



HAL
open science

Dynamique des bois flottés en rivière - Éléments de synthèse des travaux de recherche 2020-2024

Borbála Hortobágyi, Gabriel Melun, Stéphane Petit, Hervé Piégay

► To cite this version:

Borbála Hortobágyi, Gabriel Melun, Stéphane Petit, Hervé Piégay. Dynamique des bois flottés en rivière - Éléments de synthèse des travaux de recherche 2020-2024. CNRS; OFB, Office Français de la Biodiversité. 2024. hal-04710343

HAL Id: hal-04710343

<https://hal.science/hal-04710343v1>

Submitted on 26 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dynamique des bois flottés en rivière

Éléments de synthèse des travaux de recherche 2020-2024



I. Le bois flotté, un élément controversé des cours d'eau

Le bois flotté, provenant de la végétation riveraine ou des versants montagneux, joue un rôle fondamental dans les écosystèmes fluviaux. Il favorise la diversité hydrogéomorphologique et écologique en modifiant les conditions des écoulements liquides et solides, mais également en constituant une entrée essentielle de matière organique dans le système fluvial ou en offrant des habitats à de nombreuses espèces de macroinvertébrés et de poissons (Harmon *et al.*, 1986 ; Gurnell *et al.*, 2002 ; Gregory *et al.*, 2003 ; Jones *et al.*, 2014). Dans le même temps, le bois peut représenter une menace lorsqu'il s'accumule dans les cours d'eau sous forme d'embâcles, pouvant impacter les infrastructures, comme les ponts et les barrages, et augmenter le risque d'inondation pour les populations riveraines. Le bois flotté provient majoritairement de la végétation riveraine (ripisylve). L'érosion latérale naturelle des cours d'eau impacte les formations végétales rivulaires et favorise le basculement et la fourniture de bois vers les chenaux, impliquant des défis de gestion opérationnelle des cours d'eau, notamment dans le contexte du changement climatique.



Figure 1. Diversité des formes fluviales et des tailles de sédiments en lien avec la présence de bois dans la Réserve Naturelle Nationale du Val d'Allier.

Les gestionnaires et les acteurs socio-économiques expriment un besoin croissant de connaissances et de nouveaux outils pour évaluer et gérer au mieux les enjeux liés au bois en

rivière. Les technologies récentes, comme le traçage RFID (*Radio Frequency Identification*), la modélisation numérique, la modélisation 3D et la surveillance par caméras, apportent des perspectives prometteuses pour une gestion durable et équilibrée du bois flotté (Ruiz-Villanueva *et al.*, 2024). Pour répondre au déficit de connaissances sur la dynamique des bois en rivière (recrutement, transport, dépôt, modalités et vitesses de progression et de dégradation), le CNRS, l'OFB et Véodis-3D ont initié en 2020 un projet ayant pour objectif 1) d'approfondir la compréhension des processus physiques et écologiques autour des bois flottés ainsi que les connaissances sur les différentes étapes du cycle du bois ; et 2) de proposer des pistes pour une meilleure gestion des bois, visant à concilier la conservation de la biodiversité avec la protection des infrastructures et des populations contre les risques associés, tout en répondant aux défis climatiques actuels et futurs.

Le premier axe du projet se concentre sur l'estimation de la production de bois résultant de l'érosion latérale, ainsi que sur la mobilité et la durée de stockage des pièces. Le deuxième axe évalue le flux de bois pendant les crues dans les rivières de plaine, avec pour ambition d'améliorer les capacités de prédiction. En complément, la vitesse de déplacement des pièces est également étudiée pour mieux comprendre les liens entre les zones de recrutement, les secteurs préférentiels de dépôt, et les mouvements du bois. Enfin, le dernier axe explore l'évolution morphologique du bois une fois intégré au cours d'eau.

II. La Réserve Naturelle Nationale du Val d'Allier : un laboratoire à ciel ouvert pour l'étude du bois

L'Allier, dans la Réserve Naturelle Nationale du Val d'Allier, se distingue par une dynamique géomorphologique active, avec des méandres mobiles et une mosaïque végétale composée de formations variées en tailles et en âges. Ce tronçon, dont le fonctionnement reste proche des conditions naturelles, constitue un cadre idéal pour étudier la dynamique de production et de transfert du bois au sein d'un hydrosystème. De nombreux suivis ont ainsi été mis en place afin d'améliorer la compréhension et la mesure du « bilan ligneux » (c'est à dire le bilan des entrées et des sorties des bois dans un ou plusieurs tronçons de rivière), en prenant en compte chacune de ces étapes : l'entrée du bois dans la rivière, son transport, son stockage temporaire ou permanent, son export vers l'aval ainsi que sa dégradation dans l'emprise de la bande active.

II.1 Les images aériennes : une source d'information pour évaluer le volume de bois introduit et stocké dans les cours d'eau

Le présence de bois, en interaction avec les variations de régimes hydrologiques et sédimentaires, influence à la fois les caractéristiques physiques et écologiques des rivières. Cependant la dynamique spatio-temporelle du transport du bois reste encore peu étudiée et mal comprise, notamment dans ses dimensions morphologiques et hydrauliques, dont les

conséquences écologiques se répercutent directement sur les habitats aquatiques. Il est donc primordial d'améliorer notre compréhension des processus qui contrôlent l'entrée et la mobilisation / remobilisation du bois en rivière.

En se fondant sur des séries d'images aériennes, les surfaces érodées sur les marges fluviales peuvent être quantifiées (Figure 2). Des échantillons de la végétation présents sur la plaine d'inondation ont été prélevés à l'échelle de parcelles (d'au moins 50 m²), afin de représenter la composition et la structure de cette végétation. Sur ces parcelles, les paramètres suivants ont été relevés : diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et hauteur des arbres. Le volume des arbres a pu être estimé à partir de leur DHP et de leur hauteur. Le volume de bois par parcelle a été obtenu en additionnant les volumes de tous les individus, puis en divisant cette somme par la surface de chacune des parcelles. Le volume de bois introduit dans la rivière a ensuite été calculé en multipliant les surfaces de plaine alluviale érodées (Figure 2) par le volume de bois sur pied.

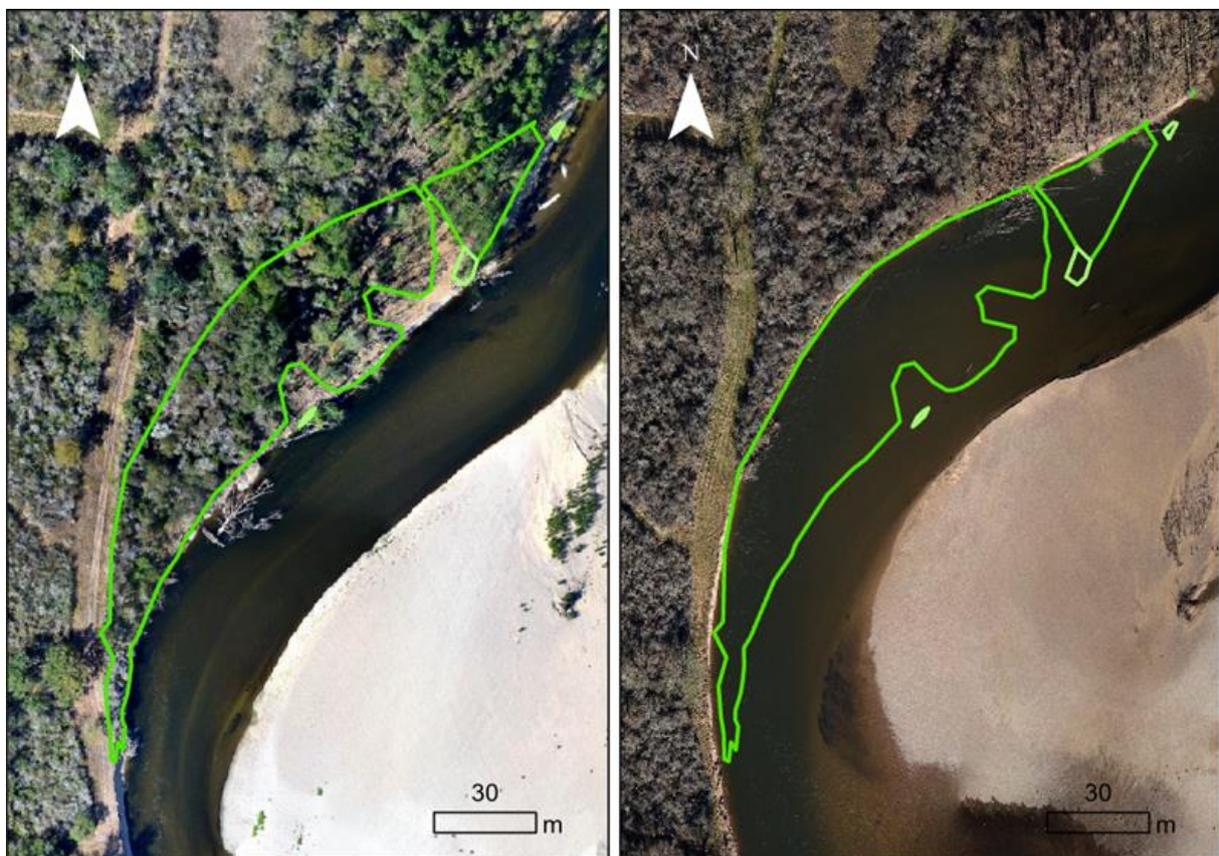


Figure 2. Exemple d'estimation du volume de bois entré dans la rivière Allier entre 2020 et 2022. Les surfaces boisées ont été délimitées sur une photographie de 2020, puis les zones érodées, par la migration latérale du chenal, ont été identifiées grâce à des analyses spatiales réalisées avec un logiciel de cartographie (SIG). Dans cet exemple, près de 200 m³ de bois ont ainsi été fournis à l'Allier sur cet unique secteur.

En raison de la diversité des mosaïques paysagères qui influencent la végétation accessible à l'érosion de berge, ainsi que des fluctuations des conditions hydrologiques, une grande variabilité a été observée dans le volume de bois apporté à la rivière Allier. Les mêmes images ont également servi à étudier l'évolution du stock de bois déposé sur les bancs et dans le chenal. La matérialisation précise des pièces de bois sur les photographies aériennes (Figure 3), suivie d'une analyse spatiale, a permis d'identifier les facteurs hydrologiques favorisant la remobilisation ou la stabilisation du bois sur les bancs et dans le chenal, ainsi que la formation ou la destruction des embâcles (Hortobágyi *et al.*, 2024b).

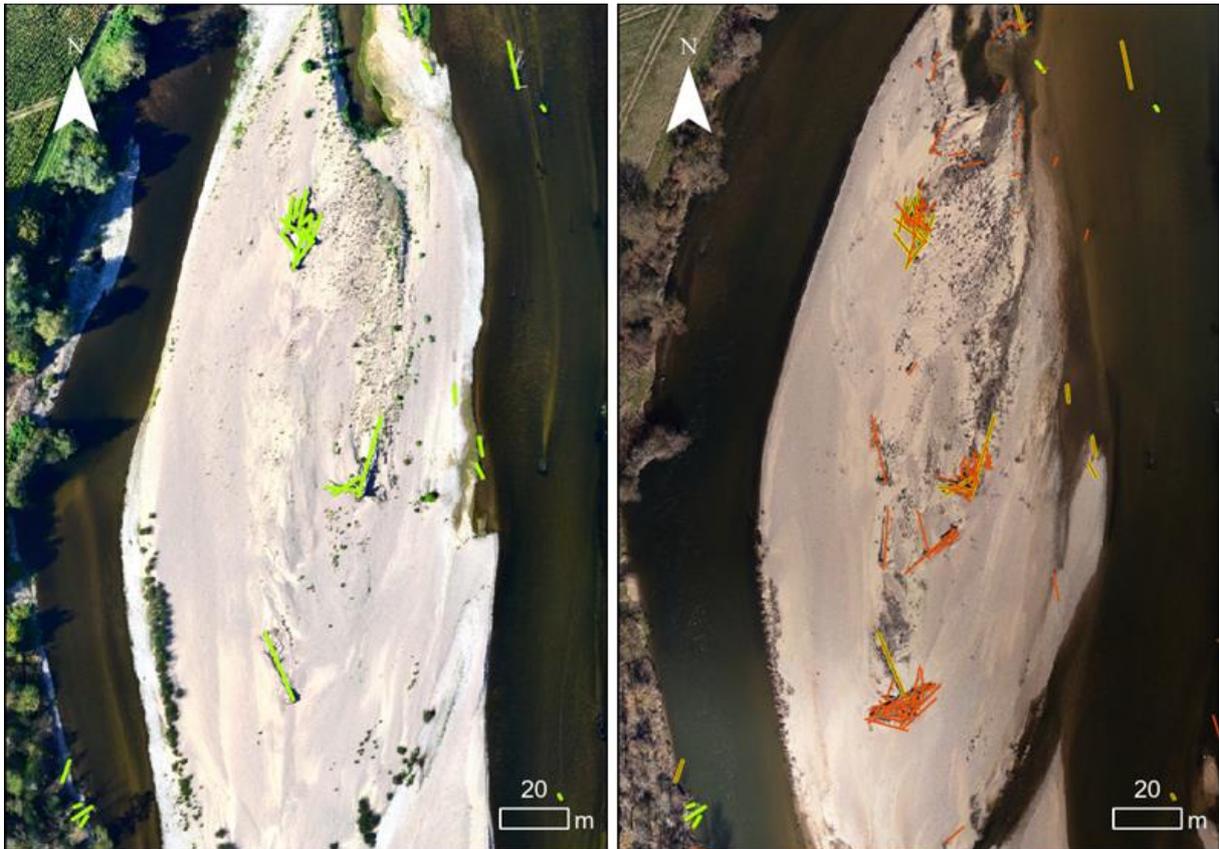


Figure 3. Matérialisation des différentes pièces de bois en 2020 et en 2022, permettant d'identifier celles qui sont restées sur place, celles qui ont été déplacées, ainsi que les nouvelles déposées à la surface du banc.

Grâce à ce type d'analyse, chaque pièce étant identifiée, il est possible de quantifier le temps de résidence du bois. Trois paramètres hydrologiques clés ont été identifiés : le dépassement du débit dominant ($Q_{1.5}$), 60 % de $Q_{1.5}$ et la durée de la crue maximale sur la période étudiée. Le seuil de 60% de $Q_{1.5}$ correspond approximativement au débit à partir duquel le transport du bois commence, déterminé grâce à des observations par caméra. Cette étude a montré que la remobilisation des pièces de bois individuelles est mieux corrélée au temps pendant lequel le niveau d'eau dépassait le débit des crues dominantes ($Q_{1.5}$). La durée de la crue de plus grande

magnitude est mieux corrélée avec les arrivées de bois, les crues plus courtes favorisant un nombre plus élevé de dépôts. Enfin, la plupart des bois restent stables lorsque le débit de la rivière n'excédait pas 60% de $Q_{1.5}$ sur une longue période. Les changements dans le bilan interannuel du bois (à l'échelle du tronçon) dépendent de la durée pendant laquelle le débit a dépassé 60% de $Q_{1.5}$. Les conditions hydrologiques régissant la formation et la destruction des embâcles de bois étaient similaires à celles contrôlant la dynamique des pièces de bois individuelles. Il a aussi été montré qu'entre 45% à 68% des pièces de bois déposées sont remobilisées dans les 1 à 3 ans après leur dépôt, traduisant le côté « dynamique » du transport de bois dans l'Allier au sein de la Réserve.

II.2 De l'observation à la prédiction du flux de bois

Les progrès réalisés dans la résolution, les fréquences d'acquisition et la qualité des images capturées par caméras numériques ont considérablement amélioré la capacité à détecter des éléments distincts dans le chenal. L'utilisation des caméras est ainsi devenue de plus en plus répandue dans l'étude des systèmes fluviaux. Elles permettent, par exemple, de mesurer le champ de vitesse et d'en déduire le débit, pour un coût très compétitif par rapport aux méthodes classiques de monitoring. Elles permettent également de quantifier la variabilité temporelle du flux de bois (nombre de pièces de bois transitant par unité de temps), en fonction des événements hydrologiques et ainsi de calculer un bilan du bois remobilisé et transporté, tout en précisant finement la temporalité du transport. Pour caractériser les flux sur un site donné, il est nécessaire d'enregistrer des événements critiques (crues) de différentes fréquences. Le principe est similaire à celui de la caractérisation du débit liquide : il est crucial de disposer d'une série de données suffisamment longue pour intégrer les différents événements contributifs.

Dans le cadre du projet, une étude récente (Hortobágyi *et al.*, 2024c) a comparé les flux de bois dans les rivières Ain et Allier en utilisant un modèle statistique, fondé sur des données de surveillance vidéo continue. Les caméras installées sur ces deux rivières ont capturé des images permettant de quantifier le nombre de morceaux de bois transportés par unité de temps lors de plusieurs crues (Figure 4). Ces données ont ensuite été utilisées pour entraîner des modèles capables de prédire les flux de bois en fonction de différentes variables hydrologiques telles que le débit instantané, le taux de variation du débit ou le temps écoulé depuis la dernière occurrence d'un débit critique. Les résultats ont révélé des dynamiques de transport relativement similaires entre les deux rivières, présentant toutefois quelques différences intéressantes. Pour des fréquences de débit comparable (Q_2^1), l'Allier présente par exemple un flux horaire de bois nettement plus élevé que l'Ain, atteignant jusqu'à 2 574 morceaux par heure, contre 597 morceaux par heure pour l'Ain. Cette différence s'explique par plusieurs facteurs, notamment la géomorphologie des bassins, la taille des bancs alluviaux et le régime hydrologique. Le modèle a également montré que le seuil de mobilisation du bois est plus élevé sur l'Allier que sur l'Ain, nécessitant ainsi des débits plus élevés pour initier le transport du bois.

¹ Les débits de récurrence biennale sont tels que Q_2 Allier : 550 m³/s ; Q_2 Ain : 891 m³/s.

Les premières comparaisons inter-bassins permettent de mieux cerner, affiner et valider les paramètres du modèle afin d'améliorer les prédictions.

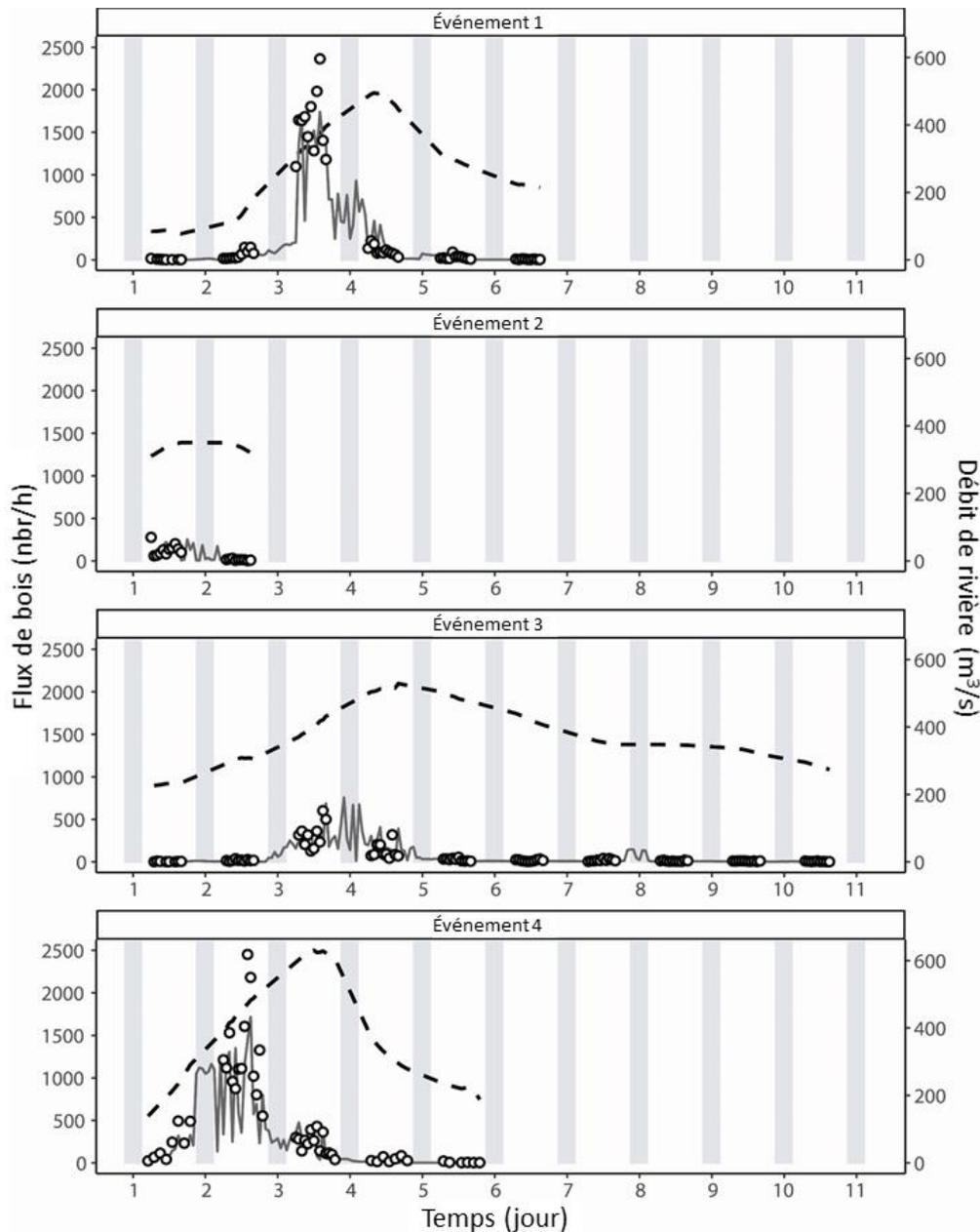


Figure 4. Flux de bois horaire prédit (ligne grise continue), observé (cercle) en fonction du débit horaire de la rivière Allier (ligne noire discontinue). Les parties grisées représentent la nuit, où le comptage des bois par caméra n'est pas disponible.

Dans cette même étude, le bassin du Rhône, en amont du barrage de Génissiat, a été utilisé pour la première fois pour des prédictions de flux dans un bassin non jaugé, sans mesures *in*

situ (par caméra). Le bois y est bloqué, extrait régulièrement puis pesé, ce qui fait de ce site une référence précieuse pour comparer nos estimations issues du modèle aux quantités de bois arrivant effectivement au barrage. Les résultats illustrent la complexité de la modélisation des flux de bois et soulignent l'importance d'une approche adaptée aux spécificités de chaque bassin versant. Ils mettent également en évidence la nécessité d'améliorer les modèles pour mieux capturer la variabilité des flux, en particulier lors d'événements extrêmes. Les résultats sont très encourageants et montrent qu'en intégrant des paramètres supplémentaires dans le modèle, tels que la taille du bassin versant amont et la dynamique de l'apport en bois, ce modèle pourrait devenir un outil en libre accès de prédiction des flux de bois, directement mobilisable par les gestionnaires.

II.3 Suivi RFID pour améliorer la connaissance du parcours du bois dans la rivière

Après leur entrée dans le cours d'eau, les pièces de bois sont transportées sur des distances variables, de quelques dizaines de mètres à plusieurs kilomètres, voire plusieurs dizaines de kilomètres. Pour préciser les zones sources de recrutement, les zones préférentielles de dépôt et la probabilité de déplacements, la mobilité des pièces de bois, identifiées puis introduites à la suite des crues, doit être mesurée.

Si auparavant, les arbres étaient marqués à la peinture ou à l'aide d'étiquettes en plastique ou en métal, le suivi des pièces par transpondeurs RFID permet désormais de retrouver les pièces de bois marquées plus facilement à l'aide d'une antenne. Sur l'Allier, près de 300 pièces ont ainsi été instrumentés entre août 2020 et octobre 2022 sur un tronçon d'environ 9 km de long au sein de la Réserve, entre Saint-Loup et Châtel-de-Neuvre. Durant les périodes de basses eaux, les prospections sont réalisées en canoë ou à pied. Les premières années (2021, 2022), des crues relativement faibles ($\sim Q_2$) ont eu lieu. Suite à ces crues, une localisation des bois emportés a été effectuée sur des tronçons de 33 et 48 km en aval du secteur où les bois avaient précédemment été marqués. Le taux de retour a atteint 60-70 %. Si 75 % des pièces ont parcouru moins de 10 km, certains bois ont été retrouvés à environ 30 km de leur position initiale. L'analyse des résultats, en y intégrant les données issues de recherches plus récentes, permettra d'approfondir la compréhension de la cinétique du bois lors des différentes occurrences de crues, notamment avec les crues plus importantes ($\sim Q_5$) observées au début de l'année 2024. Cette étude portera sur la cinétique du bois en fonction de son lieu d'injection et de sa typologie (bois présents sur les bancs *versus* bois érodés en berge), tout en mettant en évidence les zones de stockage préférentielles à la fin de ces crues. L'objectif sera de mieux cerner comment la dynamique du bois varie selon son origine et d'identifier les endroits où le bois tend à s'accumuler une fois le débit revenu à des niveaux plus bas. En plus des transpondeurs RFID, quelques pièces seront prochainement équipées de traceurs GPS. Ce matériel innovant permettra d'enregistrer l'ensemble du parcours du bois et nous renseignera plus précisément encore sur les conditions hydrologiques de mise en mouvement, de transport et de dépôt.

II.4 Fragmentation du bois

L'instrumentation par transpondeurs RFID des arbres situés en zone d'érosion de berge sur la rivière Allier a permis d'étudier plus spécifiquement les processus et les vitesses de fragmentation du bois dès son entrée dans le chenal. Les suivis sont réalisés à l'aide de photographies obliques (Figure 5) et de LiDAR (*Light Detection and Ranging*) terrestre, qui permet de générer un nuage de points en trois dimensions (Figure 6).



Figure 5. Exemple de l'ordination d'une pièce de bois par photographie oblique.

La photo-interprétation a permis de suivre l'évolution de la complexité des ramifications du bois sur une période de trois ans (2021-2023), tandis que le LiDAR terrestre modélise en trois dimensions la structure des arbres, offrant une évaluation précise de leur volume et de la longueur des houpiers. Les résultats montrent que la fragmentation du bois est rapide, avec une réduction de plus de 80 % de la complexité des ramifications au cours des deux premières années après son entrée dans le cours d'eau (Hortobágyi *et al.*, 2024a). La longueur cumulée des ramifications (longueur de l'ensemble des branches et des troncs d'un arbre ou d'une pièce de bois) a pu être calculée à différentes dates. Si cette longueur cumulée moyenne est d'environ 1 850 m pour les arbres encore sur pieds, elle n'est plus que de 528 m pour des arbres après un an passé dans le lit, 208 m après 2 ans, et 121 m après 3 ans. Plus généralement, le volume moyen était à l'origine 16.1 m³ (arbre sur pied) et 5 m³ après trois ans (bois présent dans le lit).

Ces méthodes révèlent que la complexité structurelle des arbres diminue plus rapidement en début du processus. Ce type d'étude peut fournir des connaissances supplémentaires sur les processus d'abrasion, sur l'influence des changements morphologiques sur le transport du bois et inversement, sur le rôle du contexte (par exemple, transport ou submersion sans déplacement) dans la trajectoire d'abrasion. Cette question est cruciale, car il existe une forte probabilité qu'une pièce de bois de grande taille et de morphologie complexe forme un embâcle au niveau d'un pont. Ces résultats fourniront également des informations essentielles pour les études du cycle du carbone.



5 m



5 m



Figure 6. Nuages de points 3D d'un arbre à trois années différentes (2020-2022), résultats issus de la numérisation par LiDAR terrestre.

III. Les défis pour le futur

La quantification et la modélisation du transport de bois en rivière demeurent plus complexes que celles du débit ou des sédiments, principalement en raison du manque de données, de réseaux de suivi ambitieux et d'observations à moyen et long termes. Pour combler ces lacunes, il pourrait être intéressant de multiplier les études de cas et les systèmes de monitoring, afin d'approfondir à l'échelle locale comme régionale la compréhension des conditions spatiales et temporelles influençant la dynamique du bois. Les crues extrêmes, notamment celles ayant une période de retour de 100 ans ou plus, sont des événements clés pour la mobilisation du bois, mais elles posent également des défis majeurs en matière de gestion des risques d'inondation en lien également avec les problématiques d'embâcles. Comprendre la quantité de bois mobilisée lors de ces événements ainsi que les principales sources est essentiel pour mieux relier l'approvisionnement, le transport et les caractéristiques des crues.

L'acquisition de ces informations nécessite une approche combinée, s'appuyant sur des observations de terrain, des techniques de suivi, des relevés aériens, ainsi que sur la surveillance par caméras vidéo et la télédétection. La constitution d'une base de données collective, répertoriant, selon une typologie donnée de rivières, des informations sur la magnitude et la fréquence des événements, les sources de bois, les processus de recrutement, ainsi que les volumes transportés, déposés et exportés, permettrait d'élaborer des modèles empiriques capables de mieux anticiper les quantités de bois à gérer en fonction de la fréquence des crues. Avec la multiplication des études de cas, il devient essentiel de généraliser les résultats à une échelle plus large, celle des bassins versants, pour améliorer la compréhension des processus globaux. Le développement d'outils et de protocoles spécifiques pour quantifier et prédire le comportement du bois dans les rivières est crucial, non seulement pour une gestion efficace des risques, mais aussi pour garantir la préservation des milieux naturels et de leur biodiversité.

Dans cette perspective, les recherches partenariales entre le CNRS, Véodis-3D et l'OFB vont continuer sur la période 2025-2027 avec, pour premier objectif, de poursuivre les travaux de quantification des flux de bois, de détermination des zones et des modalités de recrutement et du temps de transit pour affiner les modèles spécifiques au déplacement du bois en rivière. Le projet visera dans le même temps à 1) quantifier le rôle du bois dans le transit sédimentaire afin de mieux appréhender l'influence des bois sur la mosaïque granulométrique (comme *proxy* de la diversité des habitats écologiques au sein d'une rivière) ; et 2) à évaluer le rôle du bois sur l'hétérogénéité thermique de la rivière.

Bibliographie

Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. (dir.), 2003. *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Gurnell, A. M., Piégay, H., Swanson, F. J., Gregory, S. V., 2002. Large wood and fluvial processes. *Freshwater Biology*, 47, 4 : 601-619. DOI : 10.1046/j.1365-2427.2002.00916.x.

Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Anderson, N. H., Cline, S. P., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Lienkaemper, G. W., Cromack, K., Cummins, K. W., 1986. Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 15, 4 : 133-302. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60121-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60121-X).

Hortobágyi, B., Milan, D., Bourgeau, F., Piégay, H., 2024a. How quickly does wood fragment in rivers? Methodological challenges, preliminary findings, and perspectives. *Earth Surface Processes and Landforms*, 49, 10 : 3073-3092. DOI : 10.1002/esp.5877.

Hortobágyi, B., Petit, S., Marteau, B., Melun, G., Piégay, H., 2024b. A high-resolution inter-annual framework for exploring hydrological drivers of large wood dynamics. *River Research and Applications*, 40, 6 : 958-975. DOI : 10.1002/rra.4242.

Hortobágyi, B., Vaudor, L., Ghaffarian, H., Piégay, H., 2024c. Inter-basin comparison of wood flux using random forest modelling and repeated wood extractions in unmonitored catchments. *Hydrological Processes*, 38, 6 : e15176. DOI : 10.1002/hyp.15176.

Jones, K. K., Anlauf-Dunn, K., Jacobsen, P. S., Strickland, M., Tennant, L., Tippery, S. E., 2014. Effectiveness of Instream Wood Treatments to Restore Stream Complexity and Winter Rearing Habitat for Juvenile Coho Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 143, 2 : 334-345. DOI : 10.1080/00028487.2013.852623.

Ruiz-Villanueva, V., Aarnink, J., Ghaffarian, H., Gibaja del Hoyo, J., Finch, B., Hortobágyi, B., Vuaridel, M., Piégay, H., 2024. Current progress in quantifying and monitoring instream large wood supply and transfer in rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 49, 1 : 256-276. DOI : 10.1002/esp.5765.

Auteurs

BORBALA HORTOBAGYI

CNRS - Laboratoire Environnement Ville Société (borbala.hortobagyi@ens-lyon.fr)

GABRIEL MELUN

OFB - Direction de la recherche et de l'appui scientifique (gabriel.melun@ofb.gouv.fr)

STÉPHANE PETIT,

Véodis-3D bureau d'études (stephane.petit@veodis-3d.com)

HERVÉ PIÉGAY

CNRS - Laboratoire Environnement Ville Société (herve.piegay@ens-lyon.fr)

Citation du document

Hortobágyi B., Melun G., Petit S., Piégay H. (2024). Dynamique des bois flottés en rivière - Éléments de synthèse des travaux de recherche 2020-2024. Note de synthèse. Office français de la biodiversité, CNRS EVS, Véodis 3D. 13 p.