

Caractérisation des pressions anthropiques des canaux de navigation du Pas-de-Calais, création d'un indice d'anthropisation et mise en relation avec l'ichtyofaune

Organisme d'accueil : Fédération des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques du Pas-de-Calais (FDAAPMA 62) & Unité Mixte de Recherche 5245 EcoLab (Ecologie Fonctionnelle et Environnement)

Tuteur universitaire : ROTGE Vincent

Tuteur professionnel : LAFFAILLE Pascal

Madisone FALCONNET

Mots clés

Canaux de navigation, poisson, anthropisation, Haut de France, Pas-de-Calais, 62

Remerciements

J'adresse mes remerciements à M. Sailliot Pascal et à M. Crowyn Grégory de m'avoir accueilli au sein de la Fédération de Pêche durant mon stage.

Mes remerciements vont ensuite à mon tuteur universitaire, M. Rotgé Vincent pour son suivi et ses conseils avisés. Je souhaite aussi remercier mes tuteurs professionnels Mme Buisson Laëtitia et M. Laffaille Pascal, pour leur suivi, leurs conseils et leur disponibilité durant mon stage ainsi que leur relecture attentive de ce rapport. Merci aussi à Hasharadah pour son accueil, ses conseils et sa disponibilité tout au long de mon stage.

Je tiens à remercier particulièrement tout le personnel de la Fédération de Pêche du Pas-de-Calais pour leur accueil chaleureux qui m'a fait me sentir à l'aise dès mon arrivée. Merci à tous pour les discussions parfois houleuses des déjeuners et pour les rigolades ! Mon séjour dans le Pas-de-Calais n'aurait pas été le même sans vous et je vous souhaite à tous une bonne continuation.

Une mention particulière à Benoît R., Dylan, Frédéric, Hashradah et Tomas pour les moments plus ou moins agréables passés sur le terrain pendant les pêches électriques mais toujours (ou presque) avec le sourire ! Mention particulière aussi à Benoît B. qui a eu la lourde tâche de m'avoir comme collègue de bureau pendant trois mois et demi et qui, je pense, s'en souviendra !

Résumé

Le fonctionnement écologique des hydrosystèmes est le fruit d'une histoire faisant intervenir tant leur environnement biophysique que les sociétés humaines. En effet, ils ont subi ces derniers siècles de nombreuses modifications pour permettre le développement des activités anthropiques (urbanisation, emprises agricoles, etc.). Les canaux présents dans le Pas-de-Calais (Hauts de France, 62) ont été dessinés et construits par l'homme dans un intérêt principalement économique. Les principaux objectifs étaient de développer et faciliter la navigation fluviale, l'activité industrielle et l'évacuation des eaux de ruissellement. Ces canaux sont aujourd'hui encore exploités à des fins commerciales et de plaisance. Mais leur impact sur la biodiversité aquatique est nocif du fait de la chenalisation, les habitats favorables au développement et à la reproduction de la faune piscicole se font rares voire inexistants pour certaines espèces exigeantes telles que le brochet, et les connexions latérales et longitudinales sont rares voire inexistantes sur certaines portions de canal.

Le projet Connect'ZH se positionne au sein des initiatives alternatives de gestion visant à améliorer l'état écologique des cours d'eau soumis à des pressions anthropiques fortes. L'hypothèse posée est qu'une optimisation de la connectivité entre ces cours d'eau canalisés et les annexes hydrauliques adjacents devrait permettre d'améliorer la fonctionnalité des communautés de poissons présentes dans les canaux de navigation. Il s'agit par conséquent d'étudier la fonctionnalité de ces annexes hydrauliques pour les poissons en termes d'habitats de reproduction et de nourricerie. Concrètement, il s'agira d'identifier les annexes hydrauliques potentielles soit pour la restauration (connexion avec le canal de navigation), soit pour la conservation dans le but d'encourager et d'optimiser la biodiversité piscicole des canaux. D'un point de vue fondamental, l'objectif est par conséquent d'étudier le rôle fonctionnel de ces annexes hydrauliques pour l'ichtyofaune (en termes de reproduction et de nourricerie).

Mais avant cela et afin de prioriser spatialement les actions de restauration et de conservation, il est nécessaire d'établir un état des lieux des canaux de navigation auxquels seront potentiellement reconnectés ces annexes hydrauliques. Dans ce contexte, l'objectif de mon stage a donc été la création d'un indice d'anthropisation des canaux de navigation qui intégrera l'outil de décision final de priorisation des annexes hydrauliques à reconnecter ou conserver.

Mots clés : Canaux de navigation, poisson, anthropisation, Haut de France, Pas-de-Calais, 62

Abstract

The ecological functioning of hydrosystems is the result of a history involving both their biophysical environment and human societies. Indeed, they have undergone many changes over the last few centuries to allow the development of anthropogenic activities (urbanization, agricultural footprint, etc.). The canals present in the Pas-de-Calais (Hauts de France, 62) were designed and built by man in a mainly economic interest. The main objectives were to develop and facilitate navigation, industrial activity and the draining of runoff. These canals are still used today for commercial and recreational purposes. However, their impact on aquatic biodiversity is harmful. Due to channelization, favourable habitats for the development and reproduction of fish fauna are rare or non-existent for certain demanding species such as pike.

Moreover, lateral and longitudinal connections are rare or even non-existent on certain portions of the waterways, which lead to an absence of breeding area.

The Connect'ZH project is positioned within alternative management initiatives to improve the ecological status of rivers subject to strong anthropogenic pressures. The hypothesis is that an optimization of the connectivity between these waterways and the adjacent hydraulic annexes should improve the functionality of the fish communities present in the waterways. It is therefore necessary to study the functionality of these hydraulic annexes for fish in terms of breeding and nursery habitats. Concretely, this will involve identifying the potential hydraulic annexes either for restoration (connection with the navigation channel) or for conservation in order to promote and optimize the fish biodiversity of waterways. From a fundamental point of view, the objective is to study the functional role of these hydraulic annexes for the ichthyofauna (in terms of breeding and nursery).

But prior to this and in order to prioritize spatially the actions of restoration and conservation, it is necessary to establish an inventory of the navigation channels to which these hydraulic annexes will potentially be reconnected. In this context, the objective of my internship was the creation of an index of anthropization of the waterways that will integrate the final decision-making tool for prioritizing hydraulic annexes to be reconnected or retained.

Key words : Waterways, fish, anthropization, Haut de France, Pas-de-Calais, 62

Préambule

Ce rapport de stage s'inscrit dans la quatrième année de formation d'ingénieur en aménagement et environnement spécialité milieux aquatique de l'école Polytech'Tours. Cette formation vise à former des ingénieurs dotés de compétences scientifiques et techniques leur permettant de concevoir et piloter des projets complexes, tant opérationnels que stratégiques dans le domaine du génie écologique portant sur les milieux aquatiques.

J'ai eu l'opportunité de réaliser mon stage du 18 avril 2017 au 28 juillet 2017 à la Fédération des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques du Pas-de-Calais (FDAAPMA 62) en partenariat avec l'Unité Mixte de Recherche 5245 EcoLab (Ecologie Fonctionnelle et Environnement) du CNRS à Toulouse. Il s'inscrit dans une thèse (Connect'ZH) menée par Mme Hashradah Ramburn qui a pour but le développement d'un outil d'aide à la décision dans la restauration ou la création d'annexes hydrauliques attenantes aux canaux de navigation. Ces zones annexes profiteraient à l'ichtyofaune comme site de reproduction et de nourricerie.

Le choix de me tourner vers ce stage a été motivé par plusieurs facteurs, le sujet tout d'abord est un sujet d'actualité à l'heure où la navigation fluviale tend à se développer et à mettre en avant son côté écologique, mais quel est l'état écologique de ces canaux de navigations et quelle en est l'ichtyofaune. Un autre point qui m'intéressait est la découverte du monde de la recherche à travers ma collaboration avec Mme Ramburn qui travaille à l'élaboration de sa thèse. Le stage comportait aussi une grande campagne de pêche électrique qui m'attirait puisque c'est une méthode que je n'avais utilisée qu'une seule fois.

Mon travail a porté sur la caractérisation des canaux de navigations du Pas-de-Calais afin de développer un indice d'anthropisation synthétisant les données recueillies, puis la comparaison de cet indice aux communautés de poissons inventoriées par pêche électrique dans ces mêmes canaux. Comparativement au travail complet que représente la thèse, mon intervention se situe en tâche 1 et en tâche 3 (Figure 1).

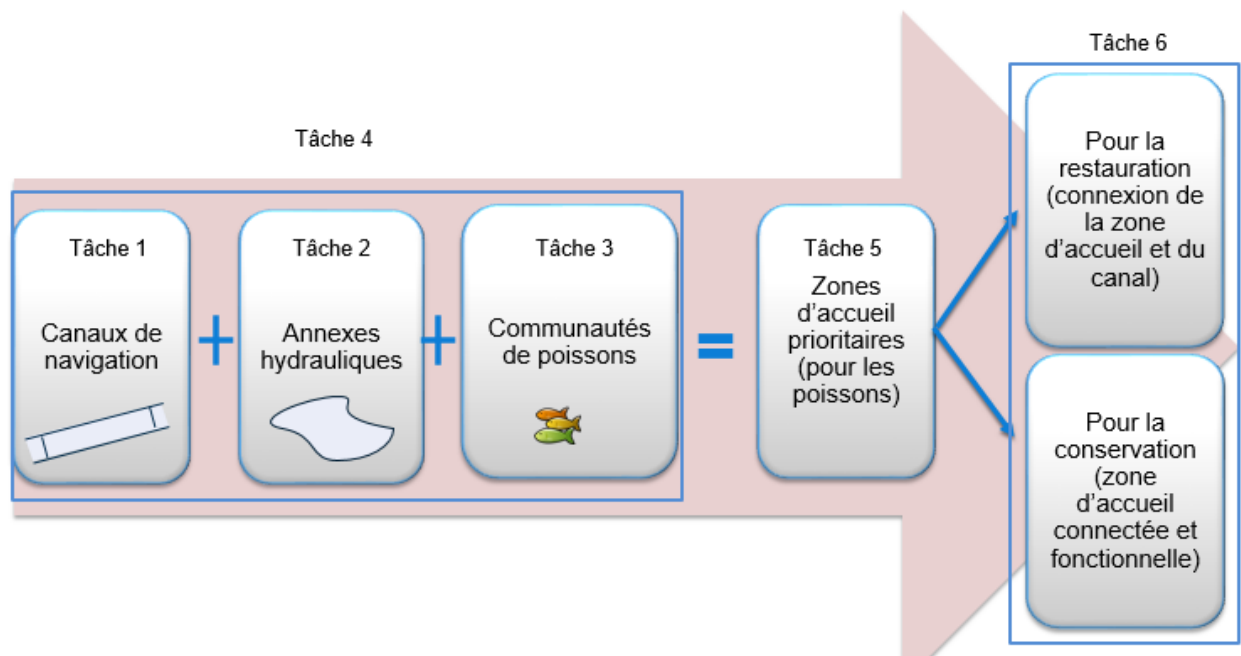


Figure 1 : Organisation de la thèse de Mme Hashradah Ramburn divisée en tâches

Les différentes étapes nécessaires à la création de l'indice sont répertoriées en Figure 2.

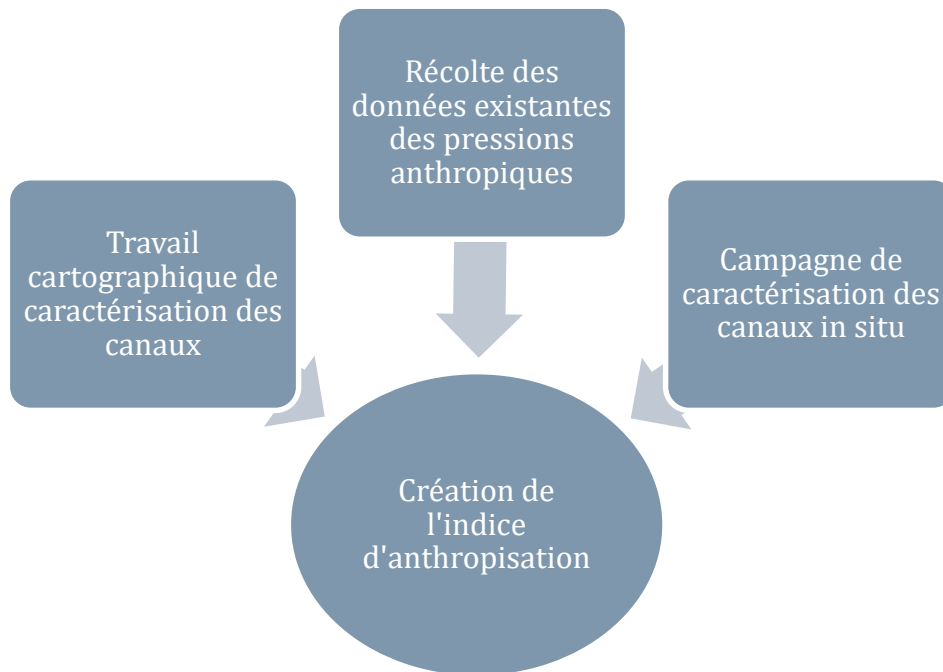


Figure 2: Méthode de création de l'indice d'anthropisation

La récolte des données existantes a été un long processus impliquant de multiples acteurs, mais il n'a pas été possible d'obtenir tout ce dont j'avais besoin pour la création de mon indice. Une campagne de caractérisation in situ a donc été planifiée pour inventorier les linéaires où l'information n'était pas disponible.

Parallèlement à la création de l'indice d'anthropisation, une campagne d'échantillonnage scientifique par pêche électrique a été menée dans les canaux de navigation. Les résultats de ces échantillonnages ont ensuite été comparés à la note de l'indice d'anthropisation afin de tester l'existence ou non d'un lien entre ces deux variables.

Ce stage a été riche en apprentissage pratique principalement grâce à la campagne de pêche électrique, ces compétences me seront sans aucuns doutes utiles à l'avenir. De plus j'ai eu l'occasion de découvrir le fonctionnement et les missions multiples d'une Fédération de Pêche, qui fait partie des employeurs potentiels pour les diplômés de notre formation.

Table des matières

Table des figures	2
Table des tableaux	2
I. Introduction	3
II. Matériels et méthodes	5
A. Gabarit physique	5
B. Pressions liées à la navigation	6
C. Pressions liées à la pêche de loisir	7
D. État physico-chimique	7
E. État et caractérisation des berges	10
F. Création de l'indice d'anthropisation	11
G. Caractérisation de l'ichtyofaune des canaux de navigation	12
III. Résultats et discussion	15
A. Gabarit physique	15
B. Pressions liées à la navigation	15
C. Pressions liées à la pêche de loisir	17
D. État physico-chimique	17
E. État et caractérisation des berges	18
F. Indice d'anthropisation	19
G. Icthyofaune des canaux de navigation	23
H. Relation entre indice synthétique d'anthropisation et communautés de poissons dans les biefs	27
IV. Conclusion	30
Bibliographie	31

Table des figures

Figure 1 : Organisation de la thèse de Mme Hashradah Ramburn divisée en tâches	4
Figure 2: Méthode de création de l'indice d'anthropisation	5
Figure 3 : Localisation et délimitation des biefs étudiés (B01 à B27).	6
Figure 4 : Localisation des stations de mesure de l'Agence de l'Eau Artois Picardie dans les canaux de navigation.	9
Figure 5 : Berge artificielle en béton. (Source : FALCONNET Madisone)	11
Figure 6 : Berge en enrochement. (Source : FALCONNET Madisone).....	11
Figure 7 : Berge en tunage bois. (Source : FALCONNET Madisone).....	11
Figure 8 : Berge artificielle sans habitat mais présentant de nombreuses frondaisons de branches. (Source : FALCONNET Madisone)	11
Figure 9 : Matériel de pêche embarqué de type HERON© (Source : FDAAPPMA62).	13
Figure 10 : Navigation commerciale (en tonnes de marchandises transportées) par bief durant l'année 2016.	16
Figure 11 : Quantité de poissons déversés par bief (en kg) entre l'année 2010 et 2015. En vert les biefs où il y a eu un déversement et en rouge les biefs sans déversement.	17
Figure 12: Note détaillée des différentes modalités de l'indice d'anthropisation	21
Figure 13 : Indice synthétique d'anthropisation des canaux de navigation du Pas-de-Calais.	23
Figure 14: a) Boîte à moustache du nombre d'individus capturés par bief	28
Figure 15: Richesse spécifique en fonction de l'indice d'anthropisation et nombre total de poissons capturés en fonction de l'indice d'anthropisation	28
Figure 16: Configuration du bief B26 avec ses annexes délaissées entourés en rouge	29

Table des tableaux

Tableau 1 : Seuils utilisés pour le calcul de la qualité physico- chimique (Source: Guide REEE-ESC mis à jour en 2016).	8
Tableau 2 : Modalités de caractérisation des berges.	10
Tableau 3 : Note associée aux différentes modalités.	12
Tableau 4 : Longueur (en m) et largeur moyenne (en m) des biefs étudiés.	15
Tableau 5 : Trafic commercial (en tonnes de marchandises transportées) sur les biefs durant l'année 2016	15
Tableau 6 : Classe de qualité physico-chimique pour chaque bief (vert : bonne ou très bonne ; jaune : moyen ; orange : médiocre ; rouge : mauvais).	18
Tableau 7 : Caractéristiques des berges des biefs.	18
Tableau 8: Indice final d'anthropisation des 25 tronçons des canaux de navigation du Pas de Calais. Vert : bon ; jaune : moyen ; orange : médiocre ; rouge : mauvais.	19
Tableau 9: CPUE (Capture par Unité d'Effort ; moyenne et écart-type) par espèce pour l'ensemble des 13 biefs inventoriés.....	24
Tableau 10 : CPUE moyen par espèce et par bief.	25
Tableau 11 : Occurrence moyenne des différentes espèces sur la totalité des biefs inventoriés.	26
Tableau 12 : Indice synthétique d'anthropisation, richesse spécifique et nombre total de poissons capturés par bief. Les biefs sont classés selon l'indice d'anthropisation croissant. Les couleurs correspondent à la modalité de qualité correspondante.	27

I. Introduction

Lorsqu'il s'est installé, l'homme a toujours privilégié les abords des cours d'eau ou des littoraux. En effet ceux-ci sont signe de dynamisme et de développement pour les villes adjacentes. Au fur et à mesure du développement du commerce, de l'industrie et du transport, les cours d'eau ont progressivement été chenalisés afin de permettre la circulation des bateaux. Ce sont donc des centaines de kilomètres de rivières qui ont été rectifiées et gérées dans des objectifs purement hydrauliques avec notamment l'intervention des écluses pour maîtriser les niveaux d'eau créant des déconnexions longitudinales. Ces rectifications signent pour la plupart la déconnexion latérale du cours d'eau principal à ses annexes hydrauliques ennoyées périodiquement ou à ses affluents. Ces déconnexions latérales et longitudinales affectent le fonctionnement du cours d'eau et de son écosystème, en particulier le maillon piscicole. Il a été prouvé par *Aarts et al.* en 2004 ; *Gorski et al.* en 2011 et *Dutterer et al.* en 2013 que l'absence ou la présence réduite de connexion latérale dans certains secteurs appauvrit le milieu et limite la reproduction des poissons dans les canaux. De plus l'entretien régulier nécessaire au maintien de l'activité de navigation ainsi que la monotonie des faciès et de la structure des berges empêchent la végétation de se développer créant ainsi un milieu avec un habitat pauvre peu adapté à de nombreuses espèces de poissons (*Boët et al.*, 1999).

A l'heure de la sortie des Etats-Unis de l'accord de la COP21 et où les inquiétudes concernant le réchauffement climatique atteignent des sommets, proposer une alternative au fret routier mérite nécessairement qu'on s'y attarde. Un bateau de type Rhein-Herne-Kanal (RHK), plus gros bateau navigant sur les plus grands fleuves français (Seine, Saône, Rhône) équivaut à 54 poids lourds qui ne rouleront pas (*VNF, 2015*). Cette comparaison laisse penser que le transport fluvial est le mode de transport à privilégier à l'avenir. Cependant, cela n'inclut pas les coûts écologiques liés à la navigation fluviale, en particulier sur l'ichtyofaune. Les écosystèmes d'eau douce abritent environ 6% de la biodiversité terrestre, alors qu'ils ne représentent que moins de 0,01% de la surface du globe et sont très menacés (*Dudgeon et al.*, 2006).

La situation géographique du Pas-de-Calais induit un fort trafic fluvial commercial reliant la mer du Nord à la Belgique en passant par des ports intérieurs tels que Béthune. La navigation commerciale représente la majeure partie du trafic, mais la navigation de plaisance est en développement permanent, notamment par la mise en place et l'amélioration de l'offre de service des haltes nautiques et des ports de plaisance. Certains canaux ne sont aujourd'hui plus utilisés à des fins commerciales mais uniquement à des fins touristiques, ce qui modifie la pression exercée par la navigation car les bateaux de plaisance induisent un changement de vitesse quatre fois inférieur aux bateaux commerciaux (*Arlinghaus et al.*, 2002). Il a été montré que le passage de plus de six bateaux par jour diminuait significativement la population de juvéniles de poisson de l'année (*Huckstorf et al.*, 2011). En effet, les jeunes de l'année sont très sensibles au mouvement d'eau lié à la navigation car leur capacité à nager et leur résistance au courant dépendent de leur taille (*Mann & Bass, 1997*). Parallèlement aux effets de la navigation, la chenalisation a induit l'uniformisation des structures des berges des canaux, composées majoritairement de béton et de palplanche métallique. Cependant, les différents types de protection de berges n'apportent pas tous les mêmes habitats pour l'ichtyofaune.

L'étude Connect'ZH dans laquelle s'inscrit mon stage a pour but de prioriser les actions de restauration permettant l'amélioration des communautés de poissons du Pas-de-Calais, par la reconnexion des canaux de navigation à leurs annexes hydrauliques. Afin d'étudier la faisabilité de ces actions, il est nécessaire d'établir un état des lieux des canaux de navigation et des annexes hydrauliques associées. Dans ce contexte, l'objectif de mon stage a été de répertorier les pressions anthropiques qui pèsent sur les canaux

de navigation puis de synthétiser toutes les informations disponibles en un indice d'anthropisation qui permet de comparer les tronçons de canaux entre eux.

En parallèle, des pêches d'inventaires scientifiques ont été effectuées sur plusieurs tronçons de canaux dans le but d'améliorer la connaissance de l'ichtyofaune des canaux de navigation. Ces communautés de poissons ont ensuite été mises en relation avec l'indice d'anthropisation développé afin d'établir ou non l'existence d'un lien entre les pressions anthropiques et les communautés de poissons des canaux de navigation du Pas-de-Calais.

La structure qui m'a accueillie est la Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et Protection des Milieux Aquatiques du Pas-de-Calais. Cette structure, créée en 1942, est née de la volonté d'encadrer la pratique de la pêche, loisir fortement ancré dans le Pas-de-Calais. C'est désormais un établissement à caractère reconnu d'utilité publique et une association agréée au titre de la protection de l'environnement. Elle est ainsi désormais reconnue comme un gestionnaire privilégié des milieux aquatiques. La fédération est dirigée par un conseil d'administration dont le président est actuellement monsieur Pascal SAILLIOT.

Quinze salariés y travaillent quotidiennement, divisés en quatre grands pôles :

- Le pôle halieutique qui promeut le développement du loisir pêche dans le département notamment par l'organisation de concours et par des animations.

- Le pôle connaissance, au sein duquel j'ai réalisé mon stage, chargé des protocoles d'inventaires, de radiopistage et plus généralement de l'amélioration des connaissances sur les populations piscicoles du département.

- Le pôle restauration, chargé de la restauration des milieux aquatiques via par exemple le rétablissement de la continuité écologique ou la création de nouvelles frayères.

- Le pôle contrôle pêche et sensibilisation, chargé de contrôler les pêcheurs et d'appuyer techniquement les autres pôles sur des missions ponctuelles (pêche électrique par exemple).

La Fédération de Pêche du Pas-de-Calais est une fédération dynamique qui entreprend de nombreuses études et porte assistance aux particuliers ou aux collectivités dans leurs projets de restauration.

II. Matériels et méthodes

L'un des objectifs du stage a été de construire une base de données contenant toutes les informations relatives aux caractéristiques des canaux de navigation et aux pressions anthropiques s'exerçant sur ces derniers.

Plusieurs catégories de variables ont été recensées durant ces recherches préliminaires et sont décrites dans la suite du rapport.

A. GABARIT PHYSIQUE

La zone d'étude se situe dans le département du Pas-de-Calais et est constituée des grands canaux de navigation gérés par Voies Navigables de France (VNF). Les canaux étudiés (plus de 250 km) ont été découpés en 25 tronçons (appelés biefs dans la suite du rapport), chacun d'eux étant délimités par deux écluses (Figure 3).

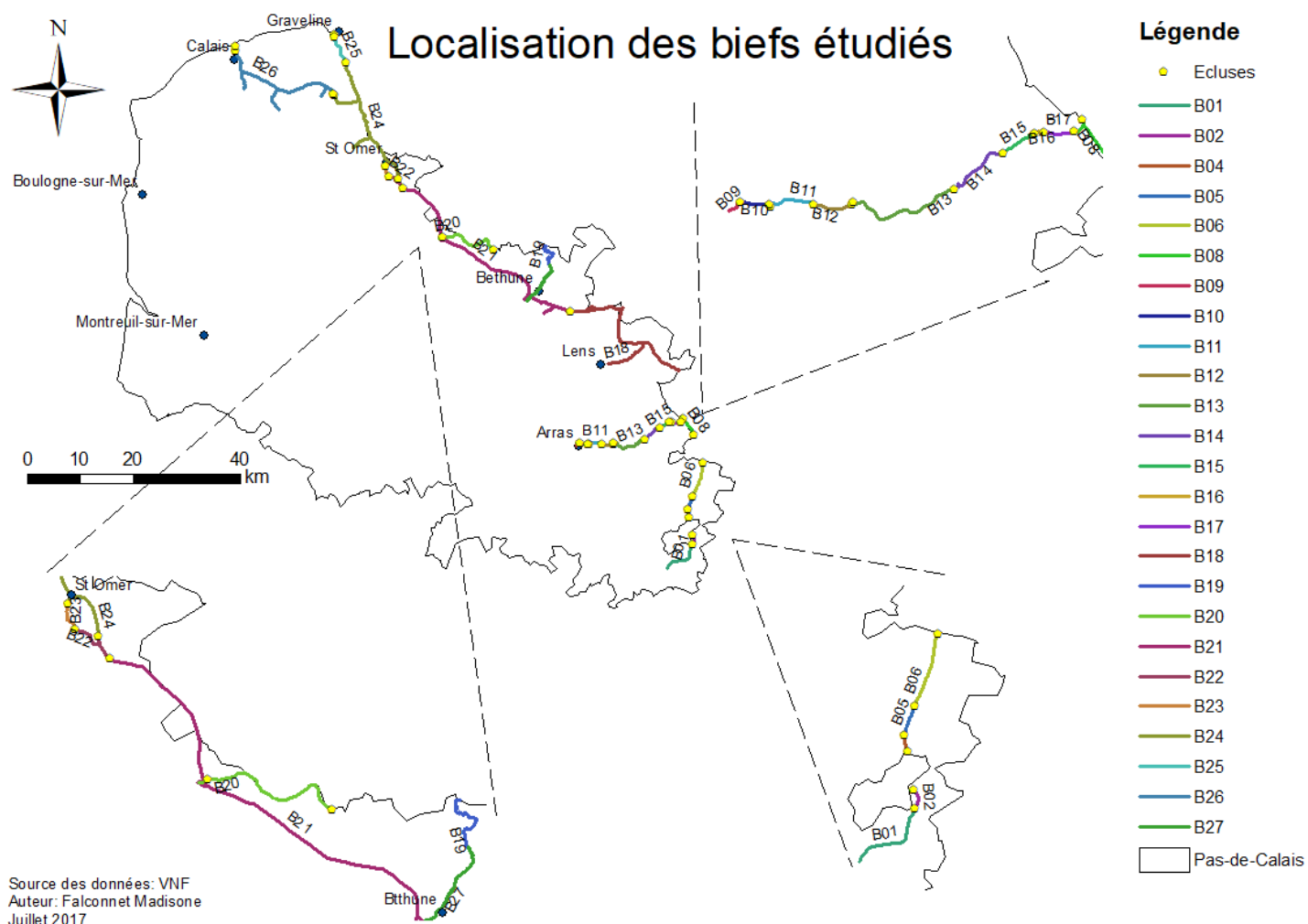


Figure 3 : Localisation et délimitation des biefs étudiés (B01 à B27).

La cartographie spatialisée des canaux étudiés a été fournie par VNF. Ceci a permis d'obtenir par traitement cartographique la longueur du chenal principal (en m), la largeur moyenne (en m), les coordonnées GPS des limites amont et aval, la distance à la mer depuis l'aval du bief (en m) et la longueur des affluents connectés.

Les logiciels Qgis 2.8.1 et ArcGis 10.1 ont été utilisés pour mesurer ces descripteurs physiques des biefs.

B. PRESSIONS LIÉES À LA NAVIGATION

Pour caractériser la pression de navigation commerciale exercée sur les canaux, nous avons utilisé la quantité de marchandises (en tonnes) ayant transité dans les biefs durant l'année 2016. L'information n'était pas disponible en nombre de bateaux ayant transité. Mais la quantité de marchandise transportée induit le tirant d'eau déplacé au passage du bateau. Plus le bateau transporte de poids, plus il va induire un changement de vélocité de l'eau important. Ces données sont consultables librement sur le site internet de VNF. En outre, la navigation de plaisance n'est recensée que sur certaines écluses en nombre de bateaux ; les données ne sont donc pas disponibles sur tous les biefs. Ils n'ont donc pas été pris en compte

dans le calcul de l'indice d'anthropisation final. Cependant la navigation de plaisance est, comme mentionné précédemment, moins impactante que la navigation commerciale.

C. PRESSIONS LIÉES À LA PÊCHE DE LOISIR

Cette pression a été quantifiée en se basant sur le déversement de poissons dans les biefs, obtenue grâce à une compilation des données internes à la Fédération de Pêche, qui organise ce soutien des effectifs. Les cyprinidés étaient exprimés en nombre de kilogrammes, les brochets âgés d'un an en nombre d'individus. Ainsi, il a fallu convertir le nombre d'individus de brochet en kilogrammes. La conversion utilisée a été la suivante sur les conseils du responsable en charge du soutien des effectifs:

$$1 \text{ brochet d'une année} = 0,02 \text{ kg}$$

Le cumul de la biomasse des poissons déversés a été comptabilisé depuis 2010 afin que le diagnostic reste le plus actuel possible. Il est cependant possible que d'autres déversements aient eu lieu sans l'aval ou sans déclaration à la Fédération de Pêche.

D. ÉTAT PHYSICO-CHIMIQUE

Dans l'objectif de caractériser l'état physico-chimique de chaque bief, l'Agence de l'Eau Artois Picardie nous a transmis les mesures réalisées sur toutes les stations présentes sur les canaux de navigation. La méthode de calcul a été celle du guide relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales publié par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, mis à jour en 2016, résultant de la Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (Directive Cadre sur l'Eau). La notation européenne comprend cinq classes de qualité. Mais dans cette étude, les modalités « très bonne » et « bonne » de la notation ont été regroupées pour conserver un système en 4 notations comme envisagé dans l'indice d'anthropisation. Des plus aucunes données ne correspond au seuil « très bon » dans nos canaux de navigation. Les seuils utilisés sont visibles en Tableau 1.

Tableau 1 : Seuils utilisés pour le calcul de la qualité physico- chimique (Source: Guide REEE-ESC mis à jour en 2016).

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état			
	Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Bilan de l'oxygène				
Oxygène dissous (mg O ₂ .l ⁻¹)	8	6	4	3
Taux de saturation en O ₂ dissous (%)	90	70	50	30
DBO ₅ (mg O ₂ .l ⁻¹)	3	6	10	25
Carbone organique dissous (mg C.l ⁻¹)	5	7	10	15
Température				
Eaux salmonicoles	20	21,5	25	28
Eaux cyprinicoles	24	25,5	27	28
Nutriments				
PO ₄ ³⁻ (mg PO ₄ ³⁻ .l ⁻¹)	0,1	0,5	1	2
Phosphore total (mg P.l ⁻¹)	0,05	0,2	0,5	1
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ .l ⁻¹)	0,1	0,5	2	5
NO ₂ ⁻ (mg NO ₂ ⁻ .l ⁻¹)	0,1	0,3	0,5	1
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ ⁻ .l ⁻¹)	10	50	*	*
Acidification¹				
pH minimum	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum	8,2	9	9,5	10
Salinité				
Conductivité	*	*	*	*
Chlorures	*	*	*	*
Sulfates	*	*	*	*
¹ acidification : en d'autres termes, à titre d'exemple, pour la classe bon état, le pH min est compris entre 6,0 et 6,5 ; le pH max entre 9,0 et 8,2. * : les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite.				

Les limites de chaque classe sont prises en compte de la manière suivante : [valeur de la limite supérieure (exclue), valeur de la limite inférieure (incluse)].

Les données utilisées sont celles des années 2014 à 2016 car les données de l'année 2017 n'étant pas encore disponibles. La localisation des stations est précisée en Figure 4.

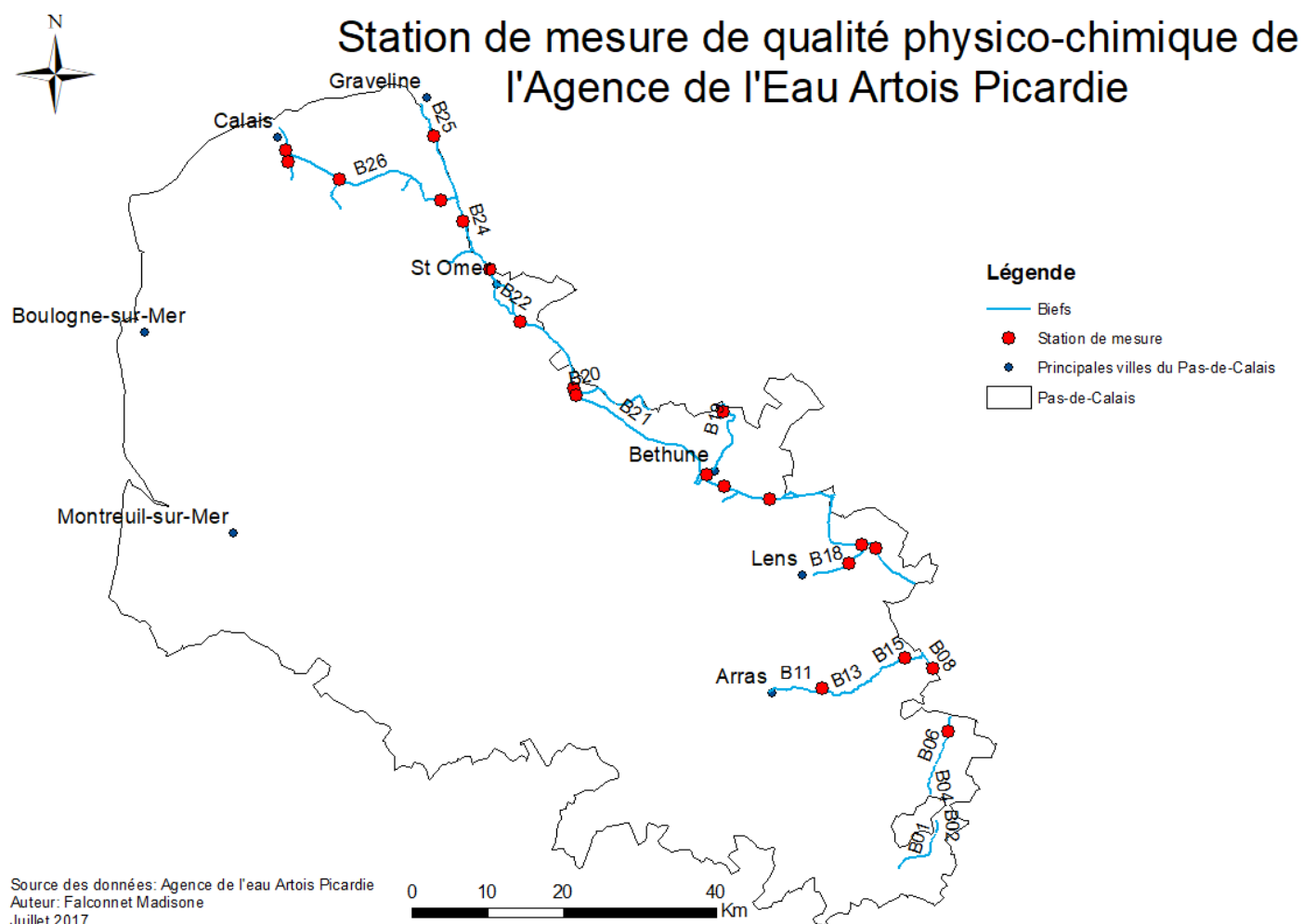


Figure 4 : Localisation des stations de mesure de l'Agence de l'Eau Artois Picardie dans les canaux de navigation.

Nous pouvons remarquer que certains biefs ne disposent pas de stations de mesure de la qualité physico-chimique de l'eau. Dans ce cas, l'état physico-chimique retenu est celui de la carte éditée en 2016 par l'Agence de l'Eau Artois Picardie se référant aux mesures de 2013 à 2015.

E. ÉTAT ET CARACTÉRISATION DES BERGES

La description précise des berges de 40 % du linéaire de canaux a été réalisée par VNF en 2008. La proportion des différentes catégories de berges suivantes a été mesurée : enrochements, gabions plats, maçonnerie, mur en béton, palplanches béton, palplanches métalliques, perré bitumineux, perré type Sensée, quai, tunage béton, tunage bois. Pour les 60 % de linéaire restants, nous avons réalisé une description simplifiée des berges. Pour cela, nous avons suivi les chemins de halage lorsque cela était possible en saisissant directement la description des berges dans un GPS portatif (Trimble Juno 3B). Le GPS portatif enregistre notre tracé exact durant notre cheminement sur le chemin du halage. À chaque changement de type de berges, il était nécessaire de s'arrêter et de créer une nouvelle entité.

Lorsqu'il n'était pas possible de suivre le chemin de halage (accès restreint, barrières, etc.), nous avons réalisé des points ponctuels le long du canal tous les deux kilomètres.

Durant ces prospections, nous avons caractérisé les berges en quatre modalités différentes. Les modalités très détaillées de l'étude de VNF ont ensuite été regroupées dans ces quatre catégories (Tableau 2).

Tableau 2 : Modalités de caractérisation des berges.

Modalité de notre étude	Modalité VNF	Description
Berge artificielle sans habitat	Palplanche métallique, béton (Figure 5), tunage béton, mur en béton, palplanches béton, palplanches métalliques, perré bitumineux, perré type Sensée, quai, maçonnerie	Berges ne présentant aucune potentialité d'habitat ou de reproduction pour l'ichtyofaune.
Berge artificielle dégradée		Tous les types de protection de berge artificielle présentant une dégradation suffisante pour induire une augmentation de l'habitat disponible pour l'ichtyofaune par la présence de lassis racinaire, d'interstices, de rugosité.
Berge artificielle avec habitat	Enrochements (Figure 6), gabions plats, tunage bois (Figure 7)	Berge présentant des interstices, une texture et un substrat plus biogène que de l'habitat lisse. Sont aussi incluses dans cette catégorie les berges artificielles sans habitat mais présentant de nombreuses frondaisons de branche (Figure 8).
Berge naturelle		Berge ne comportant pas de protection de berge artificielle.



Figure 5 : Berge artificielle en béton. (Source : FALCONNET Madisone)



Figure 6 : Berge en enrochement. (Source : FALCONNET Madisone)



Figure 7 : Berge en tunage bois. (Source : FALCONNET Madisone)

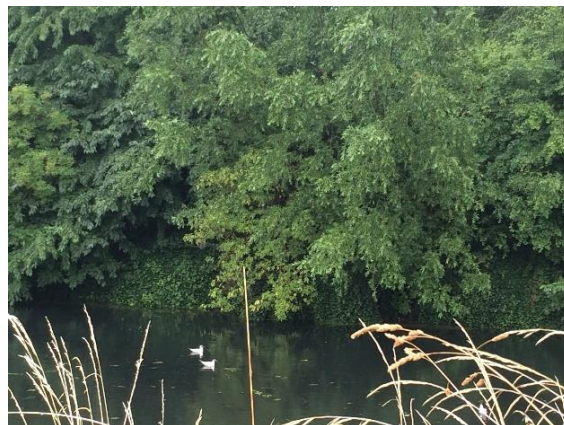


Figure 8 : Berge artificielle sans habitat mais présentant de nombreuses frondaisons de branches. (Source : FALCONNET Madisone)

F. CRÉATION DE L'INDICE D'ANTHROPISATION

Les variables retenues pour caractériser les pressions anthropiques s'exerçant sur les canaux de navigation sont: la densité de navigation (en tonnes de marchandises transportée par an), la pression de repoissonnement (en kg de poissons alevinés totalisé entre 2010 et 2015), la qualité physico-chimique et le type de berge.

Afin de créer l'indice et de donner un poids aux différentes valeurs des modalités, les variables sont transformées en modalités comme suit :

- Les modalités de ces quatre variables ont été scindées en quatre classes ayant une note de 0 (aucun impact) à 8 (impact le plus fort), suivant une suite 2ⁿ, ce qui permet de donner un poids plus important aux forts impacts (*Maire, 2014*). Pour chaque bief, ces quatre variables sont dotées d'une note (0, 2, 4 ou 8) selon leurs impacts. Aucune étude précédente ne permettant de comparer l'impact relatif de ces variables entre elles, nous avons choisi de ne pas donner plus de poids à une variable qu'à une autre.

- La notation des berges diffère des autres variables car la notation est au prorata du linéaire, on prend en compte le pourcentage de chaque modalité qu'on multiplie par le pourcentage du linéaire. Il en résulte des notes différentes de la notation de suite 2ⁿ pour permettre la prise en compte de la composition des berges qui peut différer sur un même bief.

- La somme des notes des quatre variables (de 0 à 32) représente l'indice d'anthropisation pour chaque bief.

- La détermination des classes a été faite par la méthode de Jenks, utilisé pour discrétiser une série de donnée en plusieurs classes. Ainsi, les bornes de classes sont identifiées parmi celles qui regroupent le mieux les valeurs similaires en optimisant les différences entre les classes. (*Smith et al., 2009, 2017 ; Jenks, 1967*). Les calculs ont été réalisés avec le logiciel ArcMap.

Les seuils retenus pour les quatre modalités de notation sont les suivants (Tableau 3) :

Tableau 3 : Note associée aux différentes modalités.

Note	Navigation commerciale (tonne)	Rempoissonnement (kg)	Type de berge	Qualité Physico chimique
0 = bon	0	0	Naturelle	Très bon - Bon
2 = moyen	1- 101 857	1-775	Artificielle avec habitat	Moyen
4 = médiocre	101 858 – 3 160 946	776- 2160	Artificielle dégradée	Médiocre
8= mauvais	≥ 3 160 947	≥ 2161 et	Artificielle sans habitat	Mauvais

G. CARACTÉRISATION DE L'ICHTYOFAUNE DES CANAUX DE NAVIGATION

Lors de mon stage, j'ai pu participer à l'échantillonnage des communautés de poissons dans six biefs. Un échantillonnage similaire avait été mené en 2016 dans d'autres canaux de navigation du Pas-de-Calais. Un total de 13 biefs a été échantillonné durant ces deux années. La sélection des biefs a été faite en fonction de leur nombre de connexion aux annexes hydrauliques.

Les échantillonnages ont été réalisés à l'aide d'un bateau pneumatique de marque Silinger et d'un groupe portatif de pêche électrique de type HERON© (Figure 9).



Figure 9 : Matériel de pêche embarqué de type HERON© (Source : FDAAPPMA62).

Pour caractériser à la fois les fonctions de reproduction (adultes) et de nourricerie (juvéniles de l'année) des canaux de navigation, les poissons ont été échantillonnés au mois de juin, correspondant à la période de frai des cyprinidés mais permettant aussi de collecter des alevins ou des juvéniles de l'année.

L'ichtyofaune présente dans les canaux de navigation a été estimée grâce à des points d'Estimation Ponctuelle d'Abondance (EPA) (Persat et al., 1985 ; Laffaille et al., 2005). Pour chaque point d'échantillonnage, un courant continu est envoyé dans l'eau pendant une durée minimale de 30 secondes, avec généralement une interruption (sortie et remise à l'eau de l'anode). Cela permet aux poissons pouvant être piégés dans les habitats ou ceux réagissant peu à la première salve électrique, de provoquer une nouvelle réaction de « nage forcée » vers l'anode, en particulier ceux immobilisés par l'électronarcose (ONEMA, 2008). La plongée dans l'eau de l'anode doit décrire un cercle d'un mètre de diamètre. Deux opérateurs munis d'épuisettes capturent tous les individus jusqu'à épuisement du point (i.e. jusqu'à ce que plus aucun poisson ne soit présent). A la fin du point, les poissons sont déterminés à l'espèce et mesurés individuellement puis remis à l'eau immédiatement. Si des juvéniles de l'année étaient capturés mais non déterminables du fait de leur trop petite taille, nous avons prélevé quelques individus qui ont été identifiés sous loupe binoculaire ultérieurement à l'aide de guide de détermination (Pinder, 2001) Un total de 50 points d'EPA a été effectué dans chacun des biefs échantillonnés. Les biefs pouvant mesurer jusqu'à 50 km de long, il n'était parfois pas possible d'échantillonner la totalité de la longueur du bief. Les points ont donc

été répartis sur quelques kilomètres d'une berge à l'autre, en prospectant aussi en pleine eau. La prospection s'est effectuée de manière à avoir la plus grande diversité d'habitats possible.

Chaque point d'EPA a été géolocalisé à l'aide du GPS portable. Pour chaque point, plusieurs caractéristiques ont également été relevées : coordonnées géographiques, profondeur (donné par l'écho sondeur Garmin Echo 151 embarqué), type de végétation primaire (pas de végétation, hydrophyte flottante, hydrophyte fixe, hélophyte, algue filamenteuse), type de végétation secondaire (pas de végétation, hydrophyte flottante, hydrophyte fixe, hélophyte, algue filamenteuse) et type d'habitat (nul, frondaisons de branches, palplanches, tunage, blocs, bois mort, macrophytes, lassis racinaire). Ces données seront exploitées ultérieurement dans le projet Connect'ZH.

Pour chaque bief pêché, nous avons calculé la Capture Par Unité d'Effort par espèce comme suit :

$$CPUE \text{ (Capture Par Unité d'Effort)} = \frac{\text{Nombre d'individus de l'espèce capturée}}{\text{Nombre de points d'EPA}}$$

Cette mesure équivaut au nombre moyen de poissons de l'espèce capturée par EPA. Cette variable a été considérée comme un proxy de l'abondance de chaque espèce.

En ce qui concerne l'occurrence, c'est-à-dire la possibilité de capturer un poisson sur le point, le calcul a été le suivant. Les données quantitatives de nombre de poissons par point ont été transformées en données de présence/absence par EPA pour chaque espèce et chaque bief ; 1 correspondant à la présence de l'espèce sur l'EPA, 0 correspondant à l'absence de l'espèce sur l'EPA.

$$\text{Occurrence par espèce} = \frac{\sum \text{présence absence de l'espèce}}{\text{Nombre d'EPA}}$$

Une occurrence de 1 indique que l'espèce a été présente à chaque EPA du bief tandis qu'une occurrence de 0 indique que l'espèce a été absente sur l'ensemble des EPA du bief.

L'indice d'anthropisation par bief a été mis en relation avec les communautés de poissons pêchées pour explorer les liens pouvant exister entre ces deux mesures, d'abord à l'aide de corrélation linéaire puis ensuite par un test de Spearman comparant l'indice d'anthropisation à respectivement la richesse spécifique puis l'abondance.

III. Résultats et discussion

A. GABARIT PHYSIQUE

Les biefs du Pas-de-Calais ont une certaine hétérogénéité avec à une largeur maximale de 76 m pour les biefs B08 et B21, la moyenne se situant à 43 m (Tableau 2). Les biefs B19 et B27 présentent des largeurs très réduites (12 et 10 m respectivement) car ils ont été fermés à la navigation depuis plus de 70 ans et leur profil ne présente maintenant plus réellement celui d'un canal de navigation.

La longueur des biefs est aussi hétérogène, dépendant de la distance entre deux écluses. Le bief le plus long est le B21 avec plus de 49 km, quand le bief B9, qui est le plus court, ne s'étend que sur 945 m (Tableau 3).

Tableau 4 : Longueur (en m) et largeur moyenne (en m) des biefs étudiés.

	Longueur (en m)	Largeur moyenne (m)
B01	7 715	44
B02	1 725	50
B04	1 544	50
B05	2 694	55
B06	6 547	56
B08	4 206	76
B09	945	46
B10	1 738	37
B11	2 684	35
B12	2 310	33
B13	7 135	49
B14	4 041	32

	Longueur (en m)	Largeur moyenne (m)
B15	2 101	36
B16	551	32
B17	1 759	35
B18	41 562	72
B19	6 727	12
B20	12 408	27
B21	49 186	76
B22	4 458	55
B23	2 195	32
B24	37 486	53
B25	5 934	38
B26	34 318	35
B27	9 227	10

B. PRESSIONS LIÉES À LA NAVIGATION

La navigation commerciale durant l'année 2016 n'est pas homogène sur les biefs ; certains tronçons sont beaucoup plus utilisés que d'autres (Tableau 5).

Tableau 5 : Trafic commercial (en tonnes de marchandises transportées) sur les biefs durant l'année 2016

Bief	Trafic commercial en tonnes (2016)
B01	3 083 576
B02	3 083 576
B04	3 083 576
B05	3 083 576
B06	3 083 576
B08	3 160 946

Bief	Trafic commercial en tonnes (2016)
B15	250
B16	250
B17	250
B18	4 079 115
B19	0
B20	50 999

B09	250
B10	250
B11	250
B12	250
B13	250
B14	250

B21	3 876 851
B22	3 648 297
B23	3 648 297
B24	3 750 154
B25	0
B26	101 857
B27	0

Trois biefs sont totalement exempts de navigation commerciale (biefs B19, B25 et B27) quand certains supportent le transport jusqu'à 4 millions de tonnes de marchandises (B18). Il existe un axe principal de trafic entre Saint-Omer et le sud du département (Figure 10). Il peut sembler anormal que la navigation commerciale soit faible sur les B24 et B26 alors qu'ils sont en contact avec la mer du Nord. Mais cela peut s'expliquer par la présence d'une autre entrée de navigation dans le département du Nord qui n'est pas prise en compte ici.

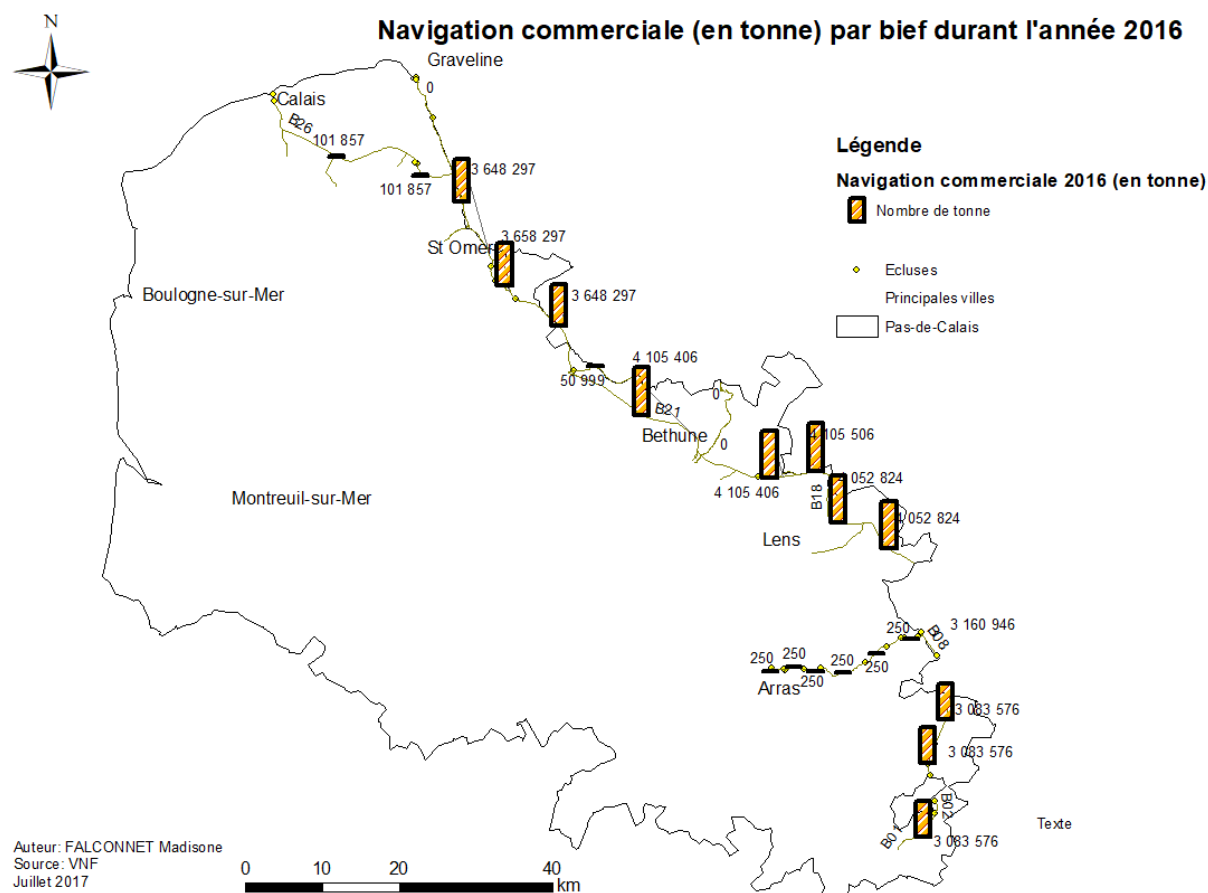


Figure 10 : Navigation commerciale (en tonnes de marchandises transportées) par bief durant l'année 2016.

C. PRESSIONS LIÉES À LA PÊCHE DE LOISIR

Les poissons déversés sont majoritairement des cyprinidés (gardons et tanches) et des brochets. Sur l'ensemble des biefs considérés dans cette étude, on dénombre 11 295 kg au minimum de poissons déversés pour la pratique du loisir pêche entre 2010 et 2015. Tous les biefs ne sont néanmoins pas rempoissonnés (Figure 11).

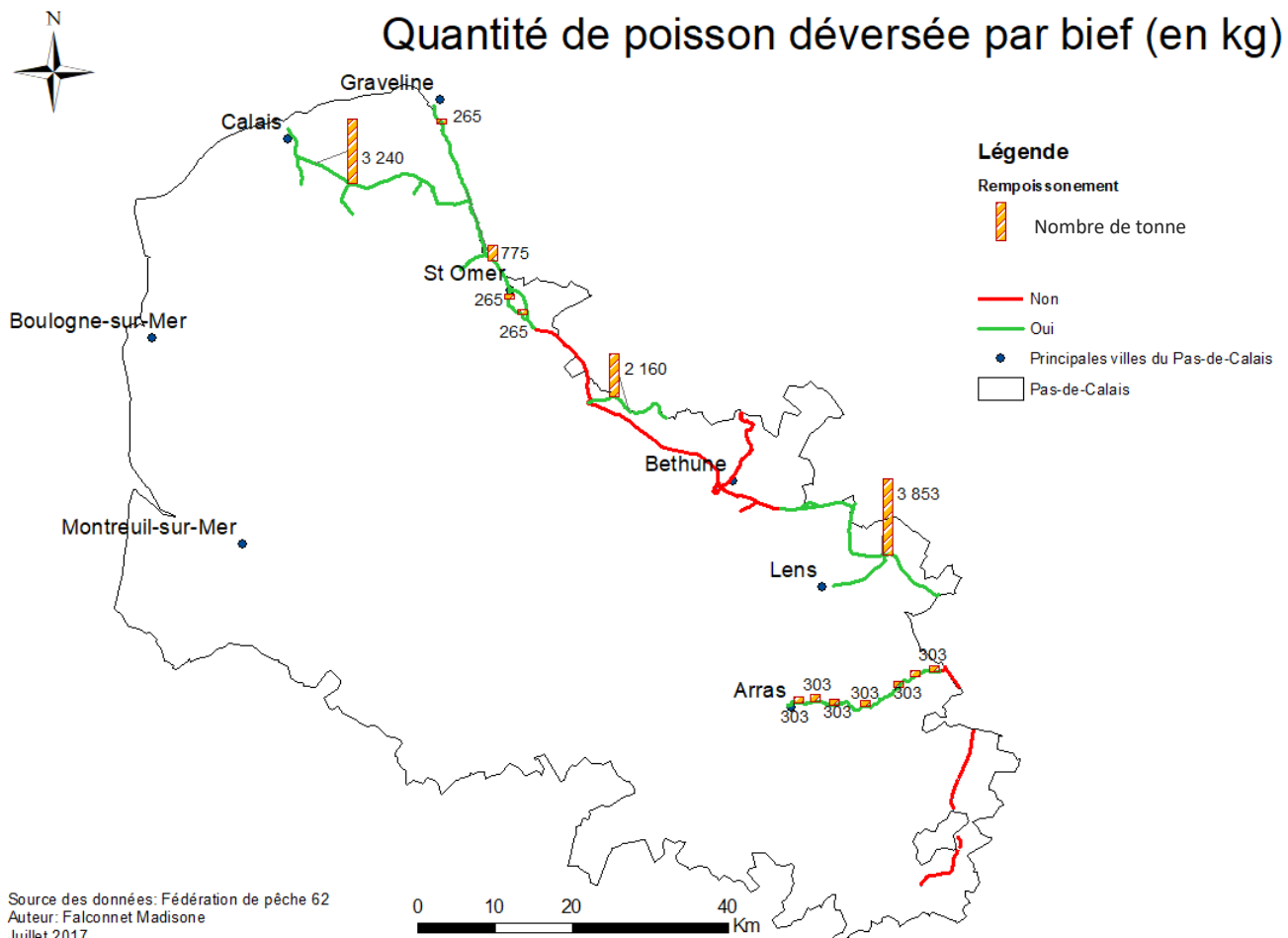


Figure 11 : Quantité de poissons déversés par bief (en kg) entre l'année 2010 et 2015. En vert les biefs où il y a eu un déversement et en rouge les biefs sans déversement.

D. ÉTAT PHYSICO-CHIMIQUE

Sur les 25 biefs, 14 n'ont pas de station de mesure de la qualité physico-chimique de l'eau, alors que certains ont plusieurs stations sur leur linéaire. Dans le cas où plusieurs stations étaient présentes sur le même bief, la moyenne des valeurs des stations a été calculée pour déterminer la note du bief (Tableau 5).

Tableau 6 : Classe de qualité physico-chimique pour chaque bief (vert : bonne ou très bonne ; jaune : moyen ; orange : médiocre ; rouge : mauvais).

Bief	Classe de qualité	Bief	Classe de qualité
B01		B14	
B02		B15	
B04		B16	
B05		B17	
B06		B18	
B08		B19	
B09		B20	
B10		B21	
B11		B22	
B12		B23	
B13		B24	
		B25	
		B26	
		B27	

Un seul bief obtient la plus mauvaise classe de qualité (B20), 15 biefs ont une qualité physico-chimique qualifiée de médiocre, trois biefs ont une qualité moyenne et six biefs du sud du département se distinguent avec une bonne qualité de l'eau.

E. ÉTAT ET CARACTÉRISATION DES BERGES

Six biefs ont l'intégralité de leurs berges totalement artificielles et sans habitat (Tableau 7). Seuls trois biefs ont des portions naturelles à divers degrés. B19 et B27 sont notamment les tronçons de canaux non navigués depuis plus de 70 ans et ayant retrouvé un cours naturel quasiment sans protection de berge. Vingt biefs sur les vingt-cinq étudiés ont des berges artificielles sans habitat sur 50% ou plus du linéaire, la modalité la plus représentée après est celle des berges artificielles avec habitat, on constate très peu de berge artificielle dégradée (maximum de 39% pour B20, six biefs ont été recensés avec ce type de berge).

Tableau 7 : Caractéristiques des berges des biefs.

Bief	Artificielle sans habitat (%)	Artificielle dégradée (%)	Artificielle avec habitat (%)	Naturelle (%)
B01	100	0	0	0
B02	100	0	0	0
B04	100,0	0	0	0
B05	96,3	3,7	0	0
B06	70,4	0	29,6	0
B08	100	0	0	0

Bief	Artificielle sans habitat (%)	Artificielle dégradée (%)	Artificielle avec habitat (%)	Naturelle (%)
B15	89,3	4,2	6,5	0
B16	83,6	16,4	0	0
B17	91	9	0	0
B18	77,3	0	22,7	0
B19	0	0	0	100

B09	50	0	50	0
B10	50	0	50	0
B11	63,7	0	36,3	0
B12	72,9	0	27,1	0
B13	88,9	0	11,1	0
B14	96,5	3,5	0	0

B20	58,1	2,8	39	0
B21	90,6	3,1	6,3	0
B22	100	0	0	0
B23	100	0	0	0
B24	80,8	0,4	18,8	0
B25	19,2	0	51,2	29,6
B26	50,3	29,5	20,2	0
B27	0	0	6,3	93,7

F. INDICE D'ANTHROPISATION

Les scores finaux sont les suivants (Tableau 8) :

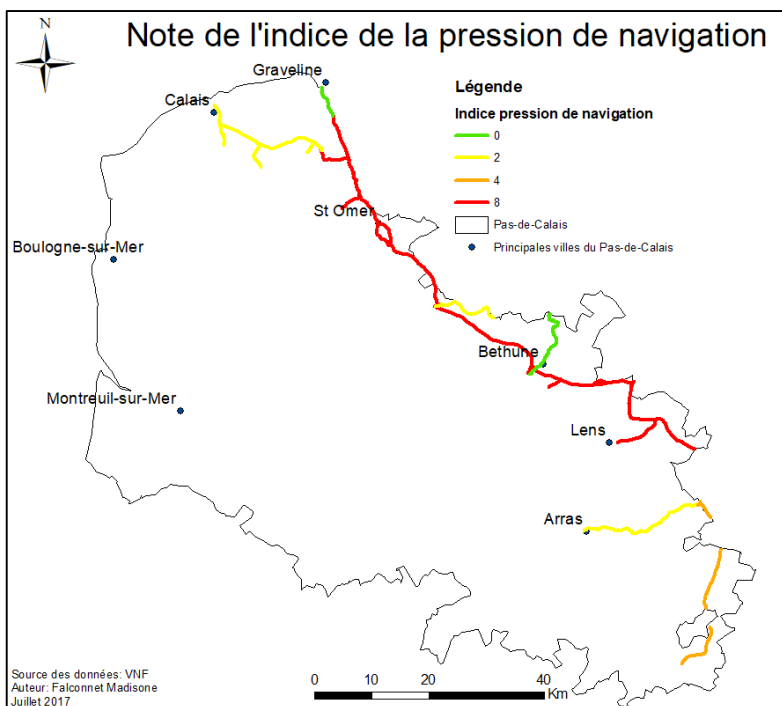
Tableau 8: Indice final d'anthropisation des 25 tronçons des canaux de navigation du Pas de Calais. Vert : bon ; jaune : moyen ; orange : médiocre ; rouge : mauvais.

	Physico chimie	Navigation (en tonne)	Pression de rempoissonnement (kg)	Type de berge				INDICE FINAL
		2016	De 2010 à 2015	AAH	AD	ASH	NAT	
B01	0	4,00	0			8,00		12,00
B02	0	4,00	0			8,00		12,00
B04	0	4,00	0			8,00		12,00
B05	0	4,00	0		4,00	8,00		11,85
B06	0	4,00	0	2,00		8,00		10,22
B08	0	4,00	0			8,00		12,00
B09	4	2,00	2	2,00		8,00		13,00
B10	4	2,00	2	2,00		8,00		13,00
B11	4	2,00	2	2,00		8,00		13,82
B12	4	2,00	2	2,00		8,00		14,38
B13	4	2,00	2	2,00		8,00		15,33
B14	4	2,00	2		4,00	8,00		15,86
B15	4	2,00	2	2,00	4,00	8,00		15,44
B16	4	2,00	2		4,00	8,00		15,35
B17	4	2,00	2		4,00	8,00		15,64
B18	4	8,00	8	2,00		8,00		26,64
B19	4	0,00	0				0,00	4,00

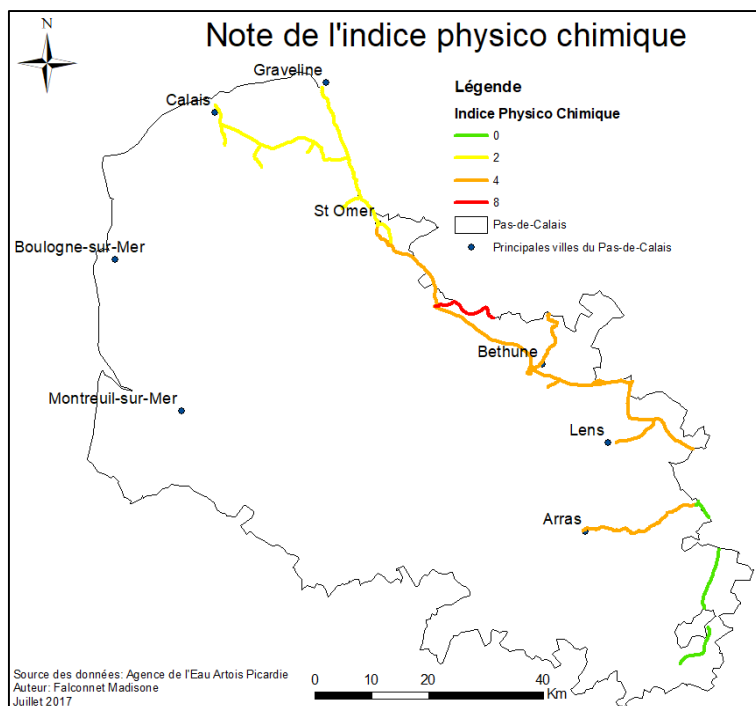
B20	8	2,00	4	2,00	4,00	8,00		19,54
B21	4	8,00	0	2,00	4,00	8,00		19,50
B22	4	8,00	2			8,00		22,00
B23	4	8,00	2			8,00		22,00
B24	2	8,00	2	2,00		8,00		18,84
B25	2	0,00	2	2,00		8,00	0,00	6,56
B26	2	2,00	8	2,00	4,00	8,00		17,61
B27	4	0,00	0	2,00			0,00	4,13

L'indice final présente des décimales et pas uniquement des multiples de 2 car la note des types de berge a été faite au prorata du linéaire. D'après l'indice synthétique développé, le bief le plus anthropisé est B18 avec une note de 26,64, proche de la note maximale de 32. Les biefs les moins anthropisés sont B19, B27 et B25, avec des notes comprises entre 4 et 6,56. La note moyenne de l'indice final est de 14,51. Douze biefs sur 25 ont une note supérieure à la moyenne, les données sont donc bien distribuées.

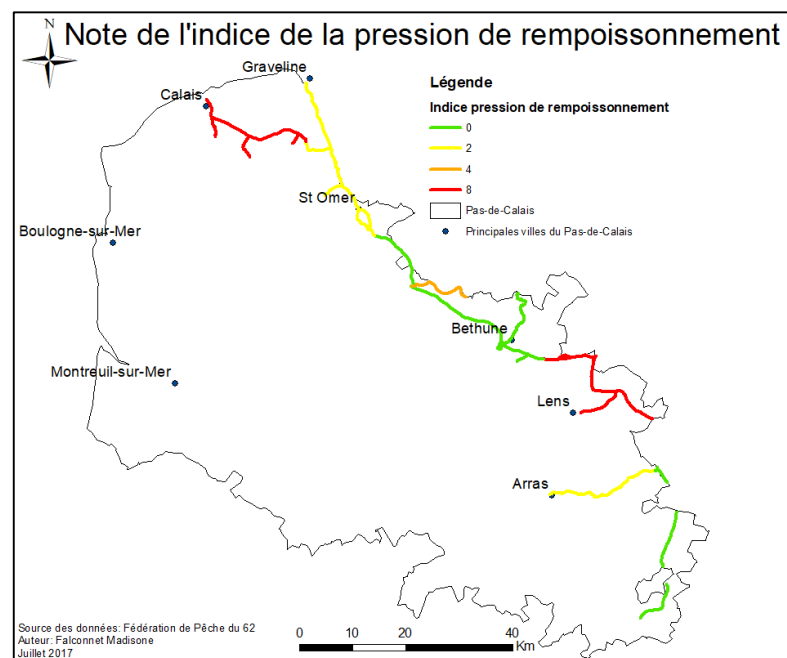
La Figure 12 ci-dessous représente les notes de chaque indice pour chaque bief. Quel que soit l'indice considéré, nous pouvons remarquer une distribution spatiale assez hétérogène. L'indice décrivant le type de berges est celui qui attribue la note la plus élevée au plus grand nombre de biefs (8 au total en classe de qualité mauvaise). L'indice de pression de navigation indique une forte disparité entre la portion Lens-Saint Omer et le reste du réseau navigable qui voit passer sur son linéaire beaucoup moins de bateaux de transport de marchandise.



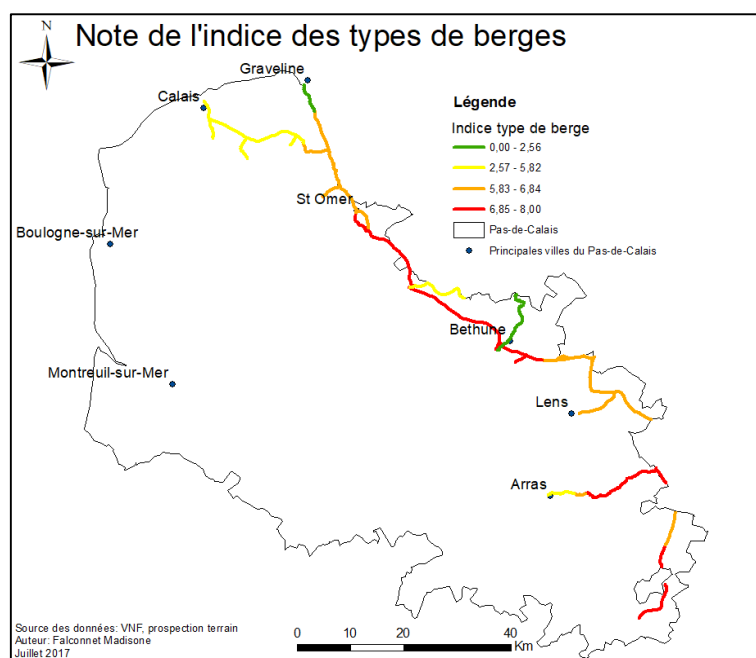
a) Pression de navigation.



b) Qualité physico-chimique.



c) Pression de rempoissonnement.



d) Types de berges.

Figure 12: Note détaillée des différentes modalités de l'indice d'anthropisation

Les valeurs de l'indice final ont été scindées en quatre classes selon la méthode de Jenks, indiquant un degré d'anthropisation faible, moyen, fort ou très fort (Figure 13). Cet indice synthétique montre une structure spatiale assez marquée.

Seuls trois biefs subissent une pression anthropique qualifiée de faible (B19, B25 et B27). B19 et B27 ne sont plus navigués depuis plus de 70 ans, ce qui affecte donc leur indice d'anthropisation, il serait peut être judicieux de les éliminer de l'étude car ce ne sont plus des canaux de navigation, ni par leur utilisation, ni par leur configuration physique. B25 est le « dernier réel bief » ayant une pression anthropique faible. Cela s'explique par l'absence de navigation sur ce bief. En effet, bien qu'il soit relié à la mer, il n'est plus utilisé par les bateaux pour entrer dans le domaine fluvial continental. Ces bateaux transitent par le département du Nord avant d'arriver dans les canaux du Pas-de-Calais. En outre, le bief B25 possède des berges naturelles sur près de 94 % du linéaire.

Les biefs ayant un indice synthétique d'anthropisation moyen se concentrent au sud du département. En effet, de B01 à B08, la qualité physico-chimique de l'eau est bonne et la pression de rempoissonnement est nulle. En revanche les berges sont totalement artificielles et sans habitat et la pression de navigation y est forte.

De B12 à B17, la pression anthropique est qualifiée de forte Ceci s'explique par un indice de qualité physico-chimique mauvais et à des berges majoritairement artificielles sans habitat. De plus, la navigation et le rempoissonnement sont aussi présents.

Enfin, les biefs subissant la plus forte anthropisation sont ceux situés entre Lens et le nord de Saint-Omer. La pression de navigation y est forte, sauf B20 où la pression de navigation est moyenne mais pour lequel l'indice de qualité physico-chimique est mauvais.

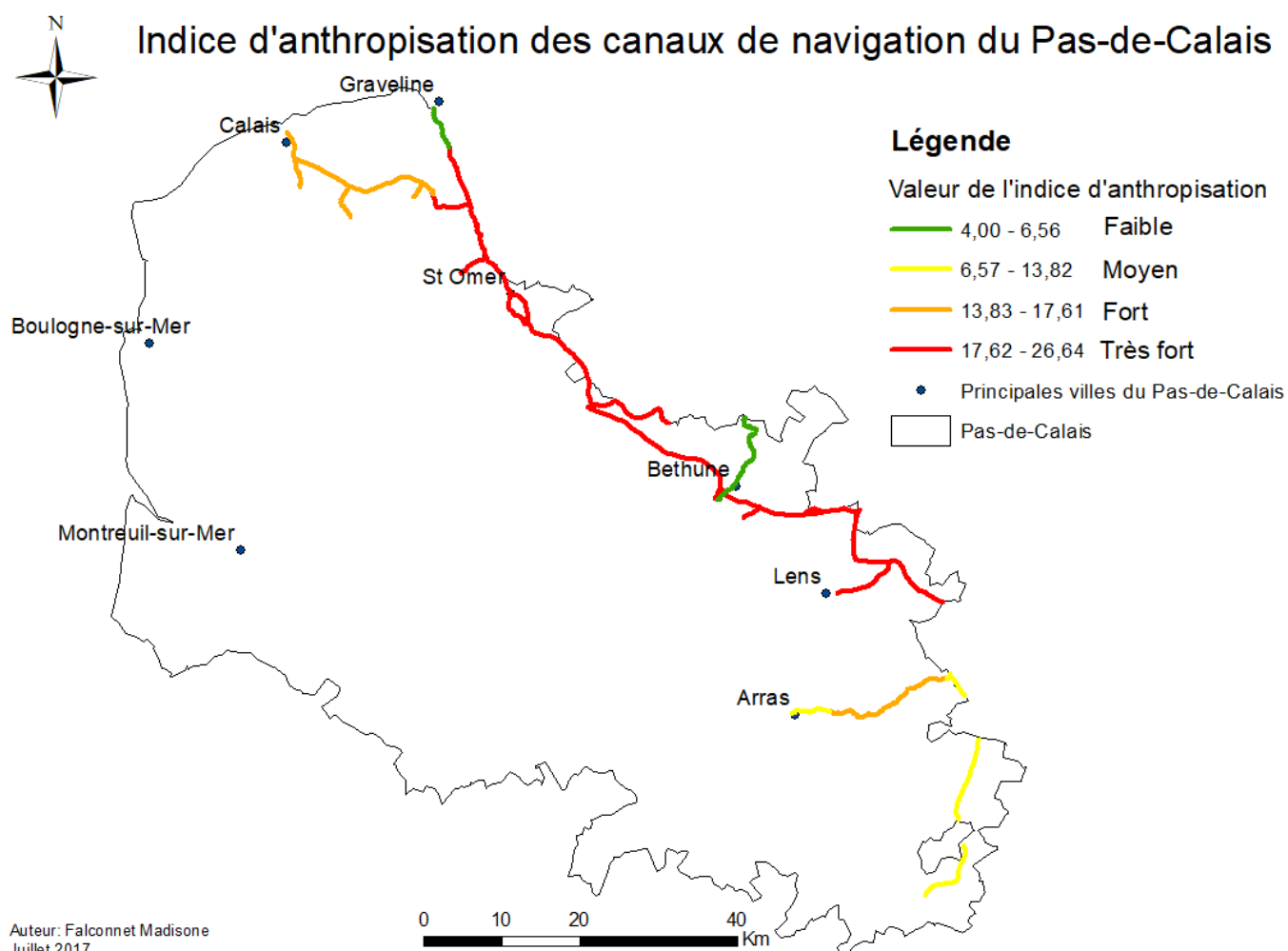


Figure 13 : Indice synthétique d'anthropisation des canaux de navigation du Pas-de-Calais.

L'indice d'anthropisation a été développé avec les données qu'il nous a été possible de récupérer ou d'acquérir par nous-même lors de prospection terrain. Cependant, il ne contient pas toutes les informations que j'aurais souhaité y voir figurer tels que les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) prélevant ou rejetant dans les canaux et la densité de navigation de plaisance qu'il n'a pas été possible de quantifier pour tous les biefs. L'indice synthétique semble tout de même fonctionnel et permet de hiérarchiser les biefs entre eux par rapport à leur niveau d'anthropisation.

G. ICTHYOFAUNE DES CANAUX DE NAVIGATION

Les deux campagnes d'échantillonnage ont permis d'inventorier 13 biefs sur les 25 délimités par notre étude. Le Tableau 9 présente les captures par unité d'effort (CPUE) par espèce moyennées pour l'intégralité des 13 biefs inventoriés. Au total, 19 espèces ont été échantillonnées sur l'ensemble des pêches effectuées dans les 13 biefs. Le gardon (CPUE moyen = 0,412, max = 2,34 sur B26 ; Tableau 9 et Tableau 10) et l'épinoche (CPUE moyen = 0,211, max = 0,96 pour B10) sont les deux espèces les plus abondantes. Bien

que leurs effectifs soient soutenus par du rempoissonnement, la tanche et le brochet sont très peu abondants.

Nous pouvons constater une très forte variabilité des CPUE entre les 13 biefs pour toutes les espèces (écart-types élevés). Ce résultat n'est que peu étonnant au vu de l'hétérogénéité des biefs inventoriés (Tableau 9).

Tableau 9: CPUE (Capture par Unité d'Effort ; moyenne et écart-type) par espèce pour l'ensemble des 13 biefs inventoriés.

Famille	Nom français	Nom scientifique	Code espèce	CPUE	
				Moyenne	Ecart-type
Anguillidae	Anguille européenne	<i>Anguilla anguilla</i>	ANG	0,037	0,116
Cobitidae	Loche de rivière	<i>Cobitis taenia</i>	LOR	0,008	0,028
Cottidae	Chabot	<i>Cottus gobio</i>	CHA	0,071	0,110
	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	ABL	0,022	0,053
Cyprinidae	Brème bordelière	<i>Abramis bjoerkna</i>	BRB	0,037	0,111
	Brème commune	<i>Abramis brama</i>	BRE	0,031	0,053
	Carassin	<i>Carassius carassius</i>	CAS	0,011	0,033
	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	CCO	0,008	0,015
	Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>	CHE	0,003	0,011
	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	GAR	0,412	0,615
	Goujon	<i>Gobio gobio</i>	GOU	0,014	0,044
	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	ROT	0,068	0,209
	Tanche	<i>Tinca tinca</i>	TAN	0,008	0,015
Esocidae	Brochet	<i>Esox lucius</i>	BRO	0,008	0,013
Gasterosteidae	Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	EPI	0,211	0,313
	Epinochette	<i>Pungitius pungitius</i>	EPT	0,031	0,072
	Grémille	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	GRE	0,006	0,013
Percidae	Perche européenne	<i>Perca fluviatilis</i>	PER	0,077	0,131
	Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	SAN	0,018	0,046

Tableau 10 : CPUE moyen par espèce et par bief.

	ABL	ANG	BRB	BRE	BRO	CAS	CCO	CHA	CHE	EPI	EPT
B10	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0	0,96	0,26
B11	0	0	0	0	0,04	0	0,02	0,04	0	0,7	0,06
B12	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0,08	0,06
B02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B26	0,14	0,42	0,4	0,04	0	0,12	0	0	0	0,28	0,02
B05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B13	0	0	0	0	0,02	0	0,04	0,2	0	0,36	0
B15	0	0	0	0	0,02	0	0,04	0,2	0	0,36	0
B18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B21	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0
B23	0	0,06	0	0,18	0,02	0	0	0	0	0	0
B24	0,14	0	0,08	0,08	0	0,02	0	0	0	0	0
B06	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0,04	0	0

	GAR	GOU	GRE	LOR	PER	ROT	SAN	TAN
B10	0	0	0	0	0	0	0	0
B11	0	0	0	0	0	0	0	0
B12	0	0	0	0	0	0,02	0	0
B02	0,26	0	0	0	0	0	0	0
B26	2,34	0,16	0,02	0,1	0,28	0,76	0,16	0,04
B05	0,18	0,02	0	0	0	0	0	0
B13	0,52	0	0	0	0,08	0	0	0
B15	0,52	0	0	0	0,08	0	0	0
B18	0	0	0	0	0	0	0	0,02
B21	0,26	0	0,04	0	0	0	0,02	0
B23	0,54	0	0	0	0,42	0,08	0	0,04
B24	0,38	0	0,02	0	0,02	0	0,06	0
B06	0,36	0	0	0	0,12	0,02	0	0

Le Tableau 10 présente les CPUE par espèce et par biefs, on remarque une grande disparité entre les biefs, ce qui avait déjà été aperçu grâce aux valeurs de l'écart type du Tableau 9.

Le Tableau 11 présente les occurrences moyennes pour chaque espèce calculée pour l'ensemble des 13 biefs échantillonnés. L'occurrence la plus forte est celle du gardon (0,168) mais elle reste néanmoins faible puisqu'elle indique que l'espèce est présente dans seulement 16 % des points d'échantillonnage.

Tableau 11 : Occurrence moyenne des différentes espèces sur la totalité des biefs inventoriés.

Famille	Nom français	Nom scientifique	Code espèce	Occurrence	
				Moyenne	Ecart-type
Anguillidae	Anguille européenne	<i>Anguilla anguilla</i>	ANG	0,020	0,057
Cobitidae	Loche de rivière	<i>Cobitis taenia</i>	LOR	0,006	0,022
Cottidae	Chabot	<i>Cottus gobio</i>	CHA	0,072	0,112
	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	ABL	0,020	0,049
Cyprinidae	Brème bordelière	<i>Abramis bjoerkna</i>	BRB	0,025	0,068
	Brème commune	<i>Abramis brama</i>	BRE	0,032	0,053
	Carassin	<i>Carassius carassius</i>	CAS	0,017	0,039
	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	CCO	0,006	0,013
	Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>	CHE	0,003	0,011
	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	GAR	0,168	0,209
	Goujon	<i>Gobio gobio</i>	GOU	0,008	0,022
	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	ROT	0,022	0,043
	Tanche	<i>Tinca tinca</i>	TAN	0,009	0,019
Esocidae	Brochet	<i>Esox lucius</i>	BRO	0,006	0,017
Gasterosteidae	Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	EPI	0,126	0,171
	Epinochette	<i>Pungitius pungitius</i>	EPT	0,026	0,044
	Grémille	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	GRE	0,008	0,015
Percidae	Perche européenne	<i>Perca fluviatilis</i>	PER	0,075	0,131
	Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	SAN	0,015	0,031

H. RELATION ENTRE INDICE SYNTHETIQUE D'ANTHROPISATION ET COMMUNAUTES DE POISSONS DANS LES BIEFS

Les inventaires de poissons ont été réalisés sur 13 des 25 biefs étudiés (Tableau 12).

Tableau 12 : Indice synthétique d'anthropisation, richesse spécifique et nombre total de poissons capturés par bief. Les biefs sont classés selon l'indice d'anthropisation croissant. Les couleurs correspondent à la modalité de qualité correspondante.

	Indice d'anthropisation	Richesse spécifique	Nombre total de poisson capturé
B06	10,22	5	60
B05	11,85	2	10
B02	12	1	13
B10	13	3	77
B11	13,82	5	43
B12	14,38	4	16
B13	15,33	6	61
B15	15,44	7	115
B26	17,61	15	264
B24	18,84	8	66
B21	19,5	4	31
B23	22	7	205
B18	26,64	1	1

Les résultats sont très disparates. Nous pouvons observer que le bief avec la note d'anthropisation la plus élevée est celui avec le moins de poissons capturés. Mais, le second bief le moins anthropisé parmi ceux inventoriés possède une richesse spécifique de deux seulement, avec 10 individus capturés ; ce qui est inférieur à la valeur du premier quartile des deux séries (Figure 14). Parmi les quatre biefs les plus anthropisés, la moitié est au-dessus des valeurs des médianes de richesse spécifique et de nombre de poissons capturés, alors que sur les cinq biefs les moins anthropisés, seuls deux ont une richesse spécifique et/ou un nombre total de poissons capturés supérieur ou égal à la médiane.

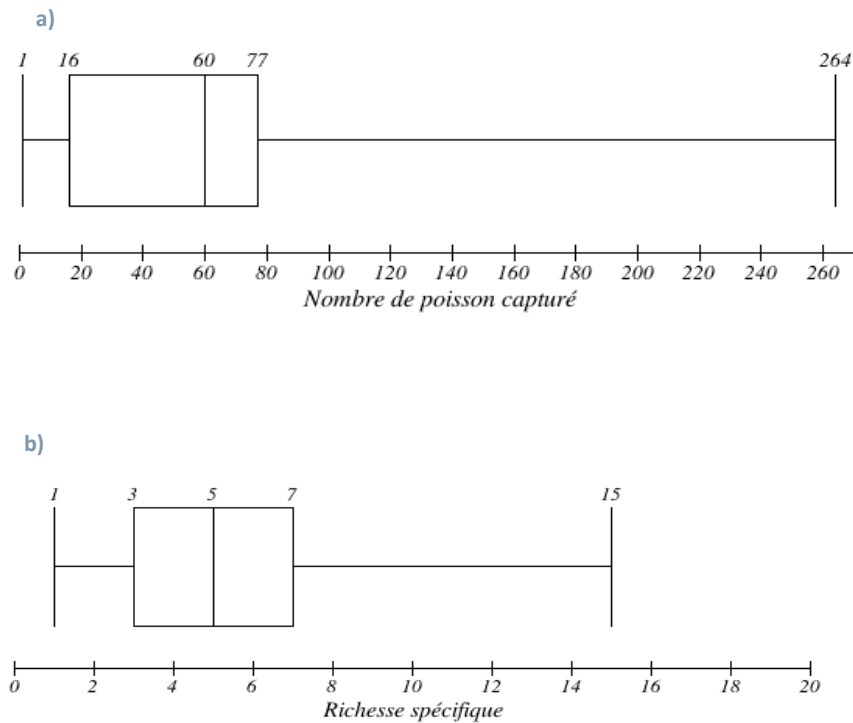


Figure 14: a) Boîte à moustache du nombre d'individus capturés par bief
b) Boîte à moustache de la richesse spécifique de l'ichtyofaune capturée dans les biefs.

La Figure 15 ci-dessous traduit l'absence d'une relation linéaire significative qui pourrait exister entre l'indice d'anthropisation d'une part et la richesse spécifique ou le nombre total de poissons capturés d'autre part avec un coefficient de détermination R^2 proche de 0 dans les deux cas.

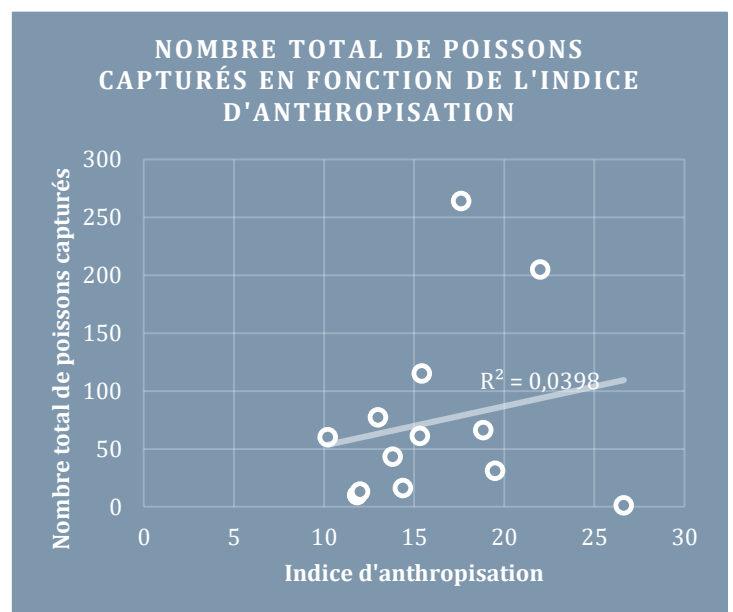
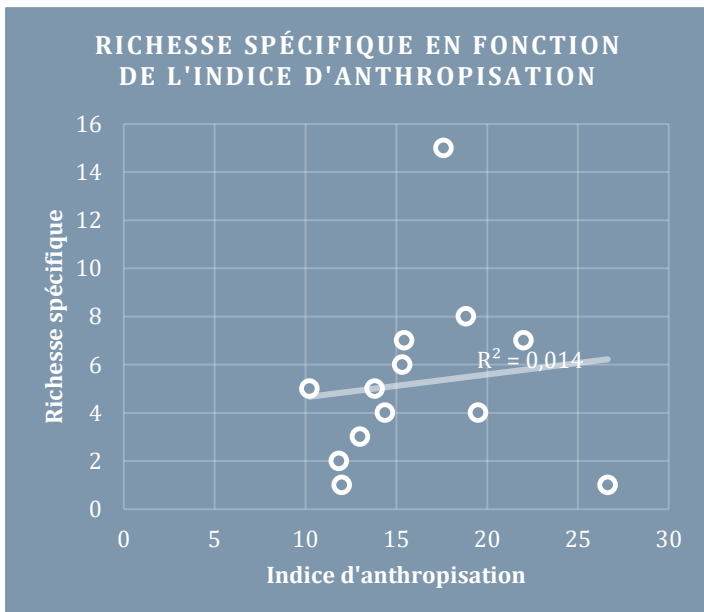


Figure 15: Richesse spécifique en fonction de l'indice d'anthropisation et nombre total de poissons capturés en fonction de l'indice d'anthropisation

Un test de corrélation de Spearman a été pratiqué sur les deux séries de variables pour tester une relation non affine. Il en résulte une absence de corrélation significative entre d'une part la richesse spécifique et l'indice d'anthropisation (avec $p=0,29$ pour une valeur de $r=0,4845$ au seuil $\alpha=5\%$) et d'autre part le nombre total de poissons capturés en fonction de l'indice d'anthropisation (avec $p=0,47$ pour une valeur de $r=0,4845$ au seuil $\alpha=5\%$)

Le bief ayant la plus grande richesse spécifique et le plus grand nombre de poissons capturés est B26, malgré un indice d'anthropisation fort (Tableau 12). Ce résultat est d'autant plus marquant qu'on y trouve même une espèce patrimoniale : la loche de rivière. La configuration du bief B26 très particulière (avec des annexes délaissées pour la navigation et qui ne sont plus entretenues par VNF, ce qui induit un arrêt des curages et du remplacement des protections de berge ; Figure 20) peut expliquer ce résultat. En effet, du fait de l'arrêt de la navigation sur ces bras délaissés, on assiste à une dégradation des berges artificielles, à une réduction de la profondeur et à l'apparition d'hélophytes et d'hydrophytes. Tous ces changements sont porteurs d'amélioration de l'habitat pour la faune piscicole, notamment à des fins de reproduction.

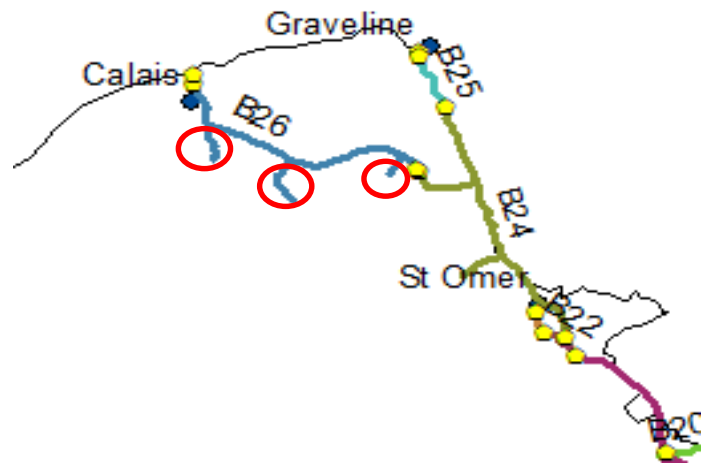


Figure 16: Configuration du bief B26 avec ses annexes délaissées entourées en rouge.

IV. Conclusion

Les caractéristiques retenues pour le développement d'un indice d'anthropisation ont été la pression de navigation commerciale, la qualité physico-chimique, la pression de rempoissonnement et le type de berges. L'idéal aurait été d'inclure aussi la navigation de plaisance et les prélèvements et rejets d'eau des ICPE, mais les données n'ont pas été exploitables pour la navigation et non transmises dans les délais pour les ICPE. Neanmoins, l'indice développé permet de hiérarchiser les biefs suivant leur degré de pression anthropique ; la plus mauvaise note est de 26,64 sur un maximum de 32 que pouvait atteindre la notation. La meilleure note est de 4,00 mais concerne un bief qui n'est plus navigué depuis plus de 70 ans. Il serait sûrement judicieux de l'éliminer de l'étude initiale Connect'ZH qui se veut être un outil de décision actuel.

Les canaux de navigation ne disposent que de très peu d'habitat pour la faune piscicole, les berges étant pour la plupart totalement artificielles et lisses. Ainsi, les différents biefs inventoriés ont montré une diversité et des densités de populations de poissons faibles, à l'exception de deux biefs. L'espèce dominante est le gardon. Une espèce patrimoniale (la loche de rivière) a été inventoriée dans un bras délaissé par la navigation.

Il n'a pas été possible à ce stade d'établir un lien entre l'indice d'anthropisation que j'ai développé et les résultats des pêches d'inventaires scientifiques. Il est nécessaire de souligner la difficulté d'échantillonnage dans ces grands et profonds milieux avec le matériel que nous avons pu déployer. Il est donc possible que nous soyons passés à côté d'un certain nombre d'individus. Neanmoins, cela ne justifie pas les abondances minimales que nous avons eu dans certains biefs.

Ce travail est un point de départ pour l'étude Connect'ZH. L'indice va être mis à jour au fur et à mesure de la mise à disposition des données.

Bibliographie

AARTS, B. G., VAN DEN BRINK, F. W., & NIENHUIS, P. H. 2004. Habitat loss as the main cause of the slow recovery of fish faunas of regulated large rivers in Europe: the transversal floodplain gradient. *River research and Applications*, 20(1), 3-23.

ARLINGHAUS, R., ENGELHARDT C., SUKHODOLOV A., WOLTER C. 2002 Fish recruitment in a canal with intensive navigation: implications for ecosystem management *J. Fish Biol.*, 61: 1386–1402

BOËT P., BELLIARD J., BERREBI-DIT-THOMAS R., TALES E. 1999. Multiple human impacts by the City of Paris on fish communities in the Seine river basin, France. In: Garnier J., Mouchel JM. (eds) *Man and River Systems. Developments in Hydrobiology*, vol 146. Springer, Dordrecht

DUDGEON, D., ARTHINGTON, A. H., GESSNER, M. O., KAWABATA, Z. I., KNOWLER, D. J., LÉVÊQUE, C. & SULLIVAN, C. A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81(2), 163-182.

DUTTERER, A. C., MESING, C., CAILTEUX, R., ALLEN, M. S., PINE, W. E., & STRICKLAND, P. A. 2013. Fish recruitment is influenced by river flows and floodplain inundation at Apalachicola River, Florida. *River Research and Applications*, 29(9), 1110-1118.

GORSKI, K., DE LEEUW, J. J., WINTER, H. V., VEKHOV, D. A., MININ, A. E., BUIJSE, A. D., & NAGELKERKE, L. A. 2011. Fish recruitment in a large, temperate floodplain: the importance of annual flooding, temperature and habitat complexity. *Freshwater Biology*, 56(11), 2210-2225.

HUCKSTORF V., LEWIN W., MEHNER T., WOLTER C. 2011. Impoverishment of YOY-fish assemblages by intense commercial navigation in a large Lowland river. *River Res. Applic.*, 27: 1253–1263.

JENKS, G. F. 1967. "The Data Model Concept in Statistical Mapping", *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190.

LAFFAILLE P., BRIAND C., FATIN D., LAFAGE D., LASNE E., 2005. Point sampling abundance of European eel (*Anguilla anguilla*) in freshwater areas – *Archiv. Hydrobiol.*, 162, 91-98.

MAIRE A. (2014) Comment sélectionner les zones prioritaires pour la conservation et la restauration des communautés de poissons de rivière ? Applications aux échelles de la France et du Pas-de-Calais, Thèse, INP DE TOULOUSE

MANN, R. H. K. & BASS, J. A. B. (1997). The critical water velocities of larval roach (*Rutilus rutilus*) and dace (*Leuciscus leuciscus*) and implications for river management. *Regulated Rivers: Research and Management* 13, 295–301.

ONEMA (2008)- Beillard, J, Ditché, J.M., et Roset, N. (2009) : Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons. 23 p.

ONEMA (2016)- Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau). 106p, [En ligne] Consulté en juillet, disponible http://www.onema.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/guide_reee-esc_mise_a_jour_2016_0.pdf

PERSAT, H., NELVA, A., CHESSEL, D., 1985. Approche par l'analyse discriminante sur variables qualitatives d'un milieu lotique, le Haut Rhône français. *Acta Oecologica* 6 (4), 365–381

Pinder AC. 2001. Keys to Larval and Juvenile Stages of Coarse Fishes from Fresh Waters in the British Isles. Scientific Publication No. 60, Freshwater Biological Association: Ambleside.

SMITH, MJ; GOODCHILD, MF; LONGLEY, PA; (2009) *Geospatial analysis: a Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. (3rd ed. ed.). Troubador Ltd: Leicester, UK.

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE, 2015, Chiffres clés - Transport fluvial - Tourisme fluvial. 12p [En ligne] Consulté en juillet 2016. Disponible sur <http://www.nordpasdecals.vnf.fr/chiffres-cles-transport-fluvial-tourisme-fluvial-a2099.html>