

Efficacité des restaurations du Vieux Rhin (France) : une analyse rétrospective d'une décennie de chroniques de suivi des communautés piscicoles

Effectiveness of restoration in the Old Rhine river (France): a retrospective analysis of a decade of fish community monitoring records.

Cybill Staentzel¹, Jean-Nicolas Beisel¹, Yorick Reyjol² & Agnès Barillier³

1. Université de Strasbourg, ENGEES, CNRS, Live UMR 7362, Strasbourg, France

2. PatriNat (OFB-MNHN-CNRS-IRD), 75005 Paris, France

3. Centre d'ingénierie hydraulique, Electricité de France (EDF), Savoie Technolac, France

cybill.staentzel@engees.unistra.fr ; jean-nicolas.beisel@engees.unistra.fr ; yorick.reyjol@mnhn.fr ; agnes.barillier@edf.fr

RÉSUMÉ

La restauration d'environnements fluviaux fortement anthropisés représente un défi majeur, en raison des altérations profondes de ces écosystèmes et des processus associés. Les actions de restauration du Vieux Rhin (Rhin Supérieur, France) ont été mises en œuvre à partir de 2013 pour améliorer la qualité des habitats aquatiques et soutenir la biodiversité associée. Cette étude évalue l'efficacité de 3 types d'intervention sur une période allant jusqu'à 12 ans post-travaux, au sein d'un protocole BACI avec une chronique de suivi de plus de 20 000 données concernant les communautés piscicoles et les habitats aquatiques. Les actions étudiées incluent des opérations par injections sédimentaires ou par érosion maîtrisée avec ou sans l'installation d'épis transversaux artificiels. Nos résultats montrent une diversification des habitats aquatiques dans les zones restaurées, mais cette diversification reste localisée à la zone de travaux sans diffusion significative vers l'aval. Certains types d'action ont favorisé des conditions inédites dans le fleuve, contribuant à l'émergence de zones refuges aquatiques hydrauliques et thermiques favorables à la présence de juvéniles. L'impact des espèces exotiques envahissantes sur la structure des communautés piscicoles est également discutée. *In fine*, les résultats apportent des éléments de réponse à une question cruciale sur l'efficacité et la durabilité des actions de restauration dans ces environnements fortement anthropisés, avec un fort potentiel d'application à d'autres systèmes fluviaux.

ABSTRACT

Restoration of highly anthropized river environments represents a major challenge due to the profound alterations in these ecosystems and their associated processes. Restoration actions on the Old Rhine (Upper Rhine, France) have been implemented since 2013 to improve aquatic habitat quality and support associated biodiversity. This study evaluates the effectiveness of three types of intervention over a period of up to 12 years post-implementation, using a BACI protocol and monitoring more than 20,000 data points on fish communities and aquatic habitats. The interventions studied include gravel augmentation and controlled bank erosion, with or without the installation of artificial transverse groynes. Our results showed a diversification of aquatic habitats within the restored areas; however, this diversification remains localized to the intervention zones, with no significant downstream propagation. Certain types of intervention created unprecedented conditions in the river, fostering the emergence of hydraulic and thermal aquatic refuge zones that are favorable to juvenile fish. The impact of invasive alien species on the structure of fish communities was also discussed. Ultimately, the results provided insights into a crucial question regarding the effectiveness and durability of restoration actions in these heavily anthropized environments, with strong potential for application to other river systems.

MOTS CLÉS

Erosion maîtrisée, injections sédimentaires, zones-refuges, espèces exotiques envahissantes, grands fleuves fortement anthropisés

Controlled bank erosion, gravel augmentation, refugia, invasive species, anthropized river environments

1 INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, les grands fleuves ont été fortement dégradés, entraînant la disparition des bras secondaires, des îles naturelles, des annexes végétalisées et des mosaïques d'habitats au fond des rivières. Les processus écologiques fonctionnels et naturels ont été altérés par la navigation, la protection contre les inondations, la construction d'ouvrages hydroélectriques, la surpêche et les rejets de polluants (Friberg, 2014 ; Grill et al., 2019). Ces perturbations ont massivement impacté les cycles de vie des organismes aquatiques, malgré le maintien de quelques fragments de forêts alluviales résiduelles (Carbiener, 1970). Ces espaces hétérogènes soutiennent une forte diversité d'espèces, des propriétés physico-chimiques variées et une résilience élevée face aux perturbations. Jusqu'au milieu du XX^e siècle, le Rhin Supérieur était l'un des hydrosystèmes européens les plus riches en poissons, avec des populations abondantes de saumons (Wantzen et al., 2022). Toutefois, d'importantes activités anthropiques ont conduit à l'extinction de 19 espèces, dont le saumon, et à la réduction drastique des populations restantes. Les grands travaux d'ingénierie hydraulique ont modifié en profondeur la qualité hydromorphologique du fleuve tout au long du XX^e siècle (Arnaud et al., 2019). En 1986, l'accident industriel de Sandoz a entraîné le rejet de 20 tonnes de polluants toxiques dans le Rhin, causant la disparition des poissons et des invertébrés sur 400 km de cours d'eau (Giger, 2009). Cet événement a marqué un tournant pour la gestion du Rhin, aboutissant à la mise en place d'un programme d'action international visant à améliorer la qualité de l'eau et à restaurer la biodiversité. Malgré des progrès significatifs, la morphologie du Rhin Supérieur reste homogène, avec des habitats peu diversifiés. A partir de 2013, plusieurs initiatives de restauration dans le Vieux Rhin ont vu le jour, combinant érosion contrôlée des berges et installation d'épis transversaux artificiels mais également injections sédimentaires pour favoriser une dynamique naturelle d'érosion et de sédimentation (Garnier et Barillier, 2015). Il a déjà été démontré que certaines de ces opérations ont permis le développement de plantes aquatiques et d'invertébrés, notamment les Odonates (Staentzel et al., 2019). Or, les chroniques de suivis piscicoles n'ont jamais été explorées. Leur analyse vise à renforcer une synthèse globale sur l'efficacité et la durabilité des actions de restauration dans le Rhin en explorant l'effet sur ces communautés. Nous formulons l'hypothèse que la diversification des habitats a favorisé une diversité taxonomique et fonctionnelle accrue, tout en limitant l'expansion du gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*) grâce à l'augmentation des interactions biotiques.

2 METHODOLOGIE

Les sites d'étude se situent sur le Vieux Rhin, un tronçon de 50 km en parallèle au Grand Canal d'Alsace, en aval de Bâle : (1) O3. Secteur Ottmarsheim. Type d'action : Erosion maîtrisée avec implantation d'épis transversaux artificiels. Chronique de suivi : 2013-2023 (Figure 1) ; (2) O1. Secteur Kembs. Type d'action : Erosion maîtrisée sans implantation d'épis transversaux artificiels. Chronique de suivi : 2014-2023, (3) F3. Secteur Fessenheim. Type d'action : Erosion maîtrisée sans implantation d'épis transversaux artificiels. Chronique de suivi : 2014-2019- 2023, (4) I1. Secteur Rosenau. Type d'action : Injection sédimentaire. Chronique de suivi : 2016-2020, (5) I2. Secteur Rosenau. Type d'action : Injection sédimentaire. Chronique de suivi : 2016-2023. Les campagnes de pêche électrique ont suivi un protocole standard de 100 points répartis le long des berges pour suivre les évolutions piscicoles dans : (i) une zone contrôle de référence, (ii) une zone contrôle à l'aval, et (iii) la zone de travaux. L'équipement utilisé (générateur Kleiner ELT2) délivrait un courant continu de 6 A et une tension de 300 à 500 V. Le protocole, basé sur la méthode de *Point Abundance Sampling* (Persat & Copp, 1989), cible les habitats favorables aux juvéniles. Chaque point de pêche, espacé de 3-4 m, couvrait environ 12 m², avec un déplacement circulaire de l'anode sur un rayon de 1 m, pour une durée de 15 à 30 secondes. Les mesures biométriques respectaient les normes XP T90-383 et les recommandations de l'ONEMA (2012), assurant rapidité, qualité des données et manipulation minimaliste des poissons. Le protocole, identique chaque année, a permis de construire une chronique pré-, in- et post-restauration. Par ailleurs, quatre stations récurrentes non restaurées ont également été analysées pour suivre les évolutions piscicoles sans interférence avec les travaux de restauration. La chronique couvre des pas de temps de 3 ans depuis 2008.

Par le biais de nos travaux, nous souhaitons proposer un cadre pour l'évaluation des travaux de restauration pour les communautés piscicoles intégrant trois dimensions : la patrimonialité, la fonctionnalité et la stabilité. Plusieurs métriques de chacune de ces trois dimensions ont été évaluées par méta-réanalyse. Il s'agit d'une méthode d'analyse scientifique qui consiste à réexaminer des données issues d'études précédentes hétérogènes – visant à identifier des tendances et effets partagés.

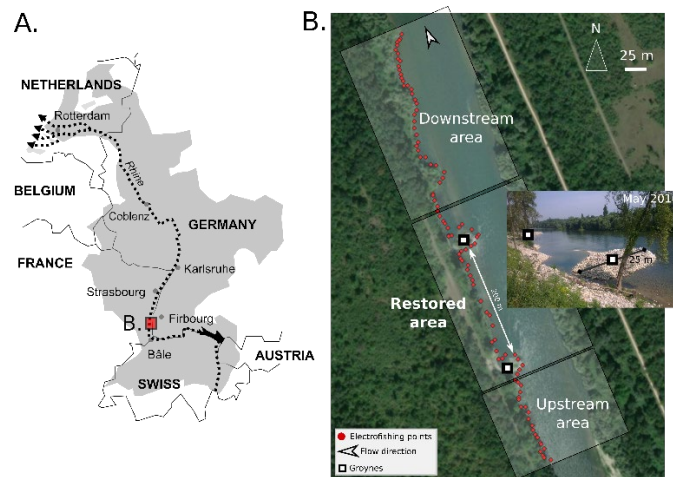


Figure 1 : Localisation d'O3, site d'étude ayant été soumis à l'érosion maîtrisée avec implantation d'épis transversaux artificiels avec le design expérimental associé (Staentzel et al., in prep).

3 RESULTATS

3.1 Zoom sur O3

Les espèces dominantes observées étaient le chevesne (*Squalius cephalus*), le barbeau fluviatile (*Barbus barbus*) et le gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*). Les chevesnes ont vu leurs abondances relatives diminuer dans les trois zones, tandis que les gobies, absents de la zone restaurée en 2013, ont fortement progressé pour représenter 42,5 % des effectifs en 2019, bien que leurs proportions restent supérieures en amont (51,8 %) et en aval (62 %). Les barbeaux montrent des tendances contrastées : une augmentation modérée en amont et dans la zone restaurée, mais une baisse en aval. Après quatre ans, des contrastes significatifs se dessinent entre la zone restaurée et les autres secteurs. La zone restaurée se distingue par une richesse et une diversité accrue, mais les tailles moyennes des poissons y sont inférieures à celles observées en aval. Une analyse par correspondance multiple révèle que les traits fonctionnels liés à la tolérance à la dégradation de l'habitat et aux préférences alimentaires (principalement insectivores) structurent la première dimension, opposant une communauté plus sensible dans la zone restaurée à des espèces plus tolérantes en amont et en aval (Figure 2). Les analyses de dissimilarité (Jaccard) soulignent des évolutions majeures : la zone restaurée présente une stabilité écologique accrue malgré l'invasion du gobie. Toutefois, ces habitats n'ont pas encore permis l'installation significative d'espèces patrimoniales comme le saumon ou l'anguille, bien que des conditions favorables aient été en partie recréées.

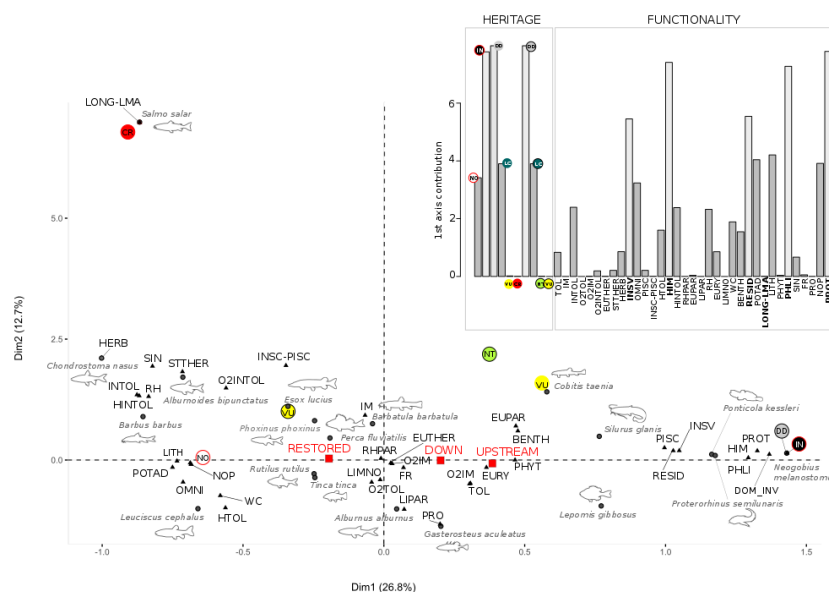


Figure 2 : Différentiel de composition structurelle et fonctionnelle au sein des communautés piscicoles au niveau du site O3, érosion maîtrisée avec implantation d'épis transversaux artificiels (Staentzel et al., in prep).

3.2 Cadre comparatif multi-opérations

Les chroniques de suivi long-terme ont permis de rassembler plus de 20 000 données sur les habitats aquatiques et les communautés piscicoles. Les premiers résultats de la méta-réanalyse seront présentés en séance, absorbant les spécificités locales telles qu'identifiées sur O3 – pour visualiser des tendances concrètes et effets partagés. Ils permettent également de mesurer des différences d'effets entre chaque type d'action au sein des trois dimensions testées : patrimonialité, fonctionnalité et stabilité.

4 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les mesures de restauration, telles que l'érosion contrôlée des berges et la création d'épis transversaux, ont amélioré la diversité morphologique et la qualité des habitats (pools, barres sédimentaires, faciès de dépôt). Ces mesures sont cohérentes avec des études antérieures qui démontrent l'efficacité des aménagements pour favoriser les habitats piscicoles (Chardon et al., 2020). Les traits fonctionnels montrent que la zone restaurée abrite des espèces moins tolérantes à la dégradation de l'habitat, ce qui témoigne d'une amélioration de la qualité écologique. Cependant, les effets sur les espèces patrimoniales restent limités. Les espèces exotiques envahissantes, notamment le gobie à taches noires, sont largement représentées mais apparaissent moins abondantes dans la zone restaurée par rapport aux autres zones. Ainsi, les résultats sur le site O3 montrent que les habitats restaurés favorisent une diversification des espèces, une proportion de juvéniles plus grande – et ce grâce à l'apparition de zones refuges hydrauliques et thermiques offrant des conditions inédites dans le Vieux Rhin. Cependant, dans des environnements fluviaux fortement anthropisés tels que le Rhin, l'absence de connectivité longitudinale et les pressions anthropiques persistantes (telles que l'urbanisation, l'agriculture intensive ou la pollution) peuvent limiter l'efficacité à long terme des actions de restauration. Ces facteurs peuvent restreindre les bénéfices écologiques attendus, notamment à l'aval, où la diffusion des effets de la restauration reste faible. Ce constat soulève la question de la capacité à restaurer non seulement des habitats, mais aussi les processus écologiques essentiels à la résilience des écosystèmes fluviaux. En effet, les actions de restauration semblent ici limitées à une approche localisée qui ne permet pas une transformation à l'échelle du bassin versant. Le cadre comparatif multi-opérations a pour objectif d'offrir des éléments de réponse sur l'efficacité de différents types d'actions de restauration pour alimenter la hiérarchisation des actions, l'évaluation de leurs effets à long terme et la prise de décision dans la gestion de ces systèmes complexes.

BIBLIOGRAPHIE

- Arnaud, F., Schmitt, L., Johnstone, K., Rollet, A. J., & Piégay, H. (2019). Engineering impacts on the Upper Rhine channel and floodplain over two centuries. *Geomorphology*.
- Carbiener, R. (1970). Un exemple de type forestier exceptionnel pour l'Europe Occidentale: La forêt du lit majeur du Rhin au niveau du fossé Rhénan. (Fraxino-Ulmetum Oberd. 53) Intérêt écologique et Biogéographique. Comparaison à d'autres forêts thermophiles. *Vegetatio*, 20(1), 97-148.
- Chardon, V., Schmitt, L., Piégay, H., Beisel, J. N., Staentzel, C., Barillier, A., & Clutier, A. (2020). Effects of transverse Groynes on Meso-Habitat suitability for native fish species on a regulated by-passed large river: a case study along the rhine river. *Water*, 12(4), 987.
- Friberg, N. (2014). Impacts and indicators of change in lotic ecosystems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1(6), 513-531.
- Garnier, A., Barillier, A., 2015. The Kembs site project: environmental integration of a large existing hydropower scheme. *La Houille Blanche* (4), 21–28 <https://doi.org/10.1051/lhb/20150041>.
- Giger, W. (2009). The Rhine red, the fish dead—the 1986 Schweizerhalle disaster, a retrospect and long-term impact assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(1), 98-111.
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, et al., 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* 569 (7755), 215. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>.
- Staentzel, C., Combroux, I., Barillier, A., Grac, C., Chanez, E., Beisel, J.N., 2019. Effects of a river restoration project along the Old Rhine River (France-Germany): responses of macroinvertebrate communities. *Ecol. Eng.* 127, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.024>.
- Wantzen, K. M., Uehlinger, U., Van der Velde, G., Leuven, R. S., Schmitt, L., & Beisel, J. N. (2022). The Rhine River Basin. In *Rivers of Europe* (pp. 331-389). Elsevier.