

SYLECOL

IMPACT DE LA SYLVICULTURE SUR LA BIODIVERSITE ET LE FONCTIONNEMENT DES ECOSYSTEMES LOTIQUES

EFFECT OF FOREST MANAGEMENT ON THE BIODIVERSITY AND FUNCTIONING OF LOTIC ECOSYSTEMS

Antoine LECERF
EcoLab - Laboratoire d'écologie fonctionnelle et environnement
UMR 5245 (UPS-CNRS-INPT)
118 route de Narbonne
31062 TOULOUSE
antoine.lecerf@univ-tlse3.fr

Synthèse du rapport final *10 mars 2014*

Numéro de contrat MEDDE : 2100503027



Contexte général

La forêt influence un large éventail de propriétés écologiques fondamentales des écosystèmes lotiques (= eaux courantes), notamment via l'ombrage des eaux et les apports de matières organiques terrestres (litières végétales et invertébrés terrestres) par la canopée. A cet égard, toute altération de la forêt rivulaire causée par la sylviculture est susceptible d'affecter l'état écologique des cours d'eau, posant des problèmes majeurs pour la gestion de la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques. Souvent localisés en tête de bassin, les grands massifs forestiers français regorgent de ruisseaux. Ces petits écosystèmes aquatiques hébergent une forte biodiversité et servent souvent de refuges pour de nombreuses espèces rares ou menacées. De part leur forte densité et leur position apicale au sein des réseaux hydrographiques, les ruisseaux de tête de bassins forestiers jouent un rôle clé dans la structure et le fonctionnement des rivières et des fleuves présents en aval. Au niveau international, de nombreux travaux de recherche ont porté sur les conséquences écologiques de l'exploitation forestière sur les ruisseaux et sur le développement de stratégies de conservation. Les défis auxquels les gestionnaires forestiers et les chercheurs doivent faire face sont de déterminer 1) comment les pratiques sylvicoles impactent les ruisseaux ? 2) comment ces impacts peuvent être atténués ? et 3) quels sont les indicateurs recommandés pour évaluer l'efficacité des mesures de protection des milieux aquatiques ?

Objectifs généraux du projet

Ce programme de recherche avait pour objectif d'apporter des bases scientifiques nouvelles pour une gestion forestière respectueuse des cours d'eau et pour le développement d'outils diagnostics de l'impact de la sylviculture sur les écosystèmes aquatiques. Les liens écologiques entre la forêt et les ruisseaux ayant majoritairement été étudiés dans des contextes de gestion forestière intensive (p. ex. coupes rases, plantations d'espèces non-natives), nous avons choisi d'inclure dans ce programme de recherche des cas d'étude représentatifs d'une sylviculture plus durable. Notre objectif était de déterminer si et comment l'exploitation forestière, en ouvrant la canopée ou en modifiant la diversité des apports de litières aux cours d'eau, modifiait les communautés aquatiques ainsi que leurs fonctions dans l'écosystème. Afin d'avoir une vision représentative de l'écosystème aquatique et d'évaluer la sensibilité d'un grand nombre de bioindicateurs potentiels, nous avons adopté une approche multi-taxonomique et nous avons utilisé des méthodes originales permettant de quantifier les interactions entre les organismes et le fonctionnement écologique de l'écosystème. Finalement, au travers d'une analyse quantitative de la littérature scientifique internationale, nous avons cherché des principes généraux concernant les impacts écologiques de l'exploitation forestière sur les cours d'eau.

Quelques éléments de méthodologie (et éventuelles difficultés rencontrées)

Le projet de recherche SYLECOL a porté sur des ruisseaux forestiers de la Montagne Noire dans les départements du Tarn et de l'Aude. Le secteur d'étude était drainé par une forte densité de ruisseaux bordés par une forêt de feuillus caducifoliés dominée par le hêtre, les chênes ou le châtaignier. Les forêts étaient généralement exploitées à l'échelle de petites parcelles et, par conséquent, les cours d'eau traversaient des forêts d'âge et de composition variables le long de leur parcours. Nous avons tiré parti de ce contexte particulier en sélectionnant 11 tronçons, sur plusieurs cours d'eau, bordés par une végétation forestière formant un gradient d'ouverture de la canopée (de 0 à 50%). Sur ces sites, nous avons étudié les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, les transferts de litières et d'invertébrés entre les milieux terrestre et aquatique, les communautés d'invertébrés et la dynamique de leurs ressources alimentaires, et la biologie et l'écologie de la truite commune. L'étude des isotopes stables de la faune et de leur nourriture a permis de comprendre comment la forêt rivulaire agissait sur le fonctionnement trophique de l'écosystème aquatique. L'analyse des isotopes stables du carbone et de l'azote dans les tissus a fourni des mesures intégratives et représentatives de l'énergie réellement assimilée par les organismes, de leur position dans la chaîne alimentaire, et de l'origine de leur nourriture (terrestre ou aquatique). En outre, trois cours d'eau au sein de hêtraies pures ont été sélectionnés afin d'évaluer la réponse des détritivores et des décomposeurs aquatiques à l'ajout de litières diversifiées.

Résultats obtenus

En apportant de l'ombre aux cours d'eau, la canopée régule la température de l'eau, permettant ainsi la persistance d'une faune sténotherme d'eau froide. La canopée est aussi une source très importante de nourriture pour les organismes aquatiques, principalement les décomposeurs et les détritivores, qui exploitent les litières terrestres, et les truites qui consomment des quantités non-négligeables d'invertébrés terrestres tombant accidentellement dans l'eau. La perte de canopée au dessus des cours d'eau a eu pour conséquence un réchauffement de l'eau et une diminution des chutes de litières. Ni la biomasse de détritivores ni la quantité de leur nourriture (stock de matière organique particulaire) n'ont été affectées négativement par ces changements. Comme l'ouverture de la canopée a stimulé fortement le développement de la végétation basse le long des berges, les débris végétaux produits par les plantes herbacées et les ronces ont potentiellement contribué à alimenter l'écosystème aquatique en matière organique. En outre, les chutes d'invertébrés colonisant cette végétation basse dans les cours d'eau ont pu compenser la diminution des apports d'invertébrés terrestres associés à la canopée. La biomasse d'invertébrés herbivores dans les cours d'eau a répondu positivement à l'ouverture de la canopée. Nos données ont suggéré que la production, pas les stocks d'algues benthiques (la nourriture préférentielle des herbivores) a augmenté avec la réduction de l'ombrage par les arbres, et que les herbivores ont tiré profit de cette nourriture pour mieux se développer dans les cours d'eau à canopée très ouvertes. En retour, les herbivores ont certainement participé à réguler la biomasse d'algues, empêchant ainsi leur prolifération en l'absence de forêt riveraine développée.

Des analyses détaillées des communautés d'invertébrés ont permis d'identifier des groupes sensibles aux variations de couverts forestiers et de quantifier leur réponse écologique. Les microinvertébrés (méiofaune) associés au bois mort, les nématodes en particulier, n'ont pas été de bons indicateurs de l'ouverture de la canopée forestière. Par contre, nos travaux ont confirmé l'intérêt des macroinvertébrés benthiques, qui sont couramment utilisés en bioévaluation des eaux courantes en milieu non-forestier. La richesse taxonomique des macroinvertébrés a augmenté avec l'ouverture de la canopée ; néanmoins, certains taxa, notamment le crustacé *Gammarus*, certaines larves d'insecte prédatrices et le vers plat *Polycelis*, ont été négativement affectés. La densité totale des populations de truite commune (*Salmo trutta*) et la croissance des individus n'étaient pas déterminées par la forêt rivulaire dans notre étude. La structure des populations était modifiée sensiblement avec une plus faible présence de juvéniles dans les forêts à ouverture intermédiaire. Cette observation a été mise en lien avec une faible disponibilité de proies d'origine terrestre dans ces ruisseaux. En moyenne, sur l'ensemble des populations échantillonnées, nous avons estimé que les arthropodes terrestres représentaient environ un tiers (36%) de l'alimentation des truites en période de forte croissance (printemps-été). L'analyse des isotopes stables dans les végétaux (litières terrestres et algues benthiques), les macroinvertébrés aquatiques (détritivores, herbivores, prédateurs) et terrestres (prédateurs et herbivores), et les poissons (truites), a indiqué des changements dans la configuration des réseaux trophiques, dans la diversité fonctionnelle de la communauté de macroinvertébrés et dans le régime alimentaire des truites en réponse aux changements de structure de la forêt rivulaire. L'ensemble de ces données a suggéré l'existence d'un pic de diversité des ressources alimentaires au niveau des ruisseaux sous des canopées à ouverture intermédiaire (environ 25% de surface ouverte au ciel). De manière plus générale, l'écosystème aquatique, ainsi que les communautés et populations animales qu'il héberge, semblaient être en mesure de s'adapter aux conséquences sur les ressources alimentaires induites par les modifications d'ouverture de la canopée.

Nos travaux ont démontré la pertinence de mesurer directement l'activité des organismes pour évaluer les conséquences de l'exploitation forestière. Par exemple, le taux de décomposition des litières, mesuré par perte de masse des feuilles mortes immergées, était légèrement augmenté par l'ouverture de la canopée et était réduit en l'absence d'apports de litières diversifiées aux cours d'eau. Le taux de croissance algale, le taux de broutage par les herbivores, et l'intensité du remaniement sédimentaire par les invertébrés fouisseurs étaient plus importants dans des forêts récemment exploitées que dans des forêts matures.

Une méta-analyse de la littérature scientifique internationale a permis d'évaluer l'impact de l'exploitation forestière sur les cours d'eau dans des contextes variés. Les résultats montrent que les coupes rases de la forêt stimulent la production d'algues dans les cours d'eau, conduisant généralement à une augmentation de l'abondance des macroinvertébrés. Les coupes accélèrent également le processus de décomposition des litières. Toutefois, une grande

variabilité de réponse des indicateurs écologiques a été observée. Plusieurs facteurs étaient impliqués : l'intensité des opérations forestières, le recours éventuel à des mesures de protection des cours d'eau, l'état post-coupe de la végétation et vraisemblablement les spécificités écologiques des écosystèmes étudiées. Par exemple, l'effet stimulant des coupes sur les algues diminuait dans le temps, vraisemblablement en lien avec la régénération de la forêt et la fermeture progressive de la canopée au dessus des cours d'eau. Toutefois, les données relatives au taux de décomposition des litières et à l'abondance des invertébrés détritivores indiquaient que le retour à l'état initial, avant coupe, pourrait prendre plus de dix ans. Dans cette méta-analyse, le manque de données disponibles dans la littérature ne nous a pas permis d'évaluer spécifiquement l'effet de l'intensité des éclaircies et de l'ouverture de la canopée sur les cours d'eau. Il est donc hasardeux de procéder à une comparaison des résultats obtenus ici et ceux de notre étude empirique. Ce travail bibliographique a également mis en lumière un déficit de connaissances sur l'impact de la sylviculture sur les cours d'eau au niveau de régions forestières pourtant bien exploitées comme les milieux tropicaux et les forêts de feuillus caducifoliés en Europe.

Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation

- Implications pratiques :

Il existe des liens intimes, extrêmement étroits entre la forêt et les écosystèmes aquatiques au sein des bassins versants forestiers. La gestion durable des forêts et de la ressource en eau passe par l'atténuation des impacts des travaux et des opérations sylvicoles sur les cours d'eau. Bien que le bassin versant constitue l'unité de base pertinente pour aborder cette problématique, les mesures de conservation doivent en priorité inclure les forêts riveraines et, plus généralement, la végétation à l'interface terre-eau. L'évaluation de l'efficacité de mesures de protection et, plus globalement, de la sensibilité de l'écosystème aquatique vis-à-vis de l'exploitation forestière, pourrait se baser sur les bioindicateurs testés dans le cadre de ce programme de recherche.

De nombreux travaux et pratiques sylvicoles induisent des changements dans la structure et la composition de la canopée. Quantifier l'intensité de ces changements est une première étape indispensable afin d'anticiper les impacts sur l'écosystème aquatique. L'ouverture de la canopée et la diversité en ligneux sont couramment évaluées en écologie forestière et nous avons montré que ces paramètres ont une pertinence dans les études écologiques des cours d'eau. Il faut noter que, si nos recherches ont focalisé principalement sur l'ouverture de la canopée, les résultats peuvent aussi aider à comprendre comment la fermeture de la canopée, sous l'action de processus de régénération de la forêt, naturels ou assistés, agit sur les écosystèmes aquatiques.

Nos résultats indiquent que les coupes forestières allant jusqu'aux berges des cours d'eau, qu'elles soient rases ou sélectives, induisent des modifications dans la structure et le fonctionnement des cours d'eau. Comme nous n'avons pas mis en évidence de changements abrupts dans l'intervalle d'ouverture de canopée considéré, il est difficile de proposer une valeur « guide » correspondant potentiellement à une exploitation optimale de la forêt sur les berges tout en garantissant le maintien de l'intégrité écologique des ruisseaux. Toutefois, notre interprétation des résultats suggère que, dans le contexte de sylviculture extensive considéré ici, l'écosystème aquatique était robuste face aux changements de canopée et était capable de s'adapter aux modifications de la diversité et de l'origine des sources de nourriture induites par la gestion forestière. Cette hypothèse, si elle venait à être confirmée par des études à plus grande portée géographique et temporelle, impliquerait que l'intensité des prélèvements de bois doit être fixé en fonction de la capacité propre de chaque écosystème aquatique à s'adapter aux changements induits pas la perte de canopée. Un corolaire de ce principe serait de maîtriser le cumul de perturbations (altération physique du lit, pollutions, etc.) sur les cours d'eau forestier de sorte à maximiser leur résistance et la résilience de l'écosystème vis-à-vis des impacts de l'exploitation forestière.

La régénération de la végétation après une coupe conduit à une atténuation progressive des impacts sur les écosystèmes aquatiques. Parmi la végétation de début de succession, les plantes herbacées et les ronces ont le potentiel de restaurer rapidement (<1 an) certaines fonctions jouées par la canopée forestière avant sa suppression. Au niveau des berges, la végétation basse a augmenté fortement avec l'ouverture de la canopée dans notre étude. Les débris organiques qu'elle produit et les arthropodes terrestres qu'elle abrite contribuent

certainement aux flux de ressources terrestres vers les cours d'eau, compensant ainsi la perte des flux verticaux provenant de la canopée. Cette hypothèse est crédible au vu du rôle avéré de la végétation basse dans le fonctionnement des cours d'eau naturellement dépourvus de forêt riveraine (cours d'eau d'altitude, en milieu désertique, etc.).

Finalement, nous suggérons d'aller au delà de la vision dichotomique traditionnelle opposant les forêts non-exploitées, à canopée fermée, versus les parcelles ouvertes ayant fait l'objet de coupes rases récentes. En effet, la mise en évidence de courbe en U ou en cloche pourrait indiquer que des peuplements forestiers moyennement denses, avec des couvertures de canopée intermédiaires, induisent un fonctionnement écologique particulier des cours d'eau. Toutefois, aucun élément de nos études ne permet de déterminer la valeur écologique des écosystèmes aquatiques sous canopée moyennement dense, qui étaient ni plus diversifiés, ni plus productifs, que les écosystèmes aquatiques au sein de forêts très fermées ou bien très ouvertes.

- Recommandations :
 - 1) **Œuvrer pour une meilleure articulation des problématiques de gestion forestière et de gestion des milieux aquatiques.** Une bonne gestion de la forêt sur les berges et les versants peut contribuer à maintenir le bon état écologique des cours d'eau. Une bonne gestion des milieux aquatiques peut conférer une meilleure résistance et résilience de l'écosystème face aux perturbations générées par les opérations sylvicoles.
 - 2) **Utiliser des indicateurs appropriés pour évaluer l'impact de la gestion sylvicole sur les cours d'eau.** L'étude des macroinvertébrés benthiques, en se basant sur la diversité taxonomique et les groupes trophiques, apparaît comme l'option la plus réaliste à court terme. Le choix précis des indicateurs doit être adaptés à l'objectif et au contexte de l'étude. Le groupe des prédateurs apparaît comme pertinent pour évaluer l'impact sur les cours d'eau de l'exploitation forestière de nature et d'intensité variables. L'abondance des herbivores est susceptible de révéler des changements dans l'ouverture de la canopée résultant de prélèvement partiel en berge. L'abondance des détritivores semble plutôt être déterminée par le stade de succession forestière et la diversité de la végétation rivulaire. En parallèle, la mise au point et l'utilisation en routine d'indicateurs fonctionnels devraient être encouragées.
 - 3) **Adapter l'intensité des prélèvements à la capacité de résistance et de résilience de l'écosystème aquatique.** En effet, des cours d'eau impactés par d'autres perturbations (pollutions, altérations physiques, sécheresse, etc.) sont susceptibles d'être moins robustes vis-à-vis des changements occasionnés par la perte de canopée forestière.
 - 4) **Maintenir la végétation basse se développant rapidement sur les berges à la suite de pertes de canopée.** Cette végétation fait souvent l'objet de débroussaillage systématique dans le cadre de plans d'entretien de ripisylve, de la lutte contre les incendies de forêt, et des opérations sylvicoles durant la phase de régénération forestière. Pourtant, les herbacées, les fougères, les ronces, les lianes et les buissons contribuent à fournir des débris végétaux et des proies aux milieux aquatiques tout en jouant potentiellement le rôle de filtre contre les éléments indésirables (p.ex. sédiments, nutriments en excès) issus des versants exploités (coupes, construction de chemin de débardage, etc.).

- Réalisations pratiques et valorisation :

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	
Publications scientifiques à paraître	<p>Evangelista C., Boiché A., Lecerf A., Cucherousset J. (2014) Ecological opportunities and intraspecific competition alter trophic niche specialization in an opportunistic stream predator. Journal of Animal Ecology DOI: 10.1111/1365-2656.12208</p> <p>De Nadaï-Monoury E., Gilbert F., Lecerf A. (2014) Forest canopy cover determines invertebrate diversity and ecosystem process rates in depositional zones of headwater streams. Freshwater Biology 59:1532-1545</p>
Publications scientifiques prévues	<p>Lecerf A., Evangelista C., Cucherousset J. Effects of riparian forest management on functional diversity of stream invertebrates assessed through functional traits and stable isotopes</p> <p>Lecerf A., Evangelista C., Cucherousset J. Indicators of sustainable riparian forest management</p>
COLLOQUES	
Participations passées à des colloques	<p>Evangelista C., Lecerf A., Boiché A., Cucherousset J. The ecological consequences of individual trophic specialization in human-altered ecosystems. 8th ISOECOL Conference, Brest (France), August 2012</p> <p>Monoury E., Lecerf A., Lamothe S., Labbé M., Gilbert F. Are depositional zones sentinel habitats for assessing forestry impacts on stream ecosystem functioning? SFS meeting, Louisville (KY, USA), May 2012</p> <p>Boiché A., Evangelista C., Lamothe S., Cucherousset J., Lecerf A. Effect of riparian canopy cover on macroinvertebrate community in forest streams. SFS meeting, Louisville (KY, USA), May 2012</p> <p>Lecerf A., Lamothe S., Boiché A., Baudoin J.M. Evaluating the effect of instream and riparian management on stream ecological integrity. SFS meeting, Louisville (KY, USA), May 2012</p>
THESES	
Thèses passées	<p>Monoury E. (2013) Fonctionnement écologique des zones de dépôt dans les ruisseaux : contribution des invertébrés benthiques aux processus de décomposition des litières et de bioturbation. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse. Soutenue le 15/11/2013.</p>
ENSEIGNEMENT – FORMATION	
Enseignements/formations prévus	<p>Ecological linkages between forests and streams : implication for sustainable management of forested watersheds. Cours pour le master international IMAE en tant que conférencier invité à l'université de Coimbra, Portugal (intervention d'une journée prévue à l'automne 2014)</p>

METHODOLOGIES (GUIDES...)	
Méthodologies en cours d'élaboration	Développement d'indicateurs écologiques basés sur la caractérisation des réseaux trophiques par l'analyse des isotopes stables. Projet de recherche financé par l'ONEMA (ISOLAC, 2013-2016, laboratoires EDB et EcoLab, Toulouse)
AUTRES	
Rapports	Lecerf A. (2011). Compte rendu d'exécution de pêches scientifiques - Département du Tarn Lecerf A. (2011). Compte rendu d'exécution de pêches scientifiques - Département de L'Aude