

Impact de la navigation fluviale sur l'Environnement

Impact of Inland Navigation on the Environment

CALLUAUD Damien^{(1)(✉)}, KAIDI Sami⁽²⁾, BRANCHERIE Delphine⁽³⁾, WEINGERTNER Franck⁽⁴⁾, BELLANGER Romain⁽¹⁾, BERNARD Anthony⁽¹⁾, BOUCHER Olivier⁽²⁾, CHATELLIER Ludovic⁽¹⁾, DOUCHIN Antoine⁽²⁾, DUPUIS Laurent⁽¹⁾, GOMIT Guillaume⁽¹⁾, JARNY Sébastien⁽¹⁾, KERGRENE Kenan⁽³⁾, LEFRANCOIS Emmanuel⁽³⁾, MAUBANT Clément⁽¹⁾, OUCHENE Rafik⁽¹⁾, PINEAU Gerard⁽¹⁾, ROUSSEAU Jean-Carl⁽¹⁾, SALINESI Yves⁽¹⁾, SMAOUI Hassan⁽²⁾

(1) Institut PPRIME, CNRS, Université de Poitiers, ISAE ENSMA

(2) CEREMA

(3) Laboratoire Roberval, Université de Technologie de Compiègne

(4) EPTB Saône et Doubs

(✉) damien.calluud@univ-poitiers.fr

RÉSUMÉ

Le réseau fluvial français est composé d'environ 18 000 km de voies d'eau dont 8 500 sont navigables. La France possède un des plus longs réseaux de voies navigables en Europe. Avec l'augmentation de ce type de transport, les problématiques liées au milieu fluvial vont devenir un enjeu primordial afin d'optimiser l'utilisation des voies navigables tout en protégeant le milieu et sa biodiversité. Le passage d'un navire dans une voie confinée génère des courants et des ondes importants susceptibles d'interagir directement avec le milieu. Ces interactions se traduisent par une érosion accrue et une augmentation de la concentration des particules en suspension. Le projet INFLUE (Impact de la Navigation FLUviale sur l'Environnement) financé par l'ANR a pour objectif de combler le manque de connaissances scientifiques lié à l'impact de la navigation fluviale sur la mobilisation des sédiments sur les berges et le fond. Un objectif est de caractériser ces phénomènes hydrodynamiques en fonction des propriétés des navires et des conditions hydrauliques (morphologie du fleuve) à partir à la fois d'essais en bassin des carènes, de simulations numériques et de mesures de terrain. De là, la relation entre ces phénomènes et la dégradation/protection du milieu fluvial sera étudiée. L'analyse du couplage hydro-sédimentaire permettra de quantifier l'impact de la navigation sur la mobilisation des sédiments pour finalement quantifier la stabilité des berges.

ABSTRACT

The French river network comprises around 18,000 km of waterways, 8,500 of which are navigable. France has one of the longest networks of navigable waterways in Europe. With the increase in this type of transport, the problems associated with the river environment are going to become a key issue in optimising the use of waterways while protecting the environment and its biodiversity. The passage of a ship through a confined waterway generates significant currents and waves that are likely to interact directly with the environment. These interactions result in increased erosion and a higher concentration of suspended particles. The INFLUE project (Impact de la Navigation FLUviale sur l'Environnement - Impact of River Navigation on the Environment), funded by the French National Research Agency (ANR), aims to fill the scientific knowledge gap linked to the impact of river navigation on the mobilisation of sediments on banks and riverbeds. One objective is to characterise these hydrodynamic phenomena as a function of ship properties and hydraulic conditions (river morphology), using tank tests on hulls, numerical simulations and field measurements. From there, the relationship between these phenomena and the degradation/protection of the river environment will be studied. Analysis of the hydro-sedimentary coupling will make it possible to quantify the impact of navigation on the mobilisation of sediments and finally to quantify the stability of the banks.

MOTS CLÉS

Courant, Hydrodynamique, Navigation fluviale, Sillage de navire, Stabilité des berges, Transport sédimentaire
Current, Hydrodynamics, Inland navigation, Riverbank stability, Sediment transport, Ship wake

1 INTRODUCTION

Le lancement de grands projets de réaménagement des voies d'eau pour la navigation intérieure provoque actuellement un essor du transport fluvial, car il représente un moyen de transport à fort potentiel économique et écologique. Toutefois, la navigation a un impact direct sur l'équilibre de l'écosystème fluvial. En effet, les vagues générées par les navires déstructurent les berges des fleuves, rivières et canaux. Ce phénomène d'érosion est principalement lié à la hauteur des vagues générées par les bateaux dans leur sillage et à l'écoulement engendré par leur passage dans la voie d'eau. De nombreux paramètres régissent la formation et la propagation de ces vagues : géométrie de la voie d'eau, forme, chargement et vitesse du bateau, vitesse et sens du courant, typologie de l'aménagement des berges, etc... Il est indispensable de comprendre l'influence des paramètres du bateau et de l'ouvrage afin de mettre en œuvre les aménagements structurels adéquats pour protéger les berges et minimiser l'impact de la navigation fluviale sur l'environnement. Ce défi est primordial pour que le gestionnaire puisse assurer un moyen de transport à la fois économique et écologique. Basée sur les compétences et les moyens des partenaires du projet, l'action de recherche s'articule autour des impacts de la navigation sur le milieu fluvial. Le passage d'un navire dans une voie confinée génère des courants et des ondes susceptibles d'interagir directement avec les sédiments. Ces interactions se traduisent par une érosion accrue des berges et du fond des chenaux qui s'accompagnent d'une augmentation de la concentration des particules en suspension. S'appuyant sur les compétences et les ressources des partenaires que sont l'Institut Pprime de l'Université de Poitiers, le Cerema, le laboratoire Roberval de l'Université de Technologie de Compiègne et l'EPTB Saône et Doubs, le projet de recherche INFLUE (Impact de la Navigation Fluviale sur l'Environnement), financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au titre du projet ANR-23-CE51-0032-01 et débuté en janvier 2024 pour 4 ans, se concentre sur l'impact de la navigation fluviale sur l'environnement.

2 OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

L'identification de l'hydrodynamique et de l'interaction du courant généré avec les sédiments est importante pour la gestion des voies navigables, y compris la planification du trafic, les problèmes liés à la navigation dans les eaux très fréquentées, la protection des berges et la continuité des sédiments dans la rivière (au sens de la directive-cadre européenne sur l'eau). Le manque de connaissances sur ce sujet est principalement dû aux facteurs d'interaction nombreux et complexes impliqués dans le processus d'érosion, en particulier lorsque les vagues des navires et les courants qui en résultent sont présents. Les objectifs du projet INFLUE sont de caractériser les processus locaux qui déterminent l'évolution des berges non protégées des rivières navigables régulées telles que la Saône afin, enfin, d'établir des modèles prédictifs pour quantifier la stabilité des berges. Pour y parvenir, des études détaillées sont nécessaires pour mieux caractériser les facteurs contrôlant l'hydrodynamique due au mouvement des navires dans des eaux confinées. L'étude des processus qui déterminent l'érosion et la stabilité des berges et intègre les rôles de facteurs pertinents tels que les caractéristiques des sédiments est proposée. Pour évaluer l'impact de la navigation fluviale sur le transport sédimentaire et les berges, plusieurs approches méthodologiques sont utilisées dans le cadre de ce projet :

- Modélisation physique au sein d'un canal de traction. Étude des caractéristiques de l'écoulement à surface libre générée par le passage de navire en voie d'eau confinée.
- Modélisations numériques hydrodynamique et hydro-sédimentaire : Utilisation de code CFD pour simuler les effets l'écoulement générés en fonction des caractéristiques de la voie d'eau sur le transport de sédiments et son impact au sein des berges.
- Études de terrain : Observations directes et mesures des taux d'érosion et de sédimentation le long des berges sur un site d'étude situé à Villefranche sur Saône.
- Analyse des sédiments : Collecte et analyse des échantillons de sédiments pour déterminer leurs compositions, leur distribution granulométrique et leurs comportements rhéologiques.

Des exemples de premiers résultats sont présentés sur la figure 1. Il s'agit de visualisations des ondes générées par le passage de bateaux de différents types, pour différentes largeurs de voie d'eau. Elles permettent ainsi de caractériser la nature de l'écoulement en fonction de ces paramètres. Ces résultats sont issus des expériences réalisées au sein du canal de traction de la plateforme hydrodynamique Environnementale de l'Institut Pprime de l'Université de Poitiers.

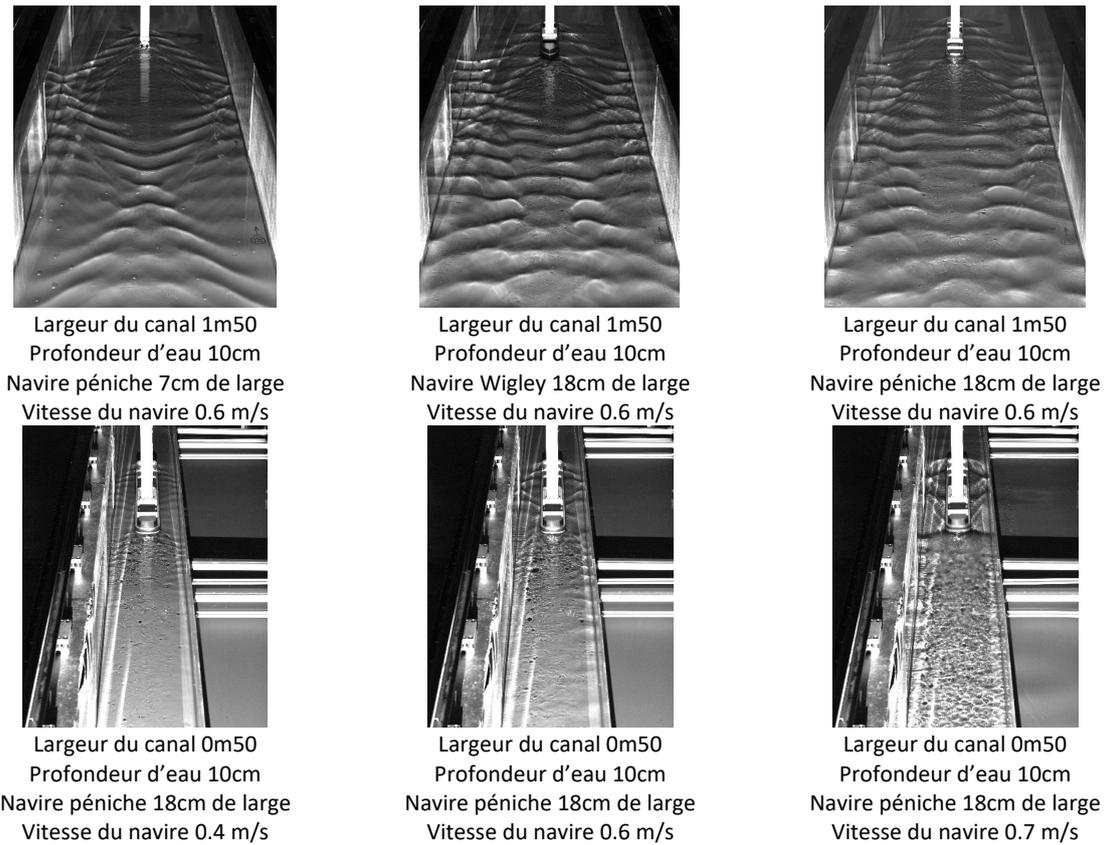


Figure 1 : Visualisations des sillages des navires évaluant en milieu confinée verticalement et horizontalement au sein du canal de traction de la plateforme hydrodynamique Environnementale de l’Institut Pprime, Université de Poitiers. Visualisations réalisées par Clément MAUBANT dans le cadre de sa thèse.

Ces diverses approches couplées vont permettre alors l'analyse et la compréhension des phénomènes hydrodynamiques complexes liés au passage d'un bateau dans une voie confinée ainsi que la relation entre ces phénomènes et la dégradation/protection du milieu fluvial. Les verrous scientifiques sous-jacents sont abordés par les trois tâches scientifiques principales du projet, figure 2.

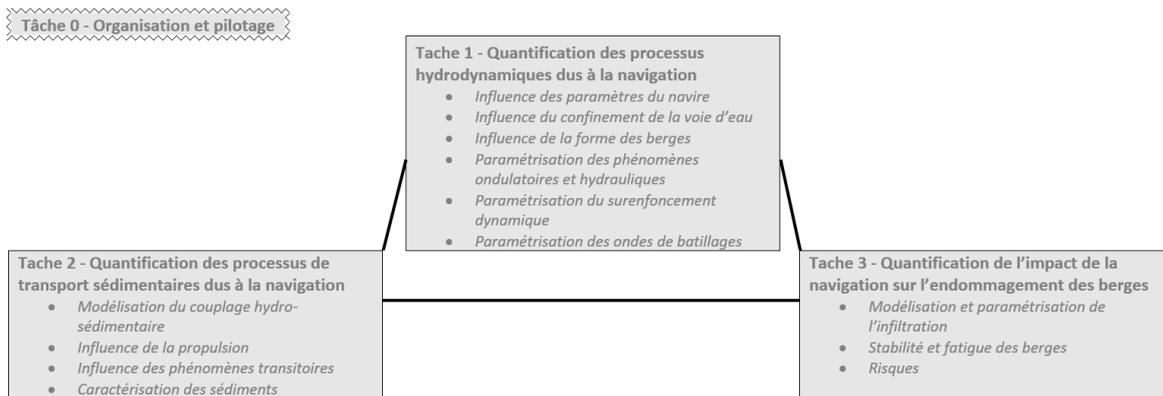


Figure 2 : Architecture du projet

La première tâche se structure autour de deux questionnements scientifiques sur la connaissance et la compréhension des interactions onde-courant et des interactions fluides-structures. Le passage d'un navire dans une voie navigable génère des phénomènes hydrodynamiques de différentes natures. Les caractéristiques de ces phénomènes hydrodynamiques sont dépendantes des paramètres de la voie d'eau (largeur, hauteur d'eau, barymétrie variable, courant...) et des propriétés des navires (tirant d'eau, position dans la voie navigable, vitesse...). Un objectif des études proposées est de caractériser ces phénomènes hydrodynamiques en fonction des propriétés des navires et des conditions hydrauliques (morphologie du fleuve) à partir à la fois d'essais en bassin des carènes, de mesures de terrains et de simulations numériques. L'ensemble de ces données a pour

finalité d'établir des modèles de prédiction d'impact de la navigation sur l'environnement en fonction des propriétés hydrauliques de la voie d'eau et du navire et contribuer par conséquent à compléter les connaissances sur les interactions ondes, courant, berges en navigation confinée.

La seconde tâche de ce projet est dédiée principalement à la compréhension de l'interaction eau-sédiments et à l'étude de la dynamique hydro-sédimentaire causée par la navigation fluviale. Les phénomènes instationnaires (structures turbulentes, contrainte de cisaillement locale) au sein de l'écoulement doivent être reliés à l'érosion ou à l'accrétion de sédiments. Globalement cette connaissance fine des sollicitations mécaniques est importante afin d'identifier l'ensemble des processus de mise en mouvement du sédiment, qu'il soit cohésif ou non, d'élaborer les lois de comportement des matériaux ou d'étudier les évolutions d'un écoulement au sein même du matériau. Dans cette partie, nous nous focaliserons sur l'analyse du couplage hydro-sédimentaire par des mesures de terrains et le développement d'un modèle adapté. L'influence des vitesses locales, du courant de retour, des berges seront pris en compte en fonction du type de sédiment.

La dernière tâche est dédiée à l'étude des phénomènes liés à l'endommagement des berges dans le but de leur protection contre l'érosion accrue provoquée par le batillage. Afin de rendre compte de la fragilisation des berges induite par les ondes et courants provoqués par le passage d'un bateau, il est ici proposé une stratégie de modélisation couplée permettant de suivre l'évolution de la tenue de la berge sous écoulement hydrodynamique ainsi que le transport des sédiments résultant de l'érosion de cette dernière. La berge peut être vue comme un milieu poreux soumis à un chargement variable correspondant à l'écoulement hydrodynamique induit par le passage des bateaux. Sous l'effet du passage d'un bateau, le niveau de chargement et le niveau de saturation dans la berge évoluent, induisant éventuellement des surcharges locales du squelette solide de la berge et conduisant à la dégradation progressive de la berge. Ainsi, l'objectif de cette tâche est de proposer un outil numérique permettant de prédire l'évolution de l'état de la berge et sa rupture éventuelle sous l'effet de l'écoulement fluvial fluctuant associé aux passages des bateaux.

3. RETOMBÉES ATTENDUES

L'ambition d'INFLUE est de contribuer à la communauté scientifique nationale et internationale en :

- produisant des connaissances et des savoir-faire,
- se structurant autour d'experts produisant des observations et des données de qualité,
- apportant une expertise issue des connaissances produites et consolidées,
- en soutenant les politiques publiques.

Le travail proposé dans le cadre de ce projet illustre notre manque de connaissances sur la navigation intérieure, et ce malgré l'impact potentiel qu'elle a sur les sédiments, les berges et l'environnement. Les résultats attendus sont principalement fondamentaux, car nous visons à améliorer la compréhension des processus physiques impliqués par le flux généré dans la navigation intérieure. Le transport de sédiments induit et les dommages mécaniques sur les berges seront détaillés. Par ailleurs, l'objectif principal des études scientifiques menées dans le cadre de ce projet est donc d'établir des modèles de prévision des impacts de la navigation fluviale sur l'environnement en fonction des paramètres environnementaux, géométriques et fonctionnels de la voie d'eau et du bateau. Avec le soutien notamment de l'EPTB Saône et Doubs, partenaires du projet, notre ambition est de fournir des outils robustes et fiables permettant d'identifier les zones de la voie d'eau susceptibles d'être plus affectées par l'augmentation de l'érosion due à la navigation. Ainsi, les décideurs et les gestionnaires de réseaux disposeront de moyens prédictifs pour concilier l'usage de la navigation (commerciale et de plaisance) avec les enjeux SEE (socio-écologiques-économiques). Les résultats de nos recherches contribuent à fournir à la communauté du transport par voie d'eau des orientations scientifiques, des recommandations en termes de régulation du trafic, de protection des berges ou de conception des berges.

Cette recherche a été financée en tout ou partie, par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au titre du projet ANR-23-CE51-0032-01