
Soumis le : 04 Mars 2012

Forme révisée acceptée le : 26 Juin 2013

Email de l'auteur correspondant :

mmeddi@yahoo.fr

Analyse statistique et prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Ouest de l'Algérie)

Mohamed Meddi^{*}, Abdelkader Sadeuk Ben Abbes^{*}

^{*}LGE - Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, BP n°29, Blida, 09000, Algérie

Résumé

La région de Sidi Bel Abbès est périodiquement affectée par des crues et des inondations. La ville de Sidi Bel Abbès est exposée à des crues très importantes et à répétition. Cette région est située à un niveau plus bas que le lit d'Oued Mekerra. Il est équipé de trois stations de mesure : Haçaiba, Sidi Ali Benyoub et Sidi Bel Abbès. Ces stations possèdent de longues séries de mesures : 43 ans, 55 ans et 64 ans respectivement. L'estimation statistique des débits extrêmes de crue a été réalisée pour les débits maximums annuels. Le choix de la classe d'appartenance de la loi la plus adéquate pour modéliser les débits maximums annuels a été fait par le système d'aide à la décision (SAD) du logiciel HYFRAN. Les séries des trois stations appartiennent à la classe D. Après classement des lois, sur la base de la probabilité a posteriori, le critère d'information bayésien (BIC) et le critère d'information d'Akaike (AIC), qui tiennent compte de la qualité statistique de l'ajustement, la loi Gamma a été sélectionnée pour estimer les débits maxima fréquents.

Mots Clés : Crues, débit maximal, ajustement statistique, HYFRAN, Bassin de la Mekerra, Algérie

Abstract

The region of Sidi Bel Abbès is periodically affected by floods and flooding. The city of Sidi Bel Abbès is exposed to very important and recurrent floods. This region is located at a lower level than the bed of Wadi Mekerra. It is equipped with three hydrometric stations: Haçaiba Sidi Ali Benyoub and Sidi Bel Abbès. These stations have a long series: 43 years, 55 years and 64 years respectively. Statistical estimation of extreme flood has been carried out for the annual maxima. The choice the most appropriate class of law for modelling the annual maxima was made by the decision support (DSS) of HYFRAN software system. Series of three stations belong to the class D. After classification of laws, on the basis of the posterior probability, the Bayesian information criterion (BIC) and the Akaike information criterion (AIC), which take into account the statistical goodness of fit, the law gamma was selected to estimate the maximum flow frequency.

Keywords : Flood, maximum flow, statistical adjustment, HYFRAN, Mekerra Basin, Algeria

1. Introduction

Les crues sont le plus souvent décrites par trois caractéristiques principales : la pointe, le volume et la durée. Durant les dernières décennies, on remarque un regain d'intérêt pour les recherches et les études des crues et des inondations. Cet intérêt peut s'expliquer par les préoccupations des milieux scientifiques et des décideurs face à la fréquence, de plus en plus élevée, de l'apparition des crues dévastatrices. Dans de nombreux travaux, cet état de fait est mis en liaison avec le changement climatique (Burn, 1998 ; Vastila et al., 2010 ; Roy et al., 2001). Kundzewicz et al., en 2006 (in Zbigniew et Kundzewicz, 2008) ont montré qu'au cours de la période 1961-2000, les débits maxima journaliers

atteints sont plus importants pour la période allant de 1981 à 2000 que durant les deux décennies allant de 1961 à 1980 en Europe. Il existe diverses approches pour étudier et prédire les crues. On peut citer la typologie proposée par Lang et al. (2007) :

- traitement statistique par ajustement statistique pratiqué sur les échantillons de débits observés pour déterminer des débits de périodes de retour données.
- formulations empiriques basées sur les échantillons de débits observés pour déterminer le volume et la durée.
- utilisation de fonctions de transfert et de production déterministes (méthode du SCS (Soil Conservation Service) et méthode rationnelle par exemple)

Le traitement statistique de données hydrométriques est l'approche que privilégient généralement les hydrologues pour analyser le risque associé aux événements hydrologiques extrêmes.

En Algérie, la loi de Gumbel a été, pour longtemps, utilisée pour estimer les quantiles des débits maximum (Achite *et al.*, 2004 ; Belloula, 2008; Belagoune, 2012). Cependant, Bernier (1959) a montré que la loi Fréchet est meilleure que la loi de Gumbel pour ajuster les extrêmes. D'autres lois ont été utilisées pour différentes régions du monde : la loi des valeurs extrêmes généralisée (GEV) en Grande Bretagne, la loi Lognormale en Chine, la loi Log-Pearson type III (LPIII) aux États-Unis (Bobée *et al.* 1999), la loi Gamma dans le Centre et l'Est de l'Algérie (Hebel *et al.*, 2011a et b), la loi Lognormale dans le bassin du Chéllif en Algérie (Achite *et al.*, 2004), et la loi Gamma au Maroc (Riad , 2006) et en Espagne (López *et al.*, 2012).

La région de Sidi Bel Abbès est périodiquement affectée par des crues et des inondations. La ville de Sidi Bel Abbès est exposée à des crues très importantes et à répétition. L'inondation historique de 1940 a causé des dégâts considérables qui ont coûté 40 milliards de dinars (440 millions d'Euros). Cette ville est située à un niveau plus bas que le lit d'Oued Mekerra. La crue du mois de septembre 1994 a provoqué la mort de deux personnes et laissé 22 familles sinistrées. Pour celle du mois d'octobre 1986, on a recensé un mort, 530 personnes sans-abris et 200 familles sinistrées. Les crues du mois d'avril 2007 ont fait six morts et laissé de nombreuses familles sinistrées à Sidi Bel Abbès. Les crues et les inondations dans cette région sont récurrentes. Les inondations dans ce bassin sont exacerbées par la topographie de la région qui se présente comme une vallée traversée par des oueds.

Les études de l'aléa d'inondation fournissent aux décideurs, dans le domaine de l'aménagement, les

éléments nécessaires à la prise de décision. Ces études fournissent également l'information indispensable aux ingénieurs chargés du dimensionnement des ouvrages tels que les déversoirs de sécurité des barrages ou encore de la délimitation des zones inondables. Pour les besoins de la modélisation hydraulique, ces études intègrent l'estimation des débits extrêmes de crues correspondants aux périodes de retour de 25, 50 et 100 ans. Ces valeurs représentent des récurrences élevées, moyennes et faibles respectivement.

Dans ce travail, nous allons essayer de choisir le modèle fréquentiel, le plus adéquat, pour évaluer les quantiles des débits de crues dans le bassin versant de la Mekerra, en se basant sur les séries de valeurs de crues observées aux trois stations : Sidi Ali Ben Youb, Sidi Bel Abbès et Haçaiba. Le choix de la loi est basé sur l'application de différents outils à savoir : test visuel (qualité graphique d'ajustement), test du khi-deux, critère d'Akaike (AIC) proposé par Akaike (1974) et le critère Bayésien (BIC) proposé par Schwarz (1978). De nombreux chercheurs ont étudié l'adéquation des lois statistiques aux séries de valeurs de débits de crues en Algérie et au Maroc : Achite *et al.* (2004) pour le bassin d'Oued Mina; Hebal *et al.* (2011a) pour les bassins des Isser, Chellif et Côtiers-algérois Ouest; Hebal *et al.* (2011b) pour un certain nombre de bassin de l'Est Algérien); Riad *et al.* (2006) en étudiant les bassins versants du Haut Atlas de Marrakech.

2. Matériel et Méthode

2.1. Zone D'étude

Le bassin versant d'Oued Makerra fait partie du grand bassin de la Macta (Figure 1).

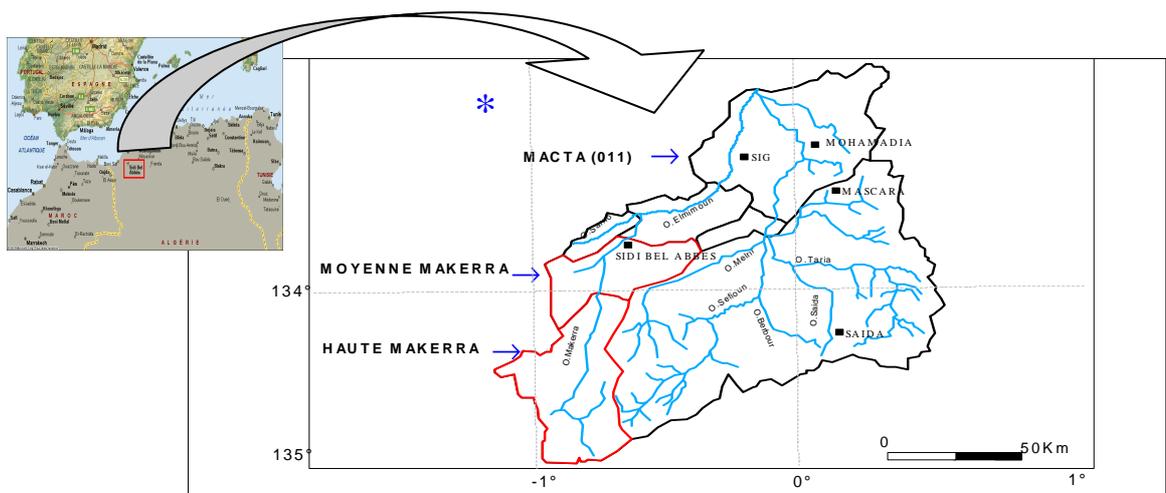


Figure. 1: Bassin versant de l'Oued Makerra

Il est limité au Nord par la chaîne du Tessala (segment occidental de l'Atlas Tellien), au Sud par le massif tabulaire de Tlemcen, Saida et la bordure Septentrionale des Hauts Plateaux. Il se raccorde à l'Est, à la plaine de Mascara, par le bassin d'Oued Isser (Sadeuk Ben Abbes, 2006). L'oued Mekerra prend sa source aux pieds des monts des djebel Teniet El Baroud (1136 m), Djouazène (1356 m), Beghra (1414m), Rokbet, Naama (1140 m). La longueur de son cours principal est de 115 km. Il (axe de drainage) reçoit de nombreux affluents représentés principalement par les oueds: Tissaf, Tedjmout et Faïd El Fega,

2.2. Principales causes des inondations d'Oued Mekerra

Les principales causes des inondations provoquées par l'Oued Mekerra sont (Borsali et al., 2005) :

- la forme particulièrement allongée du bassin.
- les averses intenses et irrégulières au niveau de la haute Mekerra.
- le rétrécissement de la section de l'oued au niveau de certains tronçons et ouvrages en particulier les ponts.
- l'obstruction quasi-totale de la section de l'oued par des sédiments charriés et déposés par les crues antérieures.
- l'urbanisation anarchique au niveau des berges de l'Oued.

2.3. Données

La base de données ayant servie à cette étude contient des séries de débits journaliers. Le bassin est équipé de trois stations de mesure à savoir : Haçaiba (938 km²), Sidi Ali Benyoub (1871 km²) et Sidi Bel Abbès (3000 km²). Il existe d'autres stations sur les affluents ayant des séries de mesures très courtes. Les stations de Haciaiba, Sidi Ali Benyoub et de Sidi Bel Abbès possèdent de longues séries de mesures 43 ans, 55 ans et 64 ans respectivement. L'onde de crue d'Oued Mekerra a une vitesse de l'ordre de 5 m/s en zone de relief et entre 2 et 3 m/s en plaine. Le tableau 1 reporte les débits maximaux instantanés observés pour quelques crues historiques dont les mesures sont disponibles.

Tableau 1:

Certaines crues catastrophiques observées et leurs débits (stations : Sidi Bel Abbès)

Année de la crue	Débit maximal annuel observé (m ³ /s)
1928	530
1966	480
1986	500
1991	130
1994	530

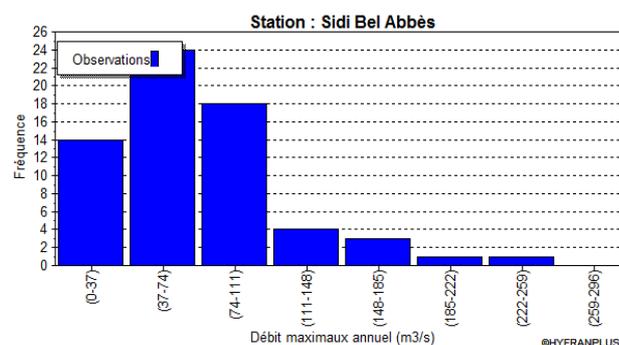
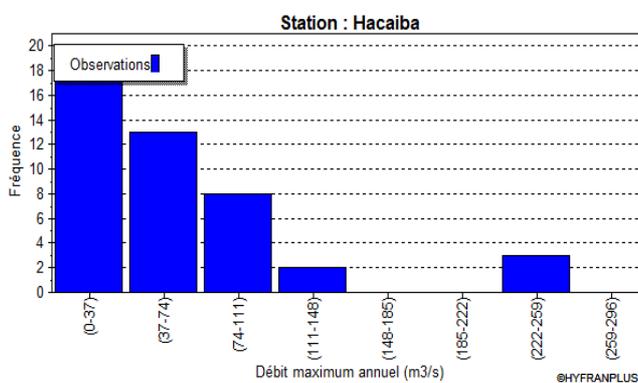
Les plages de débits maximaux annuels sont illustrées sur la figure 2. La décennie 1970 est considérée comme un point de changement dans la stationnarité des séries de débits annuels et des apports dans l'Ouest de l'Algérie par plusieurs auteurs (Talia, 2002 ; Meddi *et al.*, 2003). Les débits annuels des stations de Sidi Ali Ben Youb et de Sidi Bel Abbès ont diminué de l'ordre de 30 % (Talia, 2002). Ainsi, malgré cette réduction en volume, les débits de pointe sont devenus plus importants et la fréquence de leur apparition semble s'être accrue (Figure 3) sans toutefois enregistrer une rupture dans la stationnarité des séries de débits maximaux annuels.

Les tests d'indépendance de **Wald-Wolfowitz** et de stationnarité de **Kendall** ont été appliqués sur les séries sélectionnées. Les résultats ont montré que ces tests sont acceptés.

Tableau. 2 :

Paramètres d'indépendance et de stationnarité des séries de débits maximaux annuels des stations de Hacaib, Sidi Ali Ben Youb et Sidi bel Abbès

Stations	Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz)	Test de stationnarité (Kendall)
Hacaiba	Accepté au niveau de signification de 1%	Accepté au niveau de signification de 1%
Sidi Ali Ben Youb	Accepté au niveau de signification de 1%	Accepté au niveau de signification de 1%
Sidi Bel Abbès	Accepté au niveau de signification de 1%	Accepté au niveau de signification de 1%



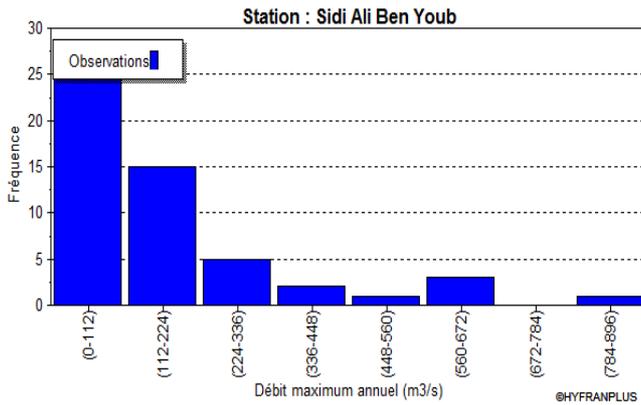


Figure. 2 : Histogramme des observations classées valeurs des stations de Hacaiba, Sid Ali Ben Youb et de Sidi Bel Abbès

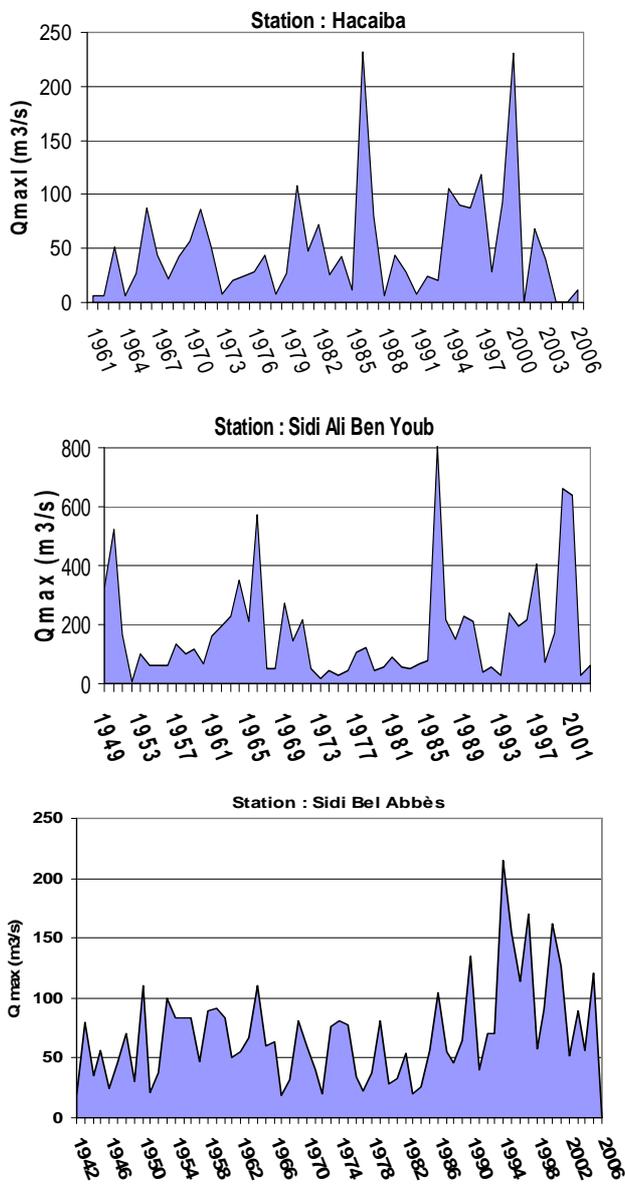


Figure. 3 : Evolution des débits maximum annuels des stations de Hacaiba, Sidi Ali Ben Youb et de Sidi Bel Abbès

2.4. Techniques d'échantillonnage des débits caractéristiques :

La modélisation statistique des séries nécessite un choix au préalable de (WMO, 1989):

- la manière de composer l'échantillon,
- la méthode de détermination des paramètres et des quantiles,
- la loi de distribution.

L'estimation statistique des débits extrêmes de crues peut se faire de deux manières : la méthode des maxima annuels et la méthode des valeurs supérieures à un seuil ou encore appelée méthode des excès ou méthode peaks over threshold (Ferrer, 1992; Javelle, 2001). La première consiste à sélectionner un seul maximum sur une année hydrologique. L'un des inconvénients de cette procédure réside dans le choix d'un événement non significatif lorsqu'aucune crue importante n'est enregistrée durant une année hydrologique et l'autre concerne la non prise en compte des crues importantes enregistrées dans la même année. La deuxième technique consiste à retenir la valeur maximale d'un ensemble d'événements indépendants ayant dépassé un seuil donné (Lang et al., 2007). Dans le cas de séries courtes, d'une longueur comprise entre 10 et 20 ans, la méthode des valeurs supérieures à un seuil est préconisée (Javelle, 2001). Les données utilisées sont alors les débits de pointe supérieurs à un seuil préalablement fixé. Un choix judicieux du seuil permet de retenir, par année, un nombre moyen de crues de l'ordre de 2 à 3. Ensuite, constituer une série comportant suffisamment de données pour réaliser l'ajustement d'une loi statistique (Dautrebande *et al.*, 2006). Cette technique a l'avantage d'avoir une estimation des quantiles de crue avec plus de précision (Javelle, 2001). Elle est considérée plus robuste et plus fiable comparée à la première, mais sa mise en œuvre est délicate (Lang *et al.*, 2007). Lang (1995) a montré que lorsque la technique d'échantillonnage par maximum annuel est utilisée, l'erreur quadratique entre les quantiles calculés et observés est deux à trois fois plus importante. La nature des données disponibles a dicté notre choix qui a porté sur la première approche à savoir la méthode des maxima annuels.

2.5. Choix du modèle

Le système d'aide à la décision (SAD) sera appliqué afin de déterminer la classe d'ajustement appropriée pour les trois stations (Figure 4). Le système d'aide à la décision (SAD), développé par El Adlouni *et al.*, (2008), est destiné à la détermination de la classe d'ajustement appropriée. La classification selon l'extrémité droite permet de distinguer trois principales classes (El Adlouni *et al.*, 2008):

- la classe C (distributions à variations régulières) : Fréchet (EV2), Halphen Inverse B (HIB), Log-Pearson (LP3), Gamma Inverse (GI).

- la classe D (distributions sub-exponentielles) : Halphen type A (HA), Halphen type B (B), Gumbel (EV1), Pearson type 3 (P3), Gamma (G).

- la classe E (loi exponentielle).

- La loi Log-normale (LN) ne fait partie d'aucune des classes C et D, son comportement asymptotique se situe à la frontière des classes C et D (El Adlouni *et al.*, 2008).

La queue droite de la loi LN est plus légère que celle d'une loi de la classe C (respectivement de la classe D), El Adlouni *et al.*(2008).

L'importance de cette classification réside dans la simplification du choix de la loi d'ajustement la plus adéquate et la minimisation de l'erreur qui peut être commise lors du calcul des quantiles dont la relation suivante est vérifiée par les différents tests (El Adlouni *et al.*, 2008) :

$$QT(E) < QT(D) < QT(C)$$

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 (El Adlouni *et al.*2008). Les quantiles estimés à partir de distributions

relatives aux classes S, D et la loi Log-Normale vérifient la relation d'ordre suivante (El Adlouni *et al.*, 2008):

$$QT(D) < QT(LN) < QT(C)$$

Les méthodes citées ci-dessous, développées dans le système d'aide à la décision (El Adlouni *et al.* 2008), conduisent à sélectionner la loi la plus adéquate pour ajuster une série de données :

- le test de Jarque-Bera (Jarque and Bera, 1980 in El Adlouni *et al.*2008) : 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 (Hill, 1975 in El Adlouni *et al.* 2008) et la statistique de Jackson qui peuvent être utilisées pour effectuer une analyse confirmatoire des conclusions suggérées à partir des deux précédentes méthodes (graphique Log-Log et FME).

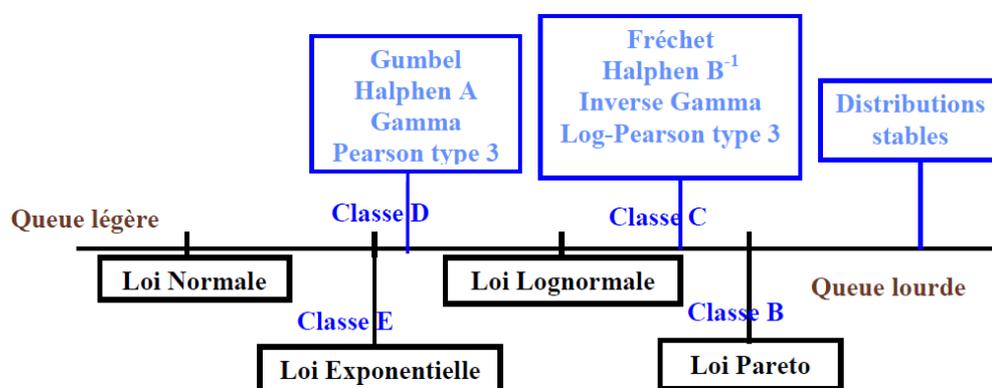


Figure. 4: Distributions ordonnées par rapport à leurs queues droites (El Adlouni *et al.*, 2008)

Le choix de loi à l'intérieur de la classe choisie sera basé sur la probabilité a posteriori. Les valeurs les plus élevées de cette dernière correspondent aux meilleurs ajustements. Ensuite, le test de χ^2 sera appliqué afin de vérifier l'adéquation de ces lois à l'échantillon des valeurs observées. Enfin, le critère d'Akaike (AIC) proposé par Akaike (1974) et le critère Bayésien (BIC) proposé par Schwarz (1978) sont représentés. Le but de ces critères est de chercher un compromis entre une paramétrisation suffisante pour bien ajuster une loi de probabilité aux observations, et une paramétrisation la moins complexe possible (Bobée *et al.*, 1999). Un tel compromis permet de respecter le principe de parcimonie des lois de

distributions de fréquences théoriques (Bobée *et al.*, 1999). Ces deux critères (BIC et AIC) permettent de réaliser un classement de modèles statistiques tenant compte du principe de parcimonie et les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs (Bobée *et al.*, 1999).

* le critère d' Akaike (AIC)

Le critère d'information d' Akaike mesure la qualité de l'ajustement d'un modèle statistique. Il a été développé par Hirotugu Akaike en 1974. Dans le cas général, l'AIC est écrit comme suit :

$$AIC = -2\text{Log}(L) + 2k$$

Où L est la vraisemblance maximisée et k le nombre de paramètres libres dans le modèle.

Le meilleur modèle est celui possédant l'AIC le plus faible.

* le critère Bayésien (BIC)

En statistiques, le critère d'information bayésien(BIC) ou critère de Schwarz(1978) est un critère destiné à la sélection du meilleur modèle (parmi un ensemble de modèles) d'ajustement de séries de données. Il est basé sur la fonction de vraisemblance, et il est étroitement lié au critère d'Akaike (AIC).

La formule du BIC est :

$$BIC = -2\text{Log}(L) + k * \text{Log}(n)$$

Où L représente la valeur maximisée de la fonction de vraisemblance pour le modèle estimé et n le nombre d'observations.

3. Résultats

Le Système d'Aide à la Décision (SAD), conformément à l'organigramme illustré par la figure5, a été appliqué pour choisir la loi qui convient mieux aux séries des débits maximaux annuels des trois stations. Ce choix permet d'évaluer l'impact de l'utilisation exclusive de la loi de Gumbel dans les études de génie civil et d'ouvrages d'hydrauliques. Les lois de Gumbel et Log Normale sont largement utilisées lors des études de génie civil sur l'ensemble du territoire Algérien.

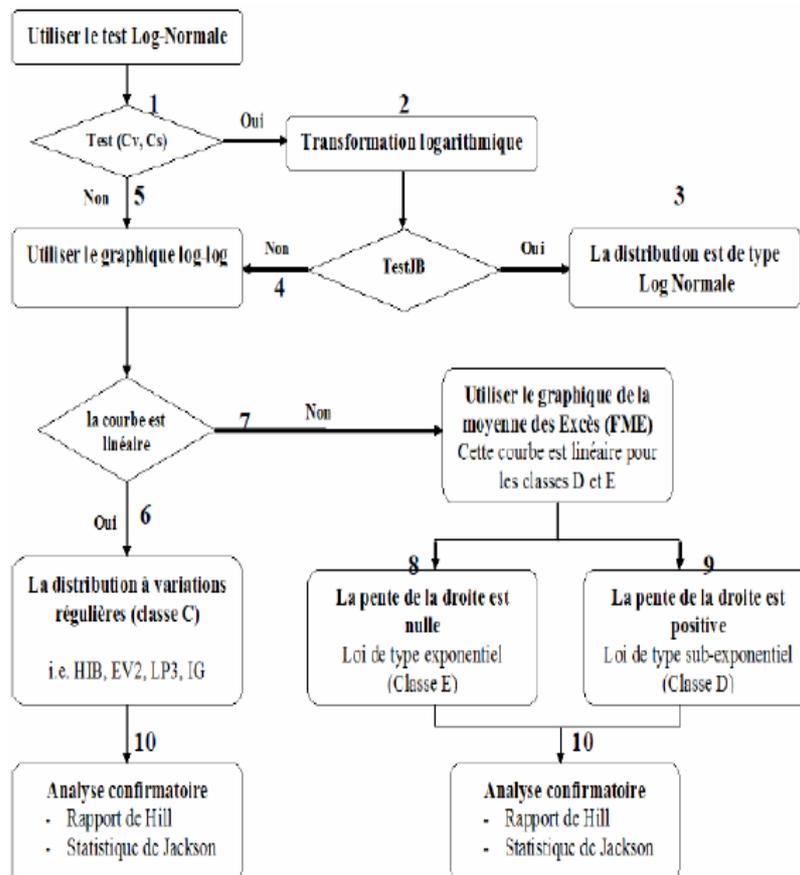


Figure.5 : Diagramme des critères de choix entre les classes C, D et E (El Adlouni et al., 2008)

Nous avons dans un premier temps vérifié l'hypothèse de Log-normalité pour les trois séries étudiées. Le rejet de cette hypothèse est acceptée au niveau de signification de 5%. Donc, nous n'avons pas besoin d'effectuer le test de Jarque-Bera (Jarque et Bera, 1980). L'utilisation du

diagramme Log-Log a montré que la courbe représentée dans ce diagramme est linéaire pour les stations de Hacaiba et de Sidi Ali Ben Youb (la distribution de débits est à variations régulières). Par contre, la série de débit maximum annuel de la station de Sidi Bel Abbès n'est pas linéaire (la distribution des débits n'est pas à variations

régulières). Donc, pour les deux premières stations, on utilise l'analyse confirmatoire par l'intermédiaire du rapport de Hill (Hill, 1975) et de la statistique de Jackson (Jackson, 1967). Ces deux tests ont indiqué que les séries de débits maximaux annuels des deux stations suivent une distribution exponentielle ou sub-exponentielle (Figure 6). Pour discriminer entre les classes D et E, nous considérerons la méthode FME (Fonction Moyenne des Excès). Il s'agit d'un graphique basé sur la fonction moyenne des excès (méthode FME) qui permet de déterminer la classe d'appartenance de la loi (classe D ou E). L'utilisation de la méthode FME permet de distinguer entre la classe D et la classe E (El Adlouni *et al.*, 2008). En effet, si en plus du fait que la courbe de la fonction FME est linéaire pour les distributions des classes D et E, lorsque la pente (El Adlouni *et al.* 2008) est :

- nulle, la loi la plus adéquate appartient à la classe E (loi Exponentielle).
- strictement positive, la distribution la plus adéquate appartient à la classe D des distributions sub-exponentielles.

Pour la station de Sidi Bel Abbès, le diagramme « Log-Log » a montré que la courbe représentée n'est pas linéaire, donc, la série de débits maximaux annuels est distribuée selon une loi de la classe D ou E.

L'application de la méthode du FME, aux trois stations, a montré que la courbe de la fonction FME est linéaire et la pente est strictement positive, donc, la distribution la plus adéquate appartient à la classe D représentant les distributions sub-exponentielles: Halphen type A, Gumbel, Halphen type B, Pearson type 3, Gamma (El Adlouni *et al.* 2008)

Les ajustements sont effectués pour chacune des lois de la classe D du logiciel HYFRAN. La sélection de la loi la plus adéquate parmi celles contenues dans la classe D est effectuée en utilisant le test de χ^2 et les critères AIC et BIC (Tableaux 3,4 et 5) en plus du test graphique. Il en ressort que la loi Gamma donne le meilleur résultat pour les trois stations. Les paramètres de cette loi sont consignés dans le tableau 6. La loi Gamma est ainsi retenue pour modéliser la distribution des débits extrêmes de crue des trois stations (figure7).

Tableau .3 :

Récapitulatif des résultats des ajustements pour les 4 lois les mieux adaptées – Station de Hacaiba

Lois testées	Probabilité à priori	Probabilité à posteriori	AIC	BIC
Gamma	25.00	58.10	471.503	467.846
Halphen type A	25.00	39.55	472.272	466.787
Pearson type III	25.00	2.35	477.919	472.433
Gumbel	25.00	0.01	489.126	485.469

Tableau .4 :

Récapitulatif des résultats des ajustements pour les 4 lois les mieux adaptées – Station de Sidi Ali Ben Youb

Lois Testées	Probabilité à priori	Probabilité à posteriori	AIC	BIC
Gamma	25.00	67.62	682.693	678.678
Halphen type A	25.00	31.96	684.192	678.170
Pearson type III	25.00	0.41	692.886	686.864
Gumbel	25.00	0.01	700.330	696.315

Tableau .5:

Récapitulatif des résultats des ajustements pour les 4 lois les mieux adaptées – Station de Sidi Bel Abbès

Lois Testées	Probabilité à priori	Probabilité à posteriori	AIC	BIC
Gamma	33.33	56.71	663.092	658.743
Halphen type A	33.33	26.72	664.597	658.074
Gumbel	33.33	16.58	665.552	661.203
Pearson type III	-	-	-	-

Tableau .6 :

Paramètres de la loi Gamma pour les trois stations

Stations	Forme	Echelle
Hacaiba	.0205819	1.18214
Sidi Ali Ben Youb	0.0055583	0.93258
Sidi Bel Abbès	0.0349732	2.53734

Dans les tableaux 7, 8 et 9 sont consignés les rapports de débits fréquents déterminés par la loi Gamma et les lois : Gumbel et Log Normale. Nous constatons des écarts énormes dès que la période de retour augmente jusqu'à atteindre des rapports de 200 fois entre les quantiles estimés par la loi Gamma et la loi Log Normale. Cette dernière ne peut modéliser les séries de débits maximaux annuels du fait qu'elle a été rejetée dès la première étape de l'utilisation du SAD. La loi de Gumbel est rejetée par le test du χ^2 ainsi que le test graphique (Figure 8) pour les trois stations. Selon nos résultats, la loi de Gumbel sous-estime les débits fréquents comparée à la loi Gamma, par contre, la loi Log Normale surestime ces débits comparée à la même loi. Dans les deux cas de figures, le gestionnaire et l'ingénieur trouveront des problèmes lors du dimensionnement des ouvrages hydrauliques ainsi que dans la gestion du risque au cas où l'une de ces deux lois est considérée pour modéliser les débits extrêmes. Les résultats sont en concordance avec ceux de Riad (2006) au Maroc et López *et al.* (2012) en Espagne où la loi

Gamma est mieux adaptée pour modéliser les débits maxima annuels. Egalement, ces résultats corroborent ceux trouvés par Hebal *et al.* (2011a et 2011b) pour les bassins des Issers, du Chéllif, du Côtier Algérois et certains bassins versants de l'Est Algérien.

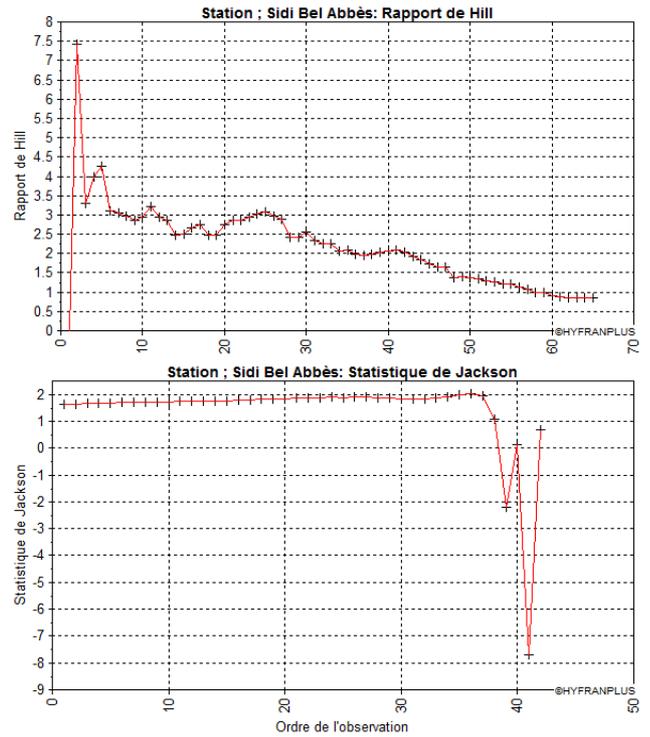
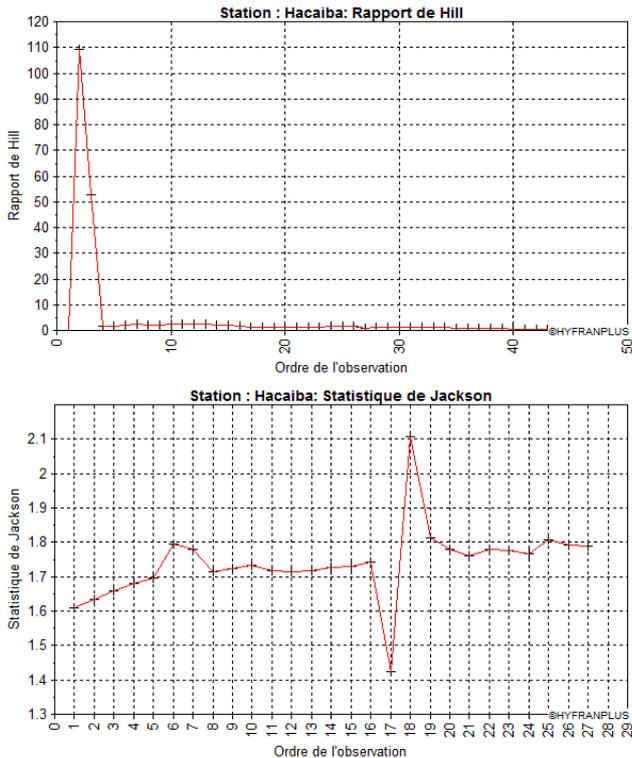
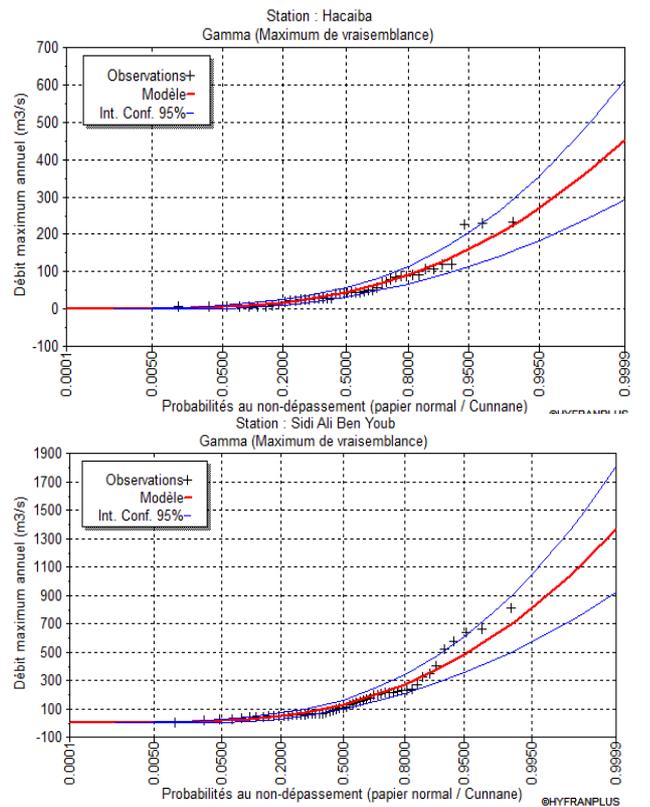
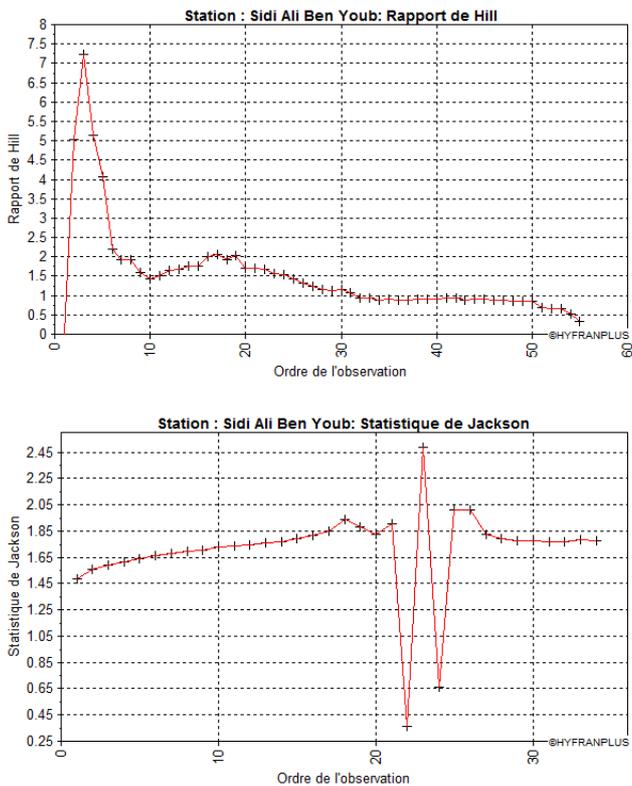


Figure.6 : Diagramme du rapport de Hill et Statistique de Jackson des stations de Hacaiba, Sidi Ali Ben Youb et de Sidi Bel Abbès



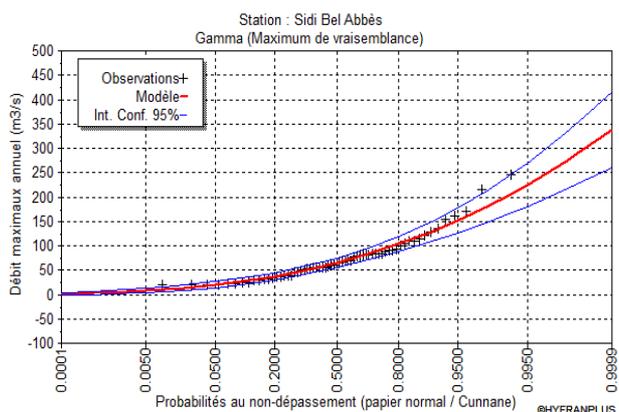


Figure.7 : Ajustement à la loi Gamma – probabilité de non dépassement avec intervalles de confiance à 95% - Stations de Hacaiba, Sidi Ali Ben Youb et de Sid Bel Abbas

Tableau 7:

Valeurs des débits fréquents pour les trois lois (Gamma, Gumbel et Log Normale) – Station : Hacaiba

T (ans)	Loi Gamma	Loi de Gumbel	Rapport	Loi Log Normale	Rapport
	Q max m3/s	Q max m3/s		Q max m3/s	
200	269	217	1,2	494	1,8
100	237	193	1,2	385	1,6
50	204	169	1,2	293	1,4
20	159	137	1,2	194	1,2
10	126	112	1,1	135	1,1
5	91,2	86,7	1,1	86,8	1,0

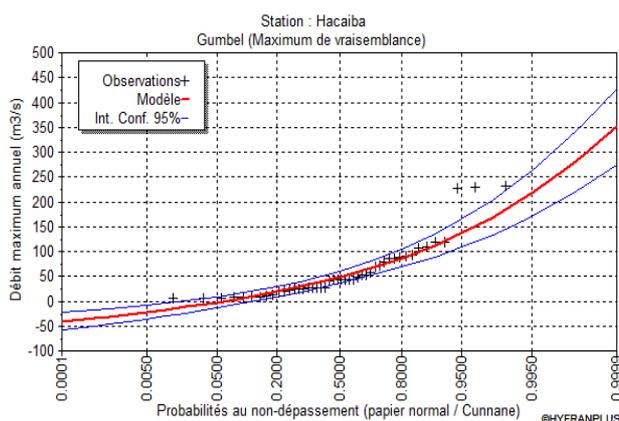


Tableau. 8:

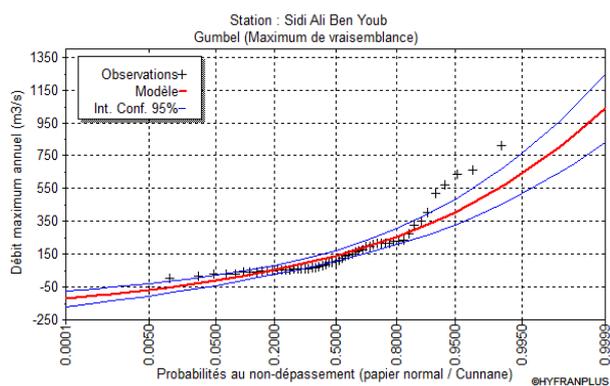
Valeurs des débits fréquents pour les trois lois (Gamma, Gumbel et Log Normale) – Station : Sidi Ali Ben Youb

T (ans)	Loi Gamma	Loi de Gumbel	Rapport	Loi Log Normale	Rapport
	Q max m3/s	Q max m3/s		Q max m3/s	
200	810	641	1,3	1430	1,8
100	710	570	1,2	1110	1,6
50	610	499	1,2	848	1,4
20	477	405	1,2	564	1,2
10	375	331	1,1	393	1,0
5	271	255	1,1	253	0,9

Tableau. 9:

Valeurs des débits fréquents pour les trois lois (Gamma, Gumbel et Log Normale) – Station : Sidi Bel Abbas

T (ans)	Loi Gamma	Loi de Gumbel	Rapport	Loi Log Normale	Rapport
	Q max m3/s	Q max m3/s		Q max m3/s	
200	225	220	1,02	291	1,3
100	204	198	1,03	250	1,2
50	182	176	1,03	212	1,2
20	153	147	1,04	165	1,1
10	129	124	1,04	133	1,0
5	104	100	1,04	101	1,0



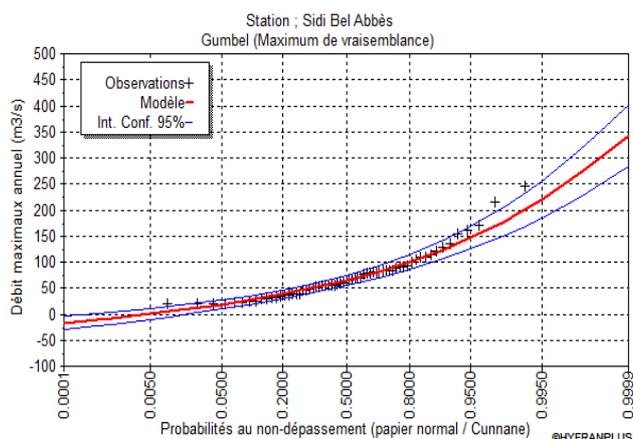


Figure.8 : Ajustement à la loi de Gumbel – probabilité de non dépassement avec intervalles de confiance à 95% - Stations de Hacaiba, Sidi Ali Ben Youb et de Sid Bel Abbès

4. Conclusion

L'estimation statistique des débits extrêmes de crue peut se faire de deux manières : la méthode des maxima annuels et la méthode des valeurs supérieures à un seuil. Vu la longueur de nos séries (supérieures à 50 ans), nous avons choisi la première approche. Le système d'aide à la décision (SAD) a montré que la courbe de la fonction FME est linéaire avec une pente strictement positive. Donc, la distribution la plus adéquate, des trois séries de débits maximaux annuels des trois stations, appartient à la classe D des distributions sub-exponentielles. Les ajustements sont effectués pour chacune des lois contenues dans la classe D par le logiciel HYFRAN. Après classement de ces lois, en se basant sur les critères de la probabilité a posteriori (AIC et BIC), la loi Gamma a été sélectionnée pour modéliser les débits maxima annuels.

Références

[1] 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 – 4,5 et 6 Décembre 2004.
 [2] Akaike H. (1974) : A new look at statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, AU 19(6): 716-723.
 [3] Belagoune F. (2012) : Etude et modélisation des crues des cours d'eau en milieu semi-aride : cas des grands bassins versants 05, 06 et 07. Mém. de Magistère, Univ. D'Ouargla, 181 p.,
 [4] Belloula M. (2008) : Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiers). Mém. Magister, Univ de Batna, 168 p., 2008.
 [5] Bernier J. (1959) : Comparaison des lois de Gumbel et de Fréchet sur l'estimation des débits maxima de crue. La Houille Blanche (1). Janv.-Fév.
 [6] 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.

- [7] Bobée, B. (1999) : Extreme flood events valuation using frequency analysis: a critical review. Houille Blanche 54 (7-8), 100-105.
 [8] Borsal A.H., Bekki A. and Hasnaoui O. (2005) : Aspect hydrologique des catastrophes naturelles (inondations, glissements de terrains « Etude d'un cas : Oued de la Mekerra (Sidi Bel Abbès) ». XXIII Rencontres Universitaires de Génie Civil – AUGC, 26-27 mai 2005, Grenoble France
 [9] Burn D.H. (1998) : Climatic Change Impacts on Hydrologic Extremes and the implications for reservoirs. Dans Proceedings of the II International Conference on Climate and Water, 1, 2A, 273-281.
 [10] Dautrebande S, Pontégnie D., Gailliez S. and G. Bazier (2006) : Estimation des débits rares de crue pour les cours d'eau de la Région wallonne (Belgique). La Houille Blanche / n° 6-2006. 87
 [11] El Adlouni, S., Bobée, B. et Ouarda, T. B.M.J (2008) : On the tails of extreme event distributions in Hydrology. Accepted au Journal of Hydrology.
 [12] Ferrer J.P., 1992 – Analyse statistique de pluies maximales journalières : comparaison de différentes méthodes et application au bassin Guadhorce (Espagne). Hydrol, continent., vol. 7, n°1, 1992 : 23-31
 [13] Javelle P., 2001 - Caractérisation du régime des crues : le modèle débit-durée-fréquence convergent. Approche locale et régionale, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2001, 168p.
 [14] Hebal A. et Remini B. (2011a) : 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, 2011, 38(8) 881-892, 10.1139/111-067
 [15] Hebal A. et Remini B. (2011b) : 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, 15-17 September 2011
 [16] Hill, B.M. (1975). A Simple General Approach to Inference about the Tail of a Distribution. The Annals of Statistics 3 (5), 1163-1174.
 [17] Jackson, O.A.Y., (1967). An analysis of departures from the exponential distribution. Journal of the Royal Statistical Society B, 29, 540-549.
 [18] Jarque, C.M. et A.K. Bera (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. Economics Letters 6 (3): 255-259.
 [19] Lang, M. (1995), Traitements de bases et intervalles de confiance des quantiles de crues ; Techniques d'échantillonnage par la méthode du renouvellement, Ph. D Thesis, Université Joseph Fourier, 296 pp.
 [20] Lang M. & LAVABRE J. (2007) : Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations. Versailles, Editions Quae, 2007. 152p. ISBN 978-2-7592-0067-2
 [21] López J and Francés F. (2012) : Non-stationary flood frequency analysis in continental Spanish rivers, using climate and reservoir indexes as external covariates.. 3rd STAHY International Workshop statistical methods for hydrology and water resources management. October 1-2, 2012 Tunis, Tunisia
 [22] Meddi M. et Hubert P. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions. IAHS, 2003; 278 : 1-7.
 [23] Riad S., Jacky Mania and Bouchaou L. (2006) : Variabilité hydroclimatique dans les bassins-versants du Haut Atlas de Marrakech (Maroc). Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 17, Numéro 3, 443-6
 [24] Roche, P.A. 1990: Guide de prévision des crues. Société Hydrotechnique de France –Graine prévision des crues. 429p.
 [25] Roy L. Leconte R., Brissette F.B. and Marche C. (2001) : The impact of climate change on seasonal floods of a southern Quebec River Basin. Hydrol. Process. 15, 3167-3179 (2001)

- [26] Sadeuk Ben Abbas A. 2006 : Prévision des Crues dans le Bassin Versant de la Makerra (Région de Sidi Bel Abbas) Thèse de Magistère, Centre Universitaire de Khemis Miliana : Laboratoire Eau, Roche et Plante. mai 2006. P69-92.
- [27] Schwarz, Gideon E. (1978): Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics* 6 (2): 461–464
- [28] Stigler S. (2008) : Karl Pearson’s theoretical errors and the advances they inspired, *Statistical Science*, no 23, 2008, p. 261–271
- [29] Talia A. Evolution des r egimes pluviom etrique et hydrologique du Nord de l’Algérie. Mémoire de magister – Centre Universitaire de Mascara, 162 pages. 2002
- [30] Vastila K. , Kummu M., Sangmanee C. and Chinvanno S. (210) : Modelling climate change impacts on the flood pulse in the Lower Mekong floodplains. *Journal of Water and Climate Change*, 01.1, 2010
- [31] World Meteorological Organisation, 1989 – Statistical Distributions for Flood Frequency analysis. WMO-Operational Hydrology Report, n o33, 73p.
- [32] Zbigniew W. et Kundzewicz (2008) : Changement climatique et crues. *Bulletin Temps-Climat-eau*, OMM, juillet 2008