Evaluation de la qualité hydro-morpho-sédimentaire des eaux de transition de Métropole : application de l'indicateur hypsométrique

Rapport final

Léo Kazmierczak (UMR CNRS M2C, Université de Rouen Normandie) et Valérie Foussard (FR CNS SCALE, Université de Rouen Normandie)

Octobre 2018

- **AUTEURS**

Léo KAZMIERCZAK, UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen Normandie, leo.kazmierczak@etu.univ-rouen.fr

Valérie FOUSSARD, FR CNRS 3730 SCALE, Université de Rouen Normandie, valerie.foussard@univ-rouen.fr

- **CORRESPONDANTS**

AFB : Maia Akopian, chargée de mission Eaux Littorales, maia.akopian@afbiodiversite.fr

- **AUTRES CONTRIBUTEURS**

Droits d'usage : accès libre
Niveau géographique : national
Couverture géographique : France
citations locales : masse d'eau de transition de la façade Mer du Nord/Manche/Atlantique
Niveau de lecture : professionnels

RESUME

En réponse à la Directive Cadre sur l'Eau, le Groupe de Travail Hydro-Morpho-Sédimentaire (GT HMS) a proposé et testés plusieurs indicateurs de qualité HMS dont l'indicateur hypsométrique (Le Hir, 2014 ; Sottolichio et al., 2015 ; Le Hir et Bouvier, 2016 ; Bouvier et al., 2016). Ce dernier permet d'évaluer la proportion et la continuité amont/aval des habitats intertidaux et subtidaux des estuaires.

Les travaux du GT HMS ont été poursuivis en 2018 dans le cadre d'un stage au sein du laboratoire M2C, encadré par la Coordination inter-estuaires au cours duquel l'indicateur hypsométrique a été appliqué sur les estuaires de la façade Manche/Atlantique. Cette application à grande échelle a été réalisée à partir de données SIG sur les habitats estuariens, acquises antérieurement par le GT HMS et le BRGM. Après une phase de sectorisation des estuaires, deux méthodes ont été testées : une approche par les surfaces d'habitats au niveau de tronçons homogènes et une approche par les largeurs d'habitats le long de transects caractéristiques.

Dans un second temps, une analyse préliminaire de liens entre l'artificialisation des berges et la proportion d'habitats intertidaux à l'échelle des estuaires a été faite afin de mettre en avant d'éventuels relations pression-impact.

Au terme de ce travail, l'indicateur hypsométrique a pu être calculé sur l'ensemble des estuaires, à quelques exceptions près (données sur les habitats insuffisantes ou sectorisation non pertinente). Les résultats montrent que l'applicabilité de l'indicateur et la qualité des résultats sont très dépendantes de la méthode de sectorisation des estuaires. Celle choisie (découpage en tronçon homogène en taille puis sélection de transects caractéristiques de ces tronçons) ne s'avère pas pertinente sur tout type d'estuaire en particulier ceux possédant une morphologie très hétérogène comme certains estuaires bretons ou la baie du Mont-Saint-Michel. Par ailleurs, la phase de validation de la sectorisation prévue initialement n'a pas pu être menée à son terme au cours de l'étude. A l'exception de ces cas particuliers, la méthode de calcul de l'indicateur hypsométrique par les largeurs d'habitats donne des résultats satisfaisants et comparables à ceux obtenus *via* les surfaces. Toutefois, l'utilisation de données surfaciques plus exhaustives est à privilégier pour effectuer un diagnostic plus poussé, faire le lien avec la biologie ou encore pour envisager une restauration de zones intertidales.

En analysant les résultats de l'indicateur sur quelques estuaires, il s'avère que la présence de discontinuité des habitats intertidaux n'est pas systématiquement liée à des facteurs anthropiques (digues, épis, barrage...) et à l'inverse, des aménagements importants comme un fort endiguement des berges n'entrainent pas obligatoirement une forte réduction des habitats intertidaux (excepté les cas extrêmes de chenalisation couplée à des dragages, comme dans l'estuaire de la Seine). Ainsi, il est donc impératif pour interpréter les résultats de l'indicateur, de connaître l'ensemble des pressions physiques exercées (obstacles à l'écoulement, dragage, etc.) ainsi que les caractéristiques naturelles de ces écosystèmes.

Enfin, pour mettre en évidence des liens pression physique-impact ou encore faire le lien avec la biologie, des analyses plus fines, à l'échelle locale, doivent être menées. Ce type d'analyse doit intégrer divers éléments d'étude (habitats, biologie, conditions physico-chimiques du milieu, etc.) ainsi que les pressions anthropiques existantes. Cela nécessite de mobiliser une quantité importante de données et diverses compétences scientifiques. Il serait judicieux dans un premier temps, d'identifier un ou deux estuaires pour lesquels des données sont disponibles et exploitables afin d'évaluer la faisabilité d'une telle étude interdisciplinaire et quantifier les moyens à mobiliser (compétences, acquisitions de données...).

- **MOTS CLES**

Directive Cadre Eau (DCE), estuaires, habitat intertidale et subtidal, indicateur hypsométrique, GT hydro-morpho-sédimentaires

Sommaire

I. Introduction 7

II. Contexte 8

2.1. Rappel des indicateurs Hydro-Morpho-Sédimentaires pressentis en estuaires 8

2.2. Synthèse des conclusions sur l'indicateur hypsométrique du GT HMS 10

2.2.1. Définition de l'indicateur hypsométrique et méthode de calcul 10

2.2.2. Conclusions des tests de l'indicateur hypsométrique sur des estuaires schématiques et « réels » (phase 2 du GT HMS) 10

III. Application de l'indicateur hypsométrique aux estuaires de la façade Manche/Atlantique 15

3.1. Données utilisées et prétraitement 15

3.2. Sectorisation des estuaires en tronçons homogènes et transects représentatifs de ces tronçons 16

3.3. Résultats 19

3.3.1. Comparaison des méthodes de calcul de l'indicateur hypsométrique et représentativité des transects 19

3.3.2. Evaluation des proportions et de la continuité des habitats estuariens : exemples de résultats pour les estuaires de la Vie et de l'Odet 20

3.3.3. Tests préliminaires sur le lien entre la proportion de zones intertidales à l'échelle des estuaires et les pressions physiques 23

IV. Conclusion et perspectives 26

V. Bibliographie 29

Annexes

Annexe 1 : résultats de l'application de l'indicateur hypsométrique estuaire par estuaire 30

Annexe 2 : percentiles 10 et 90 moyens de salinité par section, calculés sur 6 jours et 21h pour un épisode de crue et un épisode d'étiage dans l'estuaire de la Gironde (gauche) et écart par section entre ces percentiles (droite) 88

Liste des tableaux

Tableau 1 : indicateurs Hydro-morpho-sédimentaire sélectionnés et retenus au terme des phases 1 et 2 par le GT HMS (d'après Le Hir, 2013 ; Bouvier et al., 2016) 9

Tableau 2 : données cartographiques mobilisées 15

Tableau 3 : données sur les écarts entre les proportions d'habitats obtenues le long des transects et celles au sein des tronçons 19

Liste des figures

Figure 1 : représentation schématique d'un estuaire 10
Figure 2 : configurations d'estuaire schématique considérées par Le Hir et Bouvier (2016) 11
Figure 3 : répartition longitudinale des largeurs de l'estuaire correspondant à une cote du fond donnée 12
Figure 4 : calcul de l'indicateur hypsométrique à partir des largeurs normalisées, pour deux exemples d'estuaires schématiques contrastés 12
Figure 5 : biais lié au croisement des sections pour le calcul de l'indicateur hypsométrie en considérant les surfaces d'habitats par tronçon 13
Figure 6 : proportion de zones intertidales par estuaire et par bassin hydrographique 14
Figure 7 : comparaison de l'extension des zones intertidales de l'estuaire du Lay selon les limites de la MET 2016 (BRGM, 2017) et celle obtenue par photo-interprétation des Ortho-Littoral V2 (GT HMS, 2015) 16
Figure 8 : exemple de sections ajustées manuellement selon les berges de la Baie des Veys 17
Figure 9 : exemple de chenal " irrégulier " de la Bidassoa 17
Figure 10 : sectorisation le long des affluents, complexe en raison de la morphologie des estuaires : cas des rivières d'Etel et de Pénerf 18
Figure 11 : illustration d'une méthode de sectorisation alternative basée sur la distance à l'embouchure appliquée à la rivière d'Etel tous les kilomètres. 18
Figure 12 : proportions d'habitats obtenues le long des transects (largeur) en fonction de celles au sein des tronçons (surface) et dispersion des écarts par type d'habitat et sur l'ensemble des données 19
Figure 13 : dispersion des écarts entre les proportions d'habitat par les largeurs et celles par les surfaces en valeur absolue. 19
Figure 14 : occupation du sol autour de l'estuaire de la Vie et localisation des digues et obstacles à l'écoulement présents dans le chenal 21
Figure 15 : sectorisation de l'estuaire de la Vie en tronçon et résultats de l'indicateur hypsométrique 21
Figure 16 : occupation du sol du bassin versant de l'estuaire de l'Odet et localisation des obstacles à l'écoulement présents dans le chenal 22
Figure 17 : sectorisation de l'estuaire de l'Odet en tronçon et résultats de l'indicateur hypsométrique 23
Figure 18 : proportion de zones intertidales, de digues « dures » (maçonnées) et de digues « douces » (remblais, etc.) par estuaire 24
Figure 19 : surface de zones intertidales en fonction de la surface des estuaires identifiés selon leur classement en masse d'eau de transition naturelle (NAT) ou fortement modifiée (MEFM) défini pour la DCE. 25
Figure 20 : répartition des habitats intertidaux et subtidaux de l'estuaire de la Gironde, en aval du bec d'Ambès et position approximative du gradient de salinité pour deux situations hydrologiques contrastées 28

I. INTRODUCTION

Afin de répondre aux exigences réglementaires liées à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), un Groupe de Travail Hydro-Morpho-Sédimentaire (GT HMS) a mené une réflexion visant à :

- Sélectionner des indicateurs HMS pertinents et applicables aux masses d'eaux de transition de la façade Manche/Atlantique en Métropole ;
- Tester ces indicateurs potentiels sur des estuaires dits schématiques (modélisation simplifiée) et sur cinq « estuaires réels » (estuaires de la Gironde, la Loire, la Charente, du Lay et la Sèvre niortaise également avec des modèles numériques) afin d'évaluer leur pertinence, leur redondance et leur applicabilité dans différents types d'estuaire.

Au terme de ce projet en partenariat avec l'Université de Bordeaux, l'Ifremer et l'Onema (2013/2015), neuf indicateurs ont été présélectionnés, six ont été testés et quatre d'entre eux ont été jugés pertinents sur les estuaires (Le Hir, 2014 ; Sottolichio et al., 2015 ; Le Hir et Bouvier, 2016 ; Bouvier et al., 2016). Ces quatre indicateurs sont :

- L'indicateur « Défaut de convergence » caractérisant l'évolution des sections transversales, de l'amont vers l'aval pour identifier des discontinuités morphologiques « non naturelles ». Cet indicateur est considéré comme un outil de diagnostic initial ;
- L'indicateur hypsométrique évaluant la proportion et la continuité amont/aval des habitats intertidaux et subtidaux ;
- L'indicateur « salinité » évaluant l'étendue du gradient de salinité par modélisation et la variation de salinité « subie par la biologie » par section, sur une période donnée ;
- Un indicateur évaluant les flux entrant dont la réflexion reste à approfondir. Les débits sont indirectement considérés au travers de l'indicateur « salinité » car ils influencent l'étendue du gradient de salinité. Une autre piste consiste à utiliser l'évaluation du risque d'altérations des flux (particules et débit) sur le dernier tronçon en rivière, faite par SYRAHCE (Système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau).

Ces travaux ont été poursuivis en 2018 dans le cadre d'un stage de formation (L. Kazmierczak, Master 1) au sein du laboratoire M2C, encadré par la Coordination inter-estuaires (V. Foussard). Ce stage a consisté en l'application de l'indicateur hypsométrique sur l'ensemble des estuaires de la façade Manche/Atlantique à l'aide de données spatiales (SIG) disponibles sur les habitats intertidaux et subtidaux. Après une phase de sectorisation de ces écosystèmes, deux méthodes ont été testées : une approche par les surfaces d'habitats au niveau de tronçon homogène et une approche par les largeurs d'habitats le long de transects caractéristiques. Les deux méthodes ont ensuite été comparées pour évaluer leur applicabilité dans la cadre d'évaluations de l'état HMS des estuaires et de la surveillance associées pour la DCE.

Par la suite, une analyse préliminaire de liens entre l'artificialisation des berges et la proportion des habitats intertidaux à l'échelle des estuaires a été réalisée afin de mettre en avant d'éventuels relations pression-impact.

II. CONTEXTE

2.1. Rappel des indicateurs Hydro-Morpho-Sédimentaires pressentis en estuaires

En vue de développer des indicateurs Hydro-Morpho-Sédimentaires (HMS) répondant aux exigences de la DCE, les travaux du GT HMS initiés dans le projet BEEST (2008/2011), ont été poursuivis en 2013/2015 grâce à un partenariat entre les laboratoires EPOC (Université de Bordeaux), DYNECO/PHYSED (Ifremer) et l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB). Cette étude s'est déroulée en deux phases :

- Phase 1 : conceptualisation des indicateurs HMS en estuaires, accompagnée d'un inventaire des données mobilisables sur les petits et moyens estuaires français, aboutissant aux rapports suivants :

  Le Hir P. (2014). Phase 1 : Eléments de proposition en vue d'une conceptualisation des indicateurs. Rapport IFREMER/ONEMA, 52p.

  Sottolichio et al. (2015). Phase 1 : inventaire des données HMS disponibles sur les petits et moyens estuaires de la façade Manche-Atlantique. 58p. Rapport Université de Bordeaux/ONEMA, 60 p.

- Phase 2 : tests des indicateurs présélectionnés en phase 1 sur des estuaires dits schématiques et cinq estuaires « réels », aboutissant aux rapports suivants :

  Le Hir P., Bouvier C. (2016). Phase 2 : tests des indicateurs sur des configurations d'estuaires schématiques à l'aide d'une modélisation 3D. Rapport IFREMER/ONEMA, mars 2015 - mise à jour en février 2016, 83 p.

  Bouvier et al. (2016). Phase 2 : Test des indicateurs hydro-morpho-sédimentaire pour l'application de la Directive Cadre sur l'Eau dans les eaux de transition estuariennes. Rapport Université de Bordeaux/ONEMA, 65p.

La première phase a permis de sélectionner un nombre restreint d'indicateurs HMS jugés pertinents pour caractériser les estuaires. Cette liste a ensuite été réduite grâce aux différentes réflexions et aux tests des indicateurs réalisés lors de la phase 2, visant à identifier de possible redondance des indicateurs et leur « applicabilité » en contexte DCE, sur l'ensemble des estuaires de la façade Manche/Atlantique (Tableau 1). Ainsi, trois indicateurs ont été retenus à l'issue du projet comme étant pertinents et applicables à l'échelle nationale : l'indicateur de « défaut de convergence », l'indicateur hypsométrique et l'indicateur « salinité ». Un quatrème indicateur relatif aux flux entrant reste à confirmer.

Après les tests de la phase 2, l'indicateur de « défaut de convergence » a été catégorisé comme outil de diagnostic initial plutôt qu'en indicateur de qualité HMS. En effet, il permet d'identifier des discontinuités morphologiques à un instant t, y compris celles engendrées par des ouvrages « historiques ». Dans ce dernier cas, il peut être raisonnablement considéré que le système s'est progressivement adapté jusqu'à atteindre une certaine stabilité morphologique, tout comme la biologie associée. Sans donnée historique ou de suivi d'impacts après aménagement, il est extrêmement difficile de déterminer si une discontinuité est « historique » ou récente c'est-à-dire si un déséquilibre est en cours ou non.

Par ailleurs, la réflexion concernant la méthode d'évaluation des flux entrants solides (MES) et liquides (débit) est à finaliser. Ces facteurs sont jugés importants à considérer du fait de leur influence sur la qualité des eaux (par ex. sur les hypoxies) et sur les caractéristiques hydrodynamiques et sédimentaires des estuaires (temps de résidence des eaux, extension du bouchon vaseux et du gradient de salinité…). Leur évaluation et la définition de classes de qualité pour la DCE restent très complexes à réaliser à l'échelle nationale du fait des spécificités intrinsèques des estuaires et de celles des bassins versants (présence

naturelle du bouchon vaseux, apports variables selon les caractéristiques et les usages des bassins versants…).

Tableau 1 : indicateurs Hydro-morpho-sédimentaire sélectionnés et retenus au terme des phases 1 et 2 par le GT HMS (d'après Le Hir, 2013 ; Bouvier et al., 2016)

En vert : indicateur d'évaluation de la qualité ; en jaune : indicateur de diagnostic ; en orange : réflexion à poursuivre

Catégorie	Indicateurs HMS retenus	Principe
La morphologie	Indicateur de défaut de convergence	Détecter des discontinuités dans l'évolution exponentielle (théorique) des sections transversales de l'amont vers l'aval
	Indicateur hypsométrique	Déterminer la distribution et la continuité amont/aval des grands types d'habitat (intertidaux et subtidaux)
	Indicateur d'extension de la zone intertidale	Evaluer si l'extension des zones intertidales est à l'équilibre d'après le paramètre de Dronkers (1998) basé sur les hauteurs d'eau et les surfaces mouillées à haute et basse mer
	Indicateur de sinuosité rivulaire	Evaluer la présence potentielle d'abris latéraux (annexe hydraulique) en comparant la longueur cumulée des deux rives à celle du chenal selon le thalweg
	Indicateur d'extension du lit majeur (schorre/prairie humides)	Evaluer le rôle de zone tampon en cas de crue ou de surcote. Intégration du schorre dans l'indicateur M2 si les données le permettent.
L'hydrodynamique	Distribution des courants de marée	Distribution 2D (longitudinale et transversale) des courants maximaux pour évaluer si les zones de courants faibles (« abritées ») sont bien représentées le long de l'estuaire.
	Indicateur d'agitation	Evaluer l'influence des vagues sur les habitats benthiques
L'hydrologie	Indicateur de salinité	Evaluer l'extension du gradient de salinité et ces variations sur chaque section de l'estuaire
	Indicateur de stratification	Identifier les épisodes de stratification des eaux susceptibles de favoriser l'apparition de phénomène d'hypoxie dans le fond
	Turbidité, Flux entrants (MES et débit)	Quantifier les apports solides et liquides à l'estuaire et faire lien avec la turbidité des eaux estuariennes.
Sédiments	Couverture sédimentaire	Evaluer la diversité des faciès sédimentaires (en lien avec les habitats).

2.2. Synthèse des conclusions sur l'indicateur hypsométrique du GT HMS

2.2.1. Définition de l'indicateur hypsométrique et méthode de calcul

L'indicateur hypsométrique permet d'évaluer la répartition et la continuité des habitats subtidaux et intertidaux de l'amont vers l'aval des estuaires. Les zones subtidales représentent la partie du lit mineur continuellement immergée. Les zones intertidales quant à elles, sont temporairement émergées. Ces dernières sont distinguées selon leur position topographique (Figure 1) :

- les zones intertidales supérieures sont situées au-dessus du niveau de la pleine mer moyenne, correspondant à la partie végétalisée (appelée schorre) et inondées lors de marées exceptionnelles (fort coefficient de marée, tempête,…) ;
- les zones intertidales inférieures sont comprises entre le niveau de basse mer de vive-eau et le niveau de pleine mer moyenne et sont immergées à chaque marée haute. Elles sont composées de vasières « nues » (aussi appelées la slikke), de bancs de sables, de galets, de roselières, etc.

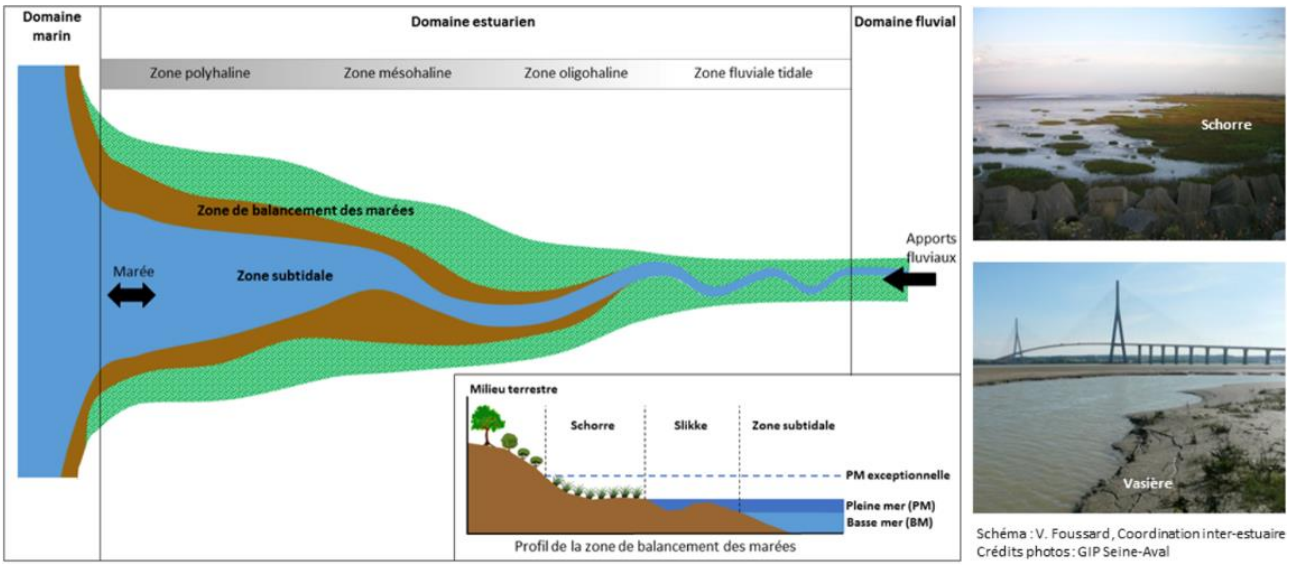


Figure 1 : représentation schématique d'un estuaire

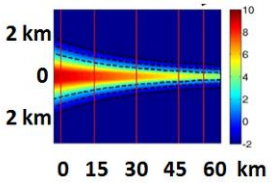
Au terme de la phase 1 du GT HMS, Le Hir (2014) a proposé deux méthodes de calcul pour cet indicateur basées sur l'utilisation de données topo-bathymétiques :

- La première en calculant la proportion d'habitats à partir des cotes du fond par tronçon, ce qui nécessite de disposer d'un MNT et de données sur les niveaux d'eau à pleine mer et à basse mer ;
- La seconde en considérant uniquement les cotes topo-bathymétriques connues le long de sections caractéristiques auquel cas, des profils bathymétriques réguliers et les limites entre habitats intertidaux et subtidaux suffisent pour calculer l'indicateur.

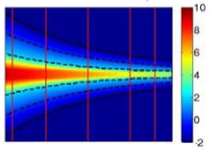
2.2.2. Conclusions des tests de l'indicateur hypsométrique sur des estuaires schématiques et « réels » (phase 2 du GT HMS)

Dans un premier temps, Le Hir et Bouvier (2016) ont testé l'indicateur hypsométrique sur cinq configurations schématiques. Quatre d'entre elles respectent la progression exponentielle des sections sous différentes formes et la cinquième présente une discontinuité morphologique dans sa partie centrale (Figure 2).

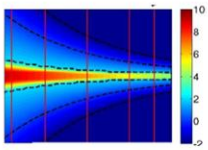
Config. N°1 : facteur γ = 1,5



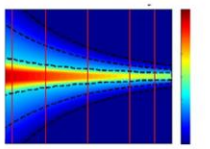
Config. N°2 : facteur γ = 1,1



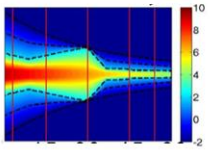
Config. N°3 : facteur γ = 0,7



Config. N°4 : Yates (L_{PM} = 5*L_{BM})



Config. N°5 : élargissement localisé du chenal



Configurations 1, 2 et 3 : évolution exponentielle des sections à mi-marée.

Le paramètre γ de Dronkers est obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{Hpm_{moy}}{Hbm_{moy}} = \gamma \sqrt{\frac{Spm}{Sbm}}$$ où

Hpm_{moy} est la hauteur d'eau moyenne du chenal à pleine mer et Hbm_{moy} celle à basse mer. Spm et Sbm représentent la surface mouillée de l'estuaire respectivement à pleine mer et à basse mer (Dronkers, 1998, 2005)

Configuration 4 : sections exponentielles à mi-marée selon la théorie de Yates et al. (1996).

La largeur moyenne à basse mer est égale à un cinquième de celle à pleine mer (Prandle, 2003).

Configuration 5 : non-respect de la variation exponentielle des sections à mi-marée.

Un élargissement du chenal est simulé au pK 30.

Figure 2 : configurations d'estuaire schématique considérées par Le Hir et Bouvier (2016)

L'indicateur hypsométrique a été calculé pour ces cinq configurations permettant ainsi de visualiser la répartition de l'aval vers l'amont, des habitats à partir des largeurs de sections en fonction des niveaux d'eau (Figure 3). Ces premiers tests montrent que les zones intertidales et subtidales sont relativement bien réparties et continues dès lors que l'évolution exponentielle des sections est respectée (configurations 1 à 4). La largeur des habitats subtidaux profonds s'atténue progressivement en direction de l'amont. Les habitats subtidaux peu profonds sont en revanche moins bien représentés dans la configuration 3, contrairement aux habitats intertidaux qui sont bien plus développés. La configuration 5 (avec une discontinuité morphologique) présente en tout logique, une rupture dans la répartition des habitats intertidaux autour du point kilométrique 30. Ensuite, les valeurs obtenues par section ont été normalisées (comprises entre de 0 à 1) pour visualiser la continuité ou discontinuité des habitats (Figure 4).

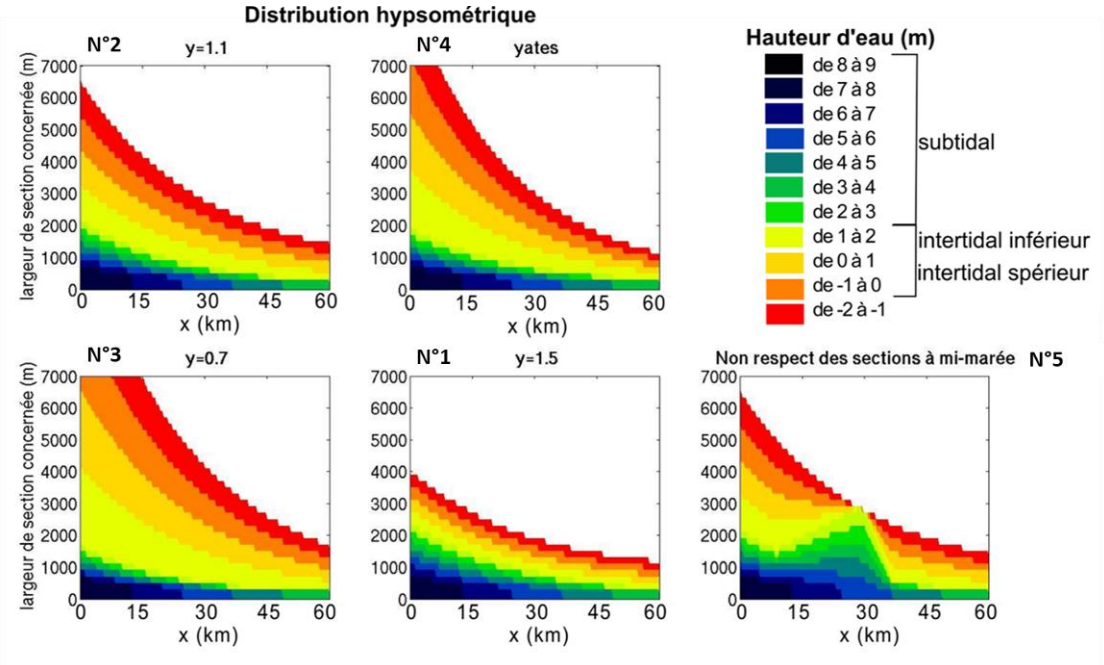


Figure 3 : répartition longitudinale des largeurs de l'estuaire correspondant à une cote du fond donnée (Le Hir et Bouvier, 2016). *Le niveau d'eau de référence 0 est le niveau moyen au cours de la marée. Les hauteurs d'eau positives correspondent aux zones subtidales (sous le niveau moyen) et les valeurs négatives correspondent aux zones intertidales et terrestres (au-dessus du niveau moyen). L'abscisse kilométrique 0 correspond à l'embouchure.*

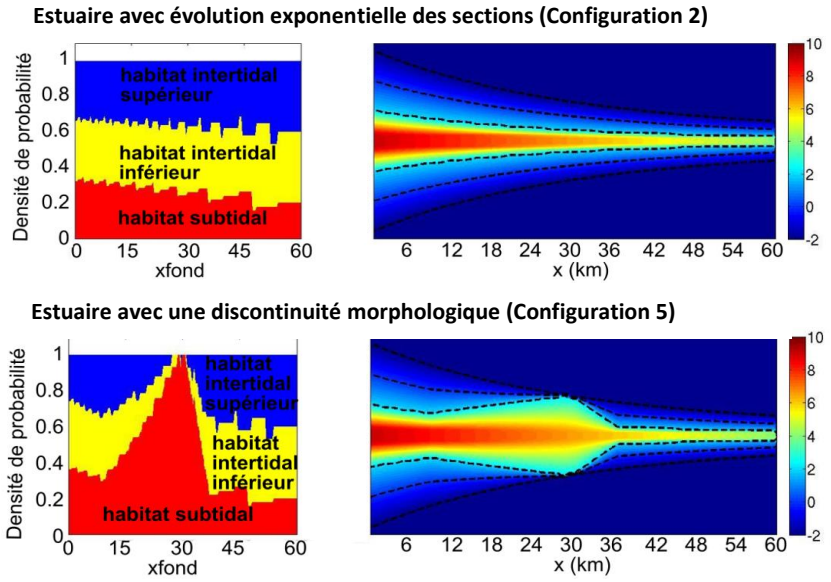


Figure 4 : calcul de l'indicateur hypsométrique à partir des largeurs normalisées, pour deux exemples d'estuaires schématiques contrastés (tirés de Le Hir et Bouvier, 2016)

Cette phase du travail a permis d'obtenir des résultats prometteurs. Cependant, utiliser des estuaires modélisés (chenal uniforme sans méandre avec une résolution des données définie par l'opérateur) permet de s'affranchir de plusieurs difficultés auxquelles ont été confrontés Bouvier et al. (2016) lors des tests réalisés sur les estuaires « réels ».

En effet, les calculs réalisés sur les estuaires de la Gironde, de la Loire, du Lay, de la Sèvre niortaise et de la Charente ont montré que les résultats sont très dépendants de la qualité des données bathymétriques en particulier au niveau des zones intertidales. Dans le cas de la Gironde, les données utilisées provenaient

d'un MNT de résolution 50 m de Bordeaux au Verdon, combiné à une grille bathymétrique de résolution 1 km issue du modèle SIAM en aval du Verdon. A cette résolution, une grande incertitude subsiste dans la quantification des zones intertidales : toutes celles de taille inférieure à la résolution des données n'apparaissent pas et ne sont donc pas prises en compte. Cela étant, ces tests ont montré que l'application de l'indicateur et en particulier la sectorisation en tronçon peut s'avérer relativement complexe selon la morphologie du chenal. Le chenal d'un estuaire est rarement rectiligne et présente souvent des méandres plus ou moins prononcés. Le découpage des sections étant réalisé perpendiculairement au thalweg selon les préconisations du GT HMS, les sections peuvent se croiser à proximité des rives et ainsi engendrer une sous-estimation ou une surestimation des proportions d'habitats sur certains tronçons (Figure 5). Pour parer à cela, deux options sont envisageables : espacer les transects pour considérer des portions plus larges au niveau des courbures du chenal ou calculer l'indicateur à partir de largeurs d'habitats le long de sections caractéristiques.

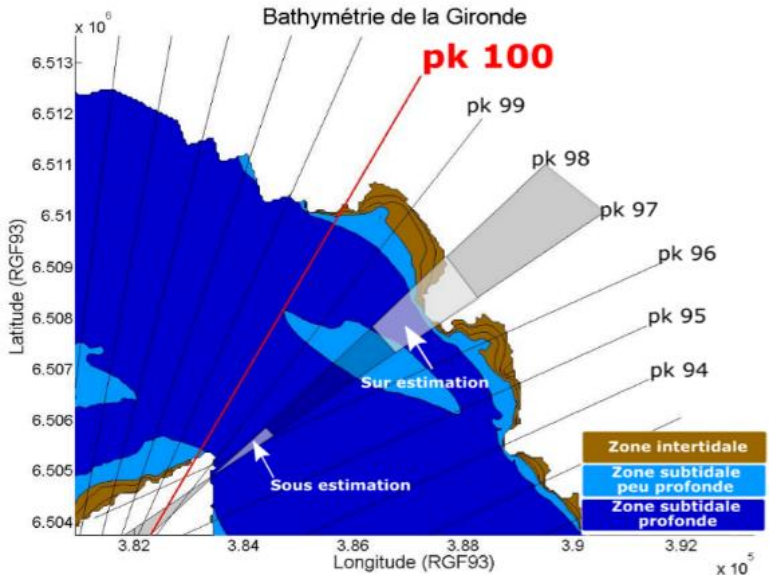
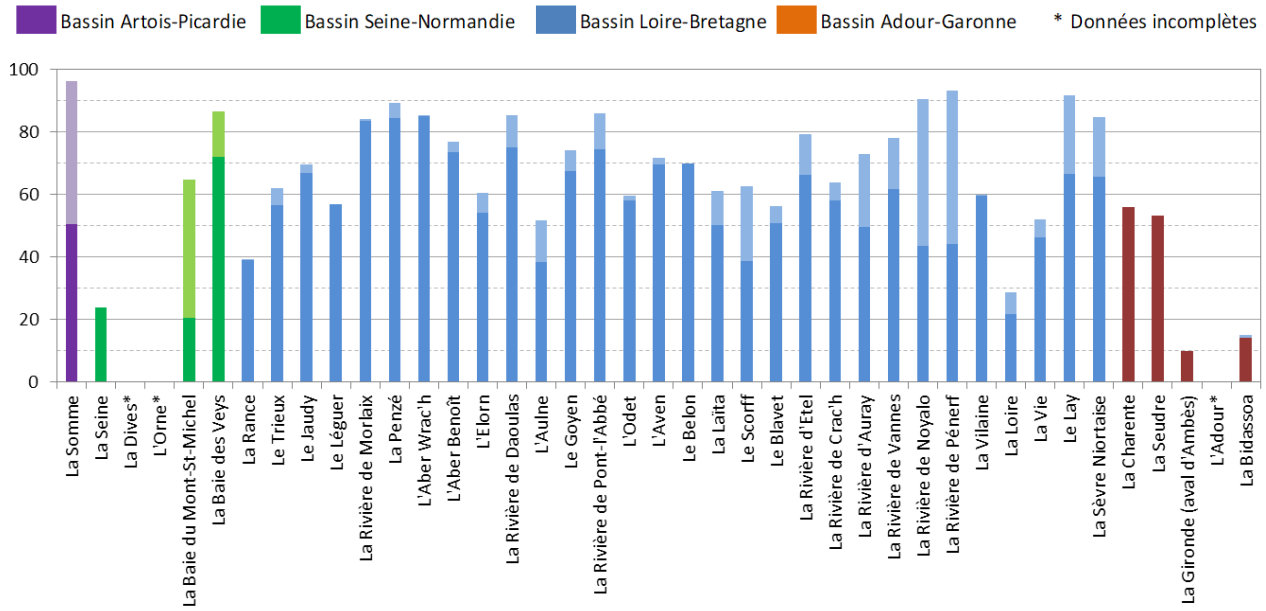


Figure 5 : biais lié au croisement des sections pour le calcul de l'indicateur hypsométrie en considérant les surfaces d'habitats par tronçon (Bouvier et al., 2016)

Enfin, compte tenu de la résolution des données utilisées à proximité des berges, il n'a été possible de distinguer les zones intertidales inférieures (vasières, bancs de sable…) des zones intertidales supérieures (schorre) sur certains estuaires « réels ». Ainsi, pour évaluer la pertinence de l'indicateur, d'autres classes bathymétriques (intertidale, subtidal profond et peu profond) ont été utilisées dans le cadre de ces tests ne permettant pas d'exploiter ces premiers résultats pour les évaluations DCE de la qualité HMS.

Malgré les difficultés rencontrées, les différents travaux de la phase 2 du GT HMS ont confirmé la pertinence et l'intérêt de l'indicateur hypsométrique pour évaluer la continuité amont/aval des habitats intertidaux et subtidaux. En revanche, ils n'ont pas permis de statuer sur des seuils de proportions d'habitats à partir desquels l'estuaire est considéré en « bon état HMS » vis-à-vis de ce critère. Selon les premières constatations, il ne semble pas judicieux de définir un seuil unique pour tous les estuaires, sans tenir compte de leur typologie, compte tenu des différences de proportions de zones intertidales qui les caractérisent (Figure 6).



Données sources : GEO-Transfert (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Figure 6 : proportion de zones intertidales par estuaire et par bassin hydrographique - *En foncé : zones intertidales inférieures (vasières, bancs de sable…). En pastel : zones intertidales supérieures (schorre) données à titre indicatif. Les surfaces de schorre ne sont pas connues sur tous les estuaires. L'absence de valeur n'indique donc pas qu'il y a absence de schorre.*

Pour étendre ces travaux à l'ensemble des estuaires de la façade Manche/Atlantique selon la méthode employée par le GT HMS, il est nécessaire de disposer soit de données bathymétriques exhaustives (MNT à haute résolution en particulier sur les rives) soit des données plus ponctuelles (profils topo-bathymétriques réguliers) ainsi que des informations sur les niveaux d'eau ou les temps d'émersion. Selon un bilan réalisé par la Coordination inter-estuaires (Foussard, 2018), les données topo-bathymétriques complètes intégrant les berges et en libre accès sont en nombre limité à l'échelle nationale. Toutefois, lors de la phase 1 du GT HMS, une cartographie des zones intertidales a été réalisée par photo-interprétation des Ortho-Littorales V2 produites par le Ministère de l'environnement (Sottolichio et al., 2015). Ces données relativement homogènes distinguent dans la mesure du possible, les zones intertidales inférieures (vasières…) et supérieures (schorre). Elles constituent une alternative pour évaluer l'indicateur sur un maximum d'estuaires et ont donc été exploitées dans le cadre de la présente étude.

III. Application de l'indicateur hypsometrique aux estuaires de la façade Manche/Atlantique

3.1. Données utilisées et prétraitement

Le tableau 2 liste l'ensemble des données exploitées au cours de l'étude.

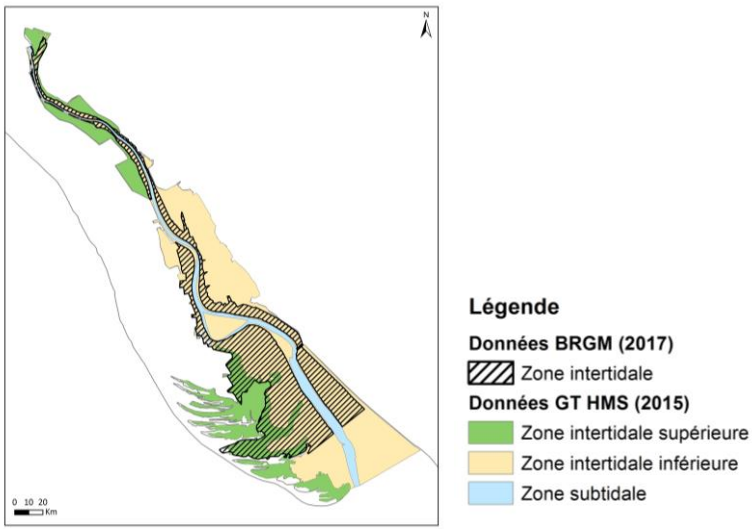
Tableau 2 : données cartographiques mobilisées

Fournisseurs de données	Date	Type de couche	Contenu
Université de Rouen (stage)/GEO-Transfert (GT HMS)	2015	Vecteur (polygones)	Délimitation des grands habitats par photo-interprétation des Ortho-Littorales V2
BRGM	2017	Vecteur (polygones)	Digitalisation des zones intertidales à partir des laisses de hautes et basses eaux
GIP Seine-Aval	2011/2012	Vecteur (polygones)	Extraction des zones intertidales et subtidales de l'estuaire de la Seine à partir de données LIDAR
GIP Loire Estuaire	2012/2013	Vecteur (polygones)	Extraction des surfaces marnantes de l'estuaire de la Loire à partir de données LIDAR
Ministère de l'Environnement	2000 2012	Raster	Orthophotographies du littoral français - version 2000 et 2012 (OLV2)

Les données du GT HMS (2015) ont été acquises par photo-interprétation des Ortho-Littoral V2 (OLV2) sur les petits et moyens estuaires. Hormis quelques manques liés à la qualité des OLV2 et aux limites de la photo-interprétation, ces données couvrent la majorité des systèmes (excepté les grands estuaires non considérés dans le cahier des charges initial). Elles intègrent l'extension maximale des habitats intertidaux et subtidaux « identifiables » sur les OLV2. Dans la mesure du possible, les zones intertidales inférieures (vasières, bancs sableux découvrant…) ont été distinguées des zones intertidales supérieures comprenant le schorre. Ainsi, l'absence de schorre sur la cartographie d'un estuaire n'implique pas systématiquement qu'il y a absence de schorre sur le terrain. Pour quelques estuaires, des données complémentaires ont été utilisées lorsque les OLV2 n'étaient pas exploitables. Ces données pouvant être utilisées à différentes fins (évaluation DCE, restauration écologique), la digitalisation des contours des habitats n'a pas été limitée aux contours des Masses d'eau de Transition (MET) définies pour la DCE.

Les données du BRGM (2017) ciblent les zones intertidales sans distinction de niveau topographique (supérieur/inférieur) dans le but de calculer la « surface d'estran » pour le classement en « très bon état hydromorphologique » des MET selon les termes de la DCE (Brivois, 2016). Elles ont été acquises dans un premier temps, de manière automatique à partir du trait de côte Histolitt_v2 (SHOM) et des laisses des plus basses eaux (IGN, BD Topo). Puis, les données ont été vérifiées manuellement et modifiées ponctuellement par photo-interprétation si nécesssaire. Ces données étant exploitées pour la DCE, les limites utilisées pour ce travail sont celles des MET de 2016 (dernière version disponible sur le portail du Sandre) et localement selon le trait de côte HistoLitt.

Après comparaison de ces deux sources de données, les données du GT HMS ont été privilégiées car elles se sont avérées plus fines en termes de résolution sur une majorité d'estuaires. De plus, l'emprise spatiale des données du BRGM est contrainte par les limites des MET 2016 qui parfois, n'inclut par l'intégralité des zones intertidales (Figure 7).



Données source : BRGM (2017), GEO-Transfert/Université de Bordeaux (2015)

Figure 7 : comparaison de l'extension des zones intertidales de l'estuaire du Lay selon les limites de la MET 2016 (BRGM, 2017) et celle obtenue par photo-interprétation des Ortho-Littoral V2 (GT HMS, 2015)

Toutefois, les données du GT HMS n'intègre pas tous les systèmes, en particulier les « estuaires longs » (dont les zones amont qui ne sont pas systématiquement couvertes par les OLV2) et les grands estuaires. Dans ces cas de figure, les données acquises par le BRGM, le GIP Seine-Aval et le GIP Loire Estuaire ont permis de combler une part importante des manques identifiés.

Pour compiler l'ensemble de ces données, un prétraitement a ensuite été nécessaire pour :

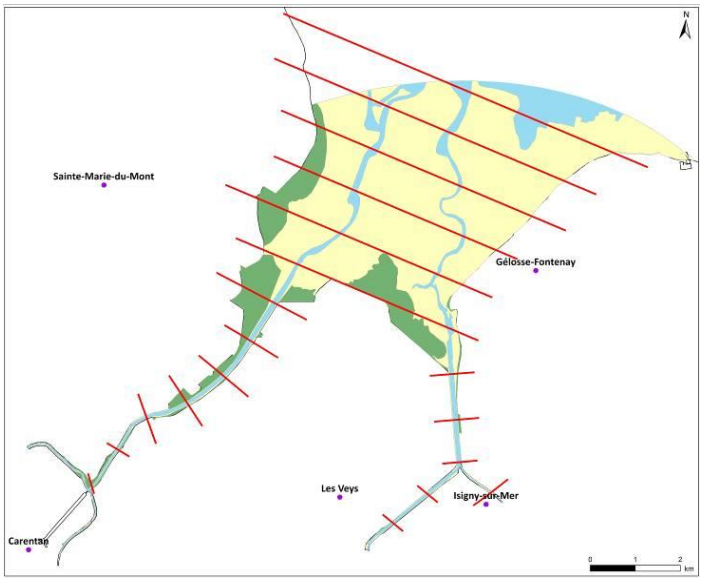
- s'assurer d'une jointure correcte des données issues de sources différentes ;
- ajuster les limites des habitats du BRGM (légers décalages observés en raison de la résolution des données ou engendrés suite à l'homogénéisation des systèmes de projection des différentes couches) ;
- compléter la couche habitat sur quelques secteurs non traités par le GT HMS et le BRGM (par exemple, l'estuaire de la Dives initialement classé en masse d'eau de rivière).

Malgré les efforts pour compléter cette couche, quelques zones restent non renseignées. Les sources de données exploitées sur chaque estuaire sont indiquées dans la table attributaire de la couche habitat finale. Les modifications faites au cours de la présente étude sont également signalées par la mention « MAJ_2018 ».

3.2. Sectorisation des estuaires en tronçons homogènes et transects représentatifs de ces tronçons

Pour tester l'indicateur hypsométrique sur l'ensemble des estuaires, les deux approches proposées par Le Hir (2014) ont été testées c'est-à-dire le calcul de l'indicateur hypsométrique à l'échelle de tronçons (estimation par les surfaces d'habitats) et le long de sections représentatives de l'amont vers l'aval (estimation par les largeurs d'habitat).

Dans un premier temps, chaque estuaire a été sectorisé en tronçon. Leurs limites ont été positionnées perpendiculairement au thalweg de manière automatique, tous les kilomètres ou tous les 500 mètres pour les estuaires de longueur inférieure à 13 km (valeur définie arbitrairement afin d'affiner l'analyse de la continuité des habitats sur les petits estuaires). Lorsque la sinuosité du thalweg était importante (Figure 8), les limites ont été ajustées en fonction des berges pour ne pas que les sections se croisent à l'image des difficultés rencontrées lors de la phase 2 du GT HMS (Bouvier et al., 2016).

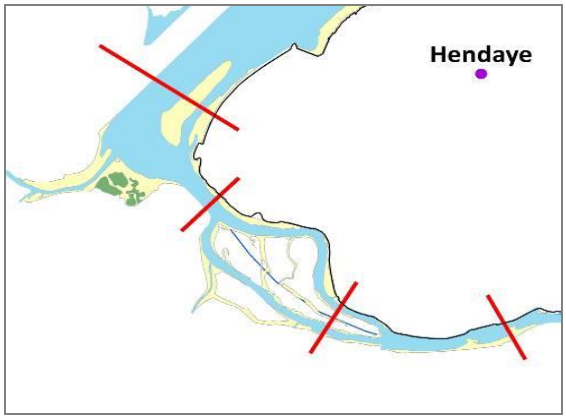


Données source : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Figure 8 : exemple de sections (rouge) ajustées manuellement selon les berges de la Baie des Veys

Dans un second temps, des transects représentatifs de ces tronçons ont été définis de manière à ce que les largeurs d'habitats soient représentatives des proportions surfaciques obtenues à l'échelle du tronçon. L'objectif est de déterminer si les résultats de l'indicateur hypsométrique obtenus par cette approche « linéaire » sont comparables à ceux obtenus par la méthode des surfaces considérées plus exhaustives. Si les résultats obtenus sont semblables, les méthodes de suivi à mettre en place pour calculer cet indicateur pourraient être limitées à des profils bathymétriques ponctuels plutôt que de l'acquisition de données surfaciques.

La différence de proportions obtenues entre la méthode par les largeurs et celle par les surfaces a ensuite été calculée pour évaluer la représentativité des transects. Un transect est alors considéré représentatif du tronçon si cet écart est inférieur à 10 %. Si l'écart entre les proportions est compris entre 0 et 10 %, les proportions d'habitats obtenues via les largeurs sont surestimées par rapport à celle obtenues via les surfaces. A l'inverse, les valeurs négatives témoignent d'une sous-estimation des proportions. Dans certains cas particuliers (confluence avec un affluent ou chenal « irrégulier »), la définition d'un transect représentatif n'est pas pertinente (Figure 9**Figure 9**).



Données sources : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

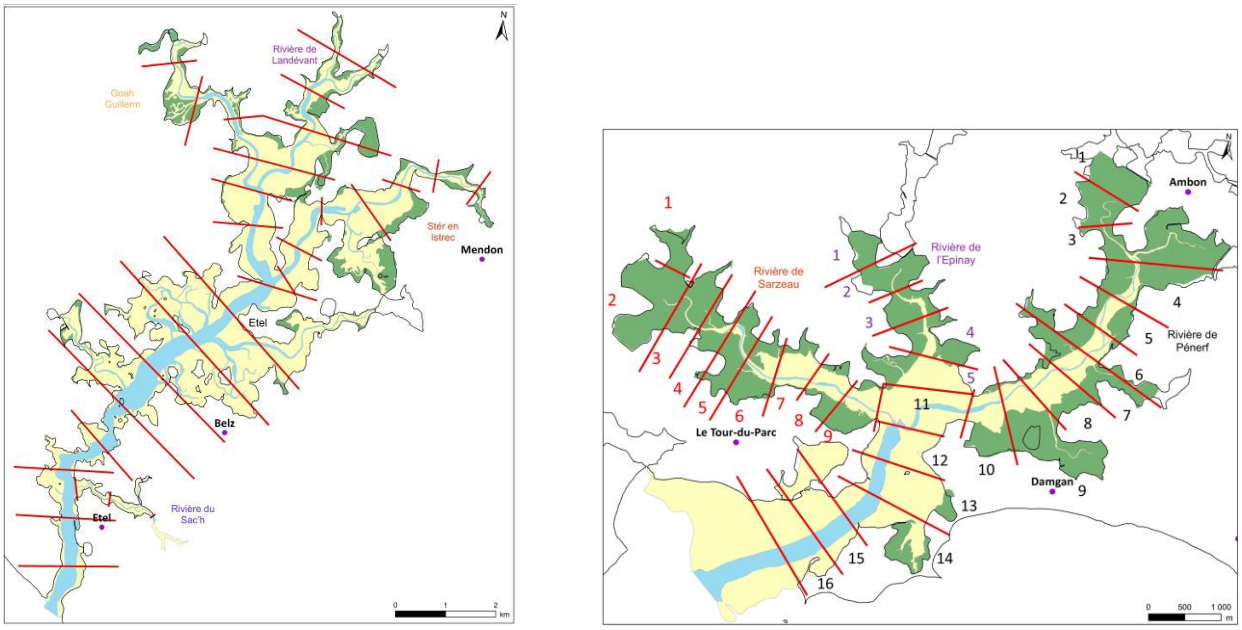
Figure 9 : exemple de chenal " irrégulier " de la Bidassoa (Kazmierczak, 2018)

La définition de transects représentatifs des tronçons (délimités en rouge) n'est pas pertinente au niveau des chenaux multiples et de la confluence avec l'affluent.

Mise en garde concernant la sectorisation

La phase de validation de la sectorisation par des experts n'a pas pu être menée entièrement au cours de l'étude. La méthode de sectorisation en tronçon a parfois été complexe à mettre en œuvre et leur positionnement peut s'avérer subjectif malgré le critère de distance de 1 km ou 500 m entre les sections. La méthode est particulièrement remise en question pour certains estuaires bretons présentant une géomorphologie très particulière (Figure 10). Par ailleurs,au niveau de confluence entre affluents, les résultats de l'indicateur hypsométrique doivent être considérés avec précaution voire même exclus.

Une alternative à cette méthode de sectorisation pourrait être d'appliquer des zones tampon à partir de l'embouchure, méthode qui n'a pu être testée lors de cette étude (Figure 11).



Données sources : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Figure 10 : sectorisation le long des affluents, complexe en raison de la morphologie des estuaires : cas des rivières d'Etel (gauche) et de Pénerf (droite)

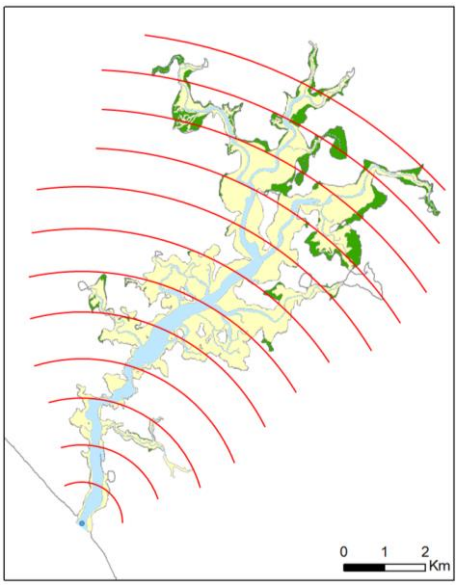


Figure 11 : illustration d'une méthode de sectorisation alternative basée sur la distance à l'embouchure appliquée à la rivière d'Etel tous les kilomètres.

3.3. Résultats

3.3.1. Comparaison des méthodes de calcul de l'indicateur hypsométrique et représentativité des transects

La comparaison des proportions d'habitats obtenues via les deux méthodes montrent de fortes similitudes (Figure 12). Les écarts en valeur absolue, entre les proportions le long des transects et celles à l'échelle des tronçons sont inférieurs au seuil de 10 % à quelques exceptions près (0,63 % des valeurs sont supérieures au seuil) (Tableau 3). De même, un peu plus de 75 % des valeurs (tout type d'habitat confondu) sont inférieures à 5 % (Tableau 3, Figure 13). Les données brutes (des proportions et des écarts) sont accessibles au format Excel.

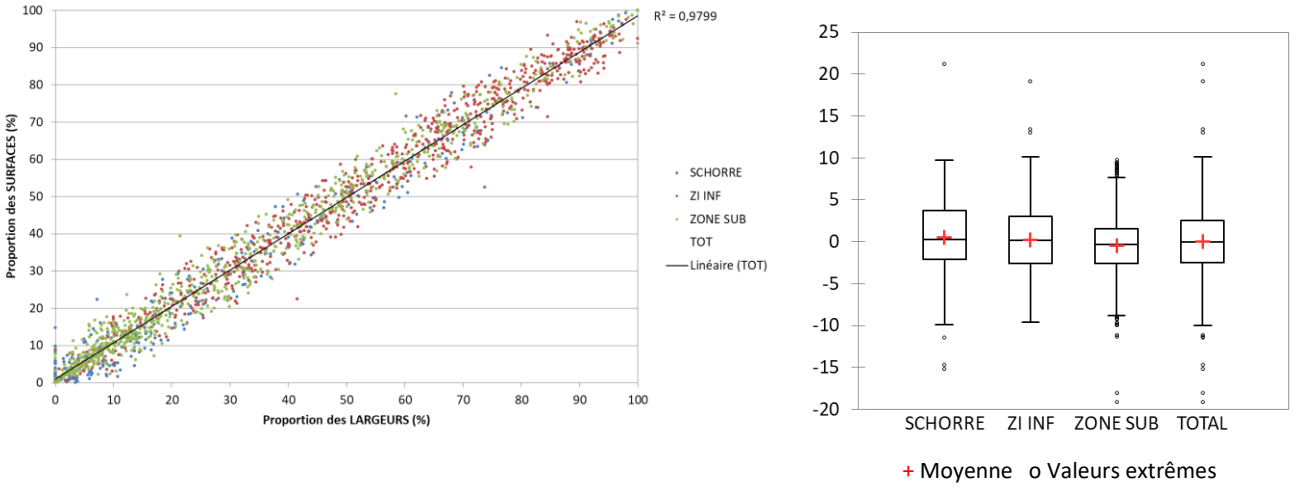


Figure 12 : proportions d'habitats obtenues le long des transects (largeur) en fonction de celles au sein des tronçons (surface) et dispersion des écarts par type d'habitat et sur l'ensemble des données

SCHORRE : Zone intertidale supérieure, ZI INF : Zone intertidale inférieure, ZONE SUB : zone subtidale, TOTAL : tout type d'habitat

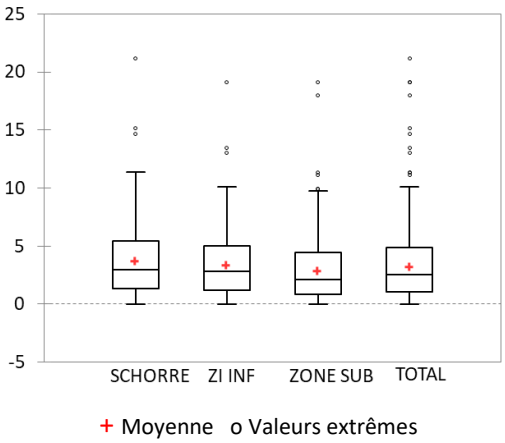


Figure 13 : dispersion des écarts entre les proportions d'habitat par les largeurs et celles par les surfaces en valeur absolue.

Tableau 3 : données sur les écarts entre les proportions d'habitats obtenues le long des transects et celles au sein des tronçons

	Zone intertidale supérieure (SCHORRE)	Zone intertidale inférieure (ZI INF)	Zone subtidale (SUB)	Tout type d'habitat confondu (TOT)
% de valeurs comprises entre [0 - 5]	68,73 %	75,10 %	79,54 %	75,80 %
% de valeurs > au seuil 10 %	1,18 %	0,51 %	0,51 %	0,63 %
Médiane (valeur absolue)	2,966	2,820	2,145	2,557

A l'exception de quelques cas particuliers (ex. des tronçons morphologiquement très hétérogènes), la méthode de calcul de l'indicateur hypsométrique par les largeurs d'habitats donne donc des résultats satisfaisants et comparables à ceux obtenus *via* les surfaces. Toutefois, l'utilisation de données surfaciques plus exhaustives est jugée nécessaire pour effectuer un diagnostic plus poussé (ex. lien entre la répartition des habitats, les caractéristiques naturelles et les pressions physiques), faire le lien avec la biologie ou encore pour envisager une restauration de zones intertidales dans des secteurs pertinents.

Par ailleurs, les transects choisis sont considérés aux premiers abords, comme représentatifs des tronçons étant donné les faibles écarts de proportion mesurés. Cela étant, la position des transects a été définie en fonction des proportions d'habitats calculés à l'échelle des tronçons, de manière à retrouver des valeurs équivalentes. Une phase de validation consistant à croiser les transects avec la présence d'aménagements ponctuels (par ex. pour éviter la présence d'un épi ou de conchylicultures au niveau d'un transect en cas de levés bathymétriques) et à consulter les experts pour évaluer la pertinence de ces transects, n'a pu être faite au cours de l'étude.

3.3.2. Evaluation des proportions et de la continuité des habitats estuariens : exemples de résultats pour les estuaires de la Vie et de l'Odet

L'indicateur hypsométrique a été calculé selon les deux méthodes sur 40 estuaires disposant de données complètes ou partielles. Le calcul de l'indicateur hypsométrique n'a pu être réalisé sur la baie du Mont-Saint-Michel pour laquelle la méthode de sectorisation choisie n'était pas applicable de manière pertinente. Pour les grands estuaires, seul le calcul par les surfaces d'habitats a été réalisé en raison du très grand nombre de tronçons définis.

Pour chacun des systèmes étudiés, il n'a pas été possible dans le temps imparti, de faire une analyse critique détaillées des résultats en les confrontant par exemple, à des données relatives aux pressions physiques exercées (présence d'endiguements, d'obstacles à l'écoulement, d'activités de dragage...). Ainsi, des fiches par estuaire sont fournies en annexe 1 avec les résultats de l'indicateur, les écarts de proportions obtenues entre les deux méthodes et quelques données sur les aménagements présents dans l'estuaire (données BRGM).

Deux exemples de résultats commentés sont malgré tout présentés ci-dessous. Etant donné que les résultats obtenus par les deux méthodes (surfaces et largeurs) sont très similaires, seuls les calculs par les surfaces à l'échelle des tronçons, sont illustrés.

Estuaire de la Vie : des habitats intertidaux développés au cœur d'un territoire fortement anthropisé

L'estuaire de la Vie est cloisonné au sein de territoires fortement urbanisés. Bien que la zone amont (du tronçon 1 à 11) soit entourée par des marais salants classés en ZNIEFF (Figure 14), l'exploitation de ces marais (principalement en « marais à poissons » et en salines) impose une gestion hydraulique contrôlée par divers ouvrages de régulation (SMMVLJ, 2009). La propagation de la marée vers l'amont est par ailleurs stoppée par le barrage des Vallées (Référentiel des obstacles à l 'écoulement de l'AFB, 2018).

D'après les données fournies par le BRGM, les berges de la Vie sont fortement artificialisées à hauteur de 75,4 % de digues « douces » (remblais, etc.) situées principalement au niveau des marais et à 20,4 % de digues « dures » (enrochement, etc.) localisées au niveau de l'embouchure. Malgré cela, l'estuaire de la Vie présente une proportion relativement importante de zones intertidales à l'échelle de l'estuaire (environ 50 % du lit mineur), à l'exception du tronçon 15 au niveau duquel se trouvent des pontons du port de plaisance de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (Figure 15).

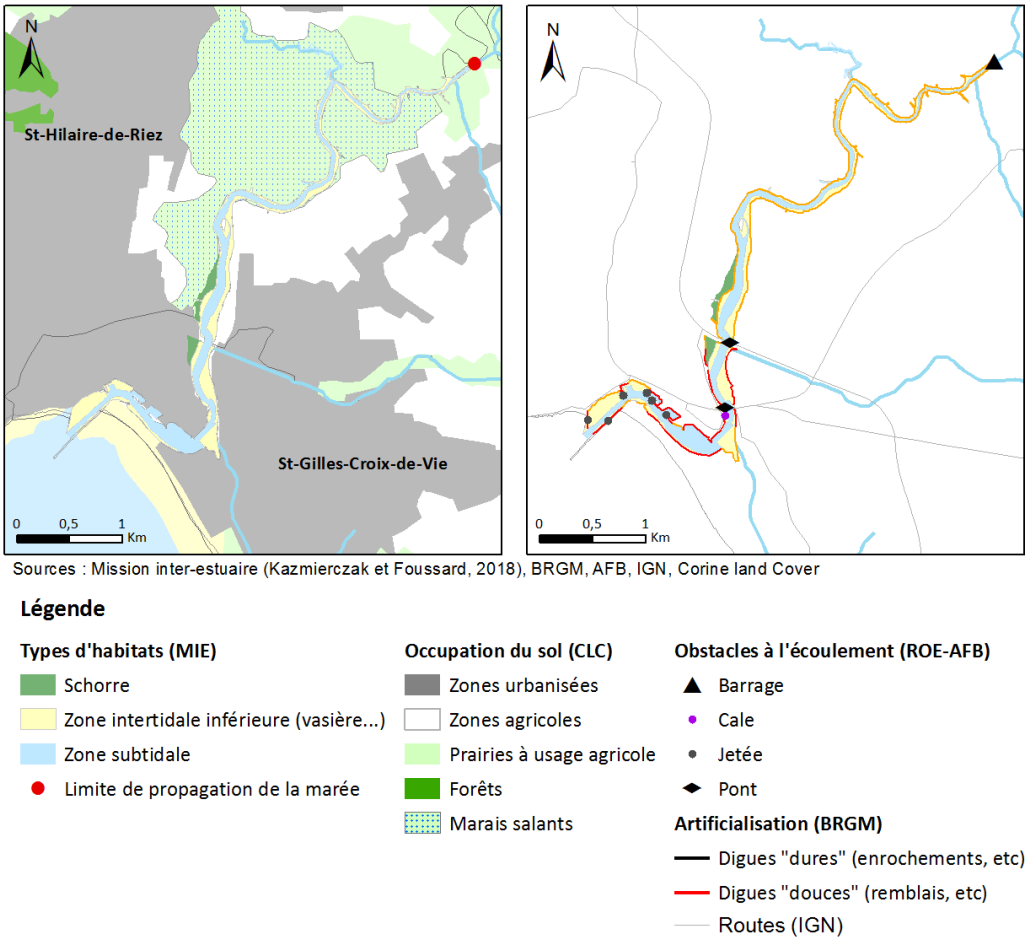
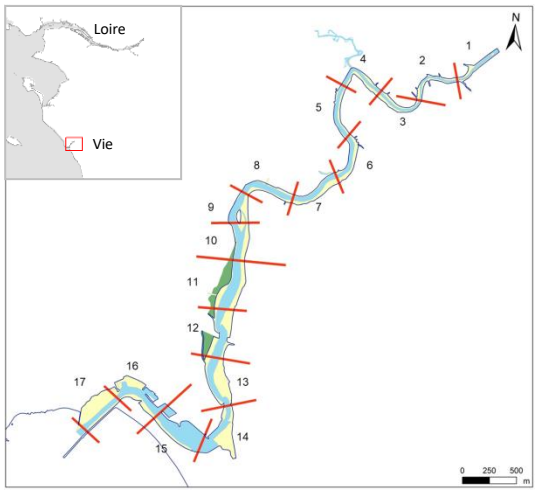


Figure 14 : occupation du sol autour de l'estuaire de la Vie (gauche) et localisation des digues et obstacles à l'écoulement présents dans le chenal (droite)



Sources : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert (2015), Kazmierczak (2018)

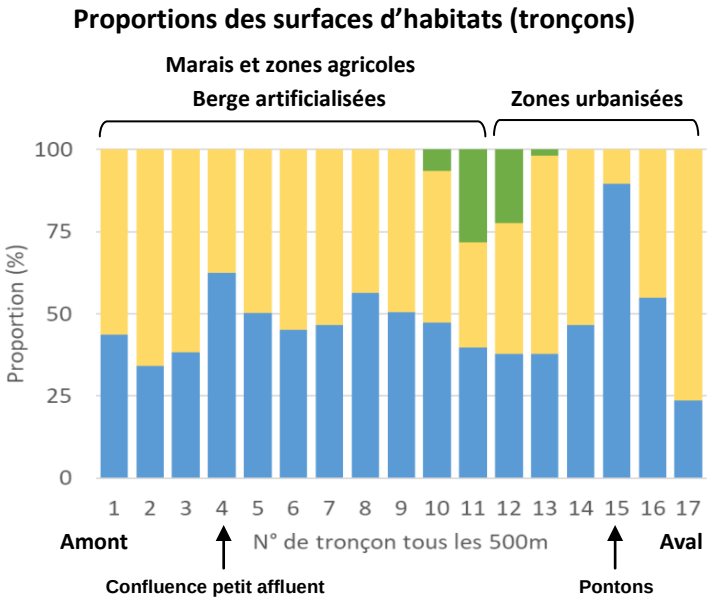
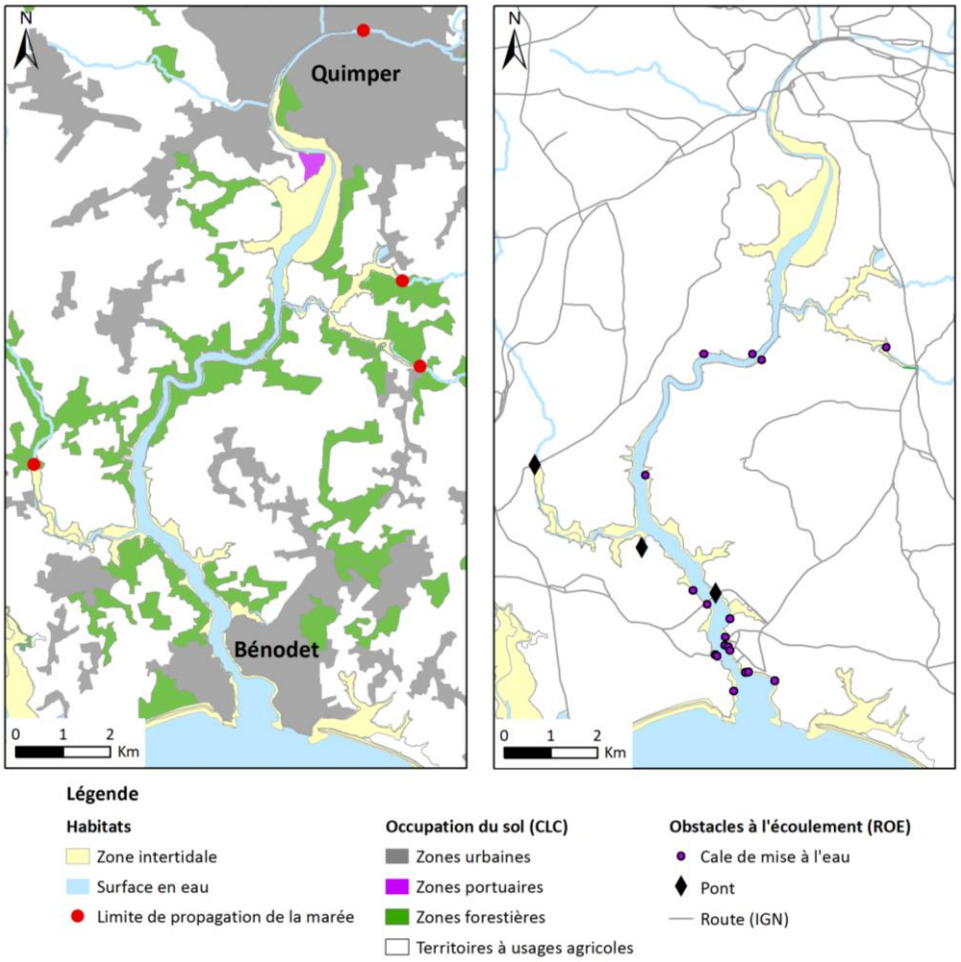


Figure 15 : sectorisation de l'estuaire de la Vie en tronçon (gauche) et résultats de l'indicateur hypsométrique (droite) (Kazmierczak, 2018)

Estuaire de l'Odet : une répartition des zones intertidales contraintes par la géomorphologie

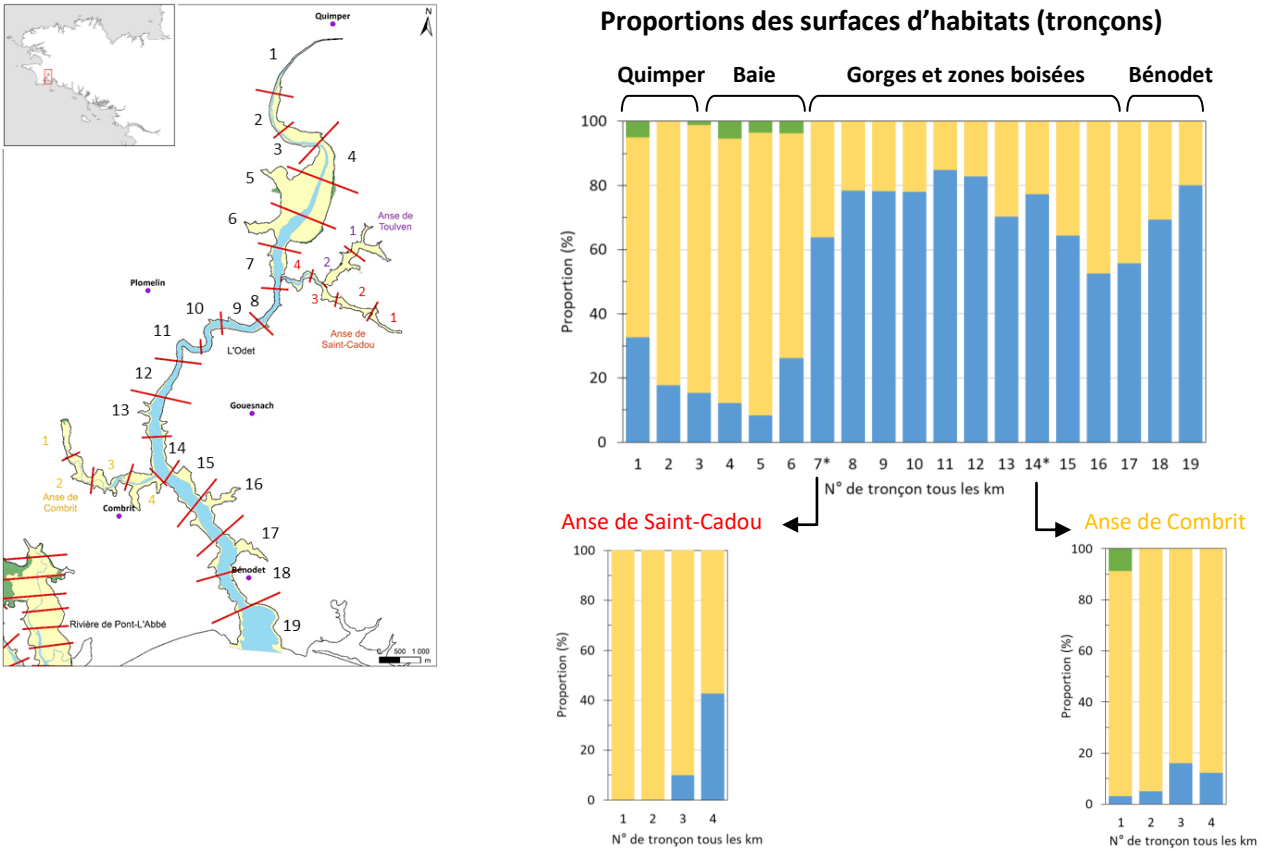
Le bassin versant de l'estuaire de l'Odet présente un développement urbain moins dense que sur l'estuaire de la Vie malgré la présence des villes de Quimper à l'amont et de Bénodet à l'embouchure. Dans sa partie centrale, les rives de l'estuaire sont majoritairement bordées par des forêts, en arrière desquelles se trouvent des terres agricoles. D'après les données sur l'artificialisation des berges du BRGM, 80,2 % des berges sont naturelles et les 19,8 % restantes sont essentiellement stabilisées par des digues « dures » au niveau des villes. Les activités nautiques (plaisance, sports nautiques) et de pêche constituent les usages dominants dans cet estuaire, expliquant la présence de nombreuses cales de mise à l'eau le long du chenal (Figure 16).

La répartition hétérogène des habitats intertidaux s'explique majoritairement par la géomorphologie naturelle très variable de l'Odet (Figure 17). Située en aval de Quimper, la baie de Kerogan (classée en ZNIEFF) semble relativement préservée des aménagements urbains et se distingue par une proportion de zones intertidales supérieure à 80 % (tronçons 3 à 6). Ensuite, cette baie débouche sur des gorges boisées au niveau desquelles l'Odet est plus sinueux et où la surface des zones intertidales se trouve fortement réduite entre 20 et 30 % de la surface du chenal (tronçons 7 à 13). En aval de ces gorges, la surface des zones intertidales augmente à nouveau puis se réduit au niveau de l'embouchure.



Sources des cartes : Mission inter-estuaires (Kazmierczak et Foussard, 2018), AFB, IGN, Corine Land Cover

Figure 16 : occupation du sol du bassin versant de l'estuaire de l'Odet (gauche) et localisation des obstacles à l'écoulement présents dans le chenal (droite)



L'Anse de Toulven est composée uniquement de zone intertidale inférieure (zone subtidale non digitalisée).

Figure 17 : sectorisation de l'estuaire de l'Odet en tronçon (gauche) et résultats de l'indicateur hypsométrique (droite) (Kazmierczak (2018)

Les deux exemples présentés montrent qu'une proportion réduite de zones intertidales n'est pas systématiquement liée à des facteurs anthropiques (digues, épis, barrage...) et à l'inverse, des aménagements importants comme la stabilisation des berges par des digues n'entrainent pas obligatoirement une forte réduction des habitats intertidaux (excepté dans le cas extrême de chenalisation associée à des dragages, comme dans l'estuaire de la Seine).

Afin d'interpréter les résultats de l'indicateur, il est donc nécessaire de connaître les pressions physiques qui s'exercent mais également la géomorphologie de ces écosystèmes et leurs caractéristiques hydrodynamiques, hydrologiques et sédimentaires. Ces informations sont d'autant plus importantes si un projet de restauration est envisagé ou si un lien avec la biologie doit être fait.

3.3.3. Tests préliminaires sur le lien entre la proportion de zones intertidales à l'échelle des estuaires et les pressions physiques

Les pressions anthropiques susceptibles d'impacter les habitats intertidaux et subtidaux sont diverses. Elles peuvent affecter directement leurs « intégrités physiques » (cloisonnement par endiguement, épi, dragage...) ou les impacter indirectement au travers de la modification des facteurs de contrôle (modifications de l'intrusion marine ou des débits fluviaux, des apports sédimentaires au risque d'un atterrissement des zones intertidales...).

De plus, les liens pression-impact sont complexes à mettre en avant pour diverses raisons, notamment :

- Les estuaires sont des milieux naturellement dynamiques, capable de s'adapter à une perturbation physique pour retrouver un « autre équilibre HMS ». Cela implique entre autre, que les impacts des aménagements historiques sont difficiles à évaluer.
- L'influence des forçages naturels (morphologiques, hydrodynamiques et sédimentaires) et anthropiques est complexe à décomposer et à quantifier.
- Selon le contexte, une pression impactant un type d'habitat peut en contrepartie, favoriser le développement d'un autre. Par exemple, des apports sédimentaires importants et/ou l'implantation de digues submersibles peuvent engendrer un comblement latéral du chenal et ainsi faciliter le développement du schorre au détriment des vasières.

Une analyse préliminaire de liens entre la proportion de zones intertidales et le taux d'artificialisation des berges a été menée à l'échelle des estuaires (données exploitées illustrées par la Figure 18). Les tests statistiques n'ont pas montré de corrélation évidente entre la proportion de zones intertidales (schorre compris) et la proportion de digues « dures » maçonnées (coefficient = -0,4385), ni avec le taux d'artificialisation total incluant les digues « dures » et les digues « douces » en matériaux perméables (coeff. = -0.1080). Ainsi, bien que l'aménagement des berges contraint la mobilité du lit mineur et peut modifier l'hydrodynamisme d'un estuaire, ce critère n'explique pas à lui-seul la répartition des zones intertidales. D'autres éléments doivent être considérés comme les caractéristiques naturelles des estuaires, la présence d'obstacles à l'écoulement (ex. barrage à l'amont ou à l'aval de l'estuaire)... Cela étant, ces résultats sont à prendre avec précaution en raison de la qualité des données utilisées sur l'artificialisation des berges. Sur certains estuaires, des inventaires détaillés ont été réalisés alors que sur d'autres, les données sont moins fiables (basées sur les informations tirées de cartes IGN, déduites par photo-interprétation...). L'analyse de ces relations à une échelle locale plus fine pourrait être plus concluante.

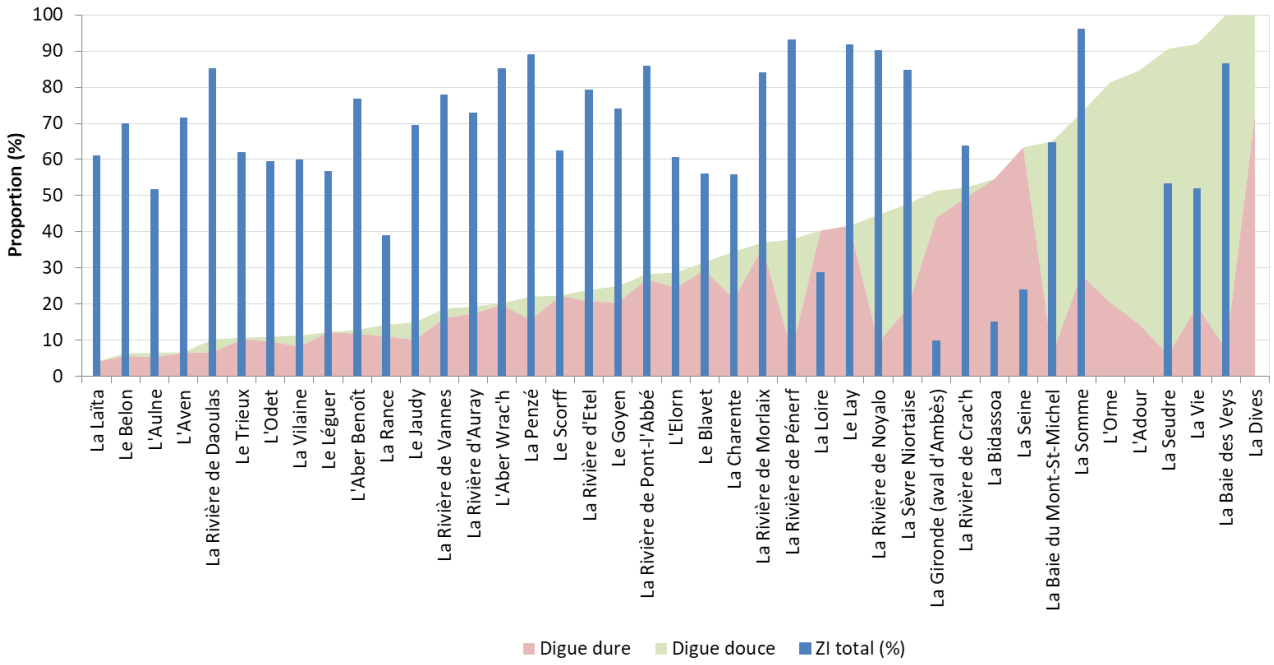


Figure 18 : proportion de zones intertidales, de digues « dures » (maçonnées) et de digues « douces » (remblais, etc.) par estuaire (Kazmierczak, 2018 et BRGM). Les estuaires sont classés selon le taux d'artificialisation total du moins élevé au plus élevé.

En revanche, en considérant le classement en masses d'eau fortement modifiées (MEFM) défini pour la DCE, des différences significatives entre les masses d'eau de transition classées en « naturelles » et celles en MEFM ont été mises en avant vis-à-vis des proportions de zones intertidales inférieures type vasières (p-value = 0.04517) et de zones intertidales totales, schorre compris (p-value = 0.04185). Ces différences significatives peuvent se justifier par les pressions considérées pour classer un estuaire en MEFM. Ce dernier n'est pas uniquement basé sur la nature des berges mais inclut toutes pressions « incompressibles » du fait des activités économiques associées, ayant un impact physique sur le milieu (barrage, dragage, endiguement, navigation...).

La figure 19 illustre la distribution des surfaces de zones intertidales en fonction de la surface totale de l'estuaire. Si on considère qu'il existe une relation plus ou moins linéaire entre ces surfaces (plus l'estuaire est grand, plus les zones intertidales sont développées), les MEFM se distinguent des autres systèmes en particulier pour les petits estuaires.

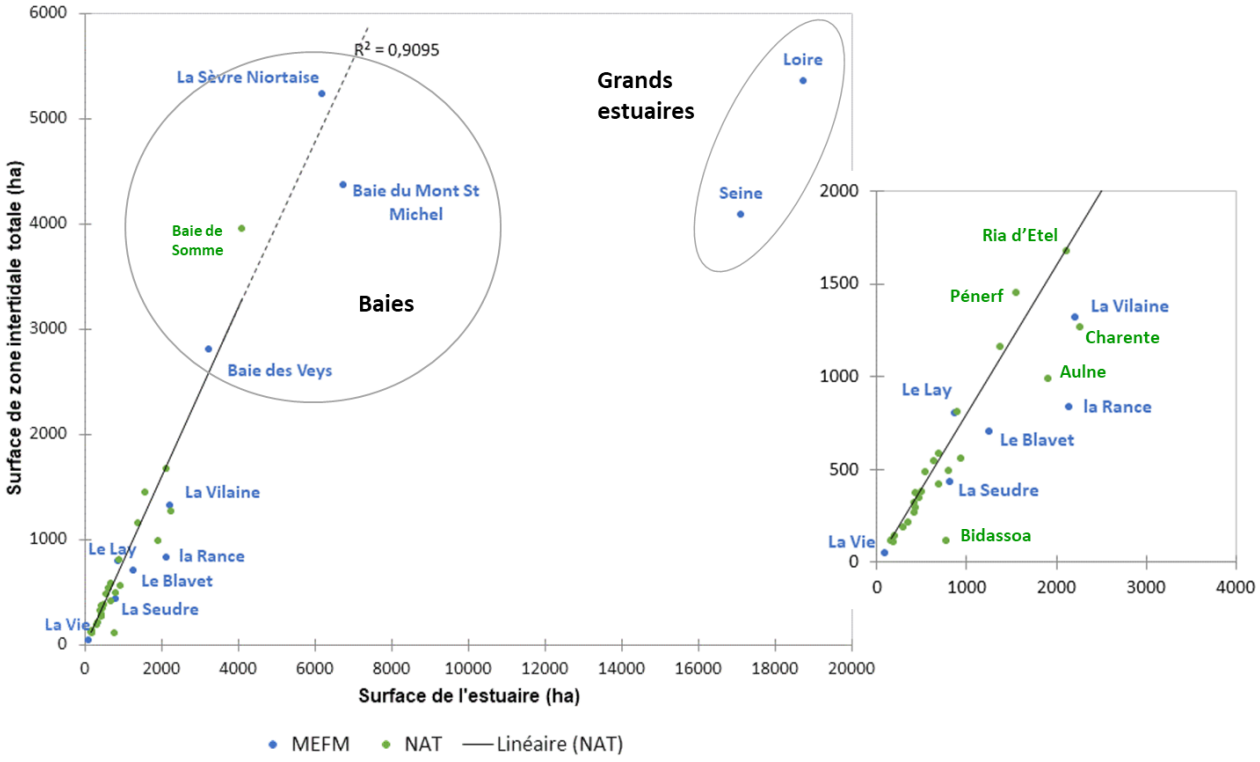


Figure 19 : surface de zones intertidales en fonction de la surface des estuaires identifiés selon leur classement en masse d'eau de transition naturelle (NAT) ou fortement modifiée (MEFM) défini pour la DCE.

La droite correspond à la courbe de tendance de la série « NAT ». Ne figurent pas sur le graphique : les estuaires de la Dives, l'Orne et l'Adour (données insuffisantes limitées à l'embouchure) et l'estuaire de la Gironde (données partielles en aval du bec d'Ambès et point situé très en dehors du graphique - surface de l'estuaire = 69 000 ha ; surface de zones intertidales = 6 600 ha).

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Sectorisation des estuaires et application de l'indicateur hypsométrique

L'applicabilité de l'indicateur hypsométrique et la qualité des résultats sont très dépendantes de la méthode de sectorisation des estuaires. Dans le cas présent, étant donné le nombre d'estuaires à traiter, il a été choisi de les découper en tronçons homogènes en taille (tous les 1 km ou 500 m), perpendiculairement au thalweg et/ou aux berges. Cette méthode qui peut être automatisée si le thalweg est relativement linéaire et uniforme, s'applique assez simplement sur la majorité des estuaires. Quelques ajustements sont tout de même nécessaires pour éviter le croisement des limites de tronçon dans les méandres et pour veiller à une relative uniformité des tronçons à hauteur des confluences et des annexes hydrauliques. Cette méthode de sectorisation peut s'avérer parfois complexe à mettre en œuvre sur certains estuaires présentant une géomorphologie très particulière. Une alternative pour ces systèmes serait d'appliquer des buffers de 1 km ou 500 m à partir de l'embouchure (Figure 11) et de calculer les proportions d'habitats sur chaque zone de l'aval vers l'amont. Dans ce cas, l'utilisation de la méthode de calcul de l'indicateur hypsométrique le long de transects caractéristiques est peu pertinente. De plus, l'analyse de la continuité physique des habitats dans chaque annexe hydraulique ou affluent devra s'appuyer sur des données cartographiques pour localiser les sites dépourvus de l'habitat ciblé.

Les transects le long desquels les largeurs d'habitats sont déterminées, peuvent être jugés représentatifs de la quasi-totalité des tronçons étant donné les faibles écarts de proportions obtenus après calcul de l'indicateur. Ainsi, à l'exception de quelques cas particuliers (ex. des tronçons morphologiquement très hétérogènes), la méthode de calcul de l'indicateur par les largeurs d'habitats donne des résultats satisfaisants et comparables à ceux obtenus *via* les surfaces.

Cela étant, la position des transects a été définie en fonction des proportions d'habitats calculés à l'échelle des tronçons, de manière à retrouver des valeurs équivalentes, et non en tenant compte de la présence éventuelles d'un aménagement ponctuel. Par ailleurs, l'utilisation de données surfaciques plus exhaustives est à privilégier pour effectuer un diagnostic plus poussé (ex. lien entre la répartition des habitats, les caractéristiques naturelles et les pressions physiques exercées), faire le lien avec la biologie ou encore pour envisager une restauration de zones intertidales.

La phase de validation de la sectorisation (en tronçon et en transect) initialement prévue n'a pas pu être menée à son terme au cours de l'étude. Elle sera nécessaire en particulier pour les transects caractéristiques qui sont susceptibles d'être employés pour évaluer la répartition des habitats si des acquisitions surfaciques ne peuvent être reproduites.

Interprétation des résultats de l'indicateur hypsométrique

Compte-tenu du nombre important d'estuaires à traiter au cours de l'étude, il n'a pas été possible dans le temps imparti, de faire une analyse critique et détaillée des résultats de l'indicateur sur chacun des systèmes. Seuls les résultats des estuaires de la Vie et de l'Odet sont commentés dans ce rapport. Les graphiques obtenus sur les autres estuaires sont tout de même illustrés en annexe 1.

Les deux exemples présentés montrent qu'une proportion réduite de zones intertidales n'est pas systématiquement liée à des facteurs anthropiques (digues, épis, barrage...). A l'inverse, des aménagements importants comme l'artificialisation des berges par des digues n'entrainent pas obligatoirement une forte réduction des habitats intertidaux (excepté dans le cas extrême de chenalisation associée à des dragages, comme dans l'estuaire de la Seine). Afin d'interpréter les résultats de l'indicateur,

il est donc nécessaire de connaître l'ensemble des pressions physiques exercées (obstacles à l'écoulement, dragage, etc.) mais également la géomorphologie de ces écosystèmes et leurs caractéristiques hydrodynamiques, hydrologiques et sédimentaires. Ces informations sont d'autant plus importantes si un projet de restauration est envisagé ou si un lien avec la biologie doit être fait.

Analyse des liens entre les pressions physiques, la répartition des habitats, les conditions environnementales et la biologie

L'étude des relations pression-impact nécessite également une connaissance approfondie des pressions physiques exercées et des caractéristiques physiques des estuaires. L'analyse préliminaire confrontant le taux d'artificialisation de berges et la proportion de zones intertidales à l'échelle des estuaires n'a pas mis en avant de corrélation évidente entre ces paramètres. Bien que ces conclusions doivent être considérées avec précaution en raison de la qualité des données variable d'un estuaire à un autre, d'autres éléments relatifs aux pressions anthropiques et aux caractéristiques naturelles des estuaires doivent être analysés. Par ailleurs, une analyse plus fine estuaire par estuaire, pourrait être plus concluante.

Cette analyse « à une échelle locale » permettrait également de faire le lien avec la biologie en croisant les données sur les habitats (leur taille, leur fragmentation...) à l'image des travaux menés par Teichert et al. (2018) relatifs à l'influence de la structure des zones intertidales sur les guildes foncitonnelles de poisson.

L'acquisition de données environnementales (salinité, matières en suspension, oxygène...) permettrait aussi de compléter cette analyse. Concernant la salinité, l'application de l'une des formes de l'indicateur « salinité » proposé par le GT HMS peut fournir des informations utiles sur les variations de salinité « subies par la biologie » en tout point d'un estuaire grâce à la modélisation (annexe 2). En croisant avec l'indicateur hypsométrique, il serait possible de définir au-delà de leur répartition, la représentation de chaque type d'habitat en fonction de la zone haline. Par exemple, la figure 20 montre la position approximative du gradient de salinité par rapport à la répartition des habitats, dans deux situations hydrologiques très contrastés (forte crue et étiage) dans l'estuaire de la Gironde, en aval de Bordeaux. Ce même travail pourrait être réalisé en condition moyenne de marée et de débit, à une échelle de temps pertinente qui reste à définir. Les sorties de modèles devront en revanche être calées sur la sectorisation définie pour l'indicateur hypsométrique. Ceci pourrait également être fait pour la turbidité moyennant la mise en place d'une modélisation de la dynamique sédimentaire des estuaires.

Ce type d'étude complète (habitats, biologie, conditions du milieu et pressions) nécessite une grande quantité de données, la mobilisation de modèles numériques et de diverses compétences scientifiques. Il serait nécessaire dans un premier temps, d'identifier un ou deux estuaires pour lesquels tout ou partie des données sont disponibles et exploitables afin d'évaluer la faisabilité d'une telle étude interdisciplinaire et quantifier les moyens à mobiliser (compétences, modèles, acquisitions de données...).

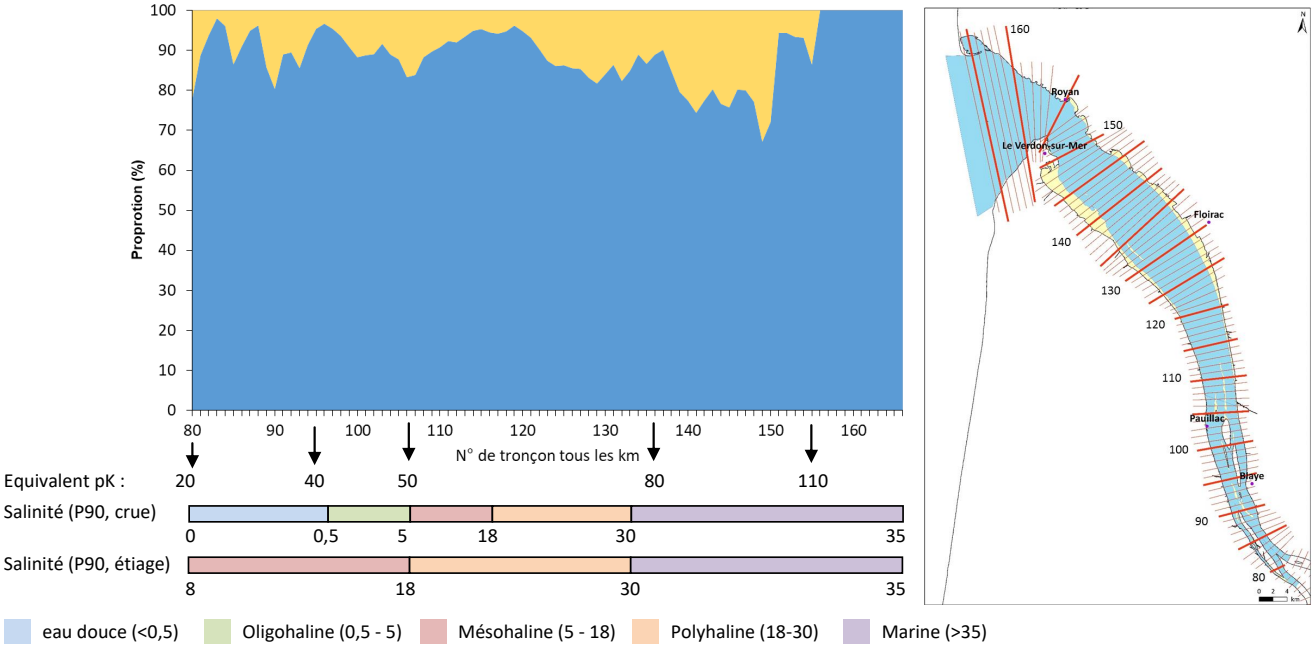


Figure 20 : répartition des habitats intertidaux (jaune) et subtidaux (bleu) de l'estuaire de la Gironde, en aval du bec d'Ambès et position approximative du gradient de salinité pour deux situations hydrologiques contrastées (d'après les simulations de Bouvier et al., 2016)

Salinité (P90, crue) : percentiles 90 moyens des salinités calculés sur 6 jours et 21h sur chaque section de l'estuaire lors d'une forte crue (débit = 3317 $m^3.s^{-1}$) (graphique en annexe 2)

Salinité (P90, étiage) : percentiles 90 moyens des salinités calculés sur 6 jours et 21h sur chaque section de l'estuaire lors d'un étiage sévère (débit = 110 $m^3.s^{-1}$) (graphique en annexe 2)

V. BIBLIOGRAPHIE

Bouvier C., 2014. Evaluation de la pertinence d'indicateurs hydromorphologiques en milieu estuarien par modélisation numérique. Rapport de Master 2 à l'université de Bretagne Occidentale, 47p.

Bouvier, C., Sottolichio, A., Hanquiez, V., Le Hir, P., Foussard V., 2016. Test des indicateurs hydro-morpho-sédimentaire pour l'application de la directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes. Rapport Université de Bordeaux/ONEMA, 65p.

Brivois O., 2016. Avancement 2016 de l'élaboration du programme de surveillance de la qualité hydromorphologique des masses d'eau littorales de la façade Manche Atlantique dans le cadre de la DCE. Rapport final. BRGM/RP-.66714-FR

Dronkers J., 1998. Morphodynamics of the Dutch Delta.In: Dronkers J, Scheffers MBAM (eds) Physics of Estuaries and Coastals Seas, Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp 297-304

Dronkers J., 2005. Dynamics of coastal systems. World Scientific, Singapore, Advanced Series on Ocean Engineer, Vol 25, 519 p.

Dyer K., 1997. Estuaries : a Physical Introduction. Wiley, London, 140 p.

Foussard V., Sottolichio A., 2011. Caractérisation d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires de Bon Etat écologique des estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde–Partie 1 Projet BEEST, 60p, 2010

Foussard V., 2018. Bilan des données topo-bathymétriques disponibles sur les petits et moyens estuaires de la façade Mer du Nord/Manche/Atlantique. Document de synthèse, Université de Rouen/AFB, 24p. http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/estuaire_bilan_donnees_bathy_estuaire_2018.pdf

Jalon Rojas I., Schmidt S., Sottolichio A., Bertier C., 2016. Tracking the turbidity maximum zone in the Loire Estuary (France) based on a long-term, high-resolution and high-frequency monitoring network, Continental Shelf Research, 117, 1-11., doi: 10.1016/j.csr.2016.01.017.

Le Hir P., 2014. Développement d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes. Phase 1 : Eléments de proposition en vue d'une conceptualisation des indicateurs. Rapport Ifremer/ONEMA, 52p.

Le Hir P., Bouvier C., 2016. Développement d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes. Phase 2 : tests des indicateurs sur des configurations d'estuaires schématiques à l'aide d'une modélisation 3D. Rapport Ifremer/ONEMA, mars 2015 - mise à jour en février 2016, 83 p.

Prandle D. (2003) Relationships between tidal dynamics and bathymetry in strongly convergent estuaries. Journal of Physical Oceanography, 33 (12) : 82-273-750

Sottolichio, A., V. Foussard, S. Kervella, C. Curti, E. Maneux, J. Arriagada, V. Hanquiez, 2015. Développement d'indicateurs HydroMorphoSédimentaires pour les estuaires. Rapport Univ. Bordeaux/ONEMA, 60 p.

Syndicat Mixte des Marais de la Vie, du Ligneron et du Jaunay (SMMVLJ), 2009. Rapport environnemental relatif au SAGE du bassin de la Vie et du Jaunay. Adopté par la CLE en novembre 2009, 41p.

Teichert N., Lobry J., Lepage M., 2018. Comparaisons d'indicateurs de biodiversité, d'état écologique et de fonctionnement trophique dans les écosystèmes estuariens. Partie I : Fonctionnement des écosystèmes estuariens : analyse des indicateurs de biodiversité des assemblages de poissons. Projet Irstea/AFB, 79p.

Annexe 1 : résultats de l'application de l'indicateur hypsométrique estuaire par estuaire

« Notice » des fiches

Légendes

Cartes

- Zone intertidale supérieure (schorre)
- Zone intertidale inférieure (vasières, bancs de sable, roches…)
- Zone subtidale
- Transect caractéristique
- Section délimitant les tronçons
- Trait de côte Histolitt
- Commune

Graphiques

Types d'habitats

- Zone intertidale supérieure (schorre)
- Zone intertidale inférieure (vasières, bancs de sable, roches…)
- Zone subtidale

Sur les graphiques, les tronçons identifiés d'une « * » sont à considérer avec précaution car ces secteurs peuvent représenter une confluence ou les données y sont incomplètes.

Tableau des écarts

Les écarts sont calculés en faisant la différence entre les proportions par les largeurs et celles par les surfaces. Les transects sont considérés comme « caractéristiques » dès lors que ces écarts sont inférieurs à 10%. Les valeurs négatives indiquent une sous-estimation des proportions par les largeurs par rapport aux surfaces. A l'inverse, les valeurs positives indiquent une surestimation. Dans le tableau, figure uniquement la valeur moyenne des écarts, le minimum et le maximum, pour chaque type d'habitats. Les valeurs détaillées par secteur sont accessibles par ailleurs avec les bases de données associées à ce travail.

Tableau sur l'artificialisation des berges et les obstacles à l'écoulement

Les données sur l'artificialisation ont été fournies par le BRGM sur la base de données collectées auprès d'organismes (DDTM, CEREMA, etc.) ou acquises à partir de cartes IGN ou d'orthophotos du littoral. Les sources des données sont indiquées sur la couche SIG fournies par le BRGM. La fiabilité des données est donc variable d'un estuaire à un autre.

Les catégories d'aménagements mis dans les tableaux correspondent à :

- Digue douce : proportion de berges aménagées « perméables » (digue en terre, remblais, limons...)
- Digue dure : proportion de berges aménagées « imperméables » (digue maçonnée, quai, zone urbaine…)
- Nat. : proportion de digues jugées naturelles (boisée, cordons de galets, côte rocheuse, dune, falaise, bande enherbée...)
- Taux d'artif. : taux d'artificialisation total regroupant les proportions de digues « douces » et « dures »
- Voie Sub. : présence d'une voie submersible dans l'estuaire signalée par « X »
- BARR : obstacles en travers du chenal (barrage, écluse, seuil)
- EPIS : obstacles latéraux dans le lit mineur (épis, jetée, cales)
- EVAC LAT : aménagements contrôlant les apports latéraux (émissaire pluvial)
- PONT : nombre de pont chevauchant le chenal (sans précision sur le nombre de piles de pont)

Remarque : l'indicateur hypsométrique n'a pas été calculé pour la baie du Mont-Saint-Michel en raison de l'impossibilité de la sectoriser de manière pertinente.

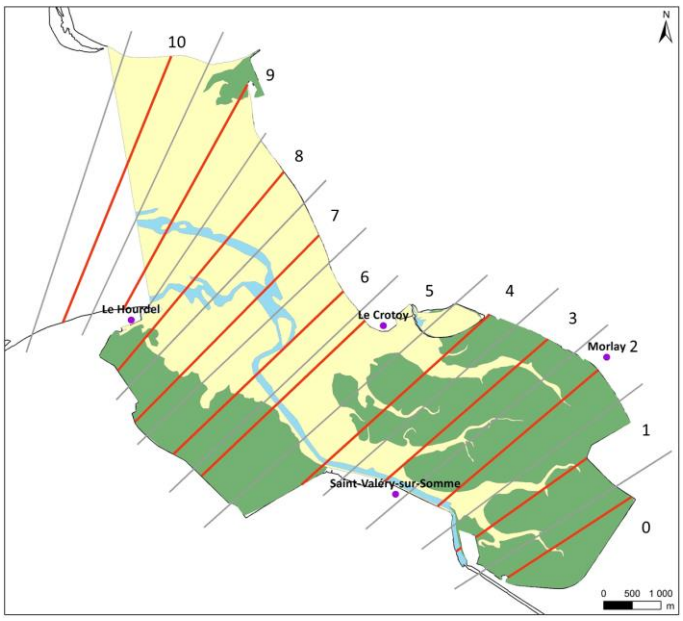
Liste des fiches

Baie de Somme (FRAT01) 33
Estuaire de la Seine (FRHT01-02-03) 34
La Risle maritime (FRHT07) 35
Estuaire de l'Orne (FRHT04) 36
Baie des Veys (FRHT06) 37
La Dives (FRHT08) 39
Bassin maritime de la Rance (FRGT02) 40
Le Trieux (FRGT03) 42
Le Jaudy (FRGT04) 44
Le Léguer (FRGT05) 46
Rivière de Morlaix (FRGT06) 47
La Penzé (FRGT07) 48
L'Aber Wrac'h (FRGT08) 49
L'Aber Benoit (FRGT09) 50
L'Elorn (FRGT10) 51
Rivière de Daoulas (FRGT11) 52
L'Aulne (FRGT12) 53
Le Goyen (FRGT13) 55
Rivière de Pont-l'Abbé (FRGT14) 56
L'Odet (FRGT15) 58
L'Aven (FRGT16) 60
La Laïta (FRGT18) 62
Le Scorff (FRGT19) 63
Le Blavet (FRGT20) 64
Rivière d'Etel (FRGT21) 65
Rivière de Vannes (FRGT24) 70
Rivière de Noyalo (FRGT25) 72
Rivière de Pénerf (FRGT26) 73
La Vilaine (FRGT27) 75
La Loire (FRGT28) 76
La Vie (FRGT29) 77
Le Lay (FRGT30) 78
La Sèvre Niortaise (FRGT31) 79

Estuaire de la Charente (FRFT01) 80
Estuaire de la Seudre (FRFT02) 82
La Gironde aval (FRFT09) 84
Estuaire de l'Adour (FRFT06 - 07) 86
Estuaire de la Bidassoa (FRFT08) 87

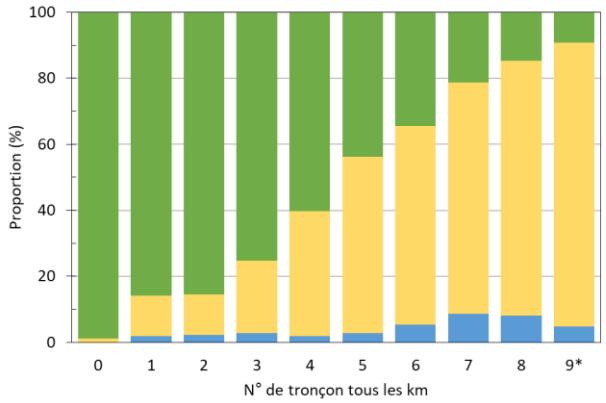
Baie de Somme (FRAT01)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

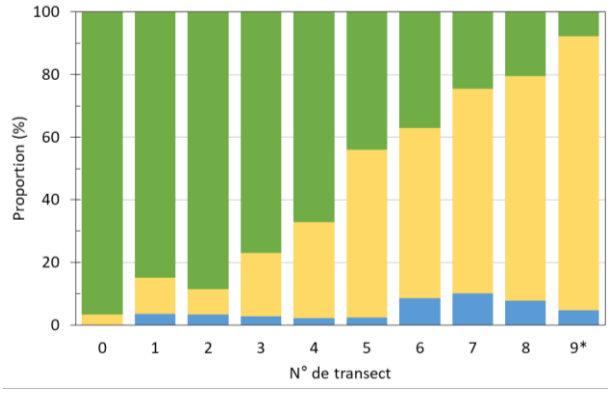


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transecs)



* Données partielles

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	1,85 [-2,1 ; 6,9]	-2,51 [-7,16 ; 2,1]	0,66 [-0,42 ; 3,11]

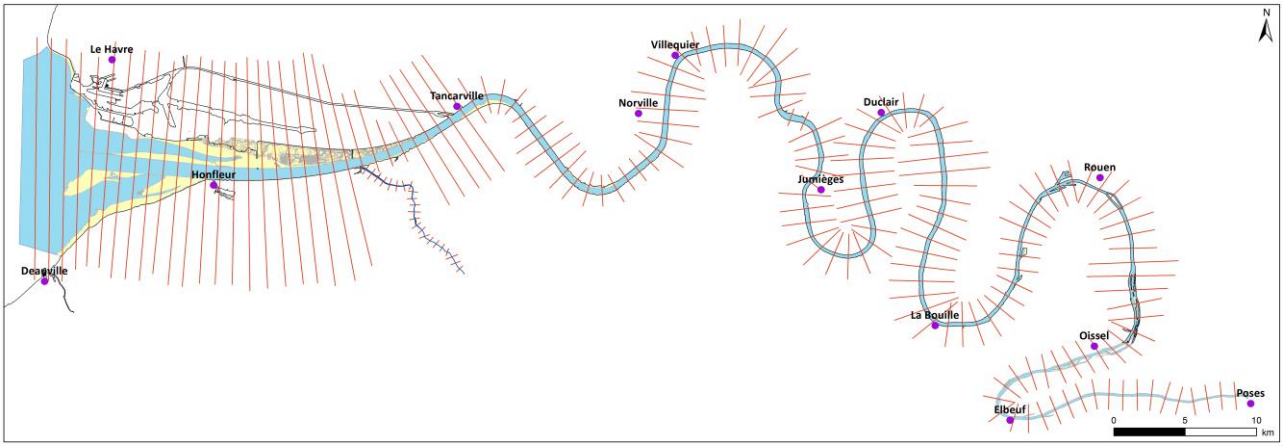
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
51,79	32,55	15,66	84,34		2	0	4	0

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Estuaire de la Seine (FRHT01-02-03)

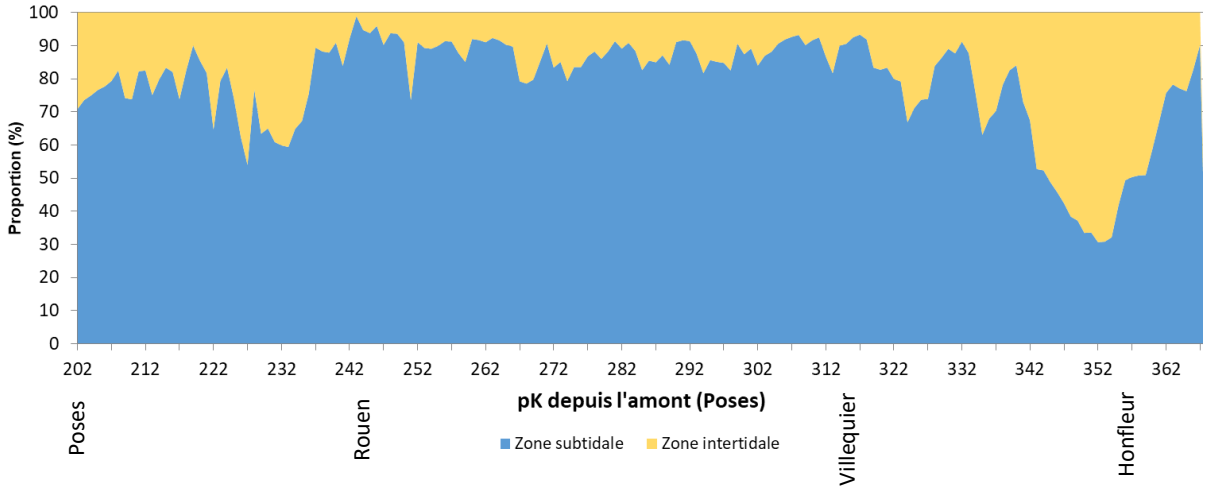
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



Sources des données : GIP Seine-Aval (2013), sectorisation : Kazmierczak (2018)

Une sectorisation automatique tous les kilomètres a été réalisée. Toutefois, le GIP Seine-Aval ayant calculé l'équivalent de l'indicateur hypsométrique (au travers des surfaces d'habitats par temps d'émersion tous les km), les données brutes ont été récupérées pour calculer l'indicateur hypsométrique. La définition de transect caractréistiques et le calcul de l'indicateur le long de ces transect n'ont pas été faites sur les grands estuaires.

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Les proportions de zones intertidales indiquées incluent les vasières et le schorre.

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

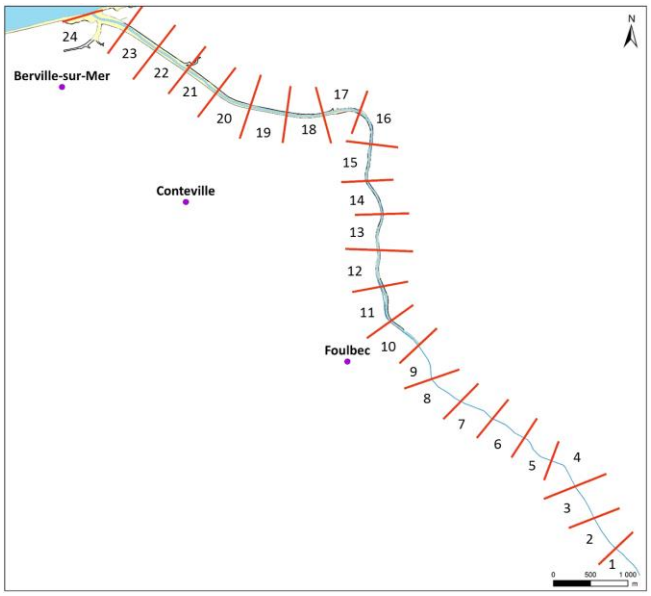
	Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
Seine amont (FRHT01)	0,00	68,14	31,86	68,14		4	34	0	15
Seine moyen (FRHT02)	0,00	87,50	12,50	87,50		0	0	2	1
Seine aval (FRHT03)	0,00	78,91	21,09	78,91		7	34	0	14

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

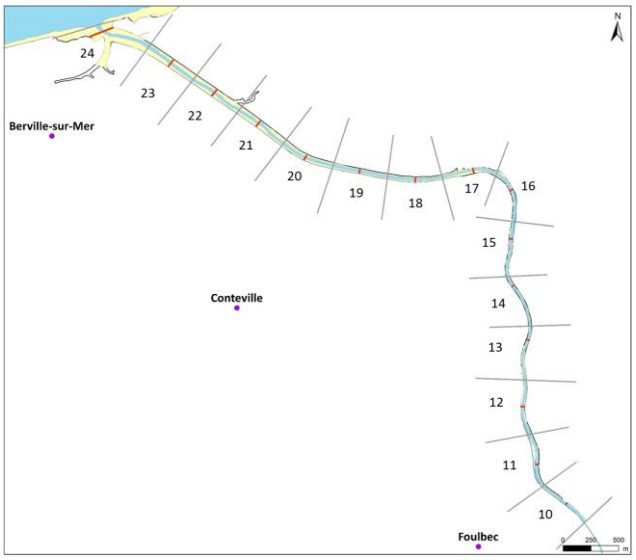
La Risle maritime (FRHT07)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

Sectorisation en tronçon



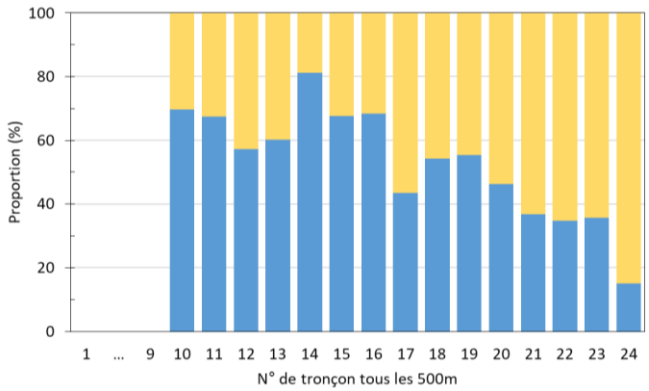
Définition des transcects représentatifs*



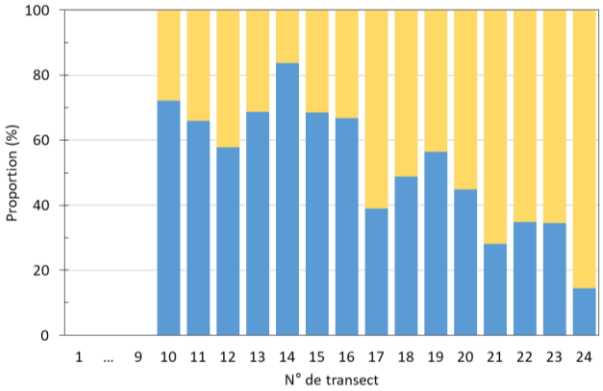
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GIP Seine-Aval (2013), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

* Le positionnement des transects est basé sur les proportions d'habitats obtenus par tronçon. En l'absence de données sur ces habitats, les transects représentatifs n'ont pas été définis (dans le cas présent, pas de données en amont du tronçon 10).

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-	0,6 [-8,46 ; 8,7]	-0,6 [-8,7 ; 8,46]

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

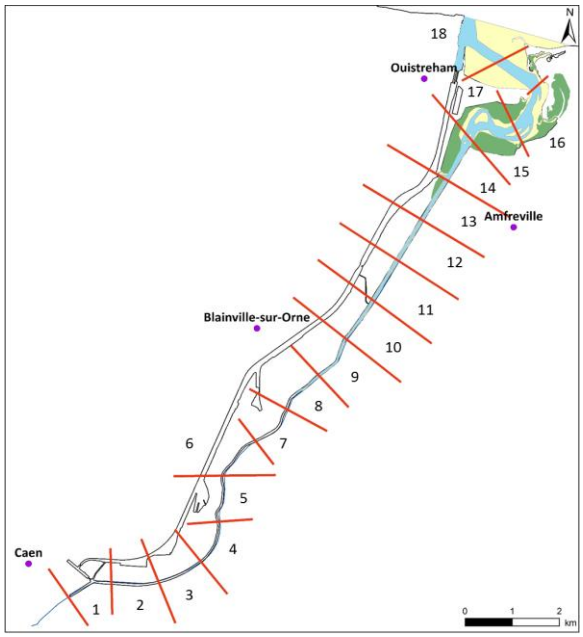
Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	60,44	39,56	60,44		0	0	0	2

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

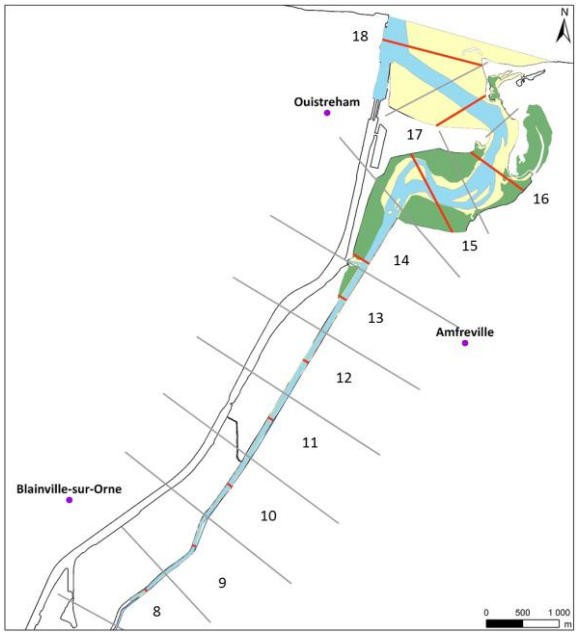
Estuaire de l'Orne (FRHT04)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

Sectorisation en tronçon



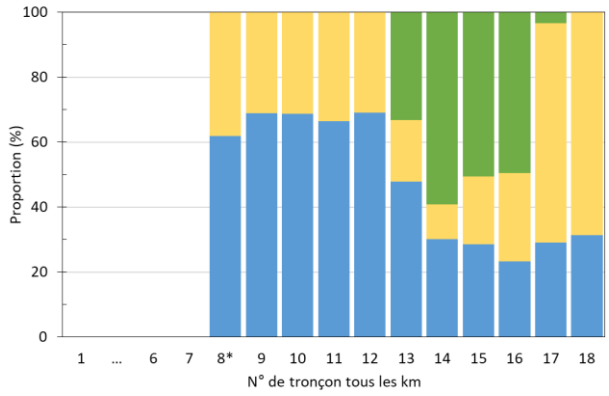
Définition des transcects représentatifs*



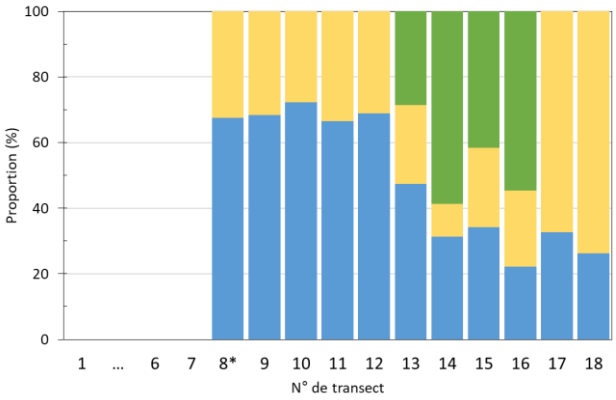
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

* Le positionnement des transects est basé sur les proportions d'habitats obtenus par tronçon. En l'absence de données sur ces habitats, les transects représentatifs n'ont pas été définis (dans le cas présent, pas de données en amont du tronçon 8).

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



* Données partielles

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-2,53 [-9,02 ; 5,04]	0,57 [-4,05 ; 5,2]	0,7 [-5,16 ; 5,76]

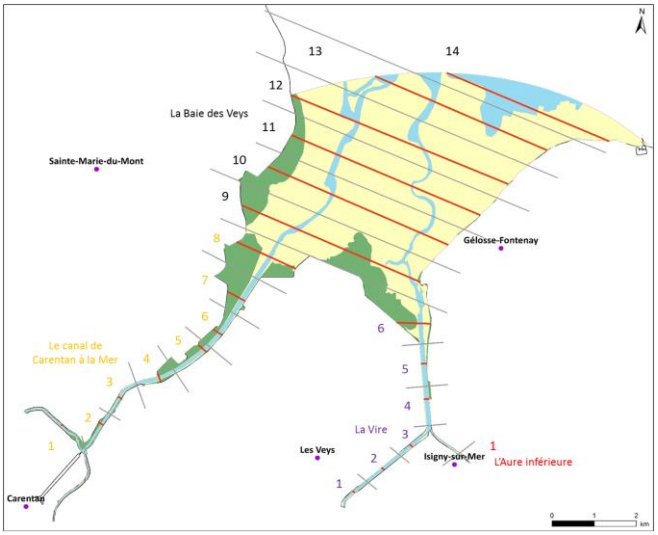
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
18,64	60,87	20,49	79,51		3	1	0	12

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

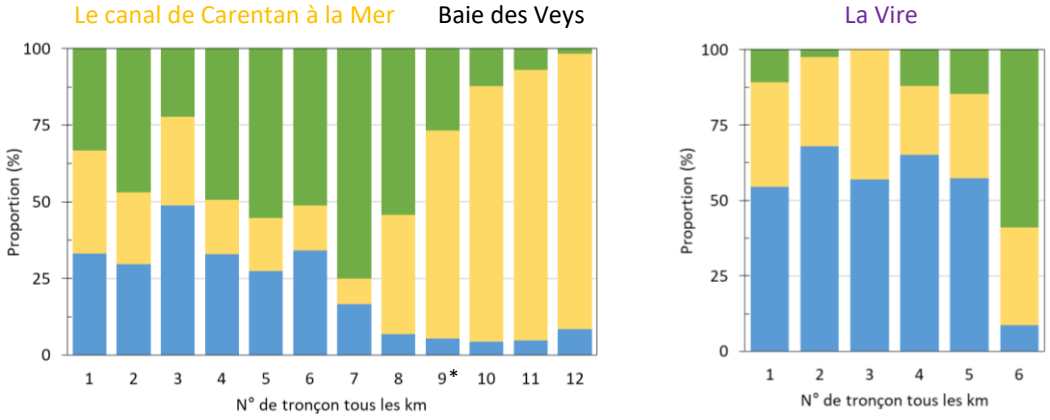
Baie des Veys (FRHT06)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

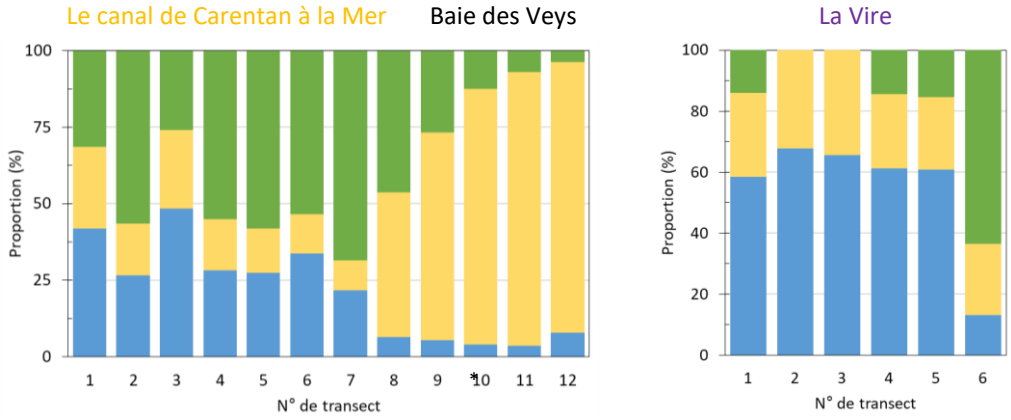
Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



* Confluence avec la Vire

L'Aure Inférieure, affluent de la Vire se compose d'un seul tronçon de 1 km dont la proportion de zone subtidale s'élève à 54,65 % et celle des zones intertidales inférieures à 45,35 %.

Proportions des largeurs d'habitats (transects)



* Confluence avec la Vire

L'Aure Inférieure, affluent de la Vire se compose d'un seul tronçon de 1 km dont la proportion de zone subtidale s'élève à 62,01 % et celle des zones intertidales inférieures à 37,99 %.

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Baie des Veys et canal de Carentan	0,87 [-7,89 ; 9,53]	-1,12 [-6,77 ; 8,24]	0,25 [-4,69 ; 8,76]
Baie des Veys - VIRE	1,64 [-2,53 ; 4,6]	-4,1 [-9,17 ; 2,78]	2,74 [-3,81 ; 8,62]

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

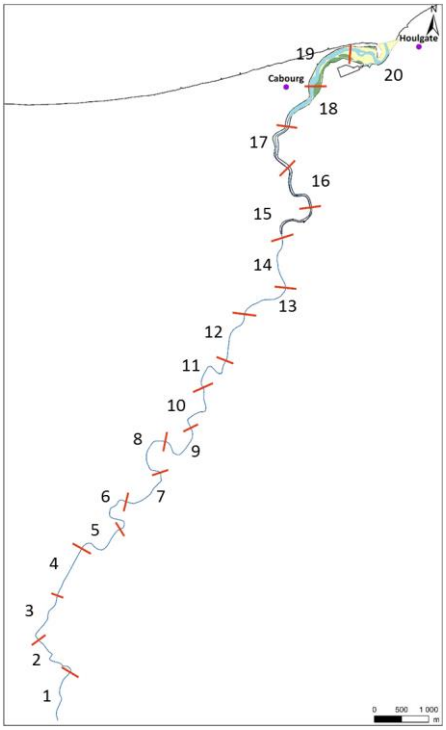
Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
92,44	7,56	0	100		0	1	0	0

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

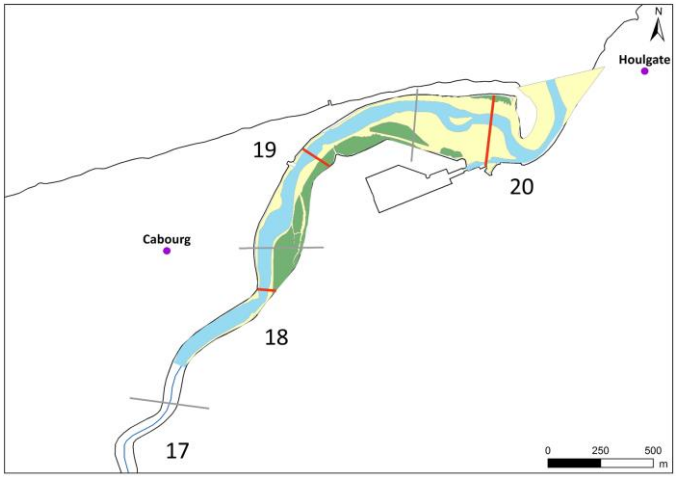
La Dives (FRHT08)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

Sectorisation en tronçon



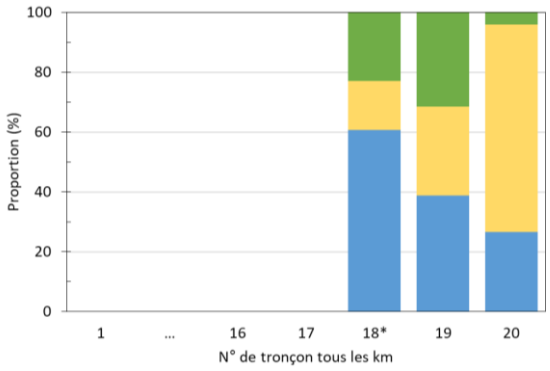
Définition des transects représentatifs*



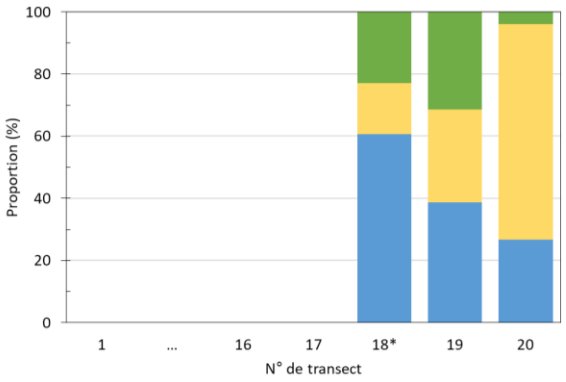
Sources des données : SHOM/IGN (2009), Kazmierczak (2018)

* Le positionnement des transects est basé sur les proportions d'habitats obtenus par tronçon. En l'absence de données sur ces habitats, les transects représentatifs n'ont pas été définis (dans le cas présent, pas de données en amont du tronçon 18).

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



* Données partielles

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	0,99 [-4,48 ; 4,17]	2,31 [-7,53 ; 9,67]	-3,30 [-8,08 ; 3,36

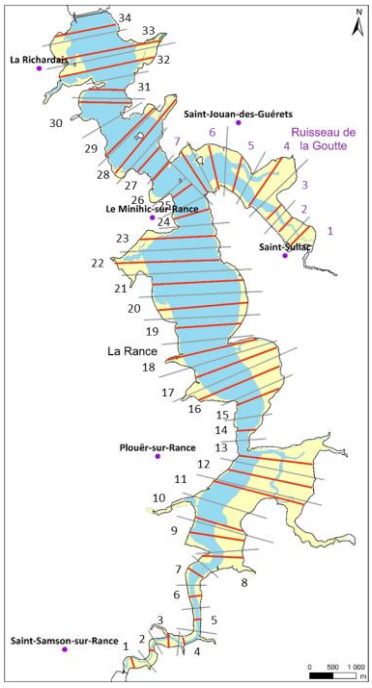
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	27,37	72,63	27,37		1	2	0	0

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Bassin maritime de la Rance (FRGT02)

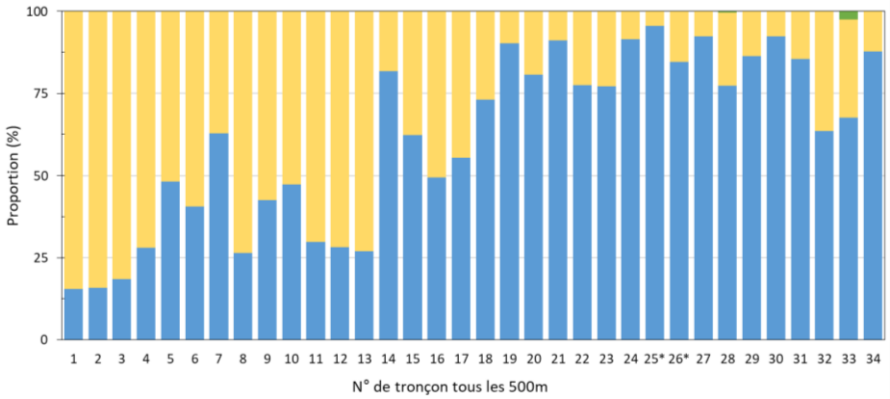
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



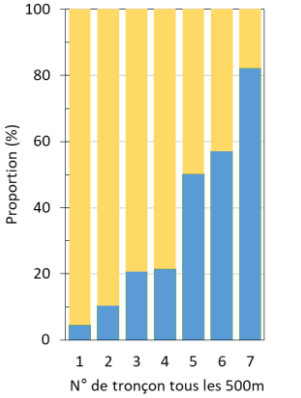
Sources de la carte : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)

La Rance



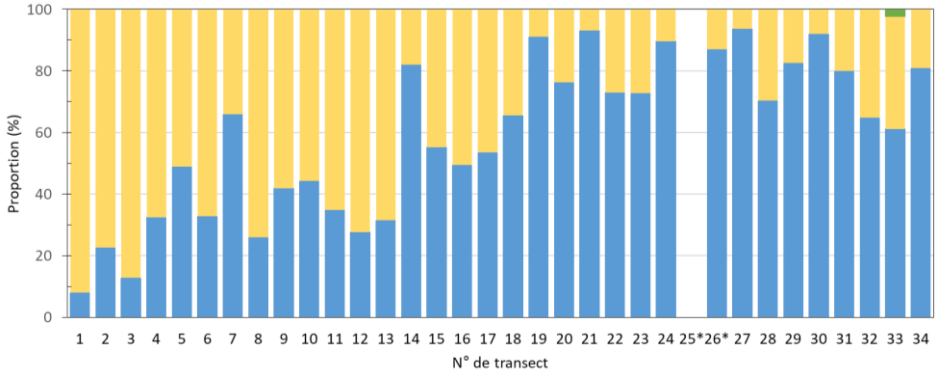
Ruisseau de la Goutte



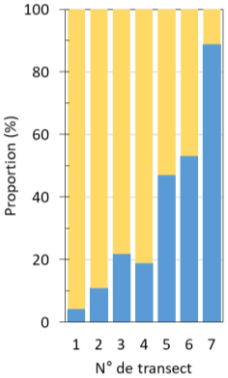
* Confluence avec la ruisseau de la Goutte

Proportions des largeurs d'habitats (transects)

La Rance



Ruisseau de la Goutte



* Transect 25 : non pertinent / transect 26 : confluence avec le ruisseau de la Goutte

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
La Rance	-0,22 [-0,37 ; -0,03]	1,81 [-6,78 ; 7,88]	-1,79 [-7,88 ; 6,78]
Le Ruisseau de la Goutte	0	0,31 [-6,63 ; 4,01]	-0,31 [-4,01 ; 6,63]

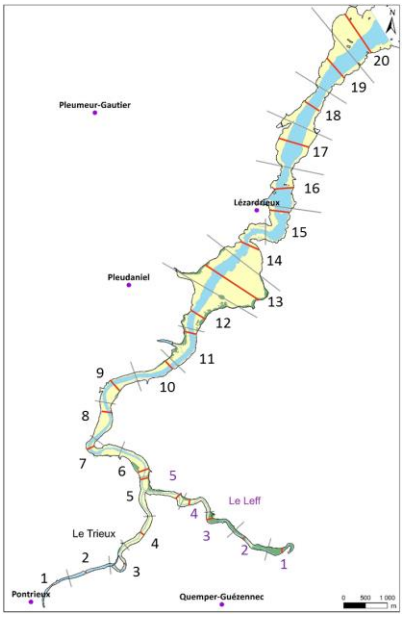
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
5,60	19,46	74,94	25,06	X	5	22	0	6

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

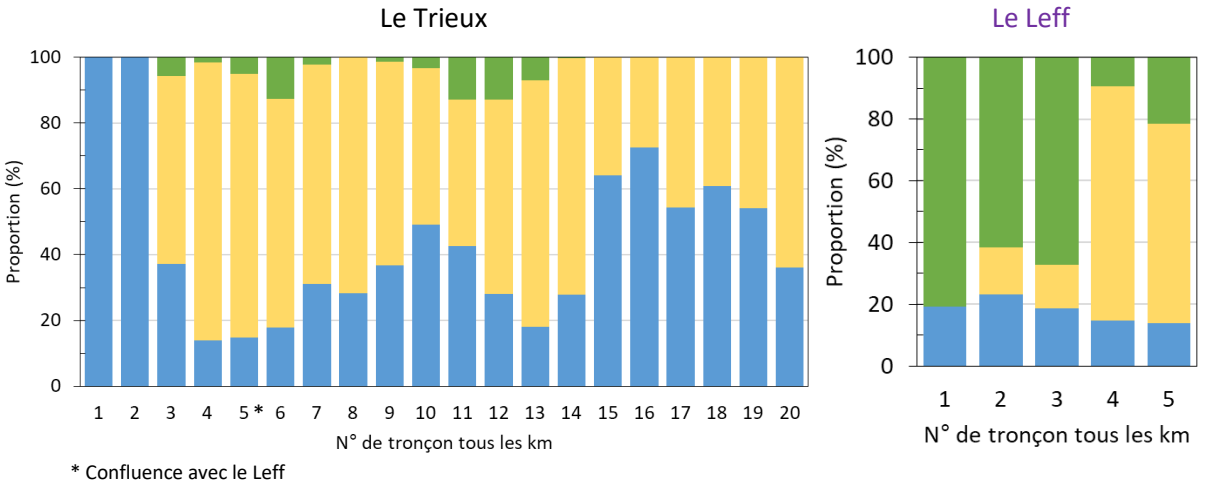
Le Trieux (FRGT03)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

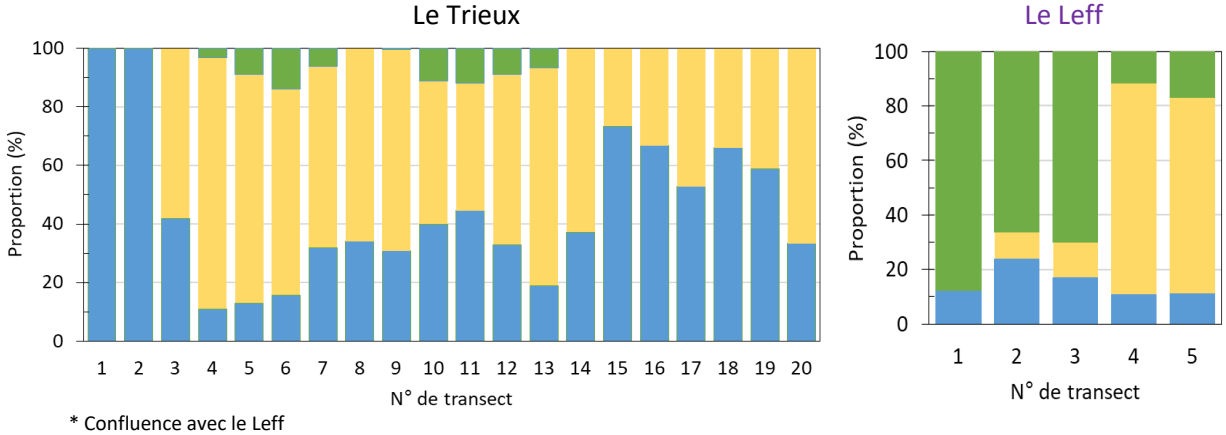


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



* Confluence avec le Leff



* Confluence avec le Leff

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Le Trieux	0,63 [-5,58 ; 7,86]	-1,15 [-9,31 ; 6,59]	0,81 [-9,2 ; 9,39]
Le Leff	2,38 [-4,86 ; 7,13]	0,59 [-5,44 ; 7,44]	-2,96 [-7,13 ; 0,56]

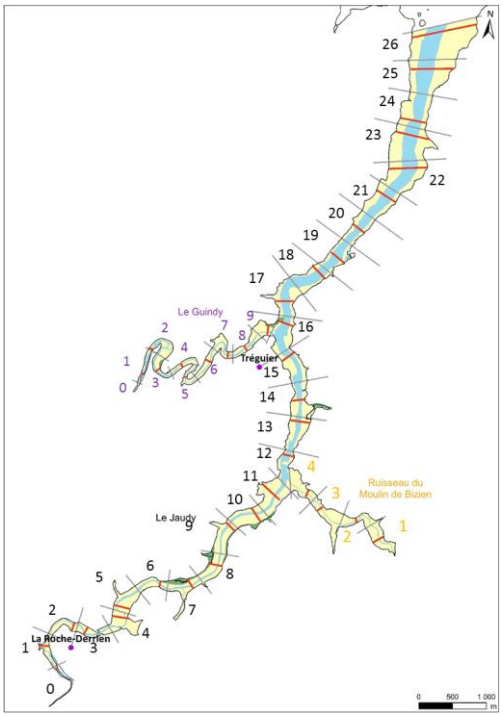
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0,95	18,43	80,62	19,38	X	4	12	0	2

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

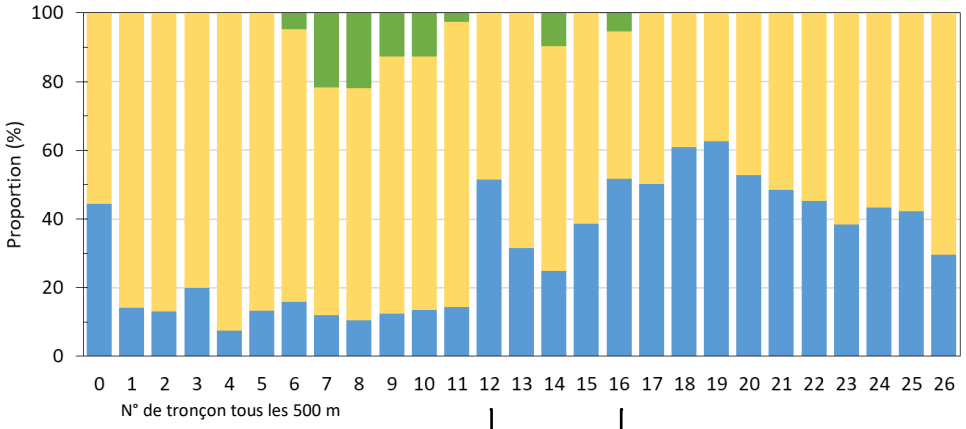
Le Jaudy (FRGT04)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

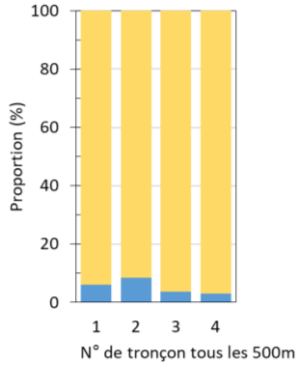


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

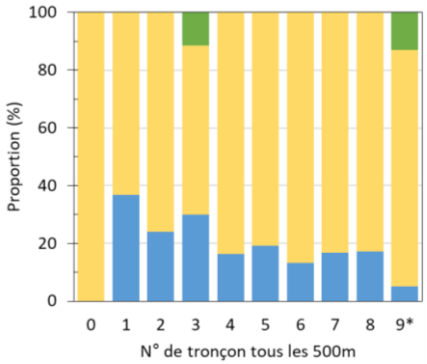
Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



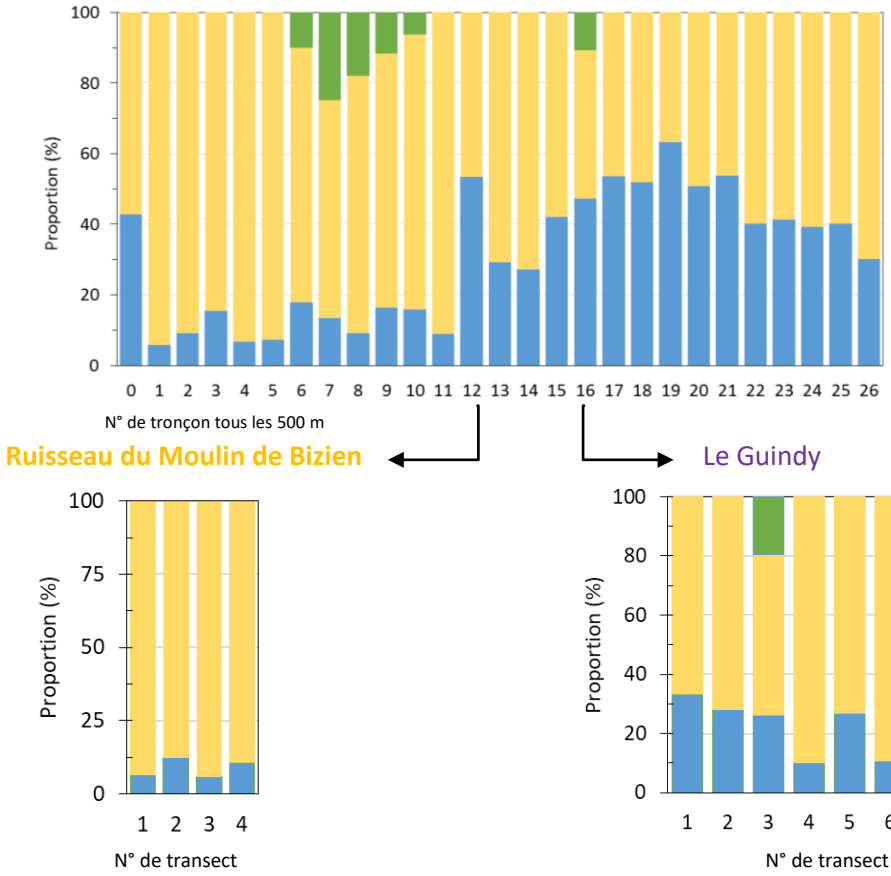
Ruisseau du Moulin de Bizien



Le Guindy



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Le Jaudy	-1,31 [-9,71 ; 5,42]	1,52 [-7,03 ; 9]	-1,13 [-9 ; 5,38]
Ruisseau du Moulin de Bizien	-	-3,47 [-7,4 ; -0,36]	3,47 [0,36 ; 7,4]
Le Guindy	5,24 [2,46 ; 8,02]	-0,77 [-7,67 ; 6,23]	-0,4 [-6,23 ; 7,67]

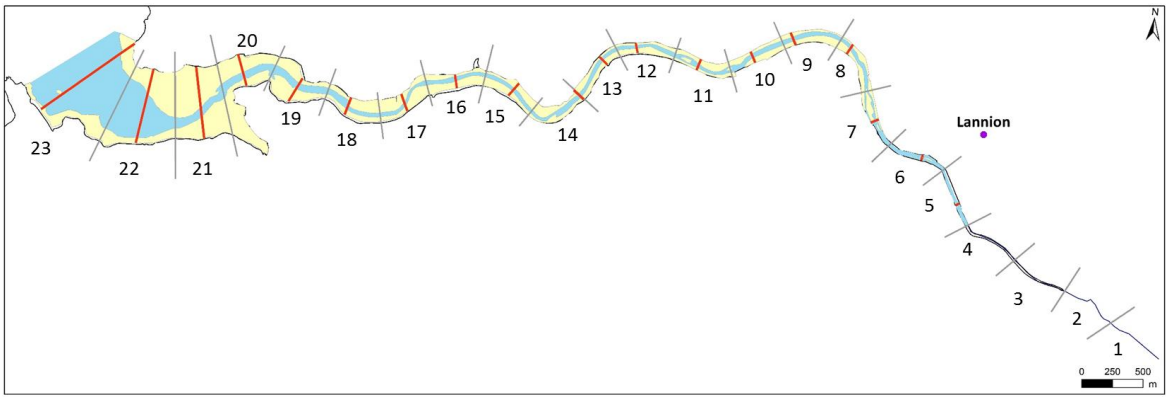
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
8,42	17,64	73,94	26,06		0	12	0	4

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

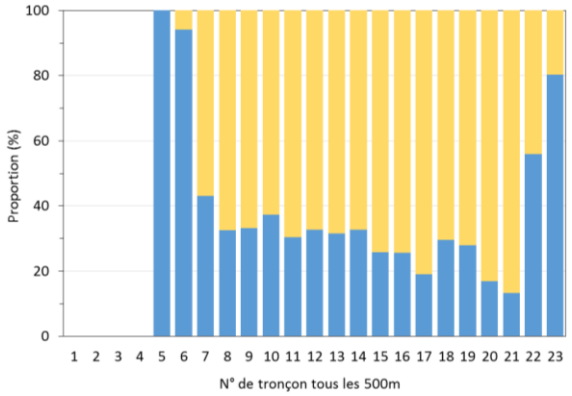
Le Léguer (FRGT05)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

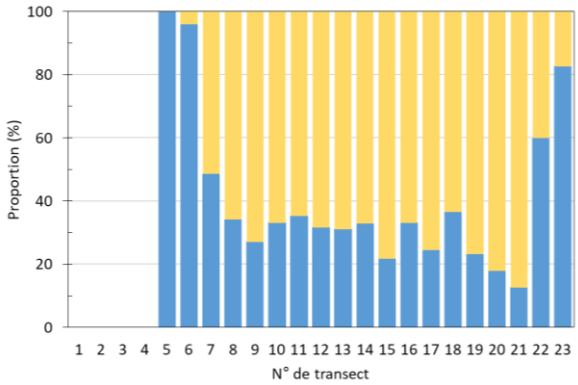


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-	-1,01 [-7,44 ; 6,19]	1,01 [-6,19 ; 7,44]

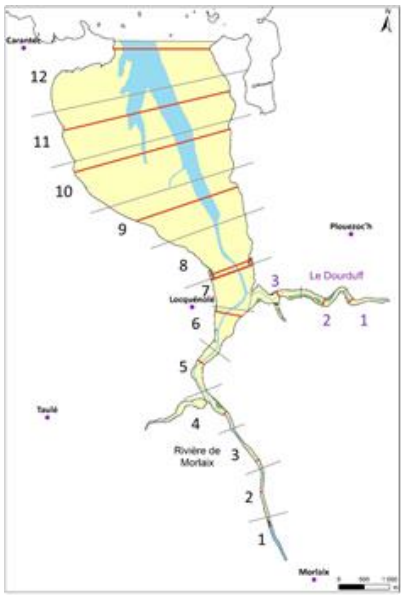
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	21,86	78,14	21,86		0	4	0	0

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

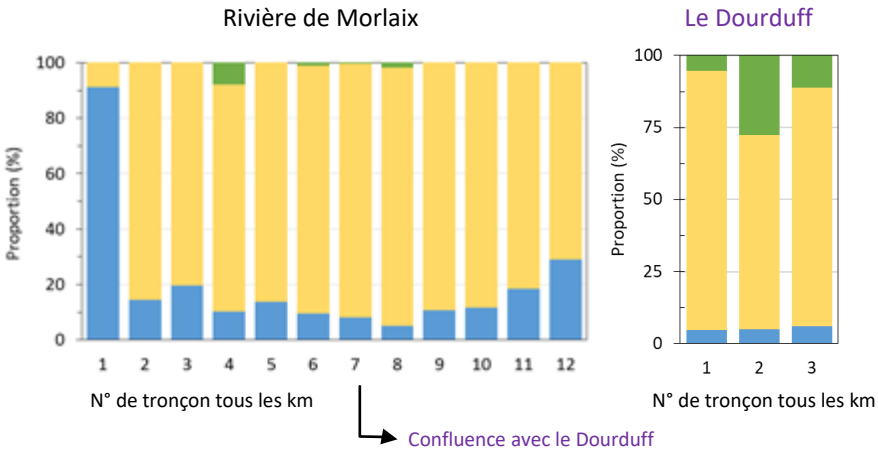
Rivière de Morlaix (FRGT06)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

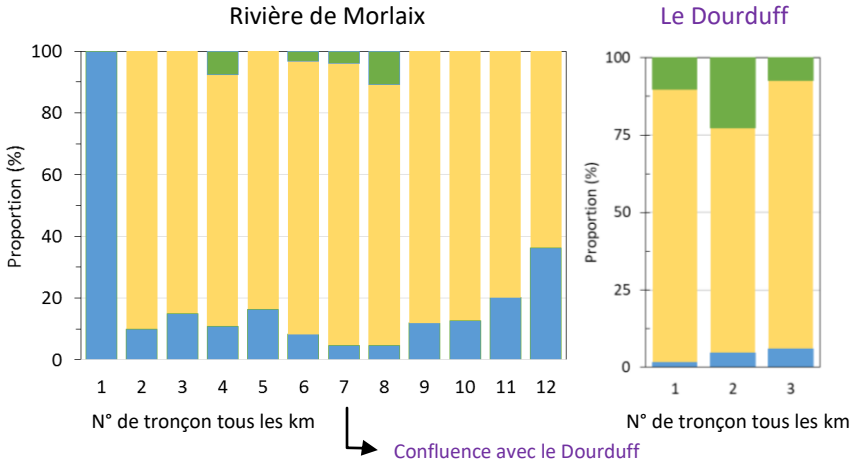


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), IUEFM (2008), IFREMER (2008), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Rivière de Morlaix	3,62 [-0,42 ; 9,05]	-2,04 [-8,92 ; 4,5]	0,84 [-4,5 ; 8,92]
Le Dourduff	-1,31 [-5,02 ; 5,06]	2,47 [-1,89 ; 5,27]	-1,16 [-3,17 ; -0,05]

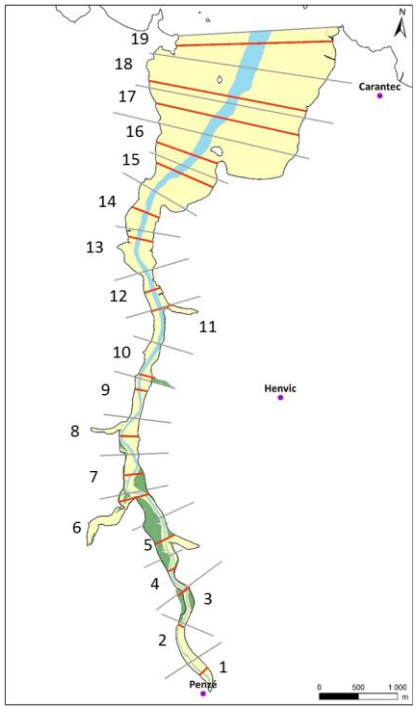
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
1,90	52,12	45,98	54,02		1	27	0	3

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

La Penzé (FRGT07)

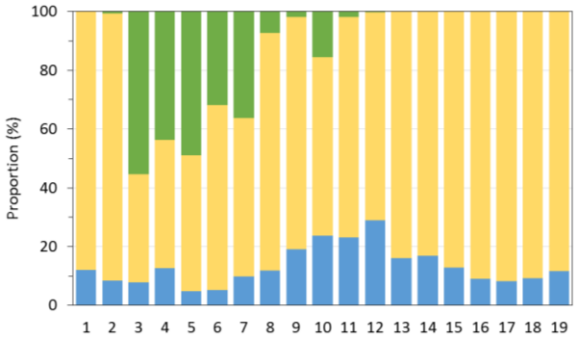
Proportions des habitats intertidaux et subtidaux de l'amont vers l'aval



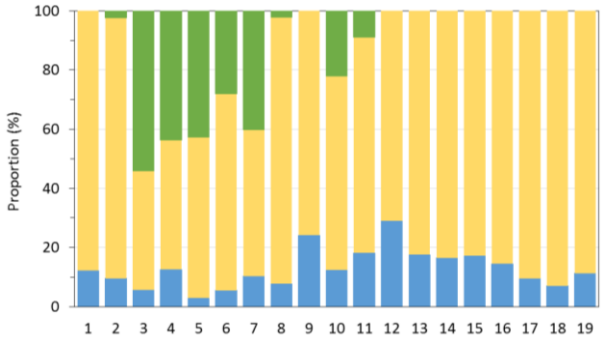
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	0,01 [-6,26 ; 7,08]	0,36 [-5,58 ; 9,39]	-0,37 [-11,31 ; 5,58]

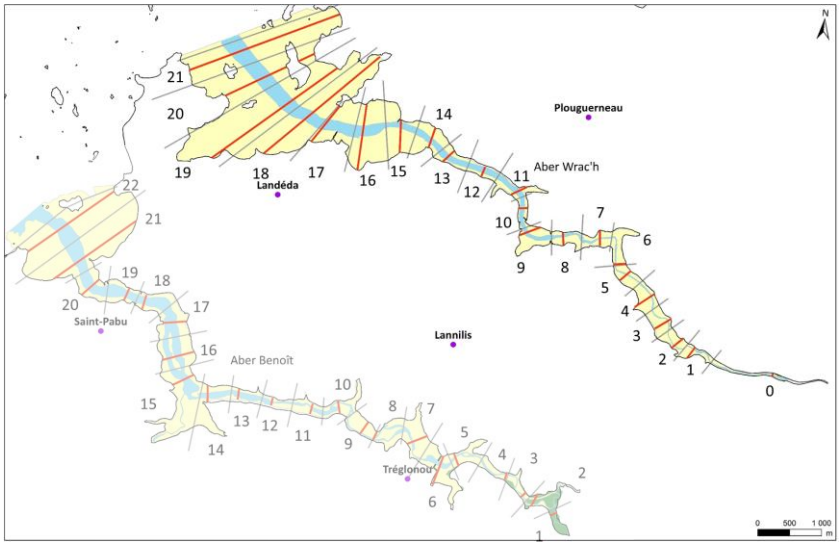
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
10,63	25,58	63,79	36,21	X	0	24	0	3

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

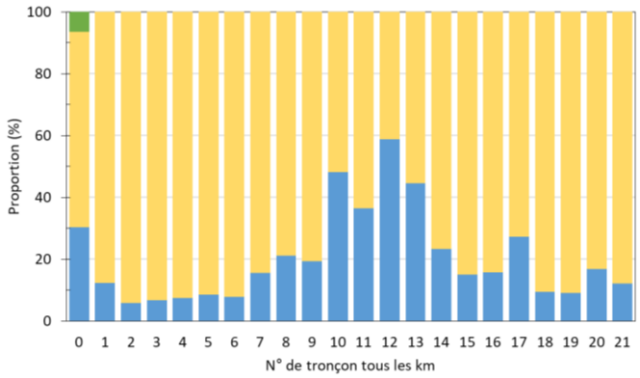
L'Aber Wrac'h (FRGT08)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

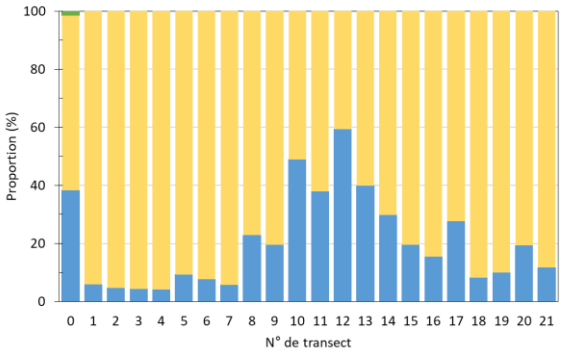


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), IFREMER (2008), données Natura 2000 (2008), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-5,06 [-5,06 ; -5,06]	0,22 [-6,58 ; 9,74]	0,01 [-9,74 ; 8,02]

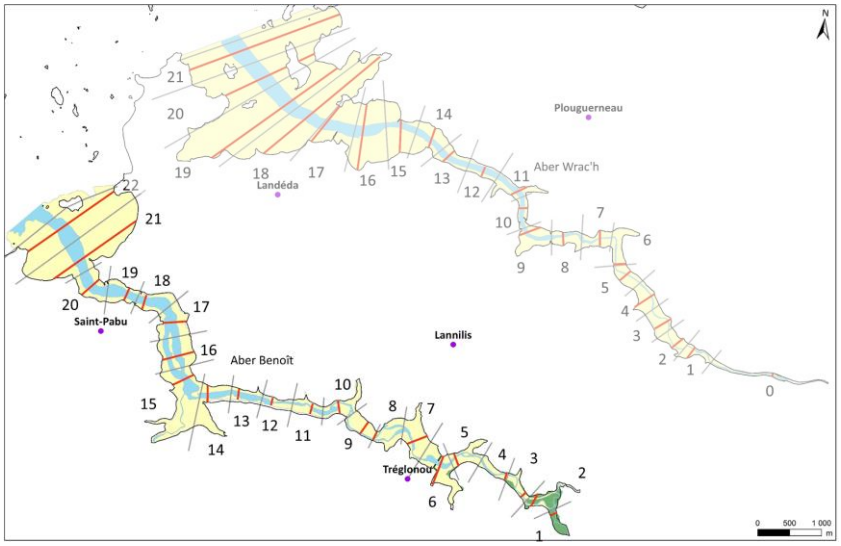
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0,70	33	66,32	33,68	X	0	19	0	2

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

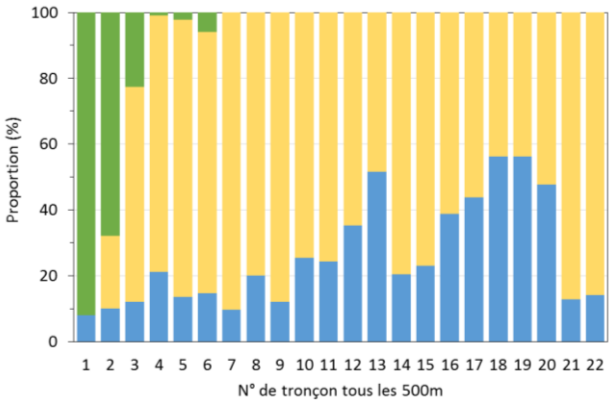
L'Aber Benoit (FRGT09)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

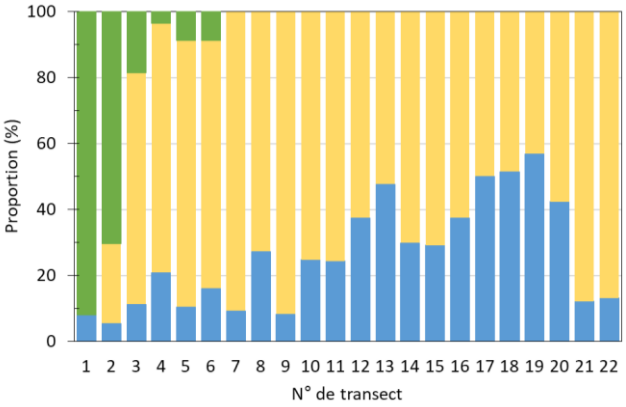


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), IFREMER (2008), données Natura 2000 (2008), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	1,74 [-4,11 ; 6,65]	-0,59 [-9,53 ; 5,27]	0,11 [-5,27 ; 9,53]

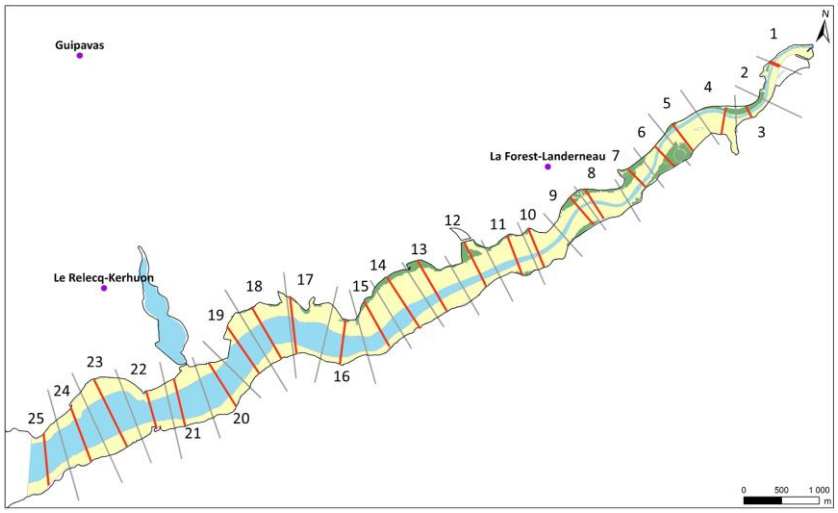
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
1,85	21,01	77,14	22,86	X	0	18	0	4

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

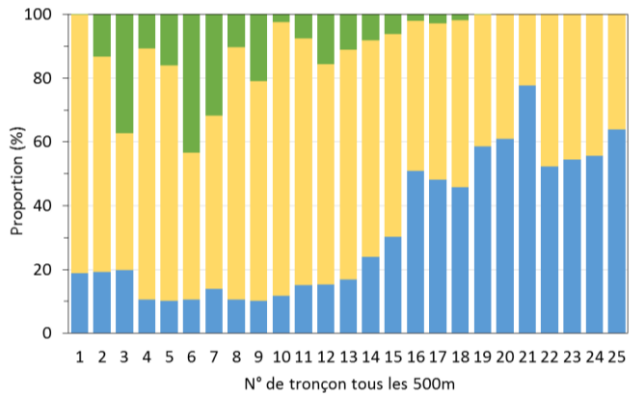
L'Elorn (FRGT10)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

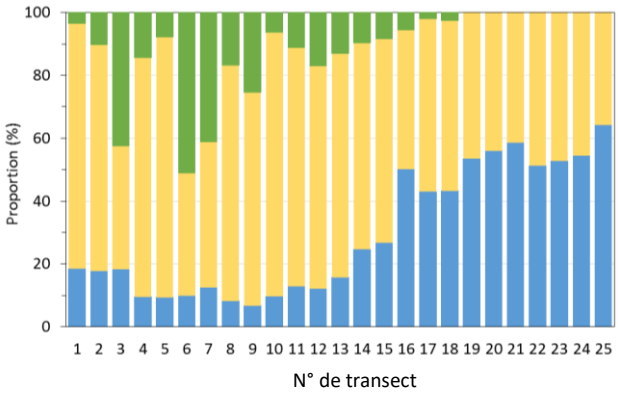


Sources des données : SHOM/IGN (2009), IUEFM (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	2,49 [-8,27 ; 9,28]	0,76 [-7,79 ; 19,09]	-2,65 [-19,09 ; 0,7]

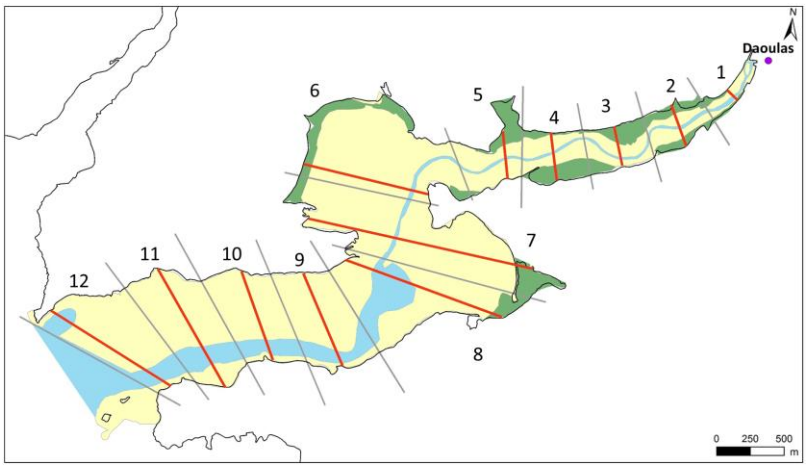
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
6,40	38,23	55,36	44,64	X	1	15	0	3

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

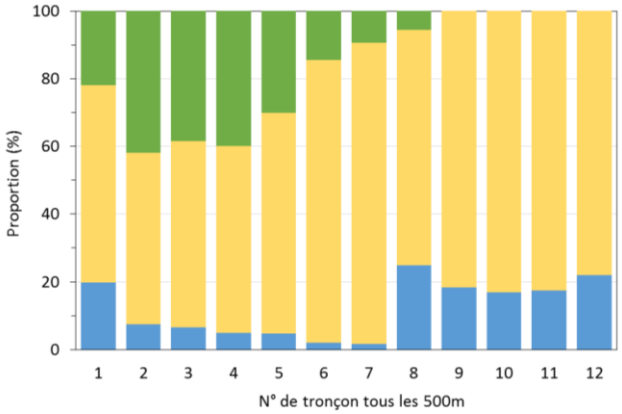
Rivière de Daoulas (FRGT11)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

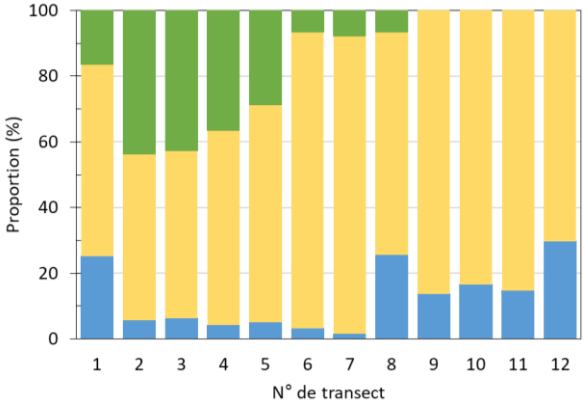


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-1,61 [-7,92 ; 4,23]	0,71 [-7,65 ; 6,76]	0,36 [-4,67 ; 7,65]

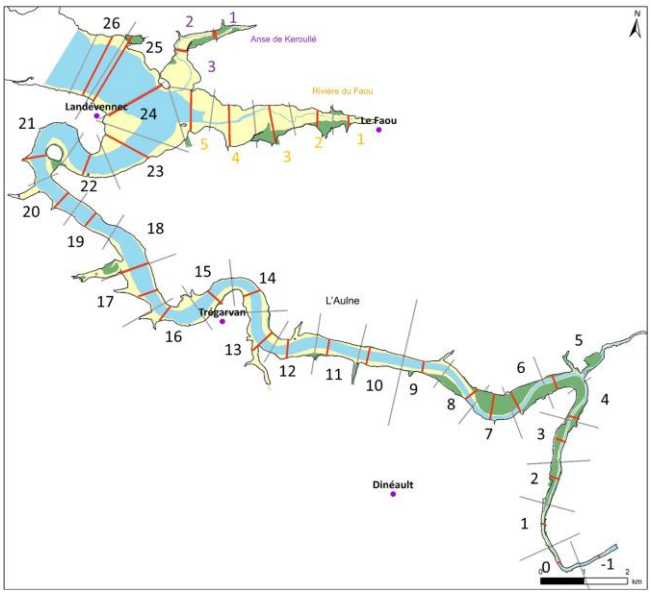
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
6,44	12,15	81,42	18,58	X	0	2	0	1

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

L'Aulne (FRGT12)

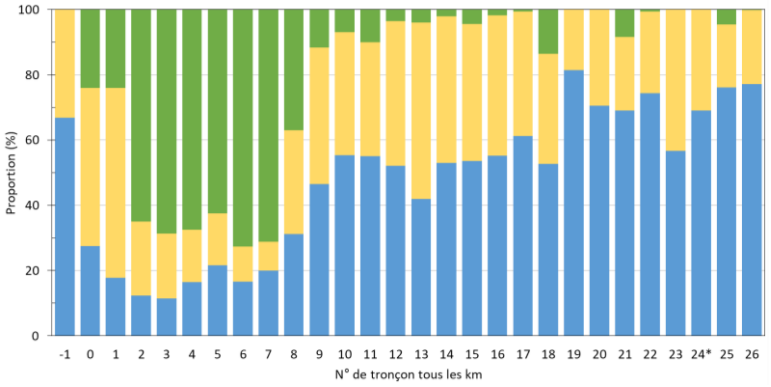
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



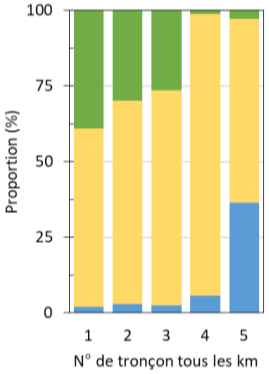
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)

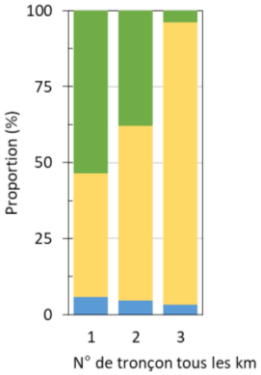
L'Aulne



Rivière du Faou



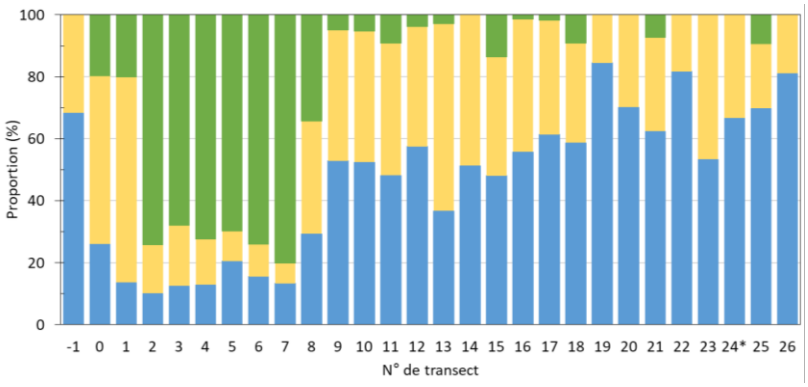
Anse de Keroullé



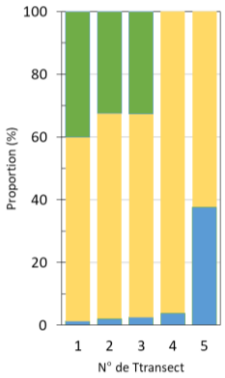
* Confluence avec la rivière du Faou et l'anse de Keroullé

Proportions des largeurs d'habitats (transects)

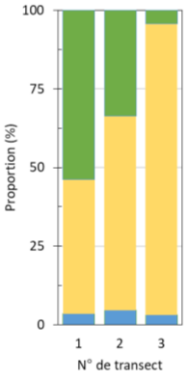
L'Aulne



Rivière du Faou



Anse de Keroullé



* Confluence avec la rivière du Faou et l'anse de Keroullé

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
L'Aulne	0,71 [-6,67 ; 9,29]	0,42 [-6,98 ; 8,27]	-1,01 [-6,97 ; 7,41]
Rivière du Faou	1,13 [-2,86 ; 6,16]	-0,67 [-6,21 ; 3,1]	-0,46 [-1,83 ; 1,13]
Anse de Keroullé	-1,21 [-4,24 ; 0,39]	1,94 [-0,36 ; 4,26]	-0,73 [-2,16 ; -0,01]

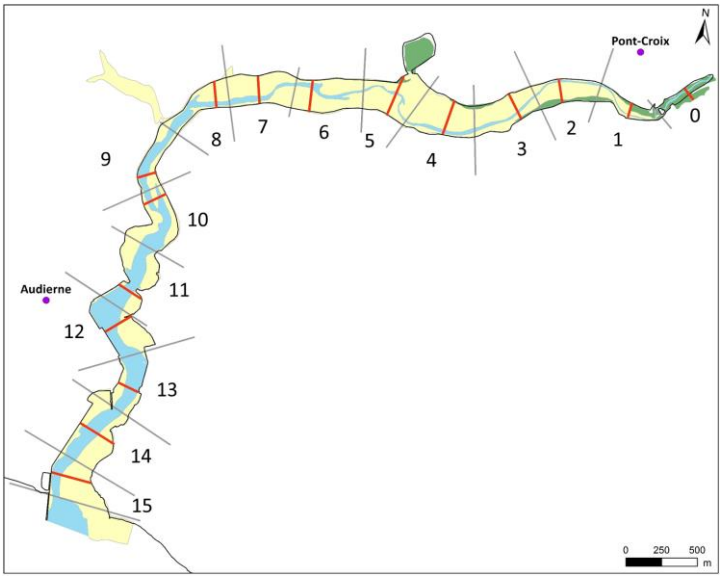
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
2,21	10,07	87,72	12,28	X	1	15	0	5

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

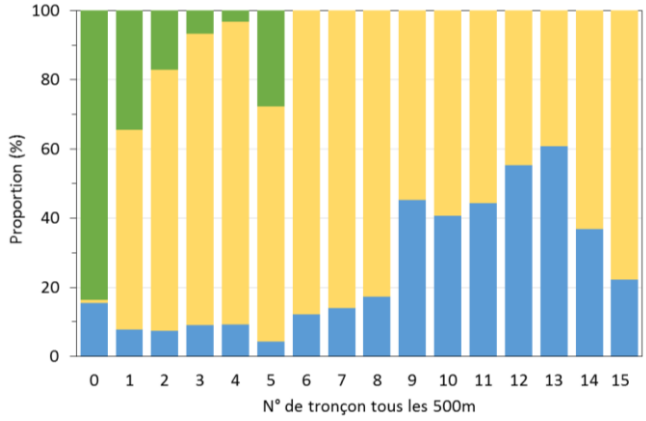
Le Goyen (FRGT13)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

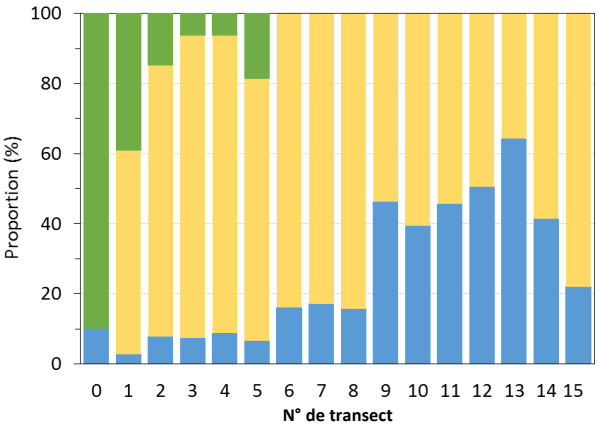


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	0,27 [-9,21 ; 6,13]	-0,1 [-4,58 ; 6,99]	0 [-5,27 ; 4,58]

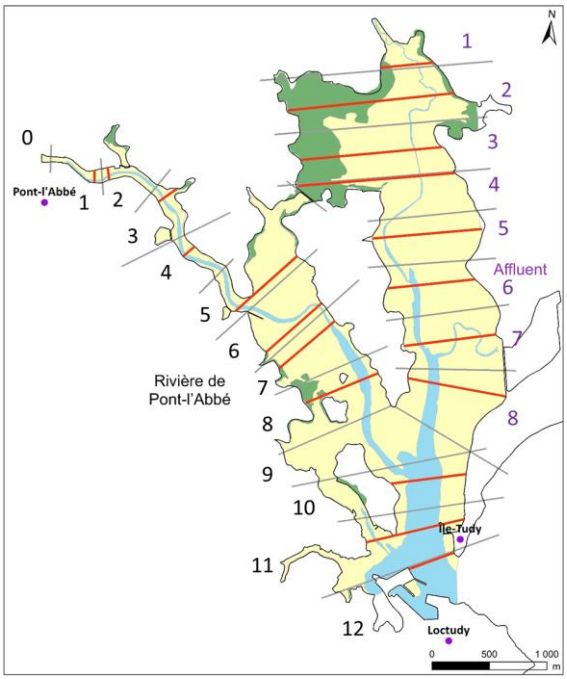
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
7,25	32,70	60,06	39,94		0	7	0	3

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Rivière de Pont-l'Abbé (FRGT14)

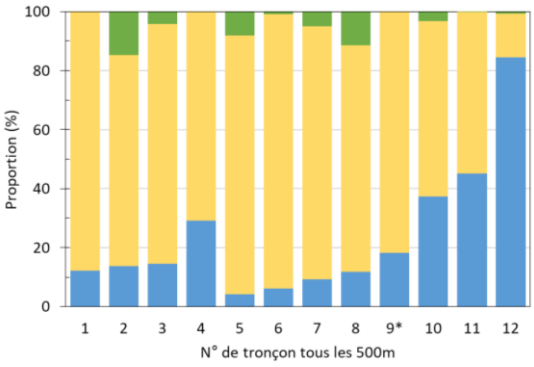
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



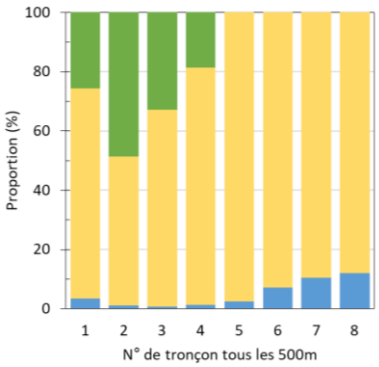
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)

Rivière de Pont-l'Abbé



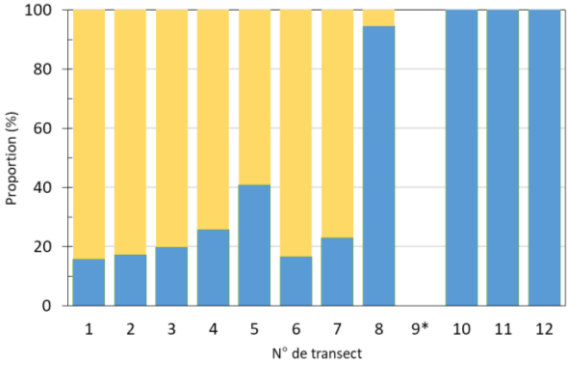
Affluent



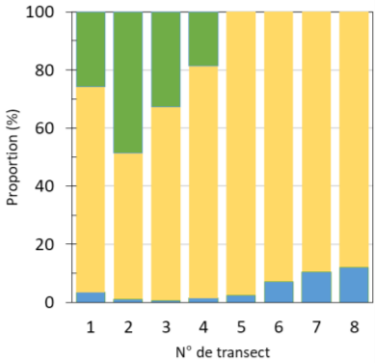
* Confluence

Proportions des largeurs d'habitats (transects)

Rivière de Pont-l'Abbé



Affluent



* Transect non pertinent au niveau de la confluence

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Rivière de Pont-l'Abbé	-1,99 [-14,69 ; 6,88]	3,22 [-9,02 ; 13,03]	-1,59 [-8,97 ; 6,69]
Affluent	1,41 [-5,33 ; 7,93]	0,01 [-7,39 ; 5,13]	-0,72 [-2,16 ; 0,48]

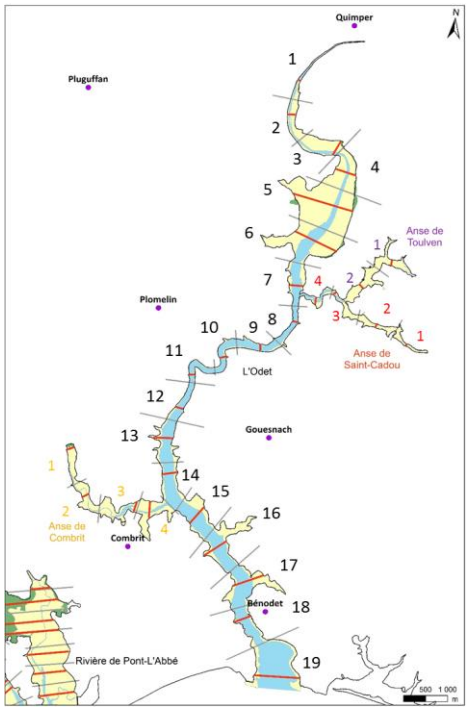
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
2,20	41,95	55,85	44,15		2	24	0	3

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

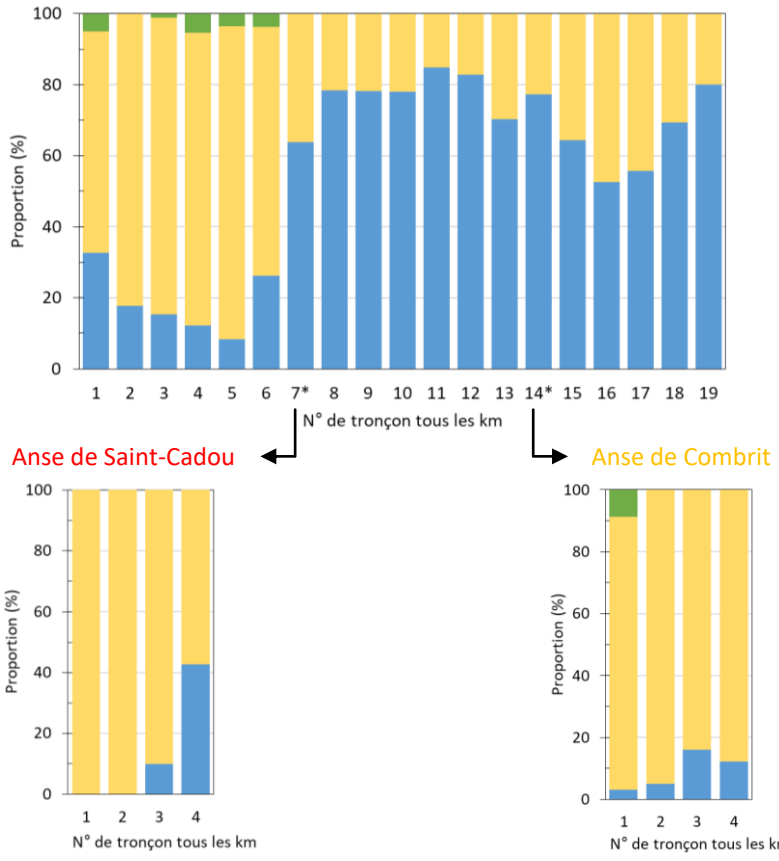
L'Odet (FRGT15)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



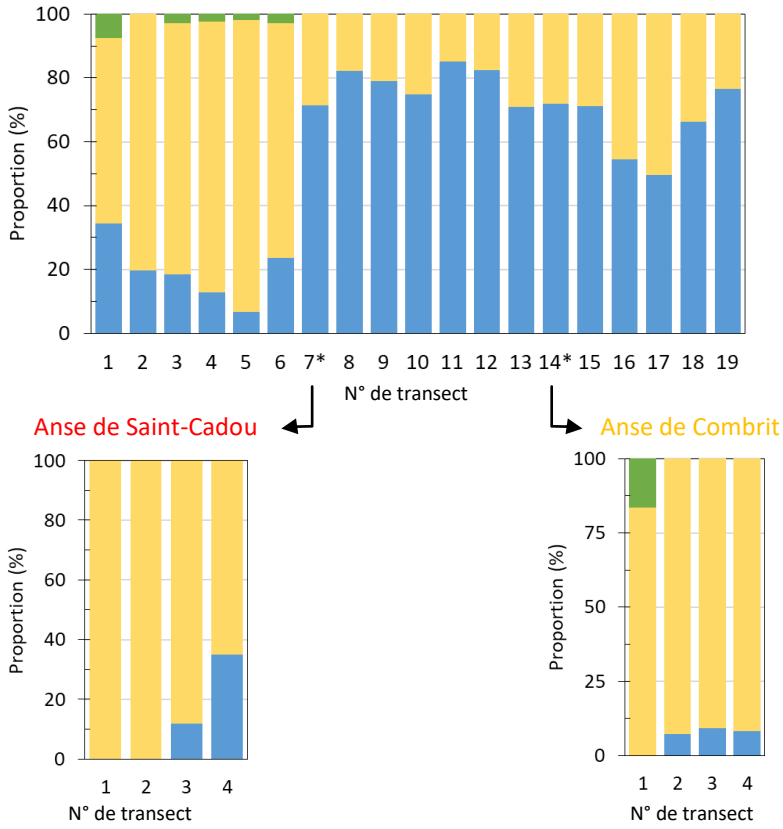
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



L'Anse de Toulven est composée uniquement de zone intertidale inférieure (zone subtidale non digitalisée).

Proportions des largeurs d'habitats (transects)



L'Anse de Toulven est composée uniquement de zone intertidale inférieure (zone subtidale non digitalisée).

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
L'Odet	-0,21 [-2,89 ; 2,56]	-0,12 [-7,5 ; 6,15]	0,17 [-6,15 ; 7,5]
Anse de Saint-Cadou	-	1,48 [-1,87 ; 7,79]	-1,48 [-7,79 ; 1,87]
Anse de Combrit	7,77 [7,77 ; 7,77]	1,05 [-4,55 ; 6,82]	-3 [-6,82 ; 2,21]

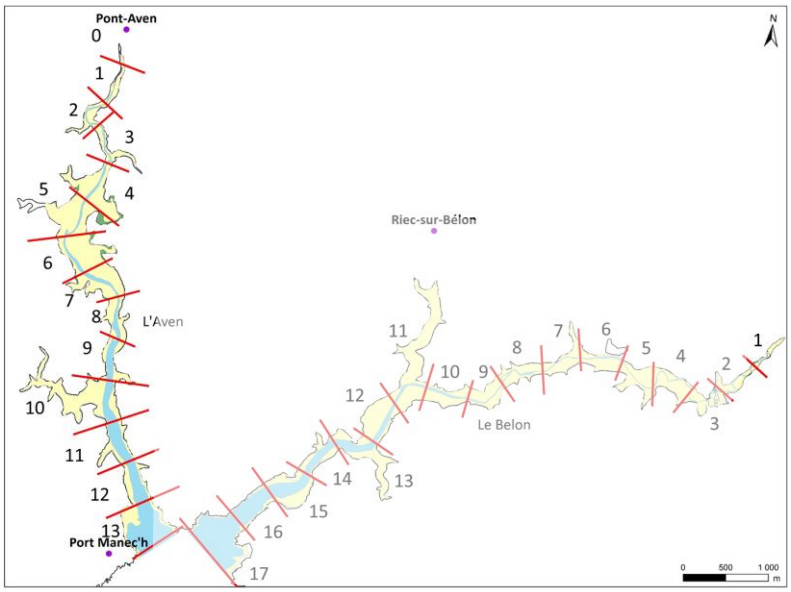
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
2,28	17,51	80,22	19,78		0	18	0	3

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

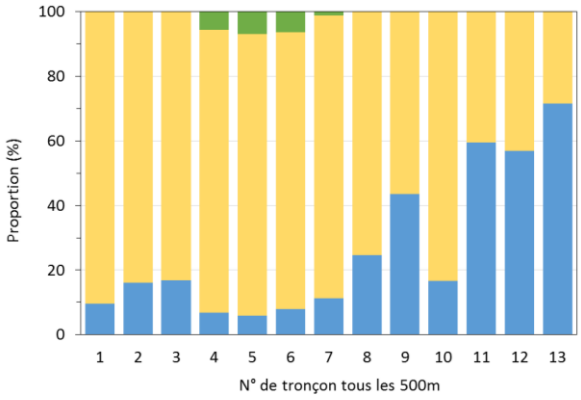
L'Aven (FRGT16)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

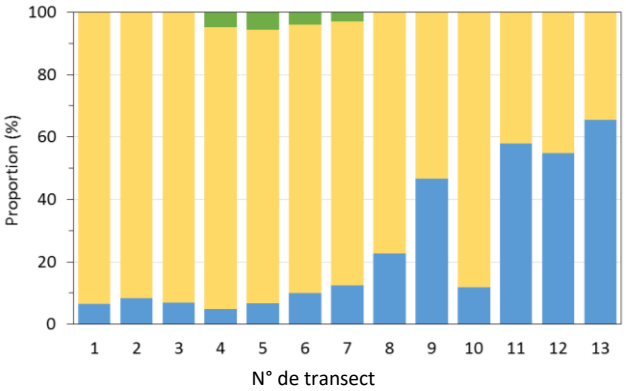


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-0,65 [-2,4 ; 1,86]	2,67 [-3,08 ; 9,96]	-2,47 [-9,96 ; 3,08]

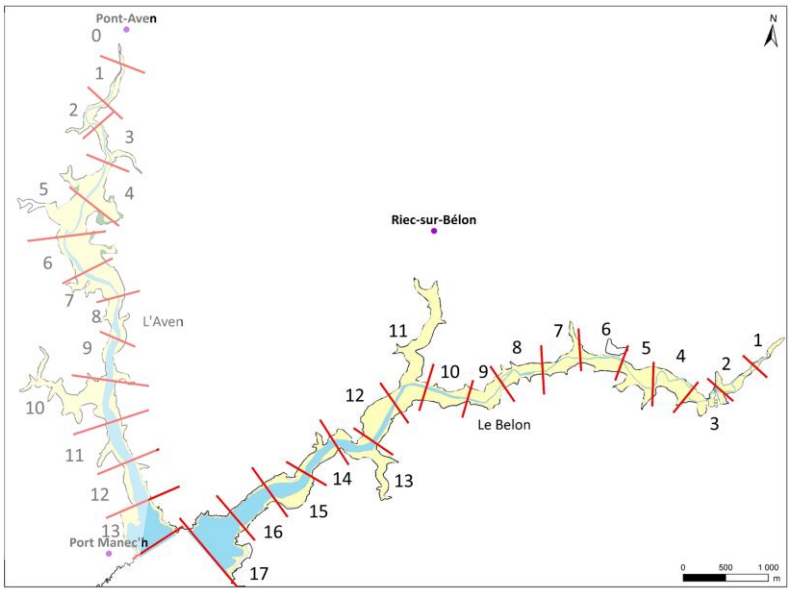
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0,14	12,29	87,57	12,43		0	13	0	1

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

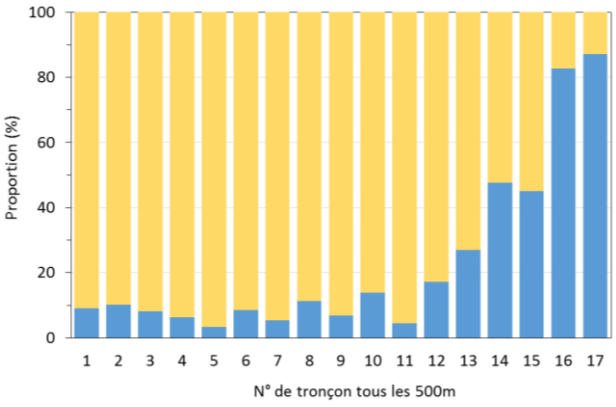
Le Belon (FRGT17)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

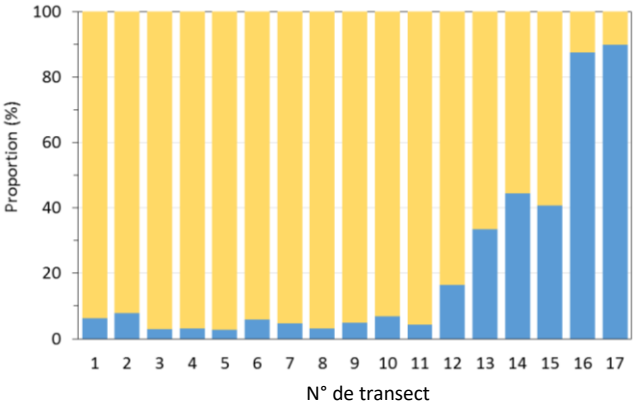


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-	1,73 [-6,58 ; 8,12]	-1,73 [-8,12 ; 6,58]

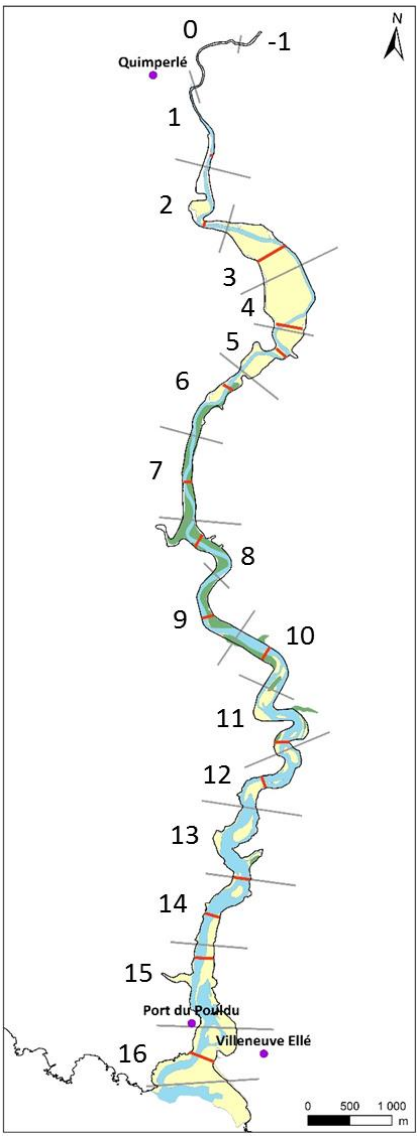
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
1,35	10,67	87,98	12,02		0	10	0	1

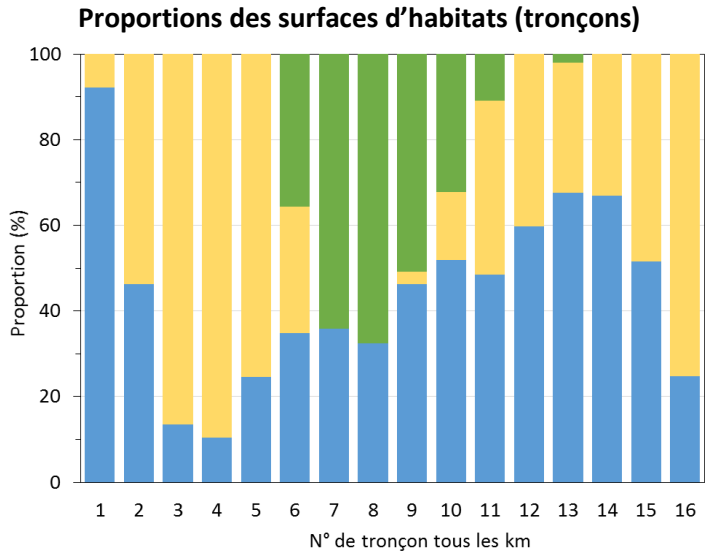
Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

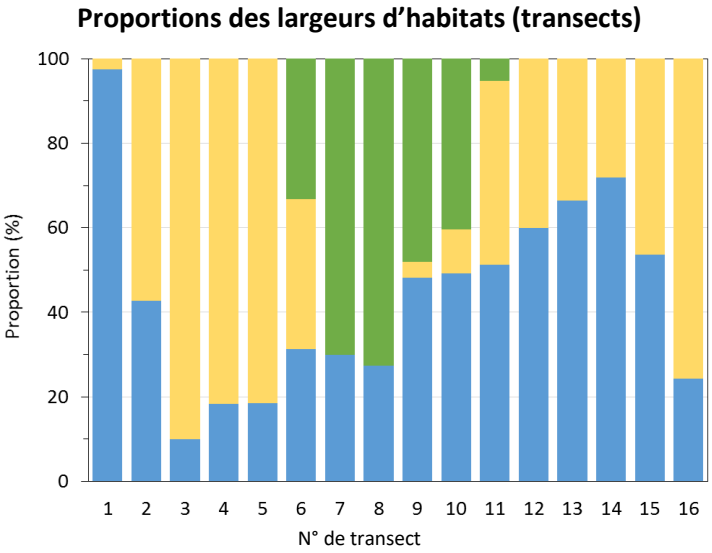
La Laïta (FRGT18)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



Sources de la carte : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)





	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	0,9 [-5,7 ; 8,1]	0,03 [-7,84 ; 6,08]	-0,43 [-6,08 ; 7,84]

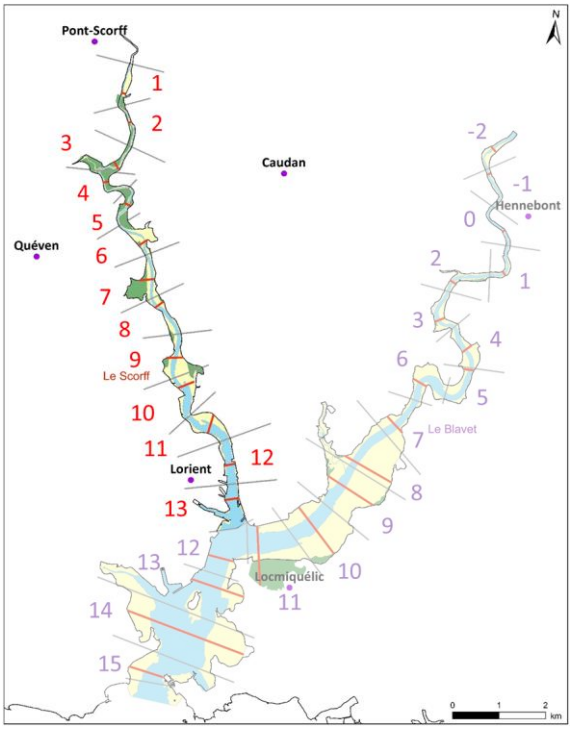
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	7,88	92,12	7,88		0	7	0	3

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

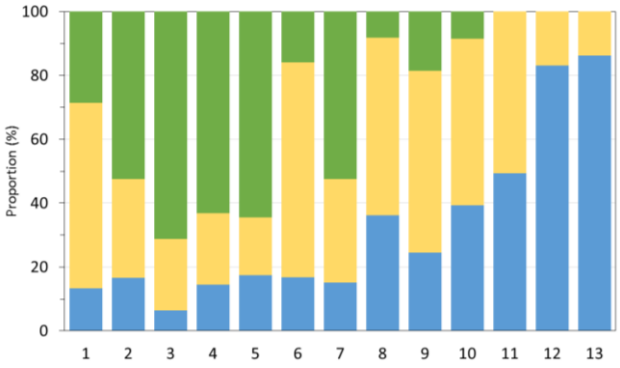
Le Scorff (FRGT19)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

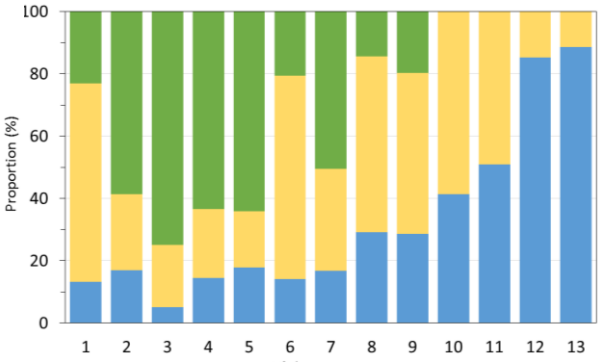


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	0,59 [-8,57 ; 6,27]	-0,73 [-6,49 ; 6,45]	0,28 [-7,12 ; 4,09]

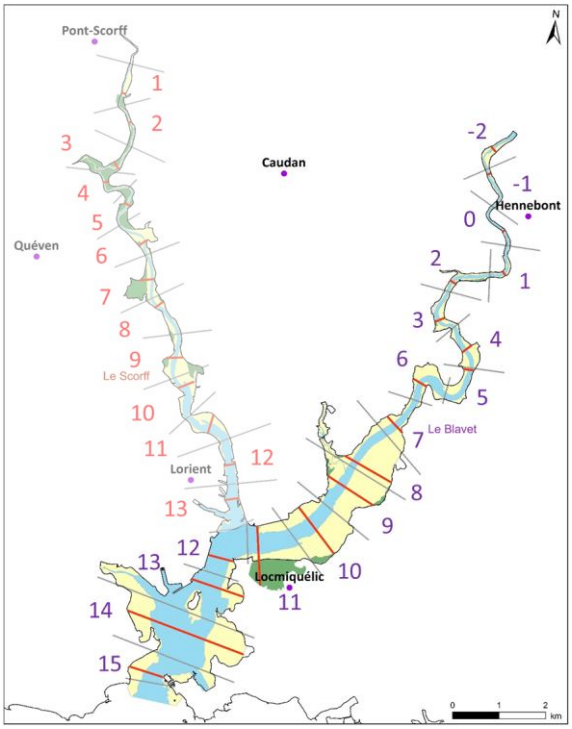
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	36,57	63,43	36,57		0	3	0	5

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

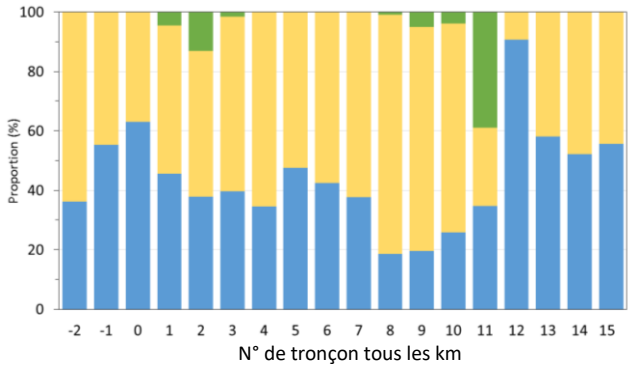
Le Blavet (FRGT20)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

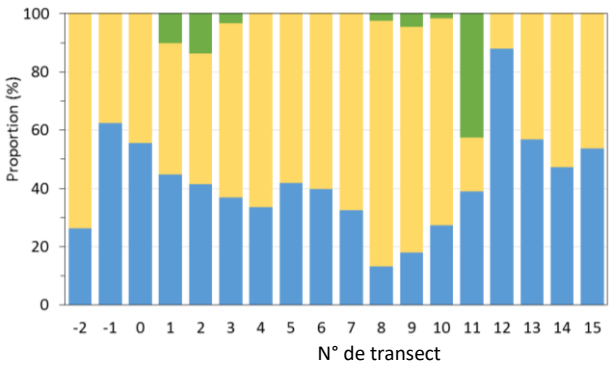


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	1,53 [-2,25 ; 5,55]	1,45 [-7,82 ; 9,95]	-2,05 [-9,95 ; 7,15]

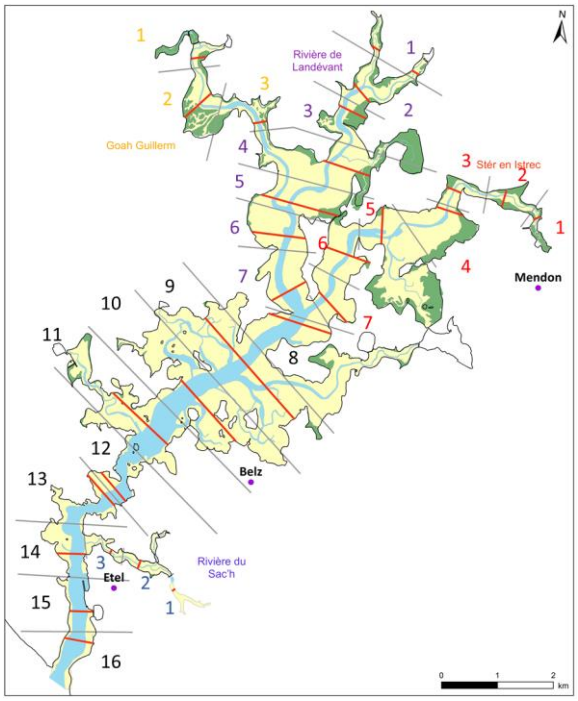
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
3,30	44,77	51,93	48,07		0	13	0	5

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

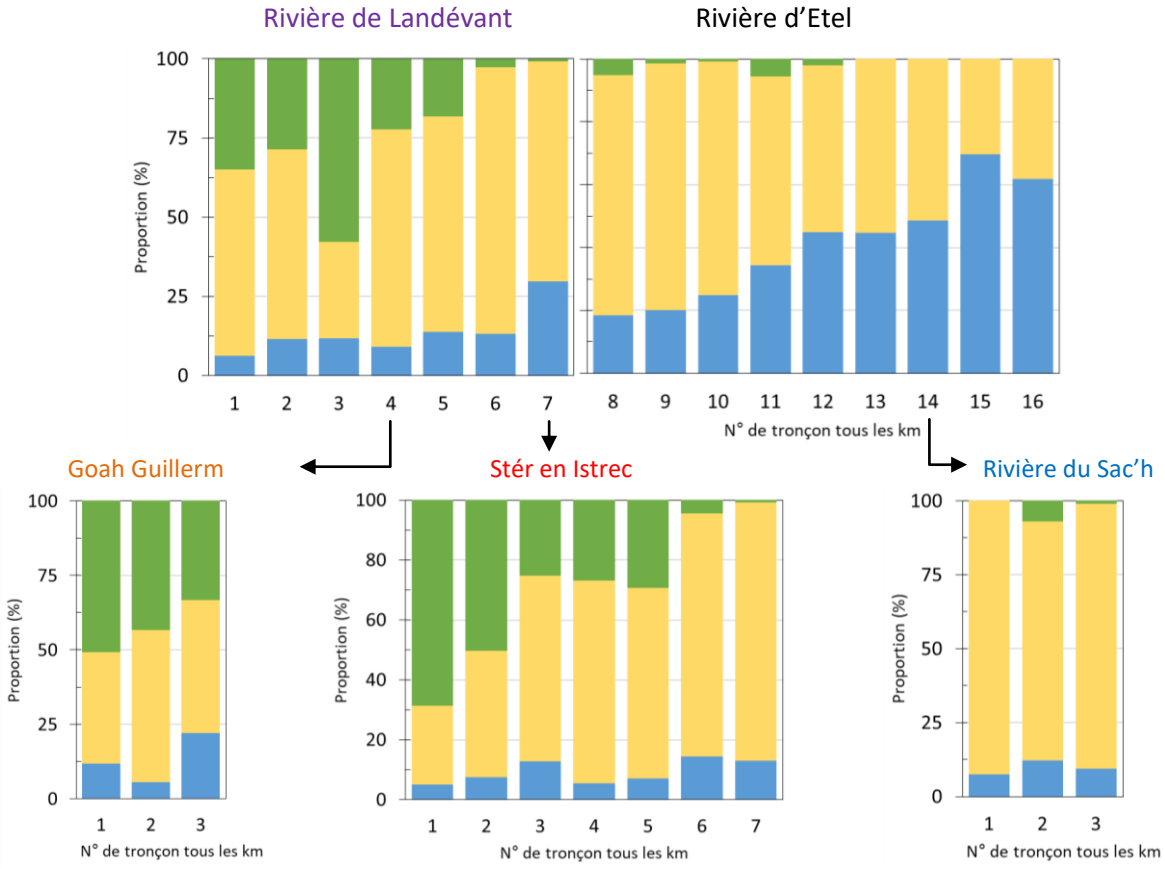
Rivière d'Etel (FRGT21)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

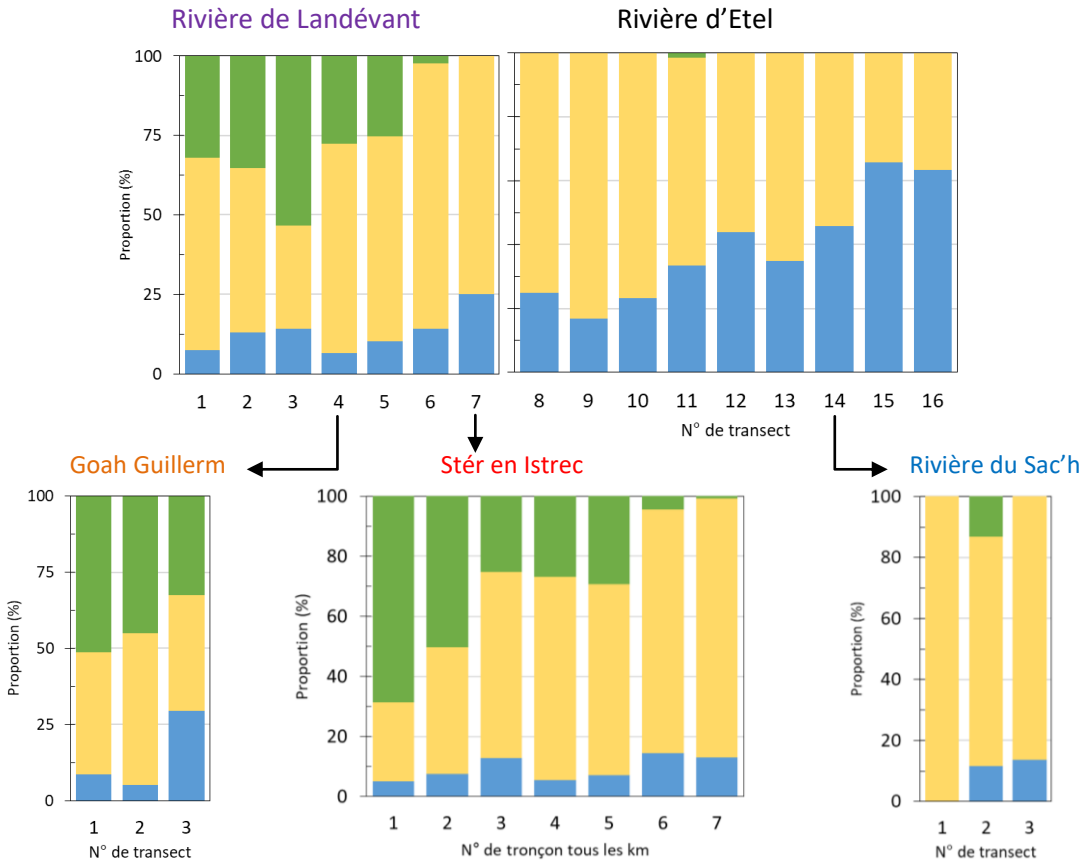


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Rivière de Landévant	1,6 [-4,44 ; 7,21]	-0,94 [-8,36 ; 5,52]	-0,65 [-4,79 ; 2,59]
Rivière d'Etel	-2,71 [-5,24 ; -0,72]	3,2 [-1,54 ; 9,63]	-1,69 [-9,63 ; 6,44]
Goah Guillerm	0,39 [-0,65 ; 1,52]	-1,79 [-6,94 ; 2,8]	1,4 [-3,11 ; 7,59]
Stér en Istrec	-1,08 [-8,13 ; 3,84]	0,56 [-1,63 ; 3,02]	0,52 [-6,59 ; 9,75]
Rivière du Sac'h	2,52 [-1,02 ; 6,07]	-0,35 [-5,45 ; 7,58]	-1,34 [-7,58 ; 4,19]

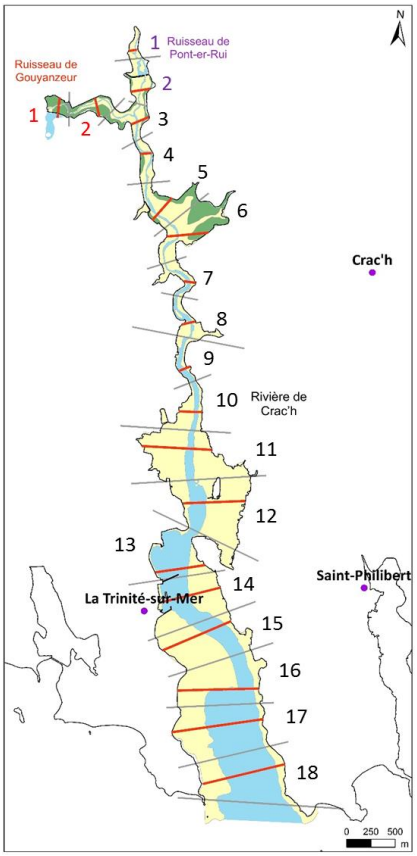
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
5,08	33,56	61,35	38,65		6	13	0	6

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

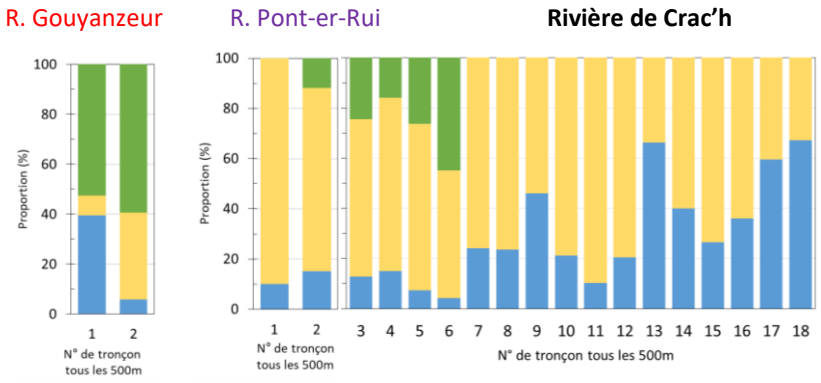
Rivière de Crac'h (FRGT22)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

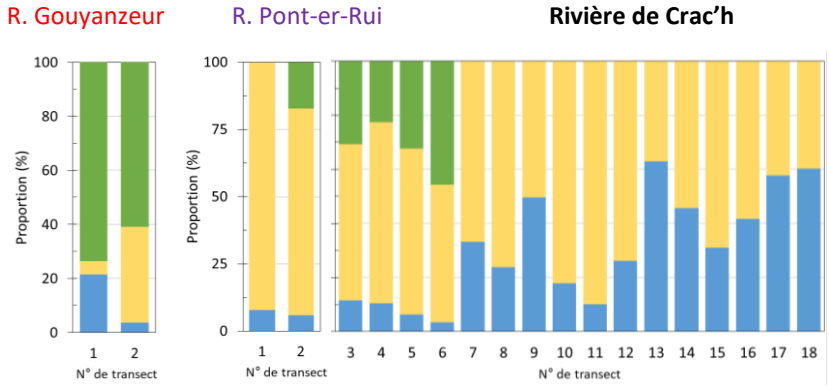


Sources de la carte : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Ruisseau de Gouyanzeur	11,42 [1,67 ; 21,16]	-1,31 [-3,14 ; 0,53]	-10,11 [-18,02 ; -2,2]
Ruisseau de Pont-er-Rui	5,23 [5,23 ; 5,23]	3,13 [2,19 ; 4,06]	-5,74 [-9,29 ; -2,19]
Rivière de Crac'h	4,89 [0,88 ; 6,64]	-1,91 [-9,11 ; 7]	0,69 [-7 ; 9,11]

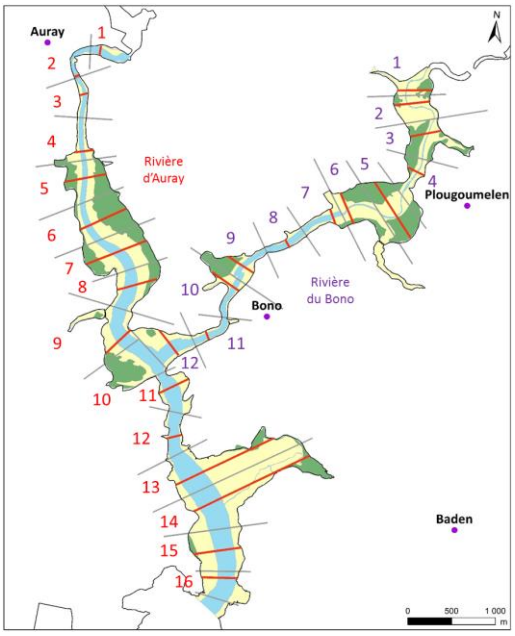
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
3,63	64,96	31,41	68,59	X	2	13	0	1

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

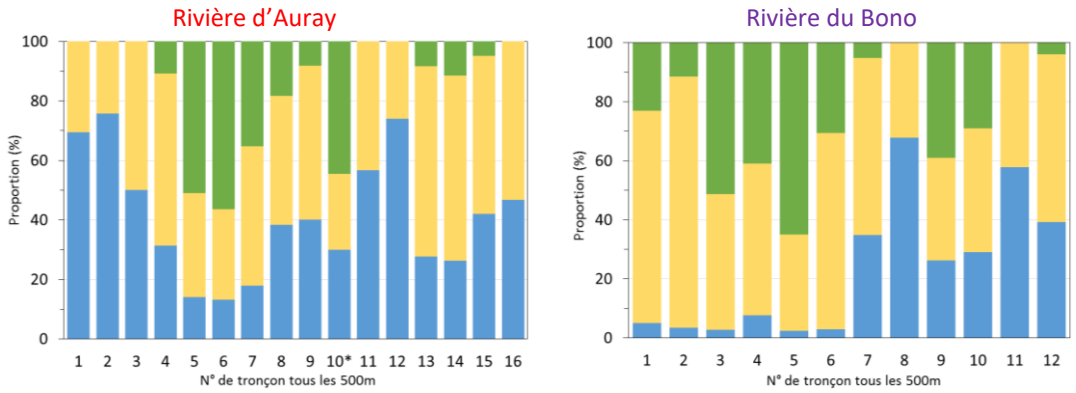
Rivière d'Auray (FRGT23)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



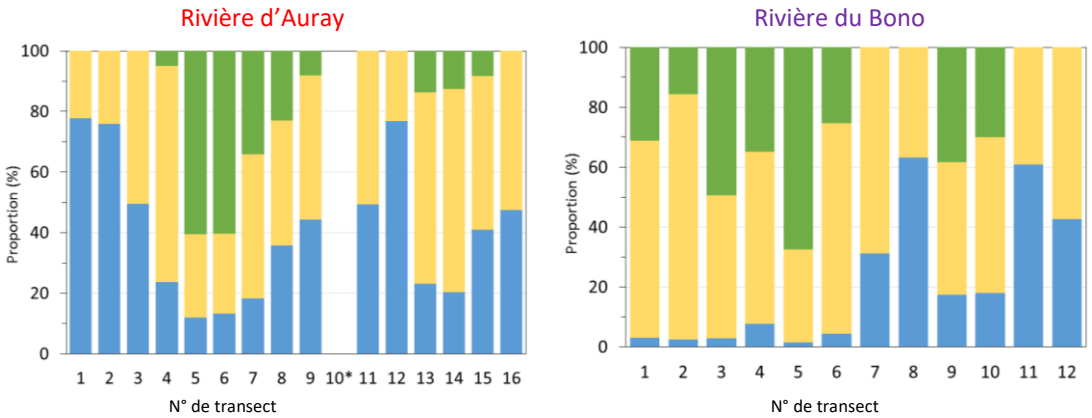
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



* Confluence avec la rivière du Bono : valeur donnée à titre indicatif (tronçon partiel)

Proportions des largeurs d'habitats (transects)



* Confluence avec la rivière du Bono : transect caractéristique non pertinent

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Rivière d'Auray	2,33 [-5,8 ; 9,55]	-0,42 [-8,24 ; 13,44]	-0,97 [-7,63 ; 8,24]
Rivière du Bono	-0,72 [-6,05 ; 8,09]	2,62 [-6,09 ; 10,08]	-2,02 [-11,14 ; 3,31]

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

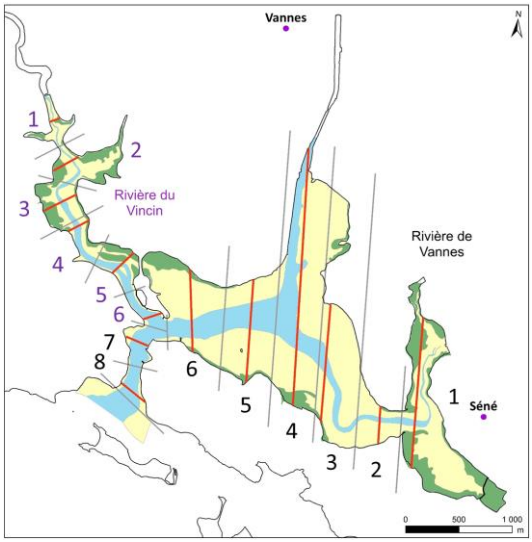
Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
3,18	29,19	67,62	32,38		3	8	0	4

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Rivière de Vannes (FRGT24)

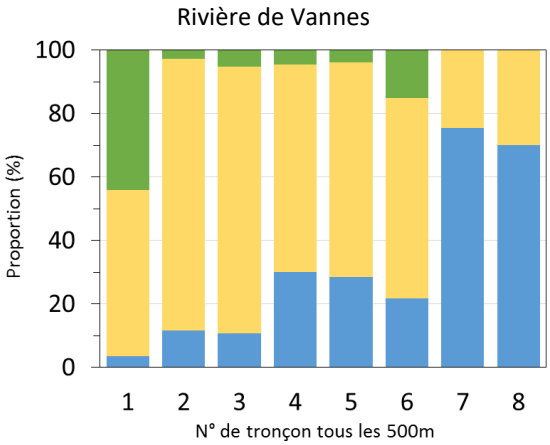
[résultats donnés à titre indicatif - sectorisation à revoir]

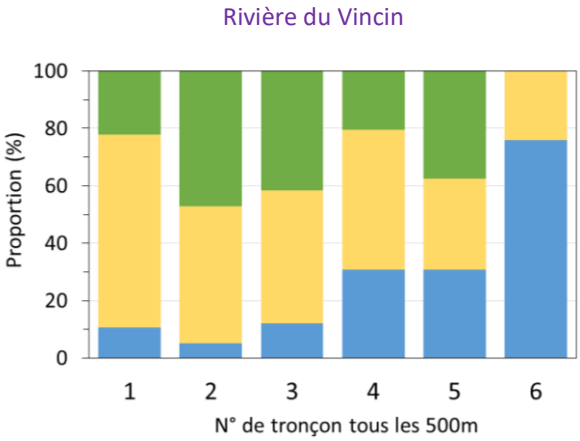
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



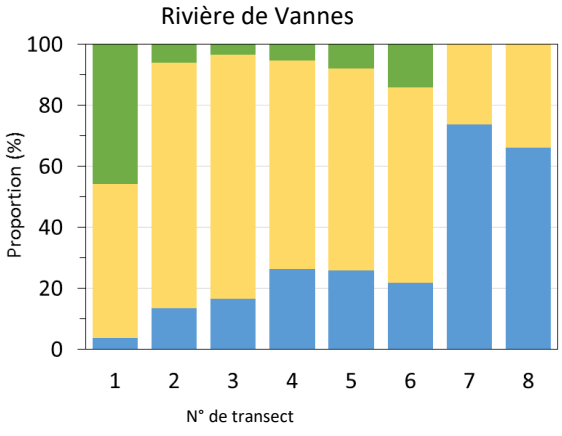
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

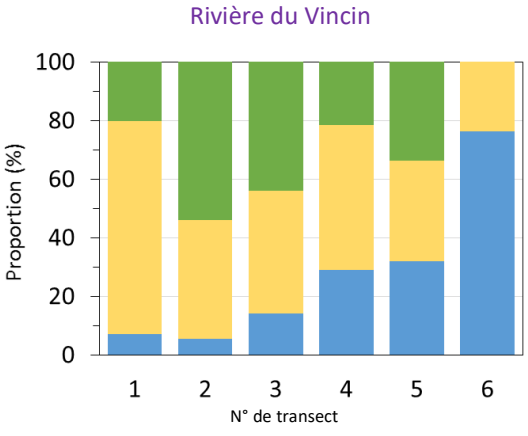
Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)





Proportions des largeurs d'habitats (transects)





	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Rivière de Vannes	1,13 [-1,86 ; 3,93]	-0,33 [-5,01 ; 4,09]	-0,52 [-4,09 ; 5,74]
Rivière du Vincin	0,92 [-3,81 ; 7,02]	-0,48 [-7,27 ; 5,56]	-0,29 [-3,62 ; 2]

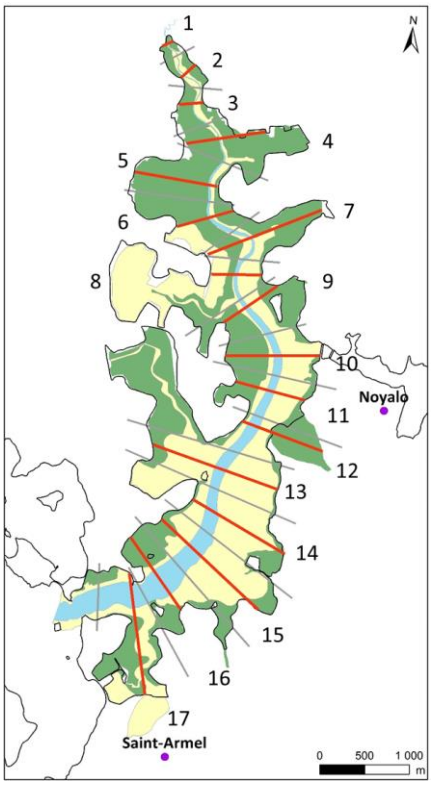
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
4,39	27,18	68,44	31,56		0	8	0	1

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

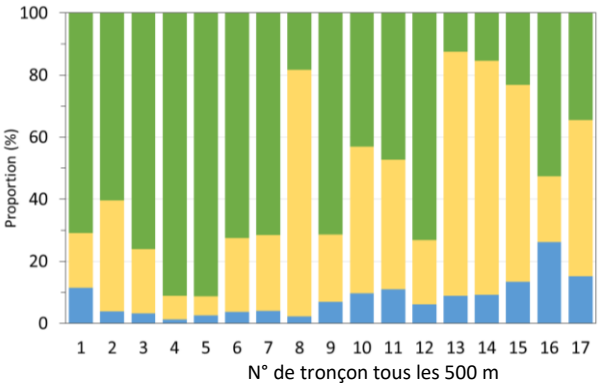
Rivière de Noyalo (FRGT25)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

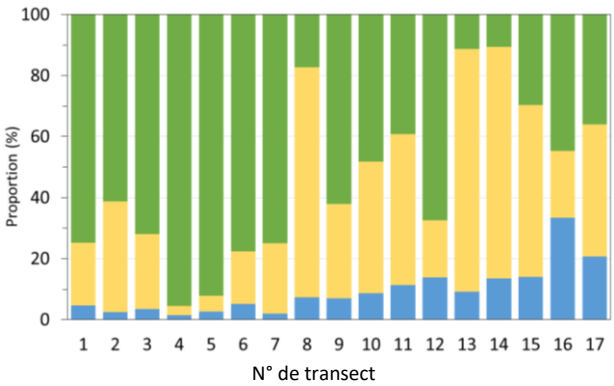


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-0,6 [-9,18 ; 6,67]	-0,68 [-7,34 ; 9,09]	1,28 [-6,87 ; 7,65]

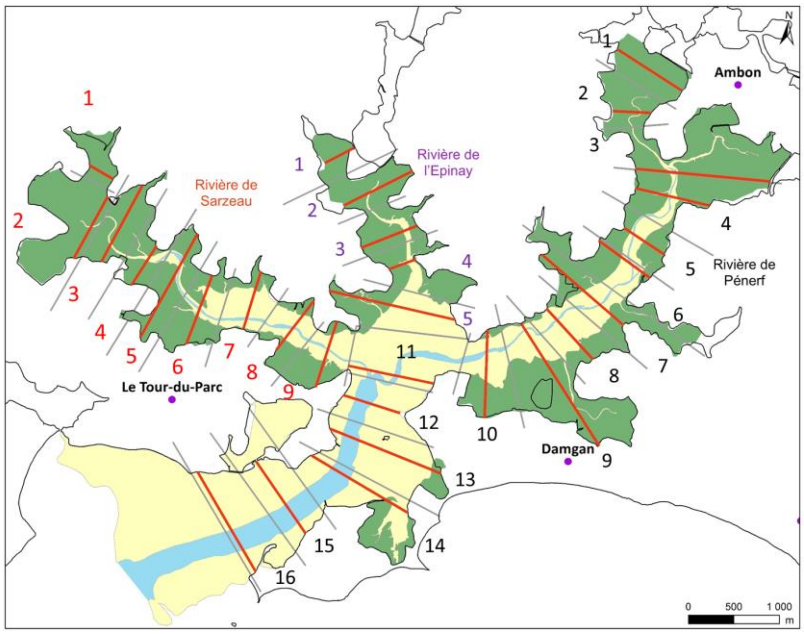
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
48,71	13,08	38,21	61,79		0	1	0	1

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

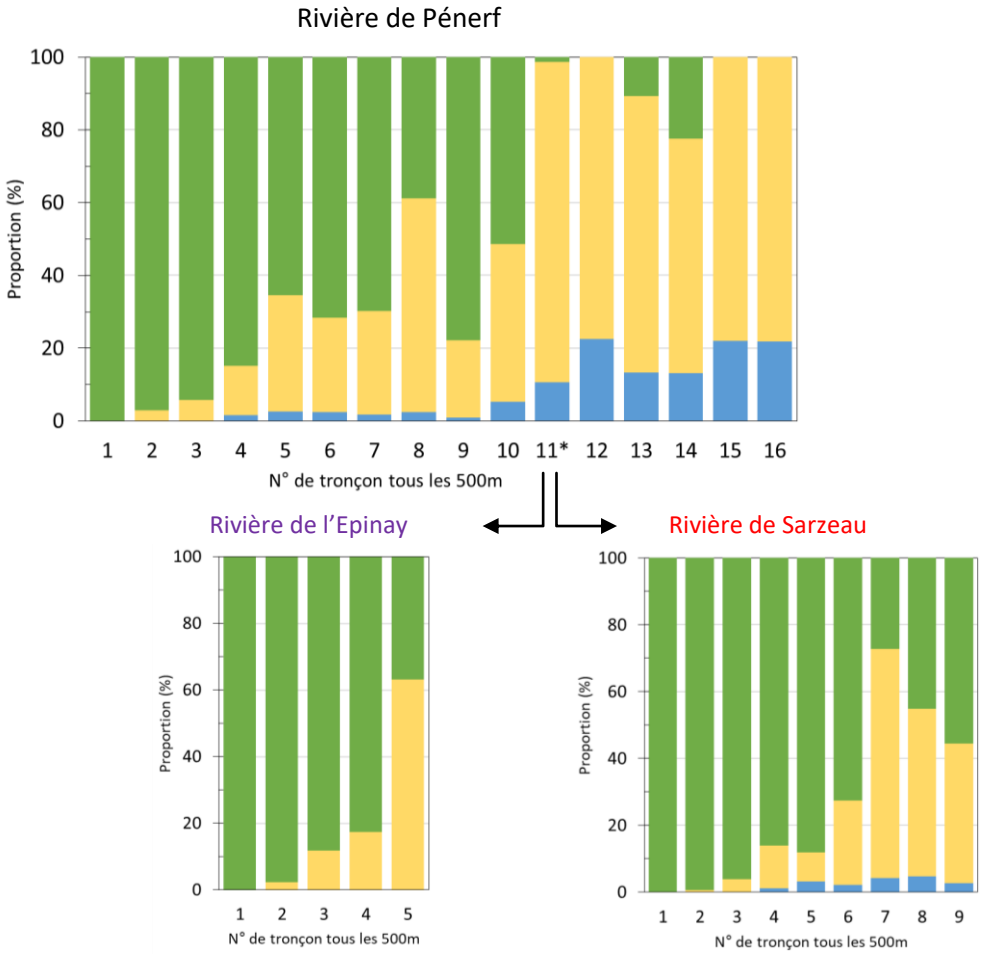
Rivière de Pénerf (FRGT26)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



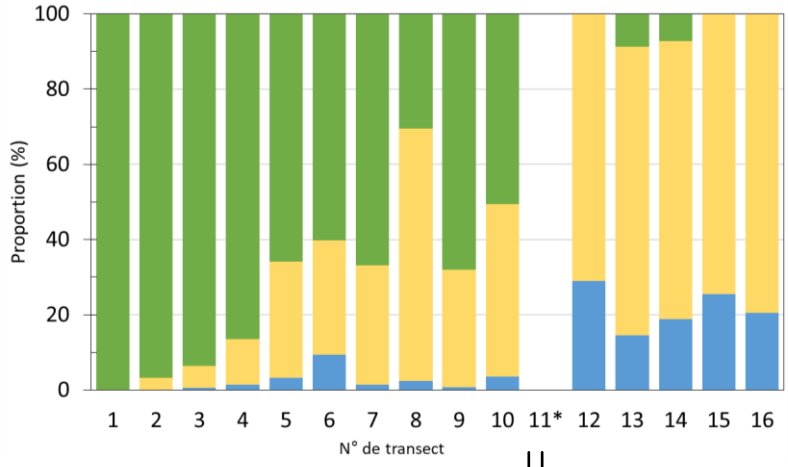
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)

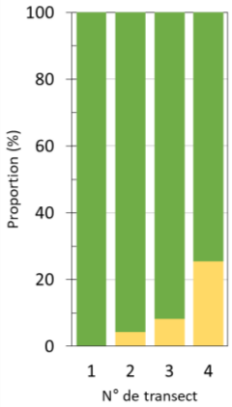


Proportions des largeurs d'habitats (transects)

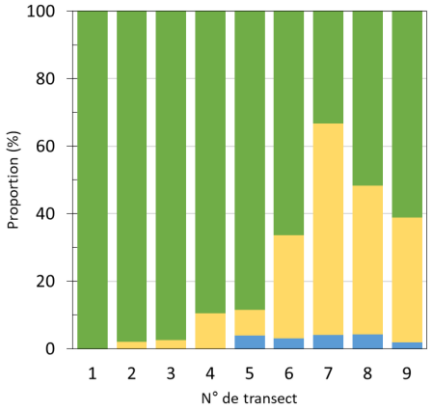
Rivière de Pénerf



Rivière de l'Epinay



Rivière de Sarzeau



* Confluence avec les rivières de l'Epinay et de Sarzeau : transect caractéristique non pertinent

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
Rivière de Pénerf	-4,12 [-15,16 ; 1,54]	1,85 [-6,53 ; 9,97]	1,45 [-1,66 ; 7,09]
Rivière de l'Epinay	-0,22 [-8,04 ; 5,2]	0,22 [-5,2 ; 8,04]	0
Rivière de Sarzeau	1,69 [-6,21 ; 6,54]	-1,58 [-6,03 ; 5,32]	-0,11 [-1,09 ; 0,89]

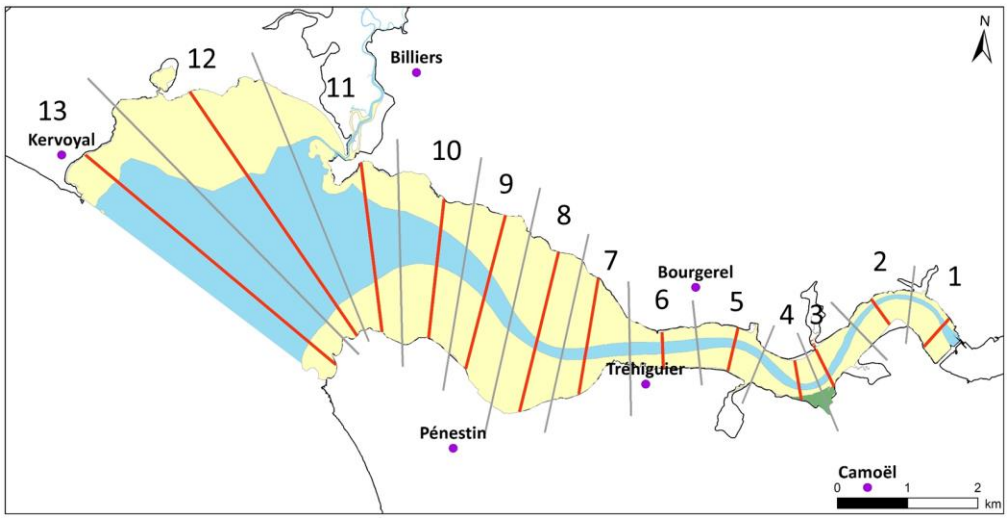
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
44,69	10,24	45,07	54,93		0	3	0	2

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

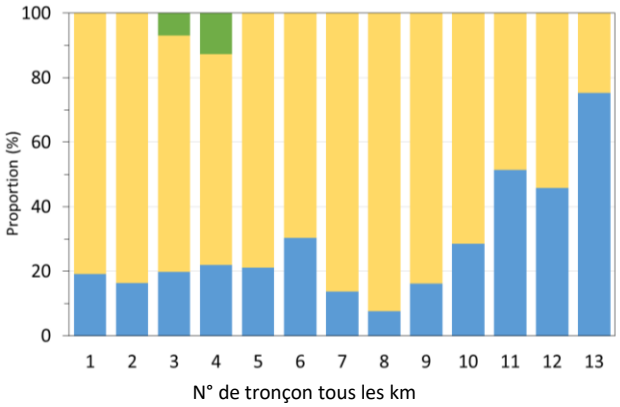
La Vilaine (FRGT27)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

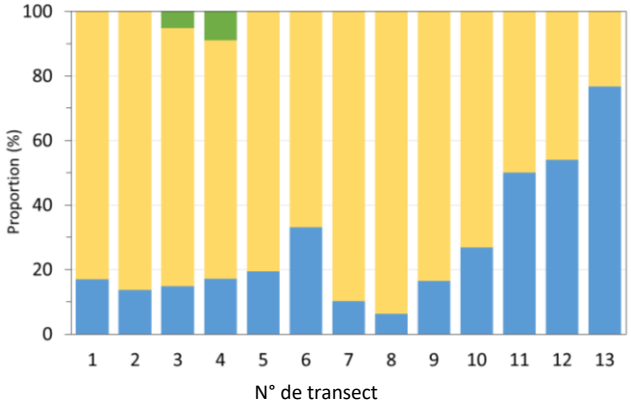


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-2,77 [-3,66 ; -1,89]	1,31 [-8,3 ; 8,49]	-0,88 [-5,06 ; 8,3]

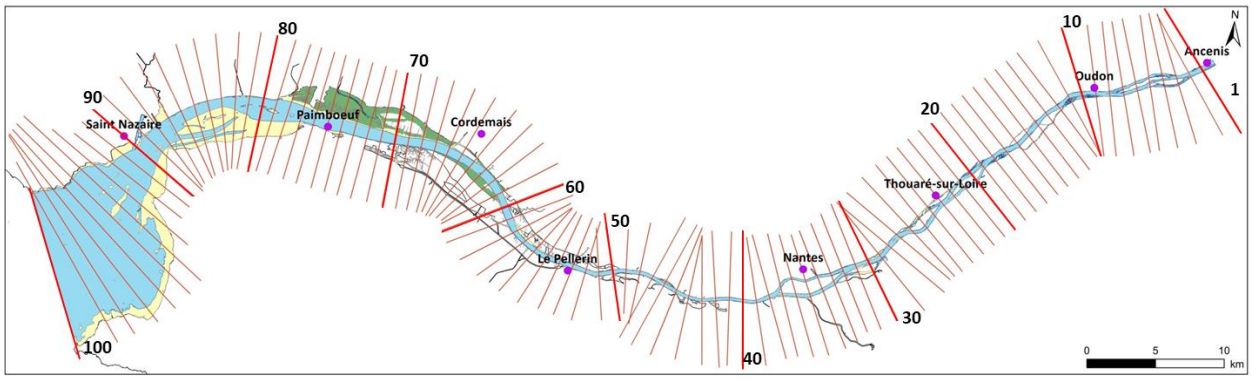
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
5,51	14,83	79,67	20,33	X	2	8	0	2

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

La Loire (FRGT28)

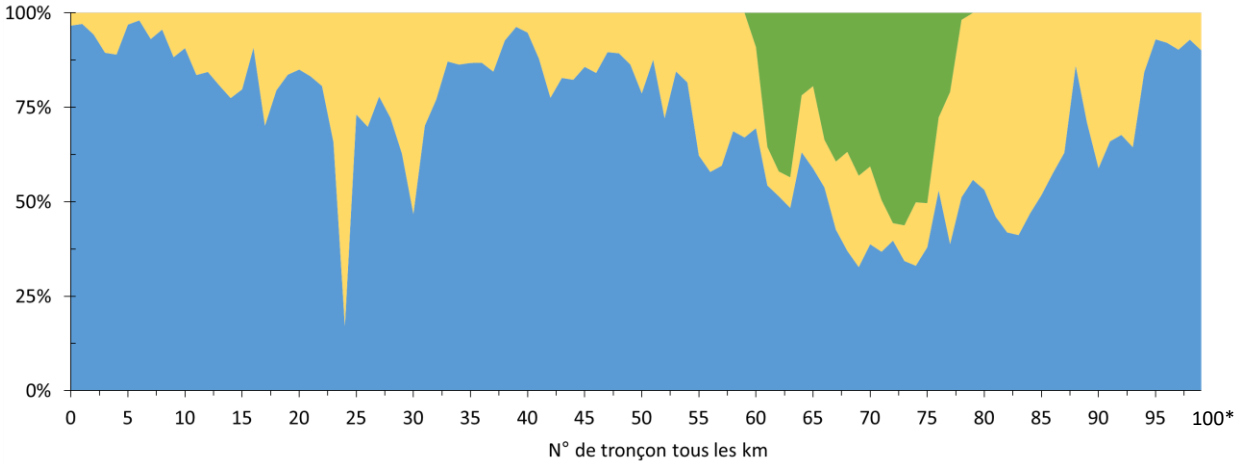
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



Sources des données : GIP Loire-Estuaire (2013), BRGM (2017), Kazmierczak (2018)

Une sectorisation automatique tous les kilomètres a été réalisée sans tenir compte des pK existants. Afin d'éviter des croisements de section lié à la sinuosité du chenal, le thalweg « lissé » a été utilisé engendrant un décalage avec les pK définis sur l'estuaire de la Loire (Bouvier et al., 2016). Cela étant, quelques sections ont dû être ajustées manuellement. Le dernier tronçon (n°100) n'est pas considéré homogène comparativement aux autres en raison de la courbure du littoral. Les proportions d'habitats associées sont tout de même données à titre indicatif. Les données exploitées sont les surfaces marnantes fournies par le GIP Loire Estuaire, complétées localement par les données du BRGM ou digitalisation dans les secteurs le plus amont et en aval de Saint-Nazaire. La méthode de calcul le long de transect caractéristique n'a pas été appliquée sur les grands estuaires.

Proportions des surfaces d'habitats tronçons)



* Tronçon n°100 non homogène : valeur donnée à titre indicatif

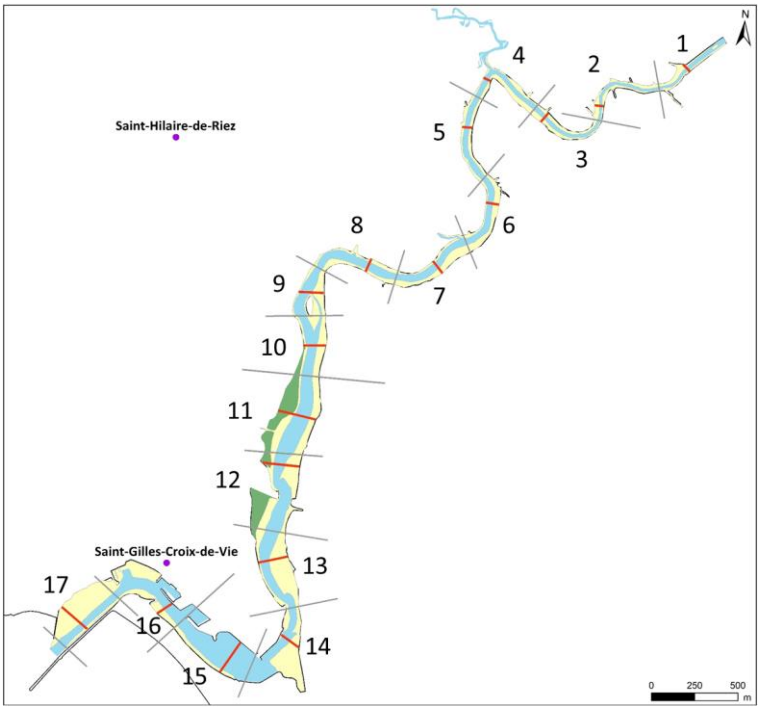
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	57,54	42,46	57,54		20	38	18	33

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

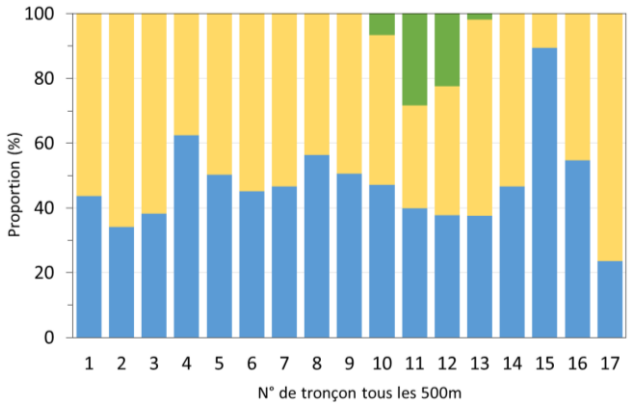
La Vie (FRGT29)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

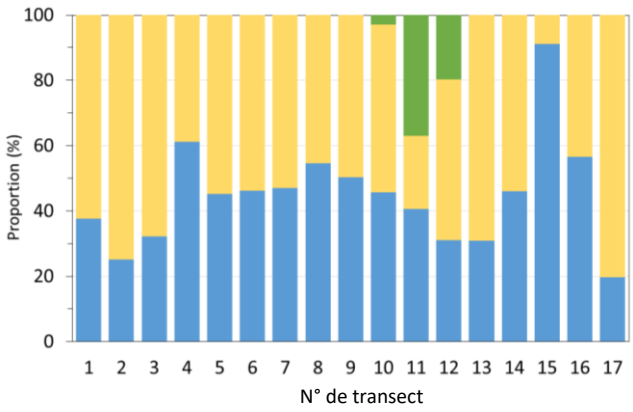


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	0,11 [-3,69 ; 8,69]	2,54 [-9,39 ; 9,33]	-2,57 [-8,91 ; 1,8]

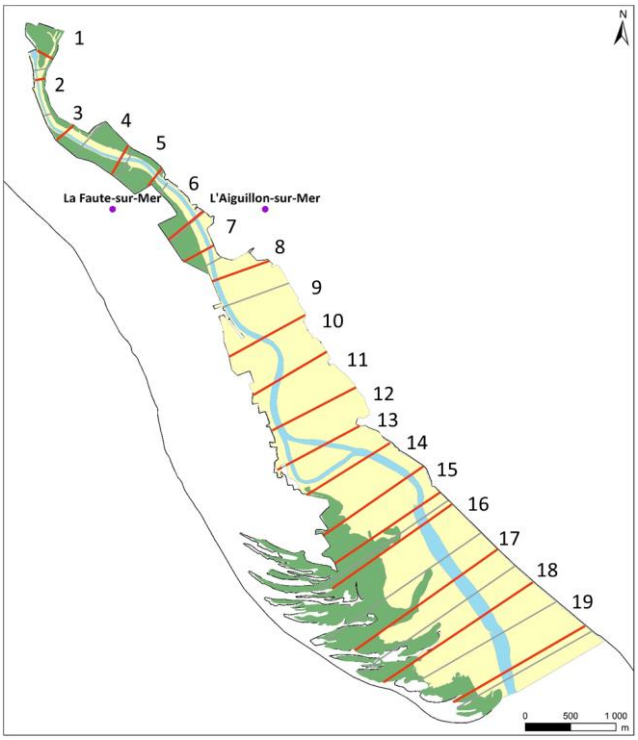
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
75,38	20,42	4,20	95,80		1	7	0	2

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

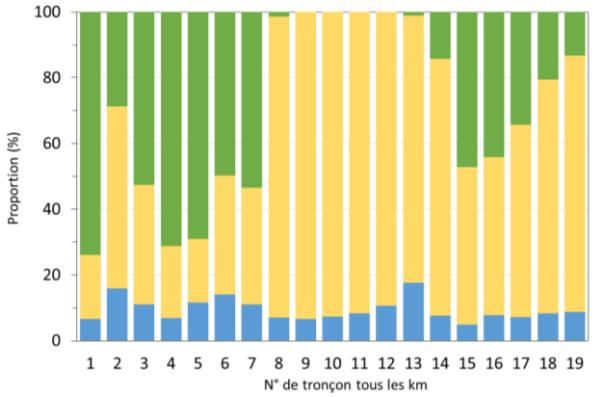
Le Lay (FRGT30)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

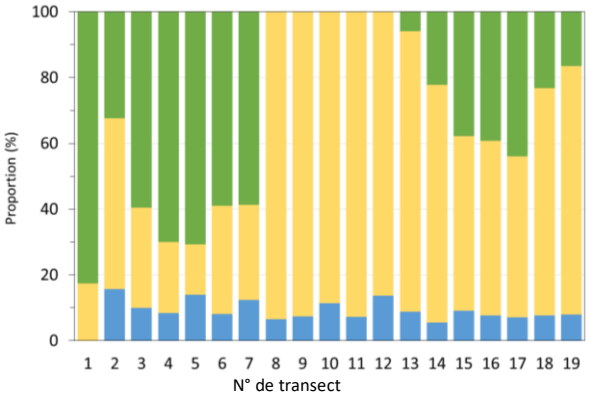


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	3,1 [-9,46 ; 9,69]	-1,89 [-9,61 ; 5,31]	-0,56 [-8,79 ; 4,15]

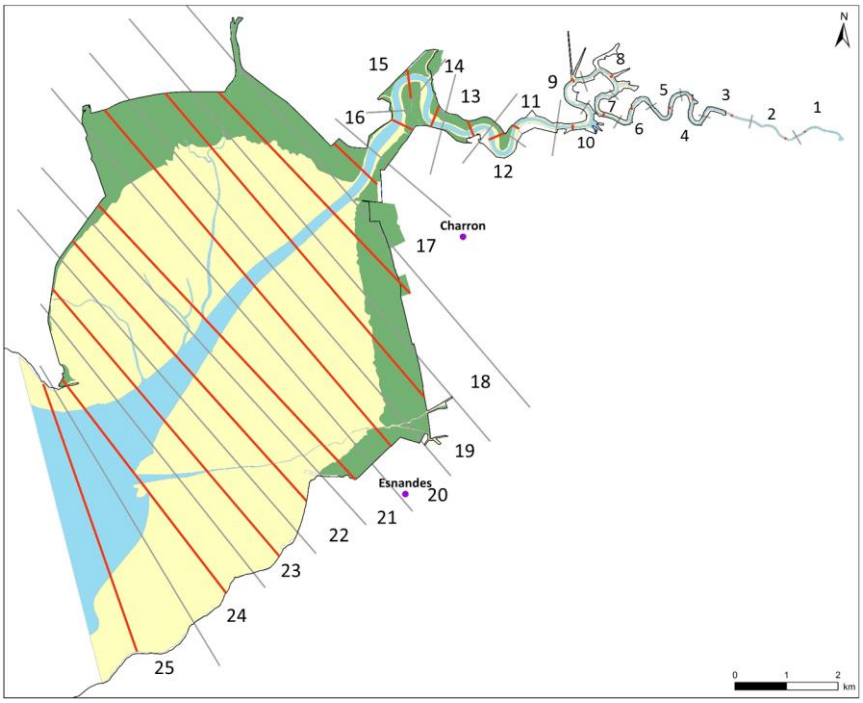
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	58,84	41,16	58,84		0	0	0	0

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

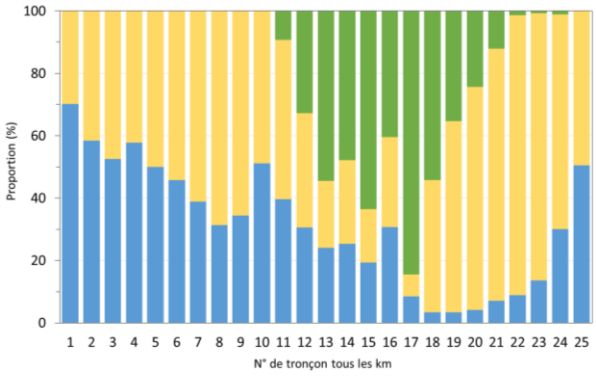
La Sèvre Niortaise (FRGT31)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

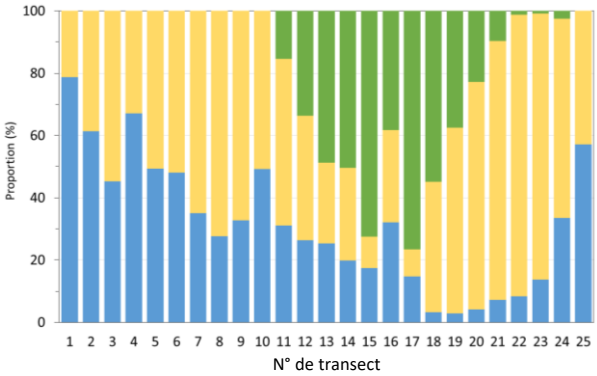


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	0,25 [-7,92 ; 9,03]	-0,19 [-9,25 ; 7,38]	0,06 [-8,57 ; 9,25]

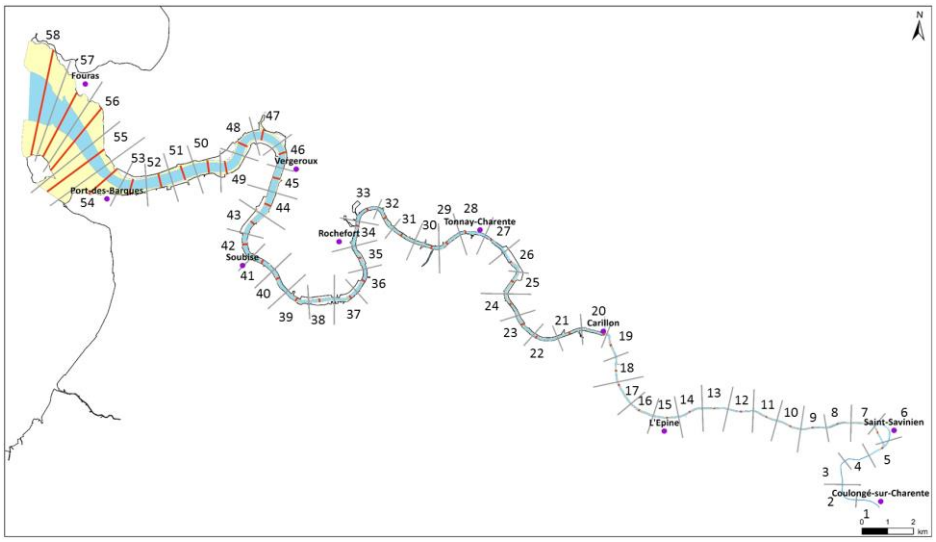
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
38,84	25,73	35,42	64,58		8	6	0	4

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Estuaire de la Charente (FRFT01)

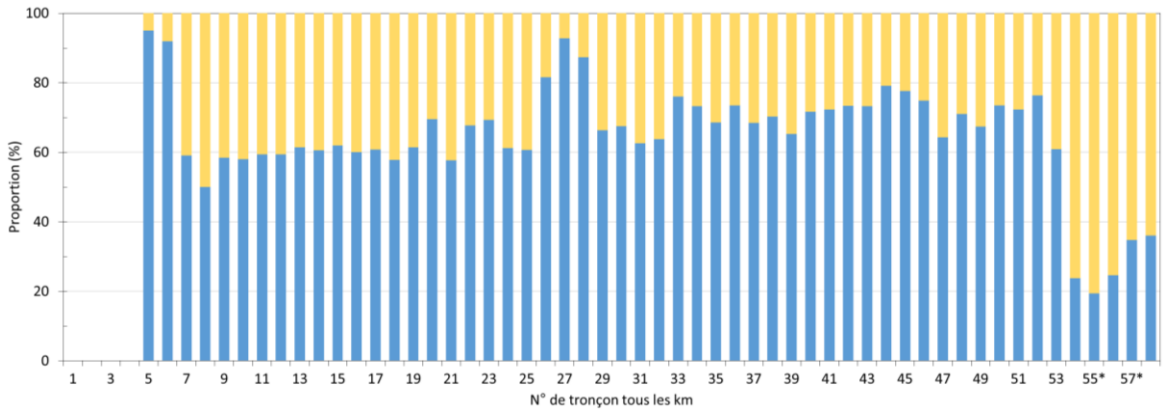
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



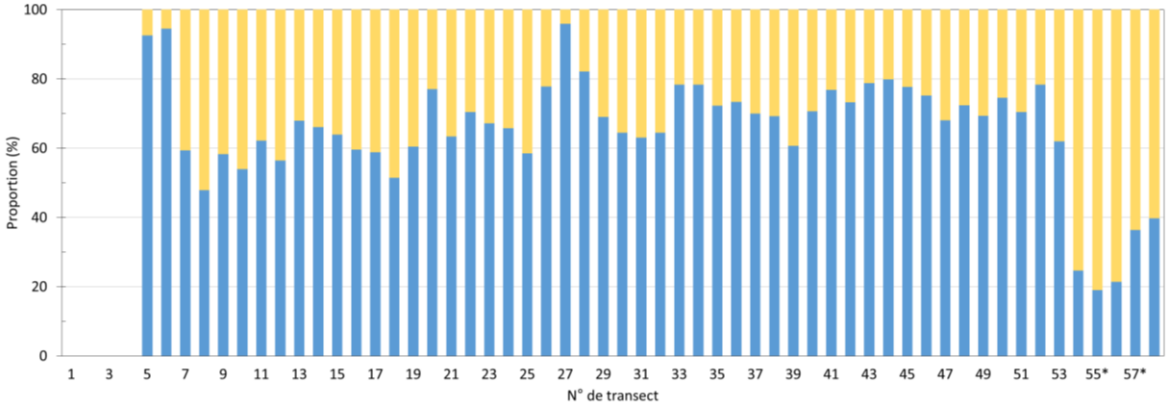
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Les limites des données à l'embouchure correspondent à celle de la masse d'eau de transition définie pour la DCE. La sectorisation faite dans ce secteur est à redéfinir car quelques sections à partir du tronçon 54 n'interceptent pas le littoral. Ce secteur a d'ailleurs été identifié comme problématique pour effectuer un découpage en tronçon homogène par Bouvier et al. (2016).

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-	-0,71 [-7,47 ; 6,28]	0,71 [-6,28 ; 7,47]

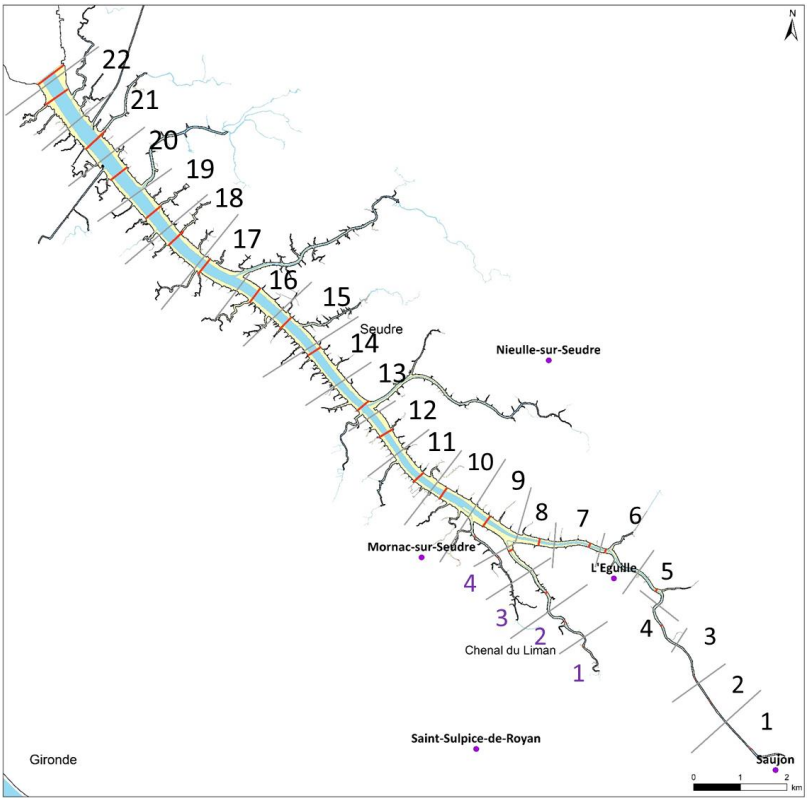
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
19,49	31,84	48,67	51,33		0	6	0	8

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

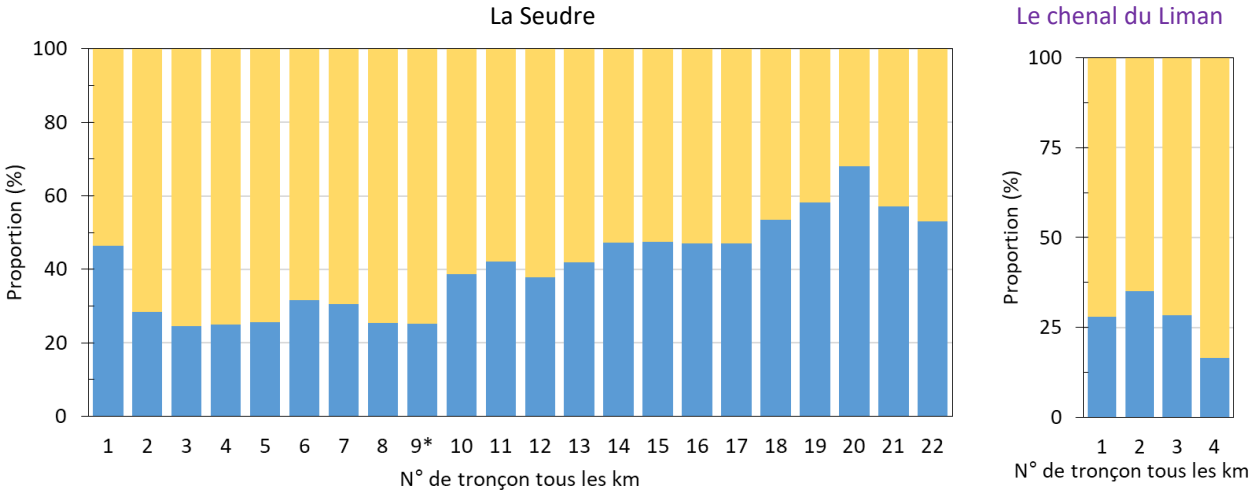
Estuaire de la Seudre (FRFT02)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



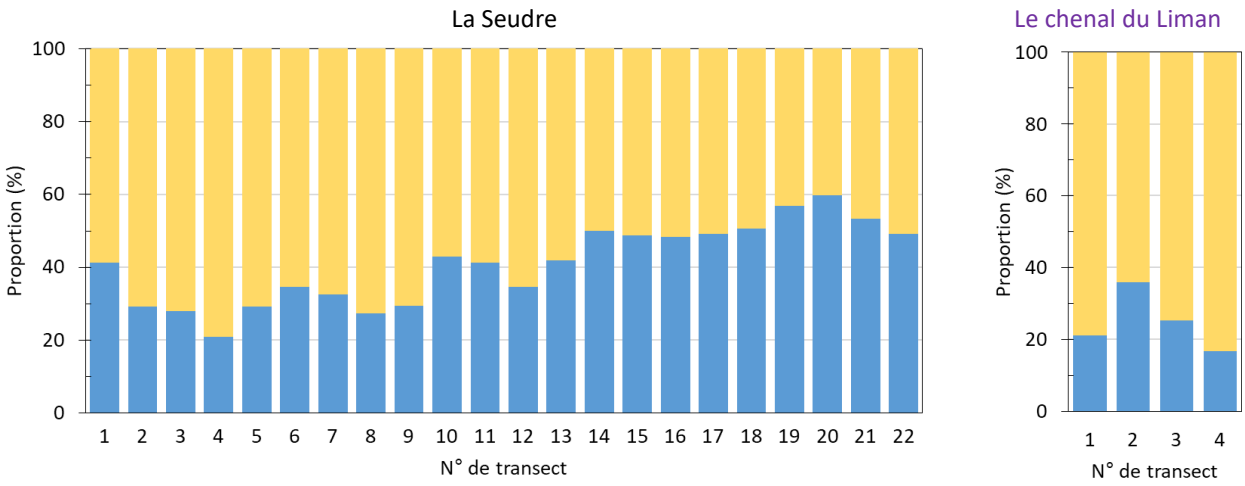
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



* Confluence avec le chenal du Liman

Proportions des largeurs d'habitats (transects)



	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]			
La Seudre	-	0,1 [-4,37 ; 8,24]	-0,1 [-8,24 ; 4,37]
Le chenal du Liman		2,23 [-0,84 ; 6,75]	-2,23 [-6,75 ; 0,84]

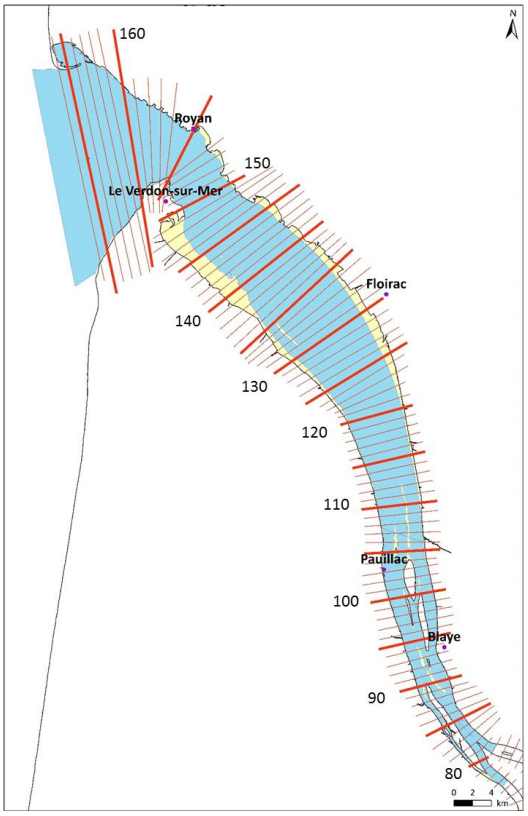
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
88,74	6,36	4,93	95,07		0	2	0	7

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

La Gironde aval (FRFT09)

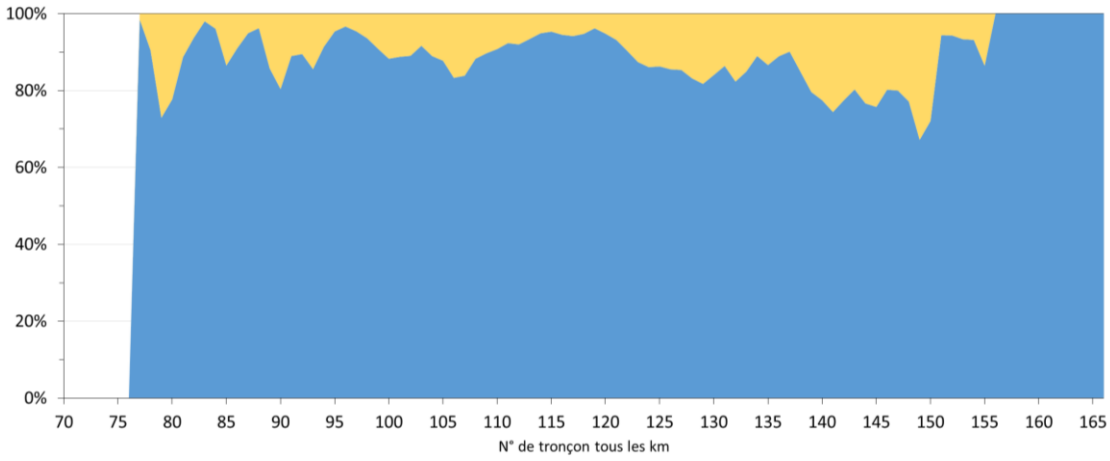
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



Sources des données : SHOM/IGN (2009), BRGM (2017)

La sectorisation automatique autour du tronçon 55 est à redéfinir (tronçon non homogène). La méthode de calcul le long de transect caractéristique n'a pas été appliquée sur les grands estuaires.

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
9,70	58,17	32,14	67,86		2	24	2	0

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Estuaire fluvial de l'Isle (FRFT31)

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	12,72	87,28	12,72		0	0	0	6

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Estuaire fluvial de la Dordogne (FRFT32)

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
3,20	84,70	12,10	87,90		0	0	0	11

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Estuaire fluvial de la Garonne Amont (FRFT33)

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
3,13	60,26	36,61	63,39		0	0	0	5

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Estuaire fluvial de la Garonne Aval (FRFT34)

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	87,77	12,23	87,77		0	0	0	6

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

La Gironde amont (FRFT35)

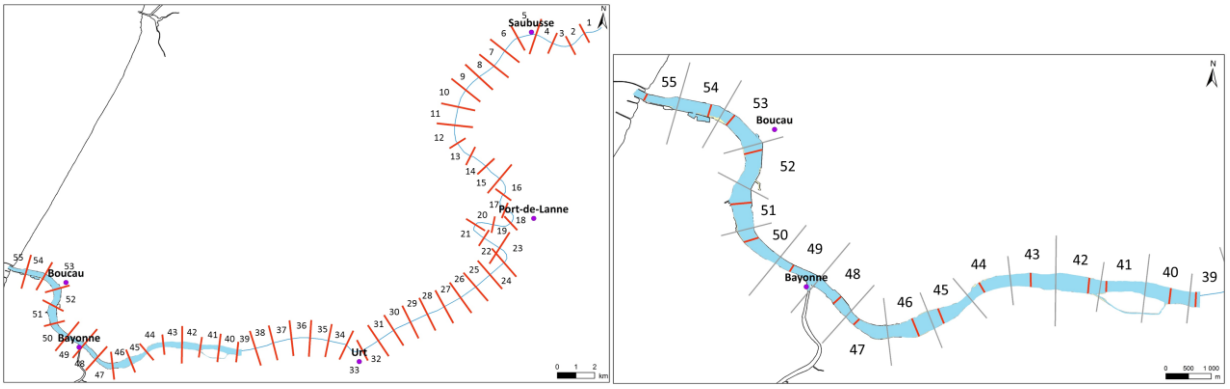
Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
4,36	64,25	31,39	68,61		0	1	0	0

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Estuaire de l'Adour (FRFT06 - 07)

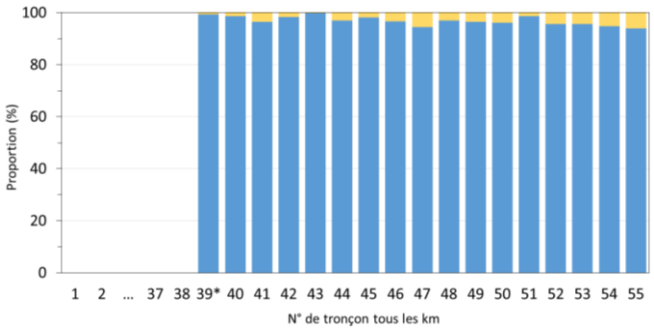
Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval



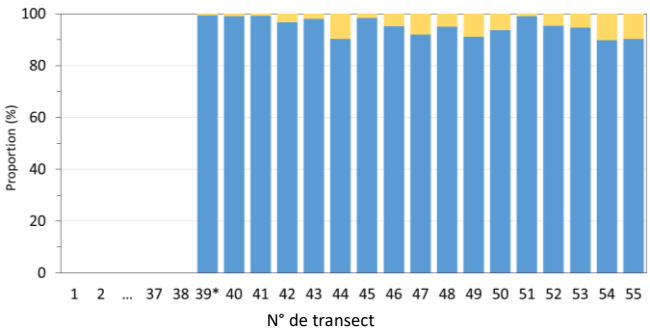
Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

* Le positionnement des transects est basé sur les proportions d'habitats obtenus par tronçon. En l'absence de données sur ces habitats, les transects représentatifs n'ont pas été définis (dans le cas présent, pas de données en amont du tronçon 8).

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



* Données très partielles

	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-	1,85 [-2,88 ; 6,67]	-1,85 [-6,67 ; 2,88]

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

Adour amont (FRFT06)

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0,00	76,14	23,86	76,14		0	0	0	5

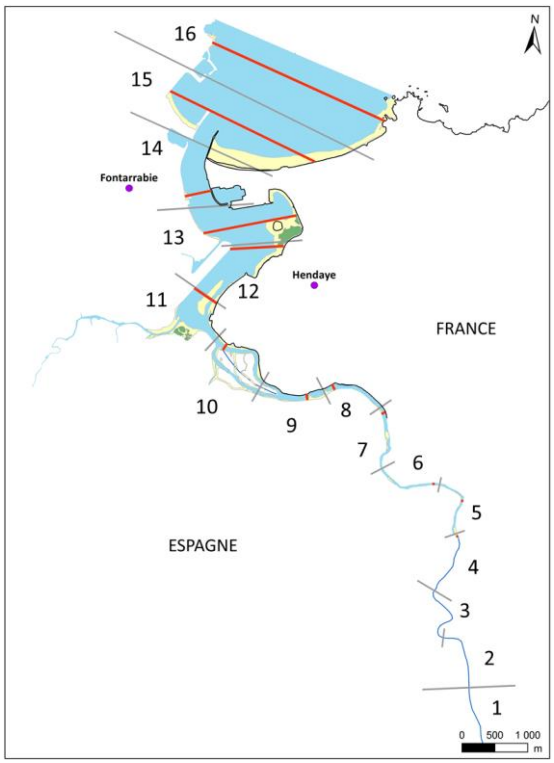
Adour aval (FRFT07)

Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
3,18	93,56	3,26	96,74		0	6	0	7

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

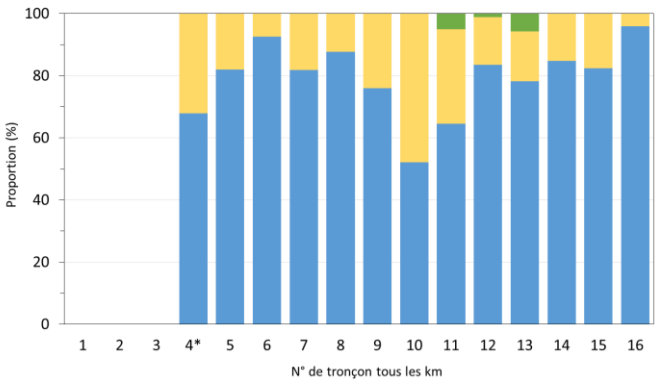
Estuaire de la Bidassoa (FRFT08)

Indicateur hypsométrique : proportion et continuité des habitats de l'amont vers l'aval

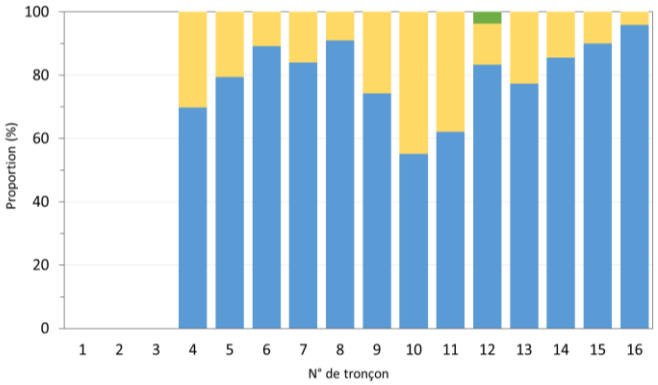


Sources des données : SHOM/IGN (2009), GEO-Transfert/Université de Rouen (2015), Kazmierczak (2018)

Proportions des surfaces d'habitats (tronçons)



Proportions des largeurs d'habitats (transects)



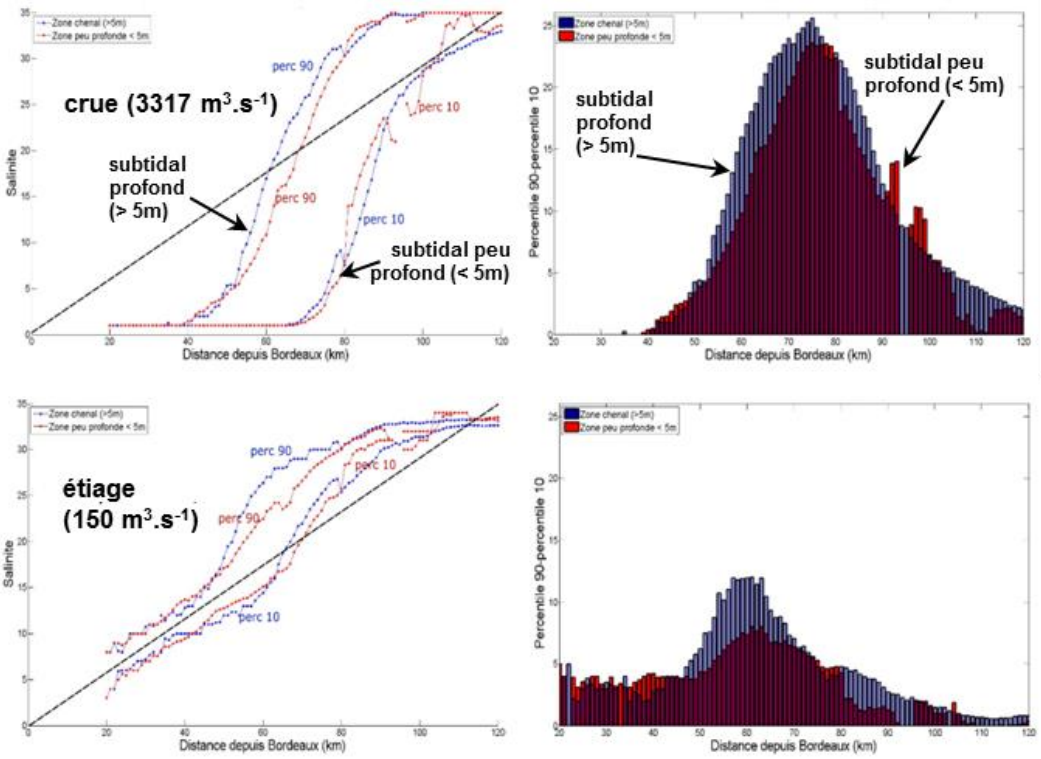
	ZI supérieure	ZI inférieure	Zone subtidale
Ecart moyen [min ; max]	-2,77 [-5,81 ; 2,56]	0,27 [-7,64 ; 7,57]	0,43 [-3,53 ; 7,64]

Estimation du taux d'artificialisation des berges et quantification des obstacles à l'écoulement

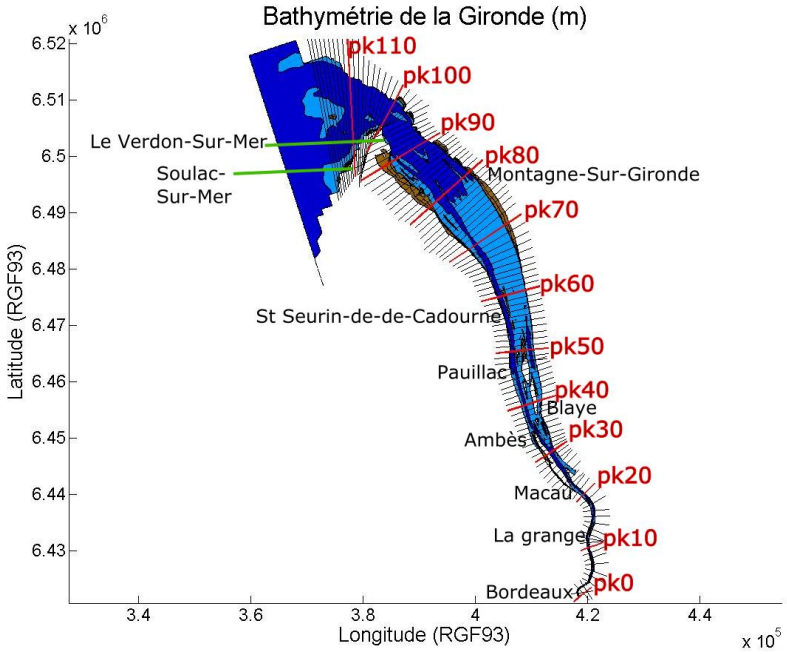
Digue Douce (%)	Digue Dure (%)	Nat. (%)	Taux Artif.	Voie Sub.	BARR	EPIS	EVAC LAT	PONT
0	70,64	29,36	70,64		0	6	0	5

Sources : BRGM, AFB (Référentiel des obstacles à l'écoulement

Annexe 2 : percentiles 10 et 90 moyens de salinité par section, calculés sur 6 jours et 21h pour un épisode de crue et un épisode d'étiage dans l'estuaire de la Gironde (gauche) et écart par section entre ces percentiles (droite)



Bathymétrie de l'estuaire de la Gironde, de Bordeaux à l'embouchure et points kilométriques.



Figures tirées du rapport de : Bouvier, C., Sottolichio, A., Hanquiez, V., Le Hir, P., Foussard V., 2016. Test des indicateurs hydro-morpho-sédimentaire pour l'application de la directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes.