

Réponse des communautés d'oiseaux à la qualité des boisements riverains évaluée avec l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR)

PHILIPPE JANSSEN^a – ANDRE EVETTE^a – LAURENT BERGÈS^a – PIERRE GONIN^b – LAURENT LARRIEU^c – MELANIE DAJOUX^d – STEPHANIE DUPONT^d – STEPHANE GARDIEN^d – CHRISTOPHE GILLES^d – ALAIN LADET^d

Philippe JANSSEN (philippe.janssen@inrae.fr), André EVETTE (andre.evette@inrae.fr) et Laurent BERGÈS (laurent.berges@inrae.fr), Université Grenoble Alpes, INRAE, UR LESSEM, 2 rue de la Papeterie BP 76, F-38402 SAINT-MARTIN-D'HERES

Pierre GONIN (pierre.gonin@cnppf.fr), IDF, Maison de la Forêt, 7 chemin de la Lacade, F-31320 AUZEVILLE TOLOSANE

Laurent LARRIEU (laurent.larrieu@inrae.fr), Université de Toulouse, INRAE, UMR DYNAFOR, 31320 CASTANET-TOLOSAN, et CNPF-CRPF Occitanie, Maison de la Forêt, 7 chemin de la Lacade, F-31320 AUZEVILLE TOLOSANE

Mélanie DAJOUX (melanie.dajoux@fne-aura.org), Stéphanie DUPONT (stephanie.dupont@fne-aura.org), Stéphane GARDIEN (stephane.gardien@fne-aura.org), Christophe GILLES (christophe.gilles@fne-aura.org) et Alain LADET (alain.ladet@wanadoo.fr), France Nature Environnement Auvergne-Rhône-Alpes, HEVEA-Etic, 2 rue professeur Zimmermann, F-69007 LYON

RESUME

Afin d'évaluer la qualité et la fonctionnalité des ripisylves pour la biodiversité, nous proposons un nouvel indice tenant compte des dimensions longitudinale et transversale de l'hydrosystème : l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR). Constitué de 15 facteurs renseignant des critères liés au peuplement et sa gestion, au contexte, aux perturbations/pressions et à la connectivité, l'IBCR est un nouvel outil qui fournit aux gestionnaires des cours d'eau des éléments concrets pour orienter la gestion et la conservation des linéaires boisés riverains. Nous avons étudié la réponse des communautés d'oiseaux aux facteurs de l'IBCR. Nos résultats montrent que la richesse en oiseaux forestiers augmente avec les valeurs de l'IBCR et que les ripisylves dégradées et déconnectées bénéficient aux espèces d'oiseaux des milieux agricoles. Ces résultats soulignent l'intérêt de l'IBCR pour évaluer la qualité et la fonctionnalité des ripisylves pour les oiseaux.

ABSTRACT

In order to assess the quality and functionality of riparian forests for biodiversity, we propose a new index that takes into account the longitudinal and cross-sectional dimensions of the hydrosystem: the Index of Biodiversity and Connectivity for Riparian forests (IBCR). Consisting of 15 factors that provide information on criteria related to stand attributes and management, context, disturbance/pressure and connectivity, the IBCR is a new tool that provides stream managers with concrete elements to guide the management and conservation of linear forests. We studied the response of bird communities to IBCR factors. Our results show that forest bird diversity increases with IBCR values and that degraded and disconnected riparian forests benefit agricultural bird species. These results underline the validity of the IBCR for assessing the quality and functionality of riparian forests for birds.

INTRODUCTION

La ripisylve constitue un espace de transition entre le cours d'eau et le milieu terrestre. Ces linéaires boisés plus ou moins denses et plus ou moins larges forment ainsi un écotone constitué de peuplements forestiers caractéristiques (parfois dominés par les « bois tendres », parfois par les « bois durs ») sous la dépendance d'un régime des perturbations spécifique (inondations, phénomènes d'érosion-dépôt) et d'une nappe d'accompagnement (Dufour et Piégay, 2006). Du fait de cette position à l'interface entre écosystèmes terrestre et aquatique, les ripisylves sont reconnues pour la multitude des fonctions (régulation des débits, stabilisation des sols) et des services (contrôle des inondations, qualité de l'eau) qu'elles assurent, et participent *in fine* au bon état écologique du cours d'eau (Naiman et Decamps, 1997). Plus généralement, les formations boisées riveraines sont considérées comme des éléments naturels jouant un rôle écologique majeur comparativement à leur taille restreinte. En effet, bien qu'à peine 1 % de la surface continentale européenne soit occupée par les zones riveraines (Weissteiner *et al.*, 2016), ces milieux accueillent un cortège d'espèces unique et sont d'une importance critique pour la conservation de la biodiversité (Gregory *et al.*, 1991; Naiman et Decamps, 1997).

A l'échelle mondiale, les hydrosystèmes sont parmi les écosystèmes les plus impactés par les activités humaines (Nilsson *et al.*, 2005) et probablement parmi les plus vulnérables aux changements globaux en cours (Perry *et al.*, 2012). Pour contrôler le risque d'inondation et l'érosion des berges, des techniques lourdes de génie civil ont été massivement utilisées (endiguements, barrages), altérant les dynamiques hydro-géomorphologiques et écologiques des hydrosystèmes, avec de graves conséquences pour la biodiversité riveraine (Dudgeon *et al.*, 2006; Poff *et al.*, 2007; Tonkin *et al.*, 2018). Associée à diverses pressions d'origine anthropique (changement d'usage des sols, pollution, pompage, etc.), ces altérations conduisent à la banalisation, voire à la destruction, des communautés riveraines. De nombreuses études ont ainsi montré que la canalisation des rivières et la régulation des débits favorisaient les espèces exotiques envahissantes en forêts alluviales, réduisaient la diversité des essences autochtones et homogénéisaient la structure des peuplements forestiers (Dufour *et al.*, 2007; Merritt et Cooper, 2000; Oswalt et King, 2005). Face à ces dégradations et afin d'améliorer la qualité de l'eau et des habitats riverains, comme voulu par la Directive-cadre européenne sur l'eau de 2000, l'évaluation de l'état écologique des zones riveraines est devenu un enjeu majeur et un préalable à la conduite d'opérations de restauration.

La complexité des milieux naturels, notamment des milieux d'interface comme les zones riveraines, et la multitude des paramètres qui influencent la biodiversité rendent l'étude de ces écosystèmes très difficile et chronophage. Pour pallier ces limites et fournir des outils pratiques aux gestionnaires, des indicateurs indirects de l'état écologique des habitats riverains ont été proposés (González del Tánago et García de Jalón, 2011; Meixler et Bain, 2010; Munné *et al.*, 2003). Cependant, ces indicateurs sont souvent calibrés à l'échelle d'un tronçon de rivière, dépassant généralement l'emprise des ripisylves, et ne prennent pas en compte des attributs spécifiques des peuplements forestiers comme les bois morts et les dendromicrohabitats, pourtant cruciaux pour les espèces forestières (Stokland *et al.*, 2012). A l'inverse, pour les écosystèmes forestiers non rivulaires, des indicateurs indirects de biodiversité à l'échelle du peuplement intégrant des liens fonctionnels entre attributs des peuplements et biodiversité ont été développés, comme par exemple l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP, Larrieu et Gonin, 2008). Bien que calibré pour un vaste ensemble climatique

et une large diversité de peuplements forestiers (Larrieu *et al.*, 2012), l'IBP ne prend pas en compte plusieurs facteurs biotiques (espèces exotiques envahissantes), abiotiques et anthropiques (artificialisation, dérangement et perturbation), fonctionnels (connectivité) et *a priori* déterminants pour évaluer la qualité des ripisylves pour la biodiversité.

Nous testons dans cet article, en utilisant un plan d'échantillonnage dédié, la réponse des communautés d'oiseaux à un nouvel indice, l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR), développé pour évaluer la qualité et la fonctionnalité des ripisylves pour la diversité des espèces vivant dans ces linéaires boisés. Très étroitement lié à l'IBP, cet indice s'en distingue notamment par la prise en compte des dimensions longitudinale et transversale de l'hydrosystème dans l'évaluation globale de l'état de la ripisylve. Spécifiquement, nous avons testé comment (i) les valeurs de l'Indice Ponctuel d'Abondance (IPA), (ii) la richesse en espèces d'oiseaux forestiers, agricoles, aquatiques et généralistes et (iii) la composition des cortèges d'oiseaux variaient en fonction des valeurs de l'IBCR, mais aussi de celles des différents facteurs individuels constitutifs de l'indice. Le choix des oiseaux comme modèle d'étude répond à (i) des considérations pratiques, liées à la disponibilité de compétences locales pour réaliser les inventaires, tout en présentant un bon ratio pertinence/coût (Larrieu *et al.*, 2018), et (ii) des considérations scientifiques, liées à l'utilisation de ce même groupe taxonomique pour calibrer l'IBP, rendant ainsi les comparaisons entre IBCR et IBP pertinentes (Larrieu *et al.*, 2019). Cette approche visant à étudier la relation entre des mesures de biodiversité réelle et des indicateurs indirects de biodiversité reste encore marginale, notamment pour des métriques autres que la richesse spécifique (Gao *et al.*, 2015). Dans ce cadre, l'objectif de cet article est d'une part de porter à connaissance le nouvel indice développé et, d'autre part, de justifier l'intérêt de son utilisation par les gestionnaires des milieux aquatiques pour évaluer la qualité et la fonctionnalité des ripisylves à partir de données de biodiversité mesurées sur le terrain.

MÉTHODE – MATÉRIEL

L'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR)

L'IBCR se compose de 15 facteurs clés considérés comme déterminants pour la biodiversité des ripisylves (Table 1). L'utilisateur de l'IBCR attribue un score allant de 0 à 5 (avec trois ou quatre modalités possibles) à chacun de ces facteurs en fonction de seuils prédéfinis (voir en annexe, la fiche et la notice explicative détaillée). Ordonnés en quatre grands ensembles, la prise en compte des 15 facteurs permet d'attribuer un score total à la ripisylve variant entre 0, pour les ripisylves très dégradées (par exemple peupleraies gérées intensivement) et très peu connectées, et 100, pour les ripisylves de très bonne qualité (par exemple forêts galeries de Saules blancs riche en très gros arbres et en bois mort) et très bien connectées aux différentes dimensions de l'hydrosystème. Il s'agit plus spécifiquement de renseigner :

- Sept facteurs liés au peuplement et à la gestion, dont six facteurs issus de l'IBP et adaptés au contexte spécifique des ripisylves. Il s'agit plus spécifiquement de renseigner la présence de ligneux autochtones caractéristiques des ripisylves (facteur A), en faisant la distinction entre les essences à bois tendre et à bois dur, de prendre en compte la structure verticale de la végétation (B), de quantifier le nombre de pièces de bois mort au sol (C) et sur pied (D), de très gros bois vivants (E), d'arbres porteurs de dendromicrohabitats (F) et d'abris racinaires aquatiques (G).

- Trois facteurs liés au contexte, issus de l'IBP et adaptés aux ripisylves. Il s'agit plus spécifiquement de renseigner la continuité temporelle de l'état boisé (H), de la présence de milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau (I) et de milieux minéraux et annexes (J).
- Deux facteurs liés aux perturbations/pressions sur la ripisylve, propres à l'IBCR. Ils visent à renseigner la présence d'arbres exotiques et d'espèces invasives (K) et l'état de dégradation (par exemple enrochement des pieds de berge) et de perturbation (par exemple sur-fréquentation) du milieu (L), du fait des activités anthropiques.
- Trois facteurs liés à la connectivité de la ripisylve, propres à l'IBCR. Il s'agit plus spécifiquement de quantifier la connectivité longitudinale (c'est-à-dire la continuité du couvert arboré le long du cours d'eau) (M), transversale (c'est-à-dire les liens avec le lit majeur) (N) et paysagère (c'est-à-dire le contexte environnant) (O) de la ripisylve.

Le domaine d'application de l'IBCR se limite aux ripisylves des cours d'eau du bassin Rhône Méditerranée (excluant le pourtour méditerranéen, pour lequel des spécificités existent). Il s'applique aux berges directement en contact avec le cours d'eau et souvent de faible largeur (quelques mètres à une dizaine de mètres). Au-delà de ce linéaire boisé, comme par exemple dans les vastes ensembles de forêts alluviales, l'IBP est mieux adapté pour évaluer la capacité d'accueil du peuplement en espèces ordinaires (Larrieu *et al.*, 2012), ce qui n'exclut pas pour autant la prise en compte de facteurs complémentaires, comme par exemple la présence de certaines espèces exotiques, si on souhaite évaluer l'état de conservation de l'habitat.

Zone d'étude

La zone d'étude est localisée au niveau des piémonts des Alpes du Nord et du Jura, dans les départements de l'Ain, de la Savoie et de la Haute-Savoie (Figure 1) et se caractérise par un substratum à dominante calcaire et un climat montagnard tempéré. Afin de restreindre la zone d'étude à un contexte écologique le plus homogène possible et de contrôler au maximum les variations dans les paramètres confondants (notamment climatique), une succession de filtres cartographiques a été appliquée via un système d'information géographique géré sous Qgis (QGIS Development Team, 2015). Pour cela, seuls les cours d'eau permanents, d'ordre 3 à 4 (rang de Strahler), situés entre 200 m et 500 m d'altitude ont été sélectionnés. Aussi, afin de cibler un contexte paysager homogène et d'assurer une plus grande indépendance des observations, un maillage systématique de 5 x 5 km a été appliqué sur les linéaires de cours d'eau sélectionnés, en écartant les mailles incluant des zones fortement artificialisées (surface bâtie > 3 %) et/ou fortement dominées par la forêt (surface boisée > 70 %).

Au final, le plan d'échantillonnage est constitué de 53 ripisylves des petits et moyens cours d'eau permanents de piémont incluses dans un contexte paysager à dominante agricole (Figure 1).

Relevés d'IBCR

Au sein des 53 mailles de 5 x 5 km sélectionnées, un tronçon homogène de 500 m de ripisylve a été recherché et échantillonné. Pour chaque tronçon, deux relevés, un sur chaque rive, ont été effectués à l'aide de l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves

(IBCR) en renseignant une fiche dédiée (voir en annexe, la fiche et la notice explicative). Pour chaque rive, un même observateur a parcouru le linéaire boisé en renseignant directement sur le terrain les facteurs liés au peuplement et à la gestion (A, B, C, D, E, F, G), une partie des facteurs liés au contexte (I, J) et les facteurs liés aux perturbations du milieu (K, L). Les relevés ont été faits en mode « déplaçonné », dans le sens où les éléments contribuant au score de chaque facteur ont été observés et comptabilisés sans tenir compte du barème prédéterminé dans la fiche. Les autres facteurs, notamment de connectivités, ont été renseignés au bureau en mobilisant d'une part des documents d'archives (H) et, d'autre part, des orthophotographies récentes des zones étudiées (M, N, O).

Relevés de biodiversité réelle

Pour chaque ripisylve, la méthode de l'Indice Ponctuel d'Abondance (IPA) a été utilisée pour caractériser les communautés d'oiseaux (Blondel *et al.*, 1970). Deux relevés standardisés et reproductibles visent à inventorier l'ensemble des espèces d'oiseaux vues ou entendues, quelle que soit la distance entre l'oiseau et l'observateur, pendant une période de 20 min par un même observateur immobile, localisé au centre de la zone de relevé de la ripisylve. Cette approche standardisée présente l'avantage de faire le focus sur les cortèges d'oiseaux nicheurs ou susceptible de l'être en ripisylve mais l'inconvénient d'inclure des espèces détectables au-delà des limites de la ripisylve ou bien seulement de passage. Un premier relevé a été réalisé entre la mi-avril et la mi-mai pour inventorier les oiseaux nicheurs précoces et un second relevé entre la mi-mai et la mi-juin pour inventorier les oiseaux nicheurs tardifs. Chaque IPA a été réalisé entre 6h00 et 9h00 du matin, au moment de la journée où les oiseaux sont les plus actifs, et dans de bonnes conditions climatiques, c'est-à-dire sans pluie ni vent.

Afin d'analyser la réponse des cortèges d'oiseaux à l'IBCR et aux facteurs le composant selon les préférences écologiques des espèces, les espèces ont été classées en quatre groupes : les espèces forestières (par exemple : Mésange à longue queue, Pic noir, Sittelle torchepot), agricoles (par exemple : Bruant zizi, Fauvette grisette, Pie-grièche écorcheur), à affinité forte pour les milieux aquatiques/humides (par exemple : Canard colvert, Héron cendré, Martin-pêcheur d'Europe) et enfin généralistes (par exemple : Corneille noire, Mésange charbonnière, Pinson des arbres). Cette classification repose sur les informations renseignant le degré de spécialisation des oiseaux vis-à-vis de trois grands types d'habitats (forestiers, agricoles, généralistes) fournies par le Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux pour 75 espèces en France (crbpo.mnhn.fr, cadre du programme STOC) et par le PanEuropean Common Bird Monitoring Scheme pour 169 espèces européennes (ebcc.info). Pour les espèces non renseignées (n = 10), la catégorisation a été effectuée en utilisant les informations concernant la préférence d'habitat de l'espèce, disponibles sur le portail ornithologique Oiseaux.net.

Analyses statistiques

Pour chaque site (n = 53), les IBCR réalisés en rives droite et gauche ont été combinés en calculant la moyenne des deux scores, pour l'indice ainsi que pour chaque facteur individuel.

Dans un premier temps, les analyses ont porté sur les variations de diversité en considérant d'une part les valeurs de la note IPA et d'autre part le nombre d'espèces contactées pour

chaque sous-groupes, c'est-à-dire la richesse en espèces forestières, agricoles, aquatiques et généralistes. Pour chacune de ces variables à expliquer, nous avons comparé 17 modèles statistiques, testant le pouvoir prédictif du score moyen de l'IBCR et du score moyen de chacun des facteurs individuels ($n = 15$), plus un modèle nul. Nous avons utilisé un modèle de distribution normal (LM) pour relier la valeur de la note IPA aux variables explicatives et un modèle de distribution de poisson (GLM) pour relier la richesse en espèces aux variables explicatives. Nous avons ensuite classé les 17 modèles du plus performant au moins performant en utilisant le critère d'information d'Akaike corrigé pour les faibles effectifs (AICc) (Burnham et Anderson, 2002) et avons extrait le sens de variation et la significativité des paramètres de chaque modèle individuel.

Dans un second temps, les analyses ont porté sur les variations de composition en considérant les espèces d'oiseaux présentes dans un minimum de 10 % et un maximum de 90 % des ripisylves étudiées ($n = 41$). Pour déterminer comment le score moyen de l'IBCR ainsi que le score moyen des facteurs individuels influencent la composition en espèces nous avons utilisé des analyses canoniques en coordonnées principales (CAP, Anderson et Willis, 2003), basées sur une matrice des distances de Jaccard, avec 999 permutations. Du fait de la non-indépendance entre l'IBCR et les facteurs individuels, nous avons réalisé deux CAPs, la première testant l'effet de l'IBCR seul sur la composition, la seconde testant l'effet conjoint des 15 facteurs. Nous avons ensuite calculé la contribution marginale des facteurs à l'inertie totale contrainte et testé la signification statistique de ces contributions individuelles.

Dans un troisième temps, les analyses ont porté sur la réponse individuelle des espèces d'oiseaux, en considérant là-aussi les espèces présentes dans un minimum de 10 % et un maximum de 90 % des ripisylves étudiées ($n = 41$). Nous avons utilisé des modèles logistiques (distribution binomiale) pour déterminer comment la présence/absence de chaque espèce était influencée, d'une part, par le score moyen de l'IBCR, d'autre part, par le score moyen de chacun des 15 facteurs constitutifs de l'indice. Pour identifier les facteurs qui permettent le mieux d'expliquer la probabilité de présence des espèces, nous avons hiérarchisé les 15 modèles, plus le modèle nul, via l'AICc. Nous avons ensuite considéré qu'un facteur influençait fortement une espèce lorsque la différence d'AICc entre le modèle de premier rang et les modèles successifs était supérieure à 2 ($\Delta AICc > 2$) et le poids d'Akaike supérieur à 0,5.

RÉSULTATS

Au total, 91 espèces d'oiseaux ont été inventoriées au total sur les 53 ripisylves étudiées (moyenne \pm écart type = $20,9 \pm 5,1$). L'indice ponctuel d'abondance (IPA) varie entre 13.5 et 59.5 ($33,6 \pm 10,7$); la richesse en oiseaux forestiers varie entre 0 et 11 ($6,1 \pm 2,1$); la richesse en oiseaux agricoles varie entre 0 et 7 ($2,3 \pm 1,8$); la richesse en oiseaux généralistes varie entre 5 et 17 ($11,0 \pm 2,7$); la richesse en oiseaux aquatiques varie entre 0 et 6 ($1,5 \pm 1,6$).

Concernant les patrons de diversité, nos résultats montrent que les valeurs de la note IPA sont mieux prédites par la connectivité longitudinale (M) (Table 2), avec un effet significatif négatif (Table 3). L'IPA diminue aussi significativement avec l'augmentation des abris racinaires aquatiques (G) et augmente significativement avec la quantité de bois morts sur pied (C) et la connectivité transversale (N) (Table 3). La richesse en oiseaux forestiers est mieux prédite par le score moyen de l'IBCR (Figure 2), avec un effet significatif positif. La richesse en oiseaux agricoles est mieux prédite par la connectivité longitudinale (M), avec un

effet significatif négatif. La richesse en espèces agricoles diminue aussi significativement avec la quantité de bois mort au sol (D) et augmente significativement avec la présence d'espèces exotiques (K). La richesse en oiseaux aquatiques est également mieux prédite par la connectivité longitudinale (M), avec un effet significatif négatif. La richesse en espèces aquatiques diminue aussi significativement avec l'augmentation du score moyen de l'IBCR, la quantité de bois mort au sol (D), la présence de milieux minéraux (J), la connectivité paysagère (O) et augmente significativement avec le nombre de strates de végétation (B). Enfin, la richesse en espèces généralistes est aussi mieux prédite par la connectivité longitudinale (M) mais n'est pas significativement influencée par l'IBCR ni par aucun des facteurs individuels.

Concernant la composition en espèces d'oiseaux, nos résultats montrent que l'IBCR seul explique 2,9 % ($p = 0,012$) de la variation entre les ripisylves étudiées. Les 15 facteurs constitutifs de l'IBCR expliquent 33,2 % ($p = 0,001$) de la variation de la composition entre les ripisylves (Figure 3). Parmi eux, la connectivité longitudinale (M) explique 9,3 % de l'inertie contrainte ($p = 0,001$), les milieux minéraux et annexes (J) 8,5 % ($p = 0,016$), les abris racinaires aquatiques (G) 8,3 % ($p = 0,037$), les très gros bois vivants (E) 8,1 % ($p = 0,022$), les milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau (I) 7,3 % ($p = 0,012$), les dégradations et perturbations du milieu (L) 6,9 % ($p = 0,004$), la connectivité paysagère (O) 5,8 % ($p = 0,024$), le bois mort au sol (D) 5,8 % ($p = 0,014$) et la structure verticale de la végétation (B) 5,5 % ($p = 0,039$). Tous les autres facteurs (A, C, F, H, K, N) n'influencent pas de manière significative la composition en espèces d'oiseaux dans les ripisylves étudiées.

Concernant la réponse individuelle des espèces d'oiseaux à l'IBCR, nos résultats montrent que 22 espèces sont négativement influencées par l'indice, dont 5 significativement (Corbeau freux, Hypolaïs polyglotte, Hirondelle rustique, Héron cendré et Chardonneret élégant), et que 19 espèces sont positivement influencées par l'indice, dont 2 significativement (Roitelet triple-bandeau et Pouillot véloce) (Figure 4). Concernant les facteurs individuels, 15 espèces sont très fortement reliées à l'un des 15 facteurs (Figure 3). Spécifiquement, six espèces sont significativement mieux prédites par la connectivité longitudinale (effet négatif : Etourneau sansonnet, Fauvette grisette, Héron cendré, Hirondelle rustique, Rossignol philomèle ; effet positif : Milan noir,) ; deux espèces sont significativement mieux prédites par le nombre de bois mort au sol (effet négatif : Hypolaïs polyglotte et Verdier d'Europe) et deux espèces sont significativement mieux prédites par le nombre de très gros bois vivants (effet positif : Grimpereau des jardins et Hirondelle de fenêtre). Enfin la Mésange à longue queue est significativement mieux prédite par la structure verticale de la végétation (effet positif), le Lorient d'Europe par la présence d'abris racinaires aquatiques (effet négatif), la Sittelle torchepot par la continuité temporelle de l'état boisé (effet négatif), la Bergeronnette des ruisseaux par la présence de milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau (effet négatif) et la Grive musicienne par la présence d'espèces exotiques (effet négatif).

DISCUSSION

D'une manière générale, nos résultats montrent que les cortèges d'oiseaux forestiers répondent de façon assez cohérente aux valeurs de l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR), c'est-à-dire que la richesse en espèces augmente avec le score moyen de l'indice. Cela souligne le bien-fondé de l'indice proposé pour évaluer la

qualité et la fonctionnalité des ripisylves pour les oiseaux et donne des arguments scientifiques, résultant de mesures de biodiversité réelles, pour corroborer le choix des facteurs sélectionnés pour l'indice. Ces résultats sont en cohérence avec ceux obtenus pour l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP), pour lequel des liens empiriques entre facteurs clés et cortèges d'oiseaux ont été mis en évidence (par exemple avec le nombre d'essences, la densité de très gros arbres ou bien encore le nombre de gros bois mort au sol, Larrieu *et al.*, 2019). Plus généralement, cette étude pointe l'importance de considérer différentes guildes d'espèces, basées sur les besoins fondamentaux des individus en termes d'habitat (par exemple en contrastant la réponse des espèces forestières *versus* celle des espèces agricoles), pour mieux comprendre la réponse des communautés aux facteurs environnementaux. Cela est particulièrement vrai pour des espèces *a priori* très mobiles et pouvant utiliser les ripisylves comme habitats complémentaires, comme c'est le cas de l'avifaune.

Influence des facteurs clés de l'IBCR sur la richesse en espèces d'oiseaux

Concernant les patrons de diversité, nos résultats montrent que seule la richesse en espèces forestières augmente avec les valeurs de l'IBCR (Table 3 & Figure 2). Bien que la magnitude du changement mesuré ne soit pas très forte, ce résultat indique tout de même que la combinaison des 15 facteurs constitutifs de l'IBCR capture une part significative de la variabilité entre les ripisylves étudiées, en terme de qualité de l'habitat et de fonctionnalité. Aussi, bien que non significatif, il est intéressant de noter qu'à l'exception du facteur relatif à la présence d'espèces exotiques qui a un effet négatif, l'ensemble des facteurs décrivant l'état du peuplement, son contexte et sa connectivité, a un effet positif sur la richesse en oiseaux forestiers (Table 3). Appliqués aux ripisylves des petits et moyens cours d'eau permanents en contexte agricole, les résultats obtenus semblent donc suffisamment cohérents et robustes pour justifier de l'intérêt de l'outil intégré développé pour quantifier la qualité et la fonctionnalité des ripisylves pour la diversité des oiseaux. Inversement, nos résultats montrent que les variations des valeurs de l'IPA et de la richesse en espèces agricoles, aquatiques et généralistes répondent globalement de la même manière aux facteurs de l'IBCR, traduisant dans une certaine mesure la corrélation de ces différentes guildes d'espèces entre elles (IPA/Agricole, $r = 0,49$; IPA/Généraliste, $r = 0,56$; IPA/Aquatique, $r = 0,52$; Agricole/Généraliste, $r = 0,48$; Agricole/Aquatique, $r = 0,41$; Généraliste/Aquatique, $r = 0,62$). Ainsi, ces quatre variables à expliquer sont le mieux prédites par la connectivité longitudinale, avec une diminution significative des valeurs de l'IPA et de la richesse en espèces agricoles et aquatiques le long des ripisylves les mieux connectées, c'est-à-dire ayant un couvert arboré plus important et une moindre fragmentation par les infrastructures de transport. Cela suggère que, les ripisylves fragmentées et non continues dans l'espace bénéficient avant tout aux communautés d'oiseaux utilisant les boisements de manière complémentaire aux habitats environnants non boisés. Spécifiquement, nos résultats montrent que ce sont avant tout les espèces agricoles et aquatiques qui utilisent ces fragments de ripisylve de moindre qualité, probablement comme zones de refuge complémentaires aux cultures/pâtures pour les premières ou aux milieux aquatiques/humides adjacentes pour les secondes. Plus généralement, cela montre que comparativement aux facteurs décrivant la qualité du peuplement de la ripisylve, les facteurs décrivant la connectivité spatiale des ripisylves sont importants à prendre en compte pour mieux comprendre la structuration des communautés

d'oiseaux (Barbaro *et al.*, 2007). Cela est particulièrement vrai pour des espèces très mobiles, ayant un grand domaine vital, comme la plupart des oiseaux, pour lesquelles assez peu de relations significatives ont été mises en évidence entre les facteurs clés de l'IBP et la richesse en espèces, comparativement à d'autres groupes taxonomiques comme les coléoptères saproxyliques, les bryophytes ou les syrphes (Larrieu *et al.*, 2019). Pour mieux évaluer la biodiversité potentielle d'un peuplement forestier, il semble donc important de considérer quelques facteurs complémentaires, décrivant le contexte paysager dans lequel le peuplement se trouve, comme des mesures de connectivités proposées dans l'IBCR. L'utilisateur gardera cependant en mémoire que la prise en compte des facteurs de connectivité demande des investigations complémentaires, à réaliser au bureau, et complexifiant dans une certaine mesure l'utilisation de l'outil. Finalement, nos résultats montrent que les espèces généralistes ne sont pas directement influencées par les facteurs de l'IBCR. Les modèles mis en compétition n'expliquent en effet qu'une faible proportion de la variation du nombre d'espèces et aucun des facteurs individuels n'a d'effet significatif sur la richesse spécifique (Table 3). Comme ce groupe d'espèces est le plus diversifié, il influence fortement la note finale de l'IPA. Cela pointe les limites de ce protocole très généraliste, qui favorise la détectabilité des espèces qui s'entendent bien et se voient facilement, au détriment des espèces discrètes, souvent forestières (Bouvreuil pivoine, Pouillot fitis, Roitelet triple-bandeau). Pour évaluer la biodiversité réelle d'un habitat spécifique et de faible étendue spatiale comme c'est le cas *a priori* des ripisylves, des inventaires taxonomique ciblés et complémentaires paraissent nécessaires.

Influence des facteurs clés de l'IBCR sur la composition des cortèges d'oiseaux

Concernant la composition en espèces d'oiseaux, nos résultats montrent qu'une assez large proportion de la variation (33,6 %) est expliquée lorsque les différents facteurs de l'IBCR sont considérés conjointement. Neuf des 15 facteurs de l'IBCR ont un effet significatif sur les variations de composition entre les 53 ripisylves étudiées, soulignant ainsi la contribution individuelle de ces différents facteurs pour décrire efficacement la qualité des ripisylves pour les oiseaux. Aussi, comme pour les variations de richesse spécifique, les composantes du paysage environnant les ripisylves ont un effet fort sur la composition des communautés d'oiseaux (Barbaro *et al.*, 2007). En effet, parmi les 15 facteurs constitutifs de l'IBCR, le facteur décrivant la connectivité longitudinale des ripisylves explique la plus forte proportion de variation de composition. Sans entrer dans le détail des contributions individuelles des différents facteurs pour les communautés d'oiseaux, ces résultats soulignent la complémentarité des 15 facteurs entre eux et leur relative indépendance statistique, illustrée par la répartition homogène des facteurs dans les deux axes du plan factoriel de l'analyse canonique en coordonnées principales (Figure 3). Il est cependant important de noter que l'absence de significativité de l'effet de certains facteurs vis-à-vis des oiseaux n'implique pas leur absence d'influence sur la biodiversité des ripisylves. En effet, l'influence de facteurs environnementaux sur la biodiversité mesurée dépend i) du modèle d'étude, avec par exemple des exigences d'habitats très différentes entre oiseaux, coléoptères saproxyliques et plantes vasculaires, ii) de la méthode employée pour échantillonner les taxons, iii) du degré de finesse dans la caractérisation des attributs des peuplements, avec par exemple pour le bois mort la prise en compte des stades de décomposition, iv) de l'étendue des variations que peuvent prendre chaque facteur individuel. Ainsi, dans notre d'étude, l'absence d'effet des ligneux autochtones caractéristiques, peut simplement

traduire le fait que le dispositif a été construit sans aller échantillonner des ripisylves très dégradées, dominées par exemple par des plantations de peupliers gérées intensivement (Archaux et Martin, 2009). Finalement, au-delà de la réponse globale des communautés, en termes de composition, nos résultats à l'échelle des espèces individuelles viennent conforter l'idée que les ripisylves dégradées et déconnectées bénéficient avant tout aux espèces agricoles. Ainsi, bien que peu d'espèces parmi les 41 testées répondent significativement à l'IBCR, il est intéressant de voir que les espèces agricoles répondent globalement négativement à l'indice alors que les espèces forestières répondent globalement positivement (Figure 4). Spécifiquement, plusieurs espèces non forestières (Bergeronnette des ruisseaux, Etourneau sansonnet, Fauvette grisette, Héron cendré, Hirondelle rustique, Hypolaïs polyglotte, Rossignol philomèle, Verdier d'Europe) forment un groupe relativement cohérent dans l'espace factoriel de l'analyse canonique en coordonnées principales qui est très étroitement lié à la présence de ripisylves de faible qualité, c'est-à-dire ayant une valeur d'IBCR faible (Figure 3). Inversement, les espèces forestières (Grimpereau des jardins, Mésange à longue queue, Grive musicienne, Lorient d'Europe, Sittelle torchepot) sont réparties de manière hétérogène dans l'espace factoriel, soulignant que les exigences d'habitat au sein de cette guilda sont plus hétérogènes et donc que la qualité des ripisylves pour ces espèces dépend de facteurs variés, parfois opposés. En effet, la présence de certaines espèces spécialistes au sein des ripisylves peut dépendre de plusieurs composantes qui, si elles ne sont pas conjointement disponibles, peuvent compromettre les capacités d'établissement. Par exemple, la présence de la Sittelle torchepot est conditionnée par la disponibilité d'anciennes loges de pic et de bois de haute futaie. Enfin, il est tout simplement possible que certaines de ces espèces forestières n'aient pas pu être détectées avec la méthode des IPA, compte tenu de leur discrétion, n'aient pas eu le temps de coloniser l'habitat disponible, compte tenu de contrainte à la dispersion agissant à plus large échelle, et/ou soient sous la dépendance de facteurs environnementaux non pris en compte par l'IBCR.

CONCLUSIONS

Tout comme l'IBP (Larrieu et Gonin, 2008), l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves doit être vue comme un outil de diagnostic pour aider à évaluer rapidement la qualité et la fonctionnalité des boisements riverains. Il ne donnera pas une mesure précise de qualité ou de biodiversité, mais il fournira aux gestionnaires des cours d'eau des éléments concrets pour orienter les choix de gestion, de conservation et de restauration de ces linéaires boisés. En renseignant de nombreux facteurs potentiellement très structurants pour la biodiversité, l'IBCR permet de dresser un diagnostic rapide quant à la qualité de la ripisylve. La validité de cet outil est ici démontrée avec des données de biodiversité réelle, limitées cependant aux communautés d'oiseaux. Comme cela a été fait pour l'IBP (Larrieu *et al.*, 2019), il serait également intéressant d'étudier la réponse de différents groupes taxonomiques, ayant des exigences d'habitat et des capacités de dispersion contrastées, pour mieux appréhender l'influence relative des 15 facteurs de l'IBCR. Aussi, de même que pour l'IBP (Larrieu *et al.*, 2019), des relations non attendues entre mesures de biodiversité réelle et certains facteurs ont été mises en évidence (par exemple la richesse en espèces agricoles augmente avec la présence d'espèces exotiques et la probabilité de présence de la Bergeronnette des ruisseaux diminue avec la présence de milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau). Cela traduit un effet imprévu de certaines composantes

de l'environnement jugées *a priori* négativement (par exemple certaines essences exotiques fournissent des ressources complémentaires pour les espèces) ou bien l'effet sous-jacent d'un autre facteur environnemental non mesuré mais corrélé avec le facteur de l'IBCR. Finalement, il convient de mentionner que l'utilisation de cet outil ne peut se substituer à des inventaires taxonomiques, notamment lorsque les gestionnaires sont confrontés à des enjeux de conservation forts, comme par exemple la conservation d'espèces patrimoniales.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié du support financier de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse, de la Compagnie Nationale du Rhône, de la DRAAF, de la Région Auvergne-Rhône-Alpes et de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre du projet « Préserver et restaurer les ripisylves : un enjeu de biodiversité ».

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON M.J., WILLIS T.J., 2003. Canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. *Ecology*, vol. 84, pp. 511-525.
- ARCHAUX F., MARTIN H., 2009. Hybrid poplar plantations in a floodplain have balanced impacts on farmland and woodland birds. *Forest Ecology and Management*, vol. 257, pp. 1474-1479.
- BARBARO L., ROSSI J.-P., VETILLARD F., NEZAN J., JACTE, H., 2007. The spatial distribution of birds and carabid beetles in pine plantation forests: the role of landscape composition and structure. *Journal of Biogeography*, vol. 34, pp. 652-664.
- BLONDEL J., FROCHOT B., FERRY C., 1970. La méthode des Indices Ponctuels d'Abondance (I.P.A.) ou des relevés d'avifaune par « stations d'écoute ». *Alauda*, vol. 38, pp. 55-71.
- BURNHAM K.P., ANDERSON D.R., 2002. *Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach*. 2nd edition, Springer-Verlag, New York.
- DUDGEON D., ARTHINGTON A.H., GESSNER M.O., KAWABATA Z.-I., KNOWLER D.J., LÉVÊQUE C., NAIMAN R.J., PRIEUR-RICHARD A.-H., SOTO D., STIASSNY M.L.J., SULLIVAN C.A., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, vol. 81, pp. 163-182.
- DUFOUR S., BARSOUM N., MULLER E., PIEGAY H., 2007. Effects of channel confinement on pioneer woody vegetation structure, composition and diversity along the River Drôme (SE France). *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 32, pp. 1244-1256.
- DUFOUR S., PIÉGAY H., 2006. Forêts riveraines des cours d'eau et ripisylves : spécificités, fonctions et gestion. *Revue Forestière Française*, vol. LVIII, pp. 339-350.
- GAO T., NIELSEN A.B., HEDBLUM M., 2015. Reviewing the strength of evidence of biodiversity indicators for forest ecosystems in Europe. *Ecological Indicators*, vol. 57, pp. 420-434.
- GONZALEZ DEL TANAGO M., GARCIA DE JALON D., 2011. Riparian Quality Index (RQI): a methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica*, vol. 30, pp. 235-254.
- GREGORY S.V., SWANSON F.J., MCKEE W.A., CUMMINS K.W., 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, vol. 41, pp. 540-551.

- LARRIEU L., GONIN P., 2008. L'indice de biodiversité potentielle (IBP): une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, vol. LX, pp. 727-748.
- LARRIEU, L., GONIN, P., DECONCHAT, M., 2012. Le domaine d'application de l'indice de biodiversité potentielle (IBP). *Revue Forestière Française*, vol. LXIV, pp. 701-710.
- LARRIEU L., GOSSELIN F., ARCHAUX F., CHEVALIER R., CORRIOL G., DAUFFY-RICHARD E., DECONCHAT M., GOSSELIN M., LADET S., SAVOIE J.-M., TILLON L., BOUGET C., 2019. Assessing the potential of routine stand variables from multi-taxon data as habitat surrogates in European temperate forests. *Ecological Indicators*, vol. 104, pp. 116-126.
- LARRIEU L., GOSSELIN F., ARCHAUX F., CHEVALIER R., CORRIOL G., DAUFFY-RICHARD E., DECONCHAT M., GOSSELIN M., LADET S., SAVOIE J.-M., TILLON L., BOUGET C., 2018. Cost-efficiency of cross-taxon surrogates in temperate forests. *Ecological Indicators*, vol. 87, pp. 56-65.
- MEIXLER M.S., BAIN M.B., 2010. Landscape scale assessment of stream channel and riparian habitat restoration needs. *Landscape and Ecological Engineering*, vol. 6, pp. 235-245.
- MERRITT D.M., COOPER D.J., 2000. Riparian vegetation and channel change in response to river regulation: a comparative study of regulated and unregulated streams in the Green River basin, USA. *Regulated Rivers: Research and management*, vol. 16, pp. 543-564.
- MUNNE A., PRAT N., SOLA C., BONADA N., RIERADEVALL M., 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 13, pp. 147-163.
- NAIMAN R.J., DECAMPS H., 1997. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual review of Ecology and Systematics*, vol. 28, pp. 621-658.
- NILSSON C., REIDY C.A., DYNESIUS M., REVENGA C., 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, vol. 308, pp. 405-408.
- OSWALT S.N., KING S.L., 2005. Channelization and floodplain forests: Impacts of accelerated sedimentation and valley plug formation on floodplain forests of the Middle Fork Forked Deer River, Tennessee, USA. *Forest Ecology and Management*, vol. 215, pp. 69-83.
- PERRY L.G., ANDERSEN D.C., REYNOLDS L.V., NELSON S.M., SHAFROTH, P.B., 2012. Vulnerability of riparian ecosystems to elevated CO₂ and climate change in arid and semiarid western North America. *Global Change Biology*, vol. 18, pp. 821-842.
- POFF N.L., OLDEN J.D., MERRITT D.M., PEPIN D.M., 2007. Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, pp. 5732-5737.
- Quantum QGIS Development Team, 2016. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. [En ligne] disponible sur : <http://qgis.osgeo.org>.
- STOKLAND J.N., SIITONEN J., JONSSON B.G., 2012. *Biodiversity in Dead Wood*. Cambridge University Press, Cambridge. 524 p.
- TONKIN J.D., MERRITT D.M., OLDEN J.D., REYNOLDS L.V., LYTLE D.A., 2018. Flow regime alteration degrades ecological networks in riparian ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 2, pp. 86-93.

WEISSTEINER C., ICKEROTT M., OTT H., PROBECK M., RAMMINGER G., CLERICI N.,
DUFOURMONT H., DE SOUSA A., 2016. Europe's Green Arteries—A Continental
Dataset of Riparian Zones. *Remote Sensing*, vol. 8, pp. 925.

Table 1. Présentation des 15 facteurs constituant l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR) : définitions, scores associés et liens avec l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP) (pour plus détails voir en annexe la fiche et la notice explicative).

Facteurs clés de l'IBCR	Définition	Score	IBP
<u>Facteurs liés au peuplement et à la gestion</u>			
A - Ligneux autochtones caractéristiques	Nombre de groupements ligneux à bois tendre et à bois dur	0-2-5	Oui
B - Structure verticale de la végétation	Nombre de strates de végétation	0-2-5	Oui
C - Bois morts sur pied	Nombre de bois morts sur pied	0-1-2-5	Oui
D - Bois morts au sol	Nombre de bois et de tas de bois morts au sol	0-1-2-5	Oui
E - Très gros bois vivants	Nombre d'arbres vivants de gros diamètre	0-1-2-5	Oui
F - Arbres vivants porteurs de dendro-microhabitats	Nombre d'arbres vivants porteurs de dendro-microhabitats	0-2-5	Oui
G - Abris racinaires aquatiques	Nombre d'entrelacs racinaires et de cavités formées par les contreforts racinaires	0-2-5	Non
<u>Facteurs liés au contexte</u>			
H - Continuité temporelle de l'état boisé	Présence continue d'un couvert forestier attesté sur les documents d'archive (Carte d'état-major)	0-2-5	Oui
I - Milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau	Nombre de milieux aquatiques complémentaires d'origine naturelle ou artificielle	0-2-5	Oui
J - Milieux minéraux et annexes	Nombre de milieux minéraux et annexes	0-2-5	Oui
<u>Facteurs liés aux perturbations du milieu</u>			
K - Présence d'arbres exotiques et d'espèces invasives	Pourcentage de recouvrement des espèces exotiques et/ou invasives	0-2-4-5	Non
L - Dégradations et perturbations du milieu	Nombre de perturbations d'origine anthropique (palplanches, sur-fréquentation, décharges ...)	0-2-5	Non
<u>Facteurs de connectivité</u>			
M - Connectivité longitudinale	Pourcentage de couvert arboré sur la berge	0-2-4-5	Non
	Largeur des ouvrages coupant le cours d'eau	0-2-4-5	Non
N - Connectivité transversale	Degré de connexion de la berge au lit majeur	0-2-4-5	Non
	Pourcentage de sol nu	0-2-4-5	Non
	Pente moyenne de la berge	0-2-4-5	Non
O - Connectivité paysagère	Distance aux boisements environnants	0-2-4-5	Non
	Nombre de routes environnantes	0-2-4-5	Non
	Nombre de bâtiments environnants	0-2-4-5	Non

Table 2. Présentation des 3 modèles les plus performants, parmi 17 modèles correspondant à l'IBCR, à chacun des 15 facteurs (voir Table 1) et au modèle nul, utilisés pour prédire les variations de l'IPA et de la richesse en oiseaux forestiers, agricoles, aquatiques et généralistes le long des ripisylves, évalués par le critère d'information d'Akaike (AICc). La valeur de l'AICc, la différence d'AICc entre le meilleur modèle et les modèles successifs (Δ AICc), le poids d'Akaike (W) et le coefficient de détermination (R^2) sont présentés dans la table.

Variabes	Modèles	AICc	Δ AICc	W	R^2
Note IPA	M	399,1	0,000	0,576	0,148
	C	402,6	3,549	0,098	0,088
	N	403,1	3,976	0,079	0,081
Espèces forestières	IBCR	232,6	0,000	0,513	0,124
	N	236,6	3,925	0,072	0,056
	D	237,3	4,672	0,050	0,042
Espèces agricoles	M	189,4	0,000	0,934	0,231
	D	196,7	7,257	0,025	0,115
	K	198,8	9,329	0,009	0,079
Espèces aquatiques	M	176,6	0,000	0,523	0,260
	D	177,7	1,193	0,288	0,242
	J	179,4	2,835	0,127	0,217
Espèces généralistes	M	258,7	0,000	0,156	0,060
	G	258,8	0,109	0,148	0,058
	I	258,9	0,170	0,143	0,057

Table 3. Sens de variation et significativité (en gras, intervalle de confiance au seuil de 95 % exclu 0) du coefficient de régression pour l'IBCR et les facteurs individuels (voir Table 1) utilisées pour prédire les variations de la note IPA et de la richesse en oiseaux forestiers, agricoles, aquatiques et généralistes dans les ripisylves.

Facteurs	Valeurs estimées du coefficient de régression (\pm erreur type)				
	IPA	Forestières	Agricoles	Aquatiques	Généralistes
IBCR	-0,012 (\pm 0,201)	0,019 (\pm0,007)	-0,020 (\pm 0,013)	-0,046 (\pm0,016)	-0,006 (\pm 0,006)
A	1,049 (\pm 1,084)	0,044 (\pm 0,041)	-0,012 (\pm 0,067)	0,125 (\pm 0,079)	0,018 (\pm 0,030)
B	1,498 (\pm 1,120)	0,002 (\pm 0,043)	0,064 (\pm 0,070)	0,209 (\pm0,088)	0,023 (\pm 0,032)
C	4,671 (\pm2,101)	0,090 (\pm 0,075)	0,031 (\pm 0,130)	-0,091 (\pm 0,179)	0,018 (\pm 0,060)
D	-0,770 (\pm 1,134)	0,061 (\pm 0,039)	-0,209 (\pm0,092)	-0,463 (\pm0,149)	0,004 (\pm 0,032)
E	-0,734 (\pm 1,177)	0,037 (\pm 0,043)	-0,118 (\pm 0,081)	-0,022 (\pm 0,090)	0,001 (\pm 0,033)
F	0,868 (\pm 1,214)	0,060 (\pm 0,047)	0,010 (\pm 0,075)	0,109 (\pm 0,096)	-0,002 (\pm 0,034)
G	-1,669 (\pm0,807)	0,010 (\pm 0,031)	-0,062 (\pm 0,052)	-0,092 (\pm 0,065)	-0,042 (\pm 0,024)
H	0,722 (\pm 1,892)	0,009 (\pm 0,070)	-0,080 (\pm 0,132)	-0,025 (\pm 0,147)	0,037 (\pm 0,049)
I	-0,668 (\pm 1,105)	0,045 (\pm 0,041)	-0,054 (\pm 0,069)	-0,127 (\pm 0,087)	-0,055 (\pm 0,032)
J	-1,737 (\pm 1,139)	0,010 (\pm 0,043)	-0,065 (\pm 0,078)	-0,448 (\pm0,155)	-0,009 (\pm 0,033)
K	0,573 (\pm 0,855)	-0,004 (\pm 0,032)	0,112 (\pm0,056)	0,081 (\pm 0,067)	0,017 (\pm 0,024)
L	-0,491 (\pm 1,122)	0,053 (\pm 0,040)	0,015 (\pm 0,068)	-0,188 (\pm 0,100)	-0,006 (\pm 0,031)
M	-4,619 (\pm1,555)	0,053 (\pm 0,064)	-0,351 (\pm0,093)	-0,449 (\pm0,111)	-0,083 (\pm 0,045)
N	3,559 (\pm1,679)	0,111 (\pm 0,064)	0,163 (\pm 0,102)	0,061 (\pm 0,128)	-0,032 (\pm 0,049)
O	0,595 (\pm 1,738)	0,068 (\pm 0,065)	-0,194 (\pm 0,106)	-0,408 (\pm0,130)	-0,003 (\pm 0,048)

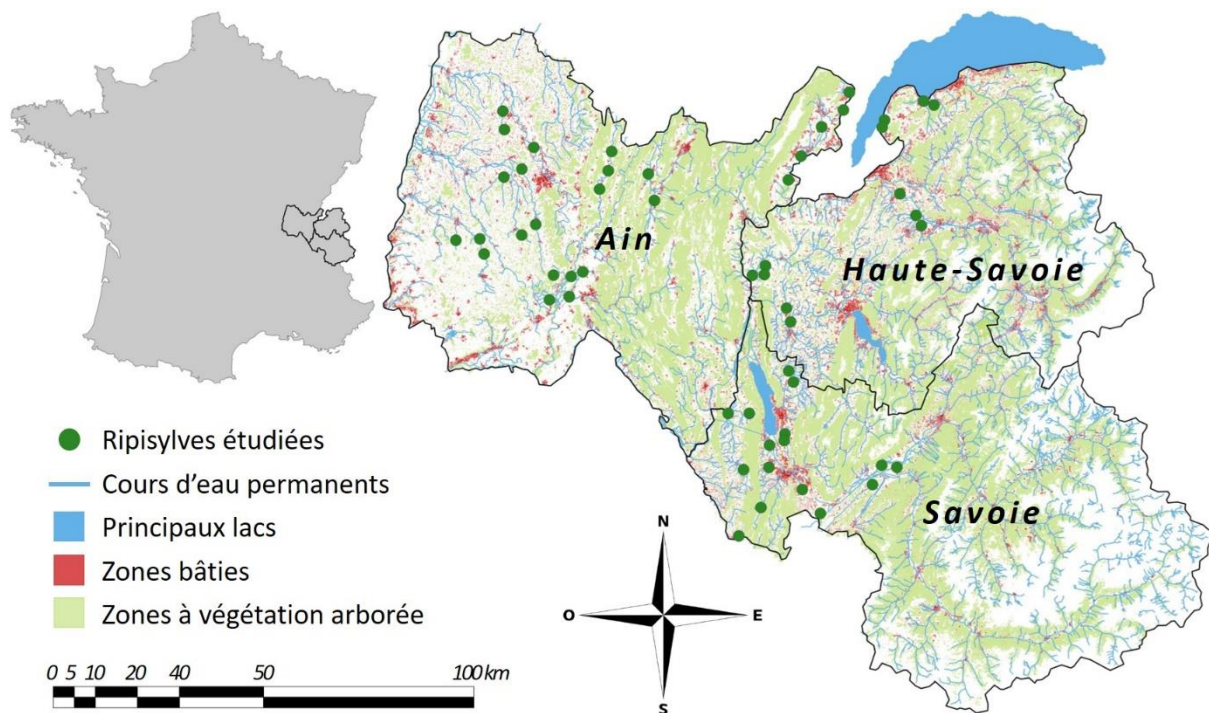


Figure 1. Localisation de la zone d'étude en France et répartition des ripisylves étudiées dans les piémonts des Alpes du Nord et du Jura.

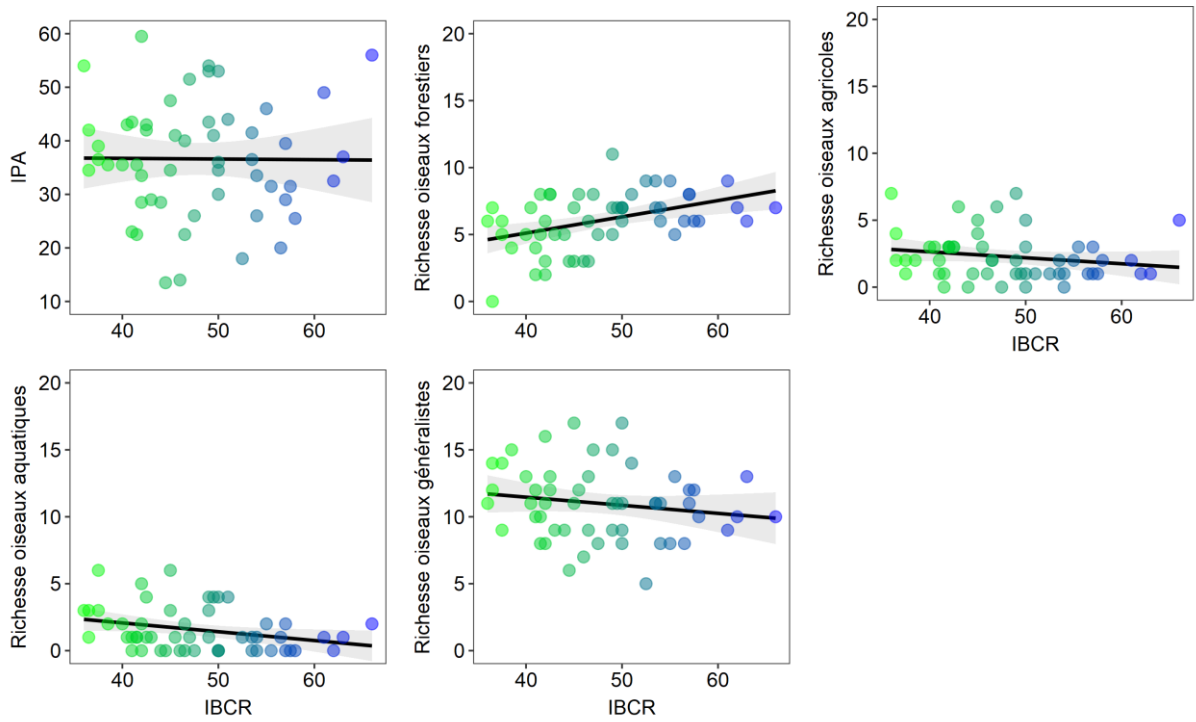


Figure 2. Variations des valeurs de l'IPA et de la richesse en oiseaux forestiers, agricoles, aquatiques et généralistes dans les ripisylves, en fonction des valeurs de l'IBCR.

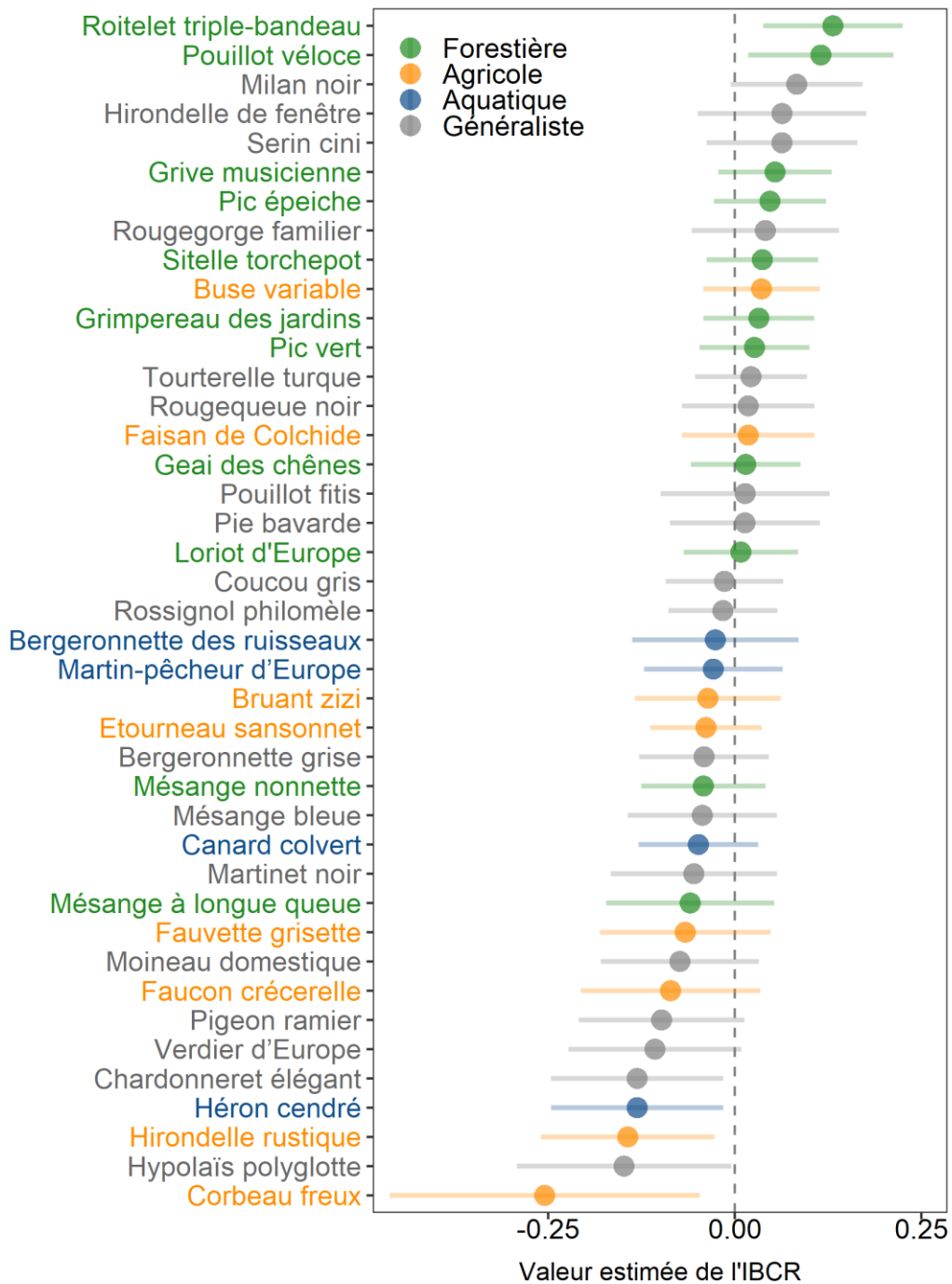


Figure 4. Réponse individuelle de 41 espèces d'oiseaux, présentes respectivement dans plus de 10 % et moins de 90 % des ripisylves étudiées, à l'IBCR (pour chaque espèce, le point représente la valeur estimée du coefficient de régression et la barre l'intervalle de confiance au seuil de 95 %).