



HAL
open science

Information historique et étude statistique des crues extrêmes : quelles caractéristiques souhaitables pour les inventaires de crues historiques ?

Olivier Payrastre, Eric Gaume, Hervé Andrieu

► To cite this version:

Olivier Payrastre, Eric Gaume, Hervé Andrieu. Information historique et étude statistique des crues extrêmes : quelles caractéristiques souhaitables pour les inventaires de crues historiques ?. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*, 2013, 2013 (3), pp 5-11. 10.1051/lhb/2013019. hal-00855218

HAL Id: hal-00855218

<https://hal.science/hal-00855218>

Submitted on 29 Aug 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Information historique et étude statistique des crues extrêmes: quelles caractéristiques souhaitables pour les inventaires de crues historiques ?

Historical information and flood frequency analyses: which optimal features for historical floods inventories?

Olivier PAYRASTRE¹, Eric GAUME¹
Hervé ANDRIEU¹

¹ Ifsttar site de Nantes – Route de Bouaye, CS4, 44344 Bouguenais – olivier.payrastre@ifsttar.fr

Cet article explore les liens reliant la nature de l'information disponible sur les crues historiques (durée de la période documentée, nombre de crues concernées, précision du débit reconstitué), et la valeur de cette information pour l'estimation statistique des crues. Ce travail fait suite à une étude de cas déjà publiée [Payrastre, 2006], et qui est complétée ici par des simulations théoriques permettant une interprétation de portée plus générale. L'analyse statistique des séries de crues simulées est réalisée par une approche Bayésienne MCMC permettant d'associer des intervalles de crédibilité à la distribution statistique ajustée (ici une distribution GEV). La largeur des intervalles de crédibilité obtenus est utilisée comme un indicateur du contenu informatif des séries utilisées. Une analyse de sensibilité à la nature des informations historiques valorisées est conduite. Différentes situations sont considérées: 1 – aucune information historique disponible, 2 – information historique limitée à la plus forte crue enregistrée, 3 – information de type binomiale (limitée au nombre de dépassements du seuil de perception), 4 – information imprécise sur les débits des crues historiques supérieures au seuil, 5 – information précise sur les débits des crues historiques. Les résultats obtenus permettent de confirmer le caractère déterminant de la durée de la période historique documentée, la sensibilité limitée à la position du seuil de perception, et enfin le caractère souvent secondaire de l'information sur les débits des crues historiques ayant dépassé le seuil. Enfin, l'impact possible de biais d'estimation des débits historiques (portant à la fois sur le seuil de perception et les crues inventoriées) est illustré.

This paper explores the links between the detail of available information on historical floods (length of historical period, number of documented floods, accuracy of peak discharge estimates), and the value of this information for the estimation of flood quantiles. The results presented here are mainly based on simulations, and aim to complement, in a more general framework, the results of a case study (Aude region in France) presented in Payrastre [2005, 2006]. Based on simulated series and on a GEV candidate distribution, a Bayesian Monte Carlo Markov Chain inference approach is used in order to provide credibility intervals on the estimated 100-year quantiles. The width of these credibility intervals reflects the information content of the series used for the inference. Based on this approach, the Aude case study clearly showed a great added value of available historical information. A sensitivity analysis to the characteristics of historical information used is conducted here based on simulations. The following situations are considered: 1 – no historical data available, 2 – historical information limited to the main flood that occurred during the historical period, 3 – binomial historical information (number of floods that exceeded the perception threshold), 4 - peak discharges of historical floods are known with uncertainty, 5 – accurate information on historical floods peak discharges is available. The sensitivities to length of the historical period considered and to the level of the perception threshold are also considered. The results confirm the great effect of the length of the historical period documented, but also illustrate the limited sensitivity to the position of the perception threshold, and the limited added value of information on the peak discharges of historical floods. Lastly, the possible effect of bias of estimation of historical discharges (concerning both the perception threshold and historical floods) is illustrated.

I INTRODUCTION

L'utilité de l'information historique pour l'étude statistique des crues a été assez largement illustrée au cours des 30 dernières années, à travers une quantité importante de travaux de recherche qui regroupent à la fois des simulations théoriques et, plus rarement, quelques applications pratiques [Stedinger and Cohn, 1986; Hosking and Wallis, 1986; Cohn and Stedinger, 1987; Cohn et al., 1997; Kuczera, 1999; Martins and Stedinger, 2001; Reis and Stedinger, 2005; Neppel et al., 2010].

En France, plusieurs expériences d'inventaires de crues historiques ont montré à la fois la faisabilité de telles reconstitutions, mais également la lourdeur du travail que représente la recherche de ces informations, en particulier lorsque l'on cherche à estimer les débits des crues historiques [Cœur et Lang, 2000 ; Cœur et

al., 2002; Lang et al., 1998 ; Livet, 1997; Naullet et al., 2001, 2005; Payrastre et al., 2005, 2006, 2011]. Ces résultats illustrent également la diversité des informations finalement obtenues, dont le contenu (période concernée, nombre de crues documentées, précision du débit reconstitué) peut s'avérer extrêmement variable en fonction du contexte rencontré et du temps qui a pu être consacré à la recherche de ces informations.

Compte tenu des limites inévitables des informations relatives aux crues historiques finalement obtenues, l'utilité réelle de cette information ne peut être examinée qu'au cas par cas : il semble évident que seule une information suffisamment riche pour compléter utilement les séries hydrométriques disponibles pourra présenter un véritable intérêt. Les résultats présentés par Payrastre [2005, 2006, 2011] à partir d'une étude de cas (petits cours d'eau affluents de l'Aude) indiquent toutefois qu'une information historique pouvant paraître a priori très incomplète (cas de débits de pointe non connus par exemple ou d'un nombre de crues historiques très limité), peut malgré tout offrir une véritable plus-value.

Le travail présenté ici, basé sur des simulations, permet d'explorer de façon plus détaillée les liens existant entre les caractéristiques des séries historiques disponibles et la valeur de ces séries pour l'étude statistique des crues extrêmes. L'étude se base sur une approche d'inférence Bayésienne qui permet, outre l'estimation de quantiles de crues, de leur associer un intervalle de crédibilité dont la largeur est directement liée à la richesse des informations valorisées. Les résultats présentés sont des tendances moyennes observées à partir de 100 échantillons simulés, et sont donc moins sensibles à l'échantillonnage que dans une étude de cas. Les simulations permettent également de s'affranchir des erreurs liées aux données réelles et facilitent donc l'analyse des résultats. Elles permettent enfin de faire varier les caractéristiques de l'information historique valorisée et d'analyser la sensibilité associée: longueur des séries historiques, position du seuil de perception, niveau de connaissance des débits des crues historiques, etc.. Finalement, ces résultats permettent de formuler quelques recommandations de façon à orienter de façon plus efficace la recherche d'informations sur les crues historiques.

L'article est organisé de la manière suivante : dans un premier temps (paragraphe II) sont détaillés la méthodologie d'inférence utilisée et les principes retenus pour l'analyse de sensibilité (simulations Monte Carlo); les résultats obtenus sont ensuite présentés et discutés (paragraphe III) ; les conclusions sont finalement développées au paragraphe IV.

II ASPECTS METHODOLOGIQUES

II.1 Caractéristiques de l'information historique considérée et formulation des vraisemblances

La valorisation d'informations sur les crues historiques conduit généralement à combiner les enregistrements continus d'une station hydrométrique, à une série de données historiques dite censurée, c'est à dire limitée aux crues ayant dépassé un seuil de débit y_T (ou seuil de perception) sur une période historique de durée h .

L'analyse statistique commune de ces données peut être réalisée de façon très flexible à partir des approches basées sur la vraisemblance des observations, c'est-à-dire la probabilité d'observer l'échantillon au regard du modèle statistique sélectionné [Reis et Stedinger, 2005]. Dans le cas d'une analyse basée sur des valeurs maximales annuelles de débit, une expression générale de cette vraisemblance du jeu de données D peut être formulée de la façon suivante:

$$L(D / \theta) = \underbrace{\prod_{i=1}^s [f_{\theta}(x_i)]}_{a} \times \underbrace{\prod_{j=1}^{h_1} [f_{\theta}(y_j)]}_{b} \times \underbrace{\prod_{k=1}^{h_2} [F_{\theta}(y_k^U) - F_{\theta}(y_k^L)]}_{c} \times \underbrace{[1 - F_{\theta}(y_T)]^{h_3}}_{d} \times \underbrace{[F_{\theta}(y_T)]^{h_4}}_{e} \quad (1)$$

où:

- $f_{\theta}(x)$ et $F_{\theta}(x)$ sont respectivement la densité de probabilité et la fonction de répartition de la distribution statistique sélectionnée pour représenter les valeurs maximales annuelles de débit x . Ces fonctions dépendent d'un vecteur de paramètres θ .
- (x_1, \dots, x_s) représentent les s valeurs maximales annuelles de débit issues de la série continue d'enregistrements hydrométriques
- les h années constituant la série d'informations historiques se répartissent de la façon suivante ($h=h_1+h_2+h_3+h_4$):

- h_1 crues maximales annuelles ayant dépassé le seuil de perception y_T et pour lesquelles les débits de pointe (y_1, \dots, y_{h_1}) sont précisément connus
- h_2 crues maximales annuelles ayant dépassé le seuil de perception et pour lesquelles les débits de pointe sont mal connus : seul un intervalle de débit possible $[y_k^L, y_k^U]$, $k=(1, \dots, h_2)$ est défini pour chaque crue.
- h_3 crues maximales annuelles supérieures au seuil de perception y_T mais dont le débit de pointe n'est pas connu.
- h_4 années pour lesquelles le débit du seuil de perception y_T n'a pas été dépassé.

Dans les résultats qui seront présentés ici, une distribution statistique de type GEV a été sélectionnée, pour laquelle θ est composé de trois paramètres $\theta = (\xi, \alpha, \kappa)$.

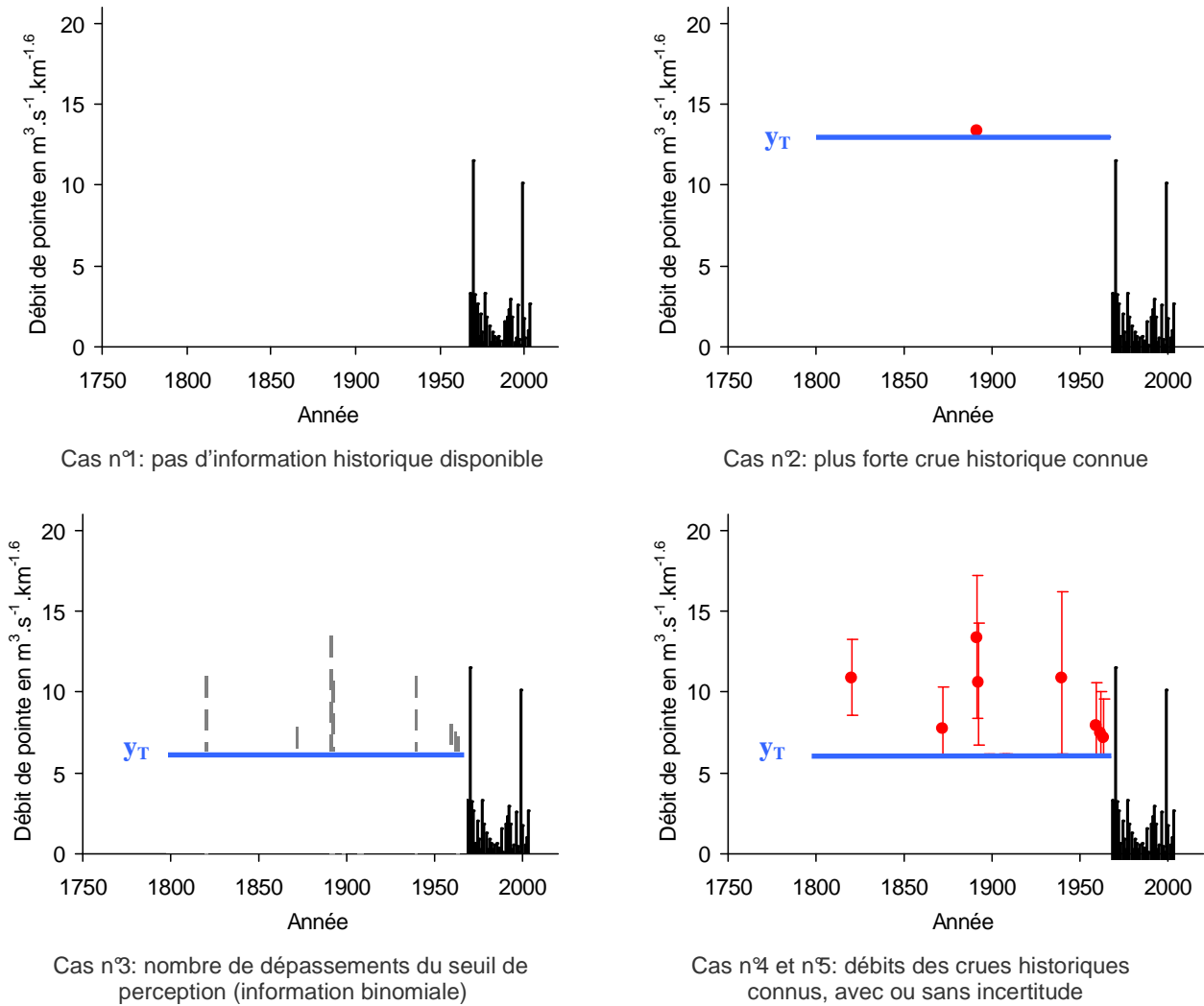


Figure 1. Représentation schématique des différents niveaux d'information historique considérés.

L'expression générique de la vraisemblance des observations donnée par l'équation (1) peut être adaptée de façon à simuler différents niveaux de détail de l'information relative aux crues historiques. Les différentes situations qui seront considérées par la suite sont représentées sur la figure 1. Elles sont décrites dans Payrastré [2005, 2006, 2011] et sont pour la plupart reprises de la littérature :

- **cas n°1** : seules les données issues de la station hydrométrique sont disponibles. L'équation (1) se limite alors au terme (a).
- **cas n°2** : l'information historique est limitée à la plus forte crue enregistrée sur la période historique ($h_1=1$, $y_1=y_T$, et $h_2=h_3=0$). L'équation (1) se limite alors aux termes (a), (b) et (e).
- **cas n°3** : seul le nombre de crues ayant dépassé le seuil de perception sur la période historique est connu ($h_1=h_2=0$). L'équation (1) inclut alors les termes (a), (d) et (e).

- **cas n°4** : les débits des crues ayant dépassé le seuil sont tous connus avec incertitude ($h_1 = h_3 = 0$). L'équation (1) inclut dans ce cas les termes (a), (c), et (e).
- **cas n°5** : l'information historique est supposée parfaite : les débits des crues historiques ayant dépassé le seuil sont tous connus avec précision ($h_2 = h_3 = 0$). L'équation (1) inclut alors les termes (a), (b), et (e).

II.2 Estimation des paramètres θ : procédure d'inférence Bayésienne MCMC

L'approche Bayésienne consiste à explorer de façon complète la distribution de probabilité des paramètres θ du modèle statistique considéré (GEV dans notre cas). La formule de Bayes fournit en effet une expression directe de cette distribution, conditionnellement au jeu d'observations D:

$$p(\theta / D) = \frac{L(D / \theta) p(\theta)}{p(D)} \quad (2)$$

L'expression (2) dépend de la vraisemblance $L(D|\theta)$ décrite au paragraphe précédent. La probabilité $p(\theta)$ correspond pour sa part à l'information disponible a priori sur la distribution des paramètres θ : ici aucune connaissance a priori n'a été considérée ($p(\theta)$ uniforme). La valeur de $P(D)$ est une constante qui n'influe pas sur le résultat du calcul.

L'utilisation d'un algorithme MCMC permet d'échantillonner de façon efficace un grand nombre de valeurs de paramètres dans la distribution a posteriori $p(\theta|D)$. Chacun de ces jeux de paramètres correspond à des quantiles de débits estimés, qui sont calculés puis utilisés pour le calcul d'intervalles de crédibilité, dont un exemple est donné sur la figure 2 (étape 2). Les intervalles qui seront présentés dans la suite de l'article sont des intervalles à 90% sur le quantile de débit centennal Q_{100} .

II.3 Principe des simulations Monte Carlo effectuées

La figure 2 présente un schéma de principe de ces simulations, dont l'objectif était de compléter les résultats obtenus lors de l'étude de cas conduite sur de petits affluents de l'Aude [Payrastré, 2005, 2006], et de dégager des tendances moins dépendantes du caractère particulier d'un échantillon. Des échantillons de caractéristiques prédéfinies (longueur des séries d'enregistrements hydrométriques et des séries historiques) sont simulés à partir d'une distribution GEV correspondant à un des bassins étudiés dans l'Aude ($\xi=2$, $\alpha=1$, $\kappa=-0.3$). 100 échantillons sont générés au total, et l'approche Bayésienne MCMC est appliquée à chacune de ces séries simulées de façon à estimer les intervalles de crédibilité associés pour le quantile centennal Q_{100} .

L'analyse de sensibilité est conduite en considérant successivement différentes durées d'enregistrements hydrométriques (30, 40 et 60 ans), et de période d'observations historiques (100 ou 200 ans selon les cas). Dans chaque cas, plusieurs niveaux de détail de l'information historique mobilisée sont représentés en utilisant successivement 4 des expressions de vraisemblance présentées au paragraphe II.1 (le cas n°4 n'a pas été représenté, la simulation des intervalles nécessitant un modèle d'erreur). Enfin, le niveau du seuil de perception considéré est successivement fixé à un débit y_T de période de retour 5 à 300 ans. Dans ce dernier cas, pour la plupart des échantillons simulés la période d'observations historiques ne comporte aucun dépassement du seuil de perception.

De façon à synthétiser de façon simple les résultats, les positions des bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de crédibilité à 90% sur le débit centennal Q_{100} sont finalement moyennées à partir des résultats obtenus sur les 100 échantillons simulés. Ces positions moyennes sont reportées sur un graphe présentant en abscisse la période de retour du seuil de perception y_T utilisé, et en ordonnée le débit centennal estimé. Ces graphes, disponibles pour chaque combinaison de durées d'enregistrements hydrométriques et historiques, permettent d'appréhender de façon globale l'impact des caractéristiques de l'information historique mobilisée sur l'estimation du débit centennal.

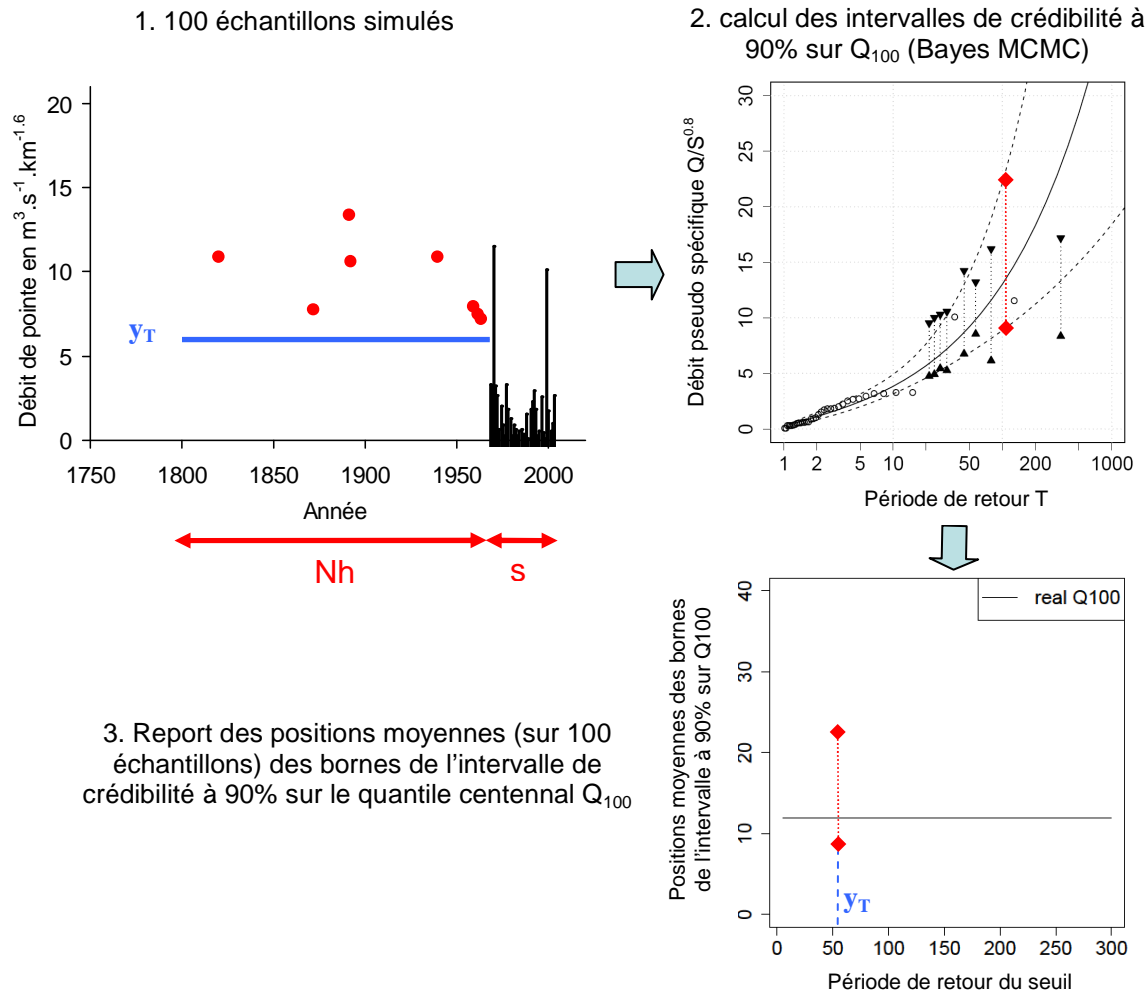


Figure 2. Schéma de principe des simulations effectuées

III APPLICATION ET DISCUSSION

III.1 Impact de la durée et de la nature des informations historiques mobilisées

La figure 3 présente une synthèse des résultats des simulations pour différentes combinaisons de durées de la série d'enregistrements hydrométriques et de la période historique. Ces résultats mettent en évidence le resserrement important de la largeur des intervalles de crédibilité sur le débit centennal, associé à l'utilisation des données historiques, et ce quelle que soit la nature des données considérées (cas n°2, 3 et 5 par comparaison au cas n°1). Ce resserrement est nettement plus marqué lorsque la durée des enregistrements hydrométriques s'avère très insuffisante pour préciser le niveau du débit centennal ($s=30$ ou 40 ans).

L'influence de la période de retour du seuil de perception est visible mais finalement peu déterminante dans les cas présentés. En l'absence de véritable seuil de perception, les cas n°1 (pas de données historiques) et n°2 (plus forte crue historique connue) ne sont pas influencés. Dans le cas de données historiques plus complètes (cas n°3 et n°5), l'élévation de la période de retour du seuil conduit assez logiquement à un élargissement de la largeur des intervalles de crédibilité, mais dans des proportions qui s'avèrent tout à fait limitées. Lorsque le seuil de perception devient élevé, la position des intervalles de crédibilité se rapproche de celle obtenue dans le cas n°2 (plus forte crue historique). Enfin, il est intéressant de remarquer que dans le cas de données binomiales (cas n°3), il existe une position du seuil de perception en deçà de laquelle l'apport de l'information historique se dégrade : la fréquence des dépassements d'un seuil de débit très faible représente en effet une information déjà contenue dans les enregistrements hydrométriques, ce qui explique la faible plus value associée aux données historiques dans ce cas particulier.

La nature des informations historiques valorisée, notamment la connaissance des débits des crues qui ont dépassé le seuil de perception, apparaît également comme relativement secondaire. La position moyenne des intervalles de crédibilité est en effet très proche entre les cas n°3 et n°5, en dehors du cas particulier de seuils de perception placés à un niveau très faible. Ces résultats indiquent finalement que le débit du seuil de perception et son nombre de dépassements sur la période historique représentent la majeure partie de l'information apportée par les séries de crues historiques. Le débit de chaque crue dépassant le seuil de perception constitue bien évidemment une information supplémentaire, mais qui s'avère en moyenne moins déterminante pour l'estimation du quantile centennal.

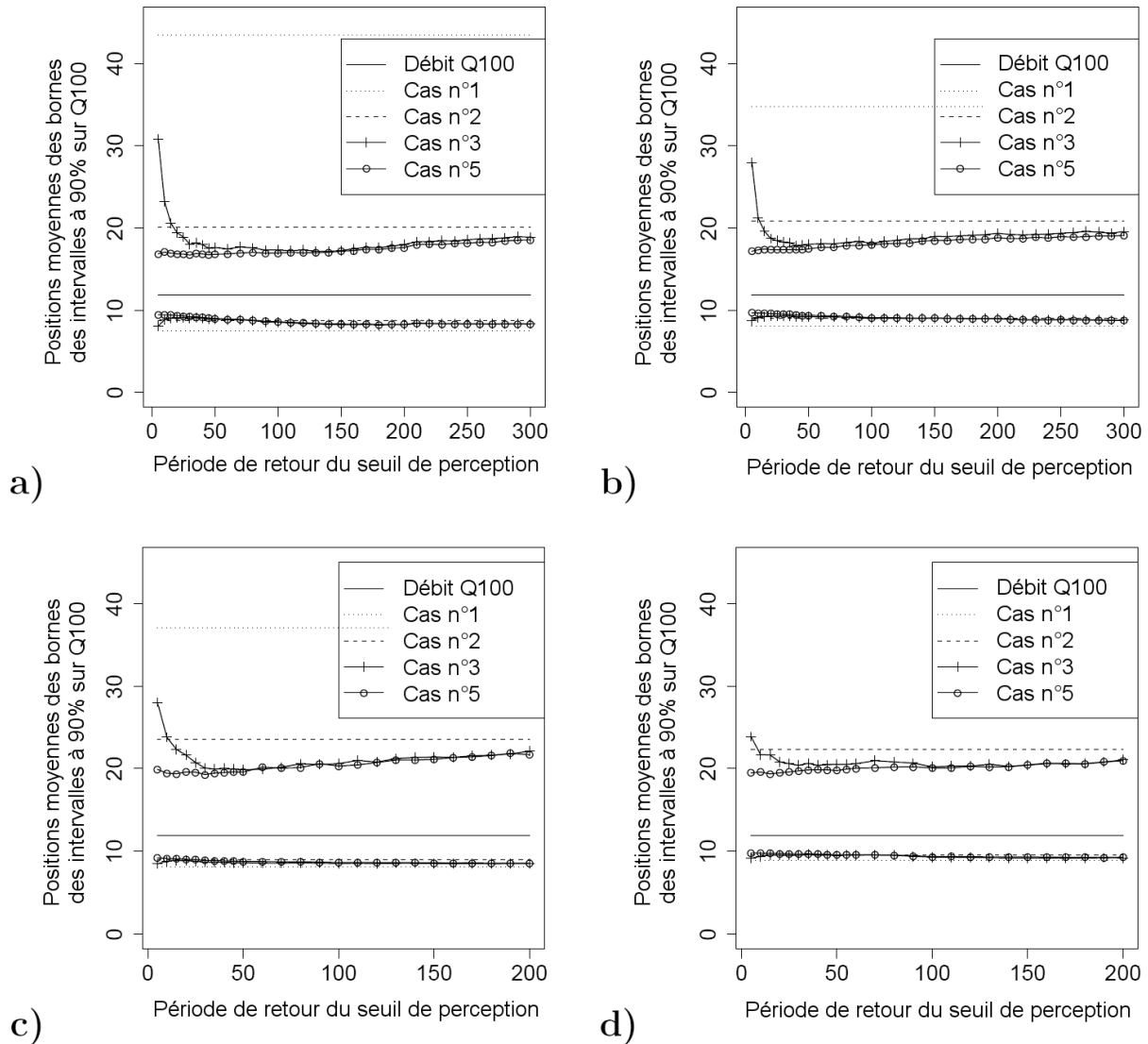


Figure 3. positions moyennes des limites d'intervalles de crédibilité sur le quantile centennal, obtenues à partir de 100 échantillons simulés, en fonction de l'information historique valorisée: a) $s=30$ et $h=200$, b) $s=40$ et $h=200$, c) $s=40$ et $h=100$, d) $s=60$ et $h=100$

III.2 Effet important de l'échantillonnage

Il est important de rappeler que les comportements décrits au paragraphe précédent restent des tendances moyennes, qui masquent une variabilité très importante des résultats en fonction des caractéristiques particulières et aléatoires de chaque échantillon considéré. A titre d'illustration, la figure 4 présente les positions des intervalles de crédibilité obtenus partir de deux échantillons particuliers (le cas b notamment est relativement caricatural puisque les données hydrométriques conduisent dans ce cas à une estimation très précise, bien que biaisée).

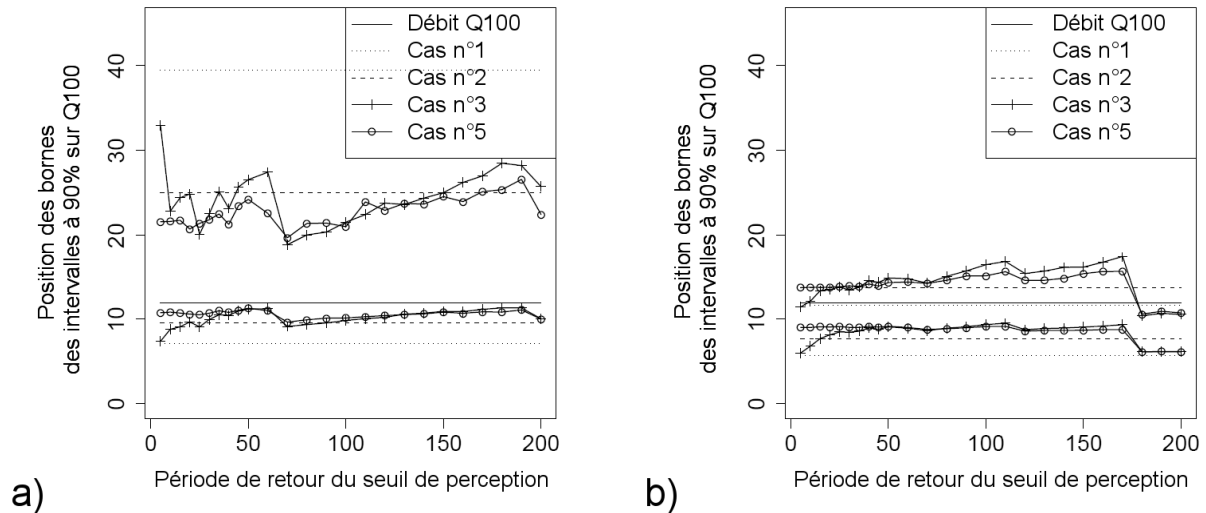


Figure 4. Position des limites d'intervalles de crédibilité sur le débit centennal, obtenues pour deux des échantillons simulés avec $s=30$ et $h=200$.

III.3 Impact d'une estimation biaisée des débits des crues historiques

La figure 5 illustre l'impact d'un biais systématique de $\pm 30\%$ affectant les estimations des débits des crues historiques et du seuil de perception associé. Cette figure laisse apparaître une dégradation significative des estimations réalisées à l'aide des données historiques : assez logiquement, d'un biais d'estimation des débits résulte un biais d'estimation des quantiles. Cet effet est d'autant plus problématique que la position du seuil de perception est basse : dans ce cas la valeur réelle du quantile centennal peut se situer à l'extérieur de l'intervalle de crédibilité moyen calculé.

On peut néanmoins remarquer sur cette même figure 5 que même perturbées par la présence d'un biais très significatif, les estimations réalisées à l'aide des données historiques restent globalement satisfaisantes par comparaison avec celles obtenues avec les séries hydrométriques seules (cas n°1)

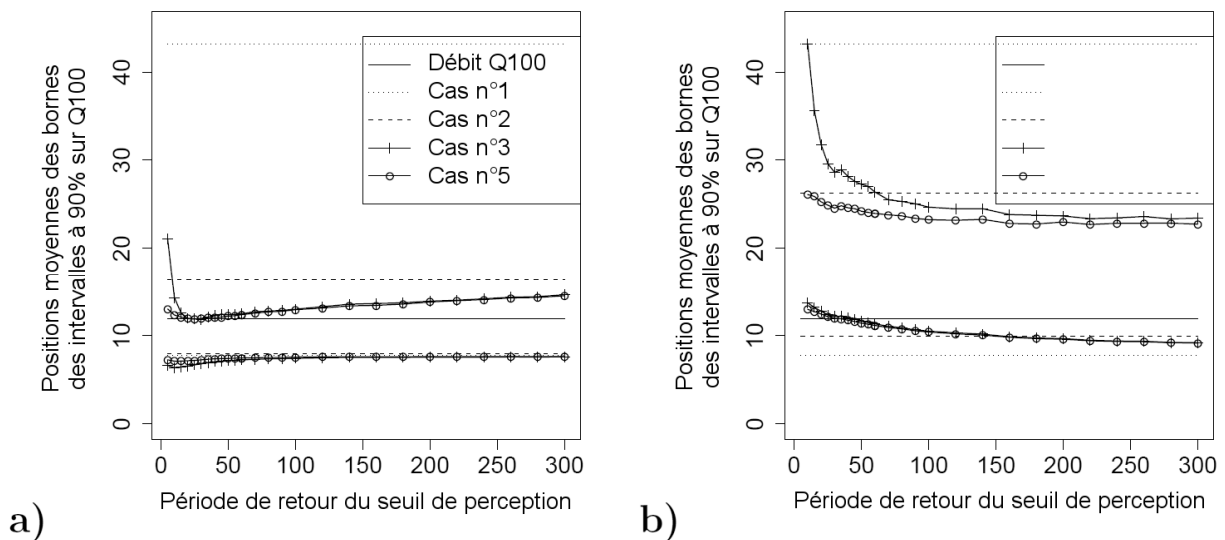


Figure 5. positions moyennes des limites d'intervalles de crédibilité sur le quantile centennal, obtenues à partir de 100 échantillons simulés, en considérant un biais d'estimation des débits des crues historiques et du seuil de perception: a) $s=30$ et $h=200$, biais de -30% ; b) $s=30$ et $N=200$, biais de $+30\%$

IV CONCLUSIONS

Les simulations présentées dans cet article permettent de mieux comprendre la façon dont l'information historique influe sur l'ajustement d'un modèle statistique (ici une distribution GEV), et permet finalement de préciser l'estimation des quantiles de crue. La durée de la série historique disponible apparaît assez logiquement comme un élément essentiel qui détermine directement la plus value apportée par ces données.

Le détail des informations présentes au sein de la série historique a bien évidemment aussi une importance. Toutefois, la période de retour du seuil de perception (qui détermine la fréquence des dépassements de ce seuil), et la connaissance des débits des crues ayant dépassé le seuil, apparaissent comme des points relativement secondaires. Il apparaît finalement qu'une grande partie de l'information apportée par les séries historiques réside (i) dans le débit du seuil de perception associé à un nombre de dépassements observés (indépendamment de la fréquence de ces dépassements), et (ii) dans la durée de la période historique sur laquelle ce seuil s'applique. On peut enfin noter qu'un biais d'estimation du débit du seuil de perception est susceptible de dégrader de façon assez nette l'apport des informations historiques.

Ces enseignements peuvent finalement se traduire par quelques recommandations générales relatives à la recherche de données sur les crues historiques :

- une période d'enregistrements historiques la plus longue possible doit être recherchée, même si cela nécessite de relever la période de retour du seuil de perception (moins de dépassements recensés).
- une bonne précision du débit associé au seuil de perception doit être recherchée, un biais d'estimation de ce débit pouvant dégrader significativement la valeur de la série historique associée (cf. paragraphe III.3).
- chercher à abaisser la période de retour du seuil de perception, de façon à augmenter la fréquence des dépassements observés sur la période historique, n'offre pas forcément une plus value déterminante.
- estimer précisément le débit des crues ayant dépassé le seuil de perception n'offre pas forcément une plus value déterminante. Une bonne estimation du débit associé au seuil de perception doit être recherchée avant tout.

Il faut enfin garder en mémoire que les tendances décrites dans cet article restent des tendances moyennes qui peuvent fortement varier en fonction des caractéristiques particulières (et aléatoires) des jeux de données échantillonnés (point illustré dans le paragraphe III.2).

Par ailleurs, les résultats présentés ici ont été obtenus dans le cas particulier d'une distribution GEV dont les paramètres induisent une forte variabilité des débits de crue. Ces résultats pourraient s'avérer sensiblement différents pour une autre forme de distribution, notamment pour qui concerne les durées des séries historiques permettant de compléter utilement les séries hydrométriques. On peut néanmoins penser que certaines des tendances identifiées ici (importance d'une bonne détermination du débit du seuil, caractère secondaire de la période de retour du seuil, faible impact des débits des dépassements) ont un caractère beaucoup plus général.

V BIBLIOGRAPHIE

- Cœur D. et Lang M. (2000) L'information historique des inondations: l'histoire ne donne-t-elle que des leçons? *La Houille Blanche – Revue Internationale de l'Eau*, (2): 79-84.
- Cœur D., Lang M. et Paquier M. (2002) - L'historien, l'hydraulicien, l'hydrologue et la connaissance des inondations. *La Houille Blanche – Revue Internationale de l'Eau*, (4/5): 61-66.
- Cohn T.A. and Stedinger J.R. (1987) - Use of historical information in a maximum likelihood framework, *Journal of hydrology*, 96(1):215-223.
- Cohn, T., W. Lane, and W. Baier (1997), An algorithm for computing moments-based flood quantile estimates when historical flood information is available, *Water resources research*, 33 (9), 2089--2096.
- Hosking, J.R.M., and Wallis J.R. (1986), The value of historical data in flood frequency analysis, *Water resources research*, 22 (11), 1606--1612.
- Kuczera, G. (1999), Comprehensive at site flood frequency analysis using Monte-Carlo Bayesian inference, *Water resources research*, 35 (5), 1551-1557.
- Lang M., Cœur D., Lallement C. & Naulet R. (1998) - Valorisation de l'information historique pour la prédétermination du risque d'inondation: application au bassin du Guiers. *Ingénieries EAT*, 16, 3-13.
- Livet, M. (1997), Approche historique du risque inondation - cas des petits bassins versants urbains et plus particulièrement des bassins versants périurbains, rapport technique du CETE de Lyon - Laboratoire régional de Clermont-Ferrand.

- Martins, E. S., and Stedinger J.R. (2001), Historical information in a generalized maximum likelihood framework with partial duration and annual maximum series, *Water resources research*, 37 (10), 2559--2567.
- Naulet R., Lang M., Coeur D., et Gigon C. (2001) - Collaboration between historians and hydrologists on the Ardèche river (France). First step: Inventory of historical flood information. Dans *Advances in Natural and Technological Research: "The use of historical data in natural hazard assessments"*, Ed. Albin P. Glade T. et Frances F., vol. 17, p. 113-129. Kluwer Academic publishers.
- Naulet R., Lang M., Ouarda T.B.M.J., Coeur D., Bobée B., Recking A., Moussay D. (2005) - Flood frequency analysis on the Ardèche river using French documentary sources from the last two centuries. *Journal of Hydrology*, 313:58-78.
- Neppel L., Renard B., Lang M., Coeur D., Gaume E., Jacob N., Payrastre O., Pobanz K., and Vinet F. (2010), Flood frequency analysis using historical data: accounting for random and systematic errors, *Hydrological Sciences Journal*, 55 (2), 192--208, doi:10.1080/02626660903546092.
- Payrastre O., Gaume E. et Andrieu H. (2005) - Use of historical data to assess the occurrence of floods in small watersheds in the french mediterranean area. *Advances in Geosciences*, 2: 313-320.
- Payrastre, O., Gaume E., and Andrieu H. (2006), Usefulness of historical flood series reconstruction for the study of extreme floods in small watersheds. Case study of four small tributaries of the Aude river, France, *La Houille Blanche*, 6, 79-86.
- Payrastre, O., E. Gaume, and H. Andrieu (2011), Usefulness of historical information for flood frequency analyses: Developments based on a case study, *Water Resour. Res.*, 47, W08511, doi:10.1029/2010WR009812.
- Reis D., Stedinger J. (2005) - Bayesian MCMC flood frequency analysis. with historical information. *Journal of Hydrology*, 313: 97–116.
- Stedinger, J., and Cohn T. (1986), Flood frequency analysis with historical and paleoflood information, *Water resources research*, 22 (5), 785--793.