



**HAL**  
open science

## **Evolutions de la propagation des crues du Rhône, en lien avec les aménagements réalisés depuis deux siècles**

Mathieu Lucas, Raphaëlle Corne, Michel Lang, Jérôme Le Coz, Hervé Piégay

### ► **To cite this version:**

Mathieu Lucas, Raphaëlle Corne, Michel Lang, Jérôme Le Coz, Hervé Piégay. Evolutions de la propagation des crues du Rhône, en lien avec les aménagements réalisés depuis deux siècles. [Rapport de recherche] CNRS; INRAE. 2024. hal-04652858

**HAL Id: hal-04652858**

**<https://hal.science/hal-04652858v1>**

Submitted on 26 Aug 2024

**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.



Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

A background photograph showing a wide, muddy river in flood. In the foreground, a concrete structure with graffiti is partially submerged. In the middle ground, several boats are moored or stuck in the water. In the background, a city skyline with buildings and a bridge is visible under a cloudy sky. The image is overlaid with a semi-transparent white graphic consisting of several overlapping, rounded shapes.

# Evolution de la propagation des crues du Rhône, en lien avec les aménagement réalisés depuis deux siècles

# Evolution de la propagation des crues du Rhône, en lien avec les aménagement réalisés depuis deux siècles

Rapport scientifique final

Version du 06/06/2024

---

Observatoire des Sédiments du Rhône – 6<sup>ème</sup> programme d'action

---

Axe A – Comprendre le fonctionnement hydro sédimentaire du fleuve

---

Action A2 – Dynamique morphologique et risque inondation

---

## Personnes impliquées

Mathieu LUCAS (Doctorant INRAE, UR RiverLy), Raphaëlle CORNE (stagiaire INRAE, UR RiverLy), Michel LANG (INRAE, UR RiverLy, HYBV) ; Jérôme LE COZ (INRAE, UR RiverLy, HYR), Hervé Piégay (ENS Lyon, EVS)

## Pour citer ce rapport

Lang M., Lucas M., Corne R., Le Coz J., Piégay H. (2024). *Evolution de la propagation des crues du Rhône, en lien avec les aménagements réalisés depuis deux siècles*. Rapport final. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6<sup>ème</sup> programme d'action. Action A2. 13 p.

L'OSR est un programme animé par le Graie. Pour toute information vous pouvez contacter

Bertrand Morandi (bertrand.morandi@graie.org)

---

## Résumé

Le rapport présente les résultats issus du travail de thèse de Mathieu Lucas (2023) et du stage de 5<sup>ème</sup> année d'école d'ingénieur de Raphaëlle Corne (2023), en lien avec l'évolution de la propagation des crues du Rhône depuis deux siècles. L'analyse a été réalisée à partir d'une centaine d'épisodes de crue et le traitement de limnigrammes et d'hydrogrammes de crue.

Le principal changement constaté sur la propagation des crues entre Lyon et Beaucaire est lié aux travaux pour les aménagements CNR (1952-1980), avec une forte accélération de la propagation des crues.

L'effet des aménagements Girardon (1880-1920) est surtout sensible dans une réduction de la diversité des formes de crue entre Lyon et Beaucaire. L'analyse fine de l'effet des aménagements Girardon n'est pas possible du fait de l'absence de données infra-journalières

---

## Mots-clés

Rhône ; Observatoire ; Sédiments ; OSR ; Crue ; Propagation des crues ; Forme des crues

---

## Table des matières

1. Contexte.....	5
2. Evolution du temps de propagation des crues entre Lyon et Beaucaire .....	6
3. Evolution de la forme des hydrogrammes de crue à Lyon et Beaucaire.....	8
4. Conclusion .....	13
5. Bibliographie .....	13

## 1. Contexte

L'objectif général de cette action est d'évaluer l'effet des changements morphologiques sur la débitance du fleuve et ainsi les conséquences pour le risque inondation. Le programme initial de travail comprenait les tâches suivantes :

- Recenser les crues historiques du Rhône à Beaucaire documentées (cf. base de données historiques HistRhône) ;
- Mettre en place un modèle hydraulique avec écoulement dans le lit majeur et des scénarios de géométrie historique pour une sélection d'événements (thèse Mathieu Lucas) ;
- Améliorer localement le modèle hydraulique 1D du Rhône pour les crues rares ( $> Q_5$ ) afin de mieux évaluer les capacités de transport solide lors de ces crues, et de reconstruire le débit des crues historiques du Rhône à Beaucaire ;
- Reconstruire le débit des crues historiques du Rhône à Beaucaire et des incertitudes associées à l'aide d'un modèle hydraulique et de géométries historiques (thèse Mathieu Lucas) ;
- Exploiter les séries de débit sur la période 1816-2019 pour faire la part de la variabilité liée au climat et celle induite par les aménagements sur le corridor fluvial (épis Girardon, endiguements, barrages sur le Rhône) et l'ensemble du bassin versant (barrages alpins, occupation du sol) ;
- Exploiter les séries de débit reconstituées avec incertitude sur la période 1300-1800 pour évaluer l'apport et les limites de l'information historique sur les crues pour l'estimation de crues exceptionnelle.

Il a été modifié du fait de difficultés rencontrées au cours de la thèse de Mathieu Lucas sur la modélisation hydraulique. Le modèle MAGE OSR 1D, utilisé pour les études menées au sein de l'OSR sur les 545 km du cours du Rhône, du lac Léman à la Méditerranée, a été repris sur le secteur de Beaucaire. La limite amont du modèle a été définie à l'aval immédiat de la confluence avec la Durance (environ 15 km à l'amont de Beaucaire). La limite aval correspond à la Mer Méditerranée pour les deux biefs du delta, le Petit et le Grand Rhône. Une étude de sensibilité a montré que l'on pouvait faire partir la condition aval au niveau d'Arles, sans que cela ait d'impact significatif sur les hauteurs d'eau modélisées à Beaucaire.

Un travail spécifique a été réalisé pour représenter dans le modèle hydraulique la géométrie de l'ensemble du lit majeur, le modèle MAGE OSR 1D se limitant aux crues non débordantes. Le calage du modèle sur la crue de décembre 2003 s'est avéré complexe, du fait d'un écoulement en casiers qui mériterait plutôt l'utilisation d'un modèle hydraulique 2D. En l'absence de données précises sur la topographie du lit mineur avant le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, et du fait de l'existence fréquente de brèches dans les digues lors des crues historiques difficilement modélisables du fait de la méconnaissance de la géométrie de ces brèches, le choix a été fait dans la thèse de raisonner d'une part sur la série continue de débits sur la période 1816-2020, et d'autre part sur les événements de crue extrêmes recensés depuis 1500. Le modèle hydraulique 1D développé pendant la thèse a été utilisé pour reconstituer le niveau atteint pour un débit seuil de 9000 m<sup>3</sup>/s. Ce débit correspond à un seuil de perception, supposé avoir été dépassé pour les crues extrêmes de la période 1500-1815.

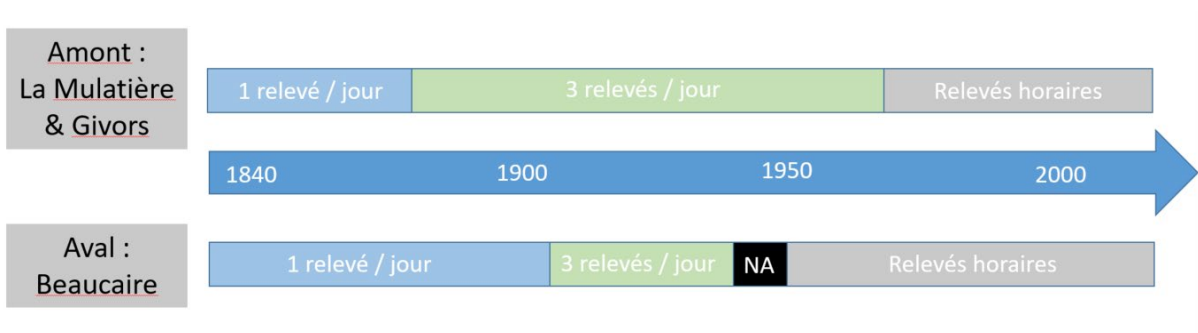
Un modèle probabiliste a été développé pendant la thèse de Mathieu Lucas pour traiter un échantillon mixte de crues, avec la série de valeurs maximales annuelles en débit sur la période continue 1816-2020, et le nombre de dépassements du seuil de perception sur la période historique 1500-1815.

Ce changement sur la modélisation hydraulique des crues du Rhône a eu pour conséquence que l'action A2 a été recentrée sur la période 1840-2020, en étudiant : 1/ l'évolution du temps de propagation des crues entre Lyon et Beaucaire (thèse de Mathieu Lucas, 2023) ; 2/ l'évolution de la forme des hydrogrammes de crue à Lyon et Beaucaire (stage de Raphaëlle Corne, 2023).

L'objectif est de voir s'il existe un lien éventuel entre des changements constatés sur les crues, avec les aménagements réalisés sur le lit mineur du Rhône sur cette période.

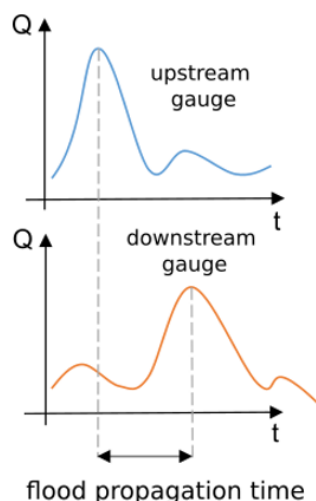
## 2. Evolution du temps de propagation des crues entre Lyon et Beaucaire

Les données exploitées par Mathieu Lucas sont les relevés de niveau à Lyon (La Mulatière) et Givors pour l'amont, et Beaucaire à l'aval, disponibles depuis 1840 (Figure 1). A noter que la fréquence des relevés anciens est de 1 jour, ce qui introduit une incertitude sur l'estimation précise de la date et heure de la pointe de crue.



**Figure 1.** Données limnimétriques du Rhône disponibles dans les secteurs de Lyon et Beaucaire (Lucas, 2023)

Le temps de propagation a été estimé à partir de la durée qui sépare le passage du pic de crue à l'échelle amont de son passage à l'échelle aval (Figure 2).



**Figure 2.** Mode de calcul du temps de propagation des crues du Rhône entre Lyon et Beaucaire

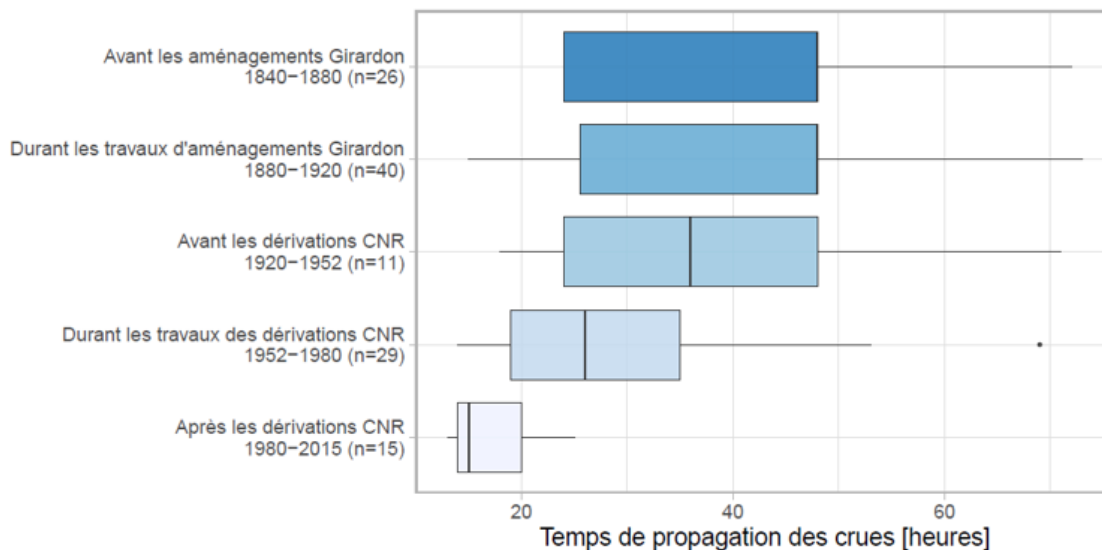
Pour éviter la complexification de l'hydrogramme induite par des crues d'affluents situés à l'aval de Lyon, seules les crues de type océanique (Pardé, 1925) ont été choisies, car elles sont produites à l'amont de Lyon. On peut alors suivre facilement l'onde de crue le long du tronçon d'intérêt. Des crues d'intensité moyenne (période de retour du débit de pointe entre 2 et 20 ans) ont été préférées afin d'éviter les interactions lit mineur/lit majeur susceptibles de perturber la propagation.

La Figure 3 montre que l'évolution du temps de propagation des crues au cours de 5 phases d'aménagement :

- 1/ Avant les aménagements Girardon de 1840 à 1880 ;
- 2/ Pendant les travaux des aménagements Girardon de 1880 à 1920 ;
- 3/ Avant les dérivations CNR de 1920 à 1952 ;
- 4/ Pendant les travaux des dérivations CNR de 1952 à 1980 ;
- 5/ Après l'aménagement des dérivations CNR de 1980 à 2015.

Ce temps de propagation des crues décroît, passant d'une moyenne de 39 h à 17 h entre 1840 et aujourd'hui. **Le principal changement constaté est postérieur à 1950, avec les travaux pour les aménagements CNR.** L'analyse fine de l'effet des aménagements Girardon n'est pas possible du fait de l'absence de données infra-journalières.

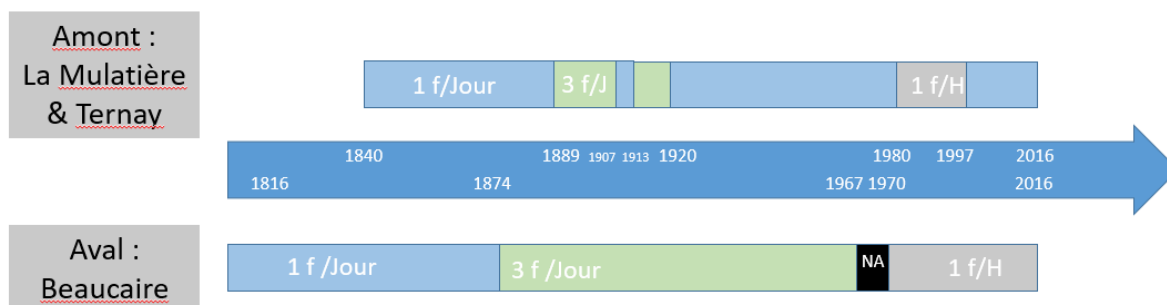




**Figure 3.** Evolution du temps de propagation des crues du Rhône entre Lyon et Beaucaire

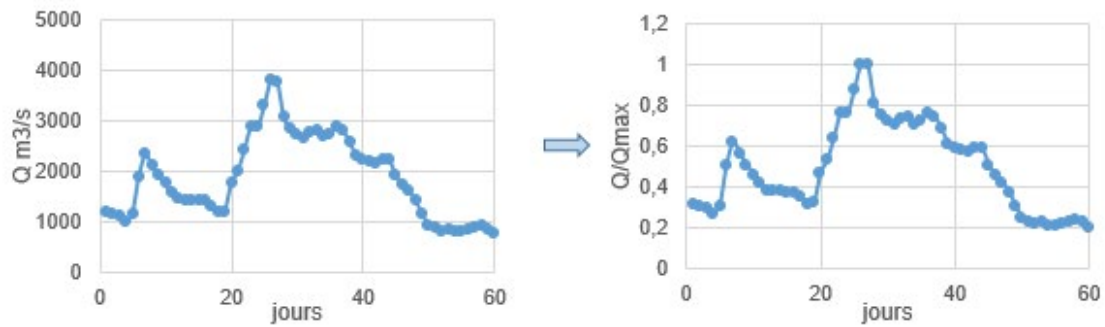
### 3. Evolution de la forme des hydrogrammes de crue à Lyon et Beaucaire

Les données exploitées par Raphaëlle Corne sont les relevés de niveau à Lyon (La Mulatière et Ternay) pour l’amont, et Beaucaire à l’aval, disponibles respectivement depuis 1840 et 1816. Seules les données récentes des dernières décennies sont disponibles à la fréquence horaire (Figure 4). Une centaine de limnigrammes de crue ont été numérisés à la station de La Mulatière.



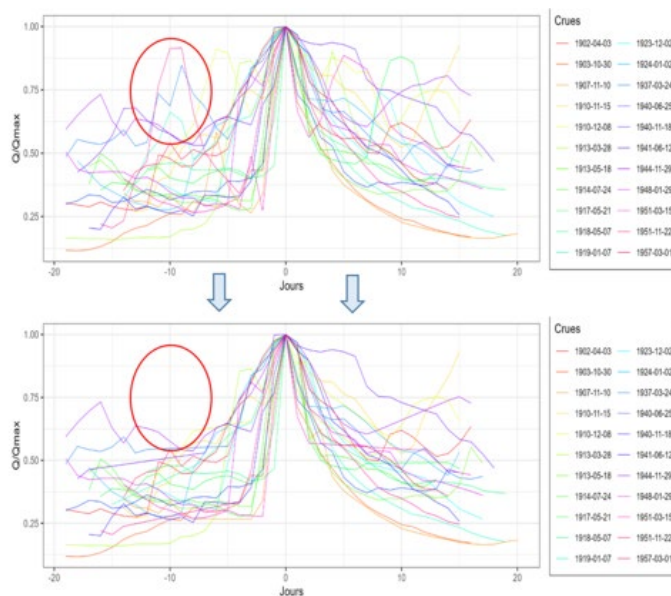
**Figure 4.** Données limnimétriques du Rhône exploitées dans les secteurs de Lyon et Beaucaire (Corne, 2023)

Les limnigrammes ont été homogénéisés à une seule donnée par jour effective à midi, puis convertis en hydrogrammes à l'aide des courbes de tarage. L'étape suivante du traitement des données consiste à normaliser les hydrogrammes pour les rendre comparables. Les débits de chaque hydrogramme sont divisés par le débit de pointe de la crue (Figure 5).



**Figure 5.** Normalisation du débit de chaque hydrogramme par le débit de pointe

Puis tous les hydrogrammes sont synchronisés sur la pointe et reportés sur un même graphique (Figure 6 haut). Un toilettage est réalisé pour supprimer d'éventuels pics secondaires sur certains hydrogrammes (Figure 6 bas).



**Figure 6.** Suppression des pics secondaires pour certains hydrogrammes

Un coefficient de forme de crue est calculé comme suit pour chaque hydrogramme normalisé :

$$C_a = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{3}{2N} \sum_{i=-N}^{i=N} \left[ \frac{i^2 Q(t_i = i\Delta t)}{Q_{max}} \right]} \quad (1)$$

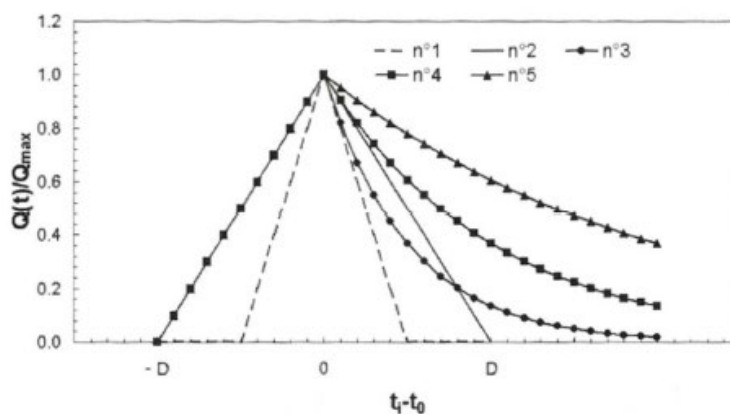
Les coefficients de forme sont calculés sur une fenêtre temporelle fixe :

$$[-D ; +D] = [-N \Delta t ; +N \Delta t],$$

centrée à l'instant  $t = 0$ , correspondant à la pointe de la crue  $Q_{max}$ . Plus un coefficient est élevé, plus la crue aura une forme étalée dans le temps. A l'inverse, un coefficient faible correspond à un pic de crue plus marqué et donc une crue plus rapide et moins persistante dans le temps. Les valeurs de  $C_a$  varient entre 0 et un peu plus que 1 avec les deux extrêmes comme il suit (Figure 7) :

- Hydrogramme uniforme  $C_a = \sqrt{\left(1 + \frac{1}{N}\right) \left(1 + \frac{1}{2N}\right)} \approx 1$

- Hydrogramme en dirac  $C_a = 0$



	$C_a$
1	0.17
2	0.50
3	0.51
4	0.63
5	0.72

**Figure 7.** Hydrogrammes synthétiques et valeurs associées du coefficient de forme  $C_a$

L'analyse des formes de crue a été réalisée ensuite par sous-échantillons, constitués suivant les apports intermédiaires entre Lyon et Beaucaire (Figure 8). Le scénario a) donne une vue générale des crues à Beaucaire, les deux autres, se focalisent sur les crues transmises entre l'amont et l'aval. Le scénario b) reprend toutes les crues supérieures à  $Q_2$  soit à Lyon soit à Beaucaire. Il rend compte des formes de crues des petites comme des grandes crues. Le dernier scénario c) est, quant à lui, entièrement dédié aux crues intenses et débordantes.

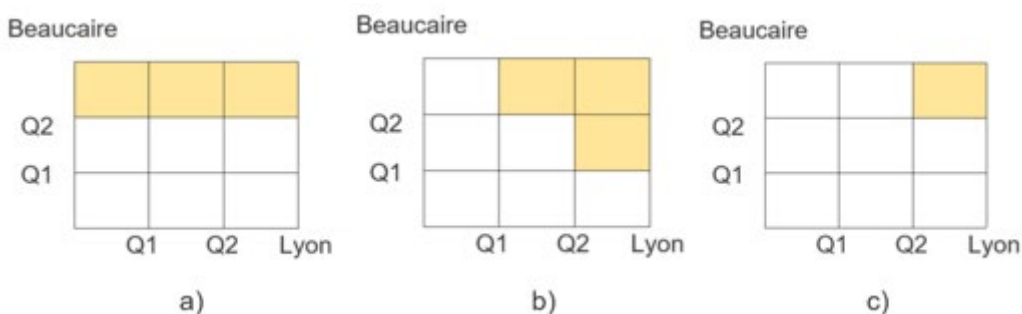


Figure 8. Constitution de sous-échantillons suivant les apports intermédiaires

Les résultats obtenus sur la forme des crues à Beaucaire avec le scénario a) sont les suivants (Figure 9) :

- Les crues sont plus étalées dans le temps avec l'aménagement des épis Girardon (évolution significative, avec un risque d'erreur de 5%) ;
- Les crues sont plus concentrées avec les travaux pour les aménagements CNR (évolution non significative, avec un risque d'erreur de 5%).

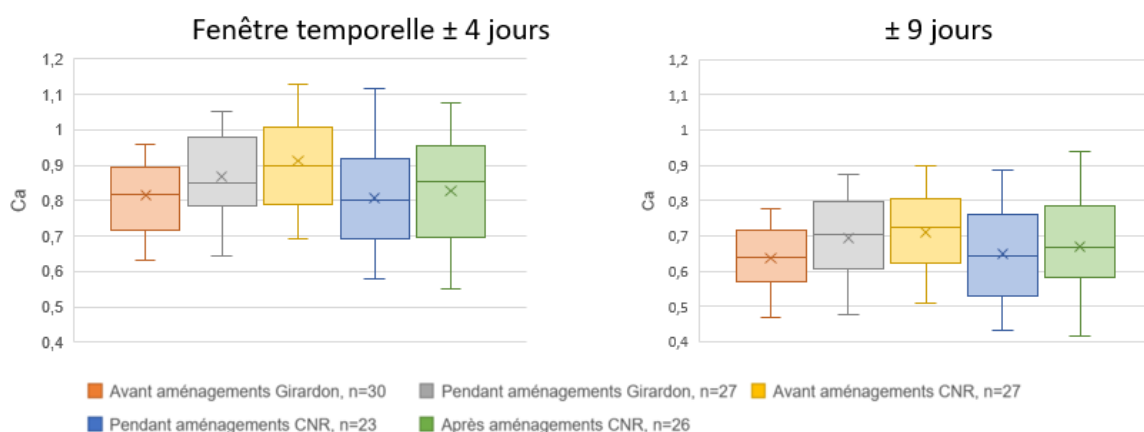
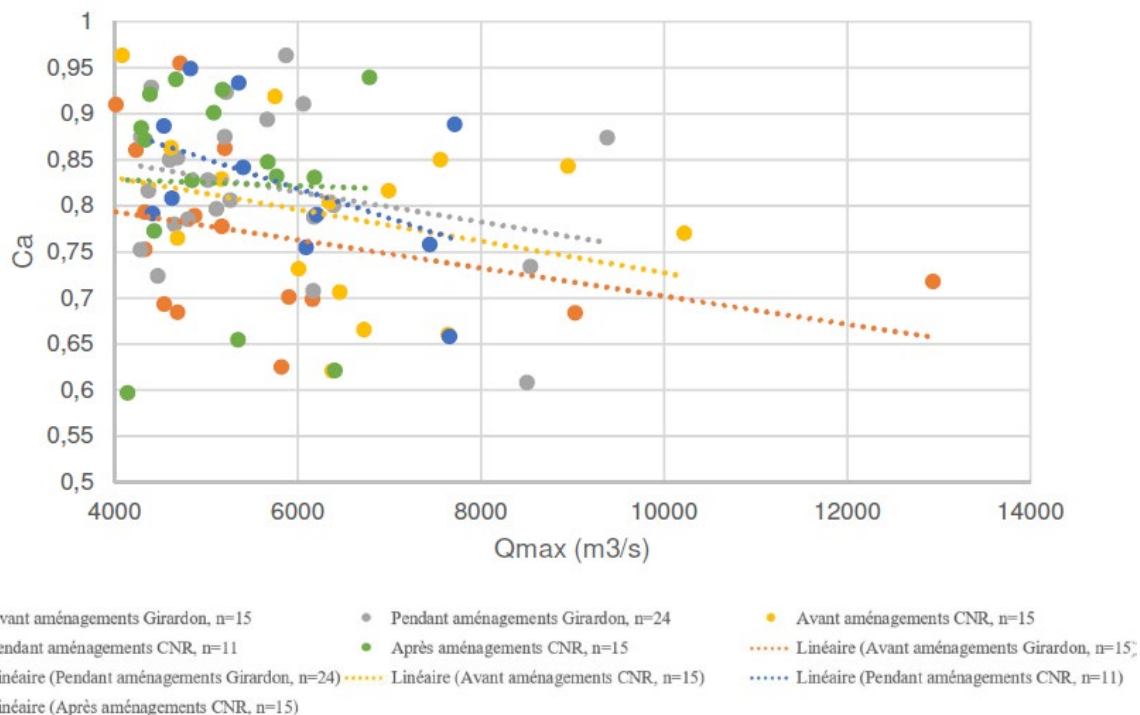


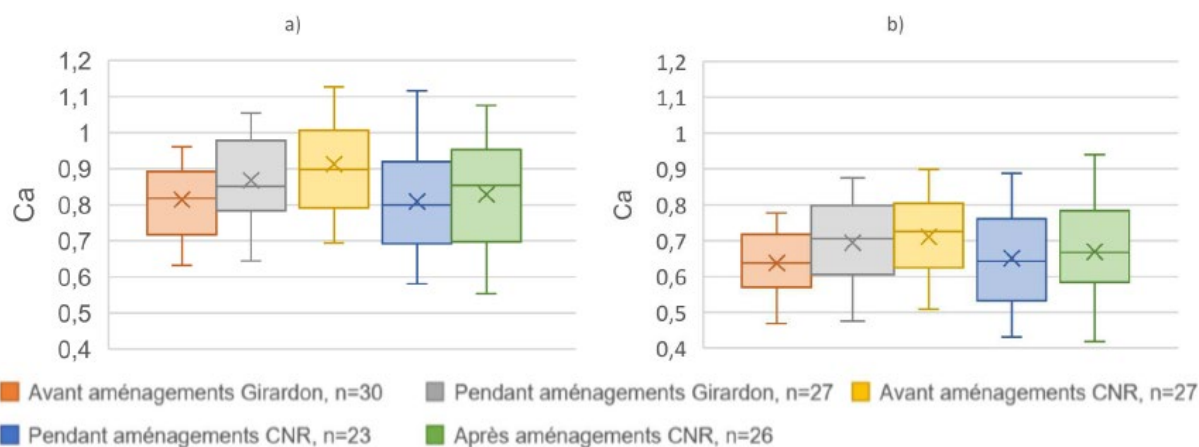
Figure 9. Evolution du coefficient de forme de crue à Beaucaire (scénario a)

Si l'on se concentre sur les crues supérieures à Q2 à Lyon ou Beaucaire (scénario b), on voit (Figure 10) que les hydrogrammes de crue sont plus « raides » (coefficient  $C_a$  plus faible) lorsque le débit augmente.



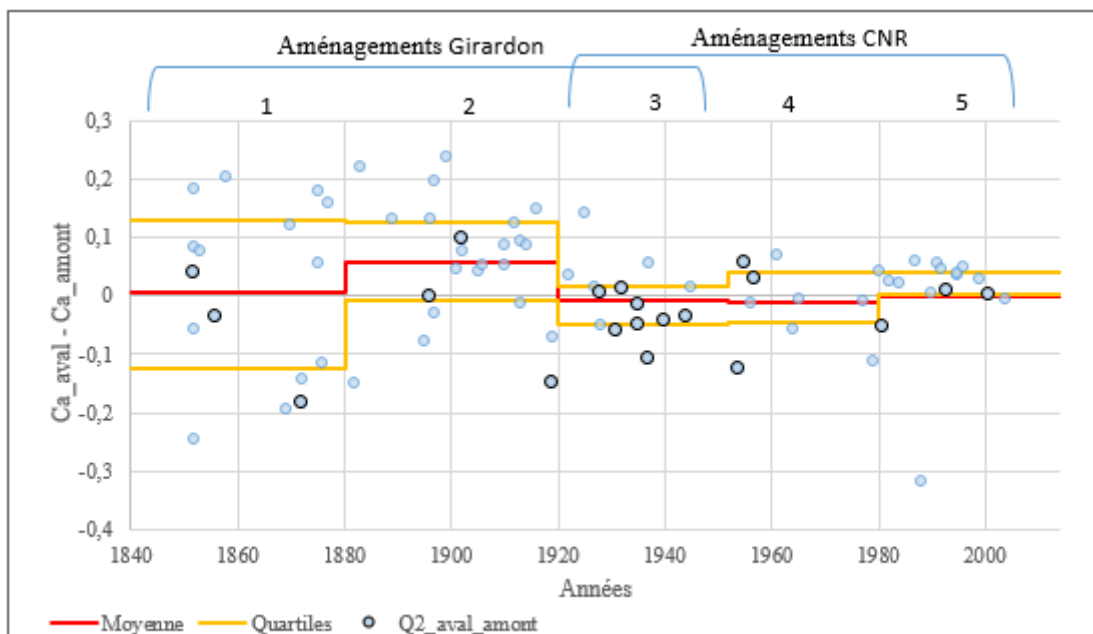
**Figure 10.** Coefficient de forme de crue à Beaucaire en fonction du débit de pointe pour une fenêtre temporelle  $\Delta t=9$  jours (80 hydrogrammes de 1850 à 2014) (scénario b)

Mais cela ne change pas le diagnostic précédent sur l'évolution du coefficient de forme de crue à Beaucaire (Figure 11).



**Figure 11.** Evolution du coefficient de forme de crue à Beaucaire (scénario b)

En raisonnant uniquement sur les crues significatives, avec propagation amont-aval (débit supérieur à  $Q_2$  à Lyon et Beaucaire, scénario c), on note une réduction de la variabilité des formes de crue entre l'amont et l'aval (Figure 12), du fait des aménagements Girardon.



**Figure 12.** Evolution de la variabilité des formes de crue entre Lyon et Beaucaire (scénario c, fenêtre temporelle de  $\pm 9$  jours pour le calcul du coefficient de forme)

## 4. Conclusion

Le principal changement constaté sur la propagation des crues entre Lyon et Beaucaire est lié aux travaux pour les aménagements CNR (1952-1980), avec une forte accélération de la propagation des crues.

L'effet des aménagements Girardon (1880-1920) est surtout sensible dans une réduction de la diversité des formes de crue entre Lyon et Beaucaire. L'analyse fine de l'effet des aménagements Girardon n'est pas possible du fait de l'absence de données infra-journalières

## 5. Bibliographie

**Corne R. (2023).** *Analyse d'évolutions sur les hydrogrammes de crue sur le Rhône en lien avec les aménagements réalisés au cours du 20<sup>ième</sup> siècle.* Rapport de stage, 5<sup>ème</sup> année d'école d'ingénieurs de Limoges, Ensil-Ensci, 28p.

**Lucas M. (2023).** *Comment valoriser les données anciennes pour l'analyse fréquentielle des crues : application au Rhône à Beaucaire de 1500 à 2020.* Thèse de Doctorat, Université de Lyon – INRAE, 172 p., <https://theses.hal.science/OSR/tel-04390159>



## Observatoire des Sédiments du Rhône

### Dispositifs scientifiques cadres



### Partenaires scientifiques



### Partenaires techniques et financiers

