

Projet Recherche Innovation 2025-2026

Etude des processus sédimentaires sur la Loire moyenne entre 1995 et 2020 à l'aide de profils en travers

[Photo / visuel si possible]

**Etude des processus sédimentaires
sur la Loire moyenne entre 1995 et 2020
à l'aide de profils en travers**

Alex Andreault et Jules Le Guern

Florian Tillon

2026

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 (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet recherche innovation 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 recherche innovation (PRI) 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 souhaite remercier mes tuteurs Alex Andreault et Jules Le Guern pour la proposition de ce sujet de recherche qui m'a grandement intéressé, ainsi que pour leur encadrement tout au long de ce travail. J'ai pu, au travers de ce travail, affiner mes connaissances sur la Loire, son contexte géographique ainsi que ces dynamiques et réellement m'appropriier les connaissances acquises au travers de mon parcours en spécialité IMA.

SOMMAIRE

Table des matières

Tables des figures.....	8
1. Introduction.....	9
1.1. Rôle de la continuité sédimentaire dans la dynamique fluviale.....	9
1.2. Le phénomène d'incision.....	10
1.3. Impact de l'incision fluviale sur la stabilité des ouvrages et la connectivité latérale.....	11
2. Contexte : le bassin de la Loire.....	12
3. Matériels et méthodes.....	13
3.1. Secteur étudié.....	13
3.2. Données topobathymétriques utilisées.....	13
3.2.1. Données topobathymétriques de 1995.....	13
3.2.2. Données LiDAR topobathymétriques de 2020.....	14
3.3. Cartes SIEL de morphologie de la DREAL.....	14
3.4. Calcul du bilan sédimentaire entre 1995 et 2020.....	16
3.5. Etude qualitative des processus morphodynamiques.....	18
3.5.1. Sélection de profils remarquables selon 4 modalités.....	18
3.5.2. Méthode de description du profil.....	18
3.5.3. Tri parmi les résultats.....	18
4. Résultats.....	19
4.1. Etude qualitative des zones d'érosion et de dépôt sur des profils en travers.....	19
4.1.1. Dynamiques érosion-dépôt observées entre 1995 et 2020 dans un méandre.....	19
4.1.2. Migration d'une île révélant une surface d'érosion étendue.....	20
4.1.3. Importantes quantités de dépôt en terrasse alluviale.....	21
4.2. Bilan sédimentaire de la Loire moyenne entre 1995 et 2020.....	22
Discussion.....	23
Bibliographie.....	24
Annexe.....	26

Tables des figures

Figure 1. Incision issue d'une extraction dans le lit mineur (G. Mathias Kondolf, 1994).....	9
Figure 2. Exemple d'évolution de la morphologie et de la végétation de chenaux recalibrés dans le Tennessee, Etats-Unis (Hupp et Simon, 1991).....	10
Figure 3. Bassin versant de la Loire, son altitude, son réseau de drainage principal et ses centres urbains (Moatar, 2022) :	12
Figure 4. La Loire moyenne et son contexte géographique	13
Figure 5. Simplification de la symbologie des cartes SIEL	14
Figure 6. Carte du SIEL à Orléans	15
Figure 7. Emprise de l'étude qualitative, de Nevers à la centrale nucléaire de Saint-Laurent-Nouan	15
Figure 8. Influence de la distance maximale d'interpolation (20 m et 50 m) sur la fidélité de la topographie.....	17
Figure 9. Surfaces d'érosion et de dépôt sur un profil entre 1995 et 2020	17
Figure 10. Dynamiques érosion-dépôt observées entre 1995 et 2020 dans un méandre.....	19
Figure 11. Carte IGN (2016-2020) du méandre	19
Figure 12. Migration d'une île révélant une surface d'érosion étendue.....	20
Figure 13. Analyse diachronique des dynamiques sédimentaires de la Loire.....	20
Figure 14. Carte IGN (2016-2020) et profil présentant une quantité importante de dépôt en terrasse alluviale	21
Figure 15. Bilan sédimentaire de la Loire moyenne entre 1995 et 2020.....	22
Figure 16. Variation altitudinale de l'altitude médiane de la Loire moyenne et aval entre 1995 et 2020 (Andreault, 2024).	23

1. Introduction

1.1. Rôle de la continuité sédimentaire dans la dynamique fluviale

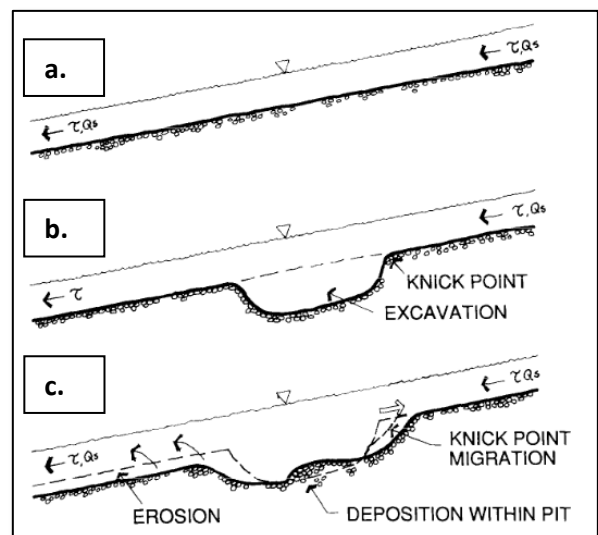
L'état écologique des cours d'eau constitue aujourd'hui une préoccupation majeure, qui s'est notamment traduite par la mise en place de la Directive Cadre sur l'Eau en 2004. Celle-ci fixe un objectif ambitieux : atteindre le bon état écologique de l'ensemble des masses d'eau à l'horizon 2027. Dans ce cadre, l'assurance d'une continuité écologique, sur l'ensemble du continuum fluvial, constitue un levier d'action essentiel. Cette continuité se décline en une continuité biologique et une continuité sédimentaire, visant respectivement à garantir la circulation des organismes aquatiques et le transit des sédiments le long des cours d'eau. Le maintien de cette continuité conditionne le bon fonctionnement des hydrosystèmes et leur capacité à fournir des services écosystémiques. Toutefois, on recense aujourd'hui en France 60 000 ouvrages comme obstacles à l'écoulement (barrages, écluses, seuils) et qui impactent les dynamiques des cours d'eau (Clary et al, 2016). Ces infrastructures affectent fortement le transit sédimentaire, auxquels s'ajoutent les aménagements anthropiques qui contraignent les écoulements et limitent la divagation des cours d'eau (digues, épis, duis, chevrettes). En effet, ces aménagements ont permis une implantation humaine toujours plus proche de ces ressources clés à son développement. Par ailleurs, ces ressources ont été fortement sollicitées, notamment lors de la reconstruction d'après-guerre dans les années 1950, période durant laquelle l'extraction de granulats était autorisée, par exemple dans le lit mineur de la Loire jusqu'en 1995, générant un fort déficit sédimentaire (Gasowki, 1994).

En réponse à ces perturbations, différents processus morphodynamiques interviennent afin de rétablir un équilibre au sein des cours d'eau. Les processus morphodynamiques sédimentaires peuvent être regroupés en deux catégories : l'érosion et le dépôt. Selon la définition du site EauFrance, l'érosion désigne le déplacement de sol ou de roches sous l'action combinée de la gravité et des éléments naturels tels que le vent, la pluie, le ruissellement de l'eau ou les vagues. C'est le processus qui permet le déplacement des sédiments. Au contraire, le dépôt lui a lieu lorsque l'énergie des cours d'eau diminue, les matières transportées se déposent alors au fond du lit jusqu'à ce qu'elle puisse être mise en mouvement de nouveau. L'alternance continue de ces deux processus caractérise le transit sédimentaire et traduit le fonctionnement dynamique des cours d'eau, dont l'équilibre évolue en fonction des conditions énergétiques.

Lorsque la continuité sédimentaire est perturbée et que le déficit ne peut être compensé par des apports depuis l'amont, les cours d'eau tendent à ajuster leur fonctionnement afin de rétablir un équilibre. Les écoulements à forte énergie favorisent alors l'érosion afin de retrouver une pente plus plane où l'énergie sera moins importante. Toutefois, lorsque la rivière est endiguée et que sa mobilité latérale est limitée, elle ne peut divaguer, étendre son emprise en érodant ses berges pour diminuer cette pente. L'énergie hydraulique ne peut se dissiper que par l'érosion verticale du fond du lit (Figure 1). Ce processus conduit à un phénomène d'incision, défini comme un abaissement du lit sur une partie ou l'entièreté d'un cours d'eau et cela à l'échelle de plusieurs années.

Figure 1. Incision issue d'une extraction dans le lit mineur (G. Mathias Kondolf, 1994).

- a.** Condition initiale avant l'extraction : Q_s (le débit solide) et τ (la contrainte de cisaillement) sont continus et garantissent le transport des sédiments.
- b.** L'excavation crée un point de différentiel (knick point) et une plus forte pente, enfermant les sédiments dans le creux et interrompant son transport. En aval, la rivière a toujours la capacité de transporter des sédiments (τ) mais plus aucune charge sédimentaire (Q_s).
- c.** Le knick point migre encore plus en amont, et l'eau érode le lit en aval créant une incision à la fois en amont et en aval.



1.2. Le phénomène d'incision

Le phénomène d'incision est observé sur des cours d'eau avec des substrats peu cohésifs, facilement érodables comme des alluvions ou des marnes (Simon, 1994 ; Landon, 1998 ; Dufour & Piégay, 2010 ; Martín-Vide et al, 2010 ; Ferrer-Boix et al., 2023) mais également sur des substrats rocheux (Howard et al, 1994 ; Whipple et al., 2000). Au cours de ce phénomène, on retrouve six étapes de modifications du chenal (Simon, 1989, 1994).

L'étape de pré-modification est liée au fonctionnement naturel du cours. En effet, la morphologie du cours d'eau évolue naturellement selon les processus d'érosion et l'évolution de la végétation. La deuxième étape est celle de la construction d'un nouveau chenal. On entend ici que le tracé du chenal existant est modifié ou totalement déplacé. Les berges ainsi créées sont droites, réhaussées et les pentes créées sont raides. Ensuite vient l'étape de dégradation caractérisée par un abaissement du fond du lit et un rehaussement des berges. Cette étape est un témoin du futur élargissement du cours d'eau. Plus l'incision est importante, plus le manque de granulats est grand. Le cours d'eau s'agrandira alors d'autant plus pour aller chercher ces matériaux manquants. Les berges commencent alors à s'éroder dans les étapes suivantes. Dans un premier temps, les berges ayant dépassé leur hauteur critique s'effondrent dans le cours d'eau. Les arbres présents sur la berge sont également déstabilisés. Dans un deuxième temps, la phase d'aggradation est caractérisée par un fort recul des berges mais l'on retrouve toujours des parties de berges très hautes (avec une pente supérieure à 70°). Finalement vient l'étape de stabilisation, on observe alors une baisse de la hauteur des berges et des dépôts de sédiments fins du fleuve sur les berges. Le retrait des berges s'arrête également car leur hauteur a diminué (Figure 2).

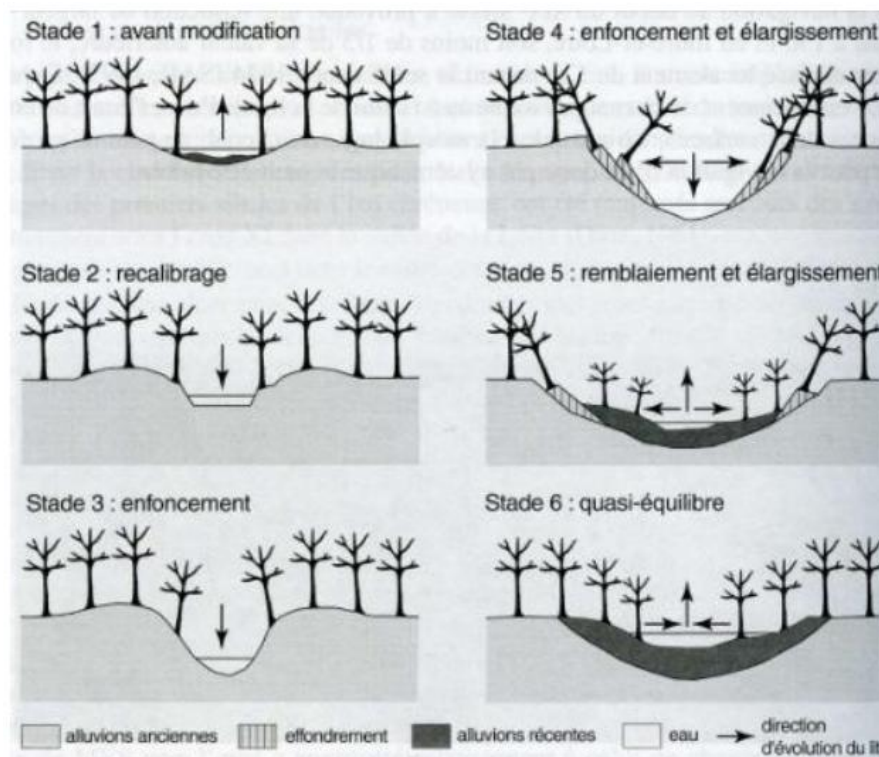


Figure 2. Exemple d'évolution de la morphologie et de la végétation de chenaux recalibrés dans le Tennessee, Etats-Unis (Hupp et Simon, 1991)

Toutefois, cette succession d'étapes correspond à un fonctionnement théorique dans des conditions où le chenal peut évoluer librement. Dans un contexte anthropisé, notamment lorsque le cours d'eau est endigué, cette dynamique est modifiée : les berges ne peuvent plus être érodées et le stade d'enfoncement tend alors à se prolonger.

1.3. Impact de l'incision fluviale sur la stabilité des ouvrages et la connectivité latérale

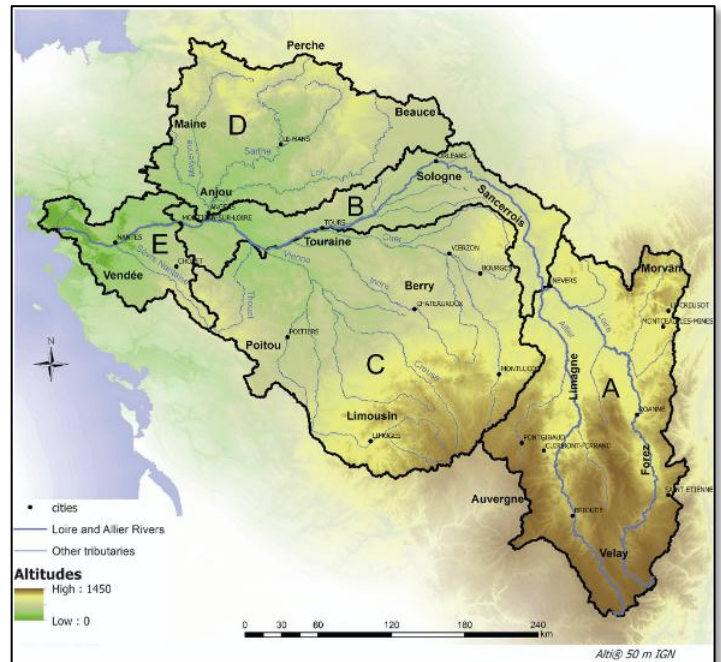
La continuité sédimentaire de l'amont vers l'aval est finalement un enjeu important car nécessaire à la création d'habitats pour la biodiversité présente dans nos cours d'eau mais également pour l'homme. Outre une modification importante de la morphologie des rivières, ces processus d'incision mettent en péril des ouvrages créés par l'homme (des ponts, des barrages etc.) en déstabilisant ces derniers (Gasowki, 1994). Les fondations autrefois protégées sous l'eau sont aujourd'hui exposées à l'air et donc à la corrosion du temps. L'exemple le plus marquant dans la région reste celui de l'effondrement du pont Wilson en 1978. Outre l'effet sur les infrastructures humaines, une incision profonde du chenal principal engendre une déconnexion avec les chenaux secondaires, n'étant alimentés que lors des crues. La végétation peut alors facilement coloniser ces derniers (Rodrigues et al., 2007), ralentissant les futurs écoulements lors des prochaines crues et augmentant en même temps le niveau d'eau et le risque d'inondation pour les enjeux environnementaux. D'autre part, les ouvrages hydrauliques bloquent non seulement le passage vers l'aval mais modifient également les écoulements à l'amont. En effet, ces derniers impactent la ligne d'eau sur des distances variables selon les ouvrages mais provoque toujours une uniformisation des écoulements vers des milieux lenticules. Ceux-ci étant favorables à du colmatage au fond du lit qui menace l'installation et le développement de la biodiversité.

Dans ce contexte, on souhaite alors connaître précisément les dynamiques du transport sédimentaire de la Loire afin de mettre en place des politiques de gestions adaptées. C'est dans l'axe de travail concernant les processus morphodynamiques de la Loire dans sa portion moyenne que ce travail s'inscrit. Il fait suite aux résultats obtenus lors du travail de thèse de Andreault en 2024. Ces travaux mettent notamment en évidence que l'incision du lit de la Loire demeure active mais tend à ralentir. Aussi, une forte organisation spatiale des dynamiques d'érosion et dépôt est présente à l'échelle longitudinale. Les travaux mettent en évidence qu'un processus d'incision a encore lieu sur la partie aval de la Loire moyenne, tandis que la stabilité et le dépôt semble prédominer à l'amont. Dans un premier temps, l'objectif est de chercher une méthode de quantification et de qualification des processus morphodynamiques et de l'appliquer à deux séries de profils en travers issues de données topobathymétriques acquises en 1995 et de données LiDAR topobathymétriques de 2020. Dans un second temps, les résultats obtenus seront mis en perspective avec les tendances évoquées ci-dessus.

2. Contexte : le bassin de la Loire

La Loire est l'un des 5 fleuves de France, son bassin versant mesure 117 054 km² et équivaut alors à 20% de la France métropolitaine (Figure 3). Elle prend sa source dans le mont Gerbier-de-Jonc, dans le département de l'Ardèche. Elle s'écoule vers le nord jusqu'à Orléans puis tourne à l'ouest vers l'Océan Atlantique (Moatar, 2022).

Figure 3. Bassin versant de la Loire, son altitude, son réseau de drainage principal et ses centres urbains (Moatar, 2022) : (A) Amont de la Loire et Allier ; (B) Vallée de la Loire; (C) Cher, Indre, Vienne : les affluents s'élevant à l'ouest du Massif central; (D) Bassin de la Maine; (E) Sous-bassin versant de l'estuaire.



Le bassin de la Loire repose sur trois grandes unités géologiques, organisées d'amont en aval : le Massif central, le Bassin parisien, constitué de roches sédimentaires accumulées au cours du temps et le Massif armoricain (Moatar, 2022). Ces ensembles géologiques contrôlent l'organisation du réseau hydrographique (répartition et orientation des cours d'eau), la présence des aquifères (réservoirs d'eau souterraine) et l'origine des sédiments transportés par le fleuve. Dans le Massif central, les aquifères sont généralement de taille moins importante, tandis que le Bassin parisien abrite de grands aquifères, notamment calcaires et sableux. Ils jouent un rôle important dans le soutien des débits en période d'étiage (Moatar, 2022).

Le climat du bassin de la Loire est très contrasté, avec une influence montagnarde dans le Massif central, tandis que les parties moyenne et aval sont dominées par un climat océanique (Moatar, 2022). De même, les précipitations annuelles varient fortement sur le bassin, entre 500 mm et plus de 2 100 mm selon les secteurs. La Loire est caractérisée par des périodes d'étiages intenses en été mais aussi par des inondations. Pour limiter ces fortes variations, 2 barrages ont été construits dans les années 1980, le barrage de Villerest sur la Loire et celui de Naussac sur l'Allier (Moatar, 2022).

La Loire est caractérisée par une dynamique sédimentaire particulièrement active. Les sédiments sont majoritairement siliceux, issus des formations cristallines et volcaniques de l'amont. Le lit est principalement composé de sables grossiers et de graviers, avec une granulométrie moyenne d'environ 1,6 mm, ces sédiments peuvent alors être transportés pour de faibles contraintes hydrauliques (Moatar, 2022). On retrouve le long de ce fleuve des barres sédimentaires ; barres libres ou barres forcées, qui peuvent migrer d'un mètre par jour (Claude et al., 2014). Ces formes subissent enfin une évolution progressive sous l'influence de la végétation et conduisent à la transformation de bancs en îles selon un processus appelé *Fluvial Biogeomorphic Stage* (Moatar, 2022).

3. Matériels et méthodes

3.1. Secteur étudié

Le secteur étudié est celui de la Loire moyenne, s'étendant de Nevers [18] aux Ponts-de-Cé [49]. La Loire traverse alors le Cher [18], le Loiret [45], le Loir-et-Cher [41], l'Indre-et-Loire [37] et la Maine-et-Loire [49]. Les principales grandes villes traversées par la Loire sur ce secteur sont Gien, Orléans, Blois, Tours et Montsoreau (Figure 4).

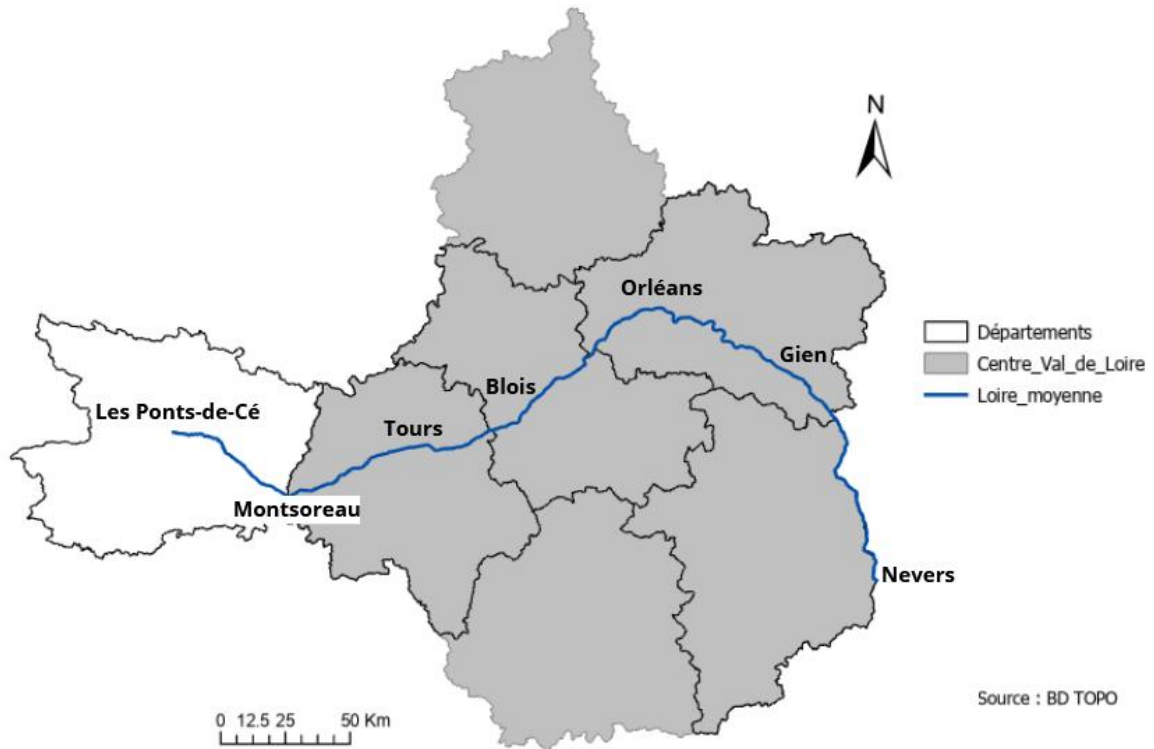


Figure 4. La Loire moyenne et son contexte géographique. Les profils étudiés dans cette étude s'étendent sur une large portion du linéaire de la Loire moyenne de manière plus ou moins continue et suivent le tracé du fleuve.

3.2. Données topobathymétriques utilisées

3.2.1. Données topobathymétriques de 1995

Ce jeu de données comprend des levés topographiques réalisés entre 1994 et 1996 dans le but de construire un modèle hydraulique 1D. Le jeu de données le plus important a été acquis par le cabinet Crougneau. Il se présente sous la forme de séries de profils transversaux levés sur l'ensemble de la Loire moyenne entre Nevers et les Ponts-de-Cé (Figure 4). La densité de profils est de 0,85 profil par kilomètre linéaire. Les profils présentent une longueur moyenne de 685 m, avec une médiane de 570 m, et couvrent l'ensemble de la plaine alluviale, d'une digue à l'autre. Les densités moyenne et médiane de points par profil sont respectivement de 72 et 67 points-profil⁻¹, pour un écart-type de 29 points-profil⁻¹. La densité de points rapportée au mètre linéaire est en moyenne de 0,13 point·m⁻¹ et médiane de 0,12 point·m⁻¹, avec un écart-type de 0,06 point·m⁻¹ (Andreault, 2024). Aussi, pour les besoins de la modélisation hydraulique, certains profils intègrent la présence des ponts, ces derniers ne seront pas utilisables pour notre étude.

Ces profils ont pour référence géodésique le Lambert II étendu puis ont été reprojetés en Lambert 93, conduisant à de ponctuels biais de position dans le jeu de données. Toutefois, certains profils ont été repositionnés manuellement à l'aide d'orthophotographies afin de pouvoir conserver ces données (Andreault, 2024). Les analyses précédentes ont montré que l'ensemble des profils peut être utilisé pour caractériser le phénomène d'incision mais uniquement sur le profil en long du chenal principal et avec un degré de fiabilité jugé raisonnable (Andreault, 2024).

3.2.2. Données LiDAR topobathymétriques de 2020

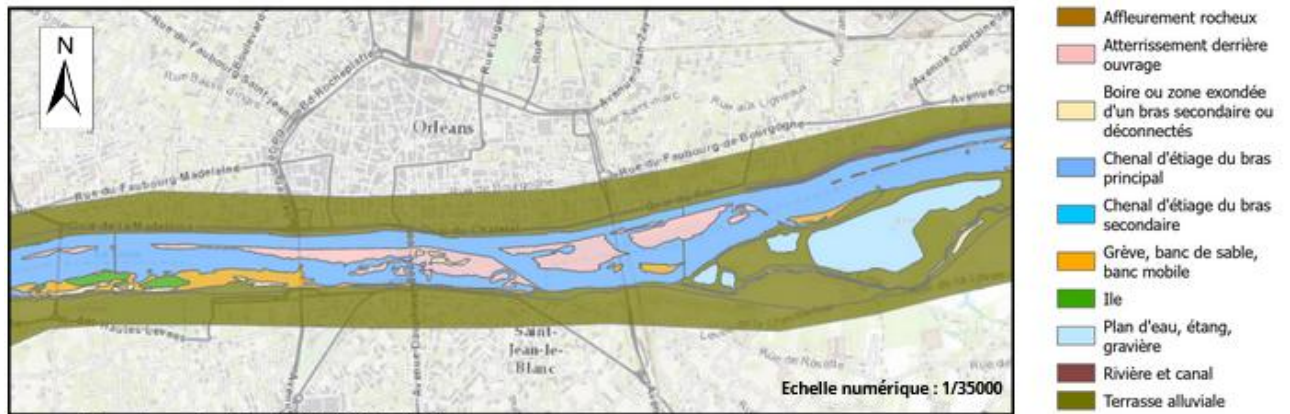
Ces données ont été acquises dans le cadre du CIT Loire & Fleuves du projet ARD Intelligence des Patrimoines (IPAT). Cet outil est capable d'émettre un double faisceau permettant de lever simultanément la topographie des rives et la bathymétrie des cours d'eau à l'aide respectivement d'ondes rouges (1064 nm) et d'ondes vertes (532 nm). Ces mesures ont été menées en période d'étiage entre 2019 et 2021. En effet, la faible hauteur d'eau présente en été permet de relever de plus grandes étendues spatiales et la turbidité moins importante permet une meilleure pénétration des lasers. Le capteur LiDAR présente alors une précision verticale de 3 à 6 cm pour les données de topographie. Pour la bathymétrie, la précision verticale est d'une dizaine de centimètre et la capacité de résolution des détails est de 20 à 30 cm (Lague and Feldmann, 2020). Ce jeu de données possède une densité de point très bonne, évoluant de 6 pts.m⁻² à 67 pts.m⁻², permettant de les utiliser pour décrire la topographie (Andreault, 2024). Les données acquises lors de ce projet couvrent toute la Loire moyenne ainsi que la Loire aval, s'étendant de Nevers à Nantes (environ 450km de linéaire). Ainsi, la fusion de ces deux jeux de données permet de décrire les topographies de ces années mais surtout d'étudier l'évolution de la morphologie du lit de la Loire en 25 ans à l'aide de profils en travers.

3.3. Cartes SIEL de morphologie de la DREAL

Il est nécessaire de distinguer les processus d'érosion et de dépôt en fonction des unités morphologiques concernées. La Loire présente notamment des barres sédimentaires susceptibles de migrer longitudinalement le long du chenal. L'exploitation de ces données qualitatives permet ainsi d'interpréter la nature des évolutions observées sur la période étudiée : une érosion mesurée sur 25 ans peut, par exemple, correspondre à une incision du lit mineur mais également à la migration vers l'aval d'une île ou d'une barre sédimentaire. Afin de disposer d'un référentiel morphologique permettant cette interprétation, les cartes SIEL constituent un support essentiel (Figure 6). Élaborées par la DREAL Centre-Val de Loire dans le cadre du Système d'Information de l'Évolution du Lit de la Loire (SIEL) depuis 1995, elles permettent d'identifier et de caractériser les unités morphologiques présentes dans le lit de la Loire ainsi que dans sa plaine d'inondation à une date donnée. La symbologie utilisée dans cette étude est une simplification de celles présentes sur ces cartes mais permet néanmoins de couvrir l'ensemble des unités morphologiques présentes sur le secteur étudié. Elle comprend les unités suivantes :

Simplification de la symbologie	Symbologie initiale
Affleurement rocheux	Affleurement rocheux
Atterrissement derrière ouvrage	Atterrissement derrière ouvrage
Grève, banc de sable, banc mobile	Banc mobile
	Grève ou banc de sable
Ile	Ile ancienne
	Ile en formation
Terrasse alluviale	Terrasse alluviale ancienne
	Terrasse alluviale récente
Boire ou zone exondée d'un bras secondaire ou déconnectés	Boire
	Chenal déconnecté
	Zone en eau du bras déconnecté
	Zone exondée du bras déconnecté
	Zone exondée du bras mort
Plan d'eau, étang, gravière	Zone exondée du bras secondaire
	Étang, mare
	Gravière
Rivière et canal	Rivière
	Canal

Figure 5. Simplification de la symbologie des cartes SIEL



Sources : Cartes de morphologie du SIEL (2002 et 2015)

Figure 6. Carte du SIEL à Orléans. affleurement rocheux, atterrissement derrière ouvrage, boire ou bras secondaire exondé, chenal d'étiage du bras principal, chenal d'étiage du bras secondaire, grève ou banc mobile, île, terrasse alluviale, plan d'eau, rivière ou canal.

Ces outils seront utilisés pour décrire qualitativement l'évolution du lit de la Loire entre 1995 et 2020. Cependant, les cartes disponibles ne sont pas synchrones avec les levés topobathymétriques de 1995 et de 2020 et ne présentent pas une couverture spatiale continue sur l'ensemble du secteur étudié. Les cartes réalisées entre 1995 et 2000 ne couvrent en effet que des zones ponctuelles, tandis que la plus récente date de 2015. Dans ce contexte, la carte de 2002, dont l'emprise s'étend de Nevers à la centrale nucléaire de Saint-Laurent-Nouan [41], est utilisée pour l'interprétation des profils de 1995. De même, la carte de 2015, couvrant le secteur de Nevers jusqu'à la confluence avec la Vienne [37], est mobilisée pour la description des profils de 2020.

L'étude qualitative se fera alors sur un secteur différent de l'étude quantitative, de Nevers jusqu'à la Centrale Nucléaire de Saint-Laurent-Nouan (Figure 7).



Figure 7. Emprise de l'étude qualitative, de Nevers à la centrale nucléaire de Saint-Laurent-Nouan.

3.4. Calcul du bilan sédimentaire entre 1995 et 2020

Pour chaque profil du jeu de données, des surfaces d'érosions et dépôt sont calculées en utilisant le logiciel RStudio. Pour ce faire, une « fonction principale d'analyse » est définie et comprends 5 sous-fonctions : une fonction pour vérifier et nettoyer les données, une fonction pour calculer la distance cumulée depuis la rive gauche, une fonction pour calculer les surfaces, une fonction pour créer le graphique d'un profil et une fonction pour exporter les résultats en format Excel.

La première fonction, vérifier et nettoyer les données, permet de s'assurer que le jeu de données est cohérent et qu'il ne manque pas de valeurs. Il définit et vérifie que les colonnes décrivant les coordonnées spatiales et les altitudes de 1995 et de 2020 sont présentes ainsi que l'identifiant du profil ne manque pas. Enfin cette fonction, rapporte le nombre de valeur manquante dans chaque colonne.

L'approche adoptée est que la seconde fonction calcule la distance cumulée à partir de la rive gauche vers la rive droite de la Loire, en sommant les distances successives entre les points du profil selon la formule :

$$Distance = \sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2}$$

En pratique, le code ne s'appuie pas sur une identification géographique de la rive gauche, mais ordonne les points selon la plus petite coordonnée x . La distance cumulée est donc calculée à partir du point ayant l'abscisse minimale, indépendamment de sa position réelle par rapport au sens d'écoulement du fleuve. Or, le tracé de la Loire n'est pas rectiligne et change localement de direction ; la notion de rive gauche et de rive droite peut ainsi s'inverser spatialement. Dans certains profils, le point d'abscisse minimale ne correspond donc pas à la rive gauche réelle. Dans un souci de clarté, les profils présentés dans cette étude seront ceux dont l'abscisse minimale se trouve en rive gauche.

La troisième fonction permet de calculer et d'identifier les surfaces d'érosion et dépôt sur chaque profil. Pour cela, la méthode des trapèzes permet de calculer efficacement les surfaces entre les profils de 1995 et de 2020. La fonction découpe le profil en différents segments à l'aide des distances cumulées précédemment calculées, puis la surface du trapèze pour chaque segment avec la formule :

$$Surface = \frac{(h1 \times h2)}{2} \times Largeur\ du\ segment$$

avec $h1$ et $h2$, les différences de hauteurs (entre 1995 et 2020) aux extrémités du segment

Ce calcul ne peut être réalisé que si la distance maximale entre deux points successifs est fixée à 20 m. Ce seuil, bien qu'arbitraire, résulte d'essais exploratoires sur différentes valeurs. Avec une distance maximale de 5 m, on s'aperçoit qu'un nombre beaucoup trop limité de surfaces d'érosion et de dépôt était calculé, ce qui conduisait à une sous-représentation des dynamiques morphologiques avec un bilan sédimentaire total divisé par 10. À l'inverse, une distance maximale de 50 m générerait des surfaces parfois trop importantes, liées à une approximation trop grossière de la topographie. En effet, l'espacement entre les points n'étant pas constant le long des profils, des points trop éloignés induisent une interpolation peu fidèle du relief réel.

Afin d'illustrer l'influence du seuil de distance maximale sur la qualité de l'interpolation topographique, la Figure 8 compare un même profil reconstruit avec un seuil de 20 m et de 50 m. Cette comparaison met en évidence la sur-approximation des surfaces obtenue pour un seuil trop élevé.

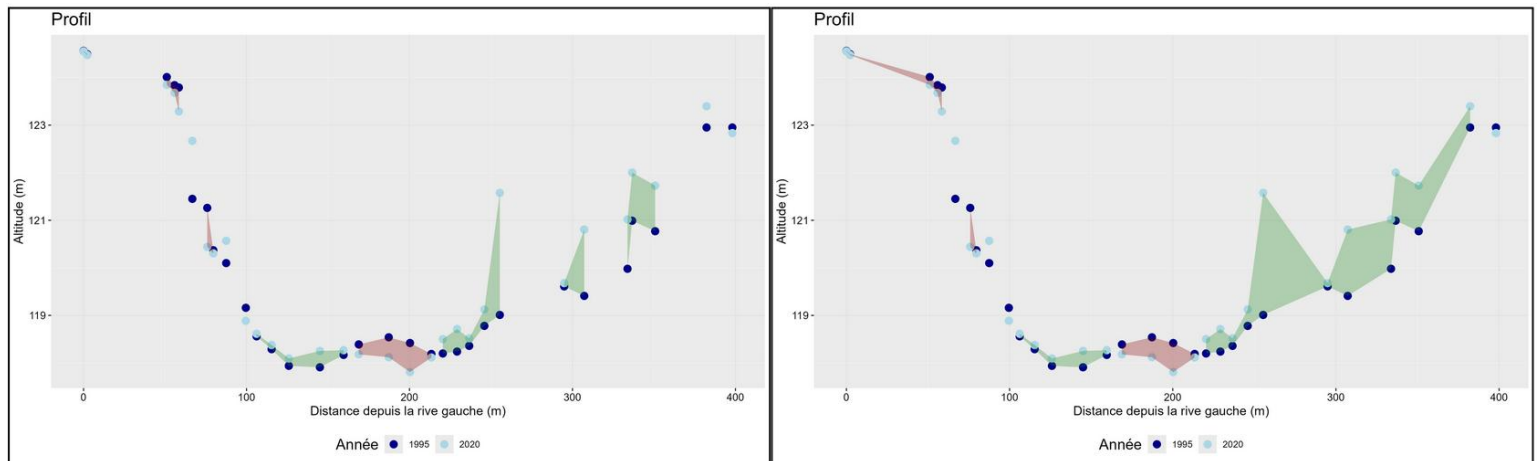


Figure 8. Influence de la distance maximale d'interpolation (20 m et 50 m) sur la fidélité de la topographie. Les surfaces de dépôt (en vert), sont dans le deuxième graphique trop approximées. Du fait du manque de données et de la sensibilité du seuil trop faible, on retrouve dans ce deuxième cas une grande quantité de dépôt supplémentaire qui ne décrit pas forcément les changements morphologiques réels.

Le seuil de 20 m constitue ainsi un compromis permettant de conserver une représentation suffisamment précise de la topographie tout en évitant la production de surfaces aberrantes. Les résultats obtenus avec les autres seuils, jugés peu cohérents, ont donc été écartés.

Enfin, les surfaces sont classées en tant qu'érosion ou dépôt si respectivement elles sont négatives ou positives. Les surfaces d'érosion et de dépôt calculées sur les profils correspondent à des volumes unitaires, exprimés en m^3/m . Elles représentent un volume de sédiments mobilisés rapporté à un mètre linéaire de cours d'eau. La somme des érosions et des dépôts sont calculées et elles permettent de dresser un bilan sédimentaire par profil entre 1995 et 2020.

La quatrième fonction, créer le graphique d'un profil, permet de représenter graphiquement ces changements de morphologie entre 1995 et 2020 (Figure 9).

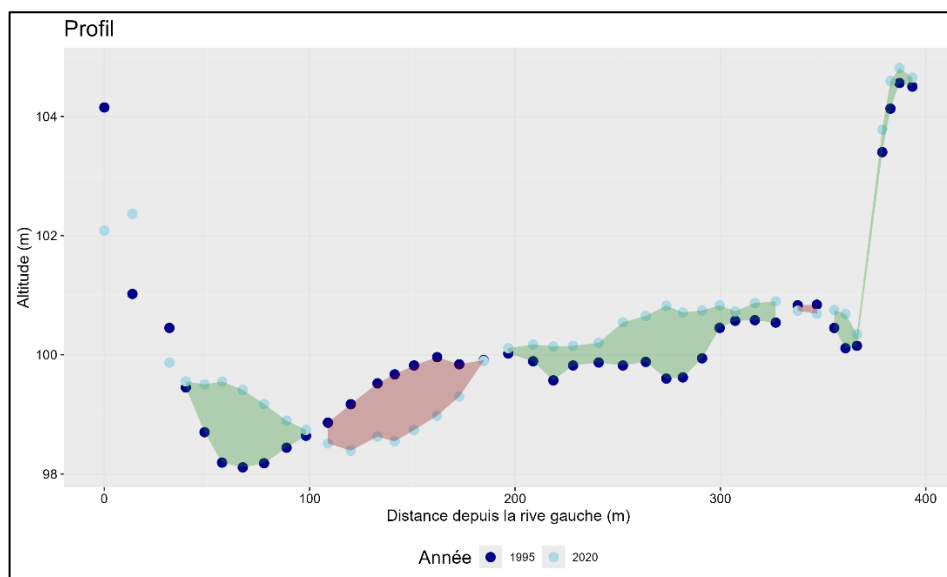


Figure 9. Surfaces d'érosion et de dépôt sur un profil entre 1995 et 2020. Les graphiques sont réalisés à l'aide du package ggplot2 de RStudio et représentés sous la forme de deux séries de nuages de points, une pour représenter le profil de 1995 et l'autre pour le profil de 2020. Les zones de dépôt et d'érosion sont représentés respectivement en vertes et en rouges. Ces graphiques permettent d'avoir une représentation précise des surfaces érodées et déposées entre 1995 et 2020, il est possible d'étudier qualitativement ces derniers pour mettre en lumière d'éventuelles tendances

3.5. Etude qualitative des processus morphodynamiques

3.5.1. Sélection de profils remarquables selon 4 modalités

Les graphiques issus du programme RStudio sont étudiés selon 4 modalités distinctes : [1] Ceux présentant de plus fortes tendances à l'érosion [a] ou au dépôt [b], [2] ceux présentant des singularités (îles et barres sédimentaires) dans leur lit mineur, [3] ceux situés dans des courbures de méandres, [4] ceux situés proches d'ouvrages. Le recours à cette distinction répond à un double objectif. D'une part, il permet de prioriser l'analyse en ciblant les profils les plus représentatifs ou les plus contrastés, dans un contexte de temps limité ne permettant pas un traitement détaillé de l'ensemble des profils. D'autre part, ce tri ne relève pas d'un échantillonnage aléatoire : il vise à regrouper des profils présentant des comportements similaires afin de vérifier si des données incohérentes sont observées. Pour effectuer ce tri, les outils utilisés sont respectivement le tableur Excel présentant le bilan des surfaces érodées et déposées par profil et des outils de cartographie. La représentation du jeu de données sur le logiciel ArcGIS combiné à l'outil « remonter le temps » du site IGN.fr permet d'identifier la situation géographique de nos profils en travers. Après avoir établi ses modalités, au moins 5 profils sont choisis par catégorie.

3.5.2. Méthode de description du profil

Pour chaque profil, les surfaces d'érosion et de dépôt sont analysées de la rive gauche vers la rive droite. L'analyse débute par la délimitation de la zone étudiée, en précisant son emprise spatiale et la surface correspondante sur le graphique. La nature de l'évolution observée est ensuite qualifiée, en distinguant les secteurs en érosion et en dépôt.

Chaque zone est rattachée à une unité morphologique, parmi les catégories suivantes : affleurement rocheux ; atterrissement derrière ouvrage ; chenal d'étiage du bras principal ; chenal d'étiage du bras secondaire ; boire ou bras secondaire exondé ; grève ou banc mobile ; île ; terrasse alluviale ; plan d'eau ; rivière ou canal.

L'extension spatiale de la modification est également évaluée afin de déterminer si elle correspond à une évolution locale, limitée au profil étudié, ou à une évolution globale observable sur plusieurs profils adjacents. Enfin, des commentaires qualitatifs peuvent être ajoutés afin de préciser ou contextualiser certaines observations.

Cette étude est réalisée à l'aide de plusieurs outils. En plus des graphiques présentant les surfaces d'érosion et de dépôt, cette description nécessite l'utilisation des cartes SIEL de la DREAL sur ArcGIS. Les données de profils en travers sont superposées sur les cartes SIEL pour déterminer quelles sont les unités morphologiques impliquées dans cette modification de la morphologie. L'emprise de la modification est enfin évaluée spatialement et définie comme « locale » si spécifique au profil et « globale » si cette modification peut être observée sur des profils consécutifs. Cette définition de globale ne prend cependant pas en compte les distances (inégaux) séparant les profils.

3.5.3. Tri parmi les résultats

A la suite de cette étude qualitative (Annexe 1), certains résultats sont écartés du jeu de données : les profils qui présentaient trop peu de points pour décrire les changements morphologiques (6 profils ont été écartés). Des profils qui mettaient en évidence des changements importants mais à cause de la création d'aménagements anthropiques en berge ou de problèmes de géoréférencement (7 profils ont été écartés). Enfin, un dernier profil a été écarté car les relevés topographiques décrivaient uniquement le lit majeur du cours d'eau.

4. Résultats

4.1. Etude qualitative des zones d'érosion et de dépôt sur des profils en travers

4.1.1. Dynamiques érosion-dépôt observées entre 1995 et 2020 dans un méandre

L'approche qualitative développée dans cette étude permet de dépasser une lecture strictement volumétrique des bilans sédimentaires, en distinguant les processus d'érosion et de dépôt selon les unités morphologiques qui ont évolué en 25 ans. Dans ce premier exemple (Figure 10), l'analyse qualitative permet de caractériser la dynamique d'un méandre de la Loire sur la période 1995-2020.

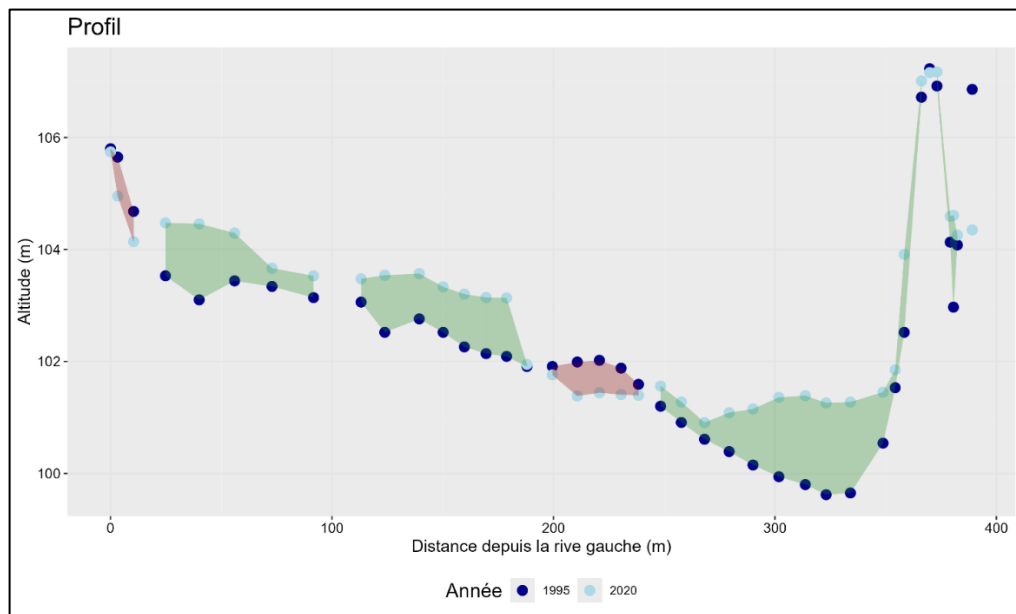


Figure 10. Dynamiques érosion-dépôt observées entre 1995 et 2020 dans un méandre. Ce profil se situe au PK 606, entre Gien et Orléans. Cette figure présente l'évolution morphologique du méandre en 25 ans, avec des surfaces de dépôt en vert et d'érosion en rouge.

Le profil montre une tendance générale au dépôt à l'intérieur du méandre. Contrairement aux cours d'eau méandriformes qui subissent de l'érosion en extrado, la partie externe où les vitesses d'écoulement sont plus élevées, une surface de dépôt est ici visible dans le lit mineur. Les berges apparaissent globalement stables, ce qui est cohérent avec un éventuel renforcement des berges empêchant l'érosion latérale vers le chemin visible bordant la rivière (Figure 11). L'évolution du profil ne témoigne pas d'une migration active du méandre.



Figure 11. Carte IGN (2016-2020) du méandre. Le profil est représenté sur la carte IGN à l'aide de pointillés bleus. Du dépôt est visible à l'intérieur du méandre et un chemin est aménagé sur la berge de l'autre rive.

4.1.2. Migration d'une île révélant une surface d'érosion étendue

De même, les processus d'érosion et de dépôt ne relèvent pas nécessairement de modifications du fond du lit ou des berges. Ce second exemple met en évidence une dynamique sédimentaire particulièrement active sur la Loire, où les formes sédimentaires, notamment les barres et les îles, peuvent migrer rapidement, jusqu'à un mètre par jour. Les résultats suggèrent ici que l'érosion calculée sur ce profil est principalement liée à la migration d'une île vers l'aval, plutôt qu'à un approfondissement du chenal (Figure 12). Les surfaces d'érosion observées ne traduisent donc pas nécessairement un phénomène d'incision du lit.

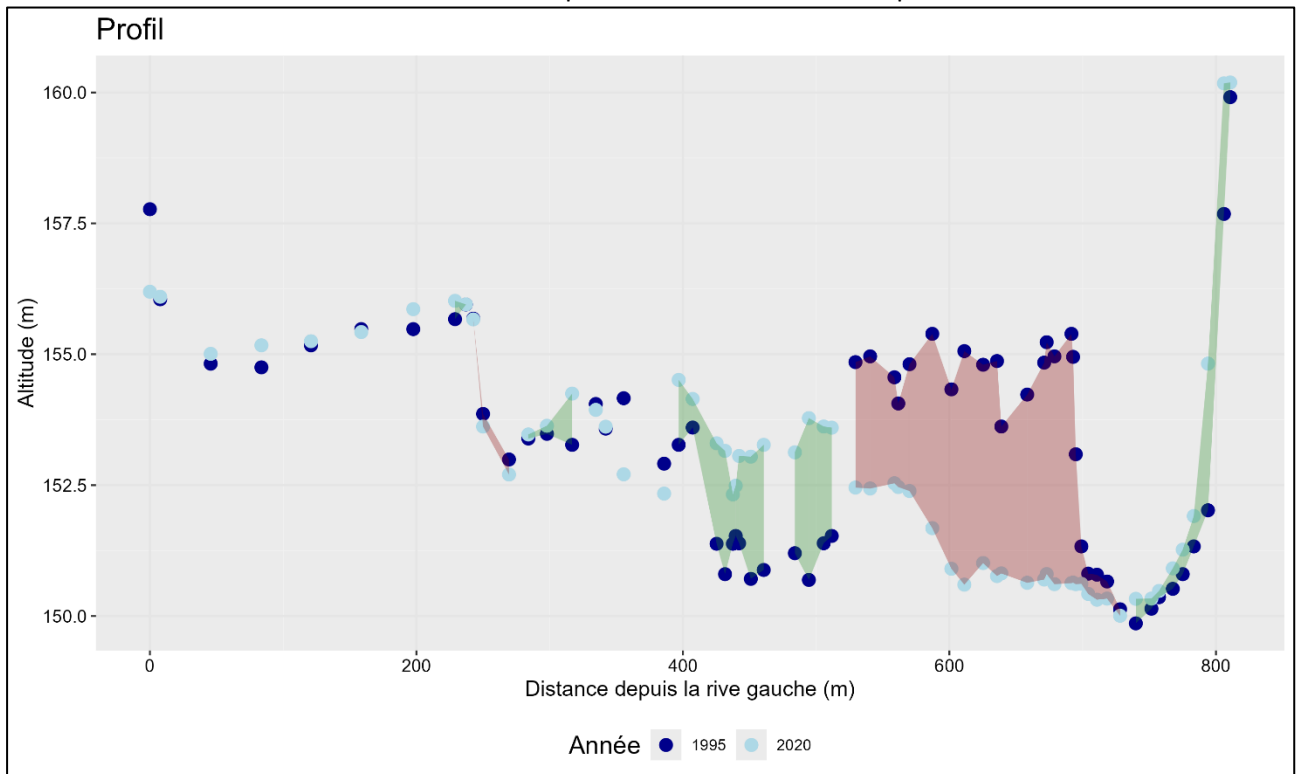


Figure 12. Migration d'une île révélant une surface d'érosion étendue. Ce profil se situe au PK 493, à l'amont de Gien. Cette figure associe l'évolution morphologique du profil à une migration d'une île vers l'aval, avec des surfaces de dépôt en vert et d'érosion en rouge.

Cette interprétation est possible par l'aide d'une analyse diachronique avec l'outil IGN – Remonter le temps (Figure 13). L'étude de ces cartes permet également de se rendre compte de cette dynamique sédimentaire active.



Figure 13. Analyse diachronique des dynamiques sédimentaires de la Loire. Carte IGN (2000-2005) à gauche. Carte IGN (2016-2020) à droite. L'outil « Remonter le temps » de l'IGN permet de visualiser et de comparer des cartes aériennes issues de périodes différentes. A l'aide du mode de comparaison côte à côte verticale qui synchronise les vues et le curseur, on obtient une comparaison spatiale directe d'un même point à des dates différentes.

4.1.3. Importantes quantités de dépôt en terrasse alluviale

Parmi les graphiques étudiés présentant une forte tendance au dépôt, la moitié d'entre eux présentait d'importantes quantités de dépôt dans la terrasse alluviale. Après vérification par analyse diachronique à l'aide des cartes IGN, soit les terrasses alluviales ne semblent pas avoir subi de réel changement, soit ses changements de morphologie sont d'origines anthropiques.

Un exemple concret est celui du profil au PK 505 entre Nevers et Gien (Figure 14). Le profil fait ressortir une zone de dépôt très étendue dans la terrasse alluviale. Cependant, la carte IGN met en évidence un chemin de fer sur le tracé du profil existant au minimum depuis les années 2000 (d'après la carte 2000-2005). Ce changement de morphologie n'étant pas issu des processus morphodynamiques de la Loire, il est alors écarté du jeu de données.

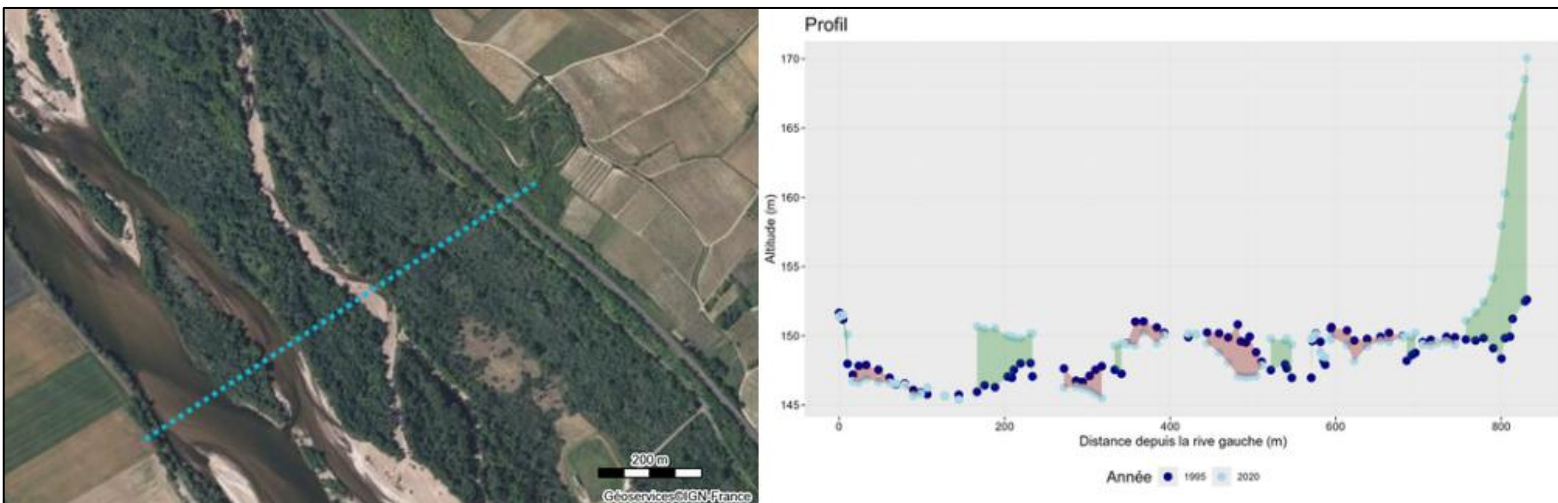


Figure 14. Carte IGN (2016-2020) et profil présentant une quantité importante de dépôt en terrasse alluviale. Le profil est représenté sur la carte IGN à l'aide de pointillés bleus. Les surfaces d'érosion sont en rouge et celles de dépôt en vert. La zone de dépôt très étendue du profil mesure jusqu'à 10 mètres de hauteur et impact grandement le bilan sédimentaire du profil.

4.2. Bilan sédimentaire de la Loire moyenne entre 1995 et 2020

Les bilans sédimentaires par profil montrent une forte variabilité spatiale, avec une alternance entre dépôt et érosion sur l'ensemble du linéaire étudié (Figure 15). Les amplitudes observées s'échelonnent de -335 à $+493$ m^3/m , témoignant d'une hétérogénéité importante des dynamiques sédimentaires locales. Trois tendances distinctes se dégagent de l'analyse longitudinale globale. La première tendance est visible entre les PK 459 et 470, à l'amont de la Loire moyenne, les bilans négatifs y sont modérés mais successifs. Une deuxième, dominée par une relative stabilité et des bilans positifs liés à du dépôt, est observée jusqu'aux environs du PK 660, à l'amont de la centrale nucléaire de Saint-Laurent-Nouan. Enfin la troisième tendance est de nouveau marquée par des bilans négatifs, traduisant une intensification des processus d'érosions.

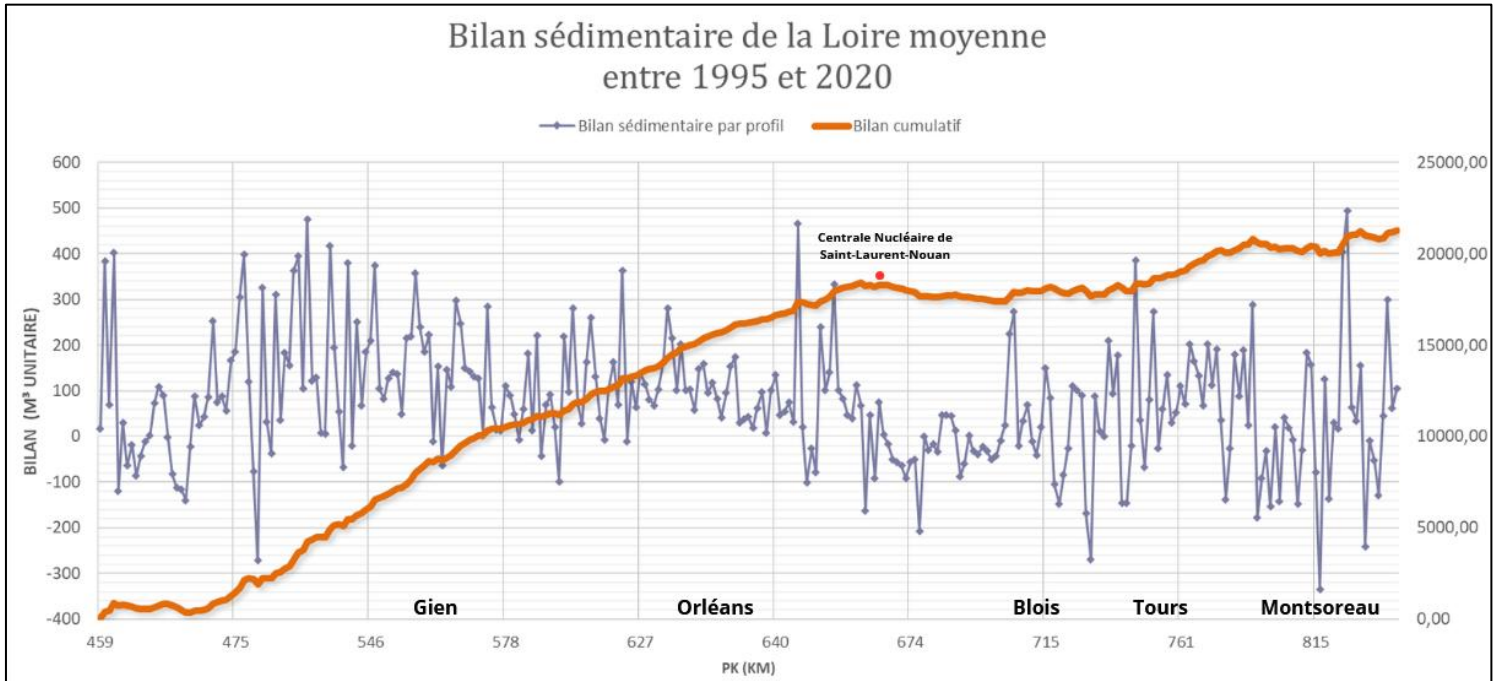


Figure 15. Bilan sédimentaire de la Loire moyenne entre 1995 et 2020. Cette figure présente le bilan sédimentaire unitaire (m^3/m) calculé pour chaque profil le long de la Loire moyenne, exprimé en selon les points kilométriques (PK). Les points représentent le bilan net par profil, avec des valeurs positives traduisant un dépôt et des valeurs négatives une érosion. La courbe continue correspond au bilan cumulé, permettant d'appréhender la tendance longitudinale globale.

Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude s'inscrivent de manière cohérente avec les conclusions principales de la thèse d'Alex Andreault, qui met en évidence une incision encore active du lit de la Loire moyenne, mais dont l'intensité tend à diminuer. La Loire entrerait dans une phase de réajustement morphodynamique plutôt que dans une dynamique d'incision (Andreault, 2024). De plus, l'incision est surtout présente sur la deuxième moitié de la Loire moyenne, à partir du PK 650 (Figure 16).

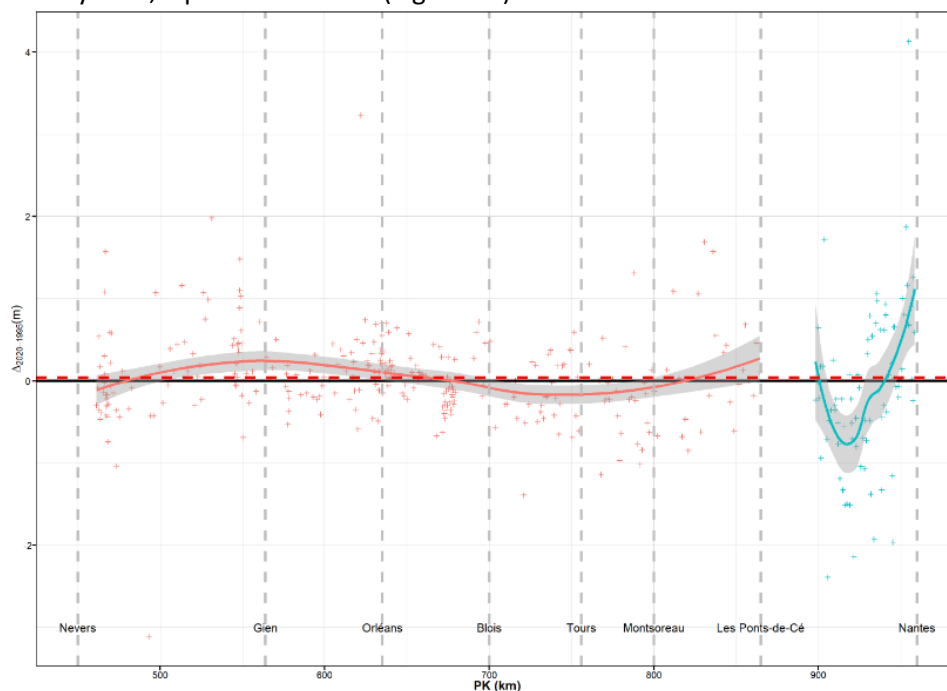


Figure 16. Variation altitudinale de l'altitude médiane de la Loire moyenne et aval entre 1995 et 2020 (Andreault, 2024). Les éléments en rouge correspondent aux différentiels d'altitudes médianes des profils topo-bathymétriques de l'étude Modèle Loire Moyenne (DREAL CVL, années 1995) et la courbe de régression locale qui leur est appliquée. Les éléments en bleu correspondent aux différentiels d'altitudes des profils HYDROEXPERT et la courbe de régression locale qui leur est appliquée.

L'approche développée dans cette étude, basée sur le calcul de surfaces d'érosion et de dépôt à partir de profils en travers, permet de compléter les analyses longitudinales globales en apportant une lecture plus fine des dynamiques d'érosion et de dépôt à l'échelle du profil. L'étude qualitative de certains profils met également en évidence que des valeurs d'érosion importantes ne traduisent pas nécessairement une incision du lit, mais peuvent correspondre à la migration de formes morphologiques telles que des îles ou des barres sédimentaires. Néanmoins, la persistance de processus d'érosion sur la partie aval témoigne d'un cours d'eau qui est possiblement en déficit sédimentaire, possible conséquence de la présence d'ouvrages et de la limitation de la mobilité latérale du chenal. Enfin, une forte variabilité spatiale est de même observée localement dans les résultats. Elle reflète l'influence des nombreux facteurs influençant la morphologie du fleuve tels que la forme du chenal, la présence d'ouvrages ou la mobilité des formes sédimentaires.

Ce travail constitue une nouvelle approche méthodologique pour l'analyse fine des dynamiques d'érosion et de dépôt. Pour autant, les grandes tendances mises en évidence sont semblables. Cette dissymétrie spatiale observée entre la partie amont et aval de la Loire moyenne ouvre de nouvelles perspectives de recherche. Une première approche serait d'analyser séparément les bilans sédimentaires. L'objectif serait d'observer si la stabilité et le dépôt traduisent une réelle phase de réajustement morphodynamique à l'amont. À l'inverse, les facteurs maintenant une dynamique d'incision dans la moitié aval pourraient être étudiés plus finement, notamment l'impact des ouvrages sur la continuité sédimentaire et la mobilité du lit.

Bibliographie

ANDREAU A., Tours 2024 – « Structure verticale d'un fleuve à chenaux multiples dérivée de données LiDAR topo-bathymétriques et d'un modèle de mélange gaussien : implication pour la morphodynamique et la connectivité latérale de la Loire ». 317p.

CLARY.K, FAVEROT.P, 2016 – « Continuité et dynamique du cours d'eau en faveur de la biodiversité ». Avec Conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes. Les cahiers techniques. Conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes. 28p.

CLAUDE N., RODRIGUES S., BREHERET J.-G., BUSTILLO V., JUGE P., 2014 – "Interactions between flow structure and morphodynamic of bars in a channel expansion/contraction, Loire River, France". *Water Resources Research*, 50, 2850-2873p.

DUFOUR S., PIEGAY H., 2010 – "Channel vertical mobility, hydrogeomorphic disturbances and understory vegetation in floodplain forests of the Ain River (France)", *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 16(4), 371–386p.

FERRER-BOIX C., SCORPIO V., MARTIN-VIDE J.P., NUNEZ-GONZALEZ F., MORA D., 2023 – "Massive incision and outcropping of bedrock in a former braided river attributed to mining and training", *Geomorphology*, 436, 15p.

GASOWKI Z., 1994 – "L'enfoncement du lit de la Loire / The entrenchment of the Loire's river bed ", *Géocarrefour*, 69-1, 41-45p.

HOWARD A.D., 1994 – "A Detachment-Limited Model of Drainage-Basin Evolution", *Water Resources Research*, 30(7), 2261-2285, 16p.

HUPP C.R., SIMON A., 1991 – "Bank accretion and the development of vegetated depositional surfaces along modified alluvial channels", *Geomorphology*, 4, 111-124p.

LAGUE D., FELDMANN B., 2020 – "Chapter 2 - Topo-bathymetric airborne LiDAR for fluvial-geomorphology analysis". Paolo Tarolli, Simon M. Mudd (Eds.). *Remote Sensing of Geomorphology*, 23, Elsevier, 25–54p.

LANDON N., PIEGAY H., BRAVARD J.P., 1998 – "The Drôme river incision (France): from assessment to management", *Landscape and Urban Planning*, 13p.

MARTIN-VIDE J.P., FERRER-BOIX C., OLLERO A., 2010 - "Incision due to gravel mining: modeling a case study from the Gállego River, Spain", *Geomorphology*, 117(3–4), 261–271p.

MATHIAS KONDOLF G., 1994 – « Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining ». *Landscape and Urban Planning* 28 (2): 225-243p.

MOATAR F., DESCY J.P., RODRIGUES S., SOUCHON Y., FLOURY M., GROSBOIS C., MINAUDO C., LEITAO M., WANTZEN K.M., BERTRAND F., 2022 – "Chapter 7 - The Loire River basin", *Rivers of Europe (Second Edition)*, 245-271p.

RODRIGUES S., GAUTIER J.-N., 2007 – « Réponse morphologique des chenaux alluviaux aux travaux d'entretien : le cas des chenaux secondaires végétalisés de la Loire Moyenne ». *Houille Blanche-revue Internationale De L'Eau - HOUILLE BLANCHE* 93 (avril): 86-94p.

SIMON A., 1989 – "The discharge of sediment in channelized alluvial streams", *Journal of the American Water Resources Association*, 25(6), 12p.

SIMON A., 1994 – “Gradation Processes and Channel Evolution in Modified West Tennessee Streams: Process, Response, and Form”, Report USGS Numbered Series, Professional Paper, 1470, 95p.

WHIPPLE K.X., HANCOCK G.S., ANDERSON R.S., 2000 – “River incision into bedrock: Mechanics and relative efficacy of plucking, abrasion, and cavitation”, Geological Society of America Bulletin, 112(3), 490-503, 18p.

DREAL de la Région Centre-Val de Loire. Banque de données du Système d’Informations des Évolutions du lit de la Loire (SIEL). Données SIG de la Loire moyenne en 2002 et 2015 : <https://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-cartographies-du-siel-r561.html>. Consulté en décembre 2026.

Annexe

Annexe 1 : Etude qualitative sur certains profils selon les 5 modalités, de Nevers jusqu'à la Centrale Nucléaire de Saint-Laurent-Nouan.

	Dépôt
	Erosion
	Singularité dans le lit mineur
	Courbures de méandres
	Proche d'ouvrages

N° du profil	Etude des profils en travers				
	Zone de variation de volume étudiée		Y a-t-il eu de l'érosion ou du dépôt ?	Quelle est l'unité morphologique étudiée ?	Modification locale ou globale ?
	Début de la zone (m)	Fin de la zone (m)			
2	150	400	dépôt	Terrasse alluviale	locale
	400	440	érosion	Boire ou bras secondaire exondé	locale
	440	470	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	1000	1050	érosion	Grève ou banc mobile	locale
	1100	1200	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
4	50	600	dépôt	Terrasse alluviale	globale
	700	850	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	850	900	érosion	Grève ou banc mobile	locale
8	0	100	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	globale
	100	120	dépôt	île	locale
	150	180	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
	180	330	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	320	330	érosion	Terrasse alluviale	locale
12	80	130	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	130	210	érosion	Grève ou banc mobile	locale
14	0	30	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	145	160	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
15	0	80	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	80	120	érosion	Grève ou banc mobile	globale
	340	400	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	globale
16	0	50	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	50	150	érosion	Grève ou banc mobile	globale
	300	350	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	globale
17	130	200	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	210	300	érosion	Grève ou banc mobile	globale
	360	410	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	globale
18	0	120	érosion	Chenal d'étiage du bras secondaire	globale
	210	290	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	300	390	dépôt	Grève ou banc mobile	globale
	390	450	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	globale
19	50	70	érosion	île	locale
	320	400	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	globale

N° du profil	Etude des profils en travers				
	Zone de variation de volume étudiée		Y a-t-il eu de l'érosion ou du dépôt ?	Quelle est l'unité morphologique étudiée ?	Modification locale ou globale ?
	Début de la zone (m)	Fin de la zone (m)			
21	410	450	érosion	Chenal d'étiage du bras secondaire	globale
	590	610	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	locale
22	120	170	érosion	Île	globale
	280	350	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	globale
23	60	90	érosion	Île	locale
	100	120	dépôt	Grève ou banc mobile	globale
	120	160	érosion	Chenal d'étiage du bras secondaire	globale
	170	280	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	globale
26	0	110	dépôt	Terrasse alluviale	locale
	150	250	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
36	650	800	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	locale
39	400	500	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	locale
	580	700	érosion	Île	locale
40	740	760	érosion	Île	locale
	970	1200	dépôt	Terrasse alluviale	locale
47	180	220	dépôt	Île	locale
	760	830	dépôt	Terrasse alluviale	locale
50	200	400	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
	400	600	érosion	Grève ou banc mobile	locale
53	900	1000	dépôt	Île	locale
115	250	300	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
116	40	50	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	150	250	érosion	Grève ou banc mobile	locale
	300	350	dépôt	Île	locale
	590	600	érosion	Chenal d'étiage du bras secondaire	locale
118	0	90	dépôt	Terrasse alluviale	locale
	190	240	érosion	Grève ou banc mobile	locale
123	30	190	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
	200	250	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	250	350	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	locale

N° du profil	Etude des profils en travers				
	Zone de variation de volume étudiée		Y a-t-il eu de l'érosion ou du dépôt ?	Quelle est l'unité morphologique étudiée ?	Modification locale ou globale ?
	Début de la zone (m)	Fin de la zone (m)			
138	20	80	dépôt	Terrasse alluviale	locale
	80	120	érosion	Boire ou bras secondaire exondé	locale
	170	230	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	350	370	érosion	Boire ou bras secondaire exondé	locale
141	125	250	érosion	Grève ou banc mobile	locale
149	10	50	dépôt	Chenal d'étiage du bras secondaire	locale
	70	160	dépôt	île	locale
	200	320	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	340	380	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
150	0	40	dépôt	Terrasse alluviale	locale
	80	130	érosion	Chenal d'étiage du bras secondaire	locale
	200	300	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	360	390	dépôt	Chenal d'étiage du bras secondaire	locale
	390	430	dépôt	Terrasse alluviale	locale
152	10	50	dépôt	Chenal d'étiage du bras secondaire	globale
	70	160	dépôt	Chenal d'étiage du bras secondaire	globale
155	50	100	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
	100	270	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
156	0	100	dépôt	Grève ou banc mobile	locale
	100	270	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
158	30	70	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
	140	220	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	globale
165	10	50	dépôt	Chenal d'étiage du bras secondaire	locale
	120	160	érosion	Grève ou banc mobile	locale
	180	370	dépôt	Chenal d'étiage du bras secondaire	globale
168	50	100	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	globale
	180	330	dépôt	Boire ou bras secondaire exondé	globale
	350	370	érosion	Chenal d'étiage du bras principal	locale
171	30	70	érosion	Grève ou banc mobile	locale
	150	200	dépôt	île	locale
	210	260	érosion	île	locale
	280	320	dépôt	Chenal d'étiage du bras secondaire	globale
186	200	500	dépôt	Chenal d'étiage du bras principal	locale
	500	550	dépôt	Terrasse alluviale	locale



Directeurs de recherche :

Alex Andreault et Jules Le Guern

Florian Tillon
PRI/DAE5
IMA
2025-2026

**Etude des processus sédimentaires
sur la Loire moyenne entre 1995 et 2020
à l'aide de profils en travers**

Résumé :

Dans la continuité des travaux réalisés par A.Andreault en 2024, cette étude porte sur l'analyse des dynamiques d'érosion et de dépôt sur la Loire moyenne à partir de profils en travers issus de levés topobathymétriques réalisés en 1995 et 2020. L'objectif est de quantifier et de qualifier les évolutions morphodynamiques du lit en 25 ans, tout en développant une approche méthodologique complémentaire aux analyses longitudinales précédemment effectuées. Les surfaces d'érosion et de dépôt ont été calculées pour chaque profil, puis interprétées de manière qualitative en les croisant avec les informations sur les unités morphologiques présentes sur le fleuve issues des cartes SIEL de la DREAL. Les résultats mettent en évidence des tendances longitudinales marquées, avec une relative stabilité et du dépôt, sur la partie amont du linéaire, tandis que la moitié aval demeure dominée par des bilans négatifs caractérisant de l'incision. Ces tendances sont cohérentes avec les travaux récents et sont complétées en apportant une lecture plus fine des mécanismes locaux.

Mots Clés : Loire, incision, morphodynamique, topobathymétrie