



HAL
open science

L'ensablement du Scorff (Massif Armoricain) : facteurs, dynamiques spatiales et effets sur les habitats de reproduction de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*). Rapport final, version post-jury

Matthieu Doucerain

► To cite this version:

Matthieu Doucerain. L'ensablement du Scorff (Massif Armoricain) : facteurs, dynamiques spatiales et effets sur les habitats de reproduction de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*). Rapport final, version post-jury. Géomorphologie. 2024. dumas-04507693

HAL Id: dumas-04507693

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04507693>

Submitted on 16 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Open licence - etalab

L'ensablement du Scorff (Massif Armoricain) : facteurs, dynamiques spatiales et effets sur les habitats de reproduction de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*)

Rapport final, version post-jury

Matthieu Doucerain^{1,2}

¹ U3E, INRAE, OFB

² Pôle pour la gestion des Migrateurs AMphihalins dans leur
Environnement : OFB, INRAE, AGROCAMPUS OUEST, UNIV
PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA, Rennes, France

Co-encadrement : Unité mixte de recherche Littoral - Environnement
- Télédétection - Géomatique (LETG Rennes, Université Rennes 2)

Février 2024

- **AUTEUR**

Matthieu Doucerain, U3E, INRAE, OFB - Pôle pour la gestion des Migrateurs AMphihalins dans leur Environnement : OFB, INRAE, AGROCAMPUS OUEST, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA, Rennes, France

- **CONTRIBUTEURS**

Anne Julia Rollet (encadrante), Maître de conférences, Université Rennes 2, Unité mixte de recherche Littoral - Environnement - Télédétection - Géomatique (LETG), Rennes, France, anne-julia.rollet@univ-rennes2.fr

Karl Kreutzenberger (encadrant), Chargé de mission Migrateurs amphihalins et hydromorphologie, OFB – Direction générale, Service Eau et Milieux Aquatiques, Pôle pour la gestion des Migrateurs AMphihalins dans leur Environnement (MIAME) : OFB, INRAE, AGROCAMPUS OUEST, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA, Rennes, France, karl.kreutzenberger@ofb.gouv.fr

Samuel Corgne, Maître de conférences, Université Rennes 2, Unité mixte de recherche Littoral - Environnement - Télédétection - Géomatique (LETG), Rennes, France, samuel.corgne@univ-rennes2.fr

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : national

Couverture géographique : Bretagne (Morbihan, Finistère)

Niveau de lecture : professionnels, experts

Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

L'ensablement du Scorff (Massif Armoricaïn) : facteurs, dynamiques spatiales et effets sur les habitats de reproduction de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*)

- **TITRE, AUTEUR**

L'ensablement du Scorff (Massif Armoricain) : facteurs, dynamiques spatiales et effets sur les habitats de reproduction de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*)

Matthieu Doucerain, U3E, INRAE, OFB - Pôle pour la gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement : OFB, INRAE, AGROCAMPUS OUEST, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA, Rennes, France

- **RESUME**

Le Scorff, petit fleuve côtier du sud-ouest du Massif Armoricain est, comme de nombreux autres cours d'eau au bassin versant granitique, suspecté de subir un sur-ensablement ces dernières décennies. Le suivi intensif des poissons migrateurs par la station du Moulin des Princes de l'INRAE et les autres gestionnaires locaux pose de nombreuses opportunités d'étudier l'effet des dépôts sableux sur ces espèces. Financé et co-piloté par le pôle pour la gestion des migrateurs amphihalins dans leur environnement (pôle MIAME, OFB-INRAE-Institut Agro-UPPA), et le LETG, ce travail est réalisé dans le cadre du programme Scodeep I (Le Scorff : dynamique des bancs en contexte suspecté de sur-ensablement - Etude préalable aux effets sur les habitats de croissance et de reproduction de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*)). Il s'attache d'abord à analyser les relations spatiales entre les potentiels de production sableuse des différents sous-bassins versants et le taux de recouvrement sableux des faciès d'écoulement sur le linéaire colonisable par la lamproie marine. L'évolution de ces paramètres depuis deux décennies est également étudiée. Enfin, les effets potentiels de ces apports excessifs de sédiments sableux sur les frayères de lamproie marine sont explorés. La répartition des sables s'est révélée majoritairement contrôlée par la pente et la présence des nombreux ouvrages transversaux, et localement aggravée par des facteurs complexes. Des apports significatifs de sables n'ont pas été systématiquement observés au niveau des confluences les plus sensibles. En revanche, le sous-bassin du Kerustang, plus gros affluent très sensible à l'érosion sableuse et sur lequel le barrage de Pont-Calleck (XIII^e siècle) a été ouvert en 2011, a depuis apporté une charge sableuse conséquente. L'ensablement s'est propagé en aval, impactant néanmoins de manière limitée les faciès lotiques — plat-courants et radiers — sur lesquels se reproduit préférentiellement la lamproie marine. Au regard de l'évolution de la position des frayères au cours de la dernière décennie, ce sur-ensablement ne semble pour le moment pas réduire la disponibilité en habitats favorables. Celle-ci s'est révélée davantage corrélée à la présence de substrats caillouteux et pierreux dans le lit.

- **MOTS CLES (THEMATIQUES ET GEOGRAPHIQUES)**

Bretagne ; Scorff ; ensablement ; faciès d'écoulement ; lamproie marine ; ouvrages transversaux ; érosion des sols ; frayères

- **SOMMAIRE**

TEXTE INTEGRAL DU MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MATTHIEU DOUCERAIN,
VERSION POST-JURY

Le présent travail a été réalisé dans le cadre du pôle MIAME qui l'a soutenu financièrement. Il a été mené via un stage de Master 2 dont le mémoire est donné ci-après.

Mathieu Doucerain

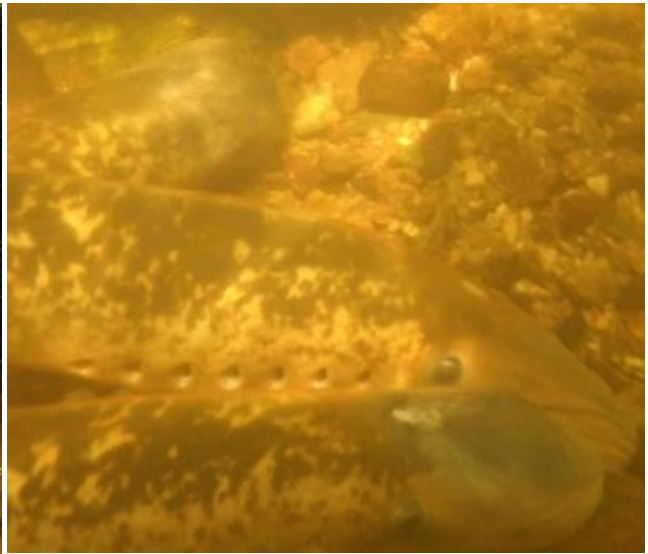
n°étudiant 11808639

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Master 2 Géographie parcours Dynamiques des Milieux et Risques

Année universitaire 2022 – 2023

**L'ensablement du Scorff (Massif Armoricain) : facteurs,
dynamiques spatiales et effets sur les habitats de reproduction de
la lamproie marine (*Petromyzon marinus*)**



Mémoire soutenu le 6 septembre devant un jury composé de :

Anne-Julia Rollet, Maître de Conférences, Université Rennes 2 (encadrante)

Karl Kreutzenberger, Chargé de mission, Office Français de la Biodiversité-DG (encadrant)

Gilles Arnaud-Fassetta, Professeur, Université Paris-Cité (examineur)

Paul Durand, Maître de Conférences, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (examineur)

Aline Garnier, Maître de Conférences, Université Paris-Est-Créteil (examineur)

Version post-jury en date du 06/02/2024

En couverture : à gauche, plat courant ensablé dans le secteur de la pêcherie de Fanquigo. A droite, lamproies marines en train de frayer sur un radier en aval du Moulin des Princes. Photographies : Matthieu Doucerain, les 15 et 20 juin 2023.

Remerciements

En premier lieu, je souhaiterais remercier mes deux encadrants Anne-Julia Rollet et Karl Kreutzenberger, qui ont été à l'origine de ce travail. Je vous remercie chaleureusement pour la confiance que vous m'avez accordée au cours de ces six mois, et de m'avoir permis de travailler — à mon plus grand bonheur — sur un sujet et un cours d'eau qui me tenaient particulièrement à cœur. Merci pour votre bonne humeur lors des réunions, votre suivi attentif, vos conseils et pour vos relectures minutieuses.

Je tiens à remercier Samuel Corgne (LETG), pour qui le bassin versant du Scorff a été un terrain de jeu lors de sa thèse, et qui a suivi avec grand intérêt l'avancement du projet.

Je souhaiterais remercier particulièrement tous ceux qui m'ont aidé sur le terrain. Merci à Fabien Quendo, pour tout son appui logistique et son accompagnement au cours de plusieurs journées. Merci au vétéran du Scorff, Nicolas Jeannot (à qui le sujet tenait à cœur), pour l'organisation de la campagne de terrain. Merci beaucoup également à Yoann, Johan et Ewenn pour leur aide précieuse lors des relevés !

Merci à Frédéric Gob (LGP) pour sa prise de nouvelles régulière à distance et sa relecture. Merci également à Emilien Lasne (UMR Decod) pour les échanges ô combien importants et le rassemblement des données lamproie du Scorff.

Du côté du LETG, je souhaite notamment remercier Julien, Thibaut et Paul (merci de m'avoir expliqué comment fonctionne le matériel !). Merci à Vincent Dubreuil de m'avoir fourni des données climatiques m'ayant permis d'enrichir ce travail.

Je tiens à remercier Laurent Beaulaton, coordinateur du pôle MIAME, pour son aide ponctuelle et pour son intérêt porté à cette étude. Merci à Julien Tremblay pour ses prêts de matériel ainsi qu'à Frédéric Marchand (directeur de l'U3E) pour la planification du terrain.

Merci à Anne-Claire et Thomas du Syndicat Mixte de Bassin Versant Scorff-Ellé-Isole-Laïta pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette étude et les discussions sur le terrain.

Une mention spéciale à Marion, pour la sympathie qu'elle a eu de m'avoir aidé à nager dans mes données avec ses talents en codage.

Enfin, je souhaiterais remercier mes camarades de bureau, Baptiste, Tanguy et Timothé, qui ont participé à la riche expérience que fut ce stage de recherche. Merci également à Marius qui m'a manifestement passé un peu de sa passion pour la lamproie marine...

Sommaire

Introduction	6
Chapitre 1 – Contexte scientifique de l'étude : la problématique de sur-ensablement des cours d'eau et ses différentes causes	9
1) Les spécificités de la charge sédimentaire sableuse dans les cours d'eau	9
2) Les différents contextes pouvant provoquer une sédimentation sableuse excessive (« sur-ensablement »)	11
3) La question de la connectivité des sédiments sableux au sein des bassins versants	19
4) Effets potentiels de l'ensablement excessif des cours d'eau sur la lamproie marine	21
Chapitre 2 – Présentation de la zone d'étude : le Scorff, un cours d'eau à saumon atlantique drainant un petit bassin versant granitique bocager	24
1) Contextes géologique, morphologique et pédologique	24
2) Contexte climatique.....	28
3) Occupation des sols et structure du paysage	28
4) Hydrologie et tendances évolutives au cours des dernières décennies	34
5) Un cours d'eau marqué par les aménagements hydrauliques	36
6) La station de comptage des poissons migrateurs de Pont-Scorff et le suivi des zones de reproduction des lamproies marines depuis 1994.....	39
Chapitre 3 – Matériel et méthodes	42
1) Estimation du potentiel de production sableuse par sous-bassin versant et de son évolution	42
2) Cartographie des faciès et du recouvrement sableux sur le linéaire colonisable par la lamproie marine	47
3) Traitement des données récoltées sur le terrain.....	54
4) Analyse statistique des données	56
5) Relation entre l'ensablement et la répartition des frayères de lamproie marine	61
Chapitre 4 – Résultats	64
1) Répartition et évolution du potentiel de production sableuse	64
2) Facteurs de contrôle et évolution de l'ensablement le long du linéaire	67
3) Relation entre l'ensablement et les frayères de lamproie marine.....	77
Chapitre 5 – Discussion	83
1) Une susceptibilité à la production de sables élevée par rapport aux autres études	83
2) Facteurs principaux de la répartition des sables sur le linéaire prospecté.....	85

3) Impacts de l'ensablement et du sur-ensablement sur les habitats de reproduction de la lamproie marine	92
4) Autres perspectives	94
Conclusion	97
Bibliographie	100
Sitographie	114
Annexes	116
Annexe 1 - Grille de terrain utilisée	116
Annexe 2 – Détail des classes / modalités des variables utilisées dans l'AFDM	116
Table des figures	117
Table des tableaux	121
Table des matières	122
Résumé	126

Introduction

Une tendance à l'augmentation de la sédimentation sableuse est observée au cours des dernières décennies dans plusieurs bassins versants aux contextes variés (*e.g.* Astrade et *al.*, 2000 ; Maire et *al.*, 2003 ; Grosprêtre, 2011). Très mobiles au sein du système fluvial, les sables peuvent avoir un impact écologique important s'ils se déposent de manière excessive dans des secteurs de reproduction préférentielle d'espèces aquatiques (*e.g.* Lisle, 1989 ; Wood et Armitage, 1997 ; Cover et *al.*, 2008). L'ensablement, défini dans la présente étude comme le taux de recouvrement superficiel du lit par les sédiments sableux, est naturel dans de nombreux hydrosystèmes (Lisle et Hilton, 1992). En revanche, le terme de « sur-ensablement » désigne cette situation où des apports accrus de sables provoquent un accroissement de la présence de ces derniers dans le lit des cours d'eau. En dépit des enjeux écologiques qui lui sont liés, peu d'études se sont concentrées de manière approfondie sur ses causes. Le bassin versant du Scorff, dans le massif Armoricaire, fait partie de ces bassins versants — généralement granitiques — où un sur-ensablement est signalé depuis deux décennies par les gestionnaires locaux (Syndicat du bassin versant du Scorff, 2011), malgré une charge sableuse présente naturellement. Les différents facteurs pouvant favoriser ce phénomène n'y ont encore jamais été explorés de manière détaillée.

Le bassin versant du Scorff est par ailleurs le lieu d'un suivi important des poissons migrateurs depuis 1994 par la station de contrôle du Moulin des Princes de l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), dans le cadre de l'Observatoire de recherche en environnement sur les poissons diadromes dans les fleuves côtiers (ORE DiaPFC). Parmi les données figurent notamment des relevés annuels de localisation des frayères de lamproie marine (*Petromyzon marinus*), dont la reproduction inféodée à un substrat généralement grossier pourrait être perturbée par le sur-ensablement (Daupagne et *al.*, 2022). La quantité exceptionnelle de données produites dans le cadre de ces suivis donne l'opportunité d'observer un potentiel effet d'une présence excessive de sables sur une espèce encore peu étudiée.

La présente étude a été financée et co-pilotée par le pôle de recherche pour la gestion des migrateurs amphihalins dans leur environnement ([MIAME](#), regroupant l'Office Français de la Biodiversité – OFB –, l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement – INRAE –, l'Institut Agro Rennes/Angers et l'Université de Pau et des Pays de l'Adour – UPPA). Elle s'est déroulée en collaboration avec le laboratoire Littoral,

Environnement, Télédétection et Géomatique (LETG) sur le site de l'Université Rennes 2. Elle s'est inscrite à ce titre dans le cadre du programme de recherche Scodeep I (Le Scorff : dynamique des bancs en contexte suspecté de sur-ensablement. Etude préalable aux effets sur les habitats de croissance et de reproduction de *Petromyzon marinus*).

La réalisation de ce travail s'est appuyée sur trois principales hypothèses de départ. Tout d'abord, le bassin versant du Scorff, déjà naturellement producteur de sables, connaîtrait un accroissement de ce type d'apports aux cours d'eau depuis deux décennies comme le rapportent les gestionnaires locaux. Ces apports seraient favorisés notamment par l'activité agricole importante — et croissante — de quelques sous-bassins plus intensément cultivés. L'occupation des sols du bassin versant du Scorff est en effet principalement à vocation agricole (Corgne, 2004).

Ensuite, cette répartition contrastée de la production sableuse se traduirait par des faciès d'écoulement davantage recouverts par les sables dans les tronçons fluviaux en aval des mêmes zones sensibles. Cette répartition pourrait néanmoins être conditionnée par la présence d'obstacles favorisant l'accumulation de ces sédiments.

Enfin, cet apport sableux croissant, provoquant un recouvrement progressif du substrat grossier, se traduirait par une diminution des habitats disponibles pour la lamproie marine, constituant une menace importante pour la reproduction de l'espèce.

Ce travail a donc eu pour premier objectif d'observer le potentiel de production sableuse dans le bassin versant ainsi que son évolution entre 2002 et 2021. A cet effet, l'occupation et l'érodibilité du sol, les précipitations ainsi que le relief sont utilisés pour appliquer une équation universelle de pertes en sols (Wischmeier et Smith, 1978).

Le second objectif a été de construire une cartographie des faciès d'écoulement et du taux de recouvrement par les sables sur la partie du linéaire colonisable par la lamproie marine. Cela correspond aux 32 km aval du cours d'eau principal ainsi qu'à 1,2 km de l'affluent principal (rive droite), le Kerustang. Plusieurs éléments pouvant constituer des facteurs explicatifs de la présence de sables ont également été relevés, dans le but postérieur d'effectuer une analyse factorielle de données mixtes (AFDM). Une attention particulière a été portée au rôle de l'occupation du sol des sous-bassins versants des affluents. La base de données produite a ensuite été comparée avec celle de Saget (2011) afin d'essayer de voir si des évolutions significatives de l'ensablement ont eu lieu depuis 2010.

Le dernier objectif a été de déterminer si l'évolution observée était susceptible d'affecter la reproduction de la lamproie marine. Une fois les faciès relevés et traités, un croisement spatial a été réalisé avec la localisation des frayères. Ces dernières sont géopositionnées depuis 2009 par les agents INRAE de la station de comptage des poissons migrateurs de Pont-Scorff. Les environnements de ces frayères ont été caractérisés pour 2023 pour comprendre le rôle des sables dans leur répartition. Une comparaison entre la répartition sur le linéaire des frayères de 2010 et 2023 a ensuite été effectuée, afin de vérifier si les dynamiques spatiales sableuses ont eu un effet important sur celle-ci.

Après une première partie s'attachant à resituer la problématique étudiée au sein d'un ensemble plus vaste de rivières confrontées aux dépôts sableux en différents contextes (Chapitre 1), le bassin versant du Scorff est présenté de façon détaillée (Chapitre 2). La méthodologie utilisée est présentée dans un troisième temps (Chapitre 3). Les résultats obtenus sont ensuite exposés (Chapitre 4) puis mis en perspective avec ceux présents dans la littérature scientifique (Chapitre 5).

Chapitre 1 – Contexte scientifique de l'étude : la problématique de sur-ensablement des cours d'eau et ses différentes causes

Ce premier chapitre a pour objectif de synthétiser l'état des connaissances scientifiques sur les thématiques abordées dans cette étude. Les différents facteurs pouvant expliquer l'apport naturel — ou en excès — de la charge sableuse aux cours d'eau sont ainsi abordés en détail, tout comme les éléments pouvant influencer ses modalités de propagation et son stockage au sein du système fluvial. La première sous-partie (1) s'attache d'abord à montrer que des dépôts sableux sont tout à fait naturels dans les cours d'eau à charge mixte. En revanche, la seconde expose de nombreux contextes où cette charge sableuse peut être produite en excès par différentes activités anthropiques, en introduisant pour désigner ce phénomène le terme de sur-ensablement (2). La question de la connectivité des sédiments sableux, essentielle pour comprendre le transfert de la charge sableuse au sein des bassins versants, est ensuite abordée (3). Une dernière sous-partie (4) aborde quant à elle les effets écologiques connus du sur-ensablement, notamment sur la lamproie marine et sa reproduction.

1) Les spécificités de la charge sédimentaire sableuse dans les cours d'eau

a) Les caractéristiques des particules sableuses au sein des cours d'eau à charge mixte

Les sables sont une classe granulométrique de sédiments — 64 μm - 2 mm d'après Wentworth (1922) — naturellement transportés par les cours d'eau. Ils sont particulièrement présents dans les bassins versants dont les roches dominantes s'altèrent en particules de cette taille, comme les roches granitiques ou les grès tendres (fig.1).

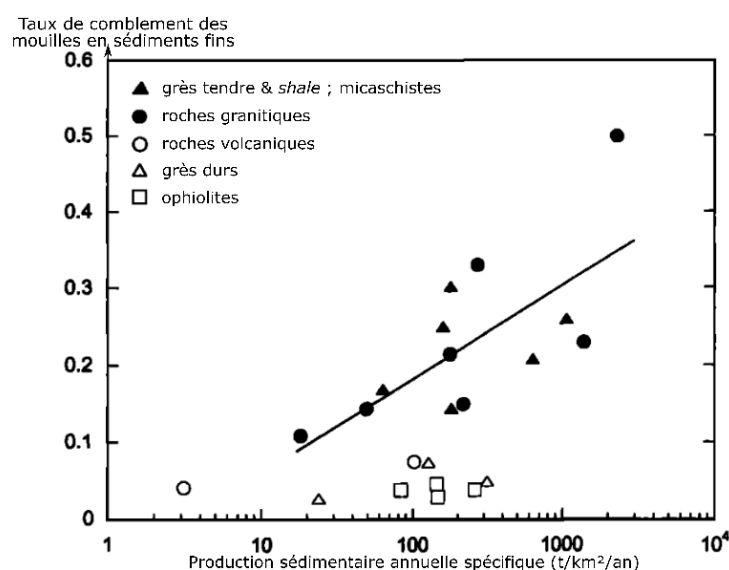


Figure 1. Relation entre la production sédimentaire spécifique et le taux de comblement des mouilles par les sédiments fins pour des bassins versants nord-californiens (Lisle et Hilton, 1999)

Leur mode de transport est assez singulier comparé aux autres classes granulométriques puisqu'il peut s'effectuer en charriage, en suspension graduée ou en suspension uniforme en fonction des débits (Van Rijn, 1993). Dans les rivières à charge graveleuse, ils occupent préférentiellement les interstices entre les sédiments de taille plus grossière où ils sont protégés du courant (Lisle et Hilton ; 1992). Lorsque le volume de sédiments sableux est important, les sables recouvrent le substrat sous-jacent et se forment des bancs pouvant adopter une position latérale, médiane ou transversale dans le chenal (Richards, 1982).

Le taux de recouvrement sableux du lit des cours d'eau est fortement contrôlé par la pente (*e.g.* Maire et *al.*, 2003 ; Grosprêtre, 2011). De faibles valeurs de recouvrement sont ainsi identifiées dans des secteurs très pentus (*e.g.* Cover et *al.*, 2008). Le recouvrement possède également des variations saisonnières. Au cours de la saison de hautes eaux, la charge sableuse se déplace sur la totalité du chenal (fig.2). Elle a ensuite tendance à s'accumuler dans les mouilles lors de la période de bas débits, sa remobilisation dépendant de l'ampleur des débits lors de la saison de hautes eaux suivante (Lisle et Hilton, 1992 ; Astrade et *al.*, 2000). Elle est alors à nouveau dispersée (fig.2).

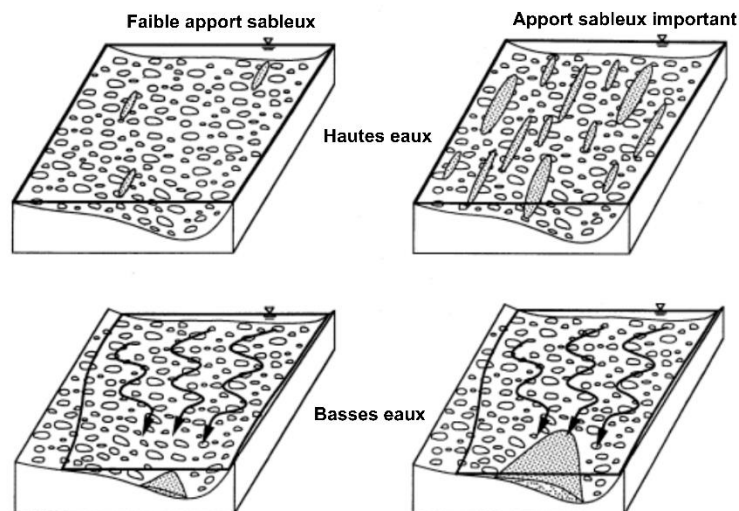


Figure 2. Dynamiques saisonnières du transport sableux dans un cours d'eau à charge mixte (Lisle et Hilton, 1992)

b) Vitesse de propagation de la fraction sableuse dans les cours d'eau à charge mixte

Les sables sont des fractions sédimentaires à la propagation rapide dans le système fluvial (Lisle et Hilton, 1992). Les valeurs de la littérature s'échelonnent d'une dizaine à une centaine de mètres par an selon la pente pour les sables grossiers ($> 500 \mu\text{m}$). En revanche, la classe granulométrique étant large, le comportement et la vitesse de transport des particules sableuses peut largement différer, selon qu'on considère les sables fins ($64\text{-}250 \mu\text{m}$) et les

sables moyens à grossiers (250 μm -2mm) (Van Rijn, 1993 ; Topping *et al.*, 2018). Les vitesses de transport des sables au sein des cours d'eau renseignées par la littérature sont ainsi multiples. Grosprêtre (2011) a par exemple effectué une estimation du transport de sables grossiers et de graviers fins (0,5 – 4mm) au niveau d'un tronçon de l'Yzeron ayant une pente modérée d'environ 3 à 10 m/km. Les sédiments considérés se sont déplacés au total de plus de 300 m sur un total de 6 crues suivies au cours de deux années hydrologiques (soit une vitesse moyenne de 150 m/an).

En termes de distance de transport à plus long terme, les traçages de scories de la taille de sables grossiers (1,6 mm-2,5mm) indiquent une propagation de 1,5 à 1,9 km/siècle (15 à 19 m/an) sur la Risle, cours d'eau normand dont la puissance spécifique à pleins bords est comparable au Scorff — 20 W/m² contre 22 W/m² (Leprêtre 2014, 2015). La vitesse monte à 6,4 à 12,9 km/siècle (64 à 129 m/an) pour des cours d'eau ardennais dont les puissances spécifiques s'échelonnent entre 27 et 75 W/m² (Houbrechts *et al.*, 2011). Ces vitesses peuvent paraître faibles, mais il s'agit néanmoins de rivières fortement aménagées dont les obstacles peuvent perturber fortement la vitesse de propagation en retenant facilement les sables grossiers (Foster *et al.*, 2022). De plus, seuls les sables grossiers ont été considérés — les sables fins ayant une vitesse de propagation probablement bien plus élevée.

La charge sableuse est injectée par impulsions dans le système fluvial, en fonction des événements hydrométéorologiques (Topping *et al.*, 2018). La quantité de sables transportés par un cours d'eau peut varier rapidement (Knighton, 1999). La charge sableuse est susceptible de recouvrir le substrat environnant en cas d'augmentation de son apport. En effet, d'après Lisle et Hilton (1999), le taux de recouvrement des faciès lenticulaires d'un cours d'eau par les sables s'accroît en cas d'augmentation de la charge sédimentaire totale ou de la proportion de charge sableuse par rapport à cette dernière. De nombreux cours d'eau sont ainsi confrontés à ce problème pour différentes raisons.

2) Les différents contextes pouvant provoquer une sédimentation sableuse excessive (« sur-ensablement »)

a) Définitions de l'ensablement et du sur-ensablement

Dans la sous-partie précédente, il a été vu que les dépôts sableux dans les cours d'eau étaient naturels, notamment dans les bassins versants à la géologie granitique et micaschisteuse, propices à la formation de particules de taille sableuse (Lisle et Hilton, 1992). Cependant, en raison des différentes pratiques et usages des sols, des différents aménagements anthropiques

dans les bassins versants et parfois d'évènements météorologiques extrêmes, cette charge sableuse peut être apportée en excès aux cours d'eau ou se retrouver relativement plus présente que les autres classes granulométriques (Astrade et *al.*, 2000 ; Grosprêtre, 2011). Cela se traduit alors par un accroissement de la sédimentation sableuse dans les zones préférentielles de dépôt (Grosprêtre, 2011 ; Maire et *al.*, 2003).

Dans la plupart des études, ce dépôt accru de particules sableuses dans le lit d'un cours d'eau, par rapport à une situation antérieure de référence, est désigné par le terme d'« ensablement » (Maire et *al.*, 2003). Il est désigné en anglais par les expressions « *sand accumulation* » et « *sand aggradation* » (*e.g.* Thoms, 1998). Les expressions « *sand slug* » ou « *sand wave* », sont notamment utilisées pour désigner des vagues sédimentaires sableuses rapides uniformisant rapidement les habitats aquatiques (Brierley et *al.*, 1999 ; Davis and Finlayson, 2000).

En France hexagonale, ce phénomène fait l'objet de préoccupations croissantes depuis les années 2000 (Astrade et *al.*, 2000 ; Maire et *al.*, 2003 ; Grosprêtre, 2011 ; Cosyns et *al.*, 2013). En revanche, ces études prenant place dans des massifs granitiques, gneissiques ou gréseux dont les formations superficielles et sols sus-jacents produisent naturellement beaucoup de sédiments sableux, elles peinent à distinguer les dépôts qui relèvent d'une présence naturelle et ce qui est présent en excès, souvent par manque de recul temporel.

Dans la suite de la présente étude, le terme d'« ensablement » est utilisé pour désigner la simple présence de dépôts sableux — indépendamment de leur origine — dans le système fluvial. L'expression « taux d'ensablement » est ainsi synonyme du taux de recouvrement superficiel du lit par les sédiments sableux. Le terme de « sur-ensablement » est quant à lui introduit ici pour définir un ensablement excessif eu égard aux conditions naturelles, provoqué par des facteurs d'origine anthropique — et plus rarement des évènements ou changements climatiques exceptionnels.

b) Les apports de sables et les enjeux du sur-ensablement en contexte de changements d'occupation et d'usage des sols

Les causes du sur-ensablement les plus étudiées sont l'érosion des sols due à l'activité agricole, ainsi que l'incision des cours d'eau du fait de l'urbanisation (Walling, 1990 ; Wood et Armitage, 1997). D'après ces auteurs, l'agriculture provoque un accroissement durable de la sédimentation sableuse dans les bassins versants. Le seuil de 50% de terres arables est souvent considéré comme le seuil à partir duquel l'activité agricole a un impact négatif significatif sur

la qualité du substrat — et plus globalement la qualité écologique — des cours d'eau en aval (Wood et Armitage, 1997).

Le problème de production sédimentaire accrue dans les bassins versants du fait de l'érosion des sols agricoles — notamment lors des intercultures — est largement connu (*e.g.* Le Bissonnais et *al.*, 2002 ; Fiener et Auwerswald, 2006 ; Martin, 1997). Les particules de taille sableuse présentes dans les sols font partie des particules érodées (Meyer et *al.*, 1983). La proportion de sables érodés varie en fonction de la lithologie en place et de l'importance de la fraction sableuse des sols sus-jacents (Meyer et *al.*, 1980).

La corrélation entre l'apport potentiel en sédiments de bassins versants plus ou moins agricoles et la présence de sables dans les cours d'eau a déjà été testée. Sur plusieurs bassins versants nord-californiens, Cover et *al.* (2008) ont montré une corrélation positive entre cet apport potentiel — calculé par une équation universelle de perte en sols (Wischmeier et Smith, 1978) — et le recouvrement en aval des radiers et mouilles par les sédiments fins (< 2mm).

Le phénomène de sur-ensablement lié à l'apport sédimentaire des parcelles agricoles est observé sur une grande diversité de cours d'eau (Erskine, 1994a ; Latrubesse et *al.*, 2009). Ainsi, drainant un vaste plateau granitique et gréseux, la charge sédimentaire du grand cours d'eau de l'Araguaia (Brésil Central) est naturellement très sableuse. Cependant, une déforestation importante a eu lieu depuis les années 1960. Environ 60% du bassin (76 000 km²) était déboisé ou dégradé en 2007 (Ferreira et *al.*, 2008). A proximité des sources, un ravinement important a été observé sur des parcelles agricoles et suppose la production d'une quantité importante de sédiments sableux (Latrubesse et *al.*, 2009). Transportée par des débits importants sur cette période, la charge sableuse est apportée en masse et le chenal devient instable jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres en aval (visible au cours des années 1990). Depuis 2000, l'apport en sédiments sableux se stabilise mais les débits morphogènes diminuent progressivement, ce qui marque une diminution de la capacité de transport des sables et leur accumulation (Suizu et *al.*, 2022). La bande active se rétracte et les chenaux secondaires, pourtant essentiels pour la diversité des habitats, sont progressivement comblés.

Le lien entre l'occupation des sols agricoles et le taux d'ensablement à l'échelle du bassin versant est cependant à nuancer. En effet, dans plusieurs bassins versants agricoles du Michigan, Richards et *al.* (1995) ont essayé de corréler l'occupation des sols avec la qualité des habitats et ont trouvé que la qualité écologique du substrat variait essentiellement en fonction de ce qui se trouvait dans une zone tampon de 100 m autour des cours d'eau.

L'apport accru de particules sableuses au cours d'eau depuis les versants cultivés n'est pas l'unique cause du sur-ensablement dans les contextes de changement d'occupation des sols. La charge sableuse supplémentaire peut également provenir du stock présent dans les berges et dans la plaine alluviale. En effet, l'augmentation des débits des cours d'eau suite à l'augmentation du ruissellement sur surface cultivée, provoquant par la suite une incision du chenal, peut être responsable d'un accroissement de cette charge sableuse (*e.g.* Brierley et al., 1999). Dans le bassin versant granitique aux pentes faibles à modérées de la rivière Bega (Nouvelles-Galles-du-Sud, Australie), Brierley et al. (1999) ont mis en évidence un sur-ensablement important des cours d'eau de l'aval du bassin depuis l'arrivée des Européens (début du XIXe siècle). En effet, la déforestation et le drainage des marais, identifiés sur des cartes anciennes, ont fait augmenter les débits, ce qui a provoqué une incision (plus de 8 m) et un ravinement très important dans les vallées de tête de bassin remplies de produits d'altération granitiques (Brierley et al., 1999 ; Davis and Finlayson, 2000 ; Erskine, 1994a). L'apport de sables a provoqué une homogénéisation des habitats sur tout le bassin versant (~1000 km²). Seul un sixième des sédiments sableux ont atteint l'exutoire depuis le début des incisions, le reste ayant été stocké avant d'y parvenir (Fryirs et Brierley, 2001).

L'augmentation de la charge sableuse par des apports venant d'amont influence fortement la morphologie des cours d'eau. Ainsi, Erskine (1994a) a créé un schéma conceptuel des changements morphologiques issus du sur-ensablement provoqué par les changements d'occupation des sols (fig.3). En conditions naturelles — préeuropéennes —, le cours d'eau présente un chenal peu large et légèrement sinueux. En réponse à l'augmentation de la charge sableuse, ce dernier a tendance à s'élargir et devenir moins sinueux et profond (étape 2). En cas de diminution des apports sableux, le cours d'eau s'incise dans les dépôts précédemment formés, ce qui déstocke de nouveaux sédiments (étape 3). Ce déstockage peut se répercuter sur les cours d'eau aval et provoquer un sur-ensablement chronique pendant de nombreuses décennies après les premières perturbations (étape 4).

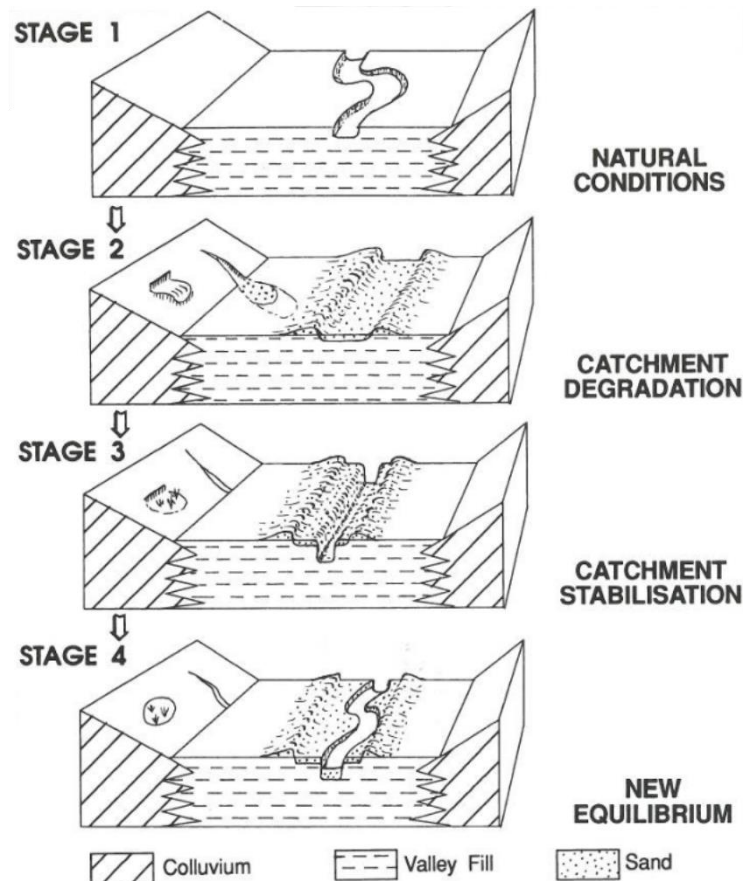


Figure 3. Schéma de l'ensablement des cours d'eaux australiens à la suite de l'arrivée des Européens (Erskine, 1994a).

L'urbanisation constitue la seconde principale cause de sur-ensablement. Au sein du bassin versant gneissique aux pentes relativement fortes de l'Yzeron, Grosprêtre (2011) a identifié des incisions de cours d'eau de premier et second ordre. Ces incisions se réalisent à partir d'un taux de 10% d'imperméabilisation des sols en amont dans des fonds de vallée aux dépôts sablo-graveleux. Dans la partie rurale du bassin, la déprise agricole et les reboisements, créant un déficit sédimentaire, ont également été responsables d'incisions – moins importantes. L'auteur a estimé que le déstockage sédimentaire annuel dans le bassin représentait entre 27 et 62 % de la capacité de transport de l'Yzeron pour la fraction granulométrique 0,5 - 4mm (Grosprêtre, 2011). Il a ainsi attribué une grande partie de l'ensablement observé des cours d'eau d'ordre 3 à 5 du bassin à ces incisions, déduisant ainsi l'existence probable d'un sur-ensablement. En cartographiant l'ensablement sur tout le linéaire, il a mis en valeur l'effet aggravant de la faiblesse de la pente en aval et des seuils (fig.4).



Figure 4. Ensablement provoqué par un seuil de 30 cm de haut sur l'Yzeron (Grosprêtre, 2011).

c) Le sur-ensablement en contexte de diminution des débits morphogènes

Les changements d'occupation des sols ne constituent pas l'unique cause de sur-ensablement des cours d'eau. En effet, celui-ci peut également être engendré par un manque de remobilisation des sédiments sableux déjà présents dans le chenal en cas de diminution des débits morphogènes.

Un sur-ensablement a ainsi été suspecté et étudié dans la haute vallée de l'Aude, un bassin versant granitique et gneissique montagneux et lourdement aménagé (Astrade et *al.*, 1999 ; Syndicat Mixte des Rivières et des Milieux Aquatiques, 2008). En aval direct du barrage de Puyvalador, construit en 1932, les débits réservés de l'Aude sont faibles. Faute de débits morphogènes depuis plusieurs décennies, le taux de recouvrement sableux superficiel observé y est donc important malgré une pente avoisinant les 3,5%. La charge graveleuse n'est plus renouvelée en raison de l'effet de la retenue, alors que les affluents de l'Aude, drainant un batholite granitique, continuent à apporter une charge sableuse qui devient relativement plus importante. Différentes pratiques identifiées mais non quantifiées favorisent en outre ces productions (pistes forestières en déblai, carrière, coupes à blanc). Un phénomène de nettoyage à la fois des seuils et des mouilles par les pics de débits printaniers est mis en valeur – le recouvrement par les sables diminue entre l'automne et le printemps de l'année suivante (Astrade et *al.*, 1999). Ce phénomène a davantage d'importance lorsqu'on s'éloigne du barrage, qui écrête la plupart des crues. Les études évoquent la nécessité de réaliser des lâchers d'eau pour nettoyer le lit. Le sur-ensablement aurait cependant le temps de se rétablir entre chacun d'entre eux.

Une diminution des débits morphogènes a également été tenue en partie responsable de l'ensablement important de la Moder (Maire et *al.*, 2003). Cette dernière a néanmoins dans ce cas d'étude une origine climatique.

d) L'exacerbation des dépôts sableux provoquée par les aménagements d'origine anthropique

Une fois dans le système fluvial, la répartition des accumulations sableuses est fortement influencée par des aménagements anthropiques directes dans le chenal – modifications de géométries ou interruptions artificielles de la continuité sédimentaire. Cela peut générer un sur-ensablement localisé.

Dans le bassin versant gréseux vosgien de la Moder, Maire et *al.* (2003) ont montré que la présence de sables, naturelle dans le bassin versant, pouvait être accentuée par divers aménagements d'origine anthropique, même en absence d'apport croissant de particules sableuses provenant de l'amont. La présence de seuils et leurs vidanges mal contrôlées sont les principaux facteurs explicatifs trouvés. Les auteurs s'opposent également à leur démantèlement non planifié, craignant un relargage important de sables d'un seul coup par érosion régressive dans les dépôts. Foster et *al.* (2021) ont par ailleurs mis en évidence la capacité qu'ont les seuils de moulin à piéger les sédiments de taille sableuse (jusqu'à 2 km en amont).

L'ensablement peut également avoir lieu sur un cours d'eau recalibré. Certains tronçons recalibrés de la Moder sont ainsi pointés comme responsables d'une production plus importante de sables, provoquant une incision régressive (Maire et *al.*, 2003). A Tours, un tronçon du Cher, recalibré pour créer un plan d'eau destiné aux loisirs en amont d'un barrage, s'ensable également continuellement depuis les années 1960 (Etablissement Public Loire, 2015). A la suite des travaux de recalibrage, le chenal a été rectifié, encadré par des digues permettant l'urbanisation de sa plaine d'inondation, et sa largeur a été doublée sur 1400 m. La hausse de la pente de ligne d'eau a alors provoqué une érosion régressive et une déstabilisation des berges en amont. Tous les sédiments sableux venant d'amont se sont déposés dans la partie élargie, où la capacité de transport a diminué du fait de l'élargissement. Malgré les opérations successives de dragage, le chenal ne cesse de se réensabler – et continuera de le faire d'après les simulations (Etablissement Public Loire, 2015). Le risque d'inondation est de ce fait également accru.

e) Sur-ensablement lié à l'accroissement de sources de sédiments proches du chenal

La dernière cause de sur-ensablement d'origine anthropique est l'accroissement de sources sédimentaires situées près du chenal, la nature de ces sources pouvant être très variée.

Des situations de sur-ensablement ont ainsi été signalées dans plusieurs bassins versants où l'élevage est très présent. Des études l'ont par exemple diagnostiqué dans le bassin versant amont granitique de la Gartempe, dans la Creuse (Syndicat Mixte Contrat de Rivière Gartempe, 2017 ; Cosyns et *al.*, 2013). Pour les auteurs, le sur-ensablement est principalement lié au piétinement des troupeaux de bovins à proximité des cours d'eau, ainsi qu'à la dégradation de la ripisylve, favorisant l'érosion des berges ou la création d'embâcles (Syndicat Mixte Contrat de Rivière Gartempe, 2017). Le suivi de la production sédimentaire sur des bassins versants agricoles schisteux du Massif Armoricaïn conforte ces suppositions en mettant en évidence l'importance de la présence de l'élevage et de la dégradation de la ripisylve le long des cours d'eau dans la production sédimentaire. Les zones d'abreuvement estivales mettent à disposition des cours d'eau des sédiments meubles, remobilisés à l'automne (Lefrançois, 2007 ; Viel, 2012 ; Vongvixay, 2012). Dans le bassin versant du Moulinet (affluent de la Sélune), la concentration en sédiments en suspension — comportant des sables fins — a à titre d'exemple diminué après la construction d'abreuvoirs hors du lit du cours d'eau. Les concentrations en sédiments en suspension plus faibles malgré les surfaces agricoles plus importantes du bassin de Kervidy-Naizin (Morbihan) ont quant à elles été attribuées à la présence de ripisylve sur ce dernier (Vongvixay et *al.*, 2018).

D'autres types d'activité ont été mis en valeur pour leur rôle dans le sur-ensablement de cours d'eau, comme l'activité minière. Sur la Ringarooma river en Tasmanie, Knighton (1998) a ainsi montré comment le rejet de débris miniers proches du cours d'eau l'ont ensablé alors qu'il était initialement à fond graveleux (1% de pente). La vague sableuse s'est déplacée vers l'aval et 15 ans après l'arrêt des extractions, la queue de la vague sableuse se situe à plus de 20 km en aval du début de la zone de rejets. L'auteur attribue également le regain récent de la sédimentation sableuse — malgré l'arrêt des extractions — au cassage du pavage à la suite de grosses crues.

f) Sur-ensablement provoqué par les crues morphogènes

Le sur-ensablement, bien que généralement causé par des apports d'origine anthropique, peut également dans certains cas avoir des causes naturelles. En Australie, dans des régions subtropicales de plateaux gréseux, de très grosses crues associées à des épisodes pluvieux exceptionnels sont accompagnées d'une érosion très intense des berges et du fond du chenal provoquant une production de sables massive, postérieurement remaniée par des petites crues (Erskine, 1994b, 2009). D'après Topping et *al.* (2018), les sédiments sableux relâchés par un

évènement exceptionnel peuvent persister en aval et modifier le diamètre médian du lit pendant une cinquantaine d'années.

3) La question de la connectivité des sédiments sableux au sein des bassins versants

Maintenant que les différents facteurs pouvant provoquer un accroissement de la présence de sédiments sableux dans les cours d'eau ont été détaillés, il convient de rappeler que de nombreux paramètres influencent leur transfert au sein des bassins versants, comme le bocage ou les aménagements transversaux. Ces derniers ralentissent généralement davantage la propagation des sables qu'elles ne l'accélèrent.

a) La complexité de la connectivité versant / cours d'eau dans les bassins versants agricoles

En raison des multiples potentiels de stockage présents dans un bassin versant, une érosion des sols accrue est loin de systématiquement provoquer un transfert supplémentaire de particules aux cours d'eau (Walling, 1983 ; Friyr, 2013). Cette question de la connectivité est particulièrement importante pour la classe granulométrique sableuse, car les sables sont plus facilement déposés que les particules limoneuses et argileuses. En effet, d'après Meyer (1978), à l'échelle d'une parcelle, les sables peuvent être érodés en grande quantité mais atteignent rarement le bas du fait de la taille relativement importante des particules. La plupart des sédiments sableux sont alors stockés principalement dans les sillons de labour.

Cette question de la connectivité est particulièrement présente dans les régions avec présence d'un maillage bocager. Viel (2012) a mis en lumière que dans ce type de contexte agricole, ce n'est pas la somme des surfaces érodables qui détermine le taux d'apport de sédiments dans les cours d'eau car la plupart des sédiments érodés sont stockés par les haies avant de les atteindre. Gay (2012) a modélisé la production sédimentaire de nombreux bassins versants de la région Loire-Bretagne, trouvant que compte tenu de la présence de nombreux facteurs de stockage des sédiments (*e.g* haies, ripisylve), le total de sédiments exportés du bassin versant du Scorff s'élèverait à 13,59 t/km²/an. Cette valeur se situe bien en deçà des 180 t/km²/an de production sédimentaire potentielle qui y sont modélisés par équation universelle de pertes en sols (USLE) (Panagos et *al.*, 2015).

Cependant, dans ces mêmes contextes, des parcelles étant situées loin des cours d'eau peuvent à l'inverse s'y trouver connectées par le réseau de fossés de drainage, augmentant ainsi la connectivité. Dans un contexte de réseau hydrographique dense — à l'image de celui du

Scorff —, les pistes d'exploitation et le morcellement du réseau de haies peuvent également augmenter la connectivité sédimentaire (Viel et *al.*, 2014).

b) Effets des ouvrages transversaux sur le transport de la charge sableuse dans les bassins versants

D'après les différents cas d'étude évoqués précédemment (*c.f.* §2c et d), les ouvrages transversaux peuvent être responsable d'un sur-ensablement local en créant de nouvelles zones propices de dépôt ou en provoquant une diminution des débits morphogènes en aval. En revanche, ces ouvrages peuvent également stocker une part importante de sédiments sableux et ainsi provoquer un ralentissement de la propagation — et même une diminution — de la charge sableuse vers l'aval.

Walling (2006) et Wohl et *al.* (2019) ont montré que, dans le monde, les activités anthropiques font davantage baisser le transport des sédiments — par construction d'ouvrages transversaux — qu'elles ne l'augmentent. Les sables sont une classe granulométrique très souvent stockée par les ouvrages transversaux, comme les barrages et les seuils de moulin, provoquant une baisse de la quantité de sables transportés en aval (fig.5 ; *e.g.* Topping et *al.*, 2018 ; Foster et *al.*, 2019, 2022). Cette dernière peut néanmoins parvenir à franchir les seuils lorsque les retenues sont trop comblées. Ainsi, sur un bassin versant gréseux du sud de l'Angleterre au débit et à la surface similaire au Scorff, Foster et *al.* (2022) ont ainsi estimé le taux de piégeage des sables à seulement 5% pour 75% des retenues étudiées — situées en amont de seuil de moulin. La quantité de sables (125 μ m-2mm) stockés y est importante et l'ajustement du profil en long du cours d'eau s'est effectué jusqu'à 2 km en amont des ouvrages. La vitesse de propagation a été fortement ralentie au cours des derniers siècles, tandis que les particules plus fines, n'étant que peu présentes dans les carottages effectués dans les dépôts, arrivent à transiter (Foster et *al.*, 2022).



Figure 5. Ensablement en amont du plan d'eau de la Rochepinard sur le Cher recalibré, à Tours (Etablissement Public Loire, 2015).

c) Autres causes potentielles de stockage des sables

Au cours de leur transport au sein de la zone de transfert des bassins versants, les sédiments sableux sont également susceptibles d'être stockés sous un pavage de sédiments plus grossiers, notamment au niveau de faciès lotiques en période de basses eaux (Lisle et Madej, 1992). Les dépôts de sables dans la plaine d'inondation constituent également un mode de stockage des sables conséquent, les excluant hors du chenal lors des crues (*e.g.* Ten Brinke et *al.*, 1998). Ces auteurs ont ainsi estimé que ces dépôts de plaine d'inondation stockaient 16 à 22 % des sédiments sableux entrants sur la partie aval du Rhin.

Au-delà de la simple recherche des causes de l'ensablement accru des cours d'eau, plusieurs études ont mis en valeur les effets de ce dernier sur les communautés biologiques aquatiques. La lamproie marine, espèce dépendante de la présence d'un substrat grossier, pourrait s'en voir affectée.

4) Effets potentiels de l'ensablement excessif des cours d'eau sur la lamproie marine

a) Impacts écologiques connus du sur-ensablement dans les écosystèmes fluviaux

Les impacts écologiques de l'apport excessif de sédiments sableux dans les cours d'eau ont été largement documentés, englobant souvent les sables dans la même catégorie que les particules plus fines ($< 64 \mu\text{m}$), même si leur impact écologique peut différer de ces dernières (Wood et Armitage, 1997).

Un ensablement trop important est souvent considéré comme un indicateur de mauvaise qualité biologique du substrat (*e.g.* Wang et *al.*, 1997) et peut affecter l'ensemble des communautés aquatiques. Le principal effet négatif des sables documenté est le colmatage des interstices présents entre les sédiments grossiers, provoquant une baisse de l'oxygénation de la zone hyporhéique et menaçant les macroinvertébrés benthiques (Richards et *al.*, 1993 ; Richards et Bacon, 1994 ; Gayraud et *al.*, 2002 ; Ferreira et *al.*, 2009 ; Mathers et *al.*, 2017). Un recouvrement de sables trop important peut également diminuer la disponibilité en substrats préférentiels nécessaires à la reproduction d'espèces comme les salmonidés (Platts et *al.*, 1989 ; Cover et *al.*, 2008 ; Höfler et *al.*, 2017), réduisant ainsi tant la quantité, la qualité que la disponibilité d'habitats pourtant essentiels. L'asphyxie des œufs de salmonidés est un autre effet étudié (Lisle, 1989 ; Cover et *al.*, 2008).

Connue pour avoir besoin d'un substrat caillouteux et pierreux pour sa reproduction (Morman et *al.*, 1980), la lamproie marine fait partie de ces espèces potentiellement affectées par un sur-ensablement (Daupagne et *al.*, 2022).

b) La lamproie marine : une espèce inféodée à un substrat grossier potentiellement affectée par un accroissement des dépôts sableux

La lamproie marine (*Petromyzon marinus*) est une espèce de vertébré de la classe des agnathes (Potter et *al.*, 2015). C'est une espèce migratrice anadrome, dont le cycle de vie commence et se termine dans les cours d'eau (fig.6). C'est une espèce autochtone sur les côtes européennes et est-américaines (Hume et *al.*, 2021). A la suite d'un développement larvaire de plusieurs années dans des secteurs sablo-vaseux des cours d'eau, différenciés des secteurs de reproduction, cette dernière dévale le cours d'eau puis mène une vie parasitaire en milieu maritime d'une ou deux années (Taverny et *al.*, 2012 ; fig.6). Elle revient ensuite en eau douce en fin d'hiver et au printemps et rejoint les zones favorables pour s'y reproduire entre mai et début juillet. Elle meurt peu après la reproduction (Sabatié, 2001 ; Johnson et *al.*, 2015).

La reproduction des lamproies marines nécessite la présence de cailloux ou de pierres fines — d'un diamètre de 15 mm à 110 mm — qu'elles déplacent avec leurs disques buccaux afin de pouvoir construire un nid construit en arc de cercle dans lequel déposer leurs œufs (Morman et *al.*, 1980). Le mâle se fixe sur la tête de la femelle et féconde les œufs, très adhésifs, qui se collent dans le substrat du nid (Johnson et *al.*, 2015). D'après Applegate (1950), les graviers grossiers conviennent également. Sur le Scorff, les lamproies frayent préférentiellement dans des faciès de profondeur faible, de 20 cm à parfois plus de 1m de profondeur et aux vitesses modérées à rapides, pouvant aller de 20 cm/s à 70 cm/s (Sabatié, 2001 ; Lasne et Sabatié, 2009). Les modalités de construction des frayères sont complexes car de mêmes individus mâles et femelles peuvent se déplacer sur plusieurs nids (Dhamelincourt, 2022). Le nombre de nids n'est donc qu'indirectement représentatif du nombre d'individus.

D'après Taverny et *al.* (2004), les sables sont généralement toujours présents dans les zones de fraie mais en faible proportion de (3 à 7 %). Un dépôt accru de sables pourrait donc être défavorable à la lamproie en recouvrant le substrat qui lui est favorable. Une étude expérimentale réalisée sur une autre espèce de lamproie — *Lampetra fluviatilis* — montre en ce sens que cette dernière choisit préférentiellement un substrat plus grossier pour la reproduction (Daupagne et *al.*, 2022). Cette étude visait à comparer le nombre d'actes de reproduction effectué par les lamproies sur deux types de substrat différents — dont un plus ensablé.

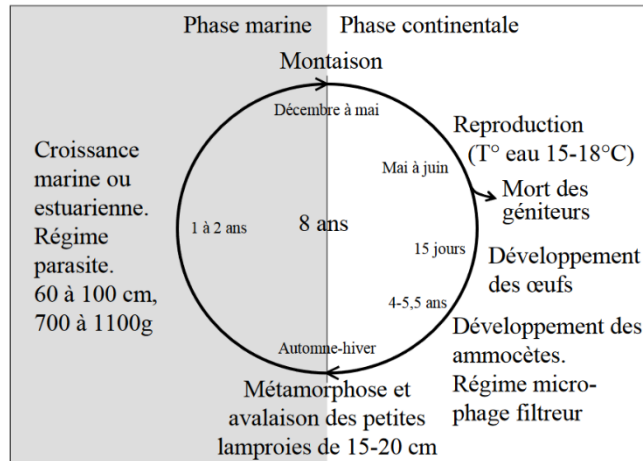


Figure 6. Schéma du cycle de vie de la lamproie marine (Lasne et Sabatié, 2009).

Le nombre d'actes de reproduction observé a été 12 fois supérieur dans le substrat à 40% caillouteux que dans le substrat à 40% sableux, même si ce choix clair n'a émergé qu'au bout d'un certain temps (Daupagne et *al.*, 2022). L'étude a également montré que les nids sableux laissaient s'échapper 20% d'œufs en plus, occasionnant une mortalité accrue. La lamproie marine semble donc parvenir à détecter un substrat qui lui est moins favorable, traduisant donc une certaine capacité d'adaptation en cas d'ensablement excessif. Ce dernier provoque ainsi probablement un déplacement des frayères dans des zones moins ensablées. Cet effet peut s'avérer problématique si ces zones d'habitat convenables se rétractent. Cependant, la lamproie marine possède également la capacité d'évacuer les sédiments fins du nid avec sa queue avant la reproduction, pouvant limiter l'effet d'une présence excessive de ces derniers (Johnson et *al.*, 2015).

Néanmoins, beaucoup d'autres facteurs que la disponibilité en substrats convenables ou l'accroissement des dépôts sableux sont susceptibles d'influencer la colonisation des bassins versants par la lamproie marine : le niveau des débits, pouvant stimuler la montaison (Almeida et *al.*, 2002), la présence d'obstacles (Lasne et *al.*, 2015) ou la présence de phéromones de larves de congénères (Wagner et *al.*, 2009).

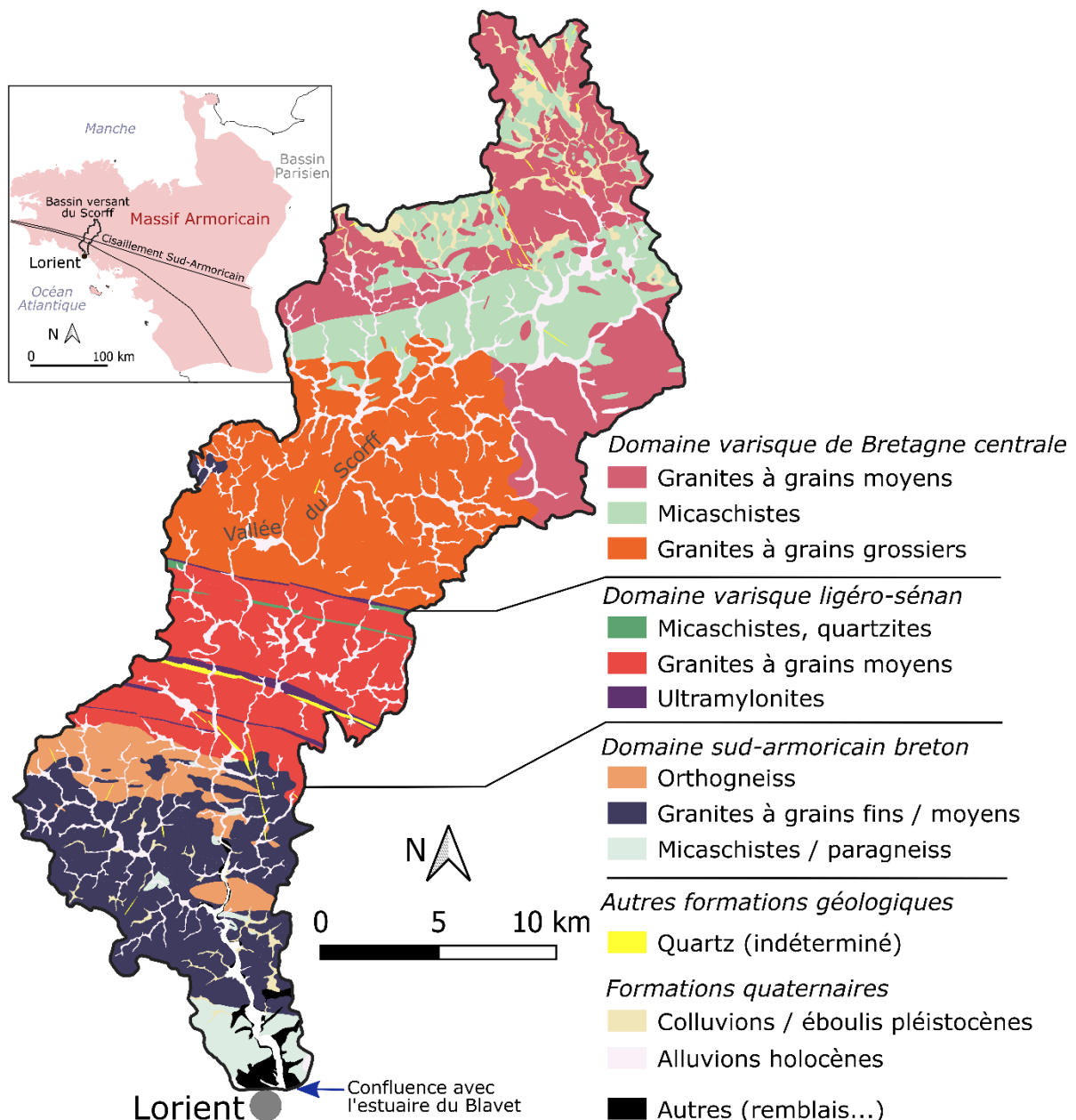
Les différents facteurs, contextes de sur-ensablement et ses potentiels effets sur la lamproie marine ayant été abordés dans ce chapitre, il convient à présent de montrer pourquoi le bassin versant du Scorff — et les lamproies marines qui s'y reproduisent — peuvent être actuellement exposés à ce phénomène. Le cadre géographique et les problématiques environnementales présentes dans la zone d'étude sont ainsi détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 – Présentation de la zone d'étude : le Scorff, un cours d'eau à saumon atlantique drainant un petit bassin versant granitique bocager

1) Contextes géologique, morphologique et pédologique

a) Géologie

Le bassin versant du Scorff est un petit bassin versant de 480 km² se situant au sud-ouest du massif Armoricaïn et de la péninsule bretonne (fig.7). Se jetant dans l'estuaire du Blavet au niveau de la rade de Lorient, le Scorff est traversé par le cisaillement sud-armoricain, série de failles du sud du massif séparant le bassin versant en trois domaines géologiques (Béchenne



et *al.*, 2006). En amont, le bassin versant est couvert par des roches granitiques du Carbonifère à grains de tailles moyennes à grossières, ainsi qu'une bande de micaschistes briovériens. Plus en aval, le bassin est caractérisé par des roches granitiques à grains plus fins — toujours du Carbonifère — avec de petites bandes gneissiques et micaschisteuses de l'Ordovicien. Des formations superficielles aréniques à épaisseurs variables sont développées sur les roches granitiques (Béchenec et *al.*, 2006). Les plaines alluviales sont peu développées, surtout en aval du bassin, avec très peu de terrasses Pléistocènes identifiées en fond de vallée, à l'instar de nombreuses autres vallées bretonnes (Béchenec et *al.*, 2012).

b) Morphologie

Le bassin versant du Scorff est caractérisé par des altitudes faibles — maximum de 277 m. Elle possède en revanche un relief vallonné, la vallée principale du Scorff étant parfois encaissée de plus de 100 m dans les secteurs avec les roches les plus dures (fig.8). D'après Larue (2014), le cisaillement Sud-Armoricain provoque un relief en forme d'escalier qui descend progressivement vers l'Océan Atlantique. A l'extrémité amont du bassin, la vallée principale du Scorff est encaissée dans les roches granitiques. Au niveau de la bande schisteuse, cette dernière s'élargit et le Scorff devient très sinueux (fig.8). Les altitudes sont moins importantes dans ce secteur qu'aux alentours et la pente de la vallée diminue aux alentours de 1m/km.

En aval, le cours d'eau principal s'encaisse à nouveau progressivement en retrouvant des roches granitiques. Une rupture de pente s'observe alors au niveau des granites à grains grossiers, juste après la confluence avec le ruisseau de Kerustang, son principal affluent (fig.9). D'après Larue (2014), ce type de front d'érosion régressive est très commun dans la région. Dans ce secteur plus pentu (10 m/km), le cours d'eau principal possède une faible mobilité latérale et circule souvent au milieu de chaos granitiques. En aval des granites à grains grossiers, la vallée reste assez encaissée mais sa pente diminue fortement, aux alentours de 2m/km (fig.9).

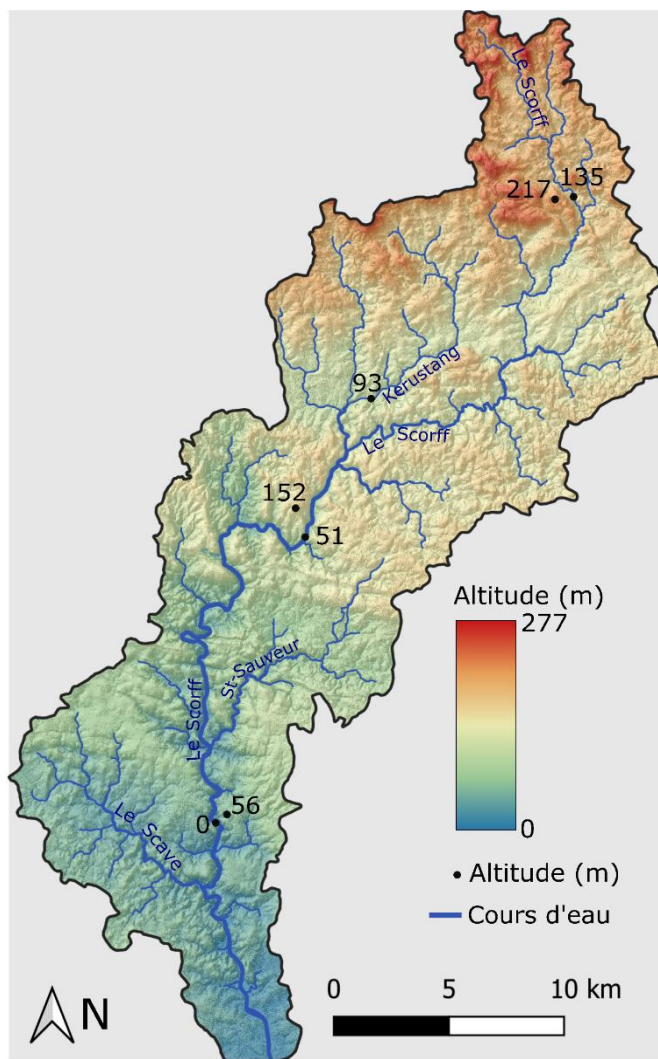


Figure 8. Modèle numérique de terrain du bassin versant du Scorff (IGN RGE Alti, 2023).

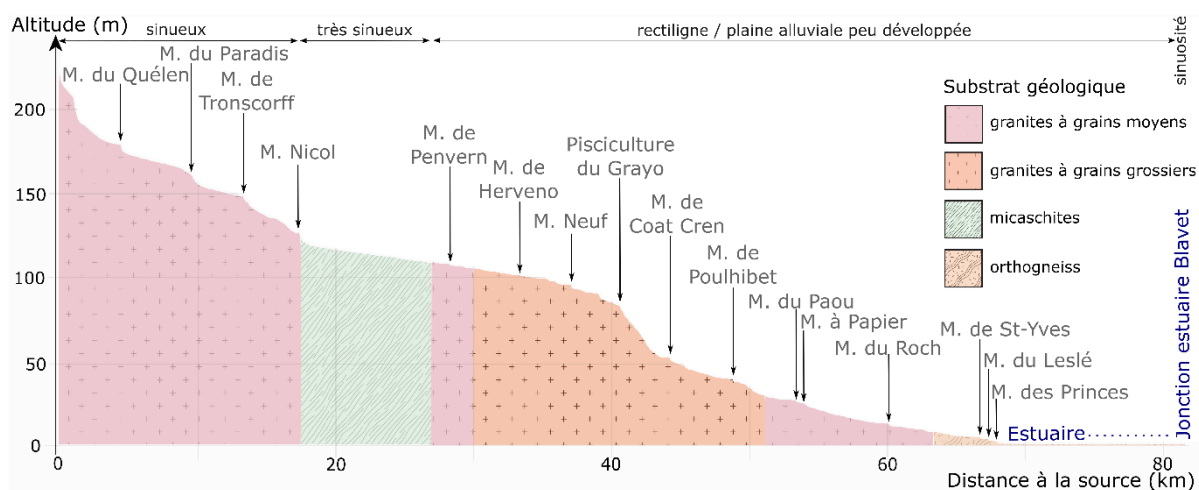


Figure 9. Evolution géologique le long du profil en long du cours d'eau principal du Scorff (BRGM, 2023).

c) Texture de surface

Du fait de la présence d'arène granitique, le sous-sol est en majorité à texture sableuse. En surface (0-15 cm), celui-ci possède néanmoins une texture équilibrée, avec environ 40 à 45% de sables dans les sols sur la majeure partie du bassin (fig.10). On observe néanmoins quelques sols limono-loameux, principalement développées au niveau de la bande schisteuse en amont du bassin. Ces derniers sont aussi représentés sur les alluvions de la vallée du Scorff. Quelques sols sablo-loameux sont également présents sur des pentes élevées au niveau des granites à grains grossiers (fig.10).

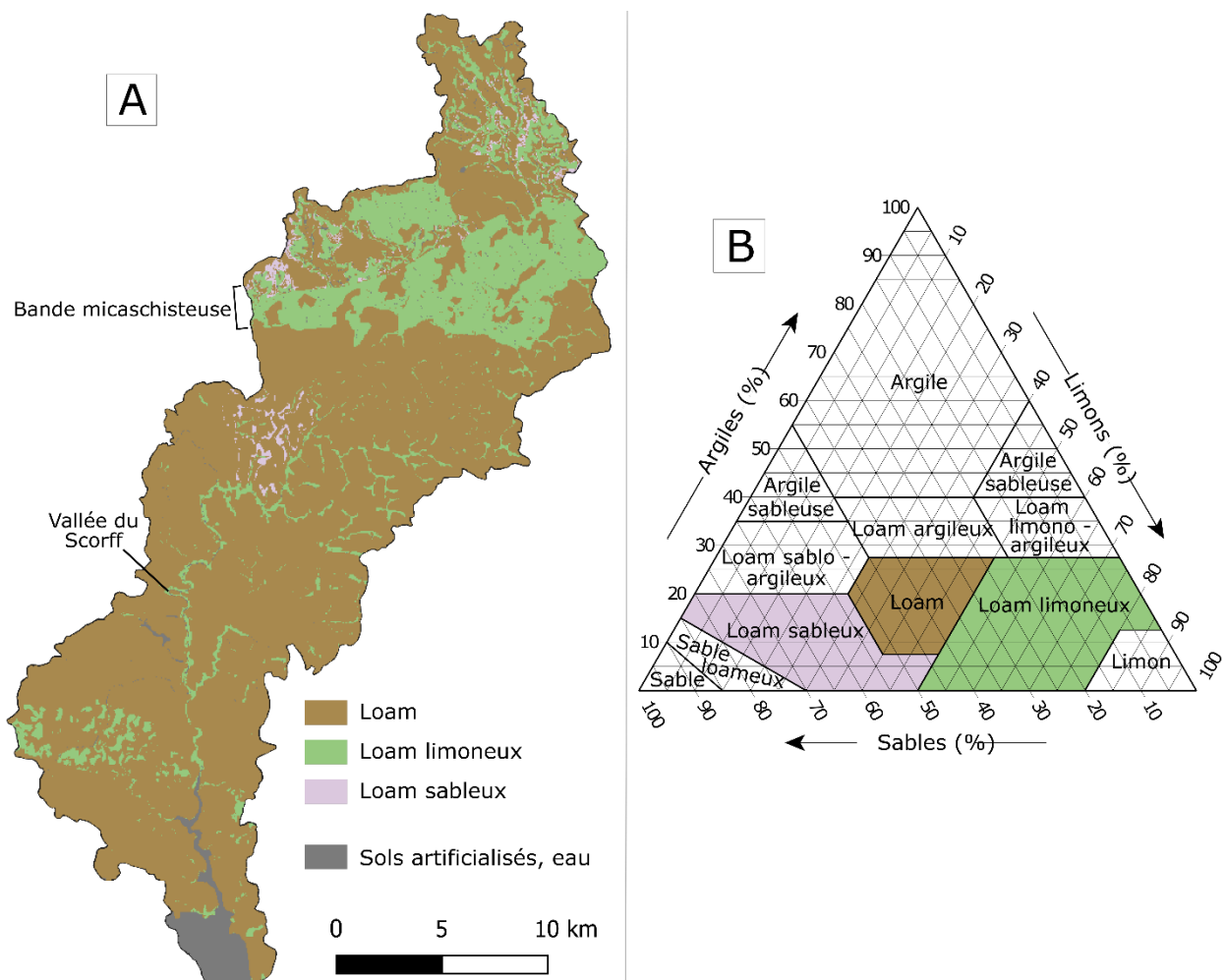


Figure 10. A. Répartition des sols du bassin versant par grandes classes de texture superficielle (UMR SAS, 2023). B. Triangle des textures utilisé pour (A) (Soil Survey Division Staff, 1993).

2) Contexte climatique

Le bassin versant du Scorff est soumis à un climat tempéré océanique. L'amplitude thermique annuelle est de 12°C, la température mensuelle moyenne variant entre 6°C en janvier et 18°C en juillet (fig.10.A). Un gradient de précipitations guidé par la topographie est observé : l'altitude augmentant du sud au nord, les vents dominants de sud-ouest provoquent des pluies de plus en plus importantes d'aval en amont du bassin (Planchon et *al.*, 2009a). A la station de Ploërdut, située à l'amont du bassin versant à 180 m d'altitude, les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 1180 mm. La saisonnalité pluviométrique y est assez marquée, avec des précipitations importantes en hiver — jusqu'à 150 mm en décembre et janvier — et plus faibles en été — 50 mm en juillet (fig.11.A). Le nombre de jours de pluies intenses, défini comme le nombre de jours où les précipitations quotidiennes dépassent les 20 mm, suit la même logique que celle des précipitations mensuelles. Au cours de l'hiver, les dépressions venant de l'Atlantique peuvent provoquer des pluies quotidiennes de plus de 70 mm (Planchon et *al.*, 2009b). A l'inverse, le nombre de jours d'orage estival est historiquement plus faible que dans le reste de la France (Dubreuil et *al.*, 1996). A la station de Lorient, située à l'extrémité aval du bassin, la pluviométrie est moindre, notamment en hiver (fig.11.B ; 11.C). La pluviométrie annuelle y est de 950 mm par an et est moins représentative de celle du bassin que Ploërdut.

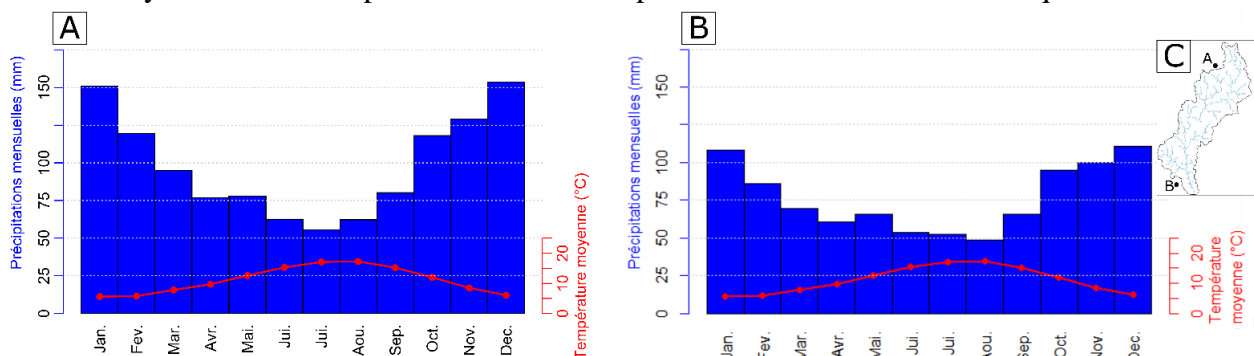


Figure 11. A. Diagramme ombrothermique de Ploërdut. B. Diagramme ombrothermique de Lorient Lann-Bihoué. C. Localisation des stations. Source : Météo-France, 2023.

3) Occupation des sols et structure du paysage

a) Caractéristiques de l'occupation du sol

Le bassin versant du Scorff possède un paysage marqué par l'agriculture (Corgne, 2004). Cependant, cette dernière domine légèrement moins le paysage que dans d'autres bassins versants bretons (Agreste, 2016).

Le premier tiers des 480 km² du bassin versant est constitué de boisements, majoritairement situés sur les plus fortes pentes, notamment sur les versants de la vallée principale (fig.12). La partie médiane du bassin versant est fortement boisée avec la présence de la forêt Domaniale de Pont-Calleck.

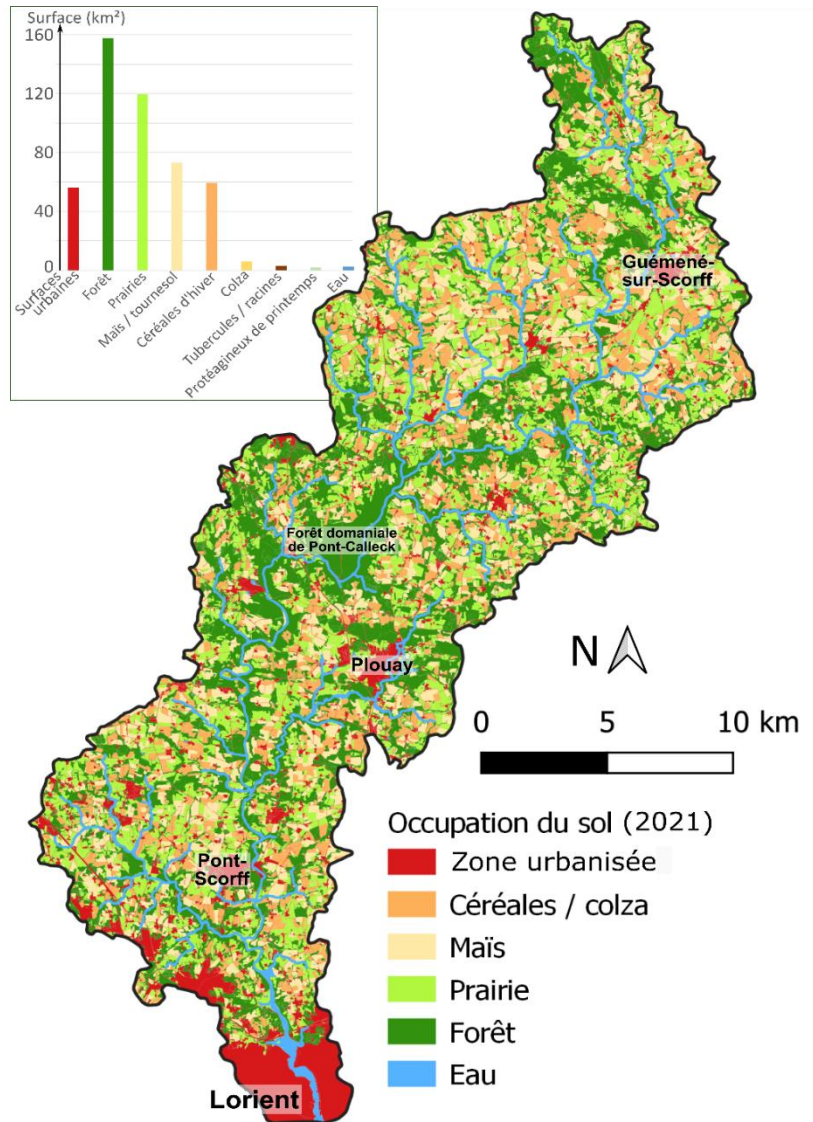


Figure 12. Occupation des sols en 2021 dans le bassin versant du Scorff (CES OSO, 2022).

En 2021, 30% de la surface du bassin versant sont occupés par des terres cultivées (CES OSO, 2022). La culture dominante est le maïs, représentant la moitié de cette surface. Les céréales, dominées par le blé tendre d'hiver, en représentent quasiment autant. Les 5% restants des surfaces cultivées sont occupés par du colza, du tournesol ainsi que par des cultures légumières — tubercules et protéagineux. Un quart de la surface du bassin versant est également constitué de prairies temporaires ou permanentes, destinées majoritairement à nourrir les élevages bovins. Le secteur de la bande schisteuse au nord du bassin, présentant les sols plus limoneux, est davantage agricole (fig.12).

A l'instar de la plupart des régions bretonnes, deux systèmes de rotation culturale dominants sont observés (fig.13). Le premier, le système bovin, consiste en une rotation entre le maïs et les céréales, entrecoupé par une phase de prairie temporaire généralement pâturée. Le système hors-sol porc est quant à lui plus complexe mais correspond au système bovin avec l'ajout d'une saison où la parcelle est semée en oléagineux ou protéagineux (fig.13).

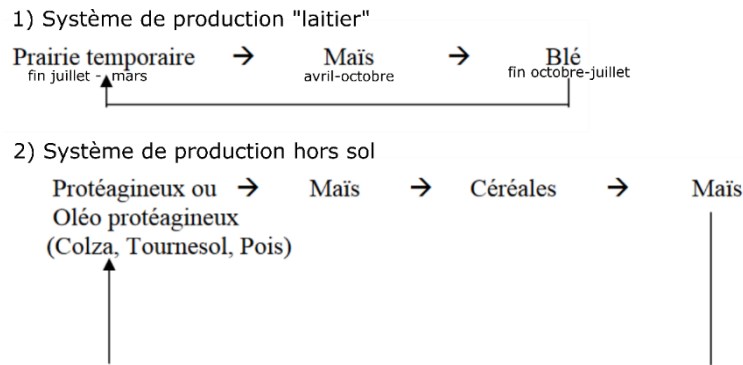


Figure 13. Les deux principaux systèmes de rotation effectués dans les exploitations agricoles du bassin versant du Scorff (Corgne, 2004).

Hormis l'agglomération lorientaise dont une partie se situe à l'extrémité sud du bassin, le sud du bassin versant est occupé par un ensemble de petites communes-satellites dont la plus peuplée est Plouay, petite ville d'environ 5800 habitants à 15 km au nord de la ville-centre (Insee, 2020). Le reste du bassin versant est occupé par un ensemble de bourgs et de villages ruraux à l'habitat semi-groupé (fig.12). 11,5% de la surface totale du bassin sont urbanisés, mais en dehors de l'agglomération lorientaise et de Plouay, les surfaces urbaines représentent partout moins de 8% de l'occupation du sol.

b) Structure du paysage

Le paysage du bassin versant du Scorff est fortement marqué par la subsistance de haies bocagères, d'inégale densité selon les secteurs (fig.14.A). Le remembrement des années 1960, touchant différemment les communes dans la région du Scorff, a détruit une bonne partie du maillage bocager alors très dense (Flatrès, 1979, Ferrand, 1993). Les secteurs les plus remembrés sont situés dans les zones les plus agricoles du bassin versant, notamment au niveau de la bande schisteuse dans le sous-bassin du Kerustang. Le sous-bassin du Saint-Sauveur autour de Plouay est également très touché (fig.14.A). La connectivité entre les parcelles et les cours d'eau peut donc y être favorisée, les haies étant connues pour retenir efficacement les sédiments (Ouvry et Ledun, 2017). Le secteur du Haut-Scorff, en amont du cours d'eau principal, est quant à lui moins remembré.

La ripisylve n'est pas toujours présente le long des cours d'eau, en particulier en amont du bassin versant et sur quelques sous-bassins d'affluents où les cours d'eau circulent fréquemment au sein de prairies où peuvent s'abreuver des troupeaux bovins, malgré l'interdiction de cette pratique sur le territoire (Syndicat du bassin versant du Scorff, 2009 ; fig.14.B).

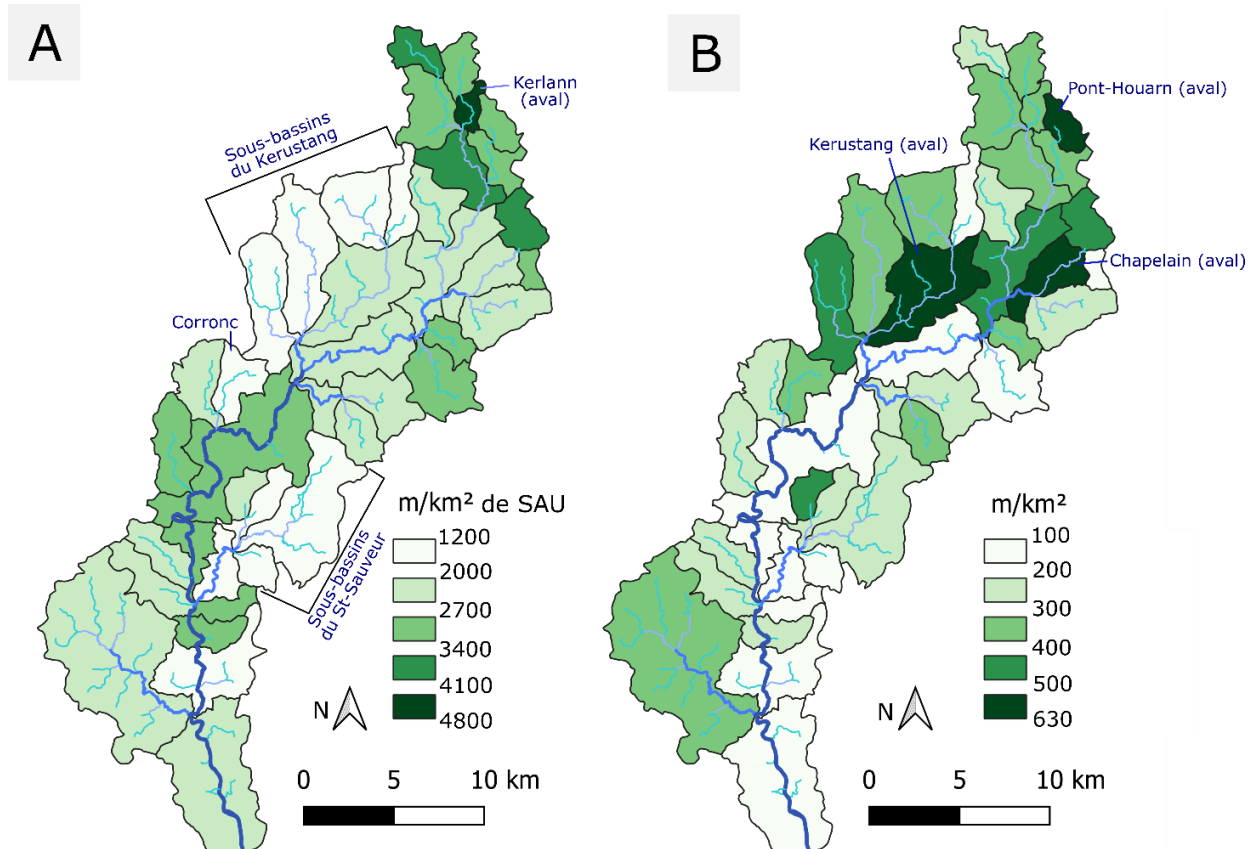


Figure 14. A. Densité de haies par km² de SAU par sous-bassin versant. B. Densité de cours d'eau traversant des prairies par sous-bassin versant. Sources : CES OSO, 2022 ; GeoBretagne, 2023 ; IGN BD TOPO, 2023.

L'importance de la présence de ripisylve et le maintien à l'écart des bovins pour éviter la dégradation des berges et le transfert de particules aux cours d'eau a déjà été mise en valeur en Bretagne (*e.g.* Vongvixay, 2012). En revanche, dans sa partie inférieure, le cours d'eau principal a des berges largement boisées et les abreuvements bovins sont très peu présents (Syndicat du Bassin du Scorff, 2009).

c) Problématiques d'érosion des sols agricoles

Le chapitre 1 a rappelé que les différentes activités agricoles sont susceptibles de provoquer un apport accru de sédiments aux cours d'eau (Viel, 2012). A l'instar de nombreux autres bassins versants français (Vongvixay et *al.*, 2012, Le Bissonnais et *al.*, 2002), le bassin du Scorff est confronté à des problèmes d'érosion des sols d'origine agricole. En effet, les périodes de transition entre les différentes cultures mettent les sols temporairement à nu malgré

l'obligation à l'échelle régionale d'instaurer systématiquement des intercultures (Chambres d'agriculture de Bretagne, 2014). A titre d'exemple, une érosion intense sur des parcelles de maïs semées en avril et encore peu développées a été observée à la suite d'un orage violent en amont de la partie médiane du bassin versant le soir du 14 juin 2023 (fig.15.A). Cet orage a été très localisé et n'a été enregistré par aucune station météorologique. Des rigoles se sont formées sur des pentes parfois faibles et des dépôts sablo-vaseux se sont multipliés en contrebas de la plupart des parcelles de maïs touchées (fig.15.C.D.E). Les cônes de déjection sableux



Figure 15. Manifestations spectaculaires d'érosion sur des parcelles agricoles provoquées par un orage au soir du 14 juin 2023. A. Localisation des parcelles où des dépôts sableux ont été observés. B. Dépôts vaseux (premier plan) et sableux en contrebas d'une petite ravine (arrière-plan). C. Cône de déjection sableux sur la même parcelle. D. Dépôts ayant atteint le cours principal du Scorff. E. Dépôts sableux traversant une ripisylve et atteignant le ruisseau de Saint-Vincent (affluent). Les flèches bleues pointillées et pleines représentent respectivement le ruissellement et le sens du courant. Photographies : Matthieu Doucerain, 15 juin 2023.

atteignaient parfois les cours d'eau malgré la présence de bandes herbeuses (fig.15.D) ou même de ripisylves (fig.15.E).

Une érosion accrue est également potentiellement provoquée par le piétinement des bovins le long des cours d'eau, mais cette dernière est plus difficile à appréhender.

d) Tendances évolutives de l'occupation des sols

Au cours des deux dernières décennies, la part relative des prairies dans le bassin versant a diminué au profit de tous les autres types d'occupation des sols, passant de 32% à 25% (fig.16). Ces sont les cultures céréalières et le colza qui en ont le plus profité, augmentant leur part dans le bassin versant de 3%. Les céréales sont des cultures sensibles à l'érosion dans la région car elles sont généralement semées début novembre et ne couvrent le sol significativement qu'en février, restant ainsi peu couvrantes au cours des mois les plus pluvieux de l'année.

Ces évolutions récentes sont probablement moins importantes qu'à l'époque du remembrement (Flatrès, 1979), mais aucune donnée n'existe sur cette période. L'urbanisation reste cantonnée principalement à l'agglomération de Plouay.

Résultants de l'ensemble des facteurs détaillés jusqu'ici dans ce chapitre, le régime hydrologique du Scorff, ainsi que ses évolutions temporelles, sont à présent détaillés.

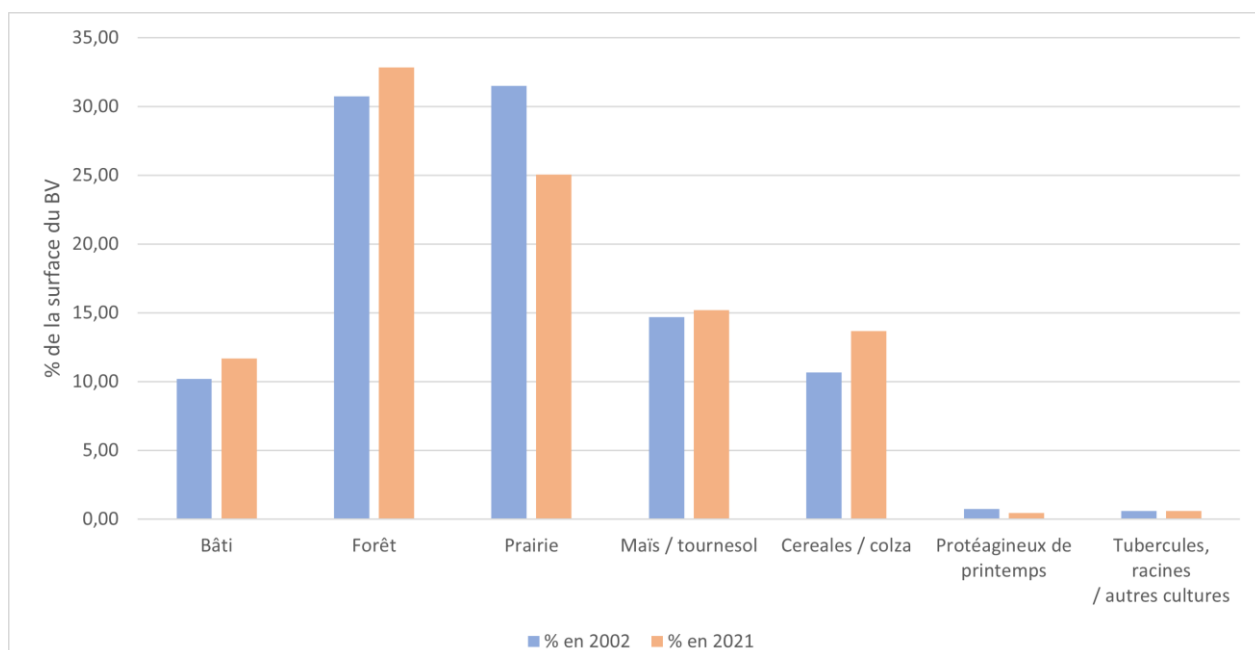


Figure 16. Evolution de l'occupation des sols entre 2002 et 2021 (Corgne, 2004 ; CES OSO, 2022).

4) Hydrologie et tendances évolutives au cours des dernières décennies

a) Régime hydrologique

En raison de la présence de roches peu perméables, le bassin versant du Scorff est un bassin à réponse hydrologique rapide. La contribution des nappes au débit des cours d'eau est peu importante, ces dernières étant de faible volume et se concentrant principalement dans les formations superficielles (BD LISA, 2019). L'unique station hydrométrique du bassin versant, dont les données sont complètes depuis 1968, est située au niveau de la boucle de Pont-Kerlo, à 10 km en amont de la limite de l'influence des marées à Pont-Scorff (fig.17.A). A cet endroit, le bassin versant est d'environ 300 km². Le débit moyen interannuel est d'environ 5 m³/s. Le régime fluvial est simple pluvial. La variabilité des débits mensuels moyens (Q_{\max}/Q_{\min}) est assez importante (8,2), avec un maximum de 10,7 m³/s en janvier et un minimum de 1,3 m³/s en août (fig.17.B). Le débit instantané de la crue biennale, souvent utilisé pour estimer le débit pleins bords (Maire et *al.*, 2003), est d'environ 35 m³/s. Située en aval de la partie médiane très boisée, la station ne subit pas l'influence de l'agglomération de Plouay et subit également une influence très indirecte des zones les plus agricoles situées loin en amont.

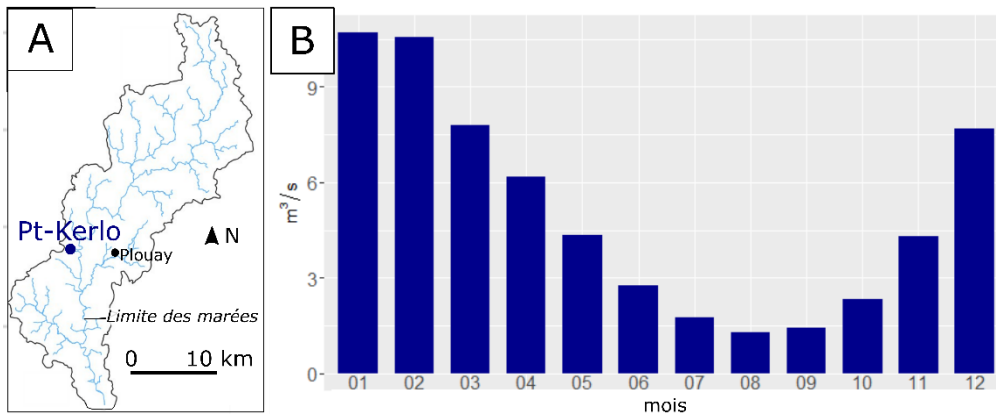


Figure 17. A. Localisation de la station hydrométrique de Pont-Kerlo dans le bassin versant. B. Débits mensuels moyens relevés à la station sur la période 1956-2022 (Hydroportail, 2023).

b) Tendances évolutives de la relation hydrologie / précipitations

Depuis 1968, l'hydrologie observée à Pont-Kerlo est fortement liée à la pluviométrie observée en amont du bassin (fig.18.A). La pluviométrie annuelle moyenne à Ploërdut est restée stable autour de 1180 mm/an, tandis que le débit annuel moyen a légèrement augmenté jusqu'au milieu des années 1980 avant de se stabiliser. Les pluies intenses (>20mm) sont quant à elles légèrement de plus en plus fréquentes (fig.18.B), ce qui peut engendrer une érosivité pluviale accrue. En revanche, les crues les plus importantes ont eu lieu entre la fin des années 1980 et

l'année hydrologique 2000, année ayant connu la plus grosse crue (fig.18.C ; Huet *et al.*, 2001). Depuis cette période, les grosses crues de longue durée sont devenues plus rares malgré un épisode en 2013 (Le Fahler *et al.*, 2015).

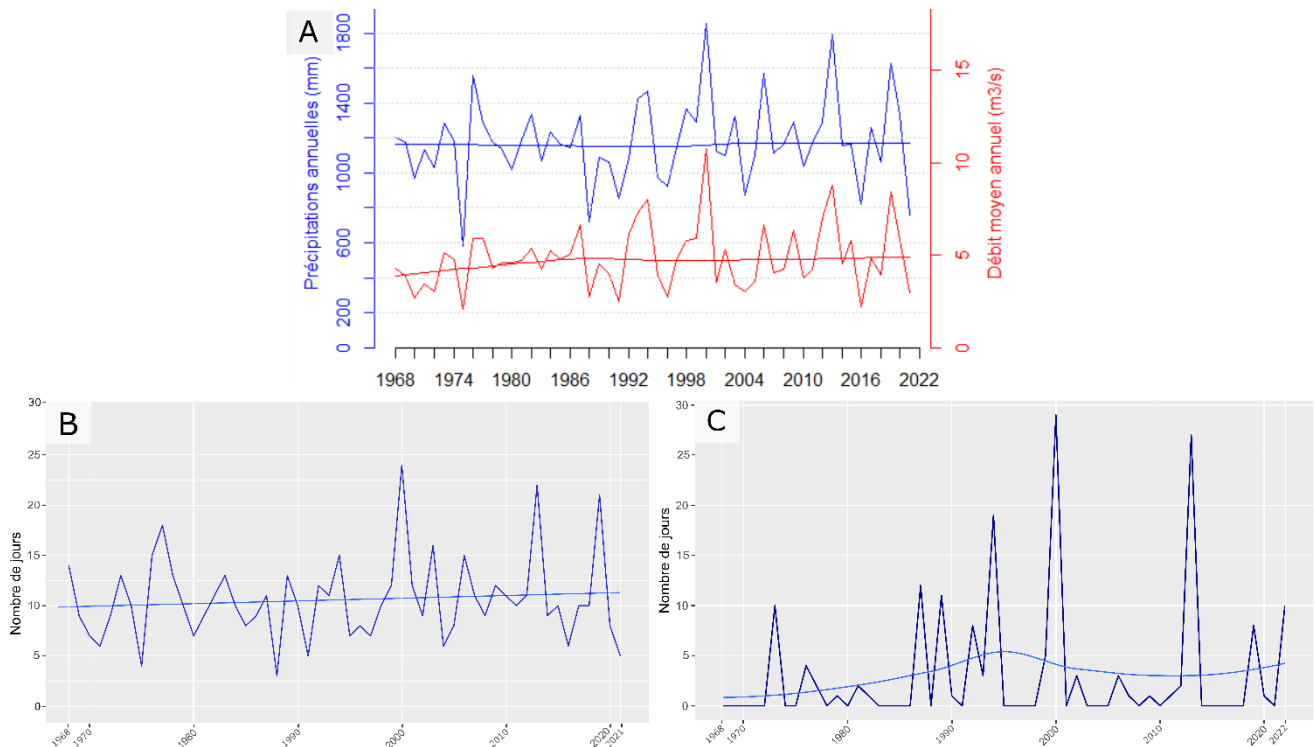


Figure 18. A. Evolution comparative des précipitations annuelles relevées à Ploërdut (en bleu) avec les débits moyens relevés à Pont-Kerlo (en rouge). *N.B.* : pour ajuster la position des deux axes, les débits ont été convertis en lame d'eau, $L = Q * 3,15 * 10^7 / S * 1000$ avec L la lame d'eau en mm, Q le débit en m³/S et S la surface du bassin en km². B. Evolution du nombre de jours avec des précipitations intenses (p quotidiennes > 20 mm) à Ploërdut. C. Evolution du nombre de jours par année hydrologique où le débit moyen a dépassé le débit de crue biennale journalier (28,9 m³/s) à Pont-Kerlo. Sources : Météo-France, 2023 ; Hydroportail, 2023.

A l'échelle mensuelle, les relations hydrologie / débit et leur évolution depuis 1968 sont quant à elles très différentes de ce qui est observé à l'échelle annuelle. Les évolutions tendanciennes des débits moyens mensuels suivent globalement celles des précipitations. Les pluies ont tendance à augmenter depuis 1968 en fin d'automne et début d'hiver, faisant de décembre le mois le plus pluvieux au cours des dernières décennies (fig.19). L'augmentation tendancielle des pluies à cette période de l'année est susceptible de provoquer une érosion supplémentaire des parcelles de blé d'hiver en cours de développement. A l'inverse, les pluies diminuent significativement en septembre (fig.19). Cette redistribution des pluies est susceptible d'influencer les dynamiques érosives à l'œuvre dans le bassin versant.

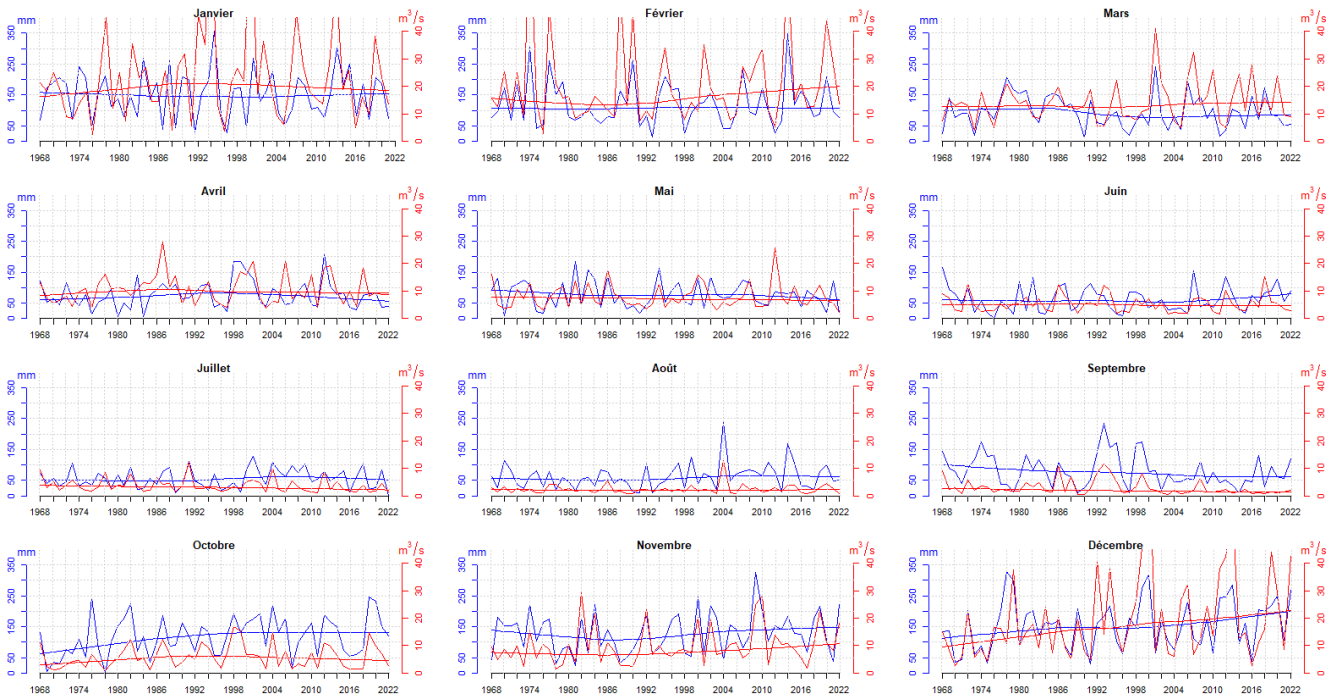


Figure 19. Evolution des précipitations (en bleu) et des débits (en rouge) à l'échelle mensuelle. Sources : Météo-France, 2023 ; Hydroportail, 2023.

5) Un cours d'eau marqué par les aménagements hydrauliques

Le Scorff — et dans une moindre mesure ses affluents — sont fortement aménagés depuis le Moyen-Âge (Tanguy, 1982 ; Thibault et Vinot, 1989 ; Kartenn, 2023). La présence de ces nombreux ouvrages peut fortement perturber le transfert de sédiments sableux au sein du bassin versant. Trois grands types d'ouvrages sont distingués.

Les ouvrages ayant le plus d'influence sur la connectivité sédimentaire du Scorff de par leur nombre important sont les seuils d'anciens moulins à eau. Rien que sur le cours d'eau principal, on ne compte pas moins d'une quinzaine d'anciens seuils de moulin provoquant toujours actuellement un effet de ralentissement du courant en amont (fig.20). La plupart d'entre eux étaient déjà présents sur la carte des Cassini, datant du XVIII^e siècle. Leur origine probable est plus ancienne (Kartenn, 2023). La totalité de ces moulins sont désaffectés depuis les années 1950 à 1970 mais, même détruits, leurs seuils peuvent être à l'origine de fortes ruptures de pente du cours d'eau. Des ouvrages transversaux à vocation différente sont présents, comme le barrage alimentant la pisciculture du Grayo en aval direct de la confluence entre le Scorff et le Kerustang, construit en 1921 (fig.21.A).

Des ouvrages plus imposants — ayant plus de 3 m de hauteur de chute à l'étiage — sont également présents, comme le barrage de Tronchâteau et celui de Pont-Calleck. Ces derniers sont tous deux situés à l'extrémité aval des deux affluents principaux, le Saint-Sauveur et le Kerustang (fig.20). Le second, construit originellement au XIII^e siècle et étendu au XVIII^e siècle, avait pour fonction d'alimenter un moulin ainsi que les anciennes forges de Pont-Calleck

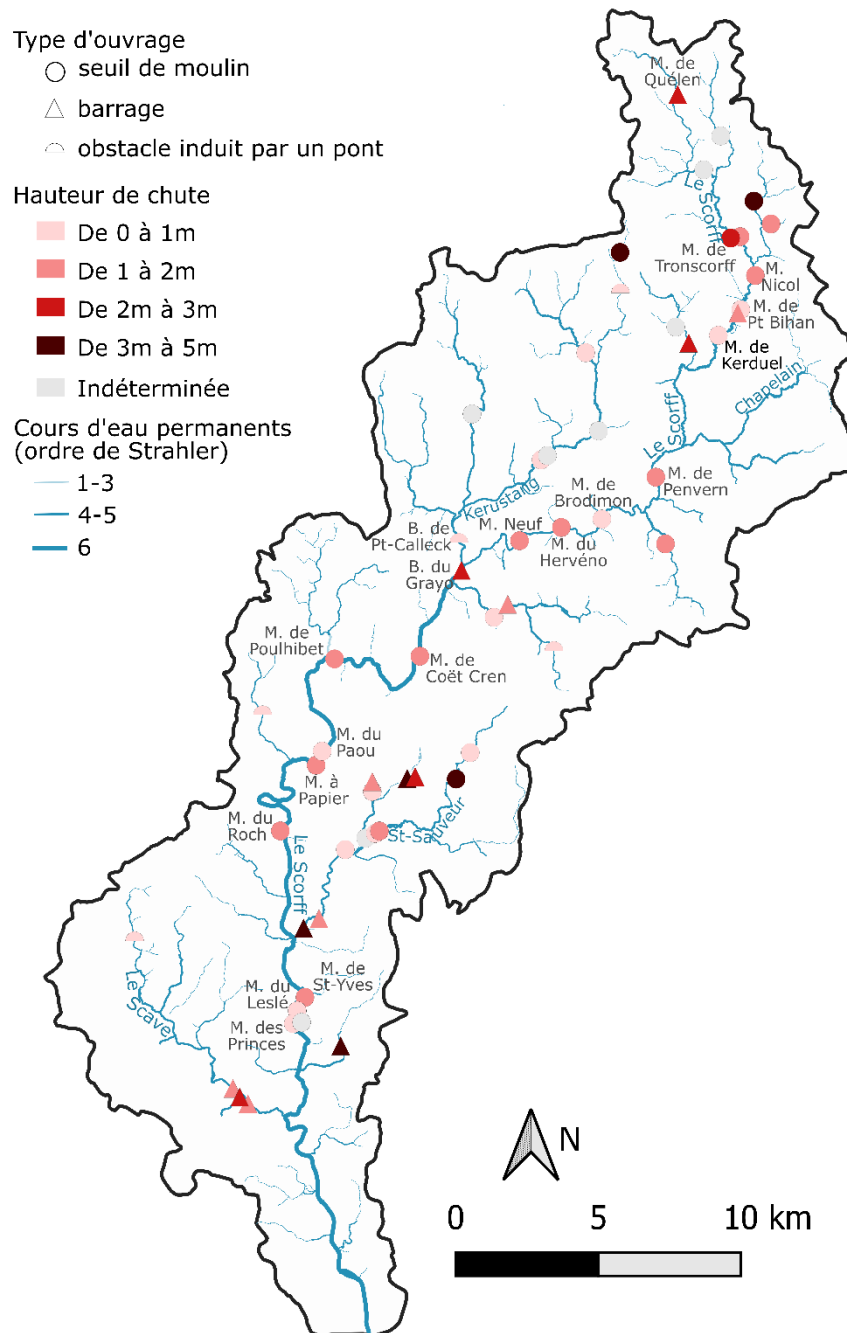


Figure 20. Obstacles à l'écoulement présents sur le bassin versant (hors pêcheries) et hauteurs de chutes à l'étiage associées (Sandre ROE, 2023).

(Kartenn, 2023). En septembre 2011, il a néanmoins été vidé à la suite d'un accident et n'a jamais été remis en eau, remplacé par un pont-cadre (Hydro Concept, 2011).

De nombreuses pêcheries, estimées à plus d'une quarantaine, sont également présentes, en majorité sur le cours d'eau principal (fig.21.B.C ; Kartenn, 2023). Le principe de ces pêcheries était de disposer des blocs — généralement de manière oblique — dans le lit du cours d'eau afin de créer un goulot d'étranglement, où étaient ensuite pêchées les anguilles et les saumons lors de leur avalaison (Tanguy, 1982). Ces dernières ont été actives principalement entre le XV^e siècle et les années 1950. Ces pêcheries, parfois très denses sur le linéaire, provoquent des irrégularités importantes dans la pente et sont souvent associées à de petites îles (fig.21.C). Des bancs sableux se forment fréquemment à proximité de ces ouvrages, à l'abri du courant (fig.21.B.C). Tanguy (1982) a distingué plusieurs types de pêcheries selon leur morphologie mais leur principe reste similaire.

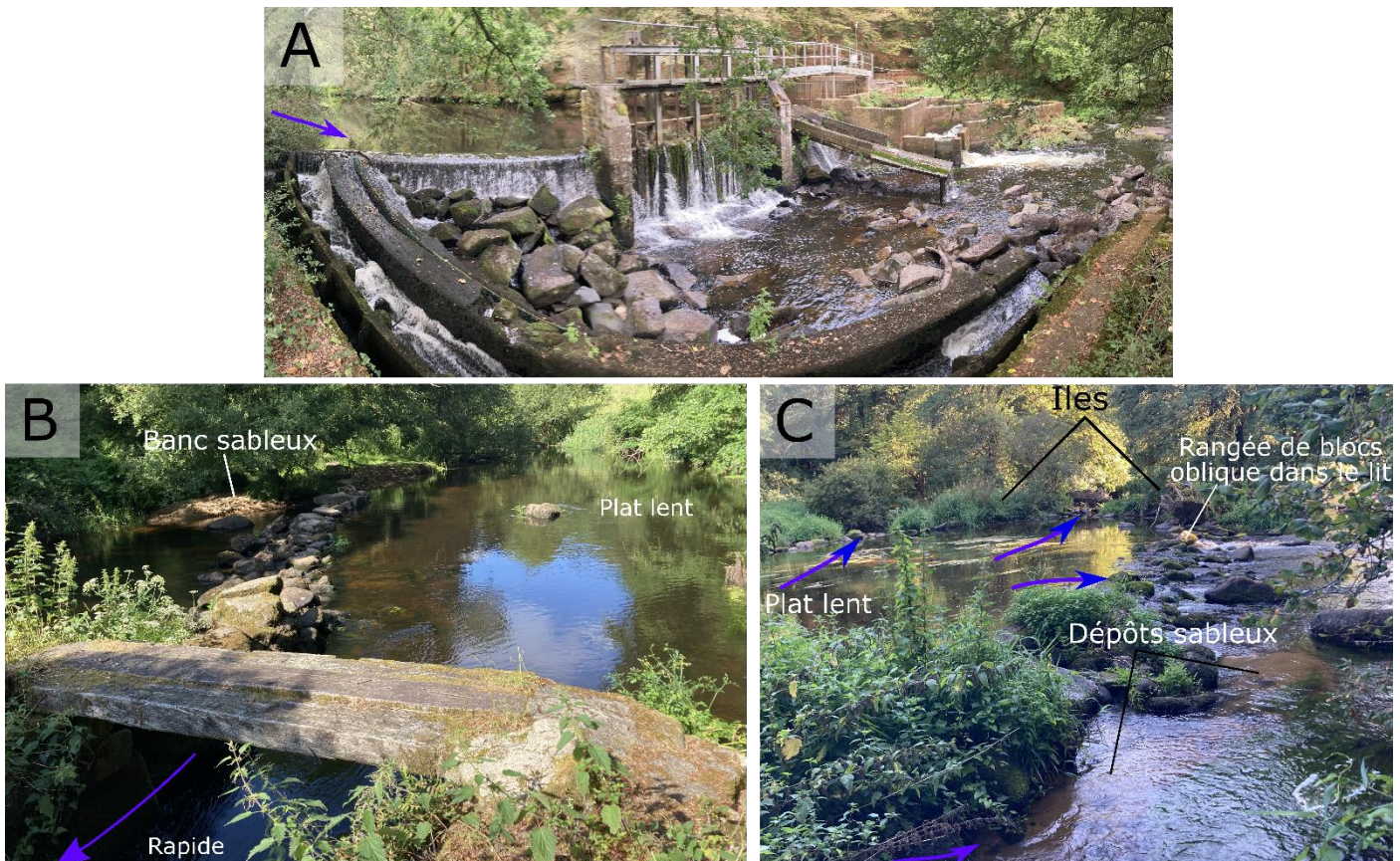


Figure 21. A. Barrage de la pisciculture du Grayo, construit en 1921. Localisation : 47°58'52,97"N ; 3°19'58,67"O. B. Pêcherie de Coscodo, bien conservée (XVIII^e siècle). 47°59'8,64"N ; 3°19'33,57"O. C. Pêcherie ruinée en aval du Moulin de Coët Cren. 47°56'41,6"N ; 3°21'21,06"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 26 juin 2023.

6) La station de comptage des poissons migrateurs de Pont-Scorff et le suivi des zones de reproduction des lamproies marines depuis 1994

Le bassin versant du Scorff possède la particularité d'être le cadre d'un suivi très détaillé des poissons migrateurs, notamment du saumon atlantique, de l'anguille, de la grande alose et de la lamproie marine (Azam et *al.*, 2020). Les travaux sur les poissons migrateurs ont commencé avec de nombreuses études de description des habitats afin de quantifier ceux convenables au saumon atlantique (*e.g.* Baglinière et Champigneulle, 1986). Le rôle des végétaux aquatiques vis-à-vis des habitats piscicoles a également été étudié (Haury et Baglinière, 1996 ; Daniel et Haury, 1996 ; Roussel et *al.* 1998 ; Haury et Aïdara, 1999). Les auteurs ont ainsi souligné que la renoncule à pinceau (*Ranunculus penicillatus*), se développant au printemps sur les plats courants et radiers, pouvait jouer le rôle de piège à sédiments — notamment sableux — jusqu'à l'hiver suivant et diminuer la surface disponible pour la reproduction des saumons (fig.22).



Figure 22. *Ranunculus penicillatus* associées à d'importants dépôts sableux en aval du moulin du Stang. Photographie : Matthieu Doucerain, 21 juin 2023.

Depuis 1994, avec l'installation de la station de contrôle de l'INRAE du Moulin des Princes, les suivis piscicoles se sont multipliés (Azam et *al.*, 2020). C'est notamment depuis cette année qu'est effectué un arpentage exhaustif permettant de dénombrer les frayères de lamproie marine, particulièrement présentes sur les plats courants et radiers (fig.23.A.B). La partie du cours d'eau principal située en aval du moulin Neuf, considéré après plusieurs années d'arpentage comme la limite amont du front de colonisation de la lamproie marine, est parcourue (Lasne et *al.*, 2015). Ces données, géolocalisées depuis 2009, sont bien plus représentatives des populations de lamproie marine que les données de comptage récoltées à la

station, étant donné que le piège n'a pas été conçu pour cette espèce et qu'il est peu capturant (Azam et al., 2020).

La répartition des frayères de lamproie marine a beaucoup évolué depuis 1994. D'abord concentrées dans la partie aval du bassin, le démantèlement en 2000 de l'ancien barrage de la pisciculture de Pont-Kerlo a provoqué leur extension progressive vers l'amont à partir des années suivantes (Lasne et al., 2015). Un accroissement du nombre de frayères est également observé et s'est poursuivi même au cours de la dernière décennie, malgré deux dernières années marquées d'une forte baisse (fig.23.C).

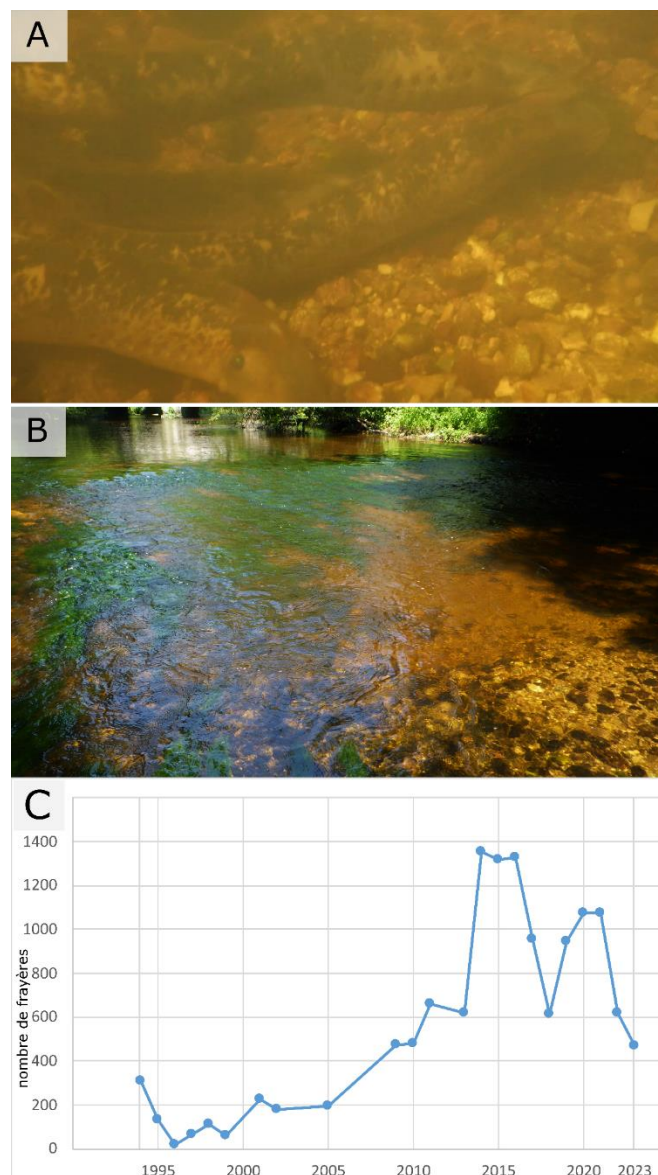


Figure 23. A. Lamproies marines en train de frayer dans un secteur fréquemment sous l'influence des marées, à Pont-Scorff. B. Frayère sur un radier à granulométrie bien diversifiée en aval de Pont-Kerlo. 47°54'18,64"N ; 3°25'9,42"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 14 et 15 juin 2023. C. Evolution du nombre de frayères relevées par an par les agents de la station de comptage de l'INRAE.

Dans un objectif de quantification des surfaces favorables à la reproduction du saumon, trois études ont à ce jour décrit les faciès d'écoulement sur le cours d'eau principal et quelques affluents, du Moulin de Tronscorff — à 55 km de la limite des marées — jusqu'à Pont-Scorff (Baglinière et Champigneulle, 1986 ; Claude, 1996 ; Saget, 2011). La granularité de chaque faciès a également été renseignée, avec un effort particulier sur l'observation des sables. Seule l'étude la plus récente a été précisément géolocalisée. Entre les études de 1996 et 2010, il n'a pas été constaté de sur-ensablement important, et même un recul important du recouvrement sableux dans certaines zones, comme en aval de l'ancien seuil de moulin du Stang arasé en 2002 (Saget, 2011). Cependant, la méthodologie différente adoptée par ces deux études — la première renseignant qualitativement la présence de sables, et la seconde, quantitativement — rend difficile leur comparaison.

La présente étude propose donc d'effectuer une nouvelle campagne de relevés de faciès, à la suite des précédentes réalisées sur le Scorff. Elle vise notamment à mieux comprendre les dépôts sableux observés, en étudiant les différents facteurs responsables de ceux-ci. Les données de localisation des frayères de lamproie depuis 2009 sont mises à profit en les croisant avec la répartition de ces dépôts, permettant d'explorer la relation sables / lamproie de manière inédite. La méthodologie utilisée est exposée au sein du chapitre suivant.

Chapitre 3 — Matériel et méthodes

Cette partie s'attache à détailler la méthodologie utilisée dans la présente étude, visant à observer — principalement spatialement — les multiples causes de la répartition des dépôts sableux ainsi que les potentiels effets de ces derniers sur les frayères de lamproie marine.

1) Estimation du potentiel de production sableuse par sous-bassin versant et de son évolution

D'après les deux premiers chapitres, l'érosion des sols agricoles est potentiellement le facteur le plus important permettant d'expliquer une sur-sédimentation sableuse de certains secteurs du bassin versant. A l'aide de différentes données récoltées, le potentiel de production sableuse — et son évolution depuis 2002 — a donc été déterminé à l'échelle des sous-bassins versants à travers une équation universelle de pertes en sols appliquée aux sables.

a) Présentation de l'équation universelle de perte en sols (USLE)

Parmi les modèles d'estimation de l'érosion des sols, l'équation universelle de perte en sols (USLE) est le modèle quantitatif le plus utilisé (Benavidez et *al.*, 2018). Introduite par Wischmeier et Smith (1978) et revisitée par Renard (1997), elle propose de multiplier plusieurs facteurs relatifs à l'érosivité pluviale (facteur R), l'érodibilité du sol (K), la couverture du sol (C), la pente et sa longueur (LS) ainsi qu'un facteur de pratique culturale (P) afin de calculer les pertes en sol en chaque point d'un bassin versant. Cette méthode a été choisie en raison de la quantité satisfaisante de données disponibles sur le bassin versant du Scorff, afin d'explorer le potentiel de production par sous-bassin et son évolution entre 2002 et 2021. Elle ne prétend pas en revanche estimer la quantité de sédiments sableux exportée à l'échelle de tout le bassin versant, en raison des nombreux autres facteurs ayant un effet sur leur transport et leur potentiel dépôt avant l'exutoire (Renard, 1997). Elle a été appliquée à l'échelle parcellaire.

b) Estimation du facteur de couverture du sol (C)

Le facteur C de couverture et d'usage des sols se définit comme le ratio entre les pertes en sol d'un type d'occupation et d'usage des sols donné par rapport à celles d'un sol nu (Wischmeier et Smith, 1978). Moins la couverture végétale est dense, plus le facteur C et l'érosion des sols sont élevés.

Pour estimer les productions sableuses et leur évolution potentielle au cours des dernières décennies à travers le facteur c, différents types de données d'occupation du sol ont

été utilisés. Sur le Scorff, un parcellaire préexistant issu de Corgne (2004) renseigne l'occupation annuelle des sols sur la période 2001-2003. Ces données ont été obtenues par classification supervisée d'images SPOT validées à l'aide d'échantillons terrain (Corgne, 2004). Elles ont été comparées avec des données raster de la période 2019-2021 (CES OSO, 2022) utilisant pour leur part des images Sentinel et Landsat-8 ainsi qu'un algorithme d'apprentissage pour les classifier. En raison du changement de contour de certaines parcelles entre les deux dates, le parcellaire a été découpé à la main pour obtenir des entités mises à jour (fig.24). Les données récentes ont ensuite été ajoutées au parcellaire en calculant la classe majoritaire pour chaque parcelle. En raison de la confiance moindre attribuée à la classe bâtie définie dans la base OSO (CES OSO, 2022), les parcelles déjà urbanisées en 2001-2003 ont été considérées bâties, par défaut, sur la période récente. Les données de 2002 et 2021 ont ensuite été sélectionnées pour le reste de l'étude car elles étaient représentatives des deux périodes.

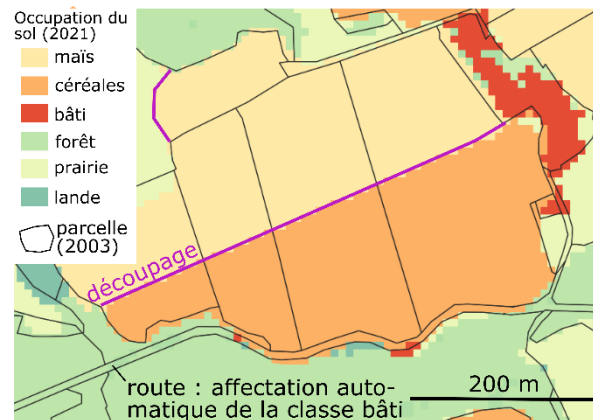


Figure 24. Découpage à la main (en violet) de l'ancien parcellaire de 2003 pour correspondre aux nouveaux contours des parcelles de 2021 (en fond de carte). (Corgne (2004) ; CES OSO (2022)).

Afin de prendre en compte les dynamiques annuelles d'interculture, le facteur C doit être calculé à l'échelle mensuelle (Fiener et Auerswald, 2015). Cependant, aucune donnée sur les dynamiques infra-annuelles précises de taux de couverture des sols des cultures n'était disponible dans la région. Des images Landsat-8 prétraitées (USGS, 2023) de la période 2019-2021 ont donc été utilisées pour calculer un indice de végétation par différence normalisé (NDVI) moyen de chaque culture pour chaque mois (fig.25.A) :

$$NDVI_{j,m} = \text{moyenne} \left(\frac{PIR_{j,m} - R_{j,m}}{PIR_{j,m} + R_{j,m}} \right)$$

où le $NDVI_{j,m}$ correspond au NDVI moyen de la culture j pour le mois m, et $PIR_{j,m}$ et $R_{j,m}$ respectivement la bande infrarouge et la bande rouge de l'image Landsat du mois m pour chaque parcelle de la culture j.

Un NDVI plus élevé signifiant que la couverture végétale est plus dense, les résultats obtenus sont cohérents (fig.25.B). Les valeurs des mois de juin et d'août, manquantes, ont été estimées à partir de la moyenne de celles des mois adjacents. Ces résultats ont également permis de construire des classes de période de sensibilité à l'érosion pour comparer les données de 2021 et de 2002, possédant des classes d'occupation des sols différentes (fig.25.C).

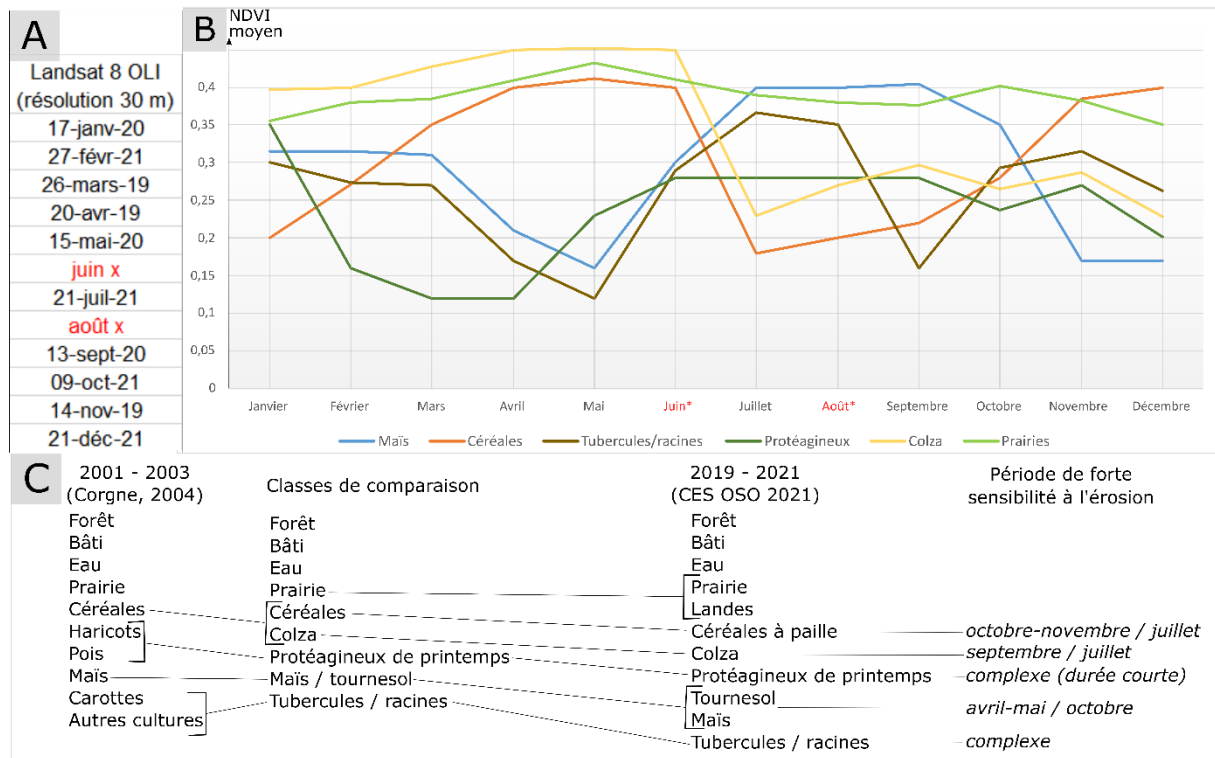


Figure 25. A. Images Landsat 8 utilisées pour le calcul du NDVI mensuel. B. Evolutions mensuelles du NDVI par type de culture. C. Construction de classes de sensibilité à l'érosion pour comparer les données de 2001-2003 et de 2019-2021.

Le facteur C a déjà été calculé à de nombreuses reprises à l'échelle mensuelle à partir du NDVI, notamment sur d'autres bassins versants européens de taille comparable au Scorff (e.g. Ferreira et Pangopoulos, 2014 ; Benavidez et al., 2018). La formule de Van der Knieff et al. (2000) a été utilisée, permettant d'obtenir un facteur C mensuel pour chaque culture :

$$C_{j,m} = \exp \left[-2 \left(\frac{NDVI_{j,m}}{1 - NDVI_{j,m}} \right) \right]$$

où $C_{j,m}$ et $NDVI_{j,m}$ sont respectivement les facteurs C et le NDVI de la culture j pour le mois m.

Les facteurs C des forêts et prairies ont été établis respectivement à 0,01 et 0,1 sur toute l'année par convention (Benavidez et al., 2018). Moyennés, les résultats ont donné des valeurs semblables à celles attribuées par la littérature aux mêmes cultures à l'échelle annuelle (e.g, 0,40 pour le maïs, Benavidez et al., 2018).

c) Estimation du facteur d'érodibilité du sol (facteur K)

Pour estimer ce facteur, des données raster à 50 m de résolution portant sur la propriété des sols ont été utilisées (UMR SAS, 2023). Le pH, le pourcentage de carbone organique et la répartition des textures argileuses, limoneuses et sableuses dans les sols étaient renseignés. Ces données sont issues d'une modélisation effectuée par le projet Sols de Bretagne qui a été validée par 260 échantillons de sols bretons (Ellili-Bargaoui et *al.*, 2020). Le facteur K n'a pu être déterminé par sa formule la plus utilisée, qui utilise le pourcentage de sables très fins dans les sols (Wischmeier et Smith, 1978), mais l'a été avec la formule de David (1988) :

$$K = \left[(0,043 * pH) + \left(\frac{0,62}{OM} \right) + (0,0082 * S) - (0,0062 * C) \right] * Si * 0,001317$$

où K est en t*h/MJ*mm, pH est le pH du sol, OM, S et Si respectivement le pourcentage de matière organique, de sables et de limons dans le sol, et C = % argiles / (S+Si)

Les valeurs ont été moyennées sur chaque parcelle. Elles se sont révélées proches de celles d'autres études réalisées à résolution plus basse (*e.g.* Panagos et *al.*, 2015a). Dans la mesure où cette étude se focalise sur les sédiments sableux, la part médiane des sables dans les sols de chaque parcelle a ensuite été rajoutée à l'équation pour avoir des résultats concernant uniquement l'érosion de sédiments sableux et non en sédiments totaux.

d) Estimation du facteur d'érosivité pluviale (facteur R)

Le facteur d'érosivité pluviale est plus difficile à obtenir car il nécessite des données d'intensité de la pluie sur 30 minutes (Benavidez et *al.*, 2018). Parmi les nombreuses équations existantes pour estimer le facteur R annuel à partir de données quotidiennes, aucune n'était satisfaisante pour la zone d'étude. En effet, les équations avaient été déterminées à partir de stations situées sous un climat méditerranéen (*e.g.* Ferreira et Panagopoulos, 2014). Une valeur moyenne de 750 MJ*mm/ha*h*an issue de Panagos et *al.* (2015a) a été utilisée pour l'ensemble du bassin.

D'après les données Météo-France, les précipitations ont peu évolué depuis 1968 (*c.f.* ch2§4). Le facteur R annuel a donc été considéré comme constant entre 2002 et 2021. Cependant, la répartition saisonnière des précipitations, notamment mensuelle, a évolué. Il a donc été calculé un facteur R pour chaque mois en multipliant la part de chaque mois dans les précipitations totales par le facteur R annuel. Cette approximation a été effectuée car les mois qui connaissent le plus de précipitations sont aussi ceux avec le plus de jours de pluies intenses

(> 20mm). Ces calculs de facteurs R mensuels ont été effectués sur deux périodes : 1999-2010, choisie pour être multipliée aux données d'occupation des sols de 2002, et 2011-2022, correspondant aux données de 2021.

- e) Estimation du facteur d'inclinaison et de longueur de la pente (facteur LS) et calcul final

Pour estimer le facteur LS, les données de l'European Soil Data Center (ESDAC, 2023) ont été utilisées car la résolution (25 m) était satisfaisante. Ce facteur a été calculé à partir de la méthode de Desmet et Govers (1996) qui prend en compte l'accumulation des flux dans une approche SIG. Les valeurs ont été moyennées pour chaque parcelle.

L'équation finale calculée pour estimer la production potentielle de sédiments sableux de chaque parcelle est :

$$PS = \sum_{m=1}^{12} R_m * K * LS * C_{j,m} * \%S * su$$

où PS est la production sableuse annuelle de la parcelle en t/an, R_m le facteur d'érosivité pluviale du mois m en MJ*mm/ha*h*an, K le facteur d'érodibilité du sol en t*h/MJ*mm, $C_{j,m}$ le facteur C du mois m qui dépend du type de culture j de la parcelle, %S le pourcentage de sables dans le sol divisé par 100 et *su* la surface de la parcelle en ha.

Le calcul a été effectué sur R (R Core Team, 2022). Ces résultats ont été calculés pour 2002 et 2021 et agrégés à l'échelle des sous-bassins versants.

En revanche, le modèle n'a pas pu être validé par des données récoltées sur le terrain — ce qui est normalement fortement recommandé (Fiener et Auerswald, 2015) — pour des contraintes de temps. Quelques facteurs comme la présence d'éléments grossiers dans les sols, l'humidité saisonnière des sols ou le facteur P des pratiques culturales n'ont pas non pu être utilisés, pouvant mener à des prévisions légèrement plus élevées (Renard, 1997).

- f) Réalisation d'une typologie de susceptibilité des transferts sableux par sous-bassin

Les données précédemment produites ont été croisées avec les données de structure du paysage — haies et taux de cours d'eau sans ripisylve croisant des prairies — à l'échelle des différents sous-bassins versants. Le découpage utilisé provient du Syndicat du Bassin Versant du Scorff (Corgne, 2004). Chaque variable s'est vue attribuer 5 classes, permettant d'effectuer une typologie à la main du risque de transfert sableux par sous-bassin.

2) Cartographie des faciès et du recouvrement sableux sur le linéaire colonisable par la lamproie marine

Cette seconde étape du travail a consisté à effectuer un arpentage exhaustif du linéaire colonisable par la lamproie marine (Lasne et *al.*, 2015) afin de voir si la quantité de sédiments produite et prédite dans la première partie du travail se répercutait sur les variations longitudinales de recouvrement sableux — notamment au niveau des confluences avec les affluents les plus sensibles. La méthodologie a consisté en une cartographie visuelle des faciès d'écoulement, de leur taux de recouvrement sableux ainsi que de nombreuses autres variables pouvant expliquer ce dernier (Malavoi et Souchon, 2002).

a) Présentation du secteur d'étude

Le secteur arpenté correspond aux 31,3 km aval du cours d'eau principal du Scorff, du moulin Neuf à la limite des marées à Pont-Scorff (fig.26). Le linéaire colonisable par la lamproie marine a été choisi en priorité dans l'optique de pouvoir comparer la localisation de toutes les frayères avec celle des sables et d'autres substrats. Les 1,3 km aval du Kerustang ont également été arpentés, en raison de l'importance de cet affluent — drainant un bassin de 80 km² contre 130 km² pour le Scorff avant la confluence. Les résultats de la première partie ont également expliqué ce choix car il s'agissait d'un des sous-bassins les plus sensibles à l'érosion.

Dans le secteur étudié, le cours d'eau est majoritairement encaissé dans les granites. La pente longitudinale est souvent comprise entre 0,1 et 0,3 %, hormis entre la pisciculture du Grayo et le moulin de Coët Cren où elle atteint 1% et entre le moulin de Poulhibet et l'ancien moulin du Stang où elle avoisine 0,5 % (fig.26). Afin de voir si l'ensablement du cours d'eau répondait aux caractéristiques naturelles du cours d'eau et de la morphologie du fond de vallée, un découpage à la main du secteur en tronçons géomorphologiquement homogènes a été préalablement effectué. Il a été comparé postérieurement aux données de taux d'ensablement récoltées. La pente de la vallée — hors ouvrages — ainsi que la largeur du fond de vallée ont été choisis pour appliquer ce découpage (IGN RGE Alti, 2023 ; BRGM, 2023).

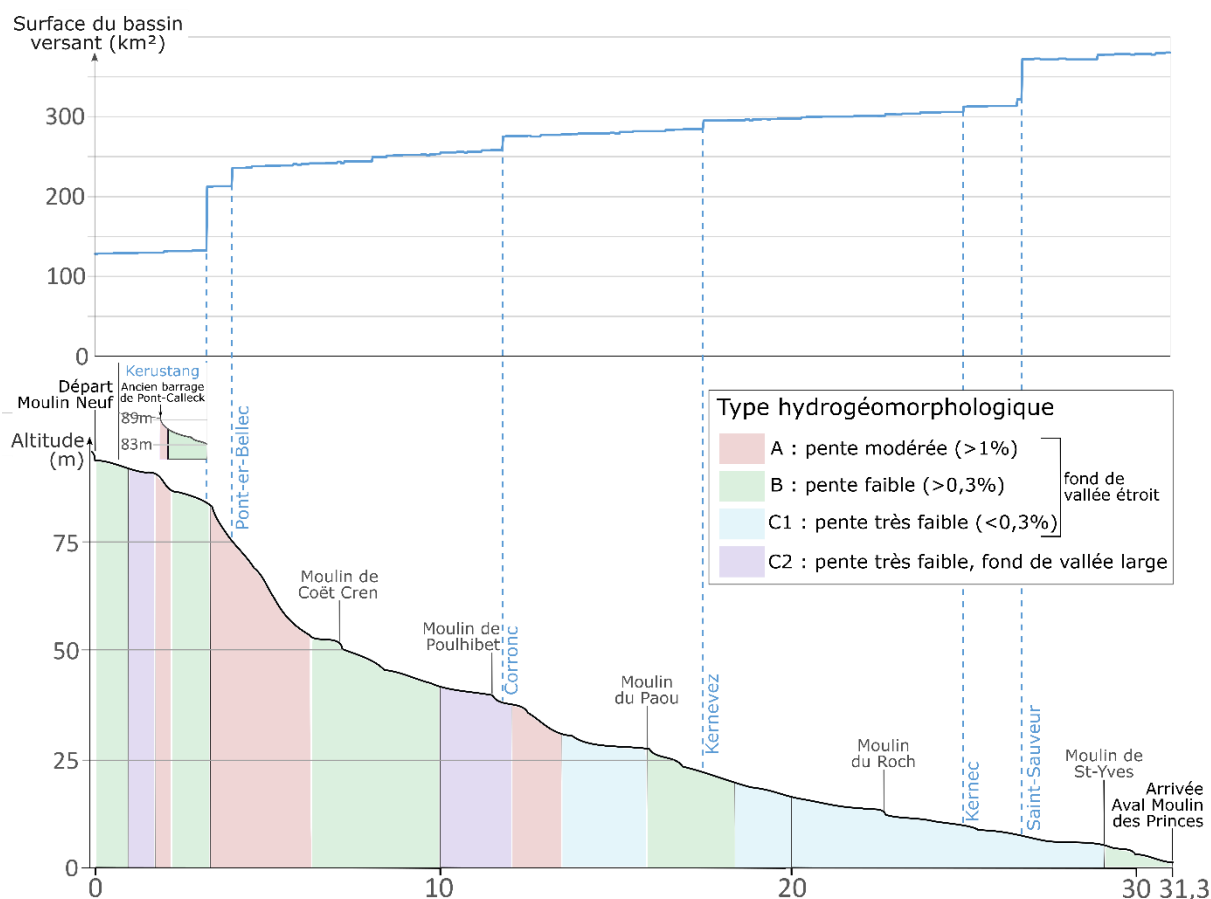


Figure 26. Découpage préalable du linéaire prospecté en tronçons géomorphologiquement homogènes.

Le secteur prospecté est considérablement aménagé. Malgré l’amélioration récente de la continuité écologique (Lasne et *al.*, 2015), les aménagements, bien que généralement partiellement ruinés, ont encore une influence importante sur les écoulements. Sept seuils — ou barrages — encore en bon état sont présents (fig.27). La confluence entre le Scorff et le Kerustang est d’ailleurs sous l’influence de la retenue de la pisciculture du Grayo. 42 pêcheries ont également été visuellement identifiées dans ce secteur (*e.g.* fig.21.B.C). Plusieurs ouvrages ont néanmoins récemment été ouverts, comme déjà évoqué précédemment, notamment le barrage de Pont-Calleck sur le Kerustang (fig.27).

b) Contexte de l’arpentage de terrain

L’arpentage, effectué d’aval en amont, a nécessité 11 jours complets du 13 juin au 30 juin 2023, le rythme étant de 3 km de faciès cartographiés par jour. Les relevés ont nécessité un à deux opérateurs, pour un gain de productivité de 50% entre la première situation et la seconde. Le premier opérateur se positionne généralement au milieu du chenal et saisit les caractéristiques de chaque faciès — et autres variables — sur une tablette de terrain couplée à une antenne GPS différentielle Trimble R2. Il est également muni d’une perche en bois

permettant de tester les sédiments du fond du lit ou la profondeur de l'eau (fig.28.A). Le second opérateur reste sur les berges, mesure les largeurs pleins bords au télémètre laser et prospecte les berges (fig.28.C). Pendant toute la période de relevés, c'est le même opérateur qui validait, en fin de processus, les données à renseigner, pour éviter les biais d'observation.

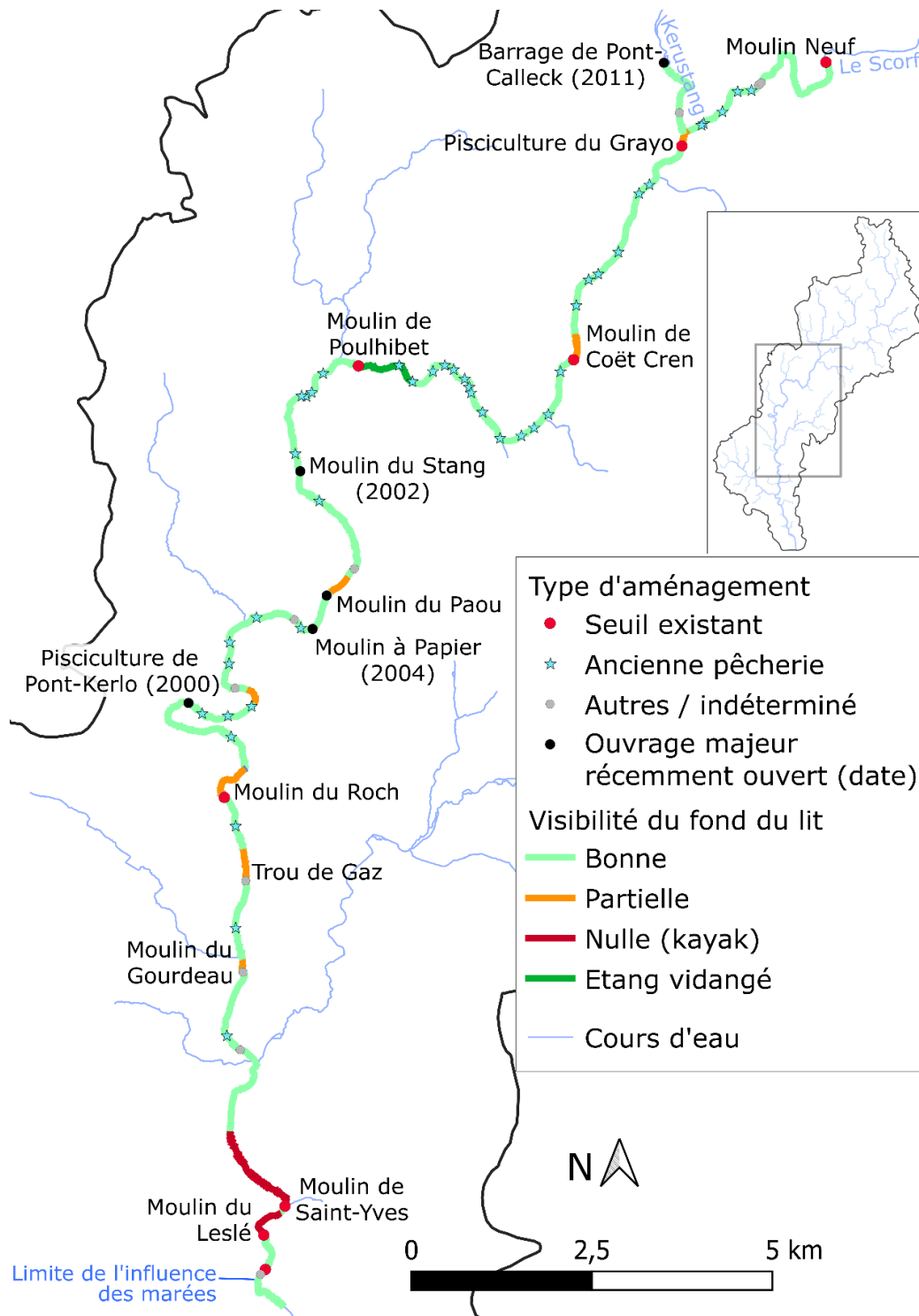


Figure 27. Aménagements présents et visibilité associée sur le linéaire arpenté.

Cet arpentage a été réalisé en waders de pêche dans des conditions de bonne visibilité du fond du lit. En revanche, au-delà d'une profondeur d'1m — ce qui était le cas dans de nombreuses retenues en amont d'ouvrages —, cette visibilité décroissait rapidement et il devenait impossible d'arpenter le chenal. La confiance accordée aux relevés de certaines zones est donc moindre (fig.27). En revanche, lors de l'arpentage, le moulin de Poulhibet, le second



Figure 28. A. Relevé des points GPS par le premier opérateur à l'aide de l'antenne réceptrice R2 Trimble. B. Arpentage en kayak dans le secteur du moulin de Saint-Yves. C. Prospection de berges par le second opérateur dans le secteur Sainte-Anne.

plus important du Scorff en termes de longueur de la retenue à l'amont, avait ouvert ses vannes donc la retenue présente la majeure partie de l'année en amont du seuil était vidangée (fig.27). La visibilité y a donc été exceptionnelle alors que ce secteur n'avait pu être prospecté par Saget (2011). A l'inverse, deux retenues en aval — la retenue de St-Yves et du Leslé — n'offraient aucune visibilité. Elles ont donc été arpentées en kayak en utilisant la pagaie pour prendre connaissance de la granularité du fond du lit (fig.28.B).

Avec un débit journalier de $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ le 13 juin et de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ le 30 juin, le débit était faible comparé à une moyenne de mois de juin — $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce dernier était comparable au débit mensuel moyen minimum — $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ en août —, débit optimal d'après Malavoi et Souchon (2002) pour effectuer des relevés de faciès. En revanche, les relevés ont été interrompus 3 jours à la suite d'un orage très localisé ayant concerné la partie amont du bassin versant et ayant fait monter temporairement le débit à $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig.29). Au cours de l'année hydrologique 2022-2023, le débit de crue biennale a été atteint et dépassé 10 jours en décembre et janvier (fig.29). Il s'agit de la saison de hautes eaux avec les plus hauts débits depuis 2013-2014, restant néanmoins bien en-deçà de cette dernière et de 2000-2001. L'année précédente (2021-2022) avait été exceptionnellement sèche.

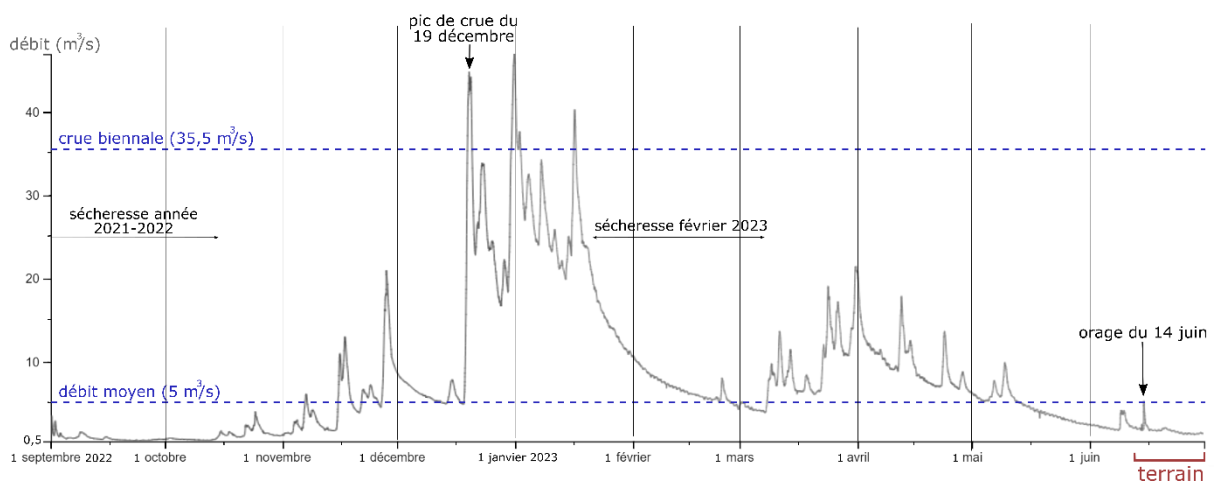


Figure 29. Contexte hydrologique ayant précédé l'arpentage de terrain (Hydroportail, 2023).

c) Description des relevés effectués

Parmi les différentes mesures qu'il était possible de réaliser afin de comprendre la répartition de l'ensablement sur le linéaire, ce sont les relevés visuels des faciès d'écoulement (Malavoi et Souchon, 2002) — accompagnés d'un relevé rapide d'autres variables pouvant expliquer les dépôts sableux — qui ont été choisis. En effet, cette méthodologie permet de renseigner un linéaire long de plusieurs km de manière exhaustive en une journée.

Les faciès hydro-sédimentaires ainsi que les différents éléments pouvant expliquer la présence de sables ont été relevés par une série de points GPS de résolution métrique — correspondant chacun à l'extrémité aval d'un faciès. Pour chacun d'entre eux, les informations suivantes ont été renseignées dans une grille après appréciation visuelle (Annexe 1) :

- Le faciès d'écoulement majoritaire, les faciès représentant des unités fluviales aux conditions hydrodynamiques homogènes (Malavoi, 1989). Ils se caractérisent par une vitesse du courant et une profondeur d'eau pour un niveau d'étiage moyen (Malavoi et Souchon, 2002). Ont ainsi été distinguées pour cette étude 6 grandes classes de faciès, d'après un protocole adapté de Champigneulle (1978). Ce dernier a été choisi car il est utile pour des comparaisons biologiques, ayant notamment été utilisé par Claude (1996) et Saget (2011) dans un but de quantification des habitats favorables aux juvéniles de saumon sur le Scorff. Il reste néanmoins proche de celui de Malavoi et Souchon (2002) (fig.30).

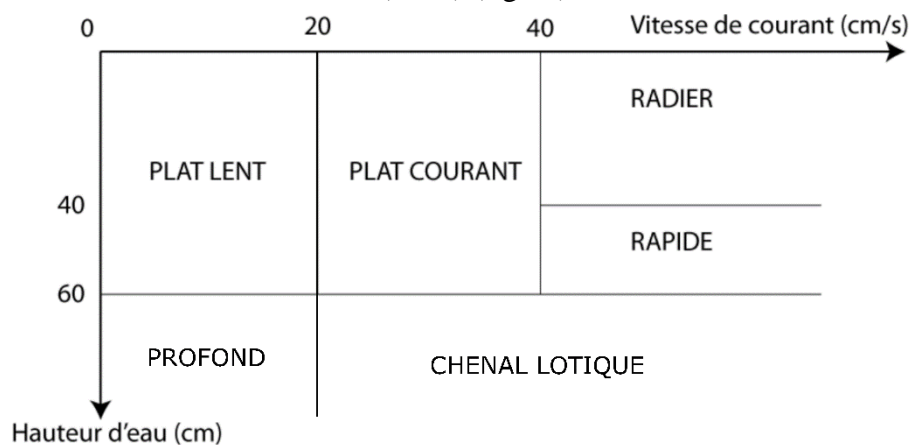


Figure 30. Clé de détermination des faciès d'écoulement utilisés.
Repris et complété d'après Champigneulle (1978).

- Le taux d'ensablement superficiel du lit, déjà renseigné par plusieurs études sur le Scorff et d'autres cours d'eau (Grosprêtre, 2011 ; Syndicat Mixte des milieux aquatiques et des rivières, 2008 ; Saget 2011). 4 classes d'ensablement ont été définies (tab.1). Le seuil de 80% avait déjà été utilisé par Grosprêtre (2011) pour distinguer un tronçon non-ensablé d'un tronçon ensablé. Une limite de classe à 40% a été ajoutée dans cette étude pour gagner en précision.

Table 1. Classes de recouvrement sableux adoptées.

Classe de recouvrement sableux	Part du lit recouverte
Pas recouvert	0 - 5%
Peu recouvert	5 - 40%
Assez recouvert	40 - 80%
Très recouvert	80 - 100%

- Les différentes classes de taille de sédiments observables dans le lit. L'objectif de ce relevé était d'avoir une information sur la présence de sédiments autres que les sables — notamment dans la mesure où la lamproie marine dépend fortement de la présence de substrats caillouteux et pierreux pour sa phase reproductive. Une échelle de Wentworth (2022) simplifiée a été utilisée à cet effet (tab.2). Les classes granulométriques identifiées ont été notées dans l'ordre, de celle ayant le taux de recouvrement superficiel du lit le plus élevé à celle ayant le taux de recouvrement le moins élevé — toutes ces appréciations ayant été faites de manière visuelle. 4 classes granulométriques maximum ont été renseignées par faciès d'écoulement. La quantification n'a pas été envisagée par contrainte de temps.

Table 2. Classification simplifiée de Wentworth (1922) utilisée.

Classe granulométrique	Taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)
Vase	< 0,625
Sable	0,625 – 2
Gravier	2 – 16
Caillou	16 – 64
Pierre	64 – 256
Bloc / rocher	> 256

- Le taux de recouvrement du lit en renoncules à pinceau, déjà renseigné sur le Scorff par Claude (1996) et Saget (2011) et réparti en 4 classes (tab.3).

Table 3. Classes de recouvrement du lit par la renoncule à pinceaux. D'après Claude (1996) et Saget (2011).

Présence en macrophytes	Recouvrement de la surface en eau
Très abondant TA	50% et plus
Abondant A	30 à 50%
Moyennement Abondant MA	< à 30%
Absence 0	0

- La largeur pleins bords au niveau du faciès, déterminée au télémètre laser. Pour les faciès longs de plus de 50 m, plusieurs mesures étaient effectuées — en amont, dans la partie médiane et en aval du faciès — et moyennées.

- La présence de bois encombrant le lit du cours d'eau. Cette variable a été renseignée qualitativement en trois classes. Si aucun bois n'était observé, la modalité « pas_bois » était mentionnée. La modalité « bois isolés » était renseignée dès lors qu'était observée la présence

de bois de taille conséquente dans le lit. La modalité « bois multiples » était quant à elle saisie en cas de présence d’embâcle ayant un effet important sur la dynamique du cours d’eau — pouvant favoriser notamment les dépôts sableux en aval.

- La présence de gros rochers (> 500 mm de diamètre), en trois classes similaires à la variable précédentes. La modalité « rochers isolés » était renseignée lorsque ces derniers étaient bien espacés, alors que « rochers multiples » l’était en cas de chaos granitique.

- La présence de berge érodée à dominante sableuse pouvant alimenter le cours d’eau en sables. Testée à la main, la granularité s’est néanmoins révélée presque toujours limono-argileuse. Cette variable n’a plus été considérée par la suite.

- La présence de zones d’abreuvement de bovins sur les berges. Compte tenu de leur faible nombre observé dans la zone d’étude, elle n’a pas non plus été considérée par la suite.

Chacune de ces variables — hormis la largeur, la présence des classes de sédiments dans le lit et le taux de recouvrement en renoncules — a été considérée comme facteur discriminant de changement de faciès, et donc de création d’un nouveau point GPS. Plusieurs faciès peuvent également coexister sur une même section du cours d’eau, notamment en présence d’île (Malavoi et Souchon, 2002). Dans ce cas, chacun de ces faciès était renseigné en créant un point GPS pour chacun.

3) Traitement des données récoltées sur le terrain

Une fois les informations précédemment détaillées récoltées sur le terrain, les données, d’abord attribuées à une série de points GPS, ont dû être attribuées à des micro-tronçons de même longueur (20 m), afin de pouvoir effectuer des traitements statistiques.

a) Transformation de la donnée brute en tronçons statistiquement comparables

L’ensemble des points GPS récoltés ont d’abord été corrigés géométriquement en x, y et en z avec le logiciel GPS Pathfinder Office. Le principe de ce post-traitement était d’utiliser la position relative de l’antenne vis-à-vis de stations de référence environnantes dont les coordonnées sont connues très précisément, afin d’affiner la précision. La précision métrique a donc été améliorée pour atteindre 20 cm.

Les points GPS ont été accrochés sur un système d’information géographique à la ligne médiane du cours d’eau (fig.31.A). La ligne a ensuite été séparée en plusieurs parties au niveau des points. Les données associées aux points ont ensuite été affectées aux lignes, permettant d’obtenir une première cartographie des faciès (fig.31.B). Les faciès doubles ont ensuite été

fusionnés à la main, les nouveaux faciès obtenus correspondant à la moyenne — pour les variables quantitatives — et à la majorité — pour les variables qualitatives — entre les deux précédents. Afin d’avoir des individus statistiques comparables, de nouveaux micro-tronçons d’égale distance — 20m, correspondant à la largeur pleins bords moyenne — ont ensuite été créés. Ce type de segmentation avait déjà été utilisé en hydromorphologie (e.g. Rollet, 2007 ; Grosprêtre, 2011). Le faciès majoritaire a alors été attribué à chacun de ces tronçons (fig.31.C).

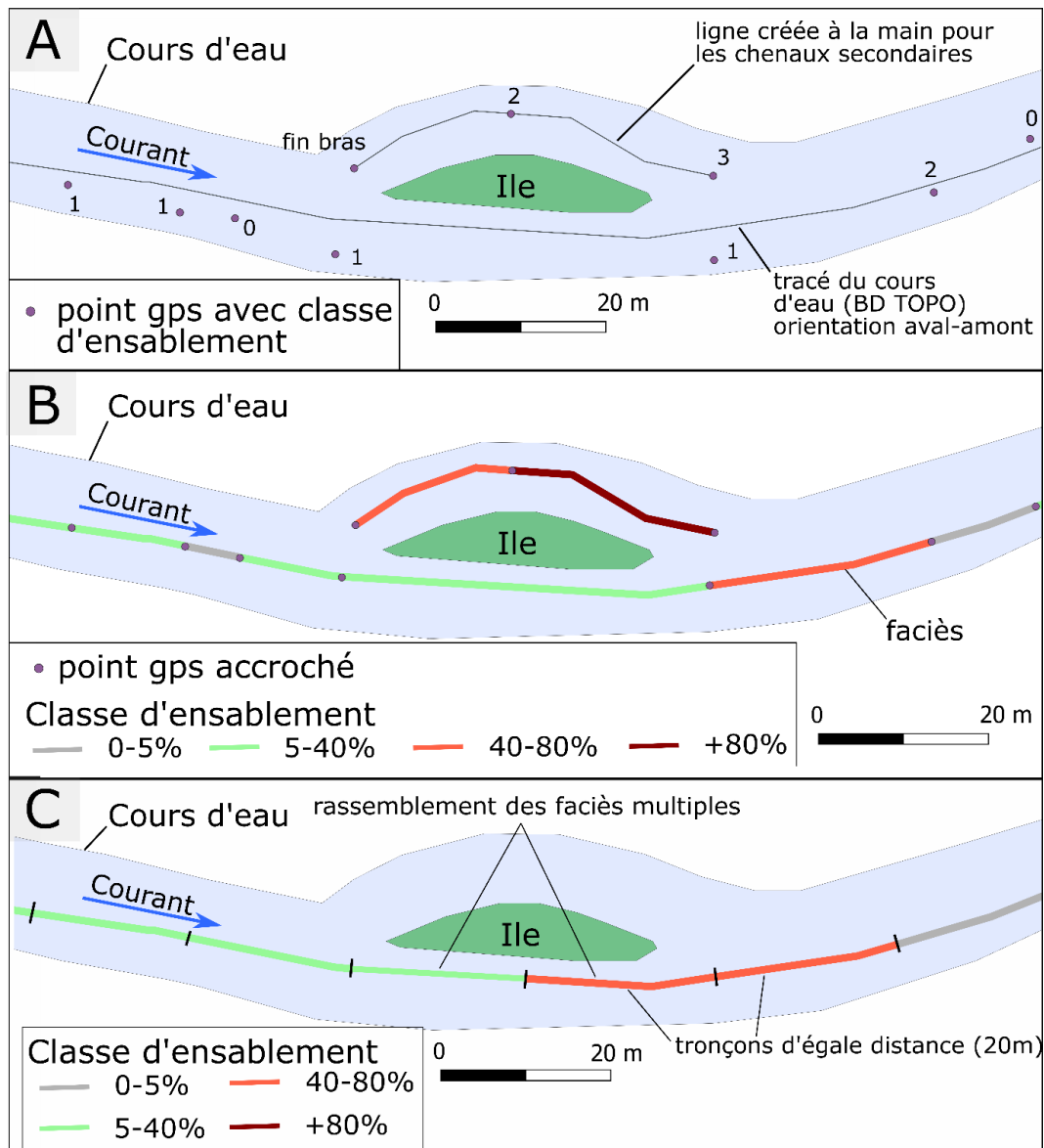


Figure 31. Différentes étapes du traitement des données de terrain. A. Import des points GPS sur un système d’information géographique. B. Accrochage des points et affectation de leurs valeurs aux tronçons supérieurs. C. Rassemblement des faciès multiples et construction de micro-tronçons d’égale distance (20 m) statistiquement comparables.

La base de données de Saget (2011), récoltée pendant l'été 2010 et couvrant la quasi-intégralité de la zone d'étude, a ensuite été traitée avec la même méthodologie afin de pouvoir observer les évolutions du taux d'ensablement entre les deux dates. Certains secteurs du Scorff n'avaient pu être prospectés en raison de la mauvaise visibilité du fond du lit et ont donc été exclus de la comparaison.

b) Traitement des données de granularité

Les données de granularité du lit étaient initialement récoltées sous forme d'une liste des classes granulométriques présentes, notées dans l'ordre décroissant de leur taux de recouvrement de la surface du lit. Elles ont été réorganisées sur R en 6 colonnes — une pour chaque classe de taille. Chacune d'elle renseigne le rang de la classe de taille donnée. A titre d'exemple, en cas de dominance de sables, la valeur 4 était attribuée à cette classe granulométrique. La valeur 3 lui était attribuée si elle était la deuxième classe granulométrique la plus recouvrante, et ainsi de suite. Si la classe granulométrique n'avait pas été observée au droit du faciès, la valeur 0 lui était attribuée. Cette réorganisation a permis le traitement statistique de ces données.

4) Analyse statistique des données

Afin de déterminer l'importance relative des différentes variables dans la répartition de l'ensablement, des traitements statistiques ont été effectués sur un grand nombre d'entre elles.

a) Attribution d'autres variables pouvant expliquer l'ensablement aux micro-trançons

Afin d'enrichir la compréhension de l'ensablement et préparer l'analyse statistique, plusieurs variables ont été attribuées aux micro-trançons de 20m en plus de celles récoltées sur le terrain :

- L'influence éventuelle d'un obstacle transversal. Si le micro-trançon était sous l'influence d'un obstacle situé à l'aval, la modalité « amont de seuil » ou « amont de pêcherie ou de seuil partiellement détruit » était renseignée à la main de l'ouvrage jusqu'au premier faciès lotique en amont, en fonction du type d'ouvrage. La modalité « aval ouvrage » était quant à elle attribuée au premier micro-trançon en aval d'un ouvrage.

- La présence d'île. Sur les micro-trançons situés au niveau des îles identifiées sur le terrain, la modalité « présence d'île » a été renseignée.

- Le nombre de frayères de lamproie marine comptées en 2023 — et entre 2009 et 2022 — par l'INRAE au niveau de chaque micro-trançon.

- La surface du bassin versant correspondante au micro-tronçon (en km²).

- Un indice de présence de la granulométrie caillouteuse et pierreuse (substrats favorables à la reproduction de la lamproie marine). Cet indice correspond à la valeur maximale attribuée aux classes pierreuses et caillouteuse, dont le calcul est détaillé précédemment (c.f. §3b). A titre d'exemple, si la granularité du micro-tronçon se caractérisait par une dominance de pierres (valeur 4) mais pas de présence de cailloux (valeur 0), l'indice prenait tout de même la valeur 4.

- La pente de la ligne d'eau (en m/m), obtenue à partir de données LIDAR de résolution 1m (IGN RGE Alti, 2022). Cette dernière a été calculée à l'échelle de tronçons de 100 m puis affectée aux micro-tronçons de 20 m, afin d'effacer les imperfections du produit sur des distances courtes.

- La puissance spécifique à pleins bords, pour nuancer l'effet de la simple pente. Cette dernière représente mieux la capacité de mobilisation de ses sédiments par un cours d'eau (Petit et al., 2005) :

$$\omega = (\rho g Q S) / w$$

où ω est la puissance spécifique à pleins bords (W/m²), ρ est la densité de l'eau (en kg/m³), Q le débit à pleins bords (m³/s), S la pente longitudinale (m/m) et w la largeur à pleins bords (m).

A pente égale, la capacité de transport peut ainsi être bien moins importante en amont qu'en aval — où les débits sont plus élevés. Les débits à pleins bords ont été estimés grâce à une relation surface de bassin versant / débit de crue biennale (fig.32) — souvent utilisée pour

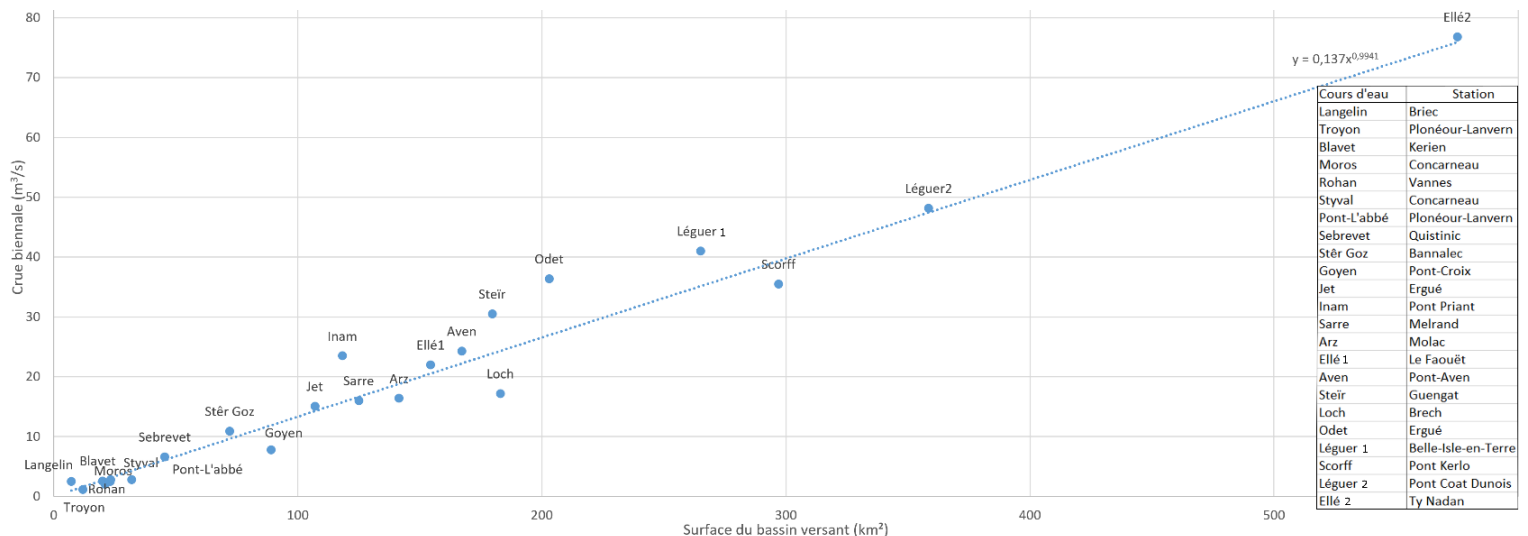


Figure 32. Relation entre la surface du bassin versant et le débit de crue biennale des 23 bassins ouest-armoricains sélectionnés, avec le nom des différentes stations utilisées (Hydroportail, 2023).

l'approcher (*e.g.* Maire *et al.*, 2003). 23 stations de bassins versants sud et ouest-Armoricains aux caractéristiques géologiques similaires au Scorff ont été utilisées à cet effet, donnant une relation quasi-linéaire (Hydroportail, 2023 ; fig.32).

- La production sableuse potentielle (t/km²/an) en amont, issue de la première partie de ce travail. Cette variable a été renseignée à la main sur les tronçons, évoluant entre chaque confluence majeure.

- Le taux de cours d'eau traversant une prairie et non protégé par de la ripisylve en amont (m/km²), renseigné de la même manière que le précédent paramètre.

b) Construction de secteurs géomorphologiquement homogènes

Afin d'élargir l'échelle d'analyse, des secteurs géomorphologiquement homogènes ont été construits avec une méthodologie comparable à celle de Rollet (2007). Les micro-tronçons de 20m ont été d'abord regroupés en 4 classes homogènes par une classification ascendante hiérarchique effectuée sur les résultats d'une analyse en composantes principales réalisée sur R (STHDA, 2017 ; fig.33.B). Les trois variables utilisées sont la pente, la largeur pleins bords et le taux d'ensablement — considérée comme une variable quantitative discrète. Le nombre de classes retenues a été de 4 afin de maximiser l'inertie (fig.33.A).

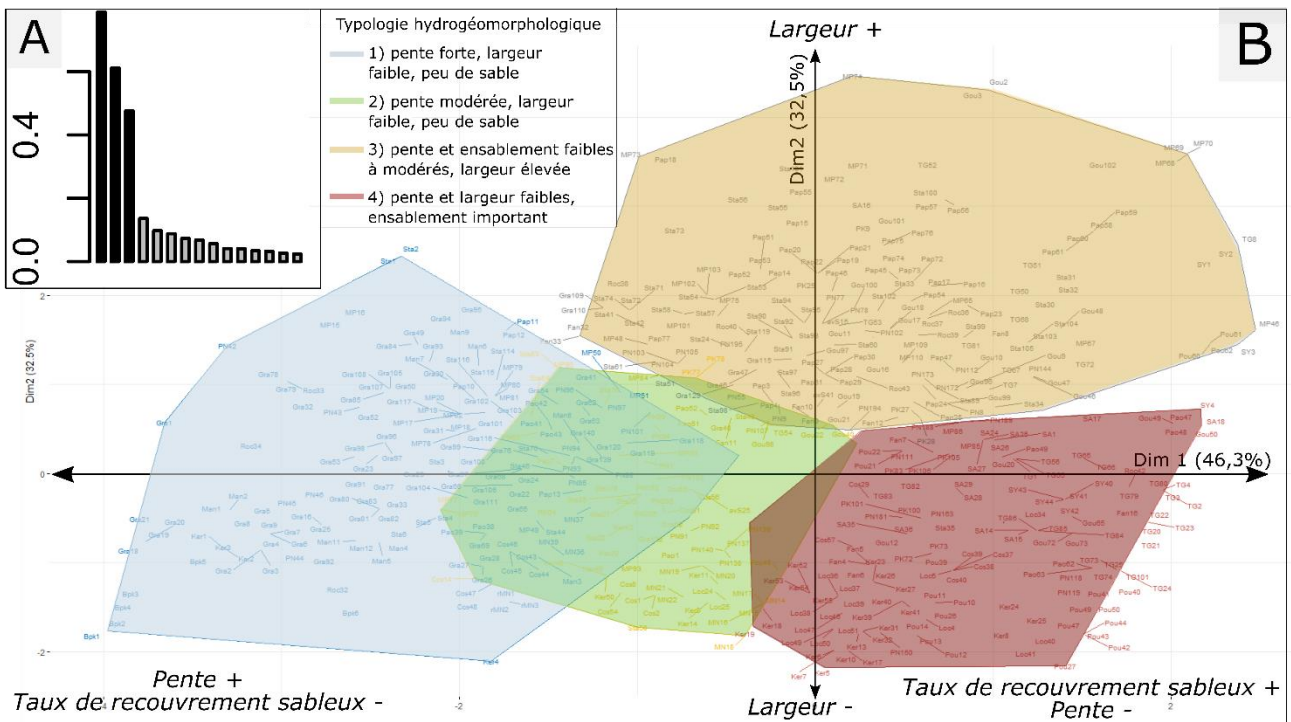


Figure 33. A. Inertie de la CAH réalisée sur les 1627 micro-tronçons. B. Clusters de micro-tronçons dessinés sur le plan factoriel des deux premiers axes de l'ACP.

Des secteurs géomorphologiquement homogènes, représentés par la dominance d'un type ou l'alternance de 2 types de micro-tronçons, ont ensuite été déterminés à la main, permettant d'obtenir un total de 18 secteurs constituant une nouvelle échelle d'analyse (fig.34). Une longueur minimale de 800 m a été considérée pour effectuer ce découpage. Cette segmentation ne doit néanmoins pas être confondue avec la typologie hydromorphologique réalisée préalablement à l'étude de terrain (types A, B, C1 et C2, *c.f.* §2a), construite à partir de la pente et de la largeur du fond de vallée, uniquement dans le but de tester si la présence de sables répondait aux variables de contrôle naturelles.

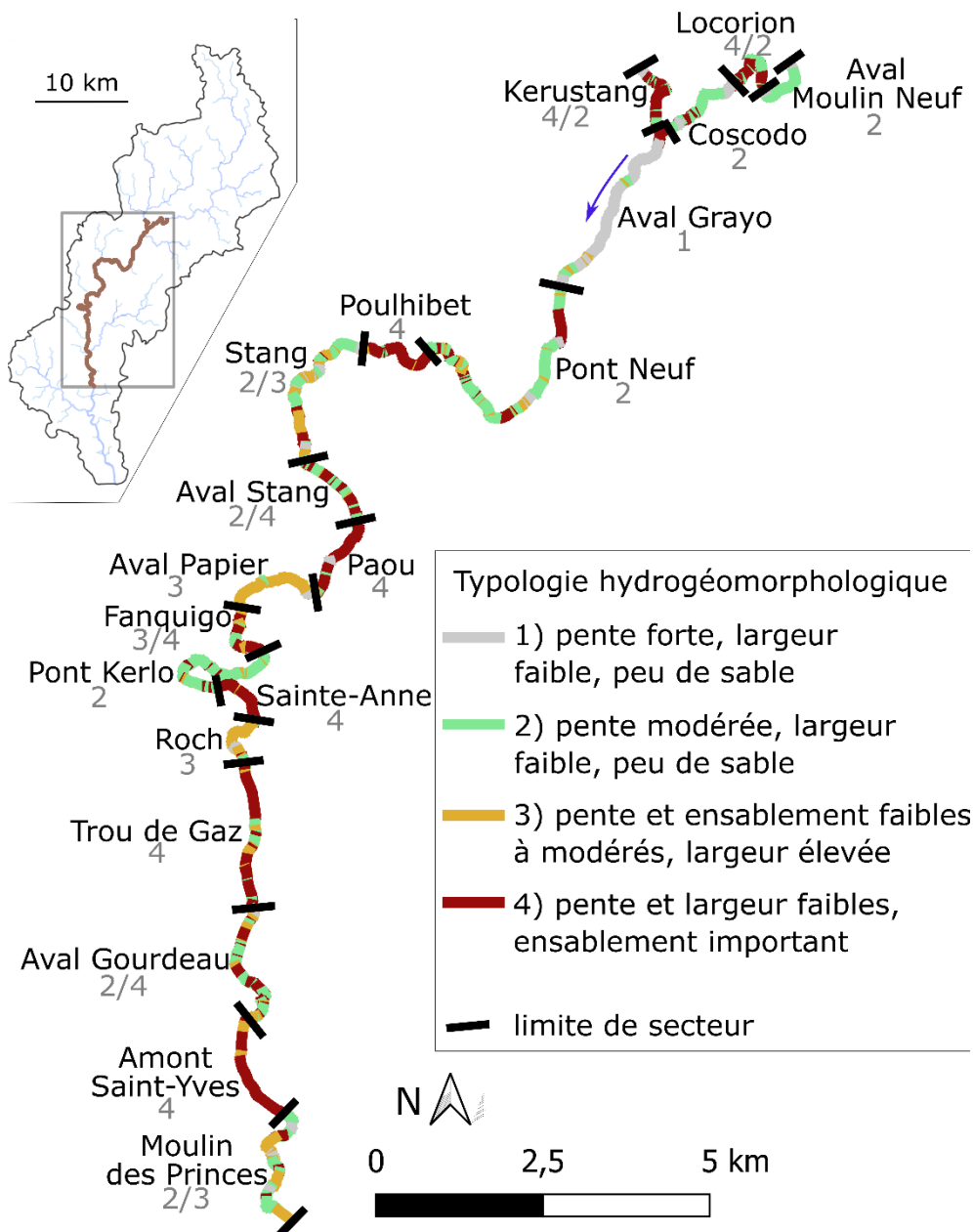


Figure 34. Découpage et caractéristiques des secteurs géomorphologiquement homogènes construits.

- c) Réalisation d'une analyse factorielle de données mixtes (AFDM) pour déterminer les principaux facteurs influençant la répartition des dépôts sableux

Pour mettre en relation les différentes variables de réponse et de contrôle précédemment récoltées, une AFDM a été réalisée — avec les 1627 micro-tronçons de 20 m comme individus statistiques (Le et al., 2008 ; STHDA, 2017). Les analyses factorielles ont déjà été utilisées en hydromorphologie (*e.g.* Grosprêtre, 2011 pour étudier la relation urbanisation / incision). 11 variables quantitatives et 12 variables qualitatives ont été retenues (tab.4). Les modalités et classes des variables sont détaillées en annexe (Annexe 2).

Table 4. Variables utilisées pour l'analyse factorielle de données mixtes.

	Type	Variable	Source
Variables explicatives	Qualitative	faciès d'écoulement	terrain
		présence de bois / embâcles dans le lit	
		présence de rochers dans le lit	
		influence d'un ouvrage	
		présence d'île	
	Quantitative continue	largeur pleins bords (m)	terrain & IGN MNT RGE Alti, 2022
		pente (m/m)	
puissance spécifique (w/m ²)		terrain & Hydroportail, 2023	
surface du bassin versant (km ²)		IGN MNT RGE Alti, 2022	
Variables explicatives et à expliquer	Quantitative discrète	production spécifique de sable en amont (t/km ² /an)	étude préliminaire au terrain
		taux d'absence de ripisylve en amont (m/km ²)	
Variables à expliquer	Quantitative discrète	classe d'ensablement	terrain
		classe de recouvrement en macrophytes	
Variables à expliquer	Quantitative discrète	abondance relative en caillou/pierre dans le lit	INRAE U3E
		nombre de frayères 2023	
		nombre total de frayères 2009-2022	

En raison du nombre important de variables, l'inertie — autrement dit, la part de la variance totale expliquée par les composantes — s'est révélée faible, même pour les premières composantes (fig.35). Les axes 1,2, 5 et 7, auxquels le taux d'ensablement contribuait de

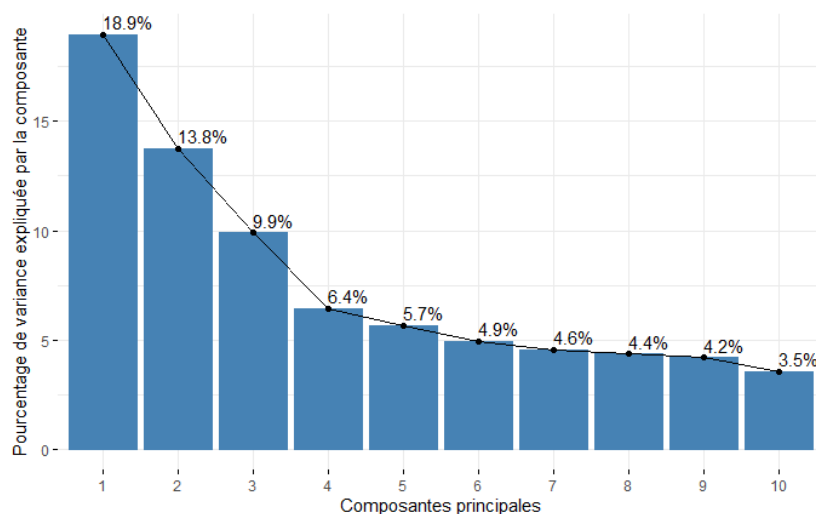


Figure 35. Inertie des différentes composantes de l'AFDM effectuée.

manière significative ($> 3,5\%$ des contributions relatives et $> 15\%$ du \cos^2) ont été commentés en priorité. Les axes 3,4 et 6 ont été commentés plus succinctement. L'analyse de ces 7 premiers axes a permis de considérer 2/3 de la variance totale du jeu de données (fig.35).

Des relations bivariées plus simples entre l'ensablement et ses variables explicatives ont également été explorées à travers l'analyse visuelle de graphiques en barres ou de boîtes à moustaches.

5) Relation entre l'ensablement et la répartition des frayères de lamproie marine

Afin de mieux comprendre les préférences en termes d'habitats de la lamproie marine dans le bassin versant du Scorff, les données ont ensuite été analysées à partir des frayères et non plus des micro-tronçons de 20m. Les données utilisées sont une série de points GPS récoltés par l'INRAE sur la période 2009-2023 — 2012 étant manquante. Chacun d'entre eux correspond à une frayère. Les données récoltées entre 1994 et 2002, correspondant à un comptage des frayères par tronçon et susceptibles d'être trop influencées par la présence de l'ancien barrage de Pont-Kerlo, ont été retirées.

L'habitat des zones de reproduction a tout d'abord été caractérisé à l'échelle du faciès même, en croisant les données de frayères et les informations récoltées sur le terrain.

La répartition des frayères en 2023 a ensuite été comparée à celle de 2010, en la croisant avec l'évolution de l'ensablement à l'échelle des secteurs géomorphologiquement homogènes. Les deux années ont connu un nombre de frayères sensiblement similaire — respectivement 481 et 471. Les conditions de débit de printemps y ont également été similaires, hormis début mai pour lequel les débits de 2010 ont été plus faibles qu'en 2023 (Hydroportail, 2023). De bonnes conditions de débit sur la période de montaison sont par ailleurs connues pour être favorables à la remontée des lamproie (*e.g.* Almeida et *al.*, 2002). En revanche, l'année 2022-2023 a été précédée par une année 2021-2022 de sécheresse hydrologique record en France et en Bretagne, ce qui a pu occasionner une baisse d'effectif de frayères en 2023.

Enfin, l'environnement de chaque frayère a été caractérisé à l'échelle de zones tampons d'un rayon correspondant à 3,5 fois la largeur pleins bords locale, qui ont ainsi été tracées autour de chaque frayère. Cette longueur a été choisie car elle correspond peu ou prou à la longueur d'une séquence de faciès d'après Malavoi et Souchon (2002).

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur ces zones tampons, pour caractériser les environnements des frayères de lamproie marine et comprendre quels

étaient les habitats où elles se concentraient. Pour cette analyse, chaque frayère était un individu statistique, et 7 métriques différentes ont été calculées (tab.5) :

- Le nombre de frayères présentes dans la zone tampon est la principale variable à expliquer.
- La part en pourcentage de faciès plat courant et radier au sein de la zone tampon.
- Un indice d'équitabilité de Piélu (1966) adapté, qui correspond à une mesure de diversité, a été appliqué à la granularité du substrat présent dans le lit. Il varie entre 0 — dominance d'une seule classe — et 1 — présence équitable de toutes les classes — et est défini par :

$$J = \frac{H}{H_{max}} = \frac{-\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i}{\log_2(S)}$$

où p_i représente la proportion d'occurrences totale de la classe granulométrique i dans la zone tampon divisé par le nombre total d'occurrences de toutes les classes granulométriques et H_{max} correspond à la valeur de la diversité théorique maximale, où $S=6$ est la richesse totale en classes granulométriques. L'indice calculé diffère de l'indice originel dans la mesure où la valeur de S est fixée.

- Le taux de recouvrement sableux moyen dans la zone tampon (en %).
- La surface du bassin versant (km²).
- La part (en %) de surface de la zone tampon où les granulométries pierreuse et sableuse sont dominantes (*i.e.*, premières en taux de recouvrement du lit).
- La part (en %) de surface où la granulométrie pierreuse et caillouteuse est secondaire (*i.e.*, seconde à quatrième en abondance relative).

Table 5. Variables utilisées pour l'ACP de caractérisation des environnements des frayères.

Variable	Source
Indice d'équitabilité de Piélu	terrain
% de radier / plat courant dans le buffer	
taux d'ensablement moyen dans le buffer	
% de dominance de pierres / cailloux dans le buffer	
% du buffer avec pierres /cailloux en granulométrie secondaire	
surface du bassin versant (km ²)	IGN MNT RGE Alti, 2022
nombre de frayères environnantes dans le buffer	INRAE U3E

Les deux premiers axes, permettant de retenir les 2/3 de l'inertie totale, ont été retenus pour analyse et interprétation.

L'ensemble des échelles d'analyse utilisées dans la présente étude est détaillé ci-dessous (fig.36). Les résultats obtenus sont exposés dans le chapitre suivant.

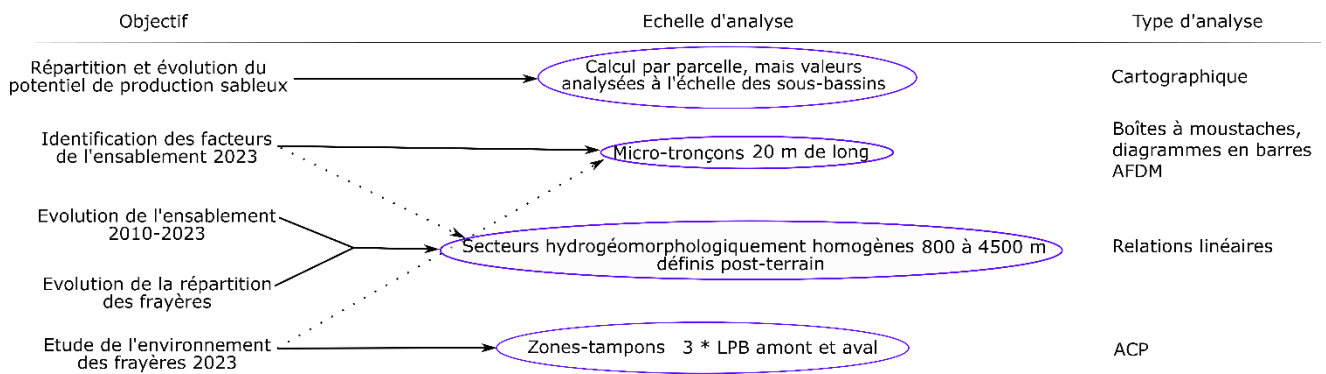


Figure 36. Synthèse des différentes échelles d'analyse utilisées.

Chapitre 4 — Résultats

Ce chapitre expose les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sur les facteurs, dynamiques spatiales — et effets sur les habitats de reproduction de la lamproie marine — de l'ensablement et du sur-ensablement dans le bassin versant du Scorff. Il s'attache d'abord à présenter la répartition et l'évolution du potentiel de production sableuse dans le bassin versant (1). Il décrit ensuite la répartition des dépôts sableux sur le linéaire aval, en hiérarchisant les facteurs intervenant dans cette répartition. L'évolution de cet ensablement depuis 2010 est également abordée (2). Les relations entre ce dernier et la répartition des frayères de lamproie marine sont enfin étudiées, aussi bien à l'instant t que depuis 2010 (3).

1) Répartition et évolution du potentiel de production sableuse

Dans cette première sous-partie, les résultats de l'équation universelle de pertes en sols et l'évolution du potentiel de production sableuse depuis 2002 sont exposés, à l'échelle des sous-bassins versants.

a) Un potentiel de production sableuse concentré sur des affluents en amont du bassin

L'équation universelle de pertes en sols appliquée à la classe granulométrique sableuse montre que la production sableuse potentielle de la totalité du bassin versant s'établit à 60 800 t/an — soit 1,27 t/ha/an en 2021. Les sables représentant 39% des sols en moyenne, les pertes en sol totales montent à 3,2 t/ha/an.

Ce potentiel de production est inégalement réparti entre les différents sous-bassins versants (fig.37.A). Dans le secteur du Haut-Scorff, les sous-bassins les plus soumis à l'érosion des sables sont le ruisseau de Kerlann, le ruisseau de Kerduel et, dans une moindre mesure, le ruisseau du Moulin du Pont-Houarn. Ces deux premiers sont susceptibles de produire plus d'1,9 t/ha/an. Parmi les affluents du Moyen-Scorff, le sous-bassin du ruisseau de Kerustang — lui-même constitué de plusieurs sous-bassins —, l'affluent le plus important en taille, présente également de forts risques d'érosion, notamment en amont (fig.37.A). Tous sédiments compris, c'est d'ailleurs ce même sous-bassin qui se détache nettement en termes de risque érosif. Plus en aval, le sous-bassin versant du Corronc (1,6 t/ha/an), caractérisé par de fortes pentes, se distingue. Les sous-bassins versants des petits affluents latéraux du Scorff présentent généralement des taux de production inférieurs à 1,6 t/ha/an, hormis dans le secteur courant de Pont-Kerlo à Tronchâteau. Au niveau du bas Scorff, deux sous-bassins du Saint-Sauveur présentent des valeurs élevées — mais ces derniers correspondent à une surface faible.

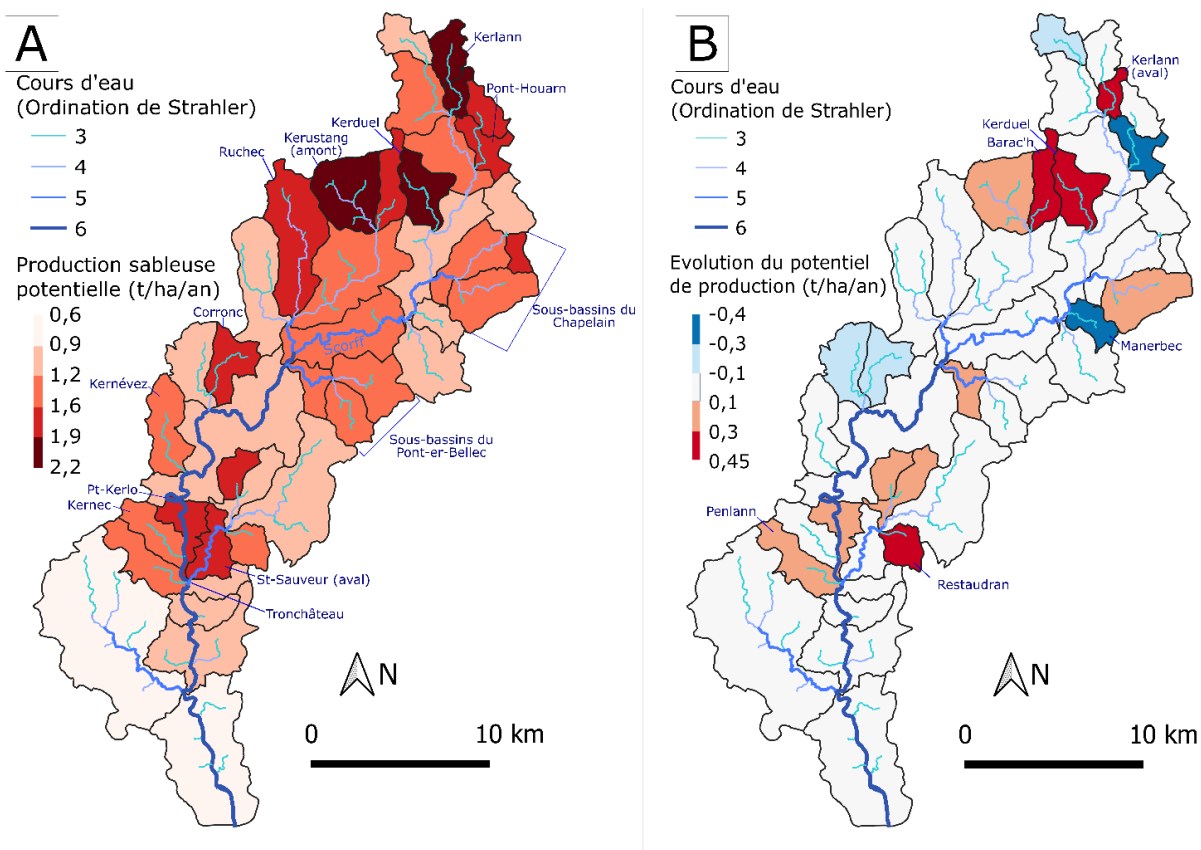


Figure 37. A. Potentiel de production sableuse spécifique par sous-bassin versant en 2021. B. Evolution de ce potentiel sur la période 2002-2021.

D'amont en aval, d'autres sous-bassins montrent des valeurs de potentiel de production modérées (1,2 à 1,6 t/ha/an), à l'instar de celui du Chapelain, du Pont-er-Bellec, de Kernévez, de Kerneç et de Penlann (fig.37.A). En aval, les bassins plus urbains du Scave et de l'Estuaire présentent des valeurs particulièrement faibles.

b) Une légère augmentation du potentiel de production sableuse entre 2002 et 2021

Entre 2002 et 2021, le taux de production sableuse potentielle a augmenté de 58 700 à 60 800 t/an, ce qui représente une hausse de 3,58% — et de 0,05 t/ha/an. Les sous-bassins versants qui ont subi la plus forte augmentation de ce potentiel sont souvent des sous-bassins dont la production potentielle est très élevée en 2021, à l'image du sous-bassin de Kerlann – aval, de Kerduel, de Barac'h qui ont connu une hausse de plus de 0,3 t/ha/an de potentiel (fig.37.B). Quelques sous-bassins de la partie aval connaissent également une hausse, à l'instar du ruisseau de Penlann et de plusieurs sous-bassins du Saint-Sauveur, mais celle-ci reste modérée — moins de 0,3 t/ha/an — ou localisée. En revanche, les sous-bassins du Corronc et de Pont-Houarn-aval, dont les potentiels sont élevés en 2021, ont connu une baisse avoisinant 0,3 t/ha/an, tout comme le sous-bassin du Manerbec (fig.37.B).

- c) Une sensibilité au transfert de particules sableuses concentrée dans le sous-bassin versant du Kerustang

La typologie prenant en compte le potentiel de production sableuse, la densité de haies en domaine agricole et le taux de linéaire de cours d'eau non protégé par de la ripisylve permet de mettre en valeur des sensibilités aux transferts sableux variables. Ainsi, les sous-bassins du Kerustang, de Kerduel et du Corronc (fig.38) ressortent de l'analyse du fait d'une faible densité de haies perpendiculaires à la pente — environ 1500 m/km² contre une moyenne totale de 2500 m/km²—, alors même que le potentiel de production sableuse y est élevé. L'aval et l'ouest du sous-bassin du Kerustang, ainsi que le secteur du Haut-Scorff autour de Guémené, sont quant à eux potentiellement producteurs car le taux de cours d'eau traversant des prairies avec absence de ripisylve y est élevé (fig.38).

Plusieurs sous-bassins au potentiel d'érosion sableuse élevé présentent un risque plus modéré de transfert de particules sableuses aux cours d'eau. En effet, ces derniers présentent des productions potentielles élevées (généralement plus de 1,6 t/ha/an) mais ont un maillage bocager assez dense, de plus de 2500 m/km². Le risque de transfert des particules sableuses aux

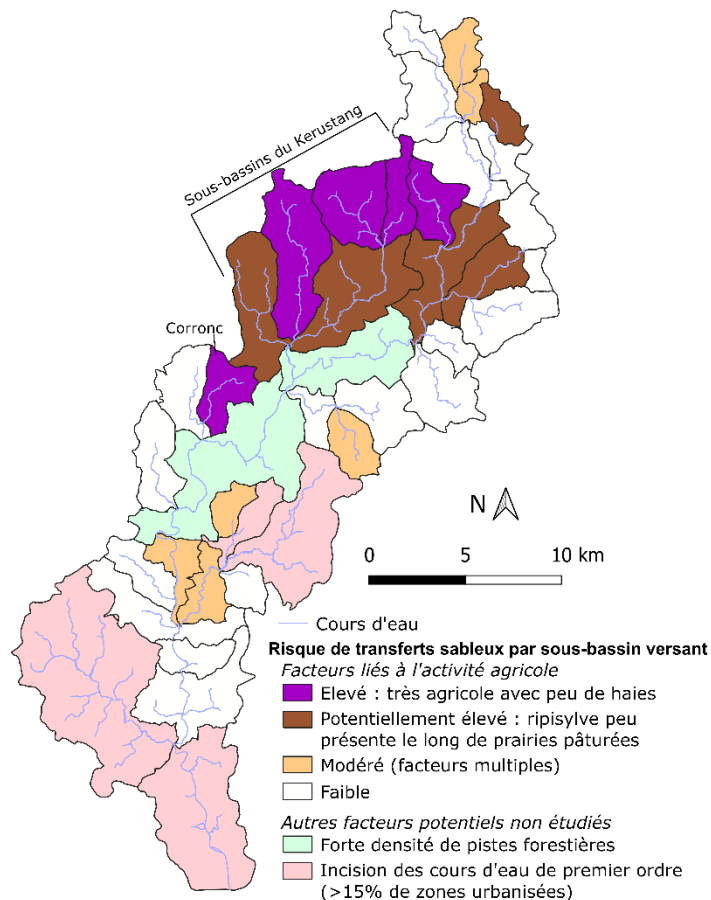


Figure 38. Typologie du risque de transferts sableux aux cours d'eau par sous-bassin versant.

cours d'eau s'en trouve ainsi diminué. Parmi ces sous-bassins figurent ceux du Kerlann (affluent du Haut-Scorff), des sous-affluents du Saint-Sauveur et du Pont-er-Bellec ainsi que les petits affluents du secteur Pont-Kerlo-Tronchâteau (fig.38).

Même s'ils ont été peu explorés dans cette étude, d'autres facteurs sont susceptibles d'occasionner un sur-ensablement au sein de plusieurs sous-bassins, comme l'incision due à l'urbanisation autour des agglomérations de Lorient et Plouay ou l'érosion de pistes forestières près de la partie médiane du cours principal, où leur densité est deux fois plus élevée que dans le reste du bassin (fig.38).

2) Facteurs de contrôle et évolution de l'ensablement le long du linéaire

Cette sous-partie s'attache à hiérarchiser les facteurs explorés selon leur importance dans la répartition des sédiments sableux. Les facteurs de contrôle qui sont le plus ressortis sont d'abord exposés (a). Les résultats de l'AFDM sont ensuite exposés pour mettre en évidence les facteurs jouant secondairement sur cette répartition (b). L'échelle d'analyse est élargie aux secteurs homogènes (c), servant ensuite à analyser l'évolution de l'ensablement depuis 2010 (d).

a) Un ensablement principalement contrôlé par la pente et les ouvrages

L'arpentage de terrain entre le Moulin Neuf et Pont-Scorff a permis d'observer que 6% des faciès d'écoulement observés ne sont pas recouverts de sables, 53% en sont légèrement recouverts (5-40% de recouvrement), 27% sont assez recouverts (40-80%) et plus de 13% le sont quasi-totalement ou totalement (+ de 80%).

Les faciès lenticques sont de loin les plus recouverts, notamment les profonds (fig.39). En effet, 35% et 30% d'entre eux sont respectivement assez et très recouverts. Ces chiffres sont

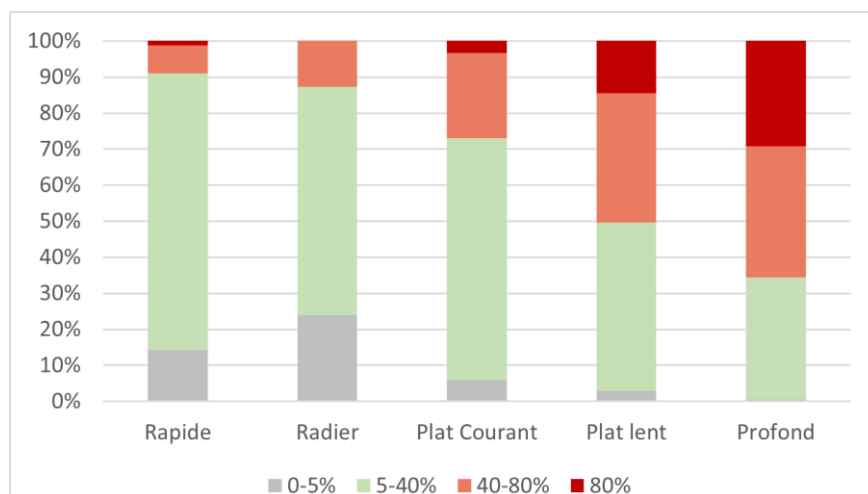
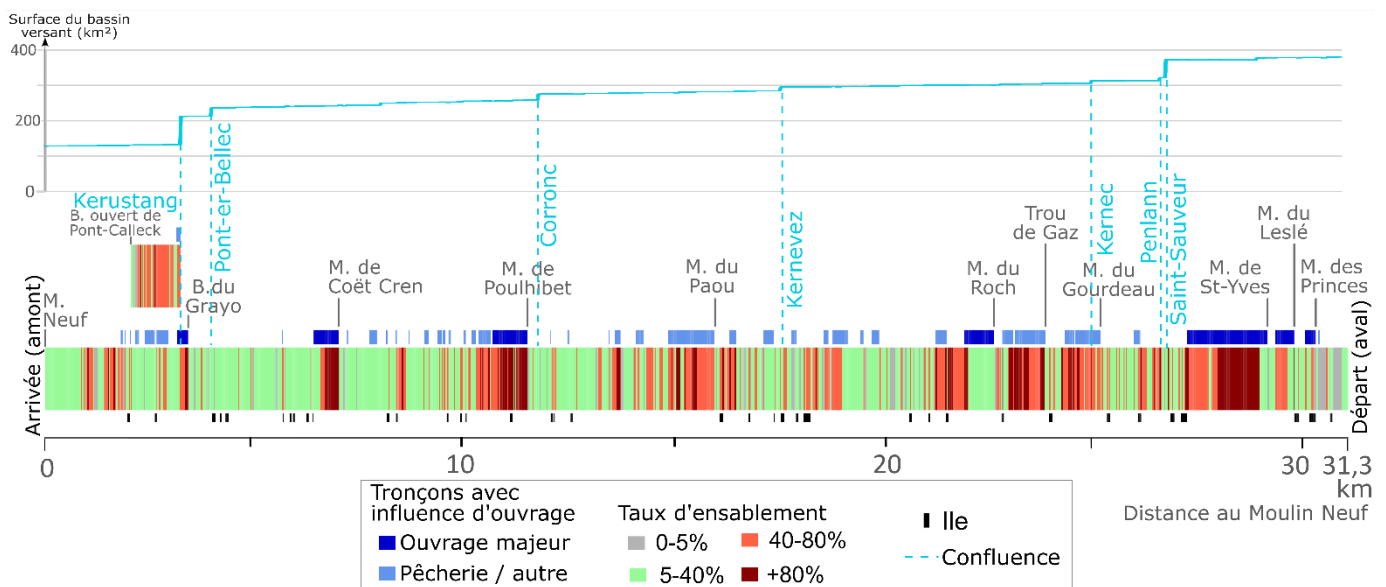


Figure 39. Taux de recouvrement sableux des différents faciès d'écoulement considérés.

de 50% et 14% pour les plats lents, et tombent à 27 et 3% pour les plats courants. Ces derniers sont néanmoins beaucoup plus recouverts que les radiers et les rapides, dont les taux de recouvrement sont similaires (entre 9 et 12% de faciès assez recouverts).

La répartition longitudinale de cet ensablement coïncide bien avec la présence d'ouvrages, notamment des seuils et, dans une moindre mesure, des pêcheries et autres ouvrages créant une diminution locale de la pente (fig.40). En effet, la quasi-totalité des secteurs sous influence d'ouvrage sont recouverts par plus de 40% de sables. A l'inverse, rares sont les secteurs ne subissant pas d'influence d'ouvrage et étant très ensablés. Des exceptions existent, comme dans le secteur sous influence du seuil du Moulin du Roch (fig.40). La visibilité y était cependant une des plus mauvaises sur les 32 km arpentés. En revanche, le secteur juste en amont — autour de l'ancienne pêcherie Sainte-Anne — présentait un taux d'ensablement important malgré la présence d'assez peu d'obstacles. Les pêcheries occasionnent moins systématiquement un ensablement élevé dans la mesure où aucun dépôt sableux significatif n'est observé au droit ou en amont de nombreuses pêcheries. Malgré l'importance de tous ces obstacles dans le taux de recouvrement par les sables, un léger gradient amont-aval est observé (fig.40).



Cette répartition coïncide beaucoup moins bien avec la position des confluences apportant potentiellement beaucoup de sables présentes dans ce secteur. Par exemple, la confluence avec le ruisseau du Corronc, pourtant classé comme à risque de transfert sableux

dans la partie précédente, ne provoque aucun changement notable de la morphologie du Scorff (fig.40). Il se situe néanmoins en amont d'un secteur plus pentu, ce qui peut expliquer que les sables ne s'y déposent pas. De petits bancs de sables ou un ensablement du lit sont visibles juste après les confluences de Kernévez, de Kernec, de Penlann et du Saint-Sauveur, mais ne provoquent pas d'augmentation marquante de l'ensablement du cours d'eau en aval. Ces trois derniers confluent par ailleurs au niveau de zones déjà ensablées plus en amont, ce qui rend difficile l'observation de tout changement de morphologie (fig.40). En revanche, une exception existe au niveau de la confluence avec le Kerustang, le principal affluent. Le Kerustang est tout d'abord plus ensablé que le cours principal avant la confluence. Ensuite, le cours d'eau principal s'ensable de manière importante à son niveau (fig.40). Cependant, la confluence est également sous l'influence du barrage de la pisciculture du Grayo, ce qui y favorise logiquement les dépôts sableux. La visibilité est également limitée sur les 200 m en aval de la confluence en raison de cette retenue, ce qui donne une fiabilité moindre aux observations effectuées.

Fortement liée à la présence d'ouvrages, la pente de la ligne d'eau est un des principaux facteurs de contrôle du taux d'ensablement du lit du Scorff. Plus la pente est faible, plus le taux d'ensablement est élevé (fig.41.A). La pente moyenne des micro-tronçons ayant un taux d'ensablement de 0 à 5 % est ainsi de 5 m/km en moyenne, contre 3 m/km pour la classe 5-40%, 1 m/km pour la classe 40-80% et quasiment nulle pour la classe +80%. L'analyse en boîtes à moustache montre cependant la présence de quelques valeurs aberrantes, dont le taux d'ensablement est élevé malgré de fortes valeurs de pente.

La relation est beaucoup moins claire avec la largeur (fig.41.B). Les micro-tronçons ayant un taux d'ensablement de moins de 80% se distinguent peu en terme de largeur moyenne, d'environ 16,5 m. Seuls les micro-tronçons ensablés à plus de 80% ont une largeur moyenne un peu plus élevée (17,5 m). Une largeur plus importante implique donc beaucoup moins un ensablement élevé qu'une faible pente.

Cette importance de la pente se reflète dans la répartition du taux d'ensablement en fonction des types de tronçons homogènes définis avant le terrain (*c.f.* ch.3§2a, fig.26). En effet, les micro-tronçons de type A, correspondant aux types de cours d'eau à la pente relativement élevée et à l'encaissement important, sont peu ensablés à 90% (fig.41.C). Les micro-tronçons de type B, à la pente intermédiaire, peuvent connaître un ensablement important, mais ce dernier reste limité (ils sont peu ensablés à 69,5%). Enfin, même si les types C1 — pente faible et largeur de fond de vallée faible — et C2 — pente faible et largeur de fond de vallée élevée — possèdent

des pentes similaires, l'ensablement est plus élevé sur ce dernier type (fig.41.C). Cela montre qu'une largeur de fond de vallée plus élevée peut également favoriser l'ensablement.

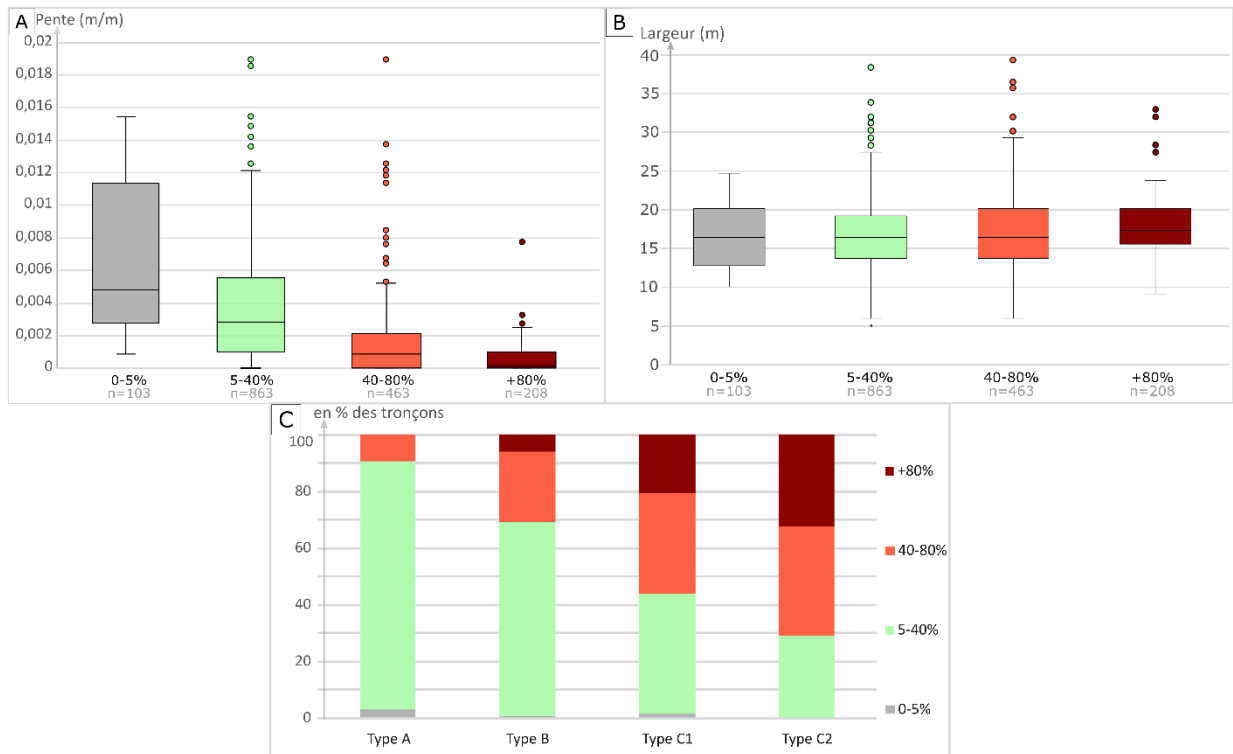


Figure 41. A. Pentes des micro-tronçons selon leur classe de recouvrement sableux. B. Largeur des micro-tronçons selon leur classe de recouvrement sableux. C. Classe d'ensablement en fonction du type hydrogéomorphologique défini préalablement au terrain (c.f. fig.26).

b) Identification de variables de contrôle secondaires de l'ensablement

L'analyse factorielle de données mixte (AFDM) réalisée a permis de rendre compte de l'importance relative des différentes variables explicatives sur le taux d'ensablement.

La première composante de l'AFDM représente 18,95% de la variance totale du jeu de données. Elle met logiquement en évidence l'opposition entre la valeur de la pente (et de la puissance spécifique) et le taux d'ensablement (fig.42.A). Ce dernier est aussi corrélé positivement à la surface du bassin versant. L'axe 1 met également en opposition la classe d'ensablement des micro-tronçons avec la production sableuse potentielle spécifique en amont et le taux de cours d'eau présentant une absence de ripisylve en amont. En effet, le taux d'ensablement a tendance à augmenter d'amont en aval (fig.40) alors que les surfaces les plus productrices se trouvent en amont (fig.37.A). La largeur se situe du même côté de l'axe que l'ensablement, mais ne contribue pas significativement à l'axe.

Parmi les variables qualitatives, ce sont les variables « amont seuil » et « profond » qui contribuent significativement à l'axe et sont corrélées positivement au taux d'ensablement

(fig.42.B). La variable « rapide » se situe quant à elle du même côté que la pente et la puissance spécifique.

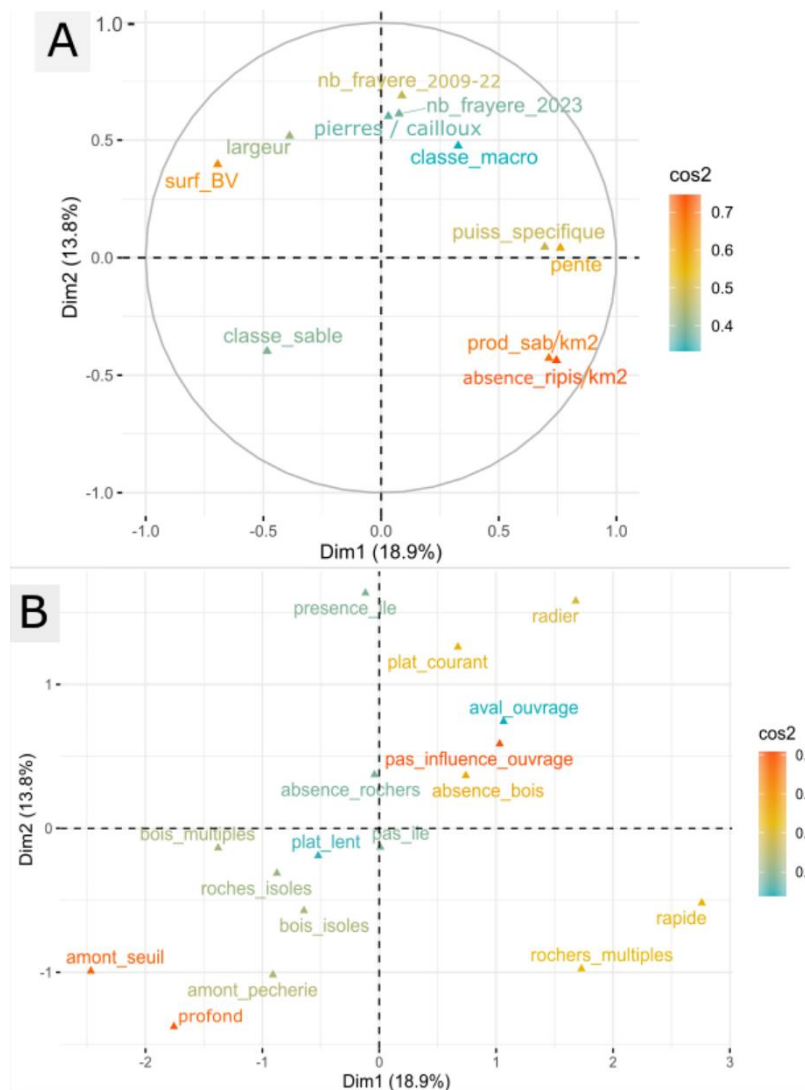


Figure 42. Répartition des variables quantitatives (A) et des modalités des variables qualitatives (B) sur les deux premiers axes de l'AFDM.

Le second axe de l'AFDM, représentant 14,8% de l'information, met en valeur des facteurs complètement différents. Celui-ci indique une corrélation positive entre le taux d'ensablement, le taux de production sableuse spécifique ainsi que le taux d'absence de ripisylve (fig.42.A). Aucune variable relative à la pente ne semble pouvoir expliquer cet ensablement. La largeur du chenal est d'ailleurs d'après cette composante négativement corrélée à la présence de sables. Le taux d'ensablement s'oppose également au nombre de frayères observées depuis 2009, au taux de macrophytes aquatiques et à la dominance de substrats caillouteux et pierreux. Cet axe donne un premier aperçu des caractéristiques des

habitats favorables à la lamproie marine qui s'opposent aux secteurs ensablés, sujet davantage abordé dans la sous-partie suivante.

Parmi les variables qualitatives, seule la variable « profond » est positivement corrélée au taux d'ensablement, ce qui signifie que ce type d'ensablement concerne plutôt les faciès profonds (fig.42.B). La variable « plat courant » est quant à elle corrélée au nombre de frayères observées depuis 2009.

La grande majorité des micro-tronçons représentés significativement par cette composante (individus ayant un $\cos^2 > 0,15$ pour cette dernière) sont des micro-tronçons du Kerustang. En effet, le potentiel de production sableuse spécifique en amont y est élevé — le sous-bassin du Kerustang étant très producteur de sables — (fig.37.A), tout comme le taux d'ensablement du lit (fig.40), ce qui constitue une exception au sein du linéaire prospecté.

Les composantes 3, 4 et 6, pour lesquelles l'ensablement ne contribue pas de manière significative (< 3,5% de contribution absolue), sont analysées ici plus succinctement.

La troisième composante, représentant 9,9% de l'information, met en valeur une corrélation négative entre des secteurs de faciès rapide et la disponibilité en substrat favorable à la lamproie marine — cailloux et pierres. Aucune variable relative à la présence de frayères ou de sables ne contribue significativement à la composante.

La quatrième composante, représentant 6,4% de l'information, est intéressante du point de vue de l'habitat des lamproies. En effet, d'après cette composante, le nombre de frayères est opposé à la dominance des granulométries pierreuse et caillouteuse dans le lit, ainsi qu'aux faciès profonds. Cela montre que certaines frayères peuvent également être construites dans un type d'environnement où les granulométries pierreuses et caillouteuses ne sont pas dominantes.

La sixième composante (4,9% de l'information) informe uniquement que certaines frayères se concentrent dans des secteurs à rochers multiples, indépendamment de la dominance de substrats convenables.

Les cinquième et septième dimensions — représentant respectivement 5,4% et 4,6% de l'information — corrélient quant à elles la présence de sables principalement à des variables qualitatives. D'après la cinquième composante, le taux d'ensablement est cette-fois-ci positivement corrélé à la largeur pleins bords du cours d'eau (fig.43.A). La présence d'île, et dans une moindre mesure d'un ouvrage juste en amont, l'influence d'une pêcherie et la présence de rochers multiples sont également positivement corrélées à la présence de sables (fig.43.B).

A l'inverse, les tronçons de plat courant n'étant sous l'influence d'aucun ouvrage sont négativement corrélés au taux d'ensablement.

D'après la septième composante, ce sont les variables « plat courant », « bois multiples » — indiquant la présence d'embâcles — et, dans une moindre mesure, « présence d'île » qui sont positivement corrélées à l'ensablement. En revanche, les variables « amont pêcheurie » et « radier » lui sont négativement corrélées (fig.43.B). Ces deux composantes montrent que de nombreux facteurs autres que la pente peuvent influencer ponctuellement les accumulations sableuses. Ils restent néanmoins marginaux du fait de la faible inertie des deux axes.

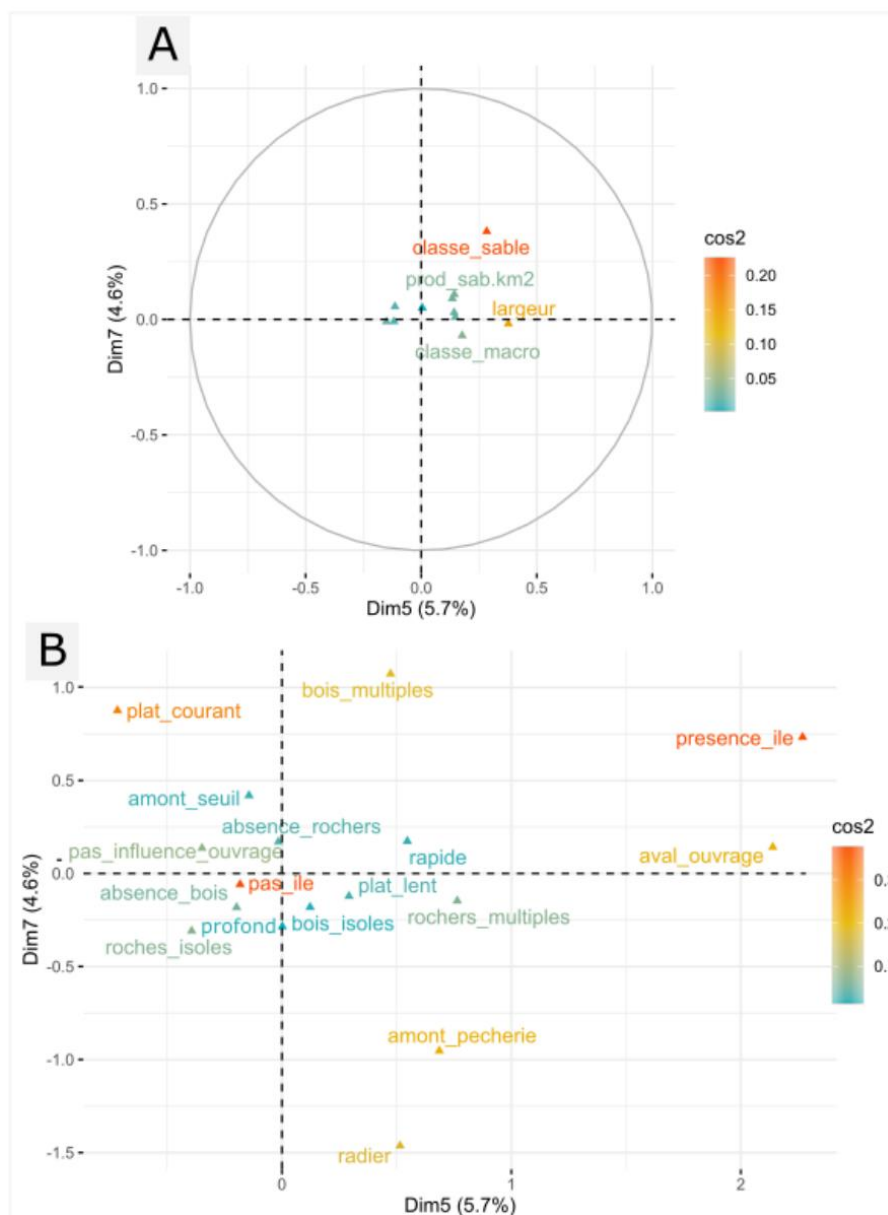


Figure 43. Répartition des variables quantitatives (A) et qualitatives (B) sur les axes 5 et 7 de l'AFDM réalisée.

c) Relation taux d'ensablement / pente à l'échelle des secteurs hydrogéomorphologiquement homogènes et mise en valeur de secteurs exceptionnels

Le taux d'ensablement des secteurs géomorphologiquement homogènes déterminés après le terrain (*c.f.* fig.34) suit la même logique générale que ceux des micro-tronçons de 20 m. En excluant le secteur pentu entre la pisciculture du Grayo et le moulin de Coët Cren, la pente moyenne des secteurs est plutôt bien corrélée linéairement à leur taux d'ensablement moyen (r^2 de 0,43 ; fig.44.A). Quelques secteurs se distinguent néanmoins. L'affluent du Kerustang est ainsi le secteur où l'ensablement semble très élevé par rapport à sa pente moyenne (près de deux écart-types de plus que ce que prédit le modèle). Plus en aval, le secteur en amont du moulin de Poulhibet et le secteur de la pêcherie Sainte-Anne — situé juste au-dessus de la retenue du moulin du Roch — présentent également des valeurs exceptionnelles (fig.44.A). Le secteur à l'extrémité amont de la zone d'étude — l'aval du moulin Neuf —, les secteurs de Pont-Kerlo et du Roch montrent quant à eux des valeurs exceptionnellement basses d'ensablement.

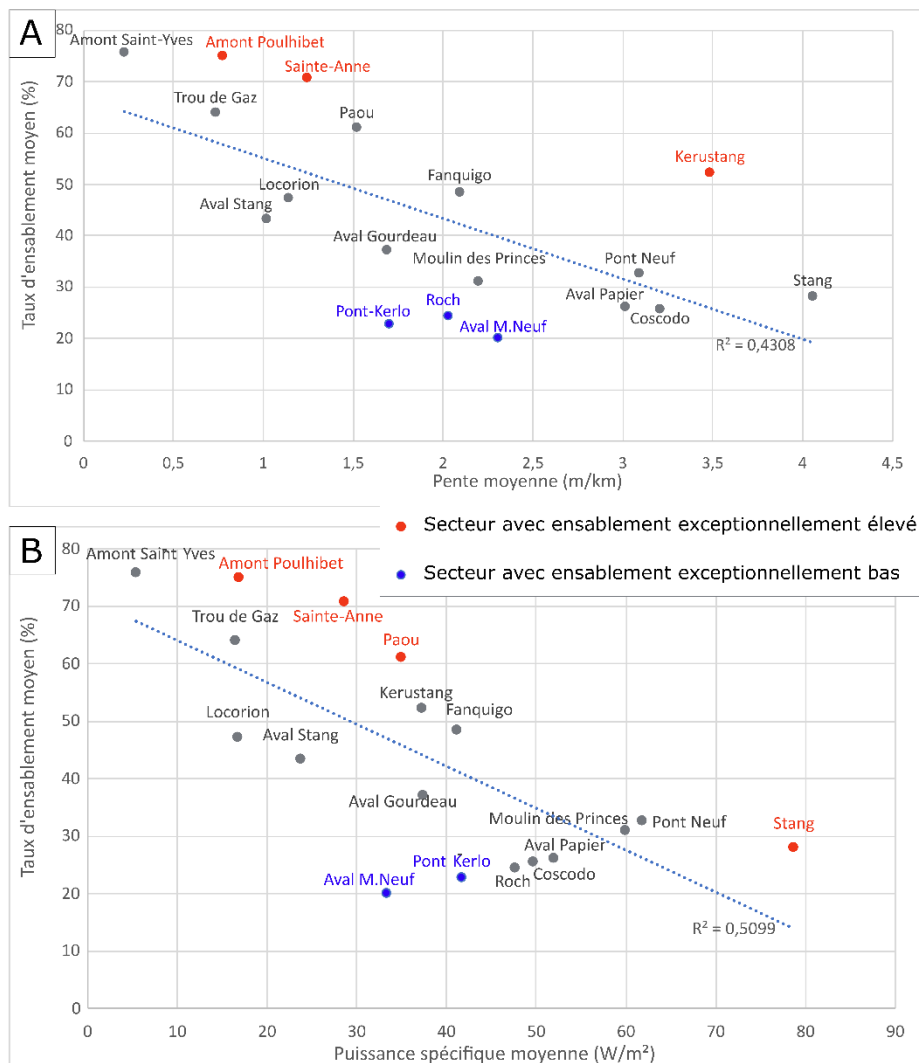


Figure 44. A. Relation entre la pente moyenne et le taux de recouvrement sableux des secteurs homogènes. B. Même relation effectuée avec la puissance spécifique estimée.

En revanche, lorsque la relation est analysée du point de vue de la puissance spécifique (r^2 de 0,51), le Kerustang devient presque conforme au modèle puisqu'il s'agit d'un affluent dont le débit est moindre (fig.44.B). En revanche, il reste plus ensablé que le Scorff avant confluence (*e.g.*, Secteur du Moulin Neuf pour lequel l'ensablement est exceptionnellement bas). Le secteur de Pont-Kerlo ressort également pour son taux d'ensablement relativement bas. Les secteurs du Stang — situé en aval direct de la confluence avec le Corronc —, de Poulhibet, de Sainte-Anne et du Paou ont quant à eux un ensablement supérieur à ce que prédit le modèle. Le secteur Grayo - Coët Cren, écarté du modèle car très pentu (9 m/km), aurait également une valeur exceptionnellement élevée d'ensablement (20 %) compte tenu de sa pente et de sa puissance spécifique.

d) Evolution de l'ensablement depuis 2010 à l'échelle des secteurs

Depuis 2010, le taux d'ensablement du linéaire prospecté a augmenté de manière importante. La part de faciès très ensablés (+ de 80% de recouvrement) a plus que doublé, passant de 5,5% à 12,7% des faciès totaux (fig.45). Celles des faciès assez ensablés (40-80%) a également augmenté de 20% à 27,8%, au détriment des faciès peu ensablés (5-40%) dont la part a diminué de 66,5% à 53%. La part de faciès non ensablés (0-5%) est quant à elle restée stable (fig.45).

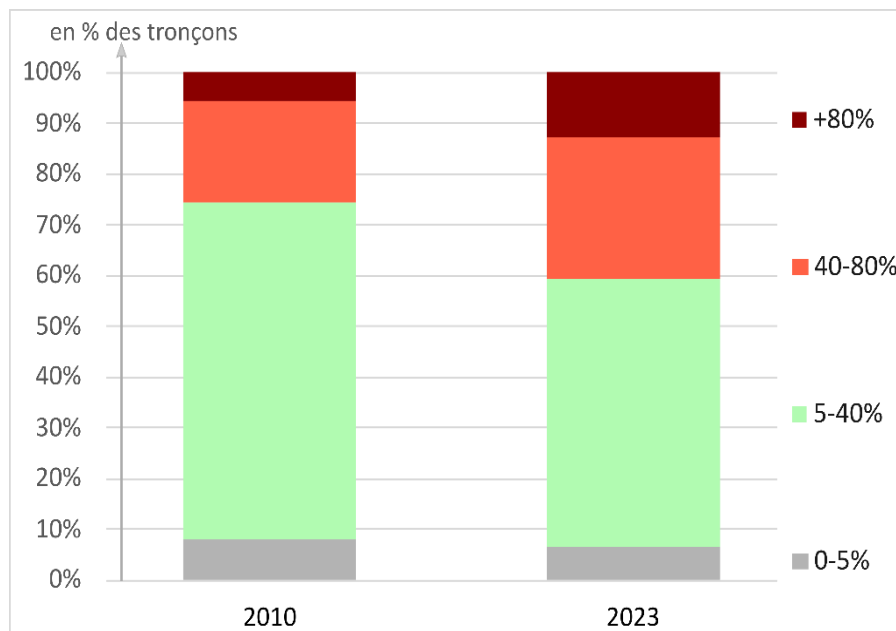


Figure 45. Evolution du taux de recouvrement des faciès sableux sur toute la zone prospectée entre 2010 et 2023.

Les tronçons qui ont connu le plus d'augmentation de l'ensablement sont les secteurs du Kerustang (+40%) et de l'amont de Poulhibet (+50%) — ce dernier possède néanmoins 1/5 de données manquantes en 2010. Plus en aval, le secteur du Paou et de Sainte-Anne ont également connu une augmentation élevée (fig.46). Ces secteurs sont des tronçons dont l'ensablement actuel est élevé — d'après l'analyse précédemment réalisée — étant donné leur pente. Parmi ces secteurs, seul le secteur de Poulhibet est réellement sous l'influence d'un seuil. Quelques autres secteurs ont connu une augmentation modérée du recouvrement par les sables, y compris le secteur de Locorion en amont de la confluence avec le Kerustang, le secteur en aval du Stang ainsi que celui de la pêcherie de Fanquigo. Seul un secteur a connu une baisse notable de l'ensablement, le secteur du Roch. La visibilité y ayant été mauvaise en 2023, la confiance à accorder à cette évolution est moindre.

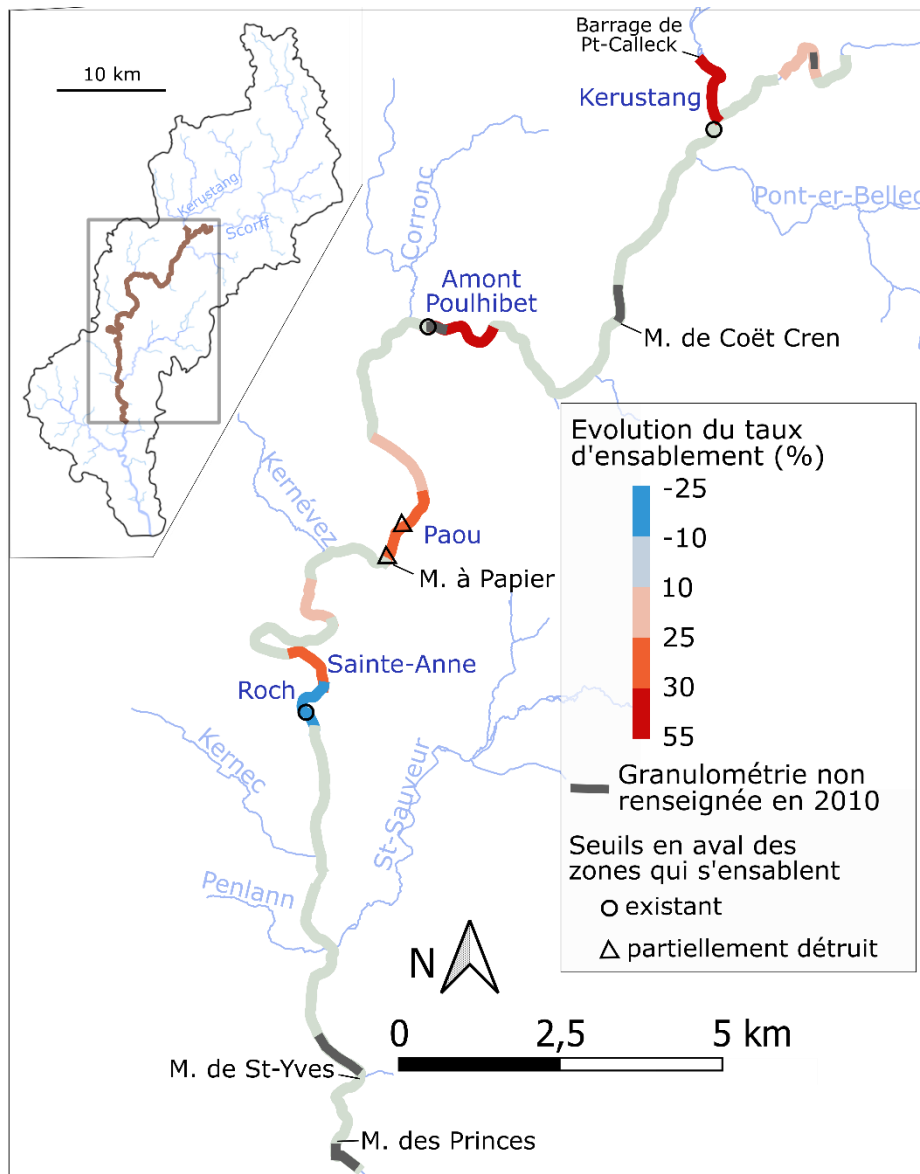


Figure 46. Evolution du taux de recouvrement sableux moyen des tronçons géomorphologiquement homogènes entre 2010 et 2023.

3) Relation entre l'ensablement et les frayères de lamproie marine

Dans cette sous-partie, l'ensablement observé, ainsi que ses évolutions depuis 2010, est croisé avec la répartition des frayères de lamproie marine. La relation entre présence de sables, de substrats convenables et de frayères de lamproie est d'abord étudiée au niveau du faciès même (a), puis à l'échelle des secteurs homogènes (b). Les tendances évolutives comparées de la répartition des sables et des frayères sont ensuite explorées à cette même échelle (c). Les résultats de l'ACP de caractérisation des environnements de frayère sont enfin exposés (d).

a) Evolution du taux d'ensablement présent autour des frayères

Les années 2010 et 2023 sont des années comparables en termes de nombre et de niveau de concentration des frayères — avec respectivement 481 et 471 frayères identifiées sur le Scorff. La concentration des frayères — *i.e.*, le nombre de frayères moyen autour de chaque frayère — est également resté similaire, avec environ 11 frayères environnantes par frayère. Depuis 2009 — en prenant en compte toutes les années —, cette concentration a augmenté tendanciellement mais est proportionnelle au nombre de frayères, qui tend également à augmenter. Aucune augmentation ou diminution réelle de la concentration des frayères de lamproie ne peut donc être conclue.

En 2023, 72,5% des frayères de lamproie marine relevées se situaient dans un secteur très peu ou peu ensablé (0-40%) (fig.47.A). Seules près de 26% des frayères se trouvaient au niveau d'un faciès assez ensablé (40-80%), le taux chutant à 1,5 % pour les secteurs très ensablés (+ de 80%). Le taux de recouvrement sableux des faciès où se trouvent les frayères n'a pas évolué de manière significative depuis 2010 (fig.47.A).

Lorsqu'on considère l'environnement autour des frayères — zone située à moins de 3,5 fois la largeur pleins bords (LPB) en amont et en aval de chaque frayère — le taux d'ensablement est similaire aux deux dates. En 2023, près de 30% des zones tampons étaient ainsi assez ensablées (26%) ou très ensablées (4%). L'ensablement a cependant légèrement augmenté entre 2010 et 2023. Ainsi, entre les deux dates, la part de l'environnement étant très ensablé est passé de 0% à 4%, et celle des faciès environnants assez ensablés est passé de 24% à 26% (fig.47.B).

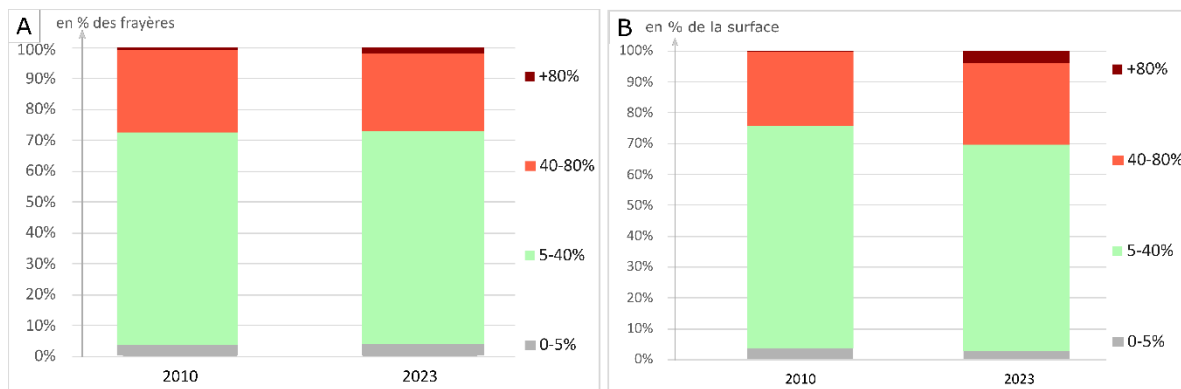


Figure 47. A. Evolution du taux de recouvrement des faciès où se trouvent les frayères. B. Evolution de ce recouvrement dans les environnements des frayères (3,5*LPB en amont et en aval des frayères).

b) Relations à l'échelle du secteur homogène

A l'échelle des tronçons hydrogéomorphologiquement homogènes, la densité de frayères est finement liée au taux de dominance des substrats convenables à la lamproie dans le secteur, offrant une relation quasiment linéaire (fig.48). Pour rappel, ce taux de dominance correspond à la part (en %) du secteur où l'une des deux classes granulométriques (pierreuse ou caillouteuse) est la classe recouvrant le plus la surface du lit. Cette relation semble s'estomper en amont du secteur du Moulin de Poulhibet. En effet, malgré la disponibilité importante en substrats convenables, la densité de frayères observée est souvent exceptionnellement faible (fig.48). Quelques secteurs aval ont quant à eux une densité de frayères légèrement plus élevée que ce que prédit le taux de dominance — *e.g.* Roch, Trou de Gaz. Dans ces secteurs, les frayères se concentrent seulement sur quelques plats courants / radiers ou occupent des zones où les substrats convenables ne sont même pas dominants.

En revanche, cette densité de frayères semble, quelle que soit la position dans le bassin versant, bien moins liée au taux d'ensablement de chaque secteur. Si une relation légèrement négative existe bel et bien, plusieurs secteurs montrent des exceptions et c'est d'abord la

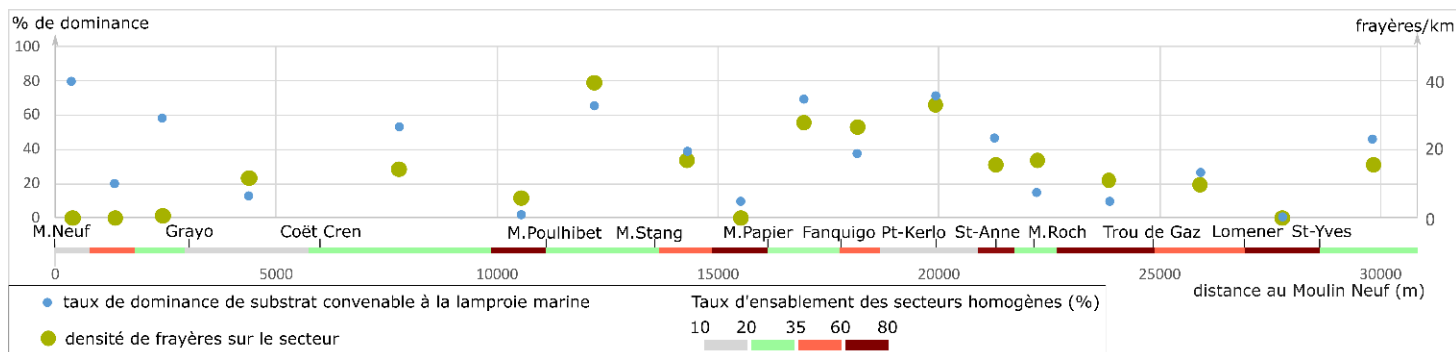


Figure 48. Evolutions de la densité de frayères et de la disponibilité en substrats convenables le long du linéaire par tronçon homogène.

disponibilité en substrats convenables qui a un impact sur la densité de frayères (fig.48). Par exemple, le secteur de Sainte-Anne est très ensablé (70%) mais conserve néanmoins une certaine disponibilité en substrats caillouteux et pierreux — avec 45% de dominance d’une de ces deux classes. La densité de frayères y est par conséquent modérée. La densité de frayères est également élevée dans le secteur du Trou de gaz, malgré un ensablement très important. Le taux d’ensablement modéré ne semble pas non plus empêcher une forte densité de frayères dans les secteurs du Stang-Aval et de Fanquigo (fig.48).

c) Relation entre les dynamiques temporelles de répartition des frayères et de l’ensablement

L’évolution de la densité de frayères à l’échelle des tronçons homogènes entre 2010 et 2023 comparée à celle du taux d’ensablement donne une relation négative à caractère linéaire ($r^2=0,2$; fig.49). Les tronçons qui se sont le plus ensablés entre ces deux dates sont généralement ceux où la densité de frayères par km a le plus baissé. En revanche, plusieurs exceptions sont observées, perturbant le caractère linéaire de la relation. Ainsi, les secteurs du Moulin des Princes — le secteur le plus aval — ainsi que celui de Pont-Kerlo — le secteur avec la deuxième plus forte densité de frayères — sont des secteurs connaissant peu ou pas d’augmentation de leur taux d’ensablement et où la densité de frayères a fortement augmenté entre les deux dates (+ 13 frayères/km environ). Le secteur de Sainte-Anne a également concentré davantage de frayères malgré l’augmentation importante de l’ensablement qui y est observé. A l’inverse, le secteur du Stang — et dans une moindre mesure celui du Trou de Gaz —, qui ne se sont que peu ensablés entre 2010 et 2023 (moins de 10% d’augmentation), ont vu leur densité en frayères de lamproie marine diminuer de manière importante (fig.49).

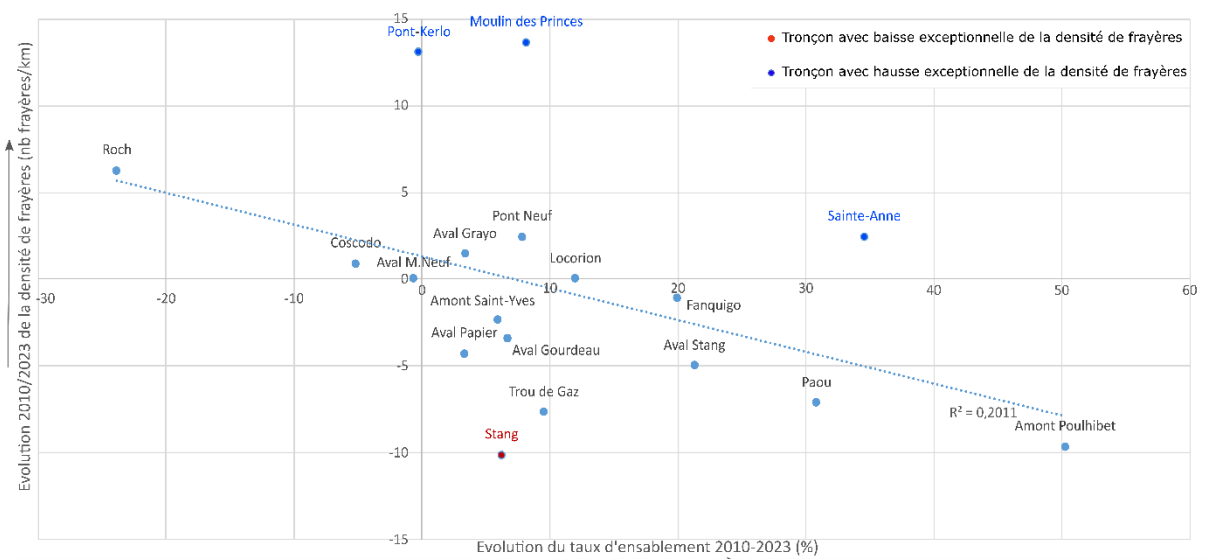


Figure 49. Evolutions comparées du taux de recouvrement sableux moyen et de la densité en frayères entre 2010 et 2023 à l’échelle des secteurs homogènes.

En prenant en compte la tendance évolutive de la densité de frayères sur l'ensemble des années de 2009 à 2023 — et non plus les uniquement les années 2010 et 2023 —, la relation avec l'évolution de l'ensablement change légèrement. Bien qu'une très légère relation à caractère linéaire soit toujours observée, cette dernière est bien moins marquée qu'en retenant uniquement les années 2010 et 2023 ($r^2=0,06$; fig.50.A). Ce sont souvent les mêmes secteurs qui présentent des évolutions exceptionnelles. Les secteurs de Pont-Kerlo, du Roch, et dans une moindre mesure ceux de Sainte-Anne et de Fanquigo ont connu une augmentation tendancielle exceptionnelle de la densité de frayères observée étant donné l'évolution de l'ensablement qui y est observée (fig.50.A). En revanche, les secteurs du Stang et de l'aval du Moulin à Papier, ayant connu peu d'ensablement entre 2010 et 2023, ont pourtant connu une baisse tendancielle exceptionnelle de la densité de frayères (fig.50.B).

En raisonnant en termes d'évolution de la part relative du nombre de frayères, aucune relation linéaire n'est observée ($r^2=0,01$). Les secteurs de pont Kerlo — 0,44% de part relative en plus par an sur la période 2009-2023— et du moulin des Princes — 0,29% en plus par an — se détachent encore une fois (fig.50.B). Dans une moindre mesure, celui de Fanquigo suit également cette tendance malgré une augmentation de la présence de sables. Cependant, les secteurs du Pont-Neuf, du Stang et de Gourdeau - aval, dont l'évolution de l'ensablement est pourtant similaire à celle du Moulin des Princes, voient leur part relative de frayères baisser exceptionnellement en tendance (fig.50.B).

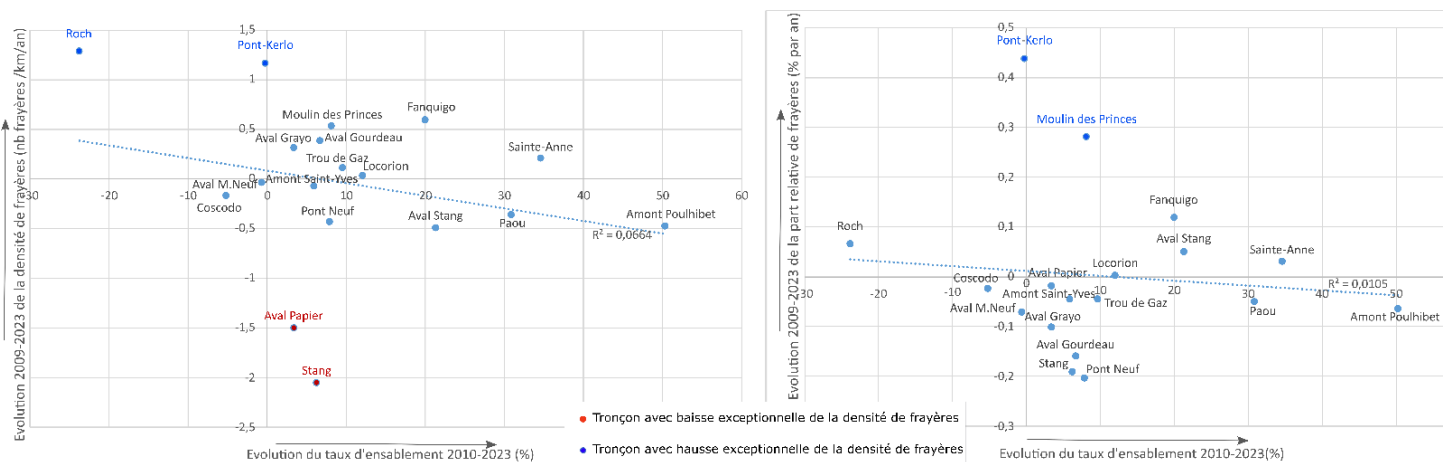


Figure 50. A. Comparaison entre l'évolution du recouvrement sableux moyen 2010 - 2023 et la tendance évolutive de la densité en frayères entre 2009 et 2023 à l'échelle des tronçons homogènes. **B.** Même comparaison en retenant l'évolution de la part relative des frayères.

d) Caractérisation des environnements de chaque frayère

Le premier axe de l'analyse en composantes principales effectuée sur les zones tampons de chaque frayère répertoriée en 2023 représente 45,6% de l'information. Elle montre d'abord une corrélation positive entre la part de dominance de substrats favorables dans l'environnement de la frayère et la part de cet environnement constitué de plats courants et de radiers (fig.51). Ce type d'habitat correspond à celui le plus adapté à la reproduction de la lamproie marine (Sabatié, 2001). Ces deux variables s'opposent au taux d'ensablement autour de la frayère, ainsi qu'à la part de l'environnement dans lequel les substrats favorables ne sont que secondaires (fig.51). Deux types majoritaires d'habitats sont ainsi décrits : d'un côté, des habitats parfaitement adaptés à la reproduction de la lamproie marine, avec la présence de la granulométrie et des faciès requis ; de l'autre, des habitats plus ensablés où sont néanmoins toujours disponibles des cailloux et des pierres, ne recouvrant qu'une portion minoritaire du lit.

La seconde composante, qui représente 21% de l'information, met en valeur une opposition entre la diversité granulométrique observée (H/H_{max}) aux alentours de la frayère et la surface du bassin versant (fig.51). Le taux de recouvrement sableux se situe du même côté de l'axe que cette dernière, mais n'y contribue pas de manière significative. Cette composante met ainsi en valeur les frayères situées plus en amont du bassin versant dont l'environnement granulométrique est plus diversifié que celle situées à l'aval — dont l'environnement a tendance à être légèrement davantage ensablé.

La troisième composante, qui représente 15,4% de l'information, met en opposition le nombre de frayères environnantes avec la diversité du substrat environnant (H/H_{max}), qui se trouve cette fois corrélée à la surface du bassin versant. Il semble donc que certaines des frayères concentrant le plus de frayères environnantes ont tendance à avoir un environnement peu diversifié du point de vue du substrat, et qu'il s'agisse de frayères situées en amont sur le linéaire colonisable. Ainsi, plus on se situe en amont du bassin versant, plus les frayères ont tendance à être entourées par d'autres frayères dans leur environnement. En raison de la part faible de la composante dans l'inertie totale, la concentration des frayères reste globalement peu expliquée par toutes les autres variables utilisées dans cette ACP.

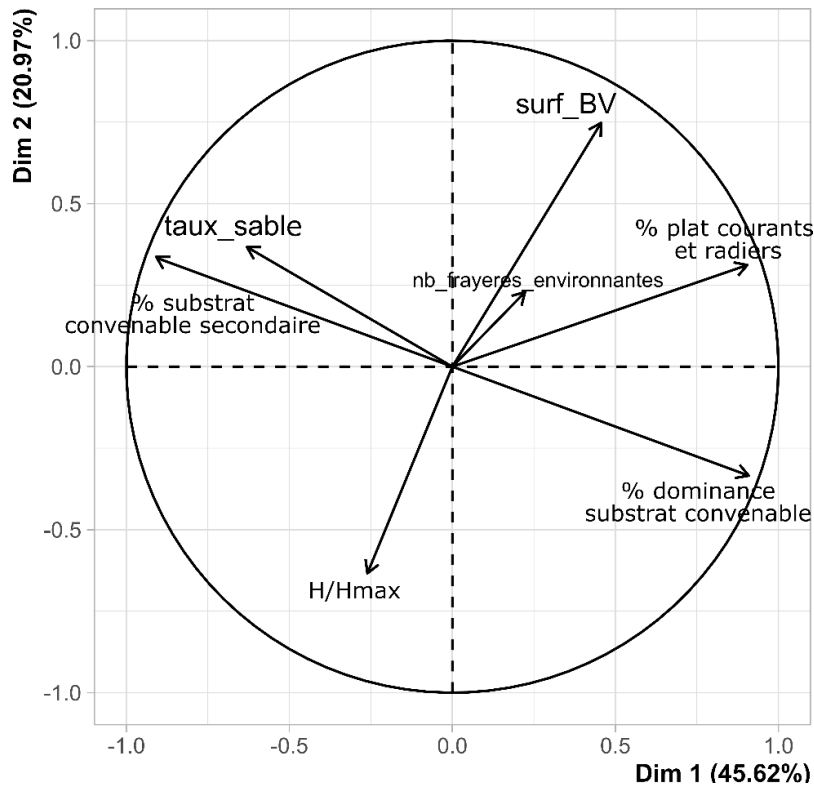


Figure 51. Premier plan factoriel de l'ACP réalisée sur les environnements des frayères.

Ce chapitre a eu pour vocation d'exposer les résultats obtenus dans le cadre de cette étude. La production sableuse potentielle, augmentant faiblement entre 2003 et 2021, s'est révélée assez peu corrélée au taux d'ensablement observé dans les cours d'eau plus en aval, hormis sur le principal affluent, le Kerustang. Des augmentations importantes de l'ensablement, identifiées à la suite de la comparaison des résultats avec ceux de l'étude de Saget (2010), ont été mises en valeur sur ce même affluent et dans certains secteurs plus en aval. Ces évolutions indiquent potentiellement la survenue d'un sur-ensablement dans les faciès propices aux dépôts de ces secteurs. En revanche, la répartition des frayères de lamproie s'est retrouvée davantage déterminée par la présence en substrats convenables que par l'ensablement et son évolution. Ces résultats sont ainsi discutés et comparés avec la littérature scientifique dans le chapitre suivant.

Chapitre 5 – Discussion

Les résultats détaillés dans le chapitre 4 ont permis d'accroître les connaissances sur les facteurs potentiels de l'ensablement dans le bassin versant du Scorff. L'étude de la répartition de l'ensablement dans la partie aval du bassin versant du Scorff a permis d'enrichir et de compléter les études précédentes (Claude, 1996 ; Saget, 2011). Le croisement des données avec celles des frayères de lamproie constitue quant à elle une analyse inédite. Dans ce chapitre, les résultats obtenus sont discutés avec la littérature existante sur l'ensablement et le sur-ensablement. Les valeurs obtenues par l'équation universelle de pertes en sols sont dans un premier temps comparées avec d'autres valeurs présentes dans la bibliographie. Dans un second temps, les différents facteurs d'ensablement relevés sont discutés en les comparant avec ceux observés dans d'autres études. L'augmentation de l'ensablement depuis 2010, notamment sur le Kerustang, est particulièrement discutée. Les effets observés de l'ensablement sur les frayères de lamproie sont ensuite mis en relief avec la littérature. Des perspectives d'étude pouvant poursuivre les recherches commencées sont enfin évoquées.

1) Une susceptibilité à la production de sables élevée par rapport aux autres études

Une modélisation de l'érosion du sol, disponible à l'échelle européenne (Panagos et al. 2015) estime, pour le bassin versant — tous sédiments compris — des valeurs moins élevées que les nôtres — 1,8 t/ha/an contre 3,2 t/ha/an estimés dans la présente étude. L'absence de prise en compte du pourcentage de fragments rocheux dans les sols, ainsi que du facteur de pratiques culturales, a pu favoriser des prédictions supérieures. Le jeu de données a néanmoins l'intérêt de produire des résultats moins lissés que ceux de Panagos et al. (2015), dont l'objectif était de montrer des disparités régionales à l'échelle européenne. La principale critique des travaux de Panagos et al. (2015) portait notamment sur l'estimation du facteur C. En effet, les auteurs ne prenaient pas en compte les variations de la temporalité des cultures à l'échelle des régions, et se contentaient de considérer un même facteur C pour chaque culture pour toute l'Europe (Fiener et Auerswald, 2015). La présente étude a évité ce biais.

Cerdan et al. (2010) ont également modélisé l'érosion européenne à partir de données observées empiriquement. En moyenne, sur les terres arables au climat non-méditerranéen, l'érosion calculée par ces derniers est d'environ 6,3 t/ha/an — contre 7,5 à 8,75 t/ha/an ici.

La résolution des données utilisées ici est meilleure que ces deux jeux de données préexistants — 50 m contre 100 m. Les données produites font davantage ressortir les contrastes

entre sous-bassins versants, et permettent également d'observer l'évolution du potentiel de production entre 2002 et 2021.

En ce qui concerne l'évolution de ce potentiel de production, les 3,5% d'augmentation obtenus correspondent peu ou prou au pourcentage d'augmentation des terres cultivées — principalement tiré par l'augmentation des surfaces en céréales et en colza. L'évolution des pluies ne semble donc pas avoir accru significativement le potentiel de production. En effet, malgré l'augmentation sans équivoque des pluies en décembre (période où les terres agricoles sont fréquemment à nu), l'évolution des autres mois est beaucoup plus contrastée. En revanche, les facteurs R utilisés ne rendent pas pleinement compte des facteurs R mensuels, et des données plus détaillées de la station de Ploërdut — les intensités de pluie sur 30 minutes — pourraient être utilisées pour améliorer le modèle.

Il est peu probable qu'une augmentation du potentiel de production de cet ordre puisse à lui seul provoquer une augmentation de l'ensablement du Scorff — bien que l'évolution du linéaire de haies n'ait pu être étudié depuis cette date. De plus, depuis les années 1950, l'augmentation des surfaces agricoles ainsi que le remembrement auraient pu provoquer une augmentation bien supérieure du potentiel que ce qui est observé au cours de la période récente. Le sur-ensablement observé dans le chapitre précédent est probablement légèrement favorisé par les changements d'occupation des sols dans le bassin versant, mais la problématique semble plus ancienne que les 20 dernières années. L'évolution temporelle du linéaire de haies, avant et depuis 2002, mériterait d'être exploré.

Le modèle utilisé reste également simplificateur. Le sous-bassin du Saint-Vincent, classé comme faiblement producteur de sédiments sableux, a notamment connu une érosion intense au cours de l'orage du 14 juin 2023, apportant des quantités importantes de sédiments aux cours d'eau environnants. Cela signifie qu'un apport important de sables peut tout de même avoir lieu dans des zones considérées comme moins propices. Il va également de soi que la simple multiplication de la production totale par la part de sables dans les sols constitue une approximation pour estimer la production de sables par les parcelles, car une ségrégation granulométrique advient dès lors que les particules sont érodées depuis le sol (Meyer et *al.*, 1978). Le modèle mériterait aussi d'être validé par observations empiriques, ce qui est une démarche normale en modélisation (Fiener et Auerwald, 2015).

Il ne faut pas non plus oublier les autres causes potentielles de production sableuse comme l'urbanisation (Grosprêtre, 2011). Cantonnée à l'aval du bassin versant, elle n'a pu être

explorée dans cette étude et un arpentage des cours d'eau des sous-bassins du Saint-Sauveur ou du Scave pourrait à cet effet être effectué.

2) Facteurs principaux de la répartition des sables sur le linéaire prospecté

L'étude réalisée est la première sur le Scorff tentant de relier l'ensablement — et le sur-ensablement — à un aussi grand nombre de facteurs, permettant de comprendre lesquels sont le plus en jeu dans sa répartition.

a) Importance de la pente et des ouvrages dans la répartition des sables

Les résultats ont montré le contrôle important de la pente et des aménagements sur la sédimentation des sables, déjà largement mis en valeur par différentes études (Grosprêtre, 2011 ; Foster et *al.*, 2022). Sur l'ensemble du linéaire, les faciès lentiques sont très préférentiellement ensablés, ce qui est encore cohérent avec des travaux réalisés sur d'autres cours d'eau (Astrade et *al.*, 2000 ; Hilton et Lisle, 1992).

Dans les secteurs pentus — Aval Grayo, Stang —, le recouvrement par les sédiments sableux se concentre généralement dans les interstices et derrière les blocs, ce qui fait qu'il ne recouvre jamais une part majoritaire du chenal, comme cela a déjà été observé dans d'autres contextes (Grosprêtre, 2011 ; Cover et *al.*, 2008).

b) Relation entre occupation des sols et recouvrement sableux

A l'inverse des résultats obtenus par d'autres études, (*e.g.* Cover et *al.*, 2008), la corrélation entre les caractéristiques d'occupation des sols à l'amont et le recouvrement par les sables s'est révélée principalement négative. Par exemple, la zone de confluence avec le ruisseau du Corronc, pourtant classé comme sous-bassin à risque élevé du fait de son potentiel de production élevé et de sa densité de haies faibles, a montré très peu d'apports sableux. Il conflue néanmoins au niveau d'un tronçon plus pentu, ce qui peut expliquer l'absence de sables. La plupart des autres affluents, souvent petits, confluent au niveau de secteurs déjà ensablés donc leur apport sableux n'a pu être mis en évidence — hormis pour le Kerustang.

L'absence de corrélation statistique, contrairement aux autres études, vient peut-être du fait qu'il ne s'agit pas de différents cours d'eau de tailles comparables qui ont été arpentés, mais d'un même cours d'eau d'amont en aval. Les secteurs avals, moins pentus, sont ainsi logiquement davantage ensablés, ce qui peut biaiser les résultats puisque les principales zones à risque sont situées en amont. Bien que l'ensablement augmente légèrement avec la taille du

bassin versant, cette augmentation est probablement associée principalement à la pente qui augmente conjointement.

En revanche, la relation s'est révélée très positive pour l'affluent principal du Kerustang (80 km²), dont le sous-bassin est un des plus agricoles. Ayant un ensablement moyen élevé étant donné sa pente moyenne, sa particularité a été mise en valeur par la seconde composante de l'AFDM. Une grande partie du tronçon du Kerustang est assez ensablée (40-80%) (fig.52.A.C). Il garde néanmoins une certaine diversité de substrats et un ensablement raisonnable étant donné sa puissance spécifique moyenne calculée. Plusieurs faciès lotiques restent également peu recouverts (fig.52.B). Cependant, à pente et puissance spécifique égales, le Kerustang est beaucoup plus ensablé que le Scorff avant confluence. Il semble donc possible d'avancer que ce secteur est sur-ensablé.

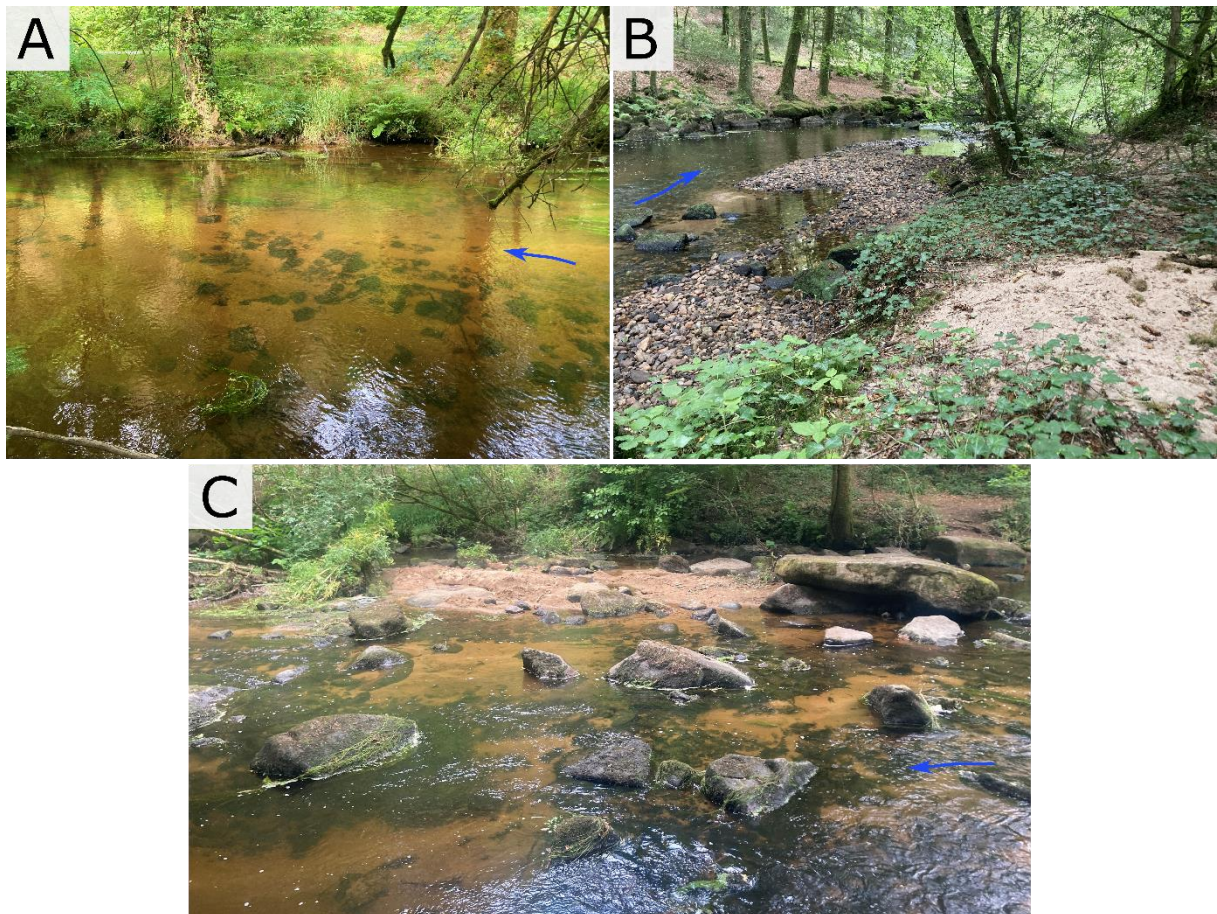


Figure 52. A. Secteur assez recouvert par les sables du Kerustang. 47°59'9,63"N ; 3°20'2,55"O. B. Plat courant bien diversifié avec dépôt de sables fins sur la berge droite. 47°59'18,52"N ; 3°19'56,30"O. C. Radier / rapide à blocs à forte présence de sables. 47°59'5,76"N ; 3°20'1,29"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 22/07/2023.

- c) Augmentation de l'ensablement depuis 2010 : effet de l'apport supplémentaire de sables au cours d'eau ou du relargage accidentel de sables stockés ?

La comparaison avec les faciès de Saget (2011) a montré une augmentation impressionnante de l'ensablement sur le linéaire prospecté, notamment dans les faciès lentiques, mais également, et dans une moindre mesure, sur les plats courants. Une constance avait pourtant été observée entre les études de Claude (1996) et de Saget (2011) — il convient néanmoins de rester prudent en raison de la difficulté de comparaison de ces bases de données. En effet, Claude (1996) caractérisait la granularité du lit en trois classes — grossier, mixte et sableux — alors que Saget (2011) tentait pour chaque faciès de quantifier visuellement le pourcentage de recouvrement du lit de six classes granulométriques — rochers, blocs, pierres, graviers, sables, vase.

Malgré les biais d'observation pouvant avoir lieu entre différents opérateurs lorsqu'il s'agit de cartographier visuellement les faciès (Malavoi et Souchon, 2002), il y a peu de doute sur le fait que le secteur du Kerustang se soit considérablement ensablé depuis 2010. En effet, lors des derniers relevés, aucun faciès n'y était recouvert de plus de 10% de sables (Saget, 2011). Aucun faciès sableux n'avait non plus été relevé par Claude (1996).

Cette évolution est probablement liée à l'ouverture accidentelle du barrage de Pont-Calleck le 11 septembre 2011. En effet, ce jour-là, le moine de vidange et de gestion des niveaux d'eau s'est rompu, provoquant une vidange accidentelle du plan d'eau, plus jamais remis en eau depuis (HydroConcept, 2011).

L'hypothèse la plus probable est qu'avant l'accident, il y avait un pavage du lit en aval du barrage. Les ouvrages, perturbant la continuité et les débits solides, sont connus pour provoquer un déficit sédimentaire en aval, pouvant occasionner une surreprésentation de sédiments trop grossiers pour être remobilisés (*e.g.* Rollet, 2007).

Plusieurs études ont également montré que l'érosion régressive dans les dépôts des retenues récemment démantelées pouvait apporter une charge sédimentaire fine importante en aval (*e.g.* Gilet et *al.*, 2018). Néanmoins, ces effets ne sont pas durables dans le temps, car les sédiments sont rapidement évacués et ne sont pas remplacés si l'érosion régressive s'arrête.

Les résultats montrent ici un scénario légèrement différent. Un apport important de sédiments fins a effectivement été relevé juste après l'incident du barrage de Pont-Calleck (HydroConcept, 2011). La présence de sédiments fins persiste néanmoins aujourd'hui à un niveau bien supérieur à ce qu'il y avait avant l'accident, tandis que l'érosion régressive dans les

dépôts de la retenue semble avoir été peu active. En effet, l'ancienne retenue a été arpentée à la suite des relevés de faciès. La morphologie du chenal qui circule au milieu des dépôts laisse penser que le volume total de sédiments relâchés par incision régressive est faible, tant celle-ci est peu marquée (fig.53.A). Cette faiblesse de l'érosion régressive pourrait s'expliquer par la hauteur de la dalle du pont-cadre installée du côté droit du barrage pour faire passer l'eau à la suite de l'accident, en juin 2012. La dalle en béton, présente dans le lit à un niveau très élevé, crée encore une rupture de pente importante et semble ne pas favoriser l'incision dans les dépôts. De plus, une ancienne digue, présente 350 m en amont du barrage, perturbe également cette érosion (fig.53.B). Le secteur de l'ancienne retenue nécessiterait néanmoins un arpentage exhaustif jusqu'à sa partie amont pour vérifier ce fait.



Figure 53. A. Chenal du Kerustang, légèrement incisé dans les dépôts de l'ancienne retenue de Pont-Calleck. Le niveau réel des berges est plus bas que ce que laisse percevoir la végétation herbacée. 47°59'32,52"N ; 3°20'14,85"O. B. Ancien barrage situé 350 m en amont du plus récent limitant l'érosion régressive dans les dépôts. 47°59'40,53"N ; 3°20'20,03"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 22/07/2023.

En raison de la faiblesse supposée de cette incision régressive, la présence relativement importante de sables dans le chenal prospecté du Kerustang semble donc à mettre sur le compte de l'occupation du sol de son sous-bassin versant, très agricole. Ainsi, il est probable qu'auparavant la plupart des sables produits en surplus par l'activité agricole étaient retenus par le barrage de Pont-Calleck. La charge sableuse ayant été libérée de manière incontrôlée à la suite de son ouverture accidentelle, ces sédiments sont à présent en mesure de sur-ensabler le cours d'eau plus en aval.

Même si l'hypothèse du rôle de l'occupation des sols semble la plus probable, il ne faut pas oublier que la contribution des berges à la charge sableuse du Kerustang est également susceptible d'être importante, la mobilité latérale étant élevée en amont, dans la dépression de Guémené. Elle n'a pu être analysée dans cette étude car le secteur n'a pas été arpenté. De plus,

bien que le sous-bassin du Kerustang soit propice à la production et au transfert de sables vers les cours d'eau, le linéaire y est désormais bien moins morcelé par des obstacles ; ce qui peut favoriser une charge sableuse supérieure à celle du cours d'eau principal du Scorff avant la confluence — où les nombreux aménagements stockent les sables. La retenue de la pisciculture du Grayo, point clef à la confluence entre le Scorff et le Kerustang et à la faible visibilité, devrait également être davantage explorée afin de parvenir à connaître précisément la morphologie du chenal au niveau de la confluence.

En raison de l'augmentation importante du taux de recouvrement sableux qui y est observé depuis 2010, il est également certain que le secteur de Poulhibet s'est considérablement sur-ensablé sur cette période. Les évolutions y avaient été faibles entre 1996 et 2010, laissant penser que le changement s'est effectué récemment, également à la suite de l'ouverture du barrage de Pont-Calleck. Un sur-ensablement semble donc s'être propagé à partir du Kerustang, affectant les secteurs plus propices à la sédimentation (fig.54.A.B.C). D'importants dépôts sableux, révélés par la vidange temporaire, montrent que les dépôts sont volumineux (fig.54.A.B). Les secteurs plus pentus de l'aval du Grayo et du Stang semblent relativement

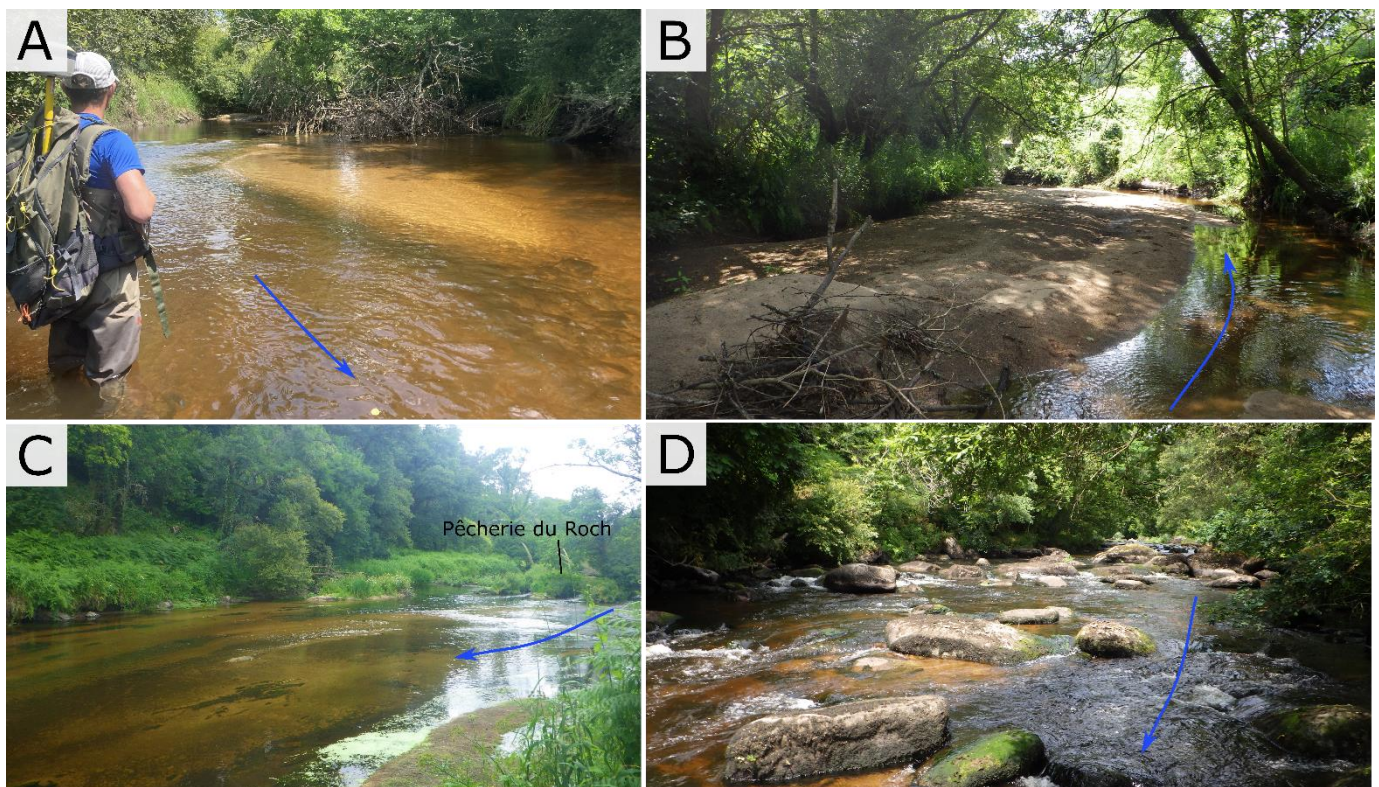


Figure 54. A. Banc sableux épais en amont du seuil du Moulin de Poulhibet temporairement vidangé. 47°57'2,91"N ; 3°23'13,5"O. B. Chenal secondaire totalement ensablé 200 m en amont. 47°57'2,61"N ; 3°23'1,84"O. C. Chenal entièrement ensablé en aval direct de la pêche du Roch, sous influence du Trou de Gaz. 47°53'30,46"N ; 3°24'17,45"O. D. Rapide à blocs du secteur du Grayo-aval. Photographies : Matthieu Doucerain. A-B. 22/06/2023. C. 28/06/2023. D.26/06/2023.

épargnés par cet apport accru (fig.54.D). Malgré cela, les dépôts importants présents derrière les rochers invitent à compléter cette estimation du taux de recouvrement des sables par une estimation de leur quantité en volume (Lisle et Hilton, 1993).

En revanche, la confiance à accorder à l'évolution positive de l'ensablement des secteurs du Stang-aval et du Paou depuis 2010 est moindre, puisqu'elle est plus faible. Elle est également contradictoire avec l'évolution observée entre Claude (1996) et Saget (2011). Claude (1996) obtenait des taux d'ensablement similaires à ceux relevés ici. Bien qu'il soit difficile d'interpréter l'évolution 1995-2010, la recrudescence de la sédimentation depuis 2010 est probablement toujours liée au relargage accidentel de la charge sableuse depuis l'ouverture du barrage de Pont-Calleck.

Les ouvrages toujours en place, ralentissant la propagation de la charge sableuse, empêchent cette dernière de circuler librement et créent de larges zones de dépôts. Ainsi, le taux de recouvrement sableux dépend bien plus des ouvrages, qui peuvent retenir énormément de sables, que d'une logique amont-aval (fig.54.B). Le taux de recouvrement sableux des faciès évolue donc peu d'amont en aval et semble même s'estomper. Notamment, dans le secteur en aval du Moulin des Princes, situé en aval de la retenue de Saint-Yves, la plus grande retenue du Scorff, le pourcentage de recouvrement des plat courants et des radiers est moins important qu'en amont. Il est connu que la charge sableuse, notamment grossière, a une vitesse de propagation lente dans des bassins versants assez peu pentus et très aménagés (Leprêtre, 2014, 2015). Les dépôts sédimentaires comblant ces ouvrages mériteraient d'être explorés, échantillonnés et caractérisés par sondage (*e.g.* Foster et al., 2022).

Au sein du bassin du Scorff, il y a une tendance au relargage de la charge solide à travers l'ouverture de plusieurs ouvrages — barrage de Pont-Kerlo en 2000, moulin du Stang 2002, moulin à Papier en 2004, et barrage de Pont-Calleck en 2011. Ces ouvertures, plus souvent accidentelles que planifiées, provoquent une accélération de la vitesse de transport des sables. L'effet de ces ouvertures d'ouvrages sur la présence de sables dans le cours d'eau est double : elles relâchent des sédiments stockés depuis parfois plusieurs siècles, en plus de cesser de stocker. Cela participe au sur-ensablement du chenal. Ainsi, Maire et *al.* (2003) ne préconisaient pas le démantèlement anarchique des seuils de la Moder en raison du risque de sur-ensablement que cela pourrait provoquer, notamment par érosion régressive des dépôts : ils proposaient plutôt leur entretien afin d'éviter des accidents, puis leur démantèlement progressif et contrôlé. Ce dernier est toujours souhaitable pour assurer la continuité écologique et diminuer la sédimentation sableuse excessive en amont.

Les lâchers d'eau des seuils, comme celui de Poulhibet dont les effets en termes de débit ont été visibles sur les relevés hydrométriques au cours de l'été 2022 (Hydroportail, 2023), pourraient aggraver l'ensablement des secteurs situés en aval.

d) Variables ayant un effet marginal sur la sédimentation sableuse

Localement, la présence d'embâcles — et de rochers multiples — dans le lit peut aggraver le taux de recouvrement de celui-ci par les sables, même dans des secteurs plus pentus. Il s'agit néanmoins d'un facteur marginal. Les secteurs avec présence d'île — notamment l'amont, l'aval et les chenaux secondaires — ont également identifiés comme des secteurs privilégiés pour les dépôts sableux, dans un contexte d'accroissement de la charge sédimentaire sableuse, ce qui est cohérent avec d'autres études (*e.g.* Latrubesse et *al.*, 2009). La largeur s'est révélée n'avoir qu'un effet indirect sur le taux de recouvrement par les sables, n'y étant que faiblement corrélée — cette dernière étant parfois élevée dans des secteurs pentus donc peu ensablés. Il s'agit davantage d'une variable de réponse à la sédimentation sableuse qu'une variable de contrôle.

Baglinière et Haury (1996) s'inquiétaient de l'impact sur l'ensablement des renoncules à pinceau, dont l'habitat correspond aux plats courants et radiers sur le Scorff — et dans une moindre mesure aux plats lents. Même en ne prenant qu'en compte les radiers et les plats courants, aucun effet de la présence de macrophytes sur l'ensablement n'est observé dans la présente étude. Cependant, la réalisation du terrain en début de saison de basses eaux conduit à rester prudent vis-à-vis de l'effet des macrophytes, qui pourraient aggraver l'ensablement au cours de la saison estivale. Les classes d'ensablement adoptées, assez larges, occultent d'ailleurs peut-être cet effet. Les stockages associés aux renoncules sont peut-être également plus importants en volume qu'en surface. La question nécessiterait d'être davantage étudiée dans le cadre d'un suivi de la dynamique des sables sur une période de référence.

Malgré la présence de nombreux facteurs explicatifs dans l'analyse, le sur-ensablement du secteur de la pêcherie Sainte-Anne n'a pourtant pas pu être clairement expliqué. Le secteur se trouve non loin en amont de la retenue du Roch, sans pour autant être sous son influence directe. L'explication la plus probable serait que ce sur-ensablement soit lié au ralentissement des eaux provoqué en amont de la retenue, celle-ci pouvant avoir lieu jusqu'à 2 km dans d'autres cours d'eau très fragmentés par les seuils (Foster *el al.*, 2022).

3) Impacts de l'ensablement et du sur-ensablement sur les habitats de reproduction de la lamproie marine

La relation entre les habitats de reproduction de la lamproie marine et la granulométrie sableuse avait été jusqu'alors peu étudiée spatialement. Les résultats ont montré que la densité de frayères est davantage liée à la dominance en substrat grossier qu'au taux d'ensablement. À l'image des résultats d'autres études, la plupart des habitats de reproduction observés possèdent des sables en quantité faible (Taverny et *al.*, 2004). En revanche, les lamproies semblent également fréquenter un habitat davantage ensablé. 25% des frayères en 2010 et en 2023 ont en ce sens été observées dans un environnement possédant 40% à 80% de sables. L'ACP réalisée et l'exemple du secteur Sainte-Anne (fig.55) montrent que ce type de frayères peut exister dans des zones où la disponibilité en substrat est importante malgré le taux d'ensablement élevé sur l'intégralité du secteur. En revanche, pratiquement aucune frayère n'a été observée en zone à plus de 80% de recouvrement. Les lamproies semblent avoir une certaine tolérance à une présence importante de sables tant que ceux-ci ne sont pas totalement recouvrants et laissent affleurants des substrats favorables.



Figure 55. Plat courant très sableux du secteur de la pêcherie Sainte-Anne. Une granularité plus diversifiée ainsi qu'une frayère sont néanmoins visibles au premier plan. 47°54'10.68"N ; 3°24'24,68"O. Photographie : Matthieu Doucerain, 14 juin 2023.

La capacité qu'ont les lamproies à évacuer le substrat sableux avec leur queue est bien connue (Johnson et *al.*, 2015). L'espèce est également connue pour choisir sa zone de reproduction préférentielle après avoir testé le substrat (Daupagne et *al.*, 2022). En revanche, un substrat trop sableux peut engendrer davantage de relargage des œufs avant éclosion (+20%) et potentiellement affecter leur taux de survie (Daupagne et *al.*, 2022).

Preuve supplémentaire de la faiblesse de l'impact de l'ensablement observé, l'augmentation de l'ensablement depuis 2010 semble peu concerner les habitats de reproduction de la lamproie marine. En effet, le taux d'ensablement des faciès où sont construites les frayères n'a pas évolué entre les deux dates. En revanche, un très léger sur-ensablement progressif est observé dans l'environnement des frayères, ce qui signifie que les sables sont légèrement plus présents autour de leurs zones de reproduction. Le niveau d'ensablement actuellement atteint ne semble pour le moment pas problématique, d'autant plus qu'il a lieu préférentiellement dans des secteurs et sur des faciès où elles ne se reproduisent pas — même si la part de plats courants avec plus de 40% de sables a tout de même augmenté de 10% entre les deux dates. Ainsi, le nombre moyen d'autres frayères environnant chaque frayère, choisi comme indice de concentration des frayères, n'a que peu varié depuis 2010. Cela indique que les habitats disponibles ne se sont pas réduits de manière significative.

A l'échelle des tronçons homogènes, bien que quelques secteurs qui ne s'ensablent pas ou peu depuis 2010 concentrent davantage de frayères — Pont-Kerlo, Roch et Moulin des Princes —, d'autres, qui s'ensablent également peu — Stang et Moulin à Papier — ont vu leur densité en frayères baisser de manière significative. D'autres processus — non expliqués — semblent donc influencer cette diminution. Malgré les relations à caractère linéaire obtenues, l'évolution de l'ensablement n'est pas la principale variable explicative de leur répartition à l'échelle des tronçons.

Même en cas de sur-ensablement progressif dans le futur, il n'est donc pas certain que cela devienne un réel problème pour la lamproie, étant donné que leurs habitats sont moins préférentiellement ensablés que les faciès profonds. Elles semblent tolérer la présence de sables tant qu'un minimum de surface d'habitat favorable est présent. La faible longueur temporelle des données de localisation des frayères utilisées dans cette étude, offrant peu de recul, invitent cependant à ne pas sous-estimer un effet à plus long terme. Il convient également de rappeler que, faute de données d'abondance disponibles, l'étude s'est uniquement focalisée sur le nombre de frayères, qui n'est que très indirectement représentatif de l'abondance de lamproies. Cela ne signifie pas non plus que le succès de reproduction, comme le recrutement, ne sont pas affectés par le sur-ensablement (Dhamelinourt, 2022 ; Daupagne et *al.*, 2022).

4) Autres perspectives

a) Développement d'un suivi temporel de l'ensablement de plusieurs sites

Comme la plupart des études réalisées sur l'ensablement et le sur-ensablement, le présent travail se fonde à la fois sur un modèle d'érosion des sols présentant des défauts, ainsi que sur une estimation visuelle subjective du simple recouvrement sableux du lit, à un instant précis. La répartition des sables dans un cours d'eau évolue cependant de manière extrêmement rapide, même au sein d'une saison de basses eaux (Topping et *al.*, 2018). Cette méthodologie a été adoptée car elle permettait d'arpenter rapidement le linéaire en utilisant des variables peu complexes à mesurer en protocole standardisé. Elle gagnerait donc à être complétée par un suivi temporel. Une étude de quantification des sables en volume par échantillonnage — notamment sur les gros bancs ou dans les faciès profonds — permettrait d'avoir une bien meilleure idée de la répartition et du stockage effectif de la quantité de sables par secteur. La contribution des berges, qui s'est révélée faible dans cette étude — les secteurs prospectés ayant une mobilité latérale peu importante —, pourrait être suivie temporellement par des mesures en des points précis dans des secteurs plus sinueux (Lawler, 1993). Cela permettrait de construire des budgets sédimentaires (Lisle et Hilton, 1992 ; Hilton et Lisle, 1993 ; Rollet, 2007 ; Liébault et Laronne, 2008).

b) Traçage des sables depuis leur source

La provenance des sédiments sableux, qu'il est difficile de comprendre en raison de la perturbation de leur répartition par les ouvrages ainsi que les autres facteurs mis en évidence dans cette étude, pourrait être recherchée dans le cadre de futurs projets.

La minéralogie des sédiments pourrait notamment être utilisée (*e.g.* Nascimento et *al.*, 2014). Le bassin versant du Scorff a la particularité d'avoir un amont plutôt micaschisteux, où se concentrent beaucoup d'activités agricoles. Les granites présents dans le bassin versant ont également des caractéristiques variées (Béchenec et *al.*, 2012). Les sous-bassins les plus sensibles à l'érosion, situés sur la bande micaschisteuse, produiraient des sédiments à la minéralogie différente de ceux de sous-bassins granitiques. Les dépôts quaternaires de fond de vallée, correspondant aux processus d'érosion de berges, sont également de nature très différente. Cette diversité de roches favoriserait le traçage minéral des sédiments. Ces mêmes sédiments de fond de vallée pourraient d'ailleurs être sondés et datés en plusieurs points afin de voir si une augmentation de la sédimentation sableuse est observée dans les plaines alluviales

depuis le remembrement. Cela pourrait mettre en exergue les effets de l'activité agricole sur la morphologie du Scorff.

Des estimations de la capacité de transport du Scorff pour estimer la vitesse de propagation de la charge sableuse pourraient être mises en place à travers le traçage des particules sableuses, par exemple par fluorescence (Laronne et *al.*, 1992). Il serait également intéressant de suivre l'évolution de la granulométrie des sédiments sableux présents dans le chenal d'amont en aval, afin de voir si celle-ci diminue sous l'effet d'une ségrégation — notamment observée par Foster et *al.* (2022) sur le bassin versant de la Rother.

Afin de vérifier la corrélation entre productions sableuses et recouvrement sableux des faciès, plusieurs cours d'eau des sous-bassins — notamment le Kerustang plus en amont, le Corronc, le Kerlann, le Kerudel et le Chapelain — mériteraient d'être arpentés, comme ils l'ont déjà été par Claude (1996) et Saget (2011). Le cours du Scorff en amont du moulin de Hervéno, réputé très ensablé (Saget, 2011), pourrait également en faire partie. Cette méthodologie de comparaison de la production sableuse avec les faciès pourrait également être étendue à d'autres bassins versants connaissant un contexte similaire (*e.g.* Sarre, Ellé, Isole, Aven).

c) Effet de l'ensablement sur les communautés biologiques

Afin de compléter les connaissances sur les problèmes posés par l'ensablement et le sur-ensablement sur les communautés biologiques, leurs effets sur d'autres espèces comme le saumon atlantique, pour lequel les effets de la sédimentation sableuse sont différents de ceux concernant la lamproie marine (Lisle, 1989), pourraient être étudiés. Les données récoltées depuis 1994 par la station du Moulin des Princes de l'INRAE sur le saumon atlantique sont riches, avec de multiples sites de suivi d'abondance. Elles sont notamment plus détaillées que celles récoltées sur la lamproie.

Afin d'enrichir l'analyse effectuée, l'utilisation de nombreuses autres données récoltées sur le bassin versant du Scorff par l'INRAE (*e.g.* données concernant la qualité / chimie de l'eau et sa température, la présence d'obstacles et leurs caractéristiques, les chroniques de débits) permettrait d'enrichir la compréhension de la répartition des frayères et de leur évolution dans le temps. Cela pourrait être appliqué aussi bien pour la lamproie marine que pour d'autres espèces telles que le saumon atlantique.

Cette étude a permis de mettre en valeur les principaux facteurs responsables des dépôts sableux sur tout le secteur aval du Scorff, ainsi que de nombreuses évolutions de l'ensablement ayant eu lieu depuis les précédents relevés de faciès réalisés sur le cours d'eau. Le contrôle important des dépôts par la pente et les ouvrages était déjà largement renseignée par la littérature sur d'autres cours d'eau (Grosprêtre, 2011 ; Foster et *al.*, 2022). En revanche, la difficulté pour relier l'occupation et la structure des sols avec le taux de recouvrement des faciès sableux, ce qui a différé de la plupart des études (e.g. Cover et *al.*, 2008), peut s'expliquer par le mode d'arpentage choisi ici — un arpentage sur un même cours d'eau et non sur plusieurs cours d'eau de même ordre. Cette influence de l'occupation des sols a pu néanmoins être largement mise en valeur par le cas du ruisseau de Kerustang. La présence relativement importante de dépôts sableux dans son lit en comparaison avec celui du cours d'eau principal, ainsi que la forte augmentation du taux d'ensablement depuis Saget (2011), permettent d'avancer que ce dernier subit depuis peu un sur-ensablement, qui s'est propagé à des secteurs plus en aval. Celui-ci a été provoqué à la suite de l'ouverture du barrage de Pont-Calleck en 2011 et est toujours présent en 2023. La faiblesse de l'érosion régressive observée dans les dépôts de l'ancienne retenue invitent à penser que la charge sableuse propagée provient du caractère très agricole du sous-bassin versant amont. En revanche, ce sur-ensablement ne semble pas affecter de manière significative la répartition des frayères de lamproie, dont la capacité d'adaptation vis-à-vis d'un accroissement de la charge sableuse avait déjà été évoquée (Daupagne et *al.*, 2022).

Les connaissances sur le phénomène de sur-ensablement du Scorff méritant d'être approfondies, les résultats obtenus ouvrent de nouvelles perspectives. Ainsi, des études mettant en place un suivi temporel de l'ensablement en des sites précis, un traçage des sables depuis leur source, élargissant le suivi aux affluents et se concentrant sur d'autres espèces inféodées à un substrat grossier pourront voir le jour en s'inspirant en partie des résultats et de la méthodologie utilisée dans le présent travail.

Conclusion

Complétant les précédents relevés de faciès d'écoulement réalisés sur le Scorff, qui ne s'attelaient pas à expliquer l'ensablement (Claude, 1996 ; Saget, 2011), la présente étude a permis de mettre en évidence le rôle d'un grand nombre de facteurs sur ce dernier. Une augmentation de l'ensablement depuis 2010 a notamment été mise en lumière dans une grande partie des secteurs prospectés.

L'estimation du potentiel de production sableuse d'origine agricole à l'aide de l'équation universelle de pertes en sols a révélé un potentiel plus important dans les sous-bassins versants d'affluents de la partie amont et médiane du cours d'eau. Ce potentiel de production ne s'est pas systématiquement traduit de manière évidente sur le terrain, certains affluents sensibles n'apportant aucune charge sableuse conséquente au Scorff. Cela rappelle l'importance de la prise en compte de la connectivité et de la complexité du fonctionnement des bassins versants.

L'augmentation du potentiel de production de sédiments sableux depuis 2002 est faible (+3,5%), correspondant à l'augmentation de la superficie en terres arables. La hausse de l'ensablement observée au cours des 20 dernières années sur le Scorff ne peut donc pas être uniquement d'origine agricole. En revanche, il est probable que les cours d'eau du bassin versant connaissent un sur-ensablement chronique depuis le remembrement des années 1960, dont la majeure partie a été stockée dans les retenues en amont d'ouvrages. Une prospection plus fine des retenues, des relevés étendus à d'autres affluents ou des carottages dans les plaines d'inondation seraient nécessaires pour approfondir cette question.

Bien plus que l'occupation des sols en amont, le taux de recouvrement du lit par les sables est contrôlé spatialement par la pente et la présence d'ouvrages, réputés pour piéger de manière efficace la charge sableuse. D'autres facteurs, comme la présence d'embâcles ou de gros blocs dans le cours d'eau, la largeur pleins bords et la présence d'îles peuvent localement favoriser les dépôts sableux dans des zones initialement peu propices. Ces facteurs restent néanmoins marginaux et n'expliquent pas le sur-ensablement de tronçons entiers, n'étant corrélés à ce dernier que dans des composantes secondaires de l'AFDM réalisée.

Malgré le fait que la répartition des sables sur le linéaire semble logique — à l'exception de secteurs comme le Kerustang, Poulhibet et Sainte-Anne —, la comparaison avec les relevés de 2010 a révélé une augmentation de l'ensablement dans de nombreux secteurs. En dépit des

biais d'opérateur ayant pu avoir lieu entre les deux relevés, cette augmentation est sans équivoque, notamment sur le secteur prospecté du Kerustang, le principal affluent du Scorff. Cette dernière a été provoquée par le relargage de la charge sableuse à la suite de l'ouverture accidentelle en 2011 de la principale retenue de ce sous-bassin située 1,2 km en amont de la confluence : le barrage de Pont-Calleck, datant du XIII^e siècle. Ce sous-bassin versant, plus agricole et moins fractionné par les obstacles, est susceptible d'apporter bien davantage de sédiments que le Scorff, lourdement aménagé. Le secteur de Poulhibet et, bien plus en aval, le secteur de Sainte-Anne, sont les autres secteurs ayant connu la plus grosse augmentation de l'ensablement depuis 2010. Ce premier s'est probablement beaucoup sur-ensablé à la suite de l'ouverture du barrage, étant situé non loin de la confluence (6 km). D'autres secteurs peu pentus ont connu la même évolution, dans des proportions moindres. Pour le secteur de Sainte-Anne, l'origine de l'augmentation n'a pu être clairement expliquée. En aval du linéaire prospecté, peu d'évolutions ont été observées, laissant penser que les sables relargués à Pont-Calleck sont restés stockés plus en amont.

Ces évolutions depuis 2010 ont donc permis de montrer que malgré la répartition actuelle apparemment logique contrôlée par la pente, la présence de sables dans le chenal du Scorff est considérablement plus importante qu'avant, notamment au sein des faciès lentiques. Le rôle prépondérant de l'ouverture de la retenue de Pont-Calleck dans ce sur-ensablement observé ne doit toutefois pas occulter l'effet de l'érosion des sols agricoles qui y avait préalablement provoqué une forte sédimentation.

La présente étude a également mis à profit un jeu de données de localisation de frayères de lamproie relevées depuis 2009, dont l'étude de la répartition spatiale croisée aux faciès était nouvelle. De nouvelles informations sur l'effet des sables sur la lamproie marine ont été tirées de cette analyse. Malgré le développement d'un sur-ensablement depuis 2010, les frayères de lamproie sont toujours — en 2023 comme en 2010 — situées sur des faciès ayant le même niveau d'ensablement. Cela s'explique par deux causes. Tout d'abord, les frayères sont construites au niveau de faciès lotiques, qui sont défavorables aux dépôts sableux. Ensuite, la lamproie marine possède vraisemblablement une tolérance à la présence de sables, tant qu'il y a présence de substrats convenables (cailloux, pierres). L'augmentation très probable de la charge sableuse du Scorff depuis 10 à 20 ans — d'après les résultats obtenus — ne semble donc pas avoir eu d'effet significatif sur ses habitats de reproduction. En effet, l'espèce semble encore trouver des habitats disponibles en quantité suffisante, sans qu'on observe une concentration croissante

significative des frayères. Néanmoins, si l'augmentation de la charge sableuse continue à être observée, cela pourra peut-être à terme lui poser problème.

Constituant un simple état des lieux de l'ensablement du cours aval du Scorff, la présente étude nécessite d'être approfondie. Un suivi de la dynamique temporelle des dépôts sableux sur plusieurs années, ainsi qu'un traçage du déplacement de ces sédiments dans le bassin versant, permettront de davantage objectiver le phénomène de sur-ensablement. Des données plus complètes sur le saumon atlantique pourront également être mises à profit pour mieux comprendre les effets de ces dépôts sableux excessifs sur les écosystèmes aquatiques bretons.

Bibliographie

AGRESTE (2016). Tableaux de l'agriculture bretonne. DRAAF-Bretagne, Rennes. 87 p.

Almeida, P. R., Quintella, B. R., Dias, N. M., & Andrade, N. (2002). The anadromous sea lamprey in Portugal: biology and conservation perspectives. In: Moser M, Bayer J, MacKinlay D (eds) *The biology of lampreys, symposium proceedings, International Congress on the Biology of Fish, American Fisheries Society, 21–25 July, Vancouver, British Columbia*, 49–58.

Applegate, V. C. (1950). *Natural history of the sea lamprey, Petromyzon marinus, in Michigan.* University of Michigan. 251 p.

Astrade, L., Jacob, N., Bravard, J. P., & Alvarez, C. (1999). Dynamique sédimentaire d'un cours d'eau de montagne court-circuité: la haute vallée de l'Aude à l'aval du barrage de Puyvalador (France). *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 37, 91-109.

Azam, D., Basilico, L., Beaulaton, L., Marchand, F., et Prévost, É. 2020. ORE sur les poissons diadromes dans les fleuves côtiers (ORE DiaPFC). Bresle - Oir - Scorff - Nivelle. Trois décennies d'observations et de recherche sur les poissons migrateurs. Collection Comprendre pour agir, Office Français de la Biodiversité, 60 p.

Baglinière, J. L., & Champigneulle, A. (1986). Population estimates of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, as indices of smolt production in the river Scorff, Brittany. *Journal of Fish Biology*, 29(4), 467-482.

Béchenec, F., Thiéblemont, D., Audru, J., Cocherie, A., & Corbier, P. (2006). Notice explicative de la feuille Plouay à 1/50 000. Orléans, BRGM, 114 p.

Bechenec, F., Hallegouet, B., Thieblemont, D., Thion, I., Cocherie, A., Guerrot, C., & Lucassou, F. (2012). Notice explicative de la carte géologique de la France au 1/50 000, feuille Lorient (383). Orléans, BRGM, 210 p.

Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., & Norton, K. (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6059-6086.

BDLISA (2019). Fiche 195AA01 – Socle métamorphique dans le bassin versant du Scorff de sa source à la mer. BRGM Bretagne, 4 p.

Brierley, G. J., Cohen, T., Fryirs, K. & Brooks, A. (1999). Post-European changes to the fluvial geomorphology of Bega catchment, Australia : implications for river ecology. *Freshwater Biology*, 41, 839–848.

Cerdan, O., Govers, G., Bissonais, Y. L., Oost, K. V., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.J.P.M, Raclot, D, Ionita, I., Rejman, J., Rousseva, S., Muxart, T., Roxo, M.J. & Dostal, T. (2010). Rates and spatial variations of soil erosion in Europe : A study based on erosion plot data. *Geomorphology*, 122(1-2), 167-177.

Champigneulle, A. (1978). Caractéristiques de l'habitat piscicole et de la population de juvéniles sauvages de saumon atlantique (*Salmo salar L.*) sur le cours principal du Scorff. Thèse de doctorat, Université Rennes 1, 92 p.

Claude, A. (1996). Deux éléments de recrutement chez le Saumon atlantique (*Salmo salar L.*) dans le massif armoricain. Quantification des surfaces d'habitat favorable aux juvéniles et estimation de la survie au stade embryon-larvaire sur le Scorff (Morbihan) et l'Oir, affluent de la Sélune (Manche). Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 105 p.

Corgne, S. (2004). Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif Application à la couverture hivernale des sols en Bretagne. Thèse de Doctorat, Université Rennes 2, 231 p.

Cosyns, A., Senecal, A. & Baisez, A. (2013). Etude actualisée des potentialités d'accueil de la Gartempe pour le saumon atlantique. Loire Grands Migrateurs, 79 p.

Cover, M. R., May, C. L., Dietrich, W. E., & Resh, V. H. (2008). Quantitative linkages among sediment supply, streambed fine sediment, and benthic macroinvertebrates in northern California streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(1), 135-149.

Daniel, H., & Haury, J. (1996). Les macrophytes aquatiques: une métrique de l'environnement en rivière. *Cybium*, 20(3 sup), 129-142.

Davis, J. A., & Finlayson, B. (2000). Sand slugs and stream degradation: the case of the Granite Creeks, north-east Victoria. *Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology*. Canberra, 108 p.

Daupagne, L., Dhamelincourt, M., Michaud, A., Rives, J., Sebihi, S., & Tentelier, C. (2022). Realistic variations in substrate composition affect spawning preference and egg retention in river lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Journal of Fish Biology*, 101(4), 1078-1083.

Desmet, P. J. J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51(5), 427-433.

Dhamelincourt, M. (2022). The use of sea lamprey (*Petromyzon marinus* L. 1758) nests for a better understanding of the ecology, behaviour and ecosystem interactions of the species during its spawning phase. Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour. 320 p.

Dubreuil, V., Huon, F., & Lejeune, C. (1996). Les précipitations intenses en Bretagne. *Norois*, 170(1), 395-406.

Erskine, W. (1994a). River response to accelerated soil erosion in the Glenelg River catchment, Victoria. *Australian Journal of Soil and Water Conservation (Australia)*. 7(2), 39-47.

Erskine, W. D. (1994b). Sand slugs generated by catastrophic floods on the Goulburn River, New South Wales. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 224, 143-152.

Erskine, W. D. (2009). Natural versus anthropogenic sources of channel sand and fine gravel following integrated logging in the Letts Creek catchment, NSW. *Australian Forestry*, 72(2), 61-70.

Etablissement Public Loire (2015). Etude géomorphologique du Cher dans sa traversée tourangelle. 132 p.

Fiener, P., & Auerswald, K. (2006). Rotation effects of potato, maize and winter wheat on water erosion from cultivated land. *Advances in GeoEcology*, 38, 273-280.

Fiener, P., & Auerswald, K. (2015). Comment on " The new assessment of soil loss by water erosion in Europe" by Panagos et al.. *Environmental Science & Policy*, 54, 438–447.

Ferrand, J.P. (1993). Le patrimoine naturel du bassin du Scorff. Syndicat du bassin du Scorff, 173 p.

Ferreira, M. E., Ferreira, L. G., Latrubesse, E. M., & Miziara, F. (2008). High resolution remote sensing based quantification of the remnant vegetation cover in the Araguaia River basin, Central Brazil. In *IGARSS 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. IV-739.

Ferreira, R. M., Ferreira, L. M., Ricardo, A. M., & Franca, M. J. (2010). Impacts of sand transport on flow variables and dissolved oxygen in gravel-bed streams suitable for salmonid spawning. *River research and applications*, 26(4), 414-438.

Ferreira, V. and Panagopoulos, T. (2014). Seasonality of soil erosion under Mediterranean conditions at the Alqueva dam watershed, *Environmental Management*, 54, 67–83.

Fiener, P., & Auerswald, K. (2007). Rotation effects of potato, maize, and winter wheat on soil erosion by water. *Soil Science Society of America Journal*, 71(6), 1919-1925.

Flatrès, P. (1979). L'évolution des bocages: la région Bretagne. *Norois*, 103(1), 303-320.

Foster, I. D., Biddulph, M., Boardman, J., Copeland-Phillips, R., Evans, J., Pulley, S. J., Zhang, Y. & Collins, A. L. (2019). A palaeoenvironmental study of particle size-specific connectivity—New insights and implications from the West Sussex Rother Catchment, United Kingdom. *River Research and Applications*, 35(8), 1192-1202.

Foster, I. D., Boardman, J., Evans, J. L., Copeland-Phillips, R., Vadher, A. N., Wright, S., Collins, A.L. & Manning, C. (2022). Anthropogenic sediment traps and network dislocation in a lowland UK river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47(1), 143-158.

Fryirs, K. & Brierley, G. J. (2001). Variability in sediment delivery and storage along river courses in Bega catchment, NSW, Australia: implications for geomorphic river recovery. *Geomorphology*, 38, 237–265.

Fryirs, K. (2013). (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(1), 30-46.

Gay, A. (2015). Transfert de particules des versants aux masses d'eau sur le bassin Loire-Bretagne. Thèse de doctorat, Université François Rabelais de Tours. 284 p.

Gilet, L., Gob, F., Virmoux, C., Touche, J., Harrache, S., Gautier, E., Moës, M., Thommeret, N. & Jacob-Rousseau, N. (2018). Suivi de l'évolution morphologique et sédimentaire de l'Yonne suite à la première phase du démantèlement du barrage de Pierre Glissotte (Massif du Morvan, France). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 24(1), 7-29.

Grosprêtre, L. (2011). Etude et gestion des impacts hydrogéomorphologiques de la périurbanisation. L'exemple du bassin de l'Yzeron dans l'Ouest lyonnais. Thèse de doctorat, Université Lumière-Lyon II. 302 p.

Haury, J., & Bagliniere, J. L. (1996). Macrophytes as structuring component for fish habitat in a salmonid river. A study of fish microrepartition in a macrophyte site in the River Scorff (Southern Brittany). *Cybium*, 20, 111-127.

Haury, J., & Aïdara, L. G. (1999). Macrophyte cover and standing crop in the River Scorff and its tributaries (Brittany, northwestern France): scale, patterns and process. *Hydrobiologia*, 415, 109-115.

Hilton, S., Lisle, T.E. (1993). *Measuring the fraction of pool volume filled with fine sediment.* Res. Note PSW-RN414. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 11 p.

Höfler, S., Gumpinger, C., & Hauer, C. (2016). Coarse sand as a specific problem for aquatic ecosystems in granite-dominated landscapes. In *River Sedimentation : Proceedings of the 13th International Symposium on River Sedimentation.* Stuttgart, Germany 865-872.

Houbrechts, G., Gob, F., Tamisier, V., Gautier, E., Levecq, Y., Peeters, A., & Petit, F. (2017). Transport de la charge sableuse dans les rivières caillouteuses de Belgique et du nord de la France grâce aux scories de la sidérurgie ancienne. In *Colloque sur le Transport solide et la morphodynamique des rivières*, Villeurbanne, France.

Huet, P., Roussel, P., Martin, X., Bourget, B., Varret, J., Guellec, J., Monadier, P., Sauzey, P. & Teyssier, A. (2001). Mission d'expertise sur les crues de décembre 2000 et janvier 2001 en Bretagne. *Rapport technique, Inspection Générale de l'Environnement.* 144 p.

Hume J.B., Almeida P.R., Buckley C.M., Criger L.A., Madenjian C.P., Robinson K.F., Wang C.J., Muir A.M. (2021). Managing native and non-native sea lamprey (*Petromyzon marinus*) through anthropogenic change: A prospective assessment of key threats and uncertainties. *Journal of Great Lakes Research*, 47 (1),704-722

Hydro Concept (2011). Etude de la continuité écologique de l'étang de Pont-Calleck. 53 p.

Johnson, N. S., Buchinger, T. J., & Li, W. (2015). Reproductive ecology of lampreys. *Lampreys: Biology, Conservation and Control*, 1, 265-303.

Knighton, A. D. (1999). The gravel–sand transition in a disturbed catchment. *Geomorphology* 27, 325–341.

Laronne J.E., Outhet D.N., Duckham J.L., McCabe T.J., 1992. Determining event bedload volumes for evaluation of potential degradation sites due to gravel extraction, N.S.W., Australia. In *Proceedings of the Symposium “Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basin”*, 24-29 August 1992, Oslo, Norway, IAHS Publications, 87-94.

Lasne, E., & Sabatié, R. (2009). Flux migratoires et indices d’abondance des populations de lamproies du Scorff, de l’Oir et de la Bresle (*Petromyzon marinus*, *Lampetra fluviatilis* et *L. Planeri*)(Rapport final). Pôle INRA-ONEMA Gest’Aqua, 92 p.

Lasne, E., Sabatié, M. R., Jeannot, N., & Cucherousset, J. (2015). The effects of dam removal on river colonization by sea lamprey *Petromyzon marinus*. *River research and applications*, 31(7), 904-911.

Latrubesse, E. M., Amsler, M. L., de Morais, R. P. & Aquino, S. (2009). The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. *Geomorphology* 113, 239–252.

Lawler, D. M. (1993). The measurement of river bank erosion and lateral channel change: a review. *Earth surface processes and landforms*, 18(9), 777-821.

Le S., Josse J., Husson F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 25, 1-18.

Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., & Daroussin, J. (2002). L’érosion hydrique des sols en France. *Rapport INRA-IFEN*. 107 p.

Le Falher, L., Prigent, G., Lamblin, R., & Janet, B. (2015). Retour hydrologique sur les crues de l’hiver 2013–2014 en Bretagne. *La Houille Blanche*, (2), 5-8.

Lefrançois, J. J. (2007). Dynamiques et origines des matières en suspension sur de petits bassins versants agricoles sur schiste. Thèse de doctorat, Université Rennes 1. 280 p.

Leprêtre C. (2014). Etude de l'activité sidérurgique dans la vallée de la Risle. Utilisation des scories comme traceur de la propagation des sédiments de la Risle. Mémoire de Master 1, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 79 p.

Leprêtre C. (2015). Utilisation des scories de la métallurgie ancienne pour la dynamique morphosédimentaire de plusieurs rivières de Haute-Normandie. Mémoire de Master 2, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 118 p.

Liébault F., Laronne J.B. (2008). Evaluation of bedload yield in gravel-bed rivers using scour chains and painted tracers: the case of the Esconavette torrent (southern French prealps). *Geodinamica Acta*, 21, 23-34.

Lisle, T. E. (1989). Sediment transport and resulting deposition in spawning gravels, north coastal California. *Water resources research*, 25(6), 1303-1319.

Lisle, T. E., & Hilton, S. (1992). The volume of fine sediment in pools : an index of sediment supply in gravel-bed streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 28(2), 371-383.

Lisle, T. E., & Hilton, S. (1999). Fine bed material in pools of natural gravel bed channels. *Water Resources Research*, 35(4), 1291-1304.

Lisle, T. E., & Madej, M. A. (1992). Spatial variation in armouring in a channel with high sediment supply. *Dynamics of gravel-bed rivers*, 277-293.

Malavoi, J. R. (1989). Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (315), 189-210.

Malavoi, J. R., & Souchon, Y. (2002). Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière: clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (365-366), 357-372.

Maire G., Schmitt L., Trautmann J., 2003. L'ensablement des rivières issues des Vosges gréseuses. La Moder en amont d'Uberach. *In* : Gazelle F., Corbonnois J., Vigneau J.-P., Morceaux choisis de littérature scientifique sur la vie des cours d'eau, Ed. Université de Toulouse le Mirail. 39-57.

Martin, P. (1997). Pratiques culturales, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du nord-ouest de l'Europe. Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon. 289 p.

Meyer, L. D., Harmon, W. C., & McDowell, L. L. (1980). Sediment sizes eroded from crop row sideslopes. *Transactions of the ASAE*, 23(4), 891-898.

Meyer, L. D., Zuhdi, B. A., Coleman, N. L., & Prasad, S. N. (1983). Transport of sand-sized sediment along crop-row furrows. *Transactions of the ASAE*, 26(1), 106-111.

Morman, R. H., Cuddy, D. W., & Rugen, P. C. (1980). Factors influencing the distribution of sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(11), 1811-1826.

Nascimento Jr, D. R., Sawakuchi, A. O., Guedes, C. C., Giannini, P. C., Grohmann, C. H., & Ferreira, M. P. (2015). Provenance of sands from the confluence of the Amazon and Madeira rivers based on detrital heavy minerals and luminescence of quartz and feldspar. *Sedimentary Geology*, 316, 1-12.

Ouvry, J. F., & Ledun, J. (2017). Des zones tampons hydrauliques et paysagères pour réduire les transferts de MES vers les cours d'eau. *La Houille Blanche*, (6), 35-39.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land use policy*, 48, 38-50.

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Perčec Tadić, M., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S. & Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511, 801-814.

Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of theoretical biology*, 13, 131-144.

Planchon, O., Quénol, H., Dupont, N., & Corgne, S. (2009a). Application of the Hess-Brezowsky classification to the identification of weather patterns causing heavy winter rainfall in Brittany (France). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(4), 1161-1173.

Planchon, O., Quénol, H., & Corgne, S. (2009b). Assessing precipitation and large-scale weather situations in Brittany: the usefulness of the Hess-Brezowsky classification. *Die Erde*, 140(2), 195-217.

Platts, W. S., Torquemada, R. J., McHenry, M. L., & Graham, C. K. (1989). Changes in salmon spawning and rearing habitat from increased delivery of fine sediment to the South Fork Salmon River, Idaho. *Transactions of the American Fisheries Society*, 118(3), 274-283.

Potter, I. C., Gill, H. S., Renaud, C. B., & Haucher, D. (2015). The taxonomy, phylogeny, and distribution of lampreys. *Lampreys: biology, conservation and control*, 1, 35-73.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Renard, K. G. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 407 p.

Richards, C., Host, G. E., & Arthur, J. W. (1993). Identification of predominant environmental factors structuring stream macroinvertebrate communities within a large agricultural catchment. *Freshwater Biology*, 29(2), 285-294.

Richards, C., Johnson, L. B., & Host, G. E. (1996). Landscape-scale influences on stream habitats and biota. *Canadian Journal of Fisheries and aquatic sciences*, 53(S1), 295-311.

Richards, K. (1982). *Rivers, Form and Process in alluvial channels*. Methuen, London, 360 p.

Rollet, A. J. (2007). Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage: le cas de la basse vallée de l'Ain. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin-Lyon III. 306 p.

Roussel, J. M., Bardonnnet, A., Haury, J., Baglinière, J. L. J. L., & Prévost, E. (1998). Peuplement pisciaire et végétaux aquatiques: approche expérimentale de l'enlèvement des macrophytes dans les radiers du Scorff (Bretagne). *Bulletin Français de la Pêche et de la pisciculture*, 350-351, 693-709.

Sabatié, M. (2001). Inventaire des habitats fréquentés par les lamproies dans les rivières Scorff et Sarre. ENSAR–INRA Département Halieutique, Laboratoire d'Ecologie aquatique, 52 p.

Saget, C. (2011). Quantification des surfaces d'habitat favorable aux juvéniles de saumon atlantique sur le Scorff: étude comparative et propositions de gestion. Rapport de BTS Gestion et Protection de la Nature, option Gestion des espaces naturels, CFA de Pommerit-Jaudy. 116 p.

Soil Survey Division Staff (1993). *Soil Survey Manual*. Revised Edition, US Department of Agriculture, Washington, DC. 503 p.

Suizu, T. M., Latrubesse, E. M., Stevaux, J. C. & Bayer, M. (2022). Resposta da morfologia do médio-curso superior do Rio Araguaia às mudanças no regime hidrossedimentar no período 2001-2018. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 23, 1420–1434.

Syndicat du bassin versant du Scorff (2009). Etude préalable pour un contrat de restauration et d'entretien des milieux aquatiques du Scorff. 203 p.

Syndicat du bassin versant du Scorff (2010). Schéma d'aménagement et de gestion des eaux du bassin du Scorff. Etat des lieux et diagnostic. 286 p.

Syndicat intercommunal d'aménagement de la Gartempe (2020). Demande de déclaration d'intérêt général dans le cadre de la mise en œuvre du Contrat Territorial Milieux Aquatiques « Bassin de la Gartempe amont » (2018-2022). 127 p.

Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières (2008). Etude de l'ensablement en haute vallée de l'Aude. 99 p.

Tanguy, D. (1982). Arzano, archéologie du paysage. Mémoire de Maîtrise d'Histoire, Faculté des Lettres, Université de Bretagne occidentale, Brest, 188 p.

Taverny, C., Urdaci, M., Elie, P. (2004). Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (Agnathes amphihalins) - Deuxième tranche fonctionnelle. Cestas, Cemagref Bordeaux, 49p.

Taverny, C., Lassalle, G., Ortusi, I., Roqueplo, C., Lepage, M., & Lambert, P. (2012). From shallow to deep waters: habitats used by larval lampreys (genus *Petromyzon* and *Lampetra*) over a western European basin. *Ecology of Freshwater Fish*, 21(1), 87-99.

Ten Brinke, W. B., Schoor, M. M., Sorber, A. M., & Berendsen, H. J. (1998). Overbank sand deposition in relation to transport volumes during large-magnitude floods in the Dutch sand-bed Rhine river system. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23(9), 809-824.

Thibault, M., & Vinot, C. (1989). Les moulins à eau sur les cours d'eau à saumon atlantique de Bretagne. Evolution et diversification des implantations; modification de l'écosystème/Water mills on Atlantic salmon rivers in Brittany: locational evolution and variation. Modification of the ecosystem. *Géocarrefour*, 64(4), 204-212.

Thoms, M. C. (1998). Sand accumulation in a gravel-bed river. In Brobrowsky, P.T., *Aggregate Resources*. CRC Press, London, 157-169.

Topping, D. J., Mueller, E. R., Schmidt, J. C., Griffiths, R. E., Dean, D. J., & Grams, P. E. (2018). Long-term evolution of sand transport through a river network: Relative influences of a dam versus natural changes in grain size from sand waves. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 123(8), 1879-1909.

Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk: assessment in Europe. European Soil Bureau, 38 p.

Van Rijn, L. C. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries, coastal seas and oceans*. Aqua publications, Amsterdam, 325 p.

Viel, V. (2012). Analyse spatiale et temporelle des transferts sédimentaires dans les hydrosystèmes normands. Exemple du bassin versant de la Seulles. Thèse de doctorat. Université de Caen. 370 p.

Viel, V., Delahaye, D. & Reulier, R. (2014). Impact de l'organisation des structures paysagères sur les dynamiques de ruissellement de surface en domaine bocager. Etude comparée de 3 petits bassins versants bas-normands. *Geomorphologie*, 20, 175–188.

Vongvixay, A. (2012). Mesure et analyse de la dynamique temporelle des flux solides dans les petits bassins versants. Cas d'un bassin versant agricole en région d'élevage (Le Moulinet, Basse-Normandie, France). Thèse de doctorat. INSA de Rennes. 206 p.

Vongvixay, A., Grimaldi, C., Dupas, R., Fovet, O., Birgand, F., Gilliet, N. & Gascuel-Oudou, C. (2018). Contrasting suspended sediment export in two small agricultural catchments: Cross-influence of hydrological behaviour and landscape degradation or stream bank management. *Land Degrad & development*, 29, 1385–1396.

Wagner, C. M., Twohey, M. B., & Fine, J. M. (2009). Conspecific cueing in the sea lamprey: do reproductive migrations consistently follow the most intense larval odour ? *Animal Behaviour*, 78(3), 593-599.

Walling, D. E. (1983). The sediment delivery problem. *Journal of hydrology*, 65(1-3), 209-237.

Walling, D. E. (1990). Linking the field to the river: sediment delivery from agricultural land. In *Soil erosion on agricultural land. Proceedings of a workshop sponsored by the British Geomorphological Research Group, Coventry, UK, January 1989*, 129-152.

Walling, D. E. (2006). Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79(3-4), 192-216.

Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., & Gatti, R. (1997). Influences of watershed land use on habitat quality and biotic integrity in Wisconsin streams. *Fisheries*, 22(6), 6-12.

Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The journal of geology*, 30(5), 377-392.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Department of Agriculture, Science and Education Administration. 58 p.

Wohl, E., Brierley, G., Cadol, D., Coulthard, T. J., Covino, T., Fryirs, K. A., ... & Sklar, L. S. (2019). Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(1), 4-26.

Wood, P. J., & Armitage, P. D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental management*, 21(2), 203-217.

Sitographie

Bureau de recherches géologiques et minières (Portail Infoterre)

<https://infoterre.brgm.fr/>, Consulté le 10 mars 2023

Centre d'expertise scientifique occupation des sols (CES OSO)

<https://www.theia-land.fr/ceslist/ces-occupation-des-sols/>, Consulté le 28 février 2023

Chambres d'agriculture de Bretagne

<https://chambres-agriculture.fr/chambres-dagriculture/nous-connaître/annuaire-des-chambres-dagriculture/bretagne/>, consulté le 17 juillet 2023

European Soil Data Center (ESDAC)

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/ls-factor-slope-length-and-steepness-factor-eu>, Consulté le 5 mai 2023

GéoBretagne (Breizh Bocage)

<https://cms.geobretagne.fr/bocage>, Consulté le 25 avril 2023

Hydroportail

<https://hydro.eaufrance.fr/>, Consulté le 21 février 2023

Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (Insee)

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/zones/2011101>, Consulté le 17 juillet 2023

Kartenn (portail de la Région Bretagne)

<https://kartenn.region-bretagne.fr/patrimoine/>, Consulté le 17 juillet 2023

Météo-France

<https://publitheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWebPubli/index.jsp>, Consulté le 14 mars 2023

Institut National de l'Information Géographique et Forestière (RGE Alti et BD Topo)

<https://geoservices.ign.fr/rgealti>, Consulté le 14 mars 2023

<https://geoservices.ign.fr/bdtopo>, Consulté le 15 février 2023.

UMR SAS (Portail Sols de Bretagne)

<https://sols-de-bretagne.fr/>, Consulté le 18 avril 2023

Sandre – Référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE)

<https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/home>, Consulté le 3 mars 2023

STHDA (Analyse Factorielle des Données Mixtes)

<http://www.sthda.com/french/articles/38-methodes-des-composantes-principales-dans-rguide-pratique/76-afdm-analyse-factorielle-des-donnees-mixtes-avec-r-l-essentiel/#resume>,

Consulté le 17 juillet 2023

United States Geological Survey (portail Earth Explorer)

<https://earthexplorer.usgs.gov/>, Consulté le 9 mai 2023

Annexes

Annexe 1 - Grille de terrain utilisée

Coordonnées GPS (extrémité aval du faciès)	Faciès d'écoulement (PF/PL/PC/RD/RP/CL)	Taux de recouvrement sableux (O/PR/AR/TR)	Granularité du lit (V/S/G/C/P/B) – 4 max	Taux de recouvrement en renoncules (O/MA/A/TA)	Largeur plein bords (m)	Présence de bois (O/BI/BM)	Présence de rochers (O/RI/RM)	Présence de berge sableuse érodée (O/N)	Présence d'abreuvement bovin (O/N)

Annexe 2 – Détail des classes / modalités des variables utilisées dans l'AFDM

Type	Variable	Détail des classes / modalités
Qualitative	faciès d'écoulement	"profond", "plat_lent", "plat_courant", "radier", "rapide"
	présence de bois / embâcles dans le lit	"absence", bois_isolés, "bois multiples"
	présence de rochers dans le lit	"absence", "rochers_isoles", "rochers multiples"
	influence d'un ouvrage	"pas_influence_ouvrage", "amont_seuil", "amont_pêcherie", "aval_seuil"
	présence d'île	"île", "pas_île"
Quantitative continue	largeur pleins bords (m)	
	pende de la ligne d'eau (m/m)	
	puissance spécifique (w/m ²)	
	surface du bassin versant (km ²)	
	production spécifique de sable en amont (t/km ² /an)	
	taux d'absence de ripisylve en amont (m/km ²)	
Quantitative discrète	classe d'ensablement	0 (0-5% de recouvrement du lit), 1 (5-40%), 2 (40-80%), 3 (+80%)
	classe de recouvrement en macrophytes	0 (0% de recouvrement du lit), 1 (0-30%), 2 (30-50%), 3 (+50%)
	abondance relative en substrat convenable à la lamproie dans le lit (max. rang cailloux / pierre)	0 (absence), 4 (substrat dominant), 3 (substrat secondaire), 2 (troisième substrat), 1 (substrat minoritaire)
	nombre de frayères 2023	
	nombre total de frayères 2009-2022	

Table des figures

Figure 1. Relation entre la production sédimentaire spécifique et le taux de comblement des mouilles par les sédiments fins pour des bassins versants nord-californiens (Lisle et Hilton, 1999).....	9
Figure 2. Dynamiques saisonnières du transport sableux dans un cours d'eau à charge mixte (Lisle et Hilton, 1992).....	10
Figure 3. Schéma de l'ensablement des cours d'eaux australiens à la suite de l'arrivée des Européens (Erskine, 1994a).....	15
Figure 4. Ensablement provoqué par un seuil de 30 cm de haut sur l'Yzeron (Grosprêtre, 2011).....	16
Figure 5. Ensablement en amont du plan d'eau de la Rochepinard sur le Cher recalibré, à Tours (Etablissement Public Loire, 2015).....	20
Figure 6. Schéma du cycle de vie de la lamproie marine (Lasne et Sabatié, 2009).....	23
Figure 7. Formations géologiques présentes dans le bassin du Scorff (BRGM, 2023).....	24
Figure 8. Modèle numérique de terrain du bassin versant du Scorff (IGN RGE Alti, 2023).....	26
Figure 9. Evolution géologique le long du profil en long du cours d'eau principal du Scorff (BRGM, 2023).....	26
Figure 10. A. Répartition des sols du bassin versant par grandes classes de texture superficielle (UMR SAS, 2023). B. Triangle des textures utilisé pour (A) (Soil Survey Division Staff, 1993).....	27
Figure 11. A. Diagramme ombrothermique de Ploërdut. B. Diagramme ombrothermique de Lorient Lann-Bihoué. C. Localisation des stations. Source : Météo-France, 2023.....	28
Figure 12. Occupation des sols en 2021 dans le bassin versant du Scorff (CES OSO, 2022).....	29
Figure 13. Les deux principaux systèmes de rotation effectués dans les exploitations agricoles du bassin versant du Scorff (Corgne, 2004).....	30
Figure 14. A. Densité de haies par km ² de SAU par sous-bassin versant. B. Densité de cours d'eau traversant des prairies par sous-bassin versant. Sources : CES OSO, 2022 ; GeoBretagne, 2023 ; IGN BD TOPO, 2023.....	31

Figure 15. Manifestations spectaculaires d'érosion sur des parcelles agricoles provoquées par un orage au soir du 14 juin 2023. A. Localisation des parcelles où des dépôts sableux ont été observés. B. Dépôts vaseux (premier plan) et sableux en contrebas d'une petite ravine (arrière-plan). C. Cône de déjection sableux sur la même parcelle. D. Dépôts ayant atteint le cours principal du Scorff. E. Dépôts sableux traversant une ripisylve et atteignant le ruisseau de Saint-Vincent (affluent). Les flèches bleues pointillées et pleines représentent respectivement le ruissellement et le sens du courant. Photographies : Matthieu Doucerain, 15 juin 2023.....32

Figure 16. Evolution de l'occupation des sols entre 2002 et 2021 (Corgne, 2004 ; CES OSO, 2022).....33

Figure 17. A. Localisation de la station hydrométrique de Pont-Kerlo dans le bassin versant. B. Débits mensuels moyens relevés à la station sur la période 1956-2022 (Hydroportail, 2023).....34

Figure 18. A. Evolution comparative des précipitations annuelles relevées à Ploërdut (en bleu) avec les débits moyens relevés à Pont-Kerlo (en rouge). *N.B.* : pour ajuster la position des deux axes, les débits ont été convertis en lame d'eau, $L = Q * 3,15 * 107 / S * 1000$ avec L la lame d'eau en mm, Q le débit en m³/S et S la surface du bassin en km². B. Evolution du nombre de jours avec des précipitations intenses (p quotidiennes > 20 mm) à Ploërdut. C. Evolution du nombre de jours par année hydrologique où le débit moyen a dépassé le débit de crue biennale journalier (28,9 m³/s) à Pont-Kerlo. Sources : Météo-France, 2023 ; Hydroportail, 2023.....35

Figure 19. Evolution des précipitations (en bleu) et des débits (en rouge) à l'échelle mensuelle. Sources : Météo-France, 2023 ; Hydroportail, 2023.....36

Figure 20. Obstacles à l'écoulement présents sur le bassin versant (hors pêcheries) et hauteurs de chutes à l'étiage associées (Sandre ROE, 2023).....37

Figure 21. A. Barrage de la pisciculture du Grayo, construit en 1921. Localisation : 47°58'52,97"N ; 3°19'58,67"O. B. Pêcherie de Coscodo, bien conservée (XVIII^e siècle). 47°59'8,64"N ; 3°19'33,57"O. C. Pêcherie ruinée en aval du Moulin de Coët Cren. 47°56'41,6"N ; 3°21'21,06"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 26 juin 2023.....38

Figure 22. *Ranunculus penicillatus* associées à d'importants dépôts sableux en aval du moulin du Stang. Photographie : Matthieu Doucerain, 21 juin 2023.....39

Figure 23. A. Lamproies marines en train de frayer dans un secteur fréquemment sous l'influence des marées, à Pont-Scorff. B. Frayère sur un radier à granulométrie bien diversifiée en aval de Pont-Kerlo. 47°54'18,64"N ; 3°25'9,42"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 14 et 15 juin 2023. C. Evolution du nombre de frayères relevées par an par les agents de la station de comptage de l'INRAE.....40

Figure 24. Découpage à la main (en violet) de l'ancien parcellaire de 2003 pour correspondre aux nouveaux contours des parcelles de 2021 (en fond de carte). (Corgne (2004) ; CES OSO (2022)).....43

Figure 25. A. Images Landsat 8 utilisées pour le calcul du NDVI mensuel. B. Evolutions mensuelles du NDVI par type de culture. C. Construction de classes de sensibilité à l'érosion pour comparer les données de 2001-2003 et de 2019-2021	44
Figure 26. Découpage préalable du linéaire prospecté en tronçons géomorphologiquement homogènes.....	48
Figure 27. Aménagements présents et visibilité associée sur le linéaire arpenté.....	49
Figure 28. A. Relevé des points GPS par le premier opérateur à l'aide de l'antenne réceptrice R2 Trimble. B. Arpentage en kayak dans le secteur du moulin de Saint-Yves. C. Prospection de berges par le second opérateur dans le secteur Sainte-Anne.....	50
Figure 29. Contexte hydrologique ayant précédé l'arpentage de terrain (Hydroportail, 2023).....	51
Figure 30. Clé de détermination des faciès d'écoulement utilisés. Repris et complété d'après Champigneulle (1978).....	52
Figure 31. Différentes étapes du traitement des données de terrain. A. Import des points GPS sur un système d'information géographique. B. Accrochage des points et affectation de leurs valeurs aux tronçons supérieurs. C. Rassemblement des faciès multiples et construction de micro-tronçons d'égale distance (20 m) statistiquement comparables.....	55
Figure 32. Relation entre la surface du bassin versant et le débit de crue biennale des 23 bassins ouest-armoricains sélectionnés, avec le nom des différentes stations utilisées (Hydroportail, 2023).....	57
Figure 33. A. Inertie de la CAH réalisée sur les 1627 micro-tronçons. B. Clusters de micro-tronçons dessinés sur le plan factoriel des deux premiers axes de l'ACP.....	58
Figure 34. Découpage et caractéristiques des secteurs géomorphologiquement homogènes construits.....	59
Figure 35. Inertie des différentes composantes de l'AFDM effectuée.....	60
Figure 36. Synthèse des différentes échelles d'analyse utilisées.....	63
Figure 37. A. Potentiel de production sableuse spécifique par sous-bassin versant en 2021. B. Evolution de ce potentiel sur la période 2002-2021.....	65
Figure 38. Typologie du risque de transferts sableux aux cours d'eau par sous-bassin versant.....	66
Figure 39. Taux de recouvrement sableux des différents faciès d'écoulement considérés.....	67
Figure 40. Evolution longitudinale du taux de recouvrement sableux.....	68

Figure 41. A. Pentés des micro-tronçons selon leur classe de recouvrement sableux. B. Largeur des micro-tronçons selon leur classe de recouvrement sableux. C. Classe d'ensablement en fonction du type hydrogéomorphologique défini préalablement au terrain (c.f. fig.26).....	70
Figure 42. Répartition des variables quantitatives (A) et des modalités des variables qualitatives (B) sur les deux premiers axes de l'AFDM.....	71
Figure 43. Répartition des variables quantitatives (A) et qualitatives (B) sur les axes 5 et 7 de l'AFDM réalisée.....	73
Figure 44. A. Relation entre la pente moyenne et le taux de recouvrement sableux des secteurs homogènes. B. Même relation effectuée avec la puissance spécifique estimée.....	74
Figure 45. Evolution du taux de recouvrement des faciès sableux sur toute la zone prospectée entre 2010 et 2023.....	75
Figure 46. Evolution du taux de recouvrement sableux moyen des tronçons géomorphologiquement homogènes entre 2010 et 2023.....	76
Figure 47. A. Evolution du taux de recouvrement des faciès où se trouvent les frayères. B. Evolution de ce recouvrement dans les environnements des frayères (3,5*LPB en amont et en aval des frayères).....	78
Figure 48. Evolutions de la densité de frayères et de la disponibilité en substrats convenables le long du linéaire par tronçon homogène.....	78
Figure 49. Evolutions comparées du taux de recouvrement sableux moyen et de la densité en frayères entre 2010 et 2023 à l'échelle des secteurs homogènes.....	79
Figure 50. A. Comparaison entre l'évolution du recouvrement sableux moyen 2010 - 2023 et la tendance évolutive de la densité en frayères entre 2009 et 2023 à l'échelle des tronçons homogènes. B. Même comparaison en retenant l'évolution de la part relative des frayères.....	80
Figure 51. Premier plan factoriel de l'ACP réalisée sur les environnements des frayères.....	82
Figure 52. A. Secteur assez recouvert par les sables du Kerustang. 47°59'9,63"N ; 3°20'2,55"O. B. Plat courant bien diversifié avec dépôt de sables fins sur la berge droite. 47°59'18,52"N ; 3°19'56,30"O. C. Radier / rapide à blocs à forte présence de sables. 47°59'5,76"N ; 3°20'1,29"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 22/07/2023.....	86
Figure 53. A. Chenal du Kerustang, légèrement incisé dans les dépôts de l'ancienne retenue de Pont-Calleck. Le niveau réel des berges est plus bas que ce que laisse percevoir la végétation herbacée. 47°59'32,52"N ; 3°20'14,85"O. B. Ancien barrage situé 350 m en amont du plus récent limitant l'érosion régressive dans les dépôts. 47°59'40,53"N ; 3°20'20,03"O. Photographies : Matthieu Doucerain, 22/07/2023.....	88

Figure 54. A. Banc sableux épais en amont du seuil du Moulin de Poulhibet temporairement vidangé. 47°57'2,91"N ; 3°23'13,5"O. B. Chenal secondaire totalement ensablé 200 m en amont. 47°57'2,61"N ; 3°23'1,84"O. C. Chenal entièrement ensablé en aval direct de la pêcherie du Roch, sous influence du Trou de Gaz. 47°53'30,46"N ; 3°24'17,45"O. D. Rapide à blocs du secteur du Grayo-aval. Photographies : Matthieu Doucerain. A-B. 22/06/2023. C. 28/06/2023. D.26/06/2023.....89

Figure 55. Plat courant très sableux du secteur de la pêcherie Sainte-Anne. Une granularité plus diversifiée ainsi qu'une frayère sont néanmoins visibles au premier plan. 47°54'10,68"N ; 3°24'24,68"O. Photographie : Matthieu Doucerain, 14 juin 2023.....92

Table des tableaux

Table 1. Classes de recouvrement sableux adoptées.....52

Table 2. Classification simplifiée de Wentworth (1922) utilisée.....53

Table 3. Classes de recouvrement du lit par la renoncule à pinceaux. D'après Claude (1996) et Saget (2011).....53

Table 4. Variables utilisées pour l'analyse factorielle de données mixtes.....60

Table 5. Variables utilisées pour l'ACP de caractérisation des environnements des frayères...62

Table des matières

Remerciements	3
Sommaire	4
Introduction	6
Chapitre 1 – Contexte scientifique de l'étude : la problématique de sur-ensablement des cours d'eau et ses différentes causes	9
1) Les spécificités de la charge sédimentaire sableuse dans les cours d'eau	9
a) Les caractéristiques des particules sableuses au sein des cours d'eau à charge mixte	9
b) Vitesse de propagation de la fraction sableuse dans les cours d'eau à charge mixte	10
2) Les différents contextes pouvant provoquer une sédimentation sableuse excessive (« sur-ensablement »)	11
a) Définitions de l'ensablement et du sur-ensablement	11
b) Les apports de sables et les enjeux du sur-ensablement en contexte de changements d'occupation et d'usage des sols	12
c) Le sur-ensablement en contexte de diminution des débits morphogènes	16
d) L'exacerbation des dépôts sableux provoquée par les aménagements d'origine anthropique	17
e) Sur-ensablement lié à l'accroissement de sources de sédiments proches du chenal .	17
f) Sur-ensablement provoqué par les crues morphogènes	18
3) La question de la connectivité des sédiments sableux au sein des bassins versants	19
a) La complexité de la connectivité versant / cours d'eau dans les bassins versants agricoles	19
b) Effets des ouvrages transversaux sur le transport de la charge sableuse dans les bassins versants	20
c) Autres causes potentielles de stockage des sables	21
4) Effets potentiels de l'ensablement excessif des cours d'eau sur la lamproie marine	21
a) Impacts écologiques connus du sur-ensablement dans les écosystèmes fluviaux	21
b) La lamproie marine : une espèce inféodée à un substrat grossier potentiellement affectée par un accroissement des dépôts sableux	22
Chapitre 2 – Présentation de la zone d'étude : le Scorff, un cours d'eau à saumon atlantique drainant un petit bassin versant granitique bocager	24
1) Contextes géologique, morphologique et pédologique	24
a) Géologie	24
b) Morphologie	25
c) Texture de surface	27
2) Contexte climatique	28

3) Occupation des sols et structure du paysage	28
a) Caractéristiques de l'occupation du sol	28
b) Structure du paysage.....	30
c) Problématiques d'érosion des sols agricoles	31
d) Tendances évolutives de l'occupation des sols	33
4) Hydrologie et tendances évolutives au cours des dernières décennies	34
a) Régime hydrologique	34
b) Tendances évolutives de la relation hydrologie / précipitations.....	34
5) Un cours d'eau marqué par les aménagements hydrauliques	36
6) La station de comptage des poissons migrateurs de Pont-Scorff et le suivi des zones de reproduction des lamproies marines depuis 1994.....	39
Chapitre 3 – Matériel et méthodes	42
1) Estimation du potentiel de production sableuse par sous-bassin versant et de son évolution	42
a) Présentation de l'équation universelle de perte en sols (USLE).....	42
b) Estimation du facteur de couverture du sol (C).....	42
c) Estimation du facteur d'érodibilité du sol (facteur K).....	45
d) Estimation du facteur d'érosivité pluviale (facteur R)	45
e) Estimation du facteur d'inclinaison et de longueur de la pente (facteur LS) et calcul final.....	46
f) Réalisation d'une typologie de susceptibilité des transferts sableux par sous-bassin.....	46
2) Cartographie des faciès et du recouvrement sableux sur le linéaire colonisable par la lamproie marine	47
a) Présentation du secteur d'étude	47
b) Contexte de l'arpentage de terrain.....	48
c) Description des relevés effectués.....	51
3) Traitement des données récoltées sur le terrain.....	54
a) Transformation de la donnée brute en tronçons statistiquement comparables	54
b) Traitement des données de granularité	56
4) Analyse statistique des données	56
a) Attribution d'autres variables pouvant expliquer l'ensablement aux micro-tronçons	56
b) Construction de secteurs géomorphologiquement homogènes.....	58
c) Réalisation d'une analyse factorielle de données mixtes (AFDM) pour déterminer les principaux facteurs influençant la répartition des dépôts sableux	60
5) Relation entre l'ensablement et la répartition des frayères de lamproie marine	61

Chapitre 4 – Résultats	64
1) Répartition et évolution du potentiel de production sableuse	64
a) Un potentiel de production sableuse concentré sur des affluents en amont du bassin.....	64
b) Une légère augmentation du potentiel de production sableuse entre 2002 et 2021 ..	65
c) Une sensibilité au transfert de particules sableuses concentrée dans le sous-bassin versant du Kerustang.....	66
2) Facteurs de contrôle et évolution de l'ensablement le long du linéaire	67
a) Un ensablement principalement contrôlé par la pente et les ouvrages.....	67
b) Identification de variables de contrôle secondaires de l'ensablement.....	70
c) Relation taux d'ensablement / pente à l'échelle des secteurs hydrogéomorphologiquement homogènes et mise en valeur de secteurs exceptionnels ..	74
d) Evolution de l'ensablement depuis 2010 à l'échelle des secteurs	75
3) Relation entre l'ensablement et les frayères de lamproie marine.....	77
a) Evolution du taux d'ensablement présent autour des frayères	77
b) Relations à l'échelle du secteur homogène.....	78
c) Relation entre les dynamiques temporelles de répartition des frayères et de l'ensablement	79
d) Caractérisation des environnements de chaque frayère.....	81
Chapitre 5 – Discussion	83
1) Une susceptibilité à la production de sables élevée par rapport aux autres études	83
2) Facteurs principaux de la répartition des sables sur le linéaire prospecté.....	85
a) Importance de la pente et des ouvrages dans la répartition des sables	85
b) Relation entre occupation des sols et recouvrement sableux.....	85
c) Augmentation de l'ensablement depuis 2010 : effet de l'apport supplémentaire de sables au cours d'eau ou du relargage accidentel de sables stockés ?	87
d) Variables ayant un effet marginal sur la sédimentation sableuse	91
3) Impacts de l'ensablement et du sur-ensablement sur les habitats de reproduction de la lamproie marine	92
4) Autres perspectives	94
a) Développement d'un suivi temporel de l'ensablement de plusieurs sites	94
b) Traçage des sables depuis leur source	94
c) Effet de l'ensablement sur les communautés biologiques.....	95
Conclusion	97
Bibliographie	100
Sitographie	114

Annexes	116
Annexe 1 - Grille de terrain utilisée	116
Annexe 2 – Détail des classes / modalités des variables utilisées dans l’AFDM	116
Table des figures	117
Table des tableaux	121
Table des matières	122
Résumé	126

Résumé

Le Scorff, petit fleuve côtier du sud-ouest du Massif Armoricain est, comme de nombreux autres cours d'eau au bassin versant granitique, suspecté de subir un sur-ensablement ces dernières décennies. Le suivi intensif des poissons migrateurs par la station du Moulin des Princes de l'INRAE et les autres gestionnaires locaux pose de nombreuses opportunités d'étudier l'effet des dépôts sableux sur ces espèces. Financé et co-piloté par le pôle pour la gestion des migrateurs amphihalins dans leur environnement (pôle MIAME, OFB-INRAE-Institut Agro-UPPA), et le LETG, ce travail est réalisé dans le cadre du programme Scodeep I (Le Scorff : dynamique des bancs en contexte suspecté de sur-ensablement - Etude préalable aux effets sur les habitats de croissance et de reproduction de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*)). Il s'attache d'abord à analyser les relations spatiales entre les potentiels de production sableuse des différents sous-bassins versants et le taux de recouvrement sableux des faciès d'écoulement sur le linéaire colonisable par la lamproie marine. L'évolution de ces paramètres depuis deux décennies est également étudiée. Enfin, les effets potentiels de ces apports excessifs de sédiments sableux sur les frayères de lamproie marine sont explorés. La répartition des sables s'est révélée majoritairement contrôlée par la pente et la présence des nombreux ouvrages transversaux, et localement aggravée par des facteurs complexes. Des apports significatifs de sables n'ont pas été systématiquement observés au niveau des confluences les plus sensibles. En revanche, le sous-bassin du Kerustang, plus gros affluent très sensible à l'érosion sableuse et sur lequel le barrage de Pont-Calleck (XIII^e siècle) a été ouvert en 2011, a depuis apporté une charge sableuse conséquente. L'ensablement s'est propagé en aval, impactant néanmoins de manière limitée les faciès lotiques — plat-courants et radiers — sur lesquels se reproduit préférentiellement la lamproie marine. Au regard de l'évolution de la position des frayères au cours de la dernière décennie, ce sur-ensablement ne semble pour le moment pas réduire la disponibilité en habitats favorables. Celle-ci s'est révélée davantage corrélée à la présence de substrats caillouteux et pierreux dans le lit.

Mots-Clefs : Bretagne ; Scorff ; ensablement ; faciès d'écoulement ; lamproie marine ; ouvrages transversaux ; érosion des sols ; frayères

Abstract

The Scorff river, located in the southwest of the Armorican Massif is, as many others streams draining a granitic watershed, suspected of suffering an excessive sand accumulation during the last decades. The heavy monitoring of migratory fish realized by the INRAE's Moulin des Princes station gives many opportunities to study the effect of sand deposits on them. Financed and copiloted by the « Management of Diadromous Fish in their Environment » unit (pôle MIAME, OFB-INRAE-Institut Agro-UPPA), and the LETG, this work was realized as part of Scodeep I program (The Scorff : bar dynamics in an excessive sand accumulation suspected context : prior study of effects on sea lamprey (*Petromyzon marinus*) spawning and rearing habitats. It first focuses on analysing spatial relationships between the different subwatershed's sand production potentials and the sand cover of geomorphic units on the network colonized by sea lamprey. The evolution of these parameters during the last two decades is also monitored. Finally, the potential effects of sandy sediments on sea lamprey nests were investigated. The repartition of sandy sediments was mostly controlled by slope, the presence of instream barriers and locally aggravated by complex factors. The contribution of tributaries in the sandy load was not clearly highlighted. However, the Kerustang subwatershed, the largest tributary very sensitive to sandy erosion and on which the Pont-Calleck dam (XIIIth century) was opened in 2011, provided a consistent sandy load since then. Sand accumulation spread downstream, yet impacting lotic geomorphic units — riffles and runs, on which sea lamprey preferentially spawns — in a limited way. Given the evolution of the nests' repartition during the last decade, this excessive sand accumulation doesn't seem to reduce the disponibility of suitable habitats. This repartition was more correlated to the presence of pebbly and cobbly substrate in the stream bed.

Keywords : Brittany ; Scorff ; sand accumulation ; stream geomorphic unit ; sea lamprey ; instream barriers ; soil erosion ; nests



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Avec le soutien financier de :



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

<http://www.ofb.gouv.fr/>



la science pour la vie, l'humain, la terre

<http://www.inrae.fr/>



L'INSTITUT
agro Rennes
Angers

<https://www.institut-agro-rennes-angers.fr/>



IVERSITÉ
DE PAU ET DES
PAYS DE L'ADOUR

www.univ-pau.fr