

Caractérisation biophysique des milieux situés à l'amont des seuils en rivière : l'écotone retenue de seuil

Francesco Donati, Laurent Touchart, Pascal Bartout et Quentin Choffel

Volume 22, numéro 1, avril 2022

Varia

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1092286ar>

DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.35155>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

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), 1–18. <https://doi.org/10.4000/vertigo.35155>

Résumé de l'article

Très répandues au sein des cours d'eau contemporains, la nature des retenues de seuil est encore mal comprise et les Sciences de l'eau peinent à les placer au sein des autres milieux aquatiques continentaux. Certains les voient comme des tronçons de cours d'eau dégradés, qui ont perdu totalement ou partiellement les traits typiques des milieux lotiques ; d'autres les perçoivent comme de véritables écosystèmes, qui possèdent des fonctionnalités propres et qui jouent un rôle au sein des dynamiques environnementales. Dans une recherche que nous avons récemment publiée, nous assimilons le fonctionnement des retenues de seuil à celui des écotones et, dans cet article, nous souhaitons mieux développer notre théorie. En effet, ces deux types d'environnements sont gouvernés par des gradients environnementaux et présentent les mêmes fonctionnalités, c'est-à-dire la capacité à filtrer la matière, à stocker et redistribuer les substances et à constituer un véritable habitat pour différents types d'organismes. Cette nouvelle vision des retenues de seuil peut même s'étendre à d'autres milieux aquatiques construits par l'homme, à titre d'exemple les étangs. Elle ouvre d'intéressantes perspectives de recherche et offre une nouvelle approche de gestion, qui ne considère plus ce type d'environnement comme un simple obstacle au sein des fleuves et rivières, mais comme des milieux intégrés dans les paysages fluviaux d'aujourd'hui et avec leurs propres fonctionnalités.



Caractérisation biophysique des milieux situés à l'amont des seuils en rivière : l'écotone retenue de seuil

Francesco Donati, Laurent Touchart, Pascal Bartout et Quentin Choffel

Introduction

- 1 Une retenue de seuil est l'espace où se manifeste le rehaussement de la ligne d'eau et le ralentissement de l'écoulement engendrés par un seuil en rivière, c'est-à-dire un ouvrage hydraulique déversant et des faibles dimensions très répandues au sein des cours d'eau contemporains (Degoutte, 2012). De nos jours, la nature de cet environnement est au centre d'un vif débat entre la communauté scientifique, les gestionnaires et différents types d'entités qui s'occupent des fleuves et des rivières. Certains voient les retenues de seuil comme des tronçons de cours d'eau dégradés, qui ont perdu totalement ou partiellement les traits typiques des milieux lotiques (Souchon et Nicolas, 2011 ; Anderson et al., 2015 ; ERN, 2018) ; d'autres les perçoivent comme de véritables écosystèmes, qui possèdent des fonctionnalités propres et qui jouent un rôle au sein des dynamiques environnementales (FDMF, 2004 ; Bravard et Lévêque, 2020 ; Donati et al., 2020). Les études à ce sujet étant rares, une réponse définitive à cette problématique n'a pas encore été apportée et cette controverse est loin de s'estomper.
- 2 Dans une recherche récemment publiée (Donati, 2021), nous avons montré comment la nature de ce type de milieu est complexe, puisqu'il possède un fonctionnement double. En effet, il entrecroise des traits typiques des environnements lotiques et lentiques, dont l'intensité varie en fonction des saisons d'une année de la taille et du type d'ouvrage. À titre d'exemple, quand le débit du tributaire qui l'alimente est fort et brasse de manière efficiente sa colonne d'eau, la retenue de seuil se présente uniforme d'un point de vue thermique, un état typique des milieux d'eau courante (Angelier,

2000 ; Bettinetti et al., 2007). En revanche, quand le débit du tributaire est faible et brasse de manière moins efficace sa colonne d'eau, la retenue de seuil peut développer des stratifications thermiques, un état typique des milieux d'eaux stagnantes (Wilhelm, 1960 ; Touchart, 2002). Cette dualité, le gradient environnemental qui les gouverne et sa nature changeante nous ont poussés à formuler l'hypothèse selon laquelle les retenues de seuil peuvent être assimilées à des écotones, les espaces qui se forment au niveau d'une discontinuité environnementale.

- 3 Dans cet article, nous souhaitons développer cette théorie, illustrant les similitudes qui existent entre ces deux types d'environnements. Pour ce faire, nous utiliserons une approche théorique, en nous servant de la bibliographie existante à propos des retenues de seuil et des écotones. Ainsi, dans une première partie, nous présenterons synthétiquement les principales fonctionnalités des écotones, c'est-à-dire leur capacité à filtrer la matière, à stocker et redistribuer les substances et à constituer un véritable habitat pour différents types d'organismes (Forman et Moore, 1992). Dans une deuxième partie, nous montrerons comment il est possible de retrouver ces fonctionnalités dans les retenues de seuil. Dans une troisième partie, nous prendrons du recul sur cette conjecture, en exposant, en outre, quelles perspectives de recherche et gestion peut-elle ouvrir.

Les écotones : une discontinuité des paysages

- 4 Dans l'acception classique, le mot écotone désignait les espaces où a lieu un changement soudain et remarquable (Livingston, 1903 ; Clements, 1905), notamment dans le domaine de la botanique, comme les lisières des forêts ou les formations végétales qui se développent le long des marges des biomes (Griggs, 1938 ; Weaver et Albertson, 1956). Aujourd'hui, ce concept a beaucoup évolué, il a été adopté par d'autres disciplines et de nouvelles façons de le concevoir sont apparues : la plus répandue est probablement celle formulée dans Holland (1988) et Holland et al. (1991), qui décrit les écotones comme étant des zones de transition entre milieux adjacents, dont les traits sont définis par la force des interactions qui les relient et par une échelle spatio-temporelle. Le succès de cette nouvelle définition réside dans le fait de considérer ces environnements comme des entités en constante évolution (Hansen et di Castri, 1992), qui se forment sur les limites de milieux homogènes, mais plus précisément à chaque fois qu'une discontinuité s'établit au sein d'un paysage (Wissmar et Swanson, 1990 ; Swanson et al., 1992).
- 5 À la base de la formation de cette discontinuité, il y a l'instauration d'un gradient environnemental, c'est-à-dire une variation graduelle d'une variable entre deux extrêmes (Ahad et Ferdous, 2019). En effet, pour qu'un écotone se forme, deux conditions doivent se produire : la première est l'existence d'un gradient qui affecte un ou plusieurs éléments physiques d'un milieu donné et la deuxième correspond aux réponses que le milieu en question met en œuvre à la suite de cette impulsion, lesquelles déterminent l'emprise spatiale et le fonctionnement de ce type d'environnement (Gosz, 1992). Toutefois, le gradient environnemental n'est jamais constant dans le temps, mais il bascule sans cesse en fonction des fluctuations des forçages qui le régissent, amenant à la grande versatilité spatiale et à l'hybridité typiques des écotones (Forman, 1995 ; Kolasa et Zalewski, 1995 ; Strayer et al., 2003).

- 6 Un exemple classique de gradient environnemental au niveau d'un écotone est celui de salinité qui intéresse les estuaires, engendré par le mélange des eaux fluviales et marines (McLusky et Elliott, 2004 ; Mateus et Baretta, 2008 ; Barletta et Dantas, 2016). Le taux de sels dissous dans l'eau varie en fonction de l'intensité des apports du cours d'eau et de l'évaporation qui a lieu en mer, déterminant les trois configurations différentes que les estuaires peuvent assumer : celle dite « positive » quand les apports d'eau douce sont plus importants que l'évaporation, celle dite « négative » quand l'évaporation est plus importante que les apports en eau douce et celle dite « neutre » quand l'évaporation et les apports en eau douce s'équivalent (Dyer, 1979, 1997). Toujours pour ce qui concerne les estuaires, un autre exemple de gradient environnemental est celui qui se forme en fonction des fluctuations hydrologiques qui caractérisent ces milieux : pendant les crues, les eaux douces fluviales peuvent pénétrer dans la mer sur des longues distances, alors que pendant les étiages les eaux marines peuvent remonter de longues parties du tracé d'un cours d'eau (Lobry, 2004 ; Chaalali, 2013).
- 7 L'action du gradient environnemental détermine la fonctionnalité la plus connue des écotones : leur prédisposition à influencer et filtrer les flux. En effet, comme Forman et Moore (1992) l'affirment, ces environnements peuvent être assimilés aux membranes cellulaires, qui modifient l'énergie des vecteurs qui les traversent et qui retiennent certaines substances que ceux-ci transportent, grâce à de complexes gradients physico-chimiques. Les écotones agissent de la même manière, modifiant l'énergie cinétique des flux qui les franchissent, leur compétence et les induisant ainsi à déposer une certaine quantité des matériaux qu'ils déplacent (Johnston, 1993). La perméabilité des écotones n'est pas toujours constante, mais elle varie en fonction de plusieurs facteurs, comme l'énergie ou d'autres caractéristiques du vecteur et la conformation de l'écotone (Wiens et al., 1985).
- 8 Cette aptitude a été particulièrement étudiée pour ce qui concerne les zones humides, les espaces qui se forment à l'interface entre les milieux aquatiques et terrestres. Plusieurs auteurs ont démontré comment ces environnements ont la possibilité de retenir les substances transportées par les eaux à occasion des crues, quand elles ruissellent ou quand elles remontent à la surface (Johnston, 1993 ; Ryszkowski et Kędziora, 1993 ; Hillbricht-Ilkowska et Pieczynska, 2012). Un exemple souvent cité est celui des ripisylves qui se développent le long du lit des fleuves et des rivières, qui à l'occasion des crues ralentissent et retiennent des quantités d'eau plus ou moins importantes, qu'elles restituent pendant les basses eaux, contribuant ainsi à écrêter les inondations et à soutenir les étiages des fleuves et des rivières (Barnaud, 1996 ; Sajaloli, 1996).
- 9 Une conséquence directe de la capacité des écotones à modifier les flux est celle qui les amène à devenir des zones de stockage et de redistribution des ressources. En effet, après avoir été piégés, les substances et les matériaux s'accumulent au sein de ce type d'environnement, qui peut les bloquer à jamais, les recycler ou les redistribuer de manière graduelle, contribuant au fonctionnement des milieux avoisinants et à la survie des espèces qui les peuplent (Risser, 1990; Saunders et al., 1999 ; Cadenasso et Pickett, 2000). Comme nous l'avons déjà vu pour les autres fonctionnalités illustrées précédemment, ces aptitudes ne sont pas constantes et univoques, mais elles varient et s'alternent en fonction de plusieurs facteurs, comme la conformation de l'écotone,

l'intensité des forçages qui l'investissent ou du gradient environnemental qui le gouverne (Ballard, 1979 ; Bartoli et Viaroli, 2006).

- 10 Encore une fois, les zones humides sont un parfait exemple de cette fonctionnalité des écotones. En effet, elles sont renommées pour leur efficacité dans le stockage du carbone atmosphérique, qui est piégé par la végétation qui pousse en leur sein à travers la photosynthèse (Corradi, 2006) : à titre d'exemple, l'anoxie qui se développe sur le fond des étangs ne favorise pas la décomposition de la flore qui s'y dépose après sa mort, empêchant ainsi la libération de cette substance (Corradi, 2006 ; Downing et al., 2008 ; Downing, 2010). De même, les bandes de végétation qui se développent le long des cours d'eau peuvent piéger et recycler de manière très efficace les nutriments transportés par les eaux des inondations, par celles qui s'écoulent le long des versants ou par celles qui surgissent du sous-sol (Lowrance et al., 1984 ; Ruffinoni et al., 2003).
- 11 L'action combinée du gradient environnemental et des fonctionnalités que nous venons de décrire détermine dans les écotones ce qui, dans la littérature scientifique anglo-saxonne, est habituellement appelé l'« *edge-effect* » et dans la littérature française « effet lisière ». Cette caractéristique est probablement celle qui résume davantage l'hybridité typique de ces environnements : elle se manifeste par le croisement des traits abiotiques des deux milieux qu'ils séparent et des organismes respectifs qui les peuplent, ce qui fait des écotones des espaces particulièrement riches en biodiversité (Risser, 1995). Cette richesse en espèces peut varier en fonction de plusieurs facteurs et, généralement, elle est d'autant plus forte que le gradient environnemental et les fonctionnalités qu'il détermine sont stables et que la taille de l'écotone est suffisamment grande pour garantir la survie d'un grand nombre d'organismes (Gosz, 1992; Holsinger, 1993).
- 12 Un exemple d'effet lisière est celui qui concerne l'interface entre les eaux superficielles et souterraines, comme les zones de contact entre les cours d'eau et leurs aquifères. Ce type d'environnement est peuplé par la méiofaune, composée d'organismes benthiques parfaitement adaptés aux différents types de gradients qui existent dans cet espace, comme celui hydrologique, celui d'oxygène dissout, de luminosité ou de granulométrie (Schmid-Araya, 1997). Toutefois, ce milieu peut être également colonisé par d'autres types d'espèces benthiques, qui généralement vivent plus en surface, mais qui se poussent plus en profondeur, où elles retrouvent des conditions propices à leur survie pendant certaines périodes d'une année hydrologique (Marmonier et al., 2019).

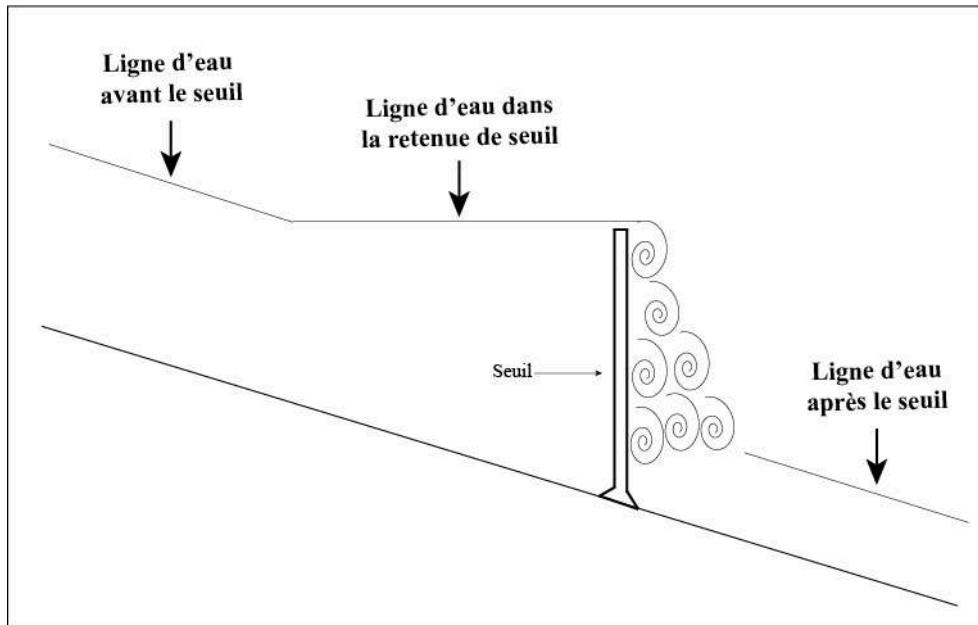
Les retenues de seuil : une discontinuité des paysages fluviatiles

- 13 Comme les écotones naturels, les retenues de seuil aussi sont le résultat d'une discontinuité, qui concerne la pente hydrographique du cours d'eau sur lequel elles sont implantées. En nature, ce paramètre hydraulique suit généralement le profil en long du lit et il régit en partie l'énergie des eaux : c'est pour cette raison que le long des versants les plus raides, on retrouve des écoulements généralement turbulents, alors que le long des versants les moins abrupts on retrouve des écoulements plus calmes (Lambert, 1996). Leur but principal étant celui de rehausser la ligne d'eau, les seuils en rivière modifient l'évolution naturelle de cet élément. Ils réduisent la pente hydraulique et créent une zone avec une plus faible vitesse et une plus grande

profondeur, la retenue de seuil justement, située entre deux tronçons de cours d'eau qui présentent une pente hydrographique différente de la sienne.

- 14 En Hydraulique, cet effet commun à tous les ouvrages transversaux à l'écoulement des cours d'eau est connu sous le nom de « remous hydraulique » et il peut prendre plusieurs configurations différentes : dans le cas spécifique des seuils en rivière, il assume celle qu'on nomme habituellement avec le sigle « M1 » (figure 1) (Chanson, 2004 ; Dingman, 2009 ; Martin, 2013).

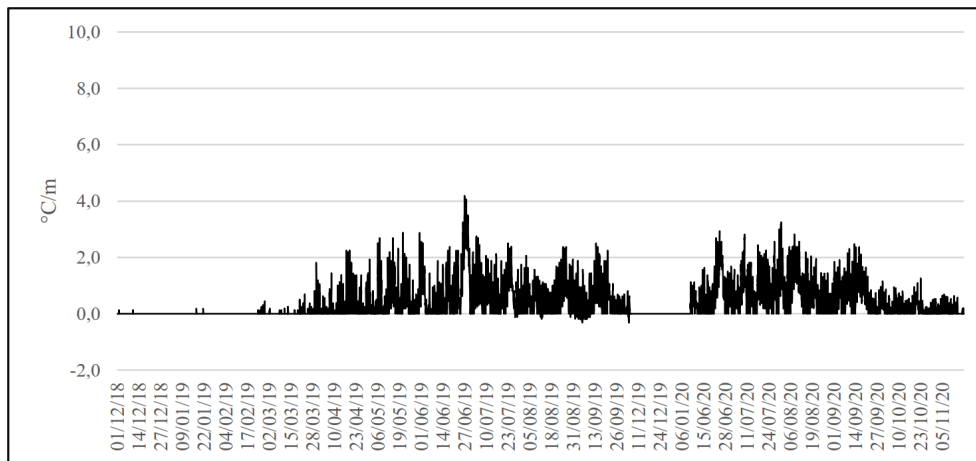
Figure 1. La discontinuité de la pente hydrographique créée par les seuils en rivière, qui dans la littérature scientifique est connu avec le sigle M1



- 15 Au sein de la retenue de seuil, le changement de pente hydrographique engendre la formation d'un gradient énergétique, qui se manifeste par une diminution plus ou moins graduelle de la vitesse de l'écoulement de l'amont vers l'aval de cet environnement (Walker et Thoms, 1993; McCarthy et al., 2004 ; Csiki et Rhoads, 2010 ; Donati et al., 2020). L'intensité de ce gradient n'est pas toujours constante, mais elle peut varier à tout moment, en fonction des fluctuations du débit du tributaire qui alimente en eau la retenue de seuil. Comme Donati (2021) l'explique, la décélération de l'écoulement est plus importante au cours des basses eaux, quand les débits sont au plus bas, accentuant en quelque sorte l'effet du seuil en rivière ; en revanche, au cours de hautes eaux la décélération de l'écoulement est moindre, voire inexistante, notamment quand le seuil en rivière est submergé sous la surface de l'eau et que le changement de pente hydrographique qu'il engendre se réduit, voire disparaît.
- 16 Comme Whiterod et Sherman (2012) l'expliquent, le changement de vitesse au sein de la retenue de seuil joue un rôle environnemental très important, car il engendre d'autres types de gradients, qui déterminent le fonctionnement de ce type de milieu. En effet, étudiant une vaste retenue de seuil de plusieurs kilomètres de long utilisée pour la navigation, ces auteurs ont observé que d'autres paramètres abiotiques varient au fur et à mesure que la vitesse des eaux diminue, comme la turbidité, la conductivité, etc. Ces variations ne sont pas uniquement longitudinales, mais aussi verticales, comme les stratifications thermiques qui peuvent affecter la colonne d'eau de ces

environnements, notamment en période d'étiage estival, quand la radiation solaire et la température de l'air augmentent et que le brassage de l'écoulement est moins efficace (figure 2) (Bormans et al., 1997 ; Turner et Erskine, 1997 ; Bormans et Webster, 1998 ; Donati et al., 2019, 2020 ; Donati, 2021).

Figure 2. Le gradient thermique vertical dans une retenue de seuil situé dans l'ouest de la France métropolitaine



Dans l'axe des abscisses la période de l'année et dans celle des ordonnées le gradient thermique en °C/m

(Donati, 2021)

- 17 L'existence de ces gradients abiotiques donne aux retenues de seuil la possibilité d'influencer les flux de matière, substances et énergie avec lesquels elles rentrent en contact. Cela a été particulièrement étudié pour ce qui concerne le fonctionnement sédimentaire de ces environnements, qui dans l'acception commune empêcheraient la libre circulation des particules qui traversent les fleuves et les rivières. Certaines recherches ont nuancé cette vision, suggérant que les retenues de seuil se comportent exactement comme des écotones quand elles sont confrontées au flux solide : suivant les fluctuations du gradient de vitesse/énergie qui se développe en leur sein, elles piègeraient certains types de sédiments au cours de basses eaux et elles les libéreraient au cours des hautes eaux (Csiki et Rhoads, 2010 ; Pearson et Pizzuto, 2015 ; Donati et al., 2020 ; Peeters et al., 2020). Donati (2021) donne un exemple concret de ce fonctionnement, montrant comment l'épaisseur de la strate de particules (sables et limons) qu'il avait observée à l'amont d'un petit seuil en rivière au cours des basses eaux a été totalement remaniée après une crue. En d'autres mots, ces auteurs montrent que la crue passant dans une retenue de seuil en modifie l'organisation longitudinale du gradient sédimentaire. D'une manière générale, en fonction du type de retenue et de crues, on assiste au transfert par roulement des particules grossières de l'amont vers l'aval. Dans le cas d'une petite crue, ces sédiments s'accumulent dans une zone de surcreusement juste en amont du seuil et ils sont évacués au cours des crues plus intenses par effet de la turbulence ; dans tous les cas, les particules fines déposées en basses eaux sont toujours évacuées en occasion des forts débits. L'écotone se traduit donc par une redistribution spatiale des formes et de la granulométrie, qui conditionne nécessairement les caractéristiques des biotopes et des biocénoses associées, tout en étant conditionnées par un gradient spatial assez constant au long de la retenue.

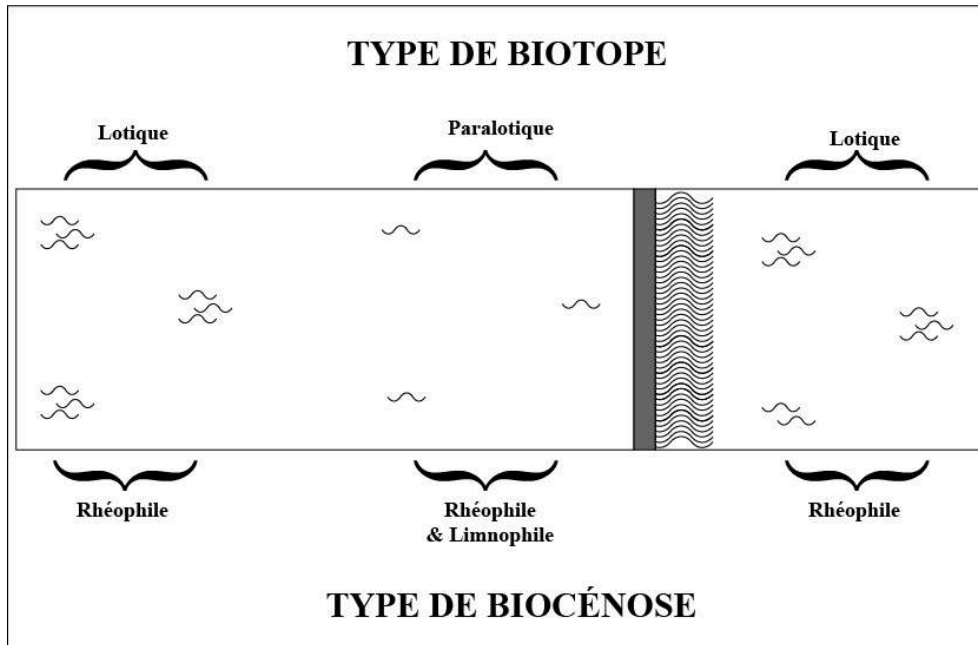
- 18 D'autres études ont montré que les retenues de seuil provoquent un effet similaire sur les substances dissoutes dans l'eau. En effet, le ralentissement de l'écoulement et la conséquente augmentation du temps de résidence des eaux entraînent le dépôt des substances transportées par l'écoulement, comme les nitrates, le phosphore, et *cetera*. (Cha et al., 2015 ; Lee et An, 2019). Encore une fois, cette aptitude n'est pas toujours constante dans le temps, mais son efficacité varie suivant les fluctuations du débit qui alimente ce type d'environnement, c'est-à-dire du gradient environnemental : elle semblerait être plus performante en période estivale, restituant à l'aval du seuil en rivière des eaux sensiblement moins polluées (Cisowska et Hutchins, 2016). Pour cette raison, aux États-Unis, dans certains bassins versants particulièrement touchés par des pollutions des eaux issues des activités agricoles, des seuils en rivière ont été bâtis afin de réguler les flux des polluants et améliorer ainsi la qualité des eaux (Kröger et al., 2011, 2013 ; Flora et Kröger, 2014 ; Littlejohn et al., 2014).
- 19 Les considérations que nous venons de réaliser suggèrent que les retenues de seuil fonctionnent comme des espaces de stockage et de redistribution de tous les éléments qu'elles arrivent à piéger, de manière similaire aux écotones. Toutefois, cette affirmation doit être faite avec prudence, car les recherches qui ont examiné cette fonctionnalité au niveau de ce type d'environnement sont très rares et que toute la diversité des contextes géographique n'a pas été encore étudiée. À titre d'exemple, Dos Santos et al. (2020) observent que, dans des cours d'eau particulièrement chargés en phosphore, les retenues de seuil stockent et recyclent cette substance dans les sédiments qui se déposent en leur sein, restituant à l'aval des eaux plus propres. En revanche, Peeters et al. (2020), dans des cours d'eau situé à l'ouest de la Belgique, montrent que les retenues de seuil fonctionnent à la fois comme des lieux de dépôts et de stockage temporaire, en fonction des conditions hydrologiques, mais aussi du type de seuil en rivière, notamment quand ce type d'ouvrage est équipé d'éléments mobiles qui servent à réguler les flux.
- 20 D'autres exemples à propos de la prédisposition des retenues de seuil à fonctionner comme des espaces de stockage et de redistribution des matières sont documentés par la littérature grise et la presse. Les fortes sécheresses qui affectent certains territoires d'Australie ont poussé les agriculteurs à construire des seuils en rivière dans les cours d'eau qui traversent leurs exploitations : ces nouvelles retenues de seuil auraient réduit considérablement les étiages, créé des zones toujours en eau et assuré un débit suffisant dans les rivières, même pendant les périodes les plus sèches de l'année (Calver, 2019 ; Burns, 2020). En France, dans certains bassins versants (comme celui des Mauves dans le département du Loiret) les retenues de seuil des anciens moulins sont utilisées pour écrêter les petites crues : les vannes de ces installations sont ouvertes avant les hautes eaux afin de vider la retenue et elles sont refermées en cas de crue pour lui enlever une certaine quantité d'eau (Donati, 2021). Si l'efficacité de ces solutions est confirmée, cela montrerait que l'effet hydrologique induit par les seuils en rivière provoquerait le même effet que celui généré par les zones humides qui stockent l'eau et la restituent graduellement à l'environnement. Toutefois, Melun (2012) semble nuancer ce propos, notamment pour ce qui concerne les petites retenues de seuil, leur capacité de stockage étant faible.
- 21 En raison de leur statut d'obstacle à la continuité longitudinale des cours d'eau, les seuils en rivière sont généralement considérés comme un frein pour la biodiversité des rivières, notamment pour ce qui concerne les espèces migratrices, et pour cette raison

il peut paraître étonnant de parler d'effet lisière au niveau de ces structures. Toutefois, le fait que les retenues de seuil présentent un fonctionnement dit paralotique, c'est-à-dire avec de forts traits lotiques qui se croisent à des traits lentiques plus ou moins intenses (Donati et al., 2020), semblerait montrer l'existence de ce phénomène et dans la littérature scientifique il est possible de trouver quelques indices en faveur de cette vision. Poulet (2007) explique que le rehaussement de la ligne d'eau et le ralentissement du courant qui caractérisent les retenues de seuil rendent cet habitat possible pour les poissons limnophiles. Cela n'entraîne pas la disparition des poissons rhéophiles qui continuent à peupler la retenue de seuil, les traits lentiques qui particularisent ces espaces n'étant pas assez forts pour empêcher leur survie. Fjellheim et Raddum (1996) entrent dans des considérations similaires pour ce qui concerne la faune benthique. En effet, la plus forte sédimentation, qui a lieu à l'amont des seuils en rivière, crée des conditions propices à l'apparition d'espèces de macroinvertébrés que l'on retrouve normalement dans les eaux stagnantes. Dans ce cas aussi, cela n'entraîne pas la disparition totale des espèces de macroinvertébrés typiques des eaux courantes, qui peuvent continuer à vivre dans ces environnements si les conditions leur sont propices. L'abondance d'organismes limnophiles et rhéophiles à l'intérieur des retenues de seuil suivrait les fluctuations hydrologiques : avant les crues il y aurait une dominance de macroinvertébrés lentiques, après les crues de macroinvertébrés lotiques et entre les deux un cortège hybride de macroinvertébrés. Même si elles ne les concernent pas directement, certaines observations réalisées par Maridet et al. (1996) au sujet des embâcles naturels que l'on retrouve dans les cours d'eau semblent pouvoir être transposées aux retenues de seuil. En effet, les arbres morts qui tombent dans les lits des cours d'eau engendrent le même type d'effet hydrologique que les seuils en rivière et créent à leur amont des habitats d'eaux calmes et profondes similaires aux retenues de seuils, réputés pour abriter un grand nombre d'espèces différentes.

- 22 Sur la base des résultats de certains travaux, l'effet lisière induit par les seuils en rivière semblerait être encore plus perceptible si on étend notre attention à l'aval immédiat de ces structures. En effet, la chute d'eau qui caractérise ce type d'ouvrage hydraulique exacerbe en quelque sorte les conditions lotiques que l'on retrouve à son aval, diversifiant les habitats et les espèces qui les peuplent (Cowx et al., 1995). La plus forte turbulence permet au cours d'eau de créer un substrat composé principalement par des particules grossières, particulièrement favorables à un grand nombre d'espèces benthiques (Miyake et Akiyama, 2012). Un discours similaire peut être fait pour tous les poissons qui vivent en contact direct avec des fonds constitués par des sédiments de grande taille, qui eux aussi trouvent un habitat idéal à l'aval de seuils en rivière (Bunt et al., 1998). De même, certains recensements et études piscicoles effectués en Angleterre ont démontré que beaucoup d'espèces ont une prédilection pour les espaces qui se situent à l'aval de ces structures, qui dans certains cas jouent même le rôle de *nursery* pour les alevins (Martyn, 2007; Peirson et Summer, 2013). Un élément en soutien de ce fait arrive de la France, où à la suite de travaux qui ont amené à l'effacement de retenues de seuil dans certains cours d'eau situés dans le nord-ouest du pays a été observée une hausse importante d'espèces de poissons de mer immédiatement après les opérations de restauration, puis une brutale chute deux à trois ans plus tard. Pour expliquer cette tendance, l'hypothèse qui a été formulée, mais qui n'a jamais été vérifiée par la suite, est que les milieux formés par ces ouvrages servaient justement de zone de développement des alevins, qui n'ont plus trouvé les conditions qui leur étaient favorables (Guérin, 2021). Donc, les seuils en rivière

semblent créer les conditions favorables pour que les organismes lenticques et lotiques vivent en contact étroit (figure 3). Cela n'enlève rien au fait que ces structures freinent la libre circulation de certaines espèces piscicoles migratrices (Anderson et al., 2015) : au contraire, selon nous, il s'agirait d'une démonstration de la façon dont les retenues de seuil peuvent être assimilées à des écotones, fonctionnant comme une sorte de barrière infranchissable pour certains types d'espèces, à l'instar de certains types d'écotones naturels qui règlent et parfois rendent impossibles le déplacement de certains organismes (Farina, 1998).

Figure 3. L'edge-effect engendré par les seuils en rivière



Une nouvelle vision des retenues de seuil, de nouvelles perspectives de recherche et de gestion

- 23 Risser (1990b) explique comment le concept d'écotone constitue le cadre idéal pour tester de nouvelles théories, exhortant en quelque sorte la communauté scientifique à utiliser cette notion pour apporter une meilleure compréhension des environnements terrestres. La revue bibliographique à la base de cet article et la réflexion qui en découle vont dans ce sens. À la suite de ce travail, nous pensons qu'il existe assez d'éléments pour considérer fondée notre théorie selon laquelle les retenues de seuil sont des écotones, car ils présentent les mêmes caractéristiques et le même fonctionnement. Cette observation permet également d'élargir le propos aux lacs de barrage et étangs dans le domaine des eaux continentales, du fait que ces environnements aussi sont régis par des gradients environnementaux, ont la capacité de filtrer le flux et de stocker les substances qu'ils transportent et permettent la cohabitation d'un grand nombre d'organismes différents (Thornton et al., 1990 ; Straškraba et al., 1993 ; Carlini, 2006 ; Touchart, 2007 ; Choffel, 2019 ; Touchart et Bartout, 2020 ; Le Cor, 2021).

- 24 Cette nouvelle vision des retenues de seuil offre de vastes perspectives de recherche, qui peuvent la fortifier et apporter une meilleure connaissance de ce type d'environnement. En effet, les retenues de seuil sont encore assez méconnues et de nouvelles études sont sans doute nécessaires pour mieux définir leurs caractéristiques. À titre d'exemple, il est nécessaire de clarifier quel est le rôle de la gestion anthropique sur leur fonctionnement, car les seuils en rivière qui les forment sont dans la plupart des cas équipés d'éléments mobiles qui permettent de réguler les flux d'eau, c'est-à-dire d'agir sur le gradient environnemental qui gouverne ces espaces. Ainsi, il est intéressant de comprendre comment évoluent les fonctionnalités des retenues de seuil quand ces annexes hydrauliques sont manœuvrées. Ensuite, il est nécessaire de mieux définir quels sont les impacts amont-aval engendrés par les seuils en rivière et les espaces qui se forment à leur amont sur les compartiments abiotiques et biotiques des cours d'eau, qui sont souvent évoqués dans les documents de gestion. Il est nécessaire de mieux caractériser le fonctionnement biotique de retenues de seuil, promouvant des études qui les considèrent comme de véritables écosystèmes et pas comme des corps étrangers aux cours d'eau. Enfin, nous pensons qu'il serait intéressant d'approfondir la possibilité pour les retenues de seuil de devenir des zones de refuge pour la faune aquatique et donc de jouer un rôle important dans la recolonisation des portions asséchées au cours d'un étiage sévère : ceci est sans doute un service écosystémique particulièrement important dans un contexte de dérèglement climatique comme celui que nous connaissons actuellement.
- 25 D'un point de vue épistémologique, cette nouvelle vision des retenues de seuil s'inscrit dans le courant de pensée qui voit la nature d'aujourd'hui comme un objet hybride (Lespez et Dufour, 2020, 2021) et les milieux anthropiques non pas comme des milieux dégradés, mais comme de véritables nouveaux écosystèmes, fonctionnels et parfaitement intégrés aux dynamiques environnementales (Hobbs et al., 2006, 2009, 2013). La présente étude développe cette approche sur ce type d'environnement, qui ne serait plus une entité étrangère aux cours d'eau, mais un espace bien intégré aux fleuves et aux rivières, copiant les fonctionnalités des milieux naturels. Cela sous-entend la nécessité d'une gestion permettant à cet objet de rester écotone, afin de préserver ses bienfaits naturels, économiques ou sociaux. À titre d'exemple, on peut considérer la possibilité des retenues de seuil d'écarter les polluants. Ce dernier aspect est à notre avis particulièrement important pour certains pays d'Europe, dont le réseau hydrographique est dense de seuils en rivière et qui, en même temps, sont soumis à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE-2000), qui met en avant la réduction des polluants pour l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau. Après avoir mis en place des stratégies de gestion adéquates, les retenues de seuil peuvent donc devenir des alliés valides dans la lutte contre ces substances et pour le respect des préconisations législatives.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahad, A., A. Ferdous, 2019, *Dictionary of Ecology and Environmental Science* (1re éd.), Dinajpur: Himachal Publication, 170 p.
- Anderson, D., H. Moggridge, P. Warren et J. Shucksmith, 2015, The impacts of 'run-of-river' hydropower on the physical and ecological condition of rivers : Physical and ecological impacts of ROR hydropower, *Water and Environment Journal*, 29, 2, pp. 268-276.
- Angelier, E., 2000, *Ecologie des eaux courantes*, Paris : Ed. Tec et Doc, 199 p.
- Ballard, J. T., 1979, Fluxes of water and energy through the Pine Barrens ecosystems, dans Forman, R. T. T. (Éd.), *Pine barrens : Ecosystem and landscape*, Academic Press, pp. 133-146.
- Barletta, M., D. V. Dantas, 2016, Environmental Gradients. In Kennish M. J. (Éd.), *Encyclopedia of Estuaries*, Springer Netherlands, pp. 1-8.
- Barnaud, G., 1996, Fonctions et rôle des zones humides, *Journées de l'hydraulique*, 24,1, pp. 307-316.
- Bartoli, M., P. Viaroli, 2006, Zone umide perfluviali : Processi biogeochimici, funzioni ecologiche, problemi di gestione e conservazione, *Biologia Ambientale*, 20, pp. 43-54.
- Bettinetti, R., G. Crosa, S. Galassi, 2007, *Ecologia delle acque interne* (1re éd.), Città Studi Edizioni.
- Bormans, M., H. Maier, M. Burch, P. Baker, 1997, Temperature stratification in the lower River Murray, Australia : Implication for cyanobacterial bloom development, *Marine and Freshwater Research*, 48, 7, pp. 647-654.
- Bormans, M., I. T. Webster, 1998, Dynamics of Temperature Stratification in Lowland Rivers, *Journal of Hydraulic Engineering*, 124,10, pp. 1059-1063.
- Bravard, J.-P., C. Lévêque, 2020, Nouveaux Écosystèmes, dans Bravard J.-P., C. Lévêque, *La gestion écologique des rivières françaises : Regards de scientifiques sur une controverse*, Paris : L'Harmattan, pp. 223-232.
- Bruhier, S. V., 1998, Transformation des paysages et dynamiques de la biodiversité végétale. Les écotones, un concept clé pour l'étude des végétations post-culturelles. L'exemple de la commune d'Aussois (Savoie), thèse de doctorat, École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Paris, France.
- Bunt, C. M., S. J. Cooke et R. S. McKinley, 1998, Creation and maintenance of habitat downstream from a weir for the greenside darter, *Etheostoma blennioides* – a rare fish in Canada, *Environmental Biology of Fishes*, 51,3, pp. 297-308.
- Burns, S., 2020, Leaky weirs success through drought, *The Rural*, [En ligne] URL : <https://www.therural.com.au/story/6861200/leaky-weirs-success-through-drought>
- Cadenasso, M. L., S. T. A. Pickett, 2000, Linking forest edge structure to edge function : Mediation of herbivore damage, *Journal of Ecology*, 88,1, pp. 31-44.
- Calver, O., 2019, Weirs continue to flow through drought and fires, *The Land*, [En ligne] URL : <https://www.theland.com.au/story/6554043/weirs-flow-helps-firefighters>
- Carlini, M., 2006, *Morphologie et hydrodynamique des plans d'eau : Le cas des étangs-lacs en Limousin*, thèse de doctorat, École doctorale Sciences de l'Homme et de la société, Université de Limoges, France.

- Cha, S. M., M.-J. Kang, Y. Park, S. W Lee et J. H. Kim, 2015, Water quality changes according to the midstream weir construction in the Yeongsan River, Korea, *Desalination and Water Treatment*, 53,11, pp. 3066-3071.
- Chaalali, A., 2013, *Évolution à long terme de l'écosystème estuarien de la Gironde*, thèse de doctorat, Université sciences et technologie, Bordeaux 1, France.
- Chanson, H., 2004, *Hydraulics of Open Channel Flow*, Amsterdam : Elsevier, 656 p.
- Choffel, Q., 2019, La différenciation des masses d'eau à l'intérieur de l'étang : Stratification verticale, zonation horizontale, bilan thermique et centre thermique, thèse de doctorat, département de Géographie, Université d'Orléans, France.
- Cisowska, I., M. G. Hutchins, 2016, The effect of weirs on nutrient concentrations, *Science of The Total Environment*, 542, pp. 997-1003.
- Clements, F. E., 1905, *Research methods in ecology*, The University publishing company, 334 p.
- Corradi, C. A. R., 2006, *Flussi di energia e di carbonio di un ecosistema di tundra umida siberiana*, thèse de doctorat, Écologie forestière, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo, Italie.
- Cowx, I. G., C. S. Pitts, K. L. Smith, P. J. Hayward, et S. W. F. Van Breukelen, 1995, *Factors Influencing Coarse Fish Populations in Rivers : A Literature Review*, RetD Note 460, Environment Agency.
- Csiki, S., B. L. Rhoads, 2010, Hydraulic and geomorphological effects of run-of-river dams, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 34, 6, pp. 755-780.
- Degoutte, G., 2012, *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières : Hydraulique et morphologie fluviales appliquées (2e éd.)*, Paris : Éd. Tec et doc, 568 p.
- Dingman, S. L., 2009, *Fluvial Hydraulics*, Oxford : Oxford University Press, 576 p.
- Donati F., 2021, La nature des retenues de seuil : Une question limnologique ? Étude hydrodynamique, thermique et sédimentaire (Loiret, Moselle, Mayenne), thèse de doctorat, Sciences de l'Homme et société, Géographie, Université d'Orléans, France,
- Donati, F., L. Touchart et P. Bartout, 2019, Do rivers upstream weirs have lotics or lentic characteristics ?, *Geographia Technica*, 14, 2, pp. 1-9.
- Donati, F., L. Touchart et P. Bartout, 2020, Les seuils en rivière transforment-ils les milieux lotiques en milieux lenticques ?, *Physio-Géo*, Volume 15, pp. 111-131.
- Donati, F., L. Touchart et P. Bartout, Q. Choffel, 2020, Anciens et nouveaux écosystèmes aquatiques : Une revue sur leur fonctionnement abiotique, *Dynamiques Environnementales*, 45, pp. 11-21.
- Dos Santos, D. R., G. L. Schaefer, A. Pellegrini, J. W. R. Alvarez, L. Caner et E. C. Bortoluzzi, 2020, Weirs Control Phosphorus Transfer in Agricultural Watersheds, *Water, Air, et Soil Pollution*, 231,9, pp. 486-502.
- Downing, J. A., 2010, Emerging global role of small lakes and ponds : Little things mean a lot, *Limnetica*, 29, 1, pp. 9-24.
- Downing, J. A., J. J. Cole, J. J. Middelburg, R. G. Striegl, C. M. Duarte, P. Kortelainen, Y. T. Prairie et K. A. Laube, 2008, Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century, *Global Biogeochemical Cycles*, 22, 1, pp. 1-10.
- Dyer, K. R., 1979, *Estuarine Hydrography and Sedimentation : A Handbook*, Cambridge : Cambridge University Press, 239 p.

- Dyer, K. R., 1997, *Estuaries : A Physical Introduction*, London : Wiley, 210 p.
- ERN, 2018, Fragmentation by Dams impact rivers and aquatic ecosystems, [En ligne] URL : <https://www.ern.org/en/fragmentation/#top>
- Farina, A., 1998, *Principles and Methods in Landscape Ecology*, Dordrecht : Springer, 235 p.
- FDMF, 2004, Les moulins à eau de France menacés de disparition ?, Fédération des Moulins de France [En ligne] URL : <https://fdmf.fr/les-moulins-a-eau-de-france-menaces-de-disparition>
- Fjellheim, A., G., G. Raddum, 1996, Weir building in a regulated west norwegian river : Long-term dynamics of invertebrates and fish, *Regulated Rivers: Research et Management*, 12, 4-5, pp. 501-508.
- Flora, C. et R. Kröger, 2014, Use of vegetated drainage ditches and low-grade weirs for aquaculture effluent mitigation : II. Suspended sediment, *Aquacultural Engineering*, 60, pp. 68-72.
- Forman, R. T. T., 1995, Some general principles of landscape and regional ecology, *Landscape Ecology*, 10, 3, pp. 133-142.
- Forman, R. T. T., P. N. Moore, 1992, Theoretical Foundations for Understanding Boundaries in Landscape Mosaics, dans A. J. Hansen, F. di Castri (éd.), *Landscape Boundaries : Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*, Springer, pp. 236-258.
- Gosz, J. R., 1992, Ecological Functions in a Biome Transition Zone : Translating Local Responses to Broad-Scale Dynamics, dans Hansen, A. J., di F. Castri (éd.), *Landscape Boundaries : Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*, New York : Springer, pp. 55-75.
- Griggs, R. F., 1938, Timberlines in the Northern Rocky Mountains, *Ecology*, 19, pp. 548-564.
- Guérin, T., 2021, Méthode de suivi suite à l'abaissement d'un ouvrage hydraulique : Moulin Neuf à Chéranécé, mémoire de master 2, Université d'Orléans.
- Hansen, A. J., F. di Castri (éd.), 1992, *Landscape Boundaries : Consequences for biotic diversity and ecological flows*, New York : Springer.
- Hillbricht-Ilkowska A., E. Pieczynska, 2012, *Nutrient Dynamics and Retention in Land/Water Ecotones of Lowland, Temperate Lakes and Rivers*. New York : Springer, 452 p.
- Hobbs, R. J., S. Arico, J. Aronson, J. S. Baron, P. Bridgewater, V. A. Cramer, P. R. Epstein, J. J. Ewel, C. A. Klink, A. E. Lugo, D. Norton, D. Ojima, D. M. Richardson, E. W. Sanderson, F. Valladares, M. Vilà, R. Zamora et M. Zobel, 2006, Novel ecosystems : Theoretical and management aspects of the new ecological world order, *Global Ecology and Biogeography*, 15,1, pp. 1-7.
- Hobbs, R. J., E. Higgs et J. A. Harris, 2009, Novel ecosystems : Implications for conservation and restoration, *Trends in Ecology et Evolution*, 24, 11, pp. 599-605.
- Hobbs, R. J., E. S. Higgs et C. M. Hall, 2013, Defining Novel Ecosystems dans Hobbs, R. J., E. S. Higgs, C. M. Hall (éd.), *Novel Ecosystems : Intervening in the new ecological world order*, New York : John Wiley et Sons, pp. 58-60.
- Holland, M. M., 1988, SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries. Report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones, dans di Castri, F., A. J. Hansen et M. M. Holland (éd.), *A new look at ecotones: numéro spécial 17, Biology International*, pp. 47-106.
- Holland, M. M., P. G. Risser et R. J. Naiman, 1991, *Ecotones : The Role of Landscape Boundaries in the Management and Restoration of Changing Environments*, New York : Springer, 156 p.
- Holsinger, K. E., 1993, The evolutionary dynamics of fragmented plant population. In Kareiva P. M., J. G. Kingsolver, R. B. Huey (éd.), *Biotic interactions and global change*, Sinauer Associate, pp. 198-216.

Johnston, C. A., 1993, Material Fluxes Across Wetland Ecotones in Northern Landscapes, *Ecological Applications*, 3, 3, pp. 424-440.

Kolasa, J., M. Zalewski, 1995, Notes on ecotone attributes and functions, *Hydrobiologia*, 303, 1, pp. 1-7.

Kourkoutas, K., 2015, On the question of limits : The role of ecotones in the management and reintegration of transforming urban environments : Urban ecotones as territorial indicators and interfaces of urban reconfiguration : An applied study of the urban regional mosaic of the city of Thessaloniki, Greece, thèse de doctorat, Universitat Politècnica de Catalunya, Espagne.

Kröger, R., E. J. Dunne, J. Novak, K. W. King, E. McLellan, D. R. Smith, J. Strock et K. Boomer, Tomer M., G. B. Noe, 2013, Downstream approaches to phosphorus management in agricultural landscapes: Regional applicability and use, *Science of The Total Environment*, 442, pp. 263-274.

Kröger, R., M. T. Moore, J. L. Farris et M. Gopalan, 2011, Evidence for the Use of Low-Grade Weirs in Drainage Ditches to Improve Nutrient Reductions from Agriculture, *Water, Air, et Soil Pollution*, 221, 1-4, pp. 223-234.

Lambert, R., 1996, *Géographie du cycle de l'eau*, Marseille : Presses Universitaire du Mirail, 350 p.

Lawes, M. J., D. M. Macfarlane, H. A. C. Eeley, 2004, Forest landscape pattern in the KwaZulu-Natal midlands, South Africa : 50 years of change or stasis?, *Austral Ecology*, 29, 6, pp. 613-623.

Le Cor, F., 2021, Étangs et qualité des cours d'eau de têtes de bassins versants agricoles : Impact sur le devenir des pesticides et leurs produits de transformation, thèse de doctorat, École doctorale sciences et ingénierie des ressources naturelles, Université de Lorraine, France.

Lee, S.-J., An K.-G, 2019, Influence of Weir Construction on Chemical Water Quality, Physical Habitat, and Biological Integrity of Fish in the Geum River, South Korea, *Polish Journal of Environmental Studies*, 28 ,4, pp. 2175-2186.

Lespez, L., S. Dufour, 2020, Chapitre 1, La nature de l'Anthropocène : Nature anthropisée, nature hybridée, dans Lespez, L., S. Dufour (éd.), *Géographie de l'environnement*, Malakoff : Armand Colin, pp. 15-31.

Lespez, L., S. Dufour, 2021, Les hybrides, la géographie de la nature et de l'environnement, *Annales de géographie*, 737, 1, pp. 58-85.

Littlejohn, K. A., B. H. Poganski, R. Kröger et J. J. Ramirez-Avila, 2014, Effectiveness of low-grade weirs for nutrient removal in an agricultural landscape in the Lower Mississippi Alluvial Valley, *Agricultural Water Management*, 131, pp. 79-86.

Livingston, B. E., 1903, The Distribution of the Upland Plant Societies of Kent County, Michigan, *Botanical Gazette*, 35, 1, pp. 36-55.

Lloyd, K. M., A. A. M. McQueen, B. J. Lee, R. C. B. Wilson, S. Walker et Wilson J. B., 2000, Evidence on ecotone concepts from switch, environmental and anthropogenic ecotones, *Journal of Vegetation Science*, 11, 6, pp. 903-910.

Lobry, J., 2004, Quel référentiel de fonctionnement pour les écosystèmes estuariens ? : Le cas des cortèges de poissons fréquentant l'estuaire de la Gironde, thèse de doctorat, Sciences de l'environnement, Université de Bordeaux 1, France.

Lowrance, R., R. Todd, J. Fail, O. Hendrickson, R. Leonard et L. Asmussen, 1984, Riparian Forests as Nutrient Filters in Agricultural Watersheds, *BioScience*, 34, 6, pp. 374-377.

MacGregor-Fors, I., 2010, How to measure the urban-wildland ecotone : Redefining 'peri-urban' areas, *Ecological Research*, 25, 4, pp. 883-887.

- Magura, T., G. L. Lövei et B. Tóthmérész, 2019, Various edge response of ground beetles in edges under natural versus anthropogenic influence : A meta-analysis using life-history traits, *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 65, pp. 3-20.
- Marmonier, P., M.-J. Dole-Olivier, M. C. Châtelliers des Chapuis, J. Re-Bahuaud, A. Johannet et L. Cadilhac, 2019, Contribution des zones d'échanges entre eau de surface et eau souterraine à la biodiversité des hydrosystèmes : Exemple d'une rivière méditerranéenne, la Cèze, *Physio-Géo*, 13, pp. 75-90.
- Maridet, L., H. Piégay, O. Gilard et A. Thévenet, 1996, L'embâcle de bois en rivière : Un bienfait écologique ? Un facteur de risques naturels ?, *La Houille Blanche*, 82, 5, pp. 32-37.
- Martin, J. L., 2013, *Hydro-Environmental Analysis : Freshwater Environments*, Boca Raton : CRC Press, 567 p.
- Martyn, D. C., 2007, *The Upper Thames Barbel Project*, Environment Agency.
- Mateus, M., J. W. Baretta, 2008, Basic concepts of estuarine ecology. dans Neves, R., J. W. Baretta et M. Mateus (éd.), *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*, IST Press, pp. 3-14.
- McCarthy, B., B. Gawne, S. Meredith et D. Williams, 2004, Effects of Weirs in the Mallee Tract of the River Murray, Murray-Darling Freshwater Research Centre, pp. 1-74.
- McLusky, D. S., M. Elliott, 2004, *The Estuarine Ecosystem : Ecology, Threats and Management*, Oxford : Oxford University Press, 209 p.
- Melun, G., 2012, Evaluation des impacts hydromorphologiques du rétablissement de la continuité hydro-sédimentaire et écologique sur l'Yerres aval, thèse de doctorat, Sciences de l'environnement, Université Paris-Diderot-Paris VII, France.
- Miyake, Y., T. Akiyama, 2012, Impacts of water storage dams on substrate characteristics and stream invertebrate assemblages, *Journal of Hydro-Environment Research*, 6, 2, pp. 137-144.
- Orlóci, L., M. Orlóci, 1991, Edge Detection in Vegetation : Jornada Revisited, *Journal of Vegetation Science*, 1, pp. 311-324.
- Pearson, A. J., J. Pizzuto, 2015, Bedload transport over run-of-river dams, Delaware, U.S.A, *Geomorphology*, 248, pp. 382-395.
- Peeters, A., G. Houbrechts, E. Hallot, J. Van Campenhout, F. Gob et F. Petit, 2020, Can coarse bedload pass through weirs?, *Geomorphology*, 359, pp. 107-131.
- Peirson, G., K. Summer, 2013, Migration and seasonal habitat requirements of UK freshwater fish species, Environment Agency.
- Poulet, N., 2007, Impact of weirs on fish communities in a piedmont stream, *River Research and Applications*, 23, 9, pp. 1038-1047.
- Risser, P. G., 1990a, Landscape Pattern and Its Effects on Energy and Nutrient Distribution, dans Zonneveld, I. S., R. T. T. Forman (éd.), *Changing Landscapes : An Ecological Perspective*, New York : Springer, pp. 45-56.
- Risser, P. G., 1990b, The ecological importance of land-water ecotones, dans Holland, M. M., R. J. Naiman (éd.), *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. Man and the biosphere serie*, Paris : UNESCO, pp. 7-21.
- Risser, P. G., 1995, The Status of the Science Examining Ecotones, *BioScience*, 45, 5, pp. 318-325.

- Ruffinoni, C., M. Trémolières et J.-M. Sanchez-Pérez, 2003, Végétation alluviale et flux de nutriments : Des liens interactifs. Dans Piégay H., G. Pautou, C. Ruffinoni, *Les forêts riveraines des cours d'eau*, Institut pour le développement forestier, pp. 134-154.
- Ryszkowski, L., A. Kędziora, 1993, Energy control of matter fluxes through land—Water ecotones in an agricultural landscape, dans Hillbricht-Ilkowska A., E. Pieczyńska (éd.), *Nutrient Dynamics and Retention in Land/Water Ecotones of Lowland, Temperate Lakes and Rivers*, New York : Springer Netherlands, pp. 239-248.
- Sajaloli, B., 1996, Les zones humides : Une nouvelle vitrine pour l'environnement (Wetlands : a new showcase for environment), *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 73, 2, pp. 132-144.
- Saunders, S. C., J. Chen, T. D. Drumme et T. R. Crow, 1999, Modeling temperature gradients across edges over time in a managed landscape, *Forest Ecology and Management*, 117, 1-3, pp. 17-31.
- Schmid-Araya, J. M., 1997, Temporal and spatial dynamics of meiofaunal assemblages in the hyporheic interstitial of a gravel stream, dans Gibert J., J. Mathieu, et F. Fournier (dir.), *Groundwater/Surface Water Ecotones : Biological and Hydrological Interactions and Management Options*, Cambridge : Cambridge University Press, p. 29-36.
- Souchon, Y., V. Nicolas, 2011, *Barrages et Seuils : Principaux impacts environnementaux*, Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), rapport final, 28 p.
- Straškraba, M., J. G. Tundisi et A. Duncan, 1993, State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management, dans Straškraba, M., J. G. Tundisi et A. Duncan (éd.), *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*, Dordrecht : Springer Netherlands, pp. 213-288.
- Strayer, D. L., M. E. Power, W. F. Fagan, S. T. A. Pickett et J. Belnap, 2003, A Classification of Ecological Boundaries, *BioScience*, 53, 8, pp. 723-729.
- Swanson, F. J., S. M. Wondzell et G. E. Grant, 1992, Landforms, Disturbance, and Ecotones, dans Hansen, A. J., F. di Castri (éd.), *Landscape Boundaries : Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*, New York : Springer, pp. 304-323.
- Thornton, K. W., B. L. Kimmel et F. E. Payne (éd.), 1990, *Reservoir Limnology : Ecological Perspectives*, New York : Wiley, 262 p.
- Touchart, L., 2002, *Limnologie physique et dynamique : Une géographie des lacs et des étangs*, Paris : L'Harmattan, 396 p.
- Touchart, L., 2007, La définition de l'étang en géographie limnologique, dans Touchart L. (éd.), *Géographie de l'étang : Des théories globales aux pratiques locales*, Paris : L'Harmattan, pp. 13-45.
- Touchart, L., P. Bartout, 2020, Les aspects positifs des étangs, dans Bravard J.-P., C. Lévêque (éd.), *La gestion écologique des rivières françaises, regards de scientifiques sur une controverse*, Paris : L'Harmattan, pp. 201-220.
- Turner, L. M., W. Erskine, 1997, Thermal, oxygen and salt stratification in three weir pools on the Nepean River, NSW, Actes du colloque « Science and technology in the Environmental management of the Hawkesbury-Nepean Catchment », pp. 87-92.
- Walke, K. F., Thoms M. C., 1993, Environmental effects of flow regulation on the lower river Murray, Australia, *Regulated Rivers: Research et Management*, 8, 1-2, pp. 103-119.
- Weaver, J. E., F. W. Albertson, 1956, *Grasslands of the Great Plains : Their Nature and Use*, Literary Licensing, LLC, 404 p.

Whiterod, N., Sherman B., 2012, Environmental gradients along a lowland weir pool in the southern Murray-darling basin, Australia : Environmental gradients in Mildura weir pool, *River Research and Applications*, 28, 10, pp. 1680-1694.

Wiens, J. A., C. S. Crawford et J. R. Gosz, 1985, Boundary Dynamics : A Conceptual Framework for Studying Landscape Ecosystems, *Oikos*, 45, 3, pp. 421-427.

Wilhelm, F., 1960, Seen als geographisches Forschungsobjekt, *Berichte zur deutschen Landeskunde*, 25, pp. 305-321.

Wissmar, R., F. Swanson, 1990, Landscape disturbances and lotic ecotones. Dans *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*, UNESCO et The Parthenon Publishing Group, pp. 65-102.

RÉSUMÉS

Très répandues au sein des cours d'eau contemporains, la nature des retenues de seuil est encore mal comprise et les Sciences de l'eau peinent à les placer au sein des autres milieux aquatiques continentaux. Certains les voient comme des tronçons de cours d'eau dégradés, qui ont perdu totalement ou partiellement les traits typiques des milieux lotiques ; d'autres les perçoivent comme de véritables écosystèmes, qui possèdent des fonctionnalités propres et qui jouent un rôle au sein des dynamiques environnementales. Dans une recherche que nous avons récemment publiée, nous assimilons le fonctionnement des retenues de seuil à celui des écotones et, dans cet article, nous souhaitons mieux développer notre théorie. En effet, ces deux types d'environnements sont gouvernés par des gradients environnementaux et présentent les mêmes fonctionnalités, c'est-à-dire la capacité à filtrer la matière, à stocker et redistribuer les substances et à constituer un véritable habitat pour différents types d'organismes. Cette nouvelle vision des retenues de seuil peut même s'étendre à d'autres milieux aquatiques construits par l'homme, à titre d'exemple les étangs. Elle ouvre d'intéressantes perspectives de recherche et offre une nouvelle approche de gestion, qui ne considère plus ce type d'environnement comme un simple obstacle au sein des fleuves et rivières, mais comme des milieux intégrés dans les paysages fluviaux d'aujourd'hui et avec leurs propres fonctionnalités.

The weir pools are the spaces formed by the raising of the water line and the slowing of the current caused by weirs, overflowing hydraulic structures, generally of small dimensions, very widespread in contemporary rivers. The nature of these environments is still poorly understood and water sciences struggle to classify them in known continental aquatic environments. Some see them as degraded segments of watercourses, which have totally or partially lost the typical features of lotic environments; others consider them as ecosystems as such, with their own functionalities and their own role to play in environmental dynamics. In a research that we have recently published, we equate weir pools operation with ecotones operation and we would like to explore this hypothesis in further detail in this paper. Indeed, weir pools and ecotones are controlled by environmental gradients and seem to have the same functionalities, such as the ability to filter matter, to store and redistribute substances and to provide a real habitat for different types of organisms. This new vision of weir pools can even be extended to other man-made aquatic environments, ponds for example. Thus, new research and management outlook arise as this type of environment will no longer be considered as a mere obstacle within rivers, but as environments which are fully integrated into today's fluvial landscapes with their own functionalities.

INDEX

Mots-clés : retenue de seuil, seuil en rivière, écotone, hybride, géographie physique

Keywords : weir pool, weir, ecotone, hybrid, physical geography

AUTEURS

FRANCESCO DONATI

Directeur recherche et développement, bureau d'études et recherches « Ecolimneau », La Roche-Sur-Yon, France, adresse courriel : fdonati@ecolimneau.fr

LAURENT TOUCHART

Professeur des Universités, Université d'Orléans, France, adresse courriel : mlaurent.touchart@univ-orleans.fr

PASCAL BARTOUT

Maître de conférences, Université d'Orléans, France, adresse courriel : pascal.bartout@univ-orleans.fr

QUENTIN CHOFFEL

Chargé de recherche, bureau d'études et recherches « Ecolimneau », La Roche-Sur-Yon, France, adresse courriel : qchoffel@ecolimneau.fr