

Le corridor fluvial : des trames déjà en place à renforcer et à protéger

Les corridors fluviaux constituent des trames naturelles aux multiples fonctions écologiques, mais ces espaces sensibles sont bien souvent menacés par les activités humaines. Identifier les trames fonctionnelles à préserver ou à restaurer est donc un enjeu essentiel pour mettre en place des stratégies de gestion pertinentes qui améliorent la connectivité écologique de ces milieux. Comment la construction d'indicateurs spatialisés peut-il aider à répondre à cet enjeu ? L'analyse de la recolonisation de la loutre sur le bassin versant de la Loire est un exemple des recherches et des analyses menées.



Maintenir l'intégrité du corridor fluvial est une condition nécessaire pour préserver le fonctionnement de l'écosystème rivière et la biodiversité qu'il abrite. Cette intégrité est garante de la dynamique et de la connexion des habitats complexes du cours d'eau et des rives (zones ripariennes), en offrant ainsi

des voies de circulation et des lieux de vie pour bon nombre d'espèces aquatiques et terrestres. Cependant, ce corridor de connectivités naturelles, aussi bien latérales, longitudinales que verticales, est souvent modifié par les activités humaines. Le continuum formé par les habitats du cours d'eau, de ses affluents et de ses bras annexes, est perturbé par divers aménagements ponctuels (obstacles à l'écoulement) et linéaires (digues, enrochements, rectifications du tracé...) qui se cumulent le long du réseau. Le continuum riparien (figure 1), dont l'intégrité est étroitement liée au fonctionnement hydro-morphologique du cours d'eau, est également menacé par l'occupation du sol environnante qui peut conduire à la suppression pure et simple des arbres bordant les cours d'eau.

Afin de préserver ou d'améliorer la connectivité écologique de ces espaces sensibles, il est donc indispensable d'en caractériser l'état sur de grands territoires et de mieux comprendre leurs fonctions écologiques multiples. L'approche présentée ici consiste à construire une série d'indicateurs spatialisés du corridor fluvial sur l'ensemble du réseau en France métropolitaine et de les

confronter à des réponses écologiques. L'enjeu opérationnel réside dans l'identification des trames fonctionnelles à préserver ou à restaurer. Cet article présente tout d'abord les principes et les méthodes de construction de ces indicateurs ; il présente ensuite une analyse de la recolonisation de la loutre dans le bassin versant de la Loire (photo 1).

Les indicateurs spatialisés du corridor fluvial

Définitions et objectifs

L'intégrité du corridor fluvial comprenant le cours d'eau et sa ripisylve dépend du bon fonctionnement des processus hydro-morphologiques. Le cours actif de la rivière érode naturellement son lit et ses berges sous l'action des débits, transporte des sédiments et inonde périodiquement les terrains riverains. Ces processus naturels, fortement dépendants de l'hydrologie, de la géomorphologie, et de la végétation rivulaire en place, créent les mosaïques d'habitats et entretiennent les connectivités.

Le premier objectif des indicateurs spatialisés est donc de caractériser l'état des mosaïques d'habitats. En fonction des informations homogènes mobilisables sur l'ensemble du territoire, cet état est caractérisé soit directement, soit indirectement en quantifiant la présence de pressions susceptibles de l'altérer ou de perturber les processus le maintenant. Pour cela, ces indicateurs se basent sur la mesure, dans les espaces adéquats, des compositions et/ou configurations spatiales d'un ou plusieurs éléments



❶ La Loutre d'Europe (*Lutra lutra*) : une espèce emblématique qui symbolise les milieux préservés et représente un moteur non négligeable de la conservation des écosystèmes aquatiques.

du paysage (ponctuels, linaires ou surfaciques). En fonction de l'(ou des) élément(s) du paysage étudié(s) (couvert boisé, caractéristique hydromorphologique...), de la métrique spatiale analysée (composition et/ou configuration), et de l'espace où cette métrique est mesurée, on ne quantifiera pas les mêmes structures d'habitats, et on ne traduira pas les mêmes processus impactés. Cette caractérisation se fait à deux niveaux spatiaux :

- à l'échelle d'un tronçon de cours d'eau homogène (quelques kilomètres) d'un point de vue des processus géomorphologiques ;
- à l'échelle d'un réseau hydrographique (plusieurs dizaines de km) qui correspond à l'agrégation de plusieurs tronçons.

Le deuxième objectif de ces indicateurs est d'évaluer la connectivité fonctionnelle, *i.e.* la description de couloirs de déplacement pour les organismes. La connectivité fonctionnelle dépend bien évidemment des compositions et configurations spatiales des mosaïques d'habitats en place, mais doit tenir compte des comportements de migration des organismes ciblés.

Présentation des différents indicateurs et méthode de construction

Plusieurs indicateurs ont été définis pour traduire l'état de ces mosaïques d'habitats et leur connectivité aux échelles tronçon et réseau. Ils ont été construits à partir de routines SIG (système d'information géographique) exploitant les bases de données spatiales mobilisables à cette l'échelle.

Construction des indicateurs à l'échelle tronçon

Soixante-neuf mille cinq cents tronçons ont été délimités sur la base de la BDCarhage® de l'IGN¹ simplifiée représentant les cours d'eau naturels (230 000 km, projet Syrah_CE)².

- ❶ Image Google Earth® de la Somme à Péronne : dans un paysage dominé par l'agriculture subsistent des trames naturelles constituées par les ripisylves (trame vert plus foncé) le long des cours d'eau (trame bleue). Selon les contextes géographiques et les usages des sols, la nature, les formes et les emprises de ripisylve varient et avec elles les propriétés écosystémiques de ces espaces rivulaires.



1. Institut géographique national.

2. Syrah_CE : Système relationnel d'audit de l'hydro-morphologie des cours d'eau : https://hydroeco.cemagref.fr/hydromorphologie/syrah_ce-systeme-relationnel-daudit-de-lhydromorphologie

► On trouve pour chaque tronçon homogène, du point de vue hydro-morphologique (échelle locale), des indicateurs :

- relatifs aux pressions hydro-morphologiques ;
- spécifiques aux ouvrages transversaux ;
- spécifiques du continuum rivulaire (formations végétales rivulaires).

Les indicateurs de pressions hydro-morphologiques ont été définis par Syrah_CE2 qui a développé une approche cohérente d'évaluation des altérations hydro-morphologiques des cours d'eau, susceptibles d'avoir un effet négatif sur leur fonctionnement physique et par voie de conséquence sur leur fonctionnement écologique. Les indicateurs de pression ont été construits essentiellement à partir de la BD Topo® de l'IGN, référentiel de précision métrique (grande échelle) sur le territoire national.

Les indicateurs renseignant la présence d'ouvrages transversaux (barrages, seuils) cherchent à en quantifier les effets spécifiques : effet de retenue en amont (création de milieux lenticques), effet de modification éventuelle de débit en aval et effet général de fragmentation (obstacle pour les flux liquides, solides et biologiques).

Les indicateurs spécifiques du continuum rivulaire ciblent la composition (végétation herbacée, arbustive,

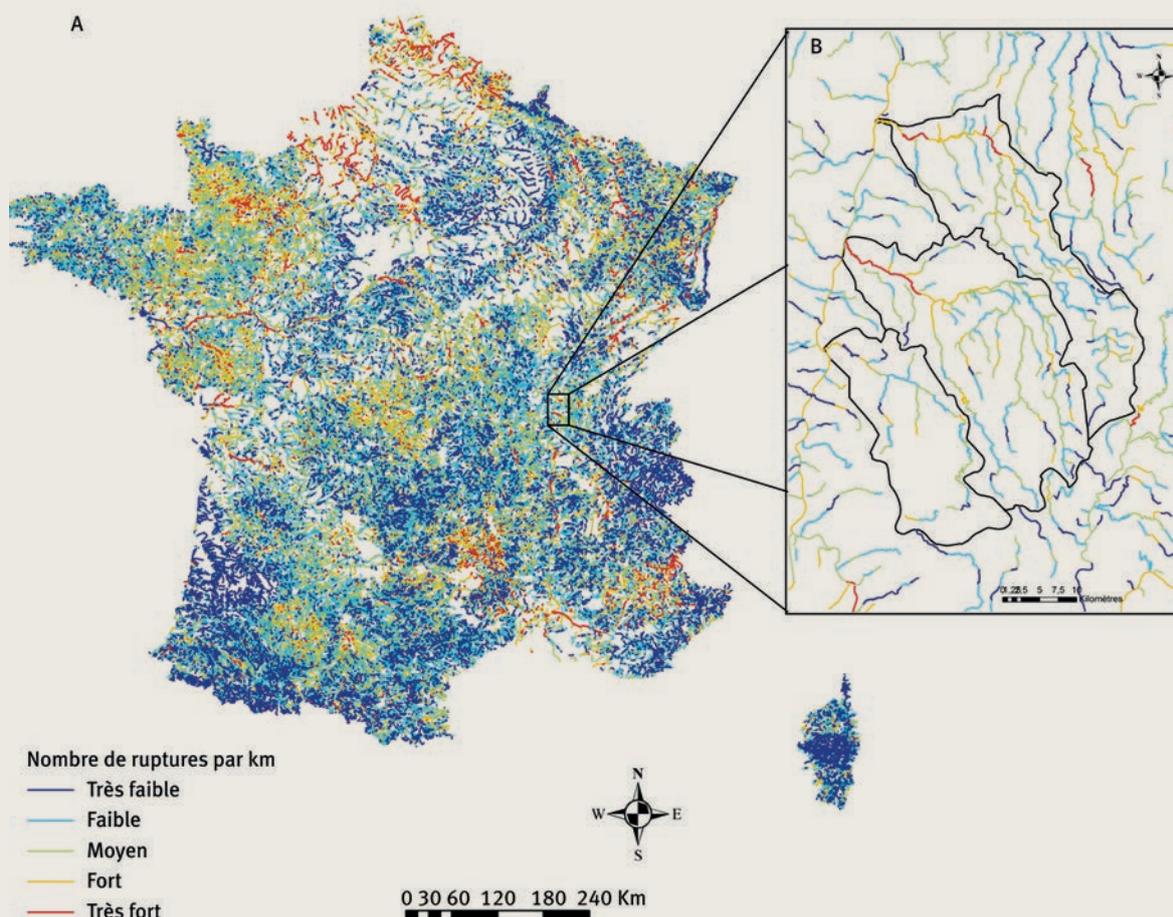
bois dur, bois tendre) et la configuration spatiale (largeur et continuité) des patches de végétation rivulaire traduisant l'état de cette mosaïque d'habitats. Par exemple, la densité de ruptures de la végétation arborée dans la bande de 30 m autour du cours d'eau traduit l'altération de la continuité naturelle de ce continuum (figure 2). Aujourd'hui, ces indicateurs concernent uniquement la végétation arborée car c'est la seule information, issue de la BDTopo®, disponible sur l'ensemble du territoire français. Des méthodes sont en cours de développement pour compléter cette information (végétation herbacée et arbustive, plantation, résineux, feuillus mixtes, bois durs/tendres...) à partir du traitement d'image à très haute résolution spatiale (< à 5 m) (figure 3).

Construction des indicateurs à l'échelle réseau

On gère ici, numériquement sous SIG, l'agrégation des informations relatives à un ensemble de tronçons interconnectés, de telle sorte qu'il soit possible d'en représenter les propriétés de voisinage amont, aval, proche et lointain.

Il y est aussi intégré la densité, le branchement, l'importance des confluences et la qualité des tronçons dans une seule mesure de connectivité.

- 2 Exemple d'indicateur spatialisé du corridor fluvial : indicateur de continuité de la végétation arborée dans la bande de 30 m.
En A : sur la France métropolitaine ; en B : zoom sur les principaux bassins versant de la Bresse (du nord au sud : bassin de la Reyssousse, la Veyle, et la Chalaronne).



Vers une identification de trames fonctionnelles : exemples au travers de la loutre sur le bassin de la Loire

Les analyses dédiées à la compréhension détaillée de la connectivité fonctionnelle des réseaux écologiques sur de grands territoires, tels que les réseaux fluviaux dendritiques, sont généralement limitées par la disponibilité d'informations fines pour quantifier les facteurs explicatifs et les événements de dispersion. Le réseau de suivi de la recolonisation de la loutre d'Europe (*Lutra lutra*) sur le bassin de la Loire (1985-2010), coordonné par l'Office national de la chasse et de la faune sauvage, est un exemple précieux de dispersion animale, qui permet d'illustrer le couplage entre propriétés du corridor fluvial et écologie. De plus, la haute valeur sociétale de ce grand mammifère comme espèce emblématique, a déjà été utilisée comme levier pour fédérer le soutien public à la préservation de la biodiversité et à la restauration des écosystèmes. Deux types d'analyses ont été menés :

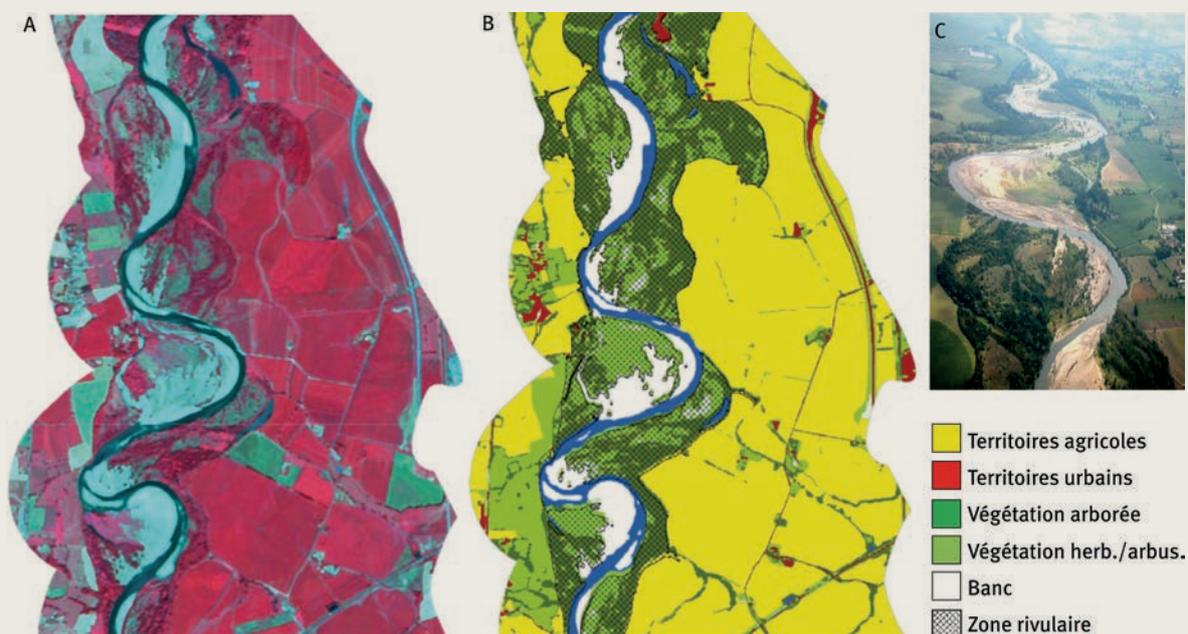
- **modèle d'extrapolation spatiale statique** qui recherche les critères de qualité ripariens et hydro-morphologiques (variables de contrôle et de pressions) significatifs pour la niche écologique de la loutre, et identifie les tronçons favorables à la présence de la loutre à partir de ces critères ;
- **modèle d'extrapolation spatiale dynamique**, qui sur la base des résultats du modèle précédent, intègre dans l'étape d'extrapolation l'historique de recolonisation de l'espèce, afin d'identifier les ruptures de continuité infranchissables pour la loutre.

Le modèle d'extrapolation spatiale statique

Une analyse par niche écologique a été appliquée pour déduire les propriétés de l'habitat favorable à partir des indicateurs de végétation rivulaire et de pressions hydro-morphologiques à l'échelle locale. Un taux de forêt élevé dans le lit majeur et dans la bande des 30 m, des altérations minimales du lit mineur (rectification), et un faible taux d'urbanisation et de voies de communication sont les principaux facteurs expliquant la présence de la loutre sur le bassin. La figure 4A propose une représentation cartographique des longueurs continues de tronçons favorables sur le bassin. Ces résultats confortent l'idée que cette espèce est indicatrice du bon fonctionnement du corridor fluvial. Malgré son caractère généraliste, cette espèce est fortement sensible aux altérations hydro-morphologiques et à la présence humaine en général.

Pour modéliser les potentialités de dispersion de ces espèces, un indice intégré de continuité (IIC) a été utilisé. Plusieurs IIC de voisinages différents (2, 5, 10 tronçons amont/aval) ont été construits afin de mettre en évidence les réseaux écologiques à différentes échelles, *i.e.* répondant à des besoins écologiques différents (mobilité quotidienne, aire de proximité, ou réseau nécessaire à la conservation durable d'une population à partir de la capacité de dispersion de l'espèce). L'IIC relatif à la conservation des populations dans le temps (voisinage 10) identifie les grands réseaux écologiques sur le territoire pour les organismes à forte mobilité et permet d'identifier les trames à renforcer à l'échelle

- ④ Illustration du résultat de l'approche automatisée de délimitation et d'attribution de catégories de végétation dans la zone fonctionnelle du corridor rivulaire (ici, l'Allier) à partir d'images de très haute résolution spatiale basées sur une approche objet-orienté.
En A : l'image RapidEye (5 m de résolution spatiale, information dans le proche infra-rouge) disponible France entière grâce au programme Géosud (<http://geosud.teledetection.fr/>) ;
en B : le résultat de la délimitation de la zone rivulaire après classification de l'occupation du sol ;
en C : une vue synoptique de la zone en couleur réelle (photo G. Geerling).



▶ régionale (principalement localisées en aval pour le bassin de la Loire), les réseaux d'intérêt à conserver en priorité (principalement localisés en amont pour le bassin de la Loire), et les réseaux à restaurer pour améliorer la connectivité globale du réseau. L'approche proposée est plus performante pour expliquer la présence de l'espèce que les méthodes basées sur des modèles de distribution simples. Ceci confirme l'intérêt de prendre en compte la connectivité dans la compréhension de la recolonisation de la loutre.

Le modèle d'extrapolation spatiale dynamique

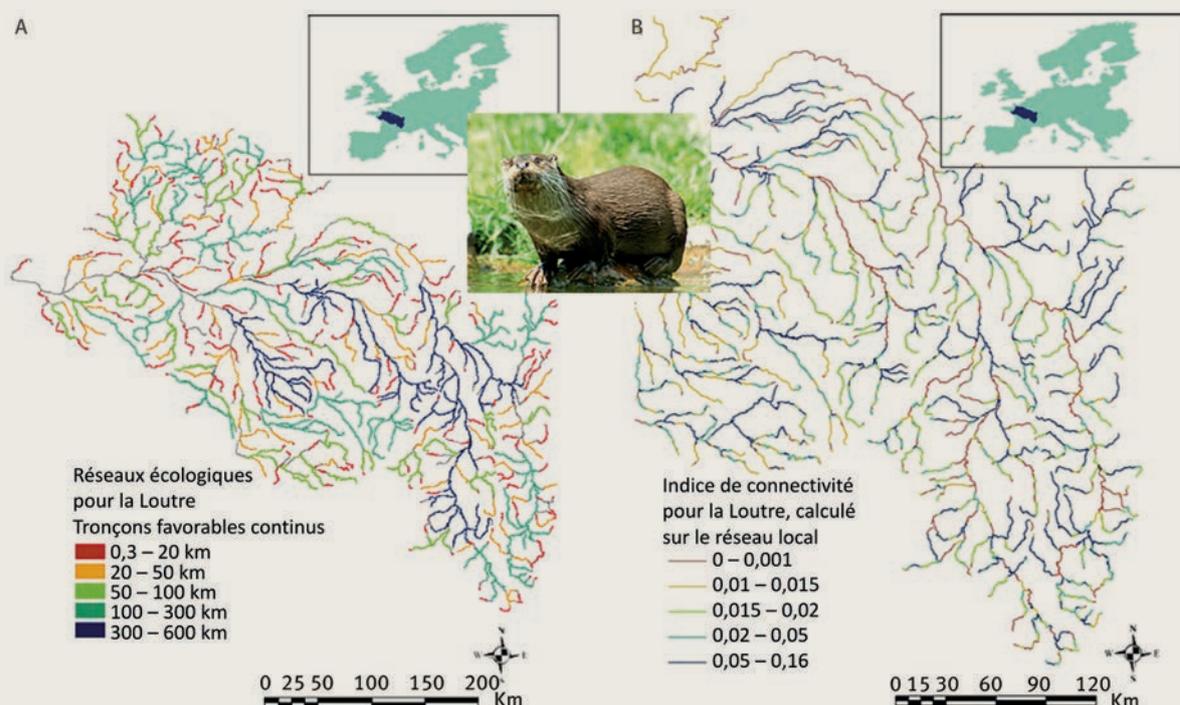
Le modèle précédent permet de mettre en évidence une connectivité dite « structurelle », *i.e.* une contiguïté de tronçons en fonction des facteurs explicatifs de la présence de la loutre. Mais il ne met pas en évidence l'aspect dynamique de la recolonisation de l'espèce durant la période d'observation (25 ans) sur l'ensemble du bassin versant. Le modèle dynamique propose lui de mettre en évidence une connectivité dite « fonctionnelle » car il a pour but d'expliquer la variabilité observée en termes de vitesse de colonisation par le fonctionnement du corridor, traduit par les indicateurs. De précédentes études dans le Massif central témoignent de l'avancée potentielle des populations de loutre sur une distance d'environ 12 km de cours d'eau par an. Dans le modèle, cette valeur théorique a aussi été fixée à 8 km/an et 10 km/an afin d'estimer la robustesse du modèle à ce paramètre variable selon les régions.

Concrètement, le modèle détermine, pour chaque pas de temps t , le voisinage théoriquement accessible par les individus à partir des tronçons occupés à un pas de temps $t-1$, et identifie les variables d'habitats (indicateurs de végétation rivulaire et de pressions hydro-morphologiques) expliquant la colonisation ou non, au pas de temps t , de ces voisinages potentiellement accessibles. Les résultats sont sensiblement équivalents pour les différentes vitesses de colonisation théoriques. L'apport de la dimension temporelle permet de confirmer les influences négatives du taux de rectitude sur le tronçon et du taux d'urbanisation dans la bande de 100 m, ainsi que l'influence positive de la végétation arborée dans la bande de 30 m. En fonction de ces facteurs, les probabilités d'occupation des tronçons par le front de colonisation le plus récent de la loutre ont été calculées sur la base du modèle tenant compte d'une vitesse de recolonisation de 12 km/an et cartographiées.

Cette carte rejoint les observations du modèle statique sur les plus faibles probabilités localisées sur les tronçons les plus à l'aval du fleuve Loire et sur les secteurs nord et ouest du bassin versant. Par contre, elle identifie plus spécifiquement la zone du Massif central comme une zone d'occupation qui semble assez homogène et relativement importante comparativement au reste du réseau.

④ Exemple de cartographies des résultats du modèle d'extrapolation statique des tronçons favorables pour la loutre d'Europe.

En A : les longueurs continues de tronçons en fonction des facteurs favorables à leur présence (déterminés grâce à l'analyse par niche écologique) ; en B : l'indice intégré de connectivité (IIC) sur un voisinage local (2 tronçons amont et aval) qui permet d'identifier les trames écologiques pertinentes (couleurs froides sur la carte) pour une dispersion locale de l'espèce (mobilité quotidienne).



Conclusion et perspectives

L'analyse menée au travers de la loutre, démontre que grâce à des analyses spatiales pertinentes intégrant entre autres des propriétés structurelles et de connectivité des corridors fluviaux, il est possible de caractériser des trames fonctionnelles. Le recours aux outils géomatiques et à l'imagerie spatiale ouvre d'importants champs d'exploration nouveaux pour la recherche de relations entre corridor fluvial et réponses écologiques. Ces représentations spatiales à large échelle, désormais maîtrisées techniquement, pourront être des aides précieuses pour la prescription d'actions à mettre en œuvre à des niveaux régionaux de gestion territoriale de ce corridor. D'autres travaux ont été engagés dans ce sens, en analysant les effets bénéfiques du corridor rivulaire sur l'état trophique et biologique sur l'écosystème rivière et l'impact négatif des ouvrages transversaux sur les communautés aquatiques (photo ②).

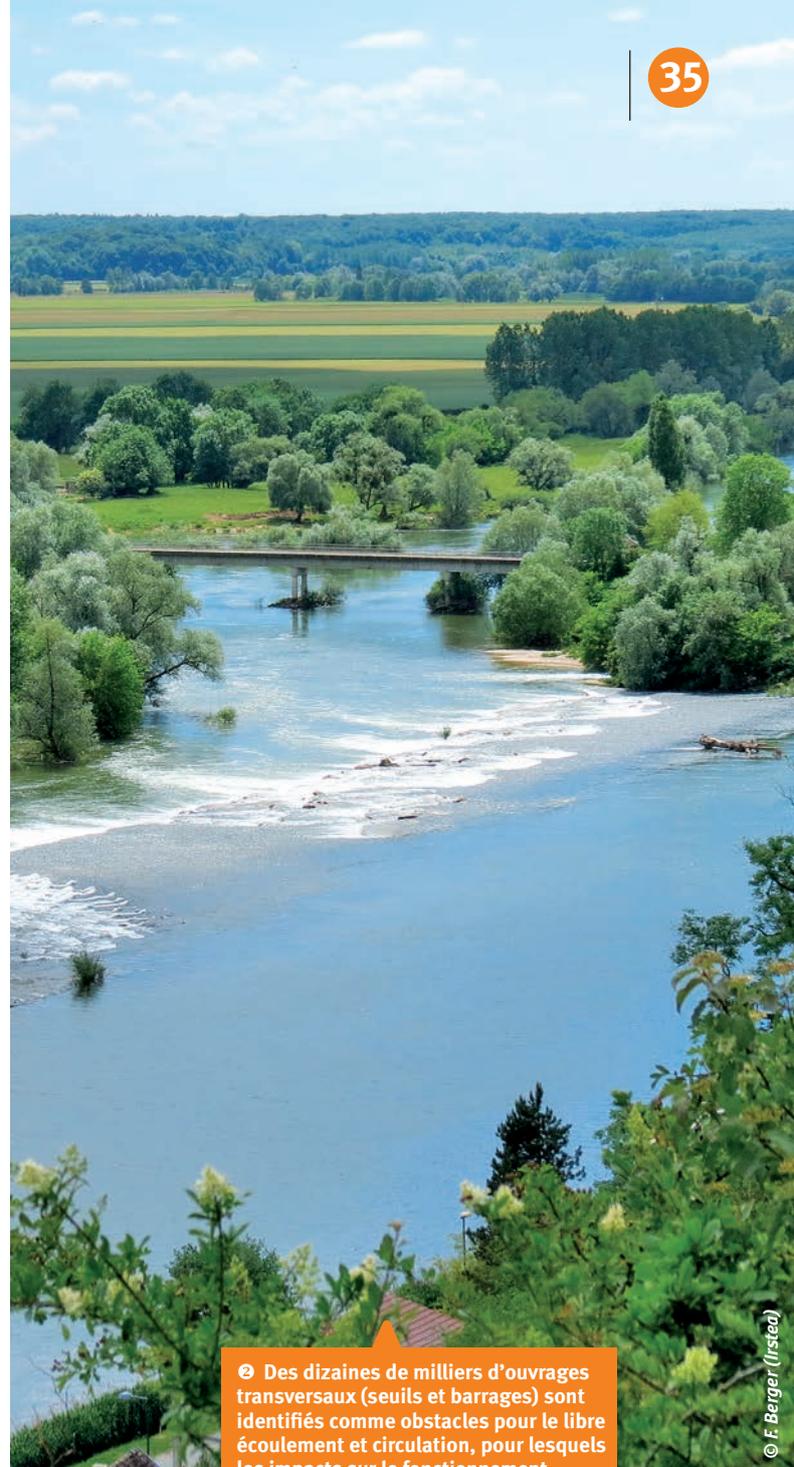
Aujourd'hui, avec la base d'indicateurs construite à l'échelle métropolitaine, et les méthodes initiées pour compléter cette base (e.g. exploitation des données de télédétection à très haute résolution spatiale), beaucoup d'autres relations sont envisageables. Cette information homogène au niveau national peut aider à identifier et dimensionner des trames répondant à diverses fonctionnalités écologiques (trophie, thermie, habitats, déplacements...), à différentes échelles, aussi bien au travers de l'avifaune, que de la faune et de la flore aquatiques. ■

Les auteurs

Kris VAN LOOY, Thierry TORMOS, Jérémie PIFFADY et Yves SOUCHON

Irstea – UR MALY
Milieux aquatiques, écologie et pollutions
Pôle Onema/Irstea d'hydro-écologie
des cours d'eau de Lyon
5 rue de la Doua – CS 70077
F-69626 – France

✉ kris.van-looy@irstea.fr
✉ thierry.tormos@irstea.fr
✉ jeremy.piffady@irstea.fr
✉ yves.souchon@irstea.fr



② Des dizaines de milliers d'ouvrages transversaux (seuils et barrages) sont identifiés comme obstacles pour le libre écoulement et circulation, pour lesquels les impacts sur le fonctionnement hydromorphologique et écologique et les actions pour restaurer la continuité du corridor fluvial restent à identifier.

© F. Berger (Irstea)

EN SAVOIR PLUS...

① **CSPNB, WASSON, J.G., DÉCAMPS, H., BLONDEL, J., JOLY, P., LUGINBUHL, Y., GRIL, J.-J.**, 2008, *L'arbre, la rivière et l'homme*, Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité, Paris.

② **GREGORY, S.V., SWANSON, F.J., MCKEE, W.A., CUMMINS, K.W.**, 1991, An ecosystem perspective of riparian zones, *BioScience*, n° 41, p. 540-551.

③ **NAIMAN, R.J., DÉCAMPS, H.**, 1997, The ecology of interfaces: Riparian zones, *Annual Review of Ecology and Systematics*, n° 28, p. 621-658.

④ **NAIMAN, R.J., DÉCAMPS, H., MCCLAIN, M.**, 2005, *Riparia. Ecology, conservation, and management of streamside communities*, Academic Press, San Diego, USA.

⑤ Sur les travaux du pôle Onema/Irstea en hydro-écologie des cours d'eau, dédiés à la construction des indicateurs et à l'analyse des réponses écologiques :

<http://www.irstea.fr/la-recherche/unites-de-recherche/maep/pole-onema-irstea/publications-par-annee>