

Stratégie pour la biodiversité 2030

Le partage de l'eau

Restauration de la fragmentation pré-Anthropocène pour dynamiser les fonctionnalités et la biodiversité de rivières sauvages

**Association de Sauvegarde des Moulins de la Loire
Patrice Cadet**

2022

Plan

Résumé	3
Introduction	4
Les pistes	7
De la rivière anthropisée à la rivière sauvage : impact des obstacles	9
20 ans de destructions : bilan	12
Les conséquences des perturbations constantes de l'écosystème par la restauration de la continuité écologique	14
Les obstacles et la sélection naturelle indispensable à la survie des poissons migrateurs	14
Les conséquences des perturbations constantes de l'écosystème par la restauration de la continuité écologique	14
Les obstacles invisibles	15
Les obstacles physiques naturels	15
Chimiques	15
Les obstacles socioéconomiques : la pêche, la régulation du silure et l'empoisonnement	17
La pêche	17
Le silure	18
Les lâchers de repeuplement	18
Les proies	18
Propositions pour prolonger la biodiversité aquatique	19
Priorité 1 : éviter l'absence d'eau dans les rivières	19
Comment garder de l'eau	19
Quand stocker de l'eau	20
Où garder de l'eau	20
Les conséquences de cette stratégie nouvelle	20
Priorité 2 : une eau de bonne qualité	21
Priorité 3 : les espèces particulières	22
Les espèces amphihalines	22
Les poissons d'élevage	23
Les espèces envahissantes	23
Conclusion	24
Bibliographie	26

Résumé.

Il existe un contraste énorme entre les mesures qui sont prises pour ralentir le dérèglement climatique d'ici une cinquantaine d'années, et le fait qu'il ne faille que quelques minutes pour que la plupart des organismes aquatiques meurent lorsque l'eau vient à disparaître. Ce qui, il y a encore 20 ans en arrière, n'était pas envisageable, devient maintenant une réalité avec l'apparition de sécheresses extrêmement longues, qui assèchent totalement nos rivières, une situation que les experts nous prédisent de plus en plus rude dans les années qui viennent.

Dans tous les pays du monde, lorsque la pluie ne tombe plus, le seul moyen pour disposer d'eau, c'est d'en stocker de grandes quantités avec des barrages ou des retenues quand la pluie est au contraire trop abondante et provoque des inondations. Tout ce qui contribue à faciliter l'écoulement de l'eau directement vers la mer sans en garder, conduit inévitablement à une catastrophe pour les hommes et pour la nature. Cette situation est totalement artificielle. L'eau a toujours été retenue dans les cours d'eau, même avant qu'il y ait des hommes sur terre.

Dans ce contexte, la sauvegarde intégrale de la biodiversité aquatique historique s'efface devant la nécessité de permettre au plus grand nombre possible des organismes qui la compose aujourd'hui de survivre jusqu'à ce que le dérèglement climatique soit jugulé, c'est-à-dire au moins un siècle. L'une des actions va consister à restaurer leur habitat, c'est-à-dire les rivières sauvages pré-Anthropocène dans lesquelles cette biodiversité s'est épanouie. La principale difficulté réside dans la reconstitution de la fragmentation naturelle des rivières sauvages, composée de centaines de milliers de barrages de petites tailles que les embâcles et les castors et avaient bâtis durant plus de 10 millions d'années. L'arasement des barrages les plus hauts que nous avons construits, utilisés pour produire de l'énergie et de l'eau potable, est devenu impossible, sauf à mettre la vie des hommes en danger. Ce sont pourtant ces grands barrages qui ont physiquement bloqué la circulation des poissons et des sédiments, alimentant la stratégie de restauration de la continuité écologique par destruction des obstacles. Pour appliquer cette stratégie, il a fallu se rabattre sur l'effacement des petits ouvrages apparemment « sans usage humain déterminant », comme les seuils de moulins ou agricole. Malheureusement, cette politique élimine les seuls composants caractéristiques des rivières sauvages existant encore actuellement : les ouvrages de petites tailles, initialement construits par des animaux, puis par les constructeurs de moulins. Leur présence entraîne un ralentissement du courant et un relèvement de la ligne d'eau à l'origine de toutes les fonctionnalités naturelles des rivières sauvages. Des fonctionnalités naturelles transférées aux rivières actuelles grâce aux seuils. Il est probable que la déstabilisation perpétuelle du régime hydrologique des rivières par les opérations répétées d'hydromorphologie, et plus particulièrement les destructions de seuils conduites depuis 40 ans, ont largement contribué à désorienter les espèces migratrices, comme les sédentaires, participant à l'accélération de l'érosion de la biodiversité aquatique sur une période aussi courte de 30 ans, alors que le climat se dégrade bien plus lentement.

D'ailleurs, que ferait-on pour refaire des rivières sauvages aujourd'hui sans intervenir directement dans la rivière ? C'est simple, il faudrait faire faire le travail par un autre ingénieur qui a fait ses preuves avant nous, le castor. C'est le seul ingénieur connu de « l'écosystème rivière ». Et que ferait le castor pour reconstruire cet écosystème que nous lui confierions après avoir effacé tous nos ouvrages en travers du lit mineur ou majeur : il reconstruirait nos seuils de moulins en bois, mais de même gabarit. C'est bien la preuve que la clé de la rivière sauvage réside dans ce type d'ouvrage.

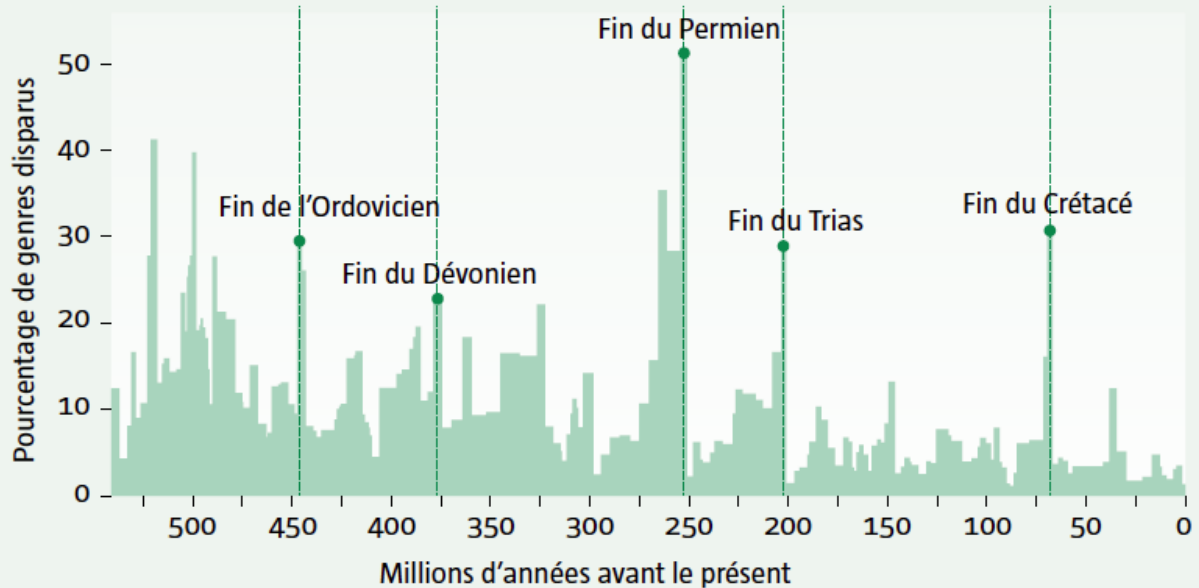
Cette proposition s'appuie au contraire sur la fragmentation existante, pour transformer les inconvénients liés au déplacement de certaines espèces migratrices, en avantages. Le premier d'entre eux étant, pour les barrages, la capacité d'alimenter le cours d'eau en permanence, même pendant les sécheresses intenses qui tarissent les sources. Les avantages collatéraux d'apports d'eau permettent de corriger d'autres paramètres dégradant pour les poissons des zones tempérées : la température, lorsque l'eau est prélevée à la base d'un ouvrage de grande taille créant un gradient thermique de profondeur, et le débit, très important pour les migrateurs amphihalins, notamment en montaison durant l'étiage. Mais les apports d'eau, durant les périodes de basses eaux, sont également un bon moyen d'atténuer les obstacles invisibles, comme les pollutions, en les diluant pour les maintenir sous le seuil léthale. L'impact de la pollution est pernicieux, correspondant à une perte progressive de vitalité des poissons, mais bien moins spectaculaire que l'accumulation des poissons au pied d'un ouvrage, qui n'est donc pas nécessairement lié à des difficultés physiques. *L'étude internationale sur les résidus médicamenteux, dont la présence dans nos rivières date du 20^{ème} siècle, explique bien mieux l'accélération de la perte en biodiversité aquatique concomitante à cette période, que la présence de seuils de moulins datant de 1000 ans !*

Accessoirement, réguler température, débit et pollution, est aussi un outil efficace pour limiter la reproduction des espèces dites « envahissantes », profitant des conditions dégradées actuelles, en rétablissant la compétitivité des espèces traditionnelles, de manière à laisser la nature, et pas les hommes, choisir la composition des assemblages d'espèces de demain. Ils seront nécessairement différents de ceux d'hier, *la biodiversité étant un processus dynamique. Interférer avec la nature en privilégiant certaines espèces au détriment d'autres, économiquement moins intéressantes, et certainement le meilleur moyen de se retrouver demain, avec des rivières vide de toute vie.* Cette proposition vise à aider la nature à se positionner à côté des humains dont l'expansion est inexorable, pas à la diriger, ni à la manipuler.

Introduction

Parmi toutes les espèces vivantes, une seule a subi une évolution particulière de son cerveau qui lui a permis finalement de maîtriser toutes les autres, puis de maîtriser la nature qui l'entoure pour la mettre à son service : l'homme. Pourquoi lui ? on ne sait pas. Mais le résultat est là, magnifique pour les uns, et triste pour les autres. Magnifique, parce qu'il a réussi à accroître considérablement son espérance de vie, qu'il peut communiquer avec ses semblables quel que soit l'endroit où il se trouve sur la planète ; triste, parce qu'en vivant plus longtemps, sa population augmente constamment, empiétant forcément sur les habitats des autres espèces, accélérant leur disparition progressive et finalement, mettant très probablement sa propre existence en danger. L'homme a déclenché la 6^{ème} extinction de masse, ou plutôt accentué le processus d'extinction, puisque les études révèlent que ceci s'est déjà déroulé 5 fois avant qu'il n'existe. C'est à la fois inquiétant et rassurant puisque cela prouve que la vie renaît systématiquement, sous d'autres formes et que des espèces apparaissent et disparaissent aussi entre les pics majeurs d'extinction qui sont séparés de plusieurs dizaines de millions d'années.

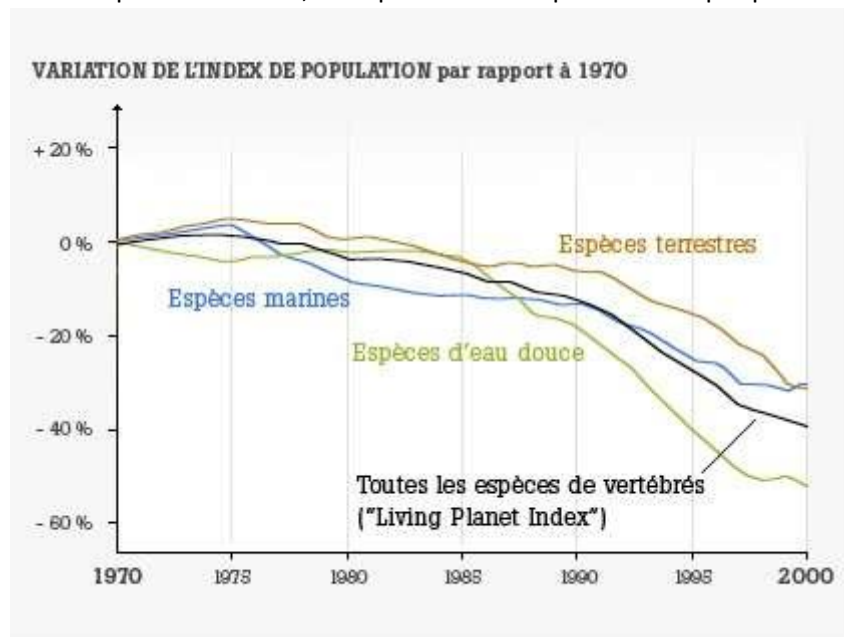
LES CINQ GRANDES EXTINCTIONS



Ce graphique représente les extinctions marines, car ce sont elles qui fournissent les meilleurs points de comparaison. Il s'agit des genres et non des espèces. Ainsi l'extinction de la fin du Permien concerne un peu plus de la moitié des genres mais 95 % de toutes les espèces. Les dinosaures ont disparu à la fin du Crétacé. ●

— *Boundless Biology*, 8 janvier 2016.

L'inquiétude naît de ce qu'actuellement, la disparition des espèces est trop rapide. Leur déclin se



Boundless Biology, 8 janvier 2016

manifeste sur quelques dizaines d'années comme le montre le graphique ci-dessous (*Futura Planète*). Et comme notre vie dépend aussi de celle des animaux, il y a de quoi s'inquiéter. Si le processus lent

de dégradation du climat qui devrait prendre un ou deux siècles, se mesure de manière significative sur une période aussi courte de 30 ans, durant laquelle plus de 50% des espèces d'eau douce ont disparu, il ne fait aucun doute qu'en 2030, elles auront quasiment toutes disparues si des mesures ne sont pas prises pour atténuer immédiatement l'impact du dérèglement climatique.

Malheureusement, il est matériellement impossible, quels que soient nos efforts pour corriger son évolution, de provoquer une amélioration du climat suffisamment importante pour rétablir, en un laps de temps aussi court, des conditions propices au développement de nos espèces aquatiques traditionnelles. D'autant plus que plusieurs limites auraient été franchies depuis déjà un certain temps, comme par exemple la chaleur extrême des océans (70% de la surface de la planète) qui a passé un point de non-retour en 2014 (Tanaka & Van Houtan, 2022). C'est la raison pour laquelle, comme d'autres groupes de réflexion, nous proposons, dans ce document, un programme d'actions destinées à préserver les espèces aquatiques d'eau douce, en attendant que les autres paramètres s'améliorent et qu'elles puissent se prendre en main toute seules comme par le passé.

Dans toutes les propositions élaborées jusqu'à présent, publiées par la commission européenne ou par les gouvernements, la ligne directrice consiste à effacer toutes traces humaines dans les écosystèmes. Selon eux, cette action serait suffisante pour leur rendre l'aspect (et les fonctions) qu'ils avaient lorsque nous n'étions encore que des grands singes, et permettre à la faune et à la flore de revenir à sa richesse et à son équilibre ancien. A l'appui de ce qui n'est en fait qu'une hypothèse, c'est effectivement dans les zones où il n'y a pas ou très peu d'hommes sur la planète que la faune est généralement la plus abondante, même si elle est tout de même dépendante de ses activités lointaines, puisqu'elles ne sont pas épargnées par le réchauffement climatique qui n'a pas de frontière.

Ce programme se veut pragmatique, conscient qu'il est totalement impossible de restaurer la biodiversité qui existait il y a 100 ou 200 000 ans, dans la mesure où ceci supposerait que nous pourrions mettre fin à la dynamique naturelle d'évolution de la biodiversité, processus qui se produit régulièrement depuis que la terre existe, et surtout réguler la population humaine. D'autre part, après la 6^{ème} extinction, il y en aura une 7^{ème}. Pourquoi, sous prétexte que nous sommes partie prenante de cette extinction, n'y en aurait-il pas d'autres ensuite, la vie renaissant chaque fois sous d'autres formes ? Notre objectif est beaucoup plus modeste. Comme il est impossible de ramener en 20 ans la température du globe et la pollution globale, au niveau de ce qu'elles étaient avant l'ère industrielle, il y a 2 siècles, les propositions ne visent pas à empêcher l'extinction de toutes les espèces, mais à ralentir cette extinction pour permettre à certaines d'entre elles de s'adapter aux nouvelles règles environnementales et surtout de ne pas figurer nous-mêmes parmi les espèces condamnées.

Nos propositions sont basées sur l'observation de la nature et les techniques capables d'atténuer instantanément, c'est-à-dire en moins de 10 ans, les effets du dérèglement climatique sur les espèces en général. Il nous semble dangereux de concentrer les actions pour sauver coûte que coûte quelques espèces, sous prétexte qu'elles sont emblématiques et anciennes, avec des mesures qui conduisent à en éliminer d'autres, considérées comme banales. Nous ne savons pas de quoi sera fait l'avenir à la vitesse où vont les choses, nous pensons qu'il faut tenter de recréer un équilibre naturel qui soit propice au plus grand nombre d'espèces, emblématiques ou pas. Ceci ne signifie pas que les espèces qui disparaîtraient de France par exemple, disparaîtraient définitivement de la planète ; elles

se déplaceraient vers le Nord et reviendraient à la prochaine glaciation quand les conditions de vie leurs seront à nouveaux favorables.

Les pistes

De nombreuses espèces aquatiques disparaissent parce que leur environnement et leur habitat se dégradent trop vite pour leur permettre de s'adapter. Par conséquent, recréer un écosystème rivière sauvage, avec ses habitats et une eau de qualité, en se rapprochant autant que possible de ce qui existait il y a 1000 ans, est une piste à privilégier, en faisant le moins de concessions possibles.

Pour que des espèces s'adaptent à un environnement nouveau, il leur faut disposer d'un temps suffisamment long, de plusieurs centaines d'années, à condition que les caractéristiques de ce nouvel environnement restent stables et ne changent pas constamment. Ce n'est pas la situation actuellement. Même si nous arrêtons demain toutes nos émissions de gaz à effet de serre, la dégradation climatique se poursuivrait encore pendant au moins 1 siècle ! Ce qui oriente les actions vers une atténuation locale des effets du dérèglement climatique qui sont les plus impactants pour la faune aquatique local. (Sans oublier que les interventions lourdes pour les travaux d'hydromorphologies se déroulent en permanence).

Comme un poisson vit dans l'eau, les facteurs déterminants son existence sont plutôt simples à hiérarchiser.

- **Priorité 1** : présence permanente d'eau. L'absence d'eau est évidemment la situation la plus dramatique qui soit pour un poisson puisqu'il va mourir en quelques minutes. Avec 95% du territoire français en vigilance sécheresse ces dernières années et l'assèchement total d'un grand nombre de rivières, ce paramètre se place au tout premier rang des préoccupations. Pas d'eau, pas de vie.
- **Priorité 2** : présence permanente d'un environnement aquatique compatible avec le cycle biologique des poissons de nos régions tempérées, correspondant à celui qui a permis à la faune aquatique que nous connaissons de se multiplier pendant des milliers sinon des millions d'années avant notre ère. Autrement dit, un écosystème stable, avec une eau la moins polluée possible et une température adéquate pour restaurer la compétitivité de nos espèces de climat tempéré.
- **La priorité 3** concerne, pour un certain nombre d'espèces, et notamment les plus célèbres, les migratrices, la nécessité de se déplacer dans la rivière pour atteindre des zones de frayère aux caractéristiques bien particulières, mais bien connues, et se nourrir.

Toute l'originalité de cette proposition repose sur cette hiérarchisation des actions. En effet, toutes les autres placent en toute première urgence la restauration de la continuité écologique, c'est-à-dire le rétablissement de la circulation des poissons vers des frayères qui sont apparemment toujours situées sur les zones les plus en amont du bassin versant des rivières et fleuves côtiers. Pour rétablir cette continuité, elles préconisent la destruction des ouvrages transversaux. (Exemple: Biodiversity Strategy 2030 - Barrier Removal for River Restoration; European Commission 2021). Les raisons pour lesquelles cette stratégie nous semble inappropriée repose sur le fait qu'elle ne répond qu'à la moins importante des priorités listées précédemment sur la base des besoins d'un poisson qui vit dans l'eau : la présence permanente d'eau. Ces destructions d'obstacles font diminuer la masse d'eau globale de la rivière, réduisant sa capacité à résister à la sécheresse ; l'assèchement du lit sera

beaucoup plus rapide. Les cours d'eau en Europe ne sont pas comme le Mékong ou le Colorado où les grands barrages sont très nombreux, offrant une surface d'évaporation tellement importante qu'elle peut effectivement entraîner un arrêt complet des écoulements, surtout si on y ajoute les prélèvements pour l'agriculture ou les villes. Ce n'est pas le cas en Europe où les grands ouvrages sont bien moins nombreux et où l'arrêt des écoulements provient du tarissement des sources. Il apparaît quelque peu surprenant que dans la perspective de sécheresses toujours plus prononcées durant les décennies à venir, il faille détruire barrages et étangs parce qu'ils captent l'eau qui devrait normalement s'écouler dans les rivières, alors qu'ils se remplissent quand l'eau est en excédent. Il n'existe aucun autre moyen d'avoir de l'eau quand il ne pleut plus et que les nappes sont au plus bas, que de la collecter en surface au moment où il y en avait trop, et de la stocker en quantité suffisante pour résister à l'évaporation. C'est une condition sine qua non pour qu'il reste de la vie aquatique quelque part sur nos territoires.

A première vue, les effacements d'ouvrages permettent à certaines espèces de circuler librement, sans pour autant que jusqu'à présent, ceci se soit traduit par une augmentation du nombre de migrateurs (Cadet, 2018, 2021). Mais la biodiversité aquatique n'est pas uniquement composée d'espèces qui doivent se déplacer vers des frayères éloignées. Que deviennent les autres ? Paradoxalement, quelle que soit la proposition, la question des obstacles est toujours au cœur des actions, parce qu'ils jouent un rôle paradoxal dans la rivière. Lorsque la rivière est alimentée normalement et qu'il y a toujours de l'eau, les obstacles et notamment les plus difficiles à franchir semblent ralentir les migrations ; mais lorsque l'eau ne circule plus ou peu, l'eau retenue par les ouvrages devient un atout crucial pour permettre la survie de la faune aquatique. Nous considérons que le plus souvent, nous sommes actuellement dans cette seconde situation.

Même les scientifiques peuvent avoir une vue contrastée sur l'impact de ces obstacles en rivière. Une récente étude réalisée par Hoffmann-Legend (2021) montre que le paramètre « continuité écologique » ne s'est pas révélé significatif pour expliquer le déclin des espèces amphihalines, contrairement au paramètre « température (mer et rivière) » et « débit », deux facteurs qui sont placés en priorité dans notre projet. A l'inverse, Merg et al. (2020), montre que statistiquement l'effacement des ouvrages de plus de 10 m de haut n'aurait pas d'impact sur le déclin de la biodiversité aquatique par rapport à celui des petits ouvrages de moins de 2 m de haut ! Alors que pourtant, sur le terrain, les naturalistes, tout comme les citoyens, ont pu voir les saumons par exemple s'accumuler au pied des grands barrages. La presse ayant largement rapporté ces événements qui faisaient le bonheur des pêcheurs, mais mécontentaient les ouvriers de l'Allier qui n'en pouvaient plus de manger du saumon ! Bien avant que le barrage ne bloque le cours d'eau, les saumons remontaient déjà, et ce, depuis 10 millions d'années environ. Pourtant, la presse n'en parlait pas, simplement parce qu'il n'y avait pas de pêche miraculeuse, les saumons n'étaient pas bloqués en masse par les ouvrages qui existaient avant les grands barrages, c'est-à-dire les seuils de moulins. Même si des pêcheries se faisaient à ce niveau, les poissons étaient beaucoup plus difficiles à prendre car ils restaient moins longtemps en aval des seuils qu'ils finissaient toujours par franchir. Sinon, ils auraient disparu avant.

Il faut cependant avoir conscience du fait que si les grands barrages n'avaient pas été construits, les saumons et les autres poissons déclineraient tout de même actuellement. Toutes nos espèces vivant dans des zones tempérées depuis des millénaires, opèrent leur reproduction à des températures de

l'eau situées entre 5 et 12°, optimum vers 8 / 9°. Avec une augmentation moyenne de 2° de la température terrestre, les saumons, truites de mer ou farios, lamproies de planer, brochet..., ont perdu 50 % de leur période de reproduction. Et inévitablement, d'après les prévisions du GIEC, 50% de ce qui reste sera perdu dans 30 ans. La reproduction ne se produit plus tous les ans, puisque cette moyenne efface les années les plus chaudes dont le record est battu actuellement d'une année sur l'autre. Donc, même si ces espèces atteignent leur zone de reproduction, elles ne se reproduiront pas ou trop peu. Malheureusement pour elles, en enlevant les petits ouvrages pour faciliter leur déplacement, on le complique radicalement en faisant baisser la hauteur d'eau, voire en la faisant disparaître, et on augmente l'effet des polluants qui se concentrent dans un moindre volume d'eau.

Naturellement, ces hautes températures de l'eau vont être favorables à certaines espèces qui se sont installées plus récemment, introduites par l'homme ou profitant des canaux construits entre les bassins hydrographiques, par exemple entre le Danube et le Rhin (Bravard et Lévêque, 2020). Les goujons asiatiques, silures, poissons chat, perches soleil, carpes, poissons blancs, vont effectivement se multiplier, mais à condition qu'il y ait de l'eau dans la rivière. Actuellement, leur survie n'est plus assurée en raison des sécheresses répétitives qui font totalement disparaître l'eau des cours d'eau, affectant cette fois tous les organismes aquatiques.

De ce fait, favoriser le déplacement des poissons vers leur zone de reproduction sans sécuriser la présence d'eau, n'apparaît pas comme une stratégie pertinente pour sauvegarder notre biodiversité aquatique jusqu'à la fin du siècle.

A. De la rivière anthropisée à la rivière sauvage : impact des obstacles

Tout le monde souhaiterait revenir à des rivières sauvages et libres, telles qu'elles devaient être avant que l'espèce humaine ne détourne ou neutralise ses écoulements à son profit. Il est logique d'imaginer qu'à cette époque pré-humanité, les espèces aquatiques s'épanouissaient dans nos cours d'eau de manière équilibrée. De là, à imaginer qu'en enlevant tout ce que l'homme a construit dans nos cours d'eau, il sera possible de revenir à des rivières sauvages, il n'y a qu'un pas ! Mais cette approche se heurte à une conséquence inacceptable qui est la mise en danger d'une partie de l'humanité très dépendante de l'utilisation des cours d'eau. Cependant, la situation ne peut que s'améliorer s'il était possible de se rapprocher du concept « rivière sauvage pré-Anthropocène » mais à condition de faire le tri entre ce qu'il est possible de faire et ce qui ne l'est pas pour préserver aussi l'espèce humaine.

Les travaux des scientifiques spécialistes des sols et des naturalistes, nous apprennent ainsi que nos cours d'eau et rivières sauvages n'étaient pas aussi libres que cela lorsque nous n'étions pas là...

- Les cours d'eau étaient tous encombrés d'embâcles, puisqu'avant qu'il y ait des hommes pour les enlever, personne ne le faisait. Incontestablement, ces embâcles sont des éléments très importants pour qu'une rivière se comporte comme une rivière sauvage, mais il faut admettre que nous ne pouvons pas restaurer cette caractéristique, à cause des conséquences désastreuses qu'elle aurait sur nos infrastructures, comme les ponts, et sur les inondations. Pourtant, c'est très simple à réaliser, il suffit de ne plus entretenir

les ripisylves. Ecologiquement parlant, nos rives seraient alors « sauvages », particulièrement utile pour filtrer les ruissellements ; mais c'est infaisable.

- Les cours d'eau sauvages n'étaient jamais canalisés, alors qu'ils le sont tous partiellement dans les traversées des villes, quelle que soit leur taille, fleuves compris, et ceci sur des proportions importantes de leur linéaire. Par exemple, si l'Orne mesure 170 km, les 15 premiers, presque 10%, sont bétonnés dans la traversée de Caen. Pas question que la rivière ne s'étale et inonde la ville. Pour la Seine, avec ses 776 km de long, les 100 km correspondants à l'agglomération parisienne sont totalement canalisés et avec les autres villes, il est probable que 30% de son linéaire ne peut plus redevenir sauvage. Ce paramètre est à prendre en compte car il concerne tous les cours d'eau européens dont on a figé le tracé du lit.
- Depuis 6 millions d'années avant notre ère, les rivières de moins de 10 à 12 m de large étaient colonisées par les castors. Ces animaux avaient construit des millions de barrages de moins de 3 m de haut sur tous nos bassins versants au point d'accumuler tant de sédiments qu'ils entraînaient parfois un déplacement du lit, comme l'ont révélé les fouilles des pédologues. Les castors sont des acteurs majeurs de la rivière sauvage, puisqu'ils sont qualifiés « d'ingénieurs de l'écosystème », à cause de leur capacité unique dans le monde animal, de construire des ouvrages dans le lit mineur des rivières. Autrement dit, contrairement à ce qu'on pouvait imaginer, l'eau ne s'écoulait pas librement. Son cheminement était constamment bloqué que des embâcles et des barrages de castors. Depuis que cet animal a été réintroduit en Europe, les chercheurs ont pu montrer que ces chapelets de petits ouvrages avaient un impact positif sur le tri et la gestion des sédiments et sur la biodiversité. Le changement de régime hydrologique de la rivière en amont des retenues, avec de l'eau plus calme favorise la diversification des habitats et donc des espèces, pour le plus grand profit des poissons carnassiers notamment migrateurs. Ces espèces n'étaient absolument pas incommodées par la multitude de « barrages » qu'elles devaient franchir pour atteindre leurs frayères (sélection naturelle évidente des individus les plus forts et les plus aptes à se reproduire). Le relèvement de la ligne d'eau au profit de la végétation rivulaire, la gestion de la végétation ou la création de zones humides étaient favorables à l'installation de nombreuses autres espèces : poissons, amphibiens, mammifères, oiseaux, insectes, plantes aquatiques... Cet enrichissement a fait du castor une espèce reconnue « facilitatrice de vie » mais aussi « clé de voûte » (Paine, 1969), c'est-à-dire une espèce qui a un effet disproportionné sur son environnement par rapport à la taille de sa population. Force est de constater qu'une autre espèce, autrefois animale, l'espèce humaine, est aussi capable de construire des « barrages » en tous points similaires à ceux des castors, éliminés par la chasse au moyen-âge, mais en densité infiniment plus faible. C'est aussi une espèce « clé de voûte », manifestement. La convergence des hauteurs (moins de 3 m) permet aux ouvrages des hommes et des animaux de résister à la majorité des coups d'eau, contrairement à des ouvrages plus hauts, qui auraient été bâtis avec les techniques rudimentaires de l'époque. Il est intéressant de noter que si Merg avait effectué son analyse statistique sur les millions de barrages de castors présents en

Europe il y a 1 millions d'années, il serait arrivé à la conclusion exactement inverse de celle obtenue avec les seuils de même hauteur. C'est-à-dire, que ces petits obstacles sont des catalyseurs de biodiversité et pas l'inverse ! Cela montre qu'il est tout de même important de confronter les résultats statistiques avec ceux observés sur le terrain. Dans le cas de la fragmentation par les ouvrages, c'était facile, van Looy et al., en 2014, montrent que les seuils construits par les hommes, (tout comme ceux construits par les castors), entraînent bien une augmentation de la biodiversité aquatique. Forcément, puisqu'il y a diversification des habitats.

- Si les ouvrages des castors s'appellent des « barrages », c'est parce qu'avant les hommes, c'étaient les constructions les plus imposantes dans nos rivières. A partir du milieu du 19^{ème} siècle, les hommes ont été techniquement capables de dominer la nature, et de construire des ouvrages de plusieurs dizaines de m de haut, qui n'ont plus rien de « naturel », en travers du lit mineur et surtout du lit majeur, capables de bloquer complètement l'écoulement et les échanges dans les cours d'eau et même des fleuves. D'où l'utilisation du mot « seuil ou chaussée » pour décrire les ouvrages de faible hauteur, en lit mineur seulement, similaires à ceux des castors, mais construits par les hommes. Ces grands barrages qui servent à produire de l'énergie renouvelable, à réguler les inondations des grandes cités européennes, à fournir des réserves d'eau potable ou pour l'irrigation, sont d'une importance économique capitale. Il semble irréaliste d'imaginer qu'ils puissent être détruits, malgré leur impact écologique sur le cours d'eau. Il faudra faire avec.

L'examen de nos rivières et cours d'eau actuels impose d'admettre que les éléments qui les éloignent le plus d'une rivière sauvage typique : artificialisations des rives des villes, barrages de grandes tailles et disparition des embâcles, sont également ceux qui ne peuvent pas être effacés. *C'est probablement ce qui explique que l'ensemble des propositions actuelles se rabattent sur la destruction des ouvrages de petites tailles, alors que ce sont, à l'inverse, les seules structures caractéristiques des rivières sauvages. Paradoxalement, en les détruisant, l'anthropisation de nos rivières augmente et ne diminue pas.*

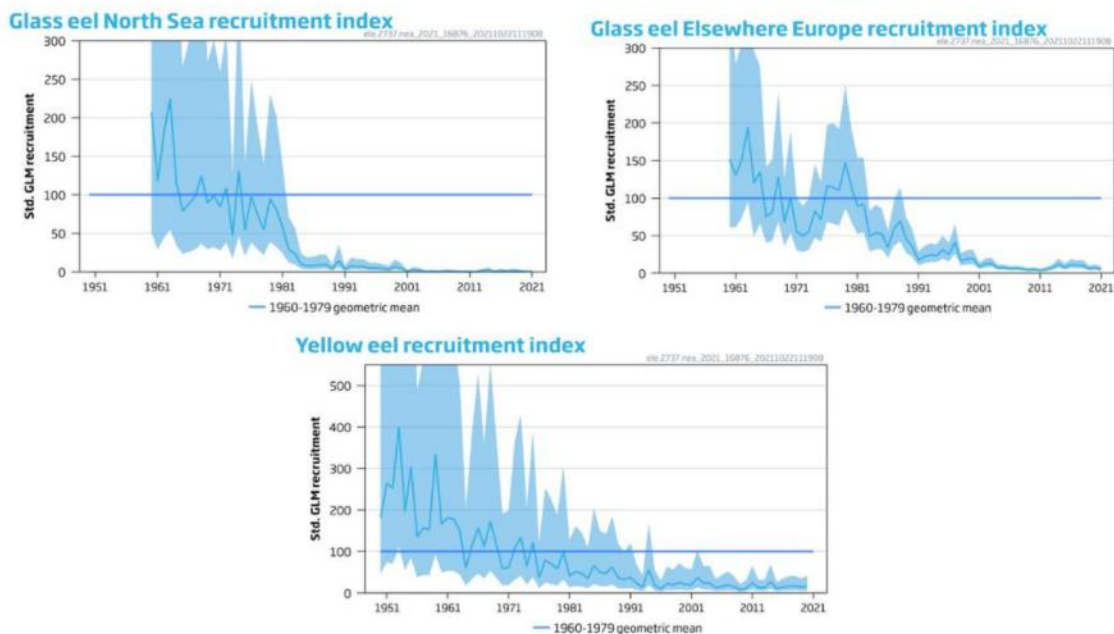
Notre approche, axée sur le principe des rivières sauvages, va donc s'articuler autour des seuls éléments qui rapprochent nos cours d'eau anthropisés des cours d'eau sauvages : la présence de nombreux ouvrages de moins de 3 m de haut représentés par les seuils de moulins et agricoles. Avec comme objectif complémentaire, de transformer autant que possible les éléments dégradants incontournables présents dans nos rivières, en avantages.

1. 20 ans de destructions : bilan

L'observation du déclin de nos populations de poissons est particulièrement instructive.

- Entre le moyen-âge et le 19^{ème} siècle, 100 000 ouvrages de moulins ou agricoles occupent le lit mineur de tous nos bassins versants : Pas de déclin de la biodiversité. En 1892, il a été pêché 200 t de saumon et 50 t d'aloses rien qu'en Loire Maritime, selon Bachelier, 1963 et 1964.

- Après la construction des grands barrages de France, à partir de 1850, barrant cette fois lit mineur et majeur : déclin visuel des espèces migratrices emblématiques bloquées chaque année au pied des grands barrages (exemple : Allier), rapporté par la presse.
- Après 1970. Au cours des 30 dernières années seulement, selon Hoffmann Legrand (2021), les aloses et les lamproies marines ont décliné de plus de 80%, les saumons n'ont pas changé, alors que les anguilles et les truites de mer auraient très légèrement augmenté. Notons que ce résultat n'est pas confirmé par les études européennes qui révèlent que les anguilles sont en totale extinction (Sonne et al., 2021), au point que le Conseil international pour l'exploitation de la mer recommande l'arrêt total de la pêche en 2022.



📍 Les chiffres sur la ressource en anguilles laissent peu de place au doute sur le risque que connaît l'espèce.
Rapport CIEM/Repro SO

*Même si certaines populations d'anguille sont infestées à quasiment 100% par le nématode *Anguillicola crassus*, et que la multiplication des dispositifs de franchissement permette à toutes les anguilles, mêmes les plus malades d'atteindre les zones de regroupement, en complète contradiction avec la gestion habituelle d'une épizootie, il est peu probable que ce soit ce parasite qui explique à lui seul cette situation universellement désastreuse en Europe. Les pollutions médicamenteuses qui perturbent le développement des organes internes des poissons semblent plus réalistes surtout compte tenu du fait que toutes les rivières européennes sont contaminées et qu'à quelques exceptions près, tous les poissons régressent.*

Cette séquence inspire plusieurs réflexions :

- La destruction des obstacles ne facilite en rien le déplacement et la reproduction des espèces, puisque ce sont celles qui, a priori, ont le plus de difficultés à franchir les obstacles, qui profitent le moins des nombreux effacements de seuils qui ont été effectués par exemple dans le nord du pays.
- Si ces obstacles étaient vraiment une entrave au déplacement, toutes les espèces migratrices devraient être en augmentation, notamment dans le bassin de la Loire (où le

plus grand nombre d'effacements a été effectués), alors que le déclin des espèces s'y poursuit de manière inexorable (Livre blanc de la continuité écologique, FFAM, 2017).

- En revanche, comment un poisson qui vit en moyenne 5 ans, et qui serait bloqué chaque année aux mêmes endroits par une succession de petits seuils de moulin ou par un grand barrage, a-t-il pu survivre pendant presque 100 ans, alors que théoriquement, il n'a pas pu se reproduire ?

Il est évident que les poissons ont tout de même réussi à se reproduire, donc forcément en changeant de zones de frayères et sans avoir à remonter jusqu'à l'extrémité du bassin versant. Ce n'est pas un scoop. Ce phénomène s'est produit récemment en Alaska où suite à une éruption volcanique, une paroi bloquant l'accès au lac Surprise s'est effondrée, permettant aux saumons de changer leur route migratoire pour venir s'y reproduire. En Europe, il eut été intéressant de se pencher sur ce processus de survie extrêmement efficace puisqu'il nous permet d'avoir des poissons migrateurs en 2022, ce qui était théoriquement impossible si l'axiome « obstacle = pas de reproduction » était vrai.

Notre objectif va donc consister à reconstituer ces stratégies de survie, compatibles avec nos rivières anthropisées, de manière à les réhabiliter.

2. Les conséquences des perturbations constantes de l'écosystème par la restauration de la continuité écologique.

Sur cette base, il est possible d'émettre l'hypothèse selon laquelle, c'est la restauration de la continuité écologique qui a accéléré l'extinction des poissons migrateurs. Dans le cas de l'Alaska, il est facile d'imaginer que le bouleversement considérable du régime hydrologique du cours d'eau a complètement désorienté les saumons pour les envoyer vers une zone inconnue où par chance, ils ont trouvé de meilleures conditions pour se reproduire que dans la zone habituelle. Ces animaux ne s'obstinent pas à retourner absolument à leur frayère historique, leur instinct leur permet de retrouver la rivière d'où ils viennent, un point c'est tout. En Alaska, aucun autre bouleversement les années suivantes n'est venu remettre en cause leur destination nouvelle. La situation est notoirement différente en France. En effet, la destruction d'un seuil modifie profondément le régime hydrologique de la rivière, créant une situation inhabituelle qui désoriente les poissons à la recherche d'une frayère. Ils s'engagent dans de nouveaux tronçons où malheureusement les zones favorables à la ponte n'existent pas plus qu'ailleurs. Mais, contrairement à ce qui se passe dans la nature, les bouleversements dus aux travaux d'hydromorphologie se reproduisent année après année. Il y a de forte chance pour que ceci ait accéléré le déclin de nos espèces migratrices confrontées chaque année à une « nouvelle rivière ». Et ce, d'autant plus facilement que la destruction des ouvrages ne conduit jamais les poissons à se retrouver dans des zones moins polluées ou plus fraîches, mais au contraire, dans des zones en tête de bassin qui manque d'eau quasiment chaque année à cause du changement climatique. Il n'y a pas que les migrateurs amphihalins qui sont concernés, tous les poissons sont concernés. Benitez et al, 2022, montre que dans la Meuse, 20 ans après la construction d'une passe à poissons, la communauté piscicole a complètement changé, mais avec une diminution par 14 des effectifs totaux, diminuant considérablement sa capacité de résilience.

C'est la raison pour laquelle, nous proposons de stopper toutes les opérations qui sont qualifiées de « restaurations » morphologiques de la rivière mais qui sont en fait des opérations de déstabilisation permanente du régime hydrologique auxquelles toutes les espèces vivant dans ce milieu liquide sont

extrêmement sensibles. D'autant plus que l'environnement climatique n'est pas stable, ce qui interdit tout espoir d'adaptation. *L'objectif sera au contraire de chercher à renforcer et stabiliser le régime hydrologique des cours d'eau les plus propices aux migrateurs amphihalins en trouvant des solutions pour ajuster les masses d'eau aux besoins des poissons durant toute l'année. Selon cette approche, la rivière sera automatiquement adaptée aux autres usages et services écologiques, pour une raison simple : elle contiendra toujours de l'eau.*

3. Les obstacles et la sélection naturelle indispensable à la survie des poissons migrateurs

L'idée qu'il suffit d'effacer tout ce que l'homme a construit en travers des rivières ou sur les bords, pour régénérer une vraie rivière sauvage, libre, fonctionnelle, permettant aux organismes aquatiques de résister au dérèglement climatique n'est pas réaliste. La plupart des espèces migratrices comme les saumons déclinent dans le monde entier, même là où l'homme n'a rien construit sur leur passage. Les multiples émissions de télévision nous montrent que ces rivières sauvages qu'ils remontent, ne sont pas vraiment « des longs fleuves tranquilles ». En Amérique, les saumons doivent franchir de nombreuses cascades de plusieurs m de haut, au sommet desquels des hordes d'ours les attendent de pieds fermes, faisant capoter souvent leurs tentatives de franchissement. Manifestement, il n'y a que les plus forts qui réussissent à passer. Une sélection naturelle impitoyable tout à fait classique dans le monde sauvage, qui renforce la vigueur de la souche. En France, la sélection naturelle n'est plus acceptée. On considère que si 100% des poissons pouvaient atteindre la frayère, ils se reproduiraient en masse et la population se reconstituerait, mais c'est inexact. Au Kamchatka par exemple les frayères où les poissons ont déposé leurs œufs, sont en plus copieusement piétinées par les prédateurs qui suivent leurs déplacements. Dans notre pays, toute personne qui s'approche d'une frayère sera immédiatement condamnée !

Il est donc tout à fait légitime de s'interroger sur la nécessité de faciliter le déplacement de tels athlètes en détruisant nos ouvrages, notamment les plus petits qui semblent au contraire être indispensables pour maintenir la sélection naturelle et générer une souche sauvage vigoureuse issue de la reproduction des individus les plus performants. Même si, du fait de la diminution considérable du nombre de poissons migrateurs qui remontent, il puisse être envisagé de les aider avec des dispositifs de franchissement sur certains ouvrages, morphologiquement trop difficile à franchir. Selon le conseil scientifique de l'ex-AFB, cela ne concerne pas plus de 10% d'entre eux (Conseil Scientifique AFB, délibération n°CS/2018-02).

L'un des objectifs de cette proposition est de restaurer ce processus de sélection en conservant les obstacles objectivement franchissables, pour se rapprocher le plus possible des contraintes des rivières sauvages qui ont permis aux poissons amphihalins comme les saumons de survivre pendant 10 millions d'années.

B. Les obstacles invisibles

1. Les obstacles physiques naturels

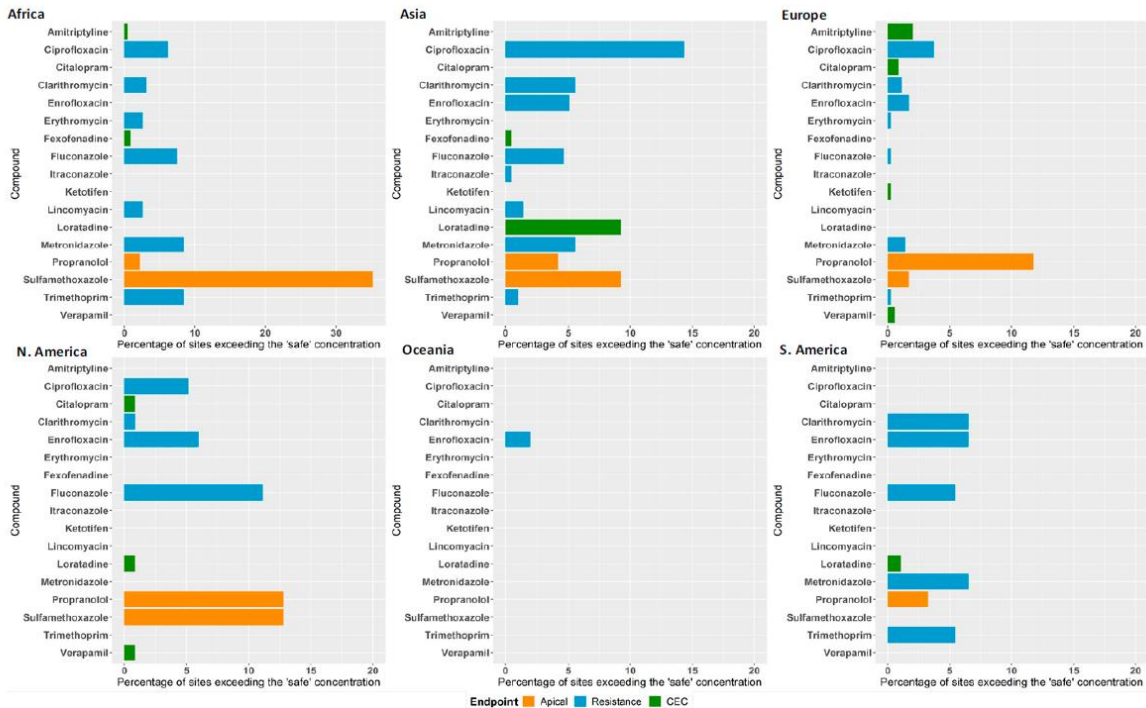
On pourrait croire que tout ce qui est visible en travers du lit des cours d'eau figure parmi les obstacles répertoriés, mais ce n'est pas le cas. Les seuils naturels ne sont pas répertoriés. Ils sont pourtant très nombreux, probablement aussi nombreux que les ouvrages construits par les hommes,

notamment ceux de moins de 3 m de haut. Quel peut bien être l'intérêt de supprimer un seuil humain s'il est entouré d'obstacles naturels de hauteur naturelle où d'un grand barrage de plusieurs dizaines de m de haut ? *Notre proposition visera à cartographier et répertorier les obstacles naturels de hauteur équivalente à ceux du ROE pour les prendre en compte dans le cheminement des poissons.*

2. Chimiques

Il n'existe absolument aucun article sur l'eau qui ne parle de la pollution et de ses effets néfastes sur les organismes aquatiques, étayés par quelques publications scientifiques. Nous disposons de quelques travaux ponctuels : Eljarrata et Barceló, 2018, ou de Bizarro et al, en 2014, ou de l'équipe du Professeur Cajaraville, ou de Barbara Demeneix (demain tous crétins), qui montrent qu'il est urgent d'agir. Lorsque les poissons migrateurs passent du milieu marin au milieu dulçaquicole au niveau de l'embouchure des cours d'eau, ils sont contaminés par des concentrations élevées de perturbateurs endocriniens. Et comme c'est au cours de cette transition que s'effectuent d'importantes transformations physiologiques tant pour la respiration que pour le développement des organes reproducteurs, les chercheurs ont constaté une forte proportion d'individus qui sont à la fois femelles et mâles, certainement incapables de se reproduire. En 2022, Kestemont à l'Université de Namur, montre des effets alarmants des résidus médicamenteux au niveau du système nerveux des truites, au niveau du foie et du système reproducteur. Les poissons avaient des concentrations en hormones femelles plus importantes en aval des stations d'épuration qu'en amont. Dans ces conditions, tous les investissements qui peuvent être faits pour favoriser le déplacement des espèces n'aboutira pas au résultat escompté : la reproduction. Il apparaît hautement souhaitable de s'intéresser en toute priorité à ces questions de pollution. Plus récemment (Horký, 2021), des chercheurs Tchèques ont fait une étonnante découverte en démontrant que les truites devenaient accros aux concentrations d'amphétamines que l'on peut rencontrer dans nos cours d'eau, au point de mettre en danger leur instinct pour l'alimentation et la reproduction. C'est extrêmement préoccupant dans la mesure où un comportement identique pourrait être généré par des cocktails de résidus médicamenteux, expliquant que des individus vont stopper leur montaison si la rivière en amont ne contient plus les contaminants qui les attirent. Un arrêt de migration qui, jusqu'à présent, est automatiquement imputé aux seuils. Il faut bien reconnaître que les drogues se retrouvent dans les eaux d'égout des villes plutôt que des campagnes, constituant autant d'obstacles invisibles. Rappelons que la France est en passe d'être condamnée par l'UE pour non-respect des normes des assainissements collectifs d'une centaine de villes de plus de 2000 habitants dont une quinzaine d'agglomérations très peuplées. Au cours de sa remontée des rivières, les poissons seront confrontés à diverses sources de pollutions, plutôt d'origine urbaine en aval et plutôt d'origine agricole en amont.

Un premier pas vient d'être franchi avec une étude internationale sur 61 résidus médicamenteux dans 258 rivières de 104 pays (Wilkinson et al., 2022). Les résultats révèlent des concentrations importantes de plusieurs molécules dans nos rivières européennes, susceptibles de perturber très gravement la reproduction des poissons.



Pourcentage de sites dans l'étude de surveillance mondiale où les concentrations des résidus médicamenteux ont dépassé : les concentrations sans effet les plus faibles (PNECs) dérivées des données éco toxicologiques pour les algues, les poissons et les daphnies (barres oranges) Les concentrations critiques pour l'environnement (CECs) estimées sur la base des concentrations thérapeutiques plasmatiques humaines et des prédictions d'absorption pour les poissons (barres vertes); et concentrations cibles « sûres » pour la sélection de la résistance aux antibiotiques (AMR) (barres bleues).

La dégradation extrêmement rapide des communautés de poissons au 20^{ème} siècle s'explique incontestablement mieux par cette intoxication, qui apparaît durant la même période, que, par la présence de seuils qui existe depuis 1 000 ans ! Cette étude spatiale devrait être complétée par une étude temporelle dans la mesure où la concentration de ces pollutions augmente lorsque la masse d'eau diminue, notamment en étiage, mais aussi lorsque des ouvrages sont effacés. Pour agir rapidement dans ce domaine, le seul levier susceptible d'être mis en place rapidement est bien la dilution, c'est-à-dire la multiplication des seuils pour accroître significativement la masse d'eau en période de basses eaux.

Un des objectifs de cette proposition sera de réaliser une analyse spatio-temporelle des successions d'obstacles chimiques le long des cours d'eau et d'évaluer l'impact du débit sur ce paramètre. C'est à partir de cette connaissance qu'on pourra les surmonter, en attendant de pouvoir les éliminer.

3. Les obstacles socio-économiques : la pêche, la régulation du silure et l'empoisonnement

- La pêche

Le Plan National en faveur des Migrateurs Amphihalins vise à promouvoir un certain nombre d'espèces certes emblématiques, et en voie de disparition, au détriment d'autres qui sont moins « intéressantes » au plan piscicole. Aucune mesure n'est prise pour restreindre la capture des

poissons qui sont harcelés et stressés par les pêcheurs durant tout leur parcours en montaison, jour après jour. Les tailles minima qui sont protégées entraînent la capture des plus gros spécimens, c'est-à-dire des meilleurs reproducteurs. Même sur les parcours « no kill », personne ne se pose la question de savoir qu'elle est l'impact du stress résultant de la lutte du poisson pour se détacher de la ligne et sur son aptitude physique pour franchir les ouvrages, y compris les plus modestes, qui se trouvent ensuite sur son chemin. Même si les blessures infligées par l'hameçon à la gueule du poisson sont a priori sans gravité, il est légitime de se poser la question de savoir quelle seront les répercussions de cette plaie sur les infections potentielles, lorsque la température de l'eau augmente. Ce n'est que récemment que des scientifiques ont sonné l'alerte et proposé de fermer totalement la pêche à l'anguille en voie d'extinction. *Pour éviter d'en arriver à cette situation pour les autres espèces, nous proposons de fermer totalement la pêche dans tous les cours d'eau hébergeant des espèces amphihalines pendant 10 ans, mais de l'organiser dans des canaux ou des rivières déclassées parce qu'écologiquement irrécupérables.*

- Le silure

Le silure, espèce envahissante et prédateur majeur, bénéficie d'un traitement de faveur parce que sa taille en fait un trophée pour les pêcheurs. De ce fait, les travaux conduits sur cette espèce par les organismes officiels tendent à minimiser considérablement son impact sur la faune aquatique. Pourtant, des travaux révèlent que les migrateurs amphihalins représentent jusqu'à 75% de leurs proies en période de montaison (Boulêtreau et al, 2018). Il apparaît impératif de réguler les silures, même si les espèces envahissantes vont progressivement faire partie des communautés de poissons d'eau douces sur notre territoire. Aujourd'hui, aucun espace protégé ne peut maintenir son équilibre sans l'intervention de l'homme. Dans le cas des poissons, il est intéressant de constater que si la plupart de ces espèces « envahissantes » ne sont pas particulièrement aptes à franchir des obstacles, elles ont réussi à coloniser toutes les rivières de France ! Il ne fait aucun doute qu'une politique qui viserait à supprimer tous les obstacles dans les rivières va favoriser encore plus leur dispersion dans les zones où elles ne seraient pas encore présentes. Rappelons que transformer une zone lentique en zone lotique par destruction d'un seuil n'élimine pas toutes les espèces envahissantes, certaines sont adaptées aux eaux courantes (Benitez et al., 2022).

Nous proposons de réduire les populations de silure par une pêche adaptée, sinon, le « cauchemar de Darwin » est à nos portes !

- Les lâchers de repeuplement

Il est difficile d'imaginer que les poissons d'élevage deviennent des poissons sauvages à l'instant où ils vont être relâchés dans leur milieu. Les travaux réalisés par la Fédération Départementale de la Pêche de la Loire ont montré qu'après des dizaines d'années de lâchers de truites, leur diversité génétique avait régressé (Identification de la diversité génétique et programme de sauvegarde des populations de truites du département de la Loire, FDF42, 2016). Des réserves viennent d'être apportées à l'encontre de cette pratique par Hoffmann-Légrand (2021) dans la mesure où les empoisonnements sélectionnent forcément quelques traits de vie qui ne sont pas forcément adaptés à toutes les situations rencontrées sur un bassin versant et entre bassins versants.

Nous proposons de réduire les lâchers aux rivières qui n'hébergent pas ou plus de migrateurs amphihalins ou holobiotiques sauvages, et qui seront réservées à la pratique de la pêche.

- Les proies

Dans ce domaine, le niveau des connaissances est nul. Rien n'est fait pour savoir quel est l'influence du dérèglement climatique sur les proies et leur disponibilité pour les poissons. *Nous proposons un financement de programme de recherche dans ce domaine.*

C. Propositions pour prolonger la biodiversité aquatique

Ces propositions sont basées sur des actions qui permettront aux espèces menacées et à leurs descendances de rencontrer des conditions propices à leur cycle biologique depuis leur entrée dans la rivière, jusqu'à leur retour en mer, sans porter préjudice aux autres organismes aquatiques ou terrestres.

Priorité 1 : éviter l'absence d'eau dans les rivières

Tout ce que nous pouvons faire pour aider les poissons est complètement inutile si jamais l'eau vient à manquer dans la rivière. Or, c'est un risque qui semble aujourd'hui bien réel, même dans les régions traditionnellement plus arrosées au nord-ouest de l'Europe. Il n'y a pas beaucoup de possibilités pour avoir de l'eau à disposition quand les sources et les rivières s'assèchent : il faut, soit construire un barrage de grande capacité qui pourra relâcher de l'eau pendant plusieurs mois, soit construire des étangs ou des bassines dans lesquels il sera possible de pomper de l'eau pour la rivière lorsqu'elle en aura besoin. Finalement, la dilution par apports d'eau ne concerne que quelques semaines par an, en période de basses eaux.

Comment garder de l'eau : Pour une rivière, un barrage en amont est incontestablement la meilleure des solutions qui a fait ses preuves. Les lâchers d'eau dans l'Ain ont permis entre 2018 et 2020 de maintenir l'écoulement de l'eau dans le lit des rivières, sauvant une grande partie de la faune aquatique. Ces barrages atténuent également la puissance des crues qui sont tout aussi dévastatrices que les sécheresses. Dans la Loire, le Renaison est la seule rivière en bon état sur la rive gauche de la Loire dans le Roannais. Les 8 autres rivières qui se situent dans le même secteur sont en mauvais état car elles s'assèchent quasiment tous les ans en été. Or, le Renaison est coupé en deux par deux barrages qui bloquent définitivement la continuité écologique, sans que cela n'affecte la biodiversité aquatique. Depuis quelques années, de jeunes saumons sont relâchés dans cette rivière avec l'espoir qu'ils remonteront un jour... jusqu'où ? au pied des barrages, puisque les seuils des moulins en aval sont de plus en plus souvent détruits. Pourtant, la bétonnisation du lit au pied du barrage avec son hydrologie complètement artificielle ne semble pas vraiment correspondre à une rivière sauvage ! Quant aux truites, elles se reproduisent parfaitement en amont et en aval des barrages. Cette observation prouve que la présence permanente d'eau est une priorité bien supérieure à la nécessité de remonter une rivière pour se reproduire. Les espèces amphihalines et surtout holobiotiques étant parfaitement capables de se reconstituer des frayères dans d'autres endroits de la rivière. *Cibler les cours d'eau disposant d'une réserve d'eau de grande capacité en amont est assurément un atout pour préserver la biodiversité aquatique, y compris des espèces emblématiques.*

Lorsqu'il n'y a pas de grand barrage, la stratégie doit consister à entretenir les seuils des moulins ou agricoles et à en créer de nouveaux, de manière à éviter le dessèchement complet de linéaire trop long en cas de sécheresse intense. D'autre part, sachant que l'évaporation peut faire perdre 1 cm d'eau par jour, il est important d'avoir des retenus de 1,5 à 2 m de profondeur au moins qui pourront

résister jusqu'à 3 mois sans pluie. En absence de sécheresse catastrophique, Donati et al., 2020 ont démontré qu'une retenue de moulin de cette profondeur ne correspond ni à un milieu lentique, ni à un milieu lotique, mais génère un gradient thermique de profondeur qui permet aux poissons de séjourner dans de l'eau légèrement plus fraîche, lorsque les caractéristiques environnementales ne sont plus propices à la montaison. Ces arrêts ne peuvent se faire que dans des zones d'eau plus calmes et plus profondes. Une raison supplémentaire qui explique que la destruction des retenues est contre-productive pour la survie des espèces amphihalines. Avec le changement climatique qui modifie non pas la pluviométrie totale annuelle, mais la répartition des pluies, les débits d'étiages durant la montaison sont de plus en plus faible (Cadet, 2021). La montaison ne reprend qu'au moment des pluies occasionnelles suffisamment fortes pour augmenter temporairement le débit de la rivière (Rapport Fédération de pêche, Orne, Touques, Vire, 2021). Cette situation pourrait être mimée par de petits lâchers d'eau des retenues situées le long de la rivière ou puiser dans des réserves creusées à proximité des cours d'eau.

Dans tous les documents concernant la sauvegarde de la biodiversité aquatique, l'accent est mis sur le déplacement des adultes vers les frayères, mais aucune attention n'est portée aux juvéniles. Or, ces juvéniles ont aussi besoin des retenues où l'espace est en plus une garantie de sécurité et d'alimentation.

Enfin rappelons que lorsque ces ouvrages sont trop difficiles à franchir, il est toujours possible de construire des dispositifs de franchissement mais que de toute façon la remontée jusqu'aux sources du cours d'eau n'est pas une fatalité, les poissons peuvent se reproduire bien avant d'avoir atteint la tête du bassin versant (Hoffmann-Legrand, 2021) et que disposer d'une succession de retenues pour apporter un peu d'eau en étiage est une condition indispensable à la montaison, à la reproduction des poissons et au développement des juvéniles.

Quand stocker de l'eau. Avec la modification de la distribution des pluies, et l'augmentation de la fréquence des inondations, il est assez simple de ne collecter de l'eau en dehors des cours d'eau qu'à l'occasion de ces événements exceptionnels. Lorsque l'eau coule sur l'eau, les sols sont saturés, prélever une partie du surplus ne peut qu'aider à maîtriser le potentiel destructeur de l'inondation. Cette eau ne manquera pas à la rivière, surtout si elle lui est restituée en étiage.

Où garder de l'eau. Il est nécessaire de cibler les rivières et cours d'eau qui ont le plus de chance d'offrir des conditions propices aux poissons les plus stables possible dans le temps, plutôt que de vouloir intervenir sur l'ensemble du territoire, sur la base d'évaluation qui ont été faites il y a plus de 15 ans quand le contexte climatique n'effrayait à l'époque que quelques spécialistes. Le premier critère à prendre en compte est la présence effective de poissons amphihalins et d'abandonner les zones qui pourraient être potentiellement favorables si jamais le dérèglement climatique était maîtrisé. Ceci évitera la dispersion des moyens.

Les conséquences de cette stratégie nouvelle. Les mesures prises pour favoriser la présence d'eau et sa gestion axée prioritairement sur les espèces amphihalines, en conservant les retenues dans les rivières, permettent d'atteindre l'objectif vis-à-vis des espèces les plus fragiles, mais sans nuire à la présence de celles qui ne migrent pas et préfèrent les eaux plus calmes et plus profondes. Elles font toutes parties de la chaîne alimentaire et la diversification du milieu garanti une diversification équivalente des proies, que ce soit pour les adultes ou les juvéniles, grands oubliés des stratégies actuelles.

Mais par ailleurs, cette conservation raisonnée des seuils permet aux hommes d'exploiter la force motrice de l'eau et de produire de l'énergie renouvelable hydroélectrique en quantité non négligeable, qui participera à réguler le climat et donc à rendre les espèces traditionnelles compétitives. A cela s'ajoute l'absorption naturelle du CO₂ par les organismes microscopiques présents dans les plans d'eau en général, comme dans la mer, contribuant aussi à atténuer le dérèglement climatique. Enfin, le relèvement de la ligne d'eau par les successions d'ouvrages en lit mineur, renforce automatiquement l'alimentation de la nappe phréatique (loi de Darcy), dont on ne peut pas dire qu'elle ne soit pas mise à mal actuellement à cause des pompages, rendus obligatoires par la disparition des zones de stockage d'eau en surface. Même si les pratiques agricoles doivent changer, aucune plante ne pousse sans eau et au-delà de notre sécurité alimentaire, c'est également notre paysage et sa diversité régionale et nationale qui est dans la balance, étant façonné par l'agriculture depuis des siècles. Il est crucial que cette pratique puisse perdurer, d'autant plus que l'abandon des parcelles cultivées, synonyme de retour à la nature, n'aurait de toute façon pas un impact suffisamment rapide sur le réchauffement climatique pour permettre un rétablissement de la situation préindustrielle. Mais aurait des conséquences dramatiques sur l'espèce humaine !

Priorité 2 : une eau de bonne qualité

Ce n'est pas en hiver, quand l'eau est abondante que les problèmes de qualité physico-chimique de l'eau se posent le plus, mais bien en étiage. Les polluants ne s'évaporent pas, leur concentration augmente, tout autant que la température de l'eau, notamment quand la rivière ne coule plus. Naturellement, plus la masse d'eau retenue sera grande et moins le réchauffement superficiel aura d'impact sur les poissons puisqu'il génère simultanément un gradient thermique de profondeur (Donati, 2021). Les retenues de moulins sont souvent accusées de réchauffer l'eau des rivières, mais une étude approfondie montre qu'il ne s'agit que de changements superficiels. D'ailleurs, les scientifiques dans leurs études ne tiennent absolument pas compte de la fragmentation pour estimer la température de l'eau, ils utilisent la température de l'atmosphère. Par exemple, Hoffmann-Legend (2021) démontre que la température de l'eau a un impact significatif sur les migrateurs, mais pas « la restauration de la continuité écologique », alors que si la destruction des ouvrages sur certaines rivières de l'ouest (comme la Touques) avait effectivement provoqué une différence de température notable, le paramètre aurait été significatif. Ce n'est pas le cas. D'autres part, nous proposons une gestion dynamique des étiages, avec des apports d'eau artificiels, totalement impossible actuellement notamment du fait que toute la politique conduite jusqu'à présent a visé à réduire la masse d'eau stockée dans le lit de la rivière plutôt que de l'augmenter comme nous le préconisons. Une grande masse d'eau a évidemment une inertie thermique plus importante et c'est ce paramètre, plus que le réchauffement instantané et temporaire, qui est important pour la biodiversité aquatique.

Quant à la pollution, il est difficile d'agir pour la réduire dans la mesure où les molécules chimiques les plus pénalisantes pour la physiologie des poissons amphihalins (et les autres) sont extrêmement difficiles à détecter. Actuellement aucune station d'épuration n'élimine les résidus médicamenteux ou les perturbateurs endocriniens. Il n'y a donc qu'un seul moyen d'atténuer l'impact de la pollution : c'est la dilution, autrement dit augmenter la masse d'eau stockée qui circule dans la rivière durant les mois les plus secs. C'est tout à fait faisable, mais à condition de cibler les bassins versants les plus prometteurs (y compris en s'appuyant sur les prévisions du GIEC), mais pas de généraliser les actions au pays tout entier, sous prétexte qu'il pourrait y avoir des poissons migrateurs partout. L'avantage

de la technique de dilution, c'est qu'elle est totalement dépendante des mesures destinées à garantir la présence d'eau en permanence dans le lit de la rivière, même durant les épisodes de sécheresse les plus intenses, tel qu'exposé précédemment.

La partie de la migration la plus délicate se situe au niveau de l'embouchure. C'est dans cette interface entre le milieu salé et le milieu d'eau douce, que les perturbateurs endocriniens vont faire le plus de dégâts chez les poissons, qui subissent des transformations physiologiques d'adaptation et une maturation des organes de reproduction (Kestemont, Université de Namur, 2022). L'étude espagnole a confirmé l'impact de cette pollution sur le développement des gonades (Eljarrata et Barceló, 2018). Il n'y a aucun moyen d'agir directement et rapidement sur ces perturbateurs chimiques présents dans l'eau à dose infinitésimale, mais on peut espérer qu'un plus grand débit durant l'étiage devrait occasionner une sorte de « lavage » de l'embouchure suivi d'une très forte dilution dans la mer.

Les embouchures sont pour l'instant les seuls endroits où une étude de l'impact de la pollution sur les migrateurs a été entreprise, tout simplement parce qu'aucune recherche n'a été conduite à grande échelle pour caractériser et cartographier les obstacles chimiques sur tout le linéaire d'un cours d'eau. La réalisation de ce projet de recherche permettra d'affiner les mesures à prendre en urgence pour améliorer la circulation et la santé des poissons d'eau douce.

Parmi les avantages collatéraux, il faut signaler l'effet lagunage (Pinay, 2017) qui se déclenche dès que l'eau de la rivière est ralentie par un ouvrage, même si elle le franchit par surverse. Il n'y a que dans l'eau plus calme que se mettent en place les processus biologiques qui vont digérer certains polluants comme les nitrates, le phosphore et certains pesticides. Ce système de lagunage a d'ailleurs été largement copié par les collectivités des petites agglomérations qui l'utilisent pour assainir les eaux usées. L'eau qui sort d'un moulin est toujours plus propre et plus oxygénée que celle qui y entre, ce qui est très propice aux poissons.

Priorité 3 : les espèces particulières

Les espèces amphihalines se reproduisent dans des endroits spécifiques dans nos cours d'eau plus ou moins éloignés de l'embouchure. La fragmentation actuelle, considérée par beaucoup comme responsable de la disparition de ces espèces, n'est certainement pas aussi dramatique qu'on veut le faire croire puisque les poissons se sont encore reproduits pendant des dizaines d'années après que l'accès à leurs frayères était théoriquement définitivement interdit. Ils ont trouvé des frayères ailleurs, dans de nouvelles zones, ce qui prouvent que la montaison jusqu'au point le plus extrême du bassin versant n'est pas obligatoire.

Il est techniquement possible de reconstituer des frayères à des distances plus courtes de l'embouchure, qui offriront les caractéristiques idéales tant du point de vue granulométrique, qu'hydrologique et thermique, susceptibles d'être utilisées par les poissons, sachant qu'ils sont parfaitement capables de changer de frayère comme nous l'avons exposé précédemment. Les seuils ne peuvent pas être considérés comme des freins irrémédiables au déplacement, puisqu'il est tout à fait évident que ces poissons ont eu à franchi des obstacles de « hauteur naturelle », c'est-à-dire similaires à ceux qui étaient construits par les castors, reproduits à l'identiques par les bâtisseurs de moulins. Notons que globalement, tout ouvrage confondu, de 20 cm à 50 m de hauteur, le conseil scientifique de l'AFB, aujourd'hui OFB, a estimé lui-même que seulement 10% d'entre eux posent des problèmes de franchissement. Il est important de ne pas se substituer à la nature qui n'a jamais

envoyés les migrateurs dans des canaux sans difficultés, et donc sans la sélection naturelle, indispensable à l'émergence de souches sauvages résistantes.

Les poissons d'élevage. Les effets délétères des opérations d'hydromorphologies pour faciliter le déplacement des poissons ont été aggravés par les empoissonnements destinés à renforcer les effectifs. Ces poissons d'élevage sont des poissons domestiques dont l'instinct est sérieusement érodé. Même si les saumons d'élevage sont a priori capables de retrouver la rivière dans laquelle ils ont été lâchés, leur croisement avec les individus sauvages constitue une pollution génétique qui réduit les potentialités d'adaptation de l'espèce (Hoffmann-Legrand, 2021). Rappelons qu'il n'existe qu'un seul conservatoire du saumon sauvage à Chanteuges en Haute-Loire dont les poissons vont être expédiés dans de nombreuses rivières françaises et européennes, ce qui ne correspond pas au comportement sauvage du saumon.

Si des efforts plus importants doivent être faits vis-à-vis de ses espèces emblématiques, l'un des plus importants consisterait à fermer définitivement la pêche pendant plusieurs années et pas seulement la pêche de ces quelques espèces. Depuis le bord, le pêcheur ne peut identifier sa prise qu'après l'avoir ramenée sur terre, en la blessant, la stressant et en l'épuisant, ce qui compromet la suite de son voyage, lorsqu'il s'agit d'un migrateur.

Les espèces envahissantes. Dans nos rivières, sont classées comme espèces envahissantes toutes celles qui sont incapables de survivre dans de l'eau courante, partant du principe que si les hommes n'avaient pas construit d'ouvrages qui ralentissent l'eau, elles n'auraient pas pu s'installer et n'existeraient donc pas. Cette hypothèse sous-entend qu'avant les seuils de moulins, il n'y avait aucun obstacle en travers du lit mineur des rivières, ce qui est totalement faux, puisqu'il y avait les embâcles et les multitudes de barrages de castors. Autrement dit, même si l'homme a volontairement ajouté jusqu'à 40% des espèces aquatiques, elles ont toujours eu la capacité de survivre dans nos rivières sauvages pré-Anthropocène et s'y seraient retrouvées un jour où l'autre. En effet, ces espèces n'effectuant pas de migration, comment est-il possible que leur aire de distribution augmente constamment alors que leurs capacités de franchissement, indépendamment du fait qu'elles sont sédentaires, sont bien inférieures à celle des salmonidés ? En admettant qu'elles bénéficient d'une assistance extérieure par les oiseaux qui relâchent leurs proies ou par les pêcheurs, leur extension s'explique d'abord du fait qu'elles se reproduisent mieux dans l'eau plus chaude, bénéficiant ainsi du réchauffement climatique qui leur donne un avantage sur les autres. Elles sont envahissantes par inadvertance, parce que les espèces traditionnelles n'ont plus été capables d'occuper l'espace habituel. Dans la mesure où il reste impossible de stopper rapidement le réchauffement climatique, il est extrêmement important de ne pas détruire leur habitat dans la rivière, c'est-à-dire les retenues à caractère partiellement lenticules. En renforçant une politique de destruction des ouvrages, il existe un risque de voir disparaître les espèces dites « envahissantes » et d'aboutir à une rivière totalement vide puisque les espèces traditionnelles ne se multiplieront pas à cause du réchauffement global de l'eau. Et ce, même si l'habitat, que la loi a choisi arbitrairement pour eux, et qui ne ressemblera pas du tout à celui d'une rivière sauvage préhistorique, puisque sans obstacle, est malheureusement considéré abusivement comme « restauré ». Pour des poissons de zones tempérées, c'est la double peine : milieu différent et habitats différents. La conservation d'une biodiversité aquatique dulçaquicole ne pourra s'établir que sur des assemblages d'espèces nouveaux, forcément différents de ceux « d'avant » et qui comprendront des espèces qui sont considérées pour

l'instant comme non natives. C'est une loi de la nature qui ne tient pas compte de la façon dont nous qualifions les espèces en relation avec nos propres intérêts.

Finalement, les seules espèces réellement envahissantes, sont précisément celles que nous relâchons pour faire du soutien d'effectif avant l'ouverture de la pêche, sans avoir mesuré l'impact qu'elles auront sur la compétition alimentaire, ni sur les traits de vie des individus sauvages après l'hybridation, parce qu'elles occuperont subitement l'espace de souches endémiques. Pour la truite par exemple, les lâchers pratiqués pour la pêche depuis 40 ans, ont fait disparaître les souches sauvages sauf si elles se trouvaient isolés par un obstacle infranchissable (étude génétique des truites, pêche Loire, 2016). Autrement dit, la gestion de cette fragmentation dont l'artificialité est proportionnelle à la hauteur de l'ouvrage, doit absolument être intégrée dans le plan de gestion de la biodiversité aquatique. Aucune approche globale à l'échelle du pays ne peut être envisagée pour sauvegarder partout les équilibres « historiques » entre espèces, mais en revanche, ils peuvent être conservés par endroits de manière totalement artificielle, chaque fois qu'il aura été possible d'effacer le réchauffement et la pollution de l'eau. Le plus simple reste la construction mécanique de zones de frayères où les poissons pourront se reproduire encore quelques temps, sachant que, malgré tout, ces espèces qui vivent partiellement dans un milieu incontrôlable comme la mer ne sont pas sauvées parce qu'une petite partie de leur existence est confortée.

D. Conclusion :

Percevoir le déclin de la biodiversité aquatique sur une période aussi courte qu'une trentaine d'années est assurément une situation particulièrement alarmante qui justifie la recherche de solutions urgentes scientifiquement justifiées. Pour prévoir l'impact des mesures à prendre, les scientifiques ont besoin de données chiffrées suffisamment nombreuses pour obtenir des résultats statistiquement significatifs. Dans le domaine de la biodiversité aquatique, les seules données disponibles aujourd'hui sont d'ordre climatique, hydrologique et morphologique, grâce au recensement des ouvrages sur les cours d'eau européens. Ces derniers constituent en fait, le seul paramètre sur lequel il est possible d'agir rapidement avec une « justification » statistique artificielle et surtout visuelle.

Même si l'objectif était d'effacer toutes traces de l'homme pour libérer la nature et sauvegarder la biodiversité aquatique, il s'est avéré rapidement impossible d'appliquer cette stratégie aux cours d'eau actuels, sauf à mettre l'existence même des êtres humains en danger, qui ont besoin d'eau, non seulement pour survivre comme les animaux, mais pour vivre confortablement. Il a donc fallu se résigner à se rabattre sur la destruction des obstacles de petites tailles, comme les seuils de moulins, dont l'usage a souvent été abandonné suite aux pressions administratives, devenus donc a priori inutiles pour nous et, par intérêt particulier, pour la nature. Malheureusement, ces petits ouvrages, bien que construits par les hommes, sont les seuls vestiges réhabilités des rivières sauvages préhistoriques qui ont hébergé la biodiversité aquatique que nous souhaitons restaurer. Ce sont eux qui génèrent les fonctionnalités naturelles des cours d'eau dont les différents services ont réussi à compenser des dégradations qui n'existaient pas avant que les activités humaines n'engendrent pollution et n'accélèrent la dégradation du climat. Autrement dit, en effaçant ces services, il sera impossible de ralentir l'érosion de la biodiversité aquatique, puisque simultanément cette opération aggrave l'impact des deux paramètres : hydrologie et température, qui eux, sont statistiquement

associés à cette disparition des espèces aquatiques. C'est au contraire en renforçant les actions de ces néo-ouvrages de petites tailles au sein de l'écosystème cours d'eau qu'il sera possible de stabiliser, voire de renverser cette tendance désastreuse à la disparition de ces poissons, que certains considèrent (par intérêt) comme des vrais poissons ! Elle ne tient qu'à une chose : la présence permanente d'eau en quantité suffisante pour atténuer rapidement l'impact du réchauffement climatique, en attendant que les mesures prises pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre et nos pollutions soient efficaces dans un contexte de population humaine qui continue de croître. Nous ne sauverons pas la nature en éliminant les hommes, et réciproquement, et en tout cas, pas en prenant des mesures pour empêcher de stocker l'eau dans les terres, quand elle vient à manquer. Renforcer notre réseau de mares, d'étangs, de retenues, de seuils, de barrages, et exploiter leur potentiel va résoudre 99 % de nos problèmes d'érosion de la biodiversité aquatique, en attendant des jours meilleurs. Cette stratégie « de l'eau pour tous », met fin à l'idée que tout ce que l'homme a fait est néfaste à la nature et la planète, sauf curieusement ce qu'il va faire maintenant ! Les événements cruels qui se déroulent en Ukraine viennent de rappeler brutalement qu'aucun pays, même riche, potentiellement capable d'acheter ailleurs ce qu'il n'a pas produit chez lui au nom d'une vision partielle de la protection de l'environnement, doit tout de même sécuriser son indépendance énergétique et alimentaires. Or, ces deux besoins fondamentaux dépendent d'une ressource dont, par chance, nous disposons abondamment en Europe : l'eau ; à condition de prendre de soin d'en faire des réserves suffisantes qui serviront à alimenter, la nature ET les humains. Si l'un en manque, l'autre en manquera. Il est urgent de mettre un terme à tous les programmes qui visent à réduire nos stocks d'eau en facilitant l'écoulement direct de nos rivières et fleuves vers la mer. L'effondrement de la biodiversité mondiale est un problème dont tout le monde connaît la solution : la réduction des émissions de CO2 et autres gaz à effet de serre. Les techniques pour y arriver sont également toutes connues : plus de transport, plus d'agriculture, plus de chauffage, plus de tout ce qui fait que la vie est vivable. Autrement dit, les solutions ne sont pas applicables. On ne peut espérer qu'une petite amélioration progressive qui ne peut en aucun cas mettre fin à la grande extinction animale. Pour agir vite, il n'y a qu'une seule solution : il faut atténuer les conséquences les plus nocives de nos émissions de gaz à effet de serre : température et pollution. L'outil pour modérer l'impact de ces deux paramètres tout en participant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, c'est l'eau. On sait comment faire diminuer la température avec de l'eau, on sait comment diluer la pollution avec de l'eau et on sait comment produire de l'énergie renouvelable avec de l'eau. A ceux qui trouvent que cette proposition est parfois utopique, nous répondons qu'il y a quelques semaines, nous pensions que vers 2050 ou 2100, la mortalité humaine allait augmenter en Europe suite au réchauffement climatique... Aujourd'hui, avec les événements en Ukraine, nous ne sommes pas certains du tout que l'humanité va survivre une prochaine guerre nucléaire qui reste possible et nous sommes totalement certains que nous aurons une pénurie alimentaire, dans nos pays si riches, dans quelques semaines, avant la fin 2022.

Patrice Cadet

Président ASM Loire
Directeur de Recherche IRD

Bibliographie

Bachelier R (1963), L'histoire du saumon en Loire, 1, Bull. Fr. Piscic. 211, 49-70.

Bachelier R (1964), L'histoire du saumon en Loire, 2, Bull. Fr. Piscic. 213, 121-135.

Benitez, J.P., Dierckx, A., Rimbaud, G., Nzau Matondo, B., Renardy, S., Rollin, X., Gillet, G., Dumonceau, F., Poncin, P., Philippart, J.-C., Ovidio, M., 2022, Assessment of Fish Abundance, Biodiversity and Movement Periodicity Changes in a Large River over a 20-Year Period. *Environments* 2022, 9(2), 22; <https://doi.org/10.3390/environments9020022>.

Bizarro, C. et al. (2014). Intersex condition and molecular markers of endocrine disruption in relation with burdens of emerging pollutants in thicklip grey mullets (*Chelon labrosus*) from Basque estuaries (South-East Bay of Biscay). *Marine Environmental Research*, 96 : 19-28.

Boulêtreau S et al (2018), Adult Atlantic salmon have a new freshwater predator, *PLoS One*, 13(4): e0196046.

Bravard, J.P. et Lévêque, C., 2020, La gestion écologique des rivières françaises, L'Harmattan, 361 pages.

Cadet, P., 2021, et si pour sauver les poissons migrateurs, il fallait sauver l'eau ?, *Moulins de France*, 126 : 34-37.

Cajaraville, MP; Hauser, L; Carvalho, G; Hylland, K; Olabarrieta, I; Lawrence, AJ; Lowe, D; Goksoyr, A. 2003. Links between genetic damage by xenobiotics at the individual level and the molecular /cellular response to pollution. In: *Effects of Pollution on Fish: molecular effects and population responses*. AJ LAWRENCE & KL HEMINGWAY (eds.), Blackwell Science Ltd, Oxford, pp 14-82.

CS/2018-02 : Note du conseil scientifique de l'AFB : Eléments de réponse à certains arguments contradictoires sur le bien-fondé du maintien et de la restauration de la continuité écologique dans les cours d'eau. Conseil scientifique de l'agence française pour la biodiversité, séance des 26-27 avril 2018, 5 pages.

Demeinex, B., 2017. Demain, tous crétiens ? Quand les perturbateurs endocriniens menacent l'intelligence humaine. Film par Gilman, S. & de Lestrade, T.

Depiereux, S., Liagre, M., Danis, L., De Meulder, B., Depiereux, E., Segner, H. & Kestemont, P., 2014. Intersex occurrence in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) male fry chronically exposed to ethynylestradiol. *PLoS ONE*. 9, 7, e98531.

Donati, F., Touchart, L. & Bartout, P. 2020 Les seuils en rivière transforment-ils les milieux lotiques en milieux lenticques ?. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, AERES, hal-02554591.

Eljarrata E, Barceló D (2018), How do measured PBDE and HCB levels in river fish compare to the Standards European Environmental Quality?, *Environmental Research*, 160, 203–211.

Fédération de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de la Loire, 2016. Identification de la diversité génétique et programme de sauvegarde des populations de truite du département de la Loire. 262 pp.

Hoffmann-Legrand, M., 2021, Les poissons amphihalins de France face au changement climatique : Évolution des effectifs et modification de la phénologie migratoire, Thèse, Université de Toulouse, 286 pages.

Horký, P., Grabic, R., Grabicová, K., Brooks, B.W., Douda, K., Slavík, O., Hubená, P., Sancho Santos, E.M. & Randák, T. 2021. Metamphetamine pollution elicits addiction in wild fish. *J Exp Biol*, 224 (13): jeb242145.

Merg, M.-L., Dézerald, O., Kreutzenberger, K., Demski, S., Reyjol, Y., Usseglio-Polatera, P., and Belliard, J. (2020). Modelling diadromous fish loss from historical data : Identification of anthropogenic drivers and testing of mitigation scenarios. *PLOS ONE*, 15(7). Publisher: Public Library of Science.

Paine, R. T. (1969). A Note on Trophic Complexity and Community Stability. *The American Naturalist*, 103 (929): 91–93. doi:10.1086/282586.

Pinay, G., Gascuel, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Le Moal, M. (coord), Levain, A., Etrillard, C., Moatar, F., Pannard, A., Souchu, P. 2017. L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea (France), 148 pages.

Sonne, C., Peng, W.X., Alsatrup, A.K.O. & Lam, S.S. 2021, European eel population at risk of collapse, *Science*, 372, 1271, DOI: 10.1126/science.abj3359.

Tanaka, K.R. & Van Houtan, K.S. 2022. The recent normalization of historical marine heat extremes. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000007>

Van Looy, K., Tormos, T. & Souchon, Y. (2014) Disentangling dam impacts in river networks, *Ecological Indicators*, 37, pp. 10-20 DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.10.006.

Wilkinson et al, 2022, Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *PNAS*, 119, 8, e2113947119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>