

Le CNRS et ses laboratoires sont des acteurs et animateurs de premier plan dans tous les travaux de recherche sur et autour de l'eau. En Centre Limousin Poitou Charente, plusieurs laboratoires sont investis dans cette thématique extrêmement importante en cette ère de changements climatiques et d'évolution de nos environnements. Microscop lance, à partir de ce numéro, une série d'articles où l'eau, sous toutes ses formes, est au cœur des sciences humaines, de la physique, de la chimie, de l'ingénierie, de l'environnement.

Écouter les cours d'eau pour comprendre leur dynamique



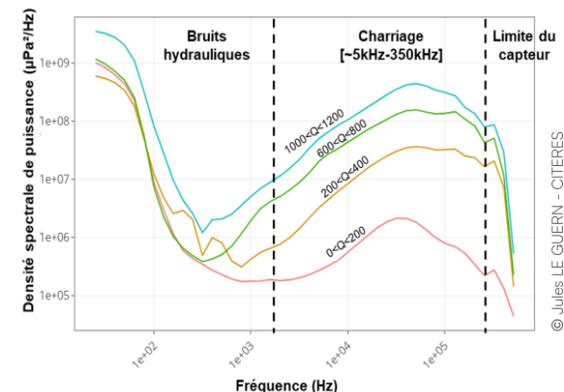
Barges pour le déploiement de la chaîne de mesure du transport solide sur les grands cours d'eau.

Les cours d'eau constituent des agents géologiques majeurs largement impliqués dans l'évolution des continents. En plus des eaux de ruissellement qu'ils collectent sur leur bassin versant, ils transportent les produits de l'altération chimique (sous forme dissoute) et de la désagrégation physique des continents que l'on nomme charge sédimentaire solide.

Dans cette dernière, la charge sédimentaire dite de fond (*bedload*) concerne les sédiments transportés par charriage, roulement ou traction additionnés aux sédiments en contact épisodique avec le fond (saltation). La taille, la nature et la quantité de charge sédimentaire de fond véhiculée par un cours d'eau reflète une partie de l'apport sédimentaire qui lui est délivré. Elle influence la dynamique du cours d'eau au même titre que les grandeurs hydrauliques et morphologiques telles que le débit liquide, la pente et le ratio largeur/profondeur.

L'érosion, le transport et le dépôt des sédiments conditionnent l'évolution morphologique des chenaux, de la plaine d'inondation et celle des vallées qu'ils sculptent au cours du temps. À des échelles temporelles plus courtes, ces processus régissent en grande partie la dynamique écologique et biogéomorpho-

logique de ces environnements souvent reconnus comme des *hotspots* de biodiversité. Par exemple, la dynamique des barres sédimentaires ("bancs de sables") présents dans les chenaux rend possible le renouvellement d'espèces pionnières comme les saules et les peupliers.



Spectres acoustiques de la Loire à Gien montrant l'augmentation de l'intensité sonore mesurée entre 5 kHz et 350 kHz avec le débit du fleuve (noté Q). Ceci traduit l'augmentation du flux solide de fond depuis les faibles débits vers les forts débits.



Échantillonneur de charge de fond (BTMA - *Bedload Transport Meter Arnhem*) en position de mesure dans le chenal principal de la Loire.

Parmi les sédiments transportés, le sable constitue la troisième ressource naturelle exploitée par les sociétés humaines à l'échelle mondiale. L'utilisation raisonnée de cette ressource constitue un défi de durabilité globale impliquant la bonne gestion du continuum terre-mer. Les modalités du transport du sable au sein des systèmes fluviaux constituent un sujet scientifique ne serait-ce qu'au niveau des flux de matières globaux vers les bassins océaniques. Le transport du sable par les fleuves contribue à édifier des habitats, des paysages et des puits de carbone au sein des vallées. La perturbation de sa dynamique par les sociétés humaines est également source de risques tels que les inondations, l'érosion des côtes, l'instabilité des infrastructures comme les ponts, les digues,....

"la puissance acoustique produite par la collision des particules sédimentaires"

LE SABLE, UNE RESSOURCE À QUANTIFIER

Pour toutes ces raisons, une quantification optimisée des sédiments sableux transportés en charge de fond est nécessaire pour assurer une meilleure gestion/restauration des systèmes fluviaux. En 2024, ce point demeure un verrou scientifique et technique pour la communauté internationale, spécifiquement pour les grands cours d'eau. La quantification y est rendue délicate du fait du gabarit des chenaux (largeur évoluant entre plusieurs centaines de mètres et plusieurs kilomètres), de la grande variabilité des profondeurs et de la présence de formes du lit (dunes et barres sédimentaires par exemple). Dans les grands systèmes fluviaux, la quantification de la charge de fond des cours d'eau est classiquement abordée par des méthodes directes faisant appel à la mesure des flux par échantillonneurs ou par le suivi de la migration des formes sédimentaires (*dune-tracking*). Des méthodes indirectes reposant sur les suivis bathymétriques* à haute fréquence et l'emploi de formulations empiriques ou semi-empiriques permettant d'estimer une capacité de transport sédimentaire sont également largement utilisées. Cependant, l'ensemble de ces méthodes souffre d'imprécisions et pour certaines d'entre elles de difficultés de déploiement.

UNE MESURE PAR HYDROPHONE

L'essor récent des outils acoustiques permet l'optimisation de la quantification de la charge de fond des cours d'eau. Parmi ces méthodes innovantes, l'acoustique passive mesure la puis-

sance acoustique produite par la collision des particules sédimentaires lors de leur déplacement sur le fond. La puissance acoustique du charriage est principalement fonction du nombre d'impacts entre particules mais d'autres paramètres tels que la forme des particules et leur vitesse d'impact influencent le signal acoustique mesuré par les hydrophones. Des paramètres environnementaux, comme la turbulence des écoulements ou la concentration en matières en suspension, régissent également la propagation du son dans les rivières et modifient le signal acoustique. La fréquence des sons associés aux chocs des particules est quant à elle inversement proportionnelle à la taille des sédiments ; ainsi la majorité du signal acoustique produit par les sables s'exprime dans le domaine des ultrasons. L'hydrophone, récemment employé pour l'analyse du charriage de rivières de montagne à forte pente et à granularité grossière, montre de fortes potentialités sur les grands systèmes fluviaux de plaine. Une loi de calibration combinant des mesures par échantillonneurs et hydrophone sur la Loire permet de convertir la puissance acoustique mesurée par un hydrophone en taux de charriage unitaires. Cette loi rejoint une loi de calibration globale et alimente des courbes de tarage solide du charriage pour différentes stations sur le bassin de la Loire et sur celui du Paraná en Argentine.

DES MILLIERS DE TONNES CHARRIÉES ANNUELLEMENT

Les résultats préliminaires apportent une première quantification du flux solide de fond sur le bassin de la Loire et de ses principaux affluents**. En amont du Bec d'Allier, la Loire et l'Allier contribuent à ce flux à hauteur de 32 000 et 80 000 t/an, respectivement. Au niveau de Gien dans le Loiret, 115 000 t/an de sédiments de fond sont charriés par la Loire et 255 000 t/an à St Mathurin-sur-Loire dans le Maine-et-Loire, en aval du Bec de Vienne. La Vienne, à Rivière en Indre-et-Loire et le Cher à Villandry dans le même département, transportent entre 5000 et 6000 t/an. Ces premières estimations seront affinées d'ici la fin du projet de recherche qui s'y consacre. L'hydrophone est également utilisé pour mieux comprendre les dynamiques des barres sédimentaires et des dunes rythmées par l'hydrologie sur la Loire et le Rio Paraná (en collaboration avec le laboratoire FICH de l'Universidad Nacional del Litoral de Santa Fé, Argentine).

En plus des résultats fondamentaux novateurs sur la morphodynamique des grands systèmes fluviaux à charge sablo-graveleuse, les travaux développés par le laboratoire CItés, TERritoires, Environnement et Sociétés (CITERES — UMR 7324 CNRS/Université de Tours) et le CETU Elmis de l'Université de Tours participent à la hiérarchisation et au dimensionnement des travaux de restauration en cours sur le lit de la Loire entre Nevers et Nantes.

Stéphane RODRIGUES - CITERES
srodrigues@univ-tours.fr

Jules LE GUERN - CITERES
leguern@univ-tours.fr

Alex ANDRÉAULT - CITERES
alex.andreault@univ-tours.fr

Philippe JUGÉ - CETU ELMIS INGÉNIERIES
juge@univ-tours.fr

<https://citeres.univ-tours.fr/>

* techniques de mesure des profondeurs et des reliefs des cours d'eau ou des océans pour en déterminer la topographie

** projet SSESAR, financement Région Centre Val de Loire