

## Comment peut-on gérer le risque d'inondation lié à la présence du bois en rivière ? Quelques perspectives ligériennes en contexte intersectoriel

How can the flood risk related to the presence of wood in rivers be managed? Some perspectives from the Loire in an intersectoral context

**Borbála Hortobágyi<sup>1</sup>, Gabriel Melun<sup>2</sup>, Stéphane Braud<sup>3</sup>, Guillaume Le Roux<sup>4</sup>, Stéphane Petit<sup>5</sup>, Guillaume Piton<sup>6</sup>, Antoine Werochowski<sup>7</sup>, Virginia Ruiz-Villanueva<sup>8</sup>, Wafae Ennouini<sup>9</sup>, Elisabetta Persi<sup>9</sup>, Benoît Rossignol<sup>10</sup>, Hervé Piégay<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>CNRS UMR-5600, EVS - ENS de Lyon (borbala.hortobagyi@ens-lyon.fr), <sup>2</sup>OFB, <sup>3</sup>DREAL, <sup>4</sup>LPO-RNVA, <sup>5</sup>Véodis-3D bureau d'étude, <sup>6</sup>Univ. Grenoble Alpes, INRAE, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, 38000 Grenoble, France, <sup>7</sup>Conseil régional BFC, <sup>8</sup>Institut de géographie, Université de Berne, Suisse, <sup>9</sup>Département de génie civil et d'architecture, Université de Pavie, Italie, <sup>10</sup>Établissement public Loire

### RÉSUMÉ

Le bois flottant, issu des berges et des versants montagneux, joue un rôle écologique important en diversifiant les habitats aquatiques et en enrichissant les écosystèmes fluviaux et terrestres. Cependant, il présente des risques lorsqu'il forme des embâcles, augmentant les risques d'inondation et menaçant les infrastructures, notamment les ponts. Ces phénomènes vont probablement être exacerbés par les crues extrêmes et le dépérissement forestier lié au changement climatique. Pour gérer ces risques, il est crucial de mieux comprendre le budget ligneux, intégrant les flux, les sources, le stockage et le transport du bois. Des outils récents, comme les caméras, le suivi RFID et la modélisation statistique et hydraulique, permettent de quantifier ces processus et d'évaluer les risques d'obstruction. Des solutions comme les pièges à embâcles et une gestion de la végétation visant à maximiser son effet de piégeage du bois flottant sont testées avec succès pour protéger les infrastructures sensibles. Sur le bassin de la Loire, des expérimentations combinant recherches scientifiques et gestion opérationnelle visent à intégrer ces connaissances pour développer des stratégies conciliant sécurité et préservation écologique, tout en s'adaptant aux enjeux climatiques et hydrologiques futurs.

### ABSTRACT

Large wood, supplied to rivers from the fluvial corridor and hillslopes, plays an important ecological role by diversifying habitats and enriching river and terrestrial biodiversity. However, it may represent a risk when it accumulates into logjams, increasing the likelihood of flooding and threatening infrastructure, particularly bridges. These phenomena are likely to be exacerbated by extreme floods and forest decline associated with climate change. To manage these risks, it is crucial to better understand the wood budget, which encompasses the flux, sources, storage and transport of wood. Recent tools, such as cameras, RFID tracking and statistical and hydraulic modeling, allow for quantifying these processes and evaluating obstruction risks. Solutions such as logjam traps and forest managed to improve its floating wood natural trapping have been successfully tested to protect vulnerable infrastructure. On the Loire River catchment, experiments combining scientific research and operational management aim to integrate this knowledge to develop strategies that reconcile infrastructure safety with ecological preservation, while adapting to future climatic and hydrological challenges.

### MOTS CLÉS

bois flottant, changement climatique, diversité, recherche intégrant les acteurs, risque d'inondation  
climate change, diversity, flood risk, large wood, research integrating stakeholders

---

## 1 LE BOIS FLOTTANT, UN ÉLÉMENT CONTROVERSÉ DES COURS D'EAU

Le bois flottant, provenant des ripisylves ou des versants montagneux, est une composante essentielle des écosystèmes fluviaux. Il contribue à la diversité hydrogéomorphologique, enrichit le système fluvial en matière organique et offre des habitats pour la faune aquatique. Cependant, il peut aussi représenter un danger lorsqu'il s'accumule sous forme d'embâcles, augmentant les risques d'inondation et menaçant les infrastructures telles que les ponts et barrages.

L'érosion latérale des cours d'eau reste la principale source de production de bois flottant et l'expansion continue des forêts alluviales depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle augmente la quantité de bois disponible. Par ailleurs, le changement climatique amplifie les risques en provoquant des phénomènes extrêmes, tels que tempêtes et crues extrêmes potentiellement plus fréquentes, qui favorisent l'apport de bois flottant. À cela s'ajoutent des facteurs tels que l'abaissement des nappes phréatiques, principalement dû à l'incision des lits fluviaux, et le dépérissement des forêts, qui fragilisent souvent les peuplements les plus anciens.

Ces transformations posent des défis croissants pour la gestion des cours d'eau. La modélisation de ces phénomènes complexes est encore limitée et les observations à long terme et le partage des connaissances sont ainsi essentielles. Une meilleure compréhension du régime de production et de transport du bois flottant est cruciale pour élaborer des stratégies adaptatives conciliant la sécurité des personnes et des infrastructures et la préservation, voire la restauration, des écosystèmes fluviaux. Une démarche prospective est indispensable pour gérer efficacement le risque d'inondation lié au bois flottant, tout en conciliant sécurité, conservation des écosystèmes et adaptation aux enjeux climatiques futurs. En faisant l'analogie entre connaissance des flux d'eau et des flux de bois, ou encore entre hydraulique classique et hydraulique ligneuse, il apparaît clairement un déficit de connaissances cruciales concernant la dynamique du bois flottant. Dans la mesure où ce bois influence significativement les conditions hydrauliques et la qualité des milieux, il est nécessaire d'améliorer les connaissances au même titre que les connaissances en hydrologie ou en hydraulique. Ainsi, la gestion du risque lié aux bois nécessite un partage et une production de connaissances. Il y a urgence si l'on souhaite réduire le risque et cela nécessite une collaboration entre la sphère académique et opérationnelle afin de progresser tant en matière de connaissance que de gestion opérationnelle. La recherche doit alimenter les gestionnaires et les aider à agir rapidement, tout comme ces derniers contribuent à nourrir les réflexions et les orientations de la recherche. Cette démarche collaborative est essentielle, car elle optimise le partage des connaissances et facilite leur traduction rapide en actions concrètes.

L'objet de ce travail est de rassembler des personnes investies sur les enjeux du bois en rivière sur le bassin de la Loire afin de partager les connaissances, nourrir une stratégie collective et intégrer ces connaissances pour une meilleure gestion du risque d'inondation associé au bois en rivière. Les acteurs impliqués sont : (i) des scientifiques du bassin de la Loire, mais également d'autres bassins ; (ii) des gestionnaires de la Loire et de l'Allier à une échelle locale, comme des conservateurs de réserves naturelles et les propriétaires d'ouvrages (pont, barrage) et (iii) des gestionnaires chargés de mettre en œuvre une gestion intégrant les enjeux socio-économiques et écologiques des cours d'eau domaniaux à des échelles départementales ou supra départementales.

## 2 COMMENT PEUT-ON PROGRESSER DANS LA GESTION DU BOIS ?

L'objectif est d'adopter une approche globale pour évaluer les risques en intégrant l'analyse de l'aléa, de la vulnérabilité et des solutions potentielles.

Dans ce cadre, les scientifiques peuvent étudier l'ensemble des compartiments du budget ligneux afin de mesurer l'aléa : son entrée dans l'hydrosystème, son transport, son stockage temporaire ou permanent, et enfin, sa vitesse de dégradation. Ils peuvent aussi proposer des démarches de modélisation et de suivi du bois pour évaluer les risques d'obstruction et les distances de transport dans le système. De leur côté, les acteurs, grâce à leur expertise de terrain, leur connaissance des contextes locaux et leur retour d'expérience, jouent un rôle clé en apportant des données concrètes, en identifiant des besoins spécifiques et en testant des solutions *in situ*.

Nous allons présenter ici des méthodes de mesures et les illustrer avec nos premiers résultats. Les chercheurs, en développant des outils, des analyses et des méthodes d'évaluation, fournissent des éléments essentiels pour comprendre les dynamiques du bois et les risques associés.

## 2.1 Connaître le flux de bois

Le flux de bois, analogue au débit des rivières, est encore très peu étudié. Cela est particulièrement évident lorsqu'on compare le nombre de stations de mesure : moins de 10 en France et 4 en Suisse, la plupart installées il y a moins de trois ans, contre un réseau hydrologique couvrant l'ensemble du territoire. Comment alors prédire les volumes de bois à gérer lors des crues exceptionnelles, par exemple pour un stockage temporaire à l'amont d'un ouvrage sensible ? Une solution actuelle est d'installer des caméras, à l'image des stations hydrologiques, pour mieux comprendre la géographie de l'hydrologie ligneuse et quantifier les flux ligneux selon les tronçons de rivière et les bassins versants (Figure 1A, B) pour des crues de différentes fréquences et intensités.

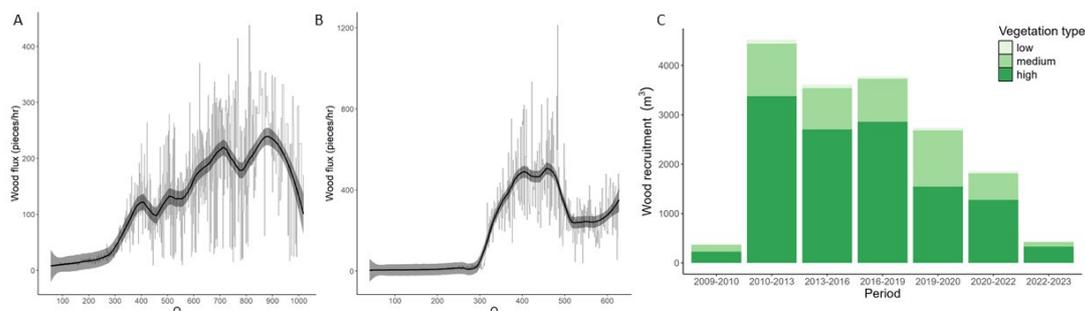


Figure 1. Le flux de bois sur l'Ain (A) et sur l'Allier (B) en fonction du débit. Résultats issus des quantifications de flux par caméra et par des prédictions d'un modèle statistique (Hortobágyi et al., 2024b) ; (C) Les volumes de bois apportés par érosion latérale sur un tronçon de 25 km dans le Val d'Allier.

## 2.2 Identifier les sources d'approvisionnement en bois

Le rythme d'entrée du bois est une variable clé influençant le flux global. Il est principalement recruté par des processus tels que l'érosion des berges, particulièrement dans les rivières de plaine. La question qui se pose est de connaître la quantité de bois qui peut être potentiellement produite par un linéaire ripicole. Cependant, prédire avec précision cet approvisionnement reste extrêmement complexe en raison de la grande variabilité spatiale et temporelle de ces phénomènes. L'analyse des images aériennes de la rivière Allier met en évidence cette variation significative du recrutement en bois d'une période à l'autre (Figure 1C).

Les barrages non-transparents au bois offrent aussi une opportunité pour estimer la production d'un bassin versant en fonction des événements hydrologiques lorsque les volumes de bois sont quantifiés lors de leur extraction par les gestionnaires de l'ouvrage. Le bassin du Rhône avec le barrage de Génissiat a été utilisé pour tester notre modèle de prédiction de flux (Hortobágyi et al., 2024b). Le barrage de Villerest sur la Loire est un autre exemple de barrage non-transparent au bois où des extractions sont régulièrement effectuées et les données d'extraction sont encore à analyser.

## 2.3 Évaluer la dynamique spatio-temporelle du stock

Les images aériennes sont également utilisées pour suivre l'évolution des stocks de bois déposés sur les bancs et dans le chenal. En localisant précisément les pièces de bois sur des images aéroportées ou satellitaires, puis en procédant à une analyse spatiale, il devient possible d'identifier les conditions hydrologiques qui favorisent soit la remobilisation, soit la stabilisation du bois, ainsi que les processus impliqués dans la formation ou la disparition des embâcles (Hortobágyi et al., 2024a). Cette approche, en suivant individuellement chaque pièce de bois, permet non seulement d'estimer son temps de résidence dans le système fluvial, mais aussi d'identifier les caractéristiques géomorphologiques des bancs influençant leur capacité à stocker le bois et comprendre les processus de fragmentation physique des pièces de bois (Figure 2).

## 2.4 Evaluer les distances de transport et les secteurs sensibles à l'obstruction

Après leur entrée dans le cours d'eau, les pièces de bois sont transportées sur des distances variables. Pour identifier les zones de production, les secteurs préférentiels de dépôt et la probabilité de déplacements, il est nécessaire de mesurer la mobilité des pièces, par exemple à l'aide de transpondeurs (puces) RFID. Dans le Val d'Allier, lors d'une crue proche de Q5, 24 % des pièces de bois restent stables, tandis que celles en mouvement (et retrouvées) parcourent une distance moyenne d'environ 15 km. Dans le cadre d'un travail de co-construction avec des ingénieurs, ces données sont utilisées pour approfondir nos connaissances en hydraulique ligneuse, avec pour objectif principal de modéliser le déplacement du bois afin d'améliorer notre capacité à identifier et anticiper les risques liés à son transport.

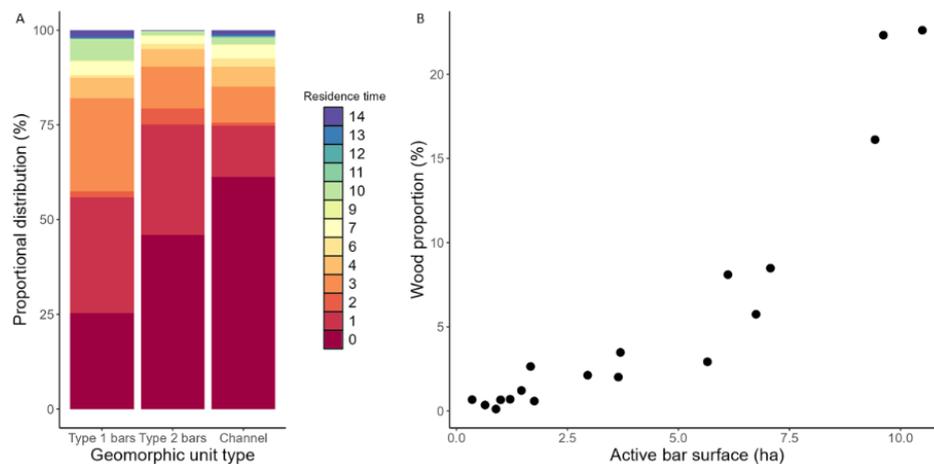


Figure 2. (A) Temps de résidence des pièces de bois sur les bancs (en années), en fonction de leur morphologie (types 1 : forte sinuosité et grande surface active ; type 2 : faible sinuosité et surface active) ou dans le chenal. (B) Répartition proportionnelle du bois sur les bancs en fonction de leur superficie active (surface non végétalisée).

En confrontant ces différents éléments (flux, apport, stock et transport), il est possible de mieux comprendre le budget ligneux. Cela permet non seulement d'identifier les zones de production, mais aussi d'évaluer la part de cette production dans le flux global.

Les gestionnaires d'ouvrages peuvent repérer les structures sensibles à l'obstruction en s'appuyant sur un retour d'expérience terrain, fournissant des données précieuses telles que la quantité de bois accumulée, la partie et la proportion de la section obstruée selon les fréquences de crue. Une autre méthode consiste à analyser les ponts en étudiant la largeur des arches et la position du tablier par rapport aux crues simulées à l'aide de modèles hydrauliques. Cette approche a été appliquée à la Loire moyenne où 26 ponts sensibles ont été identifiés.

## 2.5 Intégrer les connaissances et tester des solutions

Lorsque l'adaptation ou la suppression des obstacles hydrauliques, tels que les ponts et barrages qui ne sont pas dimensionnés ou conçus pour gérer les flux de bois flottant, n'est pas possible, des aménagements peuvent être installés pour piéger le bois flottant en amont de ces obstacles (Benaksas et Piton, 2023). Un exemple remarquable de piège à embâcles a été réalisé sur la rivière Sihl, en amont de Zurich, avec l'installation de pieux placés en aval d'un méandre dont la terrasse alluviale située à l'extrados a été terrassée pour être inondée par les crues. Ces pieux filtrent le courant de retour de la rivière, permettant de piéger et stocker le bois sur place. Des solutions plus douces, fondées sur la nature, sont également appliquées, comme dans le bassin de l'Aude, où des arbres de grande taille jouent le rôle de peignes naturels. Le gestionnaire du cours d'eau met d'ailleurs en place un entretien de la végétation visant dans certains endroits propices (chenaux secondaire situé en extrados de méandre) à maximiser le piégeage de bois flottant dans la ripisylve (Benaksas et Piton, 2023). Inspirée de ces approches, la DREAL a mis en place un site expérimental sur la Loire moyenne, à La Chaussée-Saint-Victor, en amont d'un pont sensible à ce risque.

## BIBLIOGRAPHIE

- Benaksas, S., Piton, G., 2023. Action Embâcle : sources, risques et mesures associés. Outils et recommandations. Rapport final de la Tâche 4: Retour d'expérience sur les pièges à bois flottant (report). IGE – Institut des Géosciences de l'Environnement.
- Hortobágyi, B., Petit, S., Marteau, B., Melun, G., Piégay, H., 2024a. A high-resolution inter-annual framework for exploring hydrological drivers of large wood dynamics. *River Res. Appl.* 40, 958–975. <https://doi.org/10.1002/rra.4242>
- Hortobágyi, B., Vaudor, L., Ghaffarian, H., Piégay, H., 2024b. Inter-basin comparison of wood flux using random forest modelling and repeated wood extractions in unmonitored catchments. *Hydrol. Process.* 38, e15176. <https://doi.org/10.1002/hyp.15176>