

ÉVALUATION CARTOGRAPHIQUE DE LA CONNECTIVITÉ ENTRE COURS D'EAU ET ÉTANGS EN TÊTE DE BASSIN. LE CAS DE LA FRANCE CONTINENTALE

CARTOGRAPHIC EVALUATION OF CONNECTIVITY BETWEEN RIVERS AND PONDS AT THE HEADSTREAM. THE CASE OF CONTINENTAL FRANCE

Pascal BARTOUT, Laurent TOUCHART

Résumé

La connectivité hydrologique est le nouveau concept mis en avant à la fois par des documents réglementaires (Directive Restore Nature) et de gestion (HMUC). Terme usité par les hydrauliciens depuis des décennies, il est employé sous un nouveau sens et à travers une seule finalité, la continuité écologique. Or, cette approche, quelque peu orientée, est préjudiciable à la prise en compte de la diversité hydrologique, y compris hybride, et notamment en tête de bassin, territoire déterminant pour la qualité de l'eau dans son ensemble. L'article étudie cette question de la connectivité hydrologique au prisme de la relation cours d'eau-étangs, si conflictuelle en tête de bassin. Il cartographie une hétérogénéité manifeste du territoire français et démontre une méconnaissance importante des mécanismes régissant cette connectivité réciproque, les seuls territoires d'étangs reconnus et étudiés actuellement dénotant justement une déconnexion du réseau hydrographique.

Mots-clés

connectivité, hydrologie, tête de bassin, étangs, cours d'eau, hydrosystème, évaluation, cartographie

Abstract

Hydrological connectivity is the new concept put forward both by regulatory documents (Restore Nature Directive) and also management documents (HMUC). A term used by hydraulic engineers for decades, it is used in a new sense and with a single purpose, ecological continuity. However, this approach, which is somewhat oriented, is particularly detrimental to taking into account hydrological diversity, including hybrid diversity, and in particular at the headstream, a determining territory for the quality of water as a whole. The article studies this question of hydrological connectivity through the prism of the river-pond relationship which is so conflictual at the headstream. It maps a manifest heterogeneity of the French territory and demonstrates a significant ignorance of the mechanisms governing this reciprocal connectivity, the only territories of ponds currently recognized and studied denoting a disconnection from the water system.

Keywords

connectivity, hydrology, headstream, ponds, rivers, hydrosystem, evaluation, cartography

INTRODUCTION

L'objectif affiché des politiques au sein de l'Union Européenne de « bon état » de l'eau est sans cesse repoussé dans le temps (2015, puis 2021, maintenant 2027). Il est vrai que les moyens alloués sont sans doute insuffisants, tant financiers qu'humains, et qu'on manque d'études scientifiques, disciplinaires comme pluridisciplinaires, fondamentales comme appliquées, prospectives ou de mise en perspective des politiques menées en quantifiant et qualifiant les résultats obtenus. Néanmoins, pour mener à bien ces politiques issues de la logique du NPM (New

Public Management) où la communication importe beaucoup, voire plus que le résultat en lui-même, la société européenne confie à un petit nombre de personnes (Loupsans et Gramaglia, 2011) le choix de décider des mots clés et modes opératoires sans réels contre-pouvoirs pour évaluer la pertinence et l'efficacité de telles politiques.

Les moyens financiers alloués à la restauration écologique ont permis des avancées certaines sur le plan qualitatif en certains lieux, ceux sur lesquels le déséquilibre n'est pas discutable (usage ou rectification de cours d'eau). Mais cette politique de

restauration connaît également des échecs patents, comme ceux dus à la mauvaise maîtrise du concept de « continuité » : à titre d'exemples, l'effondrement du nombre de migrateurs et de leur taille moyenne sur les fleuves normands de la Touques, de la Dives¹ et de la Vire², ou encore l'augmentation des inondations dévastatrices dans le Pas-de-Calais³, suite à l'arasement systématique de seuils.

Le fait, volontaire ou non, d'exclure l'Homme et ses aménagements de la réflexion ne permet pas de comprendre pourquoi en certains lieux et sous certaines conditions les sociétés humaines avaient ainsi « détruit » la nature (Lévêque, 2021), la complexité systémique (Bravard et Lévêque, 2020) rendant la réponse systématique inopérante.

Dans cette fuite en avant de concepts, celui de la « connectivité hydrologique » semble être la nouvelle idée imposée par les politiques de restauration des cours d'eau, en témoigne le texte adopté par le Parlement européen le 27 Février 2024 sous le nom de « Restore Nature » : « la restauration des écosystèmes d'eau douce devrait inclure des efforts visant à rétablir la connectivité naturelle des cours d'eau, ainsi que leurs zones riveraines et les plaines inondables, notamment par la suppression des obstacles artificiels ... » (p. 37, alinéa 50). Cette connexion constitue un marqueur du potentiel écologique figurant dans les objectifs DCE de chaque masse d'eau administrative.

Pourtant, la question des conséquences réelles de la mise en application du concept de connectivité n'a jusqu'à présent pas vraiment été étudiée : les autorités n'y pressentent que des avantages, alors que de vraies études scientifiques auraient montré ses avantages et ses défauts, à l'instar des travaux de Robinson *et al.* (2019) sur le crabe à mitaine dans le sud-est de l'Angleterre prouvant les limites d'une trop grande connectivité qui donne libre champ à la colonisation d'espèces invasives.

Le problème principal, en Europe, vient de la vision restrictive de la diversité des biotopes hydrologiques de surface que l'on peut résumer ainsi :

- Au sommet de la hiérarchie trône la rivière « naturelle ». Tout doit être pensé pour elle, la connectivité des milieux devant faire affluer l'eau ;
- Ensuite viennent les autres biotopes naturels, de type zones humides et lacs naturels, qui ont le

droit d'avoir une gestion pensée pour leur propre équilibre, à condition toutefois de ne pas nuire à la rivière « naturelle ». Il faut donc bien veiller à les connecter à la rivière, qui sans eux, et la gestion humaine qui en est faite, n'aurait plus nécessairement d'eau ;

- Enfin, tout en bas de l'échelle, viennent tous les écotones et autres hybrides hydrologiques (Lespez et Dufour, 2021 ; Donati *et al.*, 2022) dégradés originellement par l'artificialité de leur création. Dans ce cas précis, il faut tout faire pour déconnecter ces biotopes de la rivière (d'où, par exemple, la politique d'effacement des étangs) sans penser que l'équilibre écosystémique en place est le même que pour les biotopes hydrologiques naturels de création et que donc le « bon état » des eaux, objectif affiché du moyen qu'est la connectivité, risque fort de ne pas être atteint.

Ainsi, une rivière connectée, délestée de ses seuils, digues et barrages ou encore de ses aménagements, est-elle une rivière restaurée, avec eau et sans polluants ? Peu de cours d'eau sont réellement étudiés, souvent ceux qui présentent un intérêt certain pour des espèces de poissons migratrices, mais, comme le notent Koschorrek *et al.* (2019), « une fraction considérable des systèmes exclus sont probablement des systèmes aquatiques créés par l'Homme. Il existe un décalage évident entre l'importance potentielle des masses d'eau d'origine humaine et leur faible représentation dans la recherche scientifique et politique ». La conséquence de ceci est que, depuis une quinzaine d'années, les étangs sont vus principalement par l'administration française comme des obstacles transversaux à effacer du lit des cours d'eau, essentiellement en rivière de première catégorie piscicole. Ils se distinguent des mares, généralement déconnectées des milieux lotiques, et des lacs, dont le volume imposant dicte son rythme limnique à l'émissaire fluvial.

Pourtant, certaines régions d'étangs, comme la Brenne ou les Dombes, échappent à cet effacement programmé. Le problème n'est donc pas l'étang en lui-même mais sa supposée perturbation de l'ordre hydrologique du cours d'eau, d'où la multiplication de dérivations, y compris dans des secteurs où celle-ci n'est susceptible d'apporter aucune amélioration probante, coûtant pourtant des centaines de milliers d'euros d'argent public via les financements octroyés par les Agences de l'Eau. En

effet, nombre d'étangs se situent dans des secteurs d'intermittence de cours d'eau et les perturbations physico-chimiques ont lieu principalement en été, période où le cours d'eau ne coule de toute façon plus, même à l'état naturel.

L'objectif de cet article se trouve être de comprendre les interconnexions et autres déconnexions entre étangs et cours d'eau, principalement dans les lieux où la conflictualité est de mise, les têtes de bassin, en usant d'une approche paysagère, prônée par Tetzlaff *et al.* (2007), qui est l'« expression objective des civilisations » (Chevallier, 1976). Etant, en France continentale, dans un milieu jardiné depuis des siècles par les sociétés humaines, il nous semble indispensable d'appréhender l'aménagement comme partie intégrante du système, produit du paysage, générant effets positifs et négatifs (Touchart et Bartout, 2020a), possiblement variables dans le temps, selon les objets et lieux étudiés mais aussi selon les personnes interrogées au prisme de leur propre culture. De fait, il s'agit d'un système où les deux éléments, rivières comme étangs, doivent être traités de manière équivalente, sans préconçus, une mauvaise gestion de l'un pouvant entraîner des impacts conséquents sur l'autre.

Appréhender la connectivité rivières-étangs, sans ordre préférentiel, nécessite donc des travaux scientifiques sur leur fonctionnement propre et leurs actions-rétroactions, mais aussi une cartographie de l'existant. C'est ce que nous allons nous attacher à construire à partir d'indicateurs, puisqu'il s'agit de l'un des buts définis par la loi sur l'eau de 1992 avec le Système d'Evaluation de la Qualité (SEQ), ceci dans l'objectif opérationnel d'identifier les secteurs les plus sensibles hydrologiquement et socialement à une déstabilisation irréfléchie de l'hydrosystème, en ciblant les territoires de l'eau à forts enjeux, les têtes de bassin.

I. UNE THÉMATIQUE SCIENTIFIQUEMENT, SOCIALEMENT ET POLITIQUEMENT SENSIBLE, LA CONNECTIVITÉ HYDROLOGIQUE EN TÊTES DE BASSIN

Cet article explore la question des têtes de bassins où les connexions entre milieux hydrologiques de l'amont sont de fait centrales. Mais se posent alors deux questions : de quelles connexions parlons-nous et comment délimite-t-on un amont hydrologique ?

A. De quelle connectivité parlons-nous ?

Étymologiquement, la connectivité est l'offre (ou la potentialité) de connexions, en nombre de connexions et en fonction de la qualité de ces connexions. Ainsi, le concept de connectivité hydrologique a été inventé (Pringle, 2003 ; Bracken et Croke, 2007) pour faciliter la « compréhension des processus qui contrôlent l'activation et la désactivation des mécanismes de genèse de l'écoulement » (Ali, 2010). Elle a par la suite essaimé sur les questions sédimentaires à travers le SDR⁴, mais aussi agronomiques avec la connectivité hydrologique inter-parcellaire (Dhouib, 2023) étudiant les effets de la distribution des eaux de ruissellement sur la productivité agricole.

Mais le sens même du concept de « continuité » utilisé par l'administration biaise le sens d'origine du terme, à l'instar de celui de « masses d'eau » (Touchart et Bartout, 2020b), en assimilant la continuité à la seule dimension longitudinale à travers le concept de libre continuité. En faisant ainsi, elle se focalise avant tout sur deux critères : le libre passage d'espèces animales et la libre circulation des sédiments. Or, il faut noter que ces deux critères ne sont pas hydrologiques au sens premier du terme car ils sont la conséquence de la présence d'eau et ne s'intéressent qu'indirectement à l'élément liquide qui fonde la question de la connectivité⁵. Ainsi, alors que tous les organismes de gestion se réfèrent conceptuellement à l'hydrosystème, on assiste à une segmentation hydrologique dans tous les modèles de gestion, instaurant ou validant une hiérarchie des écosystèmes et répondant à des besoins de l'aval. Ce tronçonnage par l'intermédiaire des masses d'eau administratives est donc en inadéquation avec une approche hydrosystémique puisqu'il n'est là que pour mesurer les effets potentiels de ce marqueur qu'est la connectivité, sans voir qu'il est par essence contraire à ce concept. Le moyen et la technique ont ainsi suppléé la réflexion scientifique.

De même, puisqu'il est difficile de définir clairement ce que l'on entend par connectivité, la variable spatiale associée est floue et au libre arbitre des gestionnaires. Ainsi, si on le prend dans son sens strict, la connexion renvoie à un contact établi et effectif et non pas à une distance d'éloignement considérée comme courte. Mais devant l'absence de travaux scientifiques sur ces questions, nous trouvons des choix non justifiés dans certains documents de ges-

tion comme par exemple les HMUC (Hydrologie, Milieux, Usages, Climat) proposés par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne. Est ainsi stipulée dans l'étude HMUC Calcaires du Nivernais une distance de 50 m⁶ entre deux milieux pour justifier de la nécessité de connexion (mais aussi de déconnexion), ceci sans aucune nuance selon les territoires. Pour le SAGE Estuaire de la Loire, cette connectivité au cours d'eau s'effectue via la création d'une zone tampon de 200 m autour du tracé du cours d'eau, ramenée ensuite à 100 m pour les besoins de gestion et d'effacement des étangs. Les nuances spatiales selon les topographies et territoires sont ainsi évacuées et niées, la relative proximité en distance devenant la connectivité souhaitable.

Ces contradictions multiples nous imposent de définir ce que nous entendons par « connectivité hydrologique » dans cet article : il s'agira d'un contact aqueux direct, permanent ou ponctuel, entre plusieurs milieux aquatiques. Cette manière simple de la définir nous permet de rester dans une logique hydrosystémique avec la mobilisation des dimensions longitudinales (amont-aval pour les cours d'eau), verticales (pour la fonctionnalité interne des étangs, les liens réciproques avec la nappe et les variations de niveau d'eau) et latérales (au travers de la connexion au lit majeur pour les rivières et aux annexes hydrauliques lors des hautes eaux pour l'ensemble des milieux aquatiques), mais aussi la variabilité temporelle puisque les milieux ne sont pas obligés d'être connectés directement en permanence. En cela, la césure administrative entre étangs sur eau libre (donc connectés) et étangs au statut d'eau close (donc déconnectés) est parfaitement claire.

B. La tête de bassin versant

L'amont des bassins est souvent qualifié de « tête de bassin versant » (TBV). L'ajout du qualificatif « versant » au terme « bassin » ne va pourtant pas de soi hydrologiquement parlant, même s'il est rentré dans les mœurs comme peuvent l'être les déformations des sens originels de mots comme « crues » ou « étiages » (Lang-Delus, 2011). En effet, parmi les multiples qualificatifs existants (« topographique », « alimentation », « hydrogéologique », « hydrographique »), il est celui qui est le moins neutre scientifiquement et potentiellement le moins hydrologique car pensé par des géomorphologues pour comprendre le transit sédimentaire via le ruissellement (diffus comme concentré). Repris par les hydrauliciens

depuis la conférence de Paris en 1978, il n'est pensé que pour un milieu hydrologique, le cours d'eau, et, de fait, dans une seule dimension, longitudinale. Or, dans la Directive Cadre sur l'Eau de 2000, le terme usité est celui plein et entier de « bassin hydrographique » prenant en compte toutes les dimensions d'un bassin (longitudinale, mais aussi latérale et verticale), pour toutes les formes hydrologiques, les limites de celui-ci n'épousant donc pas systématiquement les lignes de crêtes topographiques.

Bien que des tentatives, en France, aient eu lieu, pour complexifier la prise en compte de milieux hydrologiques variés (d'après Touchart, 2006, « la tête de bassin s'arrête quand c'est le ruisseau qui alimente la zone humide et non plus l'inverse »), les TBV sont intimement liées au cours d'eau.

Ces têtes de bassin « versant » se retrouvent aujourd'hui dans tous les projets hydrologiques, à quelque échelle que ce soit, nationale⁷, régionale⁸ ou locale⁹, même si les définitions et objectifs diffèrent un peu, car leur étude est devenue depuis quelques années un des objectifs de la GIRE (Gestion Intégrée de la Ressource en Eau). En effet, les TBV souffrent encore d'être « insuffisamment prises en compte dans les réflexions d'aménagement du territoire, en raison d'un manque de connaissance sur leurs rôles et sur leurs intérêts pour l'ensemble des bassins versants à l'aval » (SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027). Toutefois, leurs connaissances partielles portent essentiellement sur l'extraction de l'extrême amont (Le Bihan *et al.*, 2019) de travaux plus génériques sur les cours d'eau via des travaux scientifiques sur les zonations chez Huet (1949) ou Illies et Botosaneanu (1963), accompagnées parfois de typologies longitudinales fonctionnelles comme chez Vannote *et al.* (1980).

La mainmise sur le sujet par des scientifiques essentiellement issus de l'OFB et de l'INRAE en France crée des certitudes, ou, du moins, une entrée selon une certaine optique, en étudiant uniquement les têtes de bassin sous l'angle de la doctrine de la « continuité écologique et sédimentaire » en ciblant les travaux sur le conditionnement en quantité et en qualité des ressources en eau de l'aval (Alexander *et al.*, 2007) et la protection des habitats pour une faune et une flore spécifique (Le Bihan *et al.*, 2019). Ceci suppose dans la pensée scientifique deux faits : (i) que le « cours d'eau » devienne synonyme de « tête de bassin versant » puisque le bon état hy-

drologique d'une tête de bassin est totalement lié au bon état du cours d'eau¹⁰ ; (ii) que l'on recourt massivement à la modélisation puisqu'il est impossible de connaître l'état théorique¹¹ de son bon état.

Reste la question épineuse de la délimitation du périmètre de la tête de bassin. En effet, il n'existe pas de définition réglementaire des têtes de bassin versant, que ce soit dans le droit français ou européen. Actuellement, comme le rappelle les Forum des Marais Atlantiques (2020), « seule une réglementation indirecte s'applique sur certaines entités (cours d'eau, zones humides, bocage...) et plus généralement sur l'occupation du sol et la protection des milieux, qui constituent la tête de bassin ». Dans la DCE-2000, seul un critère édicté peut être utilisé pour déterminer une tête de bassin. Il s'agit de la taille du cours d'eau car elle « conditionne très largement la structure physique et le fonctionnement écologique » (Wasson *et al.*, 2006), Wipfli *et al.* (2007) proposant le critère d'un lit mineur de largeur inférieure à 1 mètre.

Pour autant, ce n'est pas ce critère qui est retenu par la très grande majorité des recherches. Trois autres familles coexistent pour délimiter ce que Freeman *et al.* (2007) considèrent comme les extrémités apicales du réseau hydrographique : la taille du bassin versant (Adams et Spotila, 2005, la fixent à 2 km²), la pente (censée être supérieure à 1 % selon l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne) et l'ordination de Strahler (1957). C'est cette dernière qui a retenu l'attention des chercheurs et gestionnaires.

II. QUELLE DÉLIMITATION HYDROLOGIQUE DOIT-ON DONNER À LA TÊTE DE BASSIN ?

Présents au sein de ce même territoire de l'eau qu'est la tête de bassin, rivières et étangs y ont un passé historique en commun avec des logiques hydrologiques multifformes. Néanmoins, il existe une prédominance explicite de la délimitation d'une tête de bassin par des confluences de cours d'eau et ceci mérite d'être questionné.

A. L'ordination de Strahler comme juge de paix des délimitations des têtes de bassin

En 2006, J.-G. Wasson *et al.* justifient ce choix pour la constitution des hydro-écorégions à l'échelle nationale : « les méthodes d'ordination des cours

d'eau consistent à classer des portions de cours d'eau en fonction de leur position dans le réseau hydrographique en leur affectant un code numérique, dépendant des confluences. La plus courante et la plus simple à mettre en œuvre est l'ordination de Strahler (1957) qui consiste à attribuer le rang 1 aux cours d'eau en tête de bassin, puis, en progressant vers l'aval, chaque cours d'eau recevant un cours d'eau du même rang voit son rang augmenter d'une unité. Il est apparu que l'ordination de Strahler était l'information la plus homogène, et la plus rapidement mobilisable pour représenter la taille des cours d'eau à l'échelle du territoire national en 2002 ».

Parmi les qualités attribuées à cette méthode d'ordination figure le fait que la densité de drainage est l'un des indices les plus significatifs en termes de processus hydrologiques au niveau du bassin (Gregory et Walling, 1973), que la largeur moyenne du lit est équivalente à rang égal quel que soit le substrat géologique (Souchon *et al.*, 2000) ou encore que l'ordination reflète assez bien les débits liquides et solides transportés en hautes eaux (Wasson *et al.*, 2006).

Mais elle a aussi des limites connues (la taille des bassins versants à rang égal diffère selon la nature perméable ou imperméable du substrat ; un même rang de Strahler ne préjuge en rien de la variabilité hydrologique saisonnière) et non avouées (une vision uniquement longitudinale du cours d'eau, ce qui pose question quand dans la même phrase nous trouvons un objectif hydrosystémique à 4 dimensions et une argumentation fondée uniquement sur l'ordination de Strahler).

De fait, en France, que ce soient chez les gestionnaires ou les scientifiques, il semble y avoir un consensus contemporain autour de la sélection des rangs de Strahler 1 et 2 pour déterminer les têtes de bassin : « les têtes de bassin versant s'entendent comme les bassins versants des cours d'eau dont le rang de Strahler est inférieur ou égal à 2 et dont la pente est supérieure à 1 % » (chapitre 11 du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Loire-Bretagne 2016-2021) ; « les têtes de bassin versant sont assimilées de manière pragmatique aux bassins versants des cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2 » (Le Bihan *et al.*, 2019).

Ces types de cours d'eau représenteraient 70 à 85 % du réseau hydrographique à l'échelle mon-

diale (Schumm, 1956 ; Benda *et al.*, 2005), et entre 70 et 80 % à l'échelle française (Lhéritier, 2012 ; Bassin Versant de la Sèvre Nantaise, s.d.) mais se pose néanmoins la question de la pertinence de la cartographie permettant de les déterminer et de ce qu'est ou n'est pas un « cours d'eau ».

B. Avantages et contraintes d'une délimitation des têtes de bassin par les rangs de Strahler

La cartographie est au cœur des délimitations des têtes de bassin, mais se posent les questions de sa fiabilité et de sa représentativité car l'attribution des ordres de Strahler est directement dépendante de la précision des cartographies du réseau hydrographique utilisées.

Depuis quelques années, les agents des DDT et DDTM ont été missionnés pour cartographier les cours d'eau français, ceci de manière concertée avec les acteurs du territoire, tout en respectant un protocole scientifique préalable. Les ruissellements concentrés sont caractérisés comme des cours d'eau (de rang 1) au titre de la police de l'eau dès lors qu'ils obéissent aux critères de l'article L.215-7-1 du Code de l'environnement : « Constitue un cours d'eau un écoulement d'eaux courantes dans un lit naturel à l'origine, alimenté par une source et présentant un débit suffisant la majeure partie de l'année ».

Cette volonté de connaître l'étendue des cours d'eau français répond à un besoin de connaissances (en Suède, en 2007, Esseen *et al.* avaient montré que 90 % des manques du réseau hydrographique suédois se situaient dans des bassins versants inférieurs à 15 km²), mais surtout à une législation hydrologique largement fondée sur ces objets hydrologiques. Comme Napoléon Bonaparte en son temps avec l'édification du Cadastre Ancien pour résoudre les problèmes parcellaires, il y a là une volonté de graver dans le marbre ce qui est ou n'est pas cours d'eau et donc limiter les procès à venir.

Cette nouvelle cartographie des milieux lotiques et apparentés, disponible via la BD TOPAGE de l'IGN, génère des progrès importants dans les tracés des très petits cours d'eau. Elle modifie en conséquence profondément la numérotation des cours d'eau. En effet, les principaux ajouts se situent dans les parties amont et certains rangs 1 anciens deviennent des rangs 2 et, par ricochet,

certaines fleuves en leur exutoire, gagnent des rangs de Strahler. La Loire et le Rhône étaient ainsi des rangs 8 chez Wasson *et al.* (2006) : sur la BD Topage (2023), la Loire est désormais un rang 9 et le Rhône un rang 10.

Plusieurs questionnements en découlent :

- Sur les rangs de Strahler à prendre en compte dans une TBV.
 - o Si au début de ce siècle, les scientifiques et gestionnaires étaient d'accord pour considérer les rangs 1 et 2 comme des têtes de bassin, certains de ces cours d'eau sont aujourd'hui des rangs 3, voire 4. C'est d'ailleurs ce qu'avaient pointé Wasson *et al.* (2006) en notant une distorsion importante entre le bassin de la Loire (en avance sur la cartographie) et les autres bassins hexagonaux, si bien qu'ils proposaient de considérer, pour le bassin de la Loire, d'inclure les rangs 3 dans les très petits cours d'eau de tête de bassin.
- Sur la variable quantitative du « débit suffisant » mentionné dans la définition du cours d'eau.
 - o En effet, on serait en droit de se poser la question : suffisant à remplir quelles fonctions ? Aucun document ne permet d'étayer ceci, seul le « débit écologique¹² » appuie cette démonstration, mais il n'est pas la cause du classement mais bien sa conséquence.
- Sur la variable temporelle d'une « majeure partie de l'année ».
 - o Alors même que nous ne disposons pas de stations de mesures permanentes sur ces tout petits linéaires, comment peut-on estimer la durée nécessaire d'un ruissellement concentré intermittent en cours d'eau ? Or, selon Snelder *et al.* (2013), 25 à 45% du linéaire total de cours d'eau français sont intermittents¹³, les parties amont étant particulièrement concernées (Lowe et Likens, 2005).

Le cadre de la définition du cours d'eau laisse donc une marge d'interprétation aux gestionnaires, organisations administratives et experts, si bien qu'il existe un risque fort d'effets spatiaux importants comme ont pu le démontrer pour les zones humides Couderchet et Catteau (2023), en lien avec un traitement cartographique binaire (cours d'eau ou pas cours d'eau) de l'espace (Oberti *et al.*, 2003).

Par défaut, l'Aqua Incognita (Bishop *et al.*, 2018) qui précède les rangs 1, présentant des zones de

source et où apparaissent les premiers écoulements (Gomi *et al.*, 2002) sera nommée « rang 0 ». « Les rangs zéro correspondent aux écoulements intermittents ou éphémères sans berges distinctes (dits « achenalisés ») mais qui agissent comme des conduits, des « chenaux » de drainage d'eau, de sédiments, de nutriments et d'autres matériaux (bois mort par exemple) lors de précipitations ou de la fonte des neiges » (Galineau, 2020).

Mais une tête de bassin doit-elle être envisagée uniquement par son rang, qui renvoie systématiquement au cours d'eau ? D'ailleurs, l'emploi même du chiffre zéro, qui représente l'absence, le vide, témoigne du problème.

C. Élargir la notion de rang 0 à la pluralité des formes hydrologiques d'une tête de bassin hydrographique

La pluralité des formes hydrologiques, particulièrement à proximité des sources, doit nous interpeller sur une formulation exclusive de la tête de bassin par sa dimension longitudinale, chaque élément hydrologique ayant son propre bassin d'alimentation, en surface, souterrain et aérien.

Bien que peu nombreuses au regard de tout ce qui a trait aux cours d'eau, c'est le cas par exemple des études limnocentrées où l'objet étudié prioritairement en tête de bassin n'est pas le cours d'eau. Il peut alors s'agir de zones humides (Barnaud et Fustec, 2007), de lacs (Prud'homme *et al.*, 2020) ou encore d'étangs (Touchart *et al.*, 2023).

Malheureusement, ces dernières études sont peu mobilisées, exceptées lorsque leur approche met en valeur une biodiversité remarquable, alors qu'elles mettent en lumière le fait que l'eau présente au sein de ces parties amont n'est pas toujours liée à un écoulement : source, émergence de nappe, zone en creux comblée par les eaux de pluie, ruissellement diffus, non concentré ..., tout ceci fait partie de la réalité spatiale hydrologique et nous devons donc les inclure dans ce territoire de l'eau qu'est la tête de bassin.

De fait, l'approche hydrologique de la tête de bassin doit inclure l'extrémité apicale du réseau hydrographique, mais aussi envisager la dissociation entre talweg, fût-il élémentaire et intermittent, et rang 0 car les études actuelles n'y laissent aucune place.

Aussi, pour éviter de créer un néologisme, nous élargirons la signification du « rang 0 » à l'ensemble des présences hydrologiques non connectées à un cours d'eau et/ou non localisées dans un talweg en surface d'un bassin.

Ainsi, méthodologiquement, tout notre argumentaire portera sur des têtes de bassin hydrographique comportant les rangs 0, 1 et 2.

III. CONSTRUCTION DES INDICATEURS DE CONNECTIVITÉ HYDROLOGIQUE DES TÊTES DE BASSIN

La relation jugée problématique dans les têtes de bassin, entre un « agresseur », l'étang, et un « agressé », le cours d'eau, a nécessité une mise au point lexicale théorique et un positionnement scientifique réellement systémique, c'est-à-dire ne prenant pas partie au préalable, les effets de l'un pouvant être bénéfiques ou pas à l'autre.

Cette partie de l'article va s'attacher à expliquer la manière dont nous avons construit notre analyse spatiale des connectivités hydrologiques.

A. Une méthodologie emboîtée mettant les densités de drainage et densités d'étangs au cœur de la réflexion

La base de l'analyse spatiale transversale dans cette étude s'articule autour de deux indicateurs reconnus et équivalents pour les deux éléments traités. Il s'agit de la densité de drainage pour le volet « cours d'eau » (exprimée en km de cours d'eau par km²) et de la « densité » pour le volet « étang » (exprimée en nombre d'étangs par km²). Pour parvenir à la construction de ces indicateurs, nous nous sommes appuyés sur deux bases de données : la BD Topage 2023 préalablement présentée pour tout ce qui a trait aux cours d'eau, dont nous avons extrait ceux de rangs 1 et 2 ; la BD Bartout (inédite) pour tout ce qui a trait aux plans d'eau de plus de 100 m², amélioration de la base de données présentée en 2013 (Bartout et Touchart), en croisant les données issues de la BD Topo 2018, celles de la Base Ecrins_15 de l'Agence Européenne pour l'Environnement et enfin celles exportées d'*OpenStreetMap*. La temporalité de sa fiabilité est fixée pour 2018.

Quatre éléments transversaux sont à prendre en compte avant de rentrer dans le détail méthodolo-

gique. Tout d'abord, comme une multitude de définitions existent pour le terme étang sans qu'aucune ne fasse unanimité, l'étang sera vu ici comme un objet lentique, naturel comme artificiel, d'eau douce ou saumâtre, et de superficie comprise entre 0,1 et 100 ha (Bartout et Touchart, 2013). Sur un plan spatial ensuite, ne disposant pas de la totalité des informations nécessaires à un traitement équivalent de l'information pour la Corse, l'analyse se limitera à la France continentale. Également, afin de ne pas biaiser dès le départ notre volonté de traiter de manière équitable les visions potamocentrées et limnocentrées, nous avons fait le choix de construire notre argumentaire géographique et cartographique par entités administratives et changements d'échelles, et non sur les « bassins versants de masses d'eau » potamocentrés ou les « territoires limniques » (Bartout et Touchart, 2017) limnocentrés. Enfin, pour ne pas fausser les importances relatives d'un critère par un autre, nous avons adopté le choix de la relation à la normale de la France continentale pour chaque item : la valeur 1 correspondant à la moyenne française, 2 au double de cette valeur, 0,5 à la moitié de celle-ci ... Ceci permet de comparer les territoires entre eux sans préjuger de l'intensité du phénomène, son caractère classique ou exceptionnel... car il n'existe tout simplement pas de règle pour sa quantification.

Une fois ce cadre générique fixé, la détermination du degré de connectivité et d'interconnectivité a nécessité une méthodologie en trois phases :

- Phase préliminaire : Préparer les bases de données.

Nous avons tout d'abord créé de nouveaux champs dans les deux bases de données respectives en (i) identifiant les plans d'eau présents sur chaque tronçon de cours d'eau et (ii) intégrant le rang de Strahler pour chaque étang. Enfin, (iii) nous nous sommes attachés à calculer les différentes densités de drainage et densités d'étangs pour chaque territoire déterminé.

Une fois ces calculs élémentaires réalisés, les phases suivantes vont alors s'attacher à déterminer de nouveaux indicateurs.

- Phase 1 : Créer l'indicateur de sensibilité brute « cours d'eau » et « étangs » en croisant (multipliant) les rapports à la norme française des

indicateurs de pression lentique sur le milieu lotique et de pression lotique sur le milieu lentique.

Pour ce faire, nous avons tout d'abord généré pour chaque territoire un chiffre moyen du rang de Strahler occupé par un étang sur un tronçon de cours d'eau puis l'avons comparé à la norme française (pression lentique sur le milieu lotique). Ensuite, nous avons extrait de la BD Bartout tous les étangs alimentés par des cours d'eau de rangs 1 et 2, puis calculé leur densité au sein de chaque territoire avant de comparer celle-ci à la norme française (pression lotique sur le milieu lentique). Ainsi, plus les connexions entre cours d'eau et étangs sont présentes, plus l'indicateur est élevé, alors qu'une absence d'étang ou de cours d'eau génère une note de 0.

- Phase 2 : Construire une carte de synthèse de la connectivité « cours d'eau-étangs ».

Cette dernière phase passe d'abord par la production de deux indicateurs de sensibilité relative « cours d'eau » et « étangs ». Le calcul de ces indicateurs est effectué en soustrayant la valeur de sensibilité brute aux valeurs, rapportées à leurs normes respectives, de densité de drainage pour les cours d'eau et de densité pour les étangs. Ce calcul permet, pour chaque territoire de l'eau, de définir une sensibilité relative des cours d'eau à la présence d'étangs dans le talweg ET une sensibilité relative d'étangs à la présence de linéaires de cours d'eau en amont ou entre eux.

Vient enfin la carte de synthèse qui va s'appuyer sur les résultats des deux sensibilités relatives calculées précédemment. Cette carte doit permettre de discerner des territoires aux enjeux de connectivité hydrologique très limités, de ceux ayant une double pression de connexion, mais aussi des territoires avec toute une gamme de nuances de connexions entre ces deux éléments extrêmes, y compris des territoires où cours d'eau et étangs sont déconnectés les uns des autres, alors même qu'ils sont activement présents sur le même périmètre.

B. L'insertion des étangs sur le linéaire de cours d'eau et des cours d'eau entre les étangs

Cette phase méthodologique vise à réaliser un premier croisement entre les deux entités hydrologiques.

Pour ce qui a trait aux cours d'eau de têtes de bassin, nous avons extrait des 793 889,05 km de linéaire de cours d'eau et assimilés présents sur la BD Topage 2023 les 546 506,25 km correspondant aux cours d'eau de rangs 1 et 2, soit 69 % de l'ensemble.

Si l'on s'attarde ensuite sur les étangs, sur la base Bartout 2018 figurent 271 858 étangs. Les têtes de bassin hydrographique en représentent 260 450, soit 96 %. Si l'on compare ce pourcentage avec celui des cours d'eau (69 %), sur le plan de la représentativité statistique, la tête de bassin hydrographique

est mieux corrélée à la dimension stagnustre en France continentale.

Le Tableau 1, réalisé à l'échelle des régions administratives actuelles et antérieures à la réforme des régions de 2015, vient préciser ces chiffres au regard de leurs connexions ou déconnexions au réseau hydrographique.

À l'échelle de l'ensemble des étangs, 66 % d'entre eux sont déconnectés des cours d'eau (rangs 0), 30 % connectés à des cours d'eau de rangs 1 ou 2 de

Région	Ancienne région	Étangs		
		Total	Rangs 0	
			Nombre	%
Auvergne-Rhône-Alpes		25110	14967	60
	<i>Auvergne</i>	<i>12785</i>	<i>5996</i>	<i>47</i>
	<i>Rhône-Alpes</i>	<i>12325</i>	<i>8971</i>	<i>73</i>
Bourgogne-Franche-Comté		18716	10701	57
	<i>Bourgogne</i>	<i>12047</i>	<i>6821</i>	<i>57</i>
	<i>Franche-Comté</i>	<i>6669</i>	<i>3880</i>	<i>58</i>
Bretagne		16608	10555	64
Centre-Val-de-Loire		36116	25650	71
Grand-Est		18714	13608	73
	<i>Alsace</i>	<i>3420</i>	<i>2692</i>	<i>79</i>
	<i>Champagne-Ardenne</i>	<i>7269</i>	<i>5585</i>	<i>77</i>
	<i>Lorraine</i>	<i>8025</i>	<i>5331</i>	<i>66</i>
Hauts-de-France		18987	14895	78
	<i>Nord-Pas-de-Calais</i>	<i>7636</i>	<i>5877</i>	<i>77</i>
	<i>Picardie</i>	<i>11351</i>	<i>9018</i>	<i>79</i>
Ile-de-France		5344	3921	73
Normandie		11312	8257	73
	<i>Basse-Normandie</i>	<i>7657</i>	<i>5150</i>	<i>67</i>
	<i>Haute-Normandie</i>	<i>3655</i>	<i>3107</i>	<i>85</i>
Nouvelle-Aquitaine		52449	29353	56
	<i>Aquitaine</i>	<i>20826</i>	<i>14463</i>	<i>69</i>
	<i>Limousin</i>	<i>14677</i>	<i>3738</i>	<i>25</i>
	<i>Poitou-Charentes</i>	<i>16946</i>	<i>11152</i>	<i>66</i>
Occitanie		18515	10410	56
	<i>Languedoc-Roussillon</i>	<i>4939</i>	<i>3422</i>	<i>69</i>
	<i>Midi-Pyrénées</i>	<i>13576</i>	<i>6988</i>	<i>51</i>
Pays-de-la-Loire		44993	32517	72
Provence-Alpes-Côte-d'Azur		4994	3301	66
France		271858	178135	66

Tableau 1. Les étangs sur rang 0 par régions administratives

Strahler et seulement 4 % connectés à des rivières de rangs de Strahler supérieurs. Autrement dit, 1 étang sur 3 en France continentale est réellement connecté à un cours d'eau.

Sur le plan spatial, à l'échelle des nouvelles régions, il existe un certain équilibre entre connexions et déconnexions. En effet, les extrêmes sont relativement proches : 56 % en Nouvelle-Aquitaine et Occitanie pour les valeurs de déconnexion et 78 % dans les Hauts-de-France. Toutefois, l'étendue de ces régions cache des variabilités locales très fortes, déjà visibles lorsque l'on s'intéresse aux anciennes régions administratives. A cette échelle, deux régions ressortent très nettement par leur éloignement de la moyenne : la Haute-Normandie (85 % de déconnexion) et le Limousin (25 % de déconnexion). Si la Haute-Normandie possède de très faibles valeurs de connexion, d'autres territoires régionaux sont néanmoins proches de celle-ci, principalement dans le Nord et le Nord-est de la France (79 % en Picardie et en Alsace, 77 % en Champagne-Ardenne et en Nord-Pas-de-Calais), n'en faisant pas une exception. En revanche, le cas du Limousin est beaucoup plus original, puisqu'une seule autre région, l'Auvergne, a une plus forte connexion que déconnexion (47 %). Ceci peut

apparaître comme une signature territoriale et nous pouvons nous attendre à voir ressortir tout ou partie du Limousin dans les indices de sensibilité.

À plus grande échelle et avec une approche potamocentrique, la Figure 3 montre les départements dans lesquels l'insertion des étangs sur le linéaire fluvial est le plus prononcé. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur la totalité des étangs présents au sein de chaque département et avons calculé le rang moyen de Strahler (un étang sur un rang 5 ajoutant 5 au total contre 0 pour un étang sur rang 0). Plus le chiffre s'avère élevé et plus la connexion et les effets induits sont forts, plus le chiffre est bas, plus la déconnexion lotique/lentique est marquée.

Spatialement, cette Figure 1 nuance les conclusions tirées du Tableau régional 1, renforçant néanmoins certaines césures territoriales visibles à partir de l'approche limnocentrique (Limousin, Auvergne, Haute-Normandie par exemple). Dans le détail, alors même que les densités d'étangs sont fortes dans le quart nord-ouest, ceux-ci sont très peu connectés aux cours d'eau, excepté en Bretagne ou Mayenne (minimum en Loire-Atlantique avec 0,240, Charente-Maritime avec 0,247 et Seine-Maritime avec 0,249, pour une moyenne de 0,528),

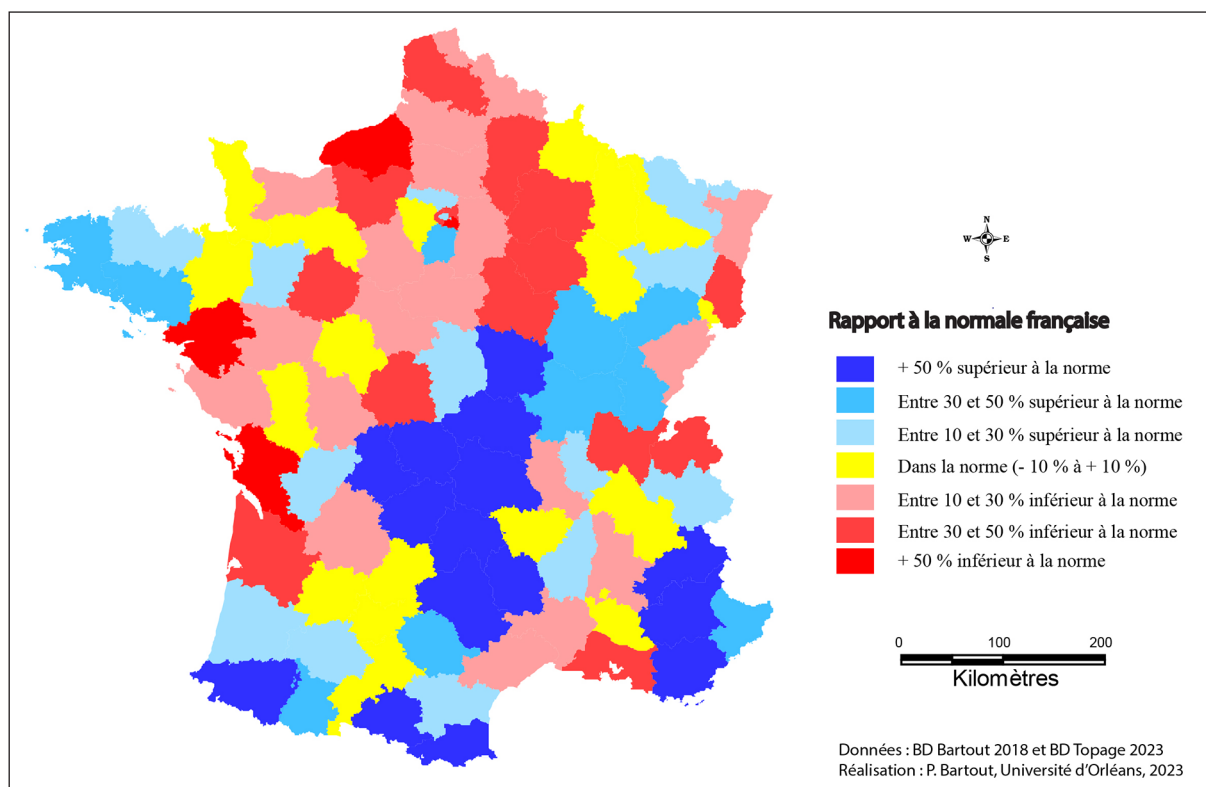


Figure 1. Le rapport à la moyenne française du rang de Strahler moyen de chaque étang par département de France continentale

alors que nous observons sensiblement l'inverse au sud et à l'est. Toutefois, les massifs des Pyrénées, des Alpes du Sud et surtout du Massif Central sont les éléments les plus saillants de cette cartographie. Ce sont eux qui abritent les plus fortes valeurs (Corrèze 1,211 ; Alpes-de-Haute-Provence 1,138 ; Ariège 1,061) donc potentiellement les plus sujets à la sensibilité dès lors qu'ils possèdent des densités d'étangs élevées.

La Figure 1 et le Tableau 1 constituent le canevas sur lequel vont s'appuyer les trois indicateurs nouvellement créés pour déterminer le degré de connectivité hydrologique cours d'eau-étangs en tête de bassin.

IV. UNE GÉOGRAPHIE HEXAGONALE DE L'INTERCONNEXION COURS D'EAU – ÉTANGS EN TÊTES DE BASSIN

Comme présenté en méthodologie, nous allons d'abord présenter les résultats des sensibilités brutes des connectivités cours d'eau-étangs, puis dans un second temps leurs sensibilités relatives via la carte de synthèse de connectivité hydrologique « cours d'eau-étangs » des têtes de bassin en France continentale.

A. Une cartographie de la sensibilité brute des connectivités hydrologiques

À l'échelle communale (Figure 2), l'œil est attiré par les extrêmes. Les très faibles sensibilités brutes sont la norme au nord d'une ligne Cherbourg – Pontarlier. Seules émergent quelque peu la vallée de la Somme, l'Avesnois, la Champagne Humide, la Woëvre, et surtout les pourtours occidentaux et méridionaux des Vosges, que ce soit la région de Bitche, le Pays des Mille Étangs, la Vôge, le pays de Luxeuil ou encore le Sundgau. C'est d'ailleurs dans cette partie méridionale que se trouvent les plus fortes valeurs de sensibilité brute avec 8 des 10 premières communes classées (Errevet, Petitmagny, Frahier-et-Chatebier, Lagrange, Echavanne, Romagny-sous-Rougement, Etobon, la Bruyère) et encore 6 autres entre les 11^{ème} et 50^{ème} places.

Au sud de cette ligne Cherbourg – Pontarlier, 5 autres ensembles de faible sensibilité brute paraissent : les montagnes calcaires du Jura, des pré-Alpes, des pré-Pyrénées, des Causses du massif Central, la ceinture du Jurassique du Nord du

Morvan jusqu'au Quercy, les Charentes, les sables des Landes et l'extrême ouest de la Bretagne.

Pour le reste, il semble y avoir une très forte concordance entre la nature imperméable des roches et des sols et une sensibilité brute à la connectivité élevée, excepté pour les deux régions d'étangs internationalement reconnues que sont la Brenne et les Dombes, quasiment inobservables sur cette figure, confirmant la déconnexion importante des étangs du chevelu hydrographique et donc du caractère original de ces régions géographiques et non généraliste comme peuvent le prévoir les éléments de gestion ou les règlements en France.

Parmi ces régions imperméables, notons les très fortes sensibilités brutes de l'ouest du Limousin, puisque 18 des 50 premières valeurs de sensibilité brute de connectivité sont le fait de communes de Haute-Vienne et 6 de Corrèze.

Ces sensibilités brutes à la connectivité hydrologique ne sont néanmoins qu'un indicateur intermédiaire pour qualifier le degré de connexion, déconnexion ou interconnexion des rivières et étangs en têtes de bassin.

B. Qualifier le degré et le type de connectivité « cours d'eau-étangs » en tête de bassin

Pour parvenir à caractériser la connectivité hydrologique « cours d'eau-étangs », la synthèse des approches développées dans ce manuscrit sera organisée à partir de deux entrées, toutes deux en rapport à la norme française de chaque item : les rivières et les étangs (i) comme marqueurs de territoires (au-dessus de la norme française en termes de densités respectives) et (ii) comme connectés à l'autre élément de l'hydrosystème.

Tout d'abord, statistiquement, les résultats en France continentale donnent ceci (Tableau 2).

Ce tableau nous montre que l'élément saillant est la déconnexion entre ces deux éléments de l'hydrosystème en tête de bassin. En effet, 80,8 % des communes de France continentale ne présentent pas de degré de connectivité, ni pour les cours d'eau, ni pour les étangs, supérieur aux normales. Relativement, ceci s'avère valable quand ni les cours d'eau, ni les étangs ne sont marqueurs de territoires (100 % des cas), mais aussi quand les

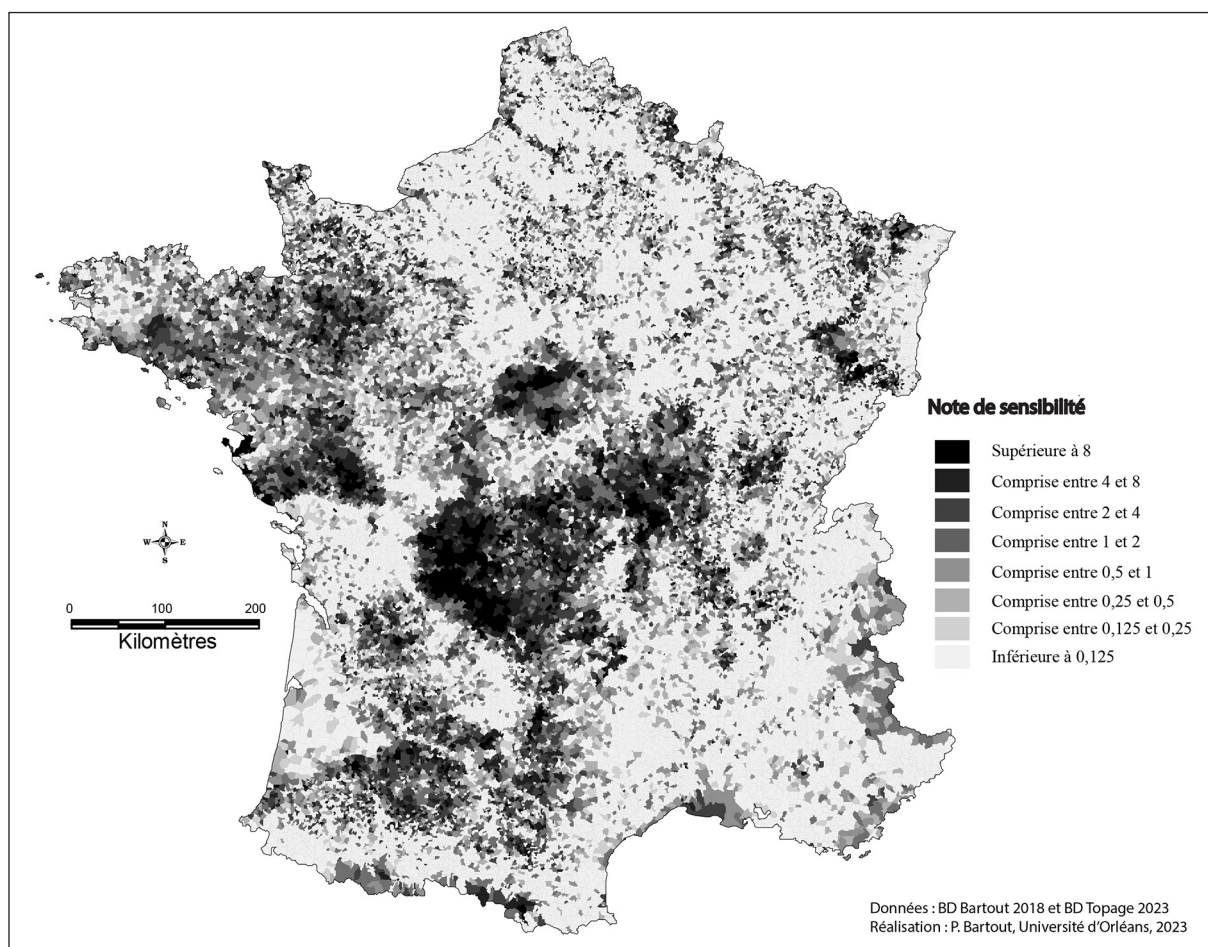


Figure 2. La sensibilité brute des territoires communaux à l'interconnexion entre cours d'eau et étangs en tête de bassin en France continentale

	Connectivité	Cours d'eau ET étangs	Cours d'eau	Étangs	Aucun
Marqueurs					
Cours d'eau ET étangs		11,7 %	2,4 %	3,2 %	5,4 %
Cours d'eau				1,1 %	28,5 %
Étangs			0,7 %		7,7 %
Aucun					39,2 %

Tableau 2. Statistiques nationales des degrés de relations réciproques entre cours d'eau et étangs en tête de bassin : marqueurs de territoires et connectivité

cours d'eau sont marqueurs d'un territoire (dans 96 % des cas), quand les étangs sont marqueurs d'un territoire (dans 92 % des cas) et même quand les deux sont marqueurs de territoires (dans 24 % des cas), montrant des logiques distinctes entre le fonctionnement naturel de l'écoulement (cours d'eau) et les besoins anthropiques d'aménagement (étangs). Toutefois, quand les cours d'eau et les étangs sont marqueurs de territoires, la majorité des communes (52 %) présente également une

double connectivité montrant ici le lien étroit du besoin d'aménagement et de régulation des flux longitudinaux des cours d'eau par la construction d'étangs à même le lit de ceux-ci.

Ensuite, spatialement, les Figures 3, 4 et surtout 5 permettent de discerner avec un grain communal les variabilités de cette connectivité hydrologique. Les deux premières figures s'intéressent aux sensibilités relatives des cours d'eau (Figure

3) et des étangs (Figure 4) à cette interconnexion hydrologique. Bien que présentant des informations géographiques pertinentes, nous ne développerons pas celles-ci car ces deux figures constituent elles aussi des intermédiaires pour construire la carte synthétique (Figure 5) où l'on retrouve les informations spatiales générées.

Sur cette Figure 5, nous allons avant tout nous attarder sur les secteurs (en bleu) les plus sensibles hydrologiquement parlants aux non-respects des contraintes de gestion des cours d'eau ET des étangs.

Comme nous pouvions nous y attendre au regard des cartographies précédentes, cette ultra-convec-

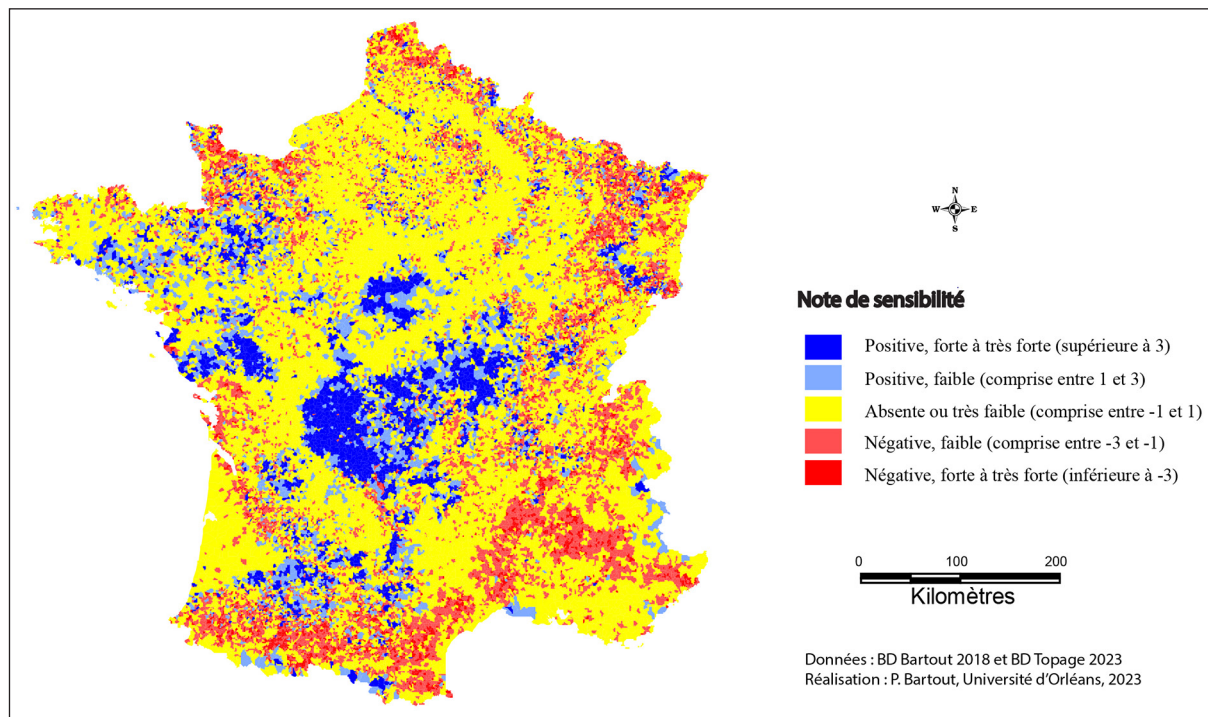


Figure 3. La sensibilité relative des cours d'eau de tête de bassin des communes françaises à l'interconnexion cours d'eau-étangs

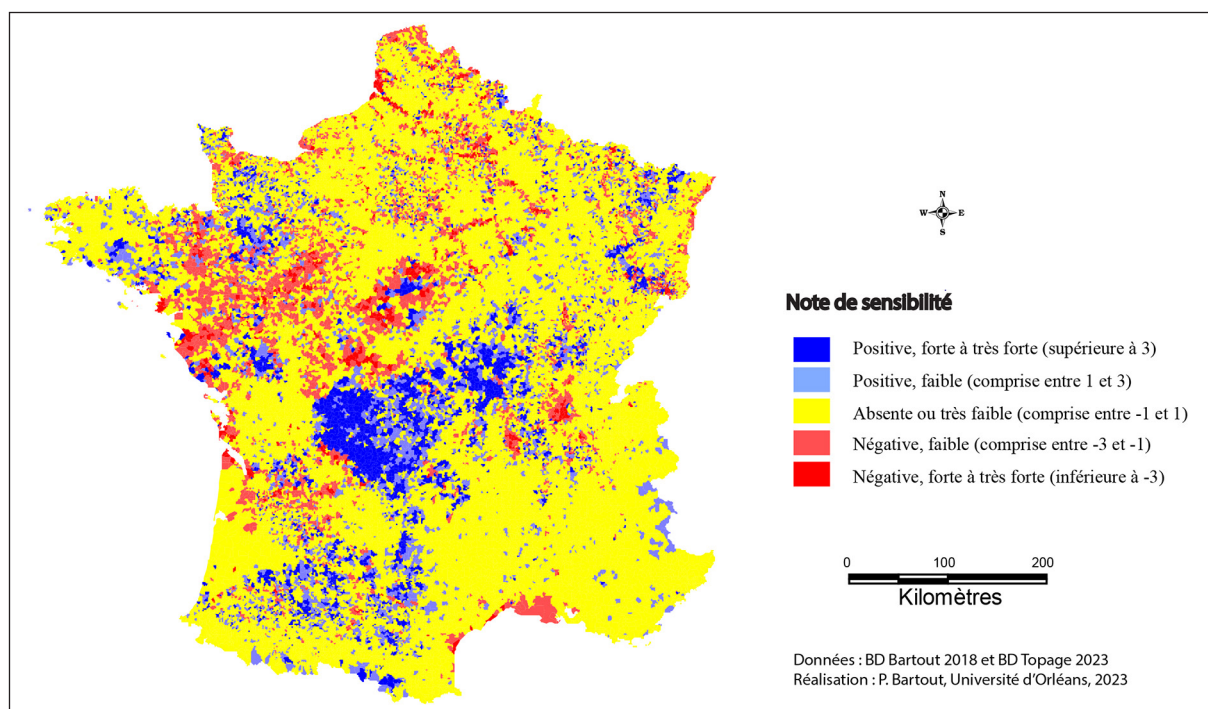


Figure 4. La sensibilité relative des étangs en tête de bassin des communes françaises à l'interconnexion étangs-cours d'eau

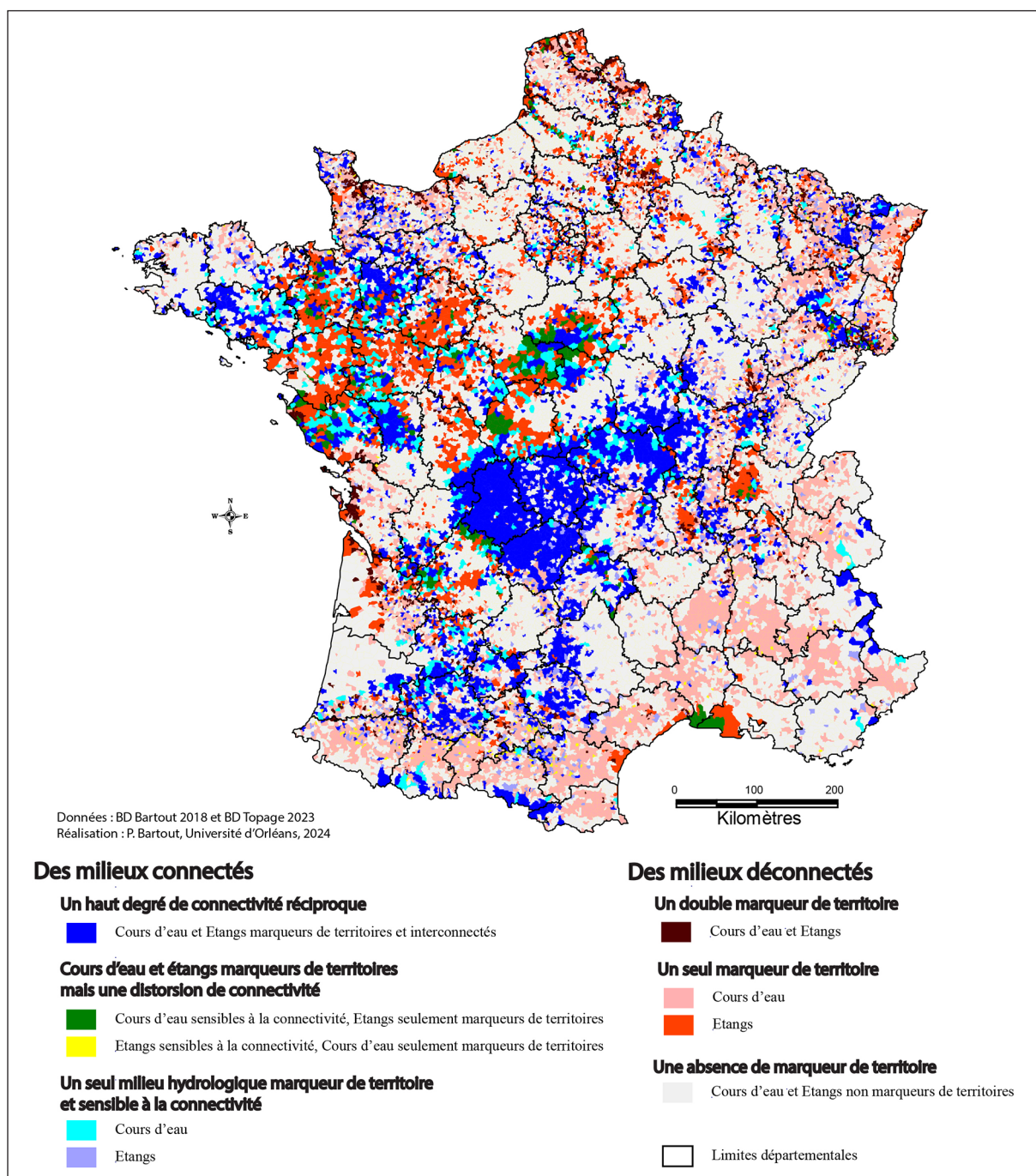


Figure 5. Carte de synthèse communale des degrés et types de connectivité hydrologique « cours d'eau et étangs » en tête de bassin, leurs interconnexions et déconnexions, en France continentale

tivité « cours d'eau-étangs » est la marque de fabrique, la signature, du Limousin, en particulier du département de la Haute-Vienne. La combinaison d'une topographie multipliant les talwegs encaissés, d'une imperméabilité générale du substrat générant une intermittence de l'écoulement, d'un abandon des terres agricoles depuis près de deux siècles et d'une colonisation des campagnes par des étangs de loisirs, font de ce territoire un site particulier en France où toute volonté d'aménagement doit être

soigneusement pesée à l'aune de la complexité de l'hydrosystème mais aussi du socio-système. À l'opposé, les Dombes, le Forez et la Brenne (la Grande Brenne) ne sont pas concernés par cette problématique, tout comme une partie de la Sologne, excepté principalement le bassin du Beuvron.

Ainsi, parmi les grandes régions d'étangs françaises, le degré de connectivité varie beaucoup. La région Centre-Val-de-Loire qui accueille la

plus grande superficie en eau d'étangs nationale est ainsi peu concernée par cette question de connectivité, ces deux principales concentrations stagnastres (Brenne et Sologne) ressortant peu sur cette figure. C'est un peu différent en Pays-de-la-Loire qui accueille la plus grande densité d'étangs hexagonale, étangs majoritairement à vocations de loisirs où l'axe ligérien montre une présence importante d'étangs mais déconnectés des cours d'eau (en orange), alors que les extrémités ouest (Morbihan), nord (Mayenne) et sud (Deux-Sèvres et secondairement Vendée davantage sujette à une connectivité cours d'eau) sont plus sujettes aux connexions réciproques. Dans le sud-ouest, la vocation de loisirs des étangs se couple avec une vocation agricole affirmée. Le besoin en eau (en volume) est alors plus conséquent et il est notable de constater une forte connectivité réciproque entre l'est des Landes et l'est du Tarn. Les secteurs du Bourbonnais, de la Bresse, de la Vêge, du Sundgau ou de la Woëvre, sont également des régions importantes de connectivité réciproque, régions qui étaient des places fortes d'étangs aux 17^{ème} et 18^{ème} siècles, moment où ceux-ci étaient de superficie conséquente et donc avaient besoin d'une connexion à un cours d'eau pour leur alimentation en eau, même si les techniques de l'assec et de l'évolage y avaient une grande place. Or aujourd'hui, seules les Dombes ont maintenu ces pratiques ancestrales en raison principalement d'un manque de cours d'eau localement.

CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS CONCERNANT L'INTÉRÊT DE PRISE EN COMPTE DE CETTE CONNECTIVI- TÉ HYDROLOGIQUE COURS D'EAU- ÉTANGS

L'utilisation du vocable « connectivité » dans les documents réglementaires et de gestion induit l'idée qu'il faut que l'eau soit évacuée le plus vite possible vers la mer, renforçant par là-même la problématique des risques hydrologiques et mettant à mal des siècles d'aménagement, principalement dans les parties amont des bassins, visant au contraire à retenir l'eau là où c'est possible et où les sociétés humaines en ont besoin. Les étangs, tout comme les seuils de moulin, rentrent dans cette catégorie d'aménagements à « effacer » pour le bon état écologique des milieux hydrologiques, sous-entendus quasiment exclusivement des cours d'eau.

Nos résultats montrent néanmoins d'importantes nuances si ce n'est contradictions avec ce discours officiel, surtout lorsqu'on se focalise sur les têtes de bassin et que l'on cherche à avoir une définition stricte de ladite connectivité et une approche hydrosystémique d'actions-rétroactions entre deux éléments, les cours d'eau et les étangs.

Tout d'abord, dès lors que l'on sort de l'omnipotence potamologique pour la délimitation d'une tête de bassin, l'inclusion des rangs 0 montre un lien beaucoup plus prononcé entre étangs et têtes de bassin (96 % d'occurrence) que pour cours d'eau et têtes de bassin (69 % d'occurrence). Ensuite, la question de connectivité réciproque montre une réalité hydrologique plurielle qui diffère fortement selon les lieux en France continentale. Parmi les secteurs abritant beaucoup d'étangs, les très fortes interconnexions se situent principalement sur les rebords occidentaux et septentrionaux du Massif Central, alors que les départements abritant les plus grandes concentrations d'étangs reconnues (Loiret, Loire-et-Cher, Indre, Ain) y sont peu visibles, prouvant une déconnexion forte entre cours d'eau et étangs, ces derniers étant alimentés majoritairement par des fossés, les exonérant des multiples contraintes réglementaires.

Or, ceci pose une question sous-jacente : malgré l'intérêt indéniable de travailler sur des régions d'étangs comme la Brenne ou les Dombes, ne faut-il pas considérer, à l'aune de la thématique du bon état des rivières, ces régions comme des contre-exemples, et donc concentrer des travaux scientifiques ailleurs pour permettre de mieux appréhender les impacts de cette forte interconnectivité, tant sur les étangs que sur les rivières, afin de ne plus être dans le dogme et s'approcher le plus possible de cette réalité complexe ?

De même, nous rappelons que l'objectif de cette étude n'était nullement de conforter la présence d'étangs partout, ni d'identifier des territoires où la forte connectivité réciproque justifierait un effacement des étangs. Il s'agit bien de mieux comprendre le milieu hydrologique dans son ensemble et d'identifier des secteurs où la fragilité écosystémique hydrologique est la plus évidente, nécessitant un besoin d'études complémentaires pour éviter de proposer une GIRE si l'on peut dire déconnectée, non intégrée aux particularismes de son territoire d'application. C'est en ce sens et pour

nul autre que la Figure 5 a été construite et qu'il faut interpréter ses résultats.

Si nous élargissons le propos, cette étude précurseur nécessitera évidemment la mobilisation d'autres composantes hydrologiques complémentaires en ajoutant de la complexité (zones humides, nappes ...). Ces résultats nous incitent également à prendre en compte ce critère pour améliorer à l'avenir la définition du potentiel d'accueil lentique naturel d'un territoire (Bartout, 2015). Enfin, il faudra questionner, comme le laissaient entendre J.G. Wasson *et al.* (2006), la pertinence ou non d'inclure les rangs 3 et/ou 4 de Strahler dans la délimitation de la tête de bassin. Dans le cas de la relation entre cours d'eau et étangs, l'ajout du rang 3 aurait conduit à sélectionner 98,5 % (contre 96 %) des étangs et 79 % (contre 69 %) des linéaires de cours d'eau. Il serait d'ailleurs sans doute pertinent d'élargir ce questionnement au caractère permanent ou intermittent du cours d'eau. Vraisemblablement, la présence d'étangs en nombre ne devrait pas aller au-delà des rangs 2 sur les cours d'eau permanents, contrairement à ceux intermittents, plus sujets au besoin de rétention en eau pour les usages anthropiques, y compris loin de la source du cours d'eau. En ce sens, la problématique de la connectivité cours d'eau-étangs rejoint celle de la connectivité cours d'eau-seuils de moulins, le seuil succédant souvent à l'étang en aval du cours d'eau, les deux hybrides hydrologiques étant les grands incompris du monde de l'eau. Incompris que la Directive Restore Nature souhaite voir disparaître au prisme d'une connectivité fantasmée : « Chapitre II Article 9 : intitulé « Restauration de la connectivité naturelle des cours d'eau et des fonctions naturelles des plaines inondables adjacentes », alinéa 1 : inventaire des obstacles artificiels à la connectivité des eaux de surface. Suppression en fonction de leur caractère obsolète sur le plan socio-économique ».

NOTES

¹Suivi des populations de migrateurs au niveau des stations de Feuguierolles-Bully sur l'Orne (2022) et du Breuil-en-Auge sur la Touques (2021). Fédération Nationale de la Pêche, Agence de l'eau Seine-Normandie.

²Rapport annuel de la station de comptage piscicole des Claies-de-Vire (2022). Fédération Départementale 50 de la pêche.

³Pierre Potherat, 2024. « Les crues du Nord-Pas-de-Calais de novembre 2023. Leurs liens supposés avec les

suppressions des seuils en rivières ? 12 pages.

⁴« Les modèles d'érosion locaux sont souvent reliés au concept empirique du SDR (Sediment Delivery Ratio), c'est-à-dire le rapport entre les exports de sédiments à l'exutoire d'un réseau hydrographique et l'érosion brute produite localement sur les versants. Ce paramètre empirique est utilisé comme un facteur de connectivité, permettant d'estimer l'apport des pertes de sols nettes des versants aux exports sédimentaires des bassins » (Cerdan *et al.*, 2015).

⁵Le site RAPPEL définit ainsi le terme de connectivité hydrologique : elle « correspond à la connexion présente entre plusieurs milieux aquatiques ou humides. Elle permet le transfert, par l'eau, de matières, d'énergies et d'organismes. C'est grâce à cette connectivité que certaines migrations d'espèces animales sont rendues possibles ».

⁶Pouvant aller jusqu'à 150 m selon le Syndicat de Bassin du Fouzon (comm. or. 10 juin 2024).

⁷Pour l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, il s'agit de la « partie amont des bassins versants et par extension les tronçons amont des cours d'eau qui, en zone de relief notamment, sont le plus souvent moins exposés aux pressions anthropiques que les parties aval (mais restent très fragiles) et qui de ce point de vue constituent des secteurs de référence à préserver ».

⁸Pour le Forum des Marais Atlantiques, « les têtes de bassin versant correspondent aux zones amont des rivières. Elles intègrent les zones de source, les écoulements diffus, les ruisseaux (temporaires ou permanents) et leurs bassins d'alimentation ».

⁹Pour le SAGE Sèvre Niortaise - Marais Poitevin, les trois principales fonctions des têtes de bassin versant sont les suivantes : « (i) les fonctions hydrauliques et hydrologiques, assurées par les zones humides en tête de bassin versant ; (ii) les fonctions trophiques et biologiques, puisque les têtes de bassin versant représentent une mosaïque de milieux variés tels que les forêts, les marais, les prairies agricoles, les bocages... Il est naturel que ces espaces à multiples facettes concentrent une biodiversité importante ; (iii) les fonctions physico-chimiques, de nombreuses études montrant que des éléments naturels contribuent à absorber une grande quantité de nutriments et de gaz à effet de serre ».

¹⁰Ce détournement intellectuel existe déjà sur la question des masses d'eau administratives (Touchart et Bartout, 2020b).

¹¹Car nous ne disposons pas de données *in situ* avant les perturbations observées, de nombreux étangs étant fort anciens (plusieurs siècles), ce qui resserre l'intérêt de notre propos.

¹²Selon la déclaration de Brisbane (2007), un débit écologique est « la quantité, la saisonnalité et la qualité des débits nécessaires à la durabilité des écosystèmes d'eau douce et estuariens ainsi qu'aux besoins et au bien-être des Hommes qui dépendent de ces écosystèmes » (Lamoureux *et al.*, 2018).

¹³En les incluant aux données de Snelder *et al.* (2013),

Datry *et al.* (2014) estiment cette proportion d'intermittence à 50 % des cours d'eau métropolitains.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, R.K. & Spotila, J.A. (2005). The form and function of headwater streams based on field and modeling investigations in the Southern Appalachian Mountains. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 30 (12), p. 1521-1546. DOI: [10.1002/esp.1211](https://doi.org/10.1002/esp.1211)
- Alexander, R.B., Boyer, E.W., Smith, R.A., Schwarz, G.E. & Moore, R.B. (2007). The role of headwater-streams in downstream water quality. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 43 (1), p. 41-59. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1752-1688.2007.00005.x>
- Ali, G. (2010). *Utilisation du concept de connectivité en hydrologie. Définitions, approches expérimentales et éléments de modélisation*. Thèse de géographie, Université de Montréal, 360 p.
- Barnaud, G. & Fustec, E. (2007). *Conserver les zones humides. Pourquoi ? Comment ?*, Editions Quae, Versailles, 296 p.
- Bartout, P. (2015). *Les territoires limniques, nouveau concept limnologique pour une gestion géographique des milieux lenticques*. Mémoire d'HDR, Université d'Orléans, 452 p.
- Bartout, P. & Touchart, L. (2013). L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. *Annales de Géographie*, 691, p. 266-289.
- Bartout, P. & Touchart, L. (2017). Le territoire limnique, une alternative à la gouvernance des plans d'eau par masses d'eau ? *VertigO*, 17 (3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.18692>
- Benda, L., Hassan, M.A., Church, M. & May, C.L. (2005). Geomorphology of steepheadwaters: the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association*, 17. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03773.x>
- Bishop, K., Buffam, I., Erlandsson, M., Fölster, J., Laudon, H., Seibert, J. & Temnerud, J. (2008). Aqua Incognita: the unknown headwaters. *Hydrological Processes*, 22 (8), p. 1239-1242. <https://doi.org/10.1002/hyp.7049>
- Bracken, L.J. & Croke, J. (2007). The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. *Hydrological Processes*, 21 (13), p. 1749-1763. <https://doi.org/10.1002/hyp.6313>
- Bravard, J.-P. & Lévêque, C. (eds) (2020). *La gestion écologique des rivières françaises : regards de scientifiques sur une controverse*. L'Harmattan, Paris, 361 p.
- Cerdan, O., Salvador-Blanes, S. & Evrard, O. (2015). Effet d'échelle et connectivité : concepts intégrateurs ou ersatz de model physique ? 15^{ème} congrès français de sédimentologie, Chambéry.
- Chevallier, R. (1976). Le paysage palimpseste de l'histoire : pour une archéologie du paysage, *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 12, p. 503-510.
- Couderchet, L. & Catteau, S. (2023). Expertise et action publique : la géographie numérique au secours des politiques d'aménagement. *L'information géographique*, 87, p. 63-84. <https://doi.org/10.3917/lig.873.0063>
- Datry, T., Larned, S.T. & Tockner, K. (2014). Intermittent rivers: a challenge for freshwater ecology. *BioScience*, 64 (3), p. 229-235. <https://doi.org/10.1093/biosci/bit027>
- Dhouib, M. (2023). *Effets de la connectivité hydrologique sur l'efficacité de l'eau des cultures pluviales méditerranéennes : modélisation et analyse de scénarios – cas du bassin versant de Kamech, Tunisie*. Thèse, Montpellier SupAgro, 271 p.
- Donati, F., Touchart, L., Bartout, P. & Choffel, Q. (2022). Caractérisation biophysique des milieux situés à l'amont des seuils en rivière : l'écotone retenue de seuil, *VertigO*, 22 (1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.35155>
- Esseen, P.A., Glimskär, A., Ståhl, G. & Sundquist, S. (2007). *Field instruction for National Inventory of Landscapes in Sweden, NILS, year 2007*. SLU, Department of Forest Resource Management, Umeå, 194 p.
- Forum des Marais Atlantiques (2020). *Les têtes de bassin-versant. Des zones essentielles pour la gestion des milieux aquatiques et de sa biodiversité*. Rapport, Département du Finistère, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 12 p.
- Freeman, M.C., Pringle, C.M. & Jackson, C.R. (2007). Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43 (1), p. 5-14. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x>
- Galineau, M. (2020). *Etude exploratoire des rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire*. Rapport Master 2, Université Rennes 1, 40 p.
- Gomi, T., Sidle, R.C. & Richardson, J.S. (2002). Understanding processes and downstream linkages of headwater systems: headwaters differ from downstream reaches by their close coupling to hillslope processes, more temporal and spatial variation, and their need for different means of protection from land use. *BioScience*, 52 (10), p. 905-916. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0905:UPAD-LO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0905:UPAD-LO]2.0.CO;2)
- Gregory, K.J. & Walling, D.E. (1973). Drainage basin form and process: a geomorphological approach. Arnold, E., London, 456 p.
- Huet, M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 11 (3-4), p. 332-351.
- Illies, J. & Botosaneanu, L. (1963). Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique

- des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 12, p. 1-57.
- Koschorrek, M., Downing, A.S., Hejzlar, J., Marce, R., Laas, A., Arndt, W.G., Keller, P.S., Smolders, A.J.P., Van Dijk, G. & Kosten, S. (2019). Hidden Treasures: Human-made aquatic ecosystems harbour unexplored opportunities. *Ambio*, 49, p.531-540. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01199-6>
- Lamoureux, N., Augeard, B., Baron, B., Capra, H., Le Coarer, Y., Girard, V., Gouraud, V., Navarro, L., Prost, O., Sagnes, P., Sauquet, E. & Tissot, L. (2018). Débits écologiques : la place des modèles d'habitat hydraulique dans une démarche intégrée, *Hydroécol. Appl.*, 20, p. 1-27. <https://doi.org/10.1051/hydro/2016004>
- Lang-Delus, C. (2011). Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires, *Cybergeo, european journal of geography*, 571. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.24827>
- Le Bihan, M., Ledouble, O., Barry, J. & Hubert, A. (2019). Le bocage, une des clés de la fonctionnalité des cours d'eau en tête de bassin versant. *Sciences Eaux & Territoires*, 30, p. 60-65. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2019.4.12>
- Lespez, L. & Dufour, S. (2021). Les hybrides, la géographie de la nature et de l'environnement. *Annales de Géographie*, 737, p. 58-85. <https://doi.org/10.3917/ag.737.0058>
- Lévêque, C. (2021). *Quelles rivières pour demain ? Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau*. Editions Quae, 2^{ème} Edition, Versailles, 288 p.
- Lhéritier, N. (2012). *Les têtes de bassin : de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins*. Thèse de Géographie, Université de Limoges, 481 p.
- Loupsans, D. & Gramaglia, C. (2011). L'expertise sous tensions. Cultures épistémiques et politiques à l'épreuve de l'écriture de la directive-cadre européenne sur l'eau. *L'Europe en formation*, 361, p. 87-114. <https://doi.org/10.3917/eufor.361.0087>
- Lowe, W.H. & Likens, G.E. (2005). Moving head-water streams to the head of the class. *BioScience*, 55 (3), p. 196-197. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0196:MHST-TH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0196:MHST-TH]2.0.CO;2)
- Oberti, D., Chambaud, F. & Simonnot, J.-L. (2003). Formalisation d'une méthode de délimitation des zones humides selon les critères de la loi sur l'eau : application à la région Bourgogne. *Ingénierie*, 36, p. 19-27.
- Pringle, C. (2003). The need for a more predictive understanding of hydrologic connectivity. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosys.*, 13, p. 467-471. <https://doi.org/10.1002/aqc.603>
- Prud'homme, F., Blanc, F., Gouix, N., Osorio, V., Rollet, S., Ventura, M. & Jupille, O. (2020). Biodiversité des lacs des Pyrénées : améliorer les connaissances pour une gestion conservatoire, *Dynamiques Environnementales*, 45, p. 35-55. <https://doi.org/10.4000/dynenviron.3835>
- Robinson, C.V., Garcia de Leaniz, C. & Consuegra, S. (2019). Effect of artificial barriers on the distribution of the invasive signal crayfish and Chinese mitten crab. *Scientific Reports*, 9, 7230. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43570-3>
- Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67 (5), p. 597-646.
- Snelder, T.H., Datry, T., Lamoureux, N., Larned, S.T., Sauquet, E., Pella, H. & Catalogne, C. (2013). Regionalization of patterns of flow intermittence from gauging station records. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, p. 2685-2699. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2685-2013>, 2013.
- Souchon, Y., Andriamahefa, H., Cohen, P., Breil, P., Pella, H., Lamoureux, N., Malavoi, J.R. & Wasson, J.G. (2000). *Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire*. Synthèse, Agence de l'eau Loire Bretagne, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 291 p.
- Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union.*, 38 (6), p. 913-920.
- Tetzlaff, D., Soulsby, C., Bacon, J.P., Youngson, A.F., Gibbins, C. & Malcolm, I.A. (2007). Connectivity between landscapes and riverscapes – a unifying theme in integrating hydrology and ecology in catchment science? *Hydrological Processes*, 21 (10), p. 1385-1389. <https://doi.org/10.1002/hyp.6701>
- Touchart, L. (sous la présidence de). (2006). *Relevé de décisions du conseil scientifique et technique du 8 mars 2006*. Parcs Naturels Régionaux de France, Pôle-relais Zones Humides Intérieures, 4 p.
- Touchart, L. & Bartout, P. (2020a). Les aspects positifs des étangs. In Bravard, J.-P. & Lévêque, C. (eds) *La gestion écologique des rivières françaises : regards de scientifiques sur une controverse*. L'Harmattan, Paris, p. 201-220.
- Touchart, L. & Bartout, P. (2020b). La masse d'eau : le détournement administratif d'un concept géographique. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 74, p. 65-78. <https://doi.org/10.25518/0770-7576.6026>
- Touchart, L., Bartout, P., Choffel, Q., Donati, F., Cailliez, S. & Trintignac, P. (2023). L'effet d'une chaîne d'étangs sur la température de l'eau, pour une discussion des impacts cumulatifs : le cas du bassin de l'Oncre en Limousin, *Noroi*, 266, p. 27-45. <https://doi.org/10.4000/noroi.13080>
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, p. 130-137.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H., Sauquet, E. & Mengin, N. (2006). *Appui scientifique à la mise en*

œuvre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau.
Typologie des cours d'eau de France métropolitaine.
Rapport, Cemagref Lyon, 62 p.

Wipfli, M.S., Richardson, J.S. & Naiman, R.J. (2007).
Ecological linkages between headwaters and down-
stream ecosystems: Transport of organic matter,
invertebrates, and wood down headwater channels
1. *JAWRA Journal of the American Water Resources*
Association, 43 (1), p. 72–85. [https://doi.org/10.1111/](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00007.x)
[j.1752-1688.2007.00007.x](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00007.x)

Coordonnées des auteurs :

Pascal BARTOUT
Professeur des Universités
UR CEDETE
Université d'Orléans
Pascal.bartout@univ-orleans.fr

Laurent TOUCHART
Professeur des Universités
UR CEDETE
Université d'Orléans
Laurent.touchart@univ-orleans.fr