

Peut-on mettre en évidence un effet des restitutions d'eau en aval du barrage de Mallemort (F) sur le peuplement piscicole de la basse Durance dans un contexte de forte dynamique hydro-sédimentaire ?

Is it possible to highlight an effect of flow releases downstream of the Mallemort dam (F) on the fish assemblage of the lower Durance in a context of strong hydro-sedimentary dynamics?

Franck Cattaneo¹ ; Antoine Polblanc¹ ; Yann Le Coarer² ; Julie Mosseri³ ; Héloïse Verdier⁴ ; Mélanie Bouilloux⁴ ; Leah Beche⁴

¹ Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA), Institut Terre-Nature-Paysage, Route de Presinge 150, CH-1254 Jussy, Suisse.
(correspondance : franck.cattaneo@hesge.ch)

² Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), Recover-Freshco, 3275 Route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix en Provence Cedex 5, France.

³ Electricité de France (EDF) – Hydro Méditerranée, 1165, rue Jean René Guillibert Gauthier de la Lauzière, 13290 Aix en Provence, France

⁴ Electricité de France (EDF), Centre d'Ingénierie Hydraulique, 4 allée du lac des Tignes, 73290 La Motte Servolex, France.

RÉSUMÉ

Sur la Durance, 8 barrages ont été construits entre Serre-Ponçon et la confluence avec le Rhône, pour l'alimentation en eau de 16 usines hydroélectriques (pour une puissance de 2000 MW) ainsi que des prises agricoles et d'eau potable via un canal latéral (canal EDF). Dans ce secteur, les peuplements piscicoles sont soumis à une importante variabilité naturelle des conditions hydroclimatiques du fait du climat méditerranéen, qui s'ajoute aux altérations des régimes hydrologique et sédimentaire liées à la présence et au fonctionnement des ouvrages. En particulier, dans le tronçon en débit réservé situé à l'aval du barrage de Mallemort en Basse Durance (tronçon d'environ 40 km) peuvent se produire des restitutions d'eau importantes en provenance du canal usinier d'EDF. Ces restitutions s'apparentent à des éclusées, entraînant des variations de débit non prévisibles pouvant être importantes, en lien notamment avec les demandes en électricité. Ici, nous analysons des données piscicoles collectées annuellement depuis 2003 sur deux stations en tronçon court-circuité à l'aval et à l'amont du barrage de Mallemort (une soumise aux restitutions et l'autre non) afin de déterminer les effets des principaux facteurs environnementaux (débit, température, matières en suspension). Nous cherchons notamment à appréhender le rôle respectif des crues naturelles par rapport à l'influence de l'exploitation des ouvrages sur les dynamiques interannuelles des peuplements. Un accent particulier est mis sur la caractérisation fine des restitutions et l'évaluation de leurs effets potentiels.

ABSTRACT

On the Durance, 8 dams have been built between Serre-Ponçon and the confluence with the Rhône, to supply water to 16 hydroelectric plants (with a capacity of 2,000 MW) as well as agricultural and drinking water intakes via a lateral canal (EDF canal). In this sector, fish populations are subject to significant natural variability in hydroclimatic conditions due to the Mediterranean climate, in addition to changes in the hydrological and sedimentary regimes linked to the presence and operation of the dams. In particular, the minimum flow reach located downstream of the Mallemort dam in the Lower Durance (a section of ca. 40 km long), can receive significant flow releases from the EDF canal. Releases are similar to hydropeaking, resulting in large and unpredictable flow variations, mainly depending on electricity demand. Here, we analyse fish data collected annually since 2003 at two stations in minimum flow sections downstream and upstream of the Mallemort dam (one subject to releases and the other not) to determine the effects of the main environmental factors (flow, temperature, suspended matter). We are especially seeking to disentangle the respective roles of natural flooding vs the influence of dam operations on the interannual dynamics of fish populations. Emphasis is placed on the detailed characterisation of hydropeaking and on the assessment of their potential effects.

MOTS CLÉS

dynamique temporelle, éclusées, mesures d'atténuation, ouvrages hydroélectriques, poissons
temporal dynamics, hydropeaking, mitigation measures, hydroelectric dams, fish

1 INTRODUCTION

La Durance est une rivière méditerranéenne aménagée pour la production d'hydroélectricité et l'irrigation agricole. Les ouvrages hydroélectriques modifient son régime hydrologique naturel en détournant la majeure partie du débit dans un canal latéral (ou canal EDF), tandis qu'un débit réduit et relativement stable est maintenu réglementairement à l'aval des barrages (débit réservé Q_r). Ces barrages n'écrètent cependant pas les crues de moyenne et grande amplitudes, ce qui génère une certaine variabilité hydrologique dans ces sections à débit réservé, maintenant une dynamique hydro-sédimentaire et morphologique significative. A l'aval du barrage de Mallemort, le débit est la résultante du débit en provenance des barrages de Cadarache puis de Mallemort (débit réservé délivré en continu, qui peut être complété par des débits déversés aux barrages, notamment lors d'épisodes de crues), et du canal EDF. Le débit du canal EDF au niveau de Mallemort est dirigé soit dans le canal EDF en direction des usines de Salon et St-Chamas puis dans l'étang de Berre, soit en restitution dans la Durance au niveau de Mallemort. Les restitutions au niveau de Mallemort, réalisées pour limiter les apports en eau et en matières en suspension (MES) soumis à quotas dans l'étang de Berre, s'apparentent à des éclusées.

Les effets des éclusées sur l'écosystème aquatique, notamment sur la faune piscicole sont bien documentés. Ces événements sont assimilables à une perturbation, dans la mesure où l'amplitude des variations de débit, les gradients de montée et descente de débit, et la fréquence de ces événements peuvent être au-delà de ce que rencontrent les organismes dans le milieu naturel. Des effets négatifs sont largement documentés sur la croissance, le comportement, le succès reproducteur, ou la migration, alors que les variations induites sur l'habitat physique limitent les densités des populations (Bipa et al., 2024 ; Hayes et al., 2024). Les structures de peuplements peuvent être altérées (Judes et al., 2021), et des phénomènes d'échouage et/ou piégeage de jeunes poissons peuvent survenir (Insulaire et al., 2024) selon la nature et la morphologie des berges.

Depuis 2003, EDF en partenariat avec l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE) et l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), et plus récemment la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA), réalise un suivi écologique dans l'objectif d'évaluer les effets potentiels des restitutions de Mallemort sur la faune piscicole. Dans cette communication, nous proposons une analyse long-terme des données acquises dans le cadre de ce suivi, afin 1) de caractériser les peuplements soumis ou non à restitutions ; 2) d'identifier les facteurs environnementaux (débit, température, MES) pouvant expliquer la dynamique temporelle de ces peuplements, et 3) d'évaluer l'effet potentiel induit par les restitutions.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 Sites d'étude

Deux stations, à l'amont et à l'aval du barrage et de la restitution de Mallemort, permettent d'étudier l'effet des restitutions sur les peuplements piscicoles :

- La station de Cadenet, en amont du barrage de Mallemort, est en débit réservé ($Q_r = 9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ depuis 2014, $4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ auparavant) mais n'est pas soumise aux restitutions du canal EDF. Le module aménagé est de $23,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Elle s'apparente à une station « témoin ».
- La station de Cheval-Blanc, située en aval du barrage de Mallemort, subit les variations hydrologiques induites par les restitutions du canal EDF. Ce secteur présente un module aménagé de $74,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour un débit réservé de $9,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($4,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avant 2014).

2.2 Echantillonnages biologiques

Les peuplements piscicoles sont échantillonnés par pêche électrique sur ces deux stations par l'Office Français de la Biodiversité (OFB). L'échantillonnage par ambiances consiste à pêcher entre 14 et 21 « placettes » d'habitat homogène ($n_{\text{Cadenet}} = 17,8 \pm 1,7$; $n_{\text{Cheval-Blanc}} = 17,3 \pm 2,3$ ambiances), d'aires comprises entre 5 et 50 m^2 . Ces ambiances sont réparties sur l'ensemble des stations et sont les plus représentatives possible des conditions d'habitats observées sur la Durance. La chronique disponible couvre la période 2003-2024.

2.3 Habitats piscicoles et données environnementales

Les conditions d'habitat locales sont décrites pour chaque ambiance par un ensemble de points de mesures régulièrement répartis ($n_{\text{moyen}} = 11,7 \pm 3,5$ points par ambiance). Sur chaque point sont relevés : la hauteur d'eau H , les vitesses de courant V (à 20%, 40% et 80% de H) et la position (prise par GPS centimétrique). Ces données permettent d'obtenir les hydro-signatures (% des couples $H-V$; Le Coarer, 2007) des ambiances. La

granulométrie de chaque ambiance est également caractérisée par la hauteur du substrat, avec en moyenne $12,5 \pm 3,7$ mesures par ambiance.

Les chroniques de débits, de concentrations en MES, et de températures représentatives des deux stations sont disponibles depuis 2005. Ces chroniques sont décrites par un ensemble de variables permettant de caractériser les conditions basses, moyennes et hautes, ainsi que leur variabilité. Une attention particulière est portée sur les événements « extrêmes » et sur la caractérisation « fine » des restitutions.

2.4 Habitats piscicoles et données environnementales

La structure des peuplements et son évolution temporelle sont analysées à l'aide d'ACP, en distinguant les tailles des individus. Les données environnementales sont également analysées par ACP afin de décrire leur évolution et mettre en évidence des années atypiques ou des événements majeurs. Des modèles linéaires permettront de relier les variables biologiques et environnementales.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Entre 2003 et 2023, 30 espèces ont été inventoriées à Cadenet et 25 à Cheval-Blanc. Les densités piscicoles, très différentes entre les deux stations, sont deux fois supérieures à Cadenet (47 vs 116 ind./100 m² pour Cheval-Blanc et Cadenet, respectivement, Polblanc et Cattanéo 2024 ; Fig. 1). Malgré une composition taxonomique très proche, les structures des peuplements des deux stations diffèrent, avec davantage de vairon, hotu, et anguille à Cheval-Blanc, et plus de barbeau, chevaine, spirilin et goujon à Cadenet.

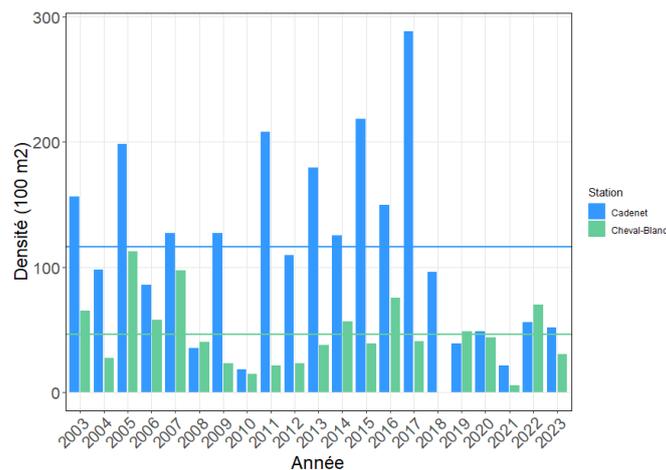


Figure 1 : Densité piscicole totale pour 100 m² par année et par station pour la chronique 2003-2023. Les traits horizontaux correspondent aux moyennes. Nb : Pas de campagne en 2018 sur Cheval-Blanc.

Les différences structurelles et de densité totale sont bien établies et persistent au fil des années. Elles pourraient résulter pour partie de l'effet des restitutions à l'aval de Mallemort, qui génèrent une grande variabilité hydrologique. Les variations fréquentes et importantes des conditions d'habitat au niveau des berges (alternances immersion/exondation) sont propices au phénomène de piégeage et d'échouage de jeunes individus. Le piégeage favorise la prédation par la faune aviaire. Cependant, d'autres éléments, tels que la structure même de l'habitat sur la station, qui présente peu de zones d'abri, ou le décapage régulier du substrat qui pourrait limiter la production primaire algale et d'invertébrés, peuvent être limitants pour la faune piscicole.

Les effets des facteurs environnementaux sont en cours d'approfondissement. Cependant, il apparaît un effet très structurant des crues, qui, selon leur période d'occurrence, entraînent une réponse différente des peuplements. En période hivernale, les crues tendent à favoriser le succès de la reproduction et à accroître l'abondance de juvéniles l'été suivant, tandis que les crues en période printanière réduisent considérablement l'abondance des jeunes de l'année. Les espèces présentent des sensibilités différentes aux événements de crues, ce qui conduit à une modification de la structure taxonomique du peuplement.

La partie aval de la Durance présente encore une dynamique hydrologique et sédimentaire importante, malgré

la régulation du débit et l'occurrence des restitutions à l'aval du barrage de Mallemort. Dans ce système méditerranéen complexe, les dynamiques interannuelles des peuplements reflètent à la fois les événements hydroclimatiques naturels que sont les crues hivernales et printanières, mais aussi la stochasticité et l'amplitude des restitutions (Le Coarer *et al.* 2017).

BIBLIOGRAPHIE

- Bipa, N. J., Stradiotti, G., Righetti, M., & Pisaturo, G. R. (2024). Impacts of hydropeaking: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 169251. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169251>
- Hayes, D. S., Bätz, N., Tonolla, D., Merl, K., Auer, S., Gorla, L., ... & Greimel, F. (2024). Why hydropeaking frequency matters: effects of recurring stranding on fish. *Journal of Ecohydraulics*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/24705357.2024.2426820>
- Insulaire, F., Lamouroux, N., Barillier, A., Paillex, A., Capra, H., Cattaneo, F., & Gouraud, V. (2024). Characterizing the effects of morphological microstructures and hydropeaks on fish stranding in rivers. *River Research and Applications*. <https://doi.org/10.1002/rra.4277>
- Judes, C., Gouraud, V., Capra, H., Maire, A., Barillier, A., & Lamouroux, N. (2021). Consistent but secondary influence of hydropeaking on stream fish assemblages in space and time. *Journal of Ecohydraulics*, 6(2), 157-171. <https://doi.org/10.1080/24705357.2020.1790047>
- Le Coarer, Y. (2007). Hydraulic signatures for ecological modelling at different scales. *Aquatic Ecology*, 41, 451-459.
- Le Coarer, Y., Carrel, G., & Lizée, M.-H. (2017). Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval-Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2017. UR RECOVER, Irstea, Aix-en-Provence, 65 p.
- Polblanc, A. & Cattaneo, F. (2024). Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval-Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2023. Rapport HEPIA Genève pour EDF, 76 p.