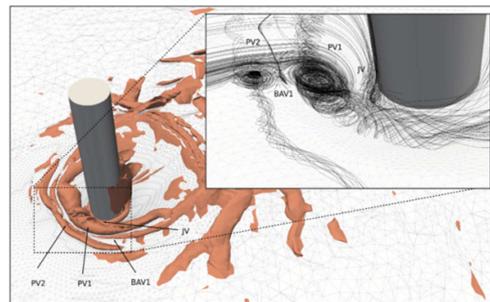
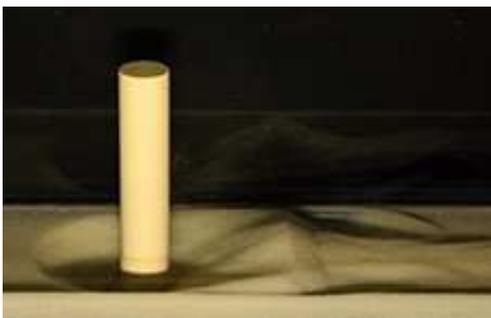


## Projet de recherche ANR SSHEAR sur les affouillements

*Janvier 2015-Septembre 2019*

**Journée publique de restitution**  
Mercredi 11 Septembre 2019, Marne-la-Vallée



**Livret des résumés**



IFSTTAR



Cerema



FAST



VINCI  
AUTOROUTES



SNCF  
RÉSEAU



RAILENIUM  
TEST & RESEARCH CENTER

<http://sshear.ifsttar.fr/>

*Le comité de pilotage et les participants au projet ANR SSHEAR tiennent à remercier pour leur soutien :*

- *l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), projet ANR-2014-CE03-0011,*
- *les pôles de compétitivité Safe Cluster et i-trans,*
- *le GIS Hydraulique pour l'Environnement et le Développement Durable (HEDD),*
- *l'ensemble des participants au comité de suivi : Jean-Robert Courivaud (EDF), Eric David et Aurélie Ledissez (Artelia group), Pierre-Baptiste Delpuech (MTES), Mahamadou Idrissa (Voies Navigables de France), Jean-Marc Flohr et Christophe Lescoulier (EGIS), Jean-Pierre Levillain (JPL Conseil).*

## **Journée de restitution du projet ANR SSHEAR sur les affouillements**

11 septembre 2019, Amphithéâtre Bienvenüe, Ifsttar, Marne-la-Vallée

Les processus d'affouillement sont une cause importante de destruction des constructions (ouvrages d'art et ouvrages en terre) notamment lors des crues majeures mais leur prise en compte reste trop empirique.

Depuis 2015 et pendant plus de 4 ans, le projet **ANR SSHEAR** pour « **Sols, Structures et Hydraulique : Expertise et Recherche Appliquée** » a regroupé 6 partenaires (**Ifsttar, Cerema, UMR FAST, Vinci Autoroutes, SNCF réseau et IRT Railenium**) dans l'objectif d'améliorer les connaissances sur les mécanismes d'affouillement et de développer de nouveaux outils d'observation et de modélisation à toutes les échelles.

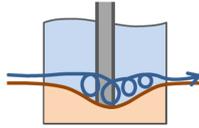
Pour cela, les travaux se sont articulés autour de 3 axes scientifiques et techniques :

**L'approche « Modèle »** comportant 2 volets, expérimental et numérique, visant à améliorer la compréhension des processus d'affouillement, l'instrumentation des ouvrages réels et la modélisation numérique des phénomènes observés en laboratoire et sur le terrain.

**L'approche « Terrain »** ayant pour objectif de développer des outils et une méthodologie pour une meilleure caractérisation et un meilleur suivi des sites vis-à-vis des processus d'affouillements.

**La phase finale d' « Appropriation »** par les gestionnaires et praticiens ayant pour but la transmission et la valorisation des résultats du projet pour améliorer la pratique.

Le comité de pilotage et l'ensemble des participants au projet ANR SSHEAR ont le plaisir de vous accueillir à cette journée publique de restitution du projet !



**SSHEAR**  
SOILS, STRUCTURES & HYDRAULICS  
*Expertise and Applied Research*

## Journée publique de restitution du projet ANR SSHEAR

**Mercredi 11 Septembre 2019, Amphithéâtre Bienvenüe, Ifsttar**

14-20 Boulevard Newton, Champs-sur-Marne, Marne-la-Vallée

<https://www.ifsttar.fr/nous-rejoindre/informations-pratiques/coordonnees-et-plan-dacces/>

### Programme

**9:30-10:00** Café d'accueil

**10:00-10:30** Introduction de la journée

**10:00-10:20** Patrimoine et affouillements : la parole aux gestionnaires

*SNCF Réseau : Mark Cheetham*

*Vinci Autoroutes-ASF : Sylvain Lopez*

*Vinci Autoroutes-Cofiroute : Nicolas Bardou*

**10:20-10:30** Introduction du projet ANR SSHEAR

*Christophe Chevalier*

**10:30-12:15** Séquence 1 - Une approche « Modèle » des affouillements

*Animateurs : Philippe Gondret, Damien Pham Van Bang*

**10:30-12:00** Conférences

Modélisation expérimentale des affouillements

- Expériences modèles en petit canal hydrodynamique

*Philippe Gondret*

- Expériences modèles en grand canal hydraulique

*Damien Pham Van Bang*

Modélisation numérique des affouillements

*Damien Pham Van Bang*

Développement d'un nouvel érodimètre à roue

*Christophe Chevalier*

**12:00-12:15** Discussions et débats

**12:15-13:15 Déjeuner**

**13:15-15:15 Séquence 2 - Une approche « Terrain » des affouillements**

*Animateurs : Edouard Durand, Frédérique Larrarte*

**13:15-15:00 Conférences**

Choix, présentation et caractérisation des sites pilotes

*Edouard Durand, Mark Cheetham*

Systemes de suivi des sites affouillables : démarches et résultats

- Suivi périodique d'un site : Berges de St Loup sur l'Allier

*Arnaud Bontemps*

- Monitoring "léger" et autonome d'un ouvrage : Pont-rail d'Isle sur l'Aurence

*Frédérique Larrarte*

- Monitoring "complet" d'un ouvrage : Viaduc de l'A71 sur la Loire

*Arnaud Bontemps*

Instrumentation vibratoire des structures affouillables

*Franziska Schmidt*

**15:00-15:15 Discussions et débats**

**15:15-15:30 Pause-café**

**15:30-16:45 Séquence 3 - L'appropriation par les gestionnaires**

*Animateurs : Mark Cheetham, Sidoine de la Roque*

**15:30-16:30 Conférences**

Comparaison des méthodologies Française et Japonaise d'analyse de risque sur un parc d'ouvrages

*Denis Davi, Nesrine Younsi*

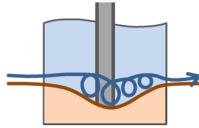
Le guide SSHEAR sur la gestion des affouillements

*Mark Cheetham*

**16:30-16:45 Discussions et débats**

**16:45-17:00 Clôture et débats**





**SSHEAR**  
*SOILS, STRUCTURES & HYDRAULICS*  
*Expertise and Applied Research*

## **Journée publique de restitution du projet ANR SSHEAR**

### **Séquence 1**

### **Une approche « Modèle » des affouillements**

## MODELISATION PHYSIQUE DES AFFOUILLEMENTS : EXPERIMENTATIONS EN CANAL HYDRODYNAMIQUE

Florent LACHAUSSEE, Yann BERTHO, Cyprien MORIZE, Alban SAURET,  
Philippe GONDRET

Laboratoire FAST, Orsay

[philippe.gondret@u-psud.fr.fr](mailto:philippe.gondret@u-psud.fr.fr)

**Nous avons observé en régime d'eau claire (pas d'érosion hors obstacle) deux motifs d'affouillement autour d'un obstacle cylindrique vertical — un à son pied et un autre plus en aval — et les avons caractérisés finement, en particulier leur seuil d'apparition.**

Les expériences ont été conduites dans un petit canal hydrodynamique de  $W = 10$  cm de large. L'érosion d'un lit de billes de verre de diamètre  $d = 0,27$  mm (de type sable fin non cohésif) a été observée à l'œil et par caméra, et mesurée par profilométrie laser au voisinage d'un cylindre vertical de diamètre typique  $D = 1$  cm. L'écoulement a été caractérisé par vélocimétrie par images de particules (PIV) sur des tranches laser horizontales ou verticales.

En régime d'eau claire, c'est-à-dire à une vitesse  $V$  en-dessous de sa valeur critique d'érosion sans obstacle,  $V_c = 0,17$  m/s typiquement, deux motifs d'érosion ont été observés et caractérisés : (i) une fosse au pied du cylindre lié au tourbillon en fer à cheval, notée AFC, (ii) deux fosses plus en aval liées aux tourbillons de sillage, de formes allongées semblables à deux oreilles de lapins, que l'on note AOL (Fig.1).

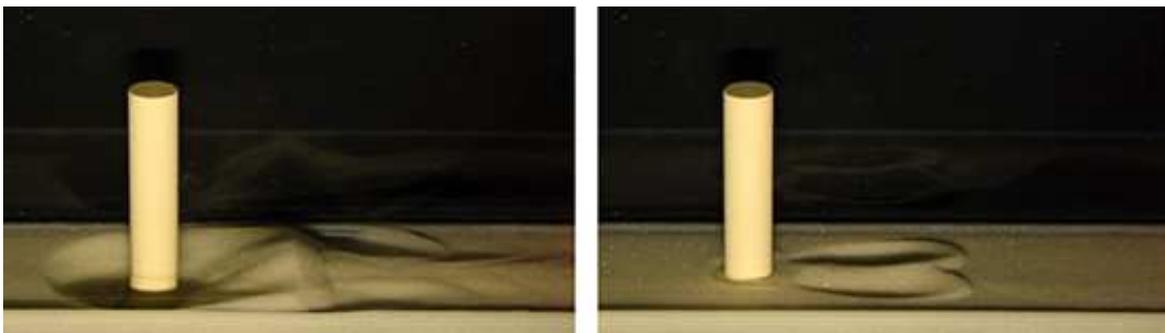


Fig. 1 : Motifs d'affouillement (à gauche) au pied d'un cylindre de diamètre  $D = 2$  cm pour  $V = 0,92 V_c$  et (à droite) plus en aval pour  $V = 0,61 V_c$ .

Les vitesses critiques d'apparition de ces motifs ne dépendent pas de la hauteur  $H$  (tant que  $H \gg D$ ) mais dépendent du diamètre  $D$  du cylindre, et le motif AOL apparaît à une vitesse légèrement inférieure à celle d'apparition du motif AFC (Fig. 2). Lorsque le motif AFC apparaît, il devient rapidement plus important que le motif AOL qui reste cependant présent mais en est affecté. Avec un sabot rigide au pied de l'obstacle, la formation du motif AFC est inhibée et le motif AOL peut être observé seul à des vitesses plus importantes.

Lorsque les grains sont de tailles différentes (sables plus ou moins fins), les vitesses critiques changent en conséquence. Le bon paramètre caractéristique de l'érosion est le nombre de Shields  $Sh = V^2/sgd$ , où  $s$  est la différence relative de densité entre les grains et le fluide,  $g$  la gravité et  $d$  le diamètre des grains. Le nombre de Shields au seuil d'apparition des deux motifs n'est fonction que du nombre de Reynolds de l'écoulement autour du cylindre  $Re_D = VD/\nu$ , où  $\nu$  est la viscosité cinématique du fluide (Fig. 3 à gauche) avec deux lois du type  $Sh/Sh_c \approx 1,12 Re_D^{-0,19}$  pour le motif AFC et  $Sh/Sh_c \approx 16 Re_D^{-0,66}$  pour le motif AOL.

Les deux motifs ont été aussi observés dans le cas d'obstacles de section non circulaire, notamment carrée, triangulaire ou plus profilée de type aile d'avion. La figure 3 (à droite) montre que les seuils d'apparition de ces deux motifs dépendent de la forme de l'obstacle.

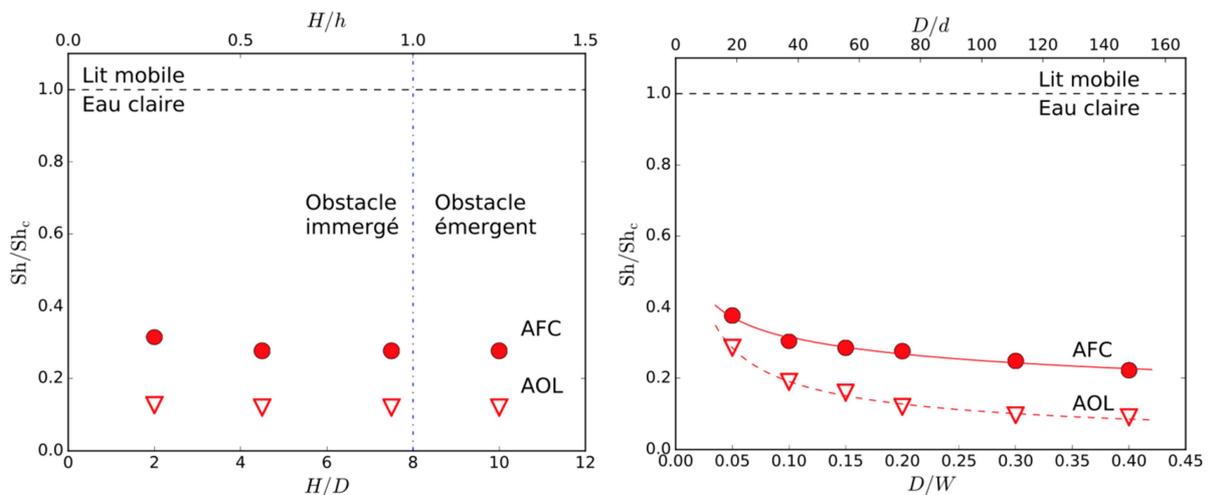


Fig. 2 : Seuils d'apparition des deux motifs AFC et AOL en fonction (à gauche) de la hauteur  $H$  du cylindre et (à droite) du diamètre  $D$  du cylindre.

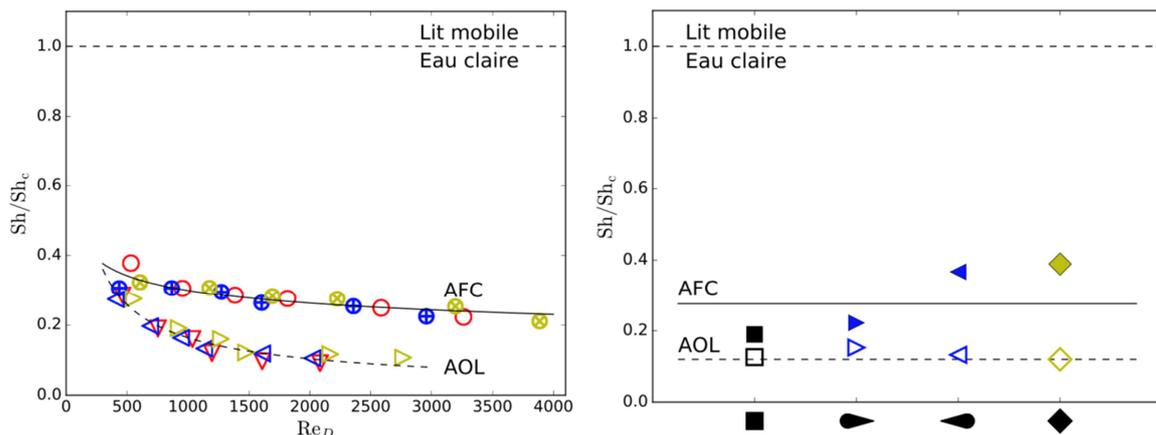


Fig. 3 : Seuils d'apparition des deux motifs AFC et AOL en fonction (à gauche) du nombre de Reynolds de l'écoulement autour du cylindre  $Re_D$  pour trois tailles de grains (différents symboles) et en fonction (à droite) de la forme et orientation de la section de l'obstacle (les lignes horizontales en traits plein et tireté indiquent les valeurs de référence pour un obstacle de section circulaire).



## MODELISATION PHYSIQUE DES AFFOUILLEMENTS : EXPERIMENTATIONS EN CANAL HYDRAULIQUE

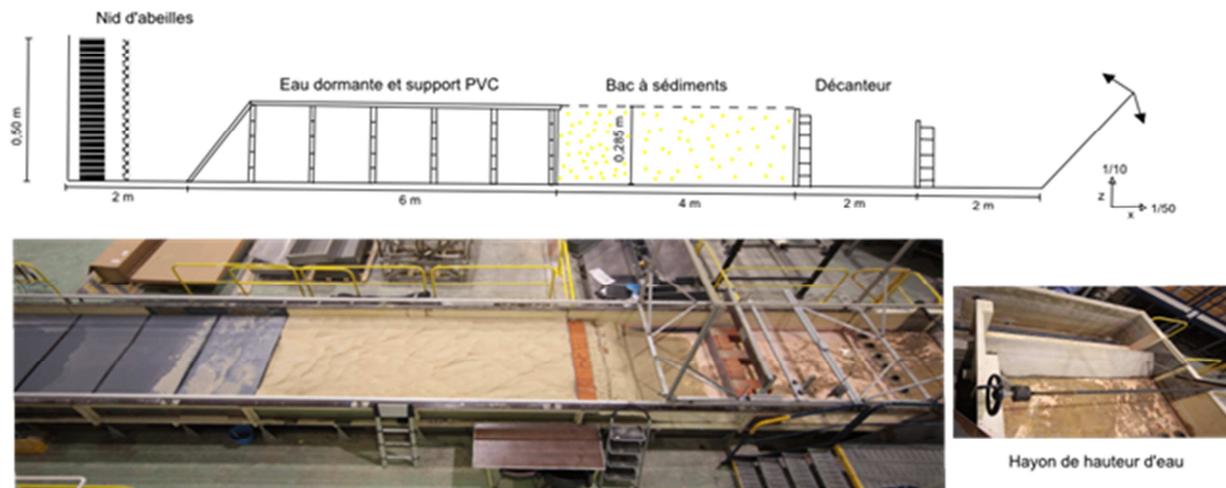
Damien PHAM VAN BANG<sup>1,3</sup>, Frédérique LARRARTE<sup>2</sup>, Franziska SCHMIDT<sup>2</sup>,  
Christophe CHEVALIER<sup>2</sup>, Pierre-Louis GIBELIN<sup>1</sup>, Vincent VIDAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cerema Lab. Saint Venant, <sup>2</sup> Ifsttar GERS & MAST, <sup>3</sup> INRS

[damien.pham\\_van\\_bang@ete.inrs.ca](mailto:damien.pham_van_bang@ete.inrs.ca)

En complément des expérimentations menées par le partenaire CNRS-FAST sur les processus physiques, des essais ont été effectués en canal hydraulique de plus grande dimension sur des ouvrages modèles.

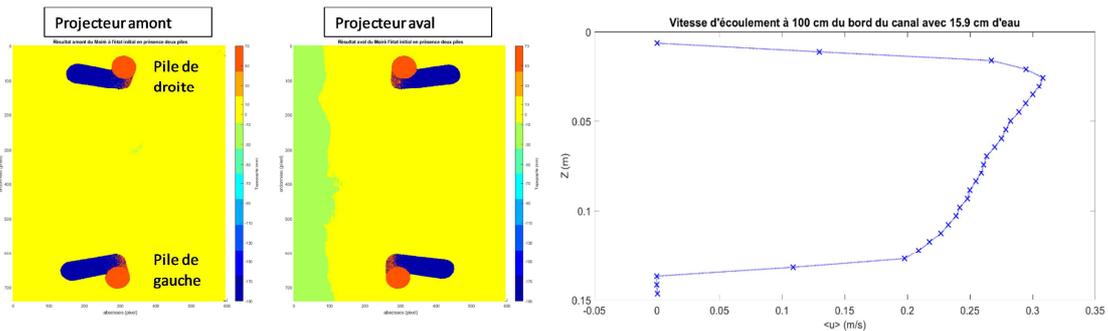
Les essais sur ouvrages modèles ont été réalisés dans le canal 22 (16m de long, 2m de large) du Laboratoire Hydraulique Saint-Venant (LHSV). Pour mener ces derniers, un bac à sédiment (4m de long, 0.28m de profondeur) et une trappe à sédiment (ou décanteur) ont été réalisés. Une vanne contrôle le débit à l'entrée du canal, l'écoulement passe à travers un nid d'abeilles et la hauteur est contrôlée par une vanne de type hayon.



Installation expérimentale (canal 22, LHSV, F-78400 Chatou)

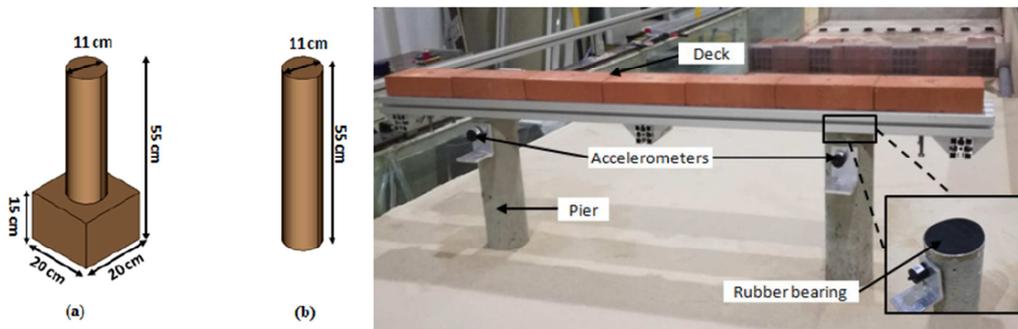
Deux dispositifs de mesure ont été intégrés. Pour la vélocimétrie, un capteur acoustique est utilisé : par effet Doppler pulsé, il donne accès aux profils verticaux de vitesse à la résolution de quelques mm. Pour le suivi bathymétrique, une méthode de Moiré ou de projection de franges a été mise en place : le dispositif comporte deux vidéoprojecteurs (en amont et en aval de la structure) et une caméra pour s'affranchir des zones aveugles.

En début d'essai, du sable d'Hostun (granulométrie resserrée autour de 580 $\mu$ m) est placé et le lit est aplani par une planche. Ensuite, un fossé est excavé pour enfouir les fondations de l'ouvrage modèle à différentes profondeurs. Enfin une travée est placée : des briques assurent le chargement de l'ensemble.



Exemple de bathymétrie (Moiré, à gauche) et de vélocimétrie (Doppler, à droite)

Des piles avec ou sans semelle de fondation sont testées : elles sont manufacturées en béton par le partenaire Ifsttar. Des accéléromètres sur les piles complètent les mesures afin d'analyser la réponse vibratoire de l'ouvrage à différents stades de son affouillement.



Ouvrage modèle et ses différentes fondations

Les travaux en canal hydraulique ont permis d'aider certains travaux de la tâche « approche Terrain ». Par exemple, la veine a permis des optimisations de méthodologie pour les travaux sur le terrain, ou encore les travaux de développement d'un scour depth sensor original.

Enfin les résultats d'affouillement peuvent servir de données de référence pour les améliorations d'outils de gestion ou de codes de calcul.

REFERENCES

Gibelin P.L. (2018) Etude expérimentale en canal hydraulique sur l'affouillement de piles de pont, mémoire de stage de Master 2, Université de Bretagne Occidentale, 69 pages.  
 Boujia N. (2018) Vulnérabilité des ouvrages au risque d'affouillement des fondations, thèse de doctorat, Université Paris-Est, 192 pages.  
 Larrarte F., Schmidt F., Boujia N., Vidal V., Bontemps A., de la Roque S. & Chevalier C. (2019) Some elements about scale effect on scour studies, E-proceedings of the 38th IAHR World Congress, September 1-6, 2019, Panama City, Panama.

NOTES

.....  
 .....

# MODELISATION NUMERIQUE DIPHASIQUE POUR LE TRANSPORT SEDIMENTAIRE ET LES AFFOUILLEMENTS

Wei ZHANG<sup>1</sup>, Xin BAI<sup>1</sup>, Qinjun FU<sup>1</sup>, Jonathan BRANS<sup>1</sup>,  
Kim Dan NGUYEN<sup>1</sup>, Damien PHAM VAN BANG<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Cerema Lab. Saint Venant, <sup>2</sup> INRS

[damien.pham\\_van\\_bang@ete.inrs.ca](mailto:damien.pham_van_bang@ete.inrs.ca)

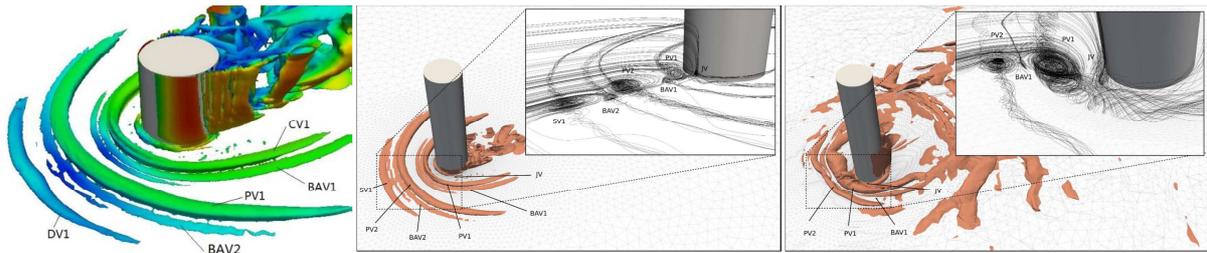
Les travaux en modélisation numérique ont permis de valider le code ‘recherche’ sur le cas des affouillements de piles cylindriques. Pour cela, différentes configurations (de complexité croissante) ont été étudiées. Les calculs ont été menés sur le supercalculateur d’Electricité De France (EDF) accessible depuis le LHSV.

Le code 3D est basé sur la méthode aux volumes finis non structurés. La transformation sigma est utilisée pour prendre en compte la déformation de surface libre. Le développement du code NSMP3D (Navier-Stokes Multi-Phase three-Dimensional) a été initié en 2012 pour les simulations du transport sédimentaire dans les rivières, les estuaires ou encore les zones côtières. Le code inclut la modélisation avancée de la turbulence, laquelle est calculée soit par DNS (Direct Numerical Simulation) soit par LES (Large Eddy Simulation), ce qui le rend unique pour les applications visées.

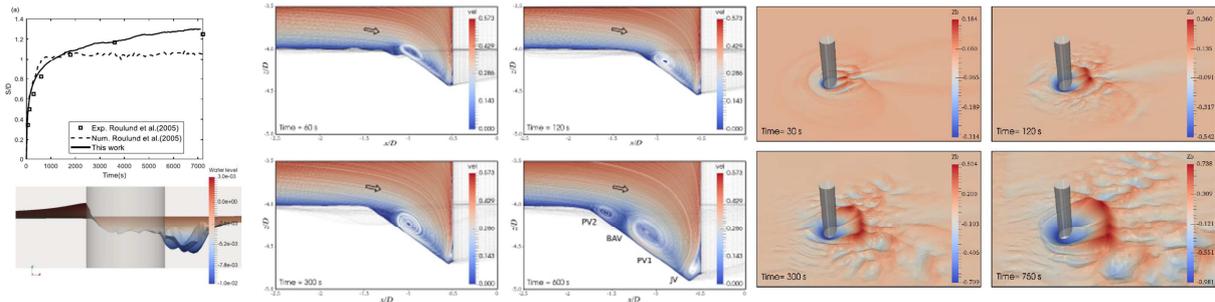
| Reference                 | Numerical model                          | Turbulence model    | Sand slide model          | water/sediment interface | Re <sub>D</sub>      | Physical phenomenon                             |
|---------------------------|--|---------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|---|
| Roulund (2005)            | Structured Finite volume method (FVM)    | RANS (k- $\omega$ ) | Updated particle velocity | Multigrid mesh           | 4.6×10 <sup>4</sup>  | Scoured Hole evolution (Live-bed erosion)       |
| Kirkil (2008, 2010,2015)  | Structured Finite volume method (FVM)    | LES                 | Fixed bed(no)             | Fixed bed(no)            | 1.6×10 <sup>4</sup>  | HV System<br>No scour evolution                 |
| Khosronejad (2012)        | Unstructured Finite volume method (UFVM) | RANS (k- $\omega$ ) | Mass-conservative         | FSI-CURVIB               | 4.95×10 <sup>4</sup> | Scoured Hole evolution (Live-bed erosion)       |
| Link et al. (2012)        | Structured Finite volume method (FVM)    | DES                 | No                        | Lagrangian model         | 3.15×10 <sup>4</sup> | Scoured Hole evolution (Clear-water erosion)    |
| Baykal et al. (2014,2017) | Structured Finite volume method (FVM)    | RANS (k- $\omega$ ) | Updated particle velocity | Multigrid mesh           | 1.7×10 <sup>4</sup>  | Scoured Hole evolution (Clear-water erosion)    |
| Zhou (2017)               | Structured Finite volume method (FVM)    | RANS (k- $\omega$ ) | Mass-conservative         | Dynamic mesh deformation | 4.6×10 <sup>4</sup>  | Scoured Hole evolution (Live-bed erosion)       |
| Nagel (2018)              | Structured Finite volume method (FVM)    | RANS (k- $\omega$ ) | No                        | Two-phase model          | 4.6×10 <sup>4</sup>  | Scoured Hole evolution (Live-bed erosion)       |
| Present work (2019)       | Unstructured Finite volume method (UFVM) | LES                 | Mass-conservative         | Sigma transformation     | 4.6×10 <sup>4</sup>  | HV System<br>Scour evolution (Live-bed erosion) |

## Méthodes utilisées dans les simulations 3D d’affouillement

Les travaux ont porté sur des développements d’algorithmes pour couvrir un large éventail d’options (schémas) de calcul ou de conditions aux limites. Ces développements ont été validés sur une dizaine de cas de calcul : TGV (Taylor-Green decaying Vortex) ; Cavité entraînée ; Clapots en bassin fermé ; Déformation de vagues au passage d’une barre submergée ; TOC (Turbulent Open-Channel flow) ; Suspension turbulente de sédiments ; Ecoulement sur un cylindre sans ou avec prise en compte de la surface libre ; et enfin, Affouillement au pied d’une pile cylindrique.



Structures cohérentes autour d'un cylindre : vorticité (  gauche) ;  
 volution du vortex fer à cheval au cours de l'affouillement



Résultats des simulations LES sur l'affouillement : comparaison avec l'expérience de Roulund ( $Re_D=46000$ , lived bed) et déformation de la surface libre (  gauche) ; évolution des vortex (milieu) et de la bathymétrie (  droite) lors de l'affouillement.

Les travaux de thèse de Wei Zhang seront soutenus le 13 septembre à Chatou. La soutenance est publique.

REFERENCES

Zhang W. (2019) 3D numerical simulation of scour erosion around an obstacle, thèse de doctorat, Université Paris-Est, 230 pages (version provisoire).  
 Uh Zapata M., Zhang W., Pham Van Bang D. & Nguyen K.D. (2019) A parallel second-order unstructured finite volume method for 3D free-surface flows using sigma-coordinate, Computer and Fluids, Vol. 190, 15-29.

NOTES

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## DEVELOPPEMENT D'UN NOUVEL ERODIMETRE A ROUE

Christophe CHEVALIER<sup>1</sup>, Damien PHAM VAN BANG<sup>2,3</sup>,

Carlos MINATCHY<sup>1</sup>, Ousseynou NDOYE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ifsttar GERS, <sup>2</sup> Cerema Lab. Saint Venant, <sup>3</sup> INRS

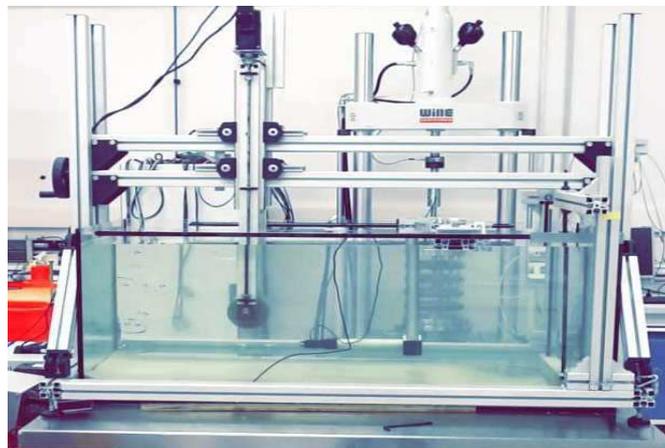
[christophe.chevalier@ifsttar.fr](mailto:christophe.chevalier@ifsttar.fr)

**L'étude du mécanisme érosif est un sujet très complexe, surtout quand il s'agit de faire des mesures sur site (sol immergé et non remanié) d'où la nécessité de développer des outils dédiés à ces mesures.**

Plusieurs dispositifs comme des érodimètres à jet(s) [Hanson, Appl Eng Agric 2004; Reiffsteck et al, ICSE6 2012], l'EFA «Erosion Function Apparatus» [Briaud et al, JGGE 2001] ou l'essai d'érosion de trou (HET -«Hole Erosion Test») [Chevalier et al., ICSE5 2010; Haghghi et al., JGGE 2013; Wan and Fell, JGGE 2004] ont été développés pour mesurer l'érodabilité d'un sol. Il est très difficile cependant de faire une corrélation entre les résultats des essais, bien contrôlés, en laboratoire et ceux des essais, plus simples, réalisés sur site.

De plus, ces essais ne sont pas réalisables en condition immergée.

Pour dépasser ces limites et avoir un dispositif utilisable sur site pour un contexte immergé, un nouvel essai a été développé, le « Wheel Erosion Test » ou « Essai d'érosion de roue ».



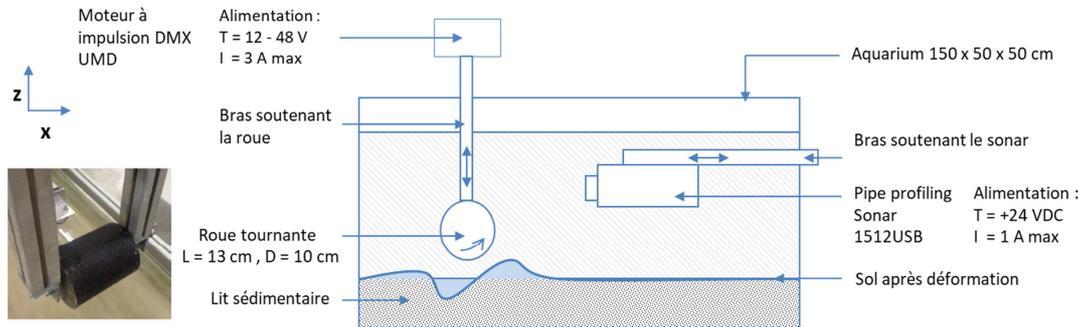
Dispositif expérimental de l' « essai d'érosion de roue ».

L'essai consiste en une roue cylindrique immergée qui tourne autour de son axe horizontal au-dessus d'une couche de sédiments. La rotation de la roue génère un écoulement et par conséquent une contrainte sur la surface de sol qui, une fois atteint le seuil minimum d'érosion, va créer une fosse d'érosion.

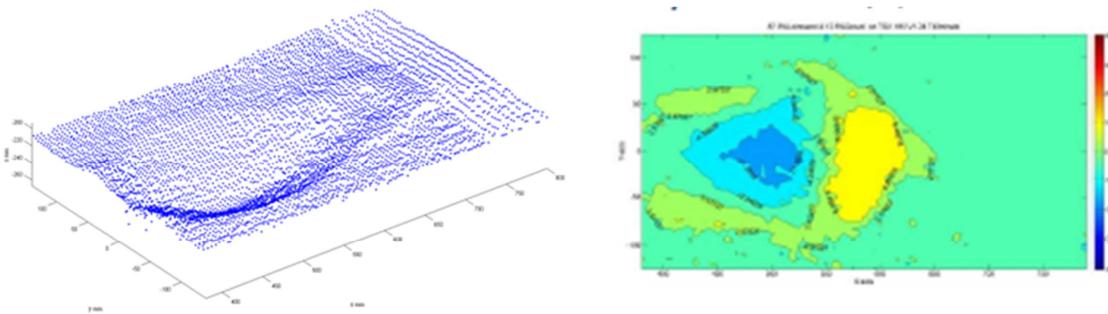
L'appareillage de laboratoire comprend un aquarium rempli d'eau et de sédiments et une charpente qui supporte la roue. Le dispositif permet de faire tourner la roue à différentes

vitesse et positions verticales par rapport au lit de sédiment, ce qui permet de modifier les conditions d'application de la contrainte sur le sol.

Les caractéristiques de la fosse d'érosion, qui permettent de connaître l'érodabilité du sol, sont déterminées grâce à des mesures acoustiques.



Vue de la roue et schéma du dispositif d'essai.



Mesure de la fosse d'érosion.

REFERENCES

Ndoye O., Chevalier C., Reiffsteck P., Minatchy C., Fanelli S. & Pham Van Bang D. (2016) Development of a new submersible test to characterise the erosion of soils and sediments, Eighth International Conference on Scour and Erosion (ICSE), Sept. 12-15, Oxford, UK, 1011-1017

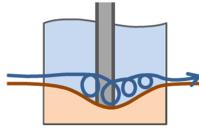
Pham Van Bang D., Bai X., Nguyen K.D., Chevalier C. & Ndoye, O. (2016) 2-D numerical simulation of Wheel Erosion Test (WET) by a two-phase model, THESIS 2016, Two-Phase Modelling For Sediment Dynamics In Geophysical Flows, Sept. 12-14, Tokyo, Japan

NOTES

.....

.....

.....



**SSHEAR**

SOILS, STRUCTURES & HYDRAULICS  
*Expertise and Applied Research*

## **Journée publique de restitution du projet ANR SSHEAR**

### **Séquence 2**

### **Une approche « Terrain » des affouillements**

## CHOIX, PRESENTATION ET CARACTERISATION DES SITES PILOTES

**Edouard DURAND<sup>1</sup>, Mark CHEETAM<sup>2</sup>, Sidoine DE LA ROQUE<sup>3</sup>,  
Frédérique LARRARTE<sup>4,5</sup>, Arnaud BONTEMPS<sup>1</sup>,  
Christophe CHEVALIER<sup>4</sup>, Emma FLORENS<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Cerema Normandie Centre, <sup>2</sup> SNCF Réseau, <sup>3</sup> Vinci Autoroutes,

<sup>4</sup> Ifsttar GERS, <sup>5</sup> LHSV, <sup>6</sup> IRT Railenium

[edouard.durand@cerema.fr](mailto:edouard.durand@cerema.fr)

Les processus d'affouillement sont une cause importante de destruction des constructions (ouvrages d'art, ouvrages en terre et bâtiments) notamment lors des crues majeures. Pour améliorer la connaissance de ce phénomène, les méthodes de diagnostic, de suivi et de gestion des ouvrages, le projet SSHEAR s'est appuyé, dans sa tâche « approche terrain », sur l'identification, la caractérisation et le monitoring de sites pilotes. La présentation indiquera les critères et méthodes employées pour le choix des 3 principaux sites retenus : Les berges de St Loup sur l'Allier, le Pont-rail sur l'Aurence et le viaduc de l'autoroute A71 sur la Loire. Chacun de ces sites fait ensuite l'objet d'une présentation spécifique complémentaire ciblée sur les options de suivis et de monitoring mis en œuvre dans le projet SSHEAR.

### 1- Choix d'un site d'ouvrage en terre

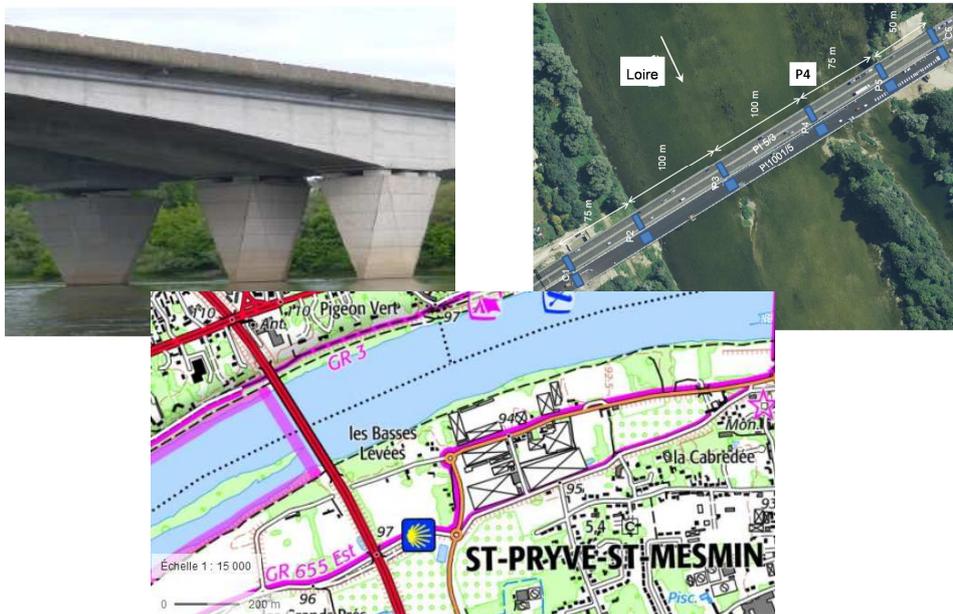
Les processus d'affouillement concernent potentiellement tous les ouvrages en contact direct avec écoulement hydraulique. C'est le cas des berges, des pieds de digues, des pieds de remblais des infrastructures de transports situés dans le lit mineur ou majeur des cours d'eau. Il a donc été jugé opportun, dans le projet SSHEAR, de s'intéresser à ce type d'ouvrage. Plusieurs sites sur lesquels des phénomènes d'érosions étaient présents ont donc été identifiés, dans des contextes hydrographiques différents (torrentiel sur l'Arve, de rivières de plaine sur l'Allier ou le Cher). Pour des raisons d'intensité du phénomène en cours, des raisons pratiques de facilité de mise à l'eau et de proximité de l'équipe de surveillance, le site de Saint-Loup (03) sur l'Allier a été retenu pour une caractérisation initiale et un suivi périodique topographique et hydrographique de la berge et du pied de digue SNCF par le Cerema Blois.



Site de Saint-Loup (03) sur l'Allier

## 2- Choix d'un site du réseau routier

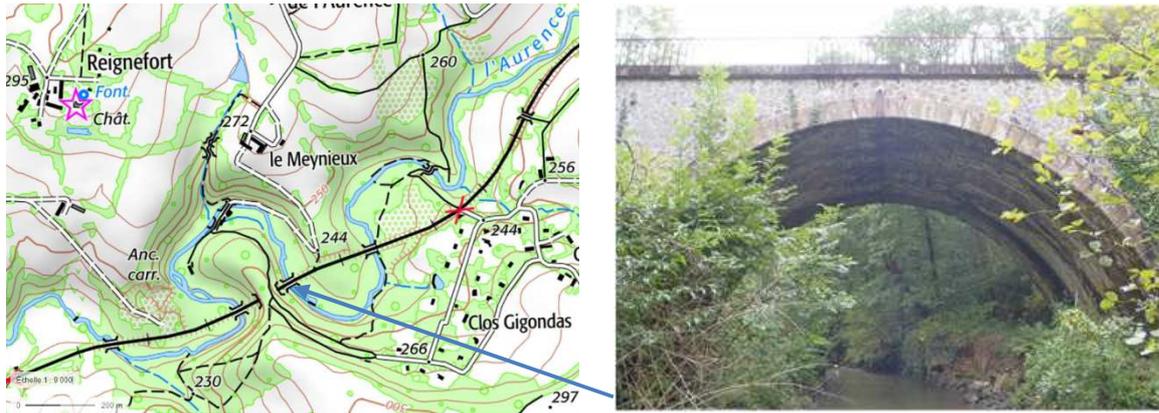
En France, le réseau d'infrastructures routières en France compte environ 200 000 ponts. Parmi ceux-ci, de nombreux ouvrages franchissent un cours d'eau et sont donc potentiellement soumis aux phénomènes d'affouillement. Dans le département du Gard par exemple, près de 2000 ouvrages (J.-P. Naulin et al., 2013) ont été identifiés comme sensibles vis-à-vis du phénomène d'affouillement. Sur le réseau autoroutier, Vinci-Cofiroute, partenaire du projet, fait réaliser par le Cerema des inspections périodiques de ses ouvrages. Une quinzaine d'ouvrages sont ainsi suivis depuis 15 ans, dont les ouvrages sur la Loire (Delancret R., 2015). Le Viaduc de l'A71 sur la Loire, soumis à des phénomènes d'affouillement identifiés (autour de la pile P4 notamment) (Bigot et al., 2012) a été retenu dans le projet SSHEAR et a fait l'objet d'une caractérisation et de la mise en place d'un monitoring complet.



Viaduc de l'autoroute A71, sur la Loire, à St-Pryvé-St-Mesmin (45) proche d'Orléans.

## 3- Choix d'un site du réseau ferré : appui du SIG

En France, SNCF Réseau exploite 51 217 km de voie ferrées comportant plus de 26 000 ponts et viaducs franchissant un cours d'eau. Dans le cadre du projet SSHEAR, pour sélectionner des ouvrages à instrumenter et modéliser vis-à-vis des mécanismes d'affouillement, une méthodologie a été développée par le service Ingénierie et Projets de la SNCF, partenaire du projet. Elle se base sur le croisement SIG de la base de données Ouvrages d'art (FSA) de la SNCF, contenant des informations en lien avec l'affouillement (surveillance, présence d'incidents), avec des bases de données hydrographiques (SYRAH-CE) contenant des informations sur les cours d'eau (largeur, pente...). Les différents filtres et critères appliqués ont permis d'identifier 43 tronçons de cours d'eau et 85 ouvrages d'art et par croisement, de n'en retenir que 36. Un choix manuel final a finalement orienté le choix vers des ouvrages les plus représentatifs du parc SNCF comme les pont-rails en maçonnerie. C'est le cas du Pont-rail d'Isle (87) sur l'Aurence où un dispositif de monitoring léger et autonome a été mis en œuvre durant le projet.



Pont-rail de l'Isle (87) sur l'Aurence, proche de Limoges.

## REFERENCES

- Larrarte F., Chollet H., Battist L., Della Longua Y. & Chevalier C. (2019) A French experience of continuous scour monitoring on real sites, E-proceedings of the 38th IAHR World Congress, September 1-6, 2019, Panama City, Panama.
- Florens E., Chevalier C., Larrarte F., Schmidt F. & Durand E. (2018) Scour monitoring on bridge pier – methodology and implementation. RiverFlow, River Flow 2018, Lyon, France, sept. 2018.
- Chevalier C., Larrarte F., Schmidt F., Pham-Van-Bang D., Durand E., Gondret P., de La Roque S., Cheetam M. & Hosseingholian M. (2017) Compréhension et maîtrise des risques d'affouillements : développements récents, ICSMGE-2017, Séoul, Corée du Sud, sept. 2017.
- Larrarte F., Chevalier C., Ndoye O., Durand E., Pham-Van-Bang D. & de La Roque S. (2016) Scour and solid transport on civil engineering structures – a field study, Symposium THESIS-2016, Tokyo, Japan, sept. 2016.
- Delancret R. (2015) Affouillement autour des ouvrages d'arts : analyse bibliographique et application au pont de l'A10 à Tours. Rapport de stage M2, Univ. F Rabelais, Tours, 61p
- Bigot D. & Piney S. (2012) Cofiroute - A71 – PI5/3 et PI1001/05 – River Loire viaduct at Orléans (45) – Bathymetric survey 2011- Technical Report 121880/B.

---

## NOTES

.....

.....

.....

.....

.....

## SUIVI PERIODIQUE D'UN SITE : BERGES DE ST LOUP SUR L'ALLIER

Arnaud BONTEMPS<sup>1</sup>, Jean-Pierre JACQUES<sup>1</sup>, Francis GARNIER<sup>1</sup>,  
Alexandre CHESNE<sup>1</sup>, Coraline WINTENBERGER<sup>1</sup>, Frédérique LARRARTE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cerema Normandie Centre, <sup>2</sup> Ifsttar GERS

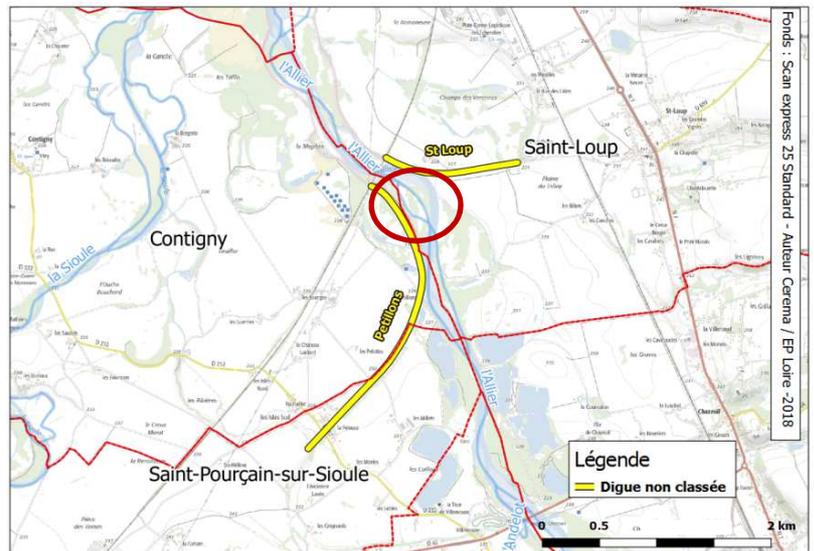
[arnaud.bontemps@cerema.fr](mailto:arnaud.bontemps@cerema.fr)

Pour améliorer la connaissance des processus d'affouillement, le projet SSHEAR s'est appuyé, dans sa tâche « approche terrain » sur le suivi de 3 sites pilotes. Le premier site pilote, situé à Saint Loup dans l'Allier, concerne une digue, propriété de la SNCF et située dans l'extrados d'un méandre de l'Allier. Ce site a fait l'objet d'un suivi hydrographique et topographique régulier par le Cerema Normandie-Centre.

### Le contexte

La digue de Saint Loup est localisée dans l'extrados de méandre de l'Allier.

Avec la digue des Pétilons, située en vis-à-vis, elle constitue un système d'entonnement destiné à canaliser les écoulements de l'Allier sous le pont supportant la voie ferrée reliant La Ferté-Hauterive à Gannat.



Localisation du site de Saint-Loup (03)

Une importante grève en intrados sur la rive gauche rétrécit la section du lit mineur en période de basses eaux et oriente les écoulements principaux sur la rive droite. Cette configuration génère une importante érosion du pied de la digue et a conduit la SNCF à mettre en place une protection en enrochement sur environ 100 mètres linéaires en sortie de méandre. Néanmoins, l'érosion de la berge s'est poursuivie sur sa partie non protégée en rive droite et une importante encoche s'est développée à l'amont immédiat de la protection.



Vue aérienne du site de Saint-Loup

## Le suivi hydrographique et topographique

Trois campagnes de mesures ont été réalisées pendant la durée du projet, résumées dans le tableau suivant.

| Date de la campagne | Conditions hydrauliques – débit à la station de Châtel-de-Neuvre |
|---------------------|--|
| 16 mai 2017         | 110 m <sup>3</sup> /s  |
| 23 mai 2018         | 160 m <sup>3</sup> /s  |
| 14 & 15 mai 2019    | 58 – 67,2 m <sup>3</sup> /s                                      |

Lors de chaque campagne, l'acquisition des données comprenait :

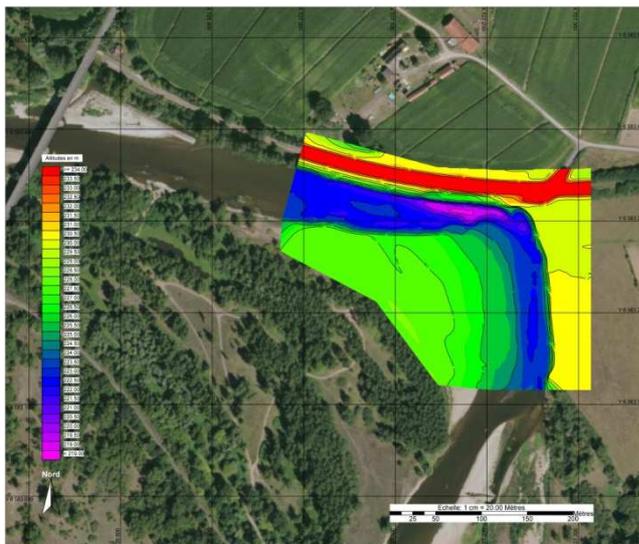
- Un levé bathymétrique au sondeur multifaisceaux
- un levé topographique des berges
- des profils courantométriques à l'ADCP



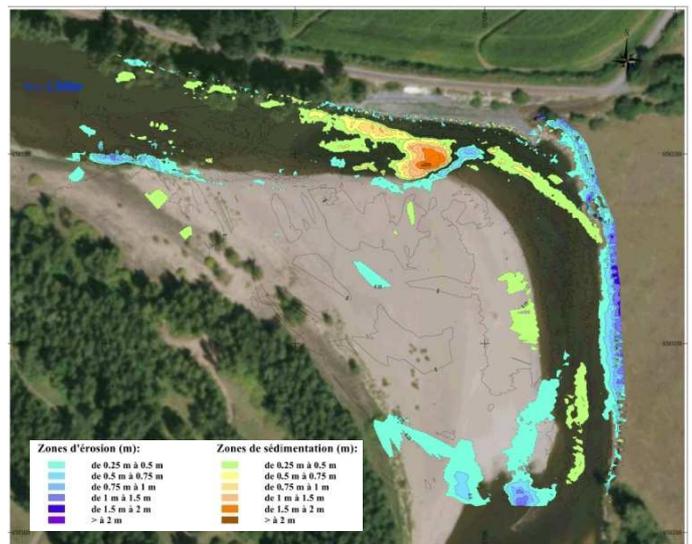
Saint-Loup – levé à l'ADCP

## Les résultats

A l'issue de chaque campagne de mesure ont été produites des cartes d'altitude des fonds et des berges, des cartes de comparaison et les vues en plan et en coupe (vecteurs) des profils de vitesses.



Saint-Loup – levé bathymétrique 2018 – courbes de niveau



Saint-Loup – Comparaison levés bathymétriques 2018-2019

L'encrochement du pied de digue n'a pas évolué entre 2017 et 2019. En revanche, l'érosion s'est accentuée en amont de la protection. Entre 2017 et 2018, un recul latéral de la berge a été constaté sur cette portion, compris entre 3,5 m et 7 m suivant les endroits. Entre 2018 et 2019, la progression latérale du méandre était comprise entre 1 et 4 mètres. L'érosion atteint désormais le pied de la digue sur la partie non protégée.



Saint-Loup – érosion constatée en pied de digue en mai 2018

Les profils réalisés à l'ADCP ont également confirmé que les vitesses les plus importantes étaient localisées en extrados de méandre, avec des valeurs de l'ordre de 2 m/s mesurées en mai 2018 et 1,6 m/s en mai 2019.



Vitesses du courant mesurées sur plusieurs profils en mai 2019

#### REFERENCE

Masset JP. & Bontemps A. (2018) Cerema/Etablissement public Loire – Etude de cas – Dignes de Pétilions/Saint-Loup – Rapport d'étude. Mars 2018.

#### NOTES

.....

.....

.....

## MONITORING "LEGER" ET AUTONOME D'UN OUVRAGE : PONT-RAIL D'ISLE SUR L'AURENCE

Frédérique LARRARTE<sup>1,2</sup>, Hugues CHOLLET<sup>1</sup>, Louis BATTIST<sup>1</sup>, Emma FLORENS<sup>3</sup>,  
Yannick DELLA LONGUA<sup>4</sup>, Mark CHEETHAM<sup>5</sup>, Christophe CHEVALIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ifsttar GERS & COSYS, <sup>2</sup> Laboratoire d'Hydraulique St Venant, <sup>3</sup> IRT Railenium

<sup>4</sup> SNCF Réseau Limoges, <sup>5</sup> SNCF Réseau DGII VA OTH

[frederique.larrarte@ifsttar.fr](mailto:frederique.larrarte@ifsttar.fr)

**Cette présentation porte sur les travaux de la tâche « approche terrain » et plus précisément sur les outils de monitoring mis en place sur le Pont-rail sur l'Aurence, le traitement de données et les premiers résultats après plusieurs mois de suivi.**

L'affouillement est défini comme une action de creusement due aux remous et aux tourbillons engendrés dans un courant fluvial ou marin butant sur un obstacle naturel (rive concave des méandres) ou artificiel (pile de pont, jetée), ou à l'activité des animaux benthiques. Selon Breusers et al (1977), la profondeur d'équilibre d'affouillement  $d_{se}$  peut être décrite par l'équation (1) :

$$d_{se} = f(\rho, \mu, U, Y, g, d, U_c, D) \quad (1)$$

où  $g$  est l'accélération de la pesanteur;  $Y$  la profondeur d'eau;  $U$  la vitesse moyenne en amont;  $D$  le diamètre de la pile,  $\rho$  la masse volumique;  $\mu$  la viscosité dynamique du fluide,  $U_c$  la valeur critique de la vitesse associée avec la mise en mouvement des particules du lit,  $d$  la dimension typique (diamètre) des particules. Il existe d'autres formulations et même de très nombreuses lois ayant chacune leurs limites comme l'ont montré Sheppard et al. [2013].

Comme indiqué dans la relation (1), les mesurandes essentiels sont la hauteur d'eau, la vitesse, la granulométrie. Pour chaque mesurande, il faut identifier :

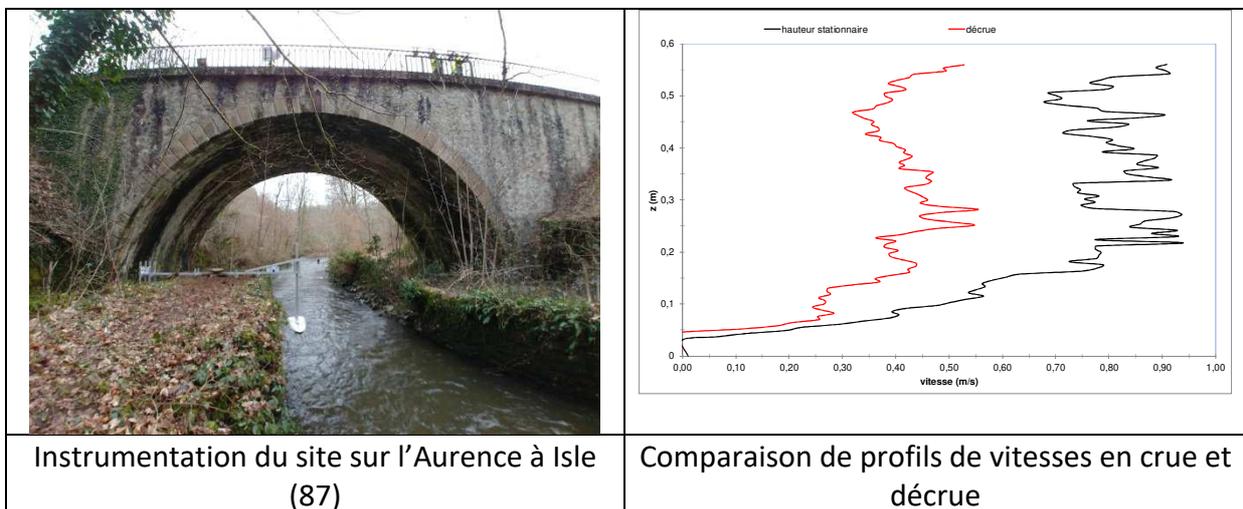
- La gamme de mesure min-max,
- Les caractéristiques souhaitées (incertitudes, résolution, ...),
- Les contraintes de mise en œuvre :
  - nombre de personnes min max,
  - qualifications requises,
  - temps nécessaire pour accéder au site (missions avec éventuelles nuitées),
  - contraintes météorologiques,
- Les contraintes de déploiement sur site :
  - énergie (secteur, batterie, si batteries, autonomie),
  - réseau pour récupération des données,
- L'homogénéité d'un parc de matériel (sur 1 site si redondance ou entre les sites),
- Les coûts d'acquisition du matériel,
- Les coûts d'exploitation et de maintenance :
  - pièces à changer,
  - sous quelles conditions (étalonnage sur site requis, fabrication, ...),

- Les coûts de récupération des données (nombre d'agents et périodicité),
- Post traitement (critères de validation, exploitation, qui fait quoi, ...)

Le site choisi est un pont cadre SNCF situé sur le réseau secondaire en Limousin. Il s'agit d'un pont-rail en maçonnerie dont la construction date de 1880 environ, la dernière inspection date d'octobre 2012). Le site est en climat océanique sur le bassin versant de la Loire dont l'Aurence est un affluent via la Vienne. Le bassin versant de l'Isle est très réactif et la durée d'une crue est d'environ 24 heures. Du fait des méandres que suit le cours d'eau, la rive gauche est en situation d'extrados. Nous avons mesuré en pied de culée un affouillement de 1,7 m de long sur 0,5 m de profondeur. Le perré est effondré et les blocs situés au fond de la rivière en proviennent pour nombre d'entre eux.

La structure mise en place est relativement légère, il s'agit d'un liminètre ultrasonore à temps de transit de type Ijinus LNU06V3-82-3G qui permet de déterminer la hauteur d'eau, d'une caméra HIK Vision 4MP WDR qui permet de regarder périodiquement l'état de l'instrumentation, d'un profileur ultrasonore Ub-flow qui permet d'obtenir les profils de vitesse. Les données sont gérées via un datalogger et l'énergie est fournie par des panneaux solaires.

Les résultats montrent qu'il est possible d'obtenir des profils de vitesse et, en utilisant une loi logarithmique, d'estimer la vitesse de cisaillement au fond. Il convient néanmoins d'attirer l'attention sur l'importance de mesurer simultanément la hauteur d'eau et la vitesse pour connaître l'hydraulique du site puisque, pour une même hauteur d'eau, le profil de vitesse peut varier de manière sensible.



REFERENCES

Larrarte F., Chevalier C., Chollet H., Battist L. & Bontemps A. (20xx), Continuous monitoring of bridges affected by scour : researches applied to bridge management, soumis à Water.



## MONITORING "COMPLET" D'UN OUVRAGE : VIADUC DE L'A71 SUR LA LOIRE

**Arnaud BONTEMPS<sup>1</sup>, Jean-Pierre JACQUES<sup>1</sup>, Francis GARNIER<sup>1</sup>,  
Alexandre CHESNE<sup>1</sup>, Coraline WINTENBERGER<sup>1</sup>, Frédérique LARRARTE<sup>2</sup>,  
Christophe CHEVALIER<sup>2</sup>, Hugues CHOLLET<sup>2</sup>, Sidoine DE LA ROQUE<sup>3</sup>,  
Souleymane DIALLO<sup>3</sup>, Emma FLORENS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Cerema Normandie Centre, <sup>2</sup> Ifsttar GERS & COSYS, <sup>3</sup> Vinci Autoroutes, <sup>4</sup> IRT Railenium  
[arnaud.bontemps@cerema.fr](mailto:arnaud.bontemps@cerema.fr)

Pour améliorer la connaissance des processus d'affouillement, le projet SSHEAR s'est appuyé, dans sa tâche « approche terrain » sur le suivi de 3 sites pilotes. Le 3<sup>e</sup> site concerne le viaduc de l'autoroute A71 sur la Loire à Orléans. Ce site fait l'objet d'un suivi bathymétrique régulier par le Cerema Normandie-Centre. Un dispositif de mesure en continu des vitesses et de la bathymétrie a également été mis en place sur une des piles de l'ouvrage.

### Le contexte

Le viaduc de l'autoroute A71 franchit la Loire à Saint-Pryvé-Saint-Mesmin (45) près d'Orléans. C'est un ouvrage d'environ 400 mètres de long disposant de 4 piles implantées directement dans le lit mineur du fleuve. A cet endroit, le lit endigué de la Loire possède une largeur d'environ 300 m ; le lit majeur s'étend en rive gauche et mesure approximativement 650 m de large.

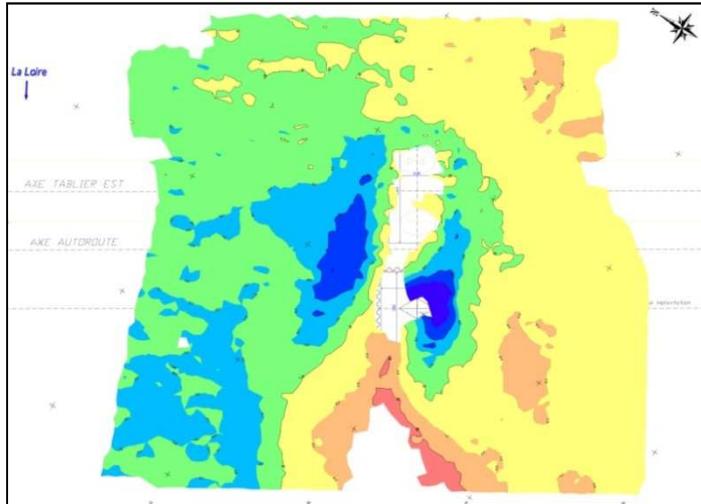
Il fait l'objet d'un suivi régulier de la part du Cerema Normandie Centre depuis plus de 30 ans. Ce suivi a permis d'identifier des phénomènes d'érosion à proximité des piles 3 et 4.



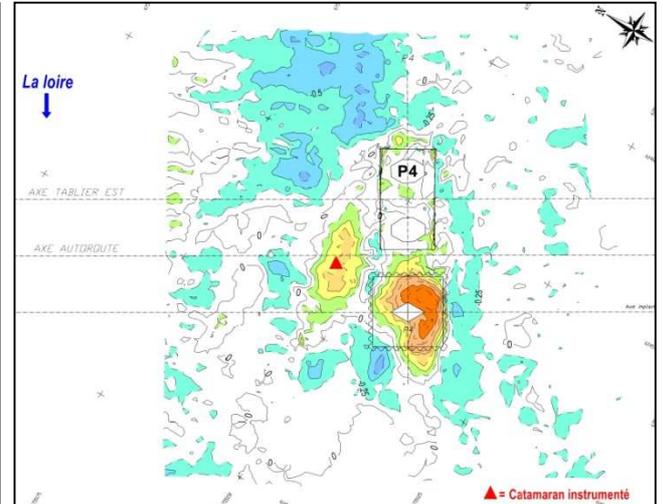
Viaduc de l'A71 sur la Loire à Orléans (45)

## Mesures bathymétriques ponctuelles

Des mesures bathymétriques autour des piles 3 et 4 de l'ouvrage ont été réalisées en avril 2016, janvier 2018 et juin 2019.



A71 à Orléans – levé bathymétrique 2018 –  
courbes de niveau



A71 à Orléans – comparaison levés  
bathymétriques 2018 - 2019

Ces campagnes ponctuelles ont mis en évidence une alternance des phénomènes de dépôts et d'érosion, en lien avec l'activité hydrologique du cours d'eau.

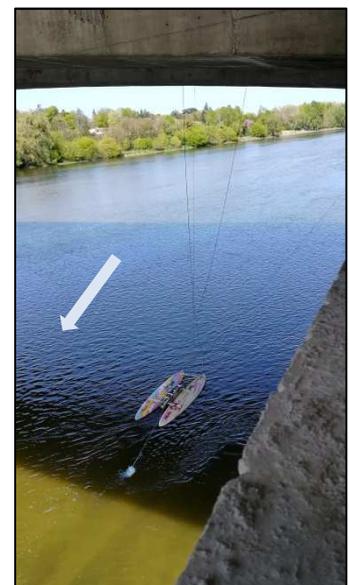
## Mesures en continu

Pour améliorer la connaissance des processus d'affouillement, un dispositif de mesure en continu a été installé au printemps 2019 à proximité de la pile n°4 de l'ouvrage. Après avoir étudié un système d'installation des capteurs rigide fixé à la pile, nous nous sommes finalement orientés, pour des raisons de coût et de perturbation des écoulements, vers un dispositif flottant plus léger et plus rustique.

Les capteurs immergés reposent sur un catamaran constitué de 2 flotteurs, reliés par des profilés aluminium, et fixés au tablier de l'ouvrage par 4 cordes munies de poulies.



A71 à Orléans – Catamaran instrumenté



Après avoir étudié plusieurs types de capteurs et consulté plusieurs fournisseurs, nos choix se sont tournés vers :

- Un sondeur monofaisceau Kongsberg, motorisé sur 2 axes pour permettre un balayage de la surface à mesurer ;
- Un profileur de vitesses 3D (ADCP) RDI Monitor 1200 kHz ;
- Un radar installé sous le tablier pour mesurer le niveau d'eau en continu.
- L'installation est complétée par une caméra, installée en sous-face de tablier, qui prend deux photographies du catamaran par jour afin d'identifier d'éventuelles avaries à distance.



Les données issues des capteurs sont enregistrées par un data-logger et envoyées vers un serveur ftp via un modem 4G.

Depuis sa mise en place, le dispositif a malheureusement subi des actes de vandalisme et rencontré plusieurs problèmes techniques. Les mesures en continu ont débuté très récemment et n'ont pas encore pu être exploitées et analysées. L'objectif est de réaliser ces mesures sur une année hydrologique complète (septembre à août).

#### REFERENCES

Florens E., Chevalier C., Larrarte F., Schmidt F. & Durand E. (2018) Scour monitoring on bridge pier – methodology and implementation. RiverFlow, River Flow 2018, Lyon, France, sept. 2018.

Delancret R. (2015) Affouillement autour des ouvrages d'arts : analyse bibliographique et application au pont de l'A10 à Tours. Rapport de stage M2, Univ. F Rabelais, Tours, 61p.

Bigot D. & Bontemps A. (2016) Cofiroute – Autoroute A71 – PI5/3 et PI1001/05 – Viaduc sur la Loire à Orléans (45) – Suivi quinquennal – Levé bathymétrique 2016 – Note technique et plans (C15RB0001/A).

---

#### NOTES

.....

.....

.....

.....

.....

## INSTRUMENTATION VIBRATOIRE DES STRUCTURES AFFOUILLABLES

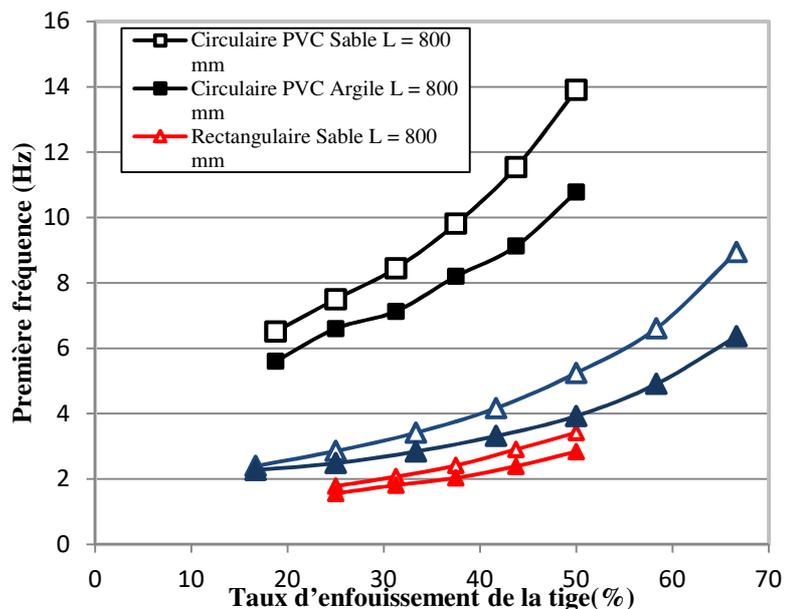
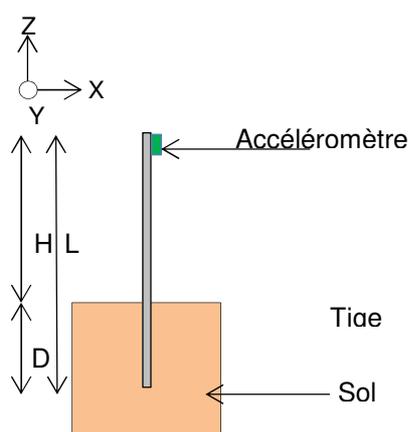
Nissrine BOUJIA<sup>1</sup>, Arnaud BONTEMPS<sup>2</sup>, Christophe CHEVALIER<sup>1</sup>,  
Frédérique LARRARTE<sup>1</sup>, Damien PHAM VAN BANG<sup>3</sup>,  
Franziska SCHMIDT<sup>1</sup>, Dominique SIEGERT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ifsttar MAST GERS & COSYS, <sup>2</sup> Cerema Normandie Centre, <sup>3</sup> Cerema Lab. Saint-Venant  
[franziska.schmidt@ifsttar.fr](mailto:franziska.schmidt@ifsttar.fr)

L'affouillement du sol autour des appuis d'ouvrages modifie les conditions d'appuis et peut modifier leur comportement structurel. Afin de détecter ce phénomène et si possible le suivre, deux voies ont été investiguées : tout d'abord, le développement d'une structure auxiliaire, correspondant à une tige instrumentée, a été étudié. Ensuite, l'instrumentation directe des ouvrages a été implémentée avec pour but de déterminer si suivre l'ouvrage permet de suivre l'affouillement.

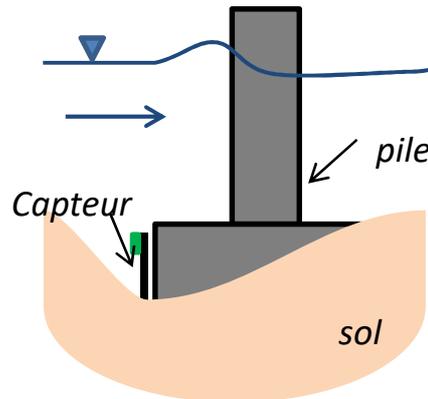
1 - Le comportement structurel d'ouvrage réel étant complexe, le comportement statique et dynamique d'une tige enfoncée dans le sol, en présence ou non d'eau, a été étudié.

Le comportement dynamique est clairement liée à la longueur libre de la tige, et donc l'affouillement. Cela est le cas pour différentes tiges (sections, matériaux), différents sol (sable ou mélange sable-argile), présence ou absence d'eau statique. De même, le comportement statique de la tige est lié à l'affouillement avec une calibration possible grâce à l'écriture analytique du déplacement de la tige sur l'effet d'une force latérale.



Essais de détermination du comportement vibratoire d'une tige enfoncée dans le sol

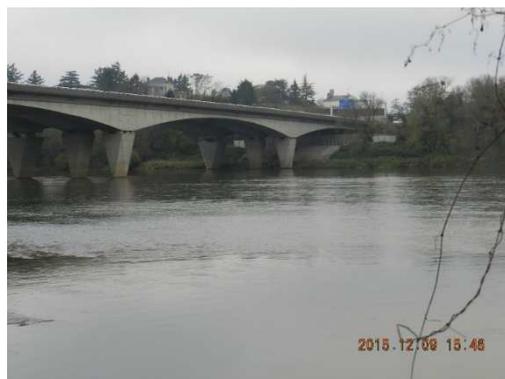
Ces travaux ont permis d'avancer et de valider l'idée d'un capteur d'affouillement (scour-depth sensor), permettant de suivre l'affouillement au pied des appuis d'ouvrages (Zarafshan et al., 2012).



Capteur d'affouillement - Scour-depth sensor

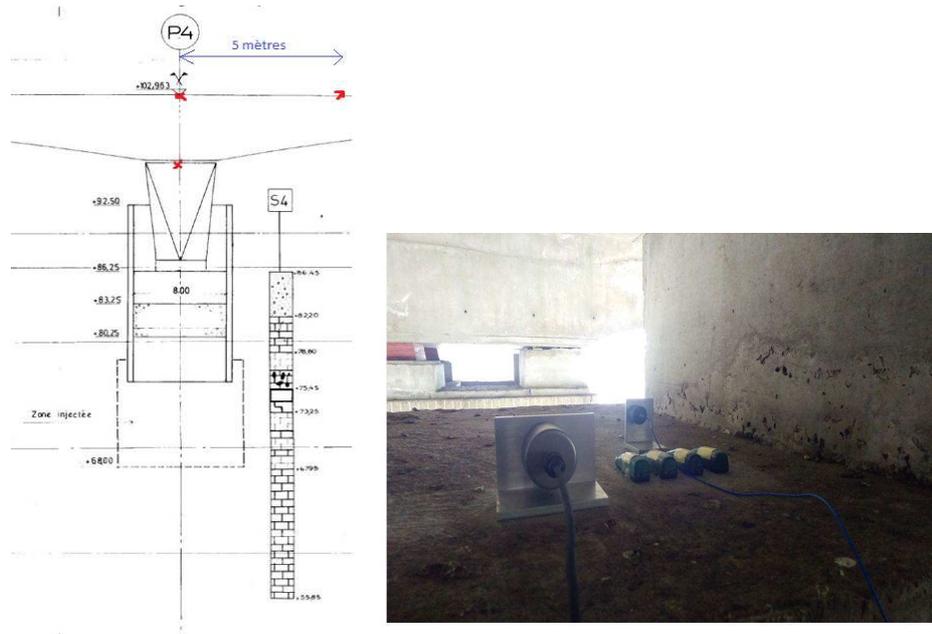
2 - Suivre le comportement dynamique des ouvrages d'art pour suivre le phénomène d'affouillement est une idée récurrente dans la littérature (Brandimarte et al., 2012). Néanmoins, des travaux préliminaires ont montré l'importante sensibilité des fréquences propres mesurées à divers paramètres, tels la caractérisation du sol ou de la structure elle-même. De plus, le comportement de la pile est lui-même discuté dans la littérature (Prendergast et al., 2013), (Foti et al., 2011), selon la détection ou non d'un mouvement de corps rigide.

Un ouvrage en béton précontraint de l'A71 a été sélectionné pour instrumentation, suite à l'existence d'affouillements et son suivi bathymétrique. L'ouvrage est composé que 6 appuis, dont 4 dans le lit de la rivière.



Ouvrage d'art de l'A71, sur la Loire, près d'Orléans.

La pile P4 étant celle subissant le plus d'affouillements, elle a été instrumentée avec des accéléromètres : dans une première phase, seuls des accéléromètres autonomes et avec enregistrement intégré ont été utilisés. Cette première phase, réalisée pour différentes conditions d'appuis et hydrauliques, a permis de démontrer la faisabilité d'une évaluation de la première fréquence propre.



Pile P4 et localisation des capteurs (à gauche) et capteurs GCDC et PCB installés (à droite).

Actuellement, une instrumentation et un suivi en continu sont mis en place pour la détection d'évolution des caractéristiques d'appui (affouillement) et des sollicitations (hydraulique).

#### REFERENCES

- Boujia N., Schmidt F., Chevalier C., Siegert D. & Pham van Bang D. (2019) Effect of Scour on the Natural Frequency Responses of Bridge Piers: Development of a Scour Depth Sensor, 2019, Infrastructures 2019, 4(2), 21.
- Boujia N., Schmidt F., Chevalier C., Siegert D. & Pham van Bang D. (2017) Modelling of a bridge pier subjected to scour, 10th International Conference on Structural Dynamics (EURODYN 2017), 10-13 septembre 2017, Rome, Italie.
- Boujia N., Schmidt F., Chevalier C., Siegert D. & Pham van Bang D. (2018) Bridge scour monitoring technique using the vibratory response of rods embedded in the riverbed, 7th Transport Research Arena TRA 2018, 16-19 Avril 2018, Vienne, Autriche.

---

#### NOTES

.....

.....

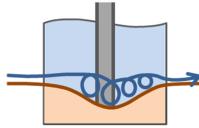
.....

.....

.....

.....

.....



**SSHEAR**

*SOILS, STRUCTURES & HYDRAULICS*  
*Expertise and Applied Research*

## **Journée publique de restitution du projet ANR SSHEAR**

### **Séquence 3**

### **L'appropriation par les gestionnaires**

## COMPARAISON DES METHODOLOGIES FRANÇAISE ET JAPONAISE D'ANALYSE DE RISQUE SUR UN PARC D'OUVRAGES

**Denis DAVI<sup>1</sup>, Nesrine YOUNSI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Cerema Méditerranée, <sup>2</sup> Mines Nancy

[denis.davi@cerema.fr](mailto:denis.davi@cerema.fr)

**Les processus d'affouillement sont une cause importante de destruction des ouvrages d'art. Afin d'aider les gestionnaires d'ouvrages à faire face à cette problématique, des démarches d'analyse de risque spécifiques pour la surveillance et le suivi des ouvrages exposés à cet aléa ont été récemment développées en France et au Japon.**

Le phénomène d'affouillement est susceptible de menacer la stabilité des ouvrages situés en milieu hydraulique. Les ponts, qui permettent le franchissement des cours d'eau par les infrastructures de transport (ferroviaires ou routières) sont particulièrement concernés et plusieurs effondrements ont eu lieu en France, au Japon et dans d'autres pays. Ce processus d'affouillement représente donc un enjeu majeur pour les gestionnaires d'infrastructures et afin de détecter les ouvrages les plus vulnérables, la France [Davi et al. Cerema 2019] et le Japon [Takayaki et al. ICSE 2018] ont développé séparément des approches d'analyse de risque permettant une première évaluation de l'exposition et de la sensibilité des ouvrages à cet aléa, en vue de prioriser les éventuelles mesures de protection à mettre en œuvre.



Effondrement du pont sur la rivière Saint-Etienne sur l'île de la Réunion suite au passage du cyclone Gamède en 2007

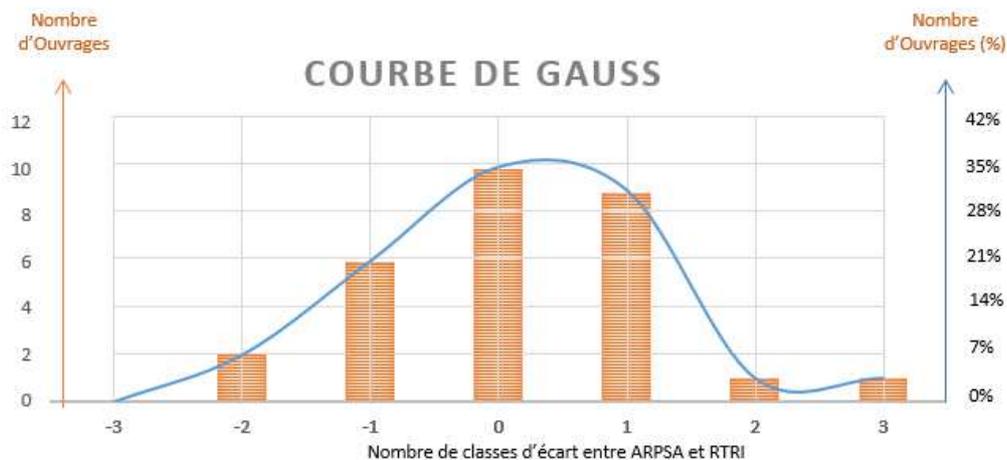
La présente étude consiste à expérimenter les deux méthodes d'analyse sur une trentaine d'ouvrages pour comparer les résultats obtenus et les critères discriminants selon chacune des deux approches. Plusieurs familles d'ouvrages ont été sélectionnées pour leur représentativité et la variété des situations : ouvrages ferroviaires ou routiers, correspondant à différentes époques de construction, franchissant des rivières fluviales ou

torrentielles, dans des régions correspondant à différents contextes climatiques (y compris cycloniques).

La méthode française « ARPSA » propose une approche d'analyse simplifiée dans laquelle le niveau de criticité du pont est obtenu par croisement d'indices d'aléa et de vulnérabilité. La méthode japonaise « RTRI » propose quant-à elle une analyse appui par appui cumulant des facteurs liés aux conditions environnementales de la rivière, à des conditions structurales des piles ou relatives aux protections éventuellement réalisées sur les fondations.

Les facteurs de pondération et l'interprétation des résultats (5 classes de criticité pour la méthode française, résultat binaire pour la méthode japonaise) diffèrent d'une méthode à l'autre. Pour cette raison, une adaptation de la méthode japonaise en cinq niveaux de risque (très faible, faible, moyen, élevé ou très élevé) a été proposée et les critères d'analyse correspondant aux principales sources d'aléa et de vulnérabilité ont été rassemblés afin de faciliter la comparaison.

L'évaluation des risques a ensuite été réalisée sur l'ensemble des ouvrages testés à l'aide des deux grilles française et japonaise, en comparant les critères discriminants ouvrage par ouvrage et de manière statistique à l'échelle globale du parc :



Ecart des niveaux de risque obtenus par les méthodes « ARPSA » et « RTRI »  
sur le parc d'ouvrages testés

Il apparaît ainsi que les deux méthodes présentent une corrélation très satisfaisante (écart inférieur ou égal à une classe de risque pour plus de 85% des ouvrages). Cependant, certains ponts présentent des niveaux de risque sensiblement distincts selon les deux approches, liés principalement à un traitement différent du critère de protection des fondations. L'application de ce type de démarche d'analyse de risque doit ainsi viser davantage à évaluer la sensibilité en vue de prioriser les actions à mener à l'échelle d'un parc étendu, qu'à quantifier le risque associé à un ouvrage individuel pour lequel une analyse détaillée spécifique reste fortement recommandée.

REFERENCES

Davi D. et al. (2019). Guide méthodologique « Analyse de risque des ponts en site affouillable ». Cerema.

Takayanagi T., Naito T., Manome R. & Nunokawa O. (2018). Evaluation method using score table for identifying bridge piers vulnerable to scouring in Japan. 9th International Conference on Scour and Erosion (ICSE), Nov. 5-8, Taipei, Taiwan.

Takayanagi T., Durand E., Davi D., Chevalier C., Cheetham M., Naito N., Sanagawa T., Watanabe K. (2019). Scour risk management at bridges - A comparison of Japanese and French scoring methodologies. 12th World Congress on Railway Research (WCRR), Oct. 22 -Nov. 1, Tokyo, Japan.

---

NOTES

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# LE GUIDE SSHEAR SUR LA GESTION DES AFFOUILLEMENTS

Mark CHEETHAM<sup>1</sup>, Julien GABRIELLI<sup>2</sup>, Chi-Wei CHEN<sup>2</sup>,  
Sidoine DE LA ROQUE<sup>3</sup>, Souleymane DIALLO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SNCF Réseau DGII VA OTH, <sup>2</sup> SNCF Réseau DGII OA, <sup>3</sup> Vinci Autoroutes  
[mark.cheetham@reseau.sncf.fr](mailto:mark.cheetham@reseau.sncf.fr)

Des gestionnaires d'infrastructures sont confrontés à des demandes de performances de plus en plus exigeantes, à des contraintes fortes par rapport aux budgets de maintenance et de régénération ainsi des sollicitations des réseaux par des aléas naturels fréquents et d'intensité importante. Le guide SSHEAR a pour objectif de présenter aux gestionnaires d'infrastructures les causes, les méthodes d'appréciation et les techniques de réduction des risques associés aux affouillements.

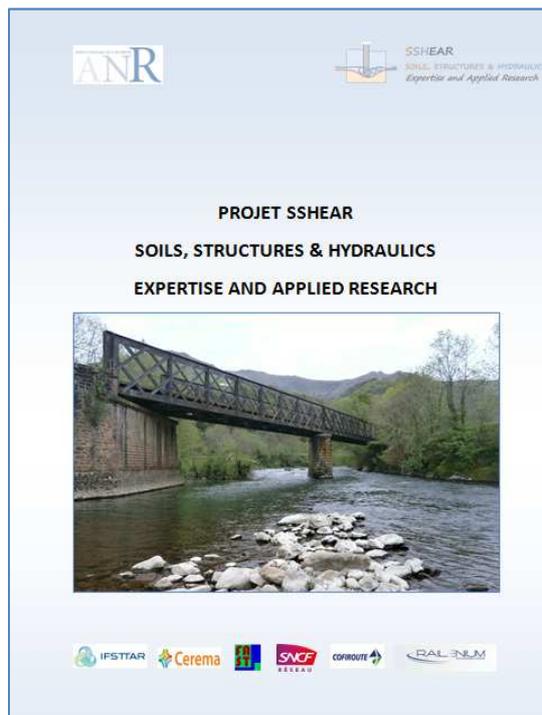


Fig. 1 : Guide SSHEAR

Le guide SSHEAR s'appuie sur le processus de management des risques proposé dans la Norme Française NF EN 31000 : Management du risque : Principes et Lignes Directrices<sup>2</sup>. Le guide propose au gestionnaire un système de management de risques sur les étapes présenté dans la Fig. 2.

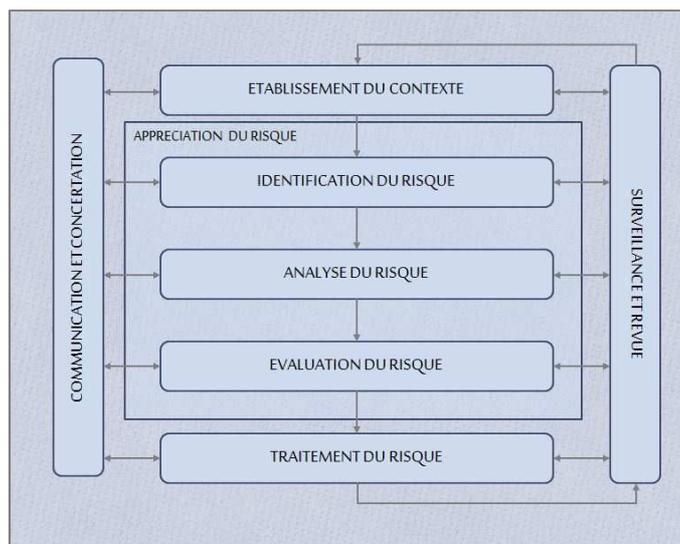


Fig. 2 : Processus de management de risque (NF EN 31000)

Après l'établissement du contexte et de l'identification des risques associés à la problématique d'affouillement, le guide propose des méthodes d'analyse de risques, notamment par les approches du nœud papillon et de *RisqueVIP* développé à la SNCF<sup>1</sup>. Ces approches permettent d'identifier les événements initiateurs du phénomène (paramètres *Intensité* et *Probabilité*) aussi les conséquences en cas de défaillance d'un ouvrage (paramètre *Vulnérabilité*). Le guide propose également des mesures de réduction du risque par la mise en place des barrières de prévention et de protection (Fig. 2).

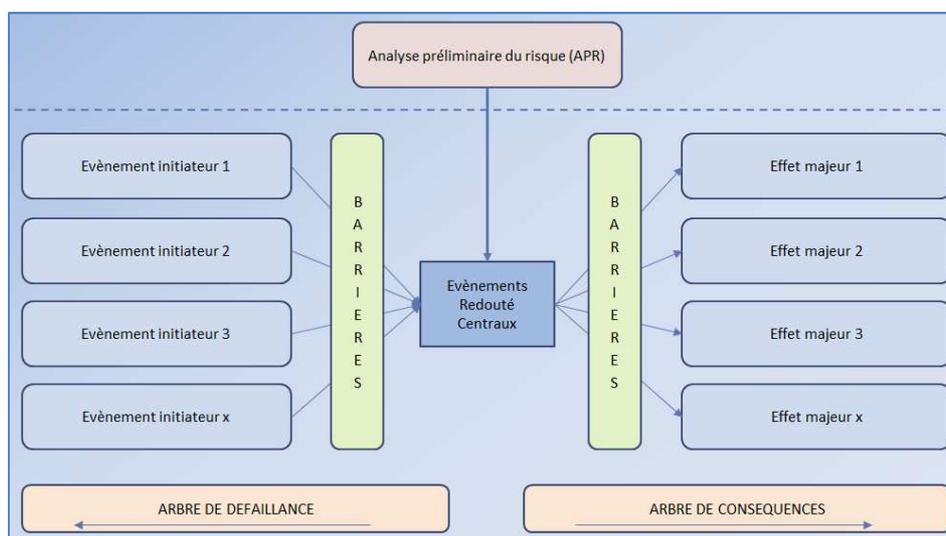
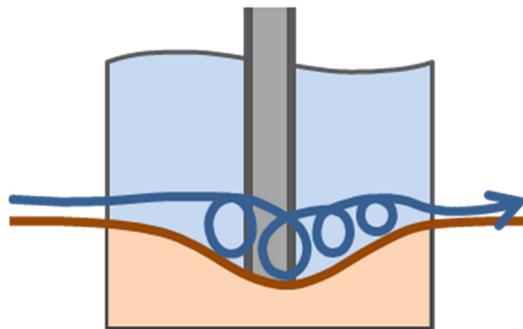


Fig. 3 : Nœud Papillon

Les contributions des deux partenaires « gestionnaires d'infrastructure » du projet SSHEAR (SNCF Réseau en domaine ferroviaire et Vinci Cofiroute en domaine routier), permettent de contextualiser la problématique via des retours d'expériences et de partager leur connaissances et expériences de management du risque d'affouillement.





<http://sshear.ifsttar.fr/>

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE  
**ANR**



**IFSTTAR**



**Cerema**

**FAST**

**VINCI**  
AUTOROUTES

**SNCF**  
RÉSEAU

**RAILENIUM**  
TEST & RESEARCH CENTER