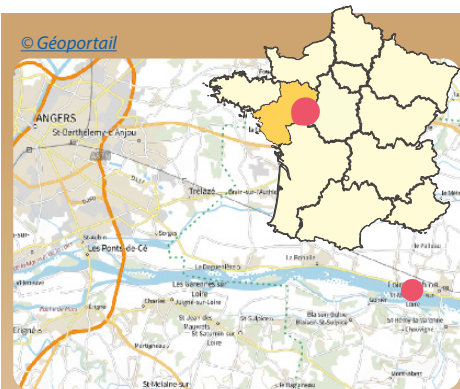




LE PROGRAMME DE RECHERCHE R-TEMUS Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'Usages en basse Loire



© Géoportail



Que dire du projet ?

Ce projet est le fruit d'une rencontre entre un gestionnaire de voie d'eau se posant des questions très opérationnelles de suivi, de quantification, de dimensionnement de son projet..., et le monde de la recherche disposant de stratégies de connaissance susceptibles de répondre à certaines questions pratiques ainsi qu'à des questions plus fondamentales sur le transport sédimentaire. De cette rencontre est née ce magnifique projet R-TEMUS qui s'inscrit dans le cadre d'une implication historique de l'Université de Tours auprès des acteurs de la Basse Loire. Que les enseignements de R-TEMUS contribuent pour de longues années à une meilleure compréhension des effets des opérations engagées dans le Contrat pour la Loire et ses Annexes.

Régis LE QUILLEC, Agence de l'eau Loire Bretagne

DATES DE RÉALISATION

2016-2020

LOCALISATION

Tronçon Monsoreau-Nantes et site de Saint-Mathurin-sur-Loire

TYPE DE MILIEU

Cours d'eau

TYPE D'OPÉRATION

Connaissance

ENJEUX

Connaissance des espèces patrimoniales

Acquisition de connaissances

BUDGET

1,2 M €

STRUCTURES IMPLIQUÉES



Structure : UMR CNRS 7324 CITERES - Polytech Tours - Cetu Elmis Ingénieries.

33-35 allée Ferdinand de Lesseps
37200 TOURS

Site web : <http://citeres.univ-tours.fr/>

L'objectif scientifique de l'UMR CNRS 7324 CITERES (équipe DATE) concerne l'analyse des **dynamiques territoriales et environnementales en lien avec les sociétés.**

Parmi ses activités, l'UMR CITERES développe, sur le bassin de la Loire, une **recherche interdisciplinaire** basée sur les géosciences et l'écologie d'eau douce. Ces recherches visent la compréhension des dynamiques biotiques et abiotiques du fleuve ainsi que sa restauration. Elles s'appuient sur le savoir-faire technique du CETU Elmis Ingénieries, spécialisé dans la mesure environnementale embarquée et de l'EA GéHCo pour l'analyse granulométrique des sédiments (Université de Tours).

Le programme R-TEMUS est porté par l'UMR CITERES avec la collaboration des structures locales impliquées dans la gestion du lit de la Loire via le Contrat pour la Loire et ses annexes (VNF, GIPLE, CEN44) dans le cadre du plan Loire grandeur nature IV.

Fiche rédigée avec le soutien de :



Dans le cadre du :



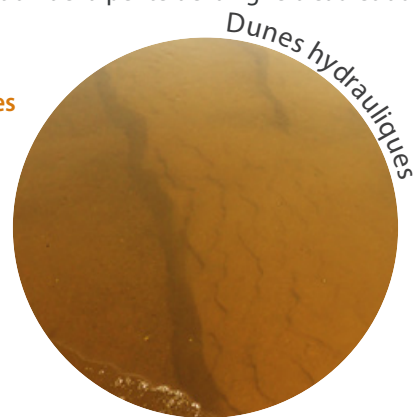


TERRITOIRE D' ACTIONS

Le système ligérien a été soumis à de nombreuses **pressions anthropiques**. Le tronçon entre Montsoreau et Nantes a été victime d'une sévère **incision** au cours des dernières décennies et décision a été prise de mener plusieurs actions afin d'enrayer ce processus et de restaurer les **continuités écologiques et sédimentaires**. Entre 2015 et 2020, le « Contrat pour la Loire et ses Annexes » (CLA) conclu entre l'État, l'agence de l'eau Loire Bretagne, la Région Pays de la Loire, Voies navigables de France, le Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire et le Conservatoire d'espaces naturels des Pays de la Loire, a été établi pour réaliser des travaux de **rééquilibrage du lit** du fleuve et améliorer les fonctionnalités écologiques de ses milieux.

Les travaux prévus dans le Contrat pour la Loire et ses Annexes visent :

- un **rééquilibrage longitudinal** du fleuve (réduction de la pente de la ligne d'eau et du fond) ;
- un **rééquilibrage latéral** du lit mineur ;
- une amélioration de la **connectivité des annexes hydrauliques et des bras secondaires** en fonction des débits de la Loire ;
- une amélioration du fonctionnement actuel des annexes par des **travaux de restauration**, suivis d'éventuels travaux d'entretien.



Dunes et rides de courants superposées

123 Chiffres clés

310 000t/an d'apport sédimentaire en charriage

15 annexes étudiées

+ de 150 campagnes de mesures

20 ans d'analyse de la dynamique temporelle des annexes

LE PROGRAMME DE RECHERCHE

Le programme de recherche « **Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'Usages en basse Loire** » (R-TEMUS, phases I et II), porté par l'UMR CNRS CITERES de l'Université de Tours, accompagne le CLA depuis 2016 dans l'objectif d'**acquérir les connaissances** mobilisables pour une meilleure compréhension et gestion du lit du fleuve, en termes de flux solides, d'écologie aquatique et d'usages. Le programme R-TEMUS a été mené en deux phases. La phase I (2016-2017) a permis l'adaptation et la mise en œuvre d'une méthode d'**évaluation de la qualité morphologique** globale sur le tronçon Montsoreau-Nantes ainsi qu'une première quantification des flux solides de fond. Du point de vue écologique, elle a également rendu possible l'établissement d'une **typologie écohydrologique des annexes hydrauliques** et une étude sur les **bioindicateurs** que constituent les Gomphes. Enfin, cette première phase a exploré la **réception sociale**, les **usages** et **jeux d'acteurs** autour de la Loire dans le cadre des programmes de restauration.

La phase II (2017-2021) s'est focalisée sur les thématiques du **transport solide** et de la morphodynamique du lit (thèse J. Le Guern, 2021) et de l'écologie des chenaux latéraux (thèse C. Gaudichet, en cours).

Mots clés

Dynamique sédimentaire
 Restauration lit
 Ecologie
 Pluridisciplinaire
 Science fondamentale et appliquée

La **quantification des flux de charge de fond** demeure un **verrou** à la compréhension du fonctionnement physique et biologique du fleuve Loire. Ce défaut de connaissances **entrave la connaissance des processus d'ajustements morphologiques** du lit et limite fortement la mise en place des actions opérationnelles visant à lutter contre la dégradation généralisée du lit du fleuve.

Le volet abiotique de la phase II de R-TEMUS visait i) La **quantification** de l'apport solide de fond délivré par le fleuve à l'amont de l'estuaire, ii) L'élaboration d'une **méthodologie de mesure des flux solides** basée sur des **technologies acoustiques innovantes** transposable à d'autres secteurs de Loire et de ses affluents, iii) la compréhension de la **dynamique des barres sédimentaires** de la Loire (chainon majeur de la dynamique sédimentaire et écologique du fleuve).

Les **annexes hydrauliques** sont des écosystèmes périodiquement **reliés** au chenal principal lors des hautes eaux. Dans la plupart des cas, l'annexe hydraulique, depuis sa déconnexion du chenal principal par l'apparition d'un « **bouchon** » alluvial, va connaître une évolution progressive passant par les **étapes** « milieu aquatique à dominance eau courante » -> « milieu aquatique à dominance eau stagnante » -> « milieu aquatique périodique » pour enfin arriver au stade « milieu terrestre ». Cette « **terrestrialisation** » dépend de **nombreux facteurs**, dont les caractéristiques morphologiques de l'annexe, les fréquences et durées des connexions avec la Loire, le type de végétation qui s'y installe et la quantité de nutriments disponibles. Le volet biotique de la phase II de R-TEMUS concerne l'étude des **banques de graines**, des **communautés végétales** et des **dynamiques de végétalisation** des annexes hydrauliques ainsi que leur relation avec les **gradients de connectivité** et **perturbations** propres à ces environnements.

Le programme R-TEMUS s'inscrit dans le site Loire aval de la **Plateforme Grands Cours d'Eau de la Zone Atelier Loire** (ZAL) et s'intègre pleinement dans la stratégie du plan Loire IV 2014-2020 en répondant à de nombreux objectifs spécifiques et notamment au besoin de **développer des connaissances** sur l'hydromorphologie, le transport solide et la dynamique écologique du fleuve.



Quels objectifs ?

1

- Quantifier de la charge solide véhiculée par la Loire en amont de l'estuaire à partir de l'étude des formes du lit et de l'analyse des flux de matière (mesures réalisées sur la Loire dans le secteur de St Mathurin-sur-Loire et sur la Maine dans le secteur d'Angers). Cette donnée est d'intérêt majeur pour le programme de rééquilibrage du lit dont la maîtrise d'ouvrage est confiée à VNF (Axe 1, abiotique, R-TEMUS I & II)
- Analyser les modalités et conditions de succession végétale dans les annexes hydrauliques plus ou moins déconnectées (Axe 2, biotique, R-TEMUS I & II)
- Mener une pré-étude des macroinvertébrés-gomphidés et de leur utilisation potentielle en tant que bioindicateurs (Axe 2, biotique – R-TEMUS I)
- Mener une pré-étude de la réception socio-territoriale des opérations de restauration (Axe 3, société – R-TEMUS I)

3

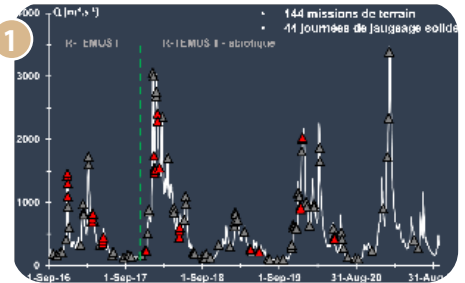
ACTIONS MISES EN OEUVRE

Axe 1 - ABIOTIQUE :

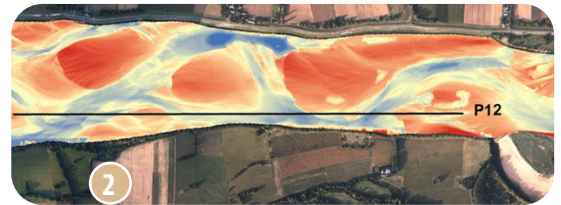
En vue de répondre aux questions scientifiques, la dynamique sédimentaire de la Loire dans le secteur de St Mathurin sur Loire a été analysée selon **différentes échelles spatiales** (tronçon de 10 km – échelle de la barre sédimentaire) et en fonction du **rythme hydrologique** du fleuve. **1**

D'un point de vue morphodynamique et sédimentaire, des **mesures topo-bathymétriques** (classiques et LiDAR topo-bathymétrique), de **transport solide** (échantillonneurs isocinétiques vs. Hydrophone et aDcp), de **chaînes d'érosion**, de **granulométrie** et de **géoradar** ont permis d'analyser la dynamique des flux et des formes du lit. Plus spécifiquement, l'emploi de **l'hydrophone** a permis d'enregistrer les sons subaquatiques, en particulier ceux associés aux particules charriées sur le fond qui s'entrechoquent lors de leur déplacement. La **fréquence sonore** engendrée dépend de la **taille** des particules, de **l'intensité du transport** (vitesse d'impact) et de la **distance** à la source d'émission. **2**

D'un point de vue hydraulique, la **contrainte** s'exerçant sur les sédiments a été estimée en utilisant un **profileur à effet Doppler** (acoustic Doppler current profiler, ou aDcp). Cet appareil d'acoustique active mesure le **décalage de fréquence** de l'onde sonore émise par la sonde et celle réfléchi par les sédiments en suspension et les microbulles de la colonne d'eau afin d'en déduire sa vitesse. LaDcp permet également une **estimation de la vitesse** apparente des sédiments transportés sur le fond. **3**



Pression d'échantillonnage



LiDAR topo-bathymétrique



Chaîne de mesure

Axe 2 - BIOTIQUE :

Boire Chapoin



Le volet relatif à **l'écologie des chenaux latéraux** (annexes hydrauliques) vise à mieux comprendre les relations entre le fonctionnement hydrosédimentaire et les **dynamiques de végétation** (végétation établie et banques de graines) dans les chenaux latéraux. Il s'articule autour de trois axes le : rôle de la **connectivité** sur (i) la **qualité physico-chimique** du milieu, (ii) la **végétation établie**, et (iii) la **banque de graines**.

Pour cet axe, les actions mises en œuvre ont consisté à analyser des conditions de vitesses de succession végétale dans les annexes via :

- La mise au point d'une **typologie** des annexes hydrauliques basée sur leurs caractéristiques morphologiques et leur proximité au chenal

actif de la Loire ;

- Une **étude détaillée de 15 annexes** représentatives situées entre Montsoreau et Nantes, correspondant à 3 niveaux de connexions au chenal principal :

- Une analyse de la **dynamique temporelle** des annexes et de leurs abords sur une période de **20 ans** (1983 – 2002) ;

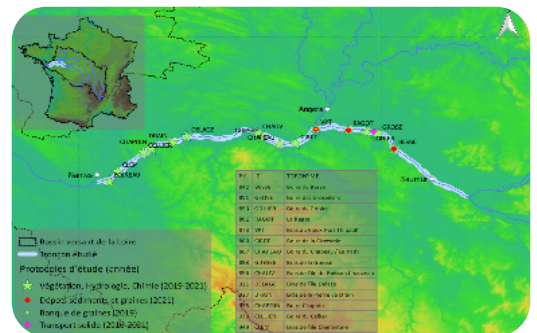
- Un **suivi mensuel** de la **physico-chimie de l'eau** ;

- Une caractérisation de la **végétation** d'un point de vue taxonomique, fonctionnel, patrimonial ;

- La recherche des facteurs environnementaux les plus structurants pour la végétation : **inondabilité, qualité des sédiments, intensité lumineuse...** ;

- Une étude des apports en **sédiments** et en **propagules** végétales lors des périodes de connexions.

- En complément, les relations entre **banque de graines** du sol et végétation en place ont été étudiées en détail pour une annexe jugée représentative de la configuration morphologique et écologique de la Loire aval.

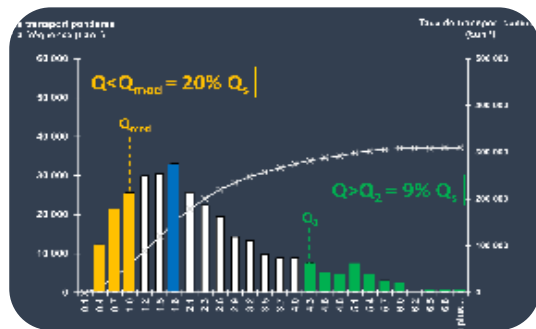


Localisation des annexes étudiées dans le programme R-TEMUS

RÉSULTATS

Axe 1 - ABIOTIQUE :

-Ce travail a permis de mettre en évidence qu'il est illusoire de quantifier le transport solide de fond sans porter attention à la **dynamique des formes du lit**. Les flux solides sont clairement affectés par la présence des **barres sédimentaires** et des **dunes superposées**.



1

Flux solides de fond sur la Loire

L'apport solide dans un secteur comportant des barres sédimentaires n'est pas nécessairement conditionné par des crues de forte intensité. La **forte mobilité** des sédiments des rivières sablo-graveleuses pour de **faibles niveaux de contrainte**, associée aux **changements de géométrie** du chenal qui s'opère lors de la diminution du débit, impliquent un **transit sédimentaire** non négligeable même lors des périodes de basses eaux. Le processus décrit ici pourrait constituer un **levier intéressant** pour la **restauration écologique** des grands cours d'eau soumis à la végétalisation ; les barres sédimentaires étant considérées comme un maillon essentiel dans la dynamique des communautés pionnières et des successions végétales. Les résultats de l'étude ont montré que, dans un système fluvial sablo-graveleux comme la Loire, les **barres** constituaient non seulement une réponse à une géométrie de chenal et à son fonctionnement hydro-sédimentaire mais également un élément « **moteur** » de la dynamique fluviale.

Du point de vue des flux en amont de l'estuaire, la Loire délivre un **apport sédimentaire de fond d'environ 310 000 t/an** ¹ Du fait, entre autres, de la taille modeste des sédiments, le débit de fond efficace (débit transportant le plus de sédiments de fond pour une année donnée) ne correspond pas aux débits de crues mais à un débit égal à 1,6 fois le module (ou débit moyen interannuel). Les débits inférieurs au module sont responsables de 20 % des flux de sédiments transportés sur le fond alors que les débits de crue (supérieur à la fréquence de retour 2 ans) ne sont impliqués que dans le transport de 9 % de la charge de fond du fleuve.

Dans le contexte du changement climatique et de l'allongement de la durée des basses eaux qui lui sera associé, il est à prévoir une **modification des flux sédimentaires de fond** dans les années à venir. La diminution globale des débits devrait entraîner une **redistribution de la fréquence de ces derniers** et donc une potentielle **diminution du débit efficace** et des taux de transport annuels en un point donné. Ceci devrait conduire à favoriser des chenaux avec une morphologie plus **complexe** due à l'augmentation de la fréquence des bas débits. Les fortes incertitudes sur la modélisation des débits de crue ne permettent pas de tirer des enseignements quant à l'influence des crues futures sur la morphologie des chenaux, mais constituent une voie à explorer.

Axe 2 - BIOTIQUE :

Les premiers résultats soulignent l'action structurante du **gradient de connectivité** sur la composition spécifique de la végétation établie et de la banque de graines à l'échelle des chenaux latéraux. L'étude de la dynamique de végétation de différents chenaux permettront d'**identifier et quantifier les facteurs guidant la terrestrialisation** et qui sont **favorables aux invasions biologiques**.

Les résultats pour les annexes sont partiels pour l'instant, l'exploitation des données est en cours. Les résultats concernant la typologie des annexes hydrauliques montrent que les annexes de la Loire aval sont extrêmement **variées** de par leur morphologie globale et leur éloignement du chenal principal. **Cinq grands types** ont pu être identifiés. L'étude du fonctionnement écologique s'est concentrée sur les annexes de type 4 : « Annexes moyennement proches à proches de la Loire et/ou d'un autre chenal, à largeur, longueur et sinuosité intermédiaire ».



Barres sédimentaires en configuration alterne

Ce type d'annexe correspond à un « ancien chenal fluvial type » pour lequel des projets de restauration peuvent être mis en œuvre;

VALORISATION DU PROJET

Sélection de publications :

[GAUDICHET C., GREULICH, S., GRELLIER, S. RODRIGUES, S. \(2022\). Effect of flooding gradient on soil seedbank and standing vegetation in a disconnecting side channel of the Loire River \(France\). Hydrobiologia](#)

[LE GUERN J., RODRIGUES S., GEAY, T., ZANKER S., HAUET, A., TASSI P., CLAUDE N., JUGE P., DUPERRAY A., VERVYNCK L. \(2021\). Relevance of acoustic methods to quantify bedload transport and bedform dynamics in a large sandy-gravel bed river. Earth Surface Dynamics, 9, 423-444](#)

BERTON J.P., RODRIGUES S. 2020. Vingt cinq ans de restauration du lit de la Loire : entre visions hydraulicienne, morphodynamique et écologique in "Paysages culturels du val de Loire", dir. B. Marmioli et R. Deleplancque, Editions 303, p. 147 – 154.

Autre :

[Vidéo pour la fête de la science](#)

[Site web du FEDER Loire](#)

BILAN ET PERSPECTIVES

Le volet « transport solide » s'avère **riche en enseignements** sur le **fonctionnement sédimentaire** du fleuve. Les processus de mobilisation des sédiments du lit ont été analysés à l'aide de **techniques innovantes** permettant d'explorer finement le fonctionnement de ce compartiment très mal connu de l'hydrosystème Loire. La dynamique de genèse, de migration et de destruction des barres sédimentaires ainsi que les interactions d'échelles (barres - dunes) sont maintenant **mieux comprises et quantifiées**. L'impact de ces processus sur les flux solides en amont de l'estuaire a été apprécié à l'aide de **techniques acoustiques passives et actives** (hydrophone, aDcp) qui remplaceront avantageusement les mesures chronophages et coûteuses des flux solides réalisées, par le passé, avec des échantillonneurs sur les grands cours d'eau. La **méthodologie** proposée est **transposable** à d'autres secteurs de Loire, à certains de ses affluents et à d'autres cours d'eau de grande taille. Le volet « Ecologie des chenaux latéraux » fournira des enseignements précieux pour la **restauration des annexes hydrauliques**, qui sont des milieux encore peu étudiés sur la Loire d'un point de vue écologique. Les données issues de R-TEMUS devraient notamment aider à **calibrer les fréquences de connexion** lors d'opérations de restauration pour favoriser à la fois la **biodiversité** et le **fonctionnement hydraulique et sédimentaire de ces milieux**.

Les travaux relatifs à ces deux thèses, ainsi que ceux finalisés lors de la phase 1, participent à une meilleure compréhension du fonctionnement de la Loire entre Montsoreau et Nantes et permettront d'éclairer les voies de gestion/restauration sur la **continuité sédimentaire**, la morphodynamique et l'écologie du fleuve en parallèle des opérations initiées dans le cadre du Contrat pour la Loire et ses Annexes.

PARTENAIRES ET FINANCEURS

Partenaires :



Financeurs :



Savoir



Cette fiche a été rédigée par le Centre de Ressources Loire nature en partenariat avec l'UMR CITERES :

Contacts :

Stéphane RODRIGUES
srodrigues@univ-tours.fr

Sabine GREULICH
greulich@univ-tours.fr

Voir les autres fiches retours d'expériences en ligne sur le Centre de Ressources Loire nature :



<http://www.centrederesources-loirenature.com/fr/retours-d-experience>