

# BaRatin : une méthode pour estimer les courbes de tarage hauteur-débit et leurs incertitudes

Mots-clés : modèle, courbe de tarage, débit, incertitude, hydrométrie

Type d'outil	Milieux étudiés	Disciplines mobilisées	Destinataires
Logiciel gratuit open-source	Milieux aquatiques	Hydrologie, hydraulique, hydrométrie	Gestionnaires, agents de services d'hydrométrie, bureaux d'études, étudiants, chercheurs

## OBJECTIFS

Construire et caler des courbes de tarage hauteur-débit univoques avec une base hydraulique et en estimant les incertitudes associées.

Disposer d'un outil permettant d'améliorer l'interprétation des contrôles hydrauliques ainsi que la prise en compte des incertitudes individuelles des jaugeages. Calculer des séries temporelles de débit (hydrogrammes) avec quantification des incertitudes (également possible avec le logiciel, à partir d'une série de hauteurs d'eau)

## L'ESSENTIEL

*BaRatin* est une méthode de quantification des incertitudes des courbes de tarage hauteur-débit simples et univoques. *BaRatinAGE*, l'interface associée, permet de construire la courbe la plus vraisemblable ainsi que son enveloppe d'incertitude.

## CONTENU DE L'OUTIL

*BaRatin* (*Bayesian Rating curve*) est une méthode d'estimation des courbes de tarage univoques (hypothèse de stabilité de la relation hauteur-débit sur la période considérée) et des incertitudes associées à l'aide d'un formalisme bayésien. Développée depuis 2010, elle est accessible notamment par le biais de son interface graphique *BaRatinAGE*, sous Windows et Linux, et est disponible librement sur un [site dédié](#).

Elle permet d'estimer la courbe de tarage hauteur-débit la plus probable et son enveloppe d'incertitude. Pour cela, elle établit tout d'abord l'équation de la courbe de tarage à partir des contrôles hydrauliques (caractéristiques physiques du cours d'eau déterminant la relation hauteur-débit à la station de mesure). Les distributions « a priori » des paramètres de cette équation sont spécifiées à partir des connaissances plus ou moins incertaines de l'utilisateur. L'incertitude individuelle des observations (jaugeages) est prise en compte. Finalement, le simulateur bayésien *BaRatin* simule un faisceau de courbes de tarage vraisemblables dont on peut extraire la courbe de tarage la plus probable et l'incertitude associée, au niveau de confiance requis (en général 95 %), sur la base d'une approche Monte-Carlo par chaînes de Markov (MCMC). En outre, une série de débit (hydrogramme) avec incertitudes peut être calculée à partir d'une série de hauteurs d'eau (limnigramme) et d'une courbe de tarage.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Logiciel gratuit et open source</li> <li>+ Interface intuitive, nombreuses sorties graphiques et exports</li> <li>+ Outil évolutif et collaboratif à l'international : hydromètres, bureaux d'études, gestionnaires et chercheurs</li> <li>+ Base hydraulique et prise en compte des incertitudes (cadre probabiliste)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne permet pas la construction de courbes de tarage complexes et variables dans le temps</li> <li>- Besoin d'une expertise minimale pour renseigner les paramètres et interpréter les résultats</li> <li>- Analyse individuelle de chaque station hydrométrique (pas d'analyse en masse)</li> </ul>

## MISE EN ŒUVRE

Temps	Moyens humains	Compétences	Matériel	Coût
- 2h de prise en main - puis quelques heures par station	- 1 personne	- Guide d'utilisation - Documentation, support de formation, tutoriels, webinaires	- Ordinateur et logiciel	- Logiciel disponible gratuitement

## CONTEXTE

Le débit (en m<sup>3</sup>/s) des rivières est le volume d'eau transitant à travers une section de rivière par unité de temps. C'est l'une des variables les plus importantes en hydrologie car ses valeurs et évolutions temporelles conduisent à la prise de décisions pour la gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques.

Les courbes de tarage hauteur-débit sont des outils opérationnels fournissant le débit sur la base soit de la hauteur d'eau seule (courbes simples), soit de la hauteur d'eau et d'autres paramètres également mesurés en continu (courbes complexes). Cette relation est déterminée par des contrôles hydrauliques, c'est-à-dire des caractéristiques physiques (géométrie, rugosité, pente, pertes de charge...) du tronçon de cours d'eau autour de la station hydrométrique. Ces contrôles peuvent se succéder et/ou s'ajouter selon le débit, déterminant la forme de cette relation. Estimer l'incertitude des courbes de tarage est nécessaire pour fournir l'incertitude des données hydrologiques.

## PRINCIPES

La méthode *BaRatin* associée à son interface *BaRatinAGE* permet d'estimer des courbes de tarage hauteur-débit les plus probables et leurs enveloppes d'incertitude.

La démarche se décompose en quatre étapes.

Premièrement, l'équation de la courbe de tarage est dérivée de la combinaison de fonctions puissance représentant chacun des contrôles supposés de la station hydrométrique. Les distributions « a priori », c'est-à-dire avant d'avoir utilisé les jaugeages comme données de calage, des paramètres de cette équation sont établis à partir d'informations sur les contrôles hydrauliques que l'utilisateur renseigne.

$$Q(h)=a(h-b)^c \quad (h>k)$$

*Equation d'une courbe de tarage donnant le débit Q en fonction de la hauteur d'eau h ;  
a, b, c sont les coefficients et k la hauteur d'activation du contrôle hydraulique*

Deuxièmement, les données de jaugeages sont importées avec leurs incertitudes individuelles précisées. Troisièmement, le logiciel applique le théorème de Bayes pour calculer la distribution « a posteriori » des paramètres (a, k, c) de la courbe de tarage. Cette distribution est ensuite échantillonnée par simulations Monte-Carlo à chaînes de Markov (MCMC), qui conduit à générer un ensemble de courbes de tarage plausibles au vu des jaugeages et des connaissances hydrauliques « a priori », ce qui constitue l'enveloppe d'incertitude paramétrique (Figure 1). Une incertitude « restante » est estimée et ajoutée pour obtenir l'incertitude « totale » : cette incertitude restante est celle qui doit être ajoutée à l'incertitude des jaugeages et à l'incertitude paramétrique de la courbe de tarage pour expliquer la dispersion des jaugeages autour de la courbe de tarage.

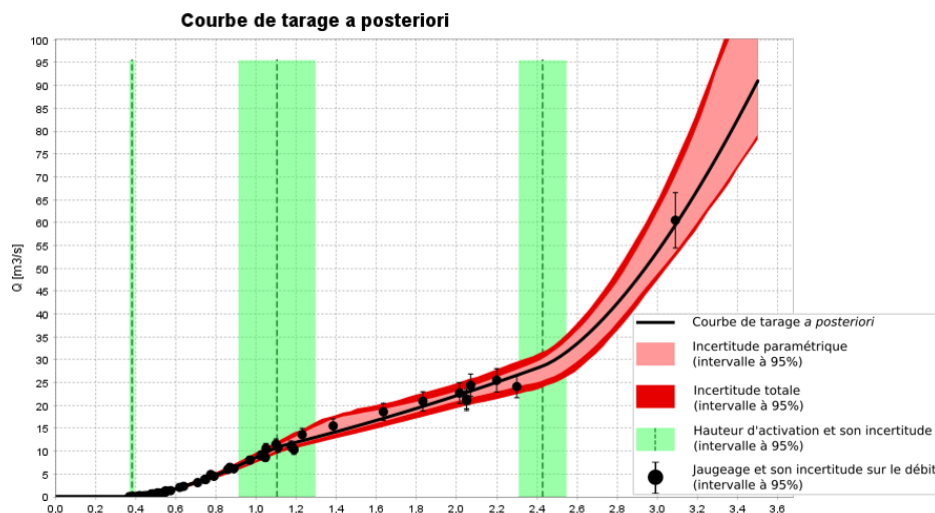


Figure 1 - Exemple de visualisation d'une courbe de tarage avec évaluation de son incertitude par la méthode BaRatin

Finalement, les éventuels conflits entre les résultats « a posteriori » et « a priori » doivent être vérifiés (Figure 2). Ils peuvent conduire à la remise en question du modèle de courbe de tarage et/ou de l'estimation des incertitudes des jaugeages, et nécessiter de revoir les hypothèses sur les contrôles hydrauliques.

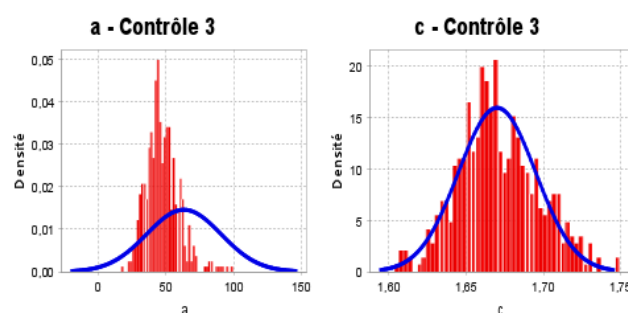


Figure 2 - Exemple d'une comparaison satisfaisante de la distribution « a priori » (bleu) et « a posteriori » (rouge) des paramètres 'a' et 'c' d'une équation de courbe de tarage : l'estimation du paramètre 'a' a été améliorée grâce à l'information contenue dans les jaugeages, tandis que l'estimation a priori de 'c' (déjà très précise) n'a pas été améliorée.

## PERSPECTIVES ET PRECONISATIONS

D'autres modèles que BaRatin pour les courbes de tarage complexes et variables dans le temps ont été développés et implémentés dans le logiciel plus générique BaM! (Bayesian Models) : stations à double échelle soumises à influence aval variable, traitement de l'hystérésis due aux écoulements transitoires, traitement des détarages successifs dus à l'évolution du lit. A terme, le logiciel BaRatinAGE devrait proposer certains de ces modèles.

## PERSONNES RESSOURCES

**Jérôme LE COZ**  
INRAE, UR RiverLy, Lyon  
[jerome.lecoz@inrae.fr](mailto:jerome.lecoz@inrae.fr)  
Tel : 04 72 20 87 86

**Benjamin RENARD**  
INRAE, UR RECOVER, Aix-en-Provence  
[baratin.dev@inrae.fr](mailto:baratin.dev@inrae.fr)

## DOCUMENT(S) SOURCE

Liens internet : [présentation](#), [téléchargement](#) et [webinaires en replay](#).

## AUTEUR(S)

Jérôme LE COZ (INRAE), Benjamin RENARD (INRAE)

## STRUCTURE(S) PORTEUSE(S) DU PROJET

Institut National de recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement (INRAE)

## SITES ET OBSERVATOIRES DE LA ZABR MOBILISES

La méthode est appliquée au niveau national (Ministère en charge de l'Environnement, Compagnie nationale du Rhône) et international (réseau NEON USA, Acumar Argentine). Elle est notamment utilisée par les sites et observatoires ZABR suivants : Arc-Isère, Ardières-Morcille, OSR, OTHU (BV Yzeron).

## THEMATIQUES ZABR ABORDEES

Flux Formes Habitats et Biocénoses (FFHB)

## PROJET

La méthode bayésienne BaRatin a été développée par INRAE depuis 2010 et soutenue par le SCHAPI, la CNR, l'OMM, l'ANR (projet FloodScale sur la modélisation multi-échelle des crues cévenoles).

## BIBLIOGRAPHIE

- Le Coz J., Renard B., Bonnifait L., Le Boursicaud R., Branger F., et al, (2014). *Guide pratique de la méthode BaRatin pour l'analyse des courbes de tarage et de leurs incertitudes*. IRSTEA, pp.94, hal-02601038
- Renard B., Le Coz J., Blanquart B., Bonnifait L., (2015). *Statistiques avancées pour le calcul d'incertitudes en hydrologie. Applications à la prédétermination et à l'hydrométrie*. Irstea, pp.116
- Le Coz J., Renard B., Bonnifait L., Branger F., Le Boursicaud R., (2014). *Combining hydraulic knowledge and uncertain gaugings in the estimation of hydrometric rating curves: a Bayesian approach*. Journal of Hydrology, 509, p.573-587
- Horner I., Renard B., Le Coz J., Branger F., McMillan H.K., Pierrefeu G., (2018). *Impact of stage measurement errors on streamflow uncertainty*. Water Resources Research, 54, p.1952-1976.
- Le Coz J., Chaléon C., Bonnifait L., Le Boursicaud R., Renard B., Branger, F., Diribarne, J., Valente, M. 2013. *Analyse bayésienne des courbes de tarage et de leurs incertitudes : la méthode BaRatin*. La Houille Blanche, 6, 31-41, doi:10.1051/lhb/2013048

