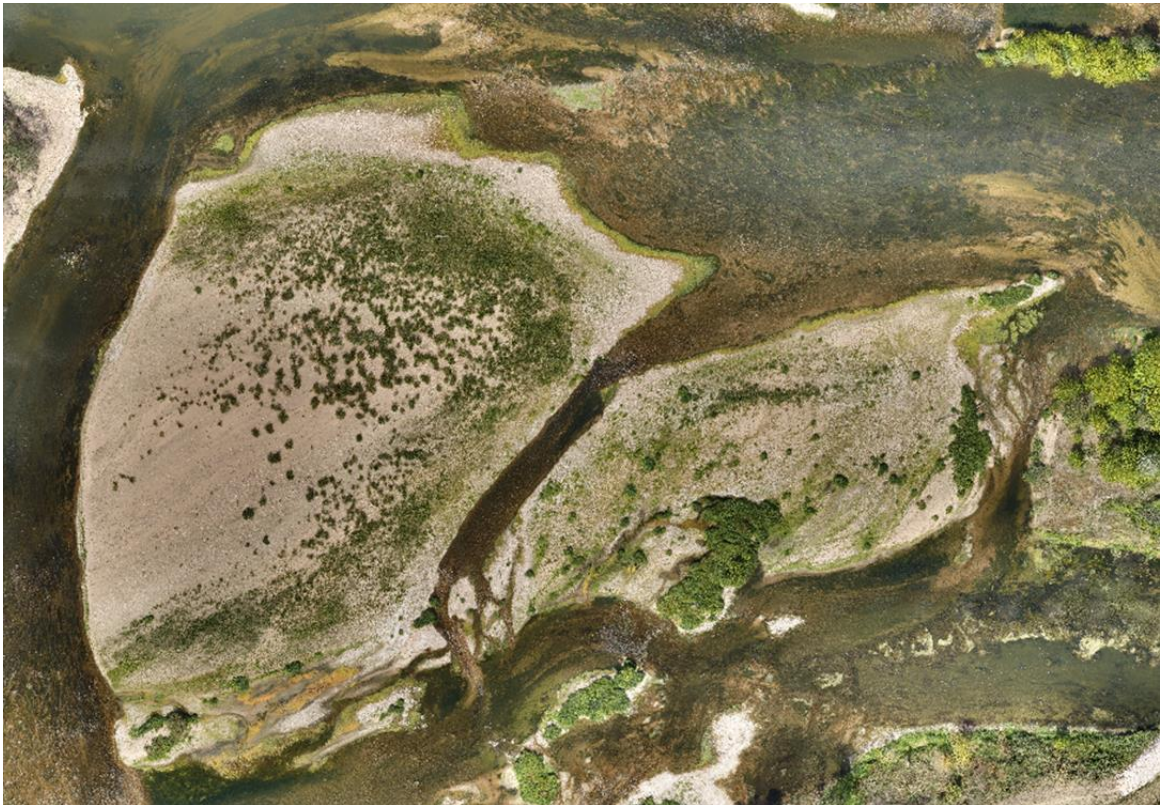


Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2020-2021

**MORPHODYNAMIQUE D'UNE BARRE NON
MIGRANTE EN LOIRE MOYENNE APRES TRAVAUX
DE DEVEGETALISATION**



Photographie aérienne de l'îlot C des îles Mareau-aux-Prés (O. Denux INRAE)

**MORPHODYNAMIQUE D'UNE BARRE NON MIGRANTE
EN LOIRE MOYENNE APRES TRAVAUX
DE DEVEGETALISATION**

Stéphane Rodrigues

Marion Manaud

2020/2021

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur Marion Manaud de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non-plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Rodrigues pour ce sujet ainsi que son aide précieuse qui m'a permis d'avancer dans la réalisation du Projet de Fin d'Etude. Merci également à Philippe Jugé ainsi que Marc Villar, qui m'a notamment aidé lors de la première partie du PFE. Merci pour vos conseils et votre disponibilité.

Merci à Madame Gralepois pour son suivi tout au long de ces deux ans, ainsi que son temps passé à répondre à nos nombreuses questions.

Merci à mes chères colocatrices, Mathilde Bouche, Roxane Bigot ainsi que Elise Guiraud pour leur soutien sans faille.

Merci à Thomas Day d'avoir pris le temps de lire à plusieurs reprises mon PFE et pour ses remarques pertinentes.

Enfin, merci à Simon Brillard qui ne m'a pas laissé me décourager malgré mes nombreux doutes.

SOMMAIRE

Table des figures

Introduction	1
1. Description du site d'étude	2
1.1. Contexte général de la Loire	2
1.2. Localisation de la barre sédimentaire	2
1.3. Conséquences des travaux de restauration	4
2. Matériel et méthodes	5
2.1. Etude topographique	5
2.2. Chaines d'érosion	6
2.3. Granulométrie	7
3. Résultats	9
3.1. Topographie	9
3.2. Chaines d'érosion	10
3.3. Granulométrie	12
4. Discussion	17
Conclusion	20
Bibliographie	21

Table des figures

Figure 1 : Localisation de la Loire en France.....	2
Figure 2 : Les îles de Mareau-aux-Prés. îlot a : partie aval constituée d’une ripisylve mature de peupliers noirs (écotope 2061) ; îlot b : partie comprenant la forêt la plus ancienne de bois dur (écotopes 2059 a et b) et des ripisylves matures de peupliers noirs (2059 c, 2060 et 2062) ; îlot c : partie centrale ayant subi les travaux d’entretien en septembre 2012 (écotope 2058) ; îlot d : partie amont composée d’une vaste prairie à chiendent en son centre, largement colonisée par le peuplier noir et l’érable négundo. (Lefebvre 2019)	3
Figure 3 : Evolution morphologique du site d’étude entre 1848 et 2010. (C. Wintenberger et al. 2015).....	4
Figure 4 : Distribution de la granulométrie et altitude de la barre étudiée (Wintenberger et al., 2019)	5
Figure 5 : Profils topographiques transversaux et longitudinaux de la barre sédimentaire (Juge, 2020).....	6
Figure 6 : Structure morphologique de la barre sédimentaire en 2008 (Wintenberger 2015) et localisation des chaînes d’érosion sur le site de Mareau-aux-Prés (ArcGis - photo aérienne SIEL DREAL de 2015)	6
Figure 7 : Représentation des MNT issus des levés topographique de 2012 (à gauche) et 2017 (à droite) (Juge, 2020)	9
Figure 8 : Evolution de l’épaisseur active de la section transversale PT15 de 2015 à 2019 et bilan sédimentaire	11
Figure 9 : Evolution de l’épaisseur active de la section transversale PT9 de 2015 à 2019 et bilan sédimentaire	11
Figure 10 : Evolution de l’épaisseur active de la section transversale PT6 de 2015 à 2019 et bilan sédimentaire	11
Figure 11 : (a) Evolution de la taille des grains prélevés au niveau des chaînes d’érosion de 2012 à 2018 – (b) Comparaison deux à deux de l’évolution des grains de 2012 à 2018.....	13
Figure 12 : Evolution de la D50 de 2012 à 2018	14
Figure 13 : Bilan de l’évolution de la D50 entre 2012 et 2018.....	15
Figure 14 : Evolution de la D10, D50 et D90 de 2012 à 2018.....	16
Figure 15 : Hydrogrammes relevés au niveau du Pont Royal (Orléans, à 4 km en amont de l’îlot C) de 2015 à 2018 d’avril à août (courbe verte) ; l’axe des ordonnées représente les débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) ; la droite en pointillés rouges représente une valeur seuil : au-dessus de $400 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ l’îlot est immergé, en dessous de ce seuil, l’îlot commence à être découvert. (Lefebvre, 2019)	18

Figure 16 : A) Modèle conceptuel de l'évolution d'une barre végétale non migrante. Conséquences des premiers stades de développement des arbres pionniers sur la topographie et la taille du grain pendant les années suivant la colonisation. B) Transition (échelle de temps plus longue) entre une barre végétalisée et une île établie (Wintenberger et al., 2015)19

Introduction

Les îles fluviales végétalisées sont des éléments clés des cours d'eau car elles influencent sa structure et la biodiversité présente dans ces hydrosystèmes (Corenblit et al., 2014). D'un point de vue morphologique, une île fluviale a été définie comme « une caractéristique géomorphique entourée de chenaux, qui est supérieure au niveau moyen de l'eau et qui persiste suffisamment longtemps pour permettre l'établissement d'une couverture végétale permanente si une humidité adéquate est disponible » (Osterkamp, 1998). Cependant, la distinction entre les barres végétalisées et les îles reste problématique. En effet, bien que des études aient démontrées que les processus impliqués dans leur création participent à l'évolution morphologique des rivières multicanaux ainsi qu'au stockage des sédiments, les premières étapes de l'évolution de l'état de barre à l'état d'île ne sont pas connues en termes de vitesse, de processus sédimentaires impliquant une jeune végétation ligneuse pionnière et de taux d'accrétion verticale et /ou latérale dans des conditions d'apport sédimentaire quasi illimité (Wintenberger et al., 2015). Là n'est pas le but de cette étude qui va plutôt se concentrer sur l'évolution morphodynamique d'une barre sédimentaire non migrante, à l'origine d'îles fluviales.

De fait, les barres non migrantes (par exemple, les barres ponctuelles, les barres médianes) correspondent à l'accumulation de sédiments se développant en raison d'une discontinuité dans la géométrie du canal, à l'inverse des barres libres qui apparaissent en raison de l'instabilité morphodynamique. Par conséquent, ce sont des formations relativement stables en raison de leur conditions de formation, sur lesquelles la végétation ligneuse peut se développer. Une fois établi, l'obstacle qu'engendre le couvert végétal va influencer le développement morphologique de la barre en augmentant la résistance à l'écoulement, diminuant la vitesse d'écoulement, et en augmentant le dépôt et la fixation des sédiments (Wintenberger et al., 2015).

L'objectif de ce rapport est donc l'étude de l'évolution morphodynamique d'une barre sédimentaire non migrante, située sur la Loire. Elle abordera les points suivants :

- Comment la topographie a-t-elle évoluée depuis les travaux de dévégétalisation réalisés en 2012 ;
- Y a-t-il des zones plus susceptibles d'être érodées ou de stocker des sédiments ;
- Comment la taille des sédiments évolue-t-elle (affinement ou grossissement) ;
- Le site d'étude suit-il le modèle conceptuel mis en place par Wintenberger et al. (2015).

1. Description du site d'étude

1.1. Contexte général de la Loire

La Loire est le fleuve le plus long de France avec une longueur totale de 1012 km débutant au pied du mont Gerbier de Jonc (Massif central) pour se jeter dans l'océan Atlantique près de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique) (Fig. 1). Il est alimenté par quatre grands affluents : l'Allier, le Cher, le Maine et la Vienne, pour un bassin versant qui s'étend sur 117 000 km² (Latapie et al., 2014). Le régime hydrologique de la Loire est considéré comme très variable avec des débits très faibles en été et relativement important en hiver et au printemps. Les inondations sont notamment causées par des orages survenant dans la partie amont du fleuve lors de ces saisons, et par d'importantes précipitations provenant de l'océan Atlantique (Dacharry, 1996).



Figure 1 : Localisation de la Loire en France

Les activités humaines (remblai, construction d'épis utile à la navigation, extraction intense des sédiments, etc.) ont fortement modifiés la Loire au cours de ces derniers siècles, causant ainsi un rétrécissement de la largeur du canal actif et l'incision du chenal principal (Gasowski, 1994). Ces structures ont également eu pour conséquence l'accumulation de sédiments à leur aval, induisant le développement d'une végétation pionnière ligneuse, fermant les chenaux secondaires et réduisant ainsi le transport sédimentaire des crues (Latapie et al., 2014). De plus, cela a conduit à des ajustements de la largeur des îlots et des chenaux secondaires (Rodrigues et al., 2006) ainsi qu'une évolution morphologique rapide de la rivière, passant d'une rivière en tresse à un style anabranché (Wintenberger et al., 2015).

Par conséquent, pour éviter les inondations, l'Etat (DDT) et la DREAL met en œuvre un plan de travaux de restauration consistant à retirer la végétation présente sur ces îlots et à abaisser la topographie. En effet, la végétation cause le ralentissement de l'écoulement hydraulique, induisant une montée des eaux et dans certains cas des inondations. De plus, en convertissant les îles boisées en barres sédimentaires, cela se traduit par une réduction du risque inondation et la création de sites vierges favorables à l'installation de semis tels que les salicacées (Wintenberger et al., 2019).

1.2. Localisation de la barre sédimentaire

L'étude porte sur une barre sédimentaire située dans la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Mesmin, à 649 km en aval de la source de la Loire et à 4 km en aval d'Orléans. Elle s'étend sur 263 hectares avec une zone centrale et un périmètre de protection, incluant la pointe de Courpain (confluence de la Loire et du Loiret situé à environ 1.2 km de la RNN) et les îles de Mareau-aux-Prés (Fig. 2).

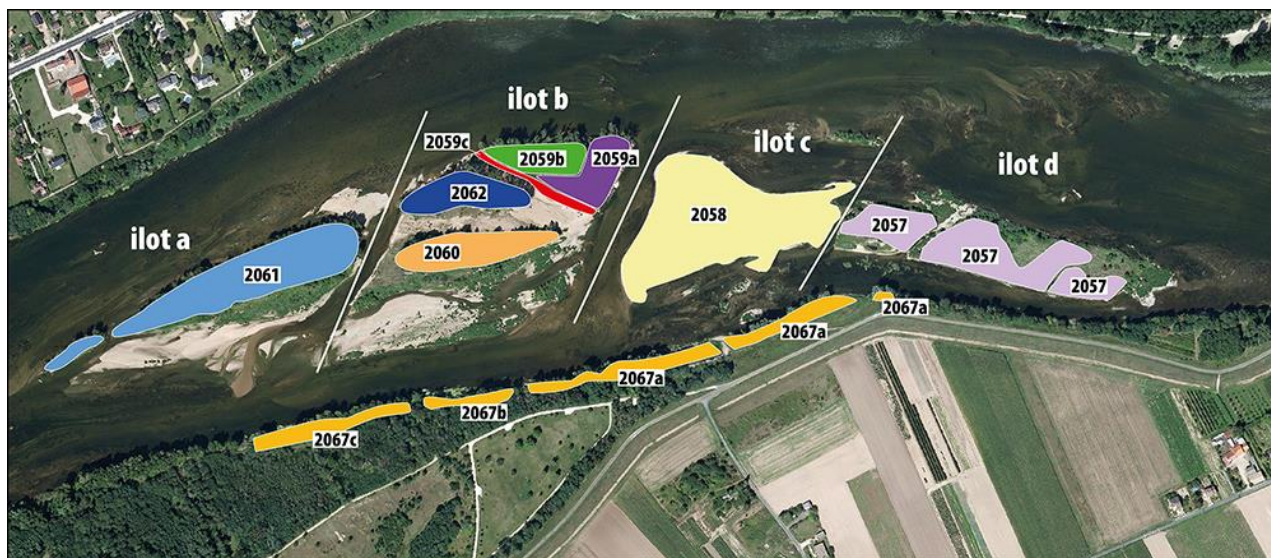


Figure 2 : Les îles de Mareau-aux-Prés. îlot a : partie aval constituée d'une ripisylve mature de peupliers noirs (écotope 2061) ; îlot b : partie comprenant la forêt la plus ancienne de bois dur (écotopes 2059 a et b) et des ripisylves matures de peupliers noirs (2059 c, 2060 et 2062) ; îlot c : partie centrale ayant subi les travaux d'entretien en septembre 2012 (écotope 2058) ; îlot d : partie amont composée d'une vaste prairie à chiendent en son centre, largement colonisée par le peuplier noir et l'érable négundo. (Lefebvre 2019)

Dans cette zone, le socle rocheux est constitué de calcaire lacustre tertiaire recouvert de sédiments siliceux de la Loire provenant du cours supérieur (torrent). Des affleurements du substratum rocheux peuvent apparaître dans le chenal principal en raison des importantes extractions de sédiments qui ont eu lieu dans le passé. La rivière est caractérisée par un plan de méandre de faible amplitude dont l'indice de sinuosité est de 1.04, combiné à une section transversale variant de 270 à 430 m et de pente moyenne 0.01% (Latapie et al., 2014). Le débit annuel moyen mesuré à la station de jaugeage d'Orléans (10 km en amont) est égal à 344 m³/s, et le débit de crue sur 2 ans est de 1700 m³/s. Cette configuration morphologique a conduit à la formation d'îles d'âges et de taille différentes, qui se sont développées à partir de la colonisation d'une végétation ligneuse sur des barres déjà existantes et mentionnées sur la carte de 1848 (Fig. 3).

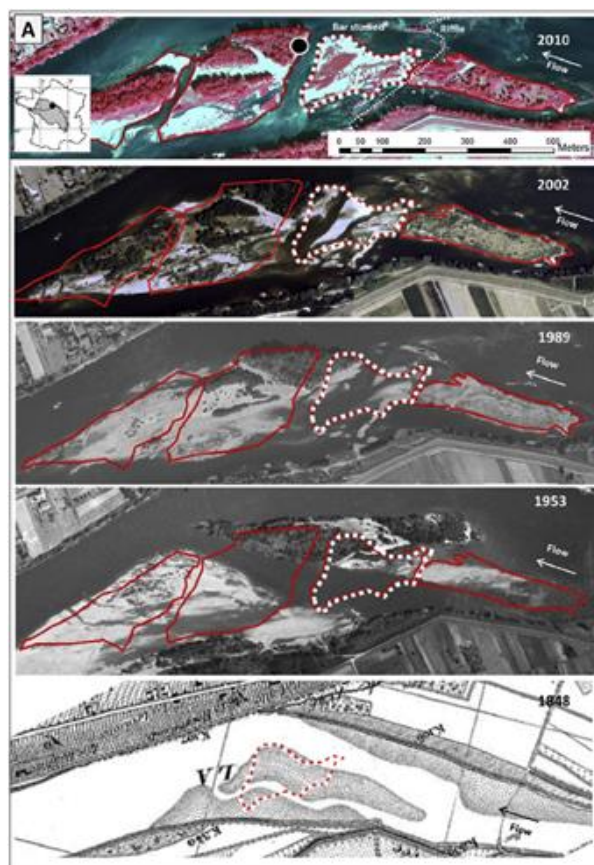


Figure 3 : Evolution morphologique du site d'étude entre 1848 et 2010. (C. Wintenberger et al. 2015)

La barre sédimentaire étudiée, composée d'un mélange de particules siliceuses allant des galets aux sables fins, est apparue sous sa forme actuelle au cours des années 2003 et 2004 (Wintenberger et al., 2015). En 2004, elle a été colonisée par des semis qui se sont développés en un peuplement très dense de *Populus nigra* (peuplier noir) et a rapidement évolué en île jusqu'en 2012 (Villar, 2011).

1.3. Conséquences des travaux de restauration

Comme il a été dit précédemment, le lit du fleuve de la Loire subit chaque année des travaux d'entretien et de restauration afin de prévenir des risques d'inondation. Les secteurs d'intervention sont sélectionnés en fonction des aléas et des enjeux environnants. Ces travaux d'entretien engendrent des impacts sur les fonctionnements écologiques et sédimentaires, mais ne sont pas étudiés à une échelle fine sur le moyen terme.

En septembre 2012, des travaux d'entretiens ont été réalisés sur l'îlot C des îles de Mareau-aux-Prés (Fig. 2), puisqu'il était considéré comme un obstacle potentiel au bon écoulement de l'eau dans des situations de fortes crues au niveau de la Loire moyenne (Lefebvre, 2019). Ces travaux consistaient à retirer l'ensemble de la végétation présente sur cette île et d'extraire également les systèmes racinaires de façon à abaisser l'altitude et à homogénéiser les sédiments jusqu'à 0.5 m de profondeur. La nouvelle barre vierge se caractérisait par une surface plane de 26 700

m² et une granulométrie homogène des sédiments dont l'altitude variait de 83.1 et 84.5 m au-dessus du niveau de la mer.

Entre 2012 et 2013 cette barre a fait l'objet d'une étude visant à identifier les facteurs moteurs de la morphodynamique des barres non migrantes lors des inondations survenues après ces travaux d'entretiens. Cette étude a ainsi montré la présence de deux zones distinctes sur la barre (Fig. 4) :

- Une zone fixe (armure) située au centre de la barre caractérisée par des changements morphologiques mineurs (sédiments érodés et / ou déposés à une échelle allant du centimètre au décimètre) (Wintenberger et al., 2019),
- Une zone mobile où les changements morphologiques sont beaucoup plus importants (érosion et dépôt dont l'épaisseur varie d'une échelle de l'ordre du décimètre à un mètre) (Wintenberger et al., 2019).

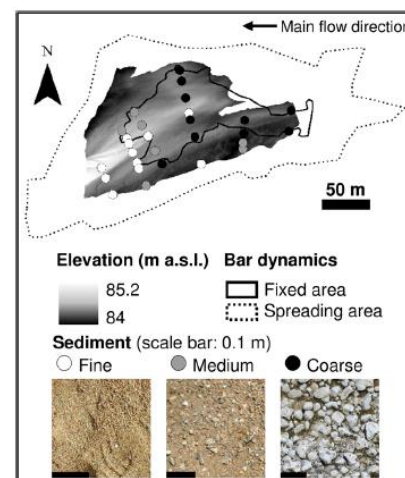


Figure 4 : Distribution de la granulométrie et altitude de la barre étudiée (Wintenberger et al., 2019)

2. Matériel et méthodes

2.1. Etude topographique

Entre 2012 et 2019, la topographie du site d'étude Mareau-aux-Prés a été étudiée annuellement avec une précision centimétrique en utilisant une station totale Trimble M3 et un Magellan Proflex 500 GPS. Les variations dont la valeur est inférieure ou égale à 5 cm ont été considérées comme nulles (proches de la précision du levé GPS sur un plancher alluvial composé en grande partie de granulats grossiers).

Dans le cadre des projets BioMareau, plusieurs sections transversales et longitudinales ont été relevées (Fig. 5). Cependant, dans le cadre de cette étude et en raison d'un manque de données, seules les sections transversales 3, 6 à 16 ainsi que les sections longitudinales 17 à 19 ont pu faire l'objet de l'étude.

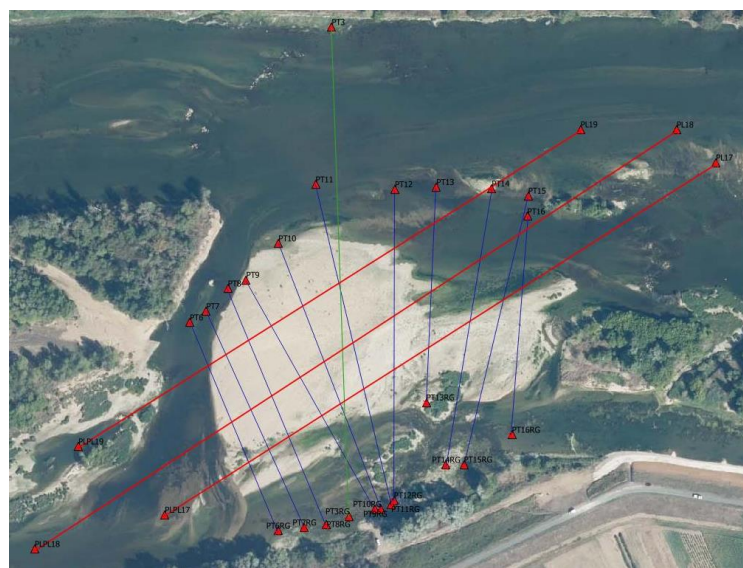


Figure 5 : Profils topographiques transversaux et longitudinaux de la barre sédimentaire (Juge, 2020)

Tous les points acquis lors des enquêtes sur le terrain des années 2012 et 2017 ont été combinés pour créer des Modèles Numériques de Terrains (MNT) en utilisant l'outil « Slice » du logiciel Surfer.

Les sections transversales et longitudinales ont été comparées pour obtenir le bilan sédimentaire et les zones érodées/déposées volumes en utilisant le logiciel Hypack 2020 avec l'aide de la fonction « Merge » pour projeter les profils extraits grâce à surfer 12 sur les profils théoriques. Dans un second temps, l'outil « Coupe » a permis de superposer les profils 2012, 2017, 2018, et certains profils disponibles de 2019.

2.2. Chaînes d'érosion

Les chaînes d'érosion constituent un dispositif simple permettant de compléter l'information fournie par les levés topographiques (Rodrigues, 2019). Elles sont utilisées pour détecter et quantifier la couche de sédiments active et pour détailler les événements d'érosion et de dépôt maximums pendant les inondations (Wintenberger et al., 2019).

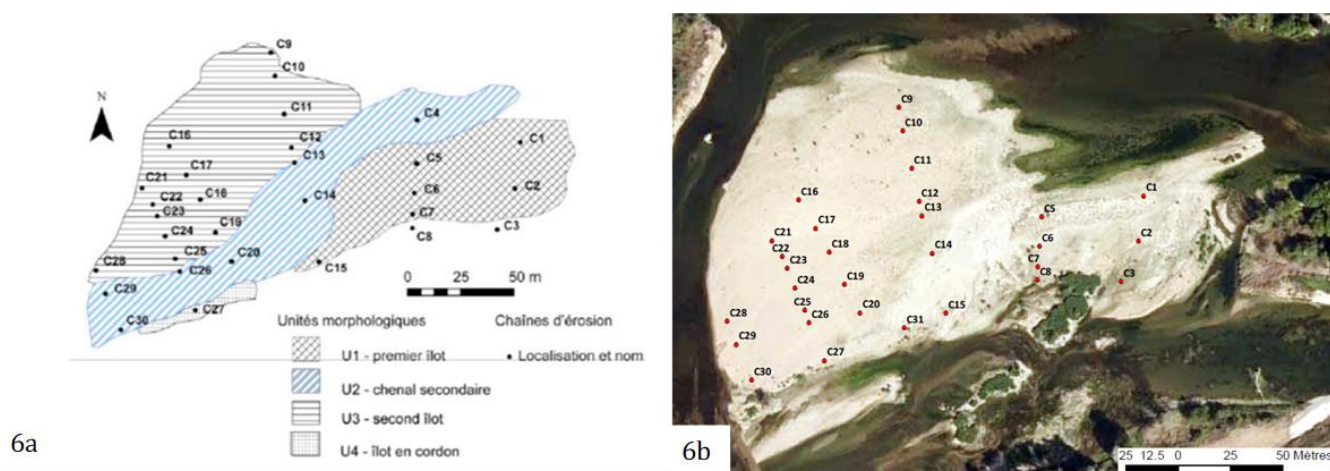


Figure 6 : Structure morphologique de la barre sédimentaire en 2008 (Wintenberger 2015) et localisation des chaînes d'érosion sur le site de Mareau-aux-Prés (ArcGis - photo aérienne SIEL DREAL de 2015)

Ainsi, les processus de récurage et de remplissage qui se produisent sur la barre ont été étudiés depuis 2008. 30 chaînes à maillons métalliques (Laronne et al., 1994; Rodrigues et al., 2012) ont été insérées verticalement dans la barre sédimentaire, géoréférencées à l'aide d'un GPS le long de six sections transversales (Fig. 6)*. Les chaînes ont été relocalisées après les inondations en utilisant un GPS et un détecteur de métaux en conjonction avec le creusage. L'érosion a été déterminée en mesurant la longueur perturbée de la chaîne, et le dépôt a été déterminé en mesurant l'épaisseur des sédiments qui se sont accumulés sur le dessus de la chaîne.

** La chaîne numéro 31 que l'on peut voir sur la figure 1b. a été installée pour compenser la numéro 4 qui n'a pas été implantée.*

Les mesures des chaînes d'érosion ont permis de déterminer (i) les profondeurs maximales d'érosion sur les parcelles de semis pendant les inondations et (ii) la profondeur finale d'enfouissement.

Dans le cadre de cette étude, les données issues des 30 chaînes d'érosions, sur la période 2015 à 2019, ont été étudiées (Fig. 6b). Ces données comprennent l'altitude ZPA de chaque chaîne et l'altitude du coude de cette même chaîne d'érosion, dans le cas où il s'en est formé un. Les données de l'année 2020 ont également été exploitées mais seule l'altitude ZPA a été disponible. De plus, certaines données telles que la chaîne C15 ou C22 sont manquantes pour l'ensemble de la période étudiée en plus de la chaîne C4, en raison de leur inaccessibilité lors de la collecte de données.

L'ensemble de ces données ont été exploitées de différentes façons. Dans un premier temps, toutes les valeurs ont été reportées dans un tableau Excel où il a été possible de calculer la valeur de dépôt et d'érosion en mètre, pour chaque chaîne, entre les années 2015 à 2019. Une fois ces valeurs calculées, les résultats ont été présentés sous la forme de graphiques avec en abscisses les années (de 2015 à 2020) et deux ordonnées ; celle de droite tenant compte de l'épaisseur active en mètre (érosion et dépôt) et celle de gauche faisant part du bilan sédimentaire en mètre également (dépôt – érosion).

Pour obtenir un rendu visuel, une carte reprenant la localisation GPS de chacune des chaînes d'érosion a été réalisée sous ArcGis. Le bilan sédimentaire des années 2016 à 2019 y est présenté (Annexe 3).

2.3. Granulométrie

Les données granulométriques ont été collectées lors de la mesure des chaînes d'érosions. Les points de chaînes ont été retrouvés grâce à leurs coordonnées GPS et à l'aide d'un détecteur de métaux. Un échantillon de sédiments a été prélevé auprès de chacune des 30 chaînes lorsque cela fut possible grâce à une truelle. En cas d'armurage de la surface, deux prélèvements ont été réalisés ; un prélèvement superficiel et un prélèvement de fond après décapage de l'armure.

L'échantillonnage des sédiments a été réalisé chaque année de 2012 à 2017 (l'année 2014 n'est pas prise en compte car ne rentrait pas dans le budget des projets Biomareau). D'après le rapport de Dupperray (2018), les échantillons ont été granulés en laboratoire avec des tamis de 32 tailles différentes : 50 000 ; 40 000 ; 31 150 ; 25 00 ; 20 000 ; 16 000 ; 12 500 ; 10 000 ; 8 000 ; 6 300 ; 5 000 ; 4 000 ; 3 150 ; 2 500 ; 2 000 ; 1 600 ; 1 250 ; 1 000 ; 800 ; 630 ; 500 ; 400 ; 315 ; 250 ; 200 ; 160 ; 125 ; 100 ; 80 ; 63 ; 50 ; 40 μm . Les tamis suivent une progression normée (AFNOR) géométrique $10^{1/10} = 1,2589$.

Toutes les données du tamisages proviennent du laboratoire GéoHydrosystèmes Continentaux de l'université de Tours et sont fournies sous forme de tableaux Excel. La masse de la fraction retenue a été notée pour chaque maille de tamis. La différence entre la masse de l'échantillon avant et après tamisage ont permis d'obtenir les pertes. Ces pertes ont été lissées sur toutes les fractions du tamisage de la manière suivante :

$$M_{\text{lissé}} = M + (M \cdot \text{Perte} / E)$$

M_{Lissée} : masse corrigée de la fraction retenue pour un diamètre de tamis.

M : masse de la fraction retenue pour un diamètre de tamis.

E : masse de l'échantillon.

E' : masse de l'échantillon après tamisage soit la somme de toute les fraction retenue.

Perte : différence entre E et E'.

Les données corrigées de leurs pertes ont ensuite été utilisées avec le programme Gradistat 4.0 permettant de calculer la médiane D50 et les déciles D10 et D90. Il définit également les groupes texturaux de chaque échantillon. Les Traitements Gradistat ont tous été compilés dans un fichier Excel.

Les résultats obtenus ont ensuite été exposés graphiquement avec en ordonnée les pourcentages cumulés croissants des particules et en abscisse la dimension de l'ouverture des tamis. Cette dernière est représentée sur une échelle logarithmique (Log10). Les pourcentages cumulés des particules, eux, correspondent aux dimensions des tamis.

L'évolution de la D50, D10 et D90 a également été démontrée graphiquement. De plus, la D50 a fait l'objet d'une analyse plus poussée via l'étude graphique de son évolution d'une année à l'autre de 2012 à 2019 avec en abscisse la D50 à l'année n et en ordonnée la D50 de l'année n+1.

3. Résultats

3.1. Topographie

En raison d'un manque de données, l'analyse topographique ne dispose pas d'éléments chiffrés pour appuyer les observations faites des levés topographiques (Fig. 7) et des sections transversales et longitudinales (Annexe 1).

Les MNT de 2012 et 2017 (Fig. 7) montrent l'évolution du site d'étude avec une élévation de la barre en U3 (Fig. 6a) ainsi qu'un scindement en sa moitié entre les sections transversales PT12 et PT13 notamment. D'après ces représentations, la barre était relativement plate en 2012, alors qu'en 2017 la topographie a évolué et on constate la présence d'une zone haute située au centre de U3.

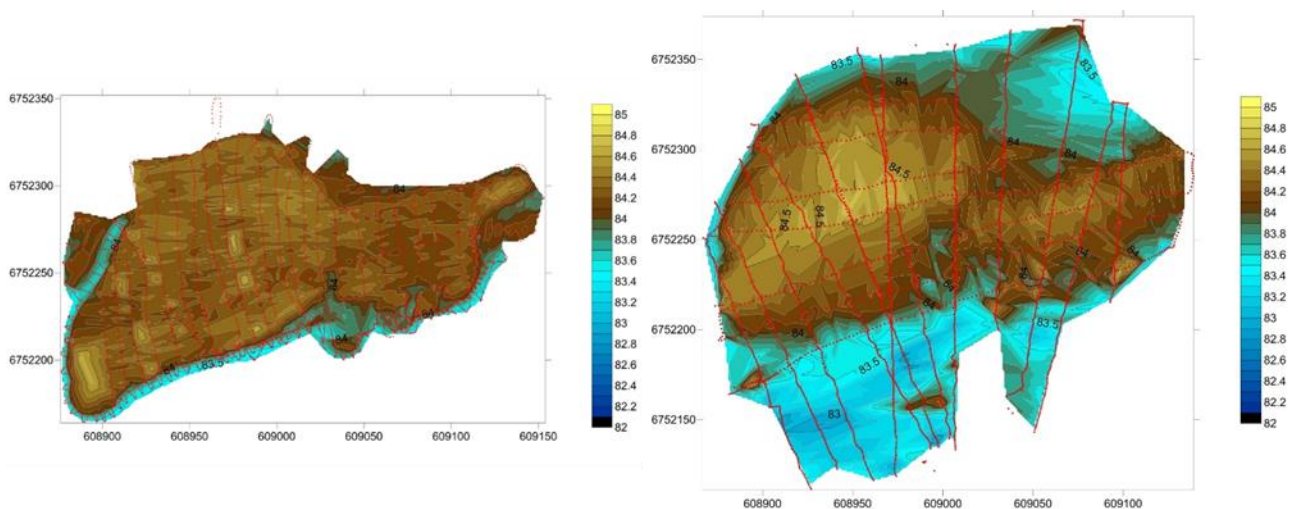


Figure 7 : Représentation des MNT issus des levés topographique de 2012 (à gauche) et 2017 (à droite) (Juge, 2020)

D'après la figure 7, le contraste topographique entre 2012 et 2017 a augmenté. Cette tendance avait déjà été remarquée entre 2007 et 2012 (Wintenberger et al., 2015) avant les travaux de dévégétalisation, avec des ruptures de pentes aux marges de U1, U3 et U4 les distinguant de U2.

L'analyse des sections transversales (Annexe 1) montre que les taux de dépôts sont plus élevés en U3. Une grande quantité de sédiments se sont déposés à partir du profil transversal PT9, allant jusqu'à la limite aval de la barre sédimentaire. La tendance que montre ces coupes est un dépôt important en rive droite et une érosion conséquente en rive gauche. Dès le profil PT10, les volumes mobilisés sont moindres mais suivent le même schéma à savoir une augmentation en élévation de la barre rive droite et de l'érosion rive gauche jusqu'au profil PT11. Sur l'unité U1, la tendance est inverse avec le dépôt de sédiments en rive gauche et de l'érosion en rive droite (PT13, PT14 et PT16).

L'analyse des sections transversales montrent également une évolution longitudinale de la barre sédimentaire de par l'augmentation de la pente des berges qui se déplace vers l'amont au cours du temps, comme l'avaient démontré Wintenberger et al. (2015) avant les travaux.

Les levés topographiques ont permis de montrer que certaines zones de la barre n'étaient soumises qu'à l'érosion ou au dépôt. De fait, ces zones présentent soit un bilan sédimentaire positif (U3), soit un bilan sédimentaire négatif (rive droite U1, U2, rive gauche U3).

3.2. Chaines d'érosion

L'étude des chaines d'érosion est réalisée par section transversale, débutant de la première section amont de la barre, PT16, et terminant par la dernière section aval PT6. En tout, 3 des 6 sections transversales (PT15, PT13, PT11, PT9, PT8, PT6) sont présentées dans les figures suivantes reprenant l'amont (Fig. 8) le centre (Fig. 9) et l'aval (Fig. 10) de la barre sédimentaire. Les 3 autres sections transversales sont présentées en annexe (Annexe 2). L'annexe 3 fait état des bilans sédimentaires de 2016 à 2019, représentait dans les figures suivantes (Fig. 8, 9 et 10) sous forme de point vert.

Zone amont

Pour le profil PT15 où sont disposées les chaines d'érosion C1, C2 et C3 en amont de la barre sédimentaire, les sédiments sont très peu mobiles avec un bilan sédimentaire compris entre 0 et 10 centimètres. La figure 8 montre que très peu de sédiments sont érodés sur cette zone, à l'exception de la chaîne C1 en 2017 avec 20 centimètres de sédiments érodés.

Zone centrale

Le profil PT9 (Fig. 9) présente des graphiques plus hétérogènes notamment pour les chaines C16, C17, C18. L'année 2018 est celle où l'érosion et le dépôt de sédiments ont été les plus importants. Durant cette année, la chaîne C17 révèle plus de 40 centimètres de sédiments déposés et environ 25 centimètres érodés. Les chaines C16 et C18 montrent également qu'une importante couche de sédiments s'est déposée (environ 35 centimètres) dans l'année, et 5 à 15 centimètres se sont fait érodés. C18 a également connu une variation de +10cm (dépôt) et -10cm (érosion) de sédiments en 2016. Pour C19, c'est en 2019 qu'il y a eu la plus grande quantité de sédiments déposés et érodés (environ 10 centimètres pour chaque cas). Il y a également eu la mobilisation des sédiments en 2018 mais en plus faible quantité. En revanche, les sédiments n'ont pas été mobilisés au niveau de la chaîne C20.

Zone aval

A l'aval de la barre sédimentaire (Fig. 10), l'épaisseur active est encore plus importante que la section précédemment étudiée. On constate que les sédiments sont très mobiles notamment en 2016. Pour cette même année, la couche de sédiments érodée s'est élevée à 50cm (C28 et C30) et 34cm (C29). Pour C28, les années 2017 et 2018 possèdent un bilan sédimentaire sensiblement égal (compris en 5 et 8 centimètres). L'année 2019 indique, quant à elle, un bilan sédimentaire nul. Pour C29, la couche de sédiments déposée est comprise entre 10 et 16 centimètres. Concernant le taux de sédiments érodés, il s'avère nul en 2017, sinon supérieur à 10 centimètres pour les autres années étudiées. Enfin, la chaîne d'érosion C30 montre un bilan sédimentaire négatif pour l'année 2017 (-20 cm), positif pour 2018 (+10 cm) et nul pour 2019 (0cm érodé et 0cm déposé).

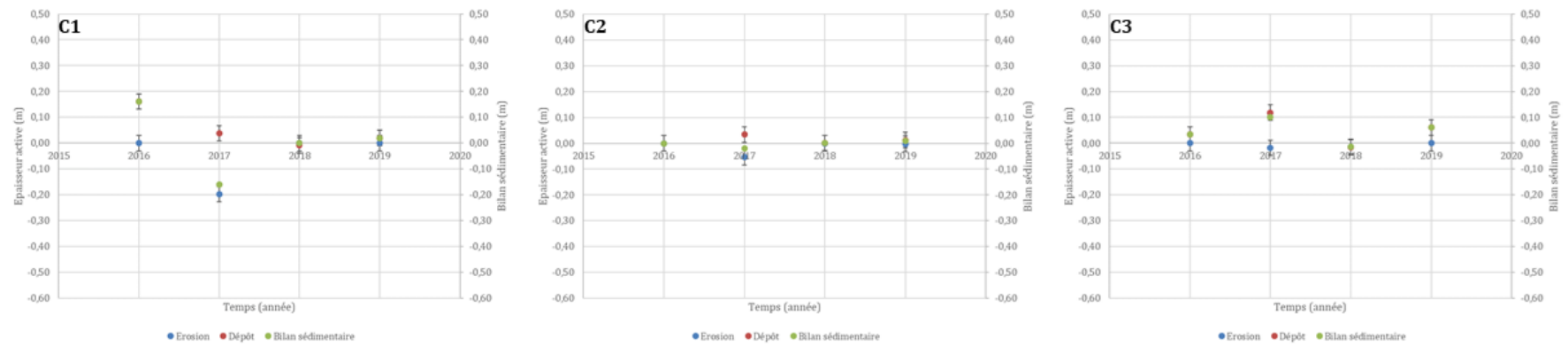


Figure 8 : Evolution de l'épaisseur active de la section transversale PT15 de 2015 à 2019 et bilan sédimentaire

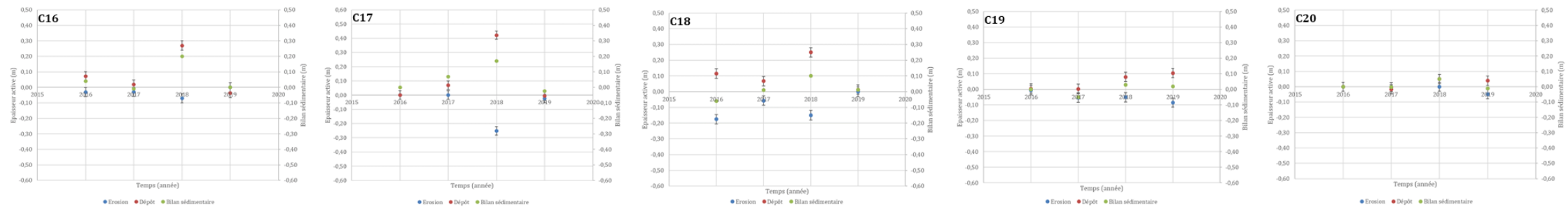


Figure 9 : Evolution de l'épaisseur active de la section transversale PT9 de 2015 à 2019 et bilan sédimentaire

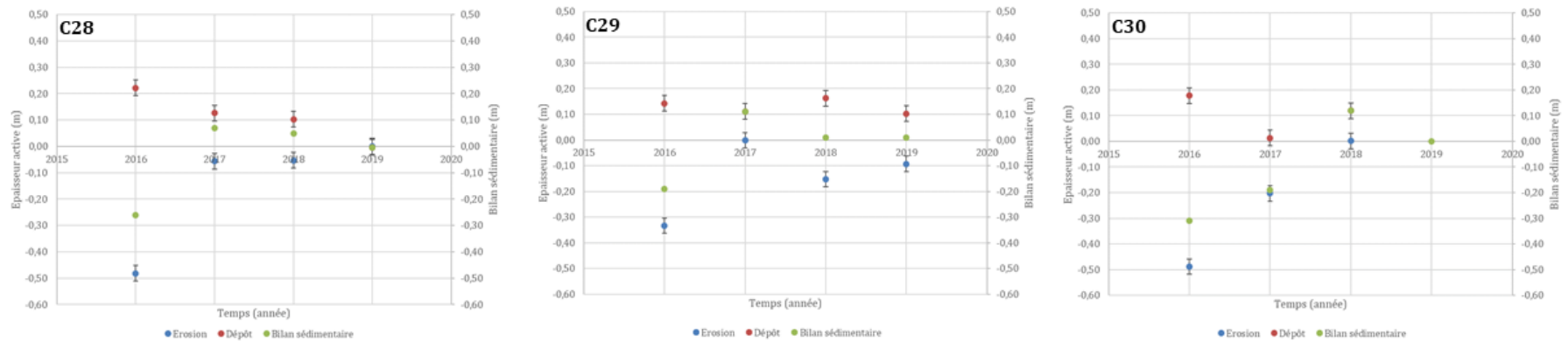


Figure 10 : Evolution de l'épaisseur active de la section transversale PT6 de 2015 à 2019 et bilan sédimentaire

3.3. Granulométrie

Les sédiments présents sur la barre sédimentaire sont principalement des silices mal triées. Selon les années, deux populations de sédiments sont visibles (Fig. 11). Les courbes cumulées à faible pente situées dans la partie droite des graphiques correspondent à des sédiments de fond très mal triés. A l'inverse, les courbes cumulées à forte pente situées à gauche des graphiques (notamment visible pour les années 2016 à 2018) correspondent à des sédiments bien triés.

2012

Les sédiments bien triés sont situés en rive gauche de la barre en U1 (C3, C15, C31) et à son aval (C21, C23, C25, C26, C27, C29, C30). Les sédiments mal triés sont principalement localisés sur l'unité U3 (C9, C11, C12, C17, C22, C24).

2013

Les sédiments sont principalement mal triés, notamment en amont de la barre sédimentaire (U1 : C1, C5, C6, C8, C15 / U3 : C9, C10, C12, C13).

2015

Les sédiments sont de nouveau bien triés en aval de U2 et U3 (U2 : C26, C29, C30 / U3 : C18, C23, C24, C25, C28). Concernant les sédiments mal triés, ils se situent en amont de la barre (C1, C5, C6, C9 à C12) jusqu'en son centre (C20).

2016 et 2017

Même constat pour l'année 2016 (U2 : C31 / U3 : C9 à C15) et 2017 (U1 : C1, C5 / U2 : C20, C31 / U3 : C9 à C14). En revanche, en 2016, les sédiments situés à l'amont de la barre en U1 (C1, C2, C3, C6, C8) sont triés contrairement à 2017, ainsi que ceux de la rive droite aval (U1 : C21, C28 / U2 : C29, C30). Pour 2017, les sédiments triés sont localisés à l'aval de la barre (U2 : C29, C30 / U3 : C16, C17, C21, C22, C28).

2018

Les sédiments sont, dans la majorité, mal triés. Cette zone couvre la moitié amont de la barre, débutant à l'amont de U3 (C9, C10, C11, C12, C13) et U1 (C1, C5, C7, C15) et s'étalant sur U2 (C14, C31) jusqu'à U4 (C27).

De façon générale, les sédiments mal triés ont été retrouvés à l'amont de la barre sédimentaire. A l'inverse, les sédiments triés ont été échantillonnés à l'aval de la barre à savoir en U3 et U2. La comparaison entre les années 2012-2013, 2013-2015, 2015-2016, 2017-2018 (Fig. 11b) montre un déplacement des courbes de pente faible vers la droite indiquant un grossissement des sédiments situés dans les zones basses. Pour les années 2013-2015 et 2015-2016, le déplacement des courbes cumulées à forte pente s'effectue vers la gauche indiquant un affinement des sédiments situés dans la zone haute de U3. Le bilan 2012-2018 (Fig. 11b) montre que le mélange des sédiments devient plus grossier dans le temps en raison du décalage vers la droite des courbes.

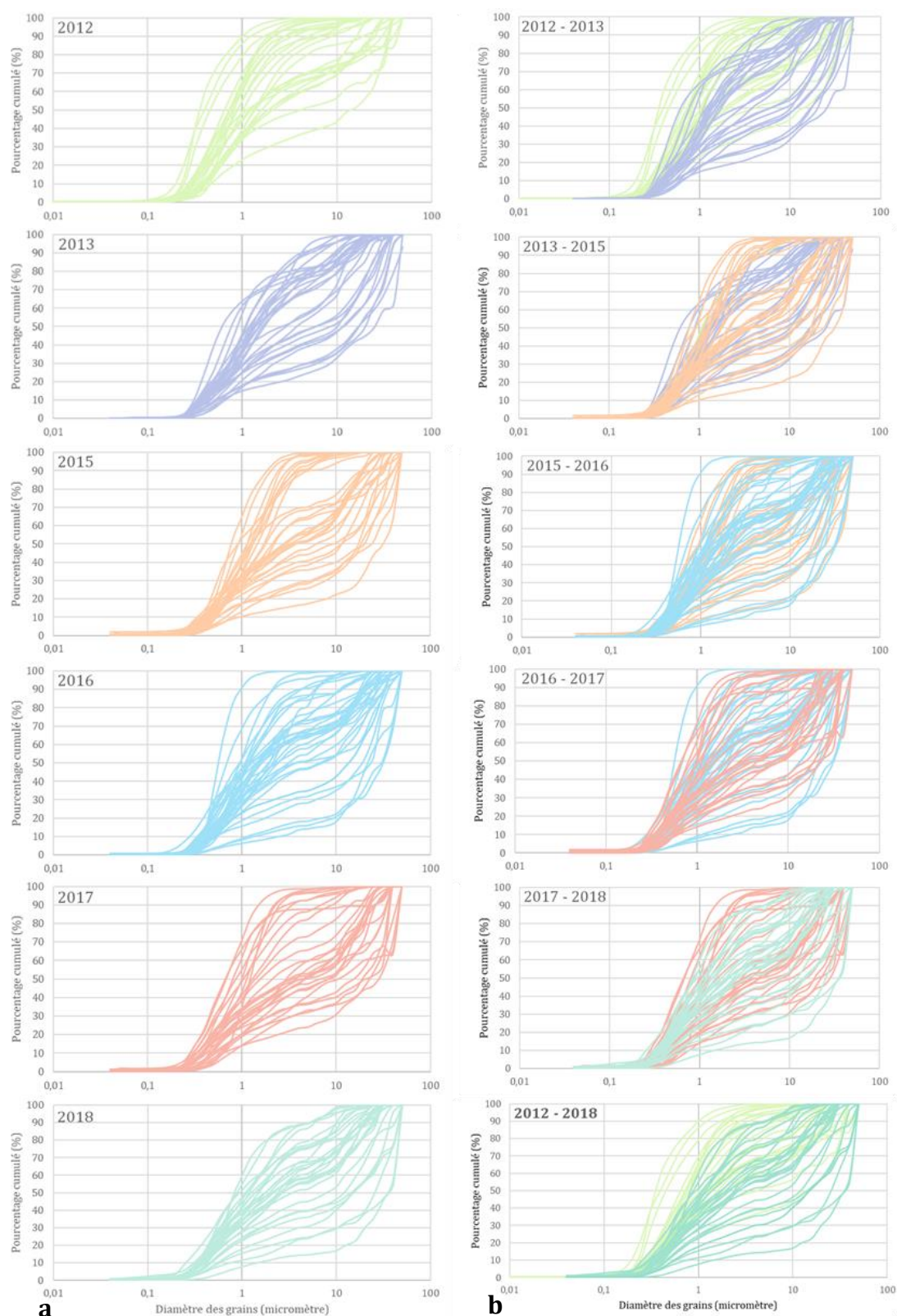


Figure 11 : (a) Evolution de la taille des grains prélevés au niveau des chaines d'érosion de 2012 à 2018 – (b) Comparaison deux à deux de l'évolution des grains de 2012 à 2018

Pour venir compléter cette analyse, l'évolution de la D50 a été étudiée de 2012 à 2018. La figure 12 permet de mettre en évidence l'affinement ou le grossissement des sédiments selon leur position par rapport à la bissectrice représentée par la droite rouge. De fait, si les points sont au-dessus de la bissectrice il y a augmentation de la taille des sédiments, si les points sont en dessous il y a diminution de la taille. Bien qu'une augmentation ait été confirmée précédemment, elle n'a pas été constante. Seul de 2012 à 2013 un grossissement général est observé passant d'une moyenne de 3344,9 μm à 6849,1 μm (3,35 mm et 6,85 mm). Pour les autres années, 2013-2015, 2016-2017 et 2017-2018, les deux phénomènes sont présents. L'évolution entre les années 2015-2016 montre en revanche un affinement des sédiments pour une majorité d'entre eux avec une moyenne de 7951 μm (7,95 mm) en 2015 et 5476,72 μm (5,48 mm) en 2016. Le bilan (Fig. 13) met en évidence le grossissement des sédiments mais fait également état que cette évolution n'est pas unidirectionnelle. En 2012, la moyenne de la D50 était de 3344,9 μm (3,35 mm) tandis qu'en 2018 elle s'élève à 10 536,1 μm (10,54 mm).

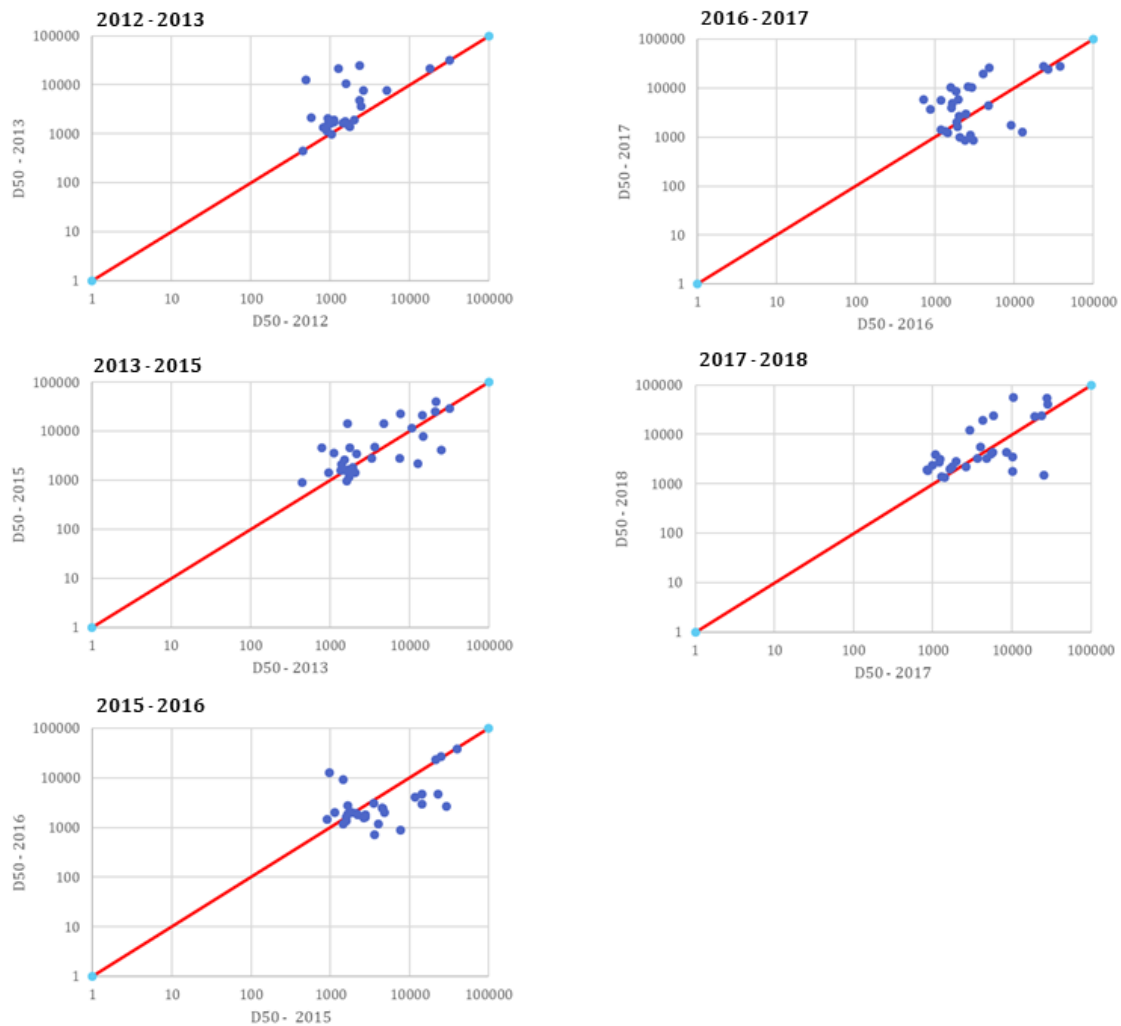


Figure 12 : Evolution de la D50 de 2012 à 2018

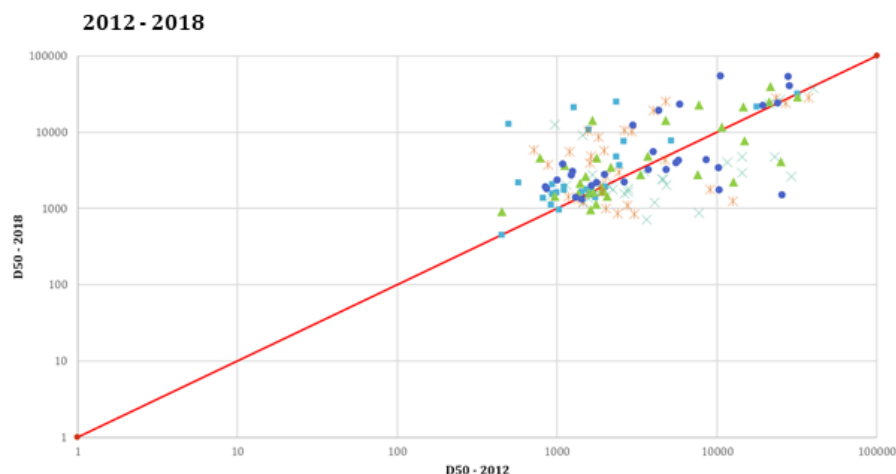


Figure 13 : Bilan de l'évolution de la D50 entre 2012 et 2018

La figure 14 met en évidence l'évolution de la médiane (D50) et les déciles (D10 et D90) de chaque échantillon prélevés au niveau des chaines d'érosion pour les années 2012 à 2018. La fourchette de taille dans laquelle se trouve la D10 reste sensiblement la même, hormis au niveau de la chaine C1, C5 et C9 où la taille de la D10 des grains est plus importante en 2018 (C1 et C5) et 2016 (C9).

Concernant la D50, le constat qu'elle a augmenté depuis 2012 par rapport à 2018 est confirmé avec cependant des variations selon les années. Elle est plus importante en 2018 pour 13 zones échantillonnées sur 30 (C1, C3, C5, C7, C9, C12, C14, C22, C25, C27, C28, C30, C31). Parmi ces 13 zones, 9 correspondent aux surfaces définies précédemment dans les zones basses, dont les sédiments sont considérés comme mal triés. Pour les 4 échantillons restants (C22, C25, C28 et C30), situés au niveau de la zones « haute » de la barre sédimentaire, leur D50 n'a pas réellement évoluée depuis 2012. D'ailleurs, pour le reste des sédiments, la D50 reste faible au niveau de cette surface (C21 à C30).

Enfin, la D90 a considérablement augmentée notamment au niveau de C1, C5, C7, C9, C12 et C31 ; soit les surfaces basses, comprises entre 65 000 et 80 000 μm (6,5 et 8 cm). Elle a également augmenté au niveau de C2, C3, C10 et C25 mais dans des proportions moins importantes.

Ce processus entraîne le développement de couches de blindage principalement localisées dans les zones basses à savoir principalement en amont de la barre sédimentaire.

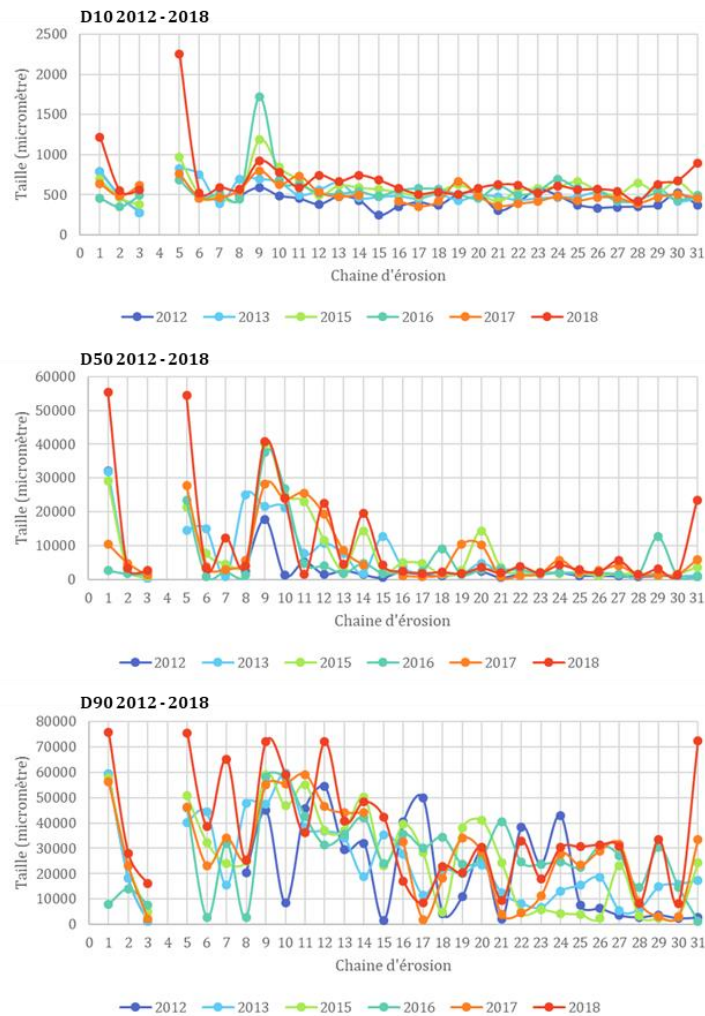


Figure 14 : Evolution de la D10, D50 et D90 de 2012 à 2018

Les résultats observés pour les chaînes d'érosion ainsi que la granulométrie montrent une tendance générale. Les sédiments mal triés retrouvés en marges des zones hautes, principalement situées à l'amont de la barre, dont la D50 augmente depuis 2012, sont à l'origine de couches de blindage dans ces mêmes zones, ayant pour conséquence la stabilité des sédiments qu'elles recouvrent. En d'autres termes, ces structures protègent les sédiments de l'érosion ce pourquoi les quantités de sédiments érodés sont faibles au niveau de ces zones comme l'indique les chaînes d'érosion.

4. Discussion

Les levés topographiques ont mis en évidence une évolution dans la répartition d'élévation de la barre au cours du temps évoluant sur un stockage des sédiments dans les parties « hautes » situées à l'aval de la barre (U3), et l'érosion des parties plus basses (U2), augmentant ainsi le contraste. Cependant, en raison d'un manque de données (cette étude traite seulement les données de 2012, 2017, 2018 et certains profils de 2019), il est difficile de tirer des conclusions significatives concernant ce paramètre. De plus, la connaissance des volumes de sédiments déposés et / ou érodés aurait permis de compléter cette analyse en la rendant plus précise.

Considérant la barre sédimentaire comme juvénile suite aux travaux survenus en 2012, on considère que son évolution va suivre les étapes de développement présentées par Wintenberger et al. (2015). Selon son étude, pendant les premières étapes suivant l'établissement de la végétation ligneuse, le processus d'accrétion semble être régi par trois paramètres : (i) l'espace disponible entre les semis, (ii) l'apport de sédiments de fond et (iii) le type de végétation. N'ayant pas pu étudier la végétation présente sur la barre sédimentaire, l'interprétation s'est faite en fonction des observations que Winterberger et al. (2015) ont constatés de 2007 à 2012.

Les observations de cette étude montrent des résultats similaires ; premièrement, le tri des sédiments s'est amélioré en aval. De plus, la taille des sédiments piégés au niveau des zones hautes n'a pas augmenté (Fig. 13), tandis que les sédiments présents en U2 (amont de la barre sédimentaire) sont devenus généralement plus grossiers (augmentation de la D90 significative), principalement en raison du développement d'armures. L'étude de la végétation présente sur la barre sédimentaire permettrait de mettre en évidence le rôle qu'elle a joué sur la granulométrie du site étudié.

Toujours d'après Wintenberger et al. (2015), ce processus de ségrégation granulométrique est un phénomène pouvant être extrapolé aux systèmes fluviaux sableux-graveleux. Dans ce cas, les couches de blindage ainsi que le grossissement général des sédiments à proximité de la végétation peuvent influencer le processus d'incision agissant sur les chenaux environnants.

Concernant l'apport de sédiments observé grâce aux chaînes d'érosion, les résultats ont été corrélés aux hydrogrammes relevés en amont du site d'étude (Fig. 15). Malgré les crues importantes de 2016, le taux de sédiments érodés au niveau des chaînes situées en amont du site d'étude est assez faible, relevant la présence d'une armure à cet endroit. Le constat est différent pour les sections situées à l'aval de l'île puisque durant cette même année, les taux de sédiments érodés sont les plus importants. Les crues apparues en 2018 ont principalement été responsables d'un apport important de sédiments sur la moitié aval de la barre. Wintenberger et al. (2015) suggère que ces dépôts sédimentaires résultent dans l'effet de remous qui a conduit à l'établissement de berges à forte pente pour U3 entre 2007 et 2012, et qui s'est accentué entre 2015 et 2019.

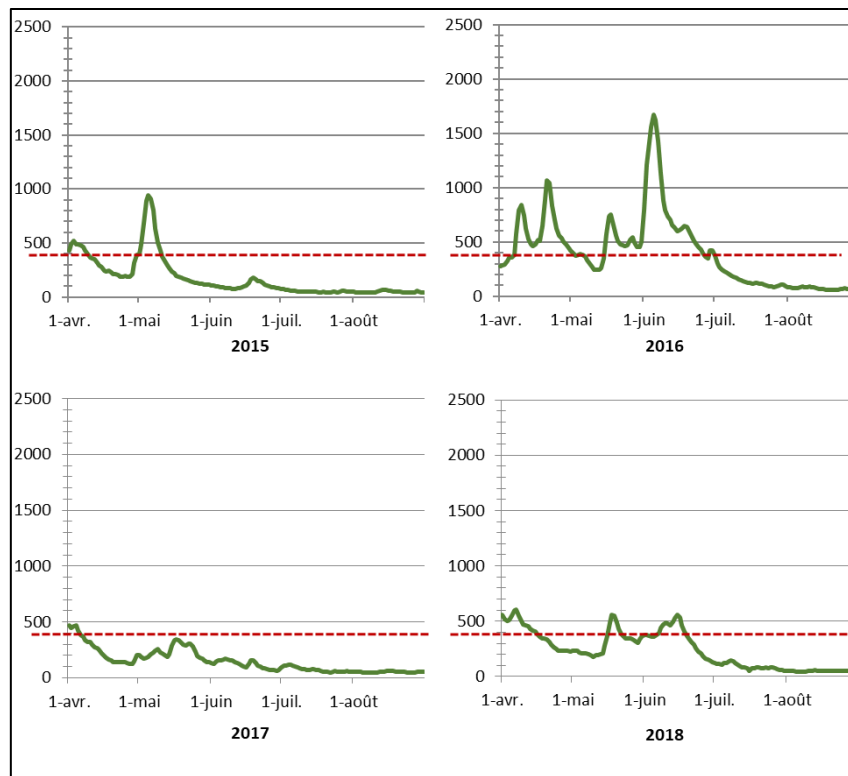


Figure 15 : Hydrogrammes relevés au niveau du Pont Royal (Orléans, à 4 km en amont de l'îlot C) de 2015 à 2018 d'avril à août (courbe verte) ; l'axe des ordonnées représente les débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) ; la droite en pointillés rouges représente une valeur seuil : au-dessus de $400 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ l'îlot est immergé, en dessous de ce seuil, l'îlot commence à être découvert. (Lefebvre, 2019)

La barre sédimentaire semble suivre le modèle conceptuel d'évolution d'une barre végétale non migrante (Corenblit et al., 2014; Wintenberger et al., 2015) que Wintenberger présente dans son article de 2015 «Fluvial islands: First stage of development from nonmigrating (forced) bars and woody-vegetation interactions» (Fig. 16). L'étape 1 correspond aux premiers stades de développement des barres végétalisées ou les taux de dépôts de sédiments sont élevés. Ces derniers sont principalement influencés par l'apport de sédiments (lié à l'hydrologie) provenant du canal principal et par la végétation, qui module les processus d'affouillement et de dépôt à l'échelle locale et à l'échelle de la barre (Fig. 16, étape I). La distribution spatiale de la végétation peut influencer la formation d'obstacles et leur capacité à stocker des sédiments, augmentant ainsi le pouvoir de déviation des bandes végétalisées lors des inondations ultérieures. La coupe d'arbres par les castors, présent au niveau du site d'étude (Lefebvre, 2019), peut entraîner la germination de nombreuses pousses qui, à leur tour, augmenteront leur résistance à l'écoulement.

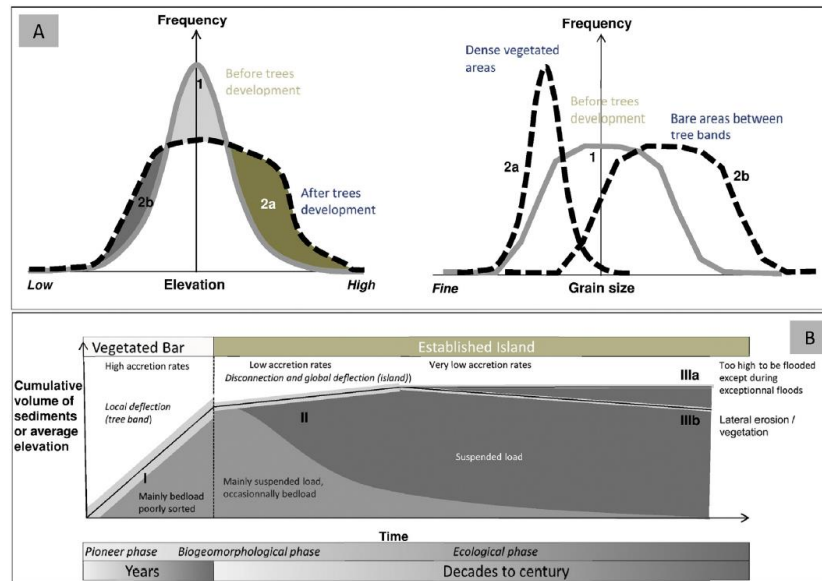


Figure 16 : A) Modèle conceptuel de l'évolution d'une barre végétale non migrante. Conséquences des premiers stades de développement des arbres pionniers sur la topographie et la taille du grain pendant les années suivant la colonisation. B) Transition (échelle de temps plus longue) entre une barre végétalisée et une île établie (Wintenberger et al., 2015)

Au fur et à mesure que les sédiments s'accumulent (Fig. 16, étape II), la déflexion de l'écoulement par la barre augmente, et les taux de dépôt de sédiments diminuent. Cela est dû au fait que l'altitude moyenne augmente et que l'inondation de l'île devient rare. Cependant, lors d'inondations de grande ampleur, des sédiments plus grossiers peuvent se déposer sur les sédiments fins et s'intercaler avec ces derniers (création d'armure) (Wintenberger et al., 2015). Concernant notre cas d'étude, une élévation de l'altitude est bien observée depuis 2012 ainsi que le grossissement des sédiments (principalement la D50 et D90). A titre d'exemple, la taille moyenne de la D50 est passée de 3344,9 μm (3,35 mm) en 2012, à 10 536,1 μm (10,54 mm) en 2018.

Une fois l'île établie, à savoir lorsque l'altitude est assez importante et que la couverture végétale a changé (Fig. 16, étape III), le dépôt de sédiments fins se produit seulement lors d'inondations exceptionnelles. A ce stade, les berges de l'île sont hautes et donc peuvent être déstabilisées, pouvant donner une grande quantité de sédiments au canal et réduisant ensuite le volume de sédiments stockés dans l'île. Au cours de cette étape, la végétation riveraine peut stabiliser les sédiments sur les berges ou augmenter leur érosion en raison de la surcharge (Fig. 16B, étape IIIb) (Wintenberger et al., 2015). Si l'on suit ce déroulement, on peut donc s'attendre à voir le site d'étude évoluer de cette façon dans les années à venir.

Conclusion

La barre sédimentaire étudiée est en constante évolution depuis les travaux de dévégétalisation qu'elle a subi en 2012. Les levés topographiques nous montrent une élévation de la barre sédimentaire dû à un stockage de sédiments à son aval (U3), et une érosion de certaines zones amonts. Un microchenal s'est d'ailleurs formé au niveau de l'unité U2 pendant la période de 2015/2016, scindant ainsi la barre sédimentaire en deux (Jugé, 2016). Concernant la taille des sédiments, une évolution est également visible. Les prélèvements des années 2012 à 2018 ont montrés un grossissement significatif de la D50 et de la D90 notamment au niveau des zones amonts et basses de la barre. Ce processus a entraîné le développement de zones d'armures, protégeant ainsi les sédiments de sous couches de l'érosion engendré pendant les épisodes de crue (2016 en est le parfait exemple). Néanmoins cette tendance n'est pas vraie pour toute les années comme ce fut le cas de 2015 à 2016 ou un affinement des sédiments a été constaté. Les chaines d'érosions ont également permis de mettre en évidence une forte mobilité des sédiments situés à l'aval de la barre, dont les taux de dépôt et/ou d'érosion peuvent parfois atteindre 60 cm. A l'inverse, les sédiments situés à l'amont sont considérés comme peu mobiles.

Le modèle conceptuel mis en place par Wintenberger et al. (2015) suggère que le stockage des sédiments et les changements morphologiques sont rapides pendant la première phase de développement d'une barre sédimentaire végétalisée. D'après les résultats observés, il s'avère que la barre sédimentaire suit cette tendance. De fait, la barre devrait continuer son élévation jusqu'à ce qu'elle atteigne une altitude suffisamment haute pour n'être submergée uniquement lors de crues de grande amplitude pour évoluer vers une forme insulaire. L'étude de la végétation qui s'est implantée sur la barre suite aux travaux de dévégétalisation permettraient de compléter ce rapport et confirmer le modèle de Wintenberger et al. (2015).

Bibliographie

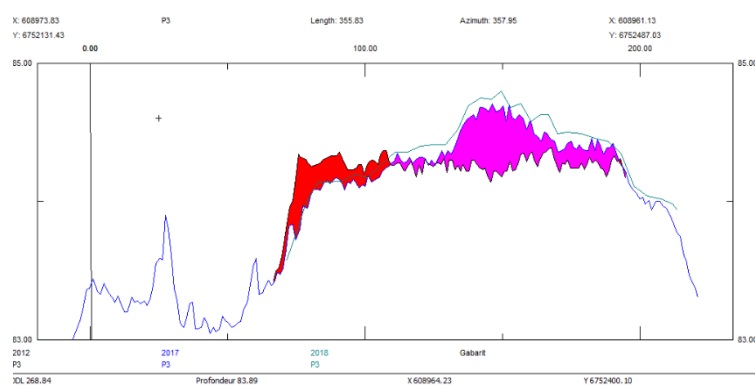
- Corenblit, D., Steiger, J., González, E., Gurnell, A.M., Charrier, G., Darrozes, J., Dousseau, J., Julien, F., Lambs, L., Larrue, S., Roussel, E., Vautier, F., Voldoire, O., 2014. The biogeomorphological life cycle of poplars during the fluvial biogeomorphological succession: a special focus on *Populus nigra* L. *Earth Surface Processes and Landforms* 39 4 , 546–563. doi:<https://doi.org/10.1002/esp.3515>
- Dacharry, M., 1996. Les grandes crues historiques de la Loire. *La Houille Blanche* 6–7 , 47–53. doi:[10.1051/lhb/1996067](https://doi.org/10.1051/lhb/1996067)
- Dupperray, A., 2018. Granulométrie sur les points de chaîne d'érosion de l'île de Mareau-aux-Prés pour le projet BioMareau II.
- Gasowski, Z., 1994. L'enfoncement du lit de la Loire / The entrenchment of the Loire's river bed. *Géocarrefour* 69 1 , 41–45. doi:[10.3406/geoca.1994.4236](https://doi.org/10.3406/geoca.1994.4236)
- Juge, P., 2020. Rapport interne en cours - Restitution des données et levés topographiques terrestres des campagnes estivales 2015 à 2020. CETU Elmis Ingénieries, Chinon.
- Jugé, P., 2016. Campagne 2016 Biomareau II. Université de Tours.
- Laronne, J.B., Outhet, D.N., Carling, P.A., McCabe, T.J., 1994. Scour chain employment in gravel bed rivers. *CATENA* 22 4 , 299–306. doi:[10.1016/0341-8162\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90040-X)
- Latapie, A., Camenen, B., Rodrigues, S., Paquier, A., Bouchard, J.P., Moatar, F., 2014. Assessing channel response of a long river influenced by human disturbance. *CATENA* 121, 1–12. doi:[10.1016/j.catena.2014.04.017](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.017)
- Lefebvre, M., 2019. Variabilité génétique et plasticité phénotypique pour des caractères adaptatifs à l'échelle du semis chez le Peuplier noir (*Populus nigra* L.). Université d'Orléans.
- Osterkamp, W.R., 1998. Processes of fluvial island formation, with examples from Plum Creek, Colorado and Snake River, Idaho. *Wetlands* 18 4 , 530–545. doi:[10.1007/BF03161670](https://doi.org/10.1007/BF03161670)
- Rodrigues, S., 2019. Morphodynamique et Transport Solide Fluvial.
- Rodrigues, S., Bréhéret, J.-G., Macaire, J.-J., Moatar, F., Nistoran, D., Jugé, P., 2006. Flow and sediment dynamics in the vegetated secondary channels of an anabranching river: The Loire River (France). *Sedimentary Geology* 186 1 , 89–109. doi:[10.1016/j.sedgeo.2005.11.011](https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.11.011)

- Rodrigues, S., Claude, N., Juge, P., Breheret, J.-G., 2012. An opportunity to connect the morphodynamics of alternate bars with their sedimentary products. *Earth Surface Processes and Landforms* 37 2 , 240–248. doi:<https://doi.org/10.1002/esp.2255>
- Villar, M., 2011. Conservation des ressources génétiques du peuplier noir dans son habitat : bases biologiques, génétiques et écologiques 94.
- Wintenberger, C., Rodrigues, S., Bréhéret, J.-G., Villar, M., 2015. Fluvial islands: First stage of development from nonmigrating (forced) bars and woody-vegetation interactions. *Geomorphology* 246, 305–320. doi:[10.1016/j.geomorph.2015.06.026](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.06.026)
- Wintenberger, C.L., Rodrigues, S., Greulich, S., Bréhéret, J.G., Jugé, P., Tal, M., Dubois, A., Villar, M., 2019. Control of Non-migrating Bar Morphodynamics on Survival of *Populus nigra* Seedlings during Floods. *Wetlands* 39 2 , 275–290. doi:[10.1007/s13157-018-1121-7](https://doi.org/10.1007/s13157-018-1121-7)

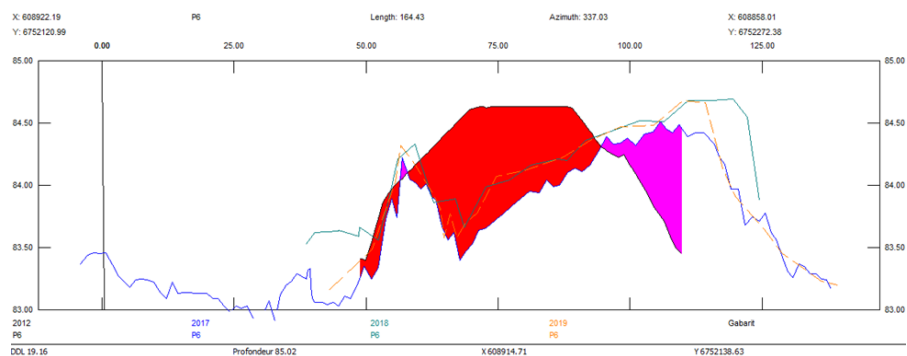
ANNEXES

ANNEXE 1 : SECTIONS TRANSVERSALES PT3 A PT16 (AVAL A AMONT) ET SECTIONS LONGITUDINALES PT17 A PT19 (JUGE, 2000)

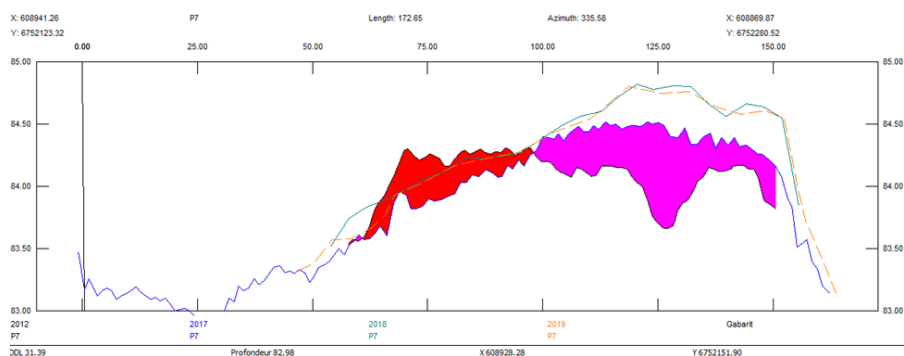
PT3 (2012 – 2018)



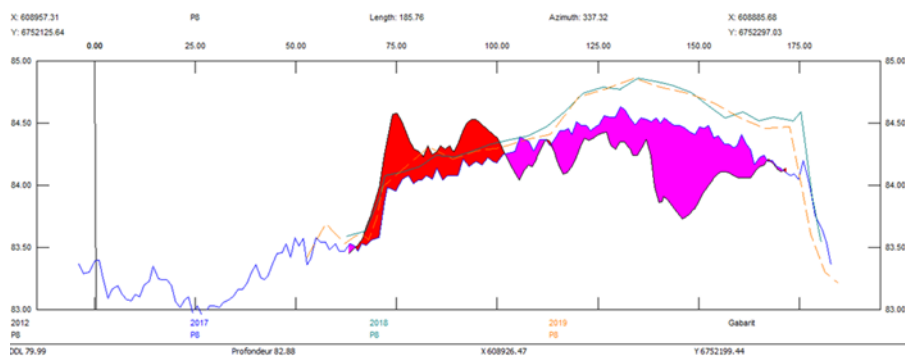
PT6 (2012 – 2019)



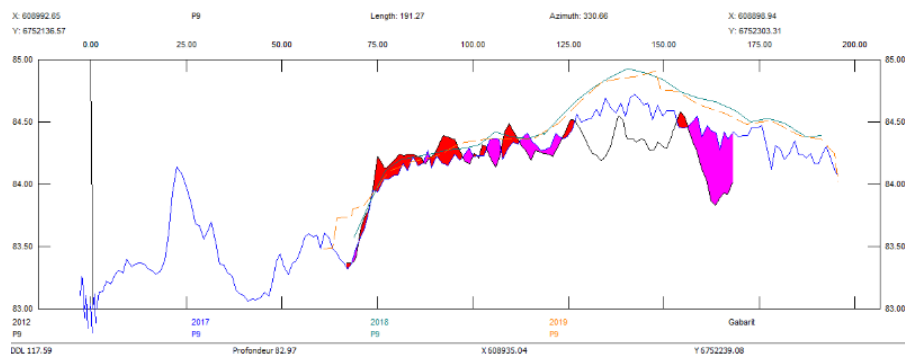
PT7 (2012 – 2019)



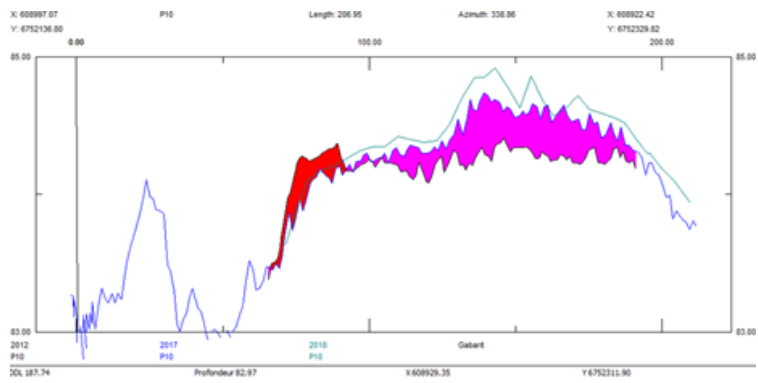
PT8 (2012 – 2019)



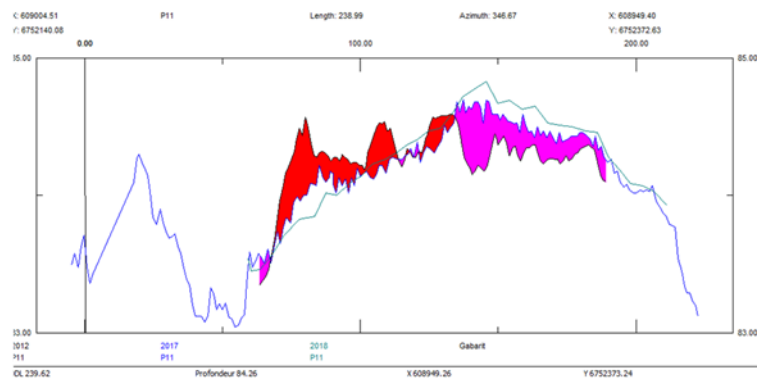
PT9 (2012 – 2019)



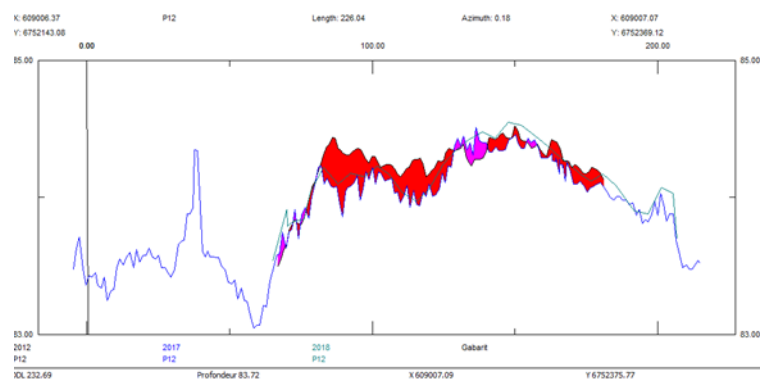
PT10 (2012 – 2018)



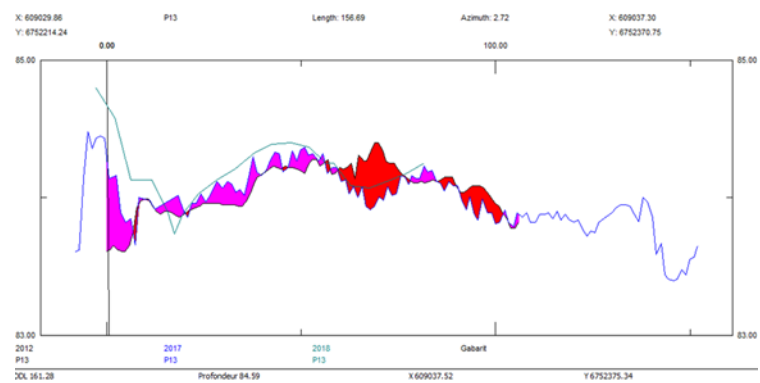
PT11 (2012 – 2018)



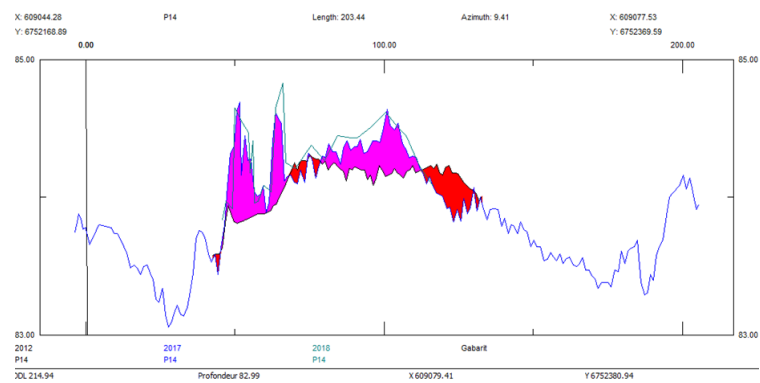
PT12 (2012 – 2018)



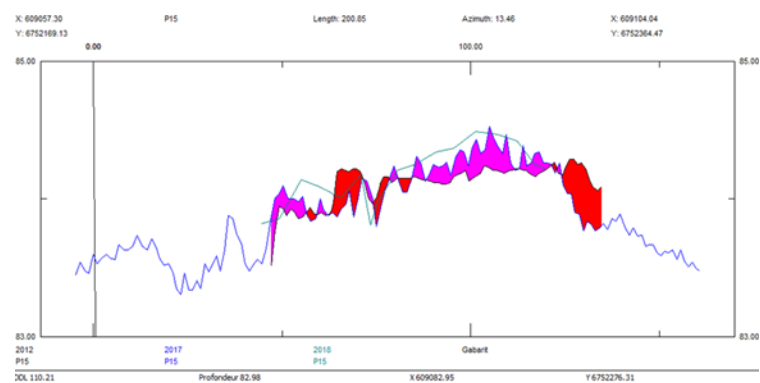
PT13 (2012 – 2018)



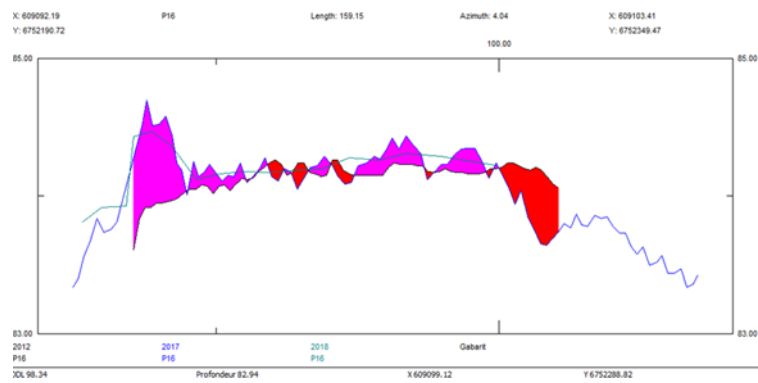
PT14 (2012 – 2018)



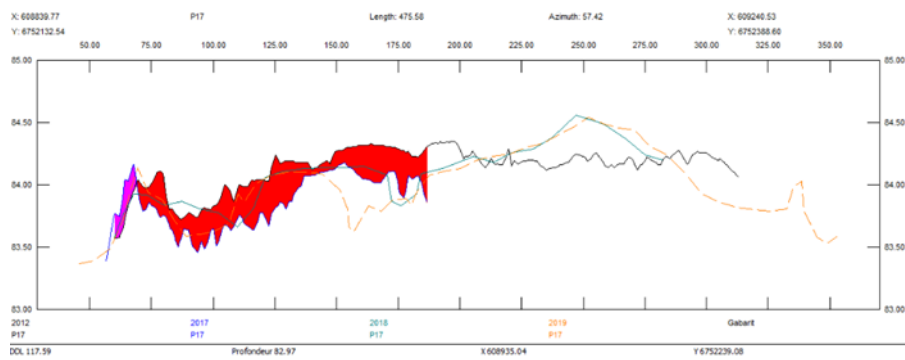
PT15 (2012 – 2018)



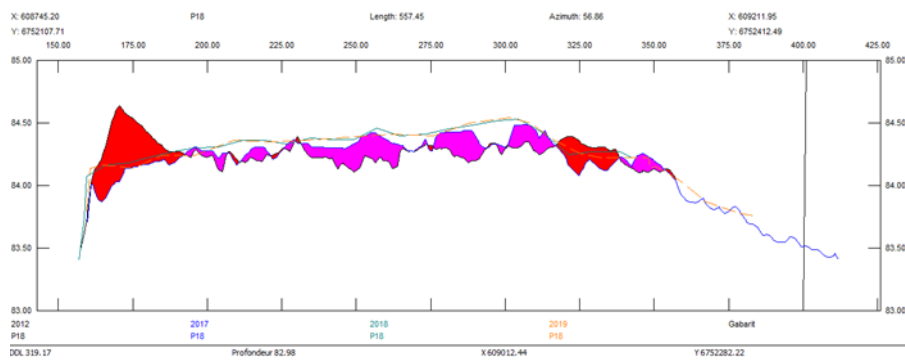
PT16 (2012 – 2018)



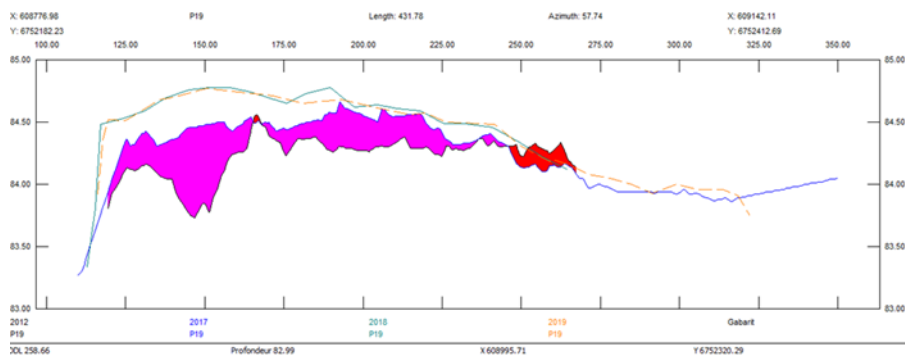
PT17 (2012 – 2019)



PT18 (2012 – 2019)

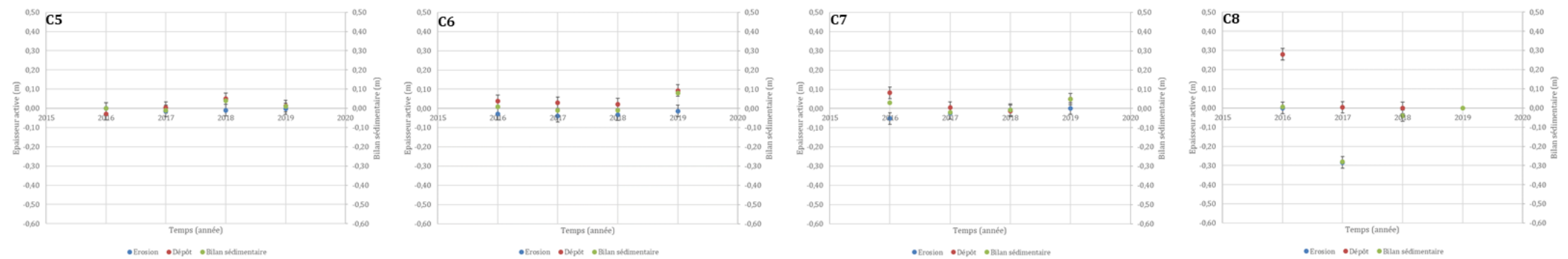


PT19 (2012 – 2019)

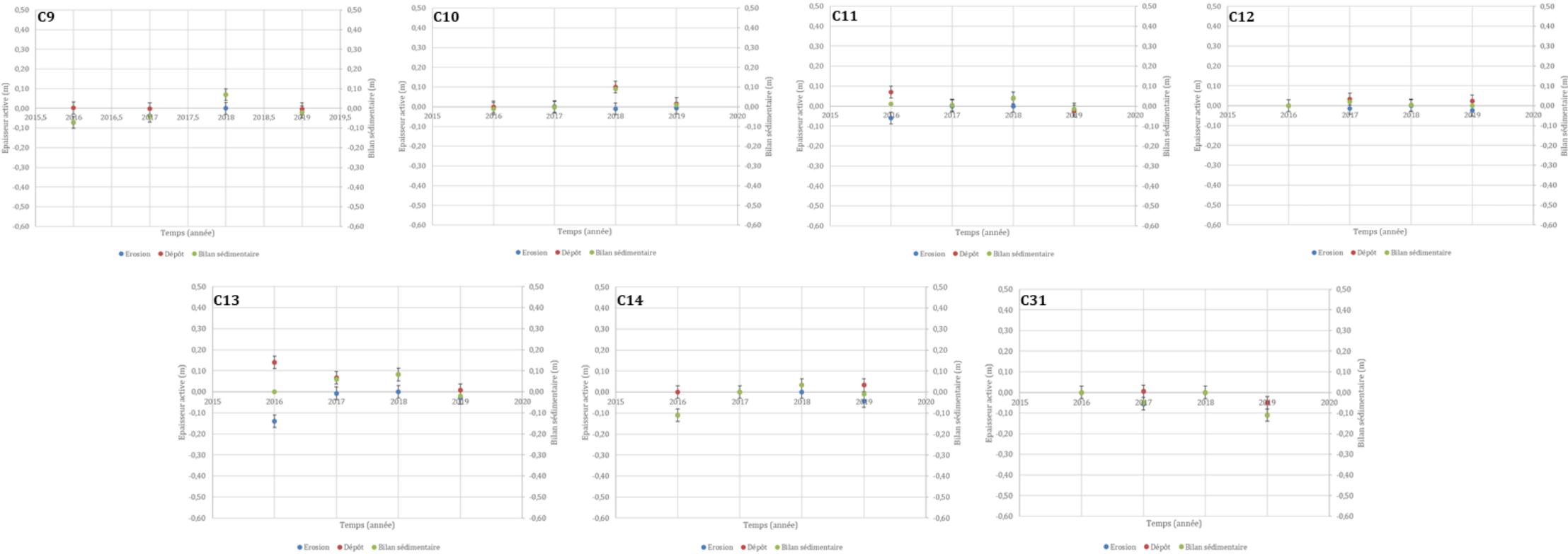


ANNEXE 2 : EVOLUTION DE L'ÉPAISSEUR ACTIVE DES SECTIONS TRANSVERSALES PT8 DE 2015 A 2019 ET BILAN SEDIMENTAIRE

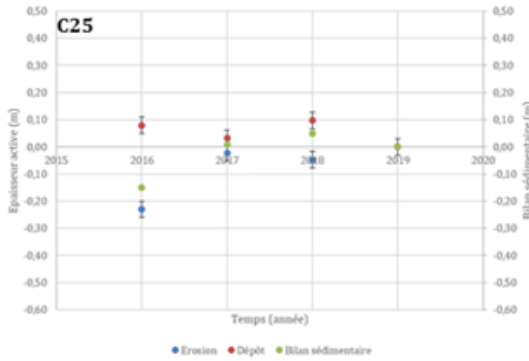
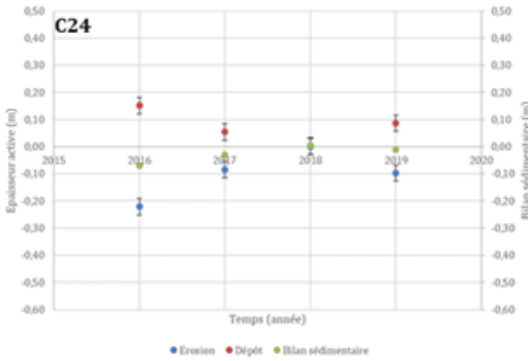
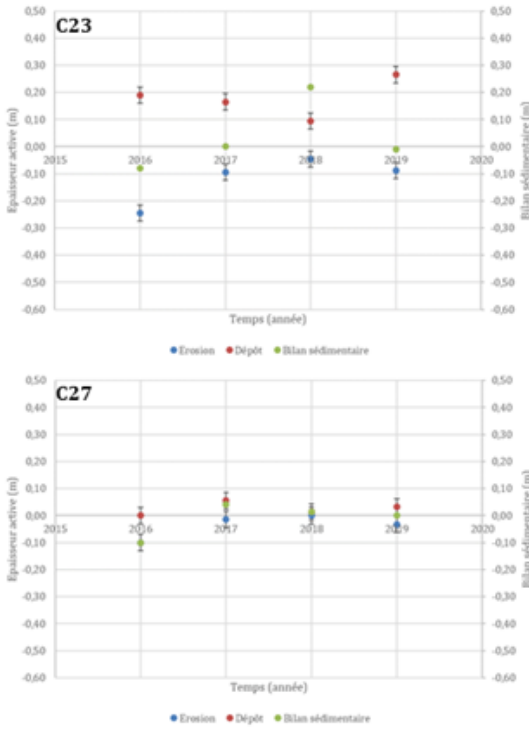
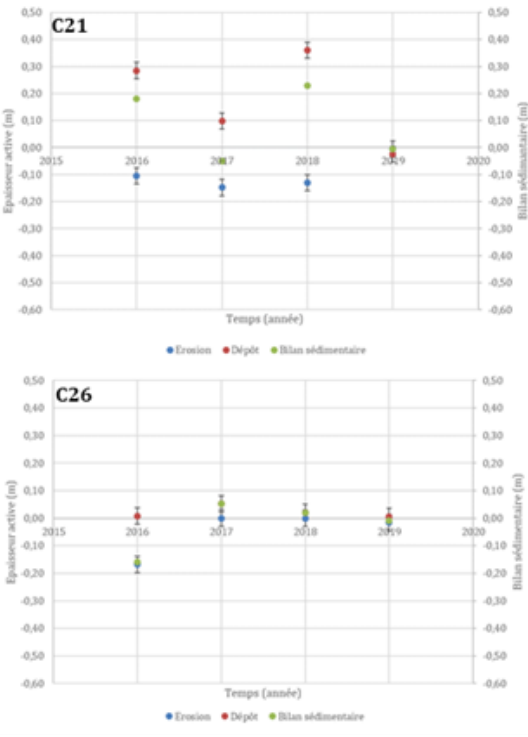
SECTION PT13



SECTION PT11



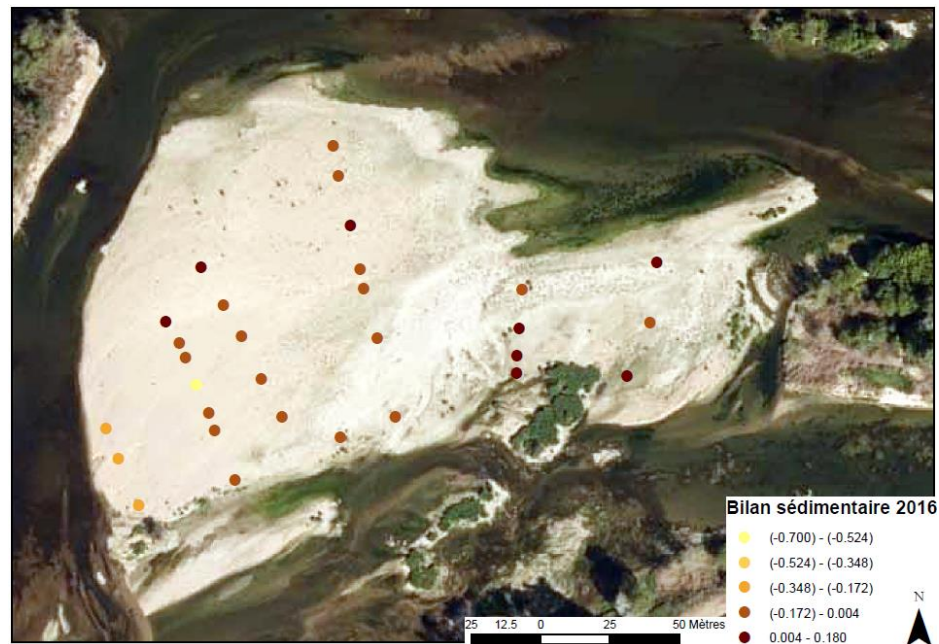
SECTION PT8



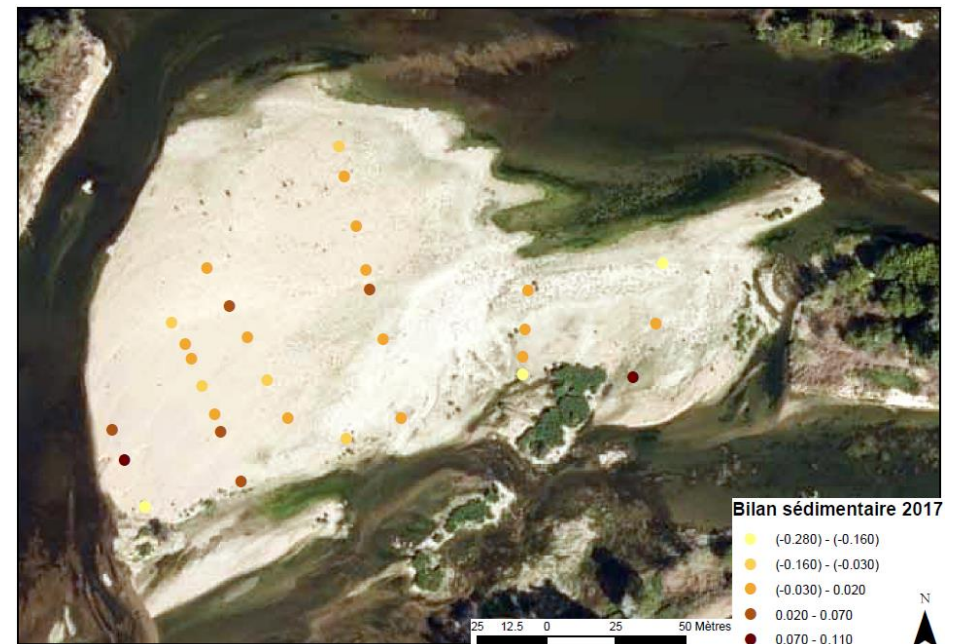
ANNEXE 3 : REPRESENTATION SPATIALE DES BILANS SEDIMENTAIRES (EN METRE) DES CHAINES D'EROSION C1 A C31 POUR LES ANNEES 2016 A 2019

NB. : LES LEGENDES SONT DIFFERENTES D'UNE ANNEE A L'AUTRE.

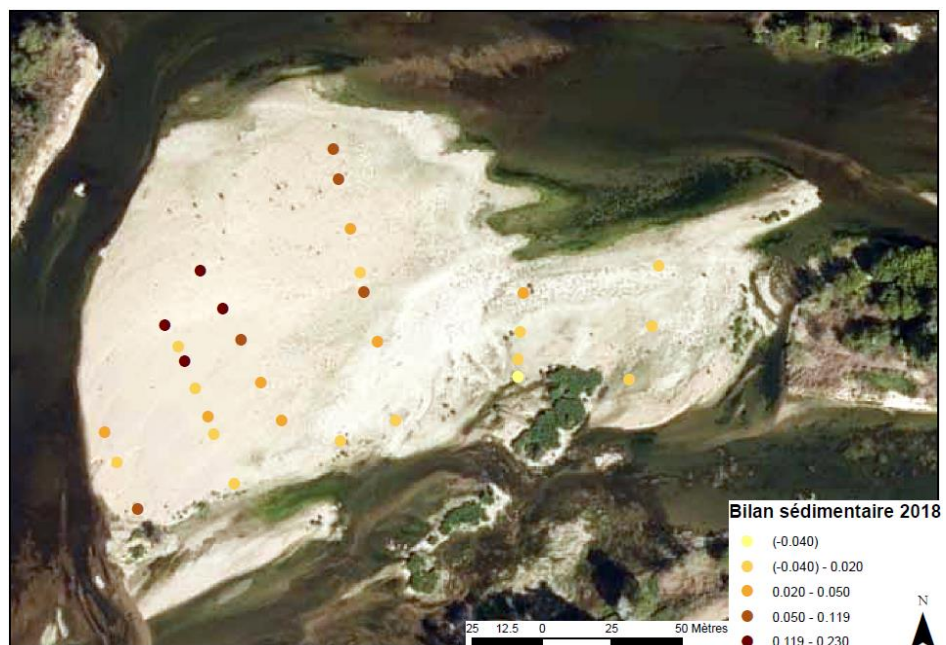
2016



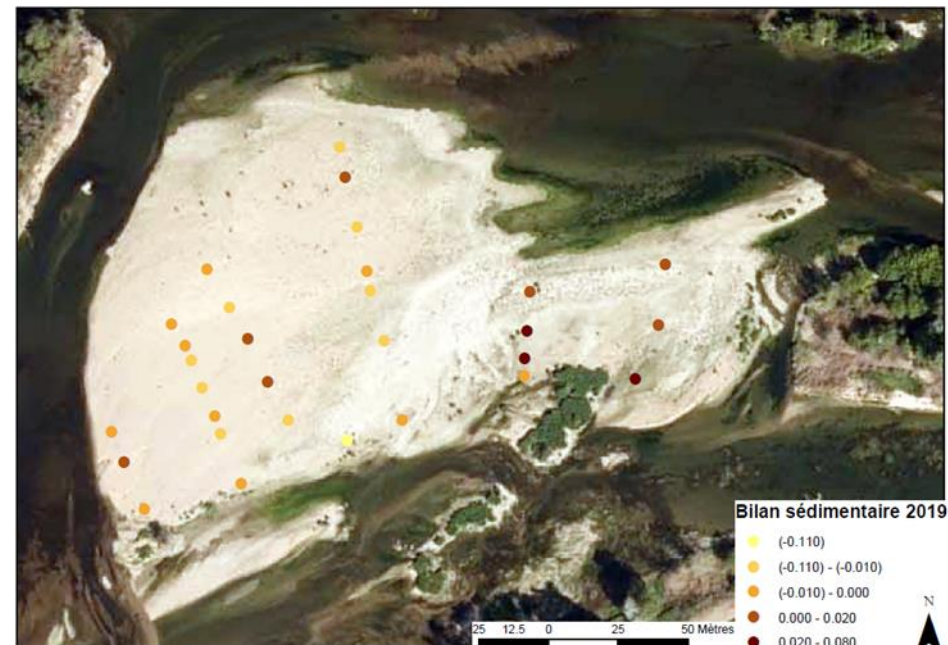
2017



2018



2019



Directeur de recherche :
Stéphane Rodrigues

Marion Manaud
PFE/DAE5
IMA
2020-2021

Morphodynamique d'une barre non migrante en Loire moyenne après travaux de dévégétalisation

Résumé : La barre sédimentaire étudiée est en constante évolution depuis les travaux de dévégétalisation qu'elle a subi en 2012. Les levés topographiques nous montrent une élévation de la barre sédimentaire due à un stockage de sédiments à son aval (U3), et une érosion de certaines zones amonts. Concernant la taille des sédiments, une évolution est également visible. Les prélèvements des années 2012 à 2018 ont montrés un grossissement significatif de la D50 et de la D90 notamment au niveau des zones amonts et basses de la barre. Ce processus a entraîné le développement de zones d'armure, protégeant ainsi les sédiments de sous couches de l'érosion engendré pendant les épisodes de crue (2016 en est le parfait exemple). Les chaines d'érosions ont également permis de mettre en évidence une forte mobilité des sédiments situés à l'aval de la barre, dont les taux de dépôt et/ou d'érosion peuvent parfois atteindre 60 cm. A l'inverse, les sédiments situés à l'amont sont considérés comme peu mobiles.

Mots Clés : barre sédimentaire, dévégétalisation, levés topographique, sédiments, D50, D90, armure, chaine d'érosion.