.5
	ecart-type	30.2	23.3	14.9	32.5	29.0	20.9	31.4	18.9	30.0	15.8	12.0	7.8	79.7
	Cv	1.18	1.03	0.71	1.14	0.87	0.96	1.09	0.71	1.15	1.36	2.13	1.38	0.31
	CMP %	9.98	8.82	8.14	11.06	12.98	8.46	11.19	10.31	10.15	4.51	2.20	2.19	
	CSP %		26.94			32.51			31.65			8.90		
50101	moyenne	26.3	34.5	41.1	50.6	46.1	45.4	43.1	48.6	36.6	10.5	8.0	12.2	403.1
	ecart-type	25.3	21.2	24.5	48.7	40.5	31.3	34.7	28.8	31.9	7.9	16.6	12.6	95.3
	Cv	0.96	0.61	0.60	0.96	0.88	0.69	0.81	0.59	0.87	0.75	2.07	1.03	0.24
	CMP %	6.53	8.56	10.21	12.56	11.43	11.27	10.68	12.06	9.07	2.61	1.99	3.02	
	CSP %		25.31			35.26			31.82			7.62		
90104	moyenne	23.6	31.0	33.4	40.2	43.0	35.3	34.7	41.0	36.3	9.1	8.8	9.9	346.2
	ecart-type	26.0	23.1	25.1	35.7	35.3	25.4	29.2	27.0	34.7	7.5	19.2	11.3	81.0
	Cv	1.10	0.75	0.75	0.89	0.82	0.72	0.84	0.66	0.96	0.83	2.18	1.14	0.23
	CMP %	6.81	8.94	9.65	11.62	12.43	10.19	10.02	11.83	10.47	2.62	2.54	2.86	
	CSP %		25.41			34.24			32.33			8.02		
90510	moyenne	27.6	66.8	96.4	91.3	88.2	77.7	60.3	58.9	39.4	9.1	4.1	8.4	628.1
	ecart-type	27.3	43.8	65.8	56.3	47.5	56.2	46.6	34.6	42.9	12.9	8.1	15.8	118.6
	Cv	0.99	0.66	0.68	0.62	0.54	0.72	0.77	0.59	1.09	1.41	2.00	1.88	0.19
	CMP %	4.39	10.64	15.35	14.53	14.04	12.37	9.60	9.37	6.28	1.46	0.64	1.34	
	CSP %		30.38			40.93			25.25			3.44		
90512	moyenne	28.0	60.3	86.0	96.7	93.6	82.4	74.3	64.2	50.1	9.5	4.6	5.5	655.4
	ecart-type	22.9	42.2	58.2	72.4	53.1	58.1	58.0	40.9	45.5	11.3	9.1	8.4	137.7
	Cv	0.82	0.70	0.68	0.75	0.57	0.70	0.78	0.64	0.91	1.19	1.96	1.51	0.21
	CMP %	4.28	9.21	13.11	14.76	14.28	12.58	11.34	9.80	7.64	1.46	0.70	0.85	
	CSP %		26.60			41.62			28.78			3.01		
90401	moyenne	19.6	29.1	43.9	47.5	43.4	40.2	33.7	39.3	30.1	7.6	1.8	5.2	341.3
	ecart-type	21.6	27.2	35.5	41.8	41.1	41.2	33.3	29.2	31.4	13.8	4.5	8.4	110.5
	Cv	1.10	0.94	0.81	0.88	0.95	1.03	0.99	0.74	1.04	1.82	2.58	1.61	0.32
	CMP %	5.73	8.52	12.86	13.91	12.72	11.78	9.88	11.51	8.83	2.22	0.51	1.53	
	CSP %		27.12			38.40			30.22			4.27		
90506	moyenne	30.6	62.4	86.0	96.1	92.8	89.9	82.2	74.5	53.2	9.3	23.6	5.3	705.8
	ecart-type	25.5	43.7	56.9	73.1	55.9	64.2	64.4	43.6	49.6	9.2	96.4	7.2	190.4
	Cv	0.83	0.70	0.66	0.76	0.60	0.71	0.78	0.58	0.93	1.00	4.09	1.35	0.27
	CMP %	4.33	8.84	12.18	13.62	13.15	12.74	11.64	10.56	7.54	1.31	3.34	0.76	
	CSP %		25.35			39.51			29.74			5.41		

Tableau E.3 : Caractéristiques des séries de données pluviométriques utilisées pour le bassin de Tafna

Code	Caract.	sept	oct	nov	Dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Annuel
160501	moyenne	10.9	16.0	25.2	25.3	26.1	34.6	34.2	23.1	19.1	3.9	0.7	2.2	221.4
	Ecart-type	12.0	19.0	25.1	30.3	20.7	26.6	33.3	24.4	20.2	8.5	1.6	5.6	83.5
	Cv	1.10	1.19	1.00	1.20	0.79	0.77	0.97	1.06	1.05	2.19	2.39	2.54	0.38
	CMP %	4.94	7.23	11.36	11.44	11.80	15.64	15.47	10.43	8.63	1.75	0.31	1.00	
	CSP %	23.53			38.88			34.52			3.07			
160715	moyenne	17.5	24.8	48.3	42.9	50.0	56.5	59.2	42.2	38.2	6.8	2.9	4.1	393.4
	Ecart-type	17.7	22.0	31.7	41.6	39.3	39.1	53.7	39.4	34.4	10.9	5.7	5.1	94.8
	Cv	1.01	0.89	0.65	0.97	0.79	0.69	0.91	0.93	0.90	1.61	1.98	1.25	0.24
	CMP %	4.45	6.31	12.29	10.89	12.70	14.37	15.04	10.73	9.70	1.72	0.74	1.05	
	CSP %	23.05			37.97			35.47			3.51			
160406	moyenne	9.8	22.4	37.8	44.1	54.0	55.5	57.8	40.1	32.5	10.7	4.1	4.0	372.6
	Ecart-type	10.8	23.4	25.8	46.5	39.8	50.6	62.1	44.0	35.3	29.6	8.9	6.1	138.3
	Cv	1.11	1.05	0.68	1.05	0.74	0.91	1.08	1.10	1.09	2.77	2.17	1.52	0.37
	CMP %	2.62	6.00	10.14	11.84	14.48	14.90	15.50	10.76	8.71	2.87	1.10	1.08	
	CSP %	18.77			41.22			34.97			5.04			
160410	moyenne	11.9	24.7	44.4	45.5	51.7	51.1	42.7	32.5	32.3	11.4	4.3	4.0	356.4
	Ecart-type	11.3	24.7	32.2	37.8	43.7	42.7	36.9	25.1	26.9	18.7	7.8	6.1	98.7
	Cv	0.95	1.00	0.72	0.83	0.84	0.84	0.86	0.77	0.83	1.64	1.80	1.53	0.28
	CMP %	3.34	6.92	12.47	12.76	14.51	14.34	11.98	9.11	9.06	3.20	1.21	1.12	
	CSP %	22.73			41.60			30.14			5.53			
160701	moyenne	15.9	35.1	69.2	64.6	79.8	80.6	94.3	55.5	58.7	10.8	4.9	6.4	575.6
	Ecart-type	14.4	32.2	46.2	48.4	59.9	63.9	89.8	36.9	47.8	14.5	12.7	9.9	134.6
	Cv	0.90	0.92	0.67	0.75	0.75	0.79	0.95	0.66	0.81	1.35	2.60	1.55	0.23
	CMP %	2.77	6.10	12.02	11.22	13.86	14.01	16.38	9.64	10.19	1.87	0.85	1.11	
	CSP %	20.88			39.08			36.21			3.83			
160507	moyenne	17.2	35.0	63.5	59.3	69.5	63.0	79.0	53.2	56.0	10.1	4.7	4.3	514.6
	Ecart-type	15.2	31.7	38.8	46.9	48.6	49.7	73.0	37.9	42.9	14.5	11.8	5.5	115.4
	Cv	0.89	0.90	0.61	0.79	0.70	0.79	0.92	0.71	0.77	1.44	2.53	1.29	0.22
	CMP %	3.33	6.80	12.35	11.52	13.50	12.24	15.35	10.34	10.87	1.96	0.91	0.83	
	CSP %	22.48			37.26			36.56			3.70			
160303	moyenne	9.4	20.8	30.0	27.0	27.5	34.2	35.4	28.3	22.0	5.5	1.3	2.9	244.1
	Ecart-type	13.1	28.8	27.6	27.1	21.5	24.0	32.8	24.8	20.0	15.1	2.3	5.8	78.6
	Cv	1.40	1.39	0.92	1.00	0.78	0.70	0.93	0.88	0.91	2.76	1.75	2.02	0.32
	CMP %	3.83	8.51	12.27	11.06	11.28	14.00	14.52	11.58	9.01	2.24	0.52	1.18	
	CSP %	24.61			36.34			35.11			3.94			
160401	moyenne	18.4	25.6	42.8	45.2	47.2	52.3	52.5	31.2	34.3	12.0	5.7	6.9	373.9
	Ecart-type	20.6	24.5	31.5	33.7	38.8	42.7	50.8	23.2	28.3	21.4	12.0	7.4	118.5
	Cv	1.12	0.96	0.74	0.75	0.82	0.82	0.97	0.74	0.82	1.78	2.10	1.07	0.32
	CMP %	4.93	6.85	11.43	12.08	12.63	13.98	14.03	8.35	9.16	3.20	1.53	1.83	
	CSP %	23.21			38.68			31.54			6.57			
160403	moyenne	14.9	22.3	47.1	49.8	54.8	56.1	62.4	36.2	35.4	8.7	4.1	4.7	396.3
	Ecart-type	14.3	22.2	29.8	54.4	45.7	40.3	65.1	26.0	34.2	19.8	6.7	8.0	105.3
	Cv	0.96	1.00	0.63	1.09	0.84	0.72	1.04	0.72	0.97	2.27	1.65	1.70	0.27
	CMP %	3.77	5.62	11.89	12.56	13.82	14.15	15.74	9.12	8.93	2.20	1.03	1.18	
	CSP %	21.28			40.52			33.78			4.41			
160502	moyenne	13.0	23.8	42.2	43.4	44.3	55.5	58.8	44.0	38.8	4.8	1.7	1.7	371.9
	Ecart-type	12.9	23.6	34.0	48.1	37.9	36.8	61.9	39.0	35.8	10.4	5.0	4.7	71.2
	Cv	0.99	0.99	0.81	1.11	0.86	0.66	1.05	0.89	0.92	2.16	2.91	2.84	0.19
	CMP %	3.49	6.41	11.33	11.66	11.91	14.93	15.82	11.82	10.44	1.29	0.46	0.44	
	CSP %	21.23			38.50			38.07			2.19			

Suite Tableau E.4

160517	moyenne	10.3	18.4	28.2	30.7	32.2	33.5	42.3	24.5	25.5	8.8	4.8	4.4	172.3
	Ecart-type	7.1	13.3	22.6	23.6	26.4	26.9	33.8	19.2	20.4	6.5	3.7	2.6	191.6
	Cv	0.69	0.72	0.80	0.77	0.82	0.80	0.80	0.79	0.80	0.73	0.78	0.61	1.11
	CMP %	5.98	10.68	16.37	17.82	18.69	19.44	24.55	14.22	14.80	5.11	2.79	2.55	
	CSP %		21.58			36.57			35.01			6.83		
160702	moyenne	16.7	21.3	43.8	44.6	49.2	59.0	49.6	35.2	29.1	4.6	2.5	3.2	358.8
	Ecart-type	23.6	26.5	32.1	35.4	42.0	47.4	41.4	26.0	28.4	10.0	6.4	5.4	78.9
	Cv	1.41	1.25	0.73	0.79	0.85	0.80	0.84	0.74	0.97	2.19	2.56	1.67	0.22
	CMP %	4.65	5.94	12.21	12.43	13.71	16.44	13.82	9.81	8.11	1.28	0.70	0.89	
	CSP %		22.80			42.59			31.74			2.87		
160802	moyenne	11.4	22.5	42.7	35.9	42.4	45.8	44.9	28.0	24.2	5.0	0.8	1.7	305.3
	Ecart-type	12.6	24.3	33.8	36.2	35.7	39.7	34.8	25.0	23.6	12.8	1.6	5.0	84.7
	Cv	1.11	1.08	0.79	1.01	0.84	0.87	0.77	0.89	0.98	2.55	2.05	2.93	0.28
	CMP %	3.72	7.37	13.98	11.77	13.88	15.01	14.71	9.18	7.93	1.64	0.26	0.56	
	CSP %		25.06			40.66			31.81			2.46		
160610	moyenne	14.6	23.2	38.5	41.9	45.9	50.6	50.4	31.5	29.1	8.0	2.2	3.0	336.8
	Ecart-type	16.7	25.5	26.4	35.4	32.9	45.0	45.9	21.4	26.8	17.2	4.8	7.5	91.2
	Cv	1.14	1.10	0.69	0.85	0.72	0.89	0.91	0.68	0.92	2.14	2.15	2.48	0.27
	CMP %	4.33	6.87	11.43	12.44	13.62	15.02	14.97	9.34	8.65	2.39	0.66	0.90	
	CSP %		22.49			40.83			32.75			3.93		
160601	moyenne	16.5	29.6	44.9	46.1	52.1	58.3	58.1	37.4	37.7	8.9	6.3	4.7	400.7
	Ecart-type	14.0	25.4	29.2	36.7	42.3	50.9	52.0	25.0	30.5	9.6	15.8	7.6	97.3
	Cv	0.85	0.86	0.65	0.80	0.81	0.87	0.89	0.67	0.81	1.08	2.49	1.61	0.24
	CMP %	4.11	7.40	11.21	11.50	13.01	14.54	14.50	9.33	9.42	2.22	1.58	1.18	
	CSP %		22.72			39.05			33.25			4.99		
160407	moyenne	11.8	19.6	29.4	33.1	32.9	42.4	40.1	29.0	25.8	8.4	1.6	2.5	276.7
	Ecart-type	15.6	20.9	27.8	38.8	25.3	30.4	41.5	27.1	21.9	20.6	3.2	4.3	85.1
	Cv	1.32	1.07	0.95	1.17	0.77	0.72	1.04	0.93	0.85	2.44	1.97	1.72	0.31
	CMP %	4.27	7.08	10.63	11.96	11.89	15.33	14.48	10.48	9.34	3.05	0.59	0.91	
	CSP %		21.98			39.17			34.29			4.55		
160518	moyenne	11.7	16.0	34.8	30.5	36.1	44.7	37.6	24.9	21.9	4.7	0.9	2.0	265.6
	Ecart-type	12.2	19.9	26.0	39.4	26.5	32.5	32.4	25.7	23.6	12.7	2.6	5.7	78.8
	Cv	1.04	1.24	0.75	1.29	0.73	0.73	0.86	1.03	1.07	2.72	2.99	2.95	0.30
	CMP %	4.40	6.01	13.10	11.47	13.58	16.84	14.14	9.39	8.26	1.75	0.33	0.73	
	CSP %		23.51			41.89			31.79			2.82		
160602	moyenne	19.3	28.6	46.0	41.7	49.1	54.4	55.3	35.6	32.5	8.5	5.7	9.1	385.9
	Ecart-type	17.8	24.5	32.4	30.4	41.7	47.7	54.8	26.2	31.3	10.3	11.6	14.3	113.4
	Cv	0.92	0.86	0.70	0.73	0.85	0.88	0.99	0.74	0.96	1.20	2.03	1.57	0.29
	CMP %	5.00	7.42	11.91	10.81	12.73	14.10	14.33	9.21	8.43	2.21	1.47	2.37	
	CSP %		24.33			37.64			31.98			6.05		

CMP : coefficient mensuel de pluie ;

CSP : Coefficient saisonnier de pluie.

APPENDICE F

Valeurs des paramètres : μ , σ et u pour le calcul d'un quantile donné

Tableau F.1 : Fréquence au non dépassement de la variable réduite de Gauss u

u	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8483	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9013
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9662	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

La table correspond aux valeurs de u positive, si u est négatif, la probabilité au non-dépassement est le complément à 1 de $F(|u|)$.

Tableau F.2 : Paramètres des lois Normal et Lognormale des stations utilisées

Bassin Seybouse				Bassin Isser				Bassin Tafna			
Code	Loi	μ	σ	Code	Loi	μ	σ	Code	Loi	μ	σ
030903	N	662.5	148.25	150101	N	403.0	95.31	160501	N	221.3	83.51
	LN	6.4	0.23		LN	5.9	0.27		LN	5.3	0.44
031105	N	687.4	183.38	050102	N	257.5	79.69	160715	N	393.3	94.81
	LN	6.5	0.27		LN	5.5	0.36		LN	5.9	0.26
070707	N	400.1	96.78	050103	N	300.0	106.83	160406	N	372.6	138.32
	LN	5.9	0.24		LN	5.6	0.45		LN	5.8	0.40
120103	N	965.1	278.39	090104	N	346.1	81.00	160410	N	356.4	98.65
	LN	6.8	0.38		LN	5.8	0.24		LN	5.8	0.26
120403	N	332.7	112.26	090201	N	429.3	131.94	160701	N	575.5	134.64
	LN	5.7	0.36		LN	6.0	0.30		LN	6.3	0.23
140104	N	353.9	104.62	090203	N	537.7	132.78	160507	N	514.6	115.39
	LN	5.8	0.30		LN	6.2	0.26		LN	6.2	0.23
140105	N	299.4	97.87	090205	N	311.5	101.24	160303	N	244.0	78.56
	LN	5.6	0.33		LN	5.6	0.40		LN	5.4	0.33
140205	N	512.9	198.78	090301	N	453.2	100.03	160401	N	373.9	118.50
	LN	6.1	0.44		LN	6.0	0.23		LN	5.8	0.30
140302	N	506.8	158.23	090302	N	257.5	79.69	160403	N	396.3	105.27
	LN	6.1	0.43		LN	5.5	0.36		LN	5.9	0.28
140403	N	597.3	156.63	090304	N	451.5	118.36	160601	N	400.7	97.34
	LN	6.3	0.28		LN	6.0	0.27		LN	5.9	0.25
140412	N	532.0	128.88	090314	N	397.7	151.45	160407	N	276.6	85.07
	LN	6.2	0.26		LN	5.9	0.37		LN	5.5	0.31
140502	N	941.3	402.38	090401	N	341.2	110.46	160518	N	265.6	78.77
	LN	6.7	0.47		LN	5.7	0.39		LN	5.5	0.29
140505	N	534.3	136.68	090402	N	482.1	123.20	160602	N	385.9	113.35
	LN	6.2	0.25		LN	6.1	0.27		LN	5.9	0.28
140606	N	610.9	132.56	090403	N	520.5	126.10	160502	N	371.9	71.16
	LN	6.3	0.22		LN	6.2	0.26		LN	5.9	0.20
140609	N	565.8	141.55	090413	N	407.2	128.19	160517	N	400.8	100.61
	LN	6.3	0.26		LN	5.9	0.33		LN	5.9	0.26
140611	N	555.1	156.15	090502	N	661.5	148.28	160702	N	358.7	78.94
	LN	6.2	0.32		LN	6.4	0.24		LN	5.8	0.23
140631	N	595.7	137.90	90503	N	717.6	163.28	160802	N	1423.5	5471.63
	LN	6.3	0.23		LN	6.5	0.25		LN	5.8	0.97
				090506	N	705.7	190.41	160610	N	336.7	91.21
					LN	6.5	0.25		LN	5.7	0.27
				090510	N	628.1	118.64				
					LN	6.4	0.20				
				090512	N	630.4	136.63				
					LN	6.4	0.24				

N : loi Normale ;
LN : Loi lognormale.

APPENDICE G

Calcul de $Q_{\max, \text{inst}}$ par la méthode de l'hydrogramme synthétique

Tableau G.1 : Calcul de Q_{\max} produit par une pluie brute Gumbel et une pluie efficace calculée selon recommandations de Ouazar

T = 10 ans							T = 100 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10 ans	Déficit d'écoult. D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m3/s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	100 ans	Déficit d'écoult. D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m3/s)
1	32.01	18.2	9.4	8.8	8.8	78.03	1	32.01	24.9	12.9	12.0	12.0	106.71
2	127.51	23.8	11.7	12.1	6.1	214.62	2	127.51	32.6	15.2	17.4	8.7	308.68
3	227.71	27.9	14.0	13.9	4.6	293.08	3	227.71	38.2	17.5	20.7	6.9	436.87
4	406.01	31.2	16.3	14.9	3.7	420.49	4	406.01	42.8	19.8	23.0	5.7	647.31
5	589.41	34.1	18.6	15.5	3.1	505.98	5	589.41	46.6	22.1	24.5	4.9	803.76
6	764.11	36.6	20.9	15.7	2.6	554.04	6	764.11	50.1	24.4	25.7	4.3	908.57
7	1133.61	38.8	23.2	15.6	2.2	703.00	7	1133.61	53.2	26.7	26.5	3.8	1191.50
8	1454.81	40.9	25.5	15.4	1.9	778.09	8	1454.81	56.0	29.0	27.0	3.4	1365.40
9	1911.11	42.8	27.8	15.0	1.7	886.33	9	1911.11	58.7	31.3	27.4	3.0	1614.05
10	2256.21	44.6	30.1	14.5	1.5	910.20	10	2256.21	61.1	33.6	27.5	2.8	1725.04
11	2657.51	46.3	32.4	13.9	1.3	933.70	11	2657.51	63.4	35.9	27.5	2.5	1848.14
12	2943.91	47.9	34.7	13.2	1.1	900.34	12	2943.91	65.6	38.2	27.4	2.3	1869.19
13	3223.21	49.4	37.0	12.4	1.0	856.17	13	3223.21	67.7	40.5	27.2	2.1	1874.02
14	3463.31	50.9	39.3	11.6	0.8	795.80	14	3463.31	69.7	42.8	26.9	1.9	1848.18
15	3627.73	52.3	41.6	10.7	0.7	716.73	15	3627.73	71.6	45.1	26.5	1.8	1780.04

T = 1000 ans							T = 10000 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	1000 ans	Déficit d'écoult. D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m3/s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10000 ans	Déficit d'écoult. D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m3/s)
1	32.01	31.6	16.4	15.2	15.2	135.25	1	32.01	38.2	19.8	18.4	18.4	163.79
2	127.51	41.4	18.7	22.7	11.4	402.13	2	127.51	50.1	22.1	28.0	14.0	495.58
3	227.71	48.4	21.0	27.5	9.2	579.65	3	227.71	58.7	24.4	34.3	11.4	722.42
4	406.01	54.2	23.3	30.9	7.7	872.46	4	406.01	65.6	26.7	38.9	9.7	1097.60
5	589.41	59.1	25.6	33.6	6.7	1099.29	5	589.41	71.6	29.0	42.6	8.5	1394.81
6	764.11	63.5	27.9	35.6	5.9	1260.36	6	764.11	76.9	31.3	45.6	7.6	1612.15
7	1133.61	67.4	30.2	37.3	5.3	1676.18	7	1133.61	81.6	33.6	48.0	6.9	2160.86
8	1454.81	71.0	32.5	38.6	4.8	1948.07	8	1454.81	86.0	35.9	50.1	6.3	2530.75
9	1911.11	74.4	34.8	39.6	4.4	2335.98	9	1911.11	90.0	38.2	51.8	5.8	3057.91
10	2256.21	77.5	37.1	40.4	4.0	2533.34	10	2256.21	93.8	40.5	53.3	5.3	3341.65
11	2657.51	80.4	39.4	41.1	3.7	2755.21	11	2657.51	97.4	42.8	54.6	5.0	3662.27
12	2943.91	83.2	41.7	41.5	3.5	2830.18	12	2943.91	100.7	45.1	55.6	4.6	3791.18
13	3223.21	85.8	44.0	41.9	3.2	2883.58	13	3223.21	103.9	47.4	56.5	4.3	3893.15
14	3463.31	88.3	46.3	42.1	3.0	2891.95	14	3463.31	107.0	49.7	57.3	4.1	3935.72
15	3627.73	90.7	48.6	42.2	2.8	2834.63	15	3627.73	109.9	52.0	57.9	3.9	3889.21

Tableau G.2 : Calcul de Q_{\max} produit par une pluie brute Lognormal et une pluie efficace calculée selon recommandations de Ouazar

T = 10 ans							T = 100 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	100 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)
1	32.01	17.3	9.0	8.3	8.3	74.20	1	32.01	22.2	11.5	10.7	10.7	94.92
2	127.51	22.7	11.3	11.4	5.7	202.23	2	127.51	29.0	13.8	15.3	7.6	270.08
3	227.71	26.6	13.6	13.0	4.3	274.23	3	227.71	34.0	16.1	17.9	6.0	377.90
4	406.01	29.7	15.9	13.9	3.5	390.84	4	406.01	38.0	18.4	19.7	4.9	554.31
5	589.41	32.4	18.2	14.3	2.9	467.12	5	589.41	41.5	20.7	20.8	4.2	681.69
6	764.11	34.8	20.5	14.4	2.4	507.83	6	764.11	44.6	23.0	21.6	3.6	763.26
7	1133.61	37.0	22.8	14.2	2.0	639.38	7	1133.61	47.3	25.3	22.0	3.1	991.30
8	1454.81	39.0	25.1	13.9	1.7	701.67	8	1454.81	49.8	27.6	22.3	2.8	1124.73
9	1911.11	40.8	27.4	13.4	1.5	791.69	9	1911.11	52.2	29.9	22.3	2.5	1315.87
10	2256.21	42.5	29.7	12.8	1.3	804.27	10	2256.21	54.4	32.2	22.2	2.2	1391.17
11	2657.51	44.1	32.0	12.1	1.1	814.87	11	2657.51	56.4	34.5	22.0	2.0	1473.48
12	2943.91	45.6	34.3	11.4	0.9	774.49	12	2943.91	58.4	36.8	21.6	1.8	1472.26
13	3223.21	47.1	36.6	10.5	0.8	724.00	13	3223.21	60.2	39.1	21.2	1.6	1457.03
14	3463.31	48.5	38.9	9.6	0.7	659.19	14	3463.31	62.0	41.4	20.6	1.5	1417.05
15	3627.73	49.8	41.2	8.6	0.6	578.73	15	3627.73	63.7	43.7	20.0	1.3	1344.45

T = 1000 ans							T = 10000 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	1000 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10000 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)
1	32.01	26.5	13.7	12.8	12.8	113.66	1	32.01	30.7	15.9	14.8	14.8	131.52
2	127.51	34.8	16.0	18.7	9.4	331.43	2	127.51	40.2	18.2	22.0	11.0	389.94
3	227.71	40.7	18.3	22.4	7.5	471.63	3	227.71	47.1	20.5	26.6	8.9	561.02
4	406.01	45.5	20.6	24.9	6.2	702.13	4	406.01	52.7	22.8	29.9	7.5	843.09
5	589.41	49.7	22.9	26.7	5.3	875.71	5	589.41	57.5	25.1	32.4	6.5	1060.74
6	764.11	53.3	25.2	28.1	4.7	994.22	6	764.11	61.7	27.4	34.3	5.7	1214.47
7	1133.61	56.7	27.5	29.1	4.2	1309.51	7	1133.61	65.6	29.7	35.9	5.1	1612.96
8	1454.81	59.7	29.8	29.8	3.7	1507.27	8	1454.81	69.1	32.0	37.1	4.6	1872.07
9	1911.11	62.5	32.1	30.3	3.4	1789.83	9	1911.11	72.3	34.3	38.0	4.2	2241.82
10	2256.21	65.1	34.4	30.7	3.1	1921.84	10	2256.21	75.3	36.6	38.7	3.9	2427.91
11	2657.51	67.6	36.7	30.8	2.8	2068.99	11	2657.51	78.2	38.9	39.3	3.6	2636.89
12	2943.91	69.9	39.0	30.9	2.6	2103.17	12	2943.91	80.9	41.2	39.7	3.3	2704.84
13	3223.21	72.1	41.3	30.8	2.4	2119.83	13	3223.21	83.5	43.5	40.0	3.1	2751.90
14	3463.31	74.2	43.6	30.6	2.2	2102.31	14	3463.31	85.9	45.8	40.1	2.9	2755.81
15	3627.73	76.3	45.9	30.3	2.0	2036.81	15	3627.73	88.2	48.1	40.1	2.7	2697.07

Tableau G.3 : Calcul de Q_{\max} produit par une pluie brute Gumbel et une pluie efficace calculée selon directives Coutagne

T = 10 ans							T = 100 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	100 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)
1	32.01	18.2	13.0	5.2	5.2	45.83	1	32.01	24.9	13.0	11.9	11.9	105.82
2	127.51	23.8	13.5	10.3	5.1	182.23	2	127.51	32.6	13.5	19.1	9.6	338.79
3	227.71	27.9	14.0	13.9	4.6	292.34	3	227.71	38.2	14.0	24.2	8.1	510.67
4	406.01	31.2	14.5	16.7	4.2	470.12	4	406.01	42.8	14.5	28.3	7.1	796.74
5	589.41	34.0	15.0	19.0	3.8	622.42	5	589.41	46.6	15.0	31.6	6.3	1036.25
6	764.11	36.5	15.5	21.0	3.5	743.39	6	764.11	50.1	15.5	34.6	5.8	1223.41
7	1133.61	38.8	16.0	22.8	3.3	1024.61	7	1133.61	53.2	16.0	37.2	5.3	1672.83
8	1454.81	40.8	16.5	24.3	3.0	1230.01	8	1454.81	56.0	16.5	39.5	4.9	1996.83
9	1911.11	42.8	17.0	25.8	2.9	1520.04	9	1911.11	58.7	17.0	41.7	4.6	2457.54
10	2256.21	44.6	17.5	27.1	2.7	1696.17	10	2256.21	61.1	17.5	43.6	4.4	2734.06
11	2657.51	46.3	18.0	28.3	2.6	1895.94	11	2657.51	63.4	18.0	45.4	4.1	3049.39
12	2943.91	47.8	18.5	29.3	2.4	1999.97	12	2943.91	65.6	18.5	47.1	3.9	3211.67
13	3223.21	49.4	19.0	30.4	2.3	2091.33	13	3223.21	67.7	19.0	48.7	3.7	3354.77
14	3463.31	50.8	19.5	31.3	2.2	2151.72	14	3463.31	69.7	19.5	50.2	3.6	3449.27
15	3627.73	52.2	20.0	32.2	2.1	2163.12	15	3627.73	71.6	20.0	51.6	3.4	3466.26

T = 1000 ans							T = 10000 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	1000 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10000 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)
1	32.01	31.6	13.0	18.6	18.6	165.03	1	32.01	38.2	13.0	25.2	25.2	224.25
2	127.51	41.4	13.5	27.9	13.9	493.33	2	127.51	50.1	13.5	36.6	18.3	647.88
3	227.71	48.4	14.0	34.4	11.5	726.18	3	227.71	58.7	14.0	44.7	14.9	941.70
4	406.01	54.2	14.5	39.7	9.9	1119.16	4	406.01	65.6	14.5	51.1	12.8	1441.59
5	589.41	59.1	15.0	44.1	8.8	1444.75	5	589.41	71.6	15.0	56.6	11.3	1853.24
6	764.11	63.5	15.5	48.0	8.0	1697.24	6	764.11	76.9	15.5	61.4	10.2	2171.08
7	1133.61	67.4	16.0	51.4	7.3	2312.71	7	1133.61	81.6	16.0	65.6	9.4	2952.59
8	1454.81	71.0	16.5	54.5	6.8	2753.78	8	1454.81	86.0	16.5	69.5	8.7	3510.72
9	1911.11	74.4	17.0	57.4	6.4	3382.96	9	1911.11	90.0	17.0	73.0	8.1	4308.39
10	2256.21	77.5	17.5	60.0	6.0	3758.59	10	2256.21	93.8	17.5	76.3	7.6	4783.11
11	2657.51	80.4	18.0	62.4	5.7	4187.98	11	2657.51	97.4	18.0	79.4	7.2	5326.57
12	2943.91	83.2	18.5	64.7	5.4	4407.76	12	2943.91	100.7	18.5	82.2	6.9	5603.86
13	3223.21	85.8	19.0	66.8	5.1	4601.94	13	3223.21	103.9	19.0	84.9	6.5	5849.11
14	3463.31	88.3	19.5	68.8	4.9	4730.12	14	3463.31	107.0	19.5	87.5	6.2	6010.96
15	3627.73	90.7	20.0	70.7	4.7	4752.62	15	3627.73	109.9	20.0	89.9	6.0	6038.98

Tableau G.4 : Calcul de Q_{\max} produit par une pluie brute Lognormal et une pluie efficace calculée selon directives de Coutagne

T = 10 ans							T = 100 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	100 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)
1	32.01	17.3	13.0	4.3	4.3	38.37	1	32.01	22.2	13.0	9.2	9.2	81.36
2	127.51	22.7	13.5	9.2	4.6	162.74	2	127.51	29.0	13.5	15.5	7.8	274.95
3	227.71	26.6	14.0	12.6	4.2	265.16	3	227.71	34.0	14.0	20.0	6.7	421.65
4	406.01	29.7	14.5	15.2	3.8	429.46	4	406.01	38.0	14.5	23.5	5.9	663.57
5	589.41	32.4	15.0	17.4	3.5	570.92	5	589.41	41.5	15.0	26.5	5.3	867.52
6	764.11	34.8	15.5	19.3	3.2	683.65	6	764.11	44.6	15.5	29.1	4.8	1027.69
7	1133.61	37.0	16.0	21.0	3.0	943.93	7	1133.61	47.3	16.0	31.3	4.5	1408.54
8	1454.81	39.0	16.5	22.5	2.8	1134.57	8	1454.81	49.8	16.5	33.3	4.2	1684.18
9	1911.11	40.8	17.0	23.8	2.6	1403.36	9	1911.11	52.2	17.0	35.2	3.9	2075.30
10	2256.21	42.5	17.5	25.0	2.5	1567.00	10	2256.21	54.4	17.5	36.9	3.7	2310.89
11	2657.51	44.1	18.0	26.1	2.4	1752.38	11	2657.51	56.4	18.0	38.4	3.5	2579.10
12	2943.91	45.6	18.5	27.1	2.3	1849.15	12	2943.91	58.4	18.5	39.9	3.3	2717.63
13	3223.21	47.1	19.0	28.1	2.2	1934.08	13	3223.21	60.2	19.0	41.2	3.2	2839.63
14	3463.31	48.5	19.5	29.0	2.1	1990.22	14	3463.31	62.0	19.5	42.5	3.0	2920.23
15	3627.73	49.8	20.0	29.8	2.0	2000.93	15	3627.73	63.7	20.0	43.7	2.9	2934.94

T = 1000 ans							T = 10000 ans						
Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	1000 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)	Temps (h)	Smax débitante (Km ²)	10000 ans	Déficit d'écoult D (mm)	Pluie efficace (mm)	leff (mm/h)	Qmax (m ³ /s)
1	32.01	26.5	13.0	13.5	13.5	120.24	1	32.01	30.7	13.0	17.7	17.7	157.31
2	127.51	34.8	13.5	21.3	10.6	376.42	2	127.51	40.2	13.5	26.7	13.4	473.18
3	227.71	40.7	14.0	26.7	8.9	563.14	3	227.71	47.1	14.0	33.1	11.0	698.07
4	406.01	45.5	14.5	31.0	7.8	875.25	4	406.01	52.7	14.5	38.2	9.6	1077.11
5	589.41	49.7	15.0	34.7	6.9	1135.71	5	589.41	57.5	15.0	42.5	8.5	1391.46
6	764.11	53.3	15.5	37.8	6.3	1338.78	6	764.11	61.7	15.5	46.2	7.7	1635.44
7	1133.61	56.7	16.0	40.7	5.8	1828.63	7	1133.61	65.6	16.0	49.6	7.1	2229.25
8	1454.81	59.7	16.5	43.2	5.4	2181.13	8	1454.81	69.1	16.5	52.6	6.6	2655.04
9	1911.11	62.5	17.0	45.5	5.1	2682.86	9	1911.11	72.3	17.0	55.3	6.1	3262.25
10	2256.21	65.1	17.5	47.6	4.8	2983.51	10	2256.21	75.3	17.5	57.8	5.8	3624.95
11	2657.51	67.6	18.0	49.6	4.5	3326.61	11	2657.51	78.2	18.0	60.2	5.5	4039.47
12	2943.91	69.9	18.5	51.4	4.3	3502.89	12	2943.91	80.9	18.5	62.4	5.2	4251.75
13	3223.21	72.1	19.0	53.1	4.1	3658.43	13	3223.21	83.5	19.0	64.5	5.0	4439.26
14	3463.31	74.2	19.5	54.7	3.9	3761.13	14	3463.31	85.9	19.5	66.4	4.7	4563.05
15	3627.73	76.3	20.0	56.3	3.8	3779.46	15	3627.73	88.2	20.0	68.2	4.5	4584.83

REFERENCES

- 1 ANRH, "Carte Pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500000", Agence Nationale des Ressources Hydriques, INCT, Alger, (1993).
- 2 Halitim, A., "Sols des régions arides d'Algérie", OPU, Alger, (1988), 384p.
- 3 ANRH, "Étude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord", Rapport d'étude (ANRH-GTZ), Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger, (2003).
- 4 Benslimane, M., Hamimed, A., El Zerey, W., Khaldi, A. et Mederbal, K., "Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord", *Vertigo*, V. 8, n° 3, (2008),1-9.
- 5 Ilmas, J., "Hydrologie générale. Principes et applications", 2^{ème} édition, Gaetan morin, Québec, (1993), 527 p.
- 6 Dubreuil, P., "Initiation à l'analyse hydrologique", Edition Masson et CIE, ORSTOM, Paris, (1974), 216 p.
- 7 Laborde, J.P., "Hydrologie de surface", Cours, Université de Nice – Sophia Antipolis, (2000), 191 p.
- 8 Gomer, D., "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, (1994), 137 p.
- 9 McDonald, et BNEDER, "Étude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhath Benziane et du réaménagement du Bas-Chélif, Bureau National d'Étude pour le Développement Rural, (1990).

- 10 Sogetha-Sogreath, "Étude méthodologique sur l'hydrologie des retenues collinaires et mise au point d'outils de calculs pratiques à l'usage des directions de l'hydraulique des Wilaya", Rapport définitif, Grenoble, France, (1962).
- 11 ANRH, "Étude du transport solide dans le Nord de l'Algérie", Rapport de l'agence nationale des ressources hydriques, Alger, (1970).
- 12 Bouanani, A., "Hydrologie, Transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassin de la Tafna. (N-W – Algérie)", Doctorat d'état, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, (2005), 360 p.
- 13 Roche, M., "Hydrologie de surface", Édition Gauthier-Villars, Paris, (1963), 431 p.
- 14 St-Hilaire, A., "Analyse fréquentielle des précipitations des stations de Montréal et Shawinigan", Rapport de recherche R832, INRS-ETE, (2005), 23 p.
- 15 Véron, R., "Dans quelle mesure et comment améliorer l'estimation des paramètres d'ajustement d'une loi normale suivie par la variable aléatoire Y s'il existe une corrélation entre cette variable Y et une autre variable aléatoire normale X pour laquelle on dispose d'informations plus nombreuses?", Note EDF, n° 13, HYD 60, (1960).
- 16 Serra, B.G., "Cours d'hydrologie", Cours magistral, Institut national agronomique El Harrach, Alger, (1979), 153 p.
- 17 Ghachi, A., "Hydrologie et utilisation de la ressource en eau : Bassin de la Seybouse", OPU, Alger, (1986), 508 p.
- 18 Achit, M. et Meddi, M., "Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride : Cas du bassin versant de l'oued Mina (Nord-Ouest algérien)", Revue des sciences de l'eau, V. 18, n° spécial 1, (2005), 37-56.
- 19 Wald, A., et Wolfowitz, J., "An exact test for randomness in the

- nonparametric case based on serial correlation”, *Annals of Mathematical Statistics*, V. 14, (1943), 378-388.
- 20 Wilcoxon, F., “Individual comparisons by ranking methods”, *Biometrics*, V. 1, (1945), 80-83.
- 21 Kendall, M.G., “Rank Correlation Methods”, Charles Griffin, London, (1975), 101 p.
- 22 Grubbs, F.E., “Sample criteria for testing outlying observations”, *Annals of Mathematical Statistics*, V. 21, (1950), 27–58.
- 23 Dautrebande, S., Pontégnie, D., Gailliez, S., Bazier, G., et Dewil, P., “Estimation des débits rares de crue pour les cours d’eau de la Région wallonne (Belgique)”, *La houille blanche*, V. 6, n° 6, (2006), 87-92, doi : 10.1051/lhb:2006106.
- 24 Chaumont, M. et Paquin, C., “Carte pluviométrique de l’Algérie à l’échelle 1/50 000”, *Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*, Alger, 4 feuilles, 1 notice, (1971).
- 25 Medinger, G., “Hauteurs de pluies en Algérie, moyenne 1913-1953 (recueil statistique)”, SES, Alger, (1956), 23 p.
- 26 Gausson, H., “Carte des précipitations de l’Algérie (moyenne 1918-47) à l’échelle 1/ 500 000”, 4 feuilles, IGN, Paris, (1948).
- 27 Seltzer, P., “Le climat de l’Algérie”, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, (1946), 219 p.
- 28 Cunnane, C., “Unbiased plotting positions- a review”, *Journal of Hydrology*, V. 37, 205-222.
- 197829 Ji, X., Jing, D., Shen, H.W. et Salas, J.D., “Plotting positions for Pearson type-III distribution”, *Hydrol.*, V. 74, (1984), 1-29.
- 30 Harter, H.L., “Another look at plotting positions”, *Commun. Akad., Handl.*

- Stockolrn. Stat. Theor. Meth., 13, (1984), 1613-1633.
- 31 Beard, L.R., "Statistical analysis in hydrology", Trans., ASCE, V. 108, (1943), 1110- 1160.
- 32 Weibull, W., "A statistical theory of strength of materials", Ing. Vetenskaps, (1939).
- 33 Benard, A. et Bos-Levenbach, E.C., "The plotting of observations on probability paper", Statistica Neerlandica, V. 7, (1953), 163-173.
- 34 Chow, V.T., "Handbook of applied hydrology", McGraw Hill, New York, N.Y., (1964), 231 p.
- 35 Gumbel, E.J., "Statistics of Extremes", Columbia University Press, New York, (1958), 371 p.
- 36 Hazen, A., "Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal watersupply", Trans., ASCE, V. 77, (1914), 1547-1550.
- 37 Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C., et Wallis, J.R., "Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressable in inverse form", Water Resources Research, V. 15, (1979), 1049–1054.
- 38 Côte, M., "Eau, environnement et développement au Maghreb, Annuaire de l'Afrique du Nord", tome 35, CNRS éditions, (1996), 104-114.
- 39 Arrus, R., "L'eau en Algérie. De l'impérialisme au développement (1830-1962)", OPU, Alger, (1985), 388 p.
- 40 Mebarki, A., "Hydrologie des bassins de l'est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement", Thèse de doctorat d'état, université de Constantine, (2005), 360 p.
- 41 Remini, B., "La problématique de l'eau en Algérie", 2^{ème} Édition, OPU, Alger, (2007), 161 p.

- 42 ANAT., "Plan d'aménagement et d'urbanisme du groupement Tlemcen-Chetouane-Mansourah", Phase I, Direction régionale Ouest, Tlemcen, (1994).
- 43 Bensaoula, F. et Collignon, B., "Évaluation des coûts de production de l'eau selon divers types d'ouvrages hydrauliques : les données récentes dans la Wilaya de Tlemcen", Colloque « Les ressources en eau et l'aménagement du territoire », Oran. (1986).
- 44 Adjim, H., "Évaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la Tafna, Approche pluviométrique", Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, (2004), 157 p.
- 45 Stromberg, D., "Natural disasters, economic development, and humanitarian aid", J. Econ. Perspect., V. 21, n° 3, (2007), 199-222.
- 46 Fréchet, M., "Sur la loi de probabilité de l'écart maximum", Annales de la Société polonaise de Mathématique, V. 6, (1927), 93-116.
- 47 Fisher, R.A., et Tippett, L.H.C., "Limiting Forms of the Frequency Distribution of the Largest or Smallest Member of a Sample", Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 24, (1928), 180-190.
- 48 Gnedenko, B.V., "Sur la distribution limite du terme maximum d'une série aléatoire", Annals of Mathematics, V. 44, (1943), 423-453.
- 49 Gumbel, E.J., "On the Frequency Distribution of Extreme Values in Meteorological Data", Bull. Am. Meteor. Soc., V. 23, (1942), 95-104.
- 50 Gumbel, E.J., "Statistical theory of extremes values and some practical applications", Journal of the Royal Statistical Society, Serie A, V. 119, n° 1, (1955), 106.
- 51 Embrechts, P., Klüppelberg, C. et Mikosh, T., "Modelling extremal events", Springer-Verlag, Berlin, (1997), 648 p.

- 52 Katz, R.W., Parlange, M. B., et Naveau, P., "Statistics of extremes in hydrology", *Advances in Water Resources*, V. 25, (2002), 1287-1304.
- 53 Beirlant, J., Goegebeur, Y., Segers, J., et Teugels, J., "Statistics of Extremes: Theory and Applications", Wiley Series in Probability and Statistics, Wiley, (2004), 490 p.
- 54 Malamud, B.D., et Turcotte, D.L., "The applicability of power-law frequency statistics to floods", *Journal of Hydrology*, V. 322, (2006), 168-180.
- 55 El Adlouni, S., Bobée, B., et Ouarda, T. B.M.J., "On the tails of extreme event distributions in hydrology", *Journal of hydrology*, V. 355, (2008), 16-33. doi :10.1016/j.jhydrol.2008.02.011.
- 56 Meylan, P. et Musy, A., "Hydrologie fréquentielle. Gestion et protection de la ressource en eau", office fédéral de l'éducation et de la science Suisse, Editions HGA, Bucarest, (1999), 324 p.
- 57 Benson, M.A., "Uniform flood-frequency estimating methods for federal agencies", *Water Resources Research*, V. 4, n° 5, (1968), 891-908.
- 58 US Water Resources Council., "Guideline for Determining Flood Flow Frequency", Bulletin 17 B of the hydrology Committee, Washington DC, (1981).
- 59 Robson, A., et Reed, D.W., "Flood Estimation Handbook", *Statistical Procedures for Flood Frequency Estimation*, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, V. 3, (1999).
- 60 Wallis, J.R., "Catastrophes, computing, and containment: living in our restless habitat", *Speculation in Science and Technology*, V. 2, n°4, (1988), 295-315.
- 61 Schwarz, G., "Estimating the dimension of a model", *Annals of Statistics*, V. 6, (1978), 461-464.

- 62 Hurvich, C.M., et Tsai, C.L., "Model selection for extended quasi-likelihood models in small samples", *Biometrics*, V. 51, (1995), 1077-1084.
- 63 Lebarbier, E., et Mary-Huard, T., "Une introduction au critère BIC : fondements théoriques et interprétation", *Journal de la société française de statistique*, V. 147, n° 1, (2006), 39-57.
- 64 Achite, M. et Meddi, M., "Analyse fréquentielle de précipitations maximales annuelles en zone semi-aride : Cas du bassin versant de l'oued Mina (Algérie)", *Colloque international sur l'eau et l'environnement*, ENSH, Alger, (2004), 214-222.
- 65 Von Mises, R., "La distribution de la plus grande de n valeurs", In *Selected Papers*, American Mathematical Society, Providence, RI. 2, (1954), 271-294.
- 66 Jenkinson, A.F., "The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, V. 81, (1955), 158-171.
- 67 Girard, S., "Introduction à la statistique des valeurs extrêmes", INRIA Rhône-Alpes, projet Mistis, (2007), 48 p.
- 68 Pickands, J., "Statistical inference using extreme order statistics", *The Annals of statistics*, V. 3, (1975), 119-131.
- 69 Ouarda, T.B.M.J., Ashkar, F., Bensaid, E. et Hourani, I., "Statistical distributions used in hydrology, Transformations and asymptotic properties", *Scientific Report STAT-13*, Department of Mathematics, University of Moncton, N.B., Canada, (1994), 31 p.
- 70 Lebel, T., et Boyer, J.F., "DIXLOI : Un ensemble de programmes pour l'ajustement des lois statistiques et leur représentation graphique", ORSTOM, (1989).
- 71 Hill, B.M., "A simple general approach to inference about the tail of a

- distribution”, *Annals of Statistics*, V. 3, (1975), 1163-1174.
- 72 Jackson, O.A.Y., “An analysis of departures from the exponential distribution”, *Journal of the Royal Statistical Society B*, V. 29, (1967), 540-549.
- 73 Garrido, M., “Modélisation des évènements rares et estimations des quantiles extrêmes, Méthode de sélection de modèles pour les queues de distribution”, Thèse de doctorat, Université Grenoble 1, (2002).
- 74 Beirlant, J., De Wet, T. et Goegebeur, Y., “A goodness-of-fit statistic for Pareto-type behaviour”, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, V. 186, (2006), 99-116.
- 75 Kottegodda, N.T., “Stochastic Water Resources Technology”, The MacMillan Press Ltd, London, (1980), 185 p.
- 76 Hosking, J.R.M., “L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics”, *Journal of the Royal Statistical Society, B*, V. 52, (1990), 105-124.
- 77 Hosking, J.R.M. et Wallis, J.R., “Regional frequency analysis: an approach based on L-moments”, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., (1997), 112 p.
- 78 Vogel, R.M., et Fennessey, N.M., “L Moment Diagrams should replace Product Moment Diagrams”, *Water Resources Research*, V. 29, n° 6, (1993), 1745-1752.
- 79 Matheron, G., “Estimer et choisir”, *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 7*, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre de Géostatistique, Fontainebleau, (1978).
- 80 Hosking, J.M.R. et Wallis, J.R., “Some statistics useful in regional frequency analysis”, *Water Resources Research*, V. 29, n° 2, (1993), 271-281.

- 81 NERC, (Natural Environment Research Council)., "Flood studies report", Hydrological studies, V. 1, London, (1975).
- 82 Akaike, H., "A new look at statistical model identification", IEEE Transactions on Automatic Control., AU, V. 19, (1974), 716-722.
- 83 Rissanen, J., "Modelling by the shortest data description", Automatica, V. 14, (1978), 465-471.
- 84 Mallows, C.L., "Some comments on Cp", Technometrics, V. 15, (1974), 661-675.
- 85 Sugiura, A., "Further analysis of the data by akaike's information criterion and the finite corrections", Communications in Statistics, Theory and methods, A7, (1978), 13-26.
- 86 Ronchetti, M., "Robust model selection in regression" Statis. Probab. Lett., V. 3, (1985), 21-23.
- 87 Burnham, K.P. et Anderson, D., "Model selection and multi-model inference", Springer-Verlag, New York, (2002), 140 p.
- 88 Shi, P. et Tsai, C.L., "A note on the unification of the akaike information criterion", J.R. Statist. Soc., B, V. 60, (1998), 551-558.
- 89 Ripley, B.D., "Model selection in complex classes of models", (2003). <http://web.maths.unsw.edu.au/~inge/statlearn/ripley1.pdf>
- 90 Ribatet, M., "Consolidation de l'information hydrologique disponible localement et régionalement pour l'estimation probabiliste du régime des crues", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, (2007).
- 91 Perreault, L., et Bobée, B., "Loi généralisée des valeurs extrêmes, Propriétés mathématiques et statistiques, Estimation des paramètres et des quantiles XT de période de retour T", Rapport de recherche N° 350, INRS-Eau, Université du Québec, (1992a).

- 92 Perreault, L., et Bobée, B., "Loi Weibull à deux paramètres, Propriétés mathématiques et statistiques, Estimation des paramètres et des quantiles XT de période de retour T", Rapport de recherche N° 351, INRS-Eau, Université du Québec, (1992b).
- 93 Perreault, L. Bobée, B., et Rasmussen, P., "Les lois de Halphen", Rapport de recherche N° 498, INRS-Eau, Université du Québec, (1997).
- 94 Perreault, L., Bobée, B., et Fortin, V., "Approximation des quantiles de la loi Pearson Type 3 standardisée par les polynômes de Tchebichef", Rapport de recherche N° 346, INRS-Eau, Université du Québec, (1992c).
- 95 Bozdogan, H., "Model selection and Akaike's information criterion (AIC) : the general theory and its analytical extensions", *Psychometrika*, V. 52, (1987), 345-370.
- 96 El Adlouni, S., Chebana, F., et Bobée, B., "Generalized extreme value versus Halphen system: Exploratory study", *Journal Hydrologic Engrg.*, V. 15, (2010), 79-89.
- 97 Morlat, G., "Les lois de probabilités de Halphen", *Revue de statistique appliquée*, V. 4, n° 3, (1956), 21-46.
- 98 Bobée, B., "Extreme flood events evaluation using frequency analysis: a critical review", *Houille Blanche*, V. 54, n° 7-8, (1999), 100-105. doi: 10.1051/lhb/1999090.
- 99 Chebana, F., El Adlouni, S., et Bobée, B., "Mixed estimation methods for Halphen distributions with applications in extreme hydrologic events", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, V. 24, n° 3, (2010), 359–376. doi:10.1007/s00477-009-0325-z.
- 100 Hebal, A. et Remini, B., "Choix de la loi théorique la mieux adaptée a la prédétermination des crues (cas de l'est algérien)", 4^{ème} atelier international sur les extrêmes hydrologiques, (MED-FRIEND project,

UNESCO IHP-VII 2008-13), Université de Calabria, Italie, (2011a).

- 101 Hebal, A. et Remini, B., "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*, V. 38, n° 8, (2011b), 881-892. doi : 10.1139/I11-067 ;
- 102 Hebal, A. et Remini, B., "Prédétermination des valeurs extrêmes de crues dans une région semi aride : cas du bassin versant de l'oued Tafna (Algérie)", 4^{ème} colloque international «Ressources en eau et Développement Durable», ENSH, Alger, (2011c).
- 103 Hebal, A. et Remini, B., "Estimation des valeurs rares de crue dans le bassin versant de l'oued Seybouse (Algérie)", 1^{er} Colloque international de l'eau CIEAU 2010, Université Badji Mokhtar, Annaba, (2010).
- 104 Ouazar, D., Prastacos P. et Wajdi, N., "Watershed characterization, potential reservoir sites inventory and development of a geographical information system database", Report D1.1 WADI, EMI Maroc, (2002).
- 105 Sherman, L.K., "The unit hydrograph and its application", *Bulletin Assoc. State Eng. Soc.*, V. 17, (1941), 4-22.
- 106 Larrieu, J., "Évaluation des crues catastrophiques par la méthode des hydrogrammes synthétiques", AIHS., Assemblée générale de Toronto, Tome 3, (1957), 160-173.
- 107 Touaibia, B., "Manuel pratique d'hydrologie", Edition Madani frères, Guerouaou, Algerie, (2004), 163 p.
- 108 ORSTOM., "Aménagement des ressources en eau du Nord de la Tunisie", Modèle EAUTUN 3, Tome 1 : Etude et modélisation, Ministère de l'Agriculture de la République de Tunisie, DEGTH, (1984a), 239 p.
- 109 ORSTOM., "Aménagement des ressources en eau du Nord de la Tunisie", Modèle EAUTUN 3, Tome 2 : Annexes, Ministère de l'Agriculture de la République de Tunisie, DEGTH, (1984b), 263 p.