

INTITULE DU SUJET DE THESE : Etude des problématiques érosives en Territoire Hauts de France : Compréhension des mécanismes de mise en place des coulées boueuses et de leur rôle sur la qualité des cours d'eau

ENCADREMENT :

- ALARY Claire, IMT Lille-Douai
- BILLON Gabriel HDR, Pr, Université de Lille.
- FRANKE Christine, Mines Paris-Tech

LIEU PRINCIPAL :

- IMT Lille-Douai, 764 Bd Lahure, 59508 Douai Cedex

SUPPORT FINANCIER :

Le financement est acquis. Le sujet de thèse est supporté financièrement par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et bénéficie d'une allocation de recherche de la Région Hauts de France.

DEMARRAGE : OCTOBRE 2020

RESUME DU SUJET DE THESE

Selon les derniers chiffres édités par le SOeS (2016), l'érosion hydrique peut dépasser 10 t/ha/an dans certaines régions, notamment dans le Nord de la France, dans les zones de grandes cultures. Aujourd'hui, dans ces zones, l'extension des surfaces imperméables et l'évolution du parcellaire et des pratiques agricoles ont pour conséquence la perte du capital « sol » par ravinement, l'augmentation des risques d'inondations et de coulées de boues et la dégradation de la qualité des eaux des rivières. Des efforts manifestes ont été réalisés, à travers l'installation d'ouvrages d'aménagements d'hydrauliques douces permettant la réduction des flux. Néanmoins, les quantités de sédiments exportées à l'exutoire des bassins restent toujours élevées et la qualité bio-géochimique des cours d'eau en est déclassée, au regard de l'application de la DCE. Dans le cadre de ce sujet de thèse, on propose, sur une zone bien identifiée des Hauts de France d'établir un diagnostic sur le fonctionnement des ouvrages d'aménagement d'hydraulique douce; il s'agira en particulier d'analyser la typologie (physico-chimie, minéralogie, granulométrie) des matières toujours exportées puis de travailler sur les mécanismes de transfert des particules en rivière et la perte de qualité chimique des cours d'eau, due à ce transport solide. Une attention particulière sera portée aux polluants (en particulier certains pesticides) sorbés sur la phase solide. Ces mesures seront réalisées en considérant les conditions bio-pédologiques du parcellaire agricole et les caractéristiques de l'évènement pluvieux à l'origine du départ de matière. Ces derniers aspects sont indispensables à considérer si on veut identifier les modes de fonctionnement futur au regard d'une évolution des conditions climatiques.

DESCRIPTIF DU SUJET

1) Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique et économique :

Selon les derniers chiffres édités par le SOeS (2016), l'érosion hydrique est estimée en moyenne à 1,5 t/ha/an en France et peut dépasser 10 t/ha/an dans certaines régions, notamment dans le Nord de la France, dans les zones de grandes cultures. Aujourd'hui, dans ces zones, l'extension des surfaces imperméables et l'évolution du parcellaire et des pratiques agricoles ont pour conséquence la perte du capital « sol » par ravinement, l'augmentation des risques d'inondations et de coulées de boues et la dégradation de la qualité des eaux des rivières. De 1985 à 2000, près de 50% des communes de la région Hauts de France ont été touchées par les coulées boueuses, soit environ 6% des communes françaises concernées. Les réseaux des Voies Navigables en Hauts de France sont touchés par des problématiques d'envasement qui nuisent à la bonne navigabilité des cours d'eau et à la qualité bio-géochimique des eaux. Des efforts manifestes ont été réalisés, à travers l'installation de d'ouvrages d'aménagements

d'hydrauliques douces permettant la réduction des flux sur les parcelles agricoles. Néanmoins, les quantités de sédiments exportées à l'exutoire des bassins restent toujours élevées et la qualité bio-géochimique des cours d'eau en est déclassée, au regard de l'application de la DCE (¹Superville et al., 2014, ²Alary et Demougeot, 2010). La mauvaise connaissance des zones contributrices et des typologies de sédiments (en termes de qualité et quantité) générés, limitent fortement la mise en œuvre d'une gestion efficace du flux de matière.

Dans un premier temps il est donc nécessaire d'avoir une estimation rigoureuse des pertes en terre. La quantification des taux d'érosion peut se faire à travers l'acquisition de mesures *in situ* de turbidité ou des charges en Matières en Suspension (MES) à l'exutoire d'un bassin versant. Des travaux récents ont été réalisés par l'IMT Lille-Douai dans ce domaine sur le bassin versant de la Canche (Hauts de France) et ont permis de quantifier les flux de matière sur un petit bassin versant représentatif (³Patault et al., 2019). Ces résultats ont été associés à une approche de modélisation des flux de particules. Celle-ci s'est appuyée sur les travaux récents de ⁴Landemaine (2015) et a permis de « visualiser » spatialement les processus d'érosion dans les territoires agricoles des Hauts de France : de l'érosion diffuse dans la partie amont et des processus d'érosion concentrée dans des ravines éphémères à l'aval, dont l'activité est rythmée par l'état de dégradation des parcelles). L'utilisation des outils géochimiques pour tracer les sources de matière, (méthode dite fingerprinting bien répertoriée dans la littérature : e.g. ⁵Collins et Walling, 2002) a également été utilisée avec succès dans le bassin versant de la Canche pour identifier les zones les plus sensibles à l'érosion et donc les plus contributrices (⁶Patault et al., 2019). Les gestionnaires de bassin versant sont cependant toujours à la recherche de données robustes sur les zones sensibles à l'érosion, leur localisation, leur degré de vulnérabilité et leur capacité de restauration. Ainsi il apparaît important d'évaluer des politiques d'aménagement en particulier établir des diagnostics sur le fonctionnement et l'efficacité des ouvrages d'hydrauliques douces dont la mise en place est la politique majeure de lutte anti-érosive.

L'utilisation des isotopes radioactifs environnementaux (⁷Be, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb...) pour quantifier l'érosion mais aussi évaluer les temps de transit des particules est également bien décrite dans la littérature (⁷Evrard et al., 2007). L'utilisation de ces radio-traceurs environnementaux se montre également efficace pour la quantification des taux de sédimentation et de remise en suspension des sédiments dans les cours d'eau (⁸Zebracki et al., 2008). Le couplage des outils de suivi en continu de la charge hydro-sédimentaire avec l'utilisation des marqueurs radioactifs apparaît donc comme une démarche intéressante et robuste pour comprendre le cheminement et le comportement des particules du parcellaire agricole au cours d'eau. La connaissance de ces transferts est importante au regard des problématiques d'envasement responsable de la dégradation des habitats et de l'altération du benthos, ce dernier pouvant être affecté par les polluants retenus sur les particules (⁹Prygiel et al., 2014). Si lors d'une précédente étude la contamination en pesticides dans l'eau de la Canche a été précisément suivi par l'IMT-Lille-Douai et Géosciences - MINES ParisTech (¹⁰Belles et al., 2019), le rôle des particules en transit sur le cheminement et le comportement de ces polluants dans le cours d'eau n'a pas encore été bien étudié. Il apparaît donc important de coupler « matière en transit » et « polluants » pour estimer correctement la vulnérabilité des cours d'eau.

Le travail proposé a pour objectif l'étude des dynamiques érosives dans les terres de grande culture de la région Hauts de France. En s'appuyant sur un monitoring des matières en transit, depuis le parcellaire agricole jusqu'à la rivière, il s'agira d'identifier les mécanismes de mise en place des coulées boueuses et leur rôle sur la qualité des cours d'eau.

2) Contexte des laboratoires d'accueil :

L'IMT Lille-Douai - laboratoire LGCgE travaille depuis 4 ans, en partenariat avec l'Agence de l'Eau Artois-Picardie sur les problématiques érosives et le transfert de matière sédimentaire, en s'appuyant sur les actions, les mesures correctrices et les réflexions régionales mises en œuvre pour limiter le ruissellement et les coulées de boues (cad, travail sur l'installation d'aménagements d'ouvrages d'hydrauliques douces, depuis plus de 10 ans, pour lutter contre la perte en terre dans le bassin versant de la Canche). Ce précédent travail s'est inscrit dans la chaire Ecosed (Economie circulaire des sédiments) au travers du projet QUASPER (Quantification, Analyse et Suivi des Processus Erosifs) et a fait l'objet du travail de thèse d'Edouard Patault (¹¹Patault, E. 2018). Il continue à s'intégrer à la chaire ECOSSED digital 4.0, en s'inscrivant dans le projet GESS (Gestion à la Source des sédiments), premier projet du groupe Thématique « Sedi-Source » de la chaire.

L'IMT a ainsi travaillé sur les problématiques de contamination métallique et organique dans les voies navigables de France (Scarpe, Escault, Deûle, Canal de Lens : projets GeDSET, POEMS, CAPMOS) et de contamination en

pesticides dans les rivières en territoire agricole (Canche, projet Traversière), avec un focus sur la compréhension des transferts de ces éléments dans les bassins versants et sur le rôle des sédiments dans ces fonctionnements.

Dans le cadre de la compréhension du comportement des contaminants dans les masses d'eau de surface continentales, thème de recherche phare du laboratoire, le LASIRE (Université de Lille), développe et utilise des outils de mesures en ligne afin d'appréhender les évolutions journalières des paramètres chimiques et physicochimiques de la qualité de l'eau. Ces approches méthodologiques sont couplées à la compréhension du devenir des métaux au cours de la diagenèse précoce dans les sédiments de surface et les mécanismes de piégeage/relargage des contaminants, abordé à l'aide d'échantillonneurs passifs et de systèmes d'incubation. Ce travail est mené sur différents milieux d'observation : le canal de la Deûle; la Marque Rivière avec les apports de la station d'épuration de Villeneuve d'Ascq et du lac du Héron (projet Chercheur-Citoyen OPUR) ; la Selle Rivière sur tout son linéaire (projet DYMEAU) et les eaux souterraines des champs captants au sud de Lille (projet COHMET).

Le laboratoire Géosciences - MINES Paris-Tech travaille sur la sédimentologie des plaines alluviales. Les travaux menés ces dernières années sont plus précisément focalisés sur la caractérisation et la quantification de la matière en suspension (¹²Franke et al., 2009), le développement de traceurs physico-chimiques (¹³Franke et al., 2020) et le traçage des phases porteuses des pollutions dans des systèmes fluviaux complexes, comme le bassin versant de la Seine (¹⁴Kayvantash et al., 2017). Les Géosciences – MINES Paris-Tech amènent une expertise de caractérisation minéralogique pour l'observation des processus d'altérations des milieux sol et sous-sol de la plaine alluviale ainsi qu'une expertise sur le fonctionnement hydrodynamique du BV de la Canche, qui a été développée lors des projets en communs au laboratoire LGCgE - IMT Lille-Douai (projets Traversière et Quasper).

3) Les objectifs visés, les résultats escomptés

Ce travail de thèse s'inscrit dans la problématique de pertes en terres agricoles, génératrices de coulées de boues dans les territoires de grandes cultures des Hauts de France où l'agriculture est intensive et forte consommatrice d'entrants chimiques. La mise en place et l'intensité des mécanismes d'érosion dépendent des fonctions et de la typologie des sols, du travail de la terre et des conditions climatiques, etc. La transformation de l'aménagement du territoire et la modification des conditions climatiques sont les deux clés à considérer pour appréhender ces mécanismes, leur intensité et leur évolution dans le temps. Le sujet s'inscrit donc pleinement dans une des thématiques de l'Isite : Science pour une planète en mutation (défi n°1 : comprendre et surveiller les changements planétaires).

Les objectifs de ce travail sont très clairement en continuité des travaux mis en œuvre à l'IMT Lille-Douai depuis 4 ans dans le cadre du projet QUASPER et qui ont fait l'objet de la thèse d'Edouard Patault (2015-2018). On propose dans le cadre de ce deuxième travail de thèse d'observer le fonctionnement des ouvrages de lutte anti érosive et d'en mesurer l'efficacité ; d'identifier les typologies de matières toujours évacuées du parcellaire agricole sous forme de coulées de boues, d'étudier leur cheminement lorsqu'elles sont en transit dans la rivière et d'en comprendre le rôle sur la perte de qualité des cours d'eau.

- Efficacité des politiques d'aménagement en matière de lutte contre l'érosion : une étude à l'échelle du parcellaire agricole :

Dans le cadre du projet QUASPER, l'exutoire d'un petit bassin versant agricole (Pommeroye : 0,54 km²) représentatif du parcellaire agricole en Hauts de France a bénéficié de l'installation d'une station de mesure haute-fréquence (débit, turbidité, préleveur de MES, figure 1), ce qui représente un observatoire des phénomènes de ruissellement et de coulées de boues unique en Région.

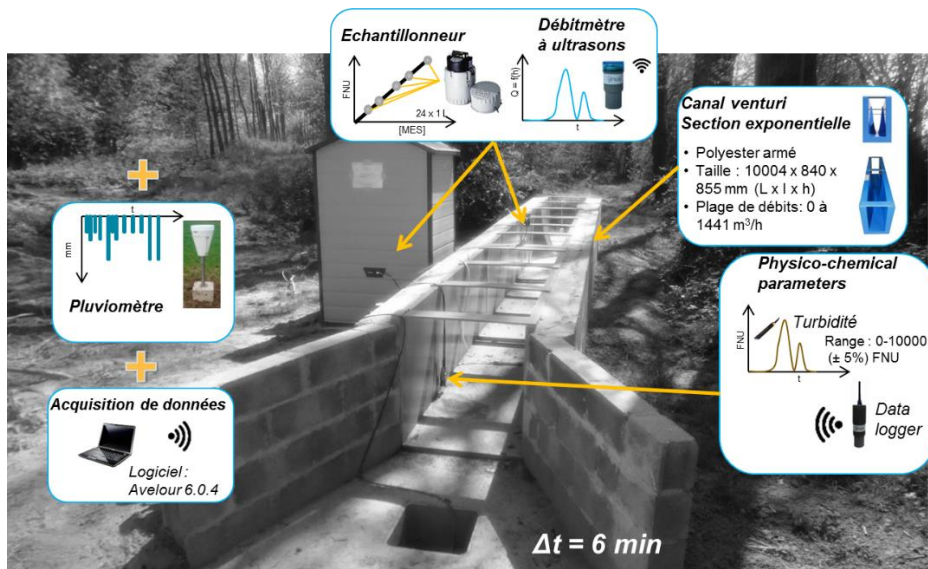


Figure 1 : Canal Venturi mis en place à l'exutoire de la Pommeroye et son instrumentation (thèse Edouard Patault, 2018).

L'utilisation de ce site, dont la mise en place a été supportée financièrement par l'Agence de l'Eau Artois Picardie et soutenue techniquement par le Symséa et la Chambre d'Agriculture avait pour vocation d'être pérennisée. La première phase a permis d'acquérir des données de flux hydrosédimentaires dans un contexte où le petit bassin versant ne bénéficiait pas d'aménagements d'hydrauliques douces (ouvrages de lutte contre l'érosion). La variabilité saisonnière des flux a été évaluée sur deux années consécutives, et confrontée aux données de précipitations collectées sur le bassin et aux relevés des états de surface des parcelles agricoles. L'injection de ces données ainsi que des données topographiques de haute résolution dans un modèle d'érosion, a permis de préciser la variabilité spatiale des flux au sein du petit bassin versant.

Il s'agit ici de pérenniser le suivi alors que le bassin bénéficie maintenant d'aménagements d'hydrauliques douce depuis novembre 2018, la poursuite du monitoring permettant de discuter quantitativement de l'efficacité des aménagements (figure 2).



Figure 2 - Photo d'une fascine mis en place en novembre 2018 dans le BV de la Pommeroye (Crédit Symséa).

On propose en parallèle d'observer de manière détaillée les mécanismes d'érosion encore opérants, de quantifier les capacités de stockage des ouvrages installés et d'identifier la typologie physico-chimique (chimie, minéralogie, taille des particules) du matériel sédimentaire stocké et exporté. L'évolution fine du système ravinaire et l'identification des figures érosives au niveau des fascines sera également réalisé à chaque évènement de ruissellement.

- Transit des particules dans le continuum fluvial : origine de la matière et rôle sur la qualité des eaux :

Dans le bassin versant de la Canche, si les transferts sédimentaires ont pu être caractérisés en termes de quantité et de provenance, les informations liées au temps de transfert des particules et donc aux phases de stockage/remobilisation des particules sont méconnues. De même la charge polluante associée à ces particules d'origine et de source différentes n'a pas été mesurée.

On propose d'obtenir ces informations en considérant un continuum fluvial depuis le sol érodé vers l'exutoire du Bassin versant, en mettant en place une stratégie d'échantillonnages « emboîtée » des matières en suspension dans le bassin versant de la Canche (figure 3). Des préleveurs, assujettis au débit, capables de collecter automatiquement les MES à chaque épisode de ruissellement seront mises en place à trois échelles du bassin versant. (échelle 1 : exutoire du petit bassin de la Pommeroye ; échelle 2 : exutoire de la Planquette, affluent de la Canche ; échelle 3 : proche exutoire de la Canche).

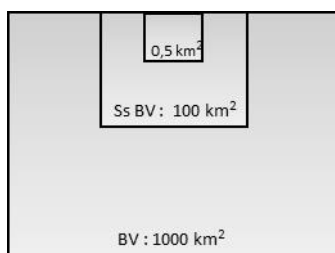


Figure 3 – Schéma des 3 échelles spatiales considérées dans le monitoring des MES.

L'analyse du radioélément ^7Be sur les matières en suspension collectées à chaque épisode de ruissellement devra permettre d'estimer le temps de transit de celle-ci dans le système aquatique. En effet, une matière récente, issu d'une érosion des sols superficiels présentera une concentration en ^7Be (issu des dépôts atmosphériques) plus élevée qu'une matière anciennement déposée, temporairement stockée puis remobilisée et dont la concentration en ^7Be a décré au cours du temps (temps de $\frac{1}{2}$ vie du ^7Be = 53 jours).

Enfin, l'analyse des charges polluantes sorbées sur les matières pourront contribuer à une meilleure connaissance de la perte de qualité chimique des cours de d'eau par le transport solide. En cohérence avec l'activité du territoire, un focus sera fait sur l'analyse des pesticides. Un premier « screening » de la concentration en pesticides sur des matières en suspension, des sols et des berges a été réalisé sur des matières prélevées en 2016 et 2017: 17 composés avaient été analysés. Certains ont été observés quasi systématiquement : Hydroxyatrazine (produit de dégradation de l'atrazine), Diflufenican et Pendimethaline; d'autres sporadiquement : Imidaclopride, olefin, nicosulfuron, chlortoluron, isoproturon et métolachlore (on présente dans le tableau 1 les concentrations maximales obtenues sur des sols, coulées boueuses et matières en suspension lors de notre tout premier screening). Ce sont ces molécules qui seront retenus prioritairement dans le cadre du travail proposé ici.

Tableau 1 – Concentrations maximales en ng/g de poids secs obtenues sur un set d'échantillons de sols, coulées boueuses et matières en suspension (prélèvements 2016 et 2017). < valeur de la LOQ : inférieur à la limite de quantification.

	Hydroxyatrazine	imidaclopride olefin	Nicosulfuron	chlortoluron	isoproturon	metolachlore	Diflufenican	Pendimethaline
sols (n=5)	8,0	<LOQ	1,3	<LOQ	3,0	0,0	184,8	0,6
coulées boueuses (n=2)	3,2	<LOQ	0,0	<LOQ	<LOQ	0,6	41,2	53,1
matières en suspension (n=33)	7,0	9,4	13,4	6,5	6,7	6,6	52,3	2,6

1. Superville P.J., Magnier A., Yue Gao., Prygiel E., Billon G, et al.. (2014) Daily variations of Zn and Pb concentrations in the Deûle River in relation to the resuspension of heavily polluted sediments. Science of the Total Environment, Elsevier, 2014, 470-471, pp.600-607. (10.1016/j.scitotenv.2013.10.015)_(hal-01077306)

2. Alary, C., Demougeot-Renard, H., 2009. Factorial Kriging analysis as a tool for explaining the complex spatial distribution of metals in sediments. Environ. Sci. Technol. 44,593–599.
3. Patault E., Alary C., Franke C., Gauthier A. and Abriak NE. (2019) Assessing temporal variability and controlling factors of the sediment budget of a small agricultural catchment in Northern France (the Pommeroye). Heliyon. Elsevier 2019, 5 (3), pp.e01407.
4. Landemaine Valentin 2016. Erosion des sols et transferts sédimentaires sur les bassins versants de l'Ouest du Bassin de Paris : analyse, quantification et modélisation à l'échelle pluriannuelle. Thèse de Doctorat, Université de Rouen.
5. Collins, A.L. Walling, D.E., 2002. Selecting finger printing properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. Journal of Hydrology, 261: 218-244.
6. Patault, E., Alary, C., Franke, C. and Abriak, N.E. (2019). Quantification of tributaries contributions using a confluence-based sediment fingerprinting approach in the Canche river watershed (France). Science of The Total Environment. Elsevier, 2019, 668, pp.457-469
7. Evrard O, Bielders CL, Vandaele K, Van Wesemael B. 2007. Spatial and temporal variation of muddy floods in central Belgium, off-site impacts and potential control measures. Catena 70 (3), 443-454
8. Zebracki, M., Alary, C., Lefèvre, I., Nan-Hammade, V., Evrard, O. and Bonté, P. (2016) - Quantifying the resuspension of sediment and associated metallic contaminants with fallout radionuclide measurements in a channelized river draining an industrial catchment. Journal of Soils and Sediments, 16, 294-308.
9. Prygiel, E., Billon, G. & François, A. & Dumoulin, D. & Chaumot, Arnaud & Geffard, O. & Crique, Justine & Prygiel, J.. (2016). Active biomonitoring for assessing effects of metal polluted sediment resuspension on gammarid amphipods during fluvial traffic. Environmental Pollution. 218. 129-139. 10.1016/j.envpol.2016.08.010.
10. Belles A., Alary C., Rivière A., Guillon S., Patault E., Flipo N. and Franke C. (2019) - Transfer Pathways and Fluxes of Water-Soluble Pesticides in Various Compartments of the Agricultural Catchment of the Canche River (Northern France). Water, MDPI, Special Issue "Catchments as Observatories of the Hydrological and Biogeochemical Functioning of the Critical Zone", 11 (7), pp.1428.
11. Edouard Patault. 2018. Quantification de la dynamique érosive et traçage de sources en territoire agricole (bassin versant de la Canche, Nord-Pas de Calais. Thèse de l'Université de Lille, délivré par l'IMT Lille-Douai.
12. Franke, C., Kissel, C., Robin, E., Bonté, P., and Lagroix, F., 2009. Magnetic particle characterization in the Seine river system: Implications for the determination of natural versus anthropogenic input, Geochem. Geophys. Geosyst., 10, Q08Z05, doi:10.1029/2009GC002544.
13. Franke, C., Patault, E., Alary, C., Abriak, N.-E., Lagroix, F., 2020. Magnetic fingerprinting of fluvial suspended particles in the context of fertile soil erosion: example of the Canche River watershed (Nord-Pas-de-Calais, France), Geochem. Geophys. Geosyst, accepted.
- 14 Kayvantash, D., Cojan, I., Kissel, C., Franke, C., 2017. Magnetic fingerprint of the sediment load in a meander bend section of the Seine River (France), Geomorphology, 286, 14–26, doi:10.1016/j.geomorph.2017.02.020.