

Structuration de l'hyporhéos par les échanges nappe-rivière à large échelle spatiale dans les plaines alluviales

Hyporheic flowpaths at multiple spatial scales explain the distribution of the hyporheos in alluvial rivers

Capderrey C.¹, Datry T.², Douady C.¹, Claret C.³, Malard F.¹

¹ Université Claude Bernard Lyon 1 UMR CNRS 5023 Laboratoire des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés (LEHNA), Ecologie Evolution Ecosystèmes Souterraines (E3S). Bât. Darwin C. F-69622 Villeurbanne Cedex (correspondance : cecile.capderrey@univ-lyon1.fr) - ZABR. ² IRSTEA 3 bis quai Chauveau 69336 LYON cedex 09. ³ Université Aix-Marseille, UMR CNRS 6372 Institut Méditerranée de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale. Facultés des Sciences St Jérôme, Boite 441, 13397 Marseille cedex 20.

RÉSUMÉ

Les écoulements hyporhéiques (échange eaux de surface – souterraine) se produisent sur une hiérarchie d'échelles spatiales allant des bancs de graviers aux plaines alluviales. Les écoulements hyporhéiques hectométriques intervenant entre les têtes et les queues d'un même banc de graviers (« small hyporheic flow paths ») sont ainsi imbriqués dans des écoulements kilométriques (« large hyporheic flow paths ») induits par des changements de la géomorphologie de la vallée (largeur de la plaine et profondeur du substratum rocheux). L'eau de surface s'infiltré dans les sédiments des parties amont des plaines non contraintes, et s'exfiltre dans les parties aval, contraintes latéralement et/ou verticalement par le resserrement de la vallée. Une étude a été réalisée sur 12 plaines alluviales pour tester l'effet de ces deux types d'écoulement hyporhéique sur la structuration des communautés d'invertébrés hyporhéiques. Dans chaque partie non contrainte et contrainte des 12 plaines alluviales, les invertébrés ont été échantillonnés dans les têtes et les queues des bancs de gravier à 60 cm de profondeur. Les écoulements hyporhéiques kilométriques influencent de manière significative la conductivité électrique, l'oxygène dissous, la température et la quantité de matière organique particulaire de l'eau dans la zone hyporhéique. Les écoulements kilométriques influencent significativement la richesse de la faune hyporhéique. La richesse et l'abondance des taxons aquatiques permanents sont significativement plus élevées dans les parties aval des plaines alluviales que dans les parties amont. En revanche, cet effet n'est pas observé chez les taxons épigés dont la distribution spatiale est avant tout influencée par les écoulements hectométriques.

ABSTRACT

Hyporheic flow paths (HFPs) occur over spatial scales ranging from only a few cm to several km, i.e. from gravel bars to entire alluvial plains. Small-scale HFPs along gravel bars are embedded within larger-scale HFPs induced by changes in the valley width and depth of the bedrock. River water downwells into the sediment at the upstream end of extensive alluvial plains and is forced to the surface prior entering in constrained reaches at the downstream end of plains. We tested the combined effects of small and large-scale HFPs on the richness and density of hyporheic invertebrate assemblages. Water and invertebrates were sampled at a depth of 60 cm into the sediment at the head and tail of 3 gravel bars located at the downstream and upstream ends of 12 alluvial plains. Large-scale HFPs had a significant effect on specific conductance, dissolved oxygen, and temperature of hyporheic water and particulate organic matter in the sediment. The effect of large-scale HFPs on taxonomic richness was typically more pronounced than that of small-scale HFPs. Richness and density of permanent aquatic taxa were significantly higher at the downstream ends of alluvial plains than at the upstream ends. In contrast, Richness and density of epigeal taxa appeared to be controlled by small-scale HFPs.

MOTS CLES

Écoulements hyporhéiques, échelle spatiale, géomorphologie, hyporhéos, invertébrés, plaine alluviale.

INTRODUCTION

Les échanges eau de surface/eau souterraine se produisent sur toute une hiérarchie d'échelles spatiales, du bassin versant au chenal jusqu'à des sous unités représentées par les bancs de graviers (Stanford et Ward 1993, Toone 2009). Ces voies d'écoulements, donc d'échanges d'eau (eau de surface / eau souterraine) s'organisent plus précisément autour d'unités géomorphologiques bien identifiées ; ils peuvent se produire selon les alternances de contraction et d'expansion de la rivière le long du corridor (échelle plurikilométrique) mais également à l'échelle des bancs de graviers (échelle hectométrique). De nombreuses études ont démontré l'importance de ces échanges pour la biodiversité des écosystèmes aquatiques, mais le plus souvent à une échelle hectométrique. La plupart des études portant sur l'influence des eaux souterraines sur la biodiversité ont en effet été menées à de petites échelles spatiales, se focalisant ainsi uniquement sur des tronçons de chenal ou des bancs de graviers. Pourtant, les quelques études menées à l'échelle kilométrique ont notamment permis d'expliquer les patrons de reproduction de certains salmonidés montrant que ceux-ci ont préférentiellement tendance à pondre dans des zones de remontées généralisées des eaux souterraines (Baxter et Hauer 2003).

A une échelle plurikilométrique, l'amont des plaines alluviales est une zone d'infiltration potentielle alors que l'aval des plaines, souvent contraint latéralement et/ou verticalement par une constriction rocheuse, est une zone d'exfiltration potentielle. A une échelle hectométrique, les écoulements hyporhéiques s'organisent autour de structures géomorphologiques tels que les bancs de graviers. A cette échelle, les têtes de bancs de graviers constituent des zones d'infiltration et les queues de ces mêmes bancs sont des zones d'exfiltration. Ces écoulements hyporhéiques (échelles plurikilométrique et hectométrique) interagissent pour structurer la diversité et la distribution des peuplements d'invertébrés dans la zone hyporhéique. Dans ce contexte géomorphologique structurant les écoulements hyporhéiques, les zones d'exfiltration correspondant à l'aval des plaines alluviales devraient constituer à l'échelle du paysage des hotspots de diversité. Au sein même de ces zones, la richesse et l'abondance des peuplements d'invertébrés devraient être maximale dans les têtes de bancs de graviers dont les sédiments sont alimentés par des infiltrations d'eau de surface chargée en oxygène, nutriments et matière organique.

MATERIEL ET METHODES

L'étude a été menée sur 12 plaines alluviales situées dans des affluents en rive gauche du Rhône. Dans chaque plaine, l'eau et les invertébrés ont été échantillonnés par pompage de 5 L d'eau à une profondeur de 60 cm dans les sédiments au niveau des têtes et des queues de 6 bancs de graviers. Trois bancs de graviers étaient situés dans la partie amont de la plaine alluviale et trois autres dans la partie aval. Des mesures de gradient hydraulique vertical (GHV) ont été réalisées sur chaque partie amont et aval de plaine alluviale afin de déterminer le différentiel de pression entre la rivière et sa zone hyporhéique. Un GHV négatif traduit une tendance à l'infiltration de l'eau de surface dans les sédiments; un GHV positif traduit une tendance à l'exfiltration de l'eau des sédiments vers la surface. La conductivité électrique, l'oxygène dissous, le pH et la température de l'eau ont été mesurés sur le terrain. La quantité de carbone organique particulaire contenue dans 5 L d'eau pompée a été déterminée par combustion et mesure du CO₂ dégagé après suppression du carbone inorganique dans l'échantillon. Les invertébrés hyporhéiques ont été triés et identifiés jusqu'au niveau taxonomique le plus accessible. L'effet des écoulements hyporhéiques sur la richesse et l'abondance de tous les taxons, des taxons aquatiques permanents, et du groupe des éphémères, plécoptères et trichoptères a été testé grâce à une analyse de variance à trois facteurs: 1) la plaine alluviale (n=12 plaines alluviales; facteur aléatoire), 2) le secteur géomorphologique (partie amont non contrainte et partie aval contrainte de la plaine alluviale), et la forme géomorphologique (amont ou aval de banc de graviers).

RESULTATS

Les écoulements hyporhéiques kilométrique et hectométrique ainsi que l'interaction de ces deux facteurs ont un effet significatif sur la conductivité électrique, l'oxygène dissous, la température et la quantité de matière organique particulaire de l'eau dans la zone hyporhéique. Ce même résultat est

également observé pour la richesse taxonomique totale et la richesse des taxons aquatiques permanents: la richesse et l'abondance des assemblages d'invertébrés dans la zone hyporhéique est maximale dans les échantillons prélevés dans les têtes de bancs de graviers (zone locale d'infiltration) situés dans la partie aval des plaines alluviales (zone de remontée généralisée de la nappe). La richesse du groupe des éphémères, plécoptères et trichoptères est aussi significativement plus élevée dans les têtes de bancs de gravier (zone locale d'infiltration) mais elle n'est pas influencée par les écoulements hyporhéiques kilométriques.

CONCLUSION

L'approche géomorphologique des corridors alluviaux fournit un cadre théorique cohérent permettant non seulement de comprendre l'organisation spatiale des écoulements hyporhéiques mais également les variations de la physico-chimie des eaux et de la diversité des peuplements d'invertébrés dans la zone hyporhéique. Elle nécessite toutefois de prendre en compte des formes géomorphologiques et leurs écoulements hyporhéiques associés à de multiples échelles spatiales. La présente étude suggère que la géomorphologie des corridors alluviaux est un substitut approprié pour identifier rapidement à l'échelle d'un bassin versant les zones à forte biodiversité potentielle dans la zone hyporhéique.

BIBLIOGRAPHIE

- Baxter C.V., Hauer F.R., Woessner W.W. (2003). Measuring groundwater-stream exchanges: new techniques for installing minipiezometers and estimating hydraulic conductivity. *Transactions of the American Fisheries Society*. 132: 493-502.
- Stanford J.A. & Ward J.V. (1993) An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *Journal of the North American Benthological Society*. 12: 48-60.
- Toone J. (2009) Changes in channel morphology and macroinvertebrate community organization of a mixed bedrock-alluvial river: historical, present-day and future perspectives. Doctoral Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of Doctor of Philosophy of Loughborough University