
Soumis le : 27/12/2015

Forme révisée acceptée le : 22/01/2018

Auteur correspondant : hab.br73@yahoo.fr

Nature & Technology

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

Analyse statistique des débits maximums annuels et synthèse graphique des quantiles : Cas du bassin (Moyen, Bas Chélif et Côtière)

HABIBI Brahim ^{a,*} & Meddi MOHAMED ^b

^a Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie, Université Hassiba BENBOUALI de Chlef et Laboratoire GEE, Blida - Algérie

^b École Nationale d'Hydraulique et Laboratoire GEE, Blida - Algérie Blida, Algérie

Résumé

L'analyse statistique est devenue un outil indispensable d'aide à la décision en matière de bonne gestion des ressources en eaux. De ce fait, une analyse statistique des débits maximaux annuels a été réalisée dans le bassin-versant moyen et le bas de Chélif. L'estimation statistique a été faite en sélectionnant les maxima annuels. Les stations sélectionnées sont au nombre de treize stations hydrométriques. Ces stations disposent de longues séries de mesures de plus de 30 ans. Le choix de la classe d'appartenance de la loi, la plus adéquate aux fins de modélisation des débits maximums annuels, a été opéré par le système d'aide à la décision (SAD) du logiciel Hyfran plus. Les résultats obtenus montrent que toutes les séries des stations appartiennent à la classe D. Pour le choix du meilleur ajustement nous avons utilisé les critères d'information Bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). Ces deux critères permettent de construire un classement des modèles statistiques tenant compte du principe de parcimonie. Le meilleur ajustement, pour chacun des deux critères, correspond à la plus faible valeur de son coefficient. Les principaux résultats des analyses statistiques montrent que les treize stations étudiées sont mieux ajustées à la loi Gamma.

Mots-clés : Débit extrême, analyse statistique, système d'aide à la décision, prédiction, Hyfran plus, bassin Moyen, Bas Chélif et Côtière

Abstract

Statistical analysis has become an indispensable tool for decision-making in the management of water resources. As a result, a statistical analysis of annual maximum flows has been carried out in the Middle Watershed and Cheliff Basin. The statistical estimate was made by selecting the annual maxima. The selected stations are thirteen hydrometric stations. These stations have long series of measurements over 30 years old. The choice of the law's membership class, the most appropriate for modeling annual maximum flow rates, was made by the decision support system (DSS) of the Hyfran plus software. The results obtained show that all the series of the stations belong to class D. For the choice of the best fit we used the Bayesian (BIC) and Akaike (AIC) information criteria. These two criteria make it possible to construct a classification of statistical models taking into account the principle of parsimony. The best fit, for each of the two criteria, is the lowest value of its coefficient. The main result of the statistical analyzes show that the thirteen stations studied are better adjusted to the Gamma law.

Keywords: Extreme Flow, Statistical Analysis, Decision Support System, Prediction, Hyfran Plus, Medium Basin, Low Cheliff and Coastal

1. Introduction

L'évaluation des risques hydrologiques est l'une des préoccupations essentielles des hydrologues. Elle est nécessaire pour la gestion de l'aménagement du territoire rural ou urbain, et pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Parmi les risques hydrologiques les plus étudiés, celui des crues est le plus souvent étudié [1-3]. Classiquement, les études sur le risque hydrologique passent essentiellement par l'analyse statistique des

événements passés pour estimer la probabilité d'apparition d'un événement hydrologique.

Les trois bassins versants : Moyen, Bas Chélif et le Côtière connaissent épisodiquement des phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent par moment de façon catastrophique, constituant ainsi une contrainte pour les activités et une entrave pour le développement. Les débordements catastrophiques des cours d'eau durant les années allant de 1992 à 2000 ont occasionné un nombre important en pertes humaines et de dégâts considérables d'infrastructures routières et d'exploitations agricoles [4].

L'analyse fréquentielle des données hydrologiques est une approche privilégiée pour obtenir de bonnes estimations des événements extrêmes dans le cas où une information suffisante est disponible au site d'intérêt [5].

De nombreux travaux ont largement utilisé l'analyse statistique des débits maximums [6-11]. Les différentes lois utilisées pour différentes régions du monde diffèrent d'une région à une autre : la loi des valeurs extrêmes généralisées (GEV) en Grande Bretagne, la loi Log-normale en Chine, la loi Log- Pearson type III (LPIII) aux États-Unis [12], et la loi Gamma au Maroc [13] et en Espagne [14]. En Algérie, la loi de Gumbel a été, pour longtemps, utilisée pour estimer les quantiles des débits maximums [15, 17], et par contre, Hebal et Remini [18, 19] ont montré que la loi Gamma s'applique pour les bassins versants du Centre et de l'Est de l'Algérie et Meddi et Sadeuk Ben Abbas [20] pour le bassin versant de l'oued Mekerra (Ouest de l'Algérie). Cette synthèse bibliographique montre l'importance du phénomène étudié dans les études d'aménagements et de dimensionnement des ouvrages hydrotechniques.

Notre travail de recherche s'inscrit dans cette optique comme étant une vision de gestion du risque lié aux crues par calcul des quantiles.

2. Situation géographique de la zone d'étude

Les trois bassins (Moyen, Bas Chélif et Côtier) sont situées au Nord-Ouest de l'Algérie, à 250 km d'Alger ; ils font partie du bassin versant du Chélif-Zahrez et occupent la partie Nord de ce dernier qui couvre une superficie d'environ 56 227 km² (soit plus de 22 % de la superficie de l'Algérie du Nord). Ces bassins sont traversés par le plus grand oued d'Algérie sur une longueur de 750 km (Figure 1).



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

3. Données

Les données utilisées dans cette étude sont composées de séries de débits maximums annuels. La technique d'échantillonnage adoptée est celle d'une seule valeur maximale par année hydrologique qui débute le premier du mois de septembre de l'année k et se termine le 31 août de l'année k+1). Les caractéristiques des stations hydrométriques en termes de position géographique (Figure 2) et les périodes d'observations sont regroupées dans le tableau 1. Le plus grand sous bassin versant est celui de l'oued El Abtal qui couvert 5400 km² (Tableau 1), tandis que Le deuxième plus grand sou bassin est celui de l'oued Ammi Moussa 1890 km², suivi du sous bassin de l'oued Takhmert (1550 km²). Les oueds d'El Ababsa, Tikazele et Temesguida couvrent respectivement des petites superficies des sous bassins versants 102 km², 130 km² et 157 km². Les treize stations de la zone d'étude ne sont pas régularisées par les eaux de barrages. Les caractéristiques statistiques principales des stations hydrométriques sont consignées dans le tableau 2. Les valeurs des coefficients d'aplatissement des séries étudiées montrent que les distributions des débits maximums annuels sont moins aplaties (leptocurtique) que la distribution normale (Tableau 2). Les valeurs des coefficients d'asymétrie varient de 0,65 à 2,39, ce qui montre que la distribution est étalée sur la droite.

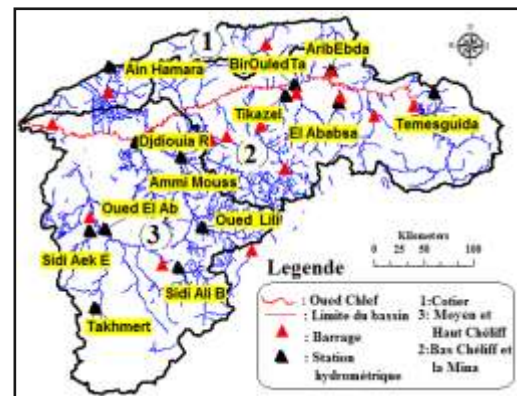


Figure 2 : localisation des stations de la zone d'étude

Tableau 1
Caractéristiques des stations hydrométriques étudiées

Nom de la station	Code	Période	Oued	Superficie (km ²)	x	y
El Ababsa	011 715	1974-2007	Harreza	102	443 900	318 050
Ammi Moussa	012 601	1975-2012	Rhiou	1890	357 400	286 150
Arib Ebda	011 801	1984-2008	Ebda	270	439 650	335 550
Temesguida	01 1 501	1984-2008	Harbil	157	497 000	323 900
Tikazele	012 004	1984-2008	Tikazele	130	414 700	321 700
Bir Ouled Taher	011 915	1984-2008	Zeddine	435	419 800	327 300
Oued Lili	012 501	1973-2003	Tighighest	420	370 320	248 120
Djdiouia Rn	012 701	1974-2006	Djdiouia	835	332 600	293 899
Takhmert	013 301	1967-2003	El Abd	1550	312 749	202 800
Ain Hamara	013 302	1967-2006	Kramis	300	316 450	335 120
Sidi Aek El Djillali	013 401	1967-2006	Haddad	470	308 499	244 499
Oued El Abtal	013 402	1953-2006	Mina	5400	316 800	245 650
Sidi Ali Ben Amar	012 909	1967-2005	Mina	1200	357 350	225 849

Tableau 2
Caractéristiques statistiques des débits maximaux annuels

Nom de station	Cv	Cs	Ck	Écart-type	Moyenne (m ³ /s)	Médiane (m ³ /s)
El Ababsa	0,58	0,65	2,53	14,3	24,40	22
Ammi Moussa	0,67	1,11	3,49	179	266	233
Arib Ebda	0,60	1,10	2,84	43,10	71,50	62,10
Temesguida	0,69	1,56	4,89	31,90	46,20	39,90
Tikazele	0,71	0,68	2,19	18,10	25,40	20,70
Bir Ouled Taher	0,75	1,50	4,29	56,40	83	59,50
Oued Lili	0,97	2,28	7,21	63,40	61,40	44,90
Djdiouia Rn	0,86	1,49	4,15	172	147	135
Takhmert	0,91	1,79	4,45	62,20	56,70	38,20
Ain Hamara	1,11	2,01	6,29	173	191	98,90
Sidi Aek El Djillali	0,84	1,39	5,03	32	26,90	23,90
Oued El Abtal	0,88	1,24	3,43	264	231	187
Sidi Ali Ben Amar	0,62	2,78	11,60	38,30	23,90	30,10

4. Tests de stationnarité et d'indépendance

Le logiciel HYFRAN [21] permet de réaliser une analyse fréquentielle complète pour n'importe quelle variable pour laquelle on dispose d'observations indépendantes (absence d'auto-corrélation) et identiquement distribuées (homogénéité, stationnarité et

absence de horsain). L'étude de l'indépendance et de la stationnarité des séries précède l'ajustement de la distribution des séries de débits maximum. Les tests statistiques de stationnarité (Kendall) et d'indépendance (Wald-Wolf witz) sont appliqués à chaque série utilisée. Le test de Mann-Kendall est un test statistique non-paramétrique pour détecter la présence de tendance dans

les séries chronologiques dépourvue de saisonnalité. Les premiers travaux ont été effectués par Mann [22] et Kendall [23]. Le test a été, pour tenir compte de la saisonnalité des données, étendu par Hirsh et Slack (1984). Les deux tests utilisés sont acceptables pour l'ensemble des stations à un seuil de 5% (Tableau 3). A partir de ces résultats, la représentativité des séries est acceptée.

Tableau 3
Tests statistiques

Nom de station	Indépendance (Wald Wolf Witz)		Stationnarité (Kendall)		Homogénéité a l'échelle annuelle (Wilcoxon)	
	U	p	K	P	W	P
El Ababsa	0,84	0,40	1,01	0,31	0,97	0,33
Ammi Moussa	0,006	0,40	0,25	0,80	0,06	0,95
Arib Ebda	1,19	0,23	0,88	0,45	1,06	0,29
Temesguida	1,15	0,25	0,72	0,47	2,27	0,02
Tikazele	0,54	0,59	1,17	0,24	1,30	0,19
Bir Ouled Taher	0,21	0,84	0,44	0,66	0,51	0,61
Oued Lili	0,40	0,69	0,37	0,71	0,90	0,37
Djdiouia Rn	0,74	0,46	0,05	0,96	0,81	0,42
Takhmert	1,39	0,16	2,19	0,03	2,11	0,04
Ain Hamara	1,18	0,23	3,22	0,001	2,29	0,03
Sidi Aek El Djillali	0,33	0,74	2,37	0,02	2,41	0,02
Oued El Abtal	1,21	0,23	1,54	0,12	2,05	0,04
Sidi Ali Ben Amar	3,07	0,002	0,10	0,93	0,10	0,92

4.1. Analyse par les valeurs maximales

Selon ONIBON *et al.* [24], l'étude des extrêmes d'un processus passe par l'analyse du maximum d'un échantillon de taille n données. L'analyse des maxima d'échantillons de taille n est également appelée analyse des maxima par bloc [24]. Dans notre cas, la méthode des moments [25] a été utilisée. Elle permet aussi de fournir des estimations pour les paramètres lorsque la méthode du maximum de vraisemblance ne converge pas.

4.2. Le système d'aide à la décision (SAD)

Le système d'aide à la décision (SAD) (Figure 3), développé par El Adlouni *et al.* [26], sera appliqué afin de

déterminer la classe d'ajustement appropriée pour les stations.

Selon El Adlouni *et al.* [26], la classification suivant la queue de distribution droite permet de distinguer trois principales classes « C, D, E ».

- La classe C (distributions à variations régulières) : Fréchet (EV2), Halphen inverse B(HIB), log Pearson (LP3), inverse Gamma (IG).
- La classe D (distribution Sub-exponentielle) : Halphen type A(HA), Halphen type B(HB), Gumbel (EV1), Pearson type 3, Gamma.
- La classe E (distribution exponentielle).

La loi Log-Normale n'appartient à aucune des classes C et D ; elle présente un comportement asymptotique qui se situe à la frontière des classes C et D [27]. Les quantiles estimés à partir de distribution relatives aux

classes S, D et la loi Log-Normale vérifient la relation d'ordre suivante [27] : $QT(D) < QT(LN) < QT(C)$.

Les méthodes citées ci-dessous, développées dans le système d'aide à la décision [26], conduisent à sélectionner la loi la plus adéquate pour ajuster une série de données (Figure 3) :

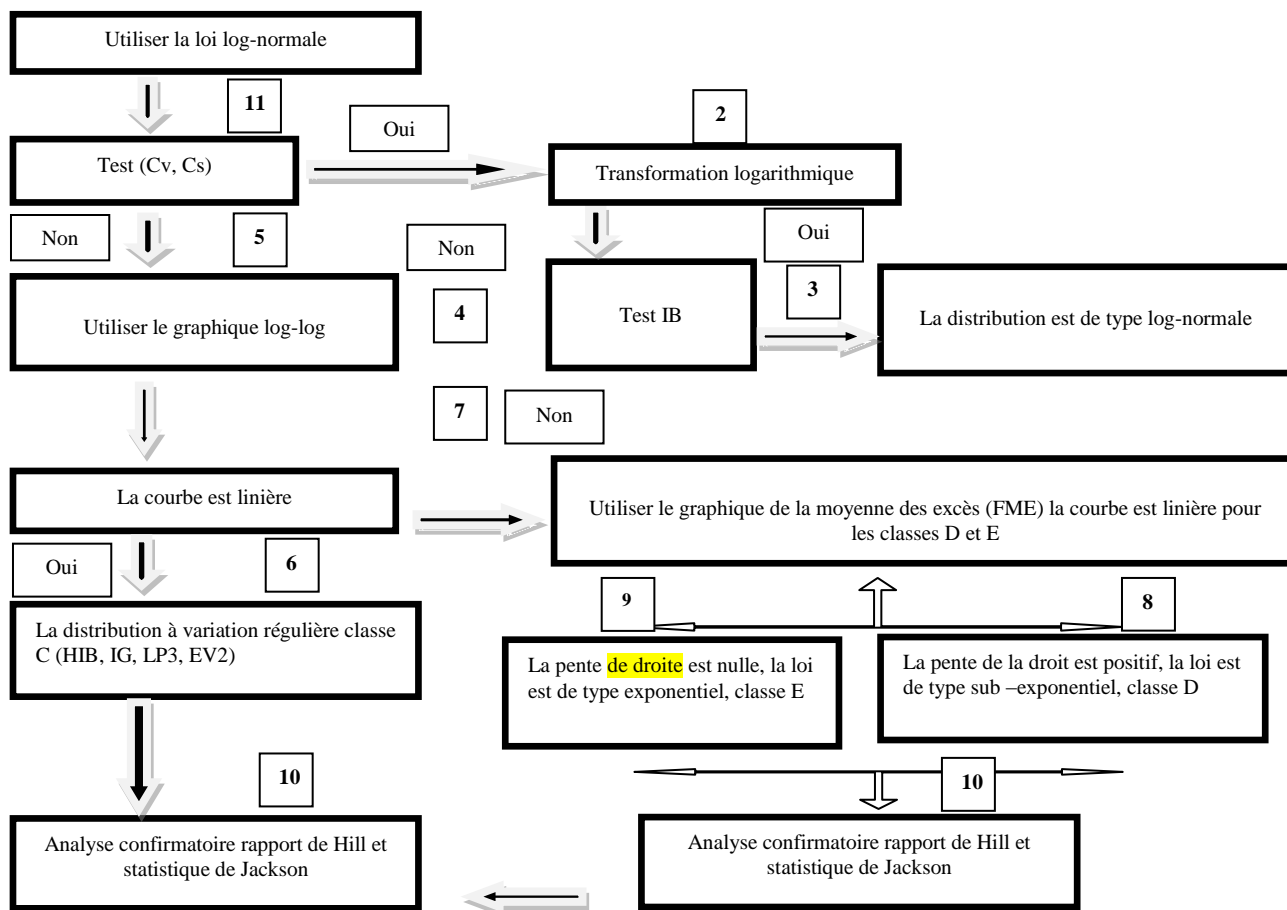


Figure 3 : Diagramme des critères de choix entre les classes C,D et E [26]

- le test de Jarque-Bera [27] (In El Adlouni *et al.* [26]): considéré pour tester la Log-normalité avec une sélection a priori basée sur le diagramme (Cv,Cs);
- le graphique Log-Log : utilisé pour discriminer d'une part la classe C et d'autre part les classes D et E,
- la fonction moyenne des excès (FME) : utilisée pour discriminer les classes D et E.
- deux statistiques : le rapport de Hill [28] (In El Adlouni *et al.* [26]) et la statistique de Jackson [29] qui peuvent être utilisées pour effectuer une analyse confirmatoire des conclusions suggérées à partir des deux
- précédentes méthodes (graphique Log-Log et FME).

Le critère d'information Bayésien (BIC) [30] et le critère d'information d'Akaike (AIC) [31] seront utilisés pour faire identifier la loi la plus adéquate [13]. Ces deux critères (BIC et AIC) permettent de construire un classement de modèles statistiques tenant compte du principe de parcimonie [13]. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs [11].

5. Application et résultats

Les résultats du Système d'Aide à la Décision, en se basant sur les graphes du rapport de Hill et la statistique de Jackson de six stations hydrométriques ont montré que la pente est positive et tend vers zéro (Figure 3). La

distribution appartient à la classe D (Halphen type A,

Gamma, Pearson type III, Halphen type B, et Gumbel).

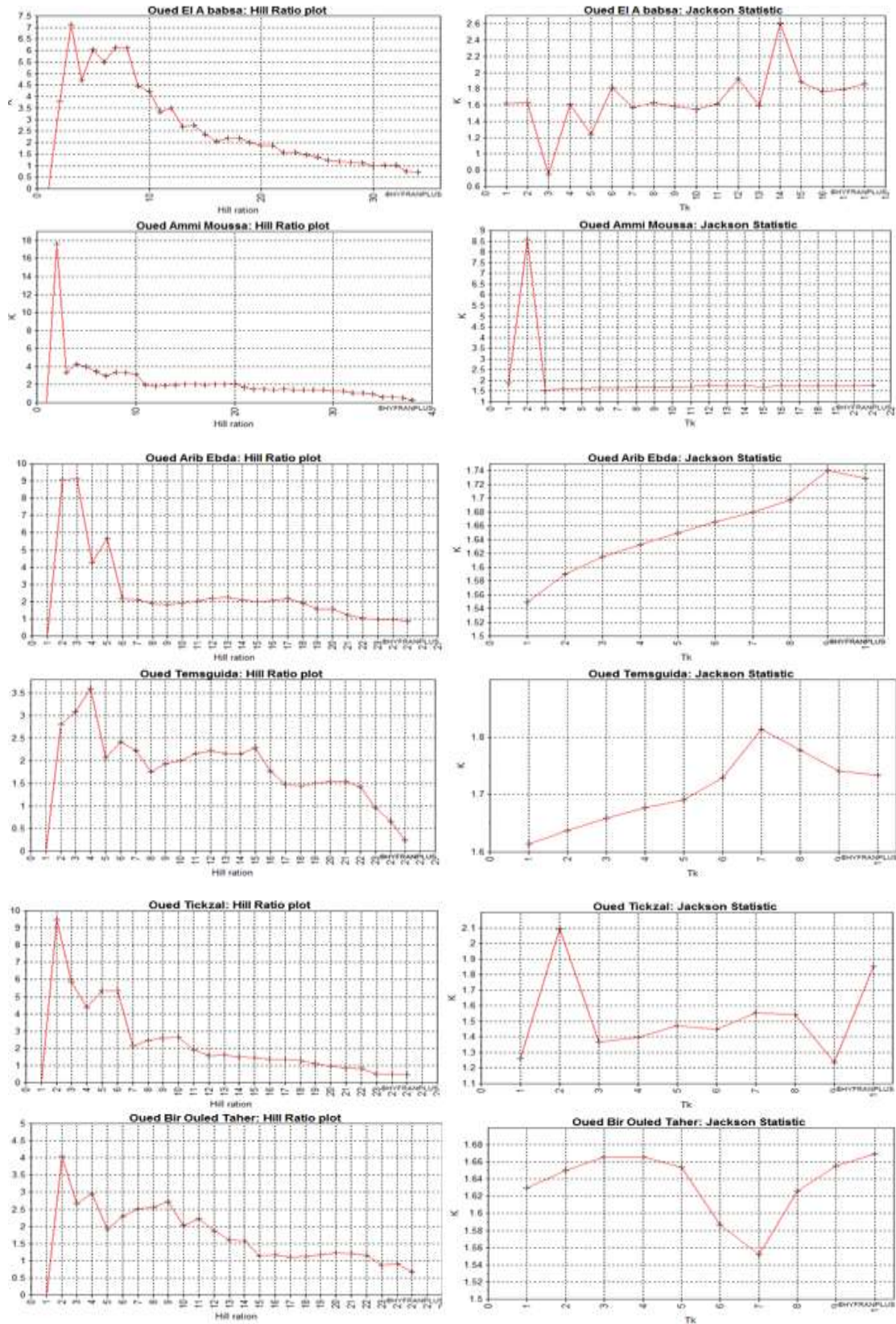


Figure 4 : Résultats (SAD) des stations (Jackson statistic) et (Hill's ratio)

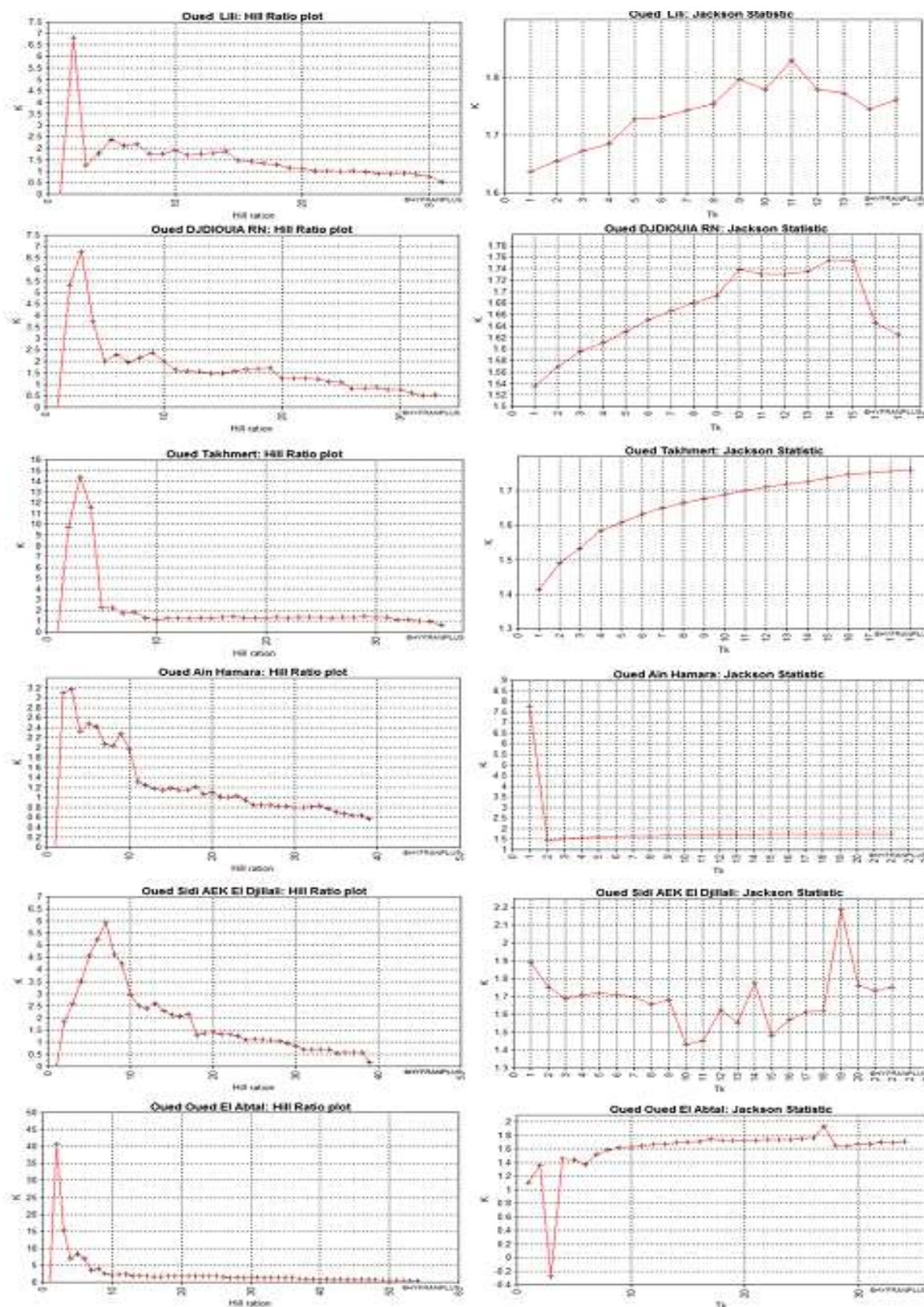


Figure 5 : Résultats (SAD) des stations (Jackson statistic) et (Hill's ratio)

5.2. Comparaison des lissages des lois

De l'analyse visuelle des figures, il ressort que les débits maximums annuels, des treize stations, s'ajustent bien à la loi Gamma au seuil 5 % (Figures 5 et 6). L'ajustement est dans son ensemble satisfaisant, car la droite d'équation passe par les points expérimentaux qui mettent en évidence un bon comportement comparé aux autres lois avec des valeurs plus faibles des critères de

BIC et d'AIC (Tableau 5) et aussi des valeurs de test de dispersion plus faibles (Tableau 5). La loi Gamma peut être utilisée pour estimer les probabilités d'occurrence des crues et leurs périodes de retour. A partir de la fonction de probabilité de Gamma (Tableau 4), les quantiles des débits maximums ont été calculés pour différentes périodes de retour ainsi que leurs intervalles de confiance.

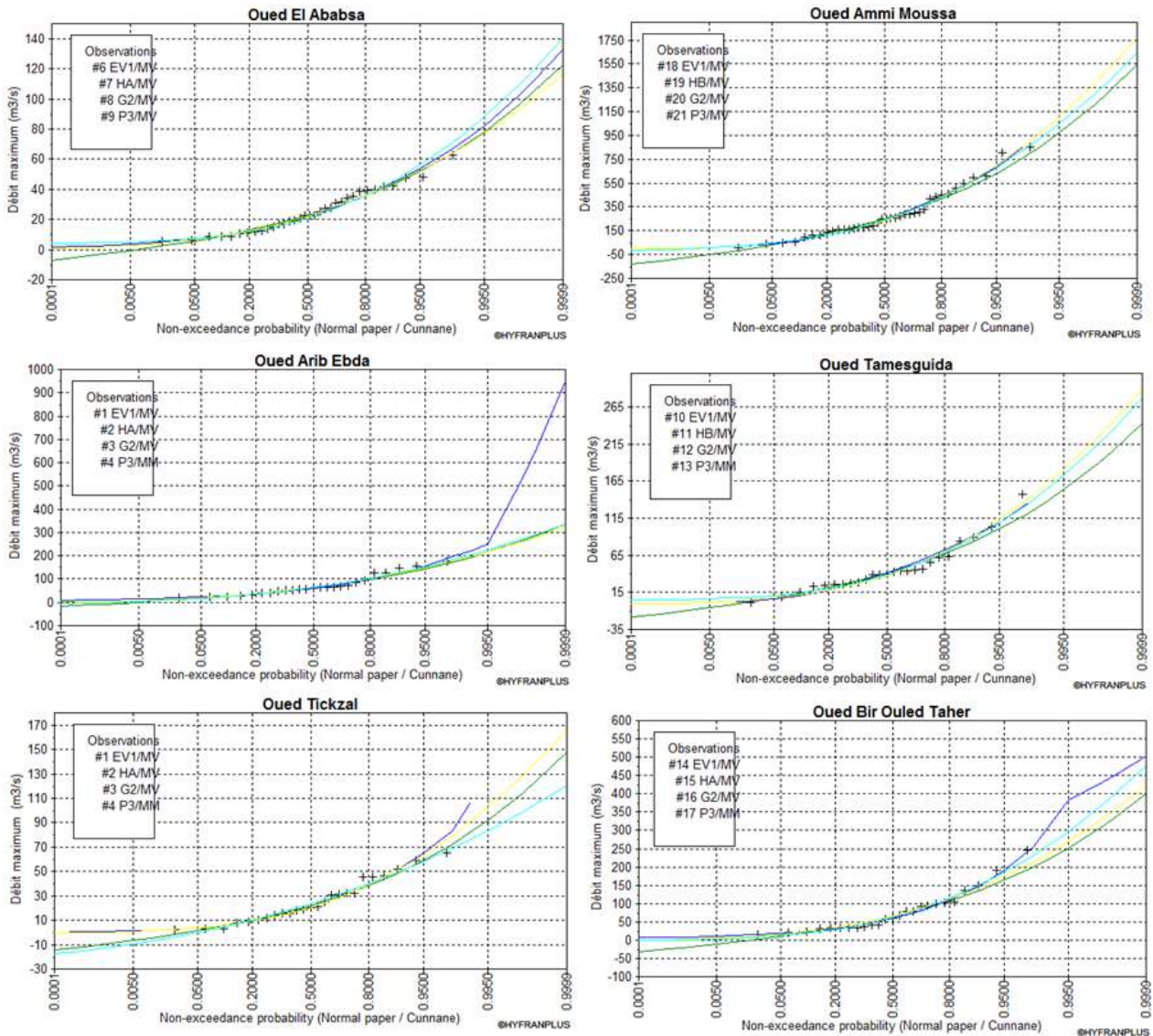


Figure 6 : Comparaison des lissages des lois des débits maximums

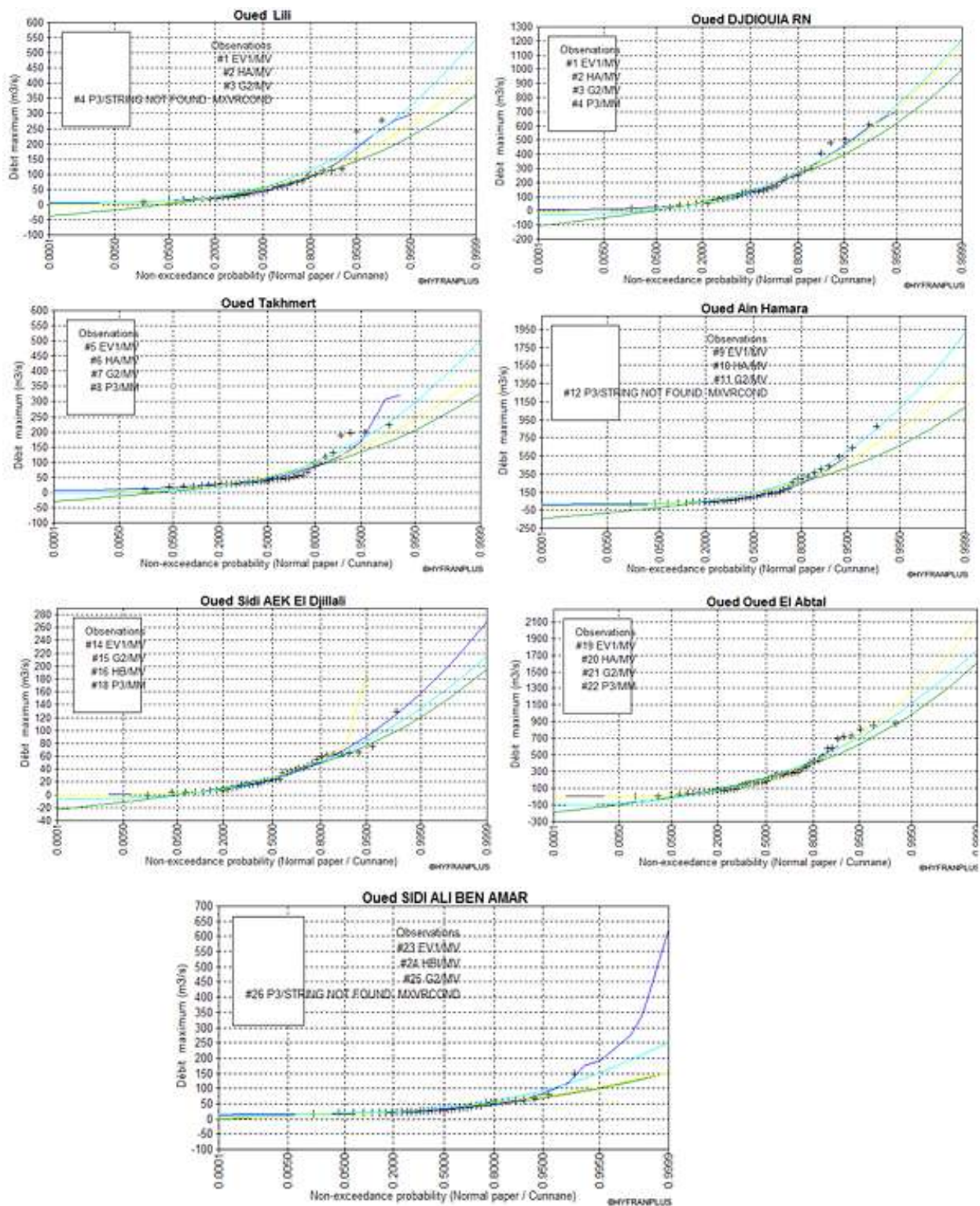


Figure 7 : Comparaison des lissages des lois des débits maximums

Tableau 4
Résultats des critères AIC et BIC

Nom de station	critères	Gamma (méthode des moments)	Gumbel (méthode des moments)	Halphen de type A (méthode des moments)	Pearson type III (méthode des moments)
El Ababsa	Bic	276,85	278,79	280,10	279,41
	Aic	273,80	275,74	275,52	274,83
Ammi Moussa	Bic	502,31	505,45	505,42	520,22
	Aic	499,03	502,18	500,51	515,31
Arib Ebda	Bic	256,49	257,59	258,48	260,67
	Aic	254,06	255,16	254,82	257,01
Temzguida	Bic	237,50	237,95	240,06	240,15
	Aic	235,06	235,51	236,40	236,49
Tikazele	Bic	214,71	217,49	217,87	221,36
	Aic	212,27	215,05	214,21	217,70
Bir Ouled Taher	Bic	265,64	268,58	266,74	269,29
	Aic	263,20	266,14	263,08	265,63
Oued Lili	Bic	322,78	321,91	329,59	N/D
	Aic	319,91	317,61	326,73	N/D
Djdiouia rn	Bic	409,18	411,16	415,61	416,25
	Aic	406,19	406,67	412,62	411,76
Takhmert	Bic	370,05	363,57	376,97	377,43
	Aic	366,88	358,82	373,80	372,68
Ain Hamara	Bic	481,29	486,71	503,43	N/D
	Aic	476,23	483,39	500,10	N/D
Sidi Aek El Djillali	Bic	355,11	357,59	362,08	362,10
	Aic	351,78	352,59	358,75	357,11
Oued El Abtal	Bic	716,98	720,93	729,53	731,93
	Aic	713,01	714,97	725,55	725,97
Sidi Ali Ben Amar	Bic	330,95	338,69	340,95	N/D
	Aic	325,96	335,37	337,62	N/D

Tableau 5
Résultats de Test du Khi-Deux

Nom de station	Gamma	Gumbel	Halphen de type A	Pearson type III
El Ababsa	1,76	1,89	1,82	2,71
Ammi Moussa	10,14	10,74	10,42	10,84
Arib Ebda	4,40	4,96	4,40	4,96
Temzguida	5,52	6,08	11,12	6,08
Tikazele	2,72	5,52	2,72	6,08
Bir Ouled Taher	2,72	8,32	3,84	2,72
Oued Lili	4,41	12,13	4,84	4,45
Djdiouia rn	4 ,55	5,06	6,03	5,15
Takhmert	15,56	30,67	16,22	19,56
Ain Hamara	11,80	22,40	12,60	12,80
Sidi Aek El Djillali	1,60	2,80	1,62	1,60
Oued El Abtal	9,00	13,33	15,00	13,33
Sidi Ali Ben Amar	5,08	9,31	5,46	5,51

5.3. Incertitudes et intervalles de confiance

L'estimation de quantiles pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, ou pour les Plans de Prévention des Risques liés aux inondations, requiert un certain niveau de confiance, que l'on doit prendre en considération. En pratique, on présente les incertitudes par des intervalles permettant de quantifier la dispersion d'une variable ou d'un paramètre autour de la valeur

attendue. D'après la figure 8, l'incertitude associée aux quantiles observés de loi Gumbel est plus grande pour des périodes de retour supérieures à 50 ans.

L'intervalle de confiance pour un quantile X_p de probabilité P est calculé comme suit [32]:

$$P \left[X_p - u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{2N}} \sqrt{2 + u_p^2} \leq X_p \leq X_p + u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{2N}} \sqrt{2 + u_p^2} \right]$$

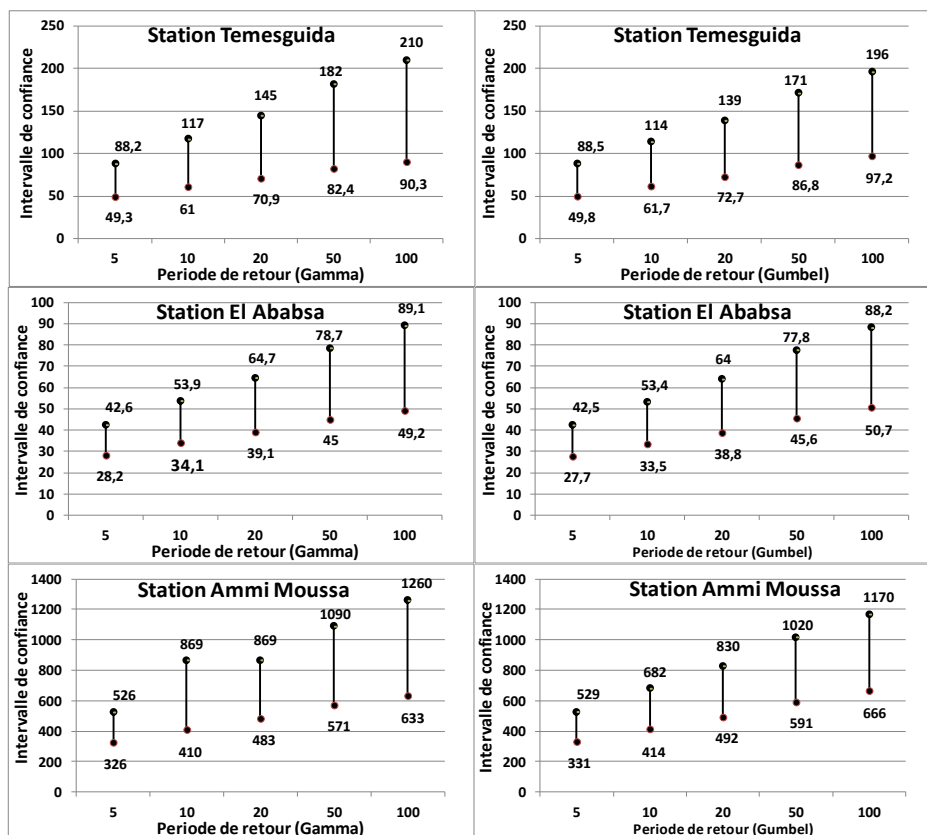


Figure 8 : Comparaison de l'intervalle de confiance à 95% des quantiles de la loi Gamma et la loi Gumbel

5.4. Estimation des paramètres de fonction de distribution

À titre d'illustration, le tableau 6 donne les résultats numériques des estimations de type maximum vraisemblance des paramètres des fonctions de distribution des débits maximums annuels.

Tableau 6 :
Paramètres de la distribution de loi Gamma

Nom de station	Paramètres	
	Alpha (α)	Lambda(λ)
El Ababsa	0,123	3,073
Ammi Moussa	0,007	1,993
Arib Ebda	0,043	3,088
Temesguida	0,045	2,088
Tikazele	0,077	1,970
Bir Ouled Taher	0,023	1,801
Oued Lili	0,017	1,067
Djdiouia Rn	0,008	1,365
Takhmert	0,019	1,203
Ain Hamara	0,004	0,638
Sidi Aek El Djillali	0,045	1,435
Oued El Abtal	0,005	1,304
Sidi Ali Ben Amar	0,067	2,576

6. Analyse des quantiles pour des périodes de retour de 10 ans et de 100 ans

L'analyse des quantiles des débits maximaux annuels estimés montre que la crue ayant une chance sur dix d'apparaître dans le bassin du Bas Chélif varie de 49,60 à

208 m³/s et entre 43,5 et 263 m³/s pour le bassin du Moyen Chélif, par contre le bassin Côtier a une valeur de 385 m³/s. Par analogie, les mêmes stations possédant une chance sur vingt d'apparaître dans les trois bassins, est de l'ordre, 230 m³/s dans le bassin du Moyen Cheliff, 185 m³/s dans le bassin du bas Cheliff et 733 m³/s dans le bassin Côtier. Les débits de crues médianes et décennales sont à l'origine des inondations. Les débits de crues de 50 ans et de 100 ans sont à l'origine des inondations fréquentes dans ces bassins versants. Les quantiles des débits pour les périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans respectivement sont consignés dans le tableau 7 et sont représentés dans la figure 8.

Les débits spécifiques (en m³/s/km²), qui représentent le débit total divisé par la superficie du bassin versant, ont été calculés (Figure 10). Le débit spécifique permet de comparer des cours d'eau de tous ordres en dépit de l'étendue des sous bassins versants. Des résultats (Figure 10), il ressort l'existence de contrastes entre les différents bassins. On y note que pour les trois bassins de périodes de retours de 10, 20, 50 et 100 ans, le débit spécifique varie en entre 0,06 m³/s/km² et 0,81 m³/s/km² pour le bassin Bas Cheliff, alors qu'il est plus élevé (entre 0,35 m³/s/km² et 0,96 m³/s/km²) pour le bassin Haut et Moyen Cheliff.

Tableau 7 :
Quantile de période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans en m³/s

Nom de station	Période de retour			
	10	20	50	100
El Ababsa	43,50	51,60	61,70	69,00
Ammi Moussa	554	676	832	946
Arib Ebda	129	154	185	208
Temesguida	88,9	108	132	150
Tikazele	49,60	60,60	74,60	85,00
Bir Ouled Taher	151	186	230	263
Oued Lili	144	186	241	283
Djdiouia Rn	366	462	586	679
Takhmert	135	173	222	259
Ain Hamara	416	552	733	870
Sidi Aek El Djillali	67,10	84,20	106	123
Oued El Abtal	570	722	920	1070
Sidi Ali Ben Amar	70,30	84,10	102	114

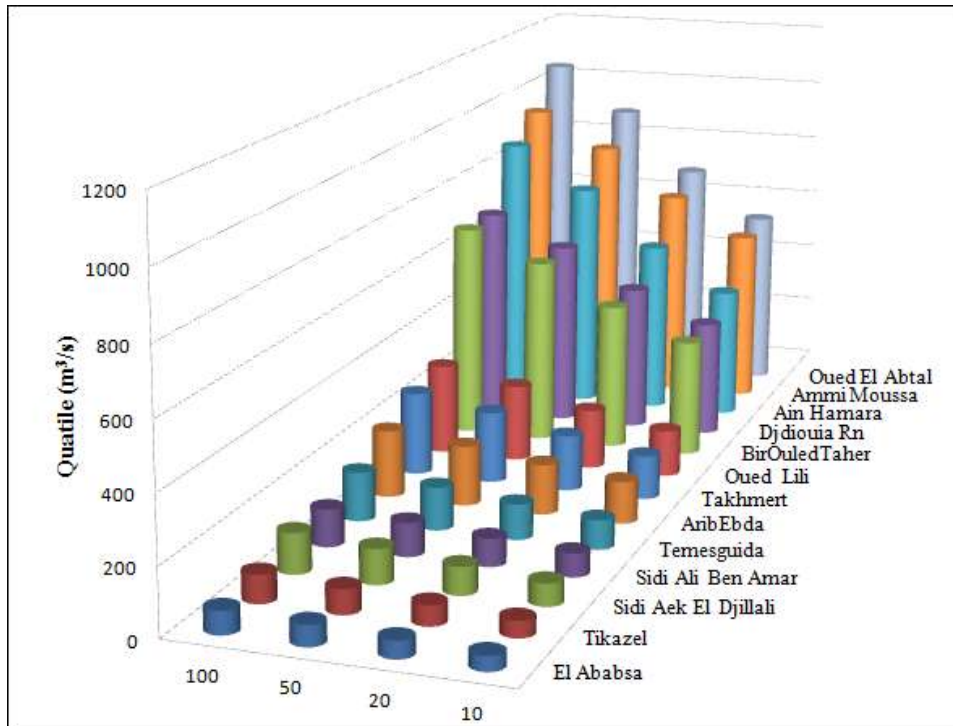


Figure 9 : Évolution des quantiles dans la zone d'étude

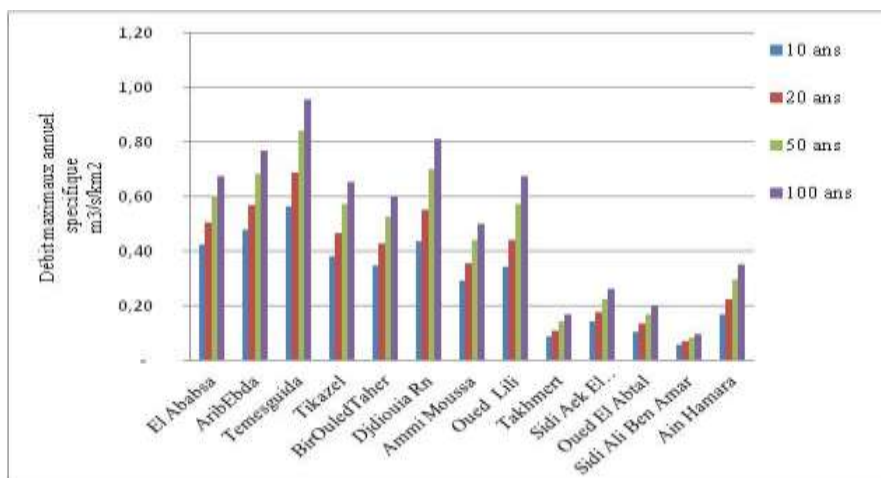


Figure 10 : Débits maximums annuels spécifique de treize stations hydrométriques

7. Discussions

Dans la présente étude, 13 stations hydrométriques de trois bassins (Moyen, Bas Chélif et Côtier) ont été analysées. Nous avons utilisé, dans ce travail, les outils de la modélisation pour représenter la distribution des débits maximums annuels. La validité des différents modèles de probabilités peut être évaluée différemment, suivant la méthode choisie (les critères BIC, AIC, test de Pearson Khi-

deux ainsi que l'examen visuel du graphique). Les tests de la visualisation nous montrent que l'ajustement est dans son ensemble satisfaisant, car la droite d'équation passe par les points expérimentaux. Ces résultats corroborent avec les travaux effectués sur le bassin de l'oued de Mekerra (Ouest de l'Algérie), Meddi et Sadeuk [21] et Riad [13] au Maroc. L'analyse des phénomènes des débits extrêmes permet de connaître les quantiles de débits afin de prévenir les risques hydrométriques. Elle revêt un

intérêt capital puisque des changements dans l'intensité et la fréquence des extrêmes climatiques ont des conséquences environnementales et socio-économiques.

Les résultats montrent que les débits maximaux rares des fréquences de 0,02 et 0,01 varient de 60,60 à 208 m³/s dans le bassin du Bas Chélif, contre 51,60 à 263 m³/s dans le bassin du Moyen Chélif. De même, les débits ayant une fréquence de 0,1 et de 0,05 varient de 43,50 et 186 m³/s dans le bassin du Moyen Chélif, par contre, dans le bassin du Bas Chélif, les débits sont entre 49,60 à 154 m³/s. Ces résultats montrent que les valeurs des quantiles des débits maximaux du bassin Côtier, sont plus fortes par rapport aux autres stations du Bas Chélif et moyen Cheliff. D'autre part, Les analyses présentées dans le présent travail (Figure 9) permis de constater que le débit spécifique des fréquences de 0,02 et 0,01 est plus élevé pour les deux bassins (Haut, Moyen Chélif et Côtier) avec des valeurs atteignant 0,96 m³/s/km² qu'au bassin de Bas Chélif où le débit spécifique moyen ne dépasse pas 0,81 m³/s/km². Les contrastes alors observés peuvent témoigner de comportements hydrologiques distincts, en rapport plus avec des facteurs climatiques (e.g. précipitations) et/ou certaines caractéristiques des bassins versants [32].

8. Conclusion

L'objectif principal de ce travail a été de développer un modèle capable de rendre compte du régime des crues des trois bassins : Moyen, Bas Chélif et le Côtier, ce type d'information est utile dans le cadre de la prévention des risques liés aux inondations.

Dans ce travail, l'analyse statistique des débits maximaux a été traitée en utilisant le Système d'Aide à la Décision (SAD). D'après les résultats du test visuel graphique et les critères (BIC et AIC), Il semble que l'estimation des débits extrêmes avec les lois de Gumbel, Pearson type III et Halphen surestime les valeurs élevées. Après classement de ces lois, en se basant sur les critères (AIC et BIC) et le test visuel, la loi Gamma a été sélectionnée pour modéliser les débits maximaux annuels de treize stations. De plus, les résultats de différents périodes de retours ont montré que le débit spécifique des bassins Haut et Moyen Cheliff représente entre 0,29 m³/s/km² et 0,96 m³/s/km² pour une superficie des bassins versants (102 < S < 435) et pour Bas Chélif, le débit spécifique varie entre 0,06 m³/s/km² et 0,81 m³/s/km² pour les grands superficies des bassins versants (> 470). Ces résultats démontrent que les débits maximaux annuels

sont plus grands dans le bassin haut et moyen Chélif que les autres.

Références

- [01] Medejera A., Les inondations catastrophiques du mois d'octobre 2008 à Ghardaïa Algérie, Géographia Technica sp (2009) 311-6
- [02] Meddi M. et Belhadj bouchaib F., Étude des crues dans le bassin du Cheliff. Application de la méthode du Gradex, Nature & Technologie, 3 (2011) 21-28
- [03] Ketrouci K., Meddi M., Boucif A., Étude des crues extrêmes en Algérie : cas du bassin-versant de la Tafna, Journal de Sécheresse 23 (2012) 297-305
- [04] Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection /Batna 15-16 décembre 2004 - 43 - Les Inondations En Algérie, Lahlah. Salah* Ingénieur Hydrologue, chef de section. ANRH. ALGER lahlahsalah@yahoo.fr
- [05] Meylan P. et Musy A., EPFL, 1999, Hydrologie fréquentielle. Editions HGA, Bucarest.
- [06] Dègla Herve KOU MASSI *et al.*, Analyse fréquentielle des évènements hydro-pluviométriques extrêmes dans le bassin de la Sota au Bénin, Afrique Science, 10 (2) (2014) 137 – 148.
- [07] Burn D.H., Climatic Change Impacts on Hydrologic Extremes and the implications for reservoirs, Proceedings of the II International Conference on Climate and Water, 1, 2aI (1998) 273-281.
- [08] Vastila K., Kumm M., Sangmanee C. and Chinvan S.M., Modelling climate change impacts on the flood pulse in the Lower Mekong floodplains, Journal of Water and Climate Change, 01 (1) (2010) 67-86
- [09] Roy L., Leconte R., Brissette F.B. and Marche C., The impact of climate change on seasonal floods of a southern Quebec River Basin, Hydrol. Process, 15 (2001) 3167-3179
- [10] Kundzewicz Z.W., Radziejewski M., Pińskwar I., Precipitation extremes in the changing climate of Europe Clim. Res., 31 (2006) 51-58.
- [11] Zbigniew W. Kundzewicz, Changement climatique et crues, Bulletin Temps-Climat-eau, OMM, (Juillet 2008).
- [12] Bobée B., Extreme flood events valuation using frequency analysis: A critical review, Houille Blanche, 54 (7-8) (1999) 100-105.
- [13] Riad S., Jacky Mania and Bouchaou L., Variabilité hydroclimatique dans les bassins-versants du Haut Atlas de Marrakech (Maroc), Science et changements planétaires, Sécheresse, 17 (3) (2006) 443-6.
- [14] Bobée Fortin B., Perrault V., Perron L.H. (1999) : Hyfran 1.0 (logiciel hydrologique : Chaire en hydrologie statistique CRNSG/Hydro- Québec), INRS-Eau, Terre et Environnement, Université du Québec, Québec.
- [15] López J. and Francés F., Non-stationary flood frequency analysis in continental Spanish rivers, using climate and reservoir indexes as external covariates, 3rd STAHY International Workshop on statistical methods for hydrology and water resources management, October 1st-2nd, 2012 Tunis, Tunisia
- [16] Achite A. & Meddi M., Estimation des crues en zone semi-aride : cas du bassin versant de l'Oued Sly (Chlef), Colloque International "Terre et Eau", Université d'Annaba, 4-6 Décembre 2004.
- [17] Belloula M., "Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins algéro-tunisiens)" Mémoire de Magistère, Univ. de Batna, (2008) 168 pp.
- [18] Belagoune F., "Étude et modélisation des crues des cours d'eau en milieu semi-aride : cas des grands bassins-versants" 05-07, Mémoire de Magistère, Univ. d'Ouargla, 181 pp.
- [19] 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, 38 (8) (2011a) 881-892, 10.1139/111-067
- [20] Hebal A. et Remini B., Choix de la loi théorique la mieux adaptée à la prédétermination des crues (Cas de l'Est Algérien), 4th International workshop on hydrological extremes from prediction to

-
- prevention of hydrological risk in Mediterranean countries, University of Calabria, September 15th to 17th, (2011b)
- [21] Mohamed Meddi et Abdelkader Sadeuk Ben Abbas, Analyse statistique et prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'oued Mekerra (Ouest de l'Algérie), *Nature & Technologie*, 10 (2014) 21-31
- [22] Mann H.B., Non-parametric tests against trend, *Econometrica*, 13 (1945) 163-171.
- [23] Kendall M.G., 1975, Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.
- [24] Onibon H., Ouarda T.B.M.J., Barbet M., St-Hiliare A., Bobee B. and Bruneau P., Regional frequency analysis of annual maximum daily precipitation in Quebec, Canada, *Hydrol. Sci. J.*, 49 (4) (2004) 717 – 735.
- [25] HANSEN L. P., Large Sample Properties of Generalized Method of Movements Estimators, *Econometrica*, 50 (1982) 1029- 1054.
- [26] El Adlouni S., Bobée B. et Ouarda T.B.M.J, On the tails of extreme event distributions in Hydrology, Accepted on *Journal of Hydrology*, 355 (1) (2008) 16-33
- [27] Jarque C.M. et Bera A.K., Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals, *Economics Letters*, 6 (3) (1980) 255–259.
- [28] Hill B.M., A Simple General Approach to Inference about the Tail of a Distribution, *The Annals of Statistics*, 3 (5) (1975) 1163-1174.
- [29] Jackson O.A.Y., An analysis of departures from the exponential distribution, *Journal of the Royal Statistical Society B*, 29 (1967) 540-549.
- [30] Schwarz Gideon E., Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics*, 6 (2) (1978) 461–464.
- [31] Akaike H., A new look at statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, AU 19 (6) (1974) 716-723.
- [32] Meddi M., Toumi S., Study of the interannual rainfall variability in northern Algeria, *Revue scientifique et technique, LJEE n° 23* (2013) 40–59.
- [32] Touaïbia B., (2004), *Manuel Pratique d'Hydrologie*, Edition Madani, Blida, Algérie.
- [33] Meddi M., Toumi S., Study of the interannual rainfall variability in northern Algeria, *Revue scientifique et technique LJEE*, 23 (2013) 40-59
-