

# DISTRIBUTIONS STATISTIQUES DES PLUIES MAXIMALES ANNUELLES DANS LA REGION DU CHELIFF COMPARAISON DES TECHNIQUES ET DES RESULTATS

## STATISTICAL DISTRIBUTIONS OF ANNUAL MAXIMUM RAINFALLS DEPTHS IN THE AREA OF CHELIFF. COMPARISON OF TECHNIQUES AND RESULTS

**A. BENKHALED**

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS)  
Département d'Hydraulique, Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur  
Université de Biskra, B.P N° 145 RP 07000, Biskra, Algérie  
benkhaleddz@yahoo.fr

### RÉSUMÉ

Une analyse statistique des séries annuelles de pluies maximales annuelles a été réalisée sur les données de quatre stations pluviographiques situées dans la partie centrale du Nord du bassin Cheliff-Zahrez. Deux lois de distribution employées dans la conception des réseaux d'assainissement et des aménagements pour la protection contre les inondations, principalement dans les zones urbaines et semi urbaines, ont ainsi été retenues dans cette analyse : la loi des valeurs extrêmes généralisées (GEV) et la loi de Gumbel. Elles ont été ajustées en utilisant des données locales et en estimant les paramètres de manière spécifique. Les résultats issus des deux méthodes ne sont pas significativement différents. Une comparaison inter station est présentée.

**MOTS CLES :** Précipitation maximale annuelle, Distribution statistique, Estimation de paramètres, Méthode des moments, Loi généralisée des valeurs extrêmes, Loi de Gumbel, Cheliff, Algérie

### ABSTRACT

A statistical analysis of annual series of maximum rainfall depth was carried out on the data of four rainfall stations located in the Central Northern part of Cheliff-Zahrez basin. Two statistical distributions used in sewer system design and floods protection, in the urban and semi urban zones, were retained in this analysis: the generalized extreme values (GEV) distribution and the Gumbel distribution. These laws were adjusted by using local data and by estimating the parameters in a specific method. The methodology used here has been advanced by Koutsoyiannis (2003; 2004). An inter-station and inter technique comparison is being carried out. The results from the two laws are not significantly different.

**KEY WORDS:** Extreme rainfall depth, Probability distributions, Parameter estimation, Method of moments, Generalized Extreme Values, Gumbel Distribution, Cheliff, Algeria

## 1 INTRODUCTION

Les valeurs extrêmes des variables hydro climatiques, présentent un intérêt tout particulier lorsqu'on parle en termes de risque. L'estimation de la récurrence de pluies extrêmes fournit des éléments indispensables pour la construction d'infrastructures telles les digues et les ouvrages d'assainissement, afin de protéger efficacement la population et leurs biens. Très tôt les statisticiens ont essayé de trouver les distributions de ces valeurs extrêmes. Le problème n'est pas simple. Ainsi en hydrologie, pour estimer par exemple la pluie maximale relative à un risque donné, on retient, pour chacune des  $n$  années observées, la valeur maximale de la pluie, et l'analyse statistique porte

seulement sur l'échantillon de ces  $n$  valeurs de hauteur de précipitation maximale annuelle.

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

Cependant, de récents travaux ont montré que la distribution exacte des maxima à la loi de Gumbel pour de longues séries fait de la distribution de Gumbel une approximation inadéquate (Koutsoyiannis, 2003; 2004)

Le problème posé dans le cadre de cette étude est de choisir entre la distribution de Gumbel et la distribution de GEV afin de modéliser nos données. Cet article a pour objectif de présenter une évaluation des distributions statistiques des valeurs maximales de précipitations pour quatre stations pluviométriques dans la région de Chlef en Algérie. En effet, cette analyse tient compte de l'évaluation de la quantité de précipitations maximales correspondant à une période de retour donnée et relative à des travaux d'assainissement et de protection contre les crues. Les forts événements de précipitations produisent d'habitude et localement des inondations dans les parties basses des localités d'Oum Eddrou et de Chegâa, où les routes convergent et peuvent avoir des conséquences désastreuses. Les séries temporelles à long terme des valeurs extrêmes de précipitation sont plutôt rares dans cette région et le besoin crucial pour ce type d'information devient impératif.

Dans une première section de l'article, la situation des stations ainsi que le climat régnant sont décrits avec l'accent sur l'occurrence des événements extrêmes de précipitation. Dans les deuxième et troisième sections de l'article un certain nombre d'hypothèses statistiques dans le contexte des valeurs extrêmes annuelles, telles que l'indépendance des données et le choix de la fonction de distribution de probabilité, sont traitées de manière assez détaillée. Dans une quatrième section, nous avons évalué les distributions GEV et Gumbel des valeurs extrêmes. La dernière section évalue la validité des modèles adoptés. Une conclusion des principaux résultats est apportée en fin d'article.

## 2 LE CONTEXTE ET LA PLUVIOMETRIE DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude fait partie du grand système hydraulique Cheliff-Zahrez situé au Centre Ouest de l'Algérie du Nord (figure.1). Le climat du Chellif se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides et peut être appelé méditerranéen semi-aride (Gomer, 1994). La zone d'étude appartient au bioclimat semi-aride moyen tempéré. 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'A.N.R.H (1993). L'humidité relative est de 64 %. La saison pluvieuse s'étale sur 9 mois (de Septembre à Mai) avec un maximum enregistré entre Février et Mars.

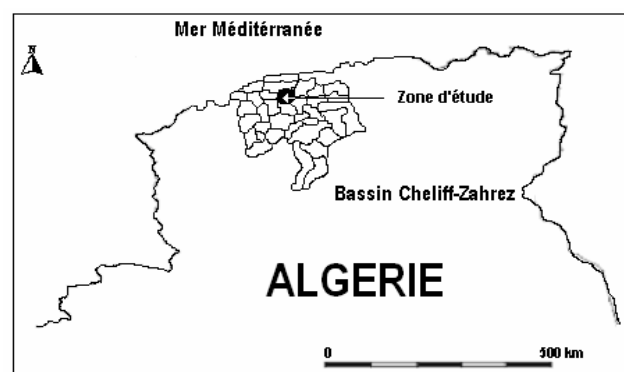


Figure 1 : Carte de situation du bassin d'étude

La zone d'étude est couverte par quatre pluviographes gérés par l'ANRH de Chlef (figure 2).

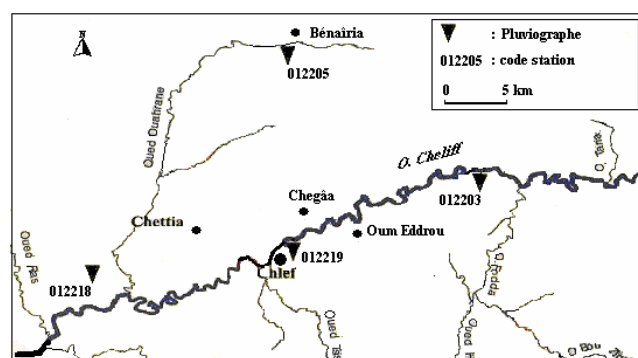


Figure 2 : Situation des stations

Les coordonnées des quatre stations sont rapportées dans le tableau 1

Tableau 1 : Coordonnées des stations pluviométriques

Station	Code	Période d'observation	Coordonnées Lambert		
			X	Y	Z
A.N.R.H siège	012219	70-99	378,31	320,64	130
Pontéba	012203	98-73	394,36	27,603	153
Bénairia	012205	72-92	381,85	340,69	390
D <sup>mne</sup> Si Tayeb	012218	99-72	363,78	320,00	107

Les périodes d'observations des précipitations maximales annuelles considérées dans la présente analyse sont variables, comme peut le montrer le tableau 1. La plus longue série arrêtée pour la présente étude est celle de la station pluviométrique A.N.R.H siège, soit 29 ans.

La fréquence des pluies au cours d'une année hydrologique moyenne varie de 15 à 20 % pour l'ensemble des stations, c'est-à-dire qu'il pleut presque le quart de l'année. La saison d'hiver (Décembre-Janvier-Février) présente la plus grande fréquence d'apparition des pluies maximales. Celle-ci varie aussi d'un mois à un autre comme l'indiquent les tableaux 2 à 5.

**Tableau 2 :** Nombre de jours de pluie maximale par mois à la station A.N.R.H siège (Période 70-99)

Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Année
2	4	1	6	5	5	29
Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	
3	1	1	1	0	0	

**Tableau 3 :** Nombre de jours de pluie maximale par mois à la station Pontéba (Période 73-98)

Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Année
2	3	2	2	1	2	25
Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	
5	2	4	1	0	1	

**Tableau 4 :** Nombre de jours de pluie maximale par mois à la station Bénairia (Période 72-92)

Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Année
2	1	1	2	3	3	20
Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	
5	1	1	1	0	0	

**Tableau 5 :** Nombre de jours de pluie maximale par mois à la station Domaine Si Tayeb (Période 72-99)

Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Année
3	3	2	3	1	3	26
Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	
6	2	3	0	0	0	

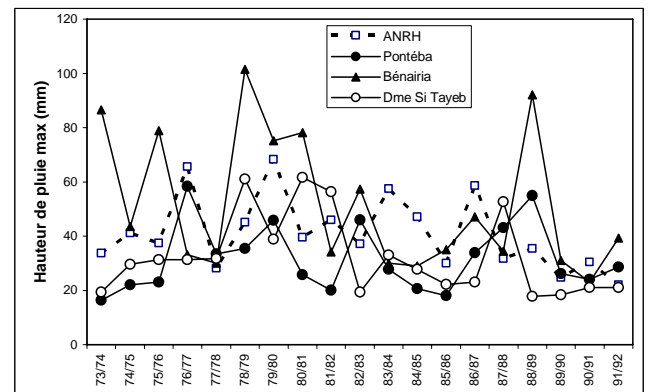
La station A.N.R.H est située au droit du siège du secteur hydrologique de Chlef. La station fonctionne depuis 1969, mais la chronique des précipitations n'est disponible qu'à partir de 1970. Cette station est considérée comme étant une station de référence. La station Bénairia est située à une altitude de 390 m. Elle se situe dans l'axe Nord de Chlef. La station a été mise en fonction en 1972 et fonctionne depuis lors sans interruption. Les séries temporelles ne sont disponibles que de 1972 à 1992 pour les hauteurs de précipitations maximales. La station Pontéba est située à une altitude de 153 m près de la station hydrométrique de

Pontéba-Barrage à l'Est de la localité de Oum Eddrou. La station fonctionne depuis 1973. La station Domaine Si Tayeb se trouve à 107 m d'altitude à l'Ouest de la ville de Chlef. La chronique des pluies a démarré en 1972.

La répartition spatiale des précipitations est caractérisée par un gradient Nord-Sud bien marqué et un gradient Est-Ouest plus faible (Laborde, 2003). Sur la zone d'étude, ceci est bien mis en évidence par les localisations des quatre stations et comme le confirme d'ailleurs les statistiques des séries de précipitations maximales, résumées dans le tableau 6.

**Tableau 6 :** Statistiques des séries de précipitations maximales annuelles

Paramètre	Station			
	ANRH	Pontéba	Bénairia	D <sup>me</sup> Si Tayeb
Effectif	29	25	20	27
Moyenne (mm)	39,88	32,47	49,60	31,54
Max (mm)	84,50	59,50	101,50	61,70
Min (mm)	22,00	16,30	15,00	17,80
Écart-type (mm)	15,46	12,36	25,76	13,27
Coefficient de variation	0,39	0,38	0,52	0,42
Coefficient d'asymétrie	0,76	0,82	0,75	0,92



**Figure 3 :** Variation des pluies maximales annuelles aux quatre stations (73/92)

La lecture du tableau 6 fait ressortir un plus grand coefficient de variation des précipitations maximales pour la station Bénairia. Ceci a pour effet, en particulier, un plus grand étalement de la distribution empirique pour cette station (plus grand écart-type). Les grandes valeurs de la pluie maximale sont expliquées par l'existence d'un gradient pluviométrique dû à l'effet orographique sur cette station. On note également une forte amplitude des précipitations

maximales et minimales à cette station. De plus, il est à remarquer une forte ressemblance des statistiques entre les stations Pontéba et D<sup>me</sup> Si Tayeb. Le graphique de la variation des pluies maximales annuelles sur la période d'observation commune pour les quatre stations (73/92) illustre nettement ce constat (figure .3).

### 3 CONTROLE DE L'INDEPENDANCE DES VALEURS MAXIMALES ANNUELLES

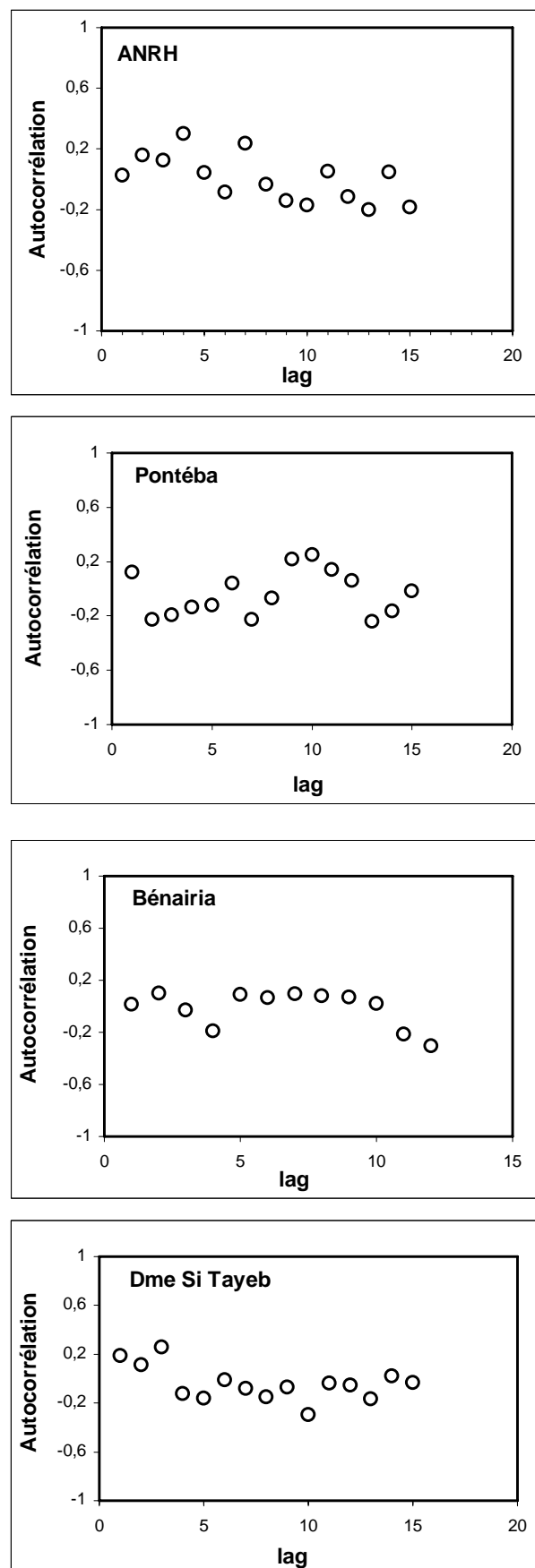
Nous disposons de quatre séries de hauteurs de précipitations maximales annuelles :  $n = 29$  à la station A.N.R.H Siège;  $n = 25$  à la station Pontéba;  $n = 20$  à la station Bénairia et  $n = 27$  à la station Domaine Si Tayeb. Ces données sont censées être indépendantes. Cette hypothèse est examinée en calculant la fonction d'autocorrélation pour chaque station. L'exemple de la figure.4 représente le graphique de la fonction d'autocorrélation correspondant aux quatre stations. La fonction d'autocorrélation a été calculée en utilisant le test de Spearman. Nous avons employé ce test statistique parce qu'il est non paramétrique et non fondé sur l'hypothèse de la normalité des variables. On constate que les valeurs de la fonction d'autocorrélation sont petites en valeur absolue (presque zéro). Ainsi, l'hypothèse des valeurs zéro d'autocorrélation peut être acceptée au niveau de la signification 5%. Ceci signifie que les séries des valeurs maximales annuelles de précipitations aux stations considérées sont vraisemblablement constituées par des valeurs indépendantes.

### 4 LES FONCTIONS DE DISTRIBUTION DES VALEURS ANNUELLES MAXIMALES DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS

#### 4.1 Généralités

De nombreuses distributions des valeurs extrêmes ont été proposées. Le choix d'une loi de probabilité est guidé par des considérations théoriques et pratiques. Gumbel (1958) et Pickands (1975), à partir de développements théoriques sur les propriétés asymptotiques des valeurs extrêmes, recommandent respectivement l'usage de la loi de valeurs extrêmes généralisée (GEV) pour les valeurs extrêmes annuelles.

Nous n'avons retenu dans cette étude que des lois de probabilité en accord avec les choix actuels de la communauté hydrologique. De ce fait, la distribution cumulée des valeurs annuelles maximales des hauteurs de précipitations est en vraisemblance la distribution des valeurs extrêmes générales (General Extremes Values) ou sa forme simplifiée, la distribution de Gumbel.



**Figure 4 :** Fonctions d'auto corrélation des hauteurs de précipitations maximales annuelles aux stations A.N.R.H Siège ; Pontéba ; Bénairia et Domaine Si Tayeb

La fonction de distribution de Gumbel a la forme suivante:

$$F(x) = \exp(-\exp(\frac{x-\psi}{\lambda})) \quad (1)$$

où  $\psi$  et  $\lambda$  sont respectivement les paramètres de position et d'échelle.

La méthode d'ajustement des moments, qui fait partie de la grande famille de l'approche classique d'analyse, est utilisée pour adapter la distribution Gumbel aux pluies extrêmes (Hosking et al, 1985).

La forme mathématique de la fonction de distribution de GEV est la suivante:

$$F(x) = \exp \left[ - \left( 1 + \kappa \left( \frac{x-\psi}{\lambda} \right) \right)^{-\frac{1}{\kappa}} \right] \quad (2)$$

pour  $\kappa \neq 0$

Il est à noter que pour  $\kappa = 0$  la distribution de GEV se transforme en distribution de Gumbel. Le paramètre  $\kappa$  s'appelle paramètre de forme. Il est également déterminant dans le comportement des distributions dites de queue.

Les relations (1) et (2) indiquent que trois paramètres sont à estimer :  $\lambda$ ,  $\psi$  et  $\kappa$ . Le choix d'une distribution de Gumbel ou une distribution de GEV est un problème rencontré très souvent dans la pratique hydrologique. Pour estimer ces paramètres, les estimateurs de moments sont utilisés (Hosking et al., 1985; Stedinger et al., 1993).

**4.2 Estimation des paramètres des fonctions de distribution**

A titre d'illustration, les tableau 7 et 8 donnent les résultats numériques des estimations de type moments des paramètres  $\psi$  et  $\lambda$  pour la fonction de distribution de Gumbel et respectivement les estimations de type de moments des paramètres  $\psi$ ,  $\lambda$  et  $\kappa$  pour la fonction de distribution de GEV des hauteurs maximales annuelles de précipitation correspondants aux différentes stations.

Le paramètre  $\lambda$  est pratiquement constant pour trois stations à l'exception de la station Bénéria et ceci quelque soit la distribution (GEV ou Gumbel). Les mêmes conclusions peuvent être tirées pour le paramètre  $\psi$ . Le tableau 9 donne, à titre de comparaison, les valeurs du paramètre  $\kappa$  estimées par le maximum de vraisemblance.

Le paramètre de forme  $\kappa$  est le plus important puisqu'il détermine le type de distribution des maxima (GEV ou Gumbel) et par conséquent le comportement dans la queue de la distribution. Le tableau 8 montre que  $\kappa$  estimé est positif, ce qui suggère l'estimation des quantiles par la méthode des moments pour le modèle GEV.

**Tableau 7 :** Valeurs des paramètres estimés de la distribution de Gumbel pour les stations considérées

Station	N	$\psi$	$\lambda$
A.N.R.H	29	32,932	12,067
Pontéba	25	26,914	9,643
Bénéria	20	38,006	20,094
D <sup>me</sup> Si Tayeb	27	25,571	10,352

**Tableau 8 :** Valeurs des paramètres estimés de la distribution de GEV pour les stations considérées

Station	n	$\psi$	$\lambda$	$\kappa$
A.N.R.H	29	32,620	11,121	0,073
Pontéba	25	28,314	10,219	0,061
Bénéria	20	36,796	21,804	0,074
D <sup>me</sup> Si Tayeb	27	26,365	11,044	0,040

**Tableau 9 :** Valeurs des paramètres estimés par la méthode du Maximum de Vraisemblance de la distribution de GEV pour les stations considérées

Station	n	$\psi$	$\lambda$	$\kappa$
A.N.R.H	29	31,589	8,368	-0,209
Pontéba	25	27,454	3,079	-0,329
Bénéria	20	32,244	0,1	-0,006
D <sup>me</sup> Si Tayeb	27	24,943	0,1	-0,014

**4.3 Choix de la distribution : Gumbel – GEV**

Le choix entre la distribution Gumbel et la distribution de GEV peut être facilité par l'emploi de tests statistiques bien connus. Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique dont l'objectif est d'examiner si un échantillon donné provient d'une distribution fixée à l'avance. Nous examinerons ici si les valeurs maximales annuelles des quantités de précipitations tombées aux stations A.N.R.H siège, Pontéba, Bénéria et au Domaine Si Tayeb suivent un loi de Gumbel ou une distribution de GEV. Pour évaluer ces hypothèses, le test de Kolmogorov-Smirnov a été effectué pour chaque station et pour chaque hypothèse (Gumbel ou GEV). Les résultats sont donnés dans les tableaux 10 et 11. Il est à noter que le test statistique n'excède jamais la valeur limite 95% et ceci pour chacun des deux tests. En conséquence, pour ces stations, les hypothèses faites ne peuvent pas être rejetées (au seuil 95%) et l'hypothèse selon laquelle les données suivent une distribution de Gumbel ou une distribution de GEV est acceptée.

**Tableau 10** : Résultats du test non paramétrique de Kolmogorov-Smirnov Loi ajustée : Gumbel

Station	Test de Kolmogorov-Smirnov
A.N.R.H	0,101
Pontéba	0,234
Bénaïria	0,666
D <sup>me</sup> Si Tayeb	0,600

**Tableau 11** : Résultats du test non paramétrique de Kolmogorov-Smirnov Loi ajustée : GEV

Station	Test de Kolmogorov-Smirnov
A.N.R.H	0,088
Pontéba	0,144
Bénaïria	0,218
D <sup>me</sup> Si Tayeb	0,135

Sur la base de ces résultats statistiques, nous ne pouvons pas décider quelle distribution choisir. Ceci est du évidemment aux tailles courtes de nos séries de valeurs annuelles. De plus, la comparaison directe des ajustements n'est pas aisée. En général, les descriptions les plus simples sont les meilleures, et il est admis souvent dans la littérature spécifique de travailler avec la distribution de Gumbel qui n'implique que deux paramètres (la distribution de GEV a trois paramètres) et qui a une expression mathématique plus simple.

## 5 APPLICATION AUX DONNEES DE QUELQUES STATIONS DU BASSIN DU CHELIF

Les quantités maximales annuelles de précipitations sont déterminées à partir des fonctions de distributions. Les graphiques montrent, en ordonnée, les observations (dans notre cas les hauteurs maximales annuelles de précipitation) et en abscisse une variable aléatoire réduite bien choisie (fonction de probabilité). Dans notre cas, les distributions ajustées sont la distribution de Gumbel et la distribution GEV. La fonction de distribution cumulée de ces distributions peut être écrite comme suit :

$$F(x) = \exp[-\exp(-y(x))] \quad (3)$$

où :

$$y(x) = \frac{1}{\lambda}(x - \psi) \Leftrightarrow x(y) = \psi + \lambda y \quad (4)$$

pour la distribution de Gumbel et :

$$y(x) = \frac{1}{\kappa} \ln \left[ 1 + \kappa \left( \frac{x - \psi}{\lambda} \right) \right] \Leftrightarrow \quad (5)$$

$$x(y) = \psi - \lambda \left( \frac{1 - \exp(\kappa y)}{\kappa} \right)$$

pour la distribution GEV

La variable  $y_i$  est calculée comme suit :

$$y_i = -\ln[-\ln(1 - p_i)] \quad (6)$$

La probabilité  $p_i$  est donnée par la formule de Hazen, utilisée lorsqu'il s'agit de faibles échantillons. Soit :

$$p_i = \frac{i - 0,5}{n} \quad (7)$$

La figure 5 (a à d) montrent les ajustements correspondants aux séries de précipitations maximales annuelles pour les stations A.N.R.H siège, Pontéba, Bénaïria et Domaine Si Tayeb, pour chacun des modèles examinés (Gumbel et GEV). Nous remarquons que pour la station A.N.R.H siège, les résultats donnés par le modèle GEV sont sensiblement égaux à ceux donnés par le modèle de Gumbel. De plus, et comme le montre la figure 5a, il est difficile de faire la distinction entre les distributions théoriques et empiriques. Ainsi, pour cette station, deux paramètres (loi de Gumbel) semblent suffisants pour décrire les données. Pour les autres stations, les modèles de Gumbel et de GEV donnent des estimations différentes pour les périodes de retour supérieures à 10 ans, particulièrement pour les périodes de retour relatives aux ouvrages d'assainissement et digues de protection. Il est à remarquer aussi qu'en dessous de cette période de retour, la loi de Gumbel s'ajuste de manière plus parfaite que la loi GEV. Il est à noter par ailleurs un comportement similaire des distributions statistiques des pluies maximales annuelles entre la station Pontéba et la station Domaine Si Tayeb. En outre, les pentes des ajustements pour la station Bénaïria sont fortes par rapport à celles des autres stations en raison des fortes valeurs de pluie caractérisant cette station. De plus, pour cette station, la dispersion des points est bien mise en évidence par les deux ajustements (écart-type 25,76).

La méthode du maximum de vraisemblance, utilisée à titre de comparaison avec la méthode des moments pour l'ajustement par la loi GEV, conduit asymptotiquement à une variance faible, soit 76,50 ; 9,06 ; 0,015 ; 0,015 respectivement pour ANRH, Pontéba, Bénaïria et Dme Si Tayeb . Elle conduit en outre à un biais plus important (figure 5a-b). L'inadaptation de la méthode du maximum de vraisemblance est bien remarquée pour la station Pontéba. Pour les stations Bénaïria et D<sup>me</sup> Si Tayeb, l'ajustement à la loi GEV par cette méthode n'est pas représenté car nous avons obtenu une droite parallèle à l'axe de la variable réduite (figure 5c-d). Ce résultat graphique confirme l'inadaptation de la méthode du maximum de vraisemblance pour les stations considérées dans cette étude.

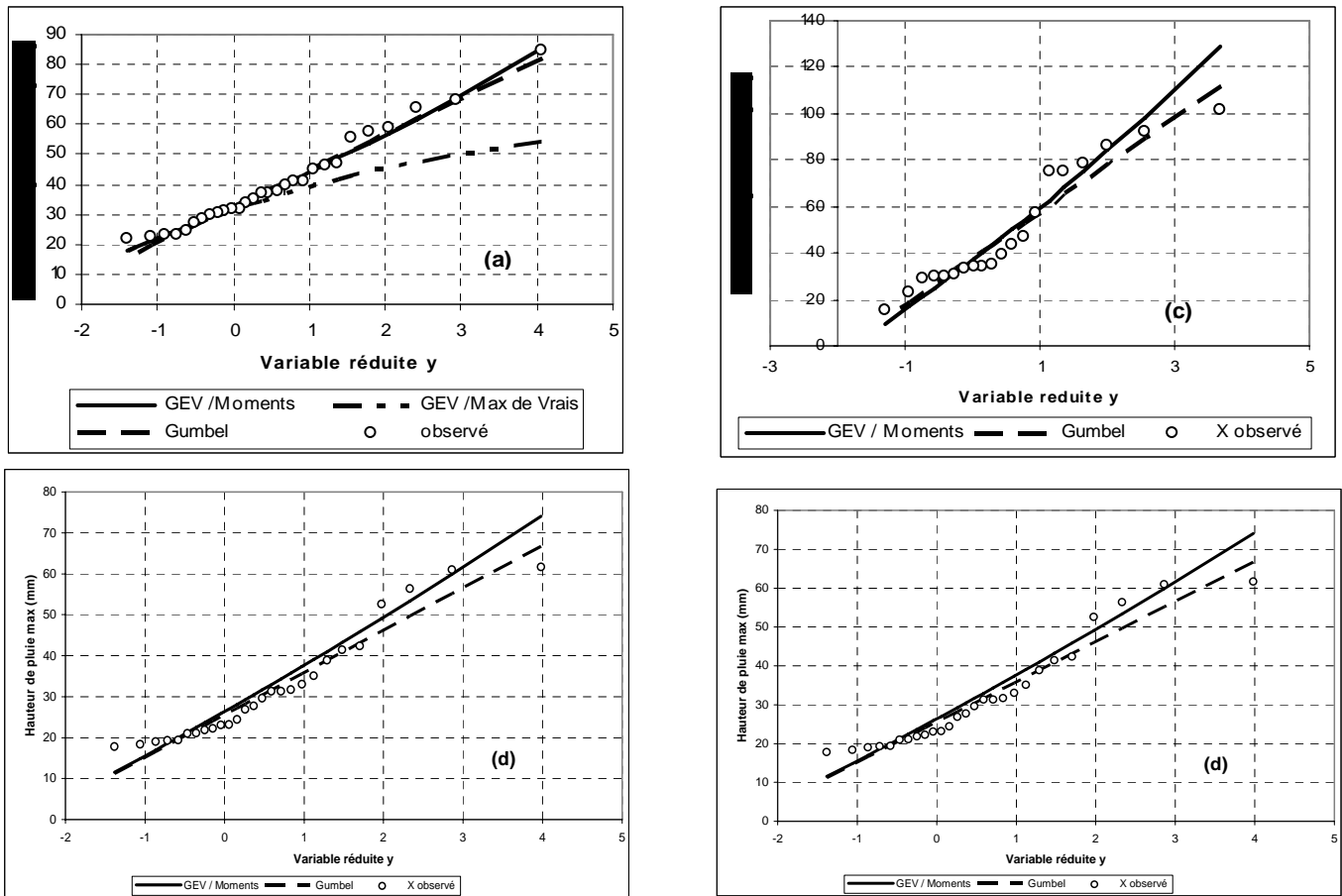


Figure 5 : Ajustements des lois GEV-Gumbel des séries de pluies maximales annuelles de : (a) station ANRH; (b) station Pontéba; (c) Bénairia; (d) Dme Si Tayeb

Dans le tableau 12 figurent les quantiles estimés pour trois périodes de retour à partir des paramètres calculés précédemment pour les deux lois (tableaux 7 et 8).

Tableau 12 : Hauteurs de pluies maximales en mm estimées pour trois périodes de retour

Station	T = 10 ans		T = 20 ans		T = 100 ans	
	GEV/Mom	Gumbel	GEV/Mom	Gumbel	GEV/Mom	Gumbel
ANRH	59,82	57,65	69,506	65,65	93,42	83,77
Pontéba	52,96	51,31	61,59	58,66	82,58	75,28
Bénairia	90,19	85,86	109,23	101,55	156,28	137,09
D <sup>me</sup> Si Tayeb	52,37	51,22	61,196	59,17	82,144	77,17

Le rapport de la quantité extrême, correspondant à une période de retour de 100 ans, à la quantité extrême correspondant à une période de retour de 10 ans est constant (1,56) pour les stations de ANRH, Pontéba, et D<sup>me</sup> Si Tayeb. Pour la station de Bénairia ce rapport est de 1,73 en raison de la forte amplitude de variation des pluies maximales (86,5 mm) et explicitement à la plus grande valeur du Cv par rapport aux autres stations. D'autre part, en analysant la partie droite de la queue des deux distributions (figure 6), les différences entre les estimations

de GEV et de Gumbel augmentent pour des périodes de retour élevées. En effet, on constate que pour une période de retour de 1000 ans par exemple, l'écart pour la station de Bénairia est de 46 mm, alors qu'il est d'environ 23 mm à la station ANRH Siège. Pour les deux autres stations, l'écart n'est pas important. Ceci est expliqué par le gradient pluviométrique Nord Sud.

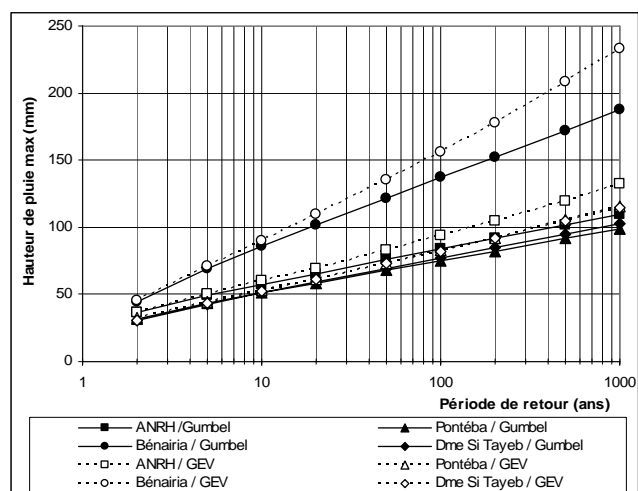


Figure 6 : Comparaison des estimations des deux lois pour les quatre stations et pour différentes périodes de retour

Il est clair que la loi de Gumbel sous-estime les précipitations maximales pendant des périodes de retour élevées en comparaison avec la loi GEV. Des études récentes (Wilks, 1993; Koutsoyiannis et Baloutsos, 2000; Coles et al., 2003; Koutsoyiannis, 2003; 2004) ont exprimé leur scepticisme pour la convenance de la distribution de Gumbel pour des extrêmes pluviométriques, prouvant qu'il sous-estime sérieusement les plus grands extrêmes pluviométriques. Les conclusions de ces auteurs ne concernent pas les périodes de retour considérées dans les études de protection contre les inondations et d'assainissement.

D'une manière générale, Il apparaît à partir des graphiques des figures 5 et 6 que les deux lois d'ajustement conduisent sur chaque échantillon à des estimations comparables, à l'exception de la station Bénairia. Il s'ensuit que les estimations des paramètres des deux lois ajustées ainsi que les quantités de pluie maximale estimées dépendent davantage des caractéristiques propres de chaque échantillon que de la loi utilisée.

## 6 VALIDITE DES DIFFERENTS MODELES

Pour tester la validité des résultats fournis par les deux distributions, nous avons choisi de calculer un indice d'ajustement  $d$  défini, pour chaque période de retour  $T$ , comme suit :

$$d = \frac{X_T - x_T}{x_T} \quad (8)$$

où  $X_T$  représente un quantile de période de retour  $T$  estimé par la distribution théorique choisie, et  $x_T$  un quantile de même période de retour  $T$  mais estimé expérimentalement.

Pour chaque période de retour choisie  $T$ , la valeur expérimentale de la variable  $x_T$  est obtenue par interpolation linéaire (sur papier Gumbel) entre les deux points les plus

proches de chaque coté.

La moyenne des valeurs absolues de ces indices pour chaque station peut être considérée comme un indice d'ajustement pour chaque période de retour. Les résultats sont donnés par le tableau 13.

Tableau 13 : Indices numériques d'ajustement pour différentes périodes de retour

Loi	Période de retour (ans)				
	2	5	10	20	50
GEV/Mom	0,1217	0,0228	0,0355	0,0183	0,1771
Gumbel	0,1056	0,0622	0,0861	0,0510	0,0591

L'ajustement est d'autant meilleur que l'indice  $d$  est proche de 0. La loi GEV fournit les meilleurs résultats pour les périodes de retour 5, 10 et 20. La loi de Gumbel est la meilleure loi pour les périodes de retour 2 et 50 ans.

## 7 CONCLUSION

L'information sur les lois de distributions des pluies maximales est plutôt rare dans la région de Chlef, du fait que les séries de données sur de longues périodes ne sont pas disponibles. Deux modèles de distribution des valeurs extrêmes (GEV et Gumbel) ont été appliqués aux séries de précipitations maximales annuelles de quatre stations situées dans la région centrale du Cheliff. Les paramètres de ces distributions ont été déterminés par la méthode des moments et ont été employées pour comparer les estimations obtenues pour les quatre stations. Les résultats graphiques et statistiques de ces estimations ont confirmé l'inadéquation de la méthode du maximum de vraisemblance.

Les méthodes GEV et Gumbel ont fourni des résultats semblables avec des différences voisines de 12 % pour une période de retour de 100. Ces différences atteignent 25 % pour une période de retour de 1000 ans. Les résultats montrent que les quantiles les plus élevés sont obtenus par la méthode GEV.

Les ajustements graphiques des modèles GEV et Gumbel ont mis en évidence le régime des pluies extrêmes régnant à Bénairia.

Il a souvent été recommandé par la littérature spécialisée de travailler avec la distribution de Gumbel qui n'implique que deux paramètres (la distribution de GEV a trois paramètres) et qui est traduite par une expression mathématique plus simple. Cependant, des études récentes ont montré que sur le plan de la pratique hydrologique, la distribution de Gumbel, bien que plus simple, ne fournit pas nécessairement les meilleurs résultats.

Concernant l'évaluation des indices numériques d'ajustement entre les séries observées et les quantiles estimés, la méthode GEV fournit les meilleurs résultats



avec des différences minimales par rapport aux résultats de la méthode Gumbel.

Enfin, les estimations des paramètres des deux lois ajustées ainsi que les quantités de pluie maximale estimées dépendent davantage des caractéristiques propres de chaque échantillon que de la loi utilisée.

## RÉFÉRENCES

- [1] A.N.R.H. Carte Pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Ministère de l'Équipement. Ed. I.N.C, Alger. 1993
- [2] Coles, S., Pericchi, L. R., Sisson, S.: A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling, *J. of Hydrology*, 273(1–4), pp 35–50. 2003.
- [3] Gomer, D.. Ecoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Bassin de la Mina. Thèse Université de Karlsruhe. Allemagne. 137 p. 1994
- [4] Gumbel, E. Statistics of extremes. Columbia Univ. press, 1958
- [5] Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., Wood, E.F. - Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*. vol. 27, no 3, pp 251-261. 1985.
- [6] Koutsoyiannis, D., Baloutsos, G.: Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences, *Natural Hazards*, 22(1), pp 31–51. 2000.
- [7] Koutsoyiannis, D. On the appropriateness of the Gumbel distribution for modelling extreme rainfall, *Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop, Hydrological Risk*, University of Bologna, Bologna, 2003.
- [8] Koutsoyiannis, D. Exploration of long records of extremes rainfall and design rainfall inferences. *Proceedings of the International conference of British Hydrological Society*. Imperial college. pp 148-157. London. 2004
- [9] Laborde, J.P. Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord. Rapport ANRH-GTZ , 37 p, 2003
- [10] Pickands, J., Statistical inference using extreme order statistics. *The annals of statistics*, (3)1, 119-131, 1975
- [11] Stedinger, J. R., Vogel, R. M., Foufoula-Georgiou, E.: Frequency Analysis of Extreme events, in: *Handbook of Hydrology*, edited by Maidment, D. R., McGraw-Hill Book Company, 18, pp 18.1–18.66, 1993.
- [12] Wilks, D. S.: Comparison of three-parameter probability distributions for representing annual extreme and partial duration precipitation series, *Water Resour. Res.*, 29(10), pp 3543–3549. 1993.