

Article

« Utilisation de l'information historique en analyse hydrologique fréquentielle »

T. B.M.J. Ouarda, P. F. Rasmussen, B. Bobée et J. Bernier

Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 11, 1998, p. 41-49.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/705328ar>

DOI: 10.7202/705328ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

Utilisation de l'information historique en analyse hydrologique fréquentielle

Use of historical information in hydrologic frequency analysis

T.B.M.J. OUARDA¹, P.F. RASMUSSEN¹, B. BOBÉE^{1*} et J. BERNIER²

SUMMARY

Use of information about historical floods, *i.e.* extreme floods that occurred prior to systematic gauging, can often substantially improve the precision of flood quantile estimates. Such information can be retrieved from archives, newspapers, interviews with local residents, or by use of paleohydrologic and dendrohydrologic traces. Various statistical techniques for incorporating historical information into frequency analyses are discussed in this review paper. The basic hypothesis in the statistical modeling of historical information is that a certain perception water level exists and that during a given historical period preceding the period of gauging, all exceedances of this level have been recorded, be it in newspapers, in people's memory, or through traces in the catchment such as sediment deposits or traces on trees. No information is available on floods that did not exceed the perception threshold. It is further assumed that a period of systematic gauging is available. Figure 1 illustrates this situation.

The U.S. Water Resources Council (1982) recommended the use of the method of adjusted moments for fitting the log Pearson type III distribution. A weighting factor is applied to the data below the threshold observed during the gauged period to account for the missing data below the threshold in the historical period. Several studies have pointed out that the method of adjusted moments is inefficient. Maximum likelihood estimators based on partially censored data have been shown to be much more efficient and to provide a practical framework for incorporating imprecise and categorical data. Unfortunately, for some of the most common 3-parameter distributions used in hydrology, the maximum likelihood method poses numerical problems. Recently, some authors have proposed use of the method of expected moments, a variant of the method of adjusted moments which gives less weight to observations below the threshold. According to preliminary studies, estimators based on expected moments are almost as efficient as maximum likelihood esti-

1 Chaire en Hydrologie Statistique, Institut National de la Recherche Scientifique, INRS-Eau, 2800, rue Einstein, C.P. 7500, Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7 Canada.

2 INRS-Eau, Le Pech de Biaud, Saint-Martial de Nabirat, 24250 Domme-France, France.

* Correspondance.

mators, but have the advantage of avoiding the numerical problems related to the maximization of likelihood functions.

Several studies have emphasized the potential gain in estimation accuracy with the use of historical information. Because historical floods by definition are large, their introduction in a flood frequency analysis can have a major impact on estimates of rare floods. This is particularly true when 3-parameter distributions are considered. Moreover, use of historical information is a means to increase the representativity of an outlier in the systematic data. For example, an extreme outlier will not get the same weight in the analysis if one can state with certainty that it is the largest flood in, say, 200 years, and not only the largest flood in, say, 20 years of systematic gauging.

Historical data are generally imprecise, and their inaccuracy should be properly accounted for in the analysis. However, even with substantial uncertainty in the data, the use of historical information is a viable means to improve estimates of rare floods.

Key-words: frequency analysis, floods, estimation, historical information.

RÉSUMÉ

L'utilisation de l'information historique dans une analyse fréquentielle permet de mieux mobiliser l'information réellement disponible et devrait donc permettre d'améliorer l'estimation des quantiles de grande période de retour. Par information historique, on entend ici de l'information relative à des grandes crues qui se sont produites avant le début de la période de mesure (dite période de jaugeage systématique) des niveaux et débits des lacs et rivières. On observe de manière générale que l'utilisation de l'information historique conduit à une diminution de l'impact des valeurs singulières dans les séries d'enregistrements systématiques et à une diminution de l'écart-type des estimations. Dans le présent article on présente les méthodes statistiques qui permettent la modélisation de l'information historique.

Mots clés : analyse fréquentielle, crue, estimation, information historique.

1 – INTRODUCTION

L'analyse du risque associé à l'exploitation des ouvrages hydrauliques doit prendre en considération la fréquence de crues extrêmes. Cependant la quantité de données hydrométriques enregistrées au site d'intérêt est souvent insuffisante pour permettre une estimation fiable des débits de période de retour élevée. L'hydrologue est alors amené à rechercher toute l'information disponible concernant les processus qu'il modélise. Par exemple, des méthodes d'estimation régionale de crue ont été utilisées pour pallier le manque d'information à un site d'intérêt. Plusieurs études ont montré qu'il est possible d'améliorer la précision de l'estimation des crues extrêmes à l'aide de l'information historique, c'est-à-dire l'information concernant des crues survenues avant la période de jaugeage systématique. Cet article présente une revue des différentes avenues possibles pour prendre en compte l'information historique.

2 – SOURCES D'INFORMATION HISTORIQUE SUR LES CRUES EXTRÊMES

L'information sur des crues historiques peut provenir de plusieurs sources, notamment (a) évidence physique de crues anciennes qui ont laissé des traces dans le bassin versant, tels que des perturbations des sols ou des dépôts de sédiments (*paléohydrologie*) ; (b) évidence botanique de crues anciennes ayant laissé des traces sur les arbres, tels que les anneaux de croissance, inclinaison des arbres et autres anomalies de croissance permettant de documenter les dates et amplitudes des crues (*dendrohydrologie*) ; et (c) observations enregistrées dans des journaux, des archives, etc. ou obtenues par des enquêtes auprès des riverains ou des résidents de la région. L'information des types (a) et (b) est généralement difficile à obtenir et elle est souvent assez imprécise. Quant à l'information du type (c), elle est généralement plus précise que celle des types (a) et (b). Cependant, elle est souvent limitée à une période relativement courte d'observation, particulièrement en Amérique du Nord où certaines régions ont été peuplées assez tardivement. Qu'il s'agisse de l'information du type (a), (b) ou (c), le principe de modélisation statistique demeure essentiellement le même. Cependant, dans la discussion qui suit, nous faisons l'hypothèse qu'il s'agit de l'information historique du type (c).

La première phase d'une étude consiste à faire un inventaire de l'information historique concernant les grandes crues ayant eu lieu dans la région avant la période de jaugeage systématique. La recherche de l'information historique est généralement effectuée en deux étapes :

- 1) Identification des dates où de fortes inondations ont eu lieu.
- 2) Estimation quantitative des apports pour les dates des événements identifiés à l'étape 1, par exemple à partir des observations de niveaux d'eau.

Il faut souligner qu'il est généralement difficile d'associer une valeur quantitative exacte au débit d'une crue historique. Cependant, même si l'information est imprécise, on peut souvent en tenir compte dans l'estimation de la distribution des crues. Soulignons également qu'une information du type « il n'y a pas eu de crues supérieures à un débit donné depuis une certaine date » peut servir à améliorer l'estimation de la distribution des crues.

3 – INVENTAIRE DES MÉTHODES POUR LA MODÉLISATION DE L'INFORMATION HISTORIQUE

Plusieurs méthodes d'incorporation des données historiques dans l'analyse fréquentielle des crues ont été proposées dans la littérature. Pour la modélisation statistique des crues historiques, on suppose généralement l'existence d'un seuil de perception et la définition d'une période historique précédant la période de jaugeage systématique. La signification du niveau de perception est que toutes les crues qui ont dépassé ce niveau au cours de la période historique ont été publiées dans les journaux ou figurent dans des archives. Généralement, le dépassement du niveau de perception correspond à une situation où des dommages importants ont eu lieu. Les crues inférieures au seuil n'ont généralement

pas mérité de mention dans les journaux. On suppose donc que pour une période de H ans où H est la somme du nombre d'années de la période historique et du nombre d'années pour lesquelles on dispose de données systématiques (fig. 1), on possède de l'information sur toutes les crues supérieures au seuil de perception. Dans ce qui suit, nous faisons une revue de quelques-unes des méthodes proposées pour la modélisation de l'information historique.

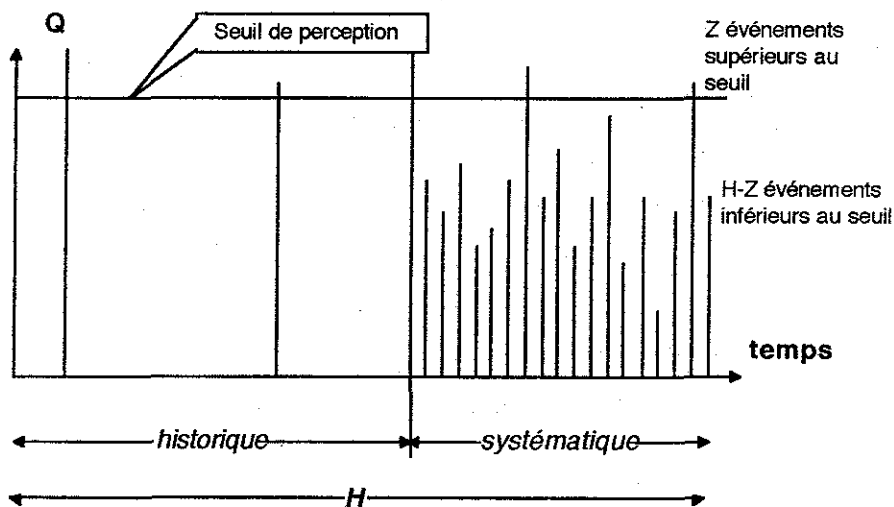


Figure 1 Données historiques et systématiques.
Historical and systematic data.

3.1 Méthodes d'estimation

La méthode des moments ajustés pour l'incorporation de l'information historique a été recommandée par le *United States Water Resources Council* dans son Bulletin 17B (USWRC, 1982). Cette approche consiste à traiter toutes les crues dépassant le seuil de perception, que ce soit pendant la période historique ou durant la période systématique, comme des crues historiques. Ainsi, un total de Z crues importantes est défini sur la période étendue de H ans. Ces crues représentent les Z événements les plus importants sur cette période. Les N événements de la période d'enregistrement systématique qui sont inférieurs au seuil de perception sont pondérés en faisant l'hypothèse que leurs moments sont représentatifs de tous les $(H - Z)$ années restantes. L'approche d'ajustement historique permet alors de remplacer les années non jaugées de la période historique avec un nombre approprié de réplifications des débits ne dépassant pas le seuil de perception des données historiques. Le facteur de pondération des N événements au-dessous du seuil est donné par $W = (H - Z)/N$. La figure 1 illustre le principe de la méthode des moments ajustés. Aux États-Unis, les recommandations du Bulletin 17B sont utilisées en pratique dans le domaine de l'analyse fréquentielle en présence de données historiques et paléohydrologiques, malgré la faible efficacité de cette méthode. Le *United States Bureau of Reclamation* recommande dans son manuel d'hydrologie des crues (CUDWORTH, 1989) de ne pas adopter

les recommandations du Bulletin 17B. L'évaluation comparative de la performance de la méthode des moments ajustés sera discutée plus loin.

Récemment, WANG (1990) a proposé une variante de la méthode des moments ajustés, basée sur les moments de probabilité pondérés, qu'il a nommé la méthode des moments partiels de probabilité pondérés (*partial probability weighted moments*). Plus spécifiquement, WANG (1990) a proposé une application de cette approche pour la loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV).

Une alternative à la méthode des moments ajustés a été proposée par CONDIE et LEE (1982). Elle consiste à utiliser des estimateurs basés sur le maximum de vraisemblance des échantillons censurés (LEESE, 1973 ; PHEN et FANG, 1989). Dans cette approche, la série de débits de crues est considérée comme un échantillon censuré (fig. 1) extrait à partir d'une certaine distribution qu'on ajuste à l'échantillon en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance. Deux types de censure peuvent être considérés : la censure de type I et la censure de type II. Dans la censure de type I, le seuil est fixé et le nombre de valeurs censurées est une variable aléatoire. D'autre part, dans la censure de type II le nombre de valeurs censurées est fixé et le seuil de censure est une variable aléatoire. Il est important de souligner la distinction entre l'approche « seuil de perception » de celle de la censure consistant à poser que les données historiques sont les plus grandes G observations pendant une période donnée. Étant donné la difficulté d'associer une valeur précise à une crue historique, il est utile de pouvoir tenir compte de cette imprécision dans l'analyse fréquentielle. L'estimation par la méthode du maximum de vraisemblance fournit un cadre idéal pour modéliser de l'information historique imprécise (STEDINGER et COHN, 1986 ; STEDINGER *et al.*, 1988). CONDIE et PILON (1983) ont développé l'approche du maximum de vraisemblance censuré pour la distribution log Pearson type III.

La méthode du maximum de vraisemblance possède des limitations assez importantes quand on traite la distribution log Pearson type III, recommandée comme standard aux États-Unis (USWRC, 1982). La plus grande faiblesse de la méthode porte sur l'existence des maximums locaux de la fonction de vraisemblance, ce qui implique des difficultés pour trouver une solution « optimale ». Ces problèmes ont conduit plusieurs auteurs à ne plus considérer la méthode du maximum de vraisemblance pour ajuster cette distribution. Ainsi, LANE et COHN (1996) et COHN *et al.* (1997) ont proposé l'algorithme des moments espérés pour la prise en compte des données historiques. Cet algorithme utilise une procédure itérative pour estimer les paramètres de la distribution selon la méthode des moments. La méthode des moments espérés donne moins de poids que la méthode des moments ajustés aux débits inférieurs au seuil de perception observés au cours de la période systématique. Les résultats de COHN *et al.* (1997) indiquent que la méthode des moments espérés possède une efficacité comparable à celle de la méthode du maximum de vraisemblance, mais avec des avantages numériques importants.

L'un des premiers travaux sur l'utilisation de l'information hétérogène a été présenté par BERNIER *et al.* (1956) et a proposé le cadre bayésien pour l'incorporation de l'information supplémentaire en analyse hydrologique fréquentielle. BERNIER et MIQUEL (1977) ont présenté un modèle pour la prise en compte de l'information hétérogène dans le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques, et ont donné une évaluation de la valeur de l'information historique en termes économiques. MIQUEL (1984) traite du problème de l'utilisation de l'information historique

avec prise en compte des erreurs de mesure. D'autres chercheurs ont proposé, dans un cadre bayésien, des algorithmes d'incorporation de l'information historique dans l'estimation des événements de conception (BERNIER *et al.*, 1987 ; VAN GELDER, 1996).

L'approche non paramétrique ne nécessite pas d'hypothèses particulières concernant la forme de la fonction de densité des crues. BARDSLEY (1989) a proposé une procédure pour l'incorporation de l'information historique et paléohydrologique dans l'estimation non paramétrique. ADAMOWSKI et PILON (1989) et ADAMOWSKI et FELUCH (1990) ont proposé un modèle mixte à deux composantes (observations systématiques d'une part et crues historiques d'autre part) et à noyau normal pour l'estimation non paramétrique en présence d'information historique. Les modèles non paramétriques incorporant des données historiques présentent une alternative intéressante aux approches paramétriques, mais semblent être pénalisés par la séparation dans la modélisation des événements historiques et systématiques.

3.2 Évaluation et comparaison des méthodes

CONDIE et LEE (1982) ont présenté une comparaison par simulation de la performance des méthodes du maximum de vraisemblance et des moments ajustés dans le cas de la distribution log-normale à trois paramètres. Ces auteurs ont démontré que la méthode du maximum de vraisemblance conduit à des estimations des quantiles de crues qui sont substantiellement moins biaisés que ceux obtenus par la méthode des moments ajustés. CONDIE (1986) a développé l'équation de la variance asymptotique pour les quantiles de la distribution log-normale à trois paramètres, et a estimé l'impact de l'utilisation de l'information historique en termes de réduction de l'erreur d'estimation. Les résultats indiquent que l'utilisation de l'information historique avec un modèle du maximum de vraisemblance permet d'améliorer l'estimation des crues de conception. PILON et ADAMOWSKI (1993) ont effectué une recherche similaire en considérant la distribution log-Pearson III.

STEDINGER et COHN (1986) et COHN et STEDINGER (1987) ont examiné la valeur de l'information additionnelle apportée par les données historiques en considérant différents modèles. Leurs résultats démontrent l'utilité d'incorporer l'information historique dans l'analyse fréquentielle des crues et indiquent que la méthode du maximum de vraisemblance est nettement meilleure que la méthode des moments ajustés. Considérant la censure du type II, HOSKING et WALLIS (1986a, b) indiquent que les facteurs affectant la performance de la méthode sont le choix de la distribution à adopter (plus précisément le nombre de paramètres de la distribution) et l'amplitude de l'erreur sur l'estimation des débits historiques. Dans une étude récente, FRANCES *et al.* (1994) examinent analytiquement la valeur de l'information historique et démontrent qu'elle varie selon la longueur relative des périodes d'enregistrement systématique et de données historiques, la période de retour du quantile estimé, et la période de retour du débit correspondant au seuil de perception.

Plusieurs auteurs, notamment HOSKING et WALLIS (1986a, b), TASKER et STEDINGER (1987) et JIN et STEDINGER (1989) ont essayé d'évaluer l'utilité de l'information historique dans un contexte de régionalisation. Leurs conclusions sont un peu divergentes. Cependant, il semble clair que la prise en compte de l'information historique est particulièrement précieuse dans le contexte d'estimation locale.

3.3 Effet des incertitudes des événements historiques

SHUZHENG et YINBO (1987) ont étudié l'effet de l'erreur de mesure des débits de crue sur l'estimation des quantiles de conception en considérant les distributions Pearson type III et log-Pearson type III. L'étude inclut une discussion du cas où l'information concernant une crue historique est considérée dans l'analyse. SUTCLIFFE (1987) a utilisé des données du Nil pour illustrer le fait que la conversion des niveaux d'eau de crues historiques en débits de crue, en vue de leur utilisation dans une analyse fréquentielle, doit être effectuée en considérant des courbes de niveau réalistes et en tenant compte de la stabilité géologique du site afin d'éviter d'introduire des erreurs substantielles dans ce type d'analyse. COOK (1987) décrit les caractéristiques significatives et les incertitudes associées à quatre méthodes différentes communément utilisées pour l'estimation du débit de pointe de crue associé à des événements récents ou historiques. COOK (1987) a indiqué que l'erreur dans le calcul des pointes de crues associées à des événements récents, et dans des conditions idéales, sont de l'ordre de 10-25 %, et que ces erreurs sont largement plus importantes dans le cas des crues historiques.

3.4 Probabilité empirique des crues historiques

BENSON (1950) et HIRSCH (1987) ont souligné que les formules standard de probabilités empiriques (plotting position) ne sont pas applicables dans des analyses fréquentielles des crues incluant à la fois des données historiques et des données observées. BERNIER *et al.* (1987) ont présenté une nouvelle méthode de détermination des probabilités empiriques des données historiques qui est cohérente avec le modèle de censure. HIRSCH (1987) a souligné que la longueur « réelle » de la période d'information historique n'est pas connue et est généralement censée débiter à la date de la première crue documentée (tel qu'adopté par BENSON, 1950 et ZHANG, 1982). Cependant, cette période pourrait être plus longue car il existe généralement une période de durée non connue précédant cet événement au cours de laquelle aucune crue importante n'a eu lieu. En effet, la période ainsi calculée ne représente qu'une borne inférieure de la longueur réelle de la période d'information historique. HIRSCH (1987) et HIRSCH et STEDINGER (1987) ont développé des formules de probabilités empiriques qui sont applicables avec des séries résultant d'expériences d'échantillonnage partiellement censuré. WANG (1991) a démontré que les formules existantes de probabilités empiriques introduisent des biais assez larges et a proposé une nouvelle approche dans laquelle la probabilité de dépassement des crues historiques est estimée analytiquement en utilisant l'information sur l'amplitude des crues historiques et observées et en faisant l'hypothèse d'une distribution appropriée.

4 - DISCUSSION

L'utilisation de données historiques dans l'estimation de la fréquence de crues vise dans un premier temps à mieux exploiter l'information réellement disponible. En plus d'introduire de l'information concernant les crues survenues avant la période de jaugeage systématique, elle permet de mieux représenter des valeurs

rare observées au cours de la période de jaugeage qui dans l'analyse traditionnelle (c'est-à-dire sans information historique) ont souvent trop de poids dans l'estimation. Ces deux aspects devraient se traduire par des biais moins grands et des écarts types plus petits dans l'estimation des quantiles. Dans les pays ayant une histoire assez longue, tel que la Chine, les données historiques sont disponibles dans certains sites sur plus de 2000 ans. Cependant, en Amérique du Nord, cette information est généralement disponible pour une période de l'ordre de 150 à 300 ans (de l'ordre de plusieurs fois la période de jaugeage systématique). L'information paléohydrologique et dendrohydrologique peut être disponible pour plusieurs milliers d'années. On doit souligner que toutes les études faisant appel à l'utilisation des données historiques reposent sur l'hypothèse de stationnarité du régime pluviométrique et hydrologique et de la stabilité géomorphologique du bassin versant. Il est important de remarquer que l'utilisation de l'information historique est basée sur l'hypothèse qu'une loi statistique donnée peut être extrapolée à de grandes périodes de retour. Or, notre connaissance statistique des phénomènes météorologiques qui génèrent ces grands événements est assez limitée. On souligne aussi l'imprécision qui est généralement reliée à la date adoptée comme date du début de la période d'information historique, et son impact sur les quantiles estimés. D'autres hypothèses concernent la définition du seuil de perception. Il importe aussi de modéliser les éléments de subjectivité qui accompagnent généralement l'utilisation de l'information historique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAMOWSKI K., FELUCH W., 1990. Nonparametric flood frequency analysis with historic information, *J. Hydraul. Div.*, ASCE, 116(8), 1035-1047.
- ADAMOWSKI K., PILON P.J., 1989. Worth of historic information in the nonparametric flood frequency analysis, A.G.U. Spring Meeting, May 8-12.
- BARDSLEY W.E., 1989. Using historical data in nonparametric flood estimation. *J. Hydrol.*, 108, 249-255.
- BENSON M.A., 1950. Use of historical data in flood frequency analysis. *Trans. Am. Geophys. Union*, 31(3), 419-424.
- BERNIER J., MORLAT G., BILLIET A., 1956. Les crues de la Haute Durance et la théorie statistique des valeurs extrêmes. *Proc. Symp. Darcy*, Dijon, AISH, n° 42.
- BERNIER J., MIQUEL J., 1977. Exemple d'application de la théorie de la décision statistique au dimensionnement d'ouvrages hydrauliques : Prise en compte de l'information hétérogène. XVII^e Congrès AIRH, Baden, Baden, vol. 4.
- BERNIER J., MIQUEL J., LEBOSSE A., GRIFFET A., 1987. Use of additional historical information for estimation and goodness of fit of flood frequency models. *In: Application of Frequency and Risk in Water Resources*, V.P. SINGH (Ed.), D. REIDEL Publishing Company, 153-164.
- COHN T.A., STEDINGER J.R., 1987. Use of historical information in a maximum-likelihood framework. *J. Hydrol.*, 96, 215-223.
- COHN T.A., LANE W.L., BAIER W.G., 1997. An algorithm for computing moments-based flood quantile estimates when historical flood information is available, *Water Resour. Res.*, 33(9), 2089-2096.
- CONDIE R., 1986. Flood samples from the three-parameter lognormal population with historic information: The asymptotic standard error of estimate of the T-year flood. *J. Hydrol.*, 85, 139-150.

- CONDIE R., LEE K.A., 1982. Flood frequency analysis with historic information. *J. Hydrol.*, 58, 47-61.
- CONDIE R., PILON P.J., 1983. Fitting the log Pearson Type 3 distribution to censored samples: An application to flood frequency analysis with historic information. 6th Canadian Hydrotechnical Conference, Ottawa, pp. 11-22.
- COOK J.L., 1987. Quantifying peak discharges for historical floods. *J. Hydrol.*, 96, 29-40.
- CUDWORTH A.G.Jr., 1989. Flood Hydrology Manual, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Surface Water Branch, Earth Sciences Division, 1st Edition, U.S. Gov. Printing Office, 243 p.
- FRANCES F., SALAS J.D., BOES D.C., 1994. Flood frequency analysis with systematic and historical or paleoflood data based on the two-parameter general extreme value models. *Water Resour. Res.*, 30(6), 1653-1664.
- HIRSCH R.M., 1987. Probability plotting position formulas for flood records with historical information. *J. Hydrol.*, 96, 185-199.
- HIRSCH R.M., STEDINGER J.R., 1987. Plotting positions for historical floods and their precision. *Water Resour. Res.*, 23(4), 715-727.
- HOSKING J.R.M., WALLIS J.R., 1986a. The value of historical data in flood frequency analysis. *Water Resour. Res.*, 22(11), 1606-1612.
- HOSKING J.R.M., WALLIS J.R., 1986b. Paleoflood hydrology and flood frequency analysis. *Water Resour. Res.*, 22(4), 543-550.
- JIN M., STEDINGER J.R., 1989. Flood frequency analysis with regional and historical information. *Water Resour. Res.*, 25(5), 925-936.
- LANE W.L., COHN T.A., 1996. Expected moments algorithm for flood frequency analysis, North American Water and Environment Congress'96, June 22-28, Anaheim, Ca, USA, 6 p.
- LEESE M.N., 1973. Use of censored data in the estimation of Gumbel distribution parameters for annual maximum flood series. *Water Resour. Res.*, 9(6), 1534-1542.
- MIQUEL J., 1984. Guide pratique d'estimation des probabilités de crues, Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, n° 53, Editions Eyrolles, Paris, 160 p.
- PHIEN H.N., FANG T.E., 1989. Maximum likelihood estimation of the parameters and quantiles of the general extreme-value distribution from censored samples. *J. Hydrol.*, 105, 139-155.
- PILON P.J., ADAMOWSKI K., 1993. Asymptotic variance of flood quantile in log Pearson Type III distribution with historical information. *J. Hydrol.*, 143, 481-503.
- SHUZHENG C., YINBO X., 1987. The effect of discharge measurement error in flood frequency analysis. *J. Hydrol.*, 96, 237-254.
- STEDINGER J.R., COHN T.A., 1986. Flood frequency analysis with historical and paleoflood information. *Water Resour. Res.*, 22(5), 785-793.
- STEDINGER J.R., SURANI R., THERIVEL R., 1988. *Max Users Guide: A program for flood frequency analysis using systematic-record, historical, botanical, physical paleohydrologic and regional hydrologic information using maximum likelihood techniques.* Dept. Civil Eng., Cornell University, Ithaca, NY, 51 p.
- SUTCLIFFE J.V., 1987. The use of historical records in flood frequency analysis. *J. Hydrol.*, 96, 159-171.
- TASKER G.D., STEDINGER J.R., 1987. Regional regression of flood characteristics employing historical information. *J. Hydrol.*, 96, 255-264.
- USWRC, 1982. Guidelines for determining flood flow frequency, Bulletin # 17B (revised), Hydrology Committee, U.S. Gov. Print. Off., Washington, D.C.
- VAN GELDER P.H.A.J.M., 1996. A new statistical model for extreme water levels along the Dutch coast, *Stochastic Hydraulics'96*, Tickle, Goulter, Xu, Wasimi & Bouchart (Eds), Balkema, Rotterdam, 243-249.
- WANG Q.J., 1990. Unbiased estimation of probability weighted moments and partial probability weighted moments from systematic and historical flood information and their application to estimating the GEV distribution. *J. Hydrol.*, 120, 115-124.
- WANG Q.J., 1991. Unbiased plotting positions for historical flood information. *J. Hydrol.*, 124, 197-205.
- ZHANG Y., 1982. Plotting positions of annual flood extremes considering extraordinary values. *Water Resour. Res.*, 18(4), 859-864.