



HAL
open science

Les incertitudes hydrométriques en étiage

Didier Francois, Benjamin Grelier

► **To cite this version:**

Didier Francois, Benjamin Grelier. Les incertitudes hydrométriques en étiage. LOTERR, Université de Lorraine, Metz. 2026. <hal-05560250>

HAL Id: hal-05560250

<https://hal.science/hal-05560250v1>

Submitted on 20 Mar 2026

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.



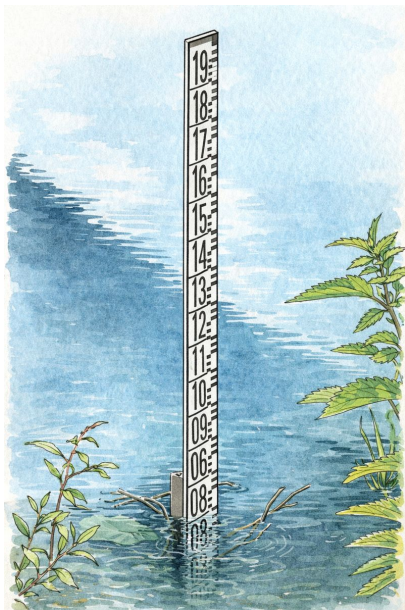
ETALAB - Open licence



CIPRHES

Projet ANR-20-CE04-0009-02 CIPRHES : Chaîne intégrée pour la prévision hydrométéorologique des étiages et des sécheresses

Workpackage n°4 : Quantifier les incertitudes et la propagation des incertitudes associées aux prévisions d'ensemble hydrologiques, et améliorer la combinaison multi-modèles



Les incertitudes hydrométriques en étiage

Auteurs : Didier FRANÇOIS, Benjamin GRELIER
Université de Lorraine - Laboratoire LOTERR

Janvier 2026



Remerciements

*Ce rapport est issu du projet **CIPRHES ANR-20-CE04-0009-02** : Chaîne Intégrée pour la **PR**évision **H**ydrométéorologique des **É**tiages et des **S**écheresses, qui a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche.*



Partenaires :

- *INRAE (Coordinateur)*
- *BRGM*
- *EDF*
- *Météo France*
- *Université de Lorraine*



Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 5 |
| 1 Les sources d'incertitude dans la mesure des débits d'étiage aux stations hydrométriques | 6 |
| 2 État de l'art | 8 |
| 3 Enquête auprès des services d'hydrométrie | 11 |
| 3.1 Difficulté des mesures en étiage | 12 |
| 3.2 Gestion des stations en étiage | 12 |
| 3.3 Traitement des incertitudes | 13 |
| 4 Incertitudes liées aux courbes de tarage | 13 |
| 4.1 Stabilité des sections de contrôle | 14 |
| 4.2 Quantification de l'incertitude de la courbe de tarage | 16 |
| 4.3 Sensibilité des courbes de tarage | 20 |
| 4.4 Application de la méthode BaRatin | 20 |
| 4.5 Les débits "temps réel" | 22 |
| 5 Caractérisation de la fiabilité des stations hydrométriques pour les débits d'étiage | 24 |
| 5.1 Stabilité des sections de contrôle | 24 |
| 5.2 Gestion des stations | 25 |
| 5.3 Sensibilité de la courbe de tarage | 25 |
| 5.4 Végétation | 25 |
| 5.5 Application aux stations de la DRIEAT Île de France | 26 |
| Conclusion | 27 |
| Perspectives | 27 |
| Bibliographie | 28 |
| Annexes | 30 |

Table des figures

| | | |
|------|---|----|
| 1 | organisation des workpackages du projet CIPRHES | 5 |
| 2 | station hydrométrique | 6 |
| 3 | station hydrométrique en étiage | 7 |
| 4 | courbes de tarage de la station du Loison à Han-lès-Juvigny (B457201001) | 7 |
| 5 | Incertitude attendue pour quatre stations au comportement très contrasté . | 9 |
| 6 | Incertitude relative des mesures de débit provenant des 916 groupes de mesures débit-hauteur pour les débits faibles, moyens et élevés | 10 |
| 7 | a) Exemple d'une courbe de tarage (1) comparée à la relation hauteur-débit en étiage (2). (b) Courbe de correction des hauteurs pendant la période estivale | 11 |
| 8 | Exemple de l'ajustement d'une courbe moyenne | 14 |
| 9 | Évolution des résidus de la courbe de tarage moyenne | 15 |
| 10 | Stabilité des stations hydrométriques | 15 |
| 11 | Exemple d'une courbe de tarage et des jaugeages mesurés pendant sa pé- riode de validité | 17 |
| 12 | Distribution des écarts relatifs jaugeages - courbe de tarage pour les stations d'Île de France et des bassins Meuse-Moselle | 18 |
| 13 | Rapport Q jaugé / Q courbe de tarage (QCT) en fonction de Q courbe de tarage. Exemple de la Seille à Nomény. | 18 |
| 14 | Rail d'incertitude empirique. Exemple de la Seille à Nomény. | 19 |
| 15 | Ajustement GAMLSS des écarts relatifs Q jaugé - Q courbe de tarage. Exemple de la Seille à Nomény. | 19 |
| 16 | Stations de la Moselle et de la Meuse : rapport débit jaugé / débit estimé. | 20 |
| 17 | Sections de contrôle des stations hydrométriques où la méthode BaRatin a été utilisée. | 21 |
| 18 | Hydrogramme produit par Baratinage pour le station de Vannes-le-Chatel. | 21 |
| 19 | Écarts entre les débits "temps réel" et les débits validés (01/05/2022 - 01/11/2022). | 22 |
| 20 | Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de l'Ill à Didenheim | 23 |
| 21 | Nombre de jaugeages réalisés entre le 01/05/2022 et le 01/11/2022 pour 180 stations. | 24 |
| 22 | Carte interactive de la fiabilité des stations de la DRIEAT Île de France. . | 26 |
| A.23 | Exemple d'une station très stable : la Meurthe à Laneuveville-devant-Nancy. | 30 |
| A.24 | Exemple d'une station stable : la Meuse à Chooz. | 31 |
| A.25 | Exemple d'une station moyennement stable : l'Oise à Sempigny. | 32 |
| A.26 | Exemple d'une station instable : l'Ource à Froidvent. | 33 |
| A.27 | Exemple d'une station très instable : l'Essonne à Boulancourt. | 34 |
| A.28 | Stabilité des stations des bassins de la Meuse et de la Moselle | 35 |
| A.29 | Sensibilité des courbes de tarage des stations des bassins de la Meuse et de la Moselle. | 36 |
| A.30 | Écarts : débits "temps réel" - débits validés. Stations présentes dans la plateforme PREMHYCE en 2022 | 37 |
| A.31 | Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de la Divette à Passel. | 38 |

| | |
|--|----|
| A.32 Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de la Sarre à Laneuville-les-Lorquin | 38 |
| A.33 Nombre de jaugeages du 01/05/2022 au 01/11/2022 extraits d'HydroPortail (mars 2023). | 39 |
| A.34 Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de la Meuse à Chooz. | 40 |

Introduction

Le Workpackage n°4 consacré au traitement des incertitudes apparaît à une place centrale dans le projet :

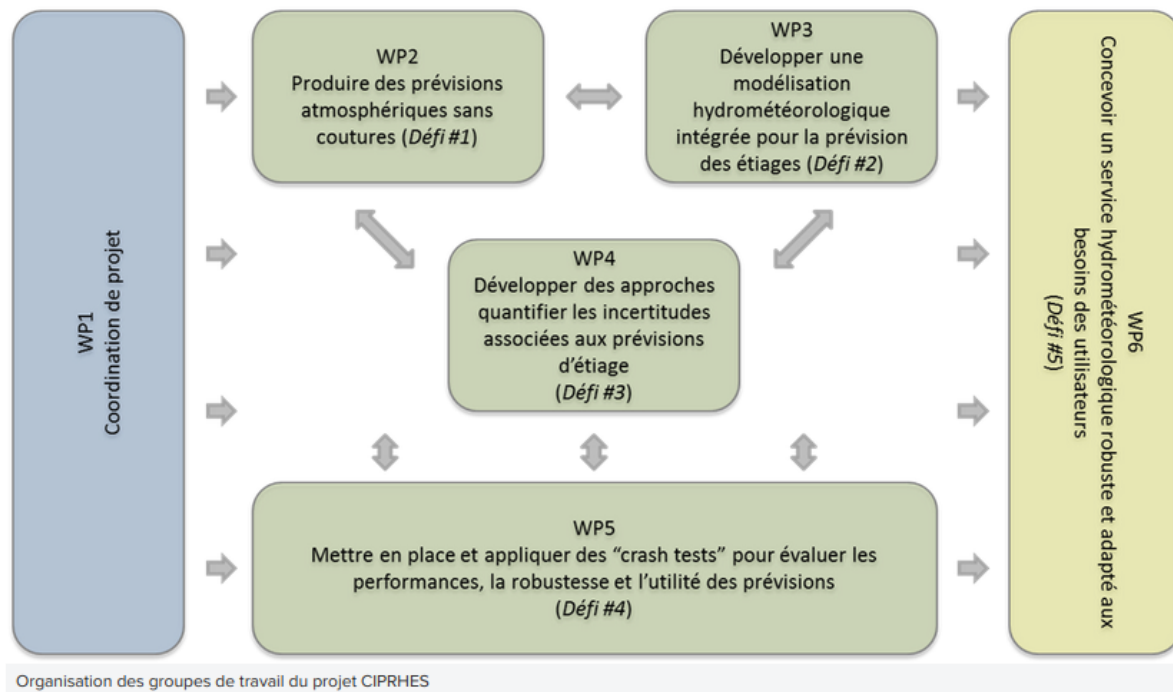


FIGURE 1 – organisation des workpackages du projet CIPRHES

Il traite des incertitudes dans les données alimentant les outils de prévision et aussi des incertitudes issues des prévisions hydrologiques. Ce rapport rend compte des travaux concernant principalement les incertitudes hydrométriques qui représentent une préoccupation particulière dans l'utilisation des données d'étiage.

Il existe un intérêt récent pour les débits d'étiage lié aux effets du changement climatique : depuis une dizaine d'année on constate l'apparition d'étiage plus sévères et plus précoces qui provoquent une tension sur les ressources en eaux superficielles. Pour gérer cette ressource, il est nécessaire de connaître de manière précise les valeurs de débits aux stations hydrométriques. Les services de l'État s'y emploient et exposent les difficultés particulières du suivi des étiages : plaquette sur la donnée hydrométrique d'étiage (HYDROPORTAIL 2023), vidéo (DREAL 2025) ou communication lors du colloque de la SHF Sécheresse et Étiage 2022 (CHARPENTIER et al. 2023). Les principales sources d'incertitude liées à la mesure des débits d'étiage y sont présentées. Il apparaît clairement qu'il existe une spécificité des incertitudes hydrométriques en étiage.

Dans ce rapport, nous aborderons les points suivants :

- quelles sont les principales sources d'incertitude dans les débits d'étiage et dans le cadre de CIPRHES, où elles interviennent dans la chaîne de prévision,
- outre les références présentées plus haut, les incertitudes hydrométriques ont déjà fait l'objet de publications scientifiques qui en proposent une quantification ou en analysent les causes,
- nous nous sommes adressés aux services gestionnaires de réseaux hydrométriques

par l'intermédiaire d'un questionnaire afin de connaître les pratiques hydrométriques concernant les débits d'étiage, la prise en compte des incertitudes, ...

- à partir des bases de données BAREME, de deux services gestionnaires, nous proposons une quantification des incertitudes provenant des courbes de tarage,
- enfin, nous proposons une caractérisation des stations hydrométriques pour leur affecter un niveau de fiabilité pour la mesure des débits d'étiage.

1 Les sources d'incertitude dans la mesure des débits d'étiage aux stations hydrométriques

Avant d'aborder l'état de l'art sur les incertitudes hydrométriques en étiage, nous avons souhaité poser de manière simple le problème de la mesure des débits en situation d'étiage. Une station hydrométrique est classiquement représentée selon le schéma de la figure 2.

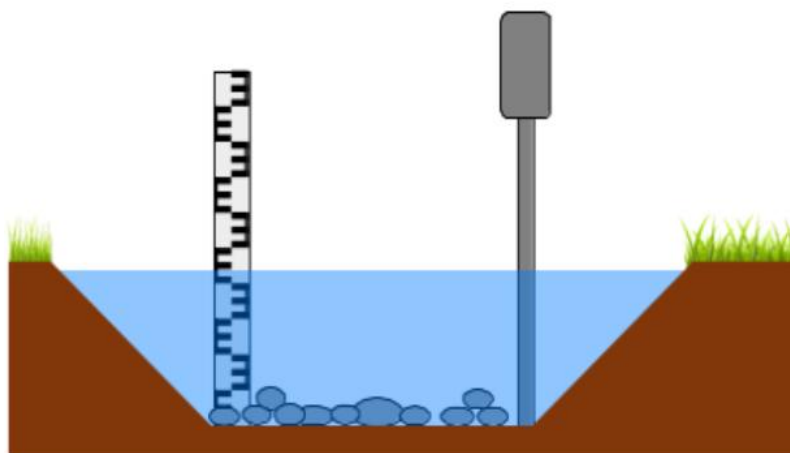


FIGURE 2 – station hydrométrique

Une échelle limnimétrique est associée à un limnigraphe, de fréquents jaugeages doivent permettre d'établir une relation univoque entre la hauteur mesurée et le débit jaugé (courbe de tarage). Cette relation peut changer au cours du temps avec des modifications de la section de contrôle provenant de l'apport de matériaux, symbolisé ici par la présence de galets au fond du lit, ou à l'inverse par l'ablation d'une partie de ces dépôts. Des événements extrêmes de crue ou des interventions anthropiques sont à l'origine de ces changements. Pour chaque changement majeur de la section de contrôle, il est nécessaire de vérifier si la relation hauteur-débit a changé et le cas échéant établir une nouvelle courbe de tarage.

En situation d'étiage et dans bien des cas, la représentation de la section de contrôle de la station peut ressembler à la figure 3.

La section de contrôle est occupée par la végétation qui ralentit la vitesse de l'écoulement, occupe un certain volume et ainsi modifie la relation hauteur-débit. Les jaugeages sont également plus difficiles à mettre en œuvre car les vitesses sont beaucoup plus faibles et la végétation peut perturber le bon fonctionnement des capteurs. En outre, du fait de la baisse du niveau d'eau, la partie instable de la section, symbolisée sur notre schéma par des galets, occupe une part prépondérante de la section mouillée : ainsi c'est pour les hauteurs les plus basses que la courbe de tarage est la plus « mouvante ».

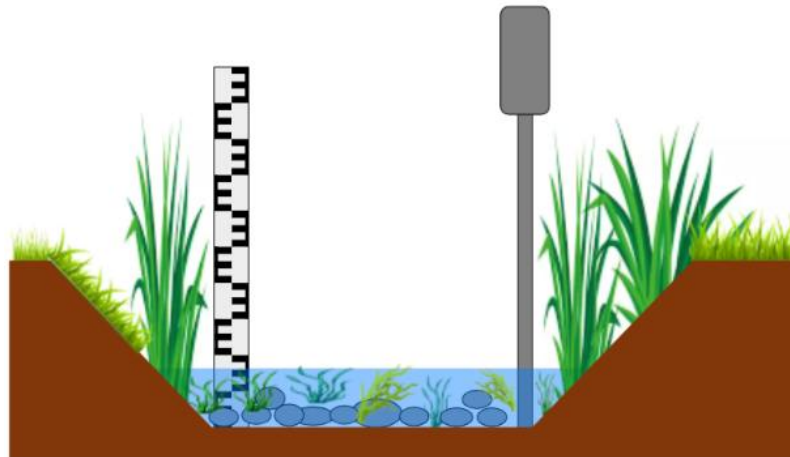


FIGURE 3 – station hydrométrique en étiage

Cette instabilité est représentée sur la figure 4.

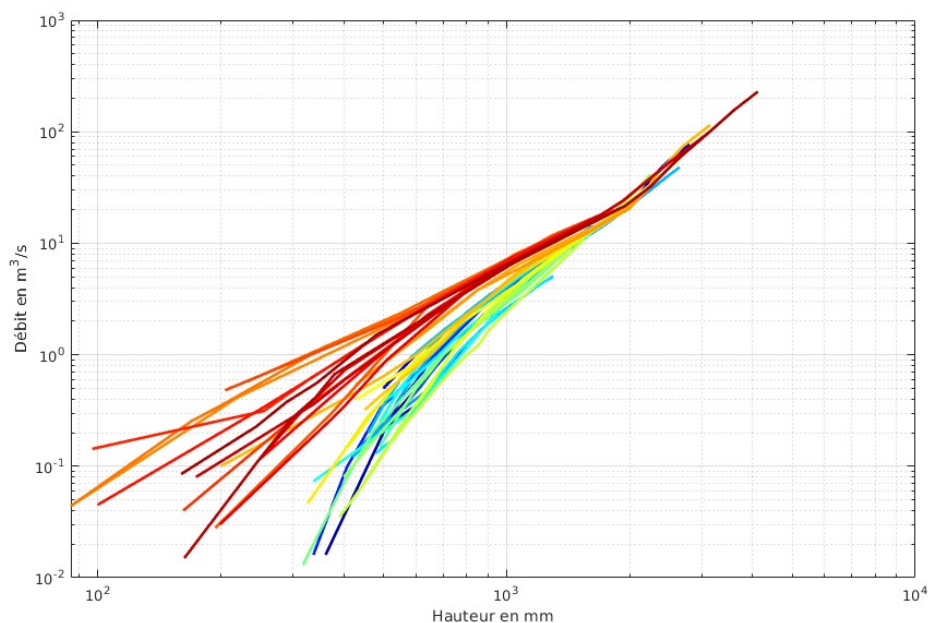


FIGURE 4 – courbes de tarage de la station du Loison à Han-lès-Juvigny (B457201001)

Il s'agit des courbes de tarage de la station du Loison à Han-lès-Juvigny représentées sur des échelles logarithmiques pour les hauteurs et les débits. Il y a précisément 57 courbes. Celles en couleur froide (bleue) correspondent aux courbes les plus anciennes (1969) et les plus récentes apparaissent en couleur chaude (rouge pour 2021). Les courbes convergent vers les couples hauteur-débit les plus élevés : les modifications des sections de contrôle ont un poids moindre pour les grandes sections mouillées. L'essentiel de ces modifications affecte davantage les parties basses des courbes, proportionnellement aux valeurs de hauteur et de débit. Dans le cas présenté ici, on assiste à un enfoncement du lit. Bien qu'il ait été nécessaire de tracer un nombre important de courbes, la station de Han-lès-Juvigny se situe sur le Plateau lorrain et contrôle une rivière qui a une dynamique fluviale plutôt modérée. Bien sûr et heureusement, il existe aussi de nombreuses stations

hydrométriques beaucoup plus stables. La végétation et l'instabilité du lit ne constituent pas les seules causes d'incertitudes dans la mesure des débits d'étiage aux stations hydrométriques. Il arrive fréquemment que de petits barrages d'origine anthropique (souvent réalisés par des pêcheurs) fassent monter artificiellement la hauteur d'eau et ainsi entraîne une estimation des débits erronée.

À ce contexte particulier des étiages, s'ajoutent les incertitudes provenant directement de la mesure des hauteurs d'eau (précision du capteur, lecture à l'échelle) et de la mesure des débits (selon la méthode : moulinet, ADCP, ...). De nombreuses publications ont traité ces différents aspects.

2 État de l'art

Nous proposons un état de l'art succinct qui permet de dresser un état des lieux des méthodes et des réflexions en cours sur l'incertitude hydrométrique dans la communauté des hydromètres principalement en France.

Pour fixer des ordres de grandeur d'incertitude associés à la mesure des débits en général, on peut se référer à la Charte qualité de l'hydrométrie (PUECHBERTY et al. 2017). Elle propose notamment des valeurs d'incertitude relatives pour les jaugeages. En fonction du matériel utilisé les incertitudes sont présentées dans le tableau 1.

| Méthode | Conditions moyennes | Conditions bien adaptées |
|---------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Moulinet | | |
| Courantomètre acoustique | 7-15% | 5-10% |
| Courantomètre électromagnétique | | |
| ADCP | 5-10% | 5% |
| Radar surface | | 15-20% |
| Caméra | | |
| Dilution | 3-10% | 3-5% |

TABLE 1 – Incertitudes relatives pour différentes méthodes de jaugeage

Ainsi si on prend pour référence les débits jaugés, il faut tenir compte des incertitudes inhérentes à la mesure elle-même. Pour les données aux stations hydrométriques, la Charte cite les sources d'incertitude suivantes :

- l'enregistrement de la hauteur d'eau dépend de la précision du capteur et d'une dérive éventuelle.
- la courbe de tarage concentre plusieurs sources d'incertitudes provenant de la sensibilité de la relation hauteur-débit, du tracé lui-même et des extrapolations vers les très basses et très hautes eaux.

Il est donc difficile de proposer une incertitude "forfaitaire" pour les stations hydrométriques. Les auteurs de la Charte préfèrent proposer différentes gammes d'incertitude en fonction de la stabilité des sections de contrôle.

Ainsi sur la Figure 5, on prend la mesure de la diversité des valeurs d'incertitude pour différents types de station et on remarque aussi des valeurs proches ou supérieures à 20% pour des stations qualifiées de "stables" pour les débits extrêmes (notamment les étiages). Pour ce graphique, la méthode utilisée pour déterminer l'incertitude est GesDyn

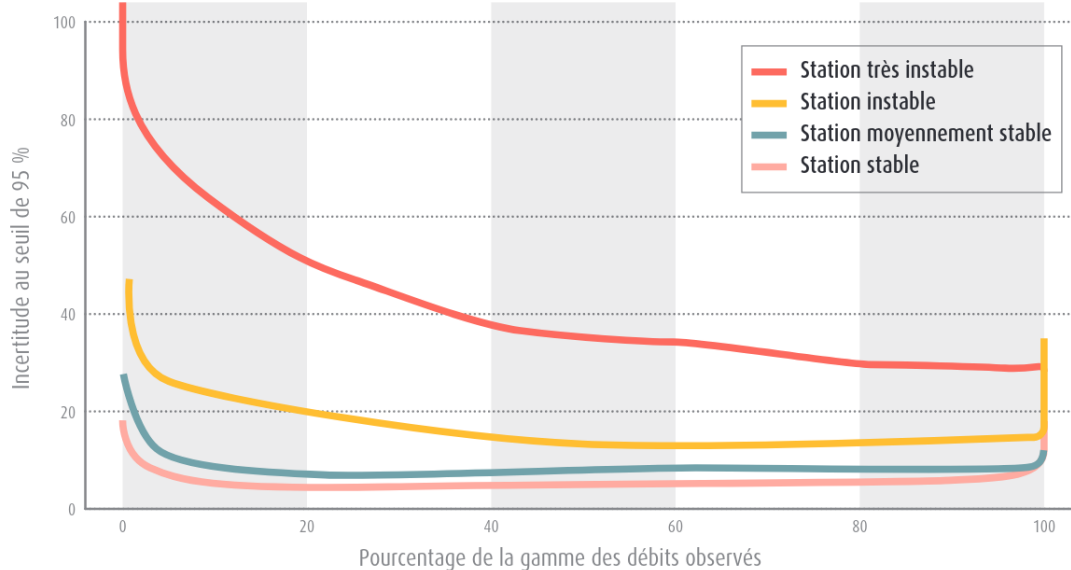


FIGURE 5 – Incertitude attendue pour quatre stations au comportement très contrasté. Source : Charte qualité de l'hydrométrie (PUECHBERTY et al. 2017). Reproduit sans modification.

(C. PERRET et al. 2013, MORLOT 2014) qui permet de caractériser les sections de contrôle des stations (stable, moyennement stable, ..) et de calculer les valeurs d'incertitude des hydrogrammes. Dans cette dernière opération, l'incertitude est estimée par des méthodes statistiques provenant du Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (ISO/IEC Guide 98-1 :2024) et détaillées dans la Charte. Cette méthode est difficilement applicable "en masse" et nécessite un travail station par station.

L'autre méthode d'estimation de l'incertitude présentée dans la Charte est BaRatin (LE COZ et al. 2014, HORNER et al. 2018), acronyme pour *Bayesian Rating curve*. BaRatin ne peut aussi être appliquée que pour chaque station individuellement. Elle prévoit dans un premier temps de définir les configurations hydrauliques qui définissent le mieux la section de contrôle d'une station. Ces configurations tiennent compte d'une incertitude, estimée par l'opérateur, pour chaque valeur introduite (largeur, hauteur, pente, ...). Cette première étape permet de définir une courbe de tarage *a priori* associée à un intervalle d'incertitude. Dans un second temps la courbe de tarage *a priori* est confrontée aux jaugeages et, par l'utilisation de l'inférence Bayésienne, les configurations hydrauliques peuvent être confirmées. On obtient alors une courbe de tarage "validée" accompagnée d'un rail d'incertitude. À partir des limnigrammes et de cette courbe de tarage, des hydrogrammes assortis de valeurs d'incertitudes peuvent être produits. Les auteurs de la méthode proposent le logiciel BaRatinAGE¹ et le package R RBAM² qui permettent de mettre en œuvre la méthode.

Dans le cadre du projet, ces deux méthodes ont été appliquées en partie ou intégralement.

D'autres auteurs proposent aussi des estimations de l'incertitude des débits aux stations hydrométriques :

- PIERREFEU et al. 2008 décomposent les sources d'incertitude en trois types : les

1. <https://github.com/BaRatin-tools/BaRatinAGE?tab=readme-ov-file>
 2. <https://baratin-tools.github.io/fr/doc/case/utilisation-de-rbam/>

jaugeages, l'interpolation et la lecture de la hauteur. Par la loi de propagation de l'incertitude ils aboutissent à une estimation de $\pm 9\%$ à la station hydrométrique de Beaucaire, sur le Rhône.

- DI BALDASSARRE et MONTANARI 2009, travaillent sur un tronçon du fleuve Pô (Italie), et concluent leur recherche par une erreur globale comprise entre 6,2% et 42,8%, avec un niveau de confiance de 95%.
- COXON et al. 2015 proposent une méthode d'estimation de l'incertitude utilisable "en masse" et l'appliquent à 500 stations du Royaume-Uni. Pour ce travail, ils attribuent une première incertitude aux jaugeages puis estiment les courbes de tarages par des régressions LOWESS. Ils obtiennent les résultats présentés sur la figure 6. L'incertitude spécifique des débits de basses-eaux est ici clairement montrée avec une part importante de valeurs de basses-eaux comprises dans l'intervalle d'incertitude 40-60%.
- plus récemment MAILHOT et al. 2025 ont mené des travaux sur les données des stations du Québec méridional avec différents modèles d'incertitude appliqués aux basses-eaux et au hautes-eaux. Les valeurs d'incertitude qu'ils proposent sont compris entre 6 et 25%.

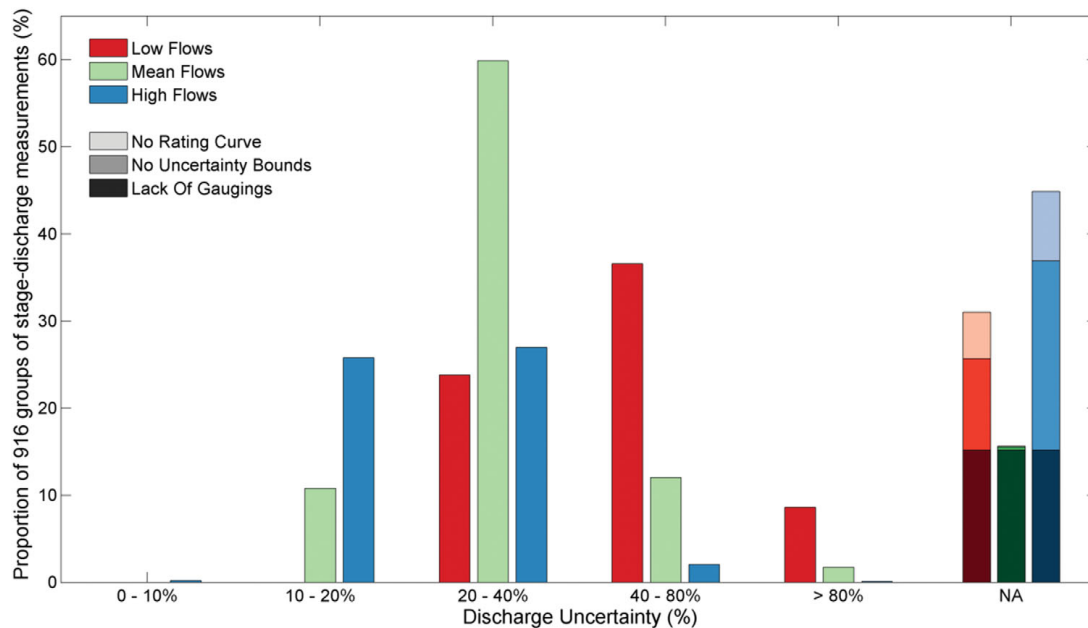


FIGURE 6 – Incertitude relative des mesures de débit provenant des 916 groupes de mesures débit-hauteur pour les débits faibles, moyens et élevés. *Source : A novel framework for discharge uncertainty quantification applied to 500 UK gauging stations (COXON et al. 2015). Reproduit sans modification.*

Plus haut nous avons évoqué les conditions particulières de la mesure des débits en étiage liée à la présence de végétation dans la section de contrôle. Ce problème a été observé il y a longtemps et GOUBET 1969 propose une méthode de correction des hauteurs mesurées par le limnigraphe. Il constate que comparativement aux jaugeages réalisés pendant le reste de l'année, ceux de la période estivale (avec beaucoup de végétation dans la section) s'éloignent de la courbe de tarage avec des hauteurs trop élevées pour des débits aussi faibles (Cf. Figure 7 a). Il propose donc de corriger la hauteur en fonction du débit mesuré et établit une courbe de correction en forme de "chapeau de gendarme" reproduisant l'évolution de la végétation dans la section de contrôle de la station en fonction

du temps (Cf. Figure 7 b). Cette méthode s'est imposée dans les services gestionnaires et parfois l'expression "chapeau de gendarme" est encore employée. Pour HydroPortail, cette procédure est désigné par le sigle *corTH* (HYDROPORTAIL 2023). Cette procédure est mise en œuvre pour de nombreuses stations hydrométriques avec des corrections de hauteurs parfois importantes et des durées très longues (voir plus bas). Elle ajoute une source d'incertitude supplémentaire et nécessite un nombre de jaugeage important en étiage. Car il est difficile de savoir quand précisément débute et s'achève l'influence de la végétation et tout repose sur l'estimation d'une courbe de tarage "sans végétation".

Pour les crues se déroulant au printemps et en été, le constat est le même et le tarage doit être revu (LE COZ et al. 2023).

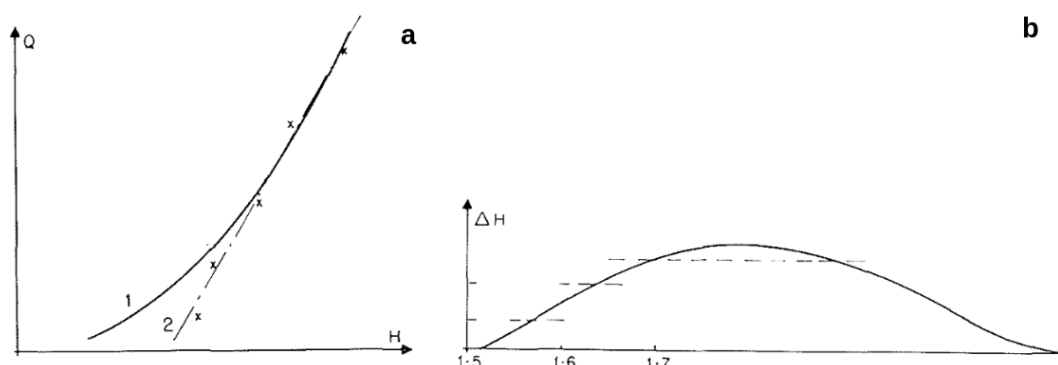


FIGURE 7 – (a) Exemple d'une courbe de tarage (1) comparée à la relation hauteur-débit en étiage (2). (b) Courbe de correction des hauteurs pendant la période estivale. Source : *Détermination des débits dans les rivières herbeuses* (GOUBET 1969). Reproduit sans modification.

Pour limiter les imprécisions de *corTH* des recherches sont en cours et l'INRAE a développé des méthodes qui modélisent l'évolution de la végétation dans la section, son impact sur la vitesse d'écoulement et la modification de la relation hauteur-débit (E. PERRET et al. 2021).

Ces différents travaux ont guidé notre approche des incertitudes hydrométriques dans le projet.

3 Enquête auprès des services d'hydrométrie

Dans un premier temps, nous avons cherché à connaître les pratiques des services hydrométriques dans la production des débits en période d'étiage. La gestion des stations hydrométriques est assurée en grande partie par les services de l'État (essentiellement les DREAL). Il existe donc *a priori* une certaine homogénéité dans ces pratiques qui dans tous les cas doivent être compatibles avec HydroPortail.

Grâce à la liste de diffusion du Groupe Doppler³, nous avons pu diffuser un questionnaire dans la communauté des hydromètres français. Un mail a été envoyé en juin 2022 et les destinataires pouvaient répondre en ligne sur la plateforme *LimeSurvey* de l'Université de Lorraine.

3. réseau professionnel qui rassemble la plupart des acteurs de l'hydrométrie principalement en France, <https://gdh-hydrometrie.org/>

Les résultats de l'enquête ont déjà fait l'objet d'un rapport (GRELIER et al. 2023), nous en rappelons ici les principaux aspects. Nous avons reçu 32 réponses. Les répondants s'exprimaient au nom de la structure qu'ils représentaient, le nombre de répondants est donc très satisfaisant. Ils sont répartis ainsi :

- 21 : services de l'État (DREAL, DRIEAT, ...)
- 6 : bureaux d'études
- 2 : laboratoires de recherche
- 3 : collectivités territoriales (Communautés de communes, Syndicats, EPTB, ...)

Les questions étaient regroupées par thème.

3.1 Difficulté des mesures en étiage

Les personnes sondées reconnaissent des difficultés importantes pour produire des données précises en étiage. Elles retiennent surtout :

- une sensibilité importante des courbes de tarage pour des sections larges et de faibles hauteurs,
- des appareils de jaugeage pas toujours adaptés aux faibles hauteurs,
- des sections instables, encombrées par la végétation, de grosses influences liées à des ouvrages hydrauliques,
- des difficultés d'organisation avec d'autres tâches à mener en été.

Elles insistent sur les incertitudes fortes, la nécessité d'adapter les sections de contrôles aux conditions d'écoulement en étiage et de réaliser fréquemment des jaugeages.

3.2 Gestion des stations en étiage

Concernant le suivi de l'étiage, des débits d'étiage sont produits pour pratiquement toutes les stations (seules quelques stations destinées exclusivement au suivi des crues sont exclues). Un suivi particulier est mis en place pour les stations figurant dans les bulletins sécheresse avec 2 jaugeages par mois quand c'est possible. On déplore parfois l'impossibilité de tenir ce rythme en raison d'un manque de personnel.

Pour les jaugeages, les matériels utilisés le plus fréquemment sont :

- les perches équipées d'un moulinet : 23 réponses,
- les perches ADCP/ultrason : 12,
- les perches électromagnétiques : 6,
- les courantomètres ADCP : 20,
- jaugeages par dilution : 9,
- jaugeages par empotement : 1.

80 % des répondants utilisent aux moins 2 types de matériels différents.

Les logiciels utilisés sont peu variés. L'élaboration des courbes de tarage et le dépouillement des jaugeages sont réalisés avec BAREME qui est le logiciel réalisé pour les services de l'État (BECHON et al. 2013). Le logiciel open-source JACINTHE devrait succéder à BAREME en 2026. Plus rarement les répondants citent QRevInt (pour les jaugeages ADCP), des logiciels constructeurs ou des outils "maison" et BARATIN/BAM pour le tracé des courbes de tarage.

Il n'y a pas de règles générales pour la mise à jour des courbes de tarage : c'est vraiment au choix de l'hydromètre. Une attention particulière est parfois apportée à la mise à jour de la courbe de tarage en étiage qui peut s'effectuer mensuellement voire dans un cas après chaque jaugeage.

La procédure CorTH est utilisée par la moitié des sondés et elle concerne au plus 50 % des stations gérées par un service.

Les répondants s'accordent pour affirmer qu'il est très difficile de proposer des débits d'étiage fiables en temps réel. Seulement 7 sondés affirment qu'ils peuvent en produire. Les valeurs ne sont validées en général qu'en fin d'année civile.

3.3 Traitement des incertitudes

Nous avons demandé quelle incertitude on pouvait attribuer aux jaugeages, à la mesure de la hauteur et de la vitesse d'écoulement.

| Variable | Moyenne | Amplitude |
|-----------------------------------|---------|-----------|
| Incertitude du jaugeage (%) | 8 - 9.5 | 5 à 20 |
| Incertitude de la hauteur (mm) | 3 - 5 | 0 à 30 |
| Seuil de vitesse mesurable (cm/s) | 9 - 10 | 2 à 20 |

TABLE 2 – Estimation de l'incertitude pour le débit et la hauteur et la limite mesurable de la vitesse par les hydromètres sondés

Quant aux hydrogrammes produits en temps réel, l'estimation de l'incertitude est très variée de 10 % à 50-100 %. Ces valeurs extrêmement élevées ont été confirmées par David BESSON (DREAL Centre - Val de Loire) lors de la table ronde du séminaire de clôture du projet CIPRHES le 1^{er} décembre 2025. Pour compléter, des travaux d'estimation de l'incertitude ont été menés par 40 % des répondants.

Concernant les incertitudes provenant des courbes de tarages, 75 % des sondés connaissent la méthode BaRatin et 1/3 l'avaient déjà utilisée au moment de l'enquête. Mais elle ne semble pas adaptée pour les étiages.

Pour réduire l'incertitude en période d'étiage, des pistes ont été proposées :

- aménagement des sections de contrôle,
- augmenter le nombre de jaugeages,
- augmenter le temps de mesures, répliquer les mesures,
- contrôler plus fréquemment les hauteurs

en reconnaissant des limites liées aux coûts et à la disponibilité des personnels.

Une communication de l'incertitude a déjà été pratiquée pour un quart des répondants. Il est clair que cette pratique peut induire une confusion mais les sondés estiment que c'est nécessaire et qu'elle doit être introduite dans les processus de décision.

Cette enquête a montré le ressenti des hydromètres pour leur travail concernant les débits d'étiage avec de grosses difficultés pour produire des données fiables. Elle a confirmé la nécessité de mener des travaux sur l'incertitude des débits d'étiage et surtout de communiquer sur cet aspect auprès des utilisateurs notamment pour le temps réel.

4 Incertitudes liées aux courbes de tarage

Pour travailler sur les données de tarage des stations hydrométriques, le laboratoire Loterr a obtenu des bases de données BAREME de :

- la DREAL Grand Est avec la base des stations des bassins de la Meuse et de la Moselle,
- la DRIEAT Ile de France.

Celles-ci regroupent toutes les données nécessaires à la production des débits : identification des stations hydrométriques, jaugeages, courbes de tarage, ... À partir de ces données et de jeux de données provenant du projet, des procédures ont été mises en place pour évaluer la fiabilité des stations pour ce qui concerne :

- la stabilité des sections de contrôle,
- les écarts des jaugeages avec la courbe de tarage,
- la qualité des débits "temps réel".

4.1 Stabilité des sections de contrôle

La méthode utilisée pour apprécier la stabilité des sections de contrôle des stations hydrométriques est basée sur les travaux menés par C. PERRET et al. 2013. Elle peut être résumée ainsi :

1. Pour une station on extrait tous les jaugeages et les hauteurs correspondantes pour réaliser une courbe de tarage "moyenne" sur toute la période d'exploitation de la station (Cf. Figure 8). Elle est ajustée selon la formule classique :

$$Q = a(h - h_0)^b$$

où : Q est le débit, h la hauteur, h_0 la hauteur pour un débit nul et a et b des paramètres à caler.

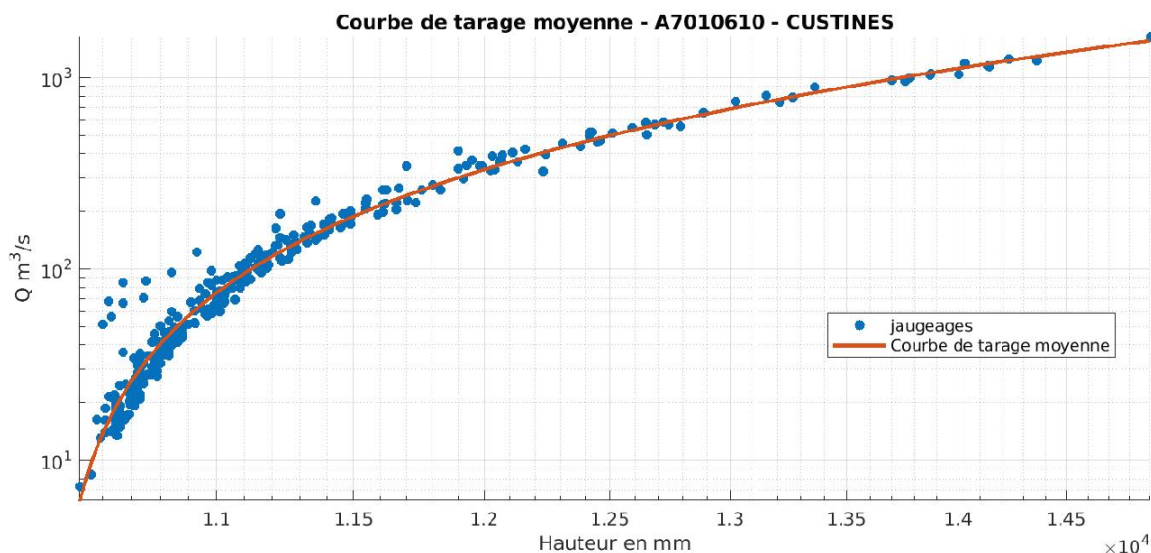


FIGURE 8 – Exemple de l'ajustement d'une courbe moyenne

2. Pour chaque jaugeage on calcule le résidus par rapport à la courbe ajustée et on calcule une dérive des résidus (Cf Figure 9). Dans cet exemple de la station de la Moselle à Custines, une rupture apparaît en 1980.
3. L'établissement d'une relation entre cette dérive et la variabilité des jaugeages (moyenne des résidus) permet de classer les stations en 5 catégories (Cf. Figure 10). La station de la Moselle à Custines est ainsi qualifiée de moyennement stable.

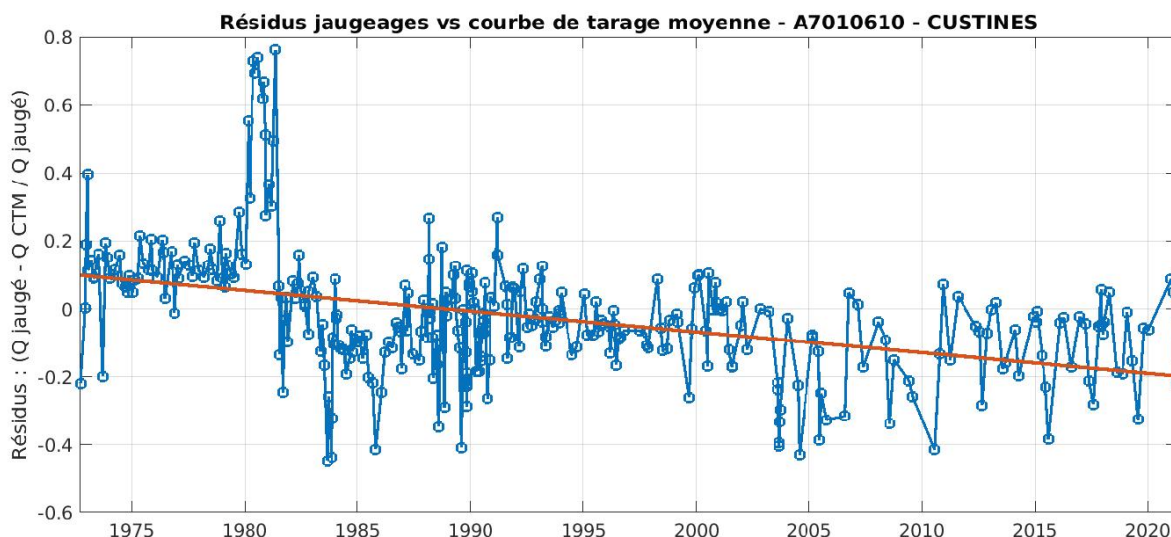


FIGURE 9 – Évolution des résidus de la courbe de tarage moyenne

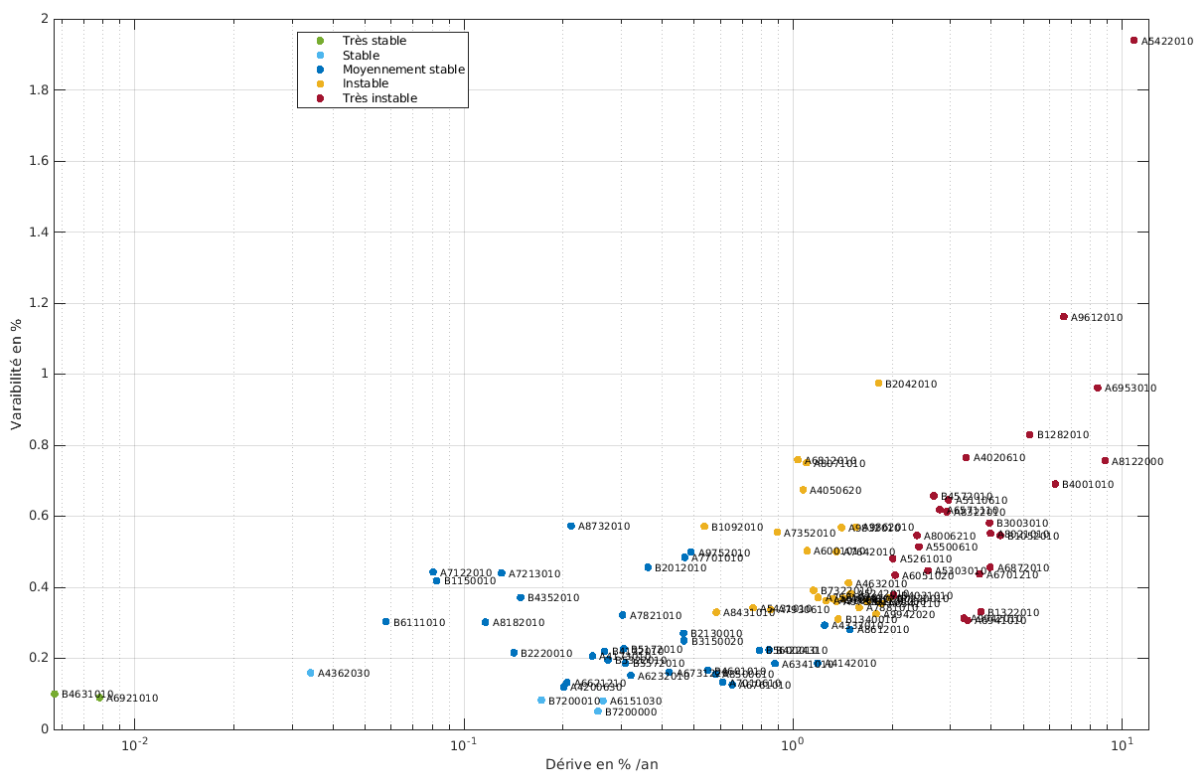


FIGURE 10 – Stabilité des stations hydrométriques

Des exemples de stations très stables à très instables sont proposés en annexe :

- La station de la Meurthe à Lauville-devant-Nancy (Cf. Figure A.23) est très stable car elle présente des points très proches d'une courbe unique pour toute la période.
- La Meuse à Chooz a également des points très proche de la courbe mais avec une tendance plus forte pour les résidus (Cf. Figure A.24). Elle est classée comme stable.

- L’Oise à Sempigny est moyennement stable avec un petit encaissement de la section de contrôle : pour une même hauteur les jaugeages plus récents correspondent à des débits plus élevés. La tendance des résidus est peu marquée (Cf. Figure A.25).
- En revanche la station de l’Ource à Froidvent montre un remblaiement de sa section de contrôle ou l’installation d’un seuil avec une dérive assez marquée (Cf. Figure A.26). Elle est instable.
- Pour l’Essonne à Boulancourt, c’est le même constat mais avec une section très modifiée et une forte dérive (Cf. Figure A.27). Elle apparaît comme très instable.

Pour les deux bases de données BAREME dont nous disposons, les stations se répartissent comme suit :

| Classe | BD Meuse-Moselle | BD DRIEAT |
|--------------------|------------------|-----------|
| Très stable | 2 | 0 |
| Stable | 4 | 7 |
| Moyennement stable | 32 | 44 |
| Instable | 27 | 28 |
| Très instable | 25 | 31 |

TABLE 3 – Répartition des stations par classes de stabilité.

Cette distribution des stations montre un déséquilibre très marqué vers les classes plutôt instables. On peut discuter des limites proposées par C. PERRET et al. 2013, mais les graphiques obtenus pour chaque station témoignent dans tous les cas de courbes de tarage très mouvantes dans le temps surtout pour les hauteurs les plus faibles (Cf. Figures en annexe). Les stations stables nécessitant peu de jaugeages et des mises à jour de la courbe de tarage peu fréquentes sont rares.

La répartition spatiale des classes de stabilité est assez aléatoire : les stations situées dans le Massif Vosgien ne sont pas plus instables que celles contrôlant des cours d’eau de moindre pente (Cf. Figure A.28). Les stations moyennement stables à stables apparaissent plutôt sur les tronçons aval des gros cours d’eau.

Pour les stations de la DRIEAT île de France, il n’existe pas non plus de régionalisation liée à la stabilité des sections de contrôle⁴.

S’il ne quantifie pas l’incertitude des débits aux stations, ce critère de stabilité est un indicateur pertinent pour choisir les stations pour lesquelles des prévisions peuvent être réalisées. La quantification proprement dite provient d’une autre procédure appliquée aux bases de données BAREME.

4.2 Quantification de l’incertitude de la courbe de tarage

Pour estimer l’incertitude des débits liée à la courbe de tarage, nous avons considéré que les jaugeages représentent une mesure exacte des écoulements, dans la limite des incertitudes présentées dans le tableau 1. L’incertitude des débits calculés à la station

4. La carte est visible sur ce site <https://macarte.ign.fr/carte/nOnWcV/Evaluation-qualitative-des-stations-hydrometriques-de-la-DREAL-IDF-pour-la-prevision-des-etiages>

hydrométrique peut alors être déduite de l'écart entre les débits issus des jaugeages et la valeur estimée par la courbe de tarage.

Pour chaque courbe de tarage, tous les jaugeages, relatifs à la période de validité de la courbe, sont comparés à la valeur de la courbe pour la hauteur relevée au moment de la mesure (Cf. Figure 7).

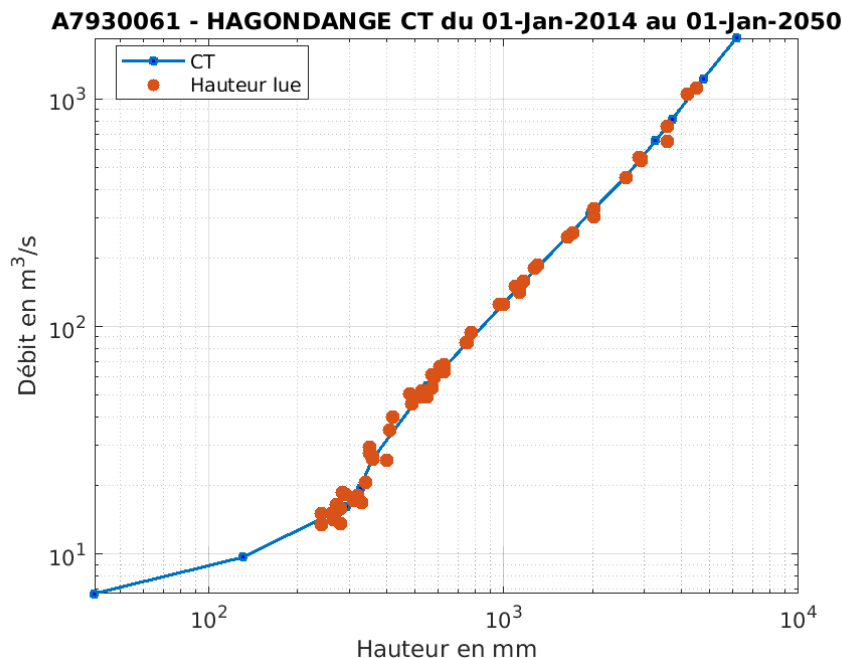


FIGURE 11 – Exemple d’une courbe de tarage et des jaugeages mesurés pendant sa période de validité

L'écart est exprimé en valeur relative par rapport au débit issu de la courbe de tarage et une valeur moyenne est attribuée à chaque station.

À l'échelle des stations des deux bases BAREME sur lesquelles nous avons pu travailler, les écarts relatifs médians sont de 11 et 12% respectivement pour les stations d'Île de France et des bassins Meuse et Moselle (Cf. Figure 12). Ce sont des valeurs très proches de celle communément admise d'environ 10%. Pour plus des trois quarts des stations cet écart est inférieur à 20%. On remarque également le nombre important de stations identifiées comme *horsains*, notamment pour les stations d'Île de France où on rencontre de grandes difficultés de tarage pour des cours d'eau très anthropisés.

Cette estimation globale masque une répartition des incertitudes inégale en fonction des valeurs de débit. Comme nous l'avons précisé en 1, l'incertitude peut être proportionnellement plus élevée pour les valeurs de débit les plus basses. Le rapport : $Q_{\text{jaugeé}} / Q_{\text{courbe de tarage}}$ représenté en fonction du débit de la courbe de tarage montre souvent une amplitude plus importante pour les faibles valeurs (Cf. Figure 13)

Aussi en regroupant les jaugeages par classes de 50 valeurs on arrive à préciser l'estimation de l'incertitude et à extraire celle relative aux étiages. Un rail est ainsi tracé en écartant par classe les valeurs extrêmes (5% des valeurs les plus basses et 5% des plus hautes pour un rail à 90% (Cf. Figure 14).

Dans un premier temps, ce traitement a été réalisé pour toutes les stations des deux bases BAREME. Puis afin d'être moins dépendants du découpage arbitraire des échantillons par groupe de 50 valeurs, la méthode GAMLSS a été ajustée au nuage de points

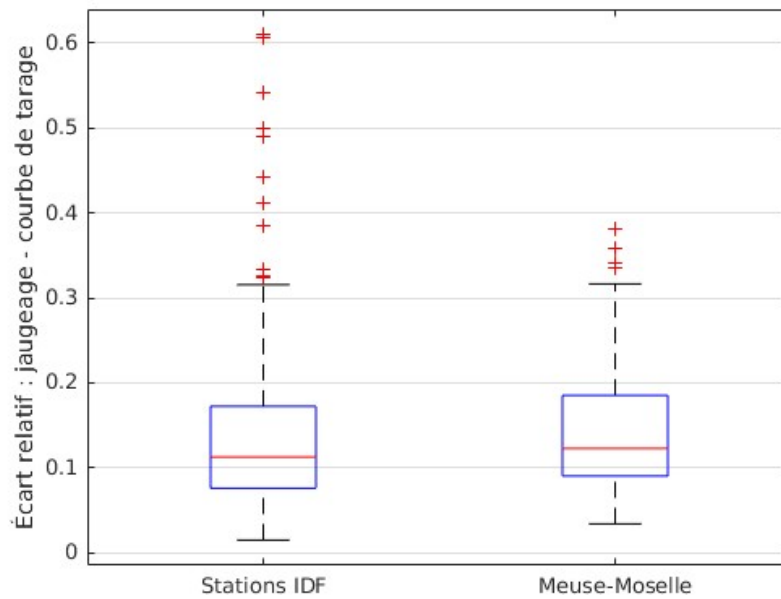


FIGURE 12 – Distribution des écarts relatifs jaugeages - courbe de tarage pour les stations d’Île de France et des bassins Meuse-Moselle

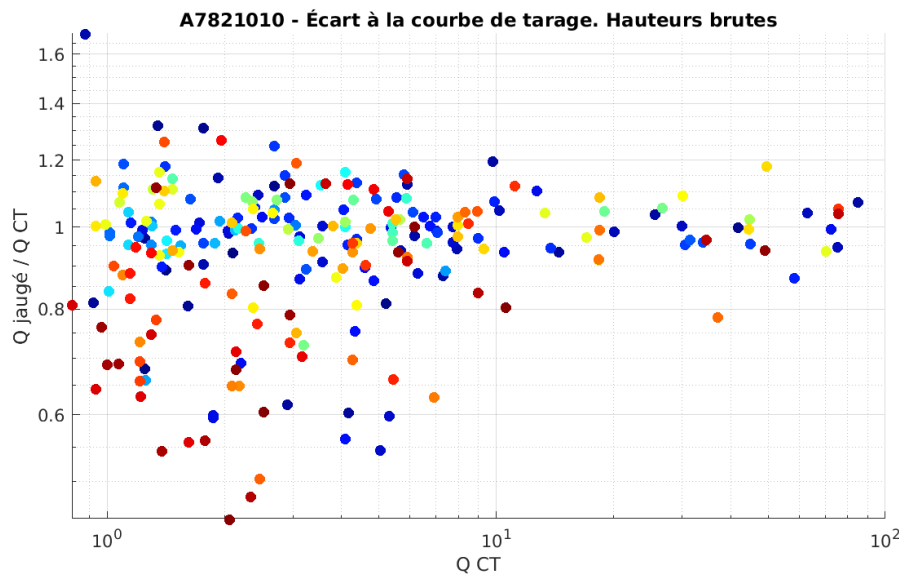


FIGURE 13 – Rapport Q jaugé / Q courbe de tarage (Q_{CT}) en fonction de Q courbe de tarage. Exemple de la Seille à Nomény. La couleur du point rend compte de l’ancienneté du jaugeage : du bleu foncé au rouge foncé.

de chaque station. Cette méthode (GAMLSS : *Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape*, RIGBY et STASINOPOULOS 2005, STASINOPOULOS, RIGBY, HELLER et al. 2023) est une extension des modèles linéaires généralisés (GLM) et des modèles additifs généralisés (GAM). Elle permet de modéliser la moyenne d’une variable à expliquer, mais aussi sa dispersion, son asymétrie et sa kurtosis, ce qui répond bien à notre objectif d’ajuster un nuage de point hétérogène. Le package R utilisé (STASINOPOULOS, RIGBY, VOUDOURIS et al. 2023) propose différentes distributions qui ont été testées pour chaque

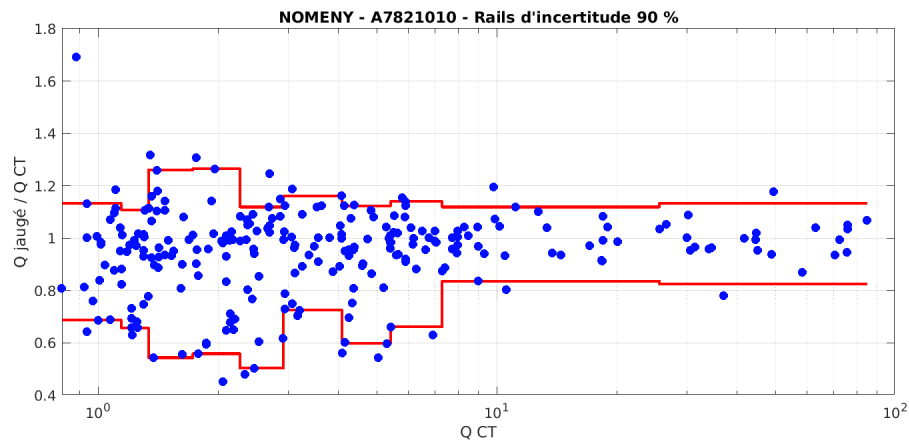
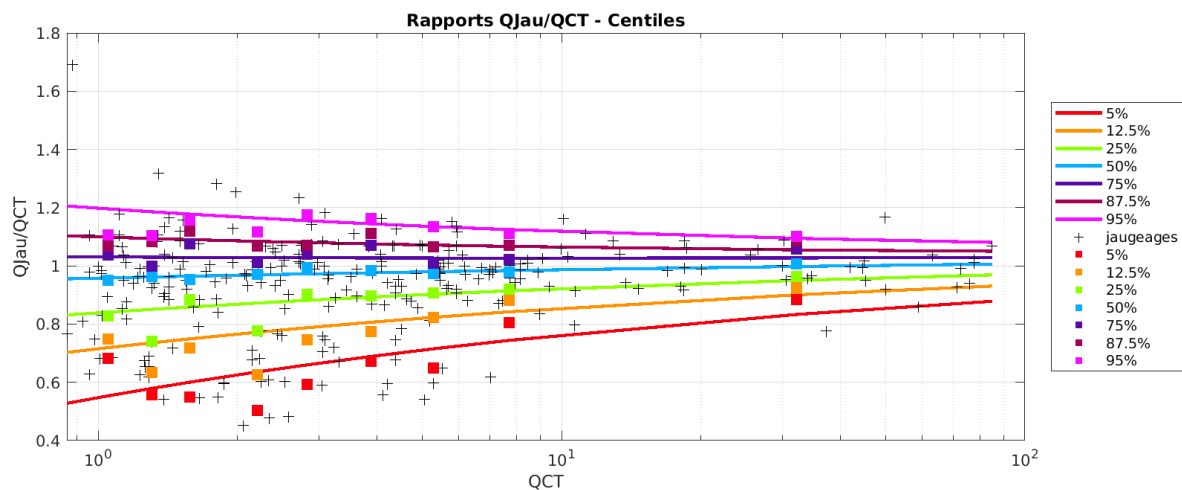


FIGURE 14 – Rail d'incertitude empirique. Exemple de la Seille à Nomény.

station et les meilleurs ajustements ont été gardés. On peut également juger graphiquement la qualité de l'ajustement retenu (Cf. Figure 15).


 FIGURE 15 – Ajustement GAMLSS des écarts relatifs Q jaugé - Q courbe de tarage. Exemple de la Seille à Nomény.

Les courbes représentent les quantiles de l'ajustement GAMLSS. Dans le cas de la Figure 15, c'est la loi *Power Exponential* (Exponentielle Généralisée) qui est utilisée. Les points correspondent aux intervalles définis de manière empirique comme montré plus haut. Un bon ajustement est obtenu quand les courbes sont proches des points de même couleur.

Cette approche, par classe de débits, permet de relativiser les valeurs représentées sur la figure 12, car pour les basses-eaux l'amplitude des écarts entre les débits des jaugeages et ceux de la courbe de tarage est beaucoup plus étendue (Cf. Figure 15). En retenant les valeurs du rail GAMLSS de 90% pour les valeurs de débit de basses-eaux (50% des jaugeages les plus bas), on obtient la distribution de la figure 16. Globalement à l'échelle des stations des bassins de la Meuse et de la Moselle(soit environ 100 stations), le rapport débit jaugé / débit estimé par la courbe de tarage atteint les valeurs de 0.6 et 1.2 pour 90% des jaugeages. Mais ces valeurs ne tiennent pas compte des corrections réalisées pour supprimer l'influence de la végétation (Cf. 2).

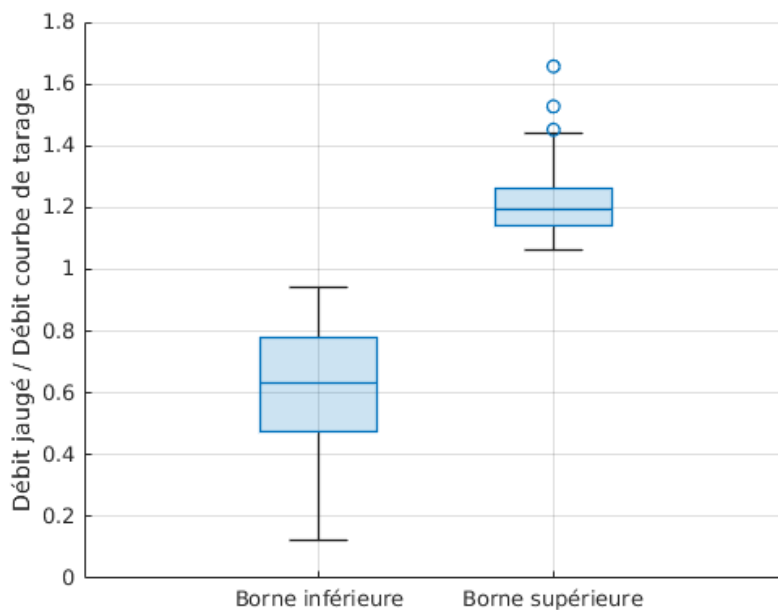


FIGURE 16 – Stations de la Moselle et de la Meuse : rapport débit jaugé / débit estimé.

4.3 Sensibilité des courbes de tarage

La sensibilité d'une courbe de tarage représente la variation de débit correspondant à une différence de hauteur de 1 cm. Une forte sensibilité peut être une source d'incertitude non négligeable liée à une lecture de la hauteur d'eau parfois imprécise ou un capteur à la résolution médiocre.

Pour les deux bases de données BAREME, la sensibilité des courbes de tarage a été calculée ainsi :

- ne considérer que la partie basse des courbes de tarage soit les débits inférieurs au Q70⁵,
- il faut aussi définir une limite basse pour les courbes de tarage, afin de ne tenir compte que de la partie de la courbe qui a servi à estimer les débits, soit la valeur de débit moyen journalier la plus faible utilisée pendant sa période de validité,
- sur cette plage de courbe ainsi définie on extrait la pente maximum et on calcule la moyenne de ces pentes pour toutes les courbes de la station, de sorte qu'on ne garde qu'une seule valeur par station.

La figure A.29 représente la sensibilité des courbes de tarage des stations des bassins de la Meuse et de la Moselle. L'étendue des valeurs de sensibilité est élevée : de moins de 1% à plus de 90%. Les valeurs les plus élevées concernent plutôt les petits cours d'eau.

4.4 Application de la méthode BaRatin

La méthode BaRatin (Cf. 2) a été appliquée à 2 stations hydrométriques situées dans le bassin versant de la Meuse :

- le Mouzon à Circourt/Mouzon (B1092010)
- l'Aroffe à Vannes-le-Chatel (B2042010)

5. 70% des débits moyens journaliers sont supérieurs au Q70

Pour ces 2 stations des relevés topographiques ont été réalisés afin de disposer de configurations hydrauliques précises à utiliser dans BaRatin. Cette connaissance fine du lit du cours d'eau devait nous permettre d'estimer un rail d'incertitude pour les périodes de basses-eaux. Malheureusement les conditions météorologiques n'étaient pas du tout favorables à l'observation de la section de contrôle en situation de basses-eaux, les débits étant très élevés en ce mois de juillet 2024.



(a) Le Mouzon à Circourt/Mouzon



(b) L'Aroffe à Vannes-le-Chatel

FIGURE 17 – Sections de contrôle des stations hydrométriques où la méthode BaRatin a été utilisée.

Le logiciel Baratinage propose des hydrogrammes qui intègrent les différents types d'incertitude définis par la méthode BaRatin (Cf. Figure 18). Mais pour les période d'étiage l'étendue des incertitudes englobe les assecs pendant de longues périodes alors que les jaugeages témoignent d'un écoulement. La méthode est très utilisée pour les crues, en revanche elle s'adapte mal aux étiages.

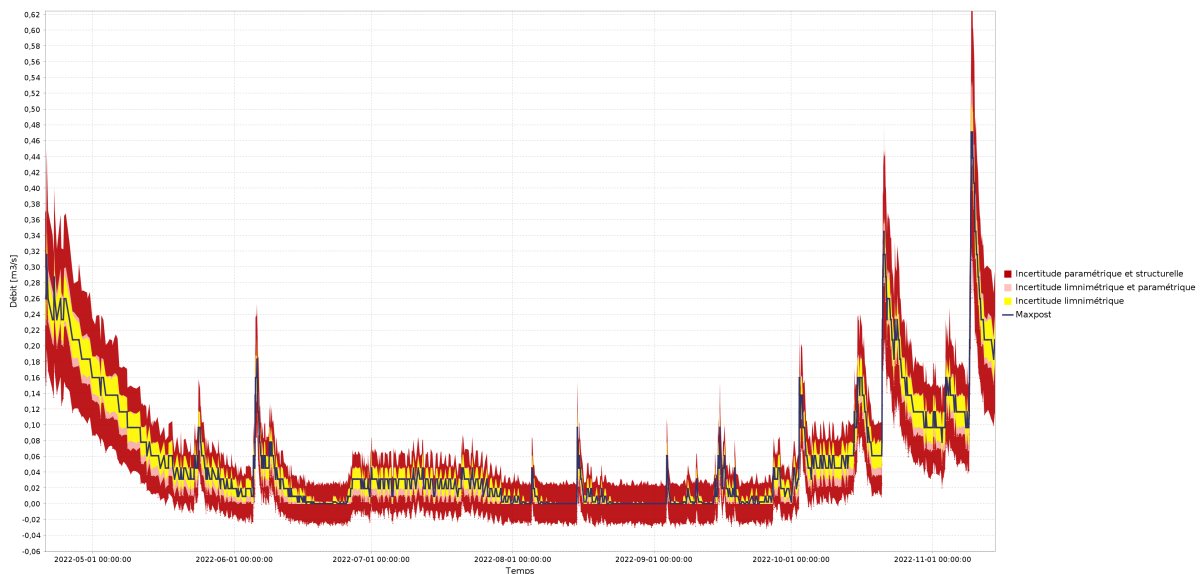


FIGURE 18 – Hydrogramme produit par Baratinage pour la station de Vannes-le-Chatel.

4.5 Les débits "temps réel"

Les débits produits en temps réel pendant la période d'étiage de l'année n sont, dans la plupart des cas, estimés à partir de la courbe de tarage valide pour l'année $n-1$. Or, comme on l'a vu, d'une année à l'autre la relation hauteur-débit peut changer significativement. Ainsi les débits dits "temps réel" sont toujours provisoires car dépendants de la courbe de tarage qui sera éventuellement produite après la période de basses-eaux. Notre exploitation des bases de données BAREME a montré que pendant longtemps les services gestionnaires traçaient une courbe de tarage chaque année. Dans le cadre du projet CIPRHES, l'enjeu est de connaître l'écart qui peut exister entre le débit "temps réel" et le débit validé par une courbe de tarage mise à jour et l'application de la méthode CorTH. Pour la prévision, le débit "temps réel" permet :

- d'estimer les performances des modèles en prévision en les comparant aux débits prévus,
- d'assimiler ces débits pour ajuster les prévisions.

Afin de quantifier cet écart, nous avons comparé les débits extraits en temps réel par l'API Hydrométrie Hub'Eau⁶ pour la plateforme PREMHYCE pendant l'étiage 2022 (du 1^{er} mai 2022 au 1^{er} novembre 2022) à ceux présents dans HydroPortail le 31 janvier 2023, donc normalement validés. En 2022 PREMHYCE proposait des prévisions pour 873 stations. Parallèlement les jaugeages effectués à ces stations durant cette période ont été recueillis depuis HydroPortail. Ils permettent d'évaluer la qualité de la gestion des stations hydrométriques durant cette période. Il est important de noter que ces données ont été enregistrées pendant un étiage particulièrement sévère où les écoulements ont atteint des valeurs exceptionnellement faibles voire inédites.

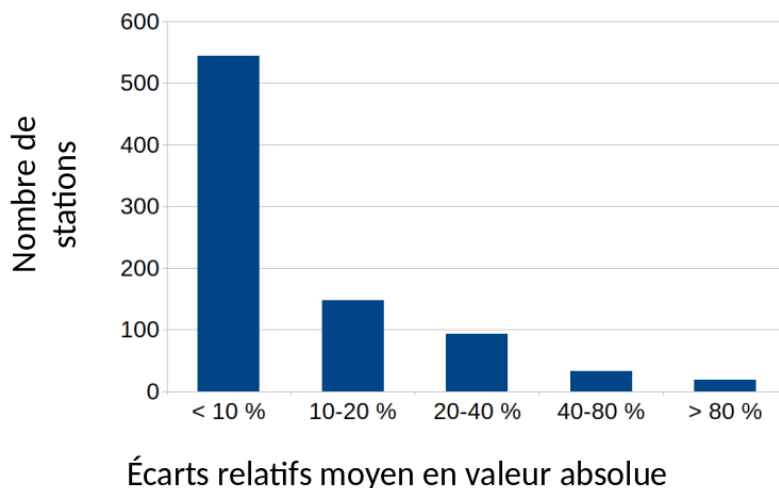


FIGURE 19 – Écarts entre les débits "temps réel" et les débits validés (01/05/2022 - 01/11/2022).

Deux tiers des stations présentent des écarts relatifs inférieurs à 10% mais on constate aussi des écarts très importants que nous présenterons à titre d'exemple plus bas. D'autre part, un écart faible ne garantit pas que les débits de basses-eaux sont fiables : si le service gestionnaire ne jauge pas et ne met pas à jour la courbe de tarage, l'écart reste nul. La carte de ces écarts ne révèle pas de régionalisation particulière, les écarts les plus élevés apparaissent dans toutes les régions pas plus en montagne qu'en plaine (Cf. Figure A.30).

6. <https://hubeau.eaufrance.fr/page/api-hydrometrie>

Dans le détail pour chaque station, nous comparons les hydrogrammes et calculons les écarts. Dans l'exemple présenté ici (Cf. Figure 20), il n'y a que très peu d'écart entre les deux hydrogrammes et les jaugeages confirment les valeurs de débits proposés.

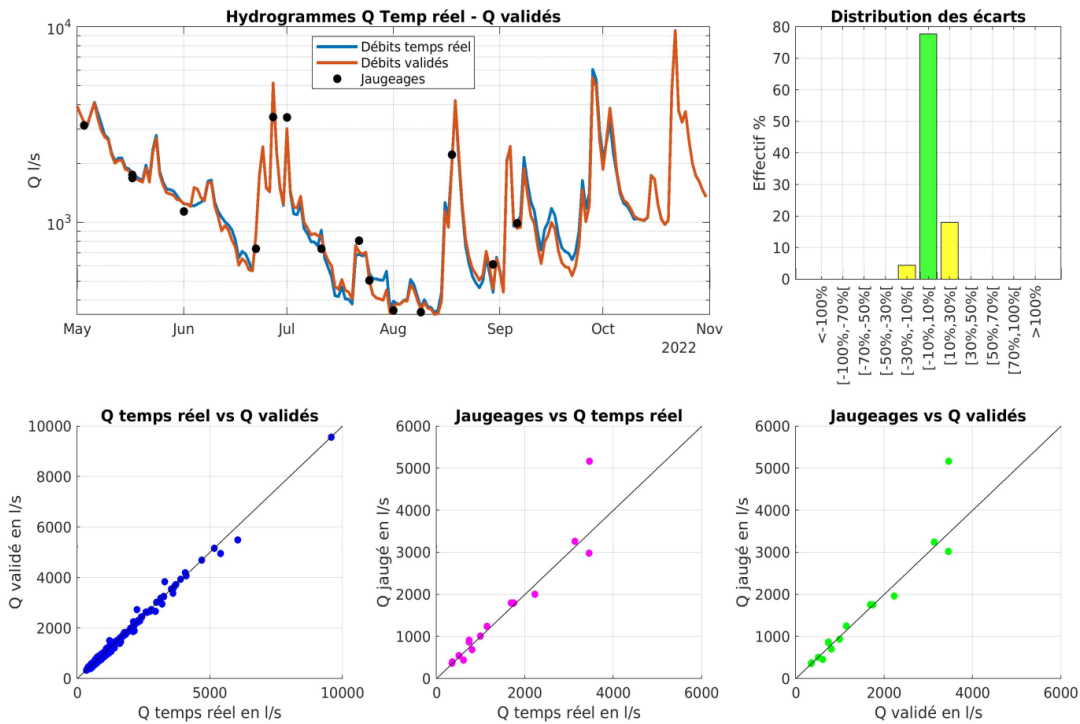


FIGURE 20 – Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de l'Ill à Didenheim (A1160030).

En revanche, dans le tiers des stations où les écarts sont plus conséquents (supérieurs à 10%) les hydrogrammes peuvent être très décalés (Cf. Figure A.31), ou alors les écarts ne concernent que les plus basses-eaux (Cf. Figure A.32).

Durant les mois de la période de comparaison, les stations ont été jaugeées en moyenne une fois par mois (Cf. Figure 21) sur un échantillon de stations réduit car les données de jaugeages d'Hydroportail n'étaient renseignées que pour 180 stations (Cf. Figure A.33).

Une cinquantaine de stations connaissent une périodicité plus faible, mais on retient surtout le nombre important de jaugeages réalisés à la station de la Meuse à Chooz où la présence de la centrale nucléaire et la proximité de la frontière incite les services gestionnaires à jauger très régulièrement (Cf. Figure A.34).

Cette quantification des écarts entre les jaugeages et la courbe de tarage, entre les débits temps réel et les débits validés a surtout pour but de fournir des ordres de grandeur et plus précisément des valeurs pour chaque station des bases de données BAREME traitées. Cette démarche est limitée par l'usage très répandu des corrections de hauteur CorTH. L'incertitude qu'elles engendrent semble difficile à cerner car elle dépend notamment d'approximations avec des corrections interpolées entre les jaugeages. C'est pourquoi il nous a paru plus intéressant dans ce projet de nous orienter vers une démarche plus qualitative en définissant des critères de fiabilité des stations à partir de ce que nous avons exposé jusqu'ici.

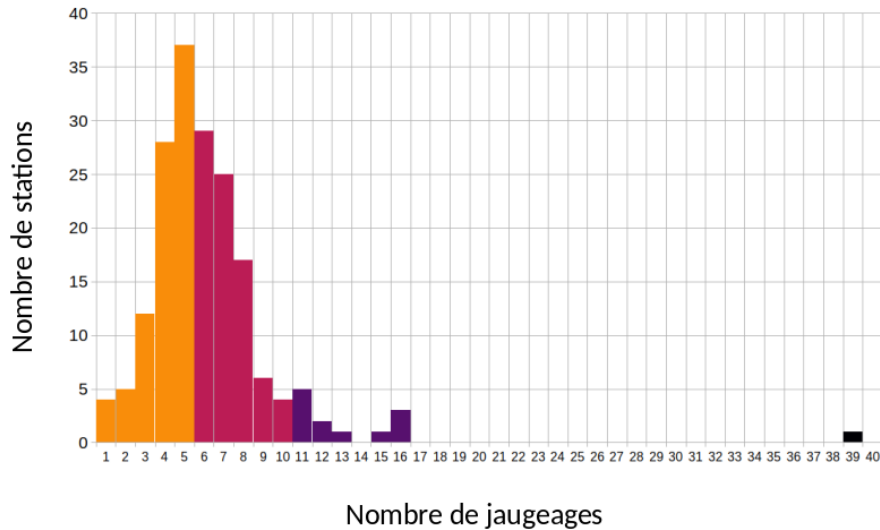


FIGURE 21 – Nombre de jaugeages réalisés entre le 01/05/2022 et le 01/11/2022 pour 180 stations(Cf. Figure A.33).

5 Caractérisation de la fiabilité des stations hydrométriques pour les débits d'étiage

Il ressort de l'enquête auprès des services gestionnaires et des travaux présentés plus haut que les imprécisions dans la mesure des débits d'étiage à la fois en temps réel et pour les débits validés dépendent de conditions hydrauliques particulières et des modalités de gestion de la station.

Nous proposons donc d'évaluer la fiabilité de stations hydrométriques en étiage à partir des variables les plus souvent citées dans l'enquête, les échanges que nous pouvons avoir avec les services gestionnaires et nos recherches bibliographiques.

Nous attribuons une note de 1 à 3 pour chaque critère sélectionné. Une note de 1 désigne un niveau de critère peu favorable une note de 3 correspond à un niveau satisfaisant. La note globale est obtenue par la moyenne des quatre critères.

5.1 Stabilité des sections de contrôle

Pour la prévision des débits d'étiage, nous avons besoin de stations avec des courbes de tarage relativement stables. Ainsi les débits "temps réel" sont a priori plus fiables et peuvent être utilisés dans les procédures d'assimilation des modèles. La classification proposée par C. PERRET et al. 2013 constitue un critère de fiabilité que nous retenons. Les notes attribuées en fonction de la classe de stabilité figurent dans le tableau 4.

| Classe de stabilité | Note |
|---------------------------|------|
| Très instable et instable | 1 |
| Moyennement stable | 2 |
| Stable et très stable | 3 |

TABLE 4 – Note pour la stabilité des sections de contrôle.

5.2 Gestion des stations

Pour établir une courbe de tarage précise et le cas échéant la mettre à jour régulièrement, il est nécessaire de réaliser des jaugeages fréquents. Lors des tournées, en plus de jauger, les hydromètres peuvent vérifier le capteur de hauteur et éventuellement le recalibrer, inspecter la section de contrôle pour la présence de végétation ou d'un obstacle à l'écoulement,... Cette présence régulière sur le terrain est indispensable mais parfois difficile à tenir en raison de moyens humains limités pendant la période estivale (Cf. 3). L'emploi de la procédure CorTH impose une présence répétée sur le terrain car pendant une période de correction des hauteurs l'hydrogramme dépend presque intégralement des jaugeages. Lors de la table ronde du séminaire de clôture du projet, D. BESSON a insisté sur l'importance de la fréquence des jaugeages en étiage.

Pour évaluer ce critère, nous avons retenu le nombre de jaugeages réalisés par an.

| Nombre de jaugeages par an | Note |
|----------------------------|------|
| moins de 7 | 1 |
| de 7 à 10 | 2 |
| plus de 10 | 3 |

TABLE 5 – Note pour le nombre de jaugeages par an.

Pendant longtemps la règle dans les services hydrométriques était de réaliser au minimum 8 jaugeages par an d'où le barème proposé dans le tableau 5.

5.3 Sensibilité de la courbe de tarage

La sensibilité élevée d'une courbe de tarage répercute voire amplifie l'imprécision de la lecture de la hauteur. Combinée aux autres sources d'incertitude qui altèrent la mesure de la hauteur (notamment la végétation), elle peut être responsable d'une marge d'incertitude des débits particulièrement importante (Cf. 4.3).

| sensibilité courbe de tarage (variation de débit pour 1 cm) | Note |
|--|------|
| plus de 15% | 1 |
| de 10 à 15% | 2 |
| moins de 10% | 3 |

TABLE 6 – Note pour la sensibilité de la courbe de tarage.

Pour les notes proposées dans le tableau 6, nous avons retenu qu'une résolution de 1 cm pour le capteur de hauteur (valeur fréquente) pouvait raisonnablement être assortie d'une incertitude d'un peu plus de 10%.

5.4 Végétation

Comme nous l'avons présenté en 2, la présence de végétation dans la section de contrôle peut modifier sensiblement la relation hauteur-débit. Pour pallier les erreurs éventuelles

provoquées par le développement de la végétation dans la section de contrôle, on utilise la procédure CorTH : on estime la hauteur "corrigée" à partir du débit mesuré lors des jaugeages. Cette méthode limite l'analyse qu'on pourrait réaliser sur les mesures durant les périodes où elle est appliquée car on se repose alors uniquement sur les jaugeages. Une station hydrométrique où cette correction des hauteurs est appliquée sur de longues périodes est peu fiable.

| Durée de correction (en %/an) | Note |
|-------------------------------|------|
| plus de 30% | 1 |
| de 10 à 30% | 2 |
| moins de 10% | 3 |

TABLE 7 – Note pour la durée de correction des hauteurs.

En travaillant sur les données des bases BAREME nous avons constaté des durées de correction parfois très longues d'où cette notation qui pénalise les stations avec des corrections qui concernent plus d'un mois de données.

5.5 Application aux stations de la DRIEAT Île de France

Cette caractérisation de la fiabilité des stations hydrométriques en étiage a été appliquée aux stations de la Meuse et à celles gérées par la DRIEAT Île de France. Pour ces stations, une cartographie interactive est disponible sur le site Ma Carte de l'IGN ⁷.

Évaluation qualitative des stations hydrométriques de la DRIEAT IDF pour la prévision des étiages

Stabilité Sensibilité Jaugeages Correction Fiabilité

Stabilité des sections de contrôle des stations hydrométriques

CIPRHES

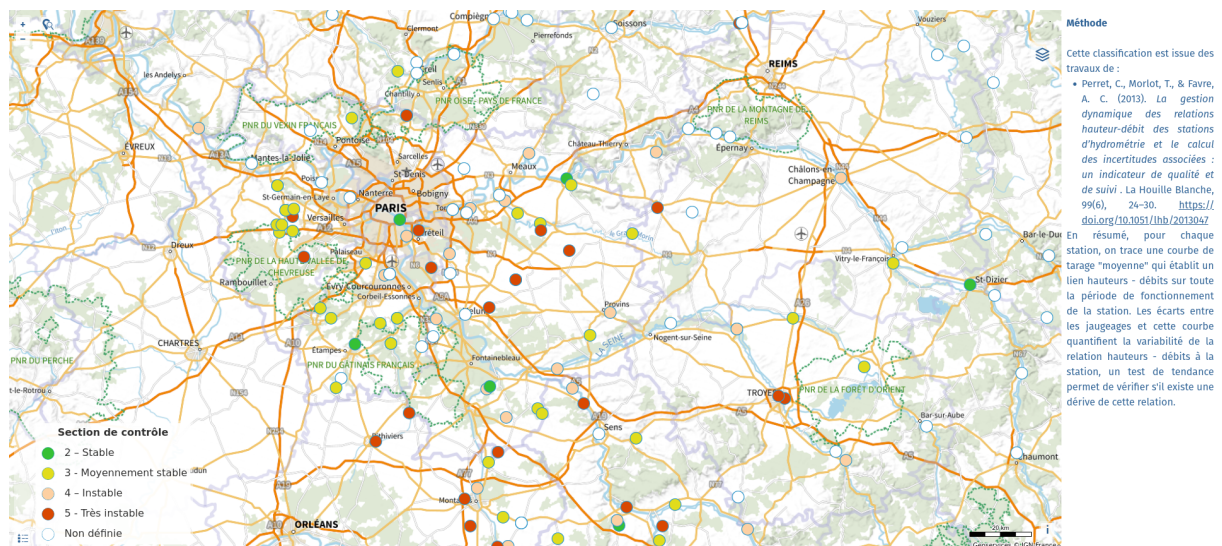


FIGURE 22 – Carte interactive de la fiabilité des stations de la DRIEAT Île de France.

Chaque composante de l'évaluation de la station est cartographiée. La note finale de

7. <https://macarte.ign.fr/carte/n0nWcV/Evaluation-qualitative-des-stations-hydrometriques-de-la-DREAL-IDF-pour-la-prevision-des-etiages>

fiabilité ne se régionalise pas, on remarque juste que les stations sur les grands cours d'eau tels que la Seine affichent des notes plus élevées.

Conclusion

Nos recherches bibliographiques, l'enquête et nos entretiens avec les services gestionnaires nous ont permis de cibler les sources d'incertitudes les plus importantes. Ce sont souvent les mêmes qui sont citées, nous les avons exposées et retenues pour tenter de définir un barème de fiabilité des stations hydrométriques en situation d'étiage. Celui-ci est provisoire, il doit être confronté à la réalité du terrain et à la pratique des hydro-mètres. Une réflexion similaire est en cours dans le réseau Vigicrues et il sera important de confronter les approches.

À l'issue de ce travail, nous souhaitons également que l'importance des difficultés pour mesurer les débits en période d'étiage n'engendre pas un sentiment de découragement par rapport à notre capacité à traiter les valeurs de débits d'étiage et surtout les prévoir. Nous avons montré que si pour certaines stations les incertitudes sont très élevées, l'examen des données relatives à la gestion des stations permet de désigner de nombreux sites où la mesure est possible et fiable dans les limites habituellement admises ($\pm 10\%$).

Il est aussi important d'insister sur la nécessité d'être présent sur le terrain pour effectuer des jaugeages et vérifier les conditions d'écoulement à la station. À ce titre il serait souhaitable de réaliser des aménagements dans les sections de contrôle qui permettent une mesure optimale de la hauteur d'eau tels que des seuils ou des venturis (propos de D. BESSON lors de la table ronde du séminaire de clôture du projet).

Perspectives

D'une manière générale, il est souhaitable de considérer les valeurs de débits d'étiage dans un contexte d'incertitude élevée. Celle-ci n'a pas encore été totalement prise en compte dans la chaîne de prévision. Or il est possible de l'intégrer dans les procédures de calage des modèles ou d'assimilation des débits mesurés.

Cette remarque s'applique aussi aux différents seuils d'alerte pour la gestion des étiages, leur étagement doit tenir compte des marges d'incertitude parfois très larges.

La principale difficulté réside dans l'usage des données de prévisions assorties d'une incertitude (comme c'est apparu dans l'enquête auprès des services gestionnaires). L'expérience nous a montré l'embarras de certains utilisateurs de la plateforme PREMHYCE avec les prévisions d'ensemble. La représentation de prévisions par un faisceau de scénarios est déroutante, il est fort probable qu'il en sera de même pour les rails d'incertitude.

Un travail de formation sur différents aspects de l'incertitude (hydrométrique, des modèles, des prévisions, ...) auprès des utilisateurs de la plateforme est nécessaire afin de leur permettre d'analyser les prévisions et les seuils d'alerte avec suffisamment de recul.

Bibliographie

- BECHON, Pierre-Marie, Jérôme LE COZ, Isabelle LELEU et Benjamin RENARD (2013). « Des outils du réseau Etat en hydrométrie et leur ouverture aux notions d'incertitude ». In : *35es journées de l'hydraulique de la Société Hydrotechnique de France. Hydrométrie 2013. Paris, 15-16 mai 2013. 2013*. Journées de l'hydraulique. Included in a thematic issue : 35es journées de l'hydraulique de la Société Hydrotechnique de France. Hydrométrie 2013. Paris, 15-16 mai 2013. URL : https://www.persee.fr/doc/jhydr_0000-0001_2013_act_35_1_1311.
- CHARPENTIER, François, David BESSON, Jérôme MORINEAU et Fabien PASQUET (mars 2023). « La mesure hydrométrique en étiage sévère. Retour d'expérience 2022 sur le bassin de la Loire en amont de la Vienne ». In : *Sécheresse et Étiage 2022*. Chatou : SHF. URL : https://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/shf2023_secheresse2022_dreal-cvl_hydrometrie.pdf.
- COXON, G., J. FREER, I. K. WESTERBERG, T. WAGENER, R. WOODS et P. J. SMITH (2015). « A novel framework for discharge uncertainty quantification applied to 500 UK gauging stations ». In : *Water Resources Research* 51.7, p. 5531-5546. DOI : <https://doi.org/10.1002/2014WR016532>.
- DI BALDASSARRE, G. et A. MONTANARI (2009). « Uncertainty in river discharge observations : a quantitative analysis ». In : *Hydrology and Earth System Sciences* 13.6, p. 913-921. DOI : [10.5194/hess-13-913-2009](https://doi.org/10.5194/hess-13-913-2009).
- DREAL, Nouvelle-Aquitaine (2025). *Hydrometrie - Mesurer le débit d'un cours d'eau en étiage*. <https://www.dailymotion.com/video/x8o2kl0>. Consulté le 8 janvier 2026.
- GOUBET, A. (1969). « Détermination des débits dans les rivières herbeuses ». In : *La Houille Blanche* 55.5, p. 489-492. DOI : [10.1051/lhb/1969036](https://doi.org/10.1051/lhb/1969036).
- GRELIER, Benjamin, Didier FRANÇOIS, Hajar EL-KHALFI, Claire DELUS, Luc MANCEAU, Lebaut SÉBASTIEN et Gilles DROGUE (mai 2023). *Hydrométrie en étiage. Enquête auprès des services producteurs de données hydrométriques*. Rapp. tech. Université de Lorraine, Laboratoire Loterr, 56 p. URL : <https://ciprhes.hub.inrae.fr/content/download/3563/34852?version=1>.
- HORNER, I., B. RENARD, J. LE COZ, F. BRANGER, H. K. MCMILLAN et G. PIERREFEU (2018). « Impact of Stage Measurement Errors on Streamflow Uncertainty ». In : *Water Resources Research* 54.3, p. 1952-1976. DOI : <https://doi.org/10.1002/2017WR022039>.
- HYDROPORTAIL (2023). *Données hydrométriques d'étiage*. URL : <https://www.hydro.eaufrance.fr/documentation/plaquette-sur-la-donnee-hydrometrique-detiage>.
- LE COZ, J., B. RENARD, L. BONNIFAIT, F. BRANGER et R. LE BOURSICAUD (2014). « Combining hydraulic knowledge and uncertain gaugings in the estimation of hydro-metric rating curves : A Bayesian approach ». In : *Journal of Hydrology* 509, p. 573-587. ISSN : 0022-1694. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.016>.
- LE COZ, Jérôme, B. CAMENEN, Michel LANG, François BOURGIN, Vazken ANDRÉASSIAN, Olivier DELAIGUE et Paul C. ASTAGNEAU (juill. 2023). *Analyse des crues de juillet 2021*. Rapp. tech. INRAE, 147 p. URL : <https://hal.inrae.fr/hal-04495131>.
- MAILHOT, A., G. TALBOT, S. BOLDUC et C. FORTIER (2025). « Assessment of uncertainties in stage-discharge rating curves : a large-scale application to Quebec hydro-metric network ». In : *Hydrology and Earth System Sciences* 29.15, p. 3615-3627. DOI : [10.5194/hess-29-3615-2025](https://doi.org/10.5194/hess-29-3615-2025).

- MORLOT, Thomas (oct. 2014). « La gestion dynamique des relations hauteur-débit des stations d'hydrométrie et le calcul des incertitudes associées : un indicateur de gestion, de qualité et de suivi des points de mesure ». Theses. Université de Grenoble. URL : <https://theses.hal.science/tel-01146918>.
- PERRET, Christian, Anne-Catherine FAVRE PUGIN et Thomas MORLOT (2013). « La gestion dynamique des relations hauteur-débit des stations d'hydrométrie et le calcul des incertitudes associées : un indicateur de qualité et de suivi (Méthode GesDyn) ». In : *35es journées de l'hydraulique de la Société Hydrotechnique de France. Hydrométrie 2013. Paris, 15-16 mai 2013. 2013*. Journées de l'hydraulique. Included in a thematic issue : 35es journées de l'hydraulique de la Société Hydrotechnique de France. Hydrométrie 2013. Paris, 15-16 mai 2013. URL : https://www.persee.fr/doc/jhydr_0000-0001_2013_act_35_1_1306.
- PERRET, Emeline, Benjamin RENARD et Jérôme LE COZ (mars 2021). « A rating curve model accounting for cyclic stage-discharge shifts due to seasonal aquatic vegetation ». In : *Water Resources Research* 57.3, p. 28. DOI : [10.1029/2020WR027745](https://doi.org/10.1029/2020WR027745). URL : <https://hal.science/hal-03121201>.
- PIERREFEU, Gilles, Audrey OLIVIER, Bertrand BLANQUART et Mattia SCOTTI (2008). « Incertitudes sur les débits issus des courbes de tarage ». In : *Mesures Hydrologiques et Incertitudes en Hydrométrie et Qualité de l'eau. Paris, 1 et 2 avril 2008. 2008*. Journées de l'hydraulique. Included in a thematic issue : Mesures Hydrologiques et Incertitudes en Hydrométrie et Qualité de l'eau. Paris, 1 et 2 avril 2008. URL : https://www.persee.fr/doc/jhydr_0000-0001_2008_act_30_1_1042.
- PUECHBERTY, R, C. PERRET, S. POLIGOT PITSCH, P. BATTAGLIA, A. BELLEVILLE, P. BOMPART, G. CHAUVEL, J. COUSSEAU, Guillaume DRAMAS, G. GLAZIOU, A. HAUET, S. HELOUIN, M. LANG, Frédérique LARRARTE, Jérôme LE COZ, P. MARCHAND, Pierre MOQUET, Olivier PAYRASTRE, P. PIERREFEU et G. RAUZY (jan. 2017). *Charte qualité de l'hydrométrie. Guide de bonnes pratiques*. Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, France, p. 83. URL : <https://hal.inrae.fr/hal-02606950>.
- RIGBY, Robert A. et Dimitrios M. STASINOPOULOS (2005). « Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape (GAMLSS) in R ». In : *Journal of Statistical Software* 23.7, p. 1-46. URL : <https://www.jstatsoft.org/article/view/v023i07>.
- STASINOPOULOS, Dimitrios M., Robert A. RIGBY, Gillian Z. HELLER, Vlasios VOUDOURIS et Fernanda DE BASTIANI (2023). *Flexible Regression and Smoothing : Using GAMLSS in R*. Draft version. Available at <https://www.gamlss.com/wp-content/uploads/2023/06/FlexibleRegressionAndSmoothingDraft-1.pdf>. URL : <https://www.gamlss.com/wp-content/uploads/2023/06/FlexibleRegressionAndSmoothingDraft-1.pdf>.
- STASINOPOULOS, Dimitrios M., Robert A. RIGBY, Vlasios VOUDOURIS, Gillian Z. HELLER et Fernanda De BASTIANI (2023). *gamlss : Generalised Additive Models for Location Scale and Shape*. R package version 5.4-13. URL : <https://CRAN.R-project.org/package=gamlss>.

Annexes

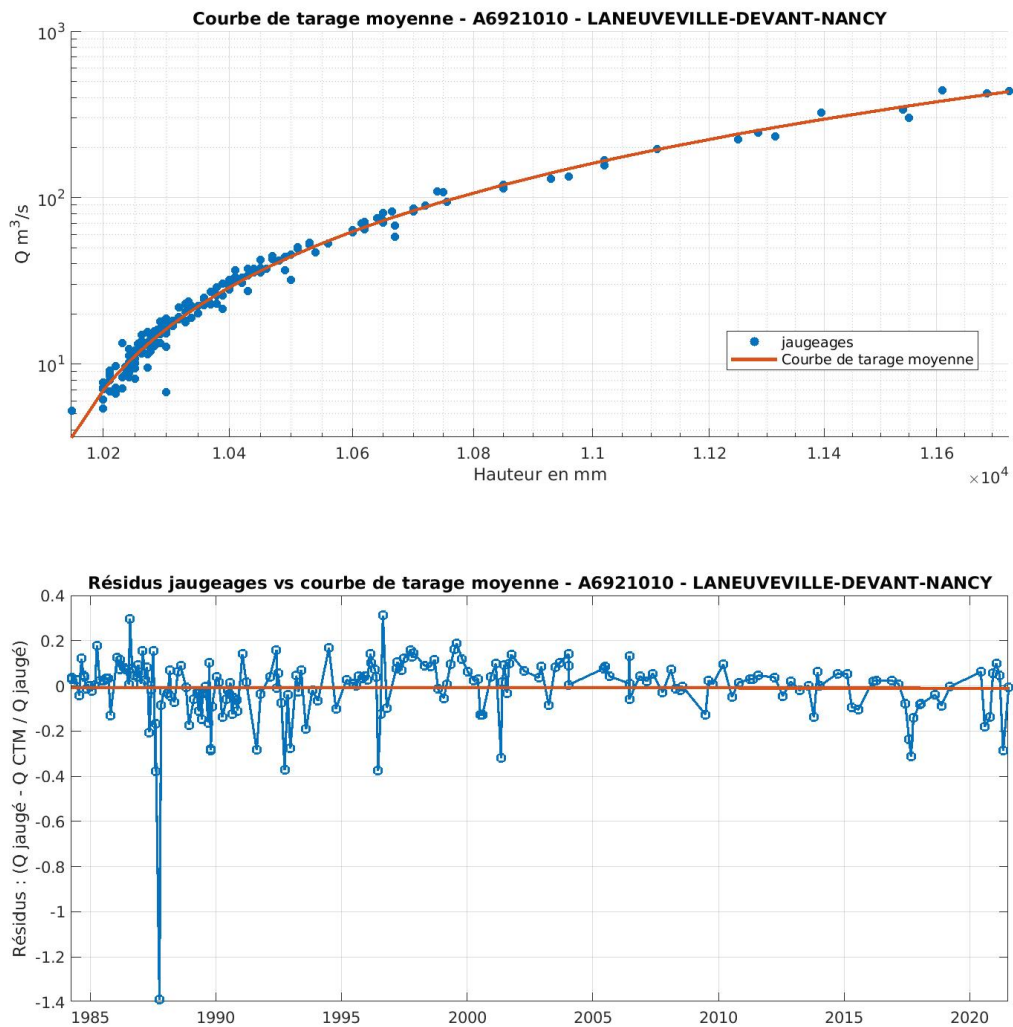


FIGURE A.23 – Exemple d’une station très stable : la Meurthe à Laneuville-devant-Nancy.

A1160030

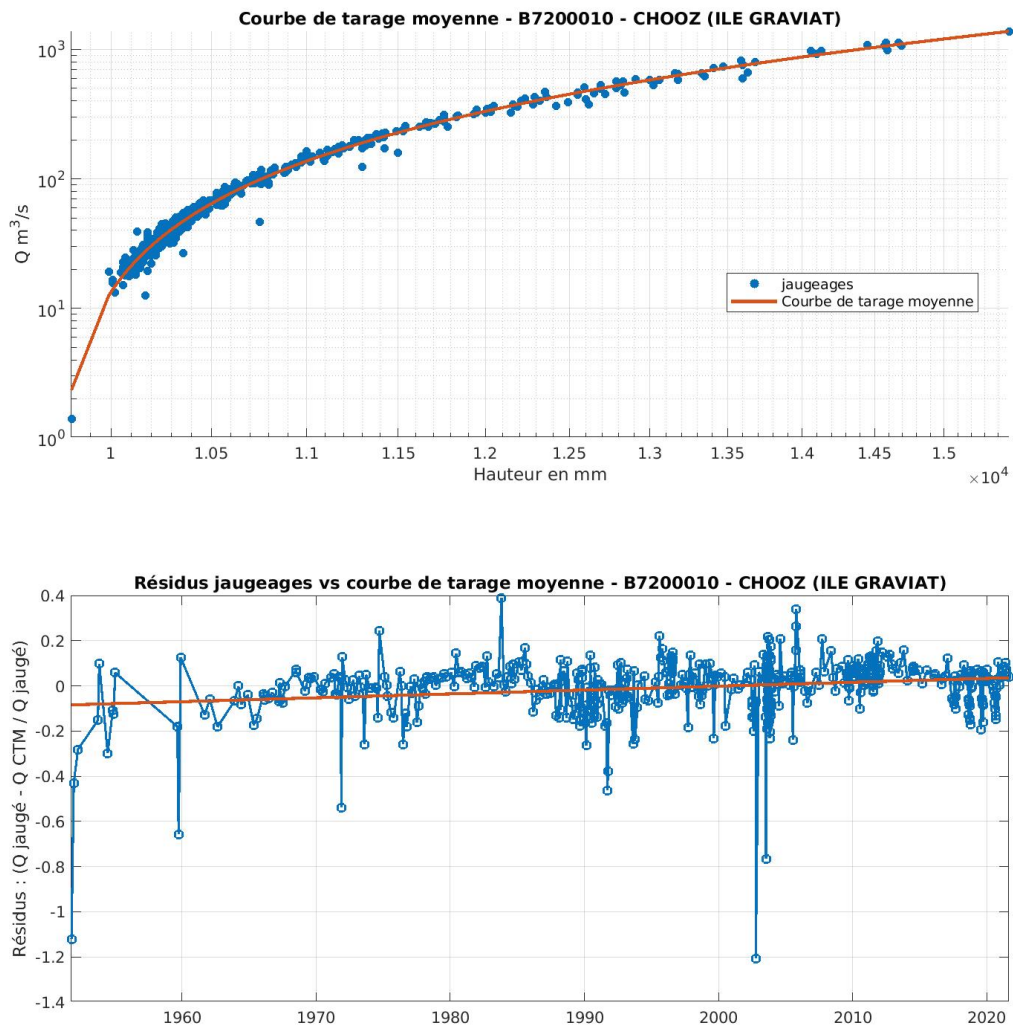


FIGURE A.24 – Exemple d’une station stable : la Meuse à Chooz.

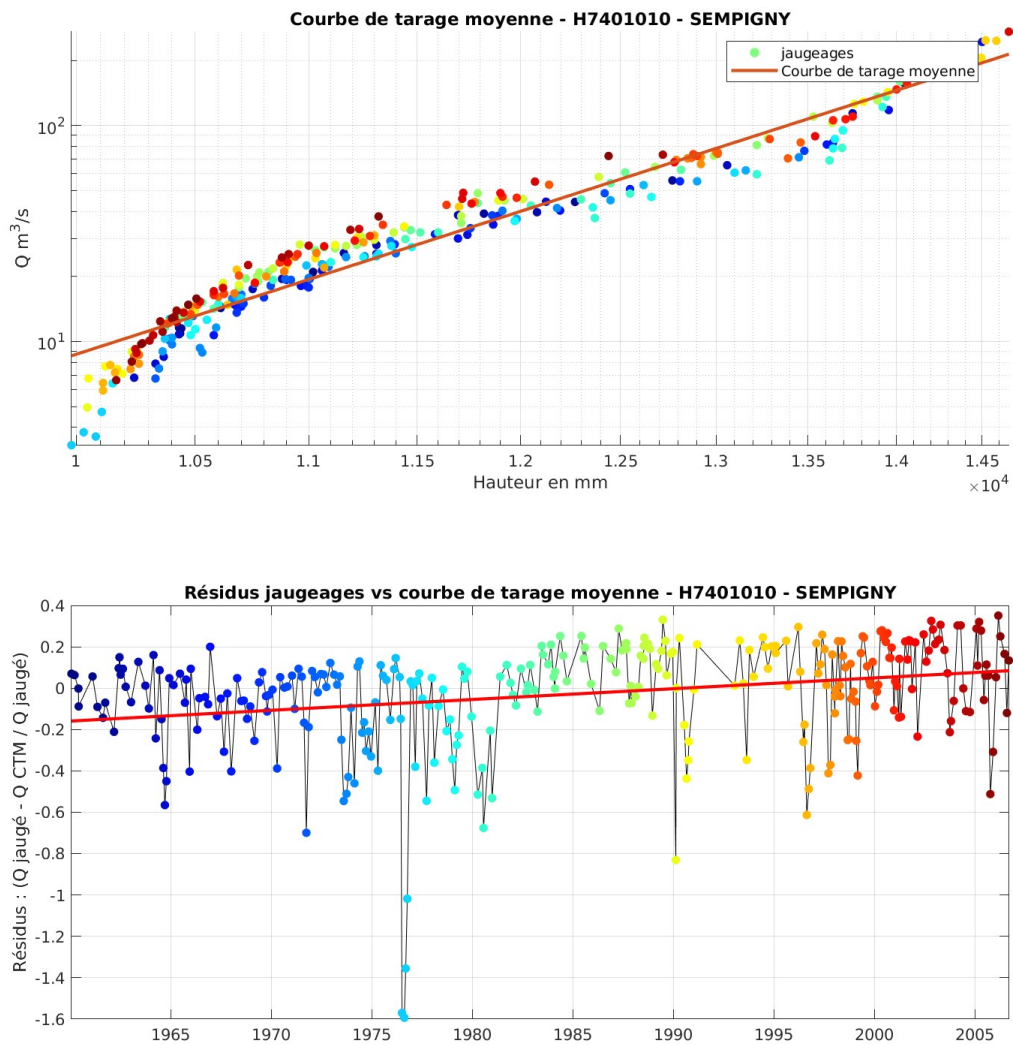


FIGURE A.25 – Exemple d’une station moyennement stable : l’Oise à Sempigny.
 Une échelle de couleur est appliquée aux points représentant les jaugeages : du bleu foncé pour les plus anciens, au rouge foncé pour les plus récents

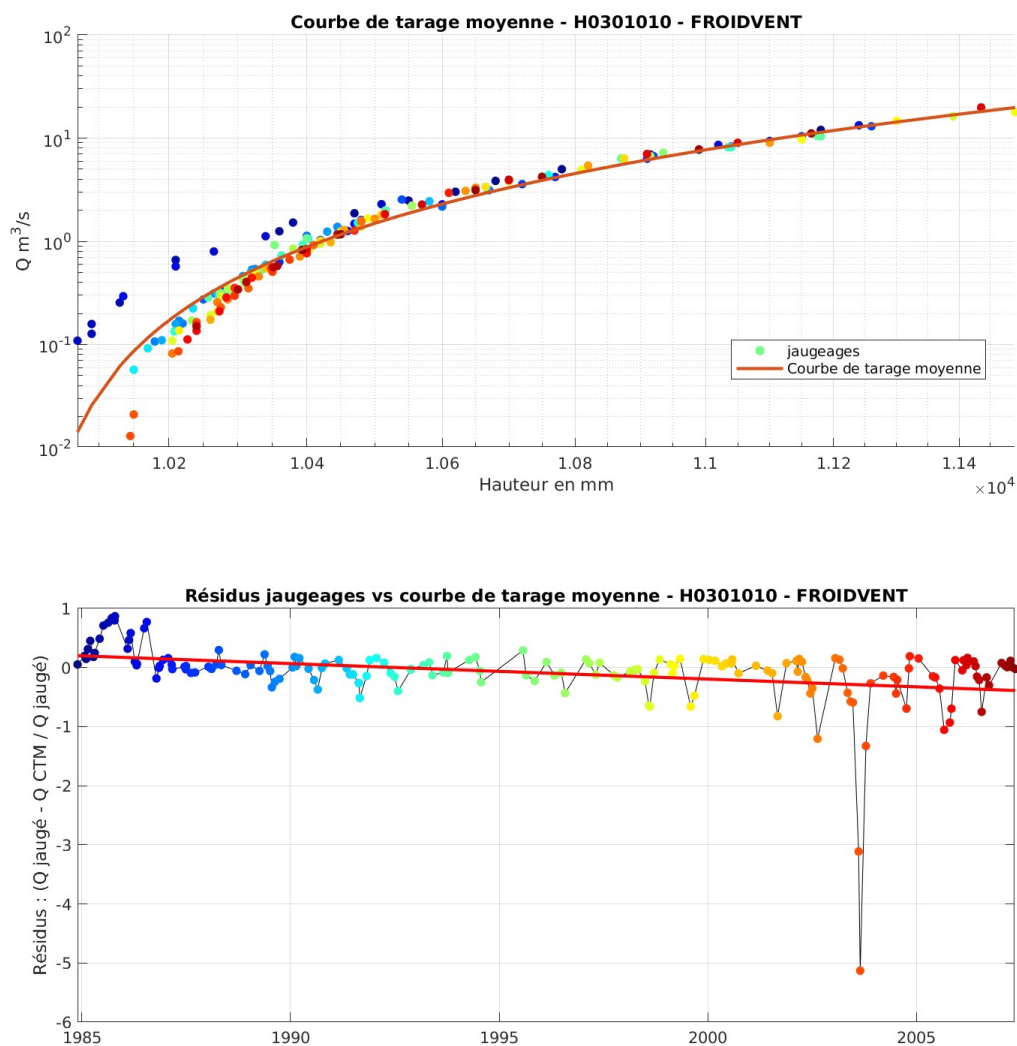


FIGURE A.26 – Exemple d’une station instable : l’Ource à Froidvent.

Une échelle de couleur est appliquée aux points représentant les jaugeages : du bleu foncé pour les plus anciens, au rouge foncé pour les plus récents

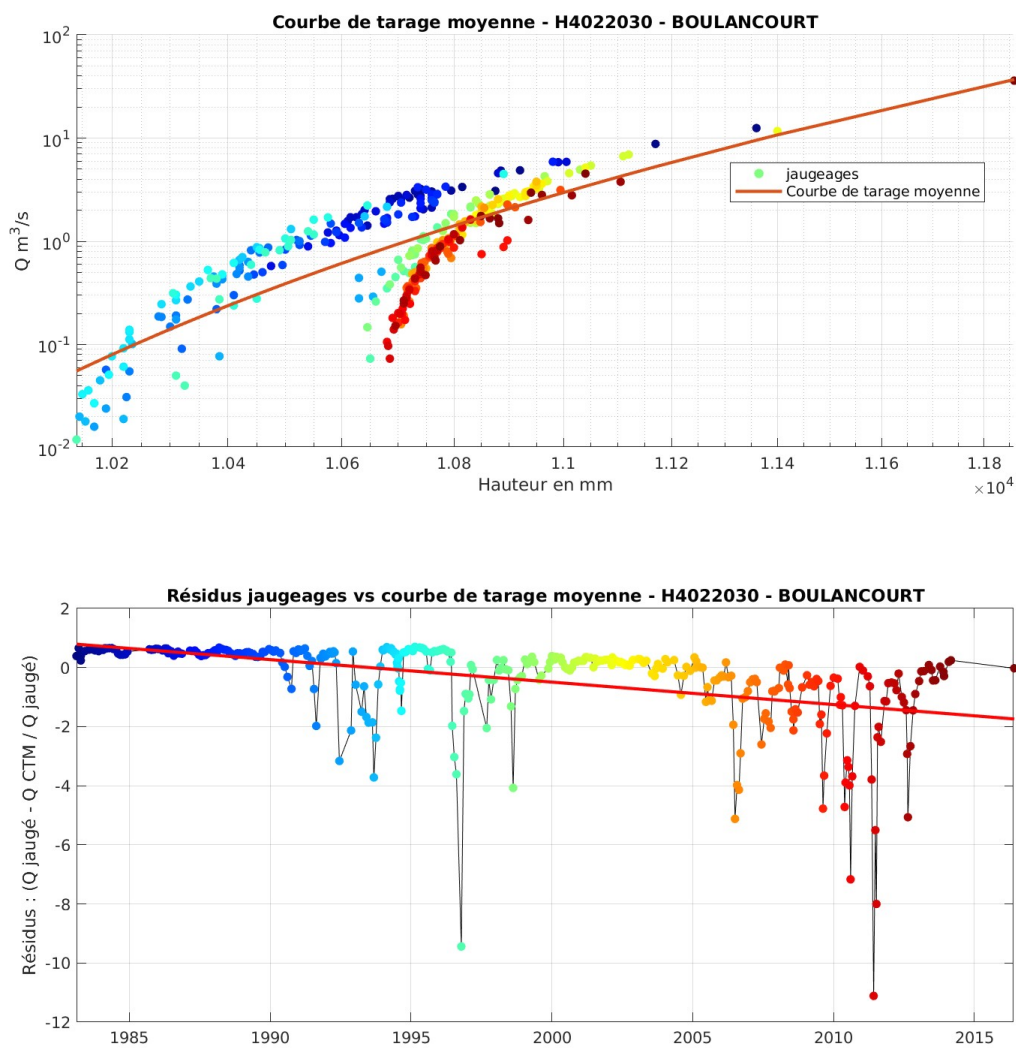


FIGURE A.27 – Exemple d’une station très instable : l’Essonne à Boulancourt.
 Une échelle de couleur est appliquée aux points représentant les jaugeages : du bleu foncé pour les plus anciens, au rouge foncé pour les plus récents

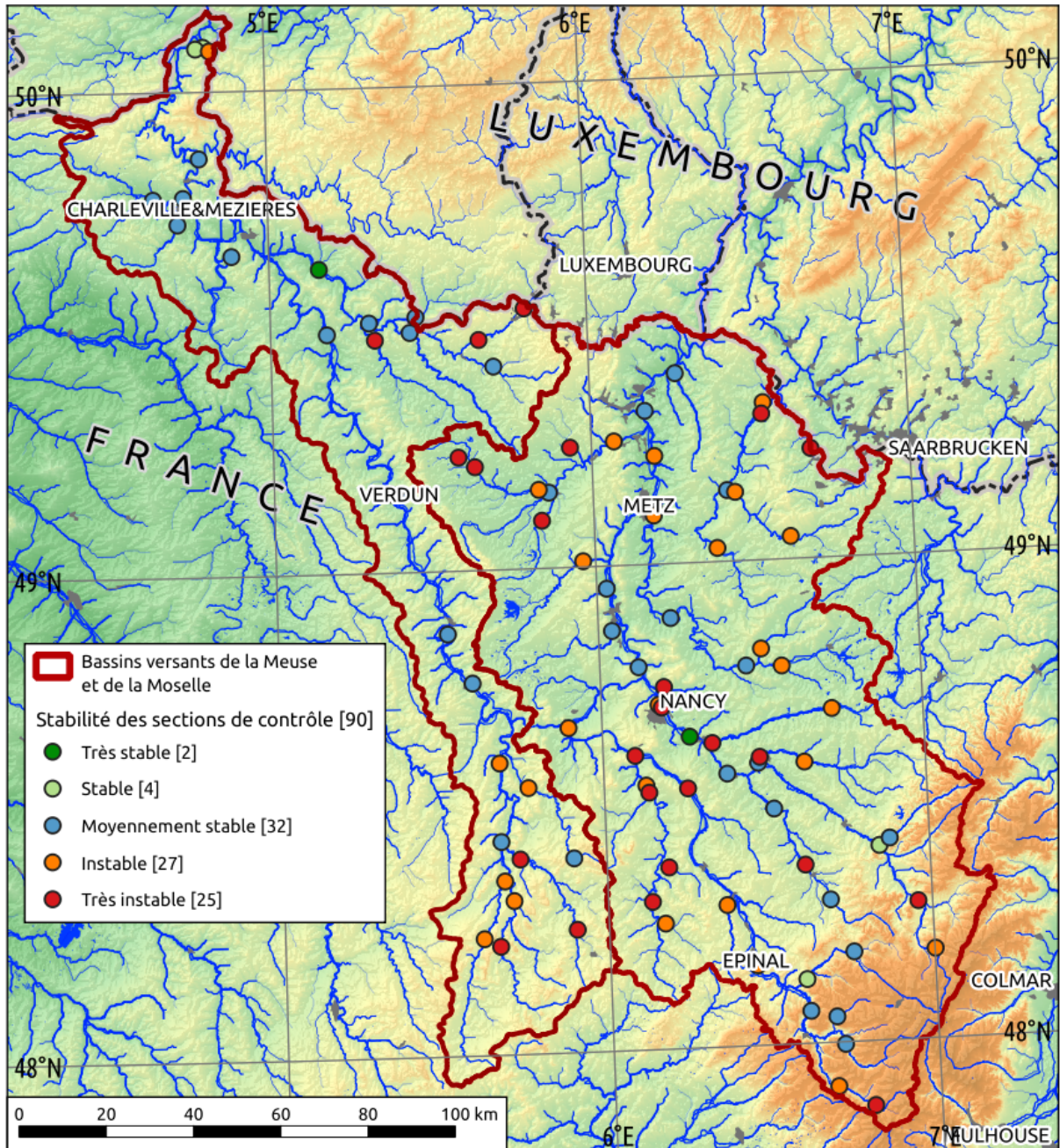


FIGURE A.28 – Stabilité des stations des bassins de la Meuse et de la Moselle

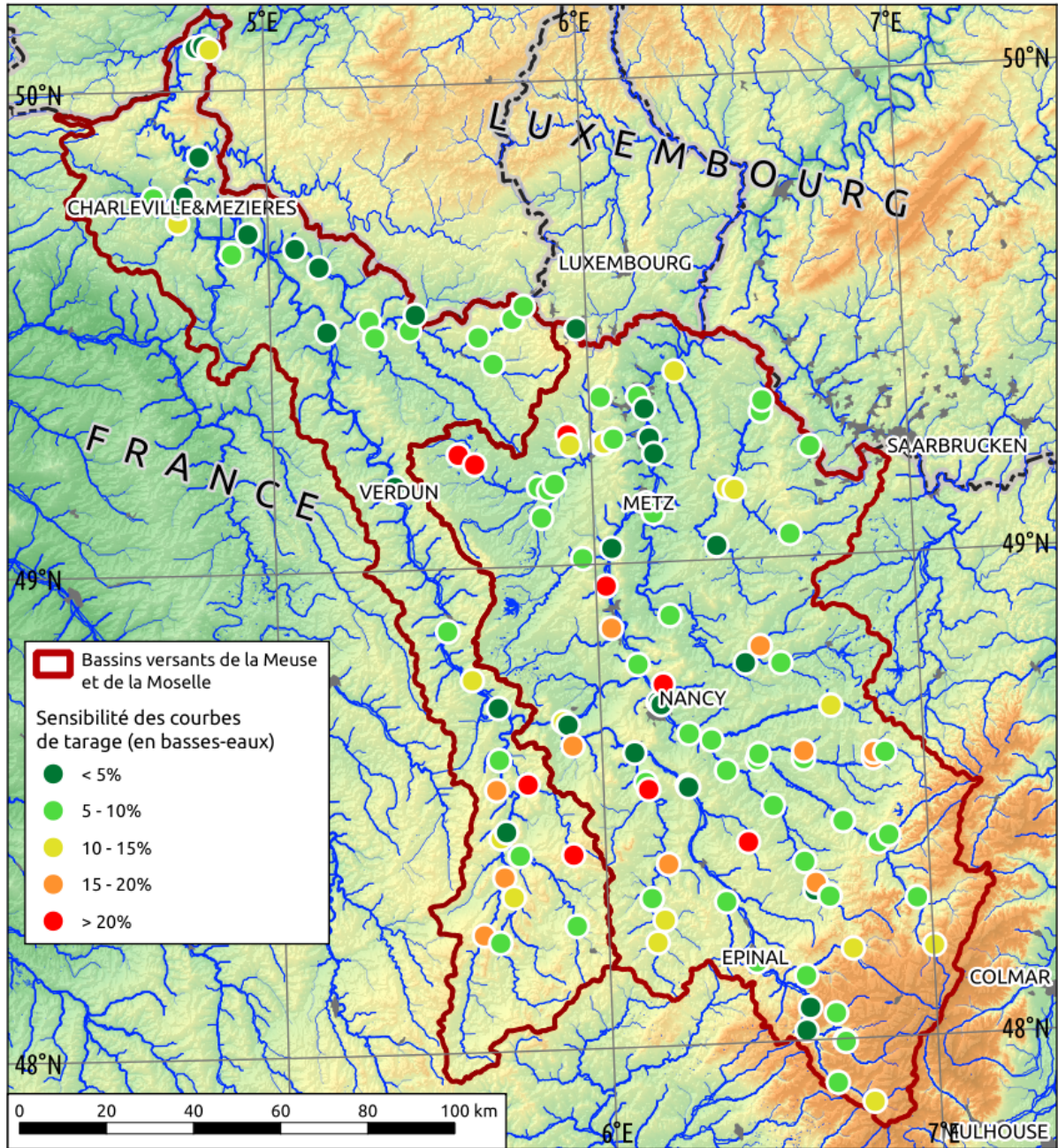


FIGURE A.29 – Sensibilité des courbes de tarage des stations des bassins de la Meuse et de la Moselle.

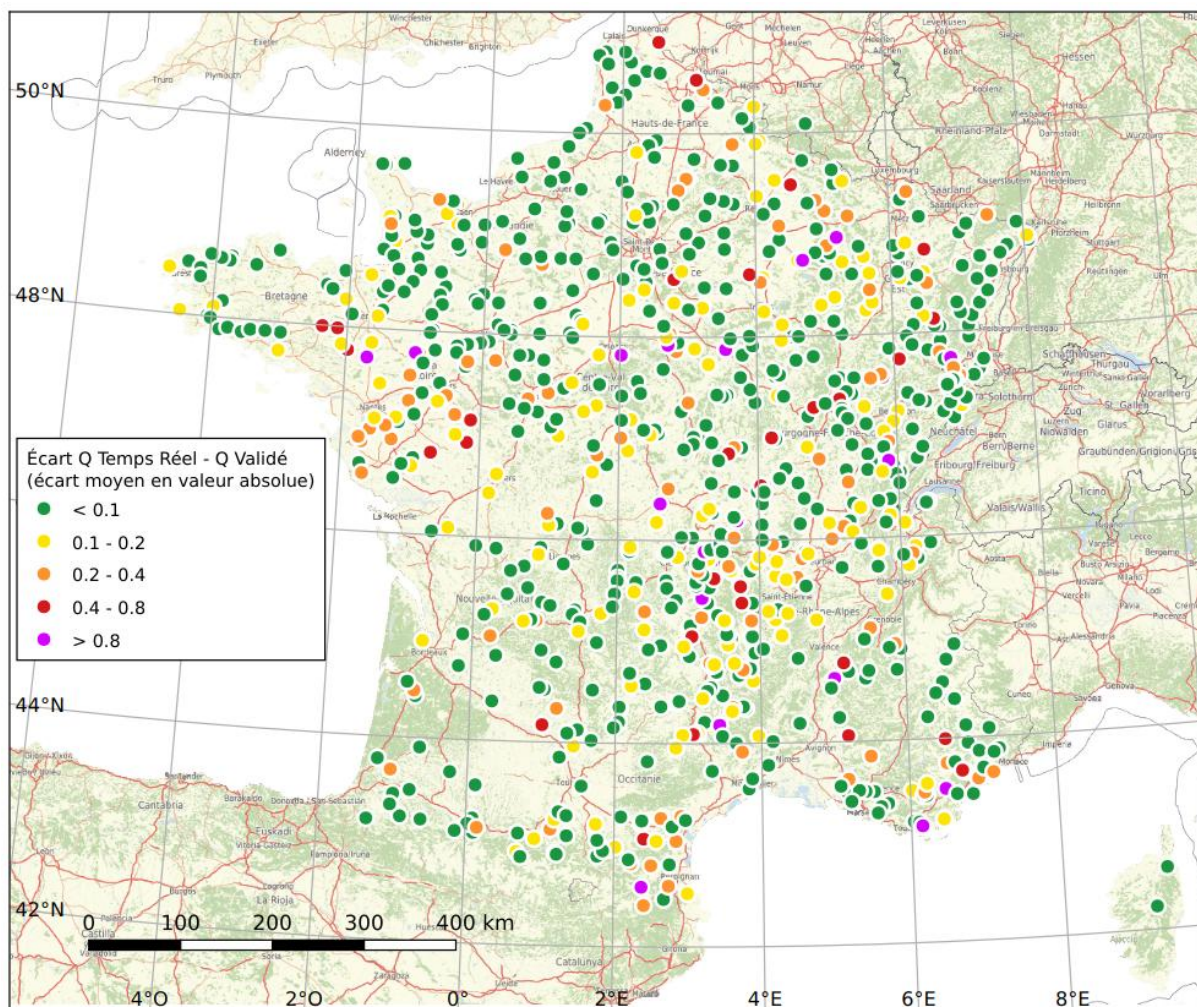


FIGURE A.30 – Écarts : débits "temps réel" - débits validés. Stations présentes dans la plateforme PREMHYCE en 2022

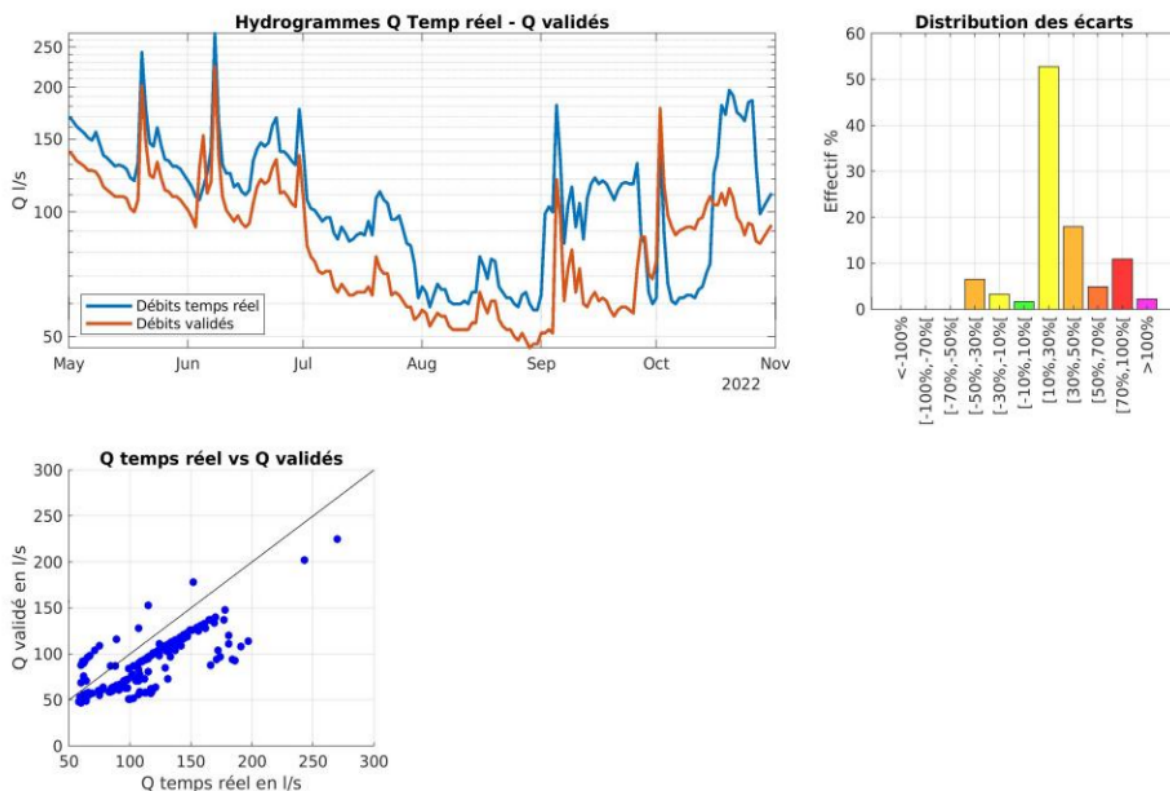


FIGURE A.31 – Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de la Divette à Passel (H7413210).

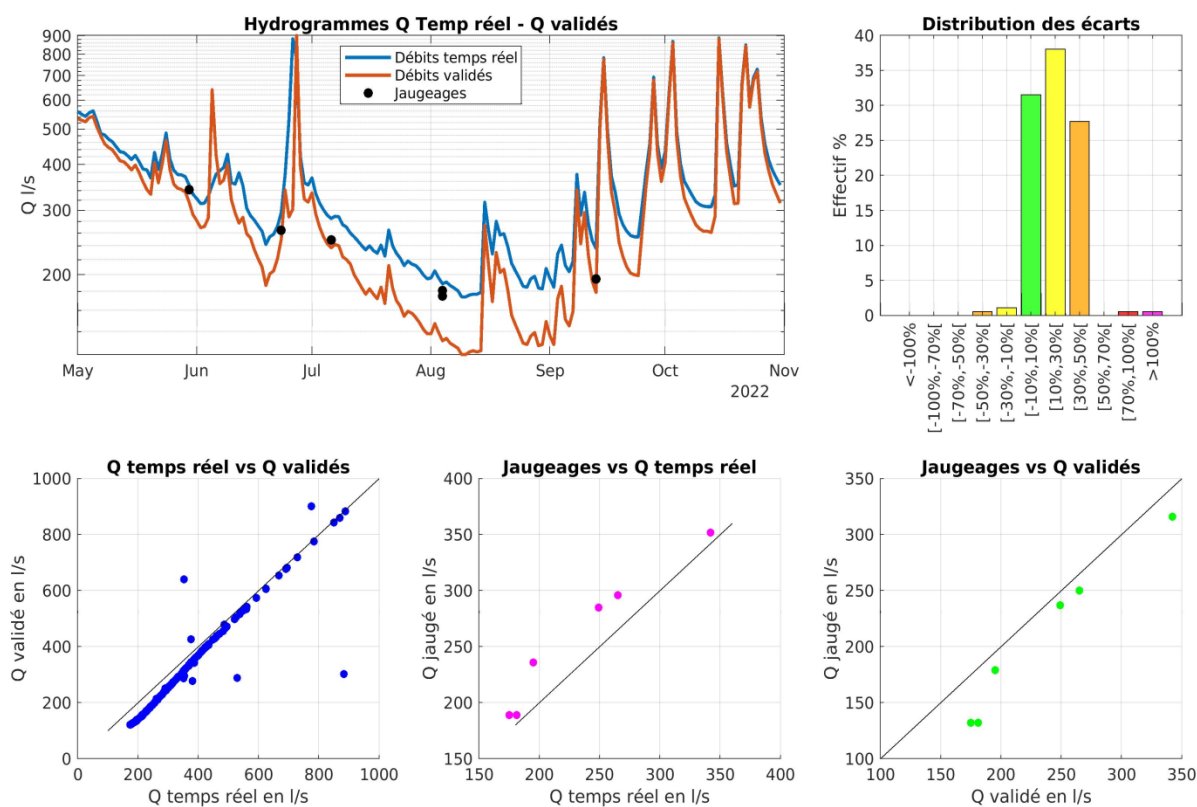


FIGURE A.32 – Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de la Sarre à Laneuville-les-Lorquin (A9001050).

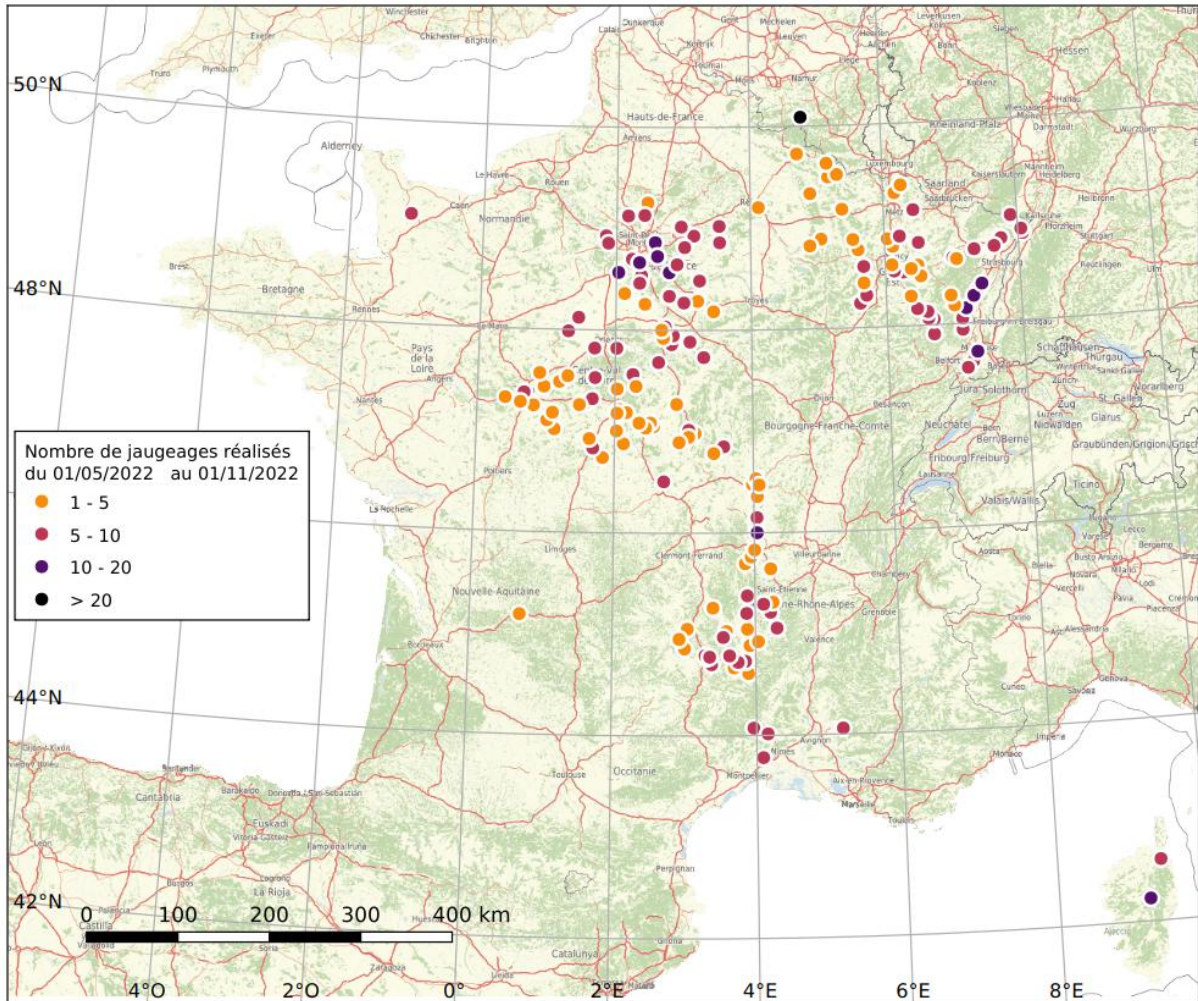


FIGURE A.33 – Nombre de jaugeages du 01/05/2022 au 01/11/2022 extraits d’Hydro-Portail (mars 2023).

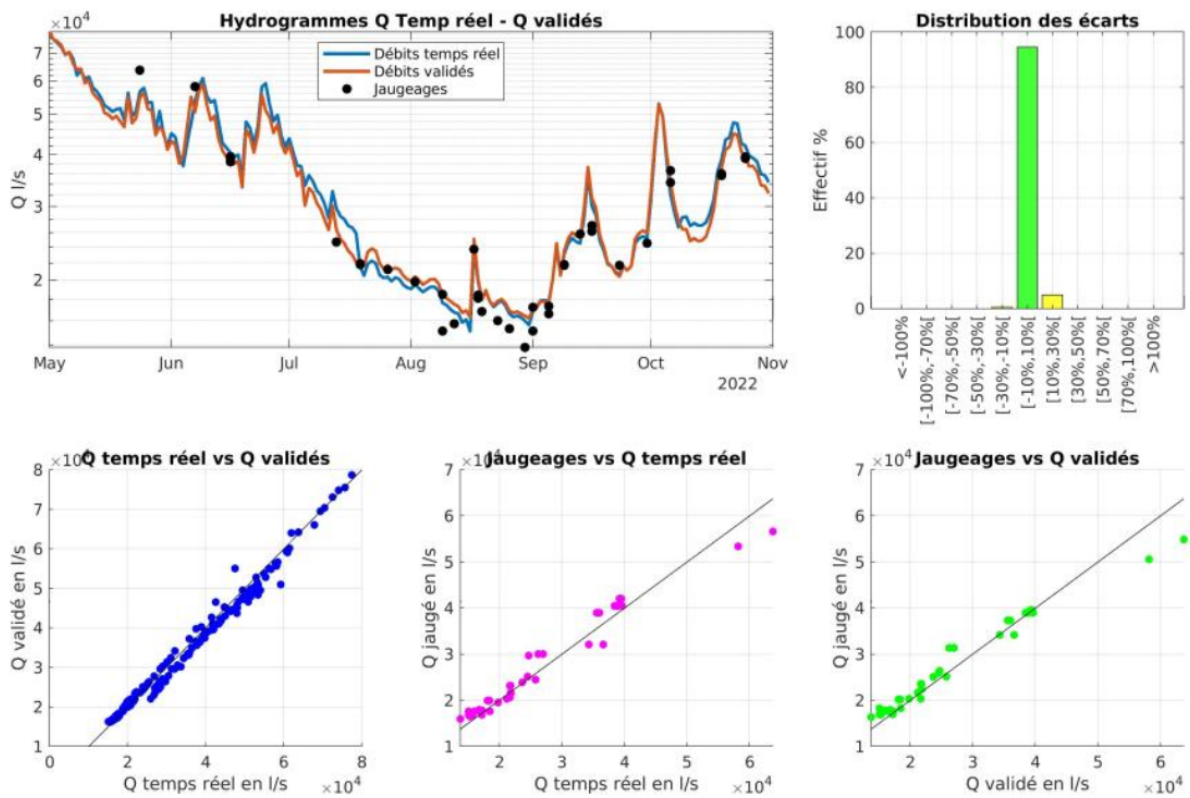


FIGURE A.34 – Comparaison des débits "temps réel" avec les débits validés. Exemple de la Meuse à Chooz (B7200000).