

Focus Biodiversité Marais Audomarois



Nos partenaires techniques et financiers :



www.eau-artois-picardie.fr



Région
Hauts-de-France

Introduction Générale FBMA



Ywen NAMOKEL - Chargé d'étude milieu aquatique
Benoît RIGAULT - Chef de projet pôle connaissance
Géraldine PINSON-TABARY - Responsable communication
Grégory CROWYN - Directeur

Fédération du Pas-de-Calais pour la pêche et la protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA 62)

Citation:

« Namokel, Y., Rigault, B., Pinson-Tabary, G. & Crowyn, G. 2020. Focus Biodiversité Marais Audomarois. Fédération du Pas-de-Calais pour la pêche et la protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA 62) 384p. »

Sommaire

Introduction générale	3
Présentation du Marais Audomarois	3
Historique	5
Le site d'étude.....	7
La genèse du projet FBMA	13
Focus ADNe	20
Focus RCS	85
Focus Anguille	160
Focus Brochet	221
Focus Hydromorphologie	363
Conclusion générale	381

Table des figures

Figure 1 : Localisation géographique du marais Audomarois dans le département du Pas-de-Calais situé sur la pointe Nord de la métropole française, et une prise de vue aérienne.

Figure 2 : Frise chronologique schématique des grandes dates de l'aménagement du marais Audomarois.

Figure 3 : Prise de vue globale du marais Audomarois et des étangs du Romelaëre. De haut en bas : carte de Cassini, photo aérienne 1950 et de nos jours (données GeoPortail)

Figure 4 : Représentation d'époque du marais Audomarois et de la vie de ses habitants (Vauban, lettre à Louvrois le 11 juin 1677).

Figure 5 : Débit moyen mensuel de la rivière Aa à Lumbres plusieurs km avant son arrivée dans l'Audomarois (banquehydro).

Figure 6 : Occupation du sol dans le marais (codification CORINE LAND COVER).

Figure 7 : Réseau hydrologique du marais Audomarois.

Figure 8 : Quelques statuts de protection efficaces sur le marais Audomarois

Figure 9 : Planches photographiques de divers paysages (terrestre, aérienne et aquatique) pouvant être rencontrés dans le marais Audomarois.

Figure 10 : Schéma de l'organisation du projet FBMA et code couleur des différents Focus

Lexique

ADN : Acide désoxyribonucléique

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

SMAGEAA : Syndicat Mixte pour l'Aménagement et la Gestion des Eaux de l'Aa

CAPSO : Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer

DCE : Directive européenne Cadre sur l'Eau

DHFF : Directive Habitat Faune Flore

RNN : Réserve Naturelle Nationale

RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance

AEAP : Agence de l'Eau Artois Picardie

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

CEN : Conservatoire des Espaces Naturels

ENS : Espaces Naturels Sensibles

PDPG : Plan départemental pour la Protection du milieu aquatique et la gestion des ressources Piscicoles

PNR CMO : Parc Naturel Régional Caps et Marais d'Opale

NB : Toutes les photographies ou les figures incluses dans le présent rapport sont le fruit du travail ou sont issues de la FDAAPPMA62. Dans le cas contraire, cela est précisé dans la légende.

Présentation du contexte Marais Audomarois

Le Marais Audomarois est un territoire d'eau bien particulier du Pas-de-Calais, situé dans le Nord de la France. Cette cuvette est pourvue de zones arborées denses et d'un dédale de voies d'eau en tout genre où l'interface terre et eau trouve tout son sens. C'est également une zone d'art et d'histoire très forte puisque ce territoire n'aurait pas cet aspect actuel sans le travail de ces habitants depuis l'arrivée des moines de Clairmarais au IX^{ème} siècle. Ces paysages variés où la nature et l'eau s'entremêlent trouvent dans le cœur des habitants locaux, aussi bien que dans celui des touristes, une place toute particulière. Le point névralgique de ce labyrinthe de canaux se trouve être la ville de Saint-Omer, une commune dynamique où il est bon de partir à la recherche de tous ses bâtiments historiques et ses trésors cachés.

C'est également un haut lieu de biodiversité où la flore et la faune y trouvent des conditions de vie multiples qui sont favorables à de nombreuses espèces : près de 50% de la flore aquatique régionale s'épanouissent dans le marais, tout comme plus de 200 espèces d'oiseaux, 29 espèces de poissons, 86 espèces d'araignées, 18 espèces d'Odonates, 13 chiroptères, 90 Lépidoptères, etc.

Ce territoire se situe sur 15 communes du département du Pas-de-Calais (62) et du Nord (59). Il couvre une surface de 37km².

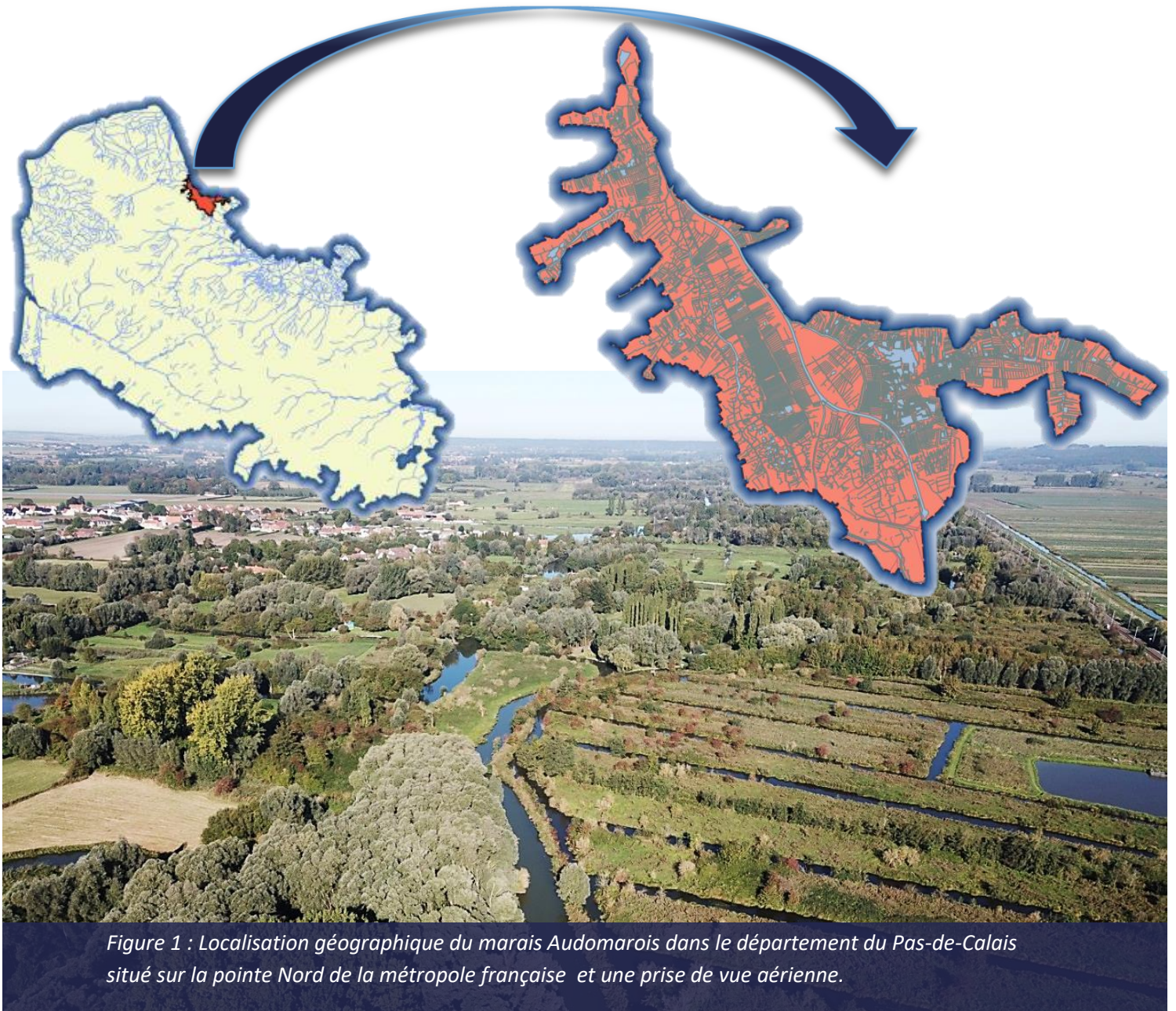
C'est une vaste zone humide désignée zone Ramsar depuis 2008 et également déclarée par l'UNESCO Label Man and Biosphere «douzième Réserve de Biosphère française ». Il reste aussi un des seuls marais de cette importance encore cultivé par le maraîchage en France. On y retrouve majoritairement des cultures de choux, de carottes ou encore d'endives (Kilhoffer 2013).

C'est un secteur proche du niveau altimétrique de la mer et dit poldérisé. Le marais comprend plus de 700 km de voies d'eau dont 170 km de canaux navigables, appelés ici des « wateringues » (du néerlandais «wetering» signifiant tout simplement «voies d'eau»). Cette vaste surface en eau a depuis des siècles été utile au transport des Hommes et est un élément central de leur mode de vie. A l'époque c'est pratiquement l'ensemble des cultivateurs et des habitants du marais qui transitait en bateau traditionnel en bois (appelé « escutes » ou « bacôves). Aujourd'hui encore, le facteur réalise toujours sa tournée journalière en bateau dans le marais mais cette fois pourvu d'un moteur (Derville 1979).

Les grandes entités hydrographiques situées au sein de la superficie du marais sont : la rivière Aa (Code masse d'eau FRAR02), le Canal à Grand gabarit (Aa canalisée ; Code masse d'eau FRAR01) et les parties « Est » et « Ouest » du marais jusqu'à la commune de Watten.

Le marais couvre également des zones Natura 2000, des ZNIEFFs de type 1 et 2, des Espaces Naturels Sensibles, la Réserve Naturelle Nationale des étangs du Romelaëre, des zones d'intervention du Conservatoire du Littoral et des monuments historiques.

Malgré ces couches de protection, à l'heure actuelle les connaissances scientifiques et biologiques concernant le marais restent lacunaires sur le compartiment ichtyologique du marais. Le but du projet F.B.M.A., pour Focus Biodiversité Marais Audomarois, entrepris par la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA62) est ainsi de combler ce manque de données en fournissant un état de la connaissance de qualité sur ce compartiment biologique.



Historique

À l'origine, la dépression de Clairmarais, près de Saint-Omer, serait une ébauche de boutonnière excavée dans l'argile. Le reste de la zone est parfois surnommé « cuvette Audomaroise » de par son relief particulier.

A l'époque, l'Aa rivière alimentait le marais du Sud au Nord. Les premiers aménagements du marais entrepris par l'Homme remontent au IX^{ème} siècle. Ils sont notamment le fruit du travail des moines de la proche abbaye de Clairmarais avec le creusement des canaux principaux, de la Basse Meldyck et de la Haute Meldyck. Le wateringue du Grand Large fut par exemple créé vers l'an 1100 et l'ancien canal fortifié en l'an 1165 grâce au comte de Flandre Baudoin VII (devenu l'actuel Canal de Neuffossé en 1753).

Le travail des habitants du marais (appelés les « Brouckaillers ») ont permis de rehausser les terres, creuser des canaux et ainsi transformer le territoire. Les habitants vivaient alors principalement de la culture de légumes, de la pêche et de l'exploitation de la tourbe (combustible). L'exploitation de la tourbe a d'ailleurs permis de créer les actuels étangs du Romelaëre. Leur forme particulière vue du ciel témoigne encore de ce passé. Enfin, à la Renaissance, le reste des terres basses sont mises en culture à l'aide des techniques hollandaises (avec des moulins à vents et des vis sans fin pour pomper l'eau des fossés et gérer leur niveau).

La ville de Saint-Omer quant à elle fut fondée en partie également par les moines (dont saint-Audomar très représenté dans la culture locale). Audomar (ou Audomarus), connu plus tard sous le nom de Saint-Omer, vécut de 600 à 670. Il fut également nommé évêque de la commune de Théroouanne par le roi Dagobert I^{er} et fonda l'abbaye Saint-Bertin à Saint-Omer, Abbaye dont on peut encore visiter les ruines. La ville était, à l'époque du Moyen-Age, un important centre culturel et social dans le pays rayonnant dans toutes les Flandres avec vers l'an 1300 près de quarante mille habitants.

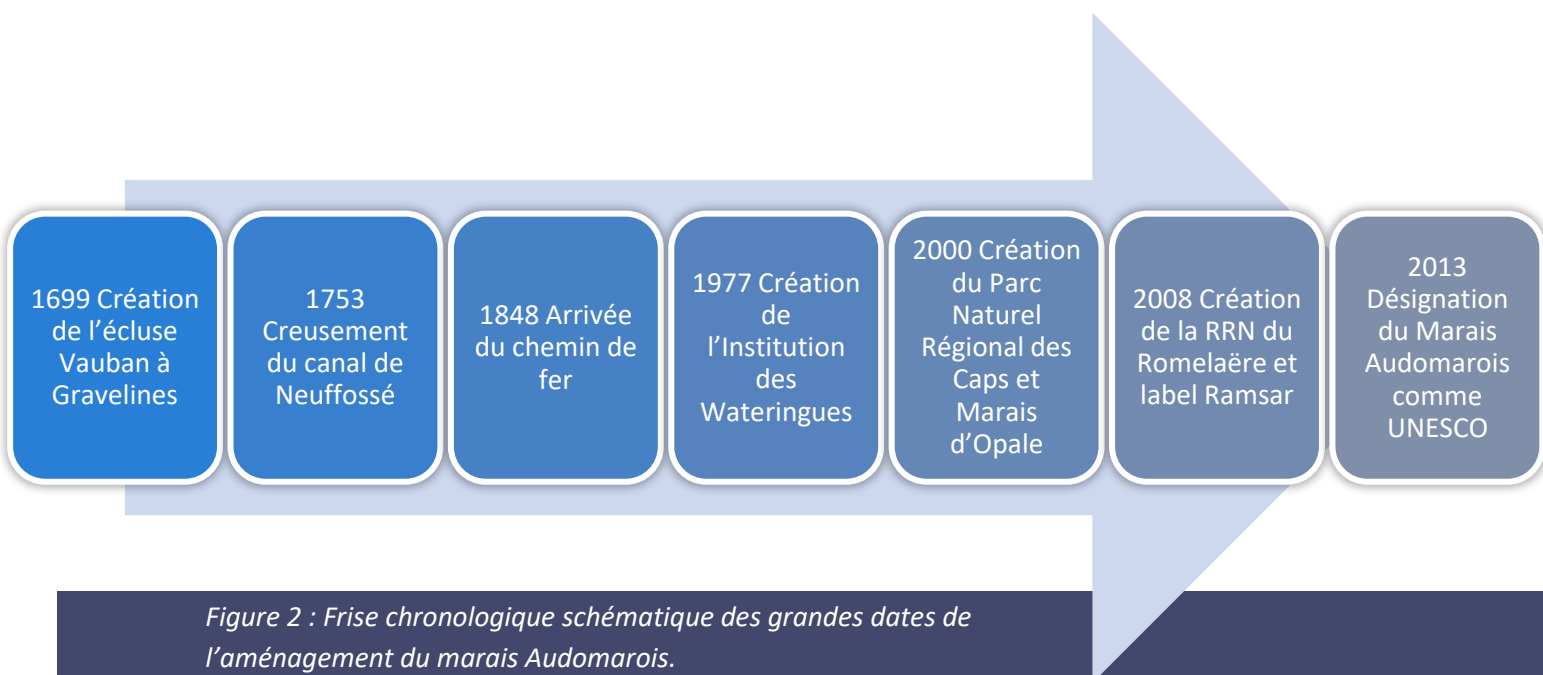


Figure 2 : Frise chronologique schématique des grandes dates de l'aménagement du marais Audomarois.



Carte de Cassini 1756

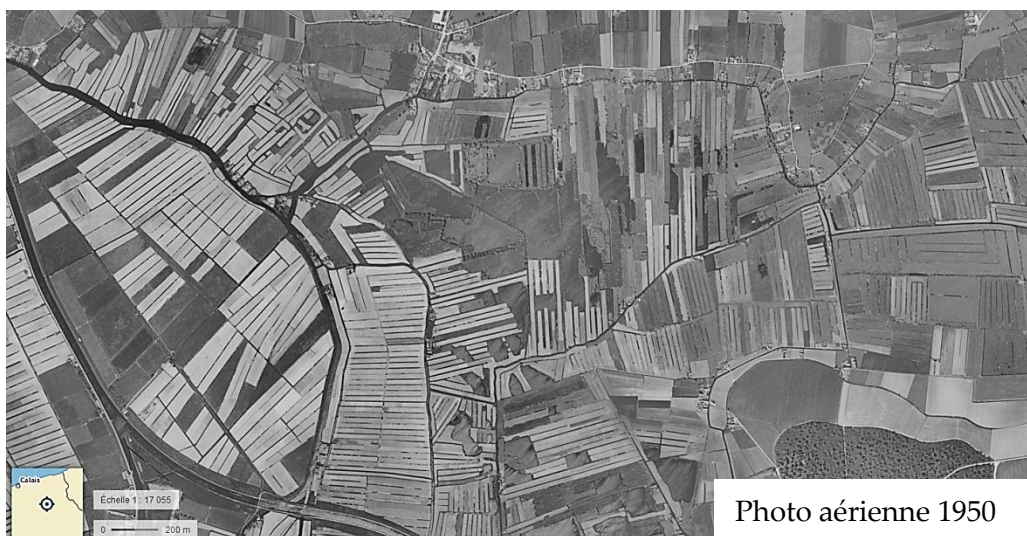


Photo aérienne 1950



Photo satellite CNES 2020

Figure 3 : Prises de vue globale du marais Audomarois et des étangs du Romelaëre. De haut en bas : carte de Cassini, photo aérienne 1950 et de nos jours (données GeoPortail).

L'écluse Vauban fut créée en 1699 à Gravelines pour assurer une meilleure maîtrise des eaux.

Enfin, afin de valoriser au mieux ce territoire d'exception, différents labels ont été accordés à la zone dont le label Ramsar depuis 2008 et UNESCO depuis 2013.



Figure 4 : Représentation d'époque du marais Audomarois et de la vie de ses habitants (Vauban, lettre à Louvrois le 11 juin 1677).

Le site d'étude

Description

Actuellement le marais est relativement anthropisé, artificialisé et poldérisé. Il compte plus de 14 782 habitants dans la commune de Saint-Omer et 105 000 habitants sur le territoire du pays de Saint-Omer (CAPSO ; chiffres de 2017). Plusieurs grandes entreprises ont pris place dans les alentours comme la brasserie Goudale, l'usine de Bonduelle ou encore la cristallerie d'Arques.

L'eau de pluie est piégée dans la cuvette Audomaroise et constitue par là un bassin versant d'environ 410 hectares. De plus, le sous-sol imperméable oblige ensuite les eaux à rejoindre la mer via l'Aa canalisée par le goulet de Watten.

Le Canal se déverse ensuite dans la Mer du Nord au niveau de Gravelines (pour plus de précisions sur le fonctionnement du réseau cf Focus Anguille). Si le débit moyen de l'Aa (figure 5) est présenté à titre indicatif (affluent majeur), c'est le Canal à Grand gabarit qui apporte la majeure partie de l'eau transitant par le marais. Le niveau d'eau du marais est très uniforme de par la gestion hydraulique permise par les divers ouvrages sur le secteur (écluse des Flandres, écluse des Fontinettes, écluse Saint-Bertin et écluse du Haut pont ainsi que les écluses situées à l'exutoire à Gravelines).

Concernant le marais en lui-même, le linéaire en eau représente plus de 700km pour une surface importante de plus de 500 ha (figure 7).

Le climat est de type océanique et subit les influences continentales de l'Est. Les précipitations sont de l'ordre de 500 à 600 mm par an. La température annuelle moyenne est d'environ 10 °C.

Le territoire est recouvert à plus d'un quart d'espaces semi-naturels mais également de zones urbaines (Schéma de COhérence Territoriale de Saint-Omer et figure 6).

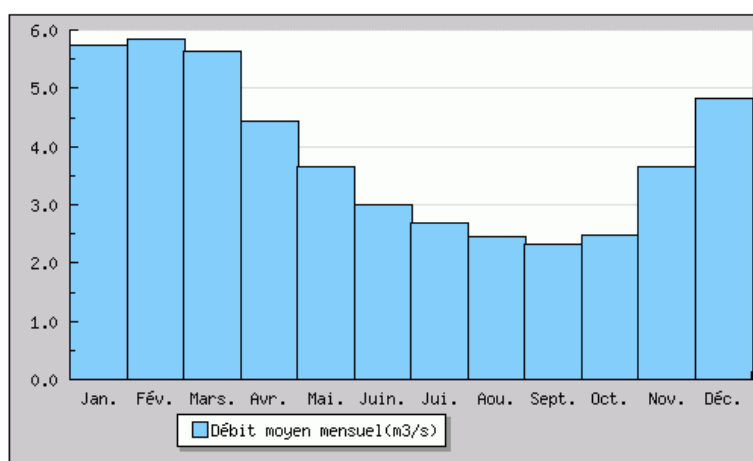


Figure 5 : Débit moyen mensuel de la rivière Aa à Lumbres plusieurs km avant son arrivée dans l'Audomarois (banquehydro).

Plusieurs couches et zones de protection couvrent aussi le marais comme des zones Natura 2000, des ZNIEFFs de type 1 et 2, des Espaces Naturels Sensibles, la Réserve Naturelle Nationale des étangs du Romelaëre, des zones d'intervention du Conservatoire du Littoral et des monuments historiques (figure 8). Ces différentes zones déjà établies permettent de prendre connaissance du caractère unique et par là, à protéger, de nombreuses zones du marais Audomarois.

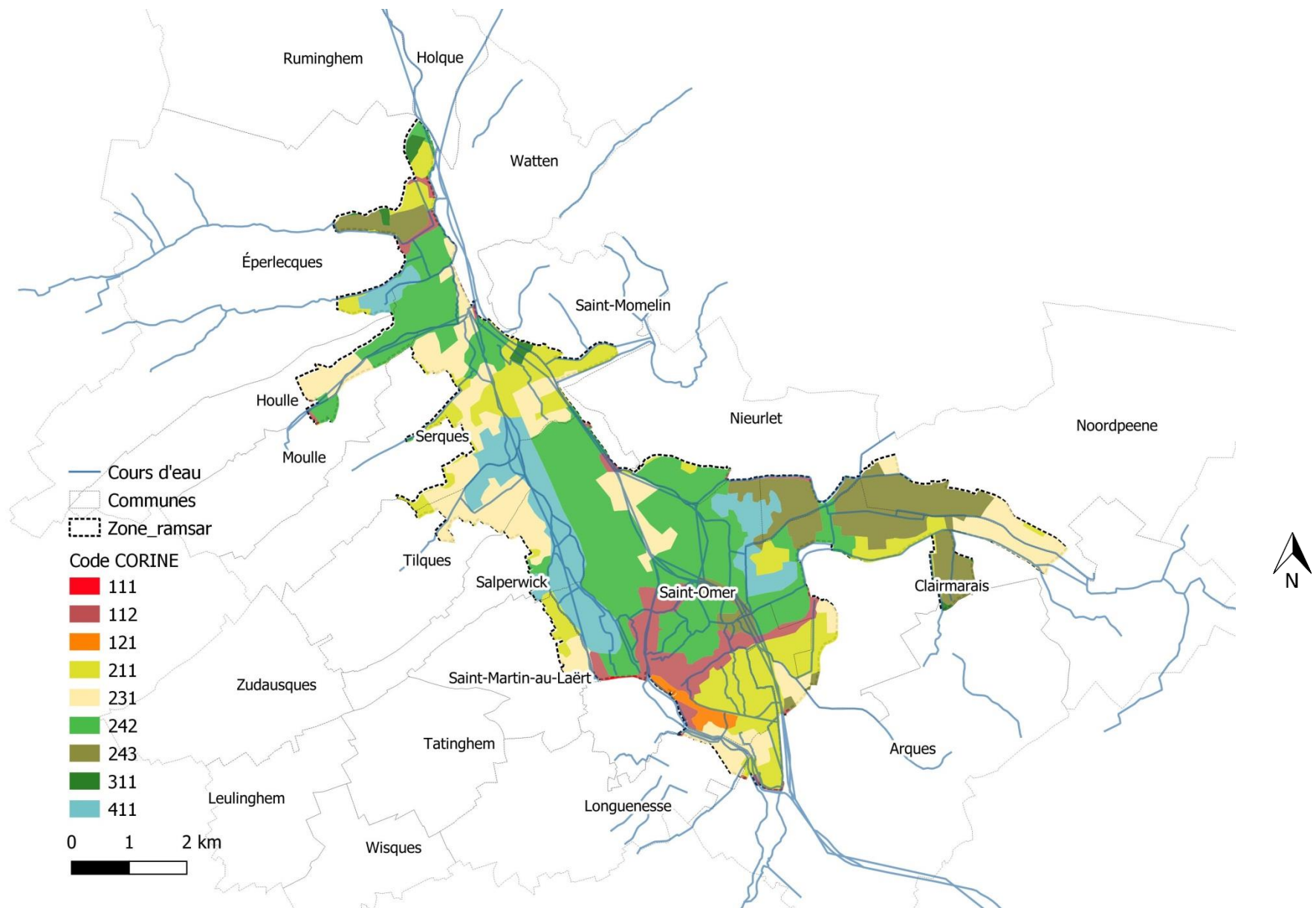


Figure 6 : Occupation du sol dans le marais (codification CORINE LAND COVER).

Légende : **111**: Tissu urbain continu **112**: Tissu urbain discontinu **121**: zones industrielles ou commerciales et installations publics **211**: Terres arables hors périmètres d'irrigation **231**: Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole **242**: Systèmes culturaux et parcellaires complexes **243**: Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants **311**: Forêts de feuillus **411**: marais intérieur

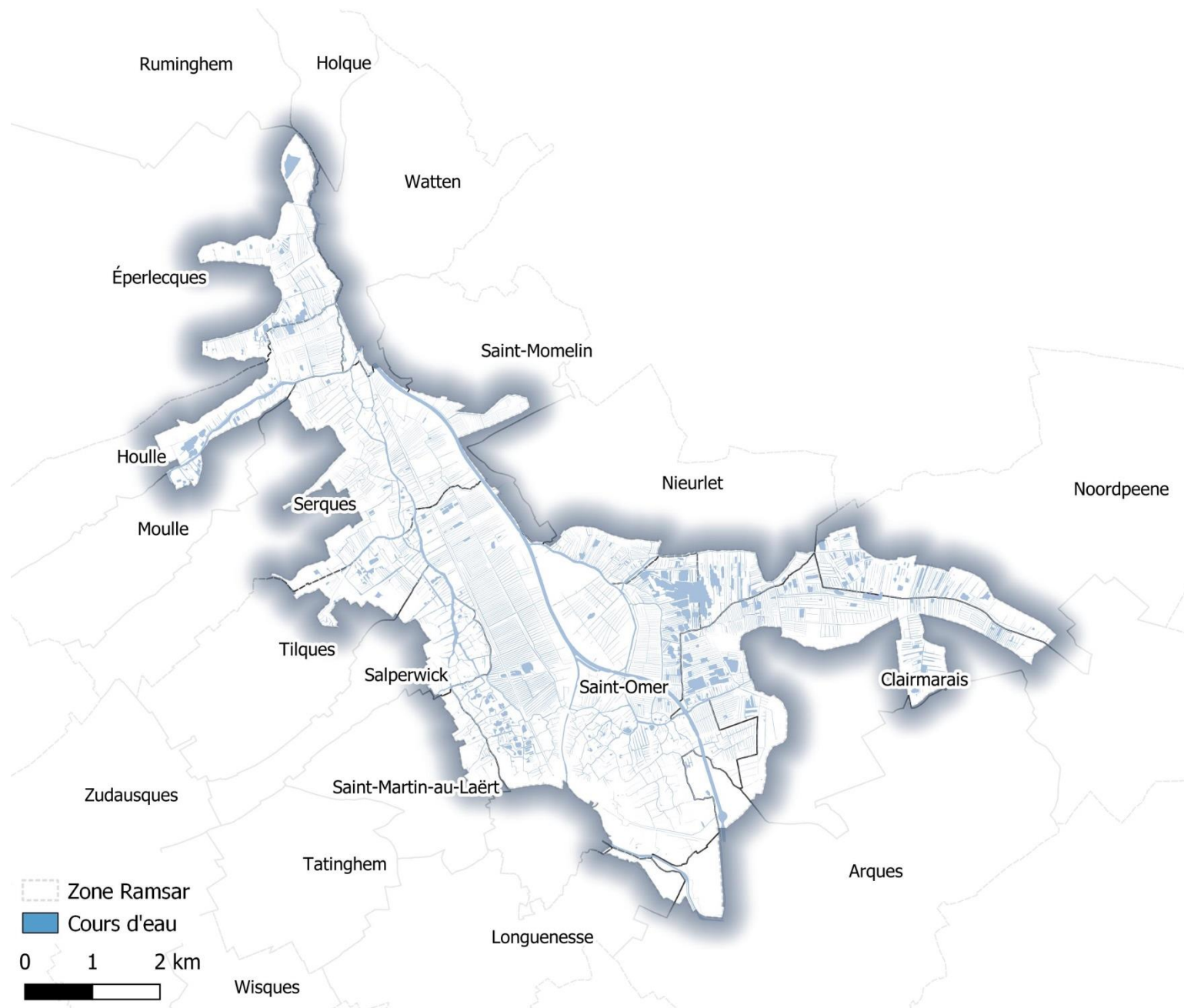


Figure 7 : Réseau hydrologique du marais Audomarois.

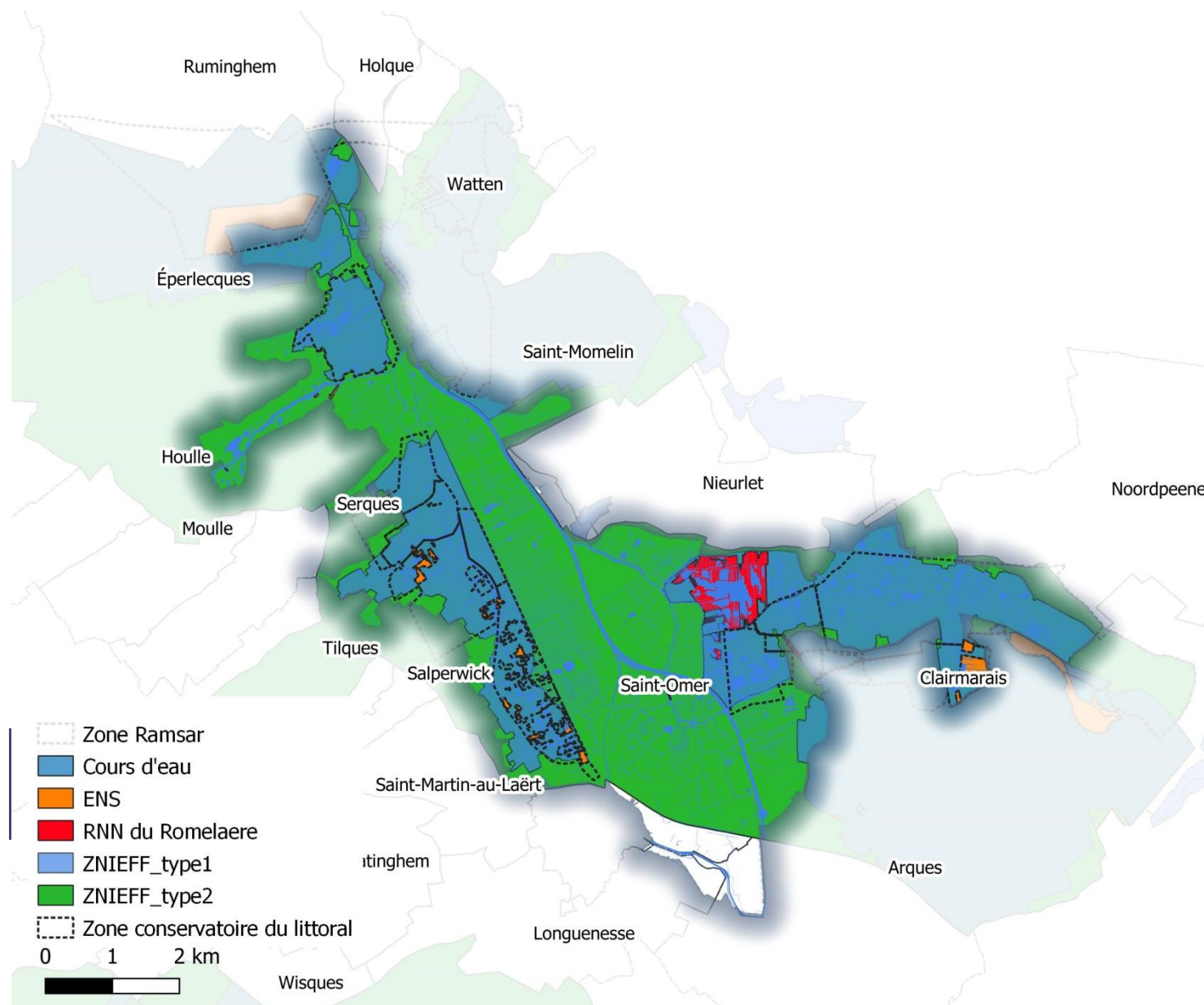


Figure 8 : Quelques statuts de protection efficaces sur le marais Audomarois (ne sont pas représentés pour plus de lisibilité d'autres statuts comme les zones Natura 2000 ou les monuments historiques).

Les paysages du marais

Afin de permettre au lecteur de visualiser au mieux les habitats et les paysages très diversifiés qu'il est possible de retrouver au sein du marais, plusieurs prises de vues sont proposées ci-dessous.



Figure 9 : Planche photographique de divers paysages (terrestres, aériens et aquatiques) pouvant être rencontrés dans le marais Audomarois.



Figure 9bis : Planche photographique de divers paysages (aquatiques) pouvant être rencontrés dans le marais Audomarois.

La genèse du projet FBMA

Malgré diverses couches de protection, à l'heure actuelle les connaissances scientifiques et biologiques concernant le marais restent lacunaires sur le compartiment ichthyologique. Ces observations sont ressorties notamment lors de l'actualisation du Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG 2.0 – 2018-2022 du Pas-de-Calais) de la FDAAPPMA 62 et plus particulièrement sur la création du nouveau contexte Cuvette Audomaroise. En effet, enrichir la connaissance afin d'être au service des milieux et des espèces est une des missions prépondérantes de la structure.

Diverses études et réactualisations de rapports ont déjà été réalisées sur le territoire (Etude de la flore aquatique des rivières du marais réalisée par le CBNBL, Plan de Gestion des rivières wateringues, Etudes liées au Docob Natura 2000, Etude « Biodiversité piscicole et astacicole sur les périmètres des SCoT du Pas-de-Calais », etc.). Mais aucune étude complète n'a encore été centrée sur le monde subaquatique, les espèces qui y sont inféodées et leurs interrelations écosystémiques. Celles-ci sont mal connues dans ce vaste complexe de milieux humides de typologie marais doux endigué.

La genèse du projet a donc été entreprise dans ce contexte et a pu être permise grâce à l'appel à projet des Initiatives en Faveur de la Biodiversité (IFB) émis par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie en 2017.

A l'époque du montage du projet, le constat établi fut le suivant, avec :

- Un manque de données piscicoles dans une période où de nombreuses études conjointes ont émergé (sur d'autres compartiments).
- Des interrelations écosystémiques qu'il faut caractériser dans ce vaste complexe humide (marais doux endigué).
- Des informations lacunaires et non exhaustives sur le compartiment faune et flore aquatique et plus particulièrement sur l'ichtyofaune (biodiversité).
- Avec une inter-dépendance entre : les habitats potentiellement disponibles et les régimes hydrauliques saisonniers (échelle spatiale et temporelle).
- Des caractéristiques de zones inondables ou d'habitats en présence qui témoignent d'un potentiel favorable à l'accueil et à la reproduction des communautés piscicoles.
- Nécessité de répondre à des sollicitations et des demandes de certains partenaires.
- Nécessité de réaliser des propositions d'actions concrètes découlant de l'étude (préconisations, améliorations, travaux...).

Pour remplir cette mission, 5 axes de travail nommés « Focus » ont été développés lors de deux années de suivi scientifique de début 2018 à fin 2019. Ces Focus sont centrés sur des espèces cibles ou des méthodes d'études novatrices (figure 10).



Figure 10 : Schéma de l'organisation du projet FBMA et code couleur des différents chapitres.

Le but du projet Focus Biodiversité Marais Audomarois (FBMA) entrepris par la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA62) est ainsi de combler ce manque de données en fournissant un état de la connaissance de qualité sur ce compartiment biologique. Le présent rapport est donc articulé autour de ces 5 Focus. Chaque Focus peut être lu de manière indépendante mais il y a une transversalité forte entre les Focus. Chaque Focus possède également une fiche synthétique récapitulative intitulée « Ce qu'il faut retenir ! » en fin de chapitre.

Partenaires locaux

Cet important réseau en eau est entretenu par le Syndicat Mixte pour l'Aménagement et la Gestion des Eaux de l'Aa (SMAGEAa) en ce qui concerne l'entretien et la gestion du bassin de la rivière Aa (et par là, le marais). Le réseau navigable des waterings est quant à lui entretenu par la 7^{ème} Section des Waterings du Pas-de-Calais. Cette institution entreprend majoritairement des opérations de curage des voies d'eau afin de garder possible l'usage de la navigation sur plus de 170km de linéaire.

Le territoire est aussi pourvu d'un Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE), créé en 2003. « Le SAGE fixe, coordonne et hiérarchise des objectifs généraux d'utilisation, de valorisation et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques, ainsi que de préservation des zones humides. Il identifie les conditions de réalisation et les moyens pour atteindre ces objectifs (gesteau.fr) ».

Ainsi, de nombreux travaux d'entretien et de restauration de l'Aa et de ses affluents sont entrepris sur le bassin de l'Aa, tel que :

- une surveillance du réseau hydrographique
- une valorisation du cours d'eau
- des actions liées à la restauration de l'hydromorphologie du cours d'eau (restauration de la libre circulation piscicole et sédimentaire, gestion des embâcles, restauration de frayères et d'habitats aquatiques)
- une lutte contre les espèces exotiques envahissantes
- un programme de replantation/restauration de la ripisylve

Le syndicat mixte Eden62 est aussi un partenaire privilégié du territoire puisqu'il est gestionnaire d'un grand nombre de sites naturels sur le marais. Une bonne partie de ces sites est en gestion foncière par le Conservatoire du Littoral.

De plus, le marais fait partie du périmètre du Parc Naturel Régional (PNR) Caps et Marais d'Opale et le la Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer (CAPSO).

En bref, ce sont plus de 25 partenaires techniques, gestionnaires ou bénéficiaires qui sont donc identifiés sur le territoire de l'étude FBMA. L'échelle d'étude prend lieu sur le territoire du Sage de l'Audomarois sauf sur la masse d'eau Aa rivière (FRAR02). La masse d'eau plan d'eau Romelaère (FRAL01 ; Plan d'eau DCE) fait également partie du périmètre du projet. De manière plus succincte, le périmètre de l'étude est calqué directement sur le périmètre Ramsar.

Partenaires techniques et financiers



Etablissement public du Ministère chargé
du développement durable



Partenaires techniques et bénéficiaires





Conférence valorisation à la grange nature de Clairemarais 2020



Journées Techniques Nationales à Paris en 2019



Une vidéo est proposée sur le site de la FDAAPPMA 62 afin d'illustrer le déploiement des différents focus en 6min :

<http://www.peche62.fr/fbma/>

Focus ADNe



Sommaire

Introduction	6
Matériel & Méthode	8
Eléments de définitions.....	8
Approche multi-spécifique (metabarcoding ou VigiDNA® M).....	8
Approche mono-spécifique (barcoding ou VigiDNA® S).....	8
Avantages et limites	8
Protocole de prélèvement.....	1
Sites de prélèvements	2
Campagne d'échantillonnage 2018.....	10
Résultats	10
Résultats de l'approche mono-spécifique sur l'écrevisse de Louisiane (<i>Procambarus clarki</i>).....	12
Vue d'ensemble de l'approche multi-spécifiques sur le compartiment ichtyologique	12
Résultats par station de l'approche multi-spécifiques sur le compartiment ichtyologique	20
La station du Marais de Serques	23
La station de la Vesseliette.....	24
Le grand large sud	25
La station du Moereleck.....	26
La rivière de la Houle.....	28
La station Canal1	29
La station Canal2	31
La station du Landsberg.....	33
La station de Saint-Omer.....	34
Le Zieux.....	35
Résultats de l'approche multi-spécifiques sur le Romelaëre.....	36
Comparaison avec les données antérieures sur le Marais Audomarois	41
Discussion	44
Conclusion	47
Ce qu'il faut retenir.....	47
Bibliographie.....	48
Annexes.....	50

Table des figures

Figure 1 : Chronologie des processus d'analyse d'ADNe.

Figure 2 : Présentation d'une partie du matériel utilisé et d'une mise en situation illustrative.

Figure 3 : Illustration d'un habitat représentatif du marais Ouest, la station du «Landsberg».

Figure 4 : Localisation des 13 stations de prélèvements d'ADNe au niveau de la zone Ramsar du marais Audomarois.

Figure 5 : Localisation des 3 prélèvements réalisés sur le plan d'eau principal de la réserve naturelle du Romelaëre.

Figure 6 : Représentation de la zone de prélèvement « Romelaëre 3 ».

Figure 7 : Localisation et réseau hydraulique adjacent aux stations « Serques », « Grand large sud » et « Landsberg ».

Figure 8 : Localisation et réseau hydraulique adjacent aux stations « Moreleck », « Zieux » et « Vesseliette ».

Figure 9 : Localisation et réseau hydraulique adjacent à la station « Omer ».

Figure 10 : Localisation et réseau hydraulique adjacent aux stations « Canal2 » et « Canal1 ».

Figure 11 : Localisation et réseau hydraulique de la rivière de la « Houlle ».

Figure 12 : Prélèvement à l'aide d'une perche télescopique sur une bacôve traditionnelle (station « Romelaëre1»).

Figure 13 : Photos prise sur le secteur de l'Audomarois d'un Amour blanc (sur le Romelaëre), un Gobie à taches noires (sur le canal) et d'un Silure glane (sur le Zieux).

Figure 14 : Un flet retrouvé sur le canal au niveau de la ville d'Arques (62).

Figure 15 : Représentation cartographique schématique des listes de taxons obtenues à l'aide de l'ADNe par station.

Figure 16 : Pourcentages d'abondances relatives obtenue à l'aide des « reads » (nombre de séquences ADN détectés par taxons).

Figure 17 : Schéma représentant le réseau hydrologique de la rivière Basse Meldyck et sa confluence au Canal.

Figure 18 : Représentation schématique des listes obtenues sur la RNN du Romelaëre.

Tableaux

Tableau 1 : Période de prélèvement et rappel des stations.

Tableau 2 : Liste des taxons uniquement identifiable au Genre ou à la Famille à l'heure actuelle.

Tableau 3 : Liste d'espèces détectées dans l'audomarois.

Tableau 4 : Tendances globales obtenue à l'aide de l'ADNe.

Tableau : 5 Listes des espèces patrimoniales détectées sur le marais et leurs statuts IUCN.

Tableau 6 : Impact environnemental et hiérarchisation des « niveaux d'invasions » (DREAL HdF2014)

Tableau 7 : Récapitulatif des taxons détectés par station.

Tableau 8 : Résultats des analyses ADNe de la station Serques.

Tableau 9 : Résultats des analyses ADNe sur la station Vesseliette.

Tableau 10 : Résultats des analyses ADNe sur la station Grand large sud.

Tableau 11 : Résultats des analyses ADNe sur la station Moreleck.

Tableau 12 : Résultats des analyses ADNe sur la station Houlle.

Tableau 13 : Résultats des analyses ADNe sur la station Canal1.

Tableau 14 : Résultats des analyses ADNe sur la station Canal2.

Tableau 15 : Résultats des analyses ADNe sur la station Landsberg.

Tableau 16 : Résultats des analyses ADNe sur la station Omer.

Tableau 17 : Résultats des analyses ADNe sur la station du Zieux.

Tableau 18 : Résultats des analyses ADNe sur les 3 stations situées sur la RNN du Romelaëre.

Lexique

ADN : Acide désoxyribonucléique

ADNe : ADN environnemental

CAH : projet Connect' AH

DCE : Directive européenne Cadre sur l'Eau

DHFF : Directive Habitat Faune Flore

RNN : Réserve Naturelle Nationale

RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance

AEAP : Agence de l'Eau Artois Picardie

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

CEN : Conservatoire des Espaces Naturels

EEE : Espèce Exotique Envahissante

ENS : Espaces Naturels Sensibles

PDPG : Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles

PNR CMO : Parc Naturel Régional Caps et Marais d'Opale

STEP : Station d'épuration

Codes taxons

ABH Able de Heckel (*Leucaspis delineatus*)

ABL Ablette (*Alburnus alburnus*)

ANG Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

BOU Bouvière (*Rhodeus amarus*)

BRB Brème bordelière (*Blicca bjoerkna*)

BRE Brème commune (*Abramis brama*)

BRO Brochet (*Esox lucius*)

CAS Carassin commun (*Carassius carassius*)

CCO Carpe commune (*Cyprinus carpio*)

CHA Chabot (*Cottus sp.*)
CTI Amour blanc/Carpe argentée (*Ctenopharyngodon idella*)
EPI Epinoche (*Gasterosteus aculeatus*)
FLE Flet (*Platichthys flesus*)
GAR Gardon (*Rutilus rutilus*)
GOU Goujon (*Cottus gobio*)
GRE Grémille (*Gymnocephalus cernuus*)
GTN Gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*)
IDE Ide Melanote (*Leuciscus sp.*)
LOE Loche d'étang (*Misgurnus fossilis*)
LOF Loche franche (*Barbatula barbatula*)
LOR Loche de rivière (*Cobitis taenia*)
LPP Lamproie de Planer (*Lampetra planeri*)
LPR Lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*)
OBR Ombre commun (*Thymallus thymallus*)
PER Perche commune (*Perca fluviatilis*)
ROT Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*)
SAN Sandre (*Sander lucioperca*)
SAT Saumon (*Salmo salar*)
SIL Silure glane (*Silurus glanis*)
TAC Truite arc-en-ciel (*Ochorhynchus mykiss*)
TAN Tanche (*Tinca tinca*)
TRF Truite (*Salmo trutta*)
TRF Truite Fario (*Salmo trutta*)
OCL Ecrevisse Américaine (*Orconectes limosus*)
PCL Ecrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*)

Introduction

D'un point de vue plus généraliste, l'étude et la préservation de la biodiversité représentent un enjeu essentiel de notre temps. Cette notion relativement commune du tout à chacun trouve sa source dans les constats alarmants énoncés par de nombreux lanceurs d'alertes et scientifiques. En effet, « 44 % de tous les mollusques d'eau douce, 37 % des poissons d'eau douce, 23 % des amphibiens [...] sont à présent menacés » (A.Cuttelod, coordinatrice de la liste rouge européenne UICN). Même si les écosystèmes d'eau douce ne couvrent que moins de 1% de notre planète contre 71% pour les milieux marins, leurs valeurs en termes de biodiversité n'est plus à prouver. Ces milieux font malgré tout également face à de nombreuses pressions, usages, aménagements, rupture du continuum fluvial et à l'introduction d'espèces invasives (Dudgeon et al. 2006). Acquérir des connaissances sur la biodiversité aquatique est ainsi primordiale en vue de la protéger et de la conserver voire d'optimiser sa protection.

La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages du 9 août 2016 introduit plusieurs évolutions en matière de valorisation de la biodiversité, de connaissance ou de protection. C'est dans le cadre des initiatives en faveur de la biodiversité qu'opère le projet FBMA dont l'essence même est l'analyse ichtyologique du marais Audomarois.

Une telle analyse se doit également d'être épaulée par des méthodes novatrices et récentes. En effet, lors de la mise en place d'inventaires piscicoles (pêches électriques, nasses, verveux...), des interrogations restent en suspens quant à l'échantillonnage de certaines espèces cibles à forte valeur patrimoniale telles que les Loches (d'étang, franche et de rivière), la Bouvière ou les Lamproies (marine, fluviale et de Planer). Certains de ces taxons peuvent être plus difficiles à échantillonner que d'autres comme la Loche d'étang (*Misgurnus fossilis*) de par ses mœurs et sa bio-écologie ou d'autres de par leurs densités faibles et donc *a fortiori* une répartition spatiale limitée (Silure, Bouvière...).

Afin de garantir l'exhaustivité de notre démarche, la probabilité de détection se doit d'être la meilleure possible pour éventuellement pouvoir valider la présence de taxons à forts enjeux. Ceci même si ces espèces sont présentes en très faibles effectifs. La technique novatrice de l'étude de l'ADN environnementale peut permettre de remplir ces objectifs (Taberlet et al. 2012, Jean 2013). Cette méthode innovante permet de détecter la présence de certains taxons aquatiques dans un prélèvement d'eau. Cette approche, nécessitant uniquement un prélèvement d'eau, est par définition non intrusive, rapide et relativement exhaustive pour un linéaire échantillonné. Plusieurs retours d'expériences prometteurs existent déjà sur les poissons, amphibiens, mammifères aquatiques, mollusques et certains crustacés (Ficetola et al. 2008) ou encore pour mettre en évidence la présence d'espèces exotiques (Goldberg et al. 2011, Dejean et al. 2012, Treguier et al. 2014). Dans notre cas nous avons entrepris un partenariat avec le laboratoire spécialisé SpyGen basé à Le Bourget du Lac (73375).

De plus cette méthode prend tout son sens dans un milieu de type marais doux endigué et polderisé comme le Marais Audomarois qui est un haut lieu de la biodiversité. Ce territoire est complexe à appréhender en termes d'analyse piscicole de par ses 700 km de watergangs (fossés) et 170 km de wateringues (rivières navigables) et ses secteurs parfois difficilement accessibles.

L'ADNe peut nous aider à acquérir une image précise de la biodiversité astacicole et piscicole qualitative et spatiale du marais Audomarois. Les résultats obtenus lors de ce focus centré sur l'ADNe nous permettront d'aiguiller les recherches, les zones de protections ou encore de proposer des préconisations de gestion. Une attention particulière sera également apportée au site naturel des

étangs du Romelaëre (RNN et également plan d'eau suivi par l'AEAP dans le cadre de la DCE) notamment grâce aux données d'inventaires historiquement existantes.

Matériel & Méthode

Eléments de définitions

L'ADN environnemental est défini tel que « l'ADN pouvant être extrait à partir d'échantillons environnementaux sans avoir besoin d'isoler au préalable des individus cibles » (Taberlet et al. 2012). Dans notre cas, cet ADN sera extrait à partir de prélèvements d'eau, le groupe cible se trouvant être le compartiment piscicole et l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*).



Cet ADN se compose majoritairement d'ADN mitochondriale ou nucléaire provenant de cellules encore vivantes, de gamètes ou de cellules dégradées. L'ADNe présent dans l'eau est également sensible à certains facteurs environnementaux tels que les UV, la température...ce qui conditionne son temps de présence dans le milieu (Dejean et al., 2011).

L'ADN extrait est ensuite amplifié par PCR (Polymerase Chain Reaction) grâce à des couples d'amorces spécifiques. Enfin, on détermine la présence ou l'absence de l'espèce ciblée (Figure1). Il existe deux approches différentes (proposées par le laboratoire SpyGen) qui sont : l'approche multi-spécifique et mono-spécifique.

Approche multi-spécifique (Metabarcoding ou VigiDNA® M)

Cette technique permet de détecter un ensemble d'espèces d'un groupe taxonomique donné. Cela fournit une liste en termes de présence. Ceci à l'aide d'amorces universelles et d'une amplification de type PCR et un séquençage nouvelle génération avec une base de références. Cette approche est utilisée dans notre cas pour l'étude du compartiment piscicole.

Approche mono-spécifique (Barcoding ou VigiDNA® S)

Cette technique permet de détecter la présence d'un seul taxon cible avec une plus grande précision. Elle est souvent utilisée dans le cadre de recherche d'espèces rares, menacées ou invasives. L'amplification dans ce cas est de type qPCR (dit en temps réel) avec un couple d'amorces spécifiques. Cette technique est utilisée dans notre cas pour valider ou non la présence de l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) sur nos sites.

Figure 1 : Chronologie des processus d'analyse d'ADNe (SpyGen)

Avantages et limites

L'analyse de l'ADNe est une méthode novatrice et récente d'analyse environnementale. Néanmoins quelques études similaires et retours d'expériences récents sur les poissons existent (Valentini et al. 2015, Sigsgaard et al. 2015, Civade et al. 2016, Back et Kleinprintz

FDAAPPMA59 2018). Ces divers retours permettent de lister un certain nombre de caractéristiques propres à la méthode. En effet, la technique de l'ADNe présente certains avantages et certaines limites.

- L'approche ADNe est une méthode non-intrusive qui peut être mise en place très facilement et avec un déploiement de matériel réduit sans que cela n'engendre aucun désagrément sur des sites sensibles où d'autres compartiments biologiques sont évidemment présents (compartiment ornithologique).
- Il est aussi possible d'obtenir une liste de taxons sans aucune donnée historique passée (dans le cas d'une analyse multi-spécifique VigiDNA[®]M).
- Selon la bibliographie, il semble que la technique est particulièrement à même de mettre en évidence des taxons cibles dans des grands milieux (lacs, plans d'eau) ou des zones difficiles à échantillonner (conductivité trop élevée, difficulté d'accès, matériels...).
- La mise en place de l'échantillonnage demande aussi beaucoup moins de personnels qu'un inventaire par pêche à l'électricité. Une ou deux personnes sont suffisantes pour réaliser les prélèvements.
- Néanmoins l'expertise ADNe n'apporte pas de notion de biomasse, de taille ou de densité (information uniquement semi-quantitative grâce au nombre des réplicats ou des séquences).
- La diversité spécifique obtenue peut parfois être plus importante sur les grands milieux échantillonnés mais aussi plus faible comme sur les milieux lotiques de faibles gabarits facilement échantillonnables par pêche électrique.
- Il est important de tenir compte de la durabilité de l'ADN dans le milieu. L'ADN reste plus ou moins longtemps sur la station en fonction de la température ou des UV qui peuvent le dégrader. En milieu lotique, l'ADN peut être détecté bien plus en aval par rapport à la position en amont de l'espèce dans le milieu.

Actuellement les inventaires piscicoles classiques et l'ADNe sont des méthodes très complémentaires. Mais l'ADNe se trouve être un formidable outil de détection ou de veille environnementale.

Prérequis

Le protocole fut élaboré à l'aide de l'expertise du laboratoire SpyGen. Dans le cadre de l'étude du marais Audomarois, certaines spécificités nous ont conduits en premier lieu à l'élaboration d'un protocole spécifique. En effet, la turbidité élevée de l'eau du marais (bloom algale, MES) peut provoquer un colmatage de la membrane des cartouches de prélèvements. Celui-ci s'appuyait donc sur l'usage de deux grands sacs stériles dans lesquels était prélevé un certain volume d'eau en vue d'être ensuite homogénéisé puis filtré.

Par la suite ce protocole spécialisé fut laissé de côté au vue du colmatage restant minime lors des prélèvements.

Les opérateurs ayant réalisés les prélèvements d'eau ont eu pour prérequis de passer une formation en interne avec SpyGen. Cette formation avait pour but d'optimiser les prélèvements, de mettre au courant des risques de contamination et d'apporter une certification aux futurs écologues préleveurs (appartenance au réseau VigiDNA®).

Protocole d'échantillonnage

Le protocole de prélèvement se trouve être le même selon la technique d'analyse choisie (multi-spécifique ou mono-spécifique), mais diffère en fonction du milieu à échantillonner.

- En milieu lentique de taille modeste, les prélèvements sont réalisés à raison de 20 points d'échantillonnages d'eau puis filtrés dans la cartouche à l'aide d'une seringue
- En milieu lotique, les prélèvements sont réalisés à l'aide d'une pompe péristaltique qui filtre l'eau durant un temps donné.

Dans le cas du secteur du marais Audomarois, les eaux sont relativement turbides, très lenticques et d'une profondeur moyenne de 2,5m. Le protocole utilisé fut donc le suivant (élaborer à l'aide de l'expertise du laboratoire SpyGen) :

1. Préparation du matériel (capsule de filtration, pompe et perche) et étiquetage à l'aide de gants stériles et de sachets en plastique afin d'éviter toutes contaminations.
2. Positionnement de l'extrémité du tuyau sans crépine du sachet et insertion de la capsule de filtration en respectant le sens d'écoulement.
3. Placement du tuyau dans la pompe péristaltique dite Vampire Sampler® (Figure 2).
4. Fixer l'extrémité du tuyau avec crépine sur la perche préalablement munie d'une protection plastique.
5. Filtration de l'eau à l'aide du Vampire Sampler® pendant 30 min (filtration d'1L/min soit 30 L filtrés au total) ou jusqu'à saturation de la capsule de filtration. Passage en bateau à vitesse réduite (5km/h) et continue de l'aval vers l'amont de la station pressentie (environ 2,5km de linéaire). Attention : pas de pause de plus de 5min pour ne pas assécher la membrane.
6. Arrêt de la filtration et conditionnement de la cartouche avec une solution tampon de conservation permettant de fixer l'ADN. Fermeture complète de la capsule.

N.B. : Une attention toute particulière est évidemment apportée aux risques de contamination. Pour pallier à ce risque, une paire de gants neufs est utilisée en amont de l'étape 1 et de l'étape 5. L'opérateur doit rester attentif à sa manipulation afin de la réduire au maximum les risques. De plus, l'opérateur se doit de placer la crépine à la proue de l'embarcation et ne jamais repasser deux fois au même endroit.

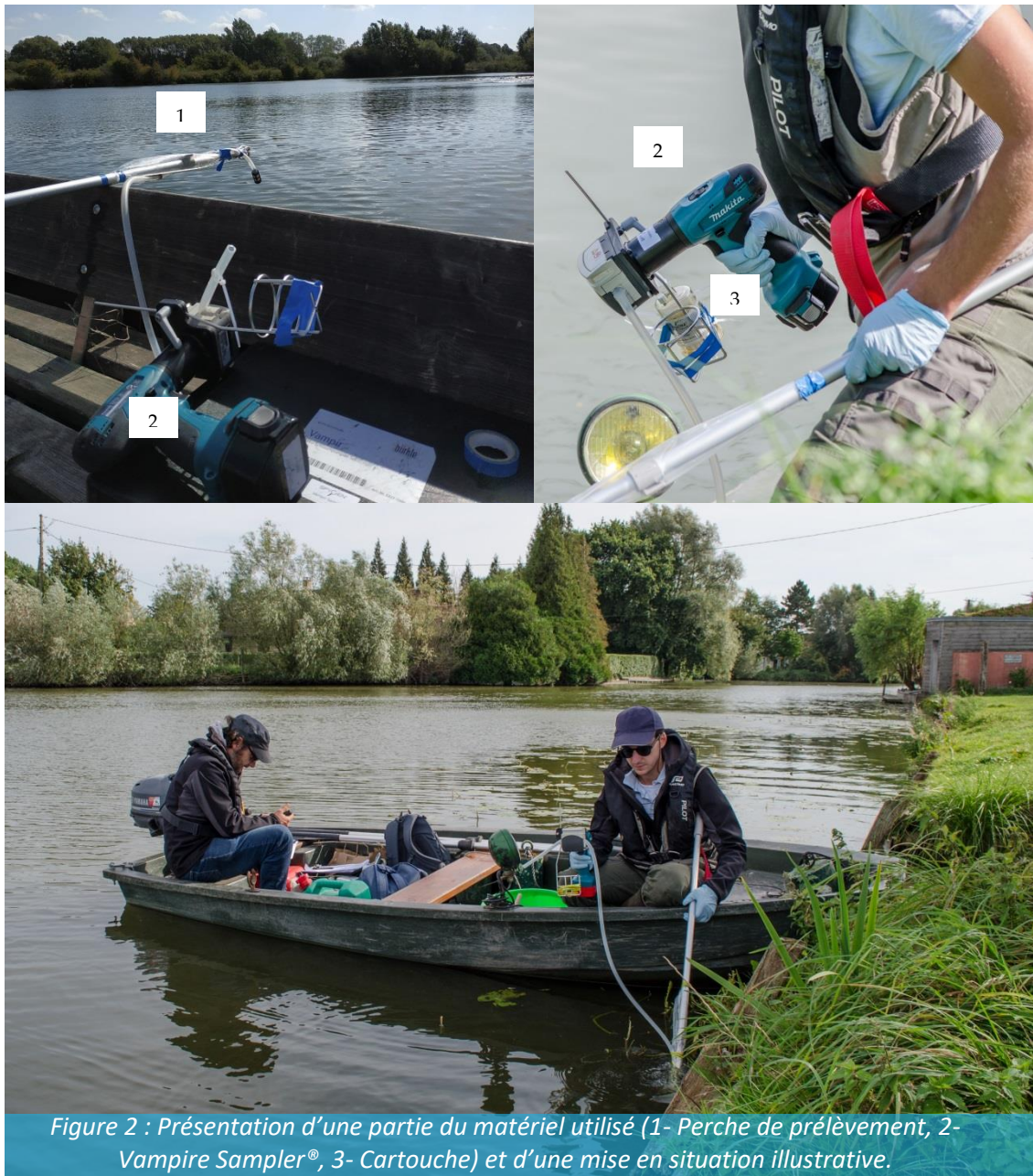


Figure 2 : Présentation d'une partie du matériel utilisé (1- Perche de prélèvement, 2- Vampire Sampler®, 3- Cartouche) et d'une mise en situation illustrative.

Sites de prélèvements

Le marais Audomarois

Le choix des sites de prélèvements s'est porté au total sur 13 stations ADNe afin d'obtenir un maillage large de la plupart (si ce n'est de l'ensemble) des zones du marais Audomarois (Figure3). Chaque site a été échantillonné avec le même protocole en embarcation légère décrit précédemment. Le choix des stations à prospector a été conditionné par différents critères tels que :

- La recherche d'espèces à forte valeur patrimoniale comme la Loche d'étang ou la Bouvière.
- La recherche d'espèces exotiques tels que : l'Ecrevisse de Louisiane ou le Gobie à tâches noires.
- La prise en compte des différentes entités hydrauliques du marais à savoir :
 - L'Ouest (3) et L'Est (3) de la voie ferré
 - La rivière de la Houlle (1)
 - Les canaux au Nord de la ville de saint Omer (1)
 - Le bief du canal (2)
 - ainsi que la RNN du Romelaëre (3).
 - Soit 13 prélèvements au total. Ces différentes entités ou complexes découpés seront décrits ci-dessous.
- Superposer deux des stations ADNe (Grand large sud et Zieux) aux stations du focus RCS afin de les comparer aux résultats obtenus lors des pêches d'inventaires.



Figure 3 : Illustration d'un habitat représentatif du marais Ouest, la station du « Landsberg ».

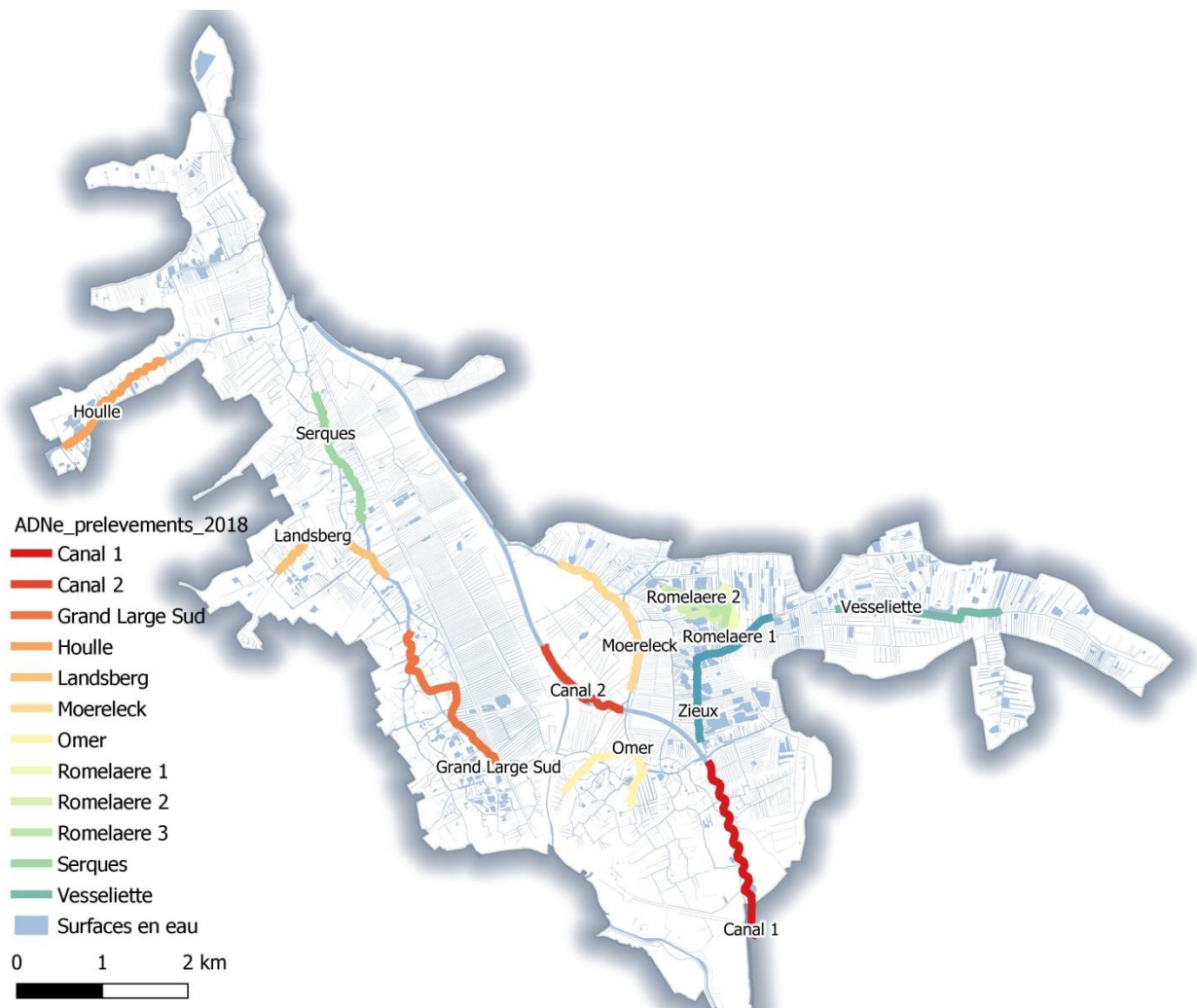


Figure 4 : Localisation des 13 stations de prélèvements d'ADNe au niveau de la zone Ramsar du marais Audomarois.

La réserve naturel des étangs du Romelaëre

En tant que plan d'eau DCE et RNN, une attention toute particulière est portée aux étangs du Romelaëre avec 3 stations réparties à l'aide des conseils du laboratoire SpyGen. Un prélèvement a été fait en berge nord, un autre en berge sud et le troisième a été réalisé en zigzag au centre de l'étang principal (Figure5).

Cette réserve correspond à une ancienne zone de tourbière exploitée depuis la période du Moyen-Age. Classé depuis 2008, le site est en gestion par le syndicat mixte Eden62 qui opère historiquement des suivis faunistiques et botaniques. Haut lieu de nature du département du Pas-de-Calais, cette réserve est le refuge de plus de 250 espèces de plantes, 200 d'oiseaux et 17 de poissons. Celle-ci couvre une superficie totale d'environ 104 hectares regroupant des habitats variés. La surface en eau quant à elle représente 50 hectares de casiers hydrauliques, de fossés et d'un important plan d'eau central. Les habitats aquatiques retrouvés sur l'étang principal au centre du site semblent propices à la présence de nombreuses espèces de poissons dont la Loche d'étang (suspectée jusqu'à aujourd'hui).

En effet, la profondeur du plan d'eau est en moyenne de 2,5m, relativement uniforme. Le fond est tourbeux et une végétation aquatique luxuriante s'y développe notamment (Figure6).

Les résultats des analyses d'ADN sur le Romelaëre seront traités dans une section à part.



Figure 5bis : Localisation des 3 prélèvements réalisés sur le plan d'eau principal et périmètre de la Réserve Naturelle Nationale du Romelaëre.



Figure 6 : Prise de vue de la zone de prélèvement en pleine eau « Romelaëre 3 ».

Description des autres complexes

- L'Ouest du marais Audomarois

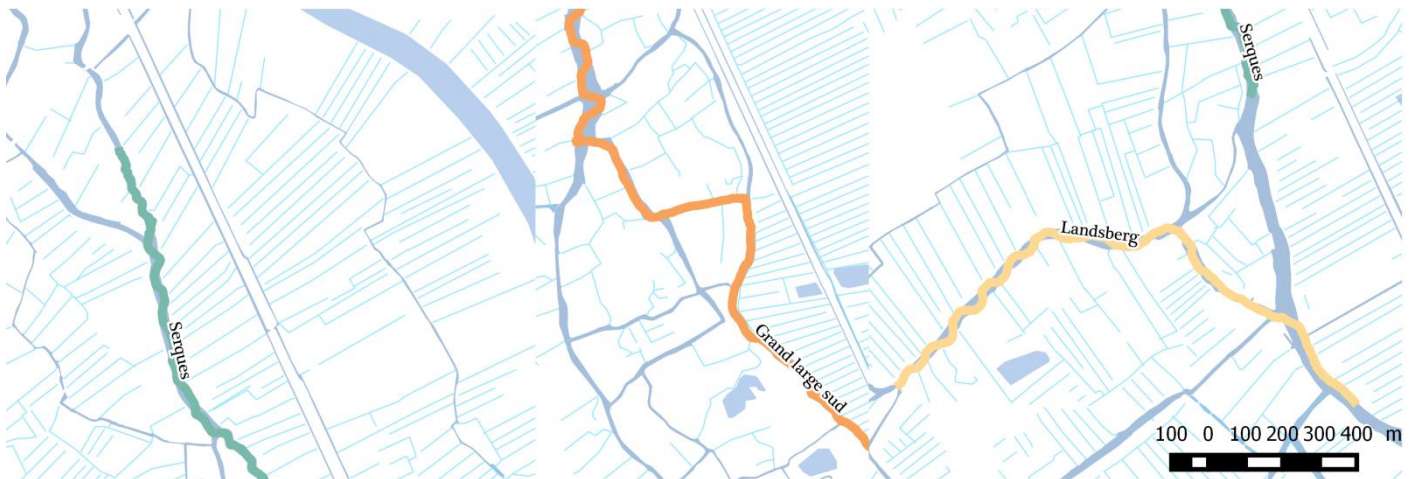


Figure 7 : Localisation et réseau hydraulique adjacent aux stations « Serques », « Grand large sud » et « Landsberg » respectivement de gauche à droite.

▪ L'Est du marais Audomarois



Figure 8 : Localisation et réseau hydraulique adjacent aux stations « Moreleck », « Zieux » et « Vesseliette » respectivement de gauche à droite.

- Les canaux au nord de la ville de saint Omer

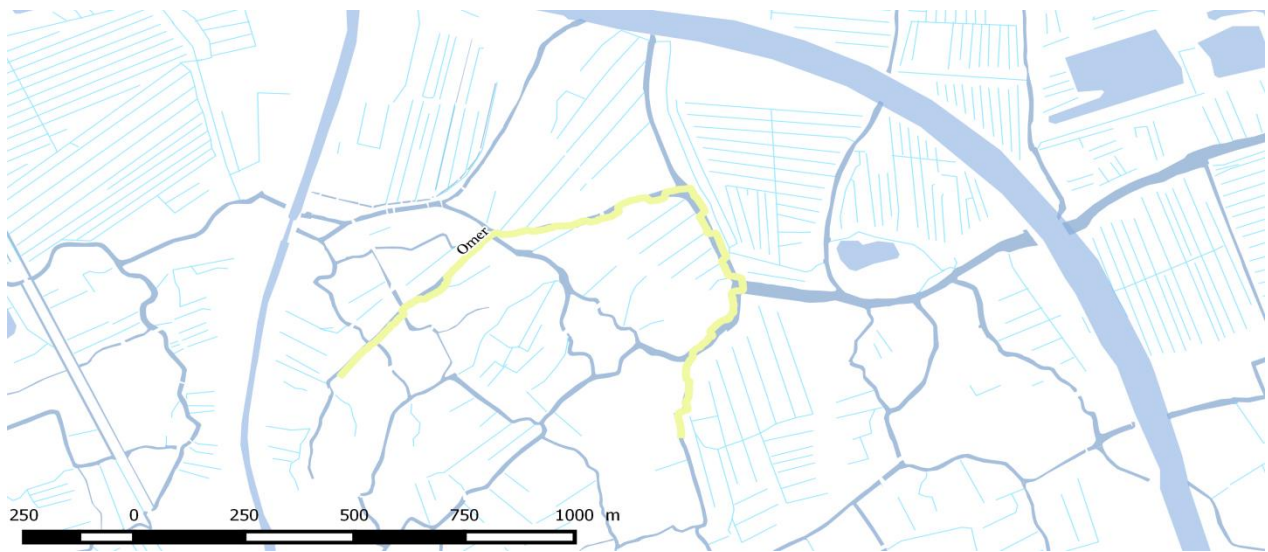


Figure 9 : Localisation et réseau hydraulique adjacent à la station « Omer ».

- Le Canal à Grand gabarit



Figure 10 : Localisation et réseau hydraulique adjacent aux stations « Canal2 » et « Canal1 » située à l'aval de l'écluse des Flandres, respectivement de gauche à droite.

- La rivière de la Houle

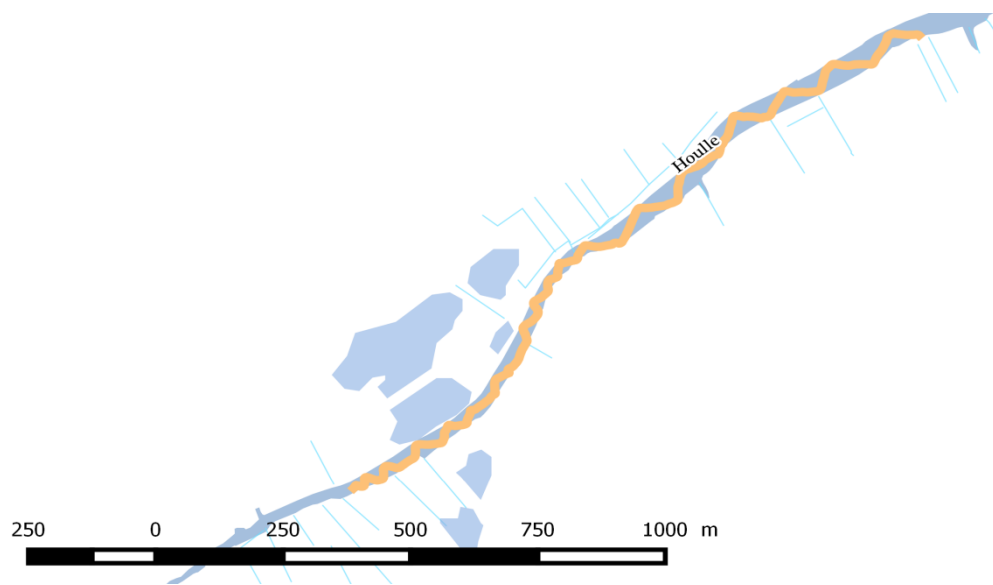


Figure 11 : Localisation et réseau hydraulique de la rivière de la « Houle ».

Période d'échantillonnage

Code / nom du site	Date d'échantillonnage	Réplica terrain 1, 2 ou 3	Durée filtration	Espèces / groupes taxonomiques recherchés
Houille	18/09/2018	1	25m'22s"	PC/tous taxons
Serques	18/09/2018	1	32m'40s"	PC/tous taxons
Landsberg	18/09/2018	1	34m'21s"	PC/tous taxons
Romelaere1	19/09/2018	1	33m'39s"	PC/tous taxons
Romelaere2	19/09/2018	2	30m'21s"	PC/tous taxons
Romelaere3	19/09/2018	3	28m'04s"	PC/tous taxons
Moereleck	19/09/2018	1	32m'31s"	PC/tous taxons
Zieux	19/09/2018	1	30m'04s"	PC/tous taxons
Vesseliette	20/09/2018	1	30m'41s"	PC/tous taxons
Omer	20/09/2018	1	31m'48s"	PC/tous taxons
Grand Large Sud	20/09/2018	1	34m'12s"	PC/tous taxons
Canal1	21/09/2018	1	32m'30s"	PC/tous taxons
Canal2	21/09/2018	1	30m'47s"	PC/tous taxons

Tableau 1 : Période de prélèvement et rappel des stations.

La période pressentie pour la réalisation des prélèvements d'ADNe a dû être étudiée en fonction de divers facteurs. En effet, afin de ne pas surestimer le nombre de séquences ADN de certaines espèces communes comme les cyprinidés, leur période de fraie se doit d'être évitée. Le complexe de l'Audomarois étant majoritairement en seconde catégorie piscicole, le choix s'est porté sur le mois de septembre.

Les prélèvements ont donc été réalisés en 4 jours à l'aide de deux opérateurs sans réels problèmes techniques majeurs.

Une fois l'échantillonnage terminé, les cartouches sont envoyées au laboratoire SpyGen pour analyse génétique. Le délai de traitement est d'environ 3 mois.

télescopique sur une bacôve traditionnelle (station « Romelaëre1 »).



Résultats

Prérequis

Lors de l'analyse des résultats, certaines remarques (émises par le laboratoire SpyGen pour la plupart) sont à garder à l'esprit. En effet il convient de :

- Ne pas omettre la possibilité d'une éventuelle pollution génétique dans le cas de résultats aberrants par exemple.
- Certains taxons ne peuvent actuellement qu'être décrits au niveau du genre (par exemple : *Lampetra sp.*) ou de la Famille à l'aide de l'étude de l'ADNe. Ceux-ci sont listés ci-dessous.
- L'ADN possède une durée de vie dans le milieu aqueux d'environ 15 jours (en fonction de divers facteurs ; espèces, UV, T°...).

Tableau 2 : Liste des taxons uniquement identifiable au Genre ou à la Famille à l'heure actuelle.

Certains taxons sont identifiés au genre ou à la famille :
Carassius sp. : <i>Carassius auratus</i> , <i>Carassius carassius</i> ou <i>Carassius gibelio</i>
Cottus sp. : <i>Cottus aturi</i> , <i>Cottus duranii</i> , <i>Cottus gobio</i> , <i>Cottus hispaniolensis</i> , <i>Cottus perifretum</i> ou <i>Cottus petiti</i>
Cyprinidae - Complexe 2 : <i>Ctenopharyngodon idella</i> ou <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
Gobio sp. : <i>Gobio gobio</i> , <i>Gobio lozanoi</i> ou <i>Gobio occitaniae</i>
Lampetra sp. : <i>Lampetra fluviatilis</i> ou <i>Lampetra planeri</i>
Leuciscus sp. : <i>Leuciscus idus</i> ou <i>Leuciscus leuciscus</i>

Dans la suite de l'analyse, sur chaque station, un nombre de répliques et de séquences sont identifiés. Les répliques sont au nombre de 12 afin de garantir une certitude quant à la présence d'une espèce. Le nombre de répliques positif (exemple 6/12) correspond au nombre de répliques différents où la présence de l'espèce a été effectivement validée au-delà d'un seuil significatif. Le nombre de séquences quant à lui représente le nombre de séquences ADN correspondant aux amorces utilisées qui ont pu être retrouvées dans l'échantillon. Ces deux indicateurs peuvent nous renseigner sur l'aspect semi-quantitatif de la présence d'un taxon.

On rappelle que les résultats de l'analyse du compartiment ichtyologique ont été obtenus avec l'approche multi-spécifique (VigiDNA® M). En plus de cela, une analyse mono-spécifique (VigiDNA® S) a été réalisée sur l'Ecrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*).

Résultats de l'approche mono-spécifique sur l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*)

L'intégralité des 13 stations au sein du marais Audomarois présente des résultats négatifs quant à la détection d'ADN d'Ecrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*).

Vue d'ensemble de l'approche multi-spécifiques sur le compartiment ichtyologique

Diversité : 29 taxons		
Nom vernaculaire	Code taxon	Nom scientifique
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>
Brème bordelière	BRB	<i>Blicca bjoerkna</i>
Carassin	CAS	<i>Carassius sp.</i>
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>
Chabot	CHA	<i>Cottus sp.</i>
Amour blanc/Carpe argentée	CTI	<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>
Epinuche	EPI	<i>Gasterosteus aculeatus</i>
Goujon	GOU	<i>Gobio sp.</i>
Grémille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>
Lamproie	LPR/LPP	<i>Lampetra sp.</i>
Able de Heckel	ABH	<i>Leucaspis delineatus</i>
Ide mélanote ou Vandoise	IDE/VAN	<i>Leuciscus sp.</i>
Gobie à taches noires	GTN	<i>Neogobius melanostomus</i>
Truite arc-en-ciel	TAC	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>
Flet	FLE	<i>Platichthys flesus</i>
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>
Saumon atlantique	SAT	<i>Salmo salar*</i>
Truite Fario	TRF	<i>Salmo trutta fario</i>
Ombre commun	OBR	<i>Thymallus thymallus</i>
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>
Silure	SIL	<i>Silurus glanis</i>
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>

Tableau 3 : Liste d'espèces détectées dans l'audomarois. * « pollution génétique » probable

L'ensemble des stations ont présenté des résultats positifs quant à la détection d'ADN de plusieurs espèces de poissons. Nous avons ainsi pu détecter au total 29 taxons différents dans l'ensemble du marais Audomarois (tableau3) à l'aide de la technique de l'ADNe.

Lorsqu'on analyse les résultats obtenus dans leur ensemble, il est possible de mettre en évidence quelques tendances (tableau 4). La richesse spécifique moyenne retrouvée sur ces

13 stations est de 15 taxons avec 12 espèces détectées au minimum (Serques) et 20 au maximum (Canal 2). L'écart-type est plutôt faible (± 2).

A l'aide des deux indicateurs que sont le nombre de séquences de gènes et de réplicats positifs, il est possible d'avoir une idée de la proportion (semi-quantitative) des diverses espèces détectées par rapport aux autres.

Les 5 espèces les plus communément retrouvées dans le marais sont ; la Brème commune (*Abramis brama*), le Gardon (*Rutilus rutilus*), la Grémille (*Gymnocephalus cernuus*), la Perche fluviatile (*Perca fluviatilis*) et le Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*).

Diversité totale détectée :	29	
Richesse moyenne	15	
Richesse minimum par station	12 (Serques)	
Richesse maximum par station	20 (Canal2)	
Taxons les plus représentées (occurrence/séquences totales)	BRE (13/1989625)	GAR (13/715215)
Taxons les moins représentées (occurrence/séquences totales)	EPI (1/136)	SIL (1/136)
Espèces patrimoniales dénombrées	10	
Espèces exotiques dénombrées	6	
Espèces patrimoniales détectées	ANG, LOR, CHA, BRO, LPR/LPP, ABH, BOU, TRF, OBR, VAN, IDE,	

Tableau 4 : Tendances globales obtenue à l'aide de l'ADNe.

En revanche, les 5 espèces les moins représentées en terme d'occurrence par station et de séquences ADN retrouvées sont ; l'Epinouche (*Gasterosteus aculeatus*), le Silure glane (*Silurus glanis*), la Lamproie (*Lampetra* sp.), le Gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*) et le Flet (*Platichthys flesus*).

Plusieurs espèces ont été détectées sur l'ensemble des stations du marais. Il s'agit de la

Brème commune, l'Anguille, la Carpe commune, le Brochet, la Grémille, la Perche fluviatile, le Gardon, le Sandre, le Rotengle et la Tanche. Cela représente 10 taxons toujours détectés mais bien-entendus avec des disparités inter-stations qui seront traitées dans la partie résultats par station (en termes de nombres de réplicats positifs ou de séquences).

Espèces patrimoniales

10 espèces dites patrimoniales sont retrouvées. Une espèce patrimoniale correspond à une espèce protégée, menacée (sur liste rouge), rare ou encore une espèce ayant un intérêt scientifique, symbolique ou culturel régional. On rappelle que le statut d'espèce patrimoniale est un bon indicateur de la richesse d'un territoire. Certains taxons appartiennent à la liste régionale des espèces déterminantes de ZNIEFF (DREAL NPDC, 2014).

Dans notre cas, ces 8 espèces patrimoniales détectées sont :

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Statuts UICN
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	CR
<i>Cobitis taenia</i>	Loche de rivière	NT ; Annexe II DHFF
<i>Esox lucius</i>	Brochet	VU
<i>Cottus sp.</i>	Chabot	LC ; Annexe II DHFF
<i>Lampetra sp</i>	Lamproie	VU
<i>Leucaspis delineatus</i>	Able de Heckel	LC
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	LC ; Annexe II DHFF
<i>Salmo trutta</i>	Truite Fario	LC

Tableau 5 : Listes des espèces patrimoniales détecté sur le marais et leurs statuts IUCN

Légende : EX : Disparue – CR : Danger critique d'extinction – EN : En danger – VU : Vulnérable – NT : Quasi menacée – LC : Préoccupation mineure. Annexe II DHFF : retrouvées en Annexe II de la Directive Cadre Habitats Faune Flore. Leur présence sur certaines stations est donc une information prépondérante.

Espèces exotiques

Une espèce exotique est une espèce allochtone introduite par l'Homme (volontairement ou de façon fortuite). Celle-ci peut également être qualifiée d'envahissante (EEE) si celle-ci a une tendance à se propager de manière exponentielle et donc de prédominer dans les écosystèmes, les habitats au détriment des espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques et/ou sanitaires négatives (UICN 2000, McNeeky et al.2001). Ces espèces peuvent aussi bien être végétales qu'animales. Dans la région des Hauts-de-

France, certaines espèces sont plus problématiques que d'autres. Une liste des espèces exotiques a par exemple été produite en tenant compte de leurs impacts environnementaux (tableau 6).

Dans le cas du marais Audomarois, l'ADNe a pu mettre en évidence la présence avérée de 6 espèces exotiques dont une espèce exotique envahissante (EEE) : le Gobie à taches noires sur les deux stations situées sur l'axe canalisé (figure13).

NB : une espèce exotique introduite avant le 18^e siècle n'est plus considérée comme telle mais dite amphinaturalisée (ex : la Carpe commune).



Figure 13 : Photos prises sur le secteur de l'Audomarois d'un Amour blanc (sur le Romelaëre), d'un Silure glane (sur le Zieux) et d'un Gobie à taches noires (sur le Canal) respectivement de gauche à droite (crédit photos : Eden62, E. Bayard et données pêcheurs).

- **Cyprinidae - Complexe 2 sur le Romealaëre (1, 2 et 3)** : dans ce cas l'ADNe ne nous permet pas de faire la distinction entre l'Amour blanc (*Ctenopharyngodon idella*) et la Carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*). Mais des données récoltées sur le terrain par Eden62 nous ont permis de valider l'espèce qui se trouve être l'Amour blanc (figure13). Ce poisson est un *Cyprinidae* herbivore vorace originaire d'Asie. Il est parfois implanté par certains propriétaires de plans d'eau afin d'engager une lutte contre l'expansion des hydrophytes. La Carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*), quant à elle, est exclusivement filtreuse d'algues et non brouteuse d'hydrophytes.
- **Gobie à taches noires sur le Canal (1 et 2)** : cette espèce est originaire du bassin Ponto-Caspéen. Son aire de répartition a pu s'étendre dès les années 1990. Ce petit poisson très vorace et fertile est remonté via les canaux de navigation et les ballastes des péniches en transit. D'abord signalé sur le bassin du Danube puis du Rhin via le canal Rhin-Main-Danube, il a été signalé à plusieurs reprises par des pêcheurs du Nord (59) depuis 2016 et du Pas-de-Calais (62) sur les axes canalisés en 2018.
- **Le Silure sur le Zieux** : Espèce introduite historiquement sur le secteur du Rhin vers 1850, le Silure a été introduit et a proliféré dans diverses rivières de l'hexagone (Keith et. Al 1992, Keith 2003). Son introduction a été facilitée par son intérêt halieutique fort. Le silure est un carnivore nocturne de grande taille. Son impact sur le milieu varie en fonction de sa typologie. Son arrivée sur le secteur de l'audomarois a ainsi été validé en 2018 par la détection de son ADN et par des photos et déclarations de pêcheurs sur l'axe canalisé et sur le Zieux.

- **La Truite arc-en-ciel** : Cette truite originaire des Etats-Unis est principalement introduite dans le milieu via des déversements de rempoissonnement par des associations de pêcheurs pour son intérêt halieutique. La souche étant triploïde, ce poisson ne peut se reproduire dans le milieu, mais il peut néanmoins conduire à une certaine compétition alimentaire avec d'autres espèces.
- **Le Sandre** : Prédateur piscivore originaire de l'est de l'Elbe et du Nord de la mer Baltique et en particulier du bassin du Danube. Le Sandre fut introduit historiquement sur le Rhin en 1888 puis sur l'ensemble du territoire national pour son intérêt halieutique.
- **L'Ide mélanote (ou la Vandoise)** : Encore une fois l'ADNe ne permet pas de faire le distinguo entre l'ADN de la Vandoise (*Leuciscus leuciscus*) et celui de l'Ide mélanote (*Leuciscus idus*). Nous ne pouvons trancher cette fois à l'aide des observations terrain car les deux espèces ont déjà été retrouvées dans l'audomarois (données pêcheurs). L'Ide est un poisson originaire d'Asie et relativement peu répandu sur le territoire. Il ne présente pas de réelle menace environnementale. La Vandoise quant à elle présente un corps plus fusiforme.

		Impact environnemental		
		C (Faible)	B (Moyen)	A (Fort)
Niveaux d'invasions	3		Sandre (<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758))	Pseudorasbora (<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)) Silure glane (<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758) Moule zébrée (<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)) Ecrevisse américaine (<i>Orconectes limosus</i> (Rafinesque, 1817))
	2			Carassin argenté (<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)) Carassin doré (<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)) Perche soleil (<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)) Ecrevisse de Californie (<i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852))
	1	Gambusie (<i>Gambusia affinis</i> (Baird & Girard, 1853)) Gambusie (<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859) Omble de fontaine (<i>Salvelinus fontinalis</i> (Mitchill, 1814)) Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792))	Achigan à grande bouche (<i>Micropterus salmoides</i>) Barbotte brune (<i>Ameiurus nebulosus</i> (Lesueur, 1819)) Carpe argentée (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)) Poisson chat (<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)) Crabe chinois (<i>Eriocheir sinensis</i> H. Milne-Edwards, 1853)	Amour blanc (<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenciennes, 1844)) Ecrevisse de Louisiane (<i>Procambarus clarkii</i> (Girard, 1852))
	0	Umbre pygmée (<i>Umbra pygmaea</i> (DeKay, 1842))	Tête de boule (<i>Pimephales promelas</i> Rafinesque, 1820)	Gobie à nez tubulaire (<i>Proterorhinus semilunaris</i> (Heckel, 1837)) Gobie à tâches noires (<i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814))

Liste noire
Liste à surveiller
Liste d'alerte

Tableau 6 : Impact environnemental et hiérarchisation des « niveaux d'invasions » (DREAL Nord – Pas de Calais 2014)

Pollution génétique, espèces amphihalines et remarques

La présence de Saumon (*Salmo salar*) sur la Houlle découle vraisemblablement d'une pollution génétique. En effet la détection de certaines espèces notamment marines comme le maquereau, le saumon ou la daurade sont souvent des artefacts. Dans ce cas, aucune donnée de pêche de Saumon n'a jamais été notifiée sur la rivière de la Houlle. De plus la présence d'une STEP ainsi qu'un camping en amont de la Houlle confirme nos doutes. L'ADN retrouvé dans le milieu correspond probablement aux rejets des eaux usées.



Figure 14 : Un flet pêché sur la Basse Meldyck sur la commune de Blendecques (62)

En revanche une autre espèce marine est retrouvée sur les deux stations situées sur le Canal : il s'agit du Flet (*Platichthys flesus*). En effet, il est possible de retrouver cette espèce profondément dans les terres (dans le cas du fleuve Loire, des individus ont été recensés plus de 200 km en amont par exemple). Sa présence dans la zone d'étude a pu nous être confirmée à l'aide de données pêcheurs (figure 14). D'autres espèces amphihalines comme les Lamproies (*Lampetra* sp.), l'Anguille (*Anguilla anguilla*) ou

l'écotype Truite de Mer (*Salmo trutta trutta*) peuvent également être retrouvées.

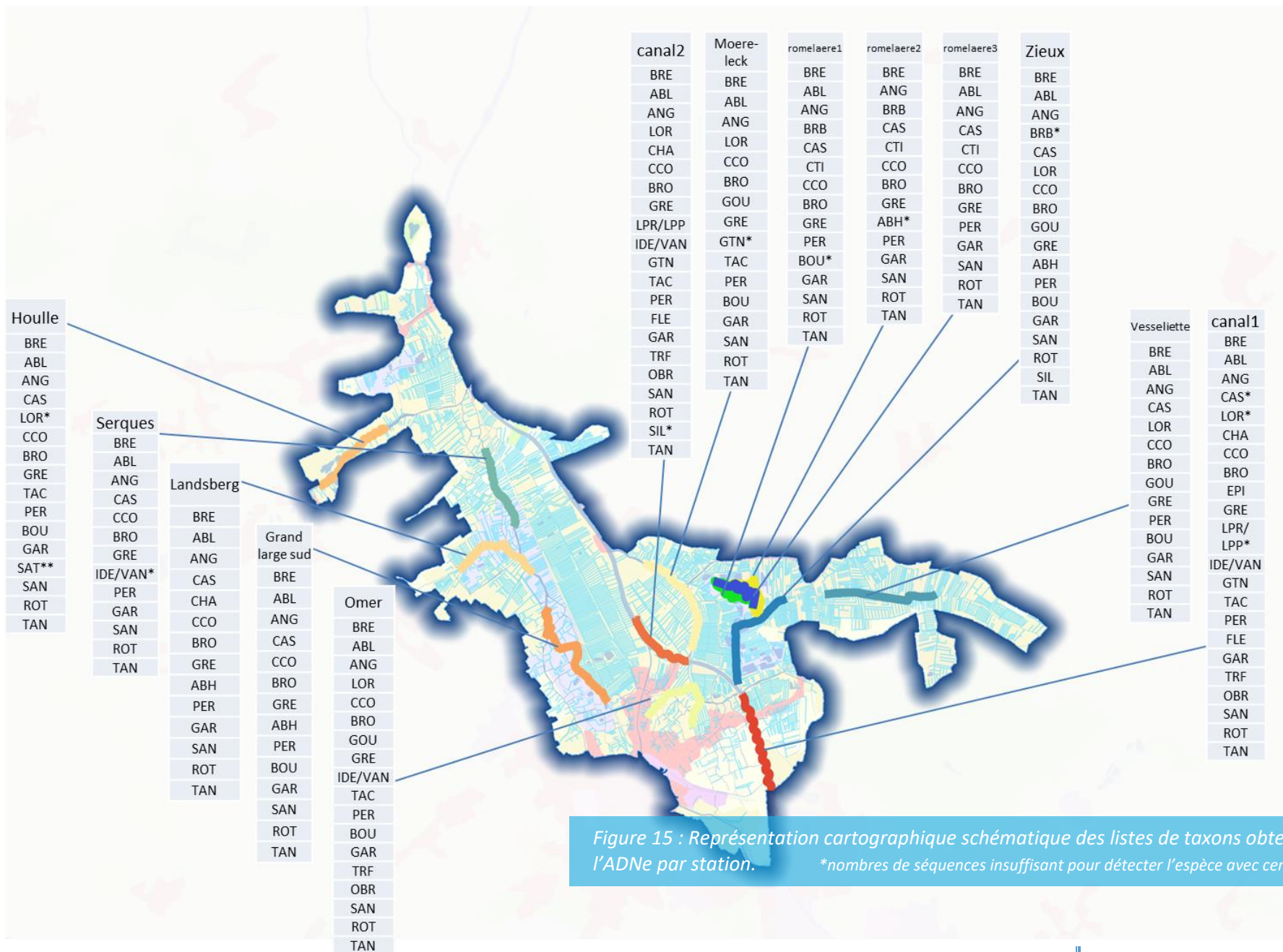


Figure 15 : Représentation cartographique schématique des listes de taxons obtenues à l'aide de l'ADNe par station. *nombres de séquences insuffisant pour détecter l'espèce avec certitude.

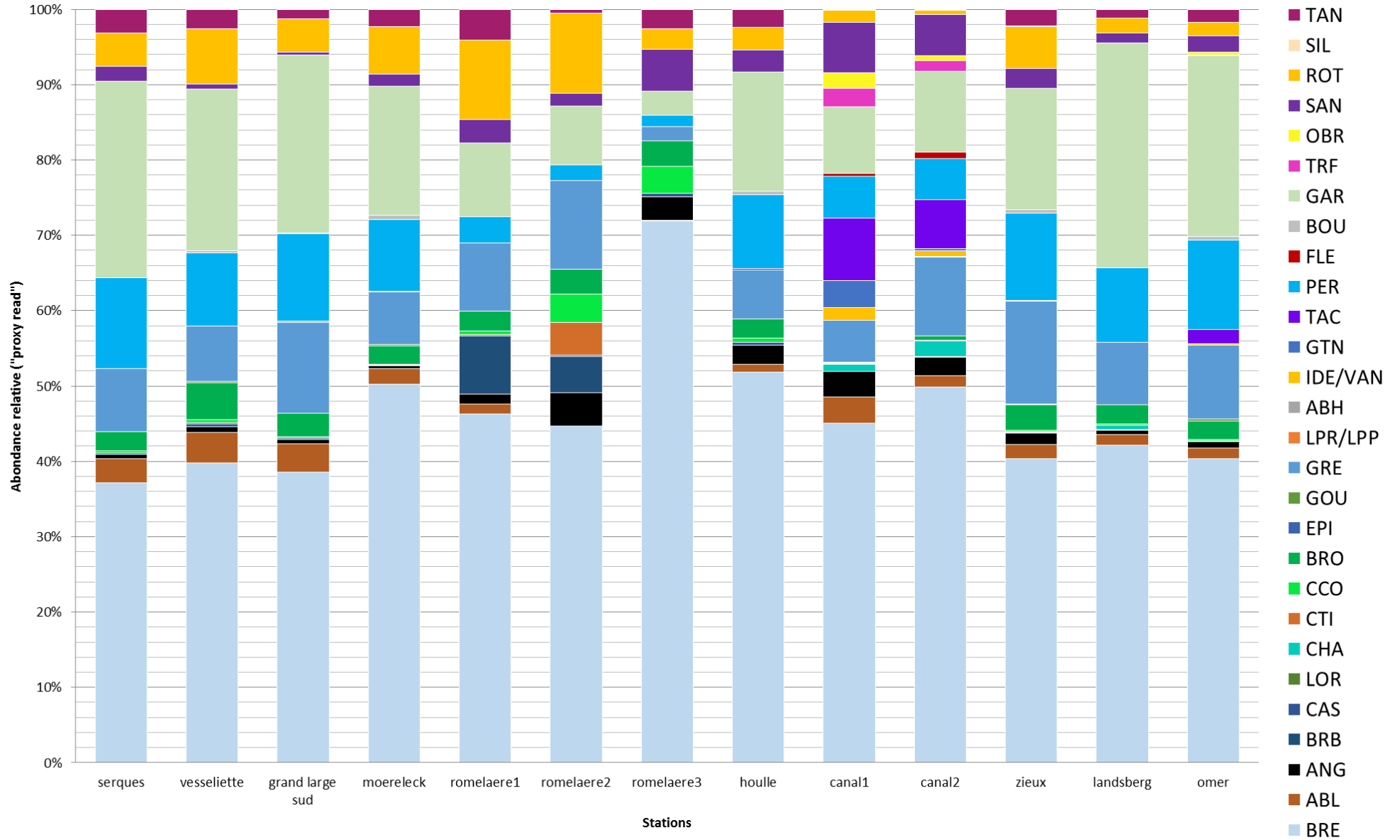


Figure 16 : Pourcentages d'abondances relatives obtenues à l'aide des « reads » (nombre de séquences ADN détectées par taxons).

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Code taxon	Serques	Vesseliette	Grand Large sud	Moereleck	Roemelaere 1	Romelaere 2	Romelaere 3	Houille	Canal 1	Canal 2	Zieux	Landsberg	Omer
			Occurrence												
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB					Déecté	Déecté					*		
<i>Carassius sp.</i>	Carrasin	CAS	Déecté	Déecté	Déecté		Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	*		Déecté	Déecté	
<i>Cobitis taenia</i>	Loche de rivière	LOR		Déecté		Déecté				*	*	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Cottus sp.</i>	Chabot	CHA									Déecté	Déecté		Déecté	
<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>	Amour blanc	CTI					Déecté	Déecté	Déecté						
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Epinoche	EPI									Déecté				
<i>Gobio sp.</i>	Goujon	GOU		Déecté		Déecté								Déecté	Déecté
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	GRE	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Lampetra sp.</i>	Lamproie	LPR/LPP									*	Déecté			
<i>Leucaspis delineatus</i>	Able de Heckel	ABH			Déecté			*						Déecté	Déecté
<i>Leuciscus sp.</i>	Ide Melanote ou Vandoise	IDE/VAN	*								Déecté	Déecté			Déecté
<i>Neogobius melanostomus</i>	Gobie à taches noires	GTN				*					Déecté	Déecté			
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	TAC				Déecté				Déecté	Déecté	Déecté			Déecté
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche fluviatile	PER	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Platichthys flesus</i>	Flet	FLE									Déecté	Déecté			
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU		Déecté	Déecté	Déecté	*			Déecté				Déecté	Déecté
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Salmo salar</i>	Saumon	SAT								Déecté					
<i>Salmo trutta</i>	Truite Fario	TRF									Déecté	Déecté			Déecté
<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre commun	OBR									Déecté	Déecté			Déecté
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
<i>Silurus glanis</i>	Silure	SIL										*	Déecté		
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté	Déecté
			12	15	14	15	14	13	13	15	19	20	17	14	18

* : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

Tableau 7 : Récapitulatif des taxons déctés par station.



Diversité	12
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/128 829)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Carassin (2/456)
Espèces d'intérêt patrimoniales	ANG, BRO

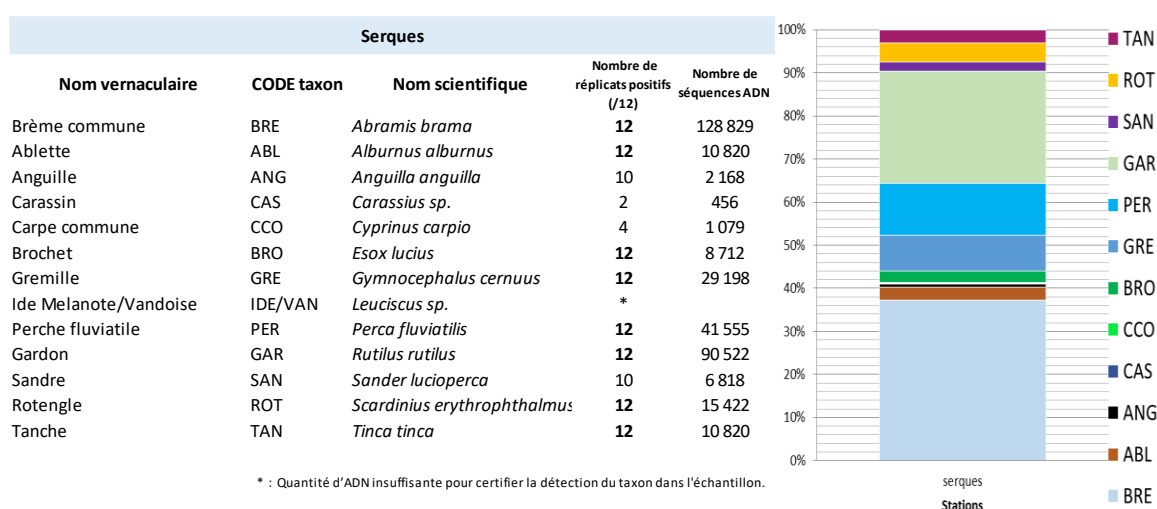


Tableau 8 : Résultats des analyses ADNe de la station Serques et abondances relatives associées

12 espèces de poissons ont été détectées sur la station du Marais de Serques. Il s'agit de la plus faible diversité spécifique obtenue sur l'ensemble des stations du Marais Audomarois. En termes de nombre de séquences d'ADN, les 3 espèces majoritaires sont la Brème

commune, le Gardon et la Perche fluviatile. Ces 3 taxons sont parmi les plus communs du secteur. On note néanmoins une nette prédominance du nombre de séquences ADN du Gardon.



Diversité	15
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/144 391)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Goujon (7/665)
Espèces d'intérêt patrimoniales ANG, LOR, BRO, BOU	

Vesseliette				
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	144 391
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	12	14 796
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	11	2 884
Carassin	CAS	<i>Carassius sp.</i>	9	1 185
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>	9	897
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	10	1 193
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	12	17 652
Goujon	GOU	<i>Gobio sp.</i>	7	665
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	26 808
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	12	35 124
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>	10	1 221
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	77 988
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	12	2 384
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	12	26 644
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	12	9 348

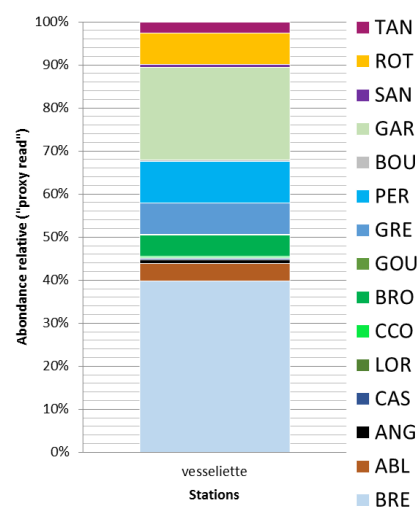


Tableau 9 : Résultats des analyses ADNe sur la station Vesseliette et abondances relatives associées

15 taxons sont détectés sur cette station ce qui équivaut à la diversité moyenne du Marais. Les 3 espèces majoritairement trouvées dans cette zone sont encore une fois la Brème commune, la Perche et le Gardon. Néanmoins cette station est très intéressante pour plusieurs raisons. On trouve en plus du Brochet et de l'Anguille (détectés sur toutes les stations), la Loche de rivière et la Bouvière, espèces patrimoniales et listées en annexe II de la Directive Habitats Faune Flore. Le Goujon a aussi été détecté. Ce taxon rhéophile est particulièrement polluosensible, ce qui

témoigne d'une certaine qualité chimique de l'eau. L'information de sa présence sur la Vesseliette est un bon indicateur. Néanmoins, au regard du nombre modéré de séquences ADN et de 7/12 répliquats, il est probable que le Goujon était tout de même peu représenté sur la station. On note par contre que les séquences ADN : d'Ablette, de Loche de rivière et de Brochet sont plus élevées par rapport à l'ensemble des 13 stations. Cette donnée nous permettra d'orienter certaines de nos investigations sur ce secteur, concernant le Focus Brochet.

Le grand large sud



Diversité	14
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/136 076)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Bouvière (2/422)
Espèces d'intérêt patrimoniales	ANG, BRO, ABH, BOU

Grand large sud							
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Abondance relative ("proxy read")		
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	136 076	100%		TAN
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	12	13 559	90%		ROT
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	9	1 909	80%		SAN
Carassin	CAS	<i>Carassius sp.</i>	9	578	70%		GAR
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	6	778	60%		BOU
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	12	11 016	50%		PER
Grémille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	42 593	40%		ABH
Able de Heckel	ABH	<i>Leucaspis delineatus</i>	3	650	30%		GRE
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	12	40 663	20%		BRO
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>	2	422	10%		CCO
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	83 513	0%		CAS
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	9	1 472			ANG
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	12	15 553			ABL
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	12	4 421			BRE

Tableau 10 : Résultats des analyses ADNe sur la station Grand Large sud et abondances relatives associées

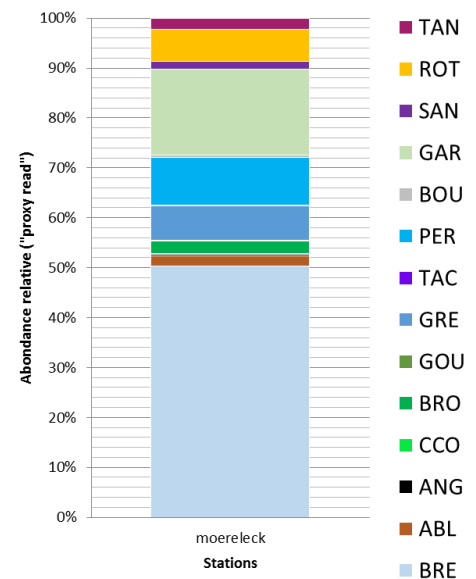
La diversité sur la partie Sud du secteur du Grand Large et plus précisément sur les waterings dit du Grand Large et du Ketestroom est de 14 taxons. Les 3 espèces majoritaires sont la Brème commune, le Gardon et la Grémille. Les espèces d'intérêt patrimonial sont au nombre de 5 avec la Bouvière listée en Annexe II de la DHFF. La bouvière n'est malgré tout détectée que sur deux répliquats avec 422 séquences, ce qui est assez faible. On note aussi la présence de l'Able

de Heckel sur cette station (uniquement détecté sur 2 autres stations (Zieux et Landsberg) mais le nombre de séquences est ici le plus important. Le Brochet semble aussi plus représenté sur cette zone. Il devance fortement le Sandre en termes de nombre de séquences. En effet, le nombre de séquences ADN de Sandre est le plus faible par rapport aux autres stations. L'Anguille semble aussi assez peu représentée.



Diversité	15
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/199 660)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Loche de rivière (3/131)
Espèces d'intérêt patrimoniales	
ANG, BRO, LOR, BOU	

Moereleck				
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	199 660
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	12	8 139
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	11	1 674
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>	3	131
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	5	352
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	12	9 669
Goujon	GOU	<i>Gobio sp.</i>	9	837
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	27 587
Gobie à taches noires	GTN	<i>Neogobius melanostomus</i>	*	
Truite arc-en-ciel	TAC	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	2	698
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	12	37 643
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>	10	2 134
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	68 118
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	12	6 295
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	12	25 209
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	12	9 139



* : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

Tableau 11 : Résultats des analyses ADNe sur la station Moereleck et abondances relatives associées

La diversité spécifique de la station du Moereleck reste dans la moyenne avec 15 taxons. Plusieurs espèces d'intérêt patrimonial y sont détectées dont la Loche de rivière et la

Bouvière. La Loche est assez peu représentée en termes de nombre de séquences mais la Bouvière semble plus implantée.

On note toutefois la présence d'ADN de Truite arc-en-ciel. Trois hypothèses sont vraisemblables pour expliquer sa présence :

1. L'ADN est issu d'eau de rejets domestiques (un certain nombre de maisons non raccordées à un système d'assainissement collectif sont recensées dans cette zone).
2. Un certain nombre de Truites arc-en-ciel ont pu trouver refuge dans ce wateringue. En effet, cette rivière est connectée au Nord et au Sud au Canal à grand gabarit. Les connexions étant relativement proches, il est possible que des individus du Canal aient pu remonter dans ce wateringue (grand nombre de séquences de TAC retrouvées sur Canal 1 et 2). En effet, des

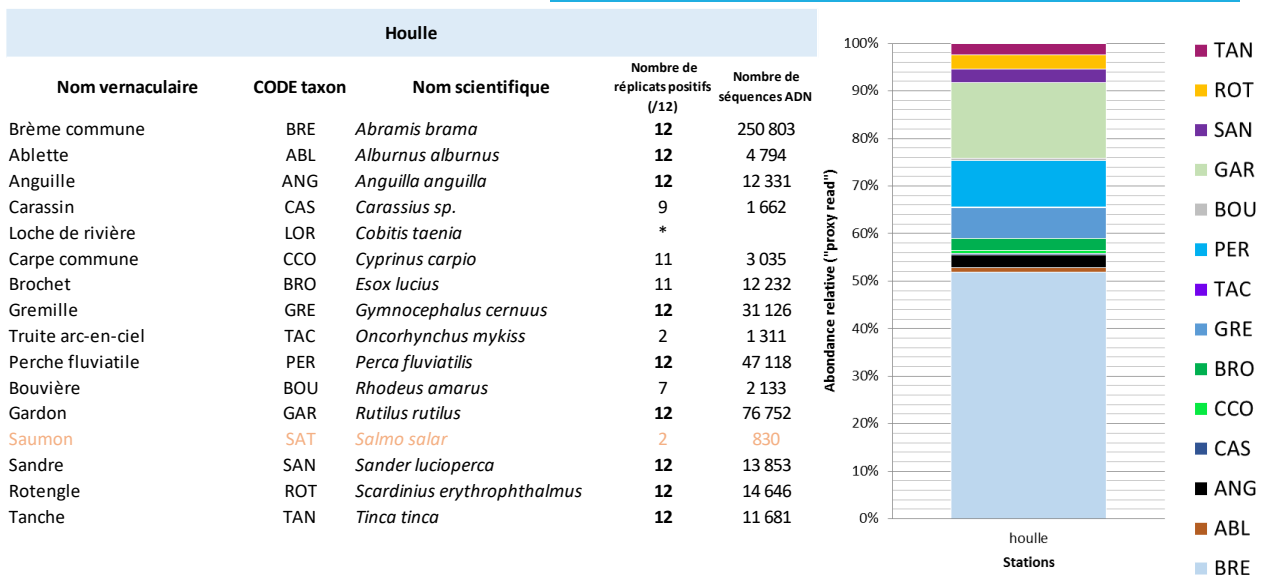
rempoissonnements de Truites arc-en-ciel sont parfois réalisés par l'AAPPMA locale de Arques. Certains sujets sont tout à fait susceptibles d'être retrouvés dans le canal ou sur cette rivière.

3. L'ADN est directement issu de l'eau du Canal qui peut transiter en partie dans ce wateringue. Des individus ne sont pas forcément présents dans le Moereleck mais leur ADN si.

Quant à la détection non significative d'ADN de Gobie à taches noires, une explication similaire est plausible (proximité du Canal).



Diversité	14
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/250803)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Truite arc-en-ciel (2/1311)
Espèces d'intérêt patrimoniales ANG, LOR, BRO, BOU	



* : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

Tableau 12 : Résultats des analyses ADNe sur la station Houle et abondances relatives associées

14 taxons sont détectés sur la Houle avec une détection non significative de la Loche de rivière et une pollution génétique avec la présence d'ADN de Saumon atlantique, vraisemblablement issu des eaux traitées de la STEP située en amont (taxon non comptabilisé). Mis à part la détection d'ADN de Truite arc-en-ciel, la liste faunistique est caractéristique d'un cours d'eau de seconde catégorie bien diversifié avec la détection d'espèces cibles telles que la Bouvière et la Loche de rivière.

La présence de séquences ADN de Truite arc-en-ciel peut être imputée à plusieurs facteurs à l'instar de la station Moereleck (rejet de la STEP, arrivée d'ADN par les eaux du canal ou individus issus du canal). On note aussi une légère dominance du ratio séquence ADN Brochet/Sandre en faveur du Sandre (à l'inverse de Grand Large Sud).

La station Canal1



Diversité		19
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)		Brème commune (12/86689)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)		Carpe commune (4/125)
Espèces d'intérêt patrimoniales		ANG, CHA, BRO, TRF

Canal1				
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	86 689
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	11	6 737
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	12	6 426
Carassin	CAS	<i>Carassius sp.</i>	*	
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>	*	
Chabot	CHA	<i>Cottus sp.</i>	5	1 842
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	4	125
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	1	285
Epinoche	EPI	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	4	132
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	10 724
Lamproie	LPR/LPP	<i>Lampetra sp.</i>	*	
Ide Melanote/Vandoise	IDE/VAN	<i>Leuciscus sp.</i>	9	3 241
Gobie à taches noires	GTN	<i>Neogobius melanostomus</i>	10	6 943
Truite arc-en-ciel	TAC	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	12	15 827
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	9	10 788
Flet	FLE	<i>Platichthys flesus</i>	1	683
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	16 968
Truite Fario	TRF	<i>Salmo trutta</i>	7	4 749
Ombre	OBR	<i>Thymallus thymallus</i>	2	4 050
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	12	12 899
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	10	3 019
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	3	247

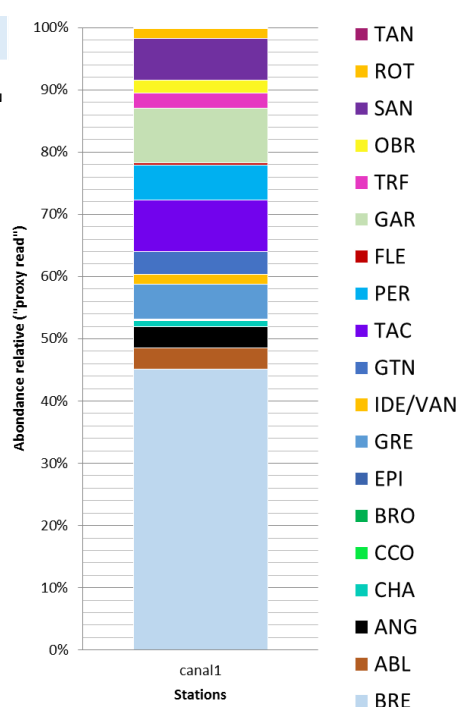


Tableau 13 : Résultats des analyses ADNe sur la station Canal1 et abondances relatives associées

La station Canal 1 est positionnée plus en amont d'1,5km environ que la station Canal 2. Mais les deux stations sont situées sur le même Bief, en aval de l'écluse des Flandres. L'objectif de ce positionnement était de mettre en évidence ou non des divergences entre les

deux stations, notamment à cause de la confluence avec la rivière de la Basse Meldyck située juste en aval de la station Canal1.

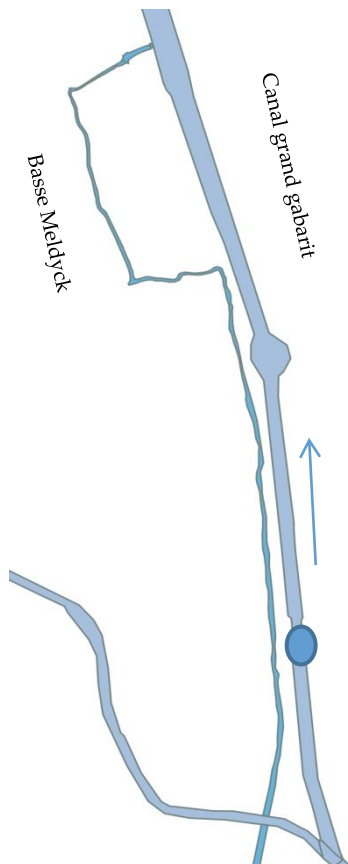
La diversité est de 19 détections de taxons.

Cette diversité très importante est liée à la présence de :

- L'Épinoche (uniquement détecté ici).
- Plusieurs espèces issues de la zone à Truite/Ombre (typologie de Huet) sont détectées comme : Chabot, Truite Fario, Truite arc-en-ciel et Ombre commun.
- Deux espèces amphihalines sont présentes (le Flet et la Lamproie mais non significatifs sur Canal 1).

Par rapport aux autres milieux échantillonnés, on note que les proportions de séquences ADN de Brochet et de Carpe commune sont les plus faibles. En revanche, les proportions de séquences ADN de Gobie à taches noires et d'Ombre commun sont ici plus élevées.

Ces résultats et cette diversité, plus importante que sur les autres stations, peuvent être expliqués d'une part à cause du caractère particulier du milieu (Canal grand gabarit) et d'autre part avec la proximité de l'exutoire de la Basse Meldyck (affluent de première catégorie administrative). En effet, le Canal reste un axe de migration de plusieurs espèces amphihalines, il est donc parfaitement cohérent de retrouver l'ADN d'espèces de ce type.



Enfin la proximité de l'exutoire de la Basse Meldyck (Figure17) peut expliquer la détection d'espèces de première catégorie piscicole. Si on garde à l'esprit que l'ADN se comporte dans les fluides comme une particule fine, celui-ci devrait en toute logique se retrouver en plus grande quantité à l'aval de l'embouchure Basse Meldyck/Canal à grand gabarit. En effet, le flux de gènes de ces espèces est transporté dans un système lotique et peut se retrouver à l'aval de la confluence dans le sens d'écoulement de l'eau.

De ce fait, il y a plus de séquences de ces espèces de première catégorie qui sont effectivement dénombrés sur Canal 2.

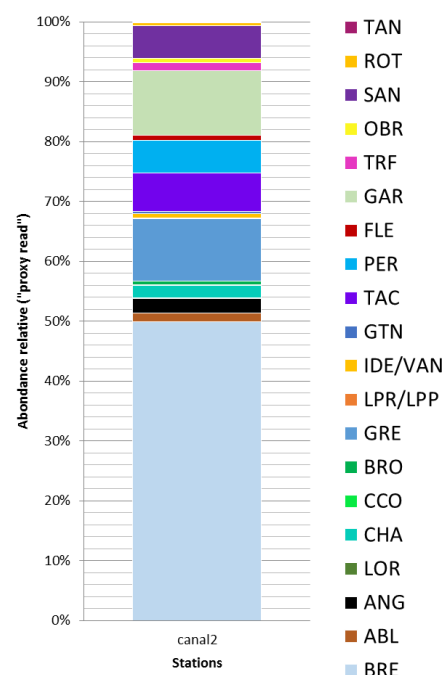
Sur Canal 1, ces taxons sont tout de même détectés mais en moindre abondance en termes de fragments de gènes.

Figure 17 : Schéma représentant le réseau hydrologique de la rivière Basse Meldyck et sa confluence au Canal. Le point bleu représente l'écluse des Flandres et la flèche le sens d'écoulement.



Diversité	20
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/241 305)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Lamproie (5/527)
Espèces d'intérêt patrimoniales	ANG, LOR, CHA, BRO, FLE, TRF

Canal2				
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	241 305
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	12	7 121
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	12	12 059
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>	2	554
Chabot	CHA	<i>Cottus sp.</i>	10	9 847
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	8	638
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	7	2 548
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	50 490
Lamproie	LPR/LPP	<i>Lampetra sp.</i>	5	527
Ide Melanote/Vandoise	IDE/VAN	<i>Leuciscus sp.</i>	10	3 676
Gobie à taches noires	GTN	<i>Neogobius melanostomus</i>	1	1 584
Truite arc-en-ciel	TAC	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	12	31 234
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	12	26 314
Flet	FLE	<i>Platichthys flesus</i>	5	4 453
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	51 792
Truite Fario	TRF	<i>Salmo trutta</i>	10	6 713
Ombre	OBR	<i>Thymallus thymallus</i>	6	3 311
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	12	26 374
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	10	2 581
Silure	SIL	<i>Silurus glanis</i>	*	
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	6	786



* : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

Tableau 14 : Résultats des analyses ADNe sur la station Canal2 et abondances relatives associées

La diversité de la station Canal2 est la plus importante avec 20 taxons différents détectés. Les différences avec la station amont Canal1 sont les suivantes :

- Absence de l'Épinoche
- Présence de la Lamproie et de la Loche de rivière.

Les explications quant à la présence d'ADN d'espèces piscicoles de première catégorie restent similaires à celles émises lors du descriptif de la station Canal 1. En revanche, des divergences peuvent être observées comme la proportion de séquences plus importante de ces espèces de première catégorie (station plus à l'aval de la confluence Basse Meldyck/Canal à Grand gabarit) et la détection de la Loche de rivière (proximité de la confluence avec le Zieux, un wateringue où la Loche de rivière fut détectée).

Par rapport aux autres milieux la proportion de séquences ADN de Sandre, de Chabot, d'Ide mélanote/Vandoise, de Truite arc-en-ciel, de Flet et de Truite Fario est ici la plus importante. L'observation des abondances relatives des séquences ADN met en évidence une forte dominance du Sandre et de la Grémille par rapport au Brochet.

Par rapport aux taxons exotiques, le Gobie à taches noires est détecté et des traces d'ADN de Silure sont notifiées (quantité insuffisante pour certifier la détection). Ces traces ADN peuvent être issues du Zieux (où le Silure a été détecté) ou d'individus solitaires évoluant dans le Canal (ne relâchant pas assez d'ADN dans un milieu de ce gabarit).

La station du Landsberg



Diversité	14
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/98 569)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Carassin (5/132)
ANG, CHA, BRO, ABH	
Espèces d'intérêt patrimoniales	

Landsberg				
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	98 569
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	12	3 268
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	11	1 363
Carassin	CAS	<i>Carassius sp.</i>	5	132
Chabot	CHA	<i>Cottus sp.</i>	9	1 339
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	11	411
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	12	6 015
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	19 290
Able de Heckel	ABH	<i>Leucaspius delineatus</i>	5	122
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	12	23 063
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	69 857
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	12	3 175
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	12	4 468
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	12	2 784

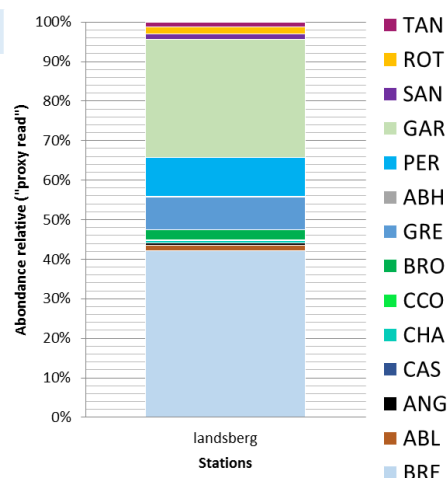
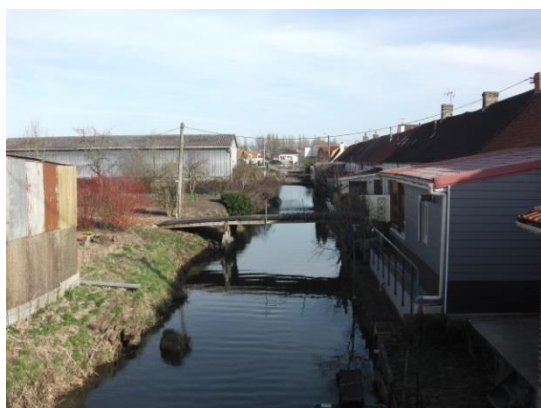


Tableau 15 : Résultats des analyses ADN sur la station Landsberg et abondances relatives associées

14 taxons sont détectés sur la station du Landsberg. Le peuplement est diversifié et classique des eaux dormantes avec une proportion importante de cyprinidés et de poissons piscivores ; mis à part la présence de chabot mise en évidence sur cette station. Cette donnée est inattendue puisqu'aucun cours d'eau salmonicole n'est proche du Landsberg ni même le Canal (avec son apport possible d'ADN explicité ci-dessus). Une des seules explications plausibles est l'attrait du

secteur Landsberg pour l'espèce Chabot. En effet, de nombreuses zones de sources y sont recensées ainsi que des habitats de type blocs, une eau claire et une végétation diversifiée. Il est ainsi éventuellement possible qu'une population relictuelle y ait élu domicile. Au regard de la bonne qualité chimique de l'eau dans cette zone, il était attendu de retrouver certaines espèces supplémentaires comme le Goujon ou la Loche de rivière ce qui n'est pas le cas.



Diversité	18
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/ 118 132)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Truite Fario (3/256)
Espèces d'intérêt patrimoniales ANG, LOR, BRO, BOU, TRF	

Saint - Omer				
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	118 132
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	12	4 238
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	12	2 370
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>	7	444
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	5	363
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	12	7 247
Goujon	GOU	<i>Gobio sp.</i>	9	845
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	28 830
Ide Melanote/Vandoise	IDE/VAN	<i>Leuciscus sp.</i>	9	516
Truite arc-en-ciel	TAC	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	12	5 425
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	12	34 708
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>	12	1 396
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	70 369
Truite Fario	TRF	<i>Salmo trutta</i>	3	256
Ombre	OBR	<i>Thymallus thymallus</i>	7	1 054
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	12	6 326
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	12	5 473
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	12	4 958

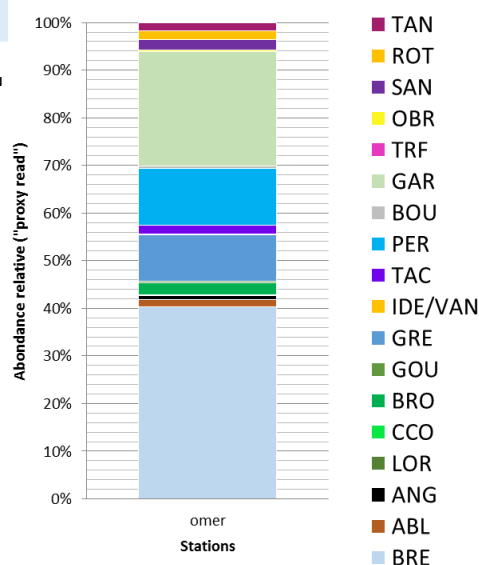


Tableau 16 : Résultats des analyses ADNe sur la station Omer

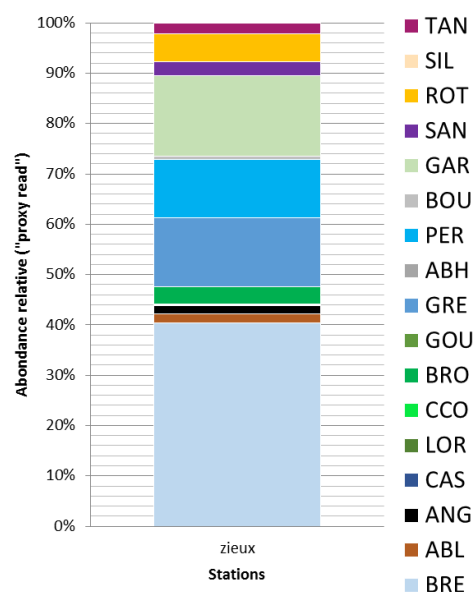
Le prélèvement réalisé sur la station située au Nord des canaux de Saint-Omer (secteur dit du Doulac) présente une liste étonnamment plus diversifiée qu'escomptée. En effet ce secteur est fortement anthropisé, présente des berges majoritairement pauvres en habitats avec des défenses de berge non appropriées. Ses particularités ainsi que sa proximité avec le Canal ne semblaient pas rendre cette station

aussi attractive pour ces espèces listées ici. 18 taxons sont détectés avec la présence de 6 espèces d'intérêt patrimonial dont la Bouvière et une espèce polluosensible le Goujon. On note juste la détection de 2 espèces de salmonidés vraisemblablement issues du Canal ou de la connexion avec la Basse Meldyck (à environ 1 km au plus proche). Il s'agit de la Truite fario et de la Truite arc-en-ciel.



Diversité	17
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/101 313)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Silure glane (2/134)
Espèces d'intérêt patrimoniales ANG, LOR, BRO, ABH, BOU	

Zieux				
Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	101 313
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	12	4 789
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	11	3 761
Brème bordelière	BRB	<i>Blicca bjoerkna</i>	*	
Carassin	CAS	<i>Carassius sp.</i>	3	148
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>	2	198
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	6	654
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	12	8 423
Goujon	GOU	<i>Gobio sp.</i>	3	288
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	12	34 246
Able de Heckel	ABH	<i>Leucaspis delineatus</i>	3	154
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	12	29 053
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>	8	1 369
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	40 408
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	12	6 654
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	12	13 947
Silure	SIL	<i>Silurus glanis</i>	2	134
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	12	5 518



* : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

Tableau 17 : Résultats des analyses ADNe sur la station du Zieux

Le wateringue Zieux est localisé à la limite du périmètre (au Sud) de la RNN du Romelaëre et conflue avec le Canal plus au Sud. Son potentiel en termes d'accueil d'espèces piscicoles est fort puisqu'il s'agit de la station à la diversité la plus élevée avec le Canal (1 et 2) et la station de Saint-Omer qui présentent tous les trois des espèces provenant d'un contexte salmonicole.

Les taxons les plus présents en termes de nombre de séquences ADN sont les cyprinidés (majoritairement Brème commune, Gardon et

Rotengle) et les percidés. 5 espèces d'intérêt patrimonial y sont recensées dont la Bouvière, l'Able de Heckel et la Loche de rivière.

En revanche, le Silure glane a été détecté sur la station. Des doutes étaient émis quant à sa présence mais en voici la confirmation. Toutefois le nombre de répliquats positifs et de séquences détectées étant très faible, il est possible que seuls quelques individus isolés soient présents sur cette zone pour le moment.

Résultats de l'approche multi-spécifique sur le Romelaëre

Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Romelaëre 1		Romelaëre 2		Romelaëre 3	
			Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	12	133 061	12	193 028	12	157 613
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	6	3 662			3	243
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	5	3 937	8	19 107	9	6 721
Brème bordelière	BRB	<i>Blicca bjoerkna</i>	4	22 153	2	20 628		
Carassin	CAS	<i>Carassius sp.</i>	3	156	5	537	4	1 010
Amour blanc/Carpe argentée	CTI	<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>	2	373	5	18 983	1	187
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	7	1 301	11	15 988	10	7 658
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	6	7 552	3	14 492	4	7 486
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	9	26 040	9	50 528	6	4 138
Able de Heckel	ABH	<i>Leucaspis delineatus</i>			*			
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>	7	10 156	3	9 154	3	3 276
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>	*					
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	12	28 155	9	33 648	5	6 979
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	7	8 863	3	7 448	11	12 344
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	12	30 453	10	45 788	8	6 014
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	9	11 643	1	2 246	7	5 558



Tableau 18 : Résultats des analyses ADNe sur les 3 stations situées sur la RNN du Romelaëre.

* nombre de séquences insuffisantes pour détecter l'espèce avec certitude.

	Romelaëre 1	Romelaëre 2	Romelaëre 3
Diversité	14	13	13
Taxon le plus représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Brème commune (12/133 061)	Brème commune (12/193 028)	Brème commune (12/157 613)
Taxon le moins représenté (réplicats positifs/nbre de séquences)	Carassin (2/373)	Carassin (5/537)	Cyprinidés - Complexe 2 (1/187)
Espèces d'intérêt patrimoniales	ANG, BRO	ANG, BRO	ANG, BRO

Tableau 18bis : Résultats des analyses ADNe sur les 3 stations situées sur la RNN du Romelaëre.

Le grand étang principal de la RNN du Romelaëre présente une diversité spécifique de 14 taxons confirmés. En revanche, si on tient compte des deux taxons non détectés de manière significative (Bouvière et Able de Heckel) cela porterait la richesse spécifique à 16. Ces deux taxons ne sont en effet pas significativement détectés sur l'étang principal mais sont détectés dans le Zieux dont une partie est comprise dans le périmètre de la réserve. Le wateringue Zieux étant connecté à la RNN du Romelaëre, il est probable que ces espèces s'y trouvent en moindre nombre (Bouvière échantillonné en pêche par points en 2016 et sur l'étang de Degazelle en 2019 lors du Focus Brochet).

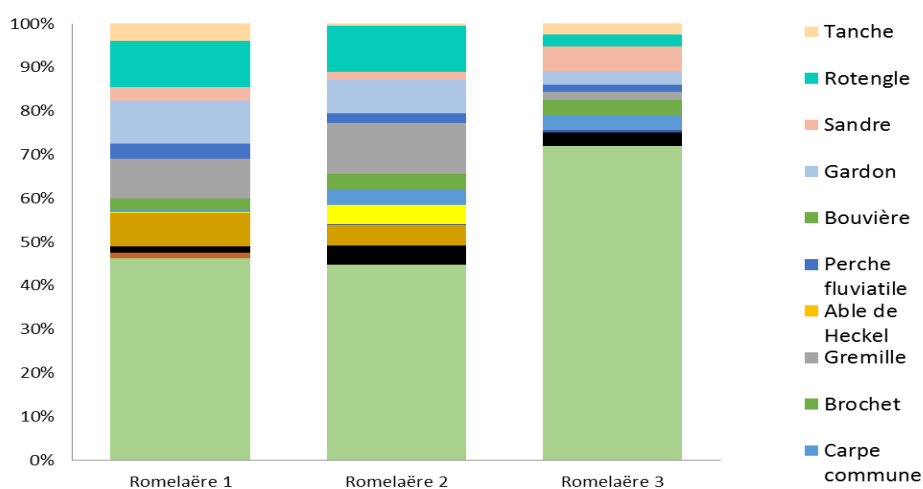


Figure 19 : Pourcentages d'abondances relatives des nombres de séquences obtenues sur la RNN du Romelaëre.

Les espèces les plus représentées en termes de nombre de séquences sont la Brème commune (qui domine très largement les peuplements des trois stations en termes de pourcentage d'abondance relative ; à raison de 46.3% pour la station 1, 44.7% pour la 2 et 71.9% pour la 3). Les autres espèces bien représentées sont la Grémille sur Romelaëre2 (11.7%), le Rotengle (10.6%) sur Romelaëre1 et le Sandre (5.6%) sur Romelaëre3.

Le nombre de séquences total dénombré est pratiquement deux fois plus importants sur Romelaëre2 (431 575) que sur Romelaëre 1 (287 505) et 3 (219 227). Certains taxons comme L'Anguille, la Carpe commune, la Grémille, l'Amour blanc, semblent plus inféodés à la station Romelaëre 2. Celle-ci est la zone la plus ombragée du site, située plus au sud et à l'abri du vent.

Comparaison avec les données antérieures sur la masse d'eau plan d'eau Romelaëre (FRAL01)

Grâce au déploiement de 5 inventaires entre 2016 et 1975, il est possible d'émettre un comparatif entre la technique ADNe et les pêches électriques « grand milieu » par échantillonnage ponctuel d'abondance (EPA) et les pêches aux filets maillants (tableau19).

En effet, le périmètre de la RNN du Romelaëre a pu faire l'objet de plusieurs inventaires (données non exhaustives issues du plan de gestion de la RNN) :

- Inventaires par EPA en 2016 dans le cadre d'un rapport ayant trait à l'amélioration des connaissances sur les ENS du Pas-de-Calais (*Diagnostic piscicole et mésologique des entités hydrauliques de la RNN du Romelaëre, 28p, FDAAPPMA62*). Mais celui-ci a aussi couvert certains étangs adjacents supplémentaires par rapport à l'étude ADNe.
- La réserve est classée masse d'eau plan d'eau DCE depuis 2007. A ce titre, elle a fait l'objet d'inventaires réguliers à l'aide de la méthode scandinave (filets benthiques) en 2009 et 2016 sur l'étang principal.
- Inventaires à l'électricité réalisés par le Conseil Supérieur de la Pêche en 1975 et en 1996. (Sur l'étang principal, les cours d'eau et les étangs secondaires annexes pour 1996 ; non renseigné pour 1975).

nom scientifique	nom vernaculaire	2018 (ADNe)	2016 (epa)	2016 (filets)	2009 (filets)	1996 (étang principal)	1996 (ensemble réseau)	1975
<i>Leucaspis delineatus</i>	Able de Heckel	*						NR
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	X	X	X	X		X	NR
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	X	X	X	X	X	X	NR
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	*	X				X	NR
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	X	X	X	X		X	NR
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	X	X	X	X	X	X	NR
<i>Esox lucius</i>	Brochet	X	X			X	X	NR
<i>Carassius sp.</i>	Carrasin	X	X	X	X		X	NR
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	X	X**	X	X**		X	NR
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Amour blanc	X						NR
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Epinoche			X	X		X	NR
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	X	X	X	X	X	X	NR
<i>Gobio sp.</i>	Goujon		X				X	NR
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	X	X	X	X	X	X	NR
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche fluviatile	X	X			X	X	NR
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	X	X	X		X	X	NR
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	X	X	X	X	X	X	NR
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	X	X			X	X	NR
Diversité		14 (16*)	15	11	10	9	16	11

Tableau 19 : Présence/absence des taxons retrouvés au fil des suivis comparativement à l'étude ADNe sur la RNN du Romelaëre. " * " : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon. "***"+Carpe miroir CMI (même espèce du point de vue ADN)

Bénéfice de l'ADNe :

Les données ADNe ont permis d'identifier une espèce supplémentaire sur l'étang principal par rapport à l'ensemble des suivis historiques. Il s'agit des cyprinidés - Complexe 2 (*Ctenopharyngodon idella* ou *Hypophthalmichthys molitrix*, l'analyse ADNe ne permettant pas de faire le distinguo entre ces deux espèces proches). Après des échanges avec le syndicat mixte Eden62, il a été possible de caractériser l'espèce Amour blanc par le biais d'une photographie. Il est peu probable que la Carpe argentée soit présente sur le site. En revanche, l'Able de Heckel n'a jamais été retrouvé dans les inventaires piscicoles passés.

Défaillance de l'ADNe :

Les données de pêches électriques et d'échantillonnages aux filets benthiques ont permis de mettre en évidence l'Epinoche, le Goujon et la Bouvière (traces non significatives détectées) non détectées via la méthode de l'ADNe en 2018.

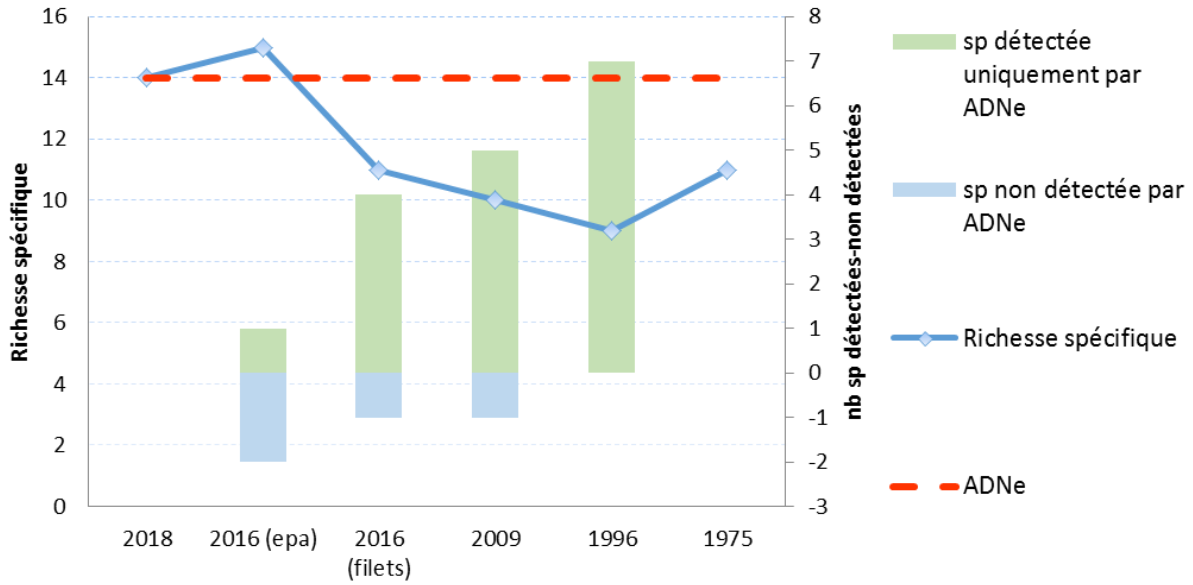


Figure 20 : Comparatif entre les années de la diversité obtenue et du nombre de taxons détectés uniquement par ADNe ou non détectés par cette méthode.

Les espèces non détectées par ADNe sont toutes les trois des espèces de petites tailles présentes en faible effectif dans le secteur. Effectif Bouvière par exemple ; 2 en 2016 (EPA) et 6 en 1996 dont aucune sur l'étang principal. Goujon non échantillonné sur l'étang principal mais dans les annexes où dans le wateringue Zieux en 1996.

La liste faunistique la plus proche de celle obtenue via la méthode ADNe est celle de la

pêche par 75 EPA de 2016 réalisée par la FDAAPPMA62.

Si on compare cette fois la liste obtenue par ADNe individuellement avec chaque année (Figure 20), on arrive à une moyenne de 4 taxons supplémentaires détectés ($4,25 \pm 1,75$), contre 1 taxon non détecté en 2009 et 2016 (aux filets) et 2 en 2016 (EPA).

Comparaison avec les données antérieures sur le Marais Audomarois

Comme il le fut présenté dans la partie introductive du rapport, le projet FBMA a émergé suite au constat d'un manque de données ichtyologiques sur le secteur. De ce fait, peu de comparatifs seront possibles. En effet, aucune donnée réellement exploitable n'est antérieure à 2010.

Néanmoins :

- Des pêches d'inventaires furent réalisées sur 7 stations du marais Ouest (Etude Natura2000 – Pêche par ambiance). Le but de l'étude était de mettre en évidence des espèces d'intérêt communautaire dans des annexes du marais (fossés et plans d'eau semi-ouverts).
- Des pêches par EPA furent réalisées dans le secteur d'étude lors du projet Connect'AH (Quelles annexes hydrauliques doit-on connecter pour améliorer la fonctionnalité des communautés de poissons des cours d'eau anthropisés du Pas-de-Calais ?). Ces échantillonnages ont été réalisés à l'aide d'un Electrofishing boat® et en pêche embarquée type pneumatique entre 2015 et 2016.
- Les stations d'inventaires du Focus RCS (2018-2019) du projet FBMA ont été superposées sur le trajet de l'échantillonnage.

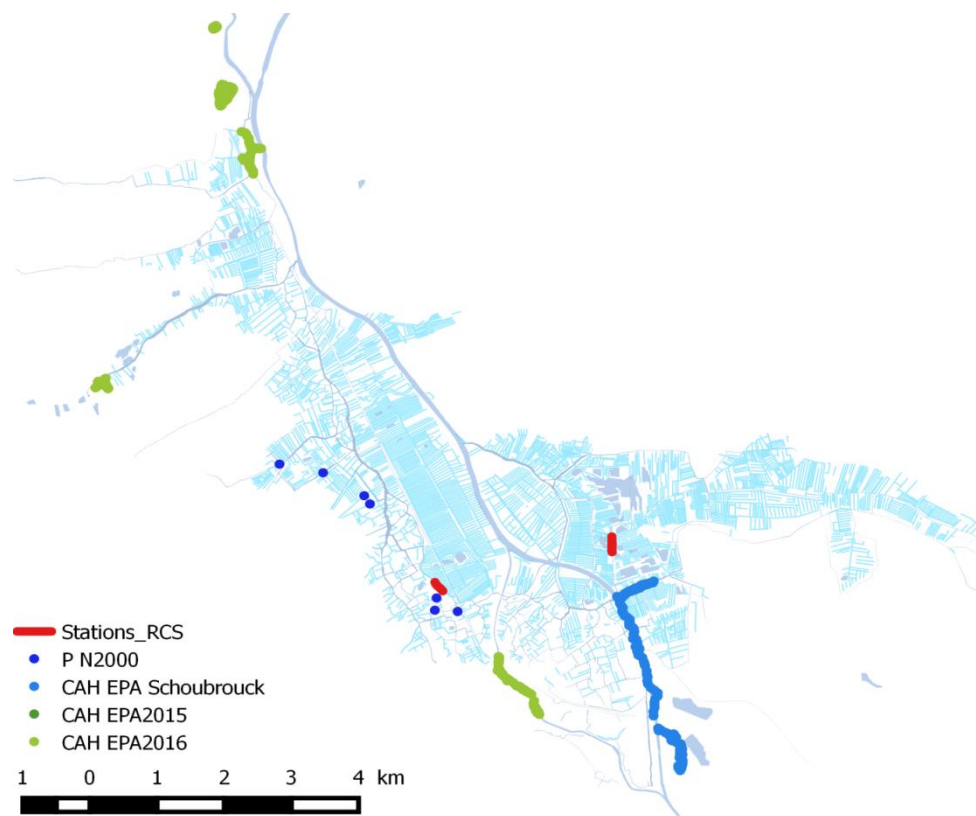


Figure 20 : Points de prélèvements des anciennes actions de pêche électrique sur l'Audomarois. (CAH pour projet Connect'AH).

nom scientifique	nom vernaculaire	N2000 (2010)	Schoubrouk (2015)	B24canal (2015)	ZH51houlle (2016)	IPR-OUEST (2018)	IPR-EST (2018)	IPR-OUEST (2019)	IPR-EST (2019)
<i>Leucaspis delineatus</i>	Able de Heckel		X						
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	X	X	X		X	X	X	X
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	X	X			X		X	
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière			X		X	X		X
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	X		X	X	X	X	X	X
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière						X		
<i>Esox lucius</i>	Brochet	X	X			X	X	X	X
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune			X					
<i>Carassius sp.</i>	Carrasin					X	X		
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Épinoche	X							
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	X		X		X	X	X	X
<i>Gobio sp.</i>	Goujon								X
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche fluviatile	X	X	X		X	X	X	X
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle				X	X	X		X
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre			X			X	X	X
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	X							
<i>Cobitis taenia</i>	Loche de rivière	X							
<i>Cyprinidae nd</i>	Cyprinidae nd		X						
Diversité		10	7	8	3	10	11	8	11

Tableau 19 : Présence/absence des taxons retrouvés au fil de plusieurs suivis historiquement réalisés dans le marais Awdudomarois.

Les comparatifs seront émis à titre indicatif puisque, hormis les stations RCS IPR-OUEST et IPR-EST, aucune des autres stations n'est superposée avec une station ADNe. Malgré tout, chacune d'entre elles permet d'établir un constat. Nous pouvons comparer ; la Houlle, le Canal à Grand gabarit et le Schoubrouk dans le cadre de Connect'AH ainsi que le Landsberg et le Grand Large pour les inventaires sur le périmètre Natura2000. Les linéaires échantillonnés par pêche étaient toutefois en général bien moindres que le linéaire filtré via la méthode ADNe (moyenne : 1795,5±352,9m).

- Sur la Houlle : uniquement 3 espèces ont été retrouvées en 2016 contre 15 pour l'ADNe en 2018. L'ADNe a ici permis de mettre en évidence 80% des taxons supplémentaires dont 5 espèces patrimoniales.
- Sur le Canal et le Schoubrouk : la station ADNe la plus proche des points de pêches de 2015 est la station Canal 2. L'ADNe nous apporte ici une contribution de 64% de taxons supplémentaires.
- Sur le Marais Ouest (du Landsberg au Grand Large) : l'ensemble des stations Natura2000 de 2010 ont permis de mettre en évidence 10 taxons différents contre 14 pour le Grand Large et le Landsberg. Avec une contribution de 7 nouveaux taxons pour l'ADNe mais 2 non retrouvés. Il s'agit de la Loche de rivière et de l'Épinoche.
- Sur le Zieux et le Grand Large / Ketestroom via les échantillonnages réalisés dans le cadre du Focus RCS :
 - 18 espèces sont détectées par analyse ADNe contre 11 en 2018 et 10 en 2019 pour l'inventaire sur le Zieux.
 - 14 espèces sont détectées par analyse ADNe contre 10 en 2018 et 8 en 2019 pour l'inventaire sur le Grand Large / Ketestroom.

Comparatif global inter-stations

Un dernier comparatif peut être proposé entre l'ensemble des stations ADNe de 2018.

Pour ce faire une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) peut être produite. Cette méthode d'analyse multivariée est une

méthode qui permet d'étudier l'association entre deux variables qualitatives. Cette figure permet de visualiser graphiquement l'association entre les éléments de lignes et de colonnes dans un graphique à deux dimensions.

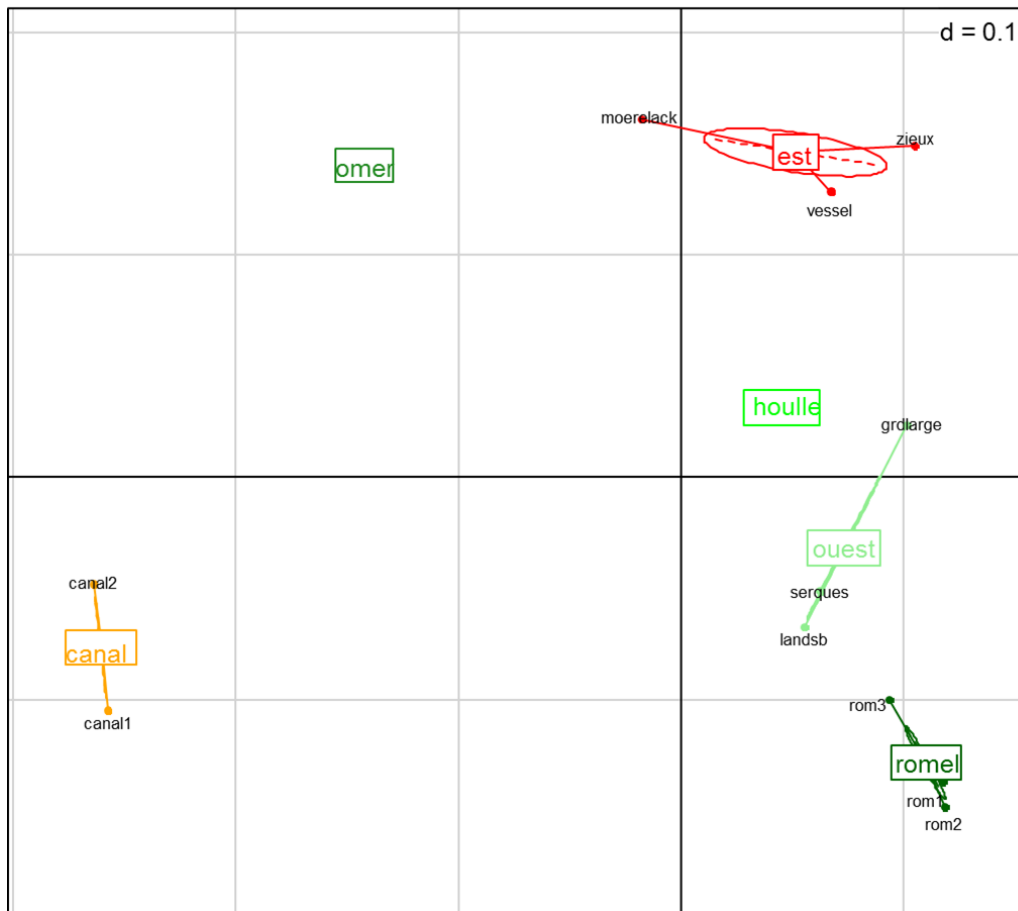


Figure 21 : Résultats de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) effectuée sur la liste de présence/absence des espèces piscicoles en fonction des 13 stations étudiées, selon les deux premiers axes de plus grande variabilité.

Les résultats de l'AFC ont montré que les listes d'espèces de poissons étaient relativement similaires entre les trois sites situés sur le Marais Ouest, entre les trois sites du Marais

Est, entre les deux stations du Canal et entre les trois stations de la RNN. Par contre, les stations du Canal et de la ville de Saint-Omer semblent être globalement très différentes des autres.

Retour d'expérience

Le protocole a permis de détecter des espèces sur l'ensemble des stations. La mise en place de ce protocole sur cette typologie de milieu, à savoir dans un hydrosystème lentique, poldérisé, hyper-eutrophe, turbide et de grande surface a été jugé pertinente. En effet, le caractère singulier de la zone d'étude a donné lieu à des réflexions et des échanges entre la FDAAPPMA 62 et le laboratoire SpyGen. Des recommandations ont été émises pour résoudre le problème de colmatage de la membrane lié à la trop forte turbidité de l'eau du Marais. Ces recommandations ont été mises en exergue avec un comparatif d'un retour d'expérience de chercheurs Hollandais. Celui-ci s'appuyait donc sur l'usage de deux grands sacs stériles dans lesquels était prélevé le volume d'eau total nécessaire en vue d'être

homogénéisé et par la suite être filtré (cf p.10). Mais en définitive, cette méthode ne fût usitée que très rarement.

Sachant que les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une embarcation, ceux-ci ont fait l'objet d'un travail en binôme afin de limiter les risques de contamination des échantillons. Il est bien évidemment convenu que les moyens humains déployés pour les prélèvements ne sont pas comparables aux moyens humains et à la logistique qu'il faut déployer avec des techniques d'inventaires traditionnels embarqués. La méthode ADNe prend tout son sens dans le cadre d'un complément de données dans des secteurs non prospectables avec les méthodes d'inventaires traditionnels.

Un apport de données précieuses

Si dans notre cas nous n'avons pas pu mettre en évidence la présence de Loche d'étang, le débat reste ouvert sur sa présence ou sa non-présence. En effet, même si une espèce n'est pas détectée, il n'est jamais véritablement possible de valider avec certitude son absence. Cela peut être le cas avec ce genre d'espèces très discrètes surtout dans un si vaste dédale de canaux, d'étangs privés et de fossés. Mais au vue de l'absence totale de détection dans l'ensemble des prélèvements (notamment dans la RNN du Romelaëre ou de la ferme du Zuidbrouck, deux milieux qui ont des qualités mésologiques propices pour l'accueil de cette espèce) et de l'absence de l'espèce dans tous les relevés ou déclarations historiques, guère d'espoir est permis.

Cette espèce « En danger » (statut EN ; IUCN 2019), aussi discrète de par ses mœurs, semble donc plutôt inféodée aux cours d'eau du département du Nord (59). Nos collègues de la FDAAPPMA59 ont en effet pu, par le biais d'inventaires piscicoles, la mettre en évidence sur plusieurs sites proches de la ville de Lille et plus précisément sur la Marque. Dorénavant grâce notamment à une étude ADNe récente (*Approfondir la connaissance de la biodiversité piscicole à l'aide d'un outil innovant : l'ADN environnemental*, FDAAPPMA59, 2018), celle-ci a pu être détectée au-delà des stations connues (augmentation de l'aire de répartition).

En revanche, d'autres taxons d'intérêt patrimonial ont pu être mis en évidence comme nous avons pu le voir (Bouvière, Loche de rivière, etc.).

Même si aucun des taxons remarquables n'avait déjà été relevé dans les données historiques au moins une fois, grâce à l'ADNe, la plupart des taxons ont été détectés de manière ponctuelle (par exemple Able de Heckel une seule fois ou Bouvière uniquement dans la RNN du Romelaëre). Le fait est que ces taxons à forte valeur patrimoniale ont pu être répartis avec une plus grande précision géographique et validés dans des secteurs différents de ceux échantillonnés par inventaire traditionnel.

On peut par exemple citer la Bouvière ou la Loche de rivière, uniquement révélées dans la RNN du Romelaëre pour la Bouvière (2016) et dans certains fossés compris dans le périmètre Natura 2000 en 2010 (NPC 022 ; FR3100495) pour la Loche de rivière. L'ADNe nous a permis de mettre en évidence ces deux taxons (inscrits en Annexe II de la DHFF) sur 5 stations pour la Loche de rivière (38% des stations) et 6 stations pour la Bouvière (46% des stations). Une telle occurrence n'était pas forcément attendue aux prémices de l'étude et dans certaines zones. En effet, ces deux taxons ont été principalement révélés dans les canaux en pourtour de la ville de Saint-Omer et dans le wateringue de la Vesseliette, deux zones qui semblaient de prime abord moins attractives de par la qualité chimique de l'eau notamment.

De manière plus globale, des disparités géographiques ont été mises en évidence. Certains taxons comme la Loche de rivière et le Goujon ont uniquement été relevés dans des stations à l'Est du Canal (partie Est du marais Audomarois). D'autres taxons ne semblent pas inféodés à des secteurs particuliers (Bouvière et Able de Heckel plus ou moins répartis aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest du périmètre Ramsar). Ces données seront prépondérantes pour des initiatives de gestion et de protections.

Au même titre que la mise en évidence d'espèces patrimoniales, exposer la présence de certains taxons exotiques est un renseignement essentiel (Gobie à taches noires exclusivement sur le Canal, Amour blanc sur le Romelaëre et le Silure glane sur le Zieux notamment). Pour le moment, ces espèces semblent très sectorisées.

En définitive, l'outil ADNe nous a semblé complémentaire et pertinent notamment dans le cadre de la mise à jour de l'atlas faunistique du marais Audomarois, de la surveillance d'espèces exotiques et de la répartition d'espèces patrimoniales.

Obstacles à l'analyse, poursuites et attentes

Si la méthode nous a permis des avancées importantes dans la production de listes ichtyologiques sectorisées appréciables, nous avons aussi fait face à certains obstacles.

Dans notre cas, la présence des deux taxons Vandoise et Ide mélanote est avérée dans le contexte cuvette Audomaroise (données de captures). Or l'ADNe ne permettant pas de distinguer ses deux taxons, nous ne pouvons qu'émettre des hypothèses quant à leurs sectorisations. La prise en compte de ce facteur peut potentiellement changer la diversité de 1 ou 2 points. Ici ces taxons semblent plutôt inféodés à l'hydrosystème canalisé.

Il est certain que bon nombre de scientifiques et gestionnaires seraient intéressés par la possibilité de distinguer ces deux taxons ou les autres listés dans le tableau 2 p.22. Cela pourrait apporter bon nombre d'informations. Mais il est à considérer que cela peut rester une éventualité de ne pas pouvoir distinguer la Lamproie fluviatile de la Lamproie de Planer ou la Truite fario de la Truite de mer, ces espèces étant des écotypes (même ADN).

Des attentes riches d'enjeux sont aussi répandues avec l'estimation quantitative des espèces par l'outil ADNe. Les recherches sur cette thématique sont de plus en plus abondantes (Teruhiko 2012, Pont 2018). D'ailleurs, des travaux sont actuellement engagés en vue de compléter voire même de remplacer les méthodes de bio-évaluations. (Valentini 2016, Lefrancois 2018).

Vers un outil de veille des marais ou des grandes surfaces lenticues

Les limites et les avantages de la méthode sont déjà très largement présentés dans la bibliographie actuelle (Taberlet et al. 2012, Dejean 2012, P.Jean 2013, P.Didier 2018). Nous avons pu mettre en pratique son déploiement et par cette action valider la plupart de ces affirmations (facilité de mise en place, méthode non intrusive, détection de taxons supplémentaires par rapports aux inventaires classiques...).

Il apparaît de notre côté que la technique de l'ADNe nous a permis de déterminer plus de taxons que lors d'inventaires classiques (comparatif temporel sur la RNN du Romelaere ou avec les inventaires RCS ou encore les pêches de Connect'AH). Même si ces méthodes ne sont pas comparables dans tous les cas (linéaire ou surface échantillonnés différents), il apparaît dans la bibliographie qu'en termes de détection en grand milieu, l'ADNe montrent fréquemment des résultats supérieurs aux méthodes classiques en termes de nombre de taxons détectés comme dans le Rhône ou d'autres grands milieux comme le lac d'Aiguebelette (Pont 2018, Civade 2016). Cela peut être en partie imputé à la difficulté d'échantillonner les grands milieux (exhaustivité).

De plus il apparaît que l'interprétation de données provenant de milieux lotiques, est moins aisée que celle qui peut être réalisée en milieu lentique (notion de flux de gènes) où l'ADNe reste dans la zone où il est relargué. En effet, cela est dû à la résilience plus ou moins longue des brins d'ADN qui ont un comportement proche des molécules organiques, en milieu lotique. Ceux-ci peuvent être retrouvés bien plus à l'aval (Dejean 2011, Civade 2016).

Il peut également être envisageable de mettre en place des réseaux de surveillances des espèces exotiques ou des espèces patrimoniales ayant une faible occurrence avec des pas de temps définis (3-5ans) choisis sur des secteurs d'intérêt. Il est en effet convenu d'utiliser l'ADNe comme outil de veille sur la présence de ces espèces particulières (Cavalli 2003, Dougherty 2016, Cai 2017).

De part ces caractéristiques, nous pouvons donc promouvoir ou valoriser la mise en place du protocole ADNe sur d'autres milieux denses, difficiles d'accès ou encore là où la conductivité est très élevée (ce qui ne permet pas d'échantillonnage à l'électricité). Celle-ci fut en effet très pertinente sur le Marais Audomarois et peut vraisemblablement l'être également sur une typologie de milieu identique (contexte de marais doux endigués).

Conclusion

En conclusion, le déploiement de la méthode ADNe, nous a offert un bon retour d'expérience sur l'utilisation de cette technique novatrice. Elle nous a également semblé pertinente dans le cadre de l'étude du marais Audomarois, un milieu complexe à échantillonner de par sa typologie. L'utilisation de l'ADNe peut ainsi prendre tout son sens dans l'étude de vastes hydrosystèmes lenticques tel que celui-ci.

C'est de plus un excellent outil de veille environnementale produisant des listes faunistiques sectorisées et très utiles pour la surveillance de certains taxons. En effet, l'ADNe peut être mis au service de la surveillance des espèces exotiques ou des espèces patrimoniales rares.

Dans notre cas, l'utilisation de cette méthode nous a permis de mettre en évidence 29 taxons différents sur le marais dont 10 espèces patrimoniales et plusieurs espèces exotiques. Ce fut notamment le cas avec le Gobie à taches noires qui semble pour le moment uniquement inféodé au Canal à grand gabarit.



Un excellent outil au service de la connaissance dans le marais (production de listes faunistiques mises à jours, apports de données).

- Mise à jour de la liste d'espèce piscicole du marais avec 29 espèces différentes.
- Pas de loche d'étang détectée mais incertitude qui reste en suspens quant à son absence.
- Mise en évidence de 10 espèces patrimoniales dont l'Anguille, le Brochet, la Bouvière et la Loche de rivière sur plusieurs sites.



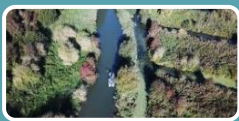
Un outil de veille environnementale puissant (surveillance des espèces patrimoniales ou exotiques).

- Mise en évidence de plusieurs espèces exotiques comme le Gobie à taches noires sur le Canal ou l'Amour blanc sur la RNN du Romelaëre.
- Détection de Goujon mais uniquement à l'Est du marais.
- Détection de Silure sur le Zieux.



Un outil complémentaire au suivi plan d'eau DCE (RNN Romelaëre). *Vers un outil de veille des marais ou des grandes surfaces lenticques ?*

- Outil complémentaire pertinent des méthodes d'inventaires traditionnels.
- Possibilité de mise en place de ce suivi dans d'autres cadres (étude des grands migrateurs, surveillance des espèces exotiques etc.).
- Très adapté aux grands milieux lenticques.
- Facilité de mise en œuvre, méthode non-intrusive, probabilité de détection plus élevée dans le cas de certains taxons difficilement échantillonnables.
- Le compartiment piscicole est fréquemment méconnu, l'ADNe est un bon moyen de le mettre en avant plus simplement.



Retour d'expérience sur la méthode (dans un milieu lenticque, poldérisé, turbide et de grande surface), *des limites à prendre en compte :*

- Mais pas encore d'analyse des peuplements, de leurs états sanitaires, des classes de tailles des différents taxons, du sexe-ratio, etc.
- Certaines espèces ne peuvent pas encore être distinguées car trop proches génétiquement (Ide mélanote-Vandoise).
- Capacité d'analyse.

En définitive, il s'agit d'un excellent outil au service de la connaissance dans le marais (production de listes faunistiques mises à jours, apports de données conséquentes).

Bibliographie

BACK P. ET KLEINPRINTZ G., 2018. Approfondir la connaissance de la biodiversité piscicole à l'aide d'un outil innovant : l'ADN environnemental. FDAAPPMA59.

CAI W., MA Z., YANG C., WANG L., WANG W., ZHAO G., ... YU D. W. (2017). Using eDNA to detect the distribution and density of invasive crayfish in the Honghe-Hani rice terrace world heritage site. PLoS ONE, 12, e0177724.

CAVALLI L., PECH N., & CHAPPAZ R. (2003). Diet and growth of the endangered Zingel asper in the Durance River. Journal of Fish Biology, 63, 460-471.

CIVADE R., DEJEAN T., VALENTINI A., ROSET N., RAYMOND J-C, BONIN A, ET AL. (2016) Spatial Representativeness of Environmental DNA Metabarcoding Signal for Fish Biodiversity Assessment in a Natural Freshwater System. PLoS ONE 11(6): e0157366. doi:10.1371/journal.pone.0157366

CIVADE R., DEJEAN T., VALENTINI A., ROSET N., 2016. Spatial representativeness of environmental DNA metabarcoding signal for fish biodiversity assessment in a natural freshwater system.

DEJEAN T, VALENTINI A, DUPARC A, PELLIER-CUIT S, POMPANON F, ET AL. (2011) Persistence of Environmental DNA in Freshwater Ecosystems. PLoS ONE 6(8):e23398. doi:10.1371/journal.pone.0023398

DEJEAN T, VALENTINI A, DUPARC A, PELLIER-CUIT S, POMPANON F, TABERLET P, ET AL., 2011 Persistence of Environmental DNA in Freshwater Ecosystems. PLoS ONE 6(8): e23398

DEJEAN T., VALENTINI A., MIQUEL C., TABERLET P., BELLEMAIN E., MIAUD C., 2012. Improved detection of an alien invasive species through environmental DNA barcoding : the example of the American bullfrog *Lithobates catesbeianus*. Journal of Applied Ecology, 49:953-959.

FDAAPPMA62 2016. Diagnostic piscicole et mésologique des entités hydrauliques de la RNN du Romelaère, 28p,

DOUGHERTY M. M., LARSON E. R., RENSHAW M. A., GANTZ C. A., EGAN S. P., ERICKSON D. M., ... FRID C. (2016). Environmental DNA (eDNA) detects the invasive rusty crayfish *Orconectes rusticus* at low abundances. Journal of Applied Ecology, 53, 722–732.

DUDGEON D., ARTHINGTON A., GESSNER M., KAWABATA Z., KNOWLER D., LEVEQUE C., NAIMAN R., PRIEUR-RICHARD A., SOTO D., STIASSNY M., SULLIVAN C., 2006. Freshwater biodiversity : importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews, 81:163-182.

FICETOLA G.F., MIAUD C., POMPANON F., TABERLET P., 2008. Species detection using environmental DNA from water samples. Biology Letters, 4:423-425.

GOLDBERG C.S., SEPULVEDA A., RAY A., BAUGMARDT J., WAITS L.P., 2013. Environmental DNA as a new method for early detection of New Zealand mudsnails (*Potamopyrgus antipodarum*). Freshwater Science, 32:792-800.

KEITH P., ALLARDI J. & MOUTOU B., 1992. Livre rouge des espèces menacées de poissons d'eau douce de France et bilan des introductions. Coll. Patrimoines Naturels, Vol. 10, SFF/MNHN, CSP, CEMAGREF, Min. Env., Paris : 111 pp.

KLEINPRINTZ G. & BACK P. (2018). Approfondir la connaissance de la biodiversité piscicole à l'aide d'un outil innovant : l'ADN environnemental, FDAAPPMA59, 81p.

LEFRANÇOIS E., APOTHELOZ L., BLANCHER P., BOTREAU S., CHARDON C., CREPIN L., CORDIER T., CORDONIERA., DOMAIZON I., FERRARI B.J.D., GUEGUEN J., HUSTACHE J.C., JACAS L., JACQUET S., LACROIX S., MAZENQ A.L., PAWLOWSKA A., PERNEY P., PAWLOWSKI J., RIMET F., RUBIN J.F., TREVISAN D., VIVIEN R., BOUCHEZ A. (2018) Development and implementation of eco-genomic tools for aquatic ecosystem biomonitoring: the SYNAQUA French-Swiss program. ESPR DOI:10.1007/s11356-018-2172-2

MC NEELY J.A. (ED). 2001. The Great reshuffling : human Dimensions of invasive Alien Species. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.VI+242p.

P.JEAN, 2013. La détection des espèces par l'Adn environnemental, 72p.

PONT D., ROCLE M., VALENTINI A., CIVADE R., JEAN P., MAIRE A., ROSET N., SCHABUSS M., ZORNIG H. & DEJEAN T., 2018. Environmental DNA reveals quantitative patterns of fish biodiversity in large rivers despite its downstream transportation, Scientific Reports, 13p.

SIGSGAARDA E., CARL H., RASKMØLLER P., THOMSEN P-F, 2014. Monitoring the near-extinct European weather loach in Denmark based on environmental DNA from water samples. Biological Conservation, Volume 183, March 2015, Pages 46-52.

TABERLET P., COISSAC E., HAJIBABAEI M., RIESEBERG L.H., 2012. Environmental DNA. Molecular Ecology, 21:1789-1793.

TAKAHARA T., MINAMOTO T., YAMANAKA H., DOI H., KAWABATA Z., (2012). Estimation of Fish Biomass Using Environmental DNA Published: April 26, 2012

TREQUIER A., PAILLISSON J-M, DEJEAN T., VALENTINI A., SCHLAEPFER M., ROUSSEL J-M, 2014. Environmental DNA surveillance for invertebrate species : advantages and technical limitations to detect invasive crayfish *Procambarus clarkii* in freshwater ponds. Journal of applied ecology 51, 871-879.

VALENTINI A., TABERLET P., MIAUD C., CIVADE R., HERDER J., THOMSEN P-F., 2015. Next-generation monitoring of aquatic biodiversity using environmental DNA metabarcoding. Molecular ecology.

Annexes

Résultats globaux des prélèvements d'ADNe dans le Marais Audomarois (2018)

*** : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

Nom vernaculaire	CODE taxon	Nom scientifique	Base de référence	SPY181931		SPY181937		SPY181955		SPY181941		SPY181943		SPY182443		SPY182448		SPY182441		SPY182444		SPY182442		SPY182445		SPY182446		SPY182447			
				Serques	Vasseliette	Grand large sud	Moerelack	Roemelaer 1	Romelaer 2	Romelaer 3	Houille	Canal 1	Canal 2	Zieux	Landsbergh	Omer															
				Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)	Nombre de réplicats ADN	Nombre de réplicats parités (HE)			
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>	SPYGEN	12	128 829	12	144 331	12	136 076	12	199 660	12	133 061	12	193 028	12	157 613	12	250 803	12	86 689	12	241 305	12	101 313	12	98 569	12	118 132		
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>	SPYGEN	12	10 820	12	14 796	12	13 559	12	8 139	6	3 662		3	243	12	4 794	11	6 737	12	7 121	12	4 789	12	4 268	12	4 238			
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>	SPYGEN	10	2 168	11	2 884	9	1 909	11	1 674	5	3 937	8	19 107	9	6 721	12	12 331	12	6 426	12	12 059	11	3 761	11	1 363	12	2 370		
Brème bordelière	BRB	<i>Blicca bjoerkna</i>	SPYGEN									4	22 153	2	20 628																
Carrasin	CAS	<i>Carassius sp.</i>	SPYGEN	2	456	9	1 185	9	578			3	156	5	537	4	1 010	9	1 662					3	148	5	132				
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>	SPYGEN			9	897			3	131											2	554	2	198				7	444	
Chabot	CHA	<i>Cottus sp.</i>	SPYGEN																5	1 842	10	9 847				9	1 339				
Amour blanc/Carpe argentée	CTI	<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>	SPYGEN							2	373	5	18 983	1	187																
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>	SPYGEN	4	1 079	10	1 193	6	778	5	352	7	1 301	11	15 988	10	7 658	11	3 035	4	125	8	638	6	654	11	411	5	363		
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>	SPYGEN	12	8 712	12	17 652	12	11 016	12	9 669	6	7 552	3	14 492	4	7 486	11	12 232			1	285	7	2 548	12	8 423	12	6 015	12	7 247
Epinoche	EPI	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	SPYGEN																4	132											
Goujon	GOU	<i>Gobio sp.</i>	SPYGEN			7	665			9	837													3	288			9	845		
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	SPYGEN	12	29 198	12	26 808	12	42 593	12	27 587	9	26 040	9	50 528	6	4 138	12	31 126	12	10 724	12	50 490	12	34 246	12	19 290	12	28 830		
Lamproie	LPR/LP	<i>Lampetra sp.</i>	SPYGEN																												
Able de Heckel	ABH	<i>Leucaspis delineatus</i>	SPYGEN			3	650															5	527			3	154	5	122		
Ide Melanote	IDE	<i>Leuciscus sp.</i>	SPYGEN																										9	516	
Gobie à taches noires	GTN	<i>Neogobius melanostomus</i>	SPYGEN																	9	3 241	10	3 676						9		
Truite arc-en-ciel	TAC	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	SPYGEN							2	698							2	1 311	12	15 827	12	31 234						12	5 425	
Perche fluviatile	PER	<i>Percia fluviatilis</i>	SPYGEN	12	41 555	12	35 124	12	40 663	12	37 643	7	10 156	3	9 154	3	3 276	12	47 116	3	10 788	12	26 314	12	29 053	12	23 063	12	34 708		
Flet	FLE	<i>Platichthys flesus</i>	GenBank																1	683	5	4 453									
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>	SPYGEN			10	1 221	2	422	10	2 134							7	2 133				8	1 369					12	1 396	
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>	SPYGEN	12	90 522	12	77 988	12	83 513	12	68 118	12	28 155	9	33 648	5	6 979	12	76 752	12	16 968	12	51 792	12	40 408	12	69 857	12	70 369		
Saumon	SAT	<i>Salmo salar</i>	SPYGEN															2	830												
Truite Fario	TRF	<i>Salmo trutta</i>	SPYGEN																	7	4 749	10	6 713						3	256	
Ombre	OBR	<i>Thymallus thymallus</i>	SPYGEN																	2	4 050	6	3 311						7	1 054	
Sandre	SAN	<i>Sander lucioperca</i>	SPYGEN	10	6 818	12	2 384	9	1 472	12	6 295	7	8 863	3	7 448	11	12 344	12	13 853	12	12 899	12	26 374	12	6 654	12	3 175	12	6 326		
Rotengle	ROT	<i>Scardinus erythrophthalmus</i>	SPYGEN	12	15 422	12	26 644	12	15 553	12	25 209	12	30 453	10	45 788	8	6 014	12	14 646	10	3 019	10	2 581	12	13 947	12	4 468	12	5 473		
Silure	SIL	<i>Silurus glanis</i>	SPYGEN																					2	134						
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>	SPYGEN	12	10 820	12	9 348	12	4 421	12	9 139	9	11 643	1	2 246	7	5 558	12	11 681	3	247	6	786	12	5 518	12	2 784	12	4 958		



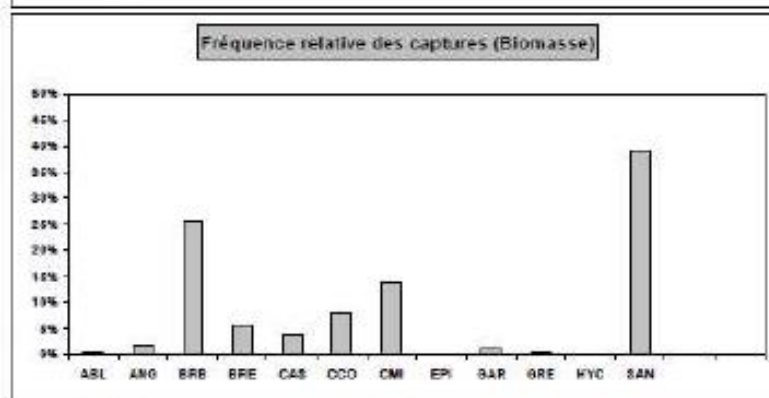
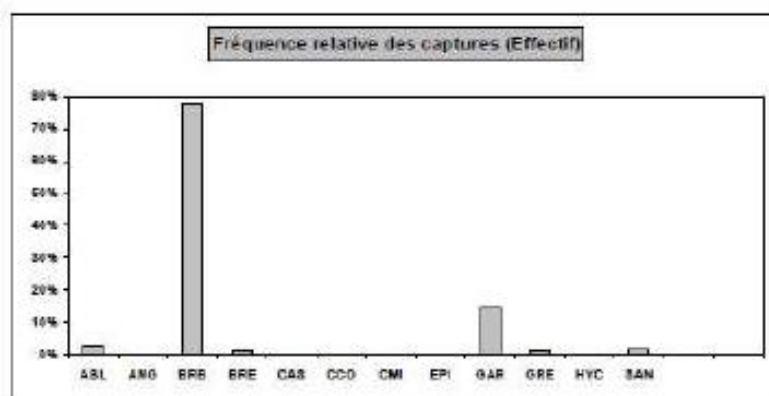
Le plan d'eau du Romelaëre
Clairmarais (62)

Objectif : Réseau DCE

Protocole : CEN

Date : du 28/09/2009 au 20/09/2009

		ANALYSE DES CAPTURES (Données brutes)					
		Nb. filets benthiques : 8			Surface benthique : 360 m ²		
Espèce		Effectif total	CPUC (Nb. Ind./filet)	Rendement (Nb./1000m ²)	Poids total (g)	CPUC (poids/filet)	Rendement (poids/1000m ²)
Ablette	ABL	21	2,63	58,3	127	15,88	352,8
Anguille	ANG	2	0,25	5,6	699	97,38	1941,7
Brème bordelière	BRB	699	74,88	1663,9	9689	1236,13	27469,4
Brème commune	BRE	9	1,13	25,0	2122	265,25	5694,4
Carassin	CAS	1	0,13	2,8	1501	187,63	4165,4
Carpe commune	CCO	1	0,13	2,8	3145	393,13	8706,1
Carpe miroir	CMi	1	0,13	2,8	5318	664,58	14753,9
Épinoche	EPI	1	0,13	2,8	1	0,13	2,8
Gardon	GAR	113	14,13	313,9	495	61,13	1291,7
Grémille	GRE	8	1,00	22,2	112	14,00	311,1
Hybride cyprinidae	HYC	2	0,25	5,6	11	1,38	30,6
Sandre	SAN	14	1,75	38,9	15051	1882,63	41836,1
Nb. d'espèces : 13		773	82,17	716,8	58418	5635,96	12626,0



1 - RESULTATS

1-1 Liste des espèces prélevées.

Nom français	Nom scientifique	Famille	Abréviation
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	CYPRINIDES	ABL
Anguille	<i>Anguilla anguilla</i>	ANGUILLIDES	ANG
Bouvière	<i>Rhodeus sericeus</i>	CYPRINIDES	BOU
Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	CYPRINIDES	BRB
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	CYPRINIDES	BRE
Brochet	<i>Esox lucius</i>	ESOCIDES	BRO
Carassin	<i>Carassius carassius</i>	CYPRINIDES	CAS
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	CYPRINIDES	CCO
Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	GASTERO- -STEIDES	EPI
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	CYPRINIDES	GAR
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	CYPRINIDES	GOU
Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i>	PERCIDES	GRE
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	PERCIDES	PER
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	CYPRINIDES	ROT
Sandre	<i>Lucioperca lucioperca</i>	PERCIDES	SAN
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	CYPRINIDES	TAN

Liste, effectifs et tailles des espèces inventoriées sur les 75 EPA - RNN du Romelaère en 2016.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Code taxon	Effectif	Effectif moyen /EPA	Taille max (mm)	Taille moyenne (mm)	Taille min (mm)
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	ABL	27	0.36	137	113	48
Anguille	<i>Anguilla anguilla</i>	ANG	20	0.27	500	374	240
Bouvière	<i>Rhodeus sericeus</i>	BOU	2	0.03	66	52	39
Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	BRB	50	0.67	207	116	62
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	BRE	37	0.49	509	112	39
Brochet	<i>Esox Lucius</i>	BRO	1	0.01	456	456	456
Carassin commun	<i>Carassius carassius</i>	CAS	1	0.01	360	360	360
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	CCO	1	0.06	500	500	500
Carpe miroir	<i>Cyprinus carpio</i>	CMI	1	0.06	750	750	750
Cyprinidé (forme juvénile mal identifié)		CYP (Ind)	1	0.01	20	20	20
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	GAR	150	2.00	162	84	36
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	GOU	2	0.03	100	99	99
Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i>	GRE	8	0.11	78	63	53
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	PER	22	0.29	84	73	64
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	ROT	19	0.25	300	95	43
Sandre	<i>Stizostedion lucioperca</i>	SAN	4	0.05	136	107	95
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	TAN	2	0.03	458	431	405
Nombre d'espèce : 16		Effectif total : 348		Nbre moyen d'ind./EPA : 4.64			

Focus RCS



Sommaire

Introduction	6
Rappels réglementaires.....	6
Le réseau de contrôle et de surveillance.....	7
L'état écologique et biologique.....	7
Le suivi de la qualité biologique dans le marais Audomarois.....	9
Matériel & Méthode	10
Présentation des sites	10
Descriptifs des stations.....	10
Protocoles de prélèvements	13
L'indice MGCE (macro-invertébrées grand cours d'eau)	13
L'IPR (indice poisson rivière) adapté	18
Campagnes d'échantillonnage 2018-2019	23
Résultats	25
Volet invertébrés.....	25
Qualité biologique	25
Approche indicielle.....	25
Approche multivariée.....	29
Volet poisson.....	32
Qualité biologique	32
Approche structurelle par station	32
Approche métriques IPR et population théorique.....	36
Comparaison ADNe	39
Volet Physico-chimique.....	39
Comparaison station de surveillance masse d'eau FRAR01.....	43
Exemple de pressions avec la sécheresse de juillet 2019	44
Discussion	45
Conclusion et perspectives	47
Ce qu'il faut retenir.....	49
Bibliographie.....	50
Annexes.....	52

Table des figures

Figure 1 : Rappel historique et réglementaire des grands textes relatifs à l'amélioration et la sauvegarde de la qualité des milieux aquatiques (source www.eaufrance.fr).

Figure 2 : Cycles de mise en œuvre de la DCE.

Figure 3 : Principe d'affectation par agrégation de l'état écologique.

Figure 4 : Vues des stations Ouest et Est.

Figures 5 : Localisation des deux stations d'inventaires du Focus RCS dans l'hydrosystème du marais Audomarois.

Figure 6 : Tracés et bornes des deux stations (respectivement Ouest et Est) sur fond photogrammétrique.

Figure 7 : Prélèvements de divers substrats : hydrophytes (1) et hélophytes (2) et drague circulaire en acier (3).

Figure 8 : Mise en situation de la phase de détermination sous loupe binoculaire et camera oculaire-usb euromex®

Figure 9 : Quelques macro-invertébrés retrouvés dans les prélèvements, des mallions essentiels du fonctionnement des milieux aquatiques et des bio-indicateurs pertinents (de gauche à droite : *Oulimnius*, *Mystacides*, *Caenis* et *Pisidium*).

Figure 10 : Les hydro-éco-régions (selon Wasson et al., 2002) découpent la France.

Figure 11 : Illustrations de mise en situation ; 1. Vue aérienne de la station Est sur le Zieux, il est possible d'apercevoir le filet juste en haut de l'EFB - 2. Capture d'un poisson à l'aide de l'EFB - 3. Pose du filet maillant aux bornes de la station avant l'échantillonnage.

Figure 12 : quelques poissons retrouvés dans les prélèvements, des mallions essentiels intégrateur du fonctionnement des milieux aquatiques (de gauche à droite : *Alburnus alburnus*, *Esox lucius*, *Sander lucioperca*, *Rhodeus amarus*) (©M.Georgeon)

Figure 13 : Degrés de trophie et de saprobie des communautés d'invertébré de la station marais Est en 2018 et 2019.

Figure 14 : Degrés de trophie et de saprobie des communautés d'invertébré de la station marais Ouest en 2018 et 2019.

Figure 15 : Abondance relative en pourcentages des Ordres par stations et par années.

Figure 16 : Abondance relative en pourcentage des traits bio-écologiques des communautés d'invertébrés par stations et par années.

Figure 17 : Analyse factoriel des correspondances réalisée à l'aide du logiciel R sur les listes faunistiques obtenue sur les 4 prélèvements d'invertébrés du marais Audomarois

Figure 18 : Appel par la fonction `.sclass` sur la même AFC que figure 16 des diverses échelles explicatives.

Figure 19 : Boxplot des classes de tailles par espèces sur la station marais Est (2018/2019).

Figure 20 : Boxplot des classes de taille par espèce sur la station marais Ouest (2018/2019).

Figure 21 : Diagramme des abondances relatives des taxons retrouvés lors des différentes campagnes.

Figure 22 : Comparaison des probabilités de présence théoriques et des effectifs échantillonnés.

Figure 23 : Comparaisons des métriques IPR obtenues pour les 4 campagnes avec les valeurs théoriques.

Figure 24 : Carte schématique de la répartition des stations de prélèvement d'eau du SAGE de l'Audomarois, concentrations moyenne en Phosphore total ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) et classe de qualité physico-chimique associées (sources : SAGE de l'Audomarois et Agence de l'eau Artois-Picardie).

Figure 25 : Liste de plusieurs substances chimiques et pesticides détectés dans les échantillonnages d'eau (classé par ordres de concentrations en $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$).

Tableaux

Tableau 1 : Signification des abréviations et valeurs des paramètres abiotiques et données de calculs associés.

Tableau 2 : Classes de qualité de l'IPR

Tableau 3 : Dates d'échantillonnages.

Tableau 4 : Données physico-chimiques des diverses campagnes.

Tableau 5 : Récapitulatif des notes et classes de qualités associées calculées (invertébrés).

Tableau 6 : Indices multiples calculés par station et par campagne.

Tableau 8 : Récapitulatif des notes et classes de qualité associées.

Tableau 9 : Listes faunistiques et densités associées obtenues lors des deux campagnes.

Tableau 10 : Ensemble des indices calculés à partir des listes faunistiques.

Tableau 11 : Résultats et classes de qualité physico-chimique obtenues par le programme d'analyse des eaux superficielles du marais Audomarois pour l'année 2017-2018 (sources : SAGE de l'Audomarois et Agence de l'Eau Artois-Picardie).

Lexique

AEAP : Agence de l'Eau Artois Picardie

AFB : Agence Française pour la Biodiversité

OFB : Office Français de la Biodiversité (remplace l'AFB au 1^{er} janvier 2020)

DCE : Directive Cadre Européenne sur l'Eau

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EEE : Espèce Exotique Envahissante

ENS : Espaces Naturels Sensibles,

LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

NQE : Normes de Qualité Environnementale

NTT : Niveau Typologique Théorique

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (AFB depuis 2016 puis OFB depuis 2020)

PDPG : Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles

PNR CMO : Parc Naturel Régional Caps et Marais d'Opale

RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance

RNN : Réserve Naturelle Nationale

SAGE : Schéma Aménagement et Gestion de l'Eau

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et Gestion de l'Eau

STEP : Station d'épuration

Codes taxons

ABH Able de Heckel (*Leucaspilus delineatus*)

ABL Ablette (*Alburnus alburnus*)

ANG Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

BOU Bouvière (*Rhodeus amarus*)

BRB Brème bordelière (*Blicca bjoerkna*)

BRE Brème commune (*Abramis brama*)

BRO Brochet (*Esox lucius*)

CAS Carassin commun (*Carassius carassius*)
CCO Carpe commune (*Cyprinus carpio*)
EPI Epinoche (*Gasterosteus aculeatus*)
GAR Gardon (*Rutilus rutilus*)
GOU Goujon (*Cottus gobio*)
GRE Grémille (*Gymnocephalus cernuus*)
IDE Ide mélanote (*Leuciscus sp.*)
LOR Loche de rivière (*Cobitis taenia*)
PER Perche commune (*Perca fluviatilis*)
ROT Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*)
SAN Sandre (*Sander lucioperca*)
SAT Saumon atlantique (*Salmo salar*)
SIL Silure glane (*Silurus glanis*)
TAN Tanche (*Tinca tinca*)
OCL Ecrevisse américaine (*Orconectes limosus*)

Introduction

Dans le contexte de la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE), l'ensemble des gestionnaires et usagers ont pour mission d'atteindre le bon état écologique et chimique des masses d'eau. Pour ce faire, de nombreux moyens sont mis en œuvre ainsi que des techniques d'analyses. Ce présent chapitre vise à évaluer la qualité biologique du marais Audomarois à travers deux indices lors de deux années de suivis (2018-2019).

Rappels réglementaires

Créée en 2000, la DCE a pour but essentiel d'harmoniser la réglementation européenne en matière de gestion de l'eau (Figure 1). Cette directive s'est ensuite articulée autour de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques en France depuis 2006 (LEMA). Présentée de manière abrégée, cette loi repose sur deux grands principes qui sont :

- i. « l'eau paye l'eau » : les coûts sont supportés par les utilisateurs.
- ii. « le pollueur-payeur » : des taxes sont en place afin que les usagers ou les responsables de dégradation du milieu aquatique payent pour des restaurations ou des aménagements (www.eaufrance.fr).

La LEMA a permis entre autre de :

- mettre en place de nouveaux outils pour le respect de la DCE (simplifier et renforcer la police de l'eau, permettre aux collectivités locales de mieux gérer leurs ressources en eau).
- de rénover les institutions liées à la gestion de l'eau (ONEMA créé en 2006 puis transformation en AFB depuis 2017 et enfin en OFB depuis 2020).

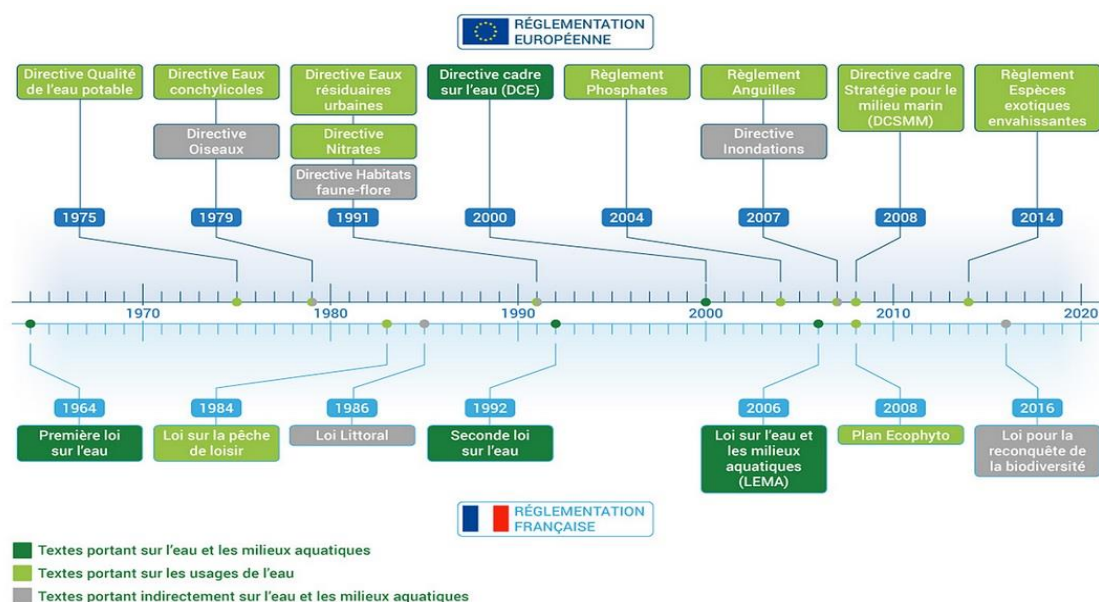


Figure 1 : Rappel historique et réglementaire des grands textes relatifs à l'amélioration et la sauvegarde de la qualité des milieux aquatiques (extrait www.eaufrance.fr).

Grâce à cette structuration européenne et française, des outils, des actions et des moyens sont mis en place afin d'œuvrer pour une reconquête du « bon état » écologique des masses d'eau. En effet, la DCE fixe l'objectif clair de maintenir ou de rétablir ce qui est qualifié de « bon état » des cours d'eau,

des plans d'eau, des eaux littorales et des eaux souterraines. Pour suivre et mesurer ces évolutions, une méthode de travail commune fut mise en place, alternant entre programmes de mesure, programmes de surveillance et applications du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE). Le SDAGE est élaboré pour une durée de 6 ans pour chaque bassin de France métropolitaine et d'outre-mer. Il fixe les orientations qui permettront d'atteindre le bon état écologique fixé par la DCE. Le SAGE quant à lui est une déclinaison locale (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux).

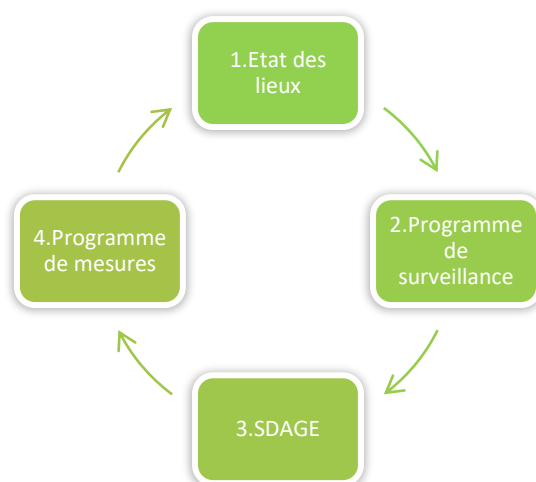


Figure 2 : Cycle de mise en œuvre de la DCE.

Le Réseau de Contrôle et de Surveillance

L'étude de la qualité de l'eau est ainsi très organisée en France, notamment avec un découpage pertinent sous la forme de 7 bassins hydrographiques gérés par 6 Agences de l'Eau. Leur rôle est de mettre en œuvre les dispositions des SDAGE (et leurs déclinaisons locales, les SAGE).

En parallèle, le Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS mis en place en 2007) des eaux douces de surface concerne les cours d'eau, les canaux et les plans d'eau. Celui-ci a pour rôle d'évaluer l'état général des eaux et de suivre leurs changements sur le long terme suite à des modifications d'origines naturelles ou anthropiques. Il est constitué d'un très grand nombre de sites répartis sur l'ensemble du territoire national (plusieurs milliers de points). Ce réseau offre ainsi une vision globale et pérenne de la qualité des milieux aquatiques français.

Le réseau de contrôle opérationnel (RCO mis en place en 2008) quant à lui, vise à assurer le suivi des masses d'eau plus fortement impactées, le plus souvent situé bas sur les bassins versants.

L'état écologique et biologique

Le « bon état écologique » quant à lui correspond au respect de valeurs de référence pour les paramètres : biologiques, hydromorphologiques et physico-chimiques qui ont un impact sur la biologie. Le « bon état écologique » d'une eau de surface est atteint lorsque son état biologique et son état chimique sont au minimum « bons » (article 2 de la DCE). Celui-ci est affecté comme suivant :

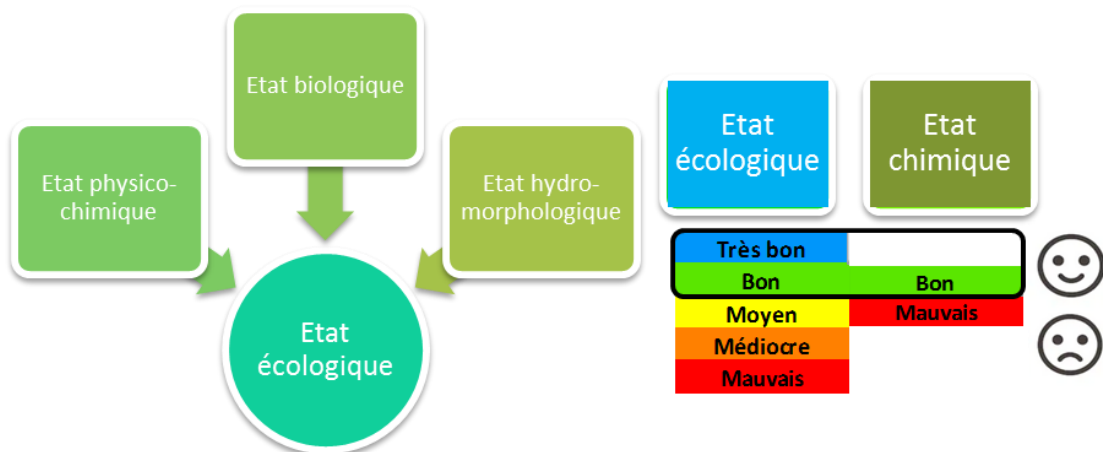


Figure 3 : Principe d'affectation par agrégation de l'état écologique.

L'état chimique quant à lui est évalué selon le respect des Normes de Qualité Environnementale (NQE) pour 41 substances. Celui-ci sera soit « bon » soit « mauvais » (Figure 3).

Dans notre cas, nous nous intéressons plus particulièrement à la qualification de l'état biologique dans le marais.

Pour attribuer une classe de qualité associée, l'EQR (Ecological Quality Ratio ou Normes de Qualité Environnementale) est calculé et chaque classe de qualité est bornée avec une valeur limite (différents modes de calculs selon la méthode employée).

De cette valeur découle donc directement la classe de qualité associée. Celle-ci peut être attribuée à l'aide de plusieurs protocoles normalisés centrés sur des compartiments biologiques.

Les protocoles les plus classiquement utilisés sont les suivants :

- IBMR : Indice Biologique Macrophytique en Rivière calculé selon la norme NF T90-395 (octobre 2003). Il repose sur 327 taxons pris en compte dans le calcul.
- I2M2 : Indice Invertébrés Multimétrique, décrit dans Usseglio-Polareta et al. 2018. Il repose sur l'étude de plusieurs métriques pour évaluer la qualité biologique.
- IBG-DCE compatible : Indice Biologique-DCE compatible encadré par les normes NF T90-333 et NF T90-350.
- IPR : Indice Poisson Rivière calculé selon la norme NF T90-344 (Juillet 2011)
- IBD : Indice Biologique Diatomées calculé selon la norme NF T90-354 (Avril 2016)
- Etc.

Ces indicateurs sont adaptés aux règles figurant dans les révisions successives de l'arrêté relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface» du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'Environnement (www.legifrance.gouv.fr).

Le suivi de la qualité biologique dans le marais Audomarois

A l'échelle du marais Audomarois, les seules stations de surveillance actuelles sont les suivantes : 01102000 et 01105000 de la masse d'eau Aa canalisée - AR01 et la RNN Romelaère (plan d'eau DCE). De par le constat qui fut fait lors de la production du PDPG2.0 sur le manque de données scientifiques (notamment piscicoles) au regard de l'importance de la zone

(Ramsar, UNSECO...), il a semblé pertinent de produire deux stations de surveillance de la qualité biologique. Cette mesure est le point d'orgue du Focus RCS et prend tout son sens avec la concordance du programme d'analyses du SAGE de l'Audomarois (3 ans d'étude de la qualité chimique de l'eau).

Matériel & Méthode

Présentation des sites

Le marais Audomarois étant traversé par l'axe canalisé grand gabarit, celui-ci se retrouve partagé en deux grandes entités communément appelées « marais Ouest » et « marais Est ». L'expertise terrain et cartographique a conduit à produire une approche sectorisée. En effet, afin d'évaluer au mieux la qualité biologique du marais et les pressions pouvant s'exercer sur celui-ci, il a semblé pertinent de positionner une station dans chacune de ces grandes entités.

Ces stations ont été placées en prenant en compte le caractère singulier de la zone d'étude et la logistique de déploiement des moyens techniques. Ainsi chaque station est placée dans un « wateringue » représentatif des milieux alentours, avec une mosaïque d'habitats relativement homogènes et sans autres cours d'eau ou annexes latérales (pouvant fausser les résultats ou compliquer la phase de prélèvement : Figures 5 et 6).

Descriptifs des stations

- **Station Ouest** : Située sur le wateringue « Ketestrom », cette station longe une zone arborée en rive droite et une zone d'ancien maraichage laissée en gestion passive par le Conservatoire du Littoral. La largeur mouillée moyenne est de 12m, la longueur est de 186m. La profondeur moyenne est de 94cm (moyenne sur 3 transects relevés à l'échosondeur), la profondeur maximum est de 129cm.



Figure 4 : Vues des stations Ouest et Est (de gauche à droite).

- **Station Est** : Située sur le « Zieux », longue de 250m, la station est bordée par des petits étangs (privés à vocation récréative) et des zones prairiales. La largeur mouillée moyenne est de 9,37m, la profondeur moyenne de 103cm et maximum de 160cm.

Les deux stations sont fortement végétalisées en berge mais peu dans le chenal. La turbidité y est très élevée. Le chenal est clairement dessiné en « U » et la limite chenal/zone intermédiaire est fixée à 90cm (à l'Ouest) et 1,05 (à l'Est). Les vitesses d'écoulements sont quasi nulles.

NB : Les fiches descriptives complètes des stations sont en annexes.

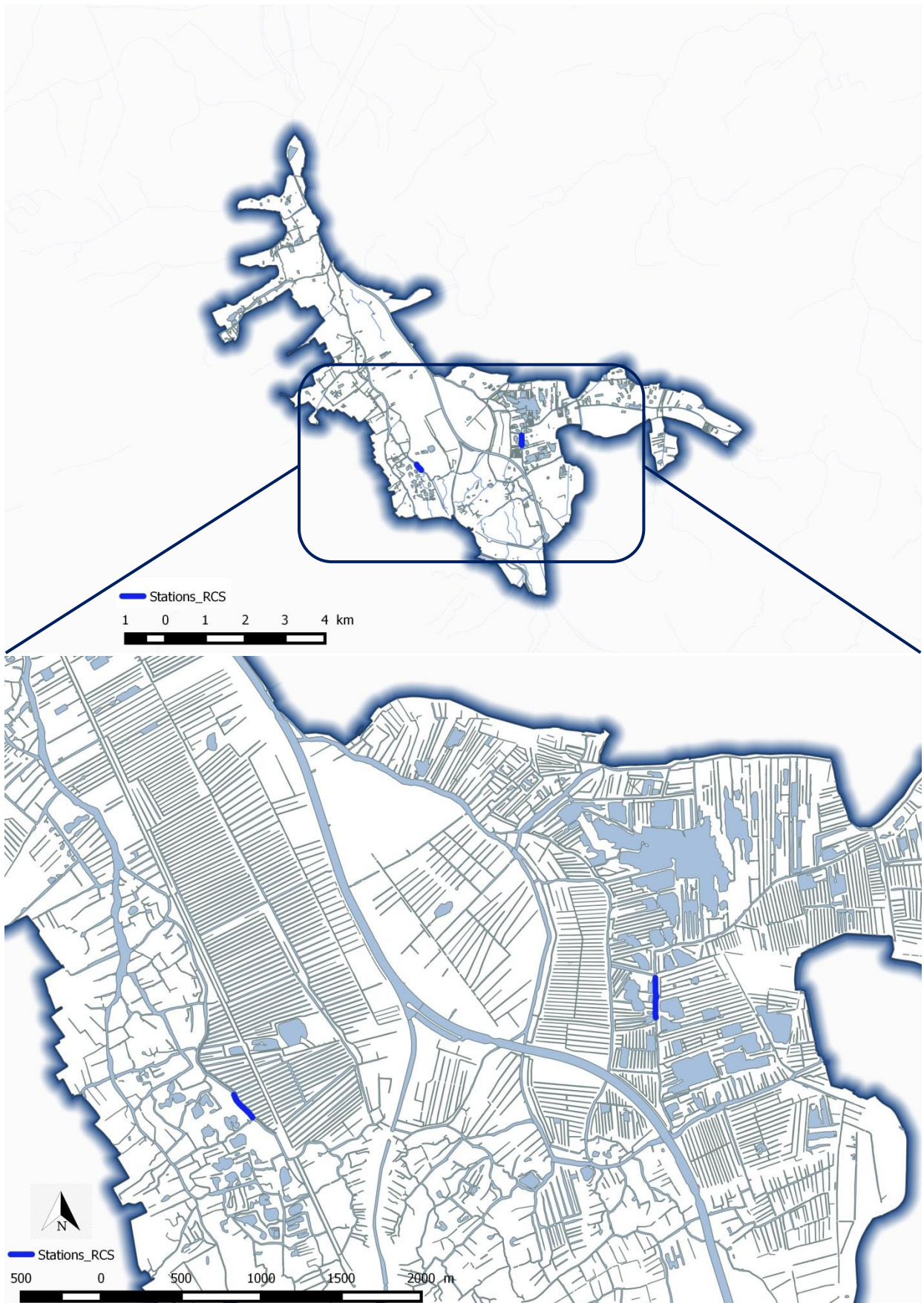


Figure 5 : Localisation des deux stations d'inventaires du Focus RCS dans l'hydrosystème du marais Audomarois.



Figure 6 : Tracés et bornes des deux stations (respectivement Ouest et Est) sur fond photographique.

Protocoles de prélèvements

L'indice MGCE (Macro-invertébrés Grand Cours d'Eau)

Le protocole expérimental d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques en cours d'eau profonds s'applique aux cours d'eau dont la profondeur ne permet pas l'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques dans le strict respect des conditions d'application du protocole cours d'eau peu profond. C'est en général le cas lorsque la hauteur d'eau excède 60cm. Le protocole est applicable à tous les cours d'eau situés en France métropolitaine ou semblables.

Cette méthode s'appuie sur le protocole expérimental d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques en cours d'eau profonds (Usseglio-Polatera P. Université De Metz, Wasson Jg. & Archaimbault V. Cemagref de Lyon, Décembre 2009). Il est calculé comme l'IBG-DCE selon la norme NF T90-350 (Mars 2004) mais sur les phases A, B et C des prélèvements réalisés. En complément, il est possible de s'appuyer sur la Norme NF-T 90-333 de Septembre 2016 relative aux prélèvements des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes.

Ce protocole s'appuie sur plusieurs étapes :

Description de la station et plan d'échantillonnage

Il s'agit de déterminer les limites amont et aval de la station afin de définir la longueur totale (Lt). Elle est définie en fonction de la largeur plein bord (Lpb) du cours d'eau. En moyenne, la longueur correspond à 6 fois la Lpb. Celle-ci peut être adaptée selon la configuration du site ou les enjeux.

Une fois la station délimitée, l'opérateur relève les informations nécessaires à la description de celle-ci (localisation, conditions environnementales, hydrologie, les faciès du cours d'eau, les habitats...). Plusieurs transects sont ensuite réalisés à l'aide d'un échosondeur

(ou d'une pige graduée) et d'un télémètre laser. Un minimum de 3 transects est nécessaire, le nombre à choisir est dépendant de la complexité morphologique de la station. Dans notre cas, la station étant très fortement homogène en termes de faciès, 3 transects furent largement suffisants pour caractériser la profondeur, le profil et la largeur mouillée moyenne.

En parallèle des données descriptives, des mesures physico-chimiques *in situ* (T°, pH, [O2], saturation en O2 et conductivité) sont réalisées. Elles sont un appui à l'interprétation.

Prélèvements élémentaires

Après avoir repéré les différentes zones et les habitats en présence, l'opérateur réalise le plan d'échantillonnage qui comprend les 12 prélèvements élémentaires (répartis dans 3 bocaux différents) et les méthodes employées (cf fiches stations en annexes).

- **Phase A** : La zone de berge (en général la plus biogène) est échantillonnée à l'aide d'un filet Surber ou d'un Haveneau. Les différents habitats à prélever sont choisis par ordre d'habitabilité. Si le nombre de substrats représentatifs prélevables est inférieur à 4, des prélèvements complémentaires sont réalisés.
- **Phase B** : Le chenal est échantillonné en réalisant des dragages de fond (avec une drague circulaire dans notre cas) ou éventuellement avec un filet Haveneau pour des profondeurs inférieures à 2 m.
- **Phase C** : Les prélèvements sont situés en zone intermédiaire. La technique utilisée est en fonction de divers critères et notamment de la profondeur (Surber/Haveneau ou drague ou pose de substrats artificiels dans les cas extrêmes de zones non biogènes ou trop complexes à échantillonner).

Les prélèvements sont dans la mesure du possible bien répartis le long de la station. Les échantillons sont ensuite conditionnés et conservés dans de l'Ethanol dénaturé à 95% puis placé dans un congélateur.



Figure 7 : Prélèvements de divers substrats : hydrophytes (1) et hélrophytes (2) et drague circulaire en acier (3).

Une vigilance particulière est apportée aux espèces patrimoniales ou protégées. Celles-ci sont remises à l'eau vivante après avoir noté leur présence et les avoir déterminées de façon certaine (c'est le cas pour certains grands individus comme les écrevisses ou certains Odonates comme *Cordulgaster* ou des Mollusques).

Tri et détermination

Le protocole de traitement et d'analyse à mettre en œuvre est encadré par la norme NF-T90-388. Celle-ci décrit les méthodes de lavage et de tri ainsi que la détermination taxonomique des macroinvertébrés.

Les échantillons sont tout d'abord lavés et éluutriés puis placés dans plusieurs tamis en vue d'être triés. Les passages successifs en tamis de diverses mailles (12,5mm, 5mm, 4mm, 2mm, 1mm et 500µm) ou l'usage de bacs quadrillés sont au choix selon le substrat et les préférences de l'opérateur.

L'objectif du tri est d'extraire de l'échantillon le maximum de taxons présents. Un certain nombre doit être extrait au minimum selon les familles (effectifs variables selon familles mono

ou multi-spécifique, comme précisé dans la norme NF-T90-388).

Par la suite les individus sont dénombrés et déterminés sous stéréo-microscope. Leur identification peut être assistée notamment avec l'usage d'ouvrages de références (tels que : Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie ; Tachet et al. 2010, Waringer et al. 2004, Nilsson et al. 1996, Grand et al. 2006, etc. - cf bibliographie) ou encore à l'aide de l'outil proposé par le site PERLA (<http://www.perla.developpement-durable.gouv.fr/>).

D'une manière générale les taxons sont comptés et identifiés au genre ou à l'espèce si cela est possible.

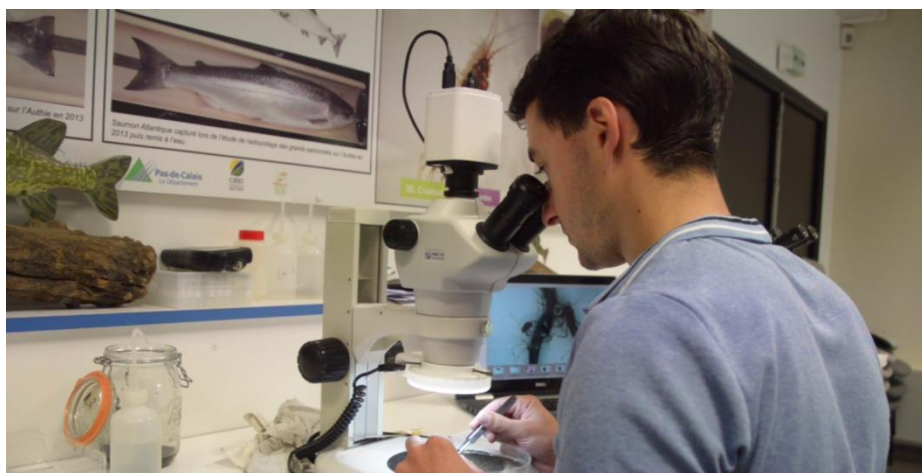


Figure 8 : Mise en situation de la phase de détermination sous loupe binoculaire et camera oculaire-usb euromex®

Calculs de la note et des indices

- Analyse indicielle

Les indices de Shannon, de Simpson, de Pielou, la richesse spécifique et l'abondance sont des indices couramment utilisés en écologie. Ces indices nous permettent d'avoir une idée de la diversité du peuplement et de sa structure. Le pourcentage de taxon EPT (Éphémère, Plécoptère et Trichoptère) est aussi souvent calculé dans le cadre d'études sur le

compartiment macro-invertébré. En effet, il permet d'avoir une idée de la proportion de ces taxons qui sont en général les plus sensibles à la qualité de leur milieu. Un travail sur les traits bioécologiques a ensuite été fait afin d'obtenir les abondances, les biomasses et les pourcentages par traits. Il a été choisi de se centrer sur les traits du mode d'alimentation.

- Analyse taxonomique et fonctionnelle :

Toujours pour mettre en évidence les différences entre cours d'eau impactés ou non, les analyses multivariées sont un bon outil de statistique descriptive. Une analyse factorielle des correspondances est réalisée avec la liste faunistique obtenue après transformation logarithmique. L'AFC est une méthode de statistique multivariée qui permet de mettre en avant les dépendances ou les

correspondances entre les différentes variables. Le logiciel R muni des packages .ade4, FactoMineR et .vegan est utilisé.

Dans le cadre de la réalisation d'un I2M2 en milieu prospectable à pied, il aurait été éventuellement possible de réaliser une analyse grâce à l'outil de diagnostic fourni sur le site de SEEE (<http://seee.eaufrance.fr/>).



Figure 9 : Quelques macro-invertébrés retrouvés dans les prélèvements, des maillons essentiels du fonctionnement des milieux aquatiques et des bio-indicateurs pertinents (de gauche à droite : Oulimnius, Mystacides, Caenis et Pisidium).

- Calcul de la note et attribution de la classe de qualité biologique

Pour les cours d'eau profonds, l'indice biologique invertébré à utiliser est l'indice macro-invertébré grand cours d'eau (MGCE 12 prélèvements - code Sandre 6951). Cet indice est calculé au moyen des règles de calcul de la méthode IBGN (NF T90-350 - mars 2004) sur l'ensemble des phases comprenant les 12 prélèvements élémentaires du protocole d'échantillonnage des macro-invertébrés en cours d'eau profonds. La note est produite notamment en prenant en compte la diversité faunistique et le groupe indicateur (GI). Celui-ci correspond à la Famille taxonomique la plus

polluo-sensible retrouvée avec au moins 3 individus de celle-ci (il existe 9 classes de GI, avec 9/9 pour les plus polluo-sensibles).

Ce calcul est réalisé à l'aide d'une macro Excel (mais également possible sous le logiciel R ou encore sur le site <http://seee.eaufrance.fr/>). Une fois la note et l'EQR calculés, il est possible d'attribuer une classe de qualité à l'aide des bornes suivant l'arrêté du 27 juillet 2018 (en fonction de l'hydro-éco-région ; ici HER20-EXO9 ; dépôts argilo sableux hexogène du bassin tables calcaires, Figure 10).

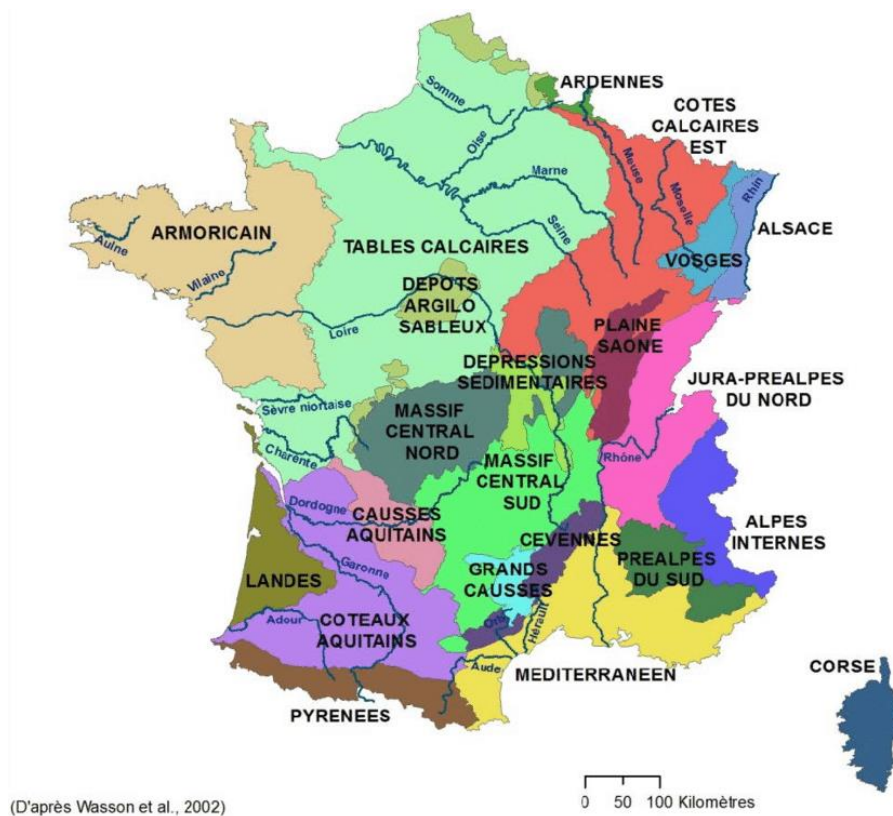


Figure 10 : Les hydro-éco-régions (selon Wasson et al., 2002) en France.

L'IPR (Indice Poisson Rivière) adapté

L'étude des peuplements piscicoles sont à l'instar des invertébrés benthiques, des excellents bio-indicateurs (compartiments biologiques intégrateurs des conditions du milieu). Afin de produire une image fidèle de la qualité biologique du marais, l'étude des communautés de poissons était également nécessaire.

Le protocole d'échantillonnage des poissons à l'électricité est appliqué sur la base des normes NF T90-344 et XP T 90-383 (NF T 90-383 en cours de finalisation à l'heure de la rédaction du présent rapport).

La NF T90-344 de Juillet 2011 spécifie par exemple la méthode de détermination de l'Indice Poisson Rivière (IPR), qui permet, à partir de la connaissance de la structure des peuplements de poissons, de déterminer la qualité biologique générale des cours d'eau.

Il est également possible de s'appuyer sur la "Notice de présentation et d'utilisation de l'IPR" (Onema, 2006) ainsi que sur le "Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité" (Belliard et al., Onema, 2008).

Le calcul du nouvel indice et outil de diagnostic cours d'eau IPR+ s'appuie quant à lui sur les travaux de Pont et al. (2013) et le guide produit par le partenariat ONEMA-IRSTEA.

Le descripteur IPR a donc été choisi et adapté afin de qualifier la qualité biologique piscicole du marais, en considérant les particularités des sites, de leur profondeur et de la turbidité (MES ; développement algale fort). Ces particularités nous ont conduits à des réflexions sur la méthode à déployer (perte d'information si pêche par point, etc.). Les connaissances de la FDAAPPMA 62, maîtrisant les diverses techniques d'inventaires par l'électricité ; (pêche par points pêches complètes, embarquées ou à pied...) et passives (méthode Scandinave (filets), verveux, nasse...), ont permis de porter le choix vers une méthode adaptée hybride.

Il s'agit d'un IPR en pêche complète en milieu profond lentique avec un Electrofishing-boat de Smith&Root®. De plus et en vue de limiter au maximum l'échappement, il a été choisi de placer aux bornes des stations amont et aval des filets maillants scandinaves. Ceci non pas pour remplir les prérogatives de la norme CEN prEN 14757 (méthode de pêche aux filets maillants Scandinave), ni produire un comparatif entre les deux méthodes mais pour limiter et mesurer l'échappement en vue de fournir un bon retour d'expérience de l'inventaire via l'utilisation de l'Electrofishing-boat.

Protocole d'échantillonnage

Le protocole d'échantillonnage est ainsi conduit comme suivant :

1. Mesure des caractéristiques abiotiques des stations et mesures physico-chimiques *in situ* à l'aide d'une sonde multiparamètre.
2. Mise en place des « filets maillants barrages » aux bornes de la station et fixation de ceux-ci en berge. Des panneaux informatifs du danger inhérent au chantier en cours et des bouées blanches balisent également les filets pour éviter tout désagrément nautique.
3. Plusieurs passages successifs d'échantillonnage en Electrofishing-boat sont réalisés le long des deux rives et en chenal. Arrêt des passages successifs une fois arrivé à épuisement vraisemblable de la station et aucun prélèvement de nouvelles espèces. 4 opérateurs sont disposés sur le bateau à raison : d'un pilote, de deux opérateurs épuisettes à la proue de l'EFB et d'un opérateur épuisette en soutien à l'arrière pour l'échappement.
4. Démarrage de l'atelier de biométrie en berge à l'aide de plusieurs opérateurs. Les premiers poissons capturés sont placés dans des bacs et des seaux en vue d'être déterminés, dénombrés, pesés et mesurés (l'état sanitaire ou d'autres caractéristiques sont notifiés si cela est pertinent comme par exemple le degré d'argenture des anguilles ou le sexe de certains taxons...). Tous les sujets sont mesurés individuellement à l'exception des lots.
5. Les filets maillants sont relevés avec soin et placés dans des bacs remplis d'eau.
6. Les individus capturés aux bornes des stations dans les filets maillants sont ensuite démaillés en vue de réaliser les mesures biométriques (*cf* point 4.).



Figure 11 : Illustrations de mise en situation ; 1. Vue aérienne de la station Est sur le Zieux, il est possible d'apercevoir le filet juste en haut de l'EFB - 2. Capture d'un poisson à l'aide de l'EFB – 3. Pose du filet maillant aux bornes de la station avant l'échantillonnage.

Caractéristique technique de l'EFB (Electrofishing-boat)

L'appareil utilisé lors des échantillonnages piscicoles est un Electrofishing-boat (Modèle SR16-E) de la marque Smith&Root® (USA). Celui-ci mesure 4.90m et est principalement constitué d'acier inoxydable et d'aluminium (coque). Il est pourvu d'un poste de manœuvre (navigation) et d'une console de réglage de l'intensité (DC : Direct Current ; Courant continu), de la tension, de la fréquence et de la puissance. Le groupe électrogène GPP7.5 (7.5kva) est à demeure. La plage de tolérance de la conductivité acceptée est de 10 à 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Un rideau de câbles en acier placé sur la proue de l'embarcation fait office de cathode. Les câbles placés en « araignée » au bout des deux bras escamotables font office d'anode (figure 11-2). Le bateau est également équipé d'un vivier avec une circulation d'eau gérée à l'aide d'une pompe, d'une surface antidérapante et d'une pédale de contact à l'avant permettant à un des opérateurs d'activer ou de désactiver le champ électrique rapidement et avec sécurité (NB : des schémas techniques peuvent être consultés en annexes). La tension de sortie est réglable en fonction de l'évolution de la conductivité

du milieu, afin de « mettre en nage forcée » (phénomène d'électronarcose) les individus présents dans le champ émis.

Méthode de calcul

Afin de calculer l'IPR pour chaque station, les différentes variables suivantes sont utilisées: la surface du bassin versant drainé (SBV en km²), la distance à la source (DO en km), la pente de la station (pente IGN en ‰), l'altitude (m) et les températures moyennes interannuelles de l'air du mois de Juillet et de Janvier. Les variables suivantes étant quant à elles déterminées *in situ* ; profondeur moyenne, largeur moyenne, température de l'eau etc.

Signification des abréviations et valeurs des paramètres abiotiques

Données prises en compte dans le calcul		Zieux marais est	Ketestroom marais ouest
Surface échantillonnée	(SURF)	2164	2000
Surface du bassin versant drainé	(SBV)	665	665
Distance à la source	(DS)	36	36
Largeur moyenne en eau	(LAR)	9,37	10
Pente du cours d'eau	(PEN)	0,2	0,2
Profondeur moyenne	(PROF)	1,04	0,93
Altitude	(ALT)	3	3
Température moyenne de juillet	(TJUILLET)	21	21
Température moyenne de janvier	(TJANVIER)	5	5
Unité hydrologique	(HU)	NORD	NORD

Tableau 1 : Signification des abréviations et valeurs des paramètres abiotiques et données de calculs associés.

Le calcul est réalisé à l'aide d'une macro Excel (également possible sous le logiciel R ou encore sur le site <http://seee.eaufrance.fr/>). Un test de l'outil de diagnostic IPR+ a également été réalisé mais dans un souci de pertinence avec les données RCS existantes, c'est la note IPR qui sera conservée et commentée.

Métriques, indices et classe de qualité

La note globale de l'IPR correspond à la somme des scores associés aux 7 métriques. Celle-ci est inversement proportionnelle à la qualité piscicole et se répartit en 5 classes.

Une fois la note et l'EQR calculés, il est possible d'attribuer une classe de qualité à l'aide des bornes suivant l'arrêté du 27 Juillet 2018.

Note IPR	IPR<5	5<IPR<16	16<IPR<25	25<IPR<36	IPR>36
Classe de qualité	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

Tableau 2 : Classes de qualité de l'IPR

Métriques associées :

Des indices aidant à l'analyse sont également produit en sus de la note IPR comme :

- Nombre total d'espèces (NTE)
- Nombre d'espèces rhéophiles (NER)
- Densité d'individus tolérants (DIT)
- Densité d'individus invertivores (DII)
- Densité individus omnivores (DIO)
- Densité totale d'individus (DTI)

Les différents indices complémentaires :

Les indices de Shannon, de Simpson, de Pielou, la richesse spécifique et l'abondance sont aussi traités (calculés à l'aide du logiciel R pourvu des packages .ade4 et .vegan).

Ces indices permettent d'analyser la structure de la population piscicole. L'abondance relative (P_i) est évaluée pour chaque espèce (i), ainsi que la richesse spécifique (S), c'est-à-dire le nombre d'espèces dans le peuplement.

A partir de ces valeurs de richesse spécifique et d'abondance relative, on calcule :

- L'indice de Diversité (H') de Shannon-Weaver (1949) ou d'Echaubard et Neveu (1975) ou Arrignon (1998) qui informe sur la diversité du peuplement.
- L'indice d'Equitabilité (E) qui nous renseigne sur le degré d'équilibre du peuplement.
- L'indice de Jacquard (I) compare les structures entre deux peuplements.



Figure 12 : quelques poissons retrouvés dans les prélèvements, des mallions essentiels intégrateurs du fonctionnement des milieux aquatiques (de gauche à droite : *Alburnus alburnus*, *Esox lucius*, *Sander lucioperca*, *Rhodeus amarus*) (©M. Georgeon)

Campagnes d'échantillonnage 2018-2019

Les campagnes se sont déroulées sans problèmes majeurs, aux dates suivantes :

Protocole	Date d'échantillonnage
IPR adapté	26/09/2018 et 27/09/2018
IPR adapté	08/10/2019
Indice MGCE	21/08/2018
Indice MGCE	27/08/2019

Tableau 3 : Dates d'échantillonnages.

Données physico-chimiques in situ

Le tableau ci-dessous présente les données physico-chimiques relevées *in situ* lors des différentes campagnes, à titre indicatif.

Paramètres	MGCE 2018		MGCE 2019		IPR 2018		IPR 2019	
	Ouest	Est	Ouest	Est	Ouest	Est	Ouest	Est
Température de l'eau (°C)	19,8	22,4	21,4	23,6	13,4	13,7	14	15,2
Oxygène dissous (mg/l)	9,72	8,8	9,58	6,35	7,46	6,63	7,2	6,26
Taux de saturation en O ₂ (%)	112	101	108	75	70,3	62	70,6	62
Conductivité (µS/cm)	632	675	618	738	617	680	620	860
pH (unité de pH)	7,5	7,9	7,22	7,4	7,3	8,1	7,3	7,2

Tableau 4 : Données physico-chimiques des diverses campagnes.

Résultats

Les résultats sont présentés globalement puis ensuite par station et par campagne.

Volet invertébrés

Qualité biologique

L'état biologique est globalement très bon sur l'ensemble des stations et lors des deux années de suivi. Le groupe faunistique indicateur n'est pas si élevé, 4/9 en moyenne. Mais de par la grande diversité évaluée sur les stations, celle-ci contribue à une note jugée acceptable. La classe de qualité associée est donc « très bon » au regard des EQR produits et relevés dans l'arrêté du 27 juillet 2018 (les hydro-écotémoins du Nord de la France étant plus « permissives » que celles situées dans le Massif central ou les Vosges par exemple).

	2018		2019	
	EST	OUEST	EST	OUEST
Nombre de taxons :	40	33	35	37
Classe de variété :	11	10	10	11
Groupe Faunistique				
Indicateur (/9):	4	4	4	5
Taxon Indicateur :	<i>Polycentropodidae</i>	<i>Leptoceridae</i>	<i>Polycentropodidae</i>	<i>Hydroptilidae</i>
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	14	13	13	15
Taille du cours d'eau /HER /EQR	HER20-E9 0,86	HER20-E9 0,79	HER20-E9 0,86	HER20-E9 1,00
Qualité biologique *	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon

* suivant l'arrêté du 27 juillet 2018

Tableau 5 : Récapitulatif des notes et classes de qualités associées calculées (invertébrés).

Approche indicielle

	Marais EST 2018		Marais OUEST 2018	
	Robustesse (/20) :	11,00		12,00
Equitabilité (max. 1) :	0,57		0,65	
Indice de Shannon	3,17		3,57	
Diversité maximale	5,55		5,46	
Taxons dominants	<i>Chironomidae</i> 0,36 <i>Chelichorophium</i> 0,16		<i>Lymnomyia</i> 0,22 <i>Chironomidae</i> 0,10	
EPT (nb au genre /%)	6 0,29		7 0,15	
	Marais EST 2019		Marais OUEST 2019	
Robustesse (/20) :	11,00		13,00	
Equitabilité (max. 1) :	0,53		0,44	
Indice de Shannon	2,86		2,52	
Diversité maximale	5,43		5,67	
Taxons dominants	<i>Chelichorophium</i> 0,16 <i>Chironomidae</i> 0,27		<i>Hydrobiidae</i> 0,42 <i>Chironomidae</i> 0,32	
EPT (nb à la famille /%)	5 0,04		10 0,07	

Tableau 6 : Indices multiples calculés par station et par campagne.

Station marais EST

La station située à l'Est du marais obtient une note de 14/20 en 2018 et 13/20 en 2019 correspondant à une très bonne qualité biologique. Le groupe indicateur est représenté par la famille polluo-sensible des *Polycentropodidae* (GI 4/9) les deux années. La note n'est pas très robuste (perte de 3 points ou 2 points selon les années) avec la famille des Ephémères *Baetidae*. Néanmoins le peuplement est très diversifié avec 40 taxons en 2018 et 35 en 2019. Si les échantillons sont très diversifiés, on note tout de même une baisse importante de 5 taxons non retrouvés en 2019.

Les populations sont moyennement équilibrées 0,57 et 0,53 respectivement en 2018 et 2019 pour l'indice de Pielou. Ceci est lié à la très forte présence et proportion de Diptères (principalement des *Chironomidae*) et de Crustacés (principalement des *Chelichorophium*).

Les taxons polluo-sensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 6 et 5 taxons différents et par 29% du peuplement en 2018 ce qui est assez élevé. Cette proportion forte d'EPT en 2018 est liée à l'abondance importante de *Cloëon* dans l'échantillon (A : Berges). En revanche, une proportion plus faible (4%) d'EPT a été relevée en 2019 sur la station. Il s'agit principalement des mêmes taxons (*Caenis*, *Cloëon*, *Elmidae*...) mais en moindre densité.

Les Ordres dominants sont les Diptères et les Crustacés les deux années avec des proportions variables (figure 15).

L'étude des degrés trophiques met en évidence une communauté qui correspond aux zones à tendance méso-eutrophe et β -méso-saprobe (figure 13).

L'étude des traits bio-écologiques centrée sur le mode d'alimentation (figure 16) montre une dominance des taxons dits « broyeurs » à hauteur de 31% et 34% d'une année à l'autre. Ce trait est affilié à des taxons plus hétérogènes et caractérise des espèces qui exploitent des sources de nourritures allochtones des plus diverses (feuilles mortes, débris etc. ; souvent des crustacés). Vient ensuite les « mangeurs de sédiments fins » et les « brouteurs », des taxons se nourrissant des débris du périlithon (*Baetidae*, *Chironomidae*...). Ces traits sont plutôt caractéristiques de rivière à contexte intermédiaire (concept de Vannote et al 1980). En effet, en tête de bassin versant les « broyeurs » sont censés être fortement majoritaires. En contexte intermédiaire, la part des brouteurs est plus importante et en aval dans les grands hydrosystèmes, les collecteurs/filtreurs sont en général fortement dominants.

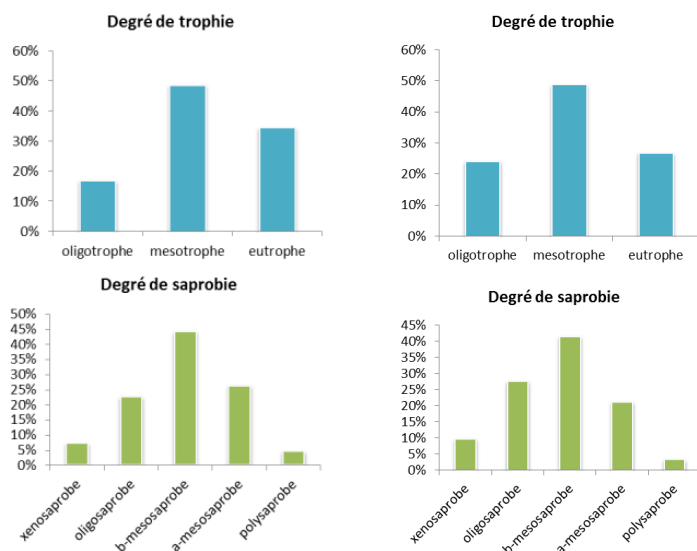


Figure 13 : Degrés de trophie et de saprobie des communautés d'invertébrés de la station marais EST en 2018 et 2019 (de gauche à droite).

Station marais OUEST

La station marais Ouest obtient une note de 13 et 15/20 en 2018 puis en 2019, ce qui correspond également à une très bonne qualité biologique. Le groupe indicateur est représenté par la famille des *Leptoceridae* en 2018 (une famille de Trichoptères variée mais moyennement polluo-sensible) et des *Hydroptilidae* en 2019 (un Trichoptère de très petite taille vivant dans un fourreau particulier et relativement polluo-sensible). La différence de note entre les deux années vient principalement de la découverte de ce petit taxon (*Orthotrichia* GI 5/9 au lieu de 4/9 comme sur les autres stations). Celui-ci a uniquement été trouvé sur la station marais Est (*2) en 2018 et Ouest (*4) en 2019. Si seulement 2 exemplaires ont été dénombrés,

cela est donc insuffisant pour le valider comme GI). Il n'est ainsi pas affilié à l'une ou l'autre des entités du marais mais il est somme toute assez rare dans la zone d'étude.

La diversité est élevée avec 33 taxons en 2018 et 37 taxons en 2019. La robustesse est de 12 (2018) et 13 (2019), avec les taxons indicateurs de robustesse qui sont les *Polycentropodidae* en 2018 et les *Leptoceridae* en 2019. Ces deux familles sont de GI 4/5.

Dans l'ensemble, la communauté est équilibrée en 2018 mais déséquilibrée en 2019, moyennement robuste et diversifiée. Les taxons polluo-sensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 7 (2018) et 10 (2019) taxons différents soit 15% et 7% du peuplement respectivement.

L'étude des degrés trophiques met en évidence une communauté à tendance méso-eutrophe (voir même eutrophe en 2019) et β - α -mésosaprobe (figure 14).

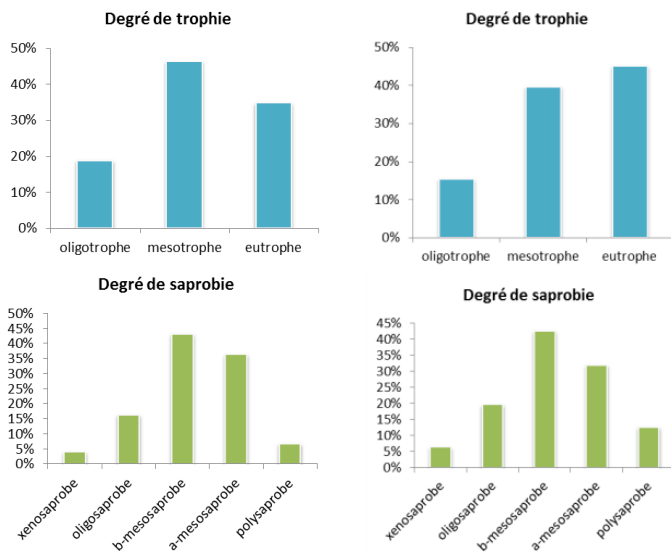


Figure 14 : Degrés de trophie et de saprobie des communautés d'invertébrés de la station marais Ouest en 2018 et 2019 (de gauche à droite).

L'étude des traits bio-écologiques centrée sur le mode d'alimentation (Figure 16) montre une dominance des taxons « broyeurs » (42% puis 33% pour les deux années) et des taxons « racleurs/brouteurs » avec 13% et 29%. Les taxons dits « filtreurs » sont mieux représentés à l'Ouest qu'à l'Est (12% et 13%). Ce trait est plus représentatif d'une orientation de la communauté vers la filtration des matières organiques fines.

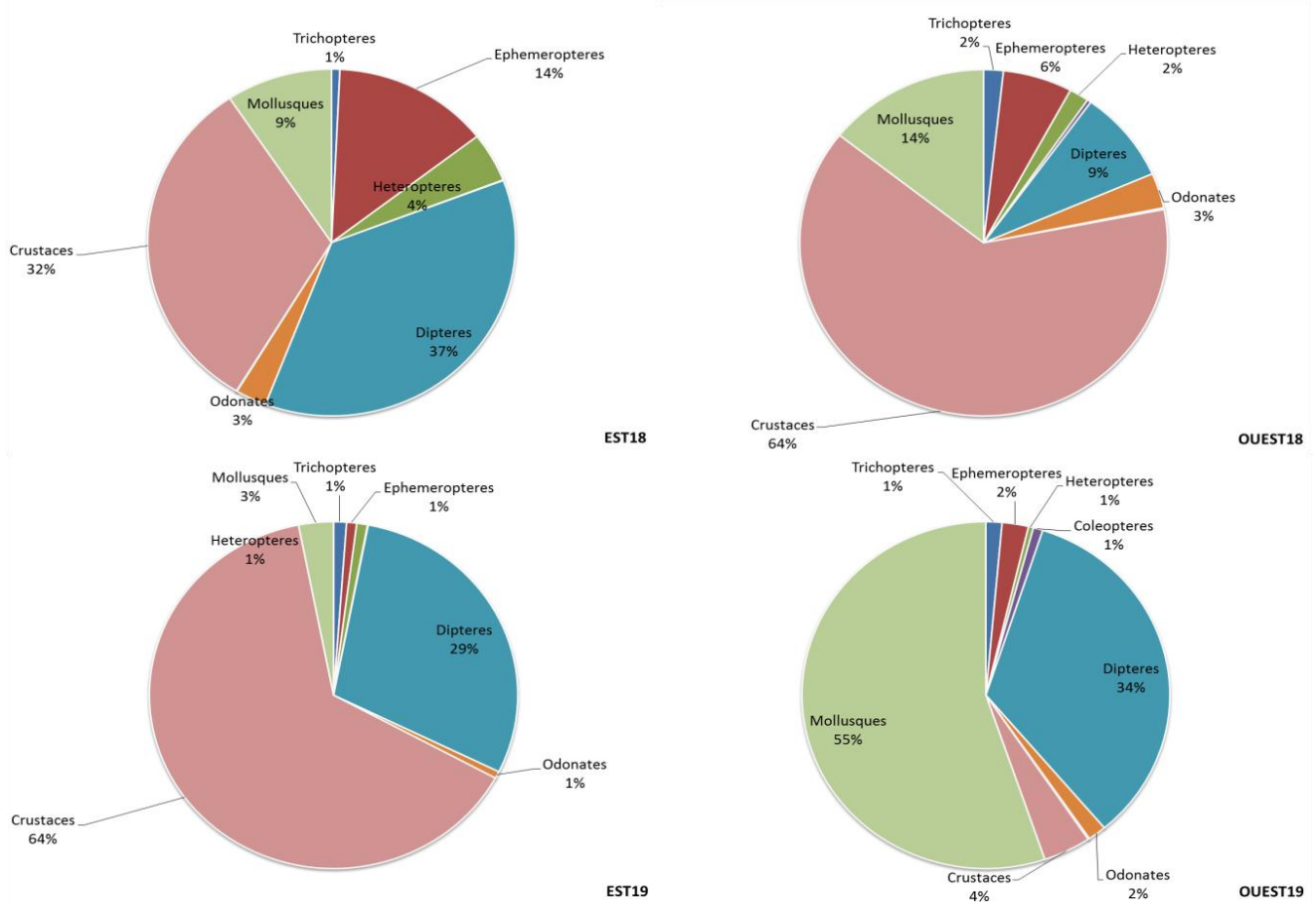
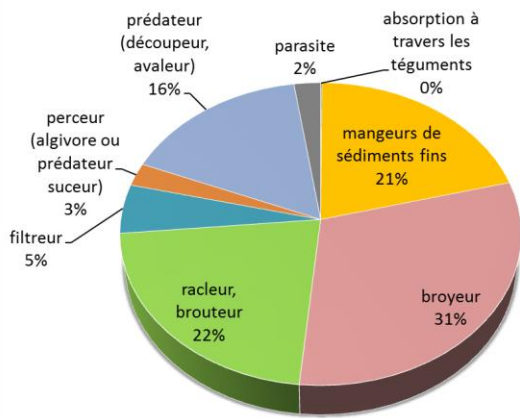
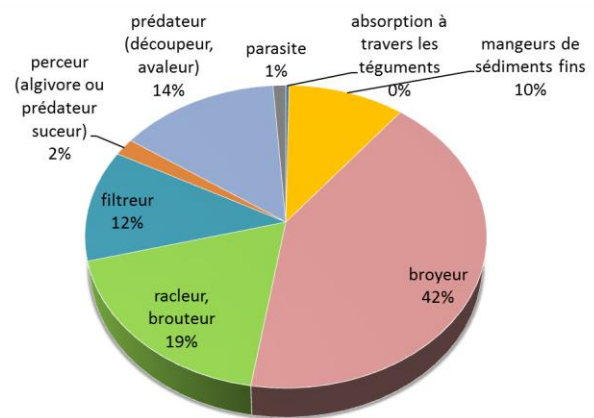


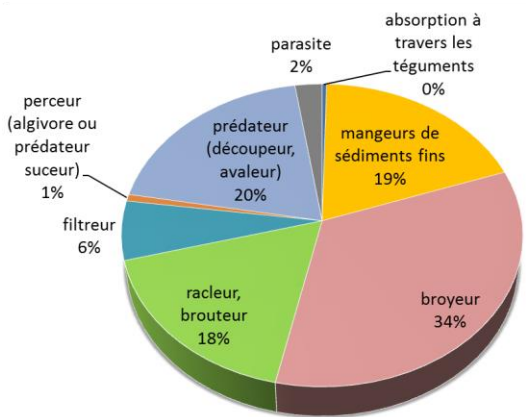
Figure 15 : Abondance relative en pourcentages des Ordres par station et par campagne.



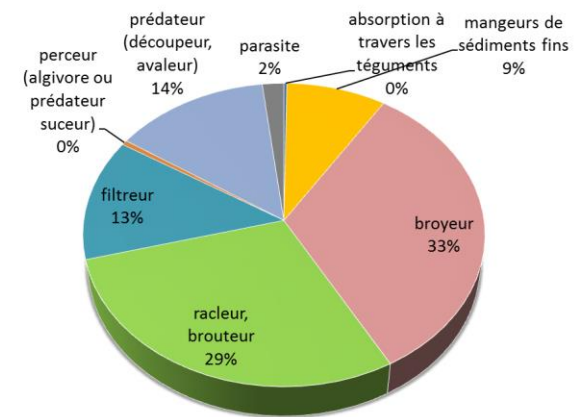
EST2018



OUEST2018



EST2019



OUEST2019

Figure 16 : Abondance relative en pourcentage des traits bio-écologiques des communautés d'invertébrés par station et par campagnes.

Approche multivariée

Une A.F.C. (Analyse Factorielle des Correspondances) a pu être réalisée. L'A.F.C. est une technique d'analyse statistique descriptive visant à résumer l'information contenue dans un grand nombre de variables afin de faciliter son interprétation.

On cherche à savoir quelles sont les modalités corrélées entre elles et en l'occurrence, si les 2 populations d'invertébrés de l'Est ou de l'Ouest du marais sont dissemblables et en quoi (Figures 17 et 18).

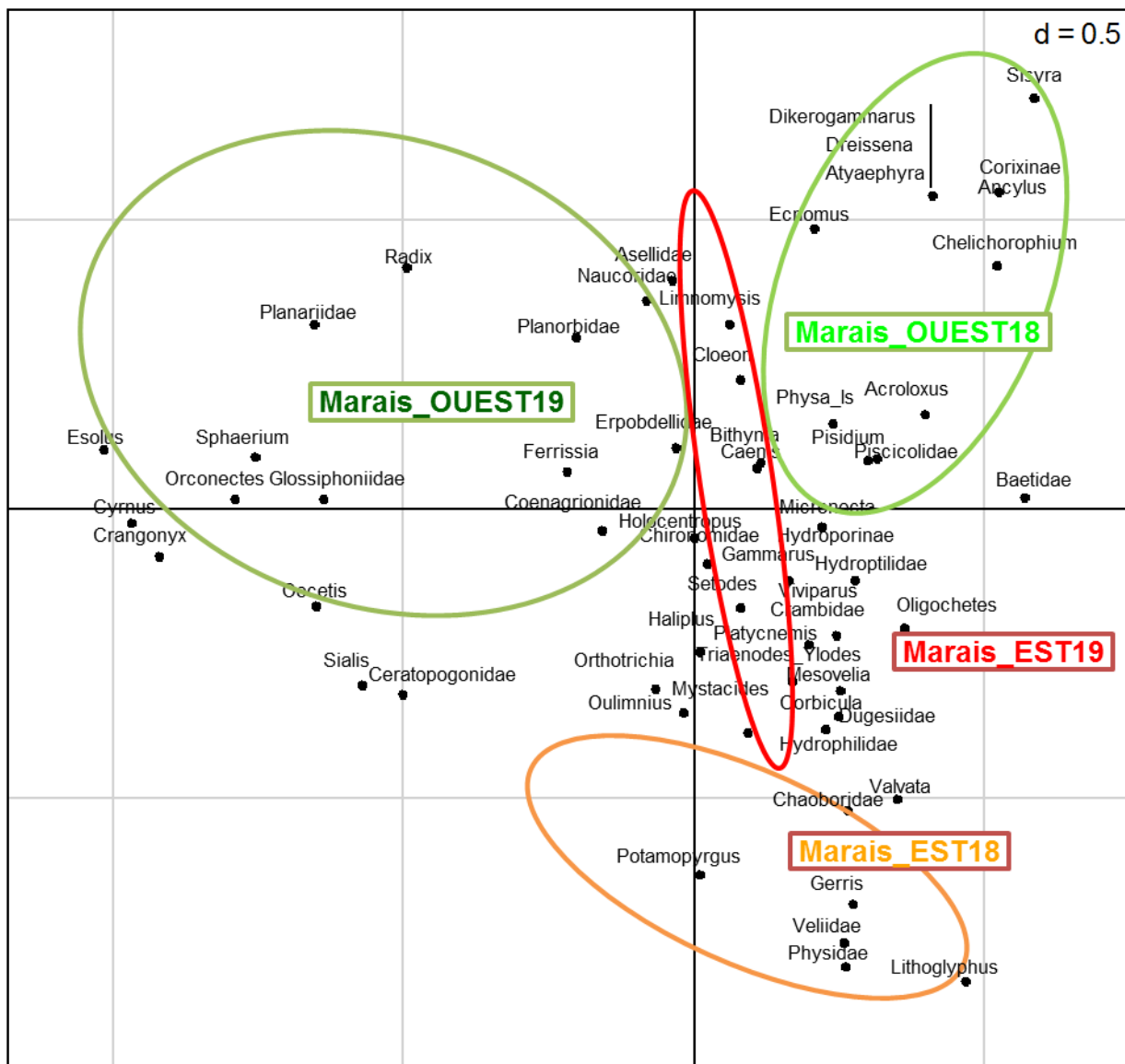


Figure 17 : Analyse factorielle des correspondances réalisée à l'aide du logiciel R sur les listes faunistiques obtenues sur les 4 prélèvements d'invertébrés du marais Audomarois (données log-transformées). [Total inertia 0.6279 ; Projected inertia Ax1 24.45% Ax2 16.48% Ax3 13.64%].

Il est possible d'observer sur cette figure l'ensemble des taxons déterminés. En général, les genres proches des extrémités sont plus spécifiques (affiliés à des phases ou des stations précises) ou rares alors que les genres proches du centre de la figure sont en général présents sur les 3 stations et sont plus communs.

Les deux populations (les barycentres EST et OUEST) divergent légèrement l'une de l'autre (figure 18-1.). On peut noter la présence de taxons particuliers comme par exemple :

- *Valvata* un mollusque de petite taille en général typique des zones de sources qui semblent plus affiliées à l'Est.
- Les Ephémères *Cloëon* plus affiliées à l'Est alors que les *Caenis* sont retrouvés uniformément.
- Les mêmes genres de Crustacés sont présents partout mais des disparités existent au niveau des Mollusques et des Vers...

Le barycentre OUEST 2019 quant à lui diverge un peu plus des 3 autres entités (figure 18-2), il est en effet séparé des autres par un des axes factoriels. Les entités marais EST restent quant à elles assez proches d'une année sur l'autre en termes de communautés d'invertébrés.

Si on s'intéresse au niveau des prélèvements par phase (A, B ou C), on remarque que la phase A se démarque fortement des autres phases (Figure 18-3 et 18-4). Il en est de même pour les phases B (chenal) qui sont proches entre les stations, très pauvres et différentes des autres phases. En effet, lors des inventaires, nous avons pu mettre en évidence que :

- Une grande majorité des habitats d'intérêt (chevelus racinaires, hydrophytes émergées, galets...) était presque exclusivement en berge.
- En revanche, c'est uniquement de la vase anoxique qui fut retrouvée dans le chenal suite aux dragages. Cette observation va de pair avec la diversité et la densité très faible qui fut déterminée dans les phases B des deux campagnes.

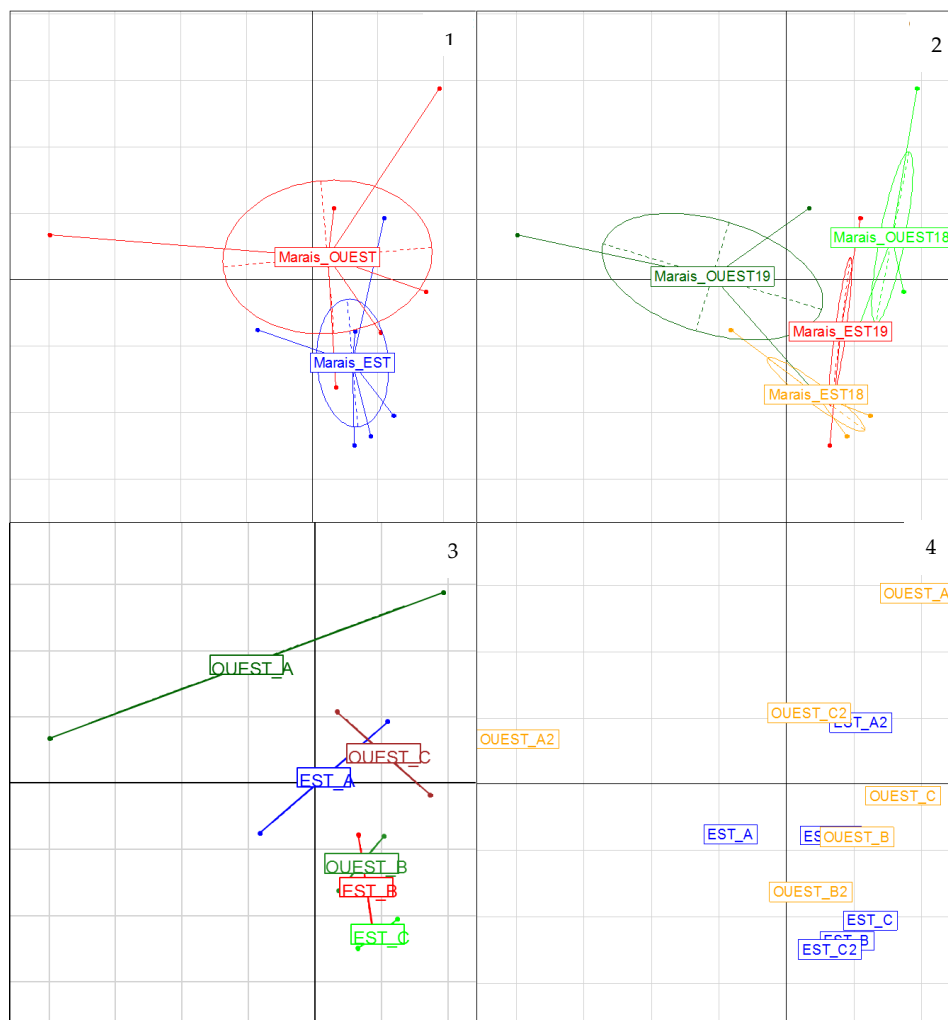


Figure 18 : Appel par la fonction .sclass sur la même AFC que figure 16 des diverses échelles explicatives ; 1. Par station complète Est ou Ouest - 2. Par station et par année - 3. Par prélèvement (A, B ou C) et station - 4. Par prélèvement par station et par année (ex. C2 = prélèvement C 2019).

Volet poisson

Qualité biologique

La qualité biologique calculée à partir du compartiment piscicole oscille entre « moyenne » et « médiocre » en fonction des années et des stations (toujours à la limite entre les deux classes de qualité). Une meilleure note est ainsi trouvée à l'Est en 2019 qu'en 2018 et c'est l'inverse pour l'Ouest. Ceci peut être dû à des variations naturelles spatio-temporelles ou à des baisses de recrutements.

	2018		2019	
	EST	OUEST	EST	OUEST
Effectif	242	178	525	234
Richesse faunistique	11	10	10	8
Taxon minoritaire :	<i>Sandre</i>	<i>Anguille</i>	<i>Goujon</i>	<i>Sandre</i>
Taxon majoritaire :	<i>Gardon</i>	<i>Gardon</i>	<i>Gardon</i>	<i>Gardon</i>
Equivalent I.P.R. :	27,95	23,61	24,78	26,56
H.U./classe de qualité	HER20-9 4	HER20-9 3	HER20-9 3	HER20-9 4
Esp. Patrimoniales	BOU, BRO	ANG, BRO	BRO	ANG, BRO
Qualité biologique *	Médiocre	Moyen	Moyen	Médiocre

* suivant l'arrêté du 27 juillet 2018

Tableau 8 : Récapitulatif des notes et classes de qualité associées.

En effet, les notes sont relativement basses pour deux raisons principales : i – l'abondance est plus faible qu'escomptée. ii - certains taxons attendus manquent à l'appel.

Approche structurale par station

Nom sci.	Nom vernaculaire	Code	Est18	Est19	Ouest18	Ouest19
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	44	68	42	5
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	0	0	1	2
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	2	0	0	0
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB	76	14	1	0
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	1	118	3	19
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	3	5	5	6
<i>Carassius sp.</i>	Carassin	CAS	4	0	2	0
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	92	279	70	174
<i>Gobio sp.</i>	Goujon	GOU	0	1	0	0
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	GRE	7	18	19	10
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche fluviatile	PER	3	12	21	17
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT	9	7	12	0
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	1	3	0	1
<i>Orconectes limosus</i>	Ecre. américaine	OCL	1	1	2	2

Tableau 9 : Listes faunistiques et densités associées obtenues lors des deux campagnes.

Globalement, la diversité est en moyenne de $9,75 \pm 0,87$ et l'abondance est en moyenne de $294,7 \pm 115,1$. A l'échelle des stations, des disparités sont observées surtout en termes de densité (plus forte à l'Est qu'à l'Ouest).

Station marais Est

La station située à l'Est du marais obtient une note de 27,95 (en 2018) et 24,78 (en 2019) correspondant à des qualités biologiques médiocres à moyennes. Les effectifs associés sont de 242 individus en 2018 et 525 en 2019. La densité est de 10,4 individus par 100m² en 2018 et de 22,5 ind./100m² en 2019, ce qui est la densité la plus élevée des 4 campagnes. La diversité, à l'inverse de la densité, perd un point en 2019 avec 10 taxons contre 11 en 2018. La Bouvière et le Carassin n'ont pas été retrouvés la deuxième année, mais un Goujon a été caractérisé en 2019. La note est meilleure en 2019 notamment de par la simple présence du Goujon. Cette espèce rhéophile est polluo-sensible. Elle apprécie les eaux claires et les fonds sableux mais également la matière organique.

Néanmoins le peuplement est diversifié avec 10 et 11 taxons en 2018/2019. Les taxons remarquables sur le Zieux sont la Bouvière (*Rhodeus amarus* ; LC ; Annexe II de la Directive Cadre Habitats Faune Flore.) et le Brochet (*Esox lucius* ; VU ; espèce repère du contexte).

Le Goujon et la Bouvière ont été uniquement inventoriés en petits effectifs et à l'Est.

La communauté est dominée par le Gardon (38%) et la Brème bordelière (31%) en 2018 et par le Gardon (53%) et la Brème commune (23%) en 2019 (figure 21). Les Ablettes sont bien présentes également (18% et 13%). Les individus les plus rares sont le Sandre (*3), le Goujon (*1), La Bouvière (*2). On note également la présence de l'Ecrevisse Américaine (*Orconectes limosus*), un invertébré invasif et vorace. Celle-ci est susceptible par exemple de provoquer des déséquilibres biologiques dans les cours d'eau et plans d'eau (Article R432-5 du CE).

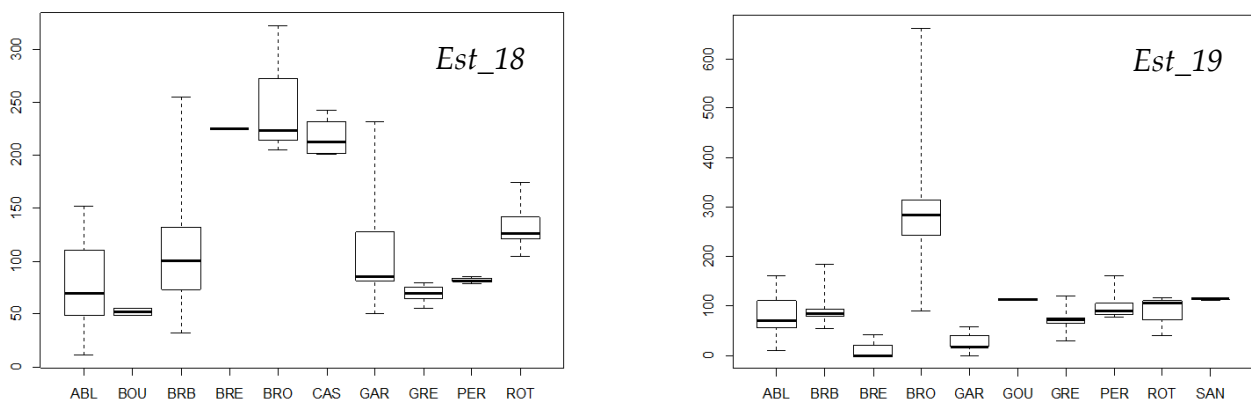


Figure 19 : Boxplot des classes de taille par espèce sur la station marais Est (2018/2019).

Si on étudie plus précisément les structures des classes de taille des communautés en présence (Figure 18), on remarque que les individus de petites classes de taille sont bien moins représentés en 2018 qu'en 2019. En effet, le recrutement de jeunes cohortes semble faible pour la Brème commune, le Brochet et le Carassin. Seuls des individus de grandes tailles ont été capturés. En revanche, le spectre est large pour les tailles des Ablettes, des Brèmes bordelières et des Gardons. Leurs médianes étant assez centralisées, ces taxons ont vraisemblablement un bon recrutement et des classes de taille variées en 2018.

En 2019, la plupart des individus sont plus petits. En effet, un grand nombre de lots a été fait avec des jeunes cohortes et peu de grands individus ont été capturés. On notera les valeurs extrêmes mesurées pour le Brochet. Plusieurs brochetons de l'année ont été capturés ainsi que des géniteurs ce qui est une bonne information (deux brochets d'un été chaque année).

L'indice de Shannon-Weaver ($H' = 1.53$ en 2018 et $1,38$ en 2019) montre une diversité moyenne à élevée. Ceci est caractéristique des communautés piscicoles des contextes éso-cyprinicoles. L'indice d'Équitabilité et de Pielou met en évidence une communauté moyennement équilibrée. Cet indice varie entre 0 et 1 (il tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce et est égale à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance). Encore une fois, cela est dû à l'abondance des cyprinidés, somme toute assez classique dans ce contexte.

Station du marais Ouest

La station située à l'Ouest du marais obtient une note de 23,61 en 2018 et 26,56 en 2019 correspondant à des qualités biologiques jugées « moyenne » à « médiocre ». Les effectifs associés sont de 178 individus en 2018 et 234 en 2019. La diversité décroît d'une année à l'autre (de 10 à 8). La densité est de 8 individus par 100m² en 2018 et 10,5 ind./100m² en 2019.

Aucun Carassin et Rotengle n'ont été retrouvés en 2019. En revanche, des anguilles ont été comptées à l'Ouest et pas à l'Est, mais cela est plutôt dû à la turbidité très élevée et la difficulté du prélèvement de cette espèce dans ce milieu profond.

Les taxons remarquables sur le Ketestroom sont donc les deux espèces principales du contexte à savoir l'Anguille (*Anguilla anguilla* ; CR) et le Brochet (*Esox lucius* ; VU).

La communauté est dominée par le Gardon (40%) et l'Ablette (24%) en 2018 et très fortement par le Gardon (74%) en 2019 (figure 20). La Perche fluviatile, la Grémille et la Brème commune complète le peuplement en bonne proportion. Les taxons les plus rares sont le Sandre (*1), le Carassin (*2), l'Anguille (*2) et la Brème bordelière qui semblent donc plus inféodés à l'Est du marais.

On note également la présence de l'Ecrevisse américaine sur la station les deux années.

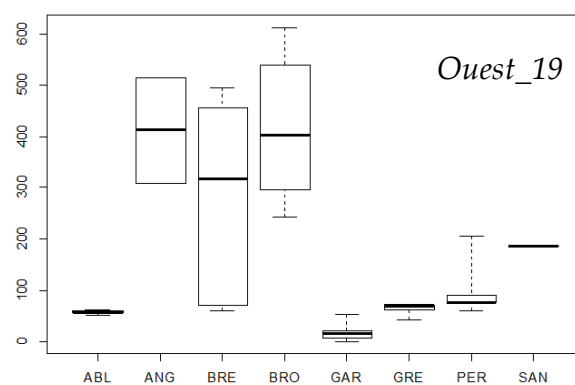
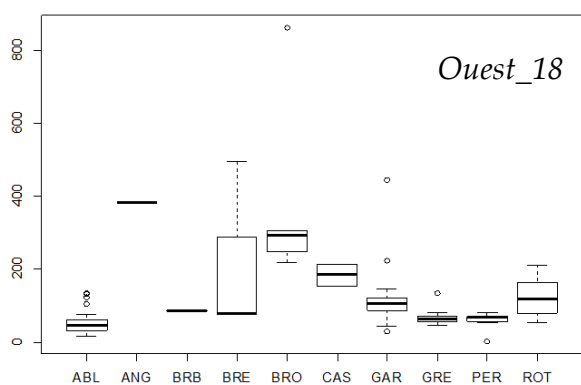


Figure 20 : Boxplot des classes de taille par espèce sur la station marais Ouest (2018/2019).

L'étude de la structure des tailles met en évidence un recrutement jugé bon surtout pour les cyprinidés. On remarque que les individus de petites classes de taille sont bien plus représentés en 2018 qu'en 2019. De plus grands géniteurs sont retrouvés en 2019. Pour l'espèce Brochet, seuls deux sujets d'un été ont été échantillonnés en 2018 contre un seul en 2019.

L'indice de Shannon-Weaver ($H' = 1.67$ en 2018 et $1,38$ en 2019) et le Pielou ($0,72$ pour 2018 et $0,6$ pour 2019) montrent une diversité et une équipartition moyenne, cela de par la codominance du peuplement par le Gardon et l'Ablette en 2018 et une forte dominance du Gardon en 2019. Cette distribution piscicole est davantage homogène en 2018 sans une domination totale d'une espèce. Mais ces différences, même parfois importantes, ne sont bien souvent que le fruit de disparités inter-annuelles naturelles.

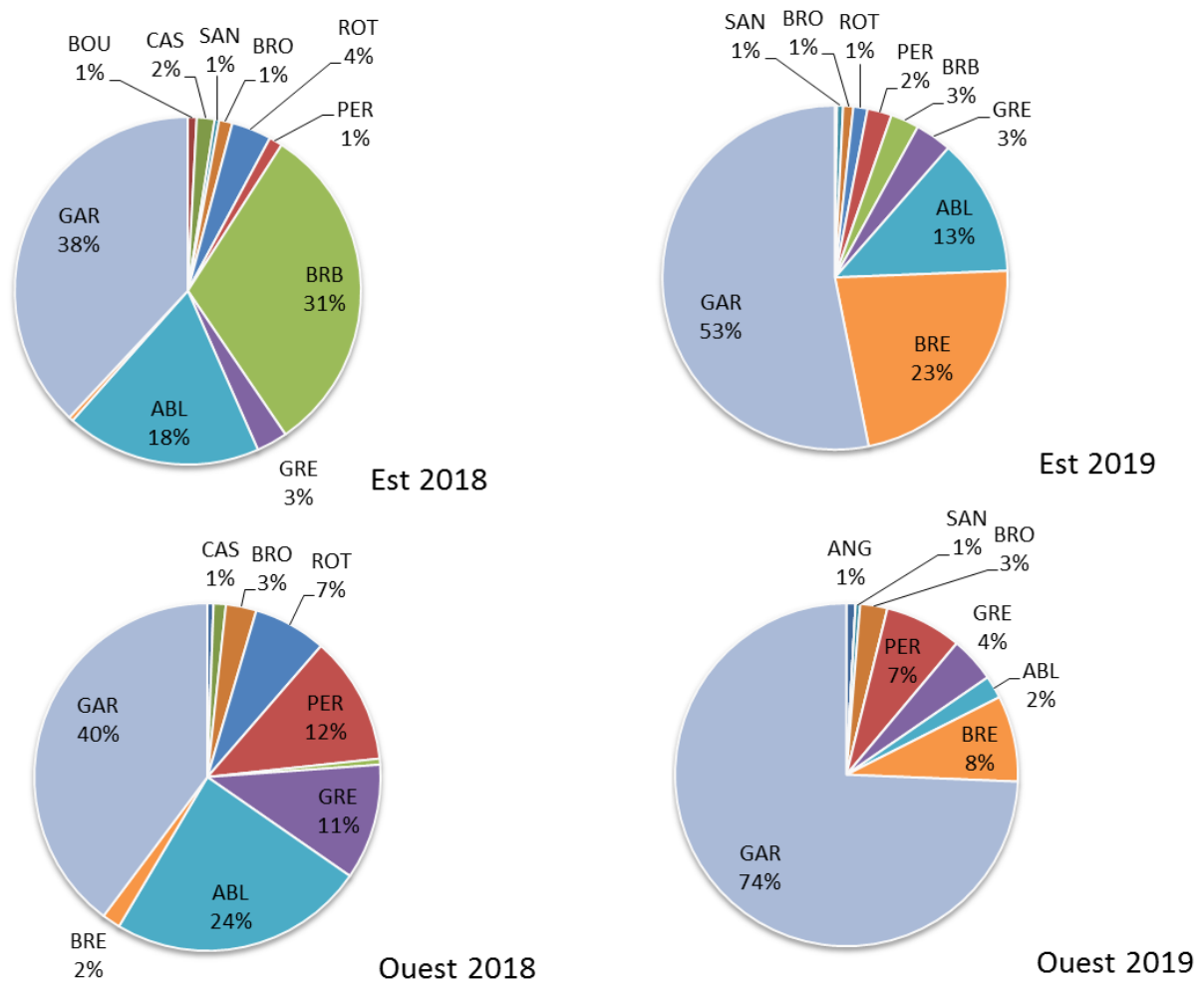


Figure 21 : Diagramme des abondances relatives des taxons retrouvés lors des différentes campagnes.

Indices	Est 2018	Est 2019	Ouest 2018	Ouest 2019
Effectif total:	242	525	178	234
Richesse faunistique	11	10	10	8
Berger-Parker index	2,63	1,88	2,51	1,88
Margalef index	1,82	1,44	1,74	1,44
Simpson index λ	0,28	0,35	0,24	0,35
Simpson index D	0,72	0,65	0,76	0,65
Simpson index Dr	3,62	2,85	4,12	2,85
Shannon index	1,53	1,38	1,67	1,38
Pielou index	0,64	0,60	0,72	0,60

Tableau 10 : Ensemble des indices calculés à partir des listes faunistiques.

Approche métriques IPR et population théorique

Parmi le peuplement théorique produit avec l'incorporation des données abiotiques, 20 espèces pourraient être retrouvées au total dont 12 taxons avec plus de 40% de probabilité et 10 avec plus de 50% (Figure 22).

Parmi les 10 espèces qui composent le peuplement théorique (probabilité de

présence supérieure ou égale à 50%), on retrouve 6 taxons (Anguille, Brèmes, Gardon, Grémille, Goujon et Perche). Mais certains avec des effectifs très faibles.

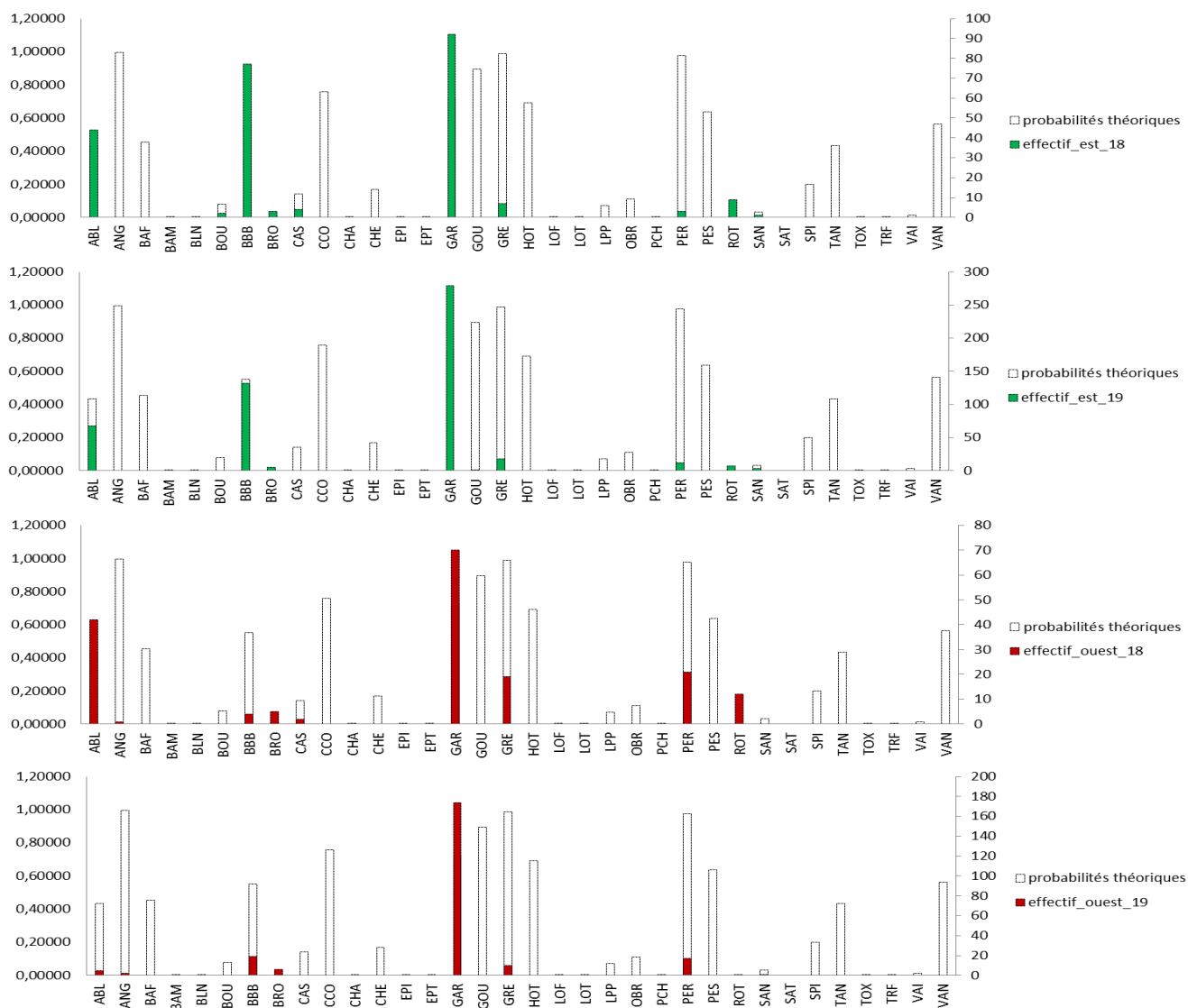


Figure 22 : Comparaison des probabilités de présences théoriques et des effectifs observés.

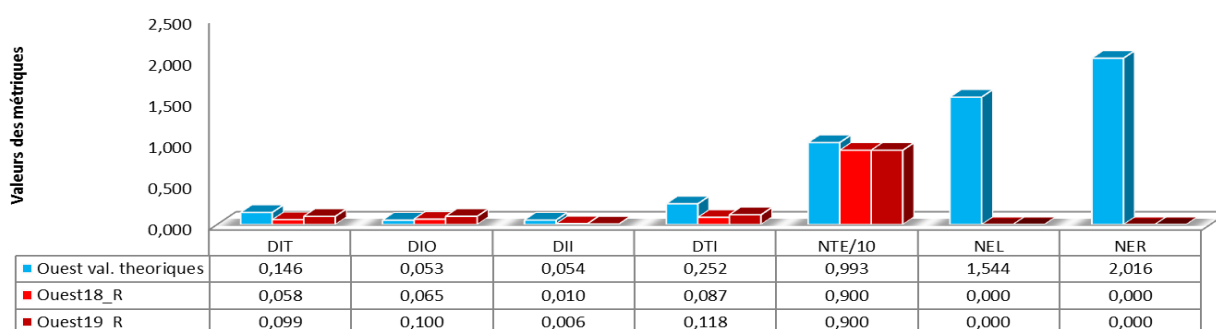
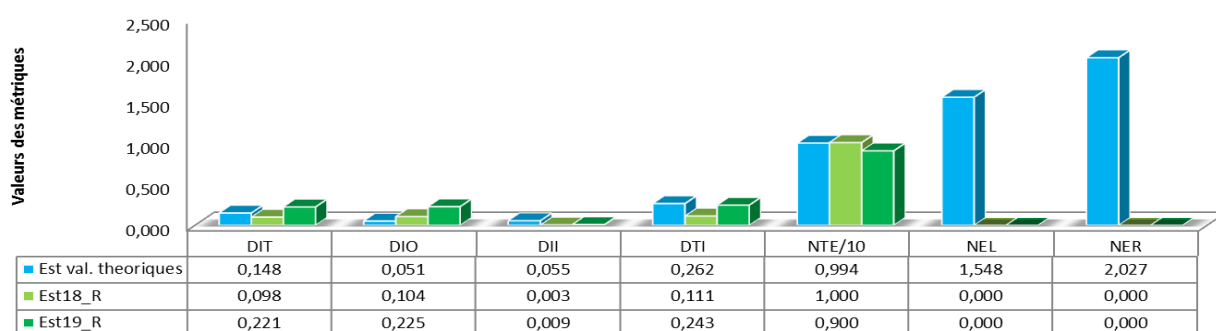
Parmi les espèces non observées, le Hotu est historiquement absent du réseau hydrographique du Pas-de-Calais. La Perche soleil est une espèce exotique non présente dans la cuvette Audomaroise. La Vandoise semble plutôt inféodée au Canal à Grand gabarit et la Carpe commune est présente dans la zone mais n'a pas été échantillonnée.

La Tanche, le Chevaîne et le Barbeau étaient aussi attendus en moindre mesure (43, 16 et 45%) et n'ont pas été échantillonnés. Si le Barbeau et le Chevaîne ne sont pas historiquement présents dans le contexte, la Tanche aurait pu être échantillonnée. En effet tout comme la Carpe commune, l'espèce est présente dans le secteur.

Certaines espèces ont été retrouvées en effectif non négligeable alors qu'elles présentaient des probabilités de présence plus faibles. C'est le cas de l'Ablette (effectifs : $39,7 \pm 17,4$ et probabilité de présence : 43%), du Brochet ($4,7 \pm 0,9$ et 0,87%), du Rotengle ($7 \pm 3,5$ et 0,027%).

Enfin des taxons présentant des probabilités faibles sont associés à des densités faibles. C'est le cas du Sandre ($1,25 \pm 0,9$ et 3%), de la Bouvière ($0,5 \pm 0,7$ et 7% mais que sur Est2018) et du Carassin ($1,5 \pm 1,5$ et 14%).

En définitive, le peuplement théorique attendu se rapproche de celui d'une zone intermédiaire à Barbeau / Brème. Mais le peuplement observé correspond à la zone à Brème. Il est vraisemblable que la population n'est pas non conforme mais que le niveau typologique théorique attribué à ce contexte n'est pas adapté. Le marais a par exemple la particularité d'induire une fracture forte entre les typologies de milieux salmonicole et éso-cyprinicole (de la masse d'eau Aa rivière et du contexte cuvette Audomaroise). Ceci est étroitement lié aux caractéristiques physiques et topographiques du secteur d'étude. Le marais étant une zone très lenticule, large et eutrophe, jouxtant un milieu canalisé qui rompt la zonation piscicole d'une zone à Ombre (B5+) à une zone à Brème (B9).



Abréviation des métriques

NTE : Nombre total d'espèces - NER : Nombre d'espèces rhéophiles - NEL : Nombre d'espèces lithophiles - DIT : Densité d'individus tolérants - DII : Densité d'individus invertivores - DIO : Densité d'individus omnivores - DTI : Densité totale d'individus

Figure 23 : Comparaisons des métriques IPR obtenues pour les 2 campagnes avec les valeurs théoriques

Si on compare les métriques associées aux traits bio-écologiques des espèces, on remarque que le trait dominant sur les 2 campagnes sont : des espèces majoritairement omnivores et polluo-tolérantes. Par rapport aux métriques théoriques, la note est impactée par les faibles valeurs du nombre d'espèces lithophiles et du nombre d'espèces rhéophiles. En revanche, le nombre total d'espèces est élevé et proche de la valeur théorique.

Comparaison avec l'ADNe

Certains taxons attendus de par leurs probabilités théoriques de présence et non échantillonnés lors du focus RCS (ou en faible effectif) ont pu être révélés lors du Focus ADNe. En effet, lors de ce Focus, de l'ADN de Carpes communes, de Bouvières, de Goujons, de Tanches, d'Anguilles et même de Loches de rivière ont été détectés sur le Zieux (Est) et de l'ADN de Tanches, Carpes communes, Bouvières et même d'Ables de Heckel sur le Ketestroom (Ouest). Ainsi :

- 18 espèces sont détectées par analyse ADNe contre 11 en 2018 et 10 en 2019 pour l'inventaire sur le Zieux (7 de moins).
- 14 espèces sont détectées par analyse ADNe contre 10 en 2018 et 8 en 2019 pour l'inventaire sur le Grand Large / Ketestroom (4 de moins).

NB : Pour plus de précisions veuillez consulter le Focus ADNe.

Volet Physico-chimique

Le SAGE de l'Audomarois a lancé depuis 2017 une étude sur 3 ans de l'analyse de la qualité physico-chimique de l'eau du marais. Ceci à l'aide de 10 stations de prélèvement bien réparties afin de mettre en évidence des résultats certes sectorisés mais aussi d'obtenir une image globale de la qualité chimique de

l'eau. La dernière campagne étant prévue pour février-mars 2020, il a été choisi de travailler à titre informatif sur les dernières données obtenues lors des années 2017 et 2018. Il sera alors possible de faire le lien entre la présente étude et l'analyse de la qualité de l'eau du marais du SAGE.

Etat physico-chimique

Néanmoins les données obtenues lors de la même période que l'étude FBMA apportent un éclairage supplémentaire sur les pressions qui peuvent peser sur le marais. Par rapport à l'évaluation de l'état physico-chimique de ces 10 stations, la première analyse des données de 2017-2018 met en évidence plusieurs paramètres déclassants (Tableau 11). Tels que :

- Le Phosphore total (P_{tot}, moyennes annuelles et concentrations max) sur 5 stations sur 10 dont une station proche du Zieux à l'Est (Figure 23).
 - C'est la somme du phosphore organique se trouvant dans les cellules de tous les organismes et du phosphore inorganique dissous ou fixé sur des matières en suspension (il est ensuite dégradé et minéralisé sous forme de PO₄⁻).
- Les Orthophosphates (PO₄⁻) sur 2/10 des stations (moyenne) et 5/10 des stations (en concentration max).
 - C'est la forme la plus simple et répandue des phosphates dans l'eau.
- Du Carbone Organique Dissous (COD) sur 3/10 des stations (moyenne) et 4/10 (pour la concentration max).
 - Le Carbone organique dissous provient de la décomposition des organismes végétaux et animaux. Il peut également parfois provenir de substances organiques émises par les effluents municipaux et industriels.
- Plus ponctuellement également des Matières en Suspension (MES sur le canal), de l'Ammonium (NH₄⁺) et des Nitrites (NO₂⁻) (concentration max sur 2 stations).
 - L'Ammonium, les Nitrites et les Nitrates (3 composantes principales du cycle de l'Azote dans les milieux aquatiques) font partie intégrante du cycle de la rivière. Mais en trop grandes concentrations, ils peuvent induire des déséquilibres. Ils peuvent provenir de diverses origines comme les eaux usées ou des effluents agricoles.

Ces paramètres déclassent ainsi la qualité physico-chimique du marais comme « moyen » et « médiocre » sur 5 stations sur 10.

PL	NO STATION QUALITÉ EAU	NOM STATION QUALITE	Ptotal		PO4		MES		DBO5		COD		NH4		NO2		NO3		ETAT PC
			[]moy	Etat	[]moy	Etat	[]moy	Etat	[]moy	Etat	[]moy	Etat	[]moy	Etat	[]moy	Etat	[]moy	Etat	
1	01002253	Canal de Neuffosse	0,26	0,49	53,7	1,4	2,4	7,5	0,15	0,09	21,8	MOY							
2	01002254	Le Schoubrouck ou le Grand Brouck	0,73	1,94	24,0	2,8	7,2	0,22	0,13	8,2	MED								
3	01002255	La Grande Clemingue	0,23	0,45	16,7	2,7	12,4	0,43	0,17	6,9	MOY								
4	01002256	Maitre fosse du Marais Communal	0,60	1,51	11,2	1,5	2,1	0,16	0,15	7,9	MED								
5	01002257	AA Canalisée ou Canal du Haut Pont	0,18	0,31	34,4	1,5	2,1	0,16	0,15	18,7	BON								
6	01002258	Le Grand Large ou Narstrom	0,12	0,25	6,6	1,5	1,8	0,24	0,18	22,6	BON								
7	01002259	Le Lansberg	0,06	0,10	9,4	2,1	1,9	0,12	0,10	26,1	BON								
8	01002260	Le Grand Large	0,12	0,16	20,2	4,7	4,5	0,15	0,12	11,2	BON								
9	01002261	La Houlle	0,21	0,30	14,7	4,4	6,2	0,12	0,07	4,4	MOY								
10	01002262	AA Canalisée	0,18	0,35	36,6	2,2	3,1	0,20	0,13	17,9	BON								

Tableau 11 : Résultats et classes de qualité physico-chimique obtenus par le programme d'analyse des eaux superficielles du marais Audomarois pour l'année 2017-2018 (sources : SAGE de l'Audomarois et Agence de l'Eau Artois-Picardie).

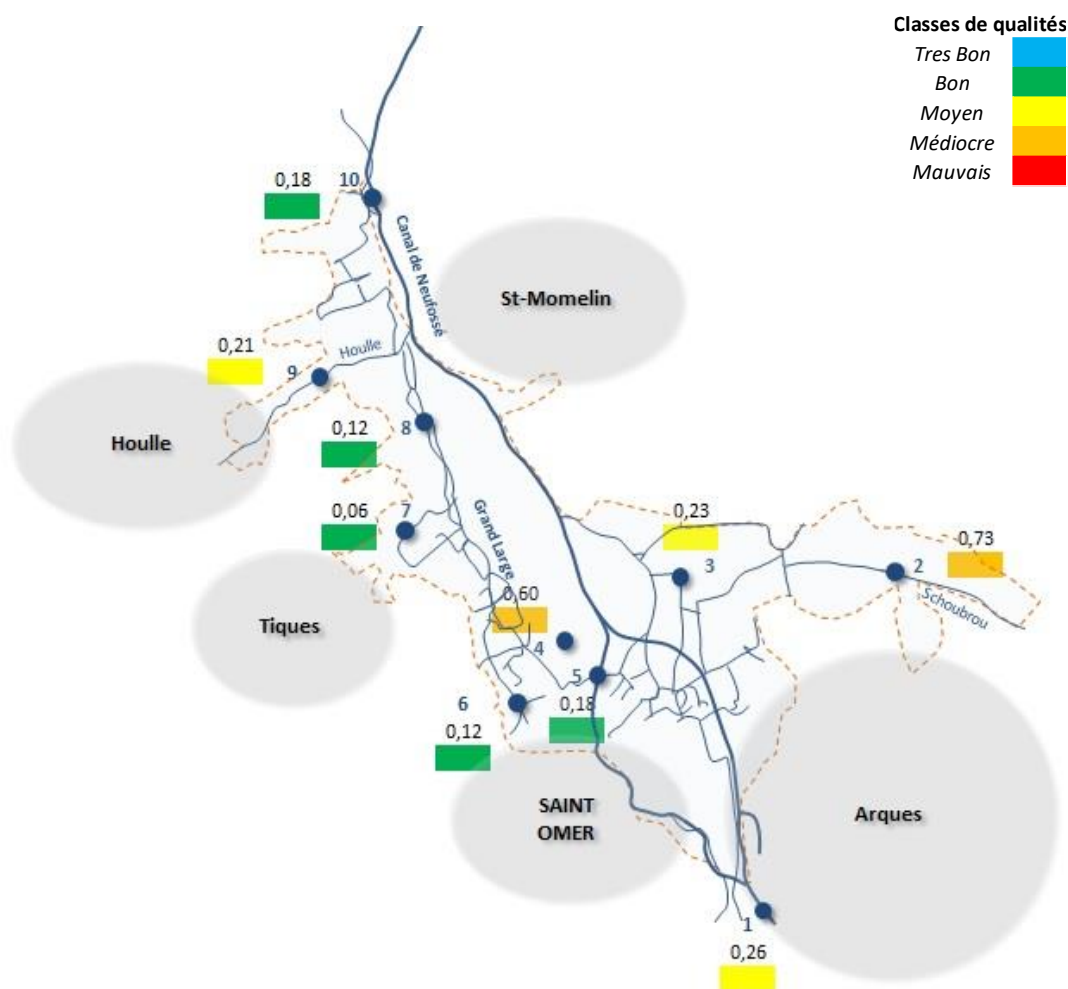


Figure 24 : Carte schématique de la répartition des stations de prélèvement d'eau du SAGE de l'Audomarois avec les concentrations moyennes en Phosphore total ($mg \cdot L^{-1}$) et classe de qualité physico-chimique associée (sources : SAGE de l'Audomarois et Agence de l'Eau Artois-Picardie).

C'est notamment le cas sur une station proche du Zieux à l'Est (S3 « Grande Clemingue »

qualité « Moyenne »). En revanche, le point de prélèvement proche de notre station RCS

Ouest est qualifié de « Bon » pour les concentrations moyennes. Cette station est juste déclassée en concentration maximum avec le Phosphore total.

A l'heure actuelle, la majorité des résidus de phosphore est principalement issue de l'activité agricole ou encore des effluents industriels.

Bactériologie

La bactériologie n'est pas prise en compte dans les paramètres DCE mais il est possible d'utiliser la grille issue du SEQ-EauV2 afin de classer son impact. Par exemple, *Escherichia coli* est une bactérie fécale généralement commensale (issue principalement des systèmes digestifs de mammifères). Présente en trop grande concentration dans certains milieux, celle-ci peut induire des déséquilibres voir des propagations de maladies comme des gastro-entérites, des infections urinaires, des méningites, etc. Des concentrations élevées de cette bactérie peuvent avoir pour source : les rejets de détergents domestiques, les champs agricoles fertilisés à l'aide de fumier/lisier bovin, le bétail ayant un accès libre au cours d'eau ou encore en raison d'absence de systèmes d'assainissement autonome (non collectif) et de stations d'épuration ayant des dysfonctionnements.

Il est à noter que des concentrations très élevées de *E.coli* ont été retrouvées dans certaines zones du marais (parfois supérieures à la limite de la classe « Mauvais » du SEQ-EauV2.

Etat chimique

L'analyse, a aussi pris en compte l'état chimique avec la mesure d'un grand nombre de substances chimiques et de pesticides dont les 41 substances prioritaires inscrites dans la DCE (Figure 25).

Au niveau de l'état chimique, si celui-ci est individuellement bon pour la majeure partie, il

est globalement déclassé comme n'atteignant pas le bon état par plusieurs substances comme l'AMPA, le Glyphosate, l'Alachlore ou encore l'Azinphos éthyl. Plusieurs autres pesticides inscrits comme non prioritaires dépassent aussi les seuils classiquement admis.

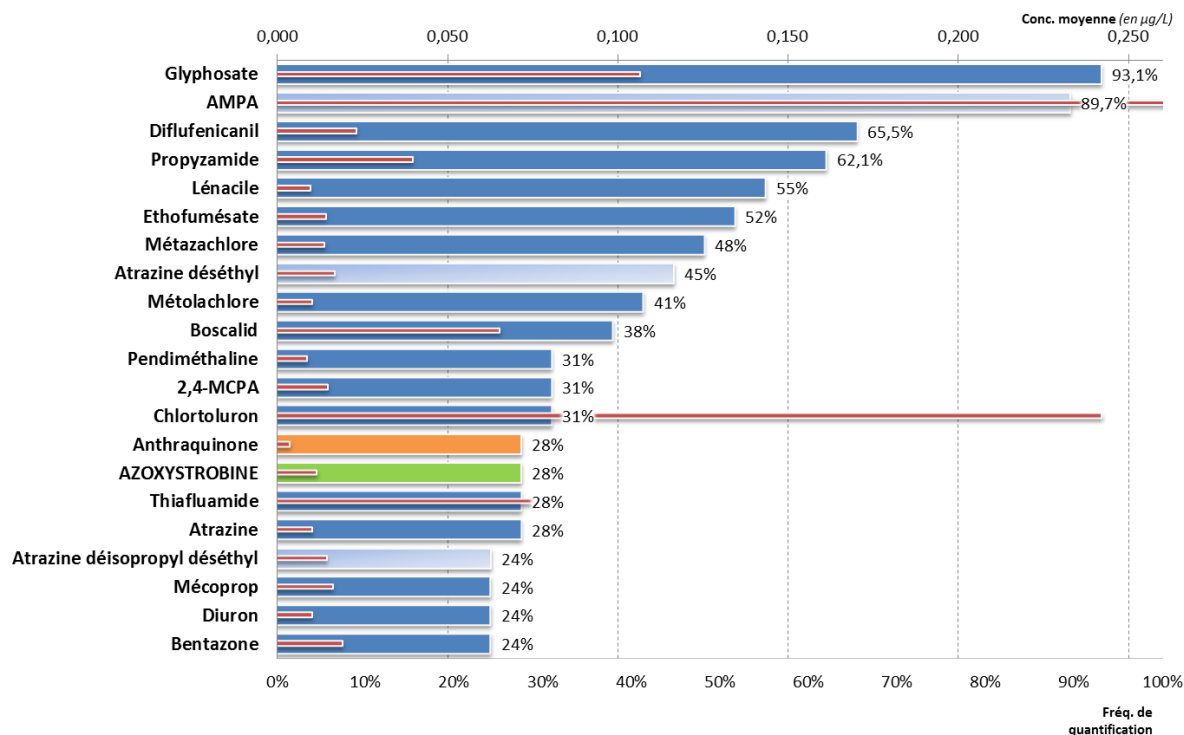


Figure 25 : Liste de plusieurs substances chimiques et pesticides détectés dans les échantillonnages d'eau (classé par ordres de concentrations (en µg.L⁻¹)).

Les pesticides, le glyphosate et l'AMPA sont majoritairement retrouvés en termes de concentrations très élevées. L'AMPA est le premier produit de dégradation du glyphosate.

Le glyphosate est utilisé par les particuliers en tant que désherbant mais également par les activités agricoles.

Comparaison avec la station de surveillance masse d'eau FRAR01

Deux stations historiques de surveillance sont placées sur la masse d'eau Aa dite FRAR01 : « Aa canalisée de confluence avec le canal de Neuffossée à la confluence avec le canal de la Haute Colme ». Il s'agit des stations codées ST_01102000 et ST_01105000. Les données sont exportées via la base de données Naïade et le site de l'Agence de l'eau Artois-Picardie (volet qualité des eaux superficielles). Les plus récentes sont issues de la période 2013-2015.

Ainsi l'état écologique du canal de l'Aa à Saint-Momelin (ST_01102000) est jugé « Moyen » avec comme paramètre déclassant les nutriments, les poissons et les diatomées

NB : tableaux complets en annexes.

(« moyen » à « Médiocre » pour 2015). L'état écologique du canal de Neuffossé à Arques (ST_01105000) est jugé « Moyen » avec comme paramètre déclassants les diatomées et les nutriments (principalement Phosphore total et PO4-).

En revanche, pour un exemple d'une station plus à l'amont du bassin de l'Aa rivière comme l'Aa à Wizernes (FRAR02), l'état écologique est jugé « Bon ».

En parallèle, il y a non atteinte du bon état pour l'état chimique basé sur les polluants spécifiques, et ce, sur la plupart des cours d'eau du Pas-de-Calais dont l'Aa canalisée (FRAR01).

Exemple de pressions avec la sécheresse de juillet 2019



Ces quelques prises de vues nous permettent de conclure le chapitre ayant trait à l'analyse de la qualité de l'eau en rappelant l'importance de la protection de la ressource en eau et la surveillance de sa qualité. Les populations piscicoles du marais peuvent être dans certains cas très perturbées lors d'épisodes de stress estivaux et de pressions environnementales (ici avec l'exemple d'eutrophisation du milieu couplé à une sécheresse et une canicule intense cf Figure 26).

Discussion

Le Plan de Gestion de l'Aa et de ses affluents, engagé par le SmaeAa ainsi que le SAGE de l'Audomarois s'inscrit dans le cadre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau afin d'atteindre l'objectif fixé par celle-ci qui est l'atteinte du « bon état » écologique. L'accomplissement de cet objectif ne pourra se faire qu'avec des efforts pour l'amélioration de la qualité chimique des eaux, de la qualité physique du milieu et de la qualité biologique.

D'une manière générale, les compartiments biologiques poissons et invertébrés benthiques sont considérés comme des indicateurs de la qualité du milieu aquatique pertinent. En effet, ils sont de bons intégrateurs et descripteurs des perturbations sur les milieux à travers leurs cycles de vie (plus long et intégrateur pour le poisson et plus sectorisé pour les invertébrés par exemple).

L'approche de l'analyse de la qualité biologique opérée lors de ce Focus a également permis d'obtenir :

- i. un retour d'expérience sur la mise en place de ces protocoles sur un milieu de type marais doux endigué.
- ii. des données qui traduisent une certaine fonctionnalité dans ce contexte particulier.
- iii. mise en évidence de relations écosystémiques entre le milieu physique et les différents compartiments biologiques.
- iv. un apport de données sur la qualité bio-écologique complémentaire des stations de surveillance existantes.

Volet invertébré

En conclusion de cette analyse des communautés d'invertébrés du marais Audomarois, nous pouvons mettre en avant diverses tendances.

La classe de qualité est « Très Bonne » sur l'ensemble des campagnes. Les communautés sont très diversifiées. Des différences existent d'une année à l'autre. Globalement les individus sont polluo-tolérants et montrent une tendance méso-eutrophe voir eutrophe ainsi que β -méso-saprobe. Beaucoup d'espèces retrouvées sont typiques de milieu lacustre ou lentique eutrophe. Le prélèvement en chenal est toujours très pauvre même en termes de densité (moyenne en berge 1373,25 \pm 138,75 contre moyenne en chenal 120,5 \pm 83).

Des espèces exotiques ont aussi été détectées comme les Crustacés *Chelicorophium* et *Crangonix* ou le petit mollusque *Potamopyrgus* très prolifique. Des coquilles de moules zébrées (*Dreissena polymorpha*) ont été relevées dans les échantillons mais 1 seul individu a été compté comme vivant au moment des prélèvements. Ces espèces apprécient en général les milieux à degré trophique élevé et sont très résistantes à la pollution. Ces divers taxons ont vraisemblablement été amenés via les ballastes des péniches ou le transport des larves véligères via des bateaux ou par prolifération via l'axe canalisé comme c'est souvent le cas.

Volet Poisson

En conclusion de cette analyse des communautés de poissons du marais Audomarois, nous pouvons mettre en avant diverses tendances.

La classe de qualité est « Médiocre » à « Mauvaise », pour les poissons au regard des bons scorings associés au volet invertébré.

Les communautés sont diversifiées ($9,75 \pm 0,87$). Mais la forte proportion d'individus polluo-tolérants, majoritairement omnivores, l'équitabilité faible et l'absence de certains taxons clefs théoriquement attendus nous aident à comprendre ce résultat mitigé dans l'ensemble.

Qualité écologique globale

Par rapport à la qualité biologique que nous avons pu analyser, le marais Audomarois est globalement jugé de qualité « Médiocre ». Avec comme paramètres déclassants : les poissons et les nutriments (notamment phosphore total et PO₄-).

Si on sectorise l'analyse à l'Est et à l'Ouest, l'état écologique du marais est jugé « Moyen » pour l'Ouest en 2018 et l'Est en 2018. Il est aussi qualifié de « Médiocre » pour l'Est en 2018 et l'Ouest en 2019. Ceci avec les mêmes paramètres déclassants.

Ces disparités entre les deux années sont liées au fait que les classes de qualité associées à l'IPR sont situées à la limite des bornes « Moyen » et « Médiocre » (située à 25 pour l'HER20-exogène9).

Si ces résultats sont dans l'ensemble assez mitigés, il reste possible de voir cela sous un

Si le Focus ADNe nous a permis de mettre en évidence certains des taxons manquants ou peu présents (Goujon, Bouvière, Carpe, Tanche, Anguille...), ceux-ci doivent rester soit sous représentés dans cette zone soit plus inféodés à une autre zone annexe. En revanche, les taxons représentés en effectif important (Gardon, Brème, Ablette...) montrent un bon recrutement en juvéniles.

Globalement, même si des disparités inter-annuelles existent, les communautés en présence semblent mettre en évidence deux stations faisant face à de nombreuses pressions au vu de l'état des communautés (et *a fortiori* une qualité globale de l'eau du marais).

aspect plus positif. En effet, les paramètres déclassants étant à la limite entre deux classes, des efforts probablement peu importants ou couteux seront envisageables pour passer de façon plus stable dans la classe état « Moyen ». Les peuplements sont tout de même diversifiés (13 au total) et plusieurs taxons d'intérêts patrimoniaux ont été retrouvés.

De plus le compartiment invertébré atteint le « très bon état », ce signe est très encourageant car les communautés d'invertébrés sont, comme on le sait, à la base du réseau trophique.

Mais dans tous les cas, ces paramètres n'atteignent pas actuellement (2018-2019) le « bon état » écologique exigé par la DCE (poissons et nutriments).

Conclusion et perspectives

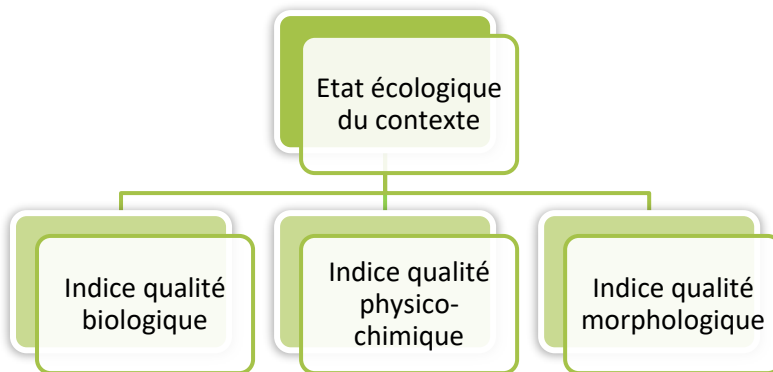
Les indicateurs des suivis sur la qualité de l'eau, comme ceux qui ont été déployés, peuvent permettre de suivre l'évolution générale de la cuvette Audomaroise (zone de travail du SAGE). Cela pourra permettre éventuellement de corrélérer l'évolution temporelle de la qualité biologique du marais avec le déploiement de mesures de gestion concrètes futures.

D'une manière générale, la qualité biologique du marais Audomarois est qualifiée de médiocre (avec comme paramètres déclassants : les poissons et les nutriments => notamment phosphore total et PO4).

La mise en œuvre d'actions d'entretien ou de restauration ayant pour but l'amélioration de la qualité physico-chimique et biologique du marais est à envisager, si l'on souhaite atteindre le « bon état » dans le cadre du second cycle de la DCE 2016/2021.

Aux vues des différentes données acquises lors du présent rapport et du volet RCS, des pistes de préconisation peuvent être émises comme :

- Préserver l'état actuel des populations d'invertébrés en place (en « très bon » état).
- Prévenir de toutes nouvelles altérations engendrant des perturbations sur le milieu aquatique (espèces exotiques envahissantes, ouvrages hydrauliques, remblais sauvages, pollutions chimiques ou organiques, etc.).
- Améliorer la fonctionnalité des hydrosystèmes et notamment les habitats piscicoles.
- Œuvrer également sur la qualité physico-chimique (paramètre soutenant ou impactant directement les communautés biologiques et donc la qualité biologique). Avec par exemples :
 - Amélioration du manque d'assainissement efficace apparent ou du dysfonctionnement de stations d'épuration (*E.coli*).
 - Réduction des intrants agricoles Phosphorés ou Azotés (Il n'existe actuellement pas de réglementation nationale concernant la pollution par phosphore en revanche des dispositions locales peuvent être mises en place).
 - Réduction ou interdiction de l'usage de certains pesticides retrouvés en grandes concentrations (Glyphosate, AMPA, etc.).



Objectifs initiaux atteints . Production d'indicateurs DCE sur le marais avec :

- ✓ Stations choisies dans des milieux représentatifs et adaptés aux méthodes d'inventaires déployées.
- ✓ Suivi temporel de la qualité biologique du contexte.
- Seules stations de surveillances actuelles : 01102000 et 01105000 de la masse d'eau Aa canalisée - AR01 et RNN Romelaëre (plan d'eau DCE).
- Liaison avec le programme d'analyse du SAGE (3 ans étude qualité chimique)
- Devenir des stations ? Peut-être une intégration dans le nouveau Programme de surveillance mené par l'AEAP et la DREAL Hauts-de-France ?



Pour le volet invertébré :

- Les communautés sont très diversifiées.
- Les espèces retrouvées sont typiques de milieu lacustre ou lentique eutrophe.
- Des espèces exotiques ont aussi été détectées.
- Le chenal du cours d'eau est dessiné en « U », uniquement recouvert de vase anoxique et est très pauvre en termes de densité et de diversité d'invertébrés.



Pour le volet poisson :

- Les communautés en places diffèrent des populations théoriques attendues.
- Les traits dominants sont la pollution-résistance et l'omnivorie.
- Quid du niveau typologique de Verneaux dans le marais
- Dominance de cyprins

CONCLUSION

- La qualité écologique de la cuvette Audomaroise est jugée Moyenne à Médiocre selon les années
- Identification claire des pressions et des enjeux
- Comparaison avec Etat écologique Bon pour Aa rivière (FRAR02) et Aa canalisée Moyen/Médiocre (FRAR01)
- L'état de perturbation du nouveau contexte Cuvette Audomaroise, identifié dans le PDPG 2.0 2018/2021, concorde avec les résultats de Focus RCS

Bibliographie

Documents cadres

Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. JORF n°0199 du 30 août 2018, texte n° 14.

Articles R.212-10, R.212-11 et R.212-18 du code de l'environnement.

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.

Ministère de la Transition écologique et solidaire 2019. Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau). 123p.

Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau grilles d'évaluation seq-eau (version2).

Invertébrés

AFNOR 2004. NF T90-350 - Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). 15p.

AFNOR 2010. XP T90-388 - Qualité de l'eau – Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau. 21p.

AFNOR 2016. NF T90-333 - Qualité de l'eau – Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes. 22p.

AQUASCOP 2014. Etude de l'indice multimétrique (I2M2) en Artois Picardie. Rapport d'étude, décembre 2014, 70p.

BEAUGER A., LAIR N. 2014. Analyse des principales méthodes de bio-évaluation basées sur les macroinvertébrés benthiques. Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon, hors-série numéro 4., Jubilé de l'hydrologie lyonnaise. pp. 15-33

DREAL Centre 2014. Les macro-invertébrés benthiques, bioindicateurs de la qualité de nos rivières. Janvier 2014, 6p.

GRAND D. et BOUDOT J.-P. – Les Libellules de France, de Belgique et du Luxembourg. Ed Biotope collec. Parthénope - 2006

MONDY C.P., VILLENEUVE B., ARCHAIMBAULT V., USSEGLIO-POLATERA P. 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. Ecological Indicators, Volume 18, July 2012, pp. 452–467.

NILSSON A.N. and HANSEN M. – Coleoptera in Aquatic Insects of North Europe – A taxonomic handbook ED; Anders N. Nilsson, 1996

TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M., USSEGLIO-POLATERA P. 2010. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS éditions, 607p.

USSEGLIO-POLATERA P., BOURNAUD M., RICHOUX P., TACHET H. 2000. Biomonitoring through Hydrobiologia biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? Volume 422-423, Issue 0, pp. 153-162.

USSEGLIO-POLATERA P., LARRAS F., COULAUD R. 2014. Bioévaluation des cours d'eau peu profonds basée sur le compartiment des macro-invertébrés benthiques : I2M2 et outil diagnostique. Livret-guide. Document Université de Lorraine (LIEC), Octobre 2014, 59p.

USSEGLIO-POLATERA P., WASSON JG. & ARCHAIMBAULT V., 2009. Protocole expérimental d'échantillonnage des « macro-invertébrés » en cours d'eau profond, 19p.

WARINGER J. & W. GRAF - Atlas der österreichischen köcherfliegenlarven - Facultas-Universitätsverlag – Wien – 2004

Poisson

AFNOR 2011 norme NF T90-344 Qualité de l'eau - Méthode de détermination de l'Indice Poisson Rivière (IPR).

AFNOR 2012 norme XP T90-383 Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons en lien avec la qualité des cours d'eau.

BELLIARD ET AL., ONEMA, 2008. Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité.

KEITH P., PERSAT H., FEUNTEUN É. & ALLARDI J. (coord.) 2011. Les Poissons d'eau douce de France. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 552 p. (Inventaires & biodiversité ; 1)

ONEMA 2011 Indice poissons rivières (IPR), outil de calcul de l'indice, 3p.

ONEMA, 2012. Guide pratique pour la mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons

PONT D., DELAIGUE O., BELLIARD J., MARZIN A. & LOGEZ M. 2013 Programme IPR+ Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE Partenariat Onema/Irstea, 208p

PONT D., DELAIGUE O., BELLIARD J., MARZIN A., LOGEZ M. 2013. Uncertainty associated with river health assessment in a varying environment: the case of a predictive fish-based index in France. Ecological Indicators, 43: 195-204

Webographie et autres

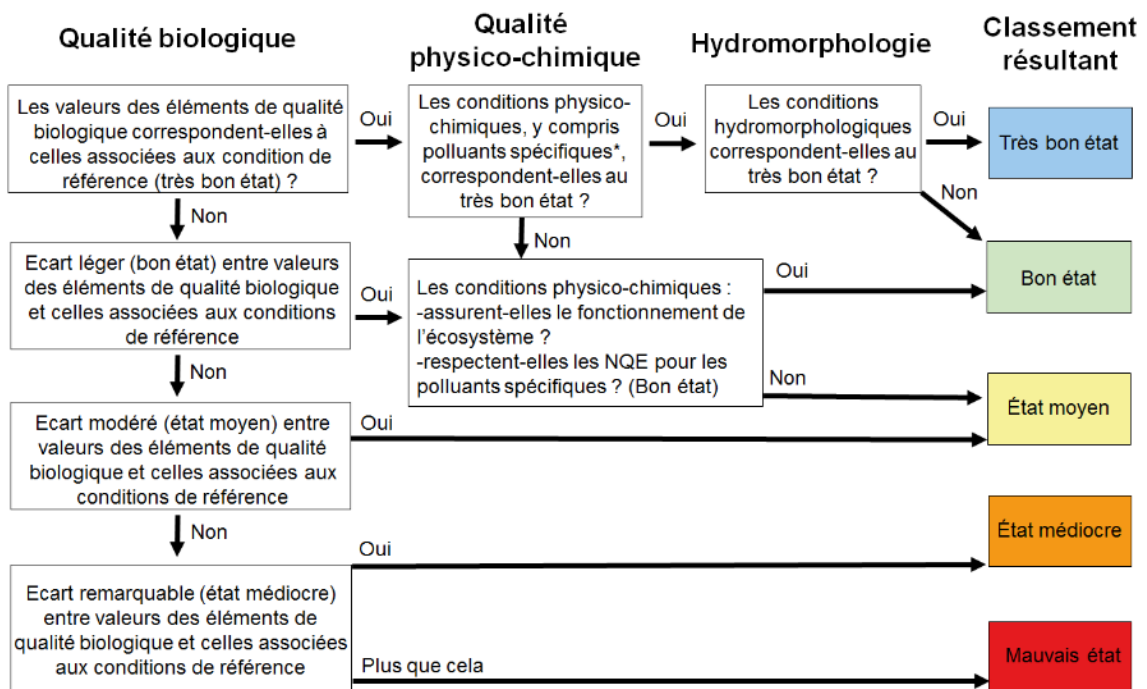
<http://www.perla.developpement-durable.gouv.fr/>

<https://www.legifrance.gouv.fr>

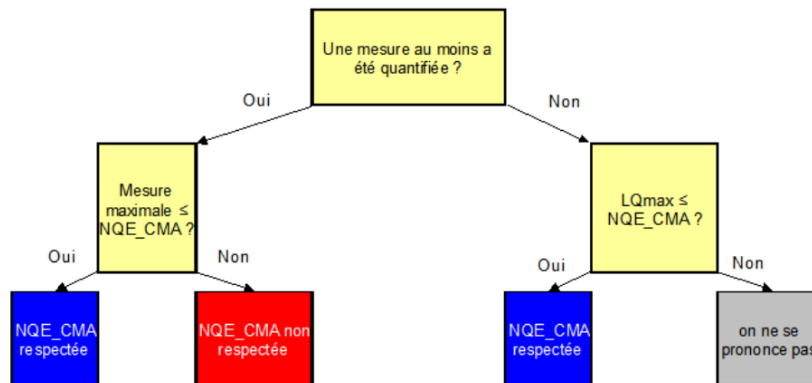
<http://seee.eaufrance.fr/>

Annexes

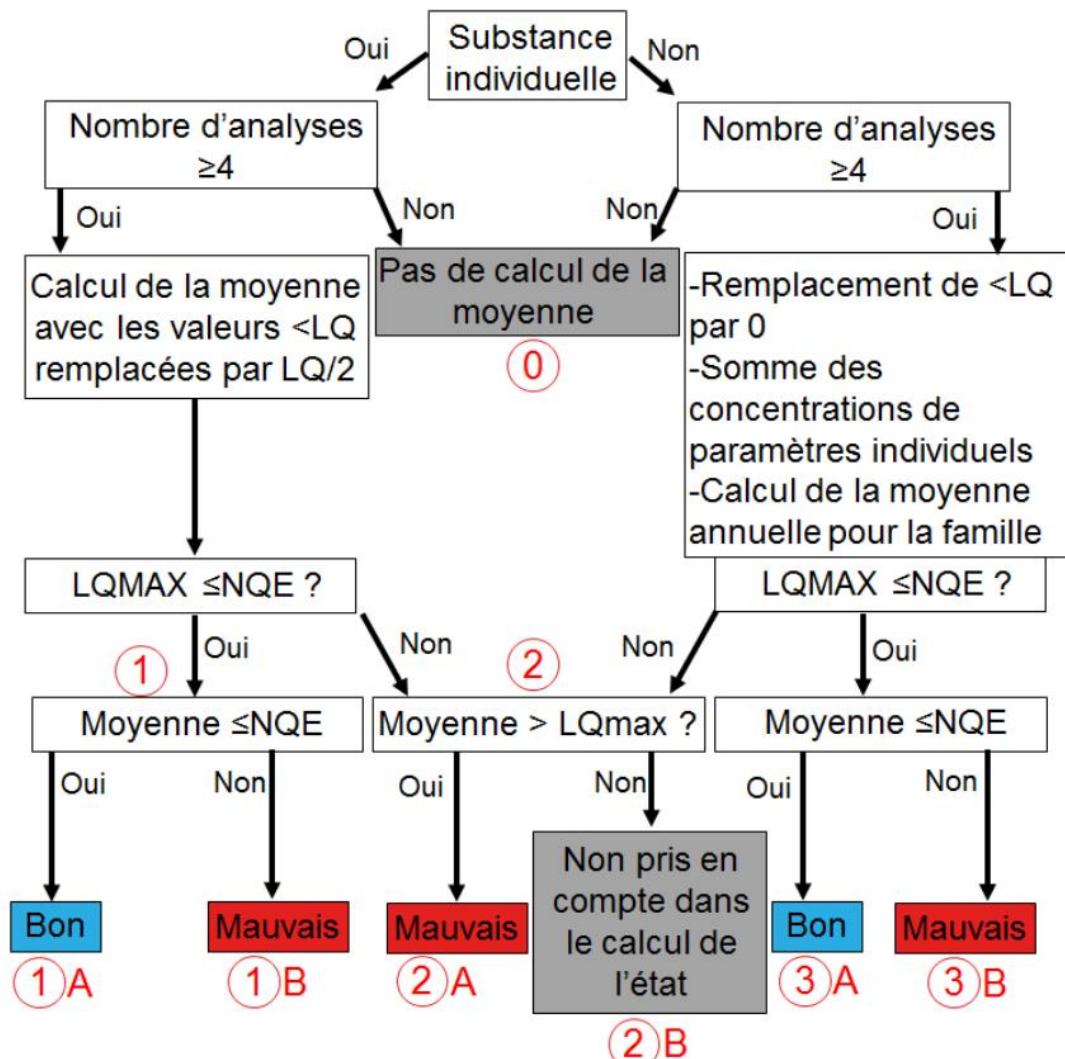
Schéma inspiré du document guide « approche générale de la classification de l'état écologique et du potentiel écologique, ECOSTAT, nov. 2003. Principe d'agrégation pour l'état écologique.




Schémas issus de Guides techniques relatifs à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) de 2019. Principe d'agrégation des NQE



Représentation schématique pour l'évaluation de la conformité à la NQE-MA









































Exemple de familles par ordre de groupes indicateurs (DREAL)



Direction Régionale de l'Environnement
Auvergne

principaux invertébrés d'eau douce

Indicateurs de la qualité biologique des cours d'eau,
selon l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

POLLUOSENSIBILITÉ TRÈS FORTE	PLÉOPTÈRE	PLÉOPTÈRE	PLÉOPTÈRE	PLÉOPTÈRE	
					
	Chloroperiidae	Perlidae	Perlodidae	Taeniopterygidae	
	PLÉOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	
					
	Capniidae	Brachycentridae	Odontoceridae	Philopotamidae	
	PLÉOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	ÉPHÉMÉROPTÈRE
					
	Leuctridae	Glossosomatidae	Beraeidae	Goeridae	Leptophlebiidae
	PLÉOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	ÉPHÉMÉROPTÈRE	
					
Nemouridae	Lepidostomatidae	Sericostomatidae	Ephemeridae		
TRICHOPTÈRE	ÉPHÉMÉROPTÈRE	ÉPHÉMÉROPTÈRE	ÉPHÉMÉROPTÈRE		
					
Hydroptilidae	Hetageniidae	Polymitarcidae	Potamanthidae		
TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE		
					
Leptoceridae	Polycentropodidae	Psychomyiidae	Rhyacophilidae		
TRICHOPTÈRE	TRICHOPTÈRE	ÉPHÉMÉROPTÈRE	HÉTÉROPTÈRE		
					
Limnephilidae	Hydropsychidae	Ephemerellidae	Aphelocheridae		
ÉPHÉMÉROPTÈRE	ÉPHÉMÉROPTÈRE	COLÉOPTÈRE	CRUSTACÉ	MOLLUSQUES	
					
Baetidae	Caenidae	Elmidae	Gammaridae		
DIPTÈRE	CRUSTACÉ	ACHÈTES	OLIGOCHÈTES		
					
Chironomidae	Asellidae				

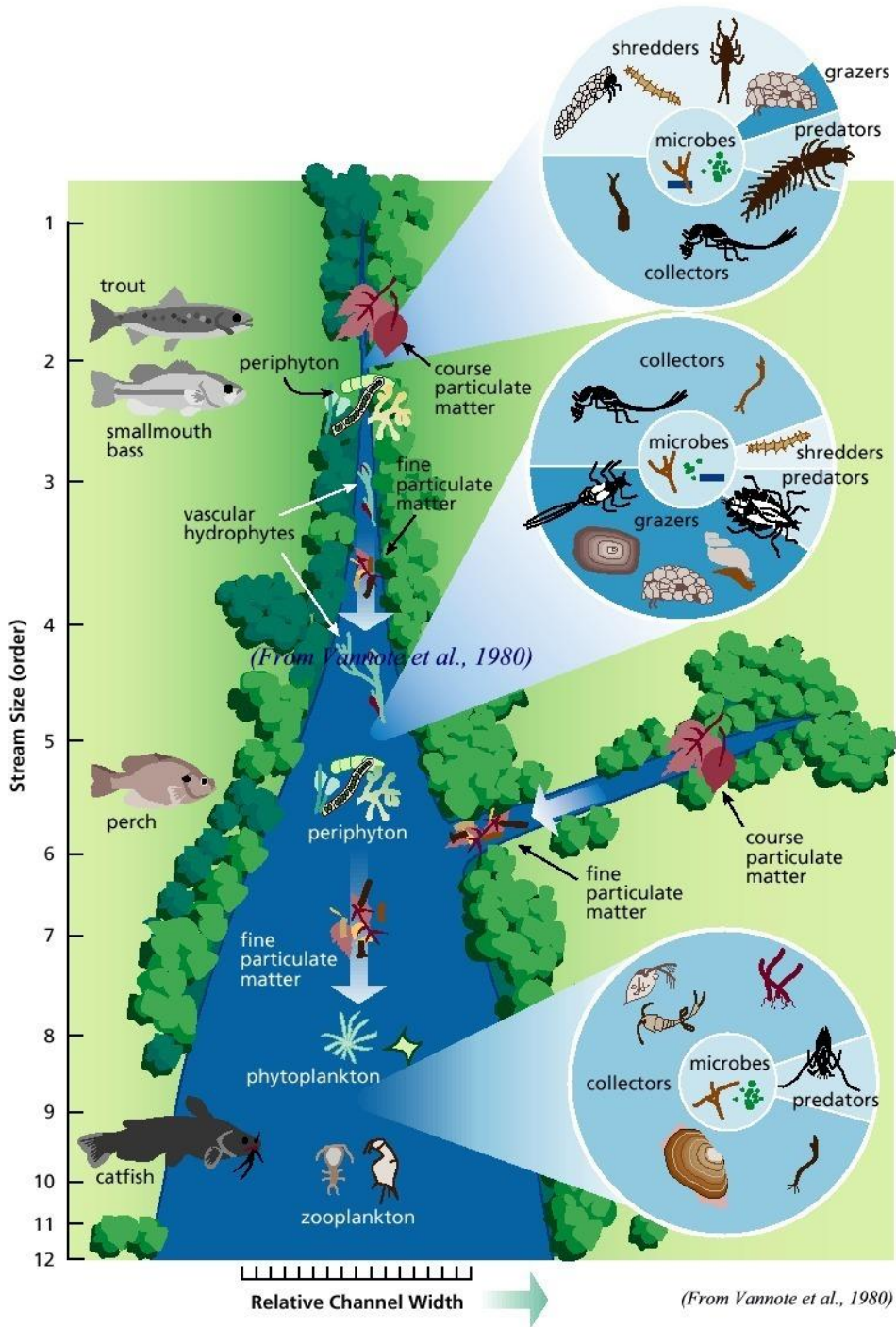
1995 - Conception OCEA Auvergne - Conception graphique Roger de Poivre, 49 73 03 14 - Photographies BRM/C. L'Écologie - Éditions Comstock, 2000, janvier 2007

Photographies issues du logiciel Perla
 DIREN Auvergne, 65 bd Mitterrand Clermont Fd, 04 73 17 37 37
 DREAL Auvergne - 7 rue Léo-Lagrange - Clermont-Fd - 04 73 43 16 00
www.perla.developpement-durable.gouv.fr

Liste des groupes indicateurs (GI) par famille

Classe de variété		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Taxons indicateurs	St Gi	> 50	49 45	44 41	40 37	36 33	32 29	28 25	24 21	20 17	16 13	12 10	9 7	6 4	3 1
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontocéridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlébiidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeridae	6	19	18	17	16	15	14	13	12	10	9	8	7	6	5
Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Limnephilidae (1) Ephemerellidae (1) Hydropsychidae Aphelocheiridae	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Baetidae (1) Caenidae (1) Elmidae (1) Gammaridae (1) Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae (1) Asellidae (1) Achètes Oligochètes (1)	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

River continuum concept de Vannote et al (1980).



DESCRIPTION DE LA STATION D'ÉCHANTILLONNAGE **EST**
Conditions environnementales 2018

Lit majeur :	Prairial et marais	Ripisylve :	Herbacée arbustive dense en rive gauche et arbustive éparse en rive droite
Berges :	Naturelles inclinées à verticales sur les deux rives		
Ensoleillement :	Fort	Météo :	nuageux
Visibilité du fond :	Nulle	Couleur de l'eau :	Vert/Brun
Pollution et aménagements : Aucun			
Hydrologie :	Moyenne eaux		

Conditions environnementales 2019

Lit majeur :	Prairial et marais	Ripisylve :	Herbacée arbustive dense en rive gauche et arbustive éparse en rive droite
Berges :	Naturelles inclinées à verticales sur les deux rives		
Ensoleillement :	Fort	Météo :	nuageux
Visibilité du fond :	Nulle	Couleur de l'eau :	Vert/Brun
Pollution et aménagements : Aucun			
Hydrologie :	Moyenne eaux		



Largeur moyenne du lit mouillé Lm :	9,37 m	Largeur plein bord Lpb :	10 m
Longueur de la station :	250m		
Facès d'écoulement :	100% chenal lentique		

DESCRIPTION DE LA STATION D'ÉCHANTILLONNAGE **OUEST**

Conditions environnementales

Lit majeur :	Marais, prairial et forestier	Ripisylve :	Herbacée arbustive dense en rive gauche et arbustive éparse en rive droite
Berges :	Naturelles inclinées à verticales sur les deux rives		
Ensoleillement :	Moyen	Météo :	nuageux
Visibilité du fond :	Nulle	Couleur de l'eau :	Vert
Pollution et aménagements : Aucun			
Hydrologie :	Moyenne eaux		

Conditions environnementales

Lit majeur :	Marais, prairial et forestier	Ripisylve :	Herbacée arbustive dense en rive gauche et arbustive éparse en rive droite
Berges :	Naturelles inclinées à verticales sur les deux rives		
Ensoleillement :	Fort	Météo :	nuageux
Visibilité du fond :	Nulle	Couleur de l'eau :	Vert/Brun
Pollution et aménagements : Aucun			
Hydrologie :	Moyenne eaux		



Largeur moyenne du lit mouillé Lm :	12 m	Largeur plein bord Lpb :	12,1 m
Longueur de la station :	186m		
Facès d'écoulement :	100% chenal lentique		

Grille d'échantillonnage de la station EST 2018

Nature du substrat	Code Sandre	Zone de berge (A)	Zone de chenal (B)	Zone intermédiaire (C)
Bryophytes	S1			
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2	X		
Déchets organiques grossiers (litière)	S3			
Chevelus racinaires / Substrats ligneux	S28	X		
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24			
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30			
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9			
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10	XX		
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec déchets organiques fins	S11		X	X
Sables et limons (<2mm)	S25			
Algues	S18			
Surfaces uniformes dures naturelles	S29			
% recouvrement				

N° du prélèvement	Bocal	Substrat prélevé	Substrat secondaire	Classe de vitesse	Classe hauteur d'eau	Colmatage	Matériel utilisé
1	A	S2	S11	N1	1	3	S
2	A	S28		N1	1	1	S
3	A	S10	S11	N1	1	3	S
4	A	S28	S11	N1	1	3	S
5	B	S11	S3	N1	2	3	D
6	B	S11		N1	2	3	D
7	B	S11		N1	2	3	D
8	B	S11		N1	2	3	D
9	C	S11		N1	2	3	H
10	C	S11		N1	2	3	H
11	C	S11		N1	2	3	H
12	C	S11		N1	2	3	H

Grille d'échantillonnage de la station EST 2019

Nature du substrat	Code Sandre	Zone de berge (A)	Zone de chenal (B)	Zone intermédiaire (C)
Bryophytes	S1			
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2			X
Déchets organiques grossiers (litière)	S3			
Chevelus racinaires / Substrats ligneux	S28	XX		XX
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24			
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30			
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9			
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10	X		X
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec déchets organiques fins	S11		XX	XX
Sables et limons (<2mm)	S25			
Algues	S18			
Surfaces uniformes dures naturelles	S29			
% recouvrement				

N° du prélèvement	Bocal	Substrat prélevé	Substrat secondaire	Classe de vitesse	Classe hauteur d'eau	Colmatage	Matériel utilisé
1	A	S28		N1	1	2	S
2	A	S28		N1	1	1	S
3	A	S10		N1	1	3	S
4	A	S10		N1	1	3	S
5	B	S11		N1	2	3	D
6	B	S11		N1	2	3	D
7	B	S11		N1	2	3	D
8	B	S11		N1	2	3	D
9	C	S2	S11	N1	2	3	H
10	C	S28		N1	2	3	H
11	C	S10		N1	2	3	H
12	C	S11		N1	2	3	H

Grille d'échantillonnage de la station OUEST 2018

Nature du substrat	Code Sandre	Zone de berge (A)	Zone de chenal (B)	Zone intermédiaire (C)
Bryophytes	S1	P		
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2	XX		X
Déchets organiques grossiers (litière)	S3			
Chevelus racinaires / Substrats ligneux	S28	X		
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24			
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	X		
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9			
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10	XXX		
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec déchets organiques fins	S11		X	X
Sables et limons (<2mm)	S25			
Algues	S18			
Surfaces uniformes dures naturelles	S29			
% recouvrement				

N° du prélèvement	Bocal	Substrat prélevé	Substrat secondaire	Classe de vitesse	Classe hauteur d'eau	Colmatage	Matériel utilisé
1	A	S2	S11	N1	1	2	S
2	A	S28		N1	1	1	S
3	A	S30	S11	N1	1	1	S
4	A	S10	S11	N1	1	3	S
5	B	S11		N1	2	3	D
6	B	S11		N1	2	3	D
7	B	S11		N1	2	3	D
8	B	S11		N1	2	3	D
9	C	S2		N1	2	3	H
10	C	S10		N1	2	3	H
11	C	S30		N1	2	3	H
12	C	S28		N1	2	3	H

Grille d'échantillonnage de la station OUEST 2019

Nature du substrat	Code Sandre	Zone de berge (A)	Zone de chenal (B)	Zone intermédiaire (C)
Bryophytes	S1			
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2			X
Déchets organiques grossiers (litière)	S3			
Chevelus racinaires / Substrats ligneux	S28	X		
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	X		
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	X		X
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9			
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10	X		X
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec déchets organiques fins	S11	X		X
Sables et limons (<2mm)	S25			
Algues	S18			
Surfaces uniformes dures naturelles	S29			
% recouvrement				

N° du prélèvement	Bocal	Substrat prélevé	Substrat secondaire	Classe de vitesse	Classe hauteur d'eau	Colmatage	Matériel utilisé
1	A	S28		N1	1	2	S
2	A	S10		N1	1	1	S
3	A	S30		N1	1	2	S
4	A	S28		N1	1	3	S
5	B	S11		N1	2	3	D
6	B	S11		N1	2	3	D
7	B	S11		N1	2	3	D
8	B	S11		N1	2	3	D
9	C	S2		N1	2	3	H
10	C	S30		N1	2	3	H
11	C	S10		N1	2	3	H
12	C	S11		N1	2	3	H

Listes faunistiques complète par station et par année (provenance noté en haut de chaque page)

Nom : FBMA Marais Est
 Date : 21/08/2018
 Liste faunistique : d'échantillonnage :

TAXONS	code sandre	GI	Genre	A	B	C	Effectif total	Abondance relative
TRICHOPTERES								
Ecnomidae	249		<i>Ecnomus</i>	8			.	0,71%
Ecnomidae	248						8	0,41%
Hydroptilidae	197	5	<i>Orthotrichia</i>	2				
Hydroptilidae	193	5					2	0,10%
Leptoceridae	318	4	<i>Setodes</i>	1				
Leptoceridae	310	4					1	0,05%
Polycentropodidae	235	4	<i>Holocentropus</i>	3				
Polycentropodidae	223	4					3	0,15%
EPHEMEROPTERES								
Baetidae	387	2	<i>Cloeon</i>	234		3		
Baetidae	363	2					237	12,07%
Caenidae	457	2	<i>Caenis</i>	29		1		
Caenidae	456	2					30	1,53%
HETEROPTERES								
Corixidae	719		<i>Micronecta</i>	77		2		
Corixidae	709						79	4,02%
Gerridae	735		<i>Gerris</i>	1		3	4	0,20%
Mesoveliidae	742		<i>Mesovelia</i>	1		1	2	0,10%
Naucoridae	722					1	1	0,05%
Veliidae	743					3	3	0,15%
COLEOPTERES								
Hydrophilidae	571					1	1	0,05%
DIPTERES								
Ceratopogonidae	819					1	1	0,05%
Chironomidae	807	1		422	7	280	709	36,12%
ODONATES								
ZYGOPTERES								
Coenagrionidae	9785						.	2,70%
Coenagrionidae	658			52			52	2,65%
Platycnemididae	657		<i>Platycnemis</i>	1			1	0,05%
MEGALOPTERES								
Sialidae	704		<i>Sialis</i>			1	1	0,05%
LEPIDOPTERES								
Crambidae	2947			1			1	0,05%
CRUSTACES								
AMPHIPODES								
Corophiidae	32503		<i>Chelichorophium</i>	324			324	16,51%
Crangonyctidae	5116		<i>Crangonyx</i>	1		2	3	0,15%
Gammaridae	892	2	<i>Gammarus</i>	72	1	10		
Gammaridae	887	2					83	4,23%
ISOPODES								
Asellidae	880	1		89		1	90	4,58%
DECAPODES								
Atyidae	861		<i>Atyaephyra</i>	1			1	0,05%
MYSIDACES								
Mysidae	23202		<i>Limnomysis</i>	45		14	59	3,01%
Mysidae	4324						59	3,01%
AUTRES CRUSTACES								
Branchiura (présence)	2969		<i>Argulus</i>			p	p	p
Cladocères (présence)	3127			p		p	p	p
Copépodes (présence)	3206			p	p	p	p	p
Ostracodes (présence)	3170			p	p	p	p	p
MOLLUSQUES								
BIVALVES								
Sphaeriidae	3468	2					.	9,22%
Sphaeriidae	1043		<i>Pisidium</i>	2		13		
Sphaeriidae	1044		<i>Sphaerium</i>			1		
Sphaeriidae	1042						16	0,82%
GASTEROPODES								
Acroloxidae	1033		<i>Acroloxus</i>	6			6	0,31%
Bithyniidae	994		<i>Bithynia</i>	5		2	7	0,36%
Ferrissiidae	1030		<i>Ferrissia</i>	22		5	27	1,38%
Hydrobiidae	978		<i>Potamopyrgus</i>	3		96		
Hydrobiidae	973						99	5,04%
Lymnaeidae	1004		<i>Radix</i>	1				
Lymnaeidae	998						1	0,05%
Physidae	997		<i>Physa lato-sensu</i>	7				
Physidae	995					5	12	0,61%
Planorbidae	1009			9			9	0,46%
Valvatidae	972		<i>Valvata</i>	3			3	0,15%
Viviparidae	970		<i>Viviparus</i>	1			1	0,05%
VERS ET AUTRES TAXONS								
ACHETES								
Erpobdellidae	928	1		1			1	0,05%
Glossiphoniidae	908			4			4	0,20%
Piscicolidae	918			6			6	0,31%
TURBELLARIA								
Planariidae	3326						.	
Planariidae	1061			1			1	0,05%
OLIGOCHETES								
NEMATHELMINTHES								
Nematodes	933	1		6	2	7	15	0,76%
Nematodes	3111			p		p	p	p
HYDRACARIENS								
Hydracarina	906		<i>Hydracarina</i>	p	p	p	p	p
Effectifs :				1441	10	453	1963	2,00
Richesse faunistique IBGN :				39	6	28	40	
Classe de variété :								
Groupe Indicateur :								
Taxon Indicateur :								
Equivalent I.B.G.N. / 20 :								
Richesse faunistique hors IBGN :							6	
Richesse faunistique totale :							46	

TAXONS	code sandre	GI	Genre	A	B	C	Effectif total	Abondance relative
TRICHOPTERES								
Enomidae	249		<i>Enomus</i>	9	1	8	.	1,06%
Enomidae	248						18	0,50%
Hydroptilidae	193	5		1			1	0,03%
Polycentropodidae	235	4	<i>Holocentropus</i>	18		1		
Polycentropodidae	223	4					19	0,53%
EPHEMEROPTERES								
Baetidae	387	2	<i>Cloeon</i>	24		1		
Baetidae	363	2		2		1	28	0,78%
Caenidae	457	2	<i>Caenis</i>	2				
Caenidae	456	2					2	0,06%
HETEROPTERES								
Corixidae	5196		<i>SF Corixinae</i>	2				
Corixidae	719		<i>Micronecta</i>	22	1	3		
Corixidae	709						28	0,78%
Naucoridae	722			4			4	0,11%
COLEOPTERES								
Dytiscidae	2393		<i>SF Hydroporinae</i>	1				
Dytiscidae	527						1	0,03%
Elmidae	619	2	<i>Esolus</i>	1				
Elmidae	614	2					1	0,03%
DIPTERES								
Chironomidae	807	1		524	9	454	987	27,61%
ODONATES								
ZYGOPTERES								
Coenagrionidae	9785			14		8	22	0,62%
PLANIPENNES								
Sisyridae	856		<i>Sisyra</i>	3			3	0,08%
CRUSTACES								
AMPHIPODES								
Corophiidae	32503		<i>Chelichorophium</i>	197		388	585	16,36%
Gammaridae	892	2	<i>Gammarus</i>	111	8	318		
Gammaridae	887	2					437	12,22%
Pontogammaridae	4202		<i>Dikerogammarus</i>	2				
Pontogammaridae	23208						2	0,06%
ISOPODES								
Asellidae	880	1		24		1	25	0,70%
DECAPODES								
Atyidae	861		<i>Atyaephyra</i>	2			2	0,06%
MYSIDACES								
Mysidae	23202		<i>Limnomysis</i>	436		119	555	15,52%
Mysidae	4324						555	15,52%
AUTRES CRUSTACES								
Cladocères (présence)	3127			p	p	p	p	p
Copépodes (présence)	3206				p	p	p	p
Ostracodes (présence)	3170			p	p	p	p	p
MOLLUSQUES								
BIVALVES								
Dreissenidae	3468		<i>Dreissena</i>	2				
Dreissenidae	1046						2	0,06%
Sphaeriidae	1045		<i>Pisidium</i>	4	9	18		
Sphaeriidae	1043						31	0,87%
Sphaeriidae	1042							
GASTEROPODES								
Ancylidae	1028		<i>Ancylus</i>	2			2	0,06%
Bithyniidae	994		<i>Bithynia</i>	6		1	7	0,20%
Ferrissidae	1030		<i>Ferrissia</i>	15		2	17	0,48%
Hydrobiidae	978		<i>Potamopyrgus</i>	1				
Hydrobiidae	973						1	0,03%
Lymnaeidae	1004		<i>Radix</i>	2		1		
Lymnaeidae	998						3	0,08%
Physidae	997		<i>Physa lato-sensu</i>	6		3		
Physidae	995						9	0,25%
Planorbidae	1009			15	1		16	0,45%
Valvatidae	972		<i>Valvata</i>		7	8	15	0,42%
VERS ET AUTRES TAXONS								
ACHETES								
Erpobdellidae	928	1		3		1	4	0,11%
Piscicolidae	918			1		7	8	0,22%
TURBELLARIA								
Planariidae	3326							
Planariidae	1061			103			103	2,88%
Planariidae	933	1		24	29	29	82	2,29%
OLIGOCHETES								
NEMATHELMINTHES								
HYDRACARIENS	3111		<i>Hydracarina</i>	p		p	p	p
HYDROZOAIRENS	906		<i>Hydrozoa</i>	p		p	p	p
HYDROZOAIRENS	3168		<i>Bryozoa</i>	p	p		p	p
BRYOZOAIRES	1087		<i>Prostoma</i>	p			p	p
NEMERTIENS (Prostomatidae)	3110			p			p	p
Effectifs :				1583	65	1374	3575	2,00
Richesse faunistique IBGN :				39	12	25	35	
Classe de variété :								
Groupe Indicateur :								
Taxon Indicateur :								
Equivalent I.B.G.N. / 20 :								
Richesse faunistique hors IBGN :							6	
Richesse faunistique totale :							41	

Nom : FBMA

Cours d'eau : Marais Ouest

Liste faunistique :

Date
d'échantillonnage : 21/08/2018

TAXONS	code sandre	GI	Genre	A	B	C	Effectif total	Abondance relative
TRICHOPTERES								
Ecnomidae	249		<i>Ecnomus</i>	2		11	.	1,62%
Ecnomidae	248						13	0,47%
Leptoceridae	317	4	<i>Oecetis</i>	2				
Leptoceridae	318	4	<i>Setodes</i>	1				
Leptoceridae	310	4					3	0,11%
Polycentropodidae	224	4	<i>Cyrnus</i>	8				
Polycentropodidae	235	4	<i>Holocentropus</i>	18		3		
Polycentropodidae	223	4					29	1,05%
EPHEMEROPTERES								
Baetidae	387	2	<i>Cloeon</i>	140		7		
Baetidae	363	2					147	5,30%
Caenidae	457	2	<i>Caenis</i>	11		1		
Caenidae	456	2					12	0,43%
HETEROPTERES								
Corixidae	719		<i>Micronecta</i>	13		14		
Corixidae	709						27	0,97%
Naucoridae	722			17		1	18	0,65%
COLEOPTERES								
Elmidae	619	2	<i>Esolus</i>	8				
Elmidae	614	2					8	0,29%
Halipilidae	518		<i>Halipilus</i>	1				
Halipilidae	517						1	0,04%
DIPTERES								
Ceratopogonidae	819			2	2		4	0,14%
Chironomidae	807	1		73	62	148	283	10,20%
ODONATES								
ZYGOPTERES								
Coenagrionidae	658			75		10	85	3,06%
MEGALOPTERES								
Sialidae	704		<i>Sialis</i>	4	3		7	0,25%
CRUSTACES								
AMPHIPODES								
Corophiidae	32503		<i>Chelichorophium</i>			23	23	0,83%
Crangonyctidae	5116		<i>Crangonyx</i>	86			86	3,10%
Gammaridae	892	2	<i>Gammarus</i>	18	2	13		
Gammaridae	887	2					33	1,19%
ISOPODES								
Asellidae	880	1		266		3	269	9,69%
DECAPODES								
Atyidae	861		<i>Atyaephyra</i>	1			1	0,04%
Cambaridae	870		<i>Orconectes</i>	2				
Cambaridae	2024						2	0,07%
MYSIDACES								
Mysidae	23202		<i>Limnomysis</i>	26		597	623	22,45%
Mysidae	4324						623	22,45%
AUTRES CRUSTACES								
Branchiura (présence)	2969		<i>Argulus</i>			p	p	p
Cladocères (présence)	3127			p		p	p	p
Copépodes (présence)	3206			p		p	p	p
Ostracodes (présence)	3170			p	p	p	p	p
MOLLUSQUES								
BIVALVES								
Sphaeriidae	3468	2						
Sphaeriidae	1043		<i>Pisidium</i>	105	1	3		
Sphaeriidae	1044		<i>Sphaerium</i>	8	1	3		
Sphaeriidae	1042						121	4,36%
GASTEROPODES								
Bithyniidae	994		<i>Bithynia</i>	21			21	0,76%
Ferrissiidae	1030		<i>Ferrisia</i>	3		8	11	0,40%
Hydrobiidae	978		<i>Potamopyrgus</i>	195	2	1		
Hydrobiidae	973						198	7,14%
Lymnaeidae	1004		<i>Radix</i>	6		1		
Lymnaeidae	998						7	0,25%
Physidae	997		<i>Physa lato-sensu</i>	14				
Physidae	995						14	0,50%
Planorbidae	1009			4	1		5	0,18%
Valvatidae	972		<i>Valvata</i>			1	1	0,04%
VERS ET AUTRES TAXONS								
ACHETES								
Erpobdellidae	928	1		2			2	0,07%
Glossiphoniidae	908			7			7	0,25%
Piscicolidae	918					3	3	0,11%
TURBELLARIA								
Planariidae	3326							
Planariidae	1061			4		2	6	0,22%
Planariidae	933	1			48	34	82	2,95%
OLIGOCHETES								
NEMATHELMINTHES								
HYDRACARIENS								
NEMERTIENS (Prostomatidae)	906		<i>Hydracarina</i>	p	p	p	p	p
NEMERTIENS (Prostomatidae)	3110		<i>Prostoma</i>	p			p	p
Effectifs :				1143	125	887	2775	2,00
Richesse faunistique IBGN :				37	13	26	35	
Classe de variété :								
Groupe Indicateur :								
Taxon Indicateur :								
Equivalent I.B.G.N. / 20 :								
Richesse faunistique hors IBGN :							6	
Richesse faunistique totale :							41	

Observations :

Très grande quantité de
zooplancton

TAXONS	code sandre	GI	Genre	A	B	C	Effectif total	Abondance relative
TRICHOPTERES								
Ecnomidae	249		<i>Ecnomus</i>	2			.	1,37%
Ecnomidae	248						2	0,06%
Hydroptilidae	200	5	<i>Hydroptila</i>	1				
Hydroptilidae	197	5	<i>Orthotrichia</i>	4				
Hydroptilidae	193	5					5	0,15%
Leptoceridae	312	4	<i>Mystacides</i>	14		1		
Leptoceridae	317	4	<i>Oecetis</i>	5				
Leptoceridae	24007	4	<i>Trienodes/Myodes</i>	1				
Leptoceridae	310	4					21	0,64%
Polycentropodidae	224	4	<i>Cymus</i>	4				
Polycentropodidae	235	4	<i>Holocentropus</i>	5		8		
Polycentropodidae	223	4					17	0,52%
EPHEMEROPTERES								
Baetidae	387	2	<i>Cloeon</i>	21			.	2,25%
Baetidae	363	2				3	24	0,73%
Caenidae	457	2	<i>Caenis</i>	38	1	11		1,52%
Caenidae	456	2					50	0,43%
HETEROPTERES								
Corixidae	719		<i>Micronecta</i>	6	4	1		
Corixidae	709						11	0,33%
Naucoridae	722			3			3	0,09%
COLEOPTERES								
Dytiscidae	2395		<i>SF Colymbetinae</i>	3			.	0,82%
Dytiscidae	527						3	0,09%
Elmidae	619	2	<i>Esolus</i>	2				
Elmidae	622	2	<i>Oulimnius</i>	21				
Elmidae	614	2					23	0,70%
Halipilidae	518		<i>Haliplus</i>	1				
Halipilidae	517						1	0,03%
DIPTERES								
Ceratopogonidae	819			2	2	1	5	0,15%
Chaoboridae	791				2		2	0,06%
Chironomidae	807	1		615	30	430	1075	32,73%
ODONATES								
ZYGOPTERES								
Coenagrionidae	9785					5	.	1,55%
Coenagrionidae	658			46			51	0,03%
Platycnemididae	657		<i>Platycnemis</i>	1			1	0,12%
MEGALOPTERES								
Sialidae	704		<i>Sialis</i>	2		2	4	0,12%
CRUSTACES								
AMPHIPODES								
Crangonyctidae	5116		<i>Crangonyx</i>	14			14	0,43%
Gammaridae	892	2	<i>Gammarus</i>	16	3	17		
Gammaridae	887	2					36	1,10%
ISOPODES								
Asellidae	880	1		21		10	31	0,94%
DECAPODES								
Cambaridae	870		<i>Orconectes</i>	1			.	
Cambaridae	2024						1	0,03%
MYSIDACES								
Mysidae	23202		<i>Limnomysis</i>	11	1	14	26	0,79%
Mysidae	4324						26	0,79%
AUTRES CRUSTACES								
Cladocères (présence)	3127			p			p	p
Copépodes (présence)	3206			p	p	p	p	p
Ostracodes (présence)	3170			p	p	p	p	p
MOLLUSQUES								
BIVALVES								
Corbiculidae	3468					1	.	
Corbiculidae	1051		<i>Corbicula</i>				1	0,03%
Sphaeriidae	1043		<i>Pisidium</i>	24	127	126		
Sphaeriidae	1044		<i>Sphaerium</i>		2			
Sphaeriidae	1042						279	8,50%
GASTEROPODES								
Bithyniidae	994		<i>Bithynia</i>	22		8	30	0,91%
Ferrissiidae	1030		<i>Ferrisia</i>	3			3	0,09%
Hydrobiidae	978		<i>Potamopyrgus</i>	378	41	988		
Hydrobiidae	973						1407	42,84%
Lymnaeidae	1004		<i>Radix</i>	1		1		
Lymnaeidae	998						2	0,06%
Physidae	997		<i>Physa lato-sensu</i>	8		4		0,37%
Physidae	995						12	0,46%
Planorbidae	1009			13	1	1	15	0,46%
Valvatidae	972		<i>Valvata</i>	4	3	8	15	0,46%
VERS ET AUTRES TAXONS								
ACHETES								
Erpobdellidae	928	1		2		4	6	0,18%
Glossiphoniidae	908			4	1		5	0,15%
Piscicolidae	918			3		1	4	0,12%
TURBELLARIA								
Dugesiiidae	3326						.	
Dugesiiidae	1055					1	1	0,03%
OLIGOCHETES								
Dugesiiidae	933	1		4	38	30	72	2,19%
NEMATHELMINTHES								
HYDRACARIENS	3111		<i>Hydracarina</i>	p	p	p	p	p
PORIFERA	906			p	p	p	p	p
PORIFERA	3106		<i>Spongilidae (présence)</i>	p	p	p	p	p
BRYOZOAIRES								
BRYOZOAIRES	1087		<i>Bryozoa</i>	p	p	p	p	p
Effectifs :				1326	282	1684	3284	2,00
Richesse faunistique IBGN:				45	19	29	39	
Classe de variété :								
Groupe Indicateur :								
Taxon Indicateur :								
Equivalent I.B.G.N. / 20 :								
Richesse faunistique hors IBGN :							5	
Richesse faunistique totale :							44	

Tableau récapitulatif des résultats MGCE par bords

Marais OUEST 2018	A	B	C	A+B+C
	Berge	Chenal	ZI	
Effectifs :	1143	125	887	2155
Richesse faunistique IBGN:	30	10	19	35
Classe de variété :	9	4	6	10
Groupe Indicateur :	4	2	4	4
Taxon Indicateur :	Leptoceridae	MOLLUSQUES	Polycentropodidae	Leptoceridae
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	12	5	9	13
Richesse faunistique hors IBGN:	4	1	5	5
Richesse faunistique totale :	34	11	24	40
Groupe robustesse :	4	1	2	4
Taxon robustesse :	Polycentropodidae	Chironomidae	Gammaridae	Polycentropodidae
classe de variété robuste :	9	3	6	10
Robustesse :	12	3	7	13

Marais EST 2018	A	B	C	A+B+C
	Berge	Chenal	ZI	
Effectifs :	1441	10	453	1904
Richesse faunistique IBGN:	35	4	23	40
Classe de variété :	10	2	7	11
Groupe Indicateur :	4	#N/A	2	4
Taxon Indicateur :	Polycentropodidae	#N/A	Gammaridae	Polycentropodidae
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	13	#N/A	8	14
Richesse faunistique hors IBGN:	4	2	5	5
Richesse faunistique totale :	39	6	28	45
Groupe robuste :	2	#N/A	2	2
Taxon robuste :	Baetidae	#N/A	MOLLUSQUES	Baetidae
classe de variété robuste :	10	1	7	11
Robustesse :	11	#N/A	8	12

Marais EST 2019	A	B	C	A+B+C
	Berge	Chenal	ZI	
Effectifs :	1583	65	1374	3022
Richesse faunistique IBGN:	33	9	21	35
Classe de variété :	10	3	7	10
Groupe Indicateur :	4	2	2	4
Taxon Indicateur :	Polycentropodidae	MOLLUSQUES	Gammaridae	Polycentropodidae
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	13	4	8	13
Richesse faunistique hors IBGN:	4	3	4	5
Richesse faunistique totale :	37	12	25	40
Groupe robustesse :	2	1	2	2
Taxon robustesse :	Baetidae	OLIGOCHETES	MOLLUSQUES	Baetidae
classe de variété robustesse :	9	3	6	10
Robustesse :	10	3	7	11

Marais OUEST 2019	A	B	C	A+B+C
	Berge	Chenal	ZI	
Effectifs :	1326	282	1684	3292
Richesse faunistique IBGN:	36	14	24	38
Classe de variété :	10	5	7	11
Groupe Indicateur :	5	2	4	5
Taxon Indicateur :	Hydroptilidae	MOLLUSQUES	Polycentropodidae	Hydroptilidae
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	14	6	10	15
Richesse faunistique hors IBGN:	4	3	3	4
Richesse faunistique totale :	40	17	27	42
Groupe robustesse :	4	1	2	4
Taxon robustesse :	Leptoceridae	Chironomidae	Caenidae	Leptoceridae
classe de variété robustesse :	10	5	7	11
Robustesse :	13	5	8	14

Tableaux récapitulatif des résultats du volet poisson (métriques IPR, indices, listes faunistique abondance et proportion relative)

Métriques IPR	Est 2018	Est 2019	Ouest 2018	Ouest 2019
Effectif total:	242	525	178	234
Richesse faunistique	11	10	10	8
Equivalent I.P.R. :	27,94	24,77	23,61	22,06
Classe de qualité associée	Mauvais	Mediocre	Mediocre	Mediocre
NER (reel / theorique)	2,026 / 0	2,026 / 0	2,016 / 0	2,016 / 0
NEL (reel / theorique)	1,548 / 0	1,548 / 0	1,544 / 0	1,544 / 0
NTE (reel / theorique)	9,935 / 10	9,935 / 9	9,929 / 9	9,929 / 9
DIT (reel / theorique)	0,147 / 0,097	0,147 / 0,221	0,146 / 0,058	0,146 / 0,099
DIO (reel / theorique)	0,051 / 0,103	0,051 / 0,224	0,052 / 0,065	0,052 / 0,100
DII (reel / theorique)	0,054 / 0,003	0,054 / 0,009	0,053 / 0,010	0,053 / 0,006
DTI (reel / theorique)	0,261 / 0,111	0,261 / 0,006	0,251 / 0,087	0,251 / 0,118

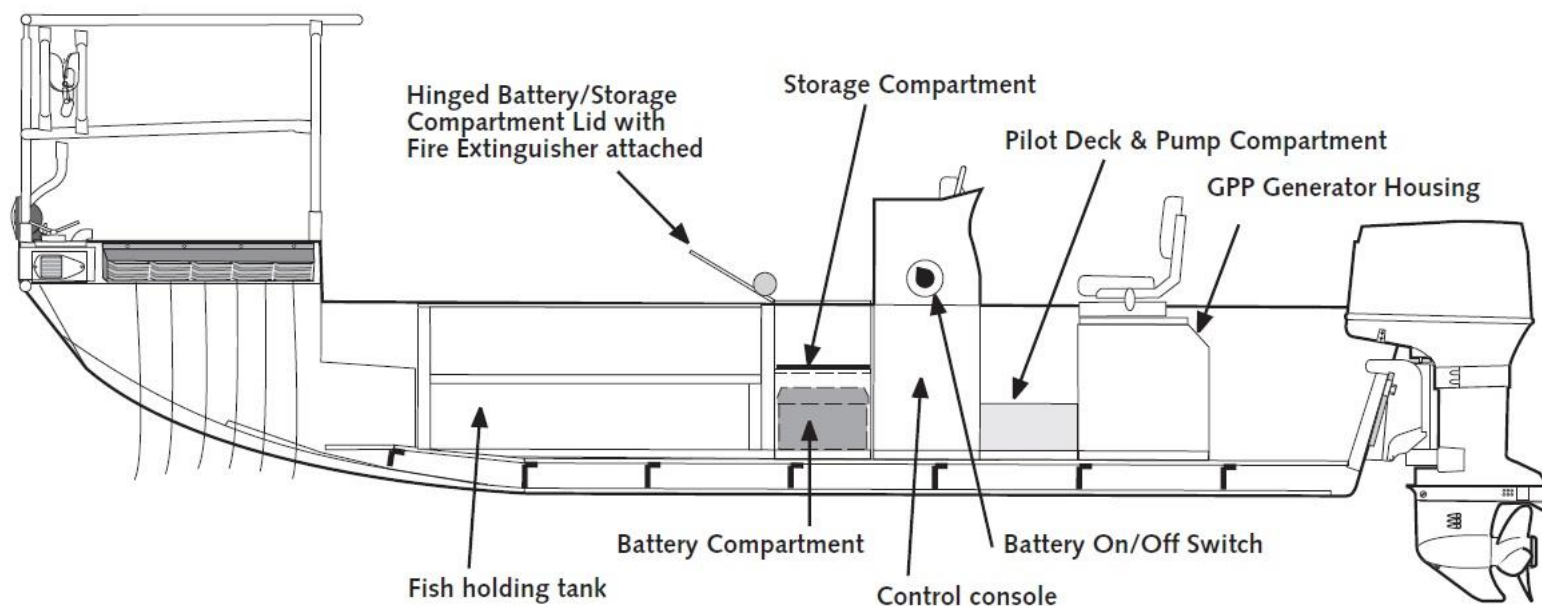
Indices	Est 2018	Est 2019	Ouest 2018	Ouest 2019
Effectif total:	242	525	178	234
Richesse faunistique	11	10	10	8
Berger-Parker index	2,63	1,88	2,51	1,88
Margalef index	1,82	1,44	1,74	1,44
Simpson index λ	0,28	0,35	0,24	0,35
Simpson index D	0,72	0,65	0,76	0,65
Simpson index Dr	3,62	2,85	4,12	2,85
Shannon index	1,53	1,38	1,67	1,38
Pielou index	0,64	0,60	0,72	0,60

Nom sci.	Nom vernaculaire	Code	Est18	Est19	Ouest18	Ouest19
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	44	68	42	5
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	0	0	1	2
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	2	0	0	0
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB	76	14	1	0
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	1	118	3	19
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	3	5	5	6
<i>Carassius sp.</i>	Carrasin	CAS	4	0	2	0
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	92	279	70	174
<i>Gobio sp.</i>	Goujon	GOU	0	1	0	0
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	GRE	7	18	19	10
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche fluviatile	PER	3	12	21	17
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT	9	7	12	0
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	1	3	0	1
<i>Orconectes limosus</i>	Ecre. américaine	OCL	1	1	2	2

Nom sci.	Nom vernaculaire	Code	Est18	Est19	Ouest18	Ouest19
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	18,2	13,0	23,9	2,1
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	0,0	0,0	0,6	0,9
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	0,8	0,0	0,0	0,0
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB	31,4	2,7	0,6	0,0
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	0,4	22,5	1,7	8,1
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	1,2	1,0	2,8	2,6
<i>Carassius sp.</i>	Carrasin	CAS	1,7	0,0	1,1	0,0
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	38,0	53,1	39,8	74,4
<i>Gobio sp.</i>	Goujon	GOU	0,0	0,2	0,0	0,0
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	GRE	2,9	3,4	10,8	4,3
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche fluviatile	PER	1,2	2,3	11,9	7,3
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT	3,7	1,3	6,8	0,0
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	0,4	0,6	0,0	0,4

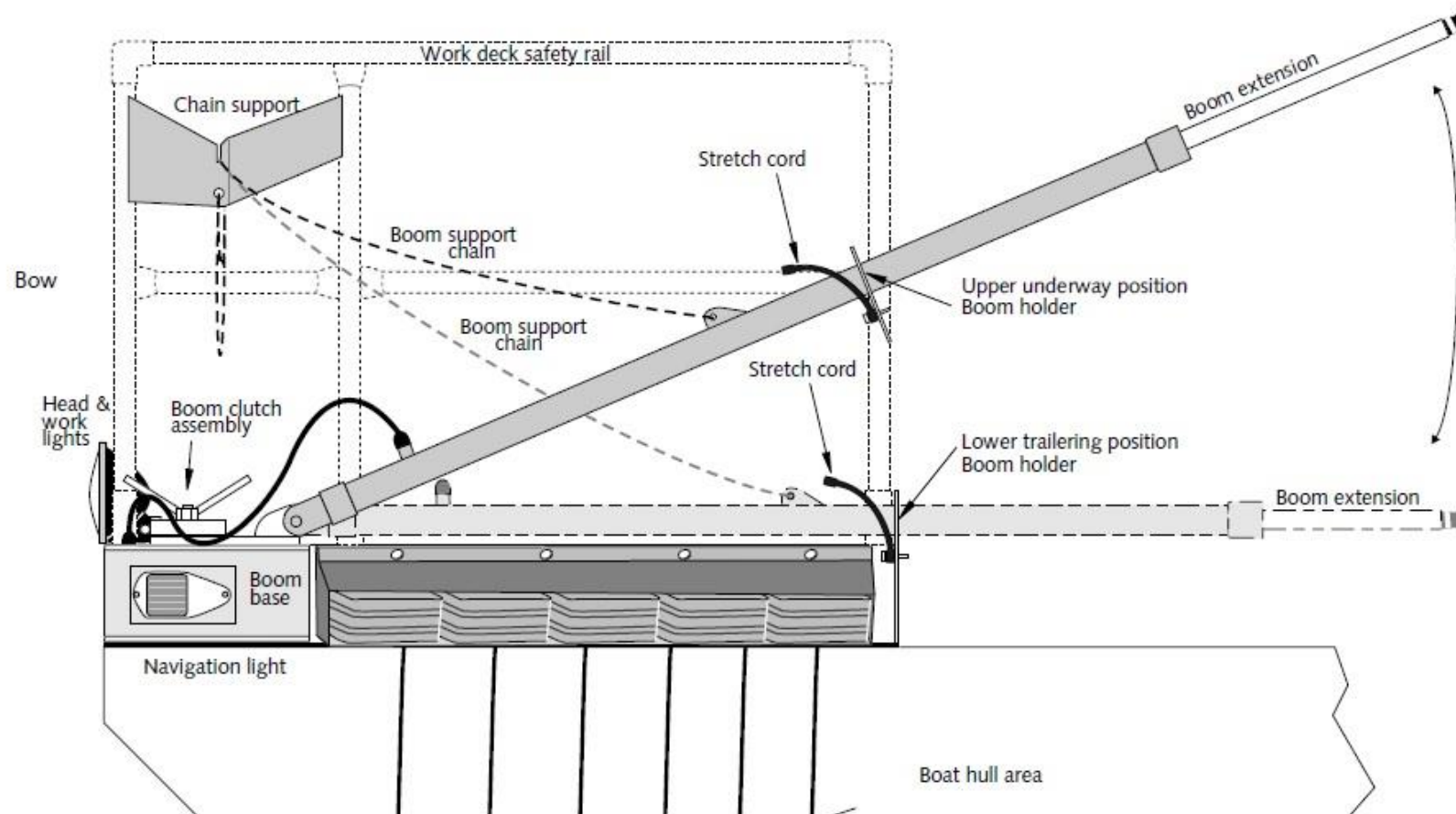
ELECTROFISHING BOATS

COMPONENTS & ISLAND LAYOUT



Above - Profile of typical boat, showing arrangement of major components.

Schéma de la structure de l' « electro-fishing boat » de SmithRoot® (2/2)



Récapitulatif des résultats de la station RCS S_105000

FRAR01 AA CANALISEE DE CONFLUENCE AVEC LE CANAL DE NEUFOSSEE À LA CONFLUENCE AVEC LE CANAL DE LA HAUTE COLME

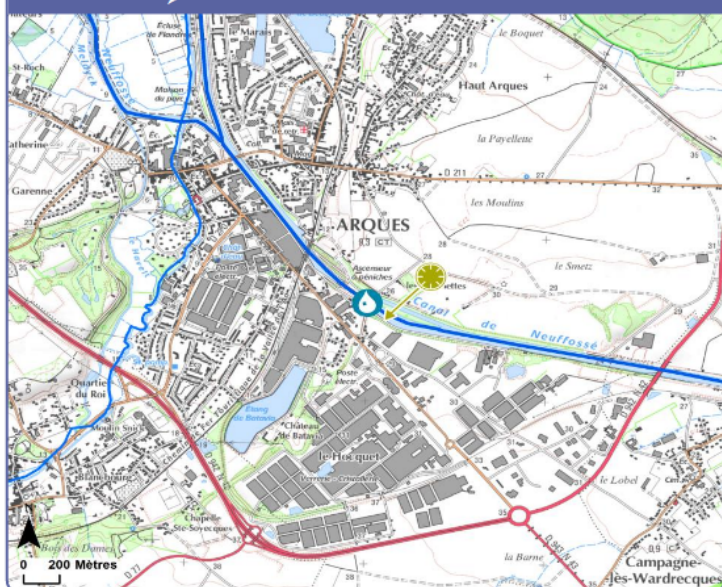
105000 LE CANAL DE NEUFFOSSÉ À ARQUES (62)

◆ BILAN DE LA STATION

Révision du programme de surveillance : pas de modification sur cette station pour le deuxième cycle DCE.

Cycle I RCO RCS Autre Évaluation
 Cycle II RCO RCS Autre Évaluation

➤ Localisation de la station de mesure



Légende de la carte
 (sites de prélèvements au premier cycle DCE)

- Eau (physico-chimie)
- Diatomées benthiques
- Poissons
- Macro-invertébrés
- Macrophytes

En gris : futurs sites de prélèvements

Classes d'état

- TBN Très bon état
- BON Bon état
- MOY État moyen
- MÉD État médiocre
- MAUV Mauvais état
- NQE respectée
- NQE non respectée
- Inconnu / non suivi

NQE : Norme de qualité environnementale



➤ POTENTIEL ÉCOLOGIQUE 2013-2015 **MOYEN**

➤ Synthèse du potentiel écologique de la station sur la période 2006 à 2015

ÉTAT ÉCOLOGIQUE	1er cycle					évol.	2e cycle			évol.
	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11		06 à 11	11/13	12/14	
ÉTAT ÉCOLOGIQUE	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	→	MOY	MOY	MOY	→
<i>Macro-invertébrés</i>										
Diatomées	MOY	MOY	BON	MOY	MOY		MOY	MOY	MOY	
Poissons										
Macrophytes										
Assouplissement (*)										
État biologique (t)	MOY	MOY	BON	MOY	MOY	→	MOY	MOY	MOY	→
Bilan en O2	MOY	MOY	BON	BON	BON		BON	BON	BON	
Nutriments	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY		MOY	MOY	MOY	
Assouplissement (**)										
État physico-chimique	MOY	MOY	MOY	MOY	MOY	→	MOY	MOY	MOY	→
<i>Substances 1er cycle</i>										
Zinc										
Arsenic										
Chrome										
Cuivre										
Chlortoluron										
Oxadiazon										
Linuron										
2,4 MCPA										
2,4 D										
Aminotriazole										
<i>Substances 2e cycle</i>										
AMPA										
Azoxystrobine										
Chlorprophame										
Cyprodinil										
Diflufenicanil										
Glyphosate										
Imidaclopride										
Iprodione										
Métazachlore										
Phosphate de tributyle										
Polluants spécifiques										

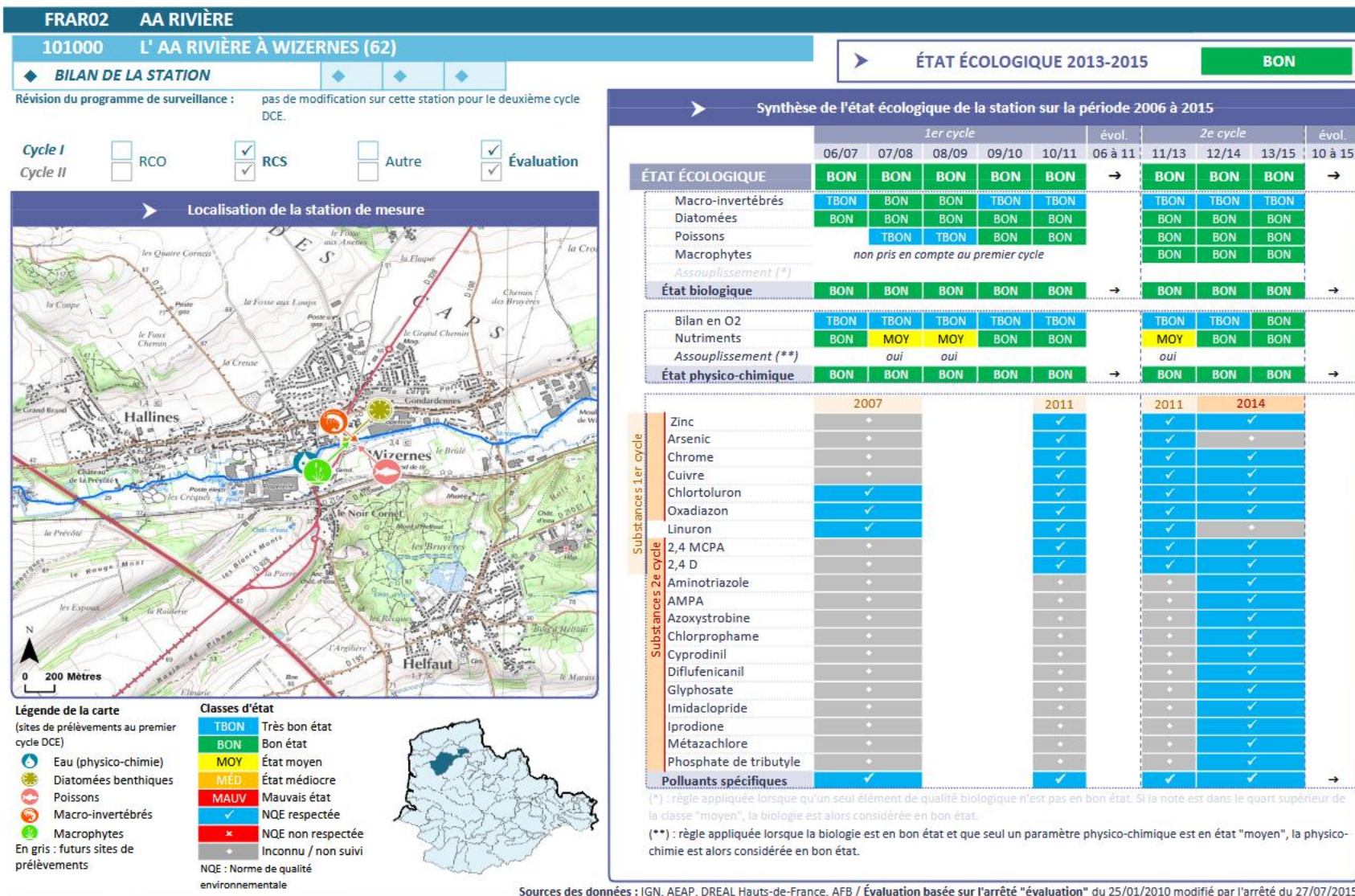
(*) : règle appliquée lorsque qu'un seul élément de qualité biologique n'est pas en bon état. Si la note est dans le quart supérieur de la classe "moyen", la biologie est alors considérée en bon état.
 (**): règle appliquée lorsque la biologie est en bon état et que seul un paramètre physico-chimique est en état "moyen", la physico-chimie est alors considérée en bon état.
 (t) : station classée comme fortement modifiée, seules les diatomées sont prises en compte

Sources des données : IGN, AEAP, DREAL Hauts-de-France, AFB / Évaluation basée sur l'arrêté "évaluation" du 25/01/2010 modifié par l'arrêté du 27/07/2015



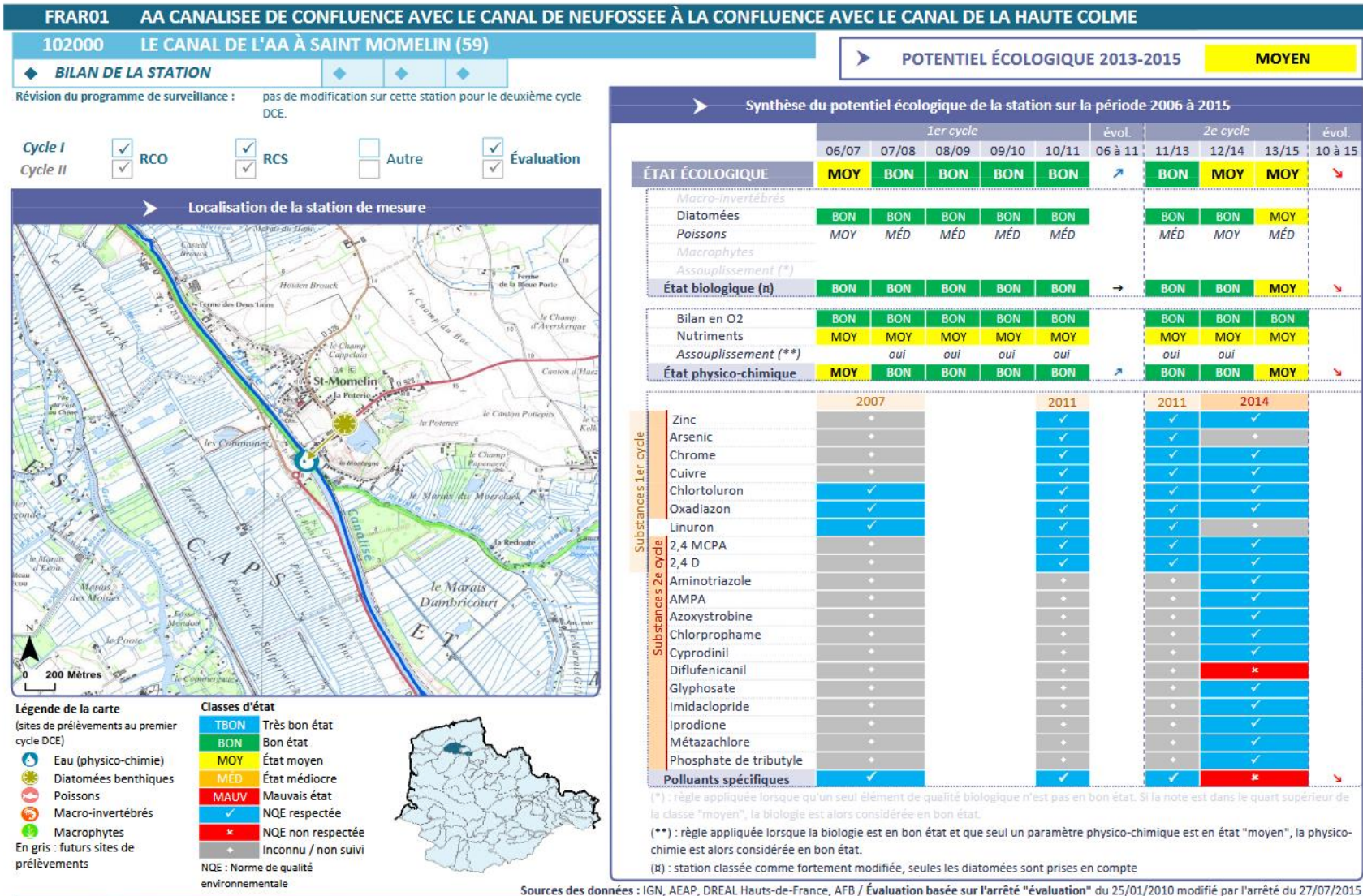
ANNUAIRE D'ETAT ECOLOGIQUE 2016

Récapitulatif des résultats de la station RCS S_101000



ANNUAIRE D'ETAT ECOLOGIQUE 2016

Récapitulatif des résultats de la station RCS S_102000



Établissement public du Ministère chargé du développement durable

ANNUAIRE D'ETAT ECOLOGIQUE 2016

Focus ANGUILLE



Sommaire

Introduction	5
Biologie de l'espèce	5
Cycle vital.....	6
Enjeux et pressions.....	9
L'anguille dans le marais Audomarois.....	11
Matériel & méthode	12
Choix du protocole	12
Présentation de l'engin passif « Flottang »	12
Confection des « Flottangs »	13
Pose et relève des stations.....	14
Plan d'échantillonnage	15
Présentation des ouvrages à la mer	16
Présentation des ouvrages situés sur le marais	18
Présentation des stations.....	20
Analyse des résultats.....	21
Résultats	23
Approche globale	23
Captures accessoires	23
Sélectivité des engins	24
Codes pathologiques	24
Stades pigmentaires.....	25
Métriques descriptives globales.....	27
Variable abiotique considérée	28
Approche par réseau	29
Comparatif mensuel.....	29
Comparatif hebdomadaire	31
Approche stationnelle	33
CPUE moyenne par station.....	33
Tailles moyennes par station.....	34
Approche cartographique	36
Approche situationnelle remarquable	39
L'exemple de la station la plus au Nord	39
Exemple migration rive -dépendante avec la station dépôt VNF	39

L'exemple du Haut Pont	39
Les ouvrages au Sud de l'axe canalisé	40
Autres observations parallèles	41
Discussion	44
Conclusion et perspectives	47
Ce qu'il faut retenir.....	49
Bibliographie.....	50
Annexes.....	52

Table des figures

Figure 1 : Prises de vues subaquatiques d'une Anguille.

Figure 2 : Les différents stades de l'Anguille Figure 3 : Civelles transparente et jeune Anguille pigmentée.

Figure 4 : Cycle biologique de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

Figure 5 : Evolution du recrutement en civelles en Europe et Mer du Nord (source WGEEL 2018).

Figure 6 : Gros plan sur la maille du géotextile et flottang vu de dessus.

Figure 7 : Test de dispositifs benthiques, les « Benthang ».

Figure 8 : Découpe et fabrication des flottangs

Figure 9 : Pose, relève, mis en bac des Flottangs et biométrie.

Figure 10 : Individu en cours de pigmentation stade 6A4.

Figure 11 : Représentation schématique globale du bassin de l'Aa, du marais Audomarois et du Delta de l'Aa.

Figure 12 : Localisation des deux premiers ouvrages à la mer sur l'axe Aa canalisée sur la ville de Gravelines (données Geoportail et VNF).

Figure 13 : Prises de vues des ouvrages situés dans l'Audomarois. De gauche à droite : l'écluse de Saint-Bertin, l'écluse des Fontinettes, L'écluse des Flandres et l'écluse du Haut-Pont.

Figure 14 : Schéma du fonctionnement des divers ouvrages de l'Audomarois (données VNF).

Figure 15 : Export des 2/3 de l'eau issue du sasement de l'écluse des Fontinettes dans le plan d'eau de Batavia (à gauche) et surverse entre le canal de Neuffossé et la Basse Meldyck au niveau de la maison du Grand Vannage (à droite).

Figure 16 : Zoom sur le marais Audomarois. Localisation des stations flottangs en 2018 (14) et en 2019 (18).

Figure 17 : Localisations des 3 sondes thermiques Hobo Ware.

Figure 18 : Exemple du contenu d'un flottang et de plusieurs captures accessoires.

Figure 19 : Histogrammes des classes de taille (en mm) obtenues sur l'ensemble du suivi (2018-2019).

Figure 20 : Résultats globaux des pathologies rencontrées lors des deux ans de suivi flottang

Figure 21 : Proportion des divers stades pigmentaires observés lors de l'étude.

Figure 22 : Illustrations d'individus capturés à divers stades pigmentaires.

Figure 23 : Histogramme représentant les occurrences, tailles moyennes et CPUE moyenne par mois pour les deux campagnes.

Figure 24 : Suivi de la donnée thermique dans le marais Audomarois (2018-2019).

Figure 25 : Analyses des CPUE moyennes et des tailles moyennes par mois et par réseau (Nord, Sud, Annexe et Entrée) pour les campagnes 2018 et 2019.

Figure 26 : CPUE moyenne (à gauche) pour la station Hautpont aval immédiat placée en 2019 et proportion des classes de taille mesurées avec une représentation de la station.

Figure 27 : Nombre d'Anguilles capturées par relève (72h) par réseau Nord, Sud et Annexes pour 2018 et 2019. La station du Hautpont aval immédiat est présentée en axe secondaire en 2019.

Figure 28 : Captures par Unité d'Effort moyenne par station en 2018 et 2019 (barre d'erreur = erreur standard).

Figure 29 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2018.

Figure 30 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2019.

Figure 31: Boxplots des tailles moyennes par station suivi en 2019.

Figure 32 : Résultats en occurrence du piégeage par flottang en 2018 et 2019. La valeur associée correspond à la proportion de relève avec au moins une Anguille dans un flottang.

Figure 33 : Résultats du nombre d'Anguilles capturées par classe de tailles en 2018 et 2019. Les diagrammes sont proportionnels aux effectifs dénombrés.

Figure 35 : Station Ile de Watten.

Figure 36 : Station DépôtVNF.

Figure 37 : Ouvrage du Haut Pont et diagrammes proportionnels des captures.

Figure 38: Ecluse des Fontinettes et flottangs posés en aval avec un sujet adulte argenté mort.

Figure 39 : Pourcentage d'occurrence des diverses espèces retrouvées dans le réseau secondaire du marais Audomarois sur 205 inventaires de 5min

Figure 40 : Extrait des résultats du monitoring Anguille de 2017 sur le contexte bassin de l'Aa.

Figure 41 : Exemple d'une passe piège à brosse pour l'espèce Anguille (Localisée sur l'ouvrage à la mer Marguet à Boulogne sur mer – 62). Un équipement utile transposable à l'écluse du Haut Pont.

Tableaux

Tableau 1 : Nom et codification des stations.

Tableau 2 : Intervalle de classes tailles et âges associés.

Lexique

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

RSA : Réseau Spécifique Anguille

RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance

CPUE : Capture Par Unité d'Effort

SANDRE : Service d'Administration Nationale des Données et Référentiel sur l'Eau

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

PLAGEPOMI : Plan de GEstion des POissons MIgrateurs

PDPG : Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles

PGA : Plan Gestion Anguille

Biologie de l'espèce

L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla* – Linné 1758) est un poisson bien connu de par son apparence serpentiforme et ses nageoires caudales, anales et dorsales soudées. Sa peau est également recouverte d'un mucus protecteur. Elle appartient à la famille des Anguillidés et mesure de 40 cm à 150 cm pour 4 kg maximum pour les femelles. L'animal adulte est plutôt à tendance nocturne (lucifuge) et est capable de respiration trans-tégumentaire ce qui lui permet également de respirer de l'air.



Figure 1 : Prises de vues subaquatiques d'une Anguille.

Ce poisson étant assez ubiquiste, il est possible de le retrouver dans presque tous les milieux et habitats disponibles sur notre territoire (rivières, marais, lacs, zones côtières...). L'Anguille européenne est présente sur une très large distribution géographique allant de l'Europe septentrionale à l'Europe méridionale (Feunteun et al. 1998, Wiley et al. 2004, Edeline et al. 2007).

Mais le cycle vital de cette espèce est complexe et est encore, même actuellement, caractérisé par des zones d'ombres (surtout en milieu marin). La reproduction n'a encore jamais été observée en milieu naturel (Nilo et al. 2001).

En effet, l'Anguille doit entreprendre d'importantes migrations océaniques en vue de réaliser son cycle biologique complet (Elie 1994). L'espèce est ainsi qualifiée de poisson grand migrateur et plus particulièrement d'espèce amphihaline thalassotoque. C'est-à-dire qu'elle vit et mature dans les eaux douces continentales et se reproduit et naît en milieu marin.

Si des hybridations sont possibles avec l'Anguille américaine voir même japonaise (Avisé et al 1990, Okamura et al 2004), il est admis que l'ensemble de la population Européenne est constituée par une seule population panmictique (Wirth et al. 2003, Als et al 2011).



Cycle vital

Le cycle de vie de l'Anguille, de par ces caractéristiques est remarquable et unique. Celle-ci doit passer par de nombreuses écophases.

Figure 2 : Les différents stades de l'Anguille, avec de bas en haut, une Anguille jaune, une Anguille en cours d'argenture et une Anguille argentée.

Reproduction

Même si la reproduction de l'Anguille reste encore assez mal connue, le consensus scientifique actuel place la zone de reproduction de l'espèce au niveau de la mer des Sargasses (du nom des algues *Sargassum* qu'on y trouve flottantes en grands nombres). Cette zone est située dans l'océan Atlantique Nord, entourée de courants marins au niveau de ces frontières et calme en son centre. Même si aucun œuf n'a été actuellement récolté, il est admis que cette zone est la plus propice à la ponte de l'espèce entre mars et juillet (Kleckner et al 1983, Mac Cleave 1993, McLeave et al., 1998).

Stade larvaire

Après l'éclosion, les larves d'anguilles sont appelées Leptocéphales. Ce sont des larves foliacées qui consomment du plancton et sont portées par les courants océaniques (McLeave et al., 1998, Tesch et al. 1998). Ainsi portées par le Golf Stream, ces larves accomplissent leur migration de façon passive jusqu'à nos côtes. Une période de temps variable peut s'écouler. En effet, les Leptocéphales peuvent mettre entre 6 mois ou 1 an et demi pour attendre le

talus continental (Antunes et al 1997, Lecomte 1994, Tesch et al. 1998).

Une fois arrivées en bordure du talus continental, les larves foliacées se métamorphosent en une forme plus connue : la civelle (figure 3). Les civelles mesurent entre 60 et 80mm et sont transparentes. Celles-ci se pigmentent ensuite progressivement en arrivant dans les zones estuariennes et dans les rivières (Elie et al. 1982).



Figure 3 : Civelles transparente et jeune Anguille pigmentée.

Arrivée dans les eaux continentales

Les civelles deviennent intégralement pigmentées lors de leur remontée en rivière, deviennent ainsi des anguillettes puis des Anguilles jaunes. La cinétique migratoire des civelles à l'aval des hydrosystèmes continentaux s'opère par vague en fonction des courants, des marées et de la taille des individus (De Casamajor et al 2000).

Une fois arrivées dans la zone de transition des cours d'eau (estuaire), les anguillettes qui auparavant se laissaient porter par les flux (migration passive) acquièrent la capacité de nage et progressent vers l'amont (migration active). Le facteur déclenchant l'acquisition de cette faculté de nage est la thermie. Celle-ci se

déroule sur la plage 10 – 12 °C. Mais toutes les jeunes Anguilles ne migrent pas de la même manière. En effet, certains sujets vont rapidement se sédentariser dans les parties basses des bassins (marais salés, les lagunes, etc.) alors que d'autres vont coloniser les parties les plus en amont possibles. Ces différents comportements sont souvent classés en 4 catégories : les pionniers, les fondateurs, les résidents et les nomades (Feunteun et al., 2003).

Globalement les facteurs qui influent majoritairement sur la migration active sont le débit, la thermie et l'hydromorphologie fluviale (Feunteun et al., 2003, Lafaille et al, 2007).

Croissance

A ce stade les individus vont coloniser les eaux continentales pour vivre une période de grossissement et de maturation sexuelle sédentaire d'une dizaine d'années environ. Cette phase de la vie de l'Anguille peut même durer jusqu'à 20 ans pour les femelles (qui sont ainsi plus grosses que les mâles en dévalaison et se situent plus souvent en amont des bassins ; Vollestad 1986).

Retour en mer

La dernière phase consiste à la métamorphose de l'Anguille jaune en Anguille argentée afin de lui permettre de rejoindre l'océan et les zones de reproduction en vue d'accomplir le cycle.

Cette phase est caractérisée par une modification morphologique, physiologique et comportementale des individus (Durif, 2003, Acou et al 2005, Van Ginneken et al 2007). En

effet, les changements anatomiques les plus remarquables sont les suivants : changement de la coloration vers une livrée dorso-ventrale argentée et plus sombre, ainsi qu'une ligne latérale sensitive ponctuée de neuromastes. La taille des yeux augmente afin d'améliorer la capacité de l'animal à voir dans les milieux profonds et pauvres en lumière des fonds

océaniques (près de 4 fois). Les nageoires pectorales s'agrandissent également (figure 2) pour améliorer la capacité de nage.

Les individus cessent de s'alimenter lors de la migration catadrome. Seul un faible nombre

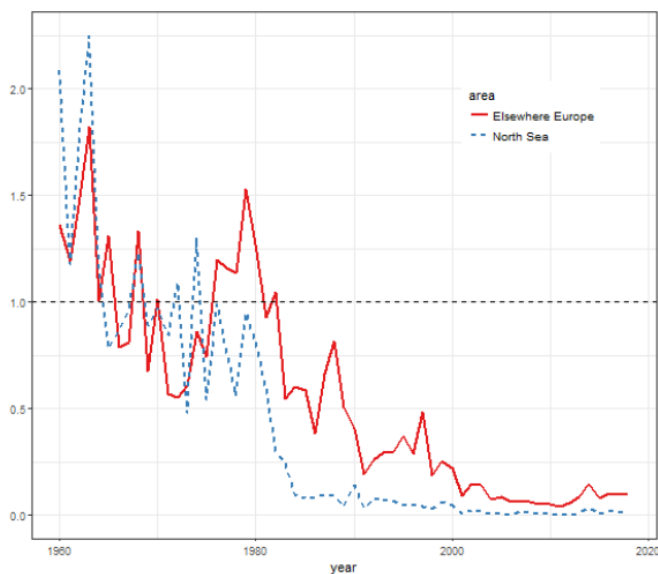
d'individus sera capable de réaliser l'ensemble du cycle, notamment à cause des nombreuses pressions qui pèsent sur l'espèce, et cela à tous les stades de son cycle.

Au cours des deux migrations océaniques (migration passive des larves et la migration de reproduction), les anguilles effectuent également des migrations verticales. Des changements de profondeur journaliers (entre 200 et 2000m de fond, nocturne en surface et dans les profondeurs le jour) sont réalisés notamment en vue de réduire le risque de prédation (Adam et al. 2008 ; Righton et al. 2016).



Figure 4 : Cycle biologique de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

Enjeux et pressions



Longtemps abondantes et même considérées en cours d'eau salmonicoles comme « nuisibles », les Anguilles, malgré leur réputation d'espèces robustes, se retrouvent en forte régression depuis les années 1970. Leurs effectifs ont chuté de près de 90% (ICES, 2008).

De par son statut de migrateur, celle-ci subit l'impact de la rupture du continuum fluvial et les grands changements climatiques globaux.

Les facteurs provoquant son déclin sont multiples comme :

- La modification du Gulf Stream (modifications des courants marins)
- Les barrages (turbines, cloisonnements...)
- L'altération de la qualité de l'eau (comme les PCB et métaux lourds qui influent sur le système nerveux)
- La dégradation des habitats (berges, annexes, zones humides...)
- Le parasitisme (par *Anguillicola crassus*, un nématode apporté par l'Anguille japonaise)
- La surpêche (professionnelle, de loisir ou le braconnage)

Rappels réglementaires

L'Anguille européenne est inscrite sur la Liste Rouge mondiale (évaluation 2014) et sur la liste de la France métropolitaine (actualisé en 2019) de l'UICN, comme « espèce en voie critique d'extinction » (CR). Son statut reste inchangé malgré la réactualisation des listes rouges.

Dans ce cadre, le règlement européen CE n°1100/2007 demande la mise en place de mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. Au niveau du territoire national, un plan de gestion Anguille a été mis en place depuis 2010 (PGA). Celui-ci fixe des objectifs ciblant diverses échelles géographiques et axes de travail.

L'estimation des stocks en présence est faite quant à elle via les stations du Réseau de Contrôle et de Surveillance d'une part (RCS) et via le Réseau Spécifique Anguille d'autre part (RSA).

En termes d'action concrète de libre circulation piscicole, l'article L214-17 du Code de l'environnement (2006) établit deux listes de cours d'eau. Les cours d'eau classés en Liste 1 correspondent aux cours d'eau constituant des réservoirs biologiques (construction de nouveaux ouvrages entravant la continuité interdite). Les cours d'eau classés Liste 2 quant à eux, doivent, dans un délai de 5 ans, être aménagés afin de respecter l'obligation de résultat en matière de circulation piscicole et de libre transit des sédiments (Code de l'Environnement 2006).

L'anguille dans le marais Audomarois

Ainsi malgré les mesures de conservation déjà mises en place (statut UICN, Plan de Gestion Anguille national et programme locaux) l'amélioration des connaissances et la sauvegarde de cette espèce emblématique de nos cours d'eau est prépondérante.

Dans le contexte de la cuvette Audomaroise, si l'espèce repère du contexte est le Brochet, l'Anguille est l'espèce cible. Les enjeux mis en évidence lors de la rédaction du PDPG 2.0 et listés dans le PLAGEPOMI pour cette espèce aux regards des pressions locales identifiées sont :

- Préserver l'Anguille lors des travaux de curage et de faucardage.
- Préserver les habitats restaurés.
- Restaurer et préserver les habitats de l'Anguille.

En effet, les anguilles, pouvant coloniser la plupart des milieux notamment les marais, sont présentes au sein de l'Audomarois. Un focus sur l'espèce avait toute sa place dans le projet FBMA (Focus Biodiversité Marais Audomarois) engagé début 2018.

Dans ce cadre un suivi de la migration des civelles et des populations d'Anguilles est réalisé sur plusieurs stations notamment en vue de caractériser :

- i. Le front de colonisation (l'endroit le plus en amont d'un cours d'eau où sont présentes les jeunes anguilles).
- ii. La cinétique migratoire (les dates des pics de migrations observés).
- iii. Les principales zones d'attractivités du marais (annexes).
- iv. Les points de blocage ou de ralentissement rencontrés (ouvrage, aménagement etc.).

Tout cela en vue de permettre la mise en place de préconisations de gestion auprès des différents acteurs. Pour remplir ces objectifs l'utilisation du dispositif « Flottang » a été choisi, car parfaitement adapté à l'étude des petites classes de taille particulièrement complexe à échantillonner en grand milieu.

Matériel et méthode

Choix du protocole

Afin de pouvoir affiner la connaissance sur les fronts de colonisation et les axes de migration de l'Anguille, la Fédération a mis en place un nouveau protocole au sein du marais. Celui-ci est inspiré du travail réalisé en 2014 par la Cellule Migrateurs Charente Seudre et en 2016 par la Fédération de pêche du Nord.

La méthode consiste à utiliser un engin de piégeage passif sélectif des anguillettes de moins de 12 cm. Ces engins sont nommés « Flottangs ». Cette méthode fut choisie dans notre cas afin de répondre aux exigences suivantes :

- Facilité de pose et de relève (avec deux opérateurs, ou même un seul).
- Méthode plus simple et moins coûteuse à mettre en œuvre qu'une pêche électrique.
- Engin sélectif d'une certaine classe de taille d'anguillettes.
- Permet de visualiser le front de colonisation de la migration et le calcul par Capture par Unité d'Effort (CPUE).
- Efficace dans un milieu profond.
- Permet de réaliser un suivi sur une période bien définie.

Cette approche est également particulièrement pertinente dans la configuration d'un milieu pauvre en habitats comme le Canal de Neuffossé et de l'Aa. En effet cet habitat artificiel peut être très attractif dans le cadre d'un milieu homogène ou chenalisé.

Ceci est malgré tout aussi bien un avantage qu'un inconvénient. Si des habitats plus attractifs sont présents à proximité, le dispositif peut l'être alors beaucoup moins. Ceci étant, les données ne pourront pas être traitées en termes d'abondance absolue mais en occurrence et en Capture par Unité d'Effort (CPUE). Ce protocole ne permet pas encore de réaliser des indices de densité. En général, il est surtout conçu pour avoir un signal de présence des anguilles inférieures à 12 cm.

Cette remarque doit être prise en compte lors du choix des stations à suivre. Cela permettra d'ailleurs une meilleure bancarisation des données et de considérer certains paramètres qui pourraient aider à l'interprétation. Il a été choisi d'effectuer un effort de capture, via la pose de 2 dispositifs par station, sur 72h. Deux campagnes de 4 mois consécutifs ont été menées en 2018 (du 03/04 au 14/06) et 2019 (du 01/04 au 25/7) afin d'établir des indicateurs de tendance.

Présentation de l'engin passif « Flottang »

Les flottangs sont des pièges passifs sélectifs qui permettent la capture d'individus de moins de 12cm. Ce protocole a été développé et est encore en cours de test par la Cellule Migrateurs Charente Seudre (EPTB Charente, Groupement Fédérations de pêche Poitou-Charentes et la CREA, A. Schaal 2014). Il fut également inspiré par des travaux australiens (Silbercheneider et al, 2000).

Il est constitué de 10 couches de géotextile synthétique (PVC) tridimensionnel superposées (géotextile MacMat®). Chaque couche mesure 40*40 cm de côté soit une surface de 0,16m².



Figure 6 : Gros plan sur la maille du géotextile et flottang vu de dessus.

Test d'engins benthiques

Sur certaines stations problématiques du point de vue du vandalisme (écluses, centre-ville...), il a été choisi de positionner des flottangs benthiques. Le dispositif est similaire au flottang classique si ce n'est qu'une tuile ou une brique a été utilisée pour le lester au fond du cours d'eau. Celui-ci se présente de la façon suivante : 2 couches de géotextile MacMat® pour la sélectivité du passage des anguillettes, 8 couches de géotextile en fibre de coco plus dense, une brique ou une tuile comme leste et enfin des colliers de serrage en plastique.



Mais ce test n'a pas été concluant car il manquait d'attractivité et malgré le fait que ces dispositifs soient disposés au fond, ceux-ci ont quand même fait l'objet de vandalisme à plusieurs reprises.

Confection des « Flottangs »

La méthode de confection a été entreprise après consultation des différents retours d'expérience à ce sujet. Les engins sont constitués de 10 couches de 40 x 40 cm de géotextile superposées. Ces couches ont été attachées entre elles à l'aide de quatre colliers de serrage autobloquants en plastique. Ensuite 4 flotteurs de portance suffisante sont disposés aux quatre coins de l'engin afin d'éviter toute décantation de l'engin due au colmatage ou au

courant. Une trentaine de flottangs peuvent être fabriqués lors d'une dizaine d'heures environ. Le coût estimé d'un flottang avec le matériel utilisé est d'environ 10 € l'unité.

Chaque dispositif est également équipé d'une étiquette explicative avec les coordonnées de la Fédération afin d'informer le grand public quant à la raison de leur présence ou permettre la récupération du matériel en cas de perte.



Figure 8 : Découpe et fabrication des flottangs

Avant utilisation dans le cadre du suivi, les flottangs ont été volontairement immergés 3 semaines afin d'augmenter leur attractivité vis-à-vis des anguilles (engins colonisés par les micro-algues).

Pose et relève des stations

Les flottangs sont posés dans le milieu et fixés à l'aide d'une corde et laissés 72h dans le milieu. La relève d'un flottang est effectuée à l'aide d'une époussette à cadre métallique (bord inférieur droit de 60 cm de large) de maille de 2 mm. Le flottang est ensuite vidé au-dessus d'un bac récepteur en plastique. Pour ce faire, l'opérateur secoue vigoureusement le dispositif en séparant les couches du géotextile dans le bac rempli d'eau afin de faire tomber tous les individus capturés. Les flottangs sont inspectés plusieurs fois pour être certain qu'aucune civelle / anguillette ne soit restée dans le dispositif.



Figure 9 : Pose, relève, mise en bac des Flottangs et biométrie.

Une fois les individus isolés dans le bac de stabulation, l'atelier biométrie peut-être mis en place. Pour permettre un meilleur confort lors des mesures et limiter le stress des individus, les anguilles sont anesthésiées avec une solution d'eugénol à 10%. Toutes les civelles et anguillettes capturées sont mesurées et pesées individuellement à l'aide d'un ichtyomètre. L'état sanitaire de chaque individu est relevé à l'aide de la codification SANDRE (code pathologie et code d'importance). Enfin, lorsque cela est possible, leur stade pigmentaire est noté à l'aide du guide de l'IFREMER (stades pigmentaires de la civelle *Anguilla anguilla* ; IFREMER).



Figure 10 : Individu en cours de pigmentation stade 6A4.

Une fois que toutes les données sont collectées, les sujets inventoriés sont placés dans un bac de réveil pour être ensuite remis dans leur milieu à quelques centaines de mètres de la station de capture.

Plan d'échantillonnage

Il a été choisi de placer deux flottangs par site. C'est un compromis entre la volonté d'avoir plusieurs répétitions par site et de palier à de potentiels problèmes techniques ainsi que la nécessité de mettre en place un nombre suffisant de sites pour prospecter un maillage suffisamment dense au sein du périmètre d'étude.

L'un des principaux objectifs de ce focus est l'identification de la dynamique de migration (cinétique migratoire) de l'espèce dès lors que celle-ci arrive au plus jeune stade dans le contexte cuvette Audomaroise. Pour ce faire, il a été décidé de sectoriser le secteur en 4 réseaux de suivi tels que :

- le Nord (situé à moins de 30km de l'exutoire à la mer au niveau de la ville de Gravelines et de l'ouvrage à la mer l'écluse 63 bis).
- le Sud (situé à plus de 30km de la mer et en prenant en compte les divers ouvrages du sud du marais).
- les Annexes (les annexes du marais et leurs entrées, le long de l'axe principal le Canal à Grand gabarit).
- les points de blocage en ciblant les ouvrages hydrauliques sur les axes canalisés (écluse du Haut-Pont, écluse des Flandres et l'écluse des Fontinettes).

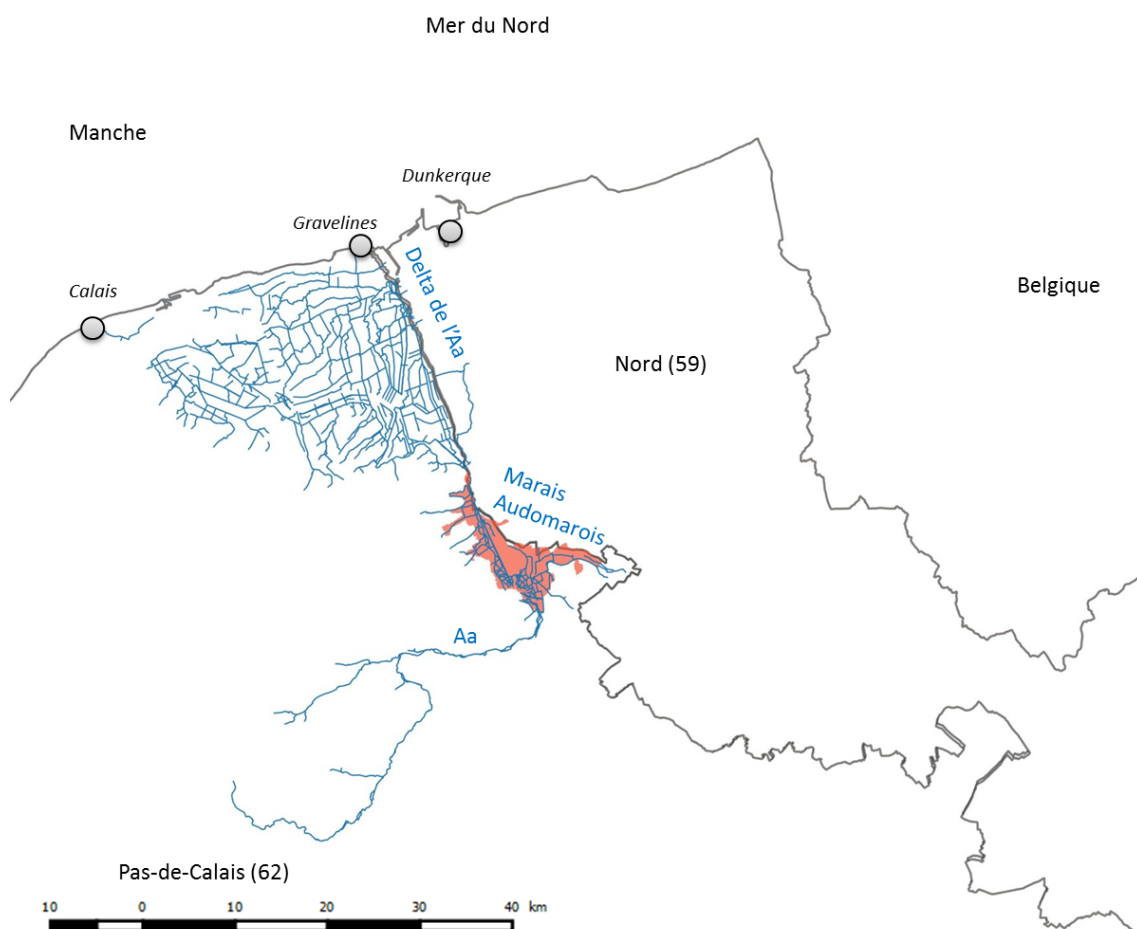
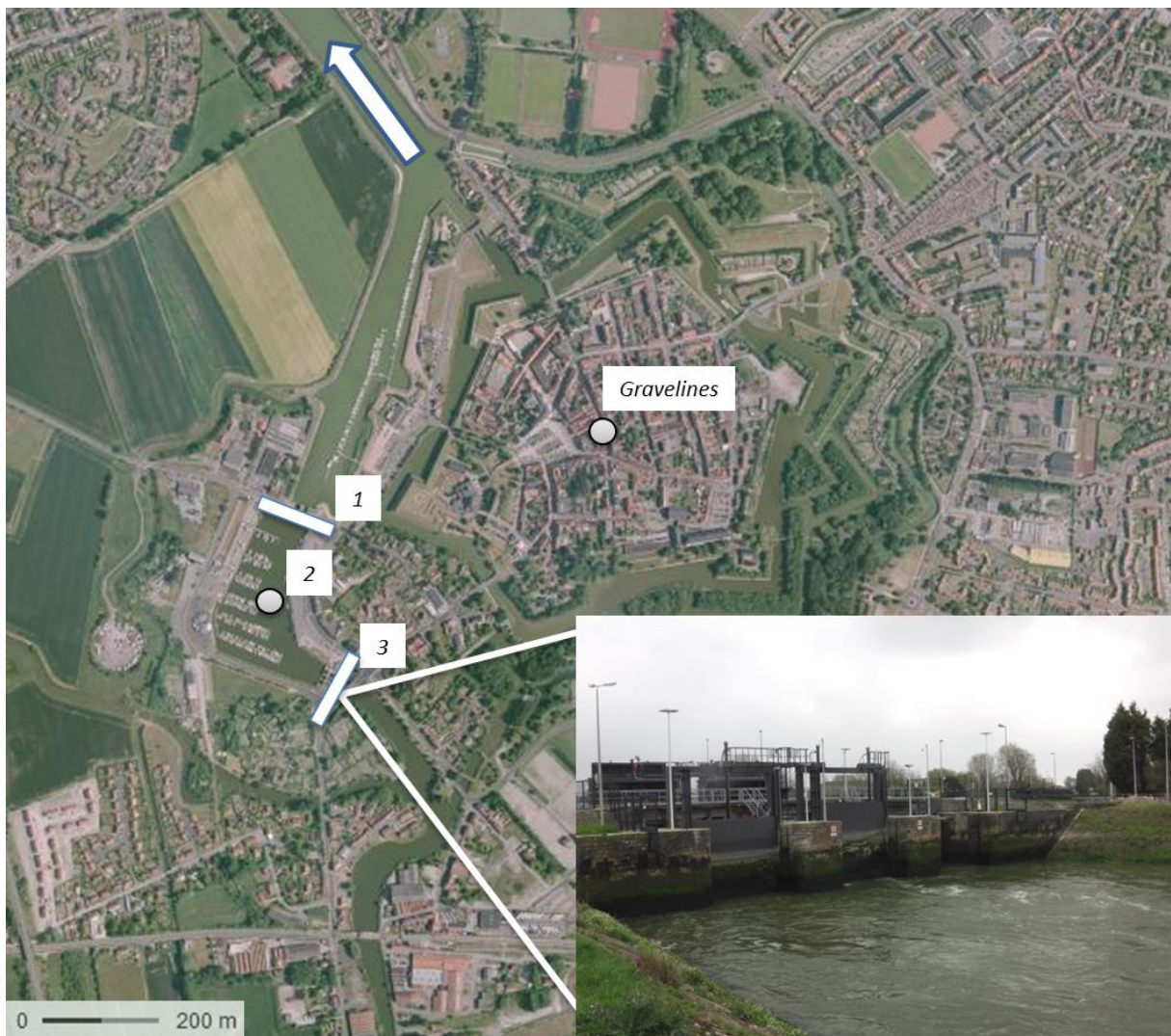


Figure 11 : Représentation schématique globale du bassin de l'Aa, du marais Audomarois et du Delta de l'Aa.

Présentation des ouvrages à la mer

Description générale

- L'écluse 63 ou l'écluse Vauban (Code ROE 25642) est implantée en aval du bassin Vauban constituant le bassin à flot. L'ouvrage a pour but d'assurer la continuité de l'évacuation des eaux et assurer la navigation entre la mer du Nord et le bassin Vauban via l'Aa canalisée. L'écluse est constituée de deux pertuis, dont un avec des portes busquées et l'autre par deux vantaux.
- L'écluse 63bis ou Saint Folquin (Code ROE 25641) est implantée en amont du bassin Vauban et sépare l'embouchure de l'Aa canalisée du bassin à flot. L'ouvrage est constitué de 3 pertuis de 6m dont un équipé de portes busquées et les deux autres de systèmes vannes levantes (Données issues de la présentation des écluses de Gravelines et de leur fonctionnement, Institut Intercommunal des Wateringues).



1 : Ecluse Vauban ou 63 2 : Bassin Vauban 3 : Ecluse Saint-Folquin ou 63bis

Figure 12 : Localisation des deux premiers ouvrages à la mer sur l'axe Aa canalisée sur la ville de Gravelines (données Géoportail et VNF).

L'écluse 63bis fait l'objet de manœuvres afin de permettre la libre circulation des espèces. Leur passage entre le bassin Vauban et l'Aa canalisée est possible uniquement à la Pointe lorsque les vitesses d'écoulement sont inférieures à 0,5 m/s.

Ainsi afin de favoriser le passage des espèces piscicoles les manœuvres sont les suivantes :

- Ouvrir au maximum les vannes (côté aval) des pertuis Gravelines et central dès lors que le niveau du Bassin Vauban est inférieur au niveau du Niveau Normal de Navigation (NNN) de l'Aa canalisée (– 30 cm au flot).
- Refermer les vannes (côté aval) des pertuis Gravelines et central après 15 minutes.

Ces manœuvres destinées à permettre la continuité écologique sont automatisées. De plus des travaux d'aménagement sont en cours lors de la rédaction du présent rapport et devraient permettre des

dispositions supplémentaires pour améliorer le recrutement en migration passive et active des civelles et anguillettes (fausses éclusées).

Présentation des ouvrages situés sur le marais



Figure 13 : Prises de vues des ouvrages situés dans l'Audomarois. De gauche à droite : l'écluse de Saint-Bertin, l'écluse des Fontinettes, L'écluse des Flandres et l'écluse du Haut-Pont.

Sur le territoire du marais Audomarois, 4 ouvrages majeurs sont recensés.

Deux ouvrages sont situés sur l'axe du Canal de Neuffossé (difffluence localisée en amont de l'écluse des Flandres sur l'axe Grand gabarit) qui traverse les commune d'Arques et de Saint-Omer de part-en-part en passant devant la gare et qui rejoint le Canal à Grand gabarit au niveau du lieu-dit le Doulac. Il s'agit de l'écluse de Saint-Bertin (Code ROE 33066) et de l'écluse du Haut-Pont (Code ROE 33083) (Figure 13). Cet axe n'est pas navigable et de ce fait les écluses ne sont plus manœuvrées sauf rares cas particuliers (comme lors d'un cortège nautique, animation festive annuelle proposée par la commune).

Les deux autres ouvrages sont d'un gabarit bien plus imposant et se situent sur l'axe du Canal à Grand gabarit. Le canal passe également de part en part du Sud vers le Nord sur les communes d'Arques et de Saint Omer. La voie navigable (section moyenne) est de 55m de large, et permet le passage d'un nombre important de péniches de grand tonnage acheminant diverses marchandises notamment en direction du port de Dunkerque et de Gravelines. Le bief est ainsi entièrement artificiel et particulièrement court (1,9km). Il s'agit des écluses des Flandres et des Fontinettes. L'ouvrage des Fontinettes a été construit en 1962 et mis en service en 1967

pour remplacer un ascenseur à bateau (classé aux monuments historiques).

Les caractéristiques de cet ouvrage remarquable sont les suivantes (données VNF):

- longueur utile : 144,6 m pour le grand sas
- largeur utile : 12 m
- volume : 25 000 m³
- 45 m de long
- hauteur de chute : 13,13 m
- temps de franchissement : 25min

Si l'écluse des Flandres est relativement classique de par son fonctionnement et sa gestion, ce n'est pas le cas de l'ouvrage des Fontinettes, qui reste somme toute assez particulier.

La vidange du sas de l'écluse des Fontinettes a été conçue de façon à ce que 2/3 du volume d'eau du sasement soit dérivé et réceptionné dans l'étang de Batavia (bassin récepteur artificiel situé au Sud de l'ouvrage). Le tiers restant est restitué dans le bief inférieur (correspondant à 4,5 m de hauteur d'eau).

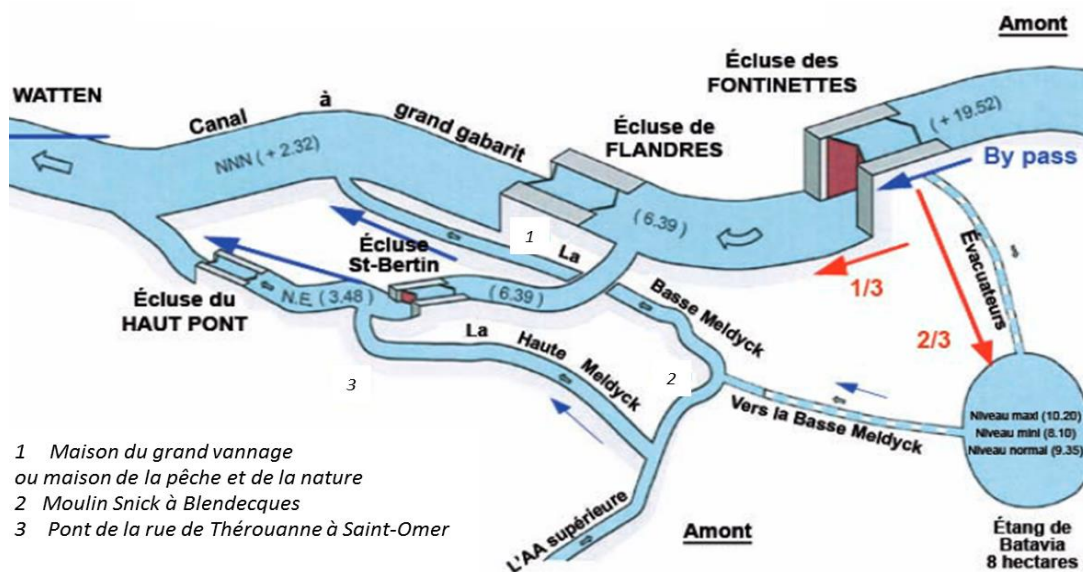


Figure 14 : Schéma du fonctionnement des divers ouvrages de l'Audomarois (VNF).

Le trop-plein de l'étang de Batavia est une surverse dans la rivière de la Basse Meldyck.



Figure 15 : Export des 2/3 de l'eau issue du sasement de l'écluse des Fontinettes dans le plan d'eau de Batavia (à gauche) et surverse entre le canal de Neuffossé et la Basse Meldyck au niveau de la maison du Grand Vannage (à droite).

Présentation des stations

Une sélection de 14 stations a été retenue en 2018 afin d'être représentatif quant à la superficie du marais Audomarois, de ses différents milieux, de ces ouvrages et de l'axe de migration principal.

4 ouvrages (écluses) se trouvent donc dans le secteur d'étude. Il a ainsi été choisi de positionner une station à l'amont et une à l'aval de chaque ouvrage. 3 stations sur l'axe Aa canalisée tous les 5 km en partant de l'écluse des Flandres. Enfin une station sur la Houlle (un bras annexe représentatif du marais Ouest) et une sur le Grand Leeck (un bras annexe représentatif du marais Est) ont été placées.

Une sélection de 18 stations a été retenue en 2019. Des stations sont ajoutées lors de la seconde année de suivi en vue de répondre à des interrogations soulevées lors de la première année et compléter celle-ci. Il s'agit des stations situées à l'entrée des annexes, à l'aval direct des portes de l'écluse du Haut Pont, de la rive gauche de la station et de la suppression des stations de l'écluse Saint-Bertin.

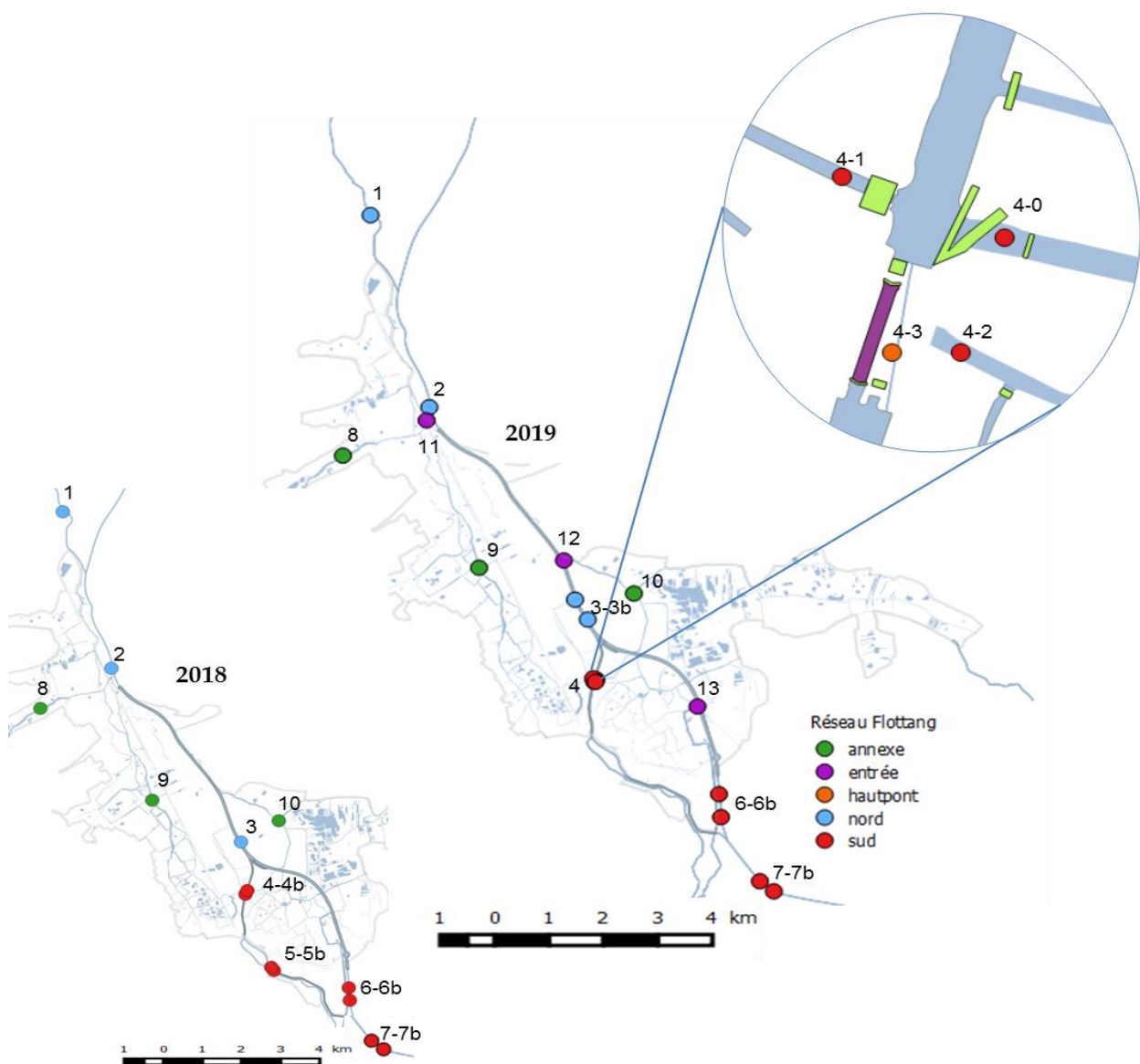


Figure 16 : Zoom sur le marais Audomarois. Localisation des stations en 2018 (14) et en 2019 (18).

ID	NOM	ID	NOM	ID	NOM
1	Ile de Watten	4-3	Aval Hautpont immédiat	8	Annexe Houlle
2	Nord de Watten	4-2	Aval Hautpont 2	9	Annexe Grand Large
3	DépôtVNF	4-3	Aval Hautpont immédiat	10	Annexe Grand Leeck
3b	DépôtVNF rive gauche	5	Aval Saint-Bertin	11	Entrée Houlle
4	Aval Hautpont	5b	Amont Saint-Bertin	12	Entrée Grand Leeck
4b	Amont Hautpont	6	Aval Flandres	13	Entrée Basse Meldick
4-0	Aval Hautpont 0 = 4	6b	Amont Flandres		
4-1	Aval Hautpont 1	7	Amont Fontinettes		
4-2	Aval Hautpont 2	7b	Aval Fontinettes		

Tableau 1 : Nom et codification des stations.

Analyse des résultats

Fiche station

Un descriptif de la station est réalisé lors de la première pose. Des commentaires sont ensuite ajoutés dans le cas de changement dans l'environnement proche des flottangs ou dans le cas de perte ou de vandalisme.

En effet plusieurs pertes de flottangs ont eu lieu dans les secteurs très fréquentés (secteur du Haut-Pont, de Saint-Bertin et aux abords des chemins de halage des écluses).

Mesures physico-chimiques

Pour chaque relève, des mesures physico-chimiques *in situ* sont réalisées. Lors de certaines semaines, les mesures n'ont pas été réalisées pour causes de défaillance du matériel ou encore car l'appareil de mesure était utilisé lors d'autres campagnes (pêches électriques etc.) entrepris par la Fédération aux mêmes périodes.

L'appareil de mesure est une sonde portable Multiparamètres Hach Lange. Les données mesurées sont les suivantes :

- Température de l'eau (en °C)
- Conductivité (en $\mu\text{S}/\text{Cm}$)
- [O₂] dissous, (en mg/l)
- Saturation en O₂, (en%)
- pH

Sondes thermiques

3 sondes Hobo Ware pro ont été positionnées dans des zones stratégiques afin de suivre la température de l'eau tout au long des 2 campagnes :

- Au niveau du Canal à Grand gabarit et la confluence avec le Canal de Neuffossé (suivi thermique de la masse d'eau canalisée).
- Au niveau de l'embarcadère de la commune de Salperwick (suivi masse d'eau marais Ouest).

- Au niveau d'un ponton situé au milieu du wateringue Moreleek (suivi marais Est).

Ces 3 sondes ont permis le suivi de la température pour différents volets du projet FBMA et ont donc été en place lors des deux ans.

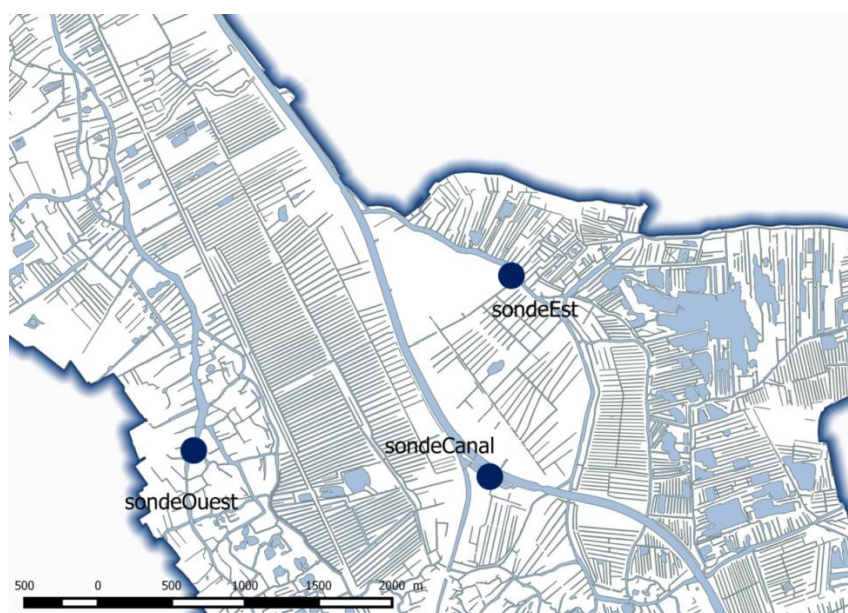


Figure 17 : Localisations des 3 sondes thermiques Hobo Ware.

Analyse des variables

Les variables obtenues seront traitées et analysées avec le logiciel R version 3.6.2. Les packages utilisés lors des analyses sont les packages *vegan*, *ggplot2* et *ade4*.

Comparaison entre deux médianes

Dans notre cas, la structuration des données ne permettant pas l'utilisation des tests classiques de Student. En effet, les conditions de normalité et d'homoscédasticité n'étant pas remplies, c'est le test non-paramétrique de Mann-Whitney-Wilcoxon qui est alors utilisé pour comparer les médianes des deux échantillons. Le seuil de confiance couramment admis étant de 5%, cela signifie que si la p-value du test est inférieure à 0,05, les deux échantillons sont significativement différents.

Comparaisons entre plusieurs médianes

Les conditions de normalité et d'homoscédasticité n'étant également pas remplies dans le cas de comparaisons de plus de deux échantillons, c'est le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis qui est utilisé. Un test post hoc est ensuite utilisé afin de déterminer quelles sont les médianes qui diffèrent deux à deux (*pairwise.wilcox.test*). Le seuil de confiance couramment admis étant de 5%, cela signifie que si la p-value du test est inférieure à 0,05, les deux échantillons sont significativement différents.

Commentaires

Lorsque des barres d'erreur sont représentées, celles-ci correspondent à l'erreur standard calculée comme suivant : $se = \sigma/\sqrt{n}$ avec σ l'écart-type de la variable et n le nombre d'observations.

Résultats

Approche globale

647 anguilles ont été dénombrées au total durant toute la durée du suivi (167 en 2018 et 480 en 2019 dont 249 uniquement pour la station Aval Hautpont immédiat (4-3)).

Captures accessoires

Diverses espèces pouvaient fréquemment être capturées dans les flottangs en plus de l'espèce cible Anguille. Il a pu s'agir par exemple de :

- nombreux invertébrés (*Gammarus*, Mollusques, *Baetis*, etc.).
- plusieurs espèces piscicoles de petites tailles tels que : Gardon, Tanche, Epinoche et même une Lamproie fluviatile en dévalaison. Des œufs issues de la fraie de cyprinidés ont pu également être constatés sur les flottangs .
- Crabes chinois (*Eriocheir sinensis*) et d'écrevisses américaines (*Orconectes limosus*). Ces deux dernières étant des espèces exotiques envahissantes, elles ont été détruites sur place.



Figure 18 : Exemple du contenu d'un flottang et de plusieurs captures accessoires (de gauche à droite : anguilletes capturées à la station Hautpont aval immédiat – Crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) - Ecrevisse américaine (*Orconectes limosus*) – Lamproie fluviatile dernier stade de métamorphose (*Lampetra fluviatilis*)).

Sélectivité des engins

La sélectivité des engins de piégeage est validée via l'étude des classes de taille, celles-ci étant effectivement majoritairement comprises entre 70 et 150mm. En effet, les classes de taille dominantes sont comprises entre 80mm et 130mm, ce qui représente 71% des individus.

Globalement, la taille maximale relevée est de 422mm, la taille minimum de 62mm avec une moyenne de 114mm et une médiane de 111mm.

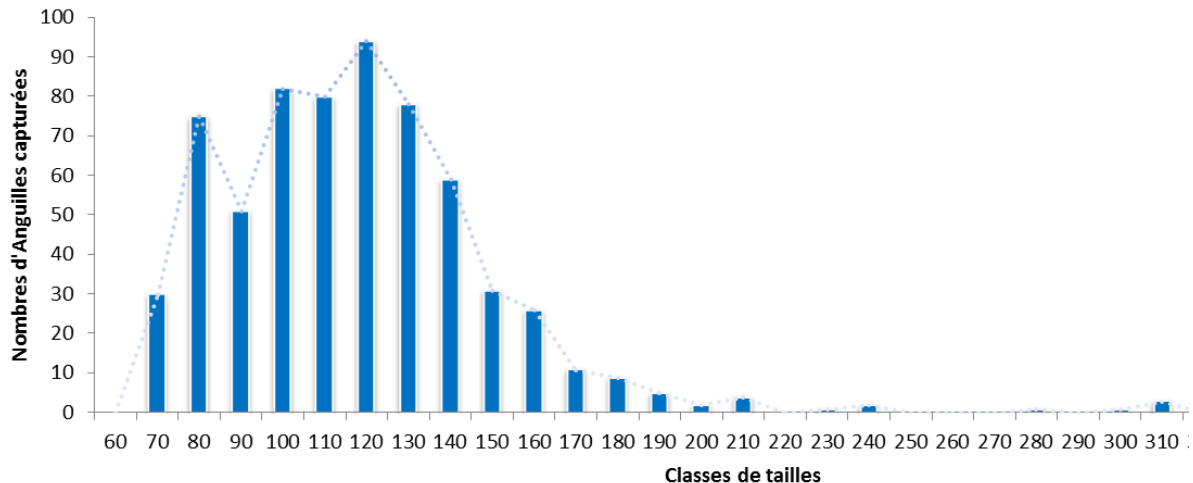


Figure 19 : Histogrammes des classes de taille (en mm) obtenues sur l'ensemble du suivi (2018-2019).

Codes pathologiques

Les résultats sont sensiblement identiques entre les deux années. 91% des individus capturés en 2018 et 96% en 2019 sont sains. Une telle proportion d'individus sans lésion est une information intéressante (figure 20).

Les principales pathologies rencontrées sont les hémorragies en 2018 et les parasites (kystes branchiaux à Myxosporidies) ou les points blancs (*Ichthyophthirius multifiliis*) en 2019, somme toute en proportions assez faibles. Pour les kystes, ceux-ci semblent être

omniprésents dans les milieux lenticules et avec un optimum thermique compris entre 16 et 20°C (Elie et Girard, 2014). Cela peut être corrélé avec les fortes chaleurs observées lors des étés 2018 et 2019 ayant fortement réchauffé les eaux plus lentes du Canal à Grand gabarit.

Il est à noter que la majeure partie des lésions ont été retrouvées sur des sujets capturés principalement sur les stations situées au Nord, « ile de watten-1 » et « sud watten-2 ».

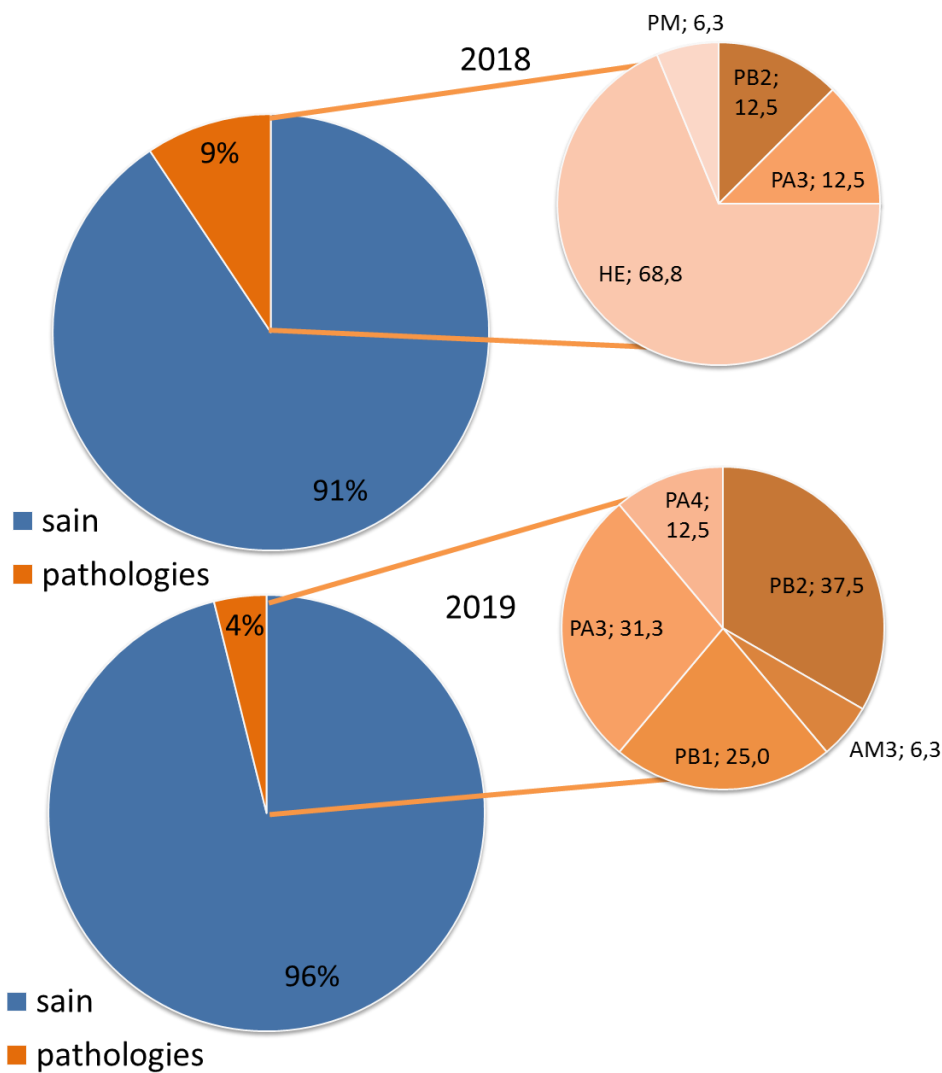


Figure 20 : Résultats globaux des pathologies rencontrées lors des deux ans de suivi flottant (codification selon « Grilles de codification et de quantification des anomalies et parasites visibles à l'œil nu »).

Stades pigmentaires

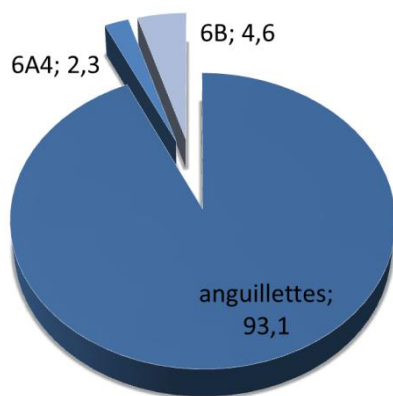


Figure 21 : Proportion des divers stades pigmentaires observés lors de l'étude.

Il a été possible lors du suivi de relever les stades pigmentaires des sujets (à l'aide du guide : « stades pigmentaires de la civelle *Anguilla anguilla* »; IFREMER). Néanmoins le site d'étude étant situé en moyenne à 30km de la zone estuarienne, les jeunes anguilles pigmentées dominent très largement les proportions mesurées. En effet, plus de 93% des individus sont totalement pigmentés. Seuls 2,3% de stade 6A4 et 4,6% de 6B ont pu être dénombrés.

Majoritairement les deux seuls autres stades observés (6A4 et 6B) ont été trouvés sur les deux stations les plus au Nord (« ile de watten-1 » et « sud watten-2 »).

C'était un résultat attendu au regard de la bibliographie et de la distance des stations à la mer (les jeunes stades pouvant très rapidement se pigmenter après leurs passages en eau douce).



Figure 22 : Illustrations d'individus capturés à divers stades pigmentaires (1-Stade VIA4, la partie antérieure est pigmentée à l'exclusion de la zone ventrale ; 2 et 3-Stade VIB la pigmentation dorsale est généralisée ; 4 et 5-Stade anguilllette/Anguille jaune intégralement pigmentée).

Métriques descriptives globales



Figure 23 : Histogramme représentant les occurrences, tailles moyennes et CPUE moyenne par mois pour les deux campagnes (barres d'erreur = erreur standard).

L'évolution de l'occurrence augmente au cours de la saison de suivi. Celle-ci passe de 0,11 au mois d'avril à 0,57 au mois de juillet en 2018 et de 0,16 à 0,54 pour 2019. Elle est jugée significativement différente entre avril/juin et mai/juillet mais pas entre juin/juillet et avril/mai (*pairwise wilcoxtest* : *avril/juin* $p < 0,05$; *mai/juillet* $p < 0,05$).

Les tailles moyennes mensuelles quant à elles sont toutes jugées non significativement différentes entre elles (*Kruskaltest* $p = 0,08$). Même si des disparités peuvent apparaître entre stations, globalement la taille ne diffère pas au cours de la saison.

Les Captures Par Unité d'Effort (capture moyenne/flottang/72h d'effort d'échantillonnage) permettent clairement d'identifier non pas une augmentation graduelle au cours de la saison mais un pic net de captures en juin/juillet. Les jeux de données sont jugés non significativement différents entre avril et mai et entre juin et juillet (*pairwise wilcoxtest* *avril/mai* $p = 0,28$; *juin/juillet* $p = 0,18$). Mais ils sont clairement différents entre les groupes avril et mai face à juin et juillet (*pairwise pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour tous).

Variable abiotique considérée

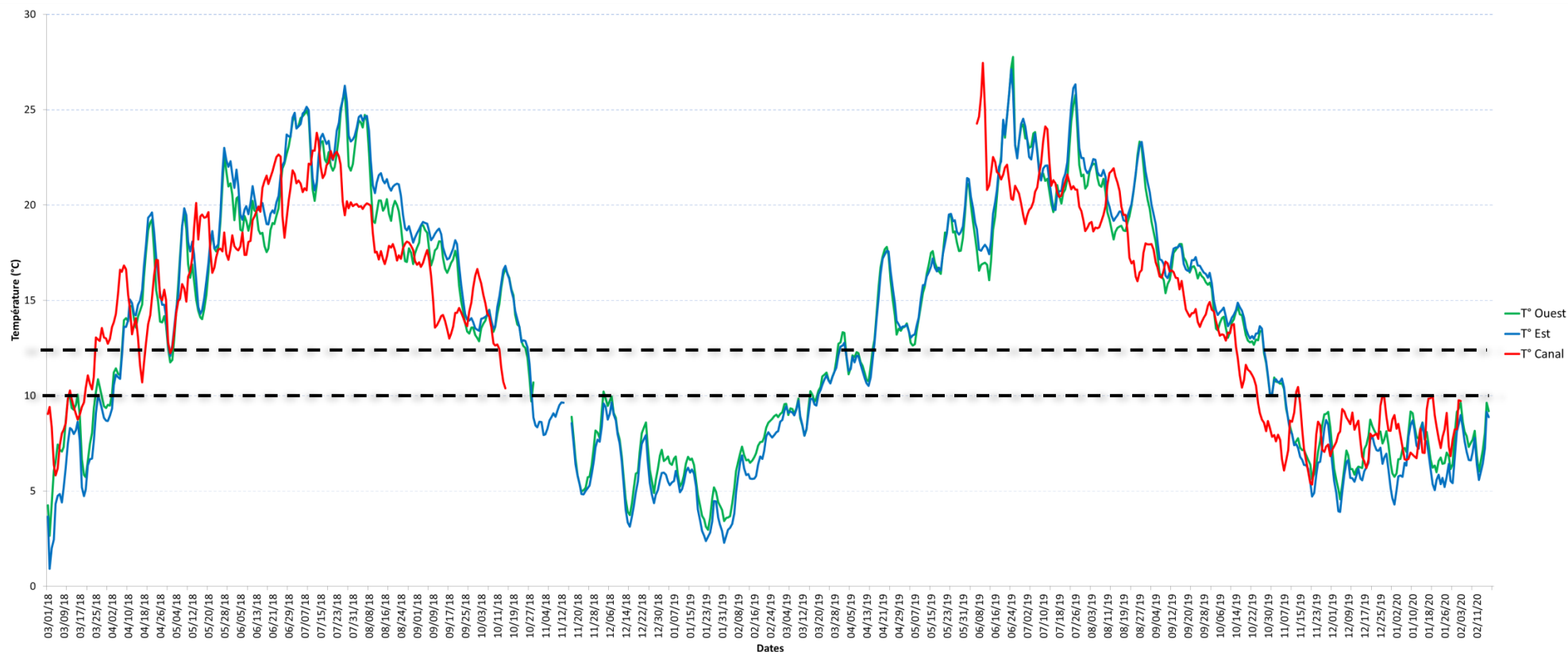


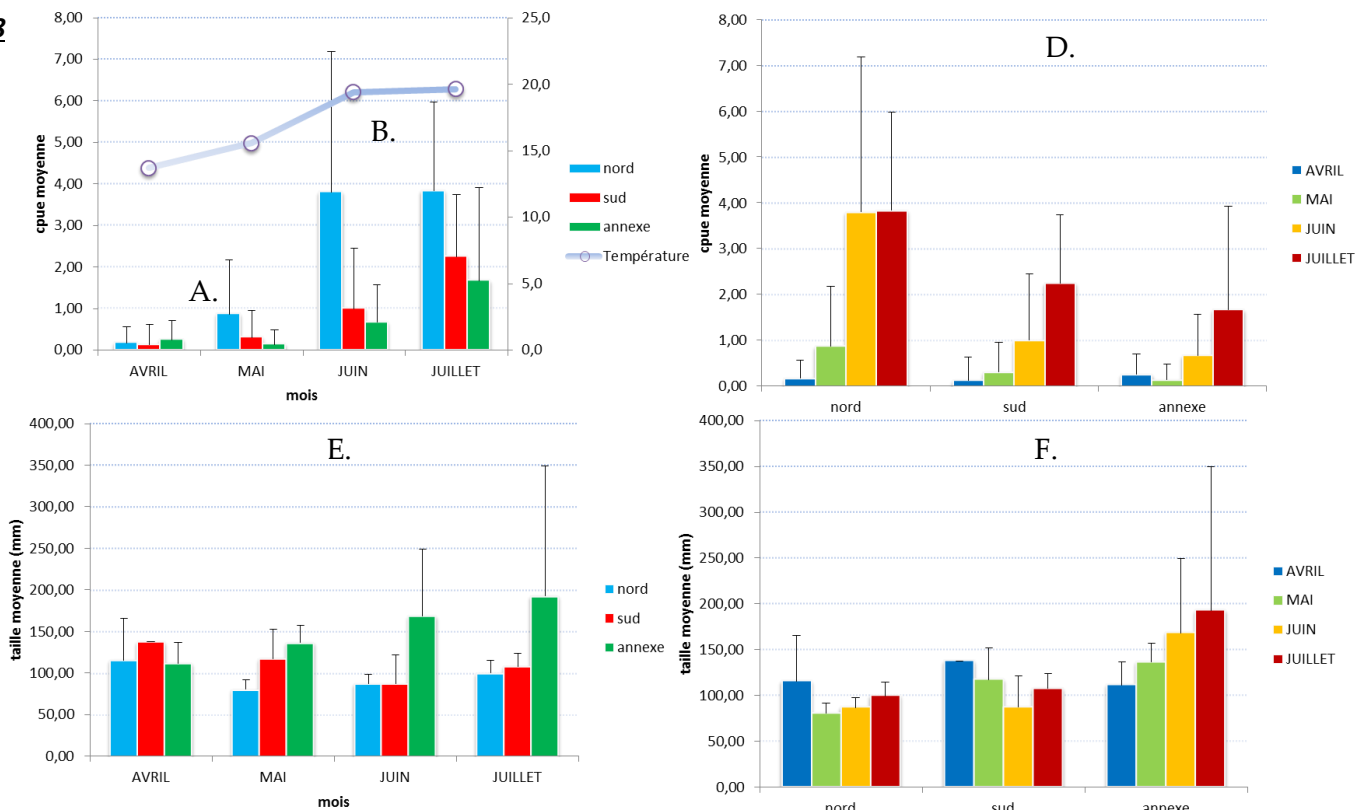
Figure 24 : Suivi de la donnée thermique dans le marais Audomarois (2018-2019).

La seule variable abiotique qui fut considérée lors du suivi est la température puisque les débits et la hauteur d'eau sont gérés artificiellement sur le Canal et restent très homogènes tout au long de l'année (la rupture de la courbe du Canal correspond au vandalisme d'une des sondes et donc à la perte des données associées). Globalement aucune tendance ne semble se dégager entre les données flottang et les données températures. Néanmoins on remarque que la température du Canal a tendance à se réchauffer plus rapidement que les annexes du marais. De plus les gammes d'optimum thermique (10-12°C) permettant l'activité de nage active chez les jeunes anguilles (balisées en pointillés noirs) correspondent aux périodes fin-mars 2018-2019. Les arrivées massives dans le marais étant relevées fin-mai, il est probable que fin-mars corresponde au début de la phase de migration active en eau douce après le passage de l'estuaire de Gravelines.

Approche par réseau

Comparatif mensuel

2018



2019

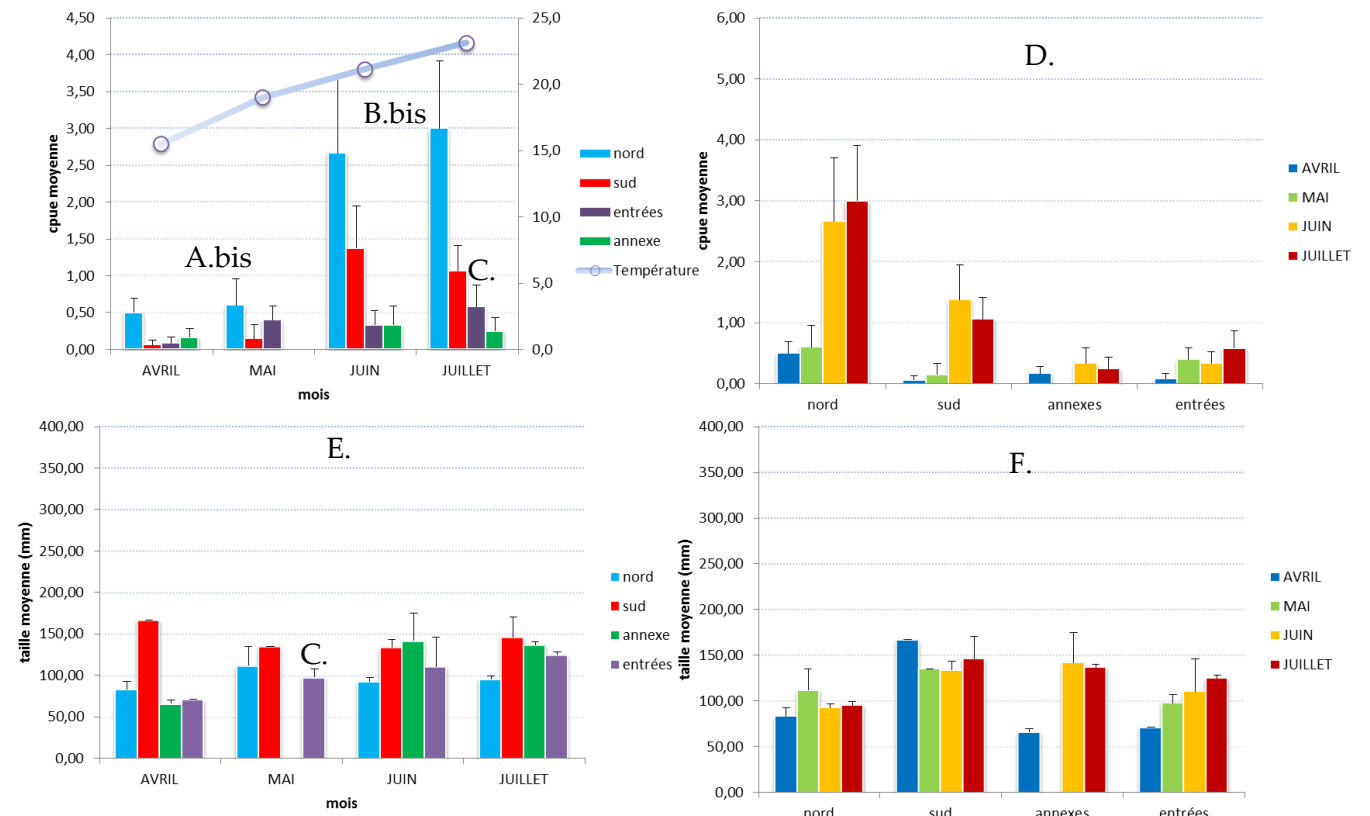


Figure 25 : Analyses des CPUE moyennes et des tailles moyennes par mois et par réseau (Nord, Sud, Annexe et Entrée) pour les campagnes 2018 et 2019. Présentations structurées par mois à gauche et par réseau à droite (barres d'erreur = erreur standard).

Si on observe à présent les résultats obtenus par l'approche réseau, il est possible de mettre en avant plusieurs tendances.

- A. Aucune différence n'est relevée entre les 3 réseaux en avril (*Kruskaltest* $p > 0,6$). Mais au mois de mai, les stations du réseau Nord se démarquent des deux autres (*pairwise wilcoxtest nord/sud* $p < 0,05$; *nord/annexe* $p < 0,05$). En 2019 (A.bis), les tendances sont les mêmes.
- B. Les CPUE moyennes sont jugées significativement différentes entre les 3 réseaux Nord, Sud et Annexe en juin (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour tous). Ce n'est plus le cas en juillet. Les anguilles ont à cette période vraisemblablement colonisé l'ensemble du réseau flottang. De part la forte disparité inter-station résultent des différences non-significatives en juillet entre les 3 réseaux (*pairwise wilcoxtest* $p > 0,10$ pour tous en 2018). Les résultats sont plus disparates en 2019 qu'en 2018 (B.bis). En effet, au mois de juin et également de juillet, les groupes Nord, Sud et Annexes/Entrées sont similaires (*pairwise wilcoxtest annexes/entrées* $p = 0,48$) sont jugés différents (*pairwise wilcoxtest nord/sud* $p < 0,05$; *sud/annexes* $p < 0,05$; *nord/annexes* $p < 0,05$).
- C. Le déploiement du réseau Entrée fut d'une réussite mitigée, les résultats en termes de CPUE moyennes et de tailles moyennes sont très similaires avec le réseau Annexes. La seule divergence forte observée se trouve être avec la station Entrée sur la Houle (cf approche stationnel).
- D. L'observation des CPUE présentées par groupe/mois permet de mieux visualiser le pic important et soudain sur les stations Nord et graduel sur les stations Sud et Annexes. Hormis avril/mai pour les 3 réseaux et juin/juillet pour le Nord (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,10$), les autres jeux de données sont significativement différents au seuil admis en 2018. En 2019, des pics similaires sont indentifiés mais la tendance est différente puisque les CPUE moyennes sont significativement différentes par station uniquement pour les groupements avril/mai et juin/juillet.
- E. En 2019 et en 2018, les tailles moyennes ne sont pas significativement différentes en avril (*pairwise wilcoxtest* $p > 0,4$ pour tous). Mais elles sont jugées différentes entre Nord/Sud pour mai, juin et juillet (*pairwise wilcoxtest sud/nord* $p < 0,05$ pour le couple en mai, juin et juillet) et en mai/juin entre les Annexes et le Nord. (*pairwise wilcoxtest mai nord/annexe* $p < 0,05$; *juin nord/annexe* $p < 0,05$). Pour le réseau Entrée déployé en 2019, celui-ci ne se distingue pas des autres. Mais ce fait est lié à l'hétérogénéité des tailles retrouvées sur les Entrées (Entrée Houle similaire au réseau Nord avec des plus petites tailles et les autres plus grandes tailles cf approche stationnelle).
- F. Si des différences apparaissent entre les réseaux, ce n'est pas le cas entre les mois. La taille moyenne n'est pas significativement différente au cours de la saison au sein du même réseau.
- G. Le cas de la station du Haut-Pont est remarquable en ce sens qu'elle doit être décrite à part. Tant ses valeurs sont différentes de l'ensemble des autres stations et faussent ainsi le comparatif du réseau Sud pour 2018 et 2019.

Ainsi, la CPUE moyenne croît au cours de la saison et se démarque de part ses valeurs élevées (pour rappel, max toutes stations = 3,8 et max Haut Pont =11,3 en juillet). Les tailles ne sont quand à elle pas significativement différentes entre les mois et ne sont donc pas représentées ici (*Kruskaltest* $p>0,2$).

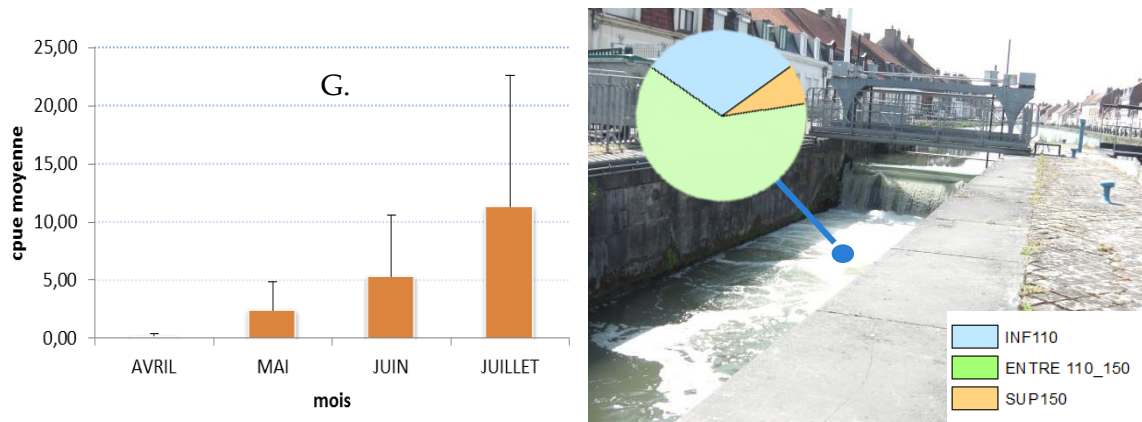


Figure 26 : CPUE moyenne (à gauche) pour la station Hautpont aval immédiat placée en 2019 et proportion des classes de taille mesurées avec une représentation de la station (barre d'erreur = erreur standard).

Comparatif hebdomadaire

La présentation des captures par relève est très utile afin de remplir les objectifs d'identification de la cinétique migratoire. Les captures sont présentées encore une fois regroupées par réseau afin de permettre une meilleure lisibilité des résultats (Figure 27).

- Lors de l'année 2018, la première arrivée remarquable de jeunes anguilles a lieu dès le 07/05/2018 sur les stations du réseau Nord et Sud à la fois, ce qui sous-entend un déplacement rapide du flux en début de saison. Deux grands pics sont ensuite identifiés : début mai (entre le 01/06/2018 et le 14/06/2018) et début juillet (autour du 05/07/2018). Si les arrivées dans le réseau Annexe ne semblent pas suivre une tendance particulière, les stations du réseau Sud montrent un pic de capture en général 2 semaines après l'apparition d'un pic de capture sur le réseau Nord.

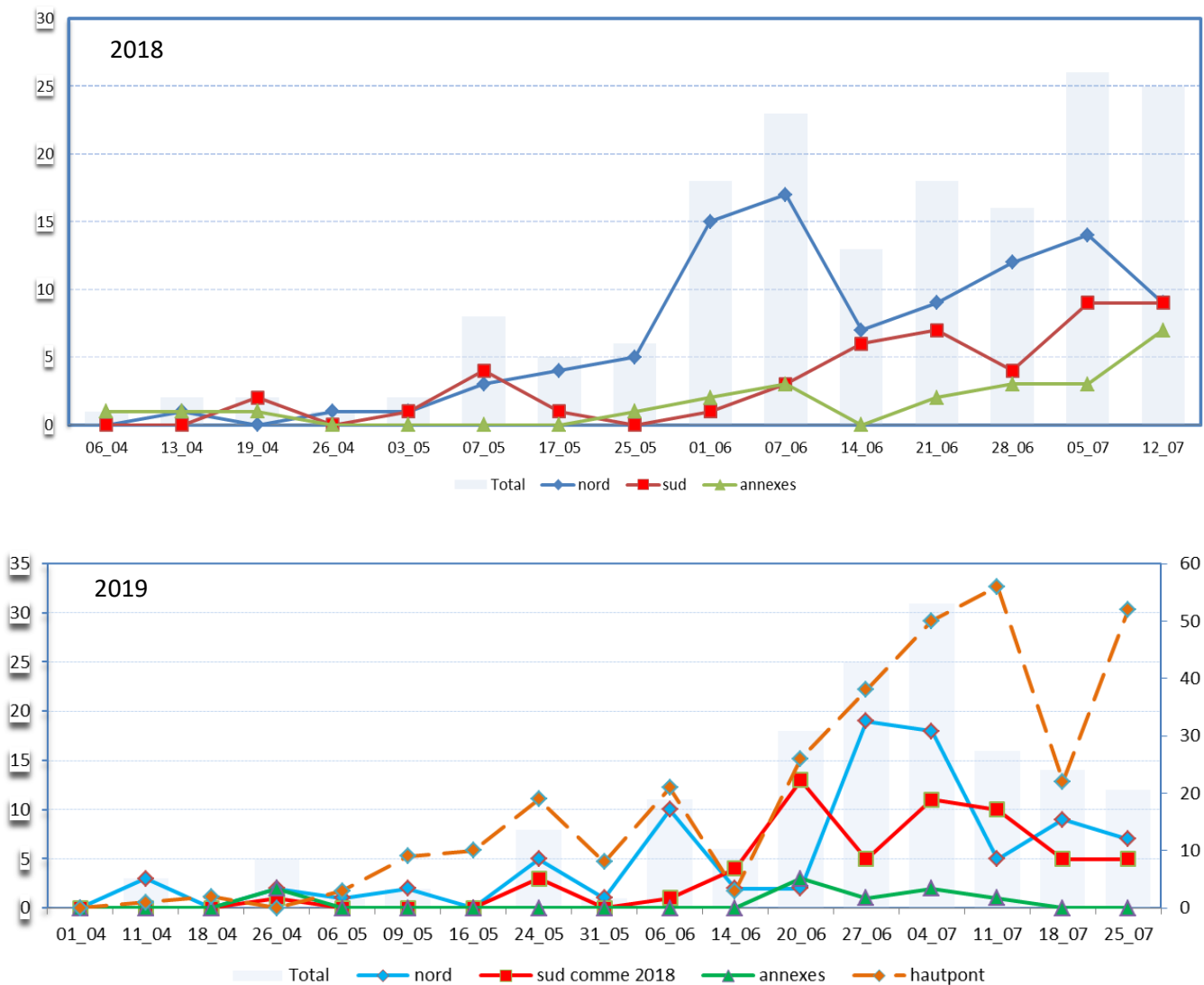


Figure 27 : Nombre d'anguilles capturées par relève (72h) par réseau Nord, Sud et Annexes pour 2018 et 2019. La station du Hautpont aval immédiat est présentée en axe secondaire en 2019.

- Lors de l'année 2019, des tendances similaires à l'année 2018 peuvent être listées telles que :
 - l'identification des 2 pics migratoires début juin et début juillet.
 - une arrivée des premières captures conjointe entre le Nord et le Sud mais plus tard le 24/05/2019
 - un pic de captures au Sud en général 2 semaines après l'apparition d'un pic de captures sur le réseau Nord et l'absence de réelles tendances sur le réseau Annexes.
- En revanche, si les pics de captures sont bien décalés dans le temps au Sud et au niveau du Hautpont aval immédiat, ce n'est pas le cas pour le réseau Nord. Au contraire, les pics de captures sont très proches sur les stations appartenant aux réseaux Nord pour le 24/05/2019 et le 06/06/2019 puis croît jusqu'à début juillet.

Approche stationnelle

CPUE moyenne par station

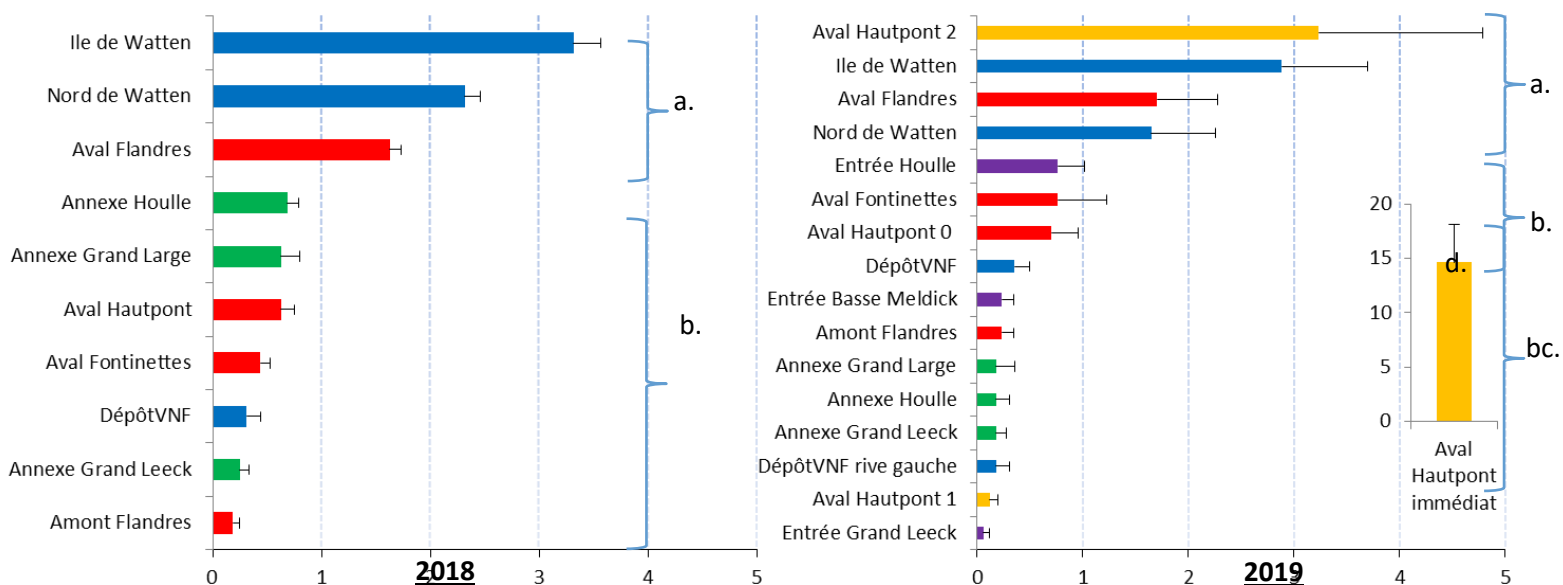


Figure 28 : Captures par Unité d'Effort moyenne par station en 2018 et 2019 (barre d'erreur = erreur standard). Avec en bleu les stations du réseau Nord, rouge Sud, vert Annexes, orange Hautpont et violet Entrée.

Classer les stations par ordre croissant de CPUE moyenne permet de définir les plus attractives ou fonctionnelles lors du suivi. C'est sans surprise les stations situées les plus au Nord et proches de la mer qui présentent les chiffres les plus importants de captures mais aussi l'aval immédiat de l'écluse des Flandres et l'aval du Hautpont (phénomène d'accumulation).

En 2018, Ile de Watten, Nord de Watten et Aval Flandres sont jugées significativement différentes des autres (*pairwise wilcoxon test* $p < 0,05$) mais sont semblables entre elles (*pairwise wilcoxon test* $p > 0,05$). Du tableau de significativité résultent deux groupes statistiquement comparables (nommés a. et b.).

En 2019, 4 groupes de significativité se démarquent (nommé a, b, bc et d). Avec :

- une CPUE moyenne très importante pour Aval Hautpont immédiat (d.).
- une CPUE importante pour aval Hautpont 2, Ile de Watten, aval Flandres, Nord de Watten (a.).
- une CPUE moyenne pour Entrée Houlle, Aval Fontinettes, aval Hautpont (b.).
- une CPUE faible pour toutes les autres stations (bc.).

Tailles moyennes par station

En 2018, les anguilles capturées sont en moyenne significativement plus petites sur les stations du réseau Nord (Ile de Watten, Nord de Watten, dépôtVNF ; médiane 86mm ± 65) et sur la station Flandres aval (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour chaque couples citées). Les stations aval Hautpont, aval Flandres et aval Fontinettes (médiane 106mm ± 42) présentent significativement des classes de taille plus grandes que les stations citées précédemment (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour chaque couples citées). Il est à noter que amont Flandres n'est pas jugée différente de aval Flandres (*pairwise wilcox test* $p > 0,3$). Enfin, les classes de taille mesurées dans le réseau Annexes (médiane 131 mm ± 291) sont encore significativement plus grandes que les autres.

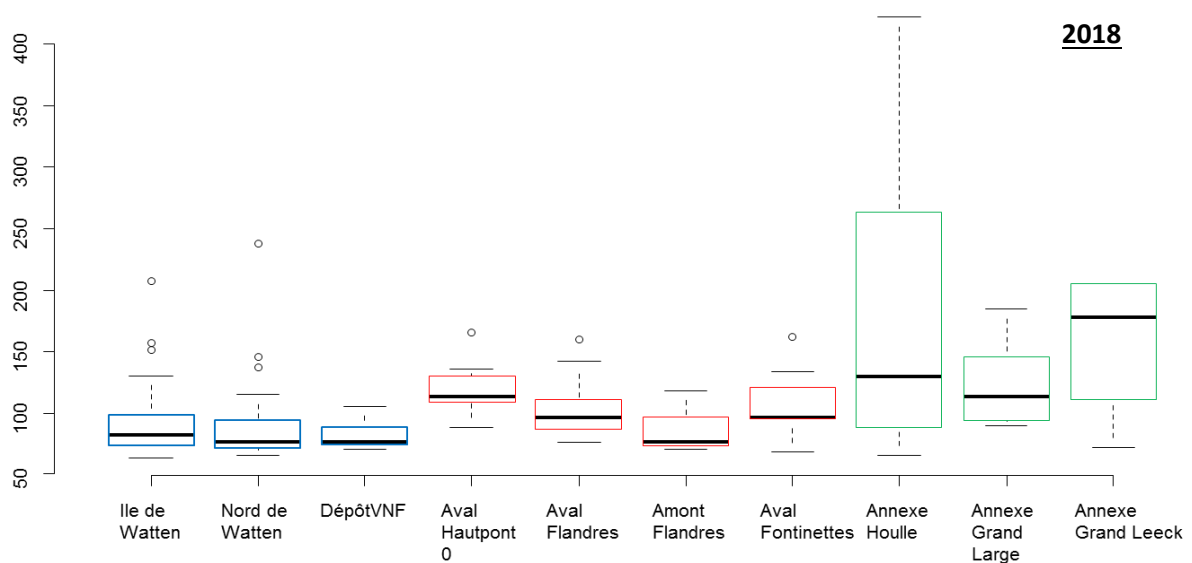


Figure 29 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2018.

En 2019, les tendances sont similaires hormis pour la station dépôt VNF différentes des autres stations situées au Nord de part des tailles plus grandes qu'en 2018 (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour chaque couples). Amont Flandres présente aussi une médiane divergente de par ses valeurs quelques peu

aberrantes (plusieurs captures d'anguilles de plus de 250mm dans ses flottangs). La dernière tendance concerne les stations des Annexes qui ne sont ici pas significativement différentes des stations situées sur les Flandres et les Fontinettes (*pairwise wilcox test* $p < 0,5$).

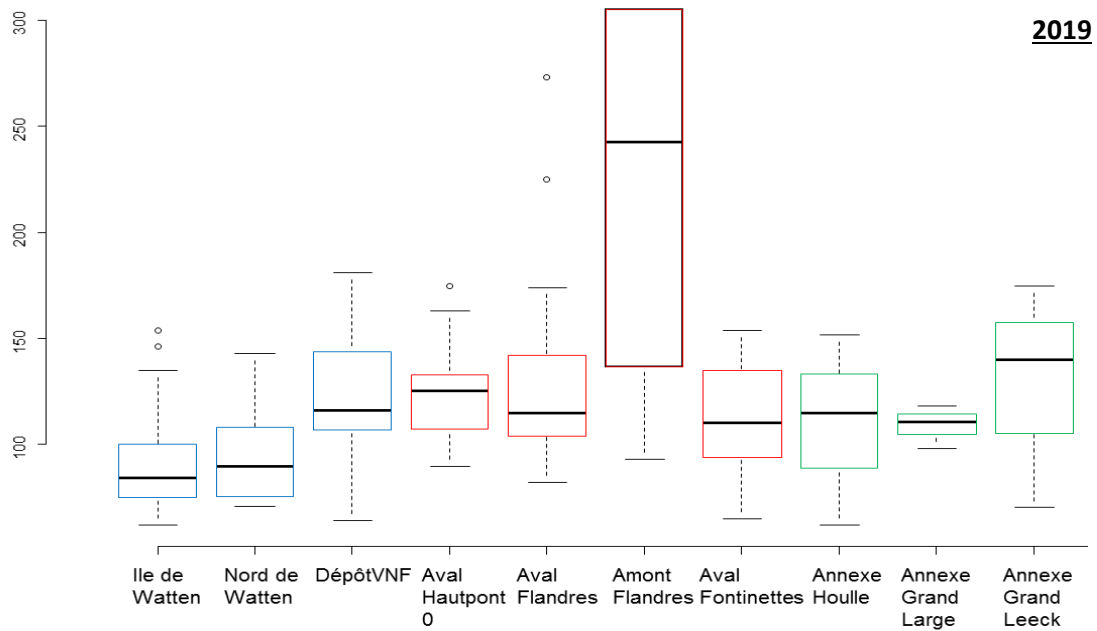


Figure 30 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2019.

Par rapport aux nouvelles stations suivies en 2019, pour améliorer l'analyse (figure 31), celles-ci présentent des classes de taille significativement plus grandes que sur les stations Ile de Watten et Nord de Watten excepté Entrée Houle (*pairwise wilcox test* $p < 0,05$ pour tous les couples et $p = 0,9$ pour Entrée Houle/Ile de Watten/Nord de Watten).

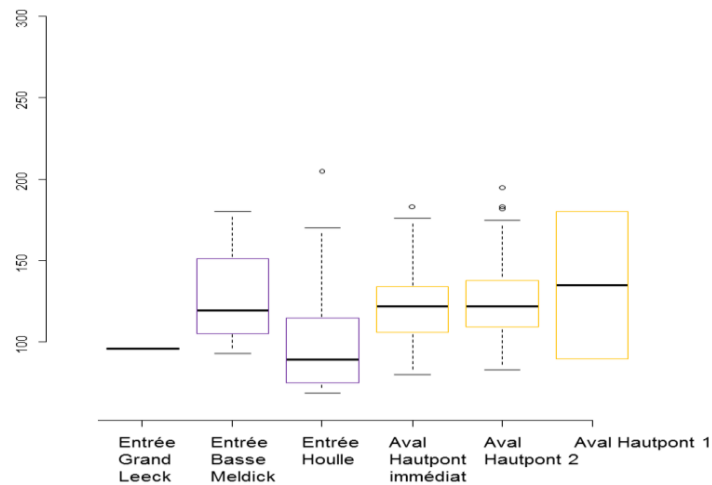


Figure 31: Boxplots des tailles moyennes par station suivi en 2019.

Approche cartographique

La présentation des résultats sous forme cartographique sous-tend des observations similaires avec celles décrites précédemment mais permet néanmoins de résumer l'information de façon didactique et concise (figure 32 et 33).

Occurrence par station

En 2018, les occurrences les plus importantes sont relevées sur les stations au Nord du réseau (Ile de Watten et Nord de Watten notamment) ainsi que les stations en aval des ouvrages.

Des valeurs de zéro sont mises en évidence au niveau de l'amont du Hautpont (station 4b) et

sur les deux stations de l'écluse de saint Bertin (qui furent ainsi supprimées en 2019).

En 2019, les tendances restent inchangées hormis l'observation de l'occurrence la plus élevée relevée sur la station à l'aval immédiat du Hautpont.

Nombre d'anguilles par classes de taille

En 2018, le nombre d'anguilles capturées est similaire aux observations des CPUE moyennes. A savoir : des captures importantes aux Nord du réseau et à l'aval des ouvrages du Hautpont et des Flandres.

Les proportions des tailles inférieures à 110 mm décroissent graduellement vers l'amont du réseau marais au profit de la classe de taille comprise entre 110 et 150 mm.

Les observations globales de 2019 sont similaires avec des captures remarquables encore une fois sur la station Hautpont aval immédiat.



Figure 32 : Résultats en occurrence du piégeage par flottang en 2018 et 2019. La valeur associée correspond à la proportion de relève avec au moins une anguille dans un flottang.

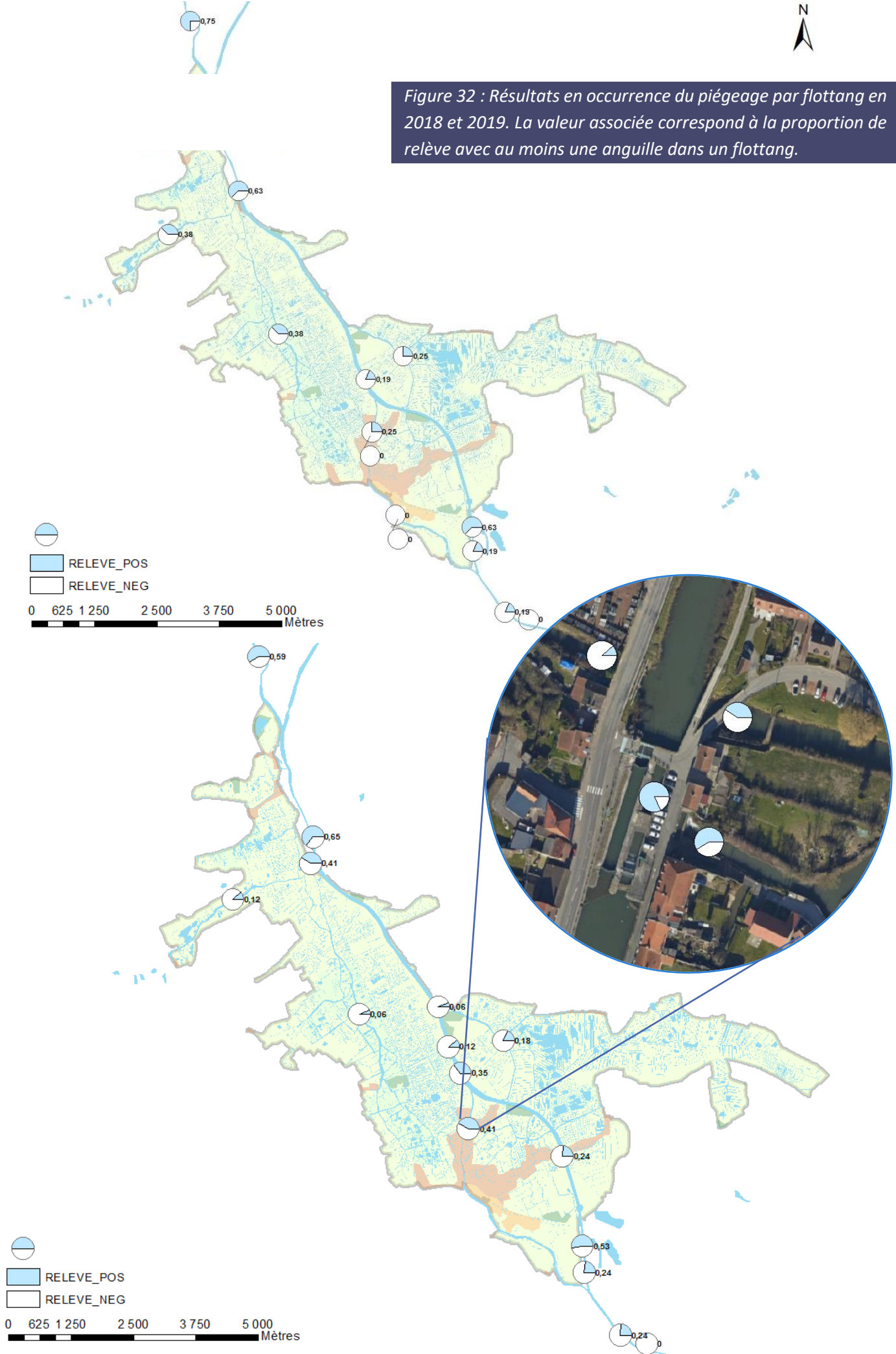
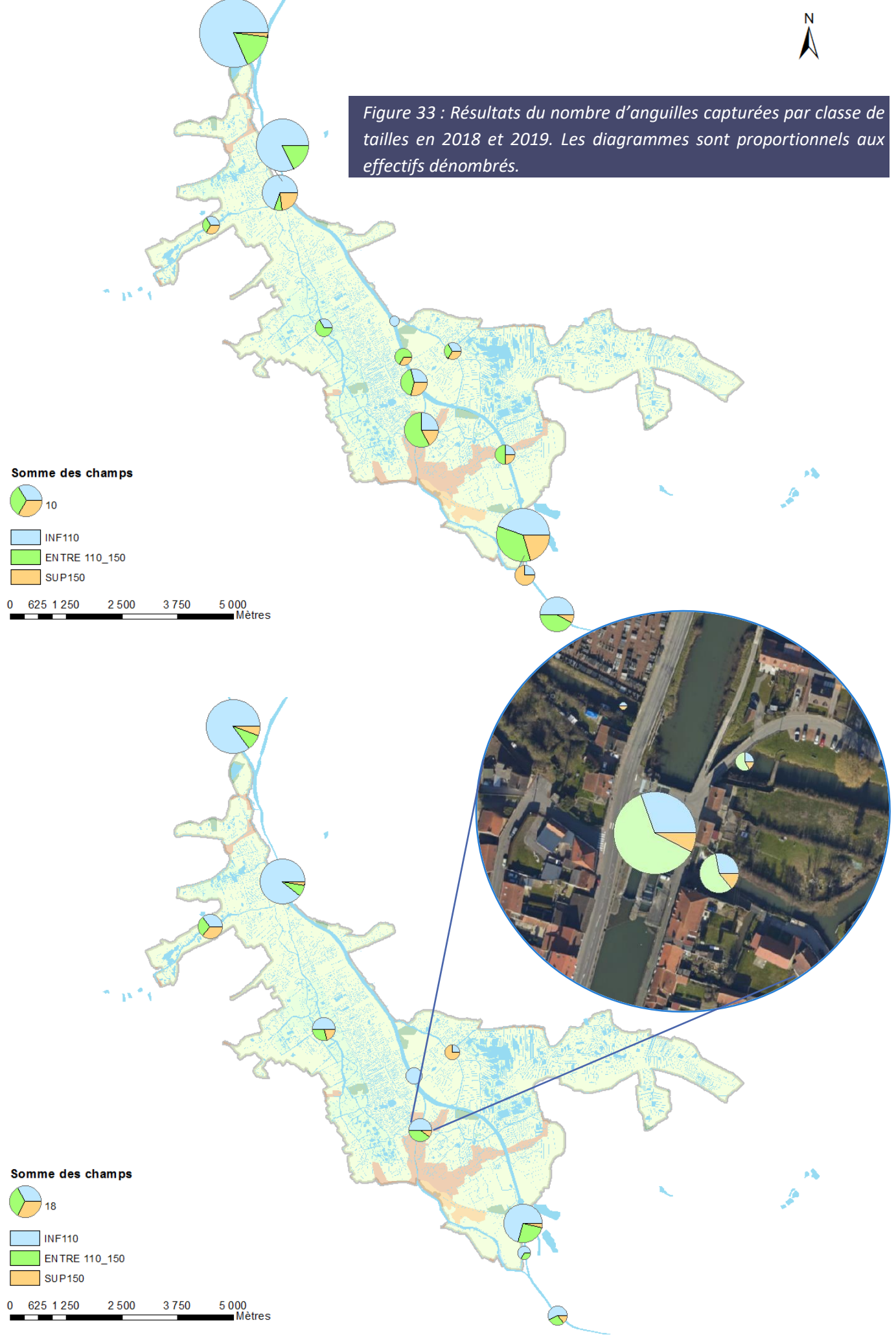




Figure 33 : Résultats du nombre d'anguilles capturées par classe de tailles en 2018 et 2019. Les diagrammes sont proportionnels aux effectifs dénombrés.



Approche situationnelle remarquable

Cette dernière approche a pour vocation de stigmatiser certaines situations ou cas spécifiques qui ont pu être relevés lors des deux campagnes de suivi. Elle est étroitement corrélée avec les observations explicitées précédemment.



Figure 35 : Station Ile de Watten.

L'exemple de la station la plus au Nord

La station Ile de Watten, située en limite Nord de la zone d'étude sortait quelque peu du périmètre tout d'abord alloué au déploiement de l'étude mais celle-ci nous a permis d'acquérir des données essentielles. C'est en effet sur cette station que les stades pigmentaires les moins avancés ont été relevés ainsi que les tailles les plus petites. Si ces résultats étaient attendus ils nous ont permis d'émettre des comparatifs avec les autres stations plus au Sud.

Exemple migration rive-dépendante avec la station dépôt VNF

La station dépôt VNF située en rive droite et la station placée en 2019 sur la rive gauche nous a permis de mettre en évidence une migration probablement rive-dépendante. En effet, des CPUE moyennes sensiblement plus importantes ont été relevées en rive droite confirmant le bon placement initial de cette station en 2018.



Figure 36 : Station Dépôt VNF.



Figure 37 : Ouvrage du Haut Pont et diagrammes proportionnels des captures.

L'exemple du Haut Pont

L'ensemble des indicateurs étudiés ont permis de mettre en évidence un attrait certain et un point de blocage net de la migration des anguillettes à l'aval immédiat de l'ouvrage du Haut Pont. Près de 5 fois plus d'anguilles y ont été dénombrés pour des classes de taille variées ($123,9 \text{ mm} \pm 103$). Cet axe semble être à privilégier afin de permettre une conquête plus efficace de l'Aa par l'espèce Anguille (via la ; Haute Meldyck).

Les ouvrages au Sud de l'axe canalisé



Figure 38: Ecluse des Fontinettes et flottangs posés en aval avec un sujet adulte argenté mort.

L'écluse des Flandres (ROE57218)

Les indicateurs ont également permis de mettre en exergue un ralentissement de la migration au niveau de l'écluse des Flandres. Si celui-ci n'est pas certifié en 2018 via l'analyse des tailles (significativement semblables entre l'amont et l'aval), il l'est en 2019. De plus un phénomène d'accumulation en pied d'ouvrage semble avoir eu lieu avec des CPUE moyennes plus élevées en aval qu'en amont pour les campagnes.

Le scénario le plus vraisemblable au regard des résultats est une accumulation des anguillettes au pied d'ouvrage lors de leur migration anadrome et un passage non sélectif par rapport à la taille grâce aux sassements de l'écluse. L'espèce étant tributaire des sassements pour passer il est logique que les données soient différentes d'une année à l'autre. En effet, en 2019, des travaux importants de réfection de l'écluse amont (Fontinette) ont nécessité une mise en chômage de l'écluse sur la période de mi-juin à mi-juillet (et donc une rupture du trafic sur ce bief).

Si l'écluse des Flandres ne semble pas être un point de ralentissement critique, il serait néanmoins intéressant de poursuivre une analyse de la cinétique migratoire ou du franchement de cet ouvrage (2019 n'étant pas représentatif d'un fonctionnement normal à cause de la mise en chômage de l'écluse).

L'écluse des Fontinettes (ROE57220)

En revanche si l'ouvrage des Flandres ne semble pas un point de blocage strict, il n'en est pas de même avec les Fontinettes. En effet aucune anguille n'ayant été comptée à l'amont de l'ouvrage sur les deux années, des questionnements restent en suspens concernant la franchissabilité de l'ouvrage. Celle-ci est probablement permise via les sassements mais au regard de l'absence de résultats à l'amont, la franchissabilité de cet ouvrage reste complexe si ce n'est compromise en partie.

Des flottangs ont aussi été placés au niveau de l'exutoire des eaux de sassement de l'étang de Batavia afin de mettre en évidence une éventuelle présence de petites classes de taille mais aucune anguille ne fut piégée. (cf présentation du réseau p.19). En revanche, plusieurs cadavres de sujets de grandes tailles ont pu être observés.

Autres observations parallèles

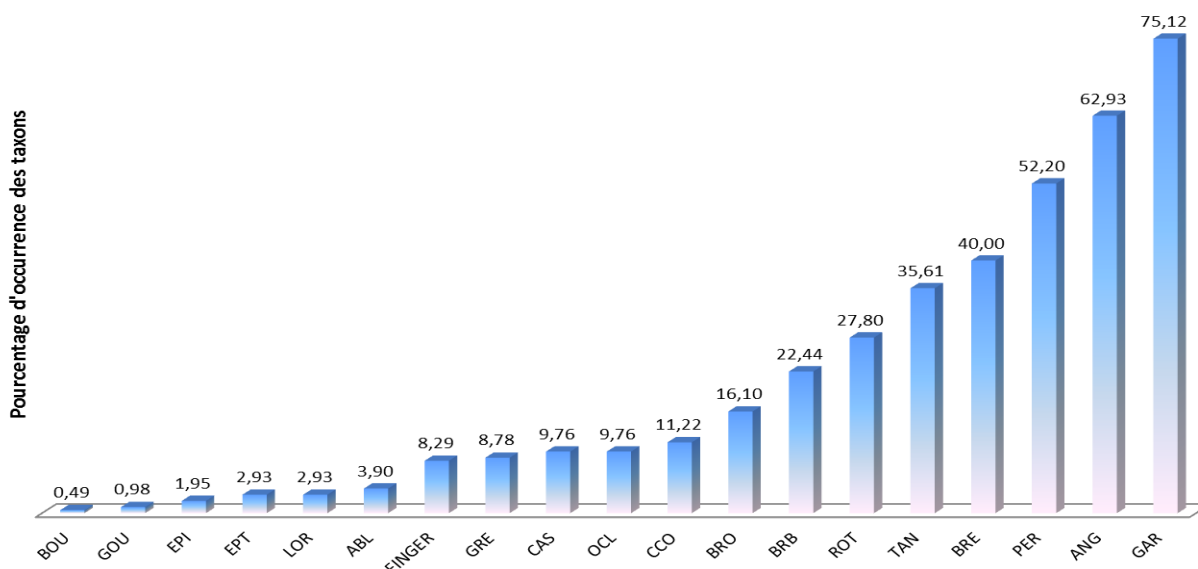


Figure 39 : Pourcentage d'occurrence des diverses espèces retrouvées dans le réseau secondaire du marais Audomarois sur 205 inventaires de 5min (Code taxon FINGER = Brochet 0+) (cf : Focus Brochet chapitre Indice d'Abondance Brochetons).

Parallèle avec le Focus Brochet

Lors du Focus Brochet réalisé dans le cadre du projet FBMA, il a été possible de déployer un vaste maillage d'inventaires grâce au volet Indice d'Abondance Brochetons. En effet, c'est au total plus de 37km de réseau secondaire (principalement fossés) qui furent échantillonnés pour 205 sites. Si les sites ont été sélectionnés au regard de leurs potentiels d'accueil pour l'espèce Brochet, les autres taxons ont été notés à titre de présence/absence. Ainsi il nous a été permis de mettre en évidence la présence de l'espèce Anguille sur 60% des 205 stations. C'est l'une

des 3 espèces la plus répandue avec la Perche et le Gardon.

Ainsi si les annexes du marais semblent manquer d'attractivité, les anguilles arrivent tout de même à parvenir dans les fossés plus éloignés et colonisent bien le marais, mais néanmoins en densité très faible (à titre indicatif pas plus de 1 ou deux sujets vus par station si occurrence positive).

Parallèle avec le Focus ADNe

L'ADN de l'espèce Anguille a été détecté sur 100% des 14 stations de prélèvement présenté dans le Focus ADNe.

Si ces deux observations sont intéressantes, elles n'offrent néanmoins aucune donnée quantitative.

Parallèle avec le suivi flottang réalisé sur Gravelines par la FDAAPPMA59

La FDAAPPMA du Nord a pu plusieurs années de suite poursuivre un suivi des civelles/anguillettes également à l'aide de flottangs, lors de la saison estivale. L'étude a mis en évidence une baisse graduelle de la CPUE (effort de piégeage de 24h) au départ de l'écluse 63bis de Gravelines et le long de l'axe du canal de l'Aa en direction de la ville de Saint-Omer (5 zones de piépages tous les 5km). Celle-ci passe de 12 au maximum à 1 au minimum à l'amont.

Dans tous les cas l'ouvrage de Gravelines laisse passer les sujets (CPUE parfois même

supérieure en amont selon les années et classes de taille similaires) mais si l'écluse semble être franchissable sans difficulté pour l'espèce Anguille (notamment par la vantelle), les conclusions des rapportages du Nord mettent en avant des difficultés de passage pour les autres migrateurs. Des travaux de réfection et d'automatisation des manœuvres sont prévus pour début 2020.

L'ouvrage délimité par la FDAAPPMA59 comme limite du front de colonisation sur l'axe canal Aa est également l'écluse des Fontinettes.

Parallèle avec les campagnes de monitoring Anguille sur l'Aa en 2017

Dans le cadre de sa mission de surveillance des populations d'anguilles (RSA 62), la FDAAPPMA62 a prospecté le contexte Delta de l'Aa, le bassin versant de la Hem et le bassin versant de l'Aa en 2017 (prochaine campagne sur ce secteur en 2020). Les conclusions sont les suivantes :

- contexte Hem : Le contexte Hem semble colonisé en premier et être un axe de migration privilégié. La population y est équilibrée malgré l'absence des classes [50-150 mm] à partir de la partie médiane du bassin.
- Contexte Aa : La rivière Aa présente des populations déséquilibrées et vieillissantes après la station située sur la commune d'Esquerdes, et ce jusqu'en tête de bassin. Le recrutement et donc le renouvellement de la population dans le temps semble non assuré.

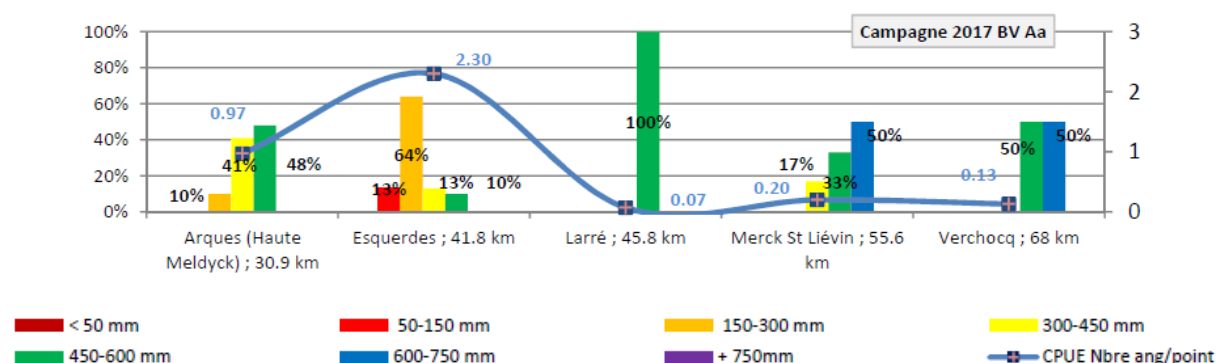


Figure 40 : Extrait des résultats du monitoring Anguille de 2017 sur le contexte bassin de l'Aa (FDAAPPMA62).

C'est ainsi que, 62% du cours principal de la Hem qui est colonisé par les jeunes stades contre seulement 34% pour le bassin de l'Aa (données 2011 – 2014 - 2017).

Remarques : Les difficultés de reconquête du bassin de l'Aa amont pour les jeunes anguilles ont notamment conduit à la mise en place de 7 sites de déversement de civelles sur lesquels au total 34.6kg ont été répartis (Déversements réalisés le 02/02/2019 par le bureau d'étude Fishpass).

Les identifications des différents points de blocage ou de ralentissement ainsi que l'identification des flux migratoires et de leurs cinétiques répondent donc bien aux interrogations émises lors du suivi monitoring de 2017.

Discussion

L'utilisation des flottangs

Le déploiement de la méthode d'échantillonnage par flottang sur le marais Audomarois nous a séduit de par sa praticité et nous a permis d'atteindre les objectifs fixés au démarrage du projet. L'engin passif a prouvé sa sélectivité des classes de taille de moins de 150mm et a permis aux travers des différentes approches (globale, par réseau et stationnelle) de mettre en exergue diverses tendances.

Par rapport aux classes de taille, des correspondances entre l'âge et la taille sont couramment admises comme suit (données issues de L.Beaulaton Agrocampus Rennes CCTP en Annexe 1 p.19) :

< ou = à 110 mm	→ 6 mois
]110 -150]	→ 1 an
]150 - 190]	→ 2 ans
]190 - 240]	→ 3 ans

Tableau 2 : intervalle de classes tailles et âges associés.

Ainsi 90% des sujets inventoriés sont logiquement des sujets issus du recrutement de l'année en cours (<150 mm).

Identification des tendances

L'approche globale a permis de mettre en évidence une proportion majoritaire d'individus sains et déjà pigmentés dans le marais. Si l'occurrence et les CPUE évoluent au cours des mois, les tailles moyennes restent non-significativement différentes d'une manière globale.

L'étude temporelle par réseau a permis d'identifier :

- Les premières dates d'arrivées des sujets dans l'hydrosystème (24/05/2019 et 07/05/2018).
- Les périodes de pics migratoires sont début juin et début juillet au sein du marais.
- Une hausse des CPUE au cours de la saison (de avril à juillet).
- Une taille moyenne non significativement différente au cours de la saison pour une station mais différente entre les réseaux (Nord, Sud et Annexes).
- Une non-corrélation des captures du réseau Annexes et des autres permettant d'avancer l'hypothèse d'un manque d'attractivité des annexes du marais (cf. approche stationnelle).
- La station aval immédiat du Hautpont qui se distingue fortement des autres en termes de captures permettant de caractériser l'accumulation des anguilles au pied de l'ouvrage au cours de la saison (cf. approche situationnelle remarquable).

Par rapport à l'analyse des classes de taille, si aucune différence significative n'est notée globalement entre les mois, des divergences apparaissent à nos yeux à l'échelle stationnelle. Ainsi les tailles les plus petites sont relevées sur les stations au Nord, moyenne sur les stations Sud et plus grandes sur les stations dans les Annexes du marais (pour 2018 tout du moins).

En définitive, les objectifs d'évaluation de la fonctionnalité écologique du Marais pour l'espèce ont été atteints via :

- Identification de la cinétique migratoire (arrivée massive dans l'hydrosystème).
- Identification de l'attractivité des diverses Entrées du marais. Les Annexes semblent être limitées en termes d'attractivité (excepté pour la rivière de la Houlle plus au Nord). Les anguilles privilégient l'axe canalisé pour leur migration anadrome et ensuite coloniser les différents bassins.
- Identification des points de blocage:
 - L'écluse du Haut-Pont (ouvrage liste 2 – art. 214-17 / Zone Action Prioritaire Anguille, avec aucune anguille observée à l'amont). Ce point est aussi attractif que bloquant par rapport à son placement. En effet, un déclouonnement de cet axe permettrait la reconquête pour l'espèce de la Haute Meldyck et par là de la masse d'eau Aa rivière. Un rapportage de présence de Truite de mer à l'aval de l'ouvrage du Haut Pont (déclarations de captures de pêcheurs) laisse à penser que d'autres poissons grands migrateurs peuvent choisir cet axe en plus de l'Anguille. Si la mise en place d'une passe à brosses pour l'Anguille serait louable (figure 41), la solution à privilégier devrait être une passe multi-espèces (type passe à bassins successifs).
 - L'écluse des Fontinettes et son fonctionnement par bassinnet semble rendre la migration de l'espèce complexe (aucune anguille observée à l'amont).

Ces observations coïncident avec la bibliographie et notamment avec le comportement migratoire densité-dépendant de l'espèce (Edeline E., 2005). En effet, il est admis que l'Anguille a une stratégie dispersive principalement orientée vers la colonisation et celle-ci est notamment densité-dépendante (attractivité alimentaire et disponibilité des habitats d'accueil).

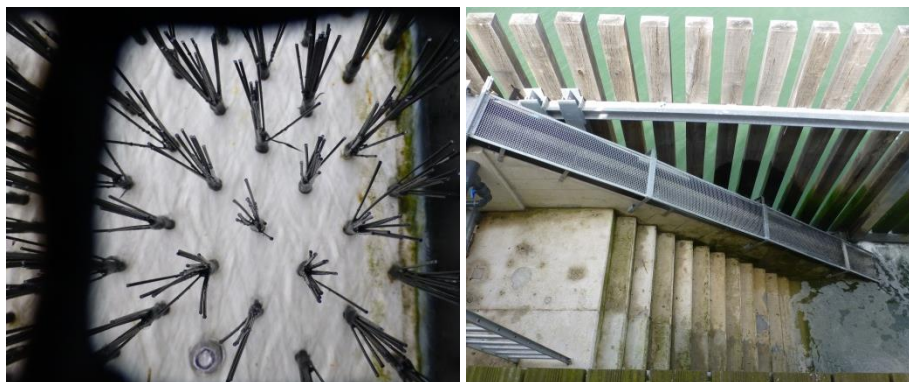


Figure 41 : Exemple d'une passe piège à brosses pour l'espèce Anguille (Localisée sur l'ouvrage à la mer Marguet à Boulogne sur mer – 62). Un équipement utile transposable à l'écluse du Haut Pont.

Problèmes et limites rencontrés

En termes de retour d'expérience, si la méthode a rempli nos attentes, certains problèmes ont tout de même été rencontrés comme le vandalisme important sur plusieurs sites. En effet, plusieurs dispositifs ont été vilipendés, notamment sur les stations aux abords des zones urbaines (les stations autour des ouvrages de Saint Bertin et du Haut Pont majoritairement). Il semble que cacher au mieux les engins passifs est plus efficace que laisser des étiquettes ou des panneaux explicatifs à la vue de tous.

Plusieurs flottangs ont aussi été perdus autour des écluses Fontinettes et Flandres. En effet, il est possible que la corde utilisée au début ne fût pas assez résistante aux forces de frottements liées aux changements de niveau d'eau, au batillage engendré par le sassement des péniches. Le gestionnaire sur place (VNF) a pu dans la majorité des cas récupérer les flottangs en dérive. Comme il le fut précédemment cité dans la partie résultats, une grande période de mise en chômage de l'écluse des Fontinettes a eu lieu de la mi-juin à la mi-juillet 2019 pour réaliser d'importants travaux de réfection de l'écluse. Le bief étant fermé à la circulation fluviale, il est possible que les résultats des captures sur cette période soient non-représentatifs pour les stations situées dans le bief (p.42).

En termes de facteurs environnementaux, une forte canicule a eu lieu lors de l'été 2019 ainsi qu'une période d'étiage sévère sur de nombreux bassins du département dont le marais. Il est possible que les fortes chaleurs puissent en partie expliquer les effectifs et les CPUE moyennes légèrement moins importantes en juillet 2019 par rapport à juillet 2018 (mais non statistiquement significativement différentes). En effet divers retours d'expérience ont pu mettre en évidence une relation entre la température quotidienne et l'occurrence (A.Chenal 2017). Le flottang étant constitué de polymère plastique, celui-ci peut se réchauffer fortement au soleil dans des eaux lenticules et lors d'épisodes caniculaires. Le dispositif serait ainsi moins attractif lors de ces périodes, les jeunes anguilles privilégiant les abris naturels plus profonds à proximité. Ce paramètre pourrait être à étudier dans le futur.

Lors des relèves, des données physico-chimiques *in situ* ont été notées mais aucune corrélation entre les différents paramètres et les données d'occurrence ou de CPUE n'ont pu être révélées malgré les diverses analyses utilisées (ACP, régression logistique...). Il n'a ainsi pas semblé pertinent de les présenter dans le rapport, excepté pour les facteurs de la température de l'eau et de l'air (p.31).

Enfin une dernière critique peut être émise par rapport à l'axe de la rivière Basse Meldyck. En effet, des effectifs négligeables d'anguilles ont été capturés sur la station flottang 13 : Entrée Basse Meldyck. Or des effectifs importants de jeunes anguilles ont été remarqués dans les flottangs lors de leur période de stabulation devant les locaux de la Fédération (afin de laisser les flottangs « neufs » se coloniser par les micro-algues). Cette observation est à prendre à titre indicatif. En effet, aucune donnée de CPUE n'a été notée à cette période. Il est ainsi mis en évidence que l'axe principal de colonisation de la Aa rivière se fait via la Basse Meldyck car une certaine fraction du contingent migrant ne peut pas coloniser le bassin par la Haute Meldyck car l'écluse du Haut Pont est strictement infranchissable.

Conclusion et perspectives

Le suivi déployé sur deux années en 2018 et 2019 grâce à la méthode flottang de capture par piégeage passif, a permis de mettre en évidence des grandes tendances et de répondre aux hypothèses préalablement énoncées mais aussi de produire des pistes de réflexions futures.

Pour rappel, les objectifs étaient les suivants : étude de la cinétique, du flux migratoire et des points de ralentissement ou d'accumulation et donc de blocage de la migration. Des préconisations hiérarchisées en fonction des enjeux / zones ciblées peuvent être émises.

3 axes de travail peuvent se distinguer afin d'améliorer les points suivants :

- 1- L'arrivée en zone estuarienne à Gravelines.**
- 2- L'attrait du marais Audomarois et son dédale de voies d'eau.**
- 3- La colonisation de l'Aa rivière.**

- 1- Si le passage des jeunes anguilles via le complexe d'écluses situées à Gravelines laisse effectivement transiter cette espèce, il pourrait être possible d'améliorer encore son efficience.

Des travaux de réfection de l'écluse étant en cours, il serait judicieux de poursuivre des suivis flottangs dans le futur, notamment avec le placement de plusieurs stations flottangs amont et aval et sur les 2 rives tout en prenant en compte le marnage ; avec par exemple une station en aval de l'écluse Vauban, en amont de l'écluse Vauban, en aval rive droite de l'écluse 63bis et en amont (possible sur les deux rives) de 63bis puis des stations intermédiaires afin d'observer une éventuelle accumulation et à l'amont et l'aval de la rivière d'Oye. Un plan schématique est proposé en annexe.

- 2- Le premier aperçu des captures des petites classes de taille des anguilles (moins de 150mm) semblerait donc confirmer que le recrutement dans le marais Audomarois n'est pas optimal. En effet, si l'espèce est bien présente dans le marais (occurrence 60% sur 205 stations d'inventaires dans le réseau de fossés et 100% sur les 14 stations d'inventaires ADNe 2018), les annexes du marais semblent manquer d'attractivité (excepté la Houlle) et présentent des CPUE.

Un travail sur la réouverture du milieu ou des tentatives de hausse de l'attractivité de la zone de grossissement du marais pourrait être bénéfique. De même, une attention toute particulière devrait être apportée aux anguilles pouvant être retrouvées dans les boues de curage lors des travaux d'entretien des voies d'eau par la 7ème section des waterings.

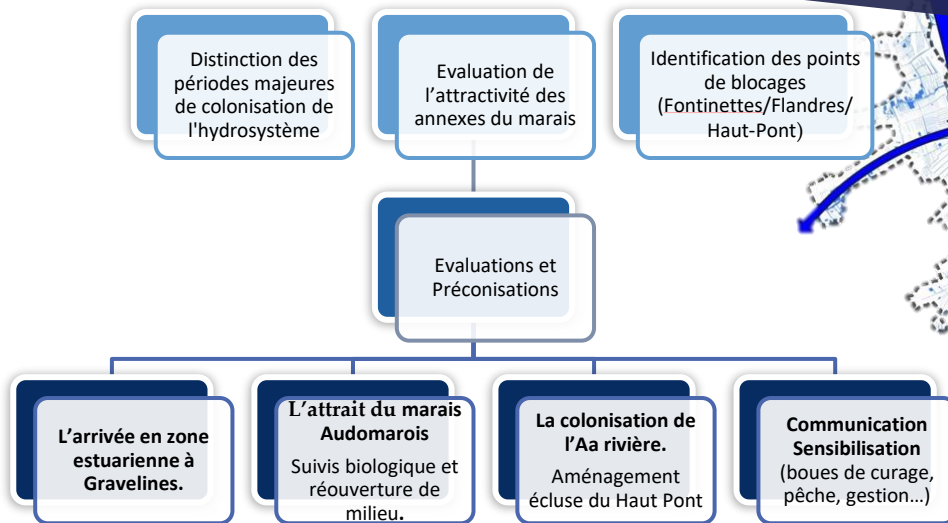
- 3- Les anguilles semblent privilégier l'axe canalisé pour entreprendre leur migration vers l'amont et plus particulièrement via la Basse Meldyck afin de rejoindre l'Aa rivière. Les études parallèles de la FDAAPPMA62 ont mis en exergue une population déséquilibrée et vieillissante sur l'amont de l'Aa. L'étude flottang ayant démontré le blocage de l'ouvrage du Haut Pont pour la migration des jeunes stades, un projet d'équipement de celui-ci pourrait fortement aider à la reconquête de l'espèce sur ce bassin.

Un suivi peut aussi être envisagé sur le bief Flandres – Fontinettes et à l’amont des Fontinettes sur l’axe canalisé, zone où vraisemblablement les plus petites cohortes sont absentes. Donc le front de colonisation a été identifié.

Un suivi similaire sur l’Audomarois pourrait également être reproduit après plusieurs années afin d’émettre un comparatif avec le présent rapport couvrant la période 2018-2019 ; ou dans le cadre de la volonté de l’actualisation et la révision du PDPG 2.0 du Pas-de-Calais, ou encore dans le cadre de la révision du PLAGEPOMI 2015/2021.

En définitive les données récoltées et leurs analyses ainsi que les préconisations apportées devraient pouvoir orienter les gestionnaires dans leurs axes de travail et dans l’évolution et la surveillance des populations d’anguilles dans le marais Audomarois.

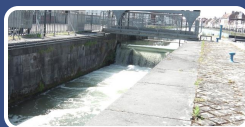
Ce qu'il faut retenir !



Identification des flux migratoires :

- ✓ Les périodes des pics migratoires ont lieu début juin et début juillet sur le marais.
- ✓ Une hausse des CPUE est observée au cours de la saison (de avril à juillet).

→ Une taille moyenne non significativement différente au cours de la saison pour une station mais différente entre les 3 réseaux (Nord, Sud et Annexes).



Identification des points de blocage :

→ Une non-corrélation des captures du réseau Annexes et des autres permettant d'avancer l'hypothèse d'un manque d'attractivité des annexes du marais.

☒ La station aval immédiate du Haut Pont qui se distingue fortement des autres en termes de captures permettant de catégoriser l'ouvrage comme strictement infranchissable pour l'espèce.



Préconisations en 3 points :

- 1- L'arrivée en zone estuarienne à Gravelines.
- 2- L'attrait du marais Audomarois et son dédale de voies d'eau.
- 3- La colonisation de l'Aa rivière

* Schéma représentant les flux migratoires des jeunes anguilles sur le territoire du marais Audomarois.

Bibliographie

ACOU A, BOURY P, LAFAILLE P CRIVILLI AJ FREUNTEUN E 2005. Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver eel (*Anguilla anguilla*), Arch. Hydrobiol, 164 (2) : 237-255.

ALS, T. D., HANSEN, M. M., MAES, G. E., CASTONGUAY, M., RIEMANN, L., AARESTRUP, K., & BERNATCHEZ, L. (2011). All roads lead to home: panmixia of European eel in the Sargasso Sea. *Molecular Ecology*, 20(7), 1333-1346.

ANTUNES C., TESCH F-W., 1997, A critical consideration of the metamorphosis zone when identifying daily rings in otoliths of European eels, *Anguilla anguilla* (L.). *Ecology of Freshwater Fish*, 6 : pp 102-107.

AVISE J C, NELSON WS ARNOLD J KOEHN RK WILLIAMS GC THORSTEINSSON V. 1990 the evolutionary genetic status of Icelandic eels, *evolution*,44 (5) 1254-1262

DE CASAMAJOR M N , PROUZET P, 2000. Identification des flux de civelles (*Anguilla anguilla*) à partir des relations d'allométrie en fonction des conditions hydroclimatiques de l'estuaire de l'Adour, *Aquat. Living Resourc*, 13 ; 411-20.

DE CHARLEROY, D., GRISEZ, L., THOMAS, K., BELPAIRE, C., & OLLEVIER, F. (1990). The life cycle of *Anguillicola crassus*. *Dis. Aquat. Org*, 8, 77-84.

DURIF C 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*: caractérisation des fractions divalentes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Université de Toulouse III, thèse 350p

EDELIN E., 2007. Adaptive phenotypic plasticity of eel diadromy. *Marine Ecology Progress Series*, 341, 229–232.

ELIE P., LECOMTE-FINIGER R., CANTRELLE I., CHARLON N., 1982, Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* L. (poisson téléostéen anguilliforme)., *Vie et Milieu* 32 :149-157.

FEUNTEUN E., ACOU A., GUILLOUET J., LAFAILLE P. LEGAULT A., 1998, Spatial distribution of an eel population (*Anguilla anguilla*) in a small coastal catchment of northern Brittany (France)., *Consequences of hydraulic works. Bulletin Français de Pêche et Pisciculture*, 349 : 129-139.

FEUNTEUN E., LAFAILLE P., ROBINET T., BRIAND C., BAISEZ C., OLIVIER J-M., ACOU A., 2003, A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Toward a general theory. In Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K., *Eel Biology*. Tokyo, Springer Verlag, 191-213.

GRELLIER P, HUET J ET DESAUNAY Y, stades pigmentaires de la civelle *Anguilla anguilla* (l.) dans les estuaires de la Loire et de la vilaine. (pigmentation stages of *anguilla anguilla* (l.) glass-eels from the estuaries of Loire and Vilaine. *IFREMER* 19p

ICES, 2018, Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL).

INSTITUE INTERDEPARTEMENTALE DES WATERINGUES ; Présentation des écluses de Gravelines et de leur fonctionnement : Extraits du CCTP du marché d'exploitation des écluses.

IUCN, 2008, Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org.

KLECKER RC, MCCLEAVE JD, WIPPELHAUSER GS, 1983. Spawning of American eel, *Anguilla rostrata*, relative to thermal fronts in the Sargasso Sea, *Environnemental Biology of Fishs*, 9 (3/4)289-293.

LAFAILLE P., CARAGUEL J.M., LEGAULT A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eel at the Couesnon estuarine dam, *Estuarine, coastal and shelf science*, 73(1-2) : 81-91.

LECOMTE-FINIGER R., 1994, The early life of the European eel. *Nature*, 370 : 424 p.

MCCLEAVE J.D., BRICKLEY P.J., O'BRIEN K.M., KISTNER D.A., WONG M.W., GALLAGHER M., WATSON S.M., 1998, Do leptocephali of the European eel swim to reach continental waters ? Status of the question., *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 78, 285-306.

MCCLEAVE JD, 2001. Physical and behavioural control on the oceanic distribution and migration of *leptocephali*, *Journal of Fish Biology*, 43 : 243-273.

NILO P., FORTIN R. 2001 Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'Anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Montréal université du Québec 298p

OKAMURA, A., ZHANG, H., UTOH, T., AKAZAWA, A., YAMADA, Y., HORIE, N., MIKAWA, N. ET AL. 2004. Artificial hybrid between *Anguilla Anguilla* and *A. japonica*. *Journal of Fish Biology*, 64: 1450–1454.

TESCH F.W., 1998, Age and growth rates of North Atlantic eel larvae (*Anguilla* spp.), based on published length data. *Helgoländer Meeresunters.*, 52 : pp 75-83.

VAN GINNEKEN V, DURIF C, BALM SP., BOOT R, VERTEGEN MWA, ANTONISSEM E, VAN DEN THILLART G, 2007. Silvering of European eel (*Anguilla Anguilla*): seasonal changes of morphological and metabolic parameters, *Animal Biology* 57 : 63-77.

VOLLESTAD L A 1986 Growth and production of female yellow eel, *Anguilla Anguilla* (L.) in brackish water in Norway, *Sarsia*, 73 : 157-120.

WILEY D. J., MORGAN R. P. AND HILDERBRAND R. H., 2004. Relation between physical habitat and american eel abundance in five basins in Maryland. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133, 515-526.

Annexes

**Grille de codification des anomalies anatomo-morphologiques externes
et des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu**

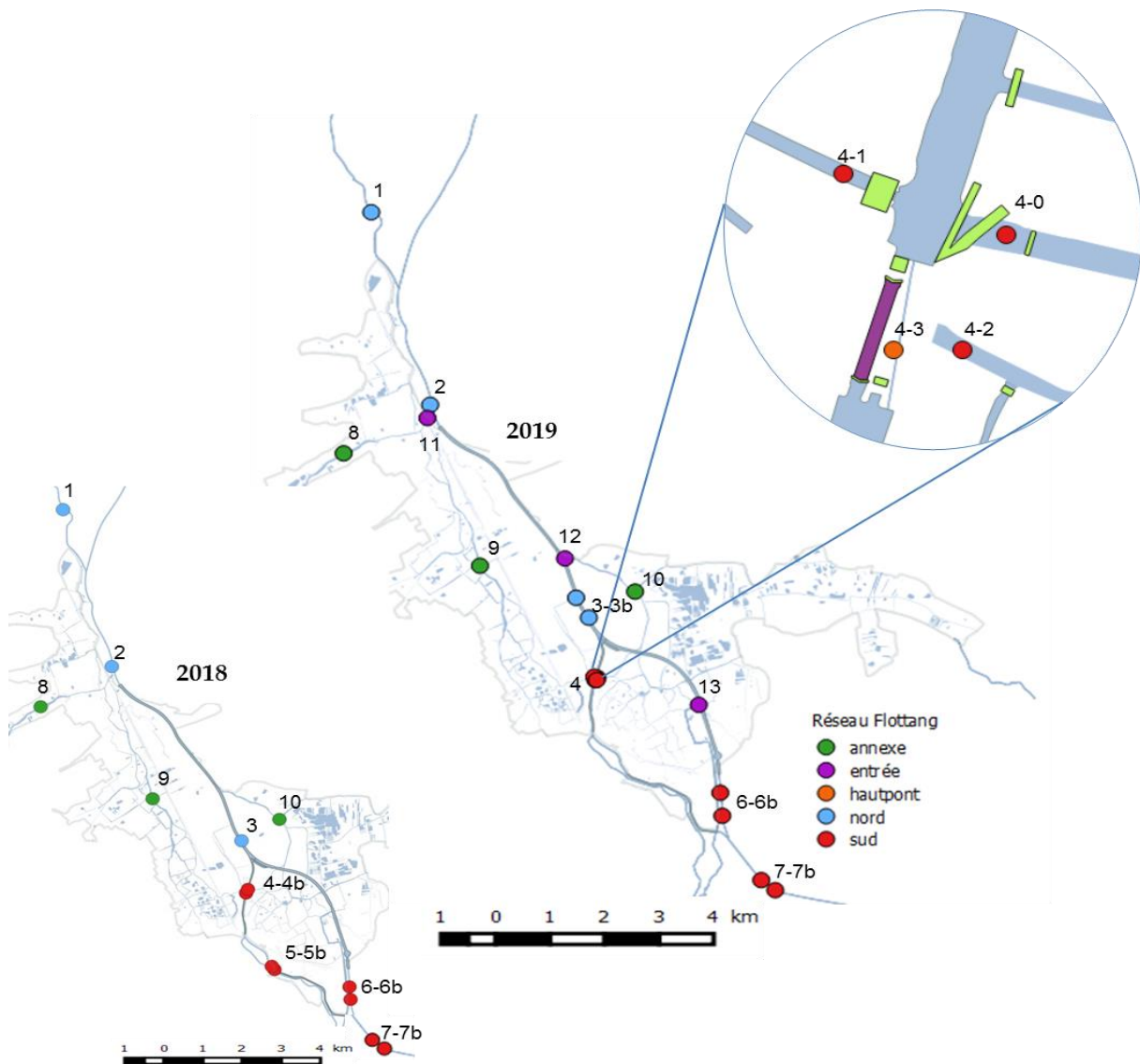
Altérations anatomo-morphologiques	AA	Localisations anatomiques	Code
Absence d'organes	AO	Tout le corps	C
Bulles de gaz	BG	Tête	T
Déformations, difformités et malformations	AD	Mâchoire	M
Erosions	ER	Bouche	G
Nécroses	NE	Barbillon	J
Hypersécrétion de mucus	HM	Narine	N
Hypertrophie et hyperplasie	HY	Œil	Y
Lésions hémorragiques et congestives	HE	Opercule (fente branchiale chez l'anguille)	O
Maigreur	AM	Branchie (sauf pour l'anguille)	B
Plaies et lésions anciennes (cicatrices)	PL	Dos (= face pigmentée ou zénithale)	D
Tumeurs, kystes, nodules et autres grosseurs	TG	Colonne vertébrale	V
Ulcères (hémorragiques) et ulcérations	UH	Flanc	F
Etat pathologique multiforme	ZO	Ligne latérale	L
Altérations de la couleur	AC	Ecaille	E
Opacité	OP	Abdomen (= face aveugle ou nadirale)	A
Coloration sombre (mélanose)	CS	Orifice urogénital (anus)	U
Coloration terne ou pâle, dépigmentation	CT	Nageoire dorsale	H
Parasitisme	PA	Nageoire pectorale	P
Points blancs	PB	Nageoire pelvienne	R
Points noirs	PN	Nageoire anale	S
Crustacés	PC	Nageoire caudale	Q
Hirudinés (sangues)	PH	Nageoire adipeuse (salmonidés seulement)	J
Champignons	PM	Pédoncule caudal	K

Grille de quantification des anomalies et du parasitisme externes

Nombre de lésions (N) et/ou abondance parasitaire (Ab)	Code	Taux (%) de recouvrement corporel (S ²)	Code
N = 0 et/ou absence (Ab)	0	S ² = 0%	0
N < 3 et/ou abondance (Ab) faible	1	S ² < 5%	1
N = 4-6 et/ou abondance (Ab) moyenne	2	S ² = 5-10%	2
N = 7-10 et/ou abondance (Ab) forte	3	S ² = 10-20%	3
N = > 10 et/ou abondance (Ab) très forte	4	S ² = >20%	4

NB : Codification d'un « Individu sain » (i.e. ne présentant aucune lésion ni aucun parasite externe) : 0

Rappel et description de toutes les stations flottangs



ID	NOM	ID	NOM	ID	NOM
1	Ile de Watten	4-3	Aval Hautpont immédiat	8	Annexe Houlle
2	Nord de Watten	4-2	Aval Hautpont 2	9	Annexe Grand Large
3	DépôtVNF	4-3	Aval Hautpont immédiat	10	Annexe Grand Leeck
3b	DépôtVNF rive gauche	5	Aval Saint-Bertin	11	Entrée Houlle
4	Aval Hautpont	5b	Amont Saint-Bertin	12	Entrée Grand Leeck
4b	Amont Hautpont	6	Aval Flandres	13	Entrée Basse Meldick
4-0	Aval Hautpont 0 = 4	6b	Amont Flandres		
4-1	Aval Hautpont 1	7	Amont Fontinettes		
4-2	Aval Hautpont 2	7b	Aval Fontinettes		

Description de toutes les stations flottangs

1 : Ile de Watten



2 : Nord de Watten



3 : Dépôt VNF



3b : DépôtVNF rive gauche



4 : Aval Hautpont



4b : Amont Hautpont



Description de toutes les stations flottangs

4-0 : Aval Hautpont 0 = 4



4-1 : Aval Hautpont 1



4-2 : Aval Hautpont 2



4-3 : Aval Hautpont immédiat



5 : Aval Saint-Bertin



5b : Amont Saint-Bertin



Description de toutes les stations flottangs

6 : Aval Flandres



6b : Amont Flandres



7 : Amont Fontinettes



7b : Aval Fontinettes



8 : Annexe Houle



9 : Annexe Grand Large



Description de toutes les stations flottangs

10 Annexe Grand Leeck



11 Entrée Houlle



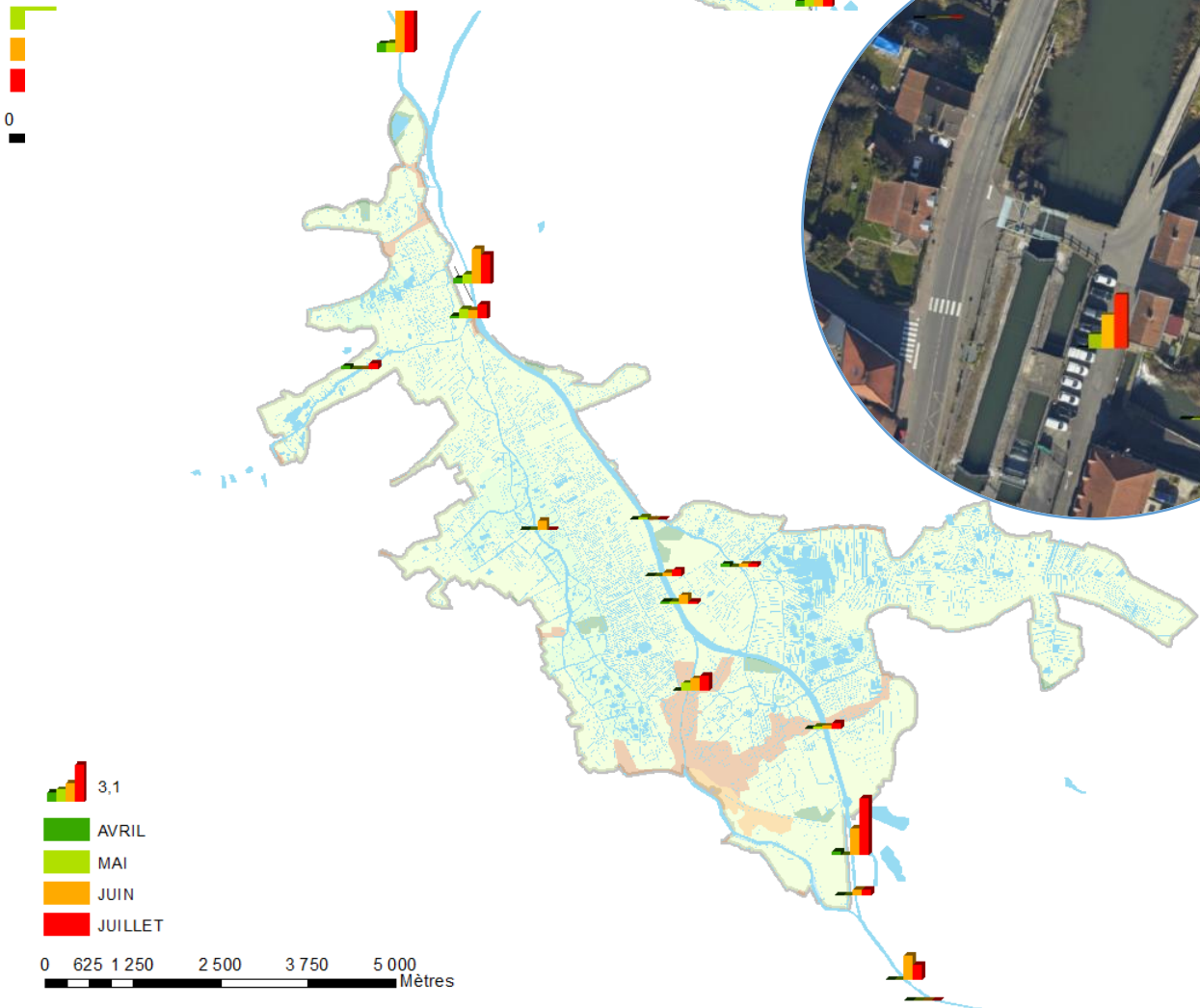
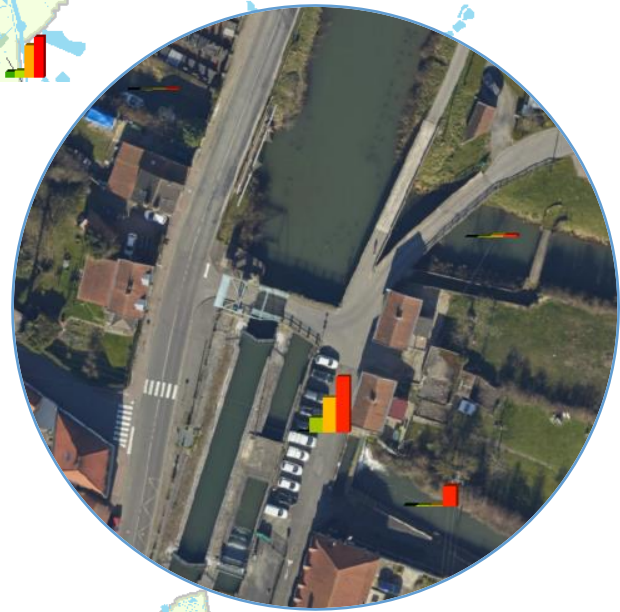
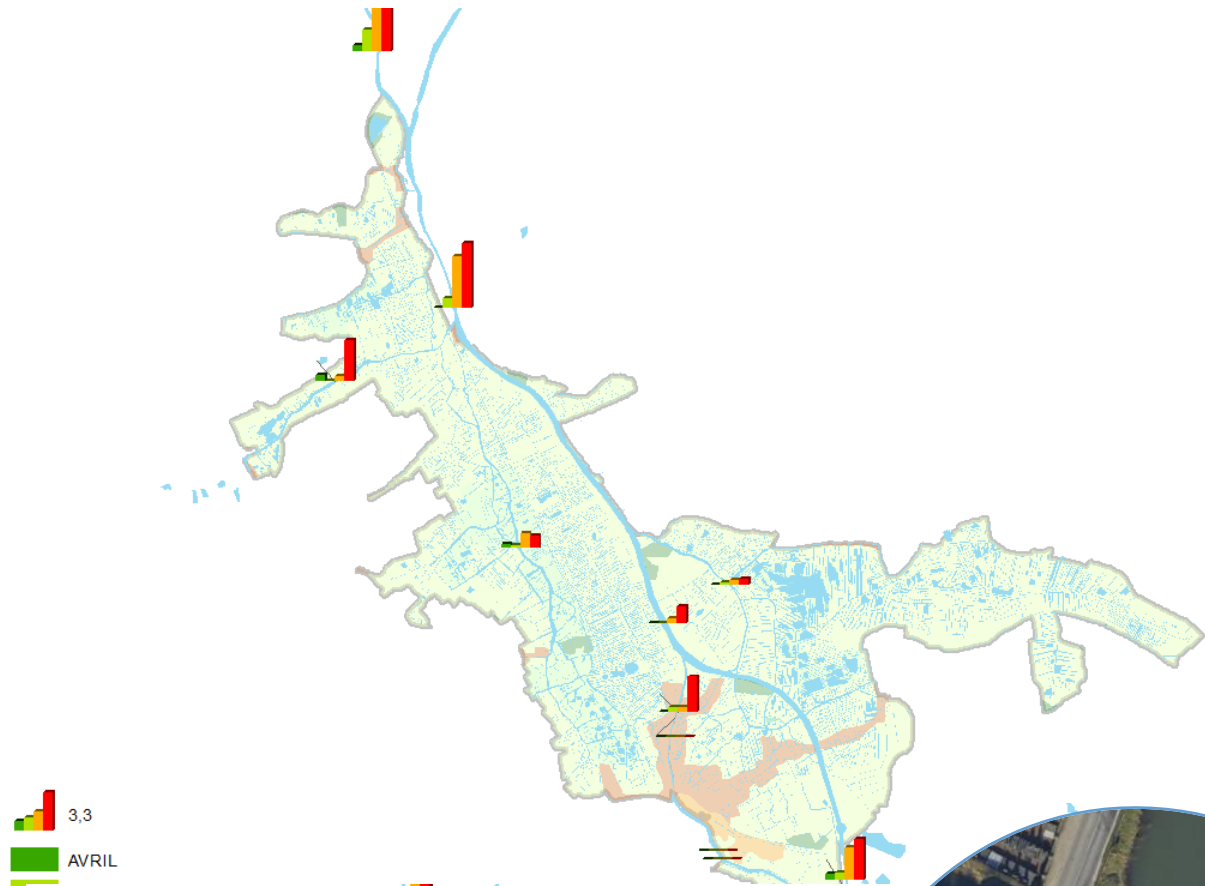
12 Entrée Grand Leeck



13 Entrée Basse Meldyck





Résultats en nombre de captures par flottang et par mois en 2018 et 2019.



Approche schématique d'un exemple de proposition de plan d'échantillonnage à l'aide de flottangs afin de suivre les ouvrages de Gravelines après leurs réfections.



 Station flottang suivi ouvrage

 Station flottang suivi accumulation/migration

Focus Brochet



Sommaire

Introduction	8
Bio-écologie du Brochet	9
Cycle vital.....	10
Enjeux et pressions.....	13
Le Brochet dans le marais Audomarois.....	15
Matériel & Méthode	18
Protocole Surface Favorable à la Reproduction (SFR).....	18
Approche cartographique	18
Approche inventaire terrain	20
Analyse et expertise cartographique	23
Indice d'Abondance Brocheton (IAB)	23
Période et sites échantillonnés	23
Protocole d'échantillonnage	24
Analyse des données	27
Radiopistage (RP)	28
Protocole de prélèvement des sujets.....	29
Protocole de marquage.....	31
Protocole de radiopistage	35
Communication	38
Suivi thermique	39
Analyse scalimétrique des individus suivis.....	39
Etude botanique en partenariat avec le CBNBL	40
Résultats	42
Surfaces Favorables à la Reproduction	42
Description générale des zones inventoriées.....	42
Ségrégation cartographique	43
Quantification des Surfaces Favorables à la Reproduction de l'espèce Brochet	45
Indices d'Abondances Brochetons	46
Résultats globaux	46
Synthèse cartographique	49
Analyses des variables physico-chimiques	51
Analyses multivariées variables abiotiques.....	52
Analyses multivariées variables biologique.....	53

Etude phytosociologique.....	54
Présentations des frayères effectives identifiées	57
Radiopistage	61
Survie et suivis des poissons.....	61
Poissons capturés	63
Campagne de communication et retour des pêcheurs.....	63
Approche globale	64
Approche individuelle.....	65
Approche individuelle remarquable.....	70
Domaine vital	74
Facteur abiotique : la température de l'eau	75
Scalimétrie.....	76
Discussion	78
Récapitulatif des résultats.....	78
Retour d'expérience.....	79
Calcul des productions de Brochets théoriques du marais Audomarois	81
Identification des problématiques	84
Hiérarchisation des enjeux et préconisations de gestion	88
Conclusion	92
Ce qu'il faut retenir.....	93
Bibliographie.....	94
Annexes.....	97

Table des figures

Figure 1 : Brochet adulte dans son habitat.

Figure 2 : Brochet à l'affût dans une végétation aquatique dense.

Figure 3 : Cycle de vie schématique du Brochet (FDAAPPMA62).

Figure 4 : Juvénile de Brochet.

Figure 5 : Schéma de différentes pressions s'exerçant sur l'espèce Brochet.

Figure 6 : Des habitats propices au domaine vital d'un Brochet dans le marais.

Figure 7 : Le marais Audomarois, exemples des habitats qui semblent propices à la vie du Brochet (Lieux-dit du Grand Large et du Ketestrom).

Figure 8 : Schéma des volets du Focus Brochet.

Figure 9 : Prise de vue en drone illustrant le réseau de fossés du marais.

Figure 10 : Illustration de l'approche cartographique à l'aide de raster photogrammétrique afin de sélectionner les zones les plus intéressantes à caractériser.

Figure 11 : Découpage du marais en 11 entités lors des phases d'inventaires des SFR.

Figure 12 : Exemple des embarcations utilisées pour se déplacer plus facilement dans les annexes du marais.

Figure 13 : Mises en situations illustrative de relève en bateau (avec tablette et jumelles).

Figure 14 : Un maillage de points de prélèvement ambitieux (plan d'échantillonnage pour 2018 et 2019).

Figure 15 : Illustrations du protocole IAB (deux opérateurs à pied en berge et 3 opérateurs embarqués).

Figure 16 : LR-24 Smith & Root®

Figure 17 : Prospection à l'aide d'un Electrofishing Boat de Smith & Root®

Figure 18 : Capture d'un Brochet à l'avant du bateau et placement dans le vivier.

Figure 19 : Répartition des zones de capture des 18 sujets marqués et zones de prospection.

Figure 20 : Présentation du poste de marquage et du matériel associé.

Figure 21 : Bac d'endormissement des poissons.

Figure 22 : Illustration de : 1. Ouverture au scalpel de la cavité ventrale 2. Insertion de l'émetteur ATS 3. Points de suture après opération 4. Marquages externe sur l'insertion de la nageoire dorsale 5. Un individu dans son ichtyomètre.

Figure 23 : Relâche des individus.

Figure 24 : Opérations de radiopistage embarqué à l'aide d'une antenne boucle.

Figure 25 : Émetteur ATS à antenne interne F1230 et postes récepteurs (indicateur de fréquence et d'intensité du signal).

Figure 26 : Différents types d'antennes pouvant être utilisées (1. Antenne fouet 2. Antenne boucle).

Figure 27 : Schéma du principe de biangulation.

Figure 28 : Positions des 3 sondes thermiques HOBOWare.

Figure 29 : Zone de prélèvement des écailles sur les Brochets capturés et illustration de la méthode de scalimétrie via l'étude d'une écaille de Brochet au microscope.

Figure 30 : Relevés phytosociologiques réalisés par le CBNBL à l'aide d'un grappin et utilisation d'un disque de Secchi.

Figure 31 : Graphique en radar représentant les proportions des diverses codifications Corine Land Cover présentes dans le marais pour les 11 entités de travail.

Figure 32 : Exemples concrets de codification de 4 sites dont deux jugés SFR

Figure 33 : Cartographie des surfaces favorables à la reproduction du Brochet dans le marais.

Figure 34 : Pourcentage de SFR des diverses zones inventoriées. *Données non-renseigné pour marais du Ham.

Figure 35 : Histogramme des classes de tailles de Brochets capturés.

Figure 36 : Occurrence (en%) des 18 taxons rencontrés lors des inventaires IAB.

Figure 37 : Exemple de captures réalisées : 1. Juvénile de Brocheton de l'année (individu cible des IAB), 2. Jeune Brochet d'une année, 3. Loche de rivière, 4. Juvénile de Tanche.

Figure 38 : Occurrence de Brocheton sur le marais Audomarois entre 2018 et 2019.

Figure 39 : Résultats des Indices d'Abondances Brochetons 2018 et 2019. Les nombres associés représente les stations avec deux Brochetons échantillonnés.

Figure 40 : ACP sur les 5 mesures physico-chimiques réalisés sur les stations IAB et cercle des corrélations associé.

Figure 41 : ACM réalisée sur les 7 variables environnementales descriptives (fonction .scatter) et barycentre des stations avec Brocheton (oui en bleu) et sans (non en rouge).

Figure 42 : ACM réalisée sur les variables d'occurrence des espèces de poissons. 15 taxons sont renseignés (avec exception des espèces rares, fonction .scatter) et les barycentres des stations avec Brocheton (oui en bleu) et sans (non en rouge).

Figure 43 : Photo des groupements de Carex majoritairement observés sur les stations avec présence de juvéniles de Brochet dans le marais.

Figure 44 : Exemples de 3 stations à potentialité de frayère et de nurserie pour l'espèce Brochet ; faible (1), moyenne (2) et forte (3et4).

Figure 45 : Récapitulatif de l'ensemble des frayères effectives de Brochet sur marais Audomarois. Surfaces calculés cumulées entre des linéaires IAB positifs, les linéaires adjacents similaires à potentialité forte et la surface en eau.

Figure 46 : Les 4 saisons du suivi radiopistage.

Figure 47 : Boxplot des distances moyennes par mois des Brochets suivis et groupes statistiques associés.

Figure 48 : Boxplot des sommes des déplacements totaux par mois des brochets et groupes statistiques associés.

Figure 49 : Mouvements des Brochets radiopistés en fonction de leurs positions selon l'axe Nord-Sud. En haut pour les poissons de l'Ouest du marais et en bas pour l'Est.

Figure 50 : Exemple de deux habitats types où deux poissons ont été radiopistés un grand nombre de fois sur la période de septembre à janvier.

Figure 51 : Distances cumulés des différents poissons suivis.

Figure 52 : Amplitude de déplacement maximum (au Nord ou au Sud) observées au cours du suivi sur les Brochets.

Figure 53 : Représentation schématique du déplacement moyen mensuel de chaque individu.

Figure 54 : Identification d'un drain favorable à la reproduction lors du radiopistage.

Figure 55 : Présentations schématiques des déplacements de 6 sujets remarquables.

Figure 56 : Répartition des domaines vitaux identifiés lors de la période de sédentarisation.

Figure 57 : Taille du domaine vital des poissons en fonction de leur taille et droite de régression linéaire associée.

Figure 58 : Moyennes des déplacements en fonction de la température de l'eau.

Figure 59 : Déplacements en fonction de la température de l'eau et droite de régression linéaire associée.

Figure 60 : Relation linéaire entre l'âge mesuré par scalimétrie et la taille des sujets.

Figure 61 : Récapitulatif schématique du raisonnement entrepris lors du Focus Brochet afin de parvenir à des préconisations de gestions adaptés en fonction des enjeux.

Figure 62 : Problématiques majeures identifiées sur le marais pour la réussite de la reproduction du Brochet.

Figure 63 : Un fossé recouvert de lentilles d'eau diverses et d'*Azolla Filiculoides* occultant la lumière tôt dans la saison.

Figure 64 : Rappel des habitats identifiés comme les plus fonctionnels dans le marais, les imposants touradons de *Carex*.

Figure 65 : Représentation des frayères du marais (vues drone).

Figure 66 : Les axes de travail proposés pour la sauvegarde du Brochet dans le marais.

Figure 67 : Exemple de deux buses mal positionnées et de deux solutions améliorant la connectivité latérale de manière optimale.

Figure 68 : Exemple de deux ouvrages de gestion des niveaux d'eau pour des casiers hydrauliques.

Figure 69 : Exemple d'une berge fauchée de manière répétée et d'une gestion adaptée.

Tableaux

Tableau 1 : Classe de qualité associé au CPUE de l'IAB.

Tableau 2 : Exemple de plusieurs études d'écologie spatiale dans l'hémisphère Nord.

Tableau 3 : Tableau de codification des classes d'états sanitaires des Brochets marqués.

Tableau 4 : Récapitulatifs des identifiants des diverses zones inventoriées.

Tableau 5 : Récapitulatif des résultats des volets IAB et SFR ainsi que l'identification des frayères effectives.

Tableau 6 : Liste des taxons retrouvés dans les fossés du marais lors des IAB.

Tableau 7 : Moyennes des mesures physico-chimiques lors des IAB 2018 et 2019.

Tableau 8 : Classement par potentialité de 140 stations IAB.

Tableau 9 : Récapitulatifs des sujets marqués.

Tableau 10 : Effectifs et tailles moyennes (en mm) des Brochets capturés et classes d'âges associées (obtenue par la scalimétrie).

Tableau 11 : Taux de survie de la ponte selon la potentialité des milieux (selon Chancerel 2003).

Tableau 12 : Base du calcul des populations et des productions théoriques de Brochet face à nos résultats dans le marais.

Tableau 13 : Projections théoriques des productions de Brochets dans le marais.

Lexique

ACM : Analyse en Composante Multiples

ACP : Analyse en Composante Principale

ADEAG : Agence de l'Eau Artois Picardie

ATS : Advanced Telemetry System

CBNBL : Conservatoire Botanique National de Bailleul

CPUE : Capture Par Unité d'Effort

IAB : Indice Abondance Brocheton

RP : Radiopistage

SFR : Surface Favorable à la Reproduction

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

Introduction

Le Brochet (*Esox lucius*), représentant de la famille des Esocidés, est un poisson prédateur piscivore emblématique de nos cours d'eau métropolitains. Le Brochet est qualifié d'espèce repère ou bio-indicatrice c'est-à-dire que sa présence et la bonne réalisation de son cycle biologique particulier donne des informations précieuses sur la qualité mésologique du milieu. En effet de par sa position dite de « top-prédateur », cette espèce va permettre d'évaluer la fonctionnalité du contexte dans lequel elle évolue. Ceci en plus du rôle écologique important que le Brochet joue en tant que prédateur parmi les communautés piscicoles. C'est notamment l'espèce repère des typologies de milieu typique de zone cyprinicole (zones à barbeaux et à brèmes ; B7, B8 et B9).



Figure 1 : Brochet adulte dans le marais Audomarois.

Le Brochet est également très recherché par de nombreux pêcheurs pour son intérêt halieutique et la technicité de sa pêche.

Néanmoins de par ses caractéristiques et préférences écologiques particulières, cette espèce est très impactée par les activités d'origines anthropiques.

Sur notre territoire le Brochet est inscrit sur la Liste Rouge UICN des poissons d'eau douce de France métropolitaine (2019) avec le statut vulnérable (VU – risque élevé à moyen terme – sans changement depuis la réactualisation de la liste rouge 2009 - 2019).

Dans le département du Pas-de-Calais, une grande partie des milieux aquatiques pouvant être favorables à la reproduction du Brochet sont directement impactés par des activités ou des aménagements anthropiques. Ce contexte peut conduire à des pressions importantes sur

les populations naturelles en plus de l'activité de la pêche de loisir. En ce sens, il est prépondérant de participer au maintien de l'espèce par la reconquête de ces zones de reproduction notamment.

Ainsi la Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique du Pas de Calais (FDAAPPMA 62) a lancé son projet d'expertise des milieux aquatiques nommé FBMA (Focus Biodiversité Marais Audomarois). Dans ce projet global s'inscrit le Focus Brochet, un point majeur de cette étude réalisée sur deux ans et financée par l'Agence de l'Eau Artois Picardie (AEAP) et la Région Hauts de France dans le cadre de l'appel à projet Initiatives en Faveur de la Biodiversité lancé en 2017 par l'AEAP.

Le Focus Brochet comprend 3 volets transversaux :

- Le diagnostic et la caractérisation des Surfaces Favorables à la Reproduction de l'espèce (SFR BRO).
- La caractérisation de l'effort de reproduction (réalisation d'Indices d'Abondance Brocheton ; IAB avec classe de qualité associée).
- L'étude comportementale du Brochet au sein du marais.

Bio-écologie du Brochet

Esox lucius (Linnaeus, 1758) appartient à l'ordre Esociformes qui comprend 2 Familles : les Esocidés (dont fait partie le genre *Esox*) et les Umbridés. L'espèce est facilement reconnaissable par son corps élancé et fusiforme ainsi que par son museau allongé et plat en forme de bec de canard. Sa robe est de couleur vert-brun bariolée de lignes transverses. L'aire de répartition du Brochet est large puisqu'il occupe presque toutes les surfaces de l'hémisphère Nord. Il est présent sur l'ensemble de la France métropolitaine.

Ces différentes qualités morphologiques telles que sa mâchoire puissante et son aptitude à attendre de grande vitesse (notamment lors de propulsion de « sprinter »), en font un prédateur remarquable. Son museau est pourvu de pores céphaliques qui l'aident à se repérer dans son environnement et à mieux localiser ses proies. Ce poisson chasse en effet à vue, c'est-à-dire qu'il adopte une position d'attente avant de fondre sur sa proie à grande vitesse sur une courte distance.



Figure 2 : Brochet à l'affût dans une végétation aquatique dense.

C'est une espèce ichthyophage, excepté lors de la phase juvénile où les larves commencent à se nourrir avec du plancton puis des invertébrés après résorption du sac vitellin (Keith et al. 2011). Mais il arrive également au Brochet d'être opportuniste et de consommer des proies diverses (rongeurs, jeunes oiseaux, écrevisses, amphibiens...).

L'espèce peut attendre une taille importante (entre 100 et 120cm en moyenne). La maturité sexuelle est atteinte au bout de 2 ans chez les mâles et 3 ans chez les femelles et la longévité est comprise entre 10-15 ans pour les mâles et 20-30 ans pour les femelles.

On retrouve cette espèce dans des cours d'eau de tous gabarits mais de préférence limpide. En effet, le Brochet chasse à vue, souvent dissimulé dans les herbiers et privilégie donc un milieu peu turbide, lentique et riche en végétation aquatique (Craig and Babaluk 1989, Casselman and Lewis 1996).

Cycle vital

Le Brochet possède un cycle de vie particulier et alterne entre plusieurs zones de vie.

Reproduction

Lors de sa reproduction qui a lieu en général entre février et avril avec une température de l'eau comprise entre 6 et 12°C, les géniteurs entament une migration vers les zones de frayères afin de se reproduire, parfois sur de grandes distances. On parle de migration holobiotique transversale (Chancerel, 2003 ; Skov et Nilsson 2018). Cette période de migration s'opère en 3 phases : migration de pré-reproduction, montaison et dévalaison.

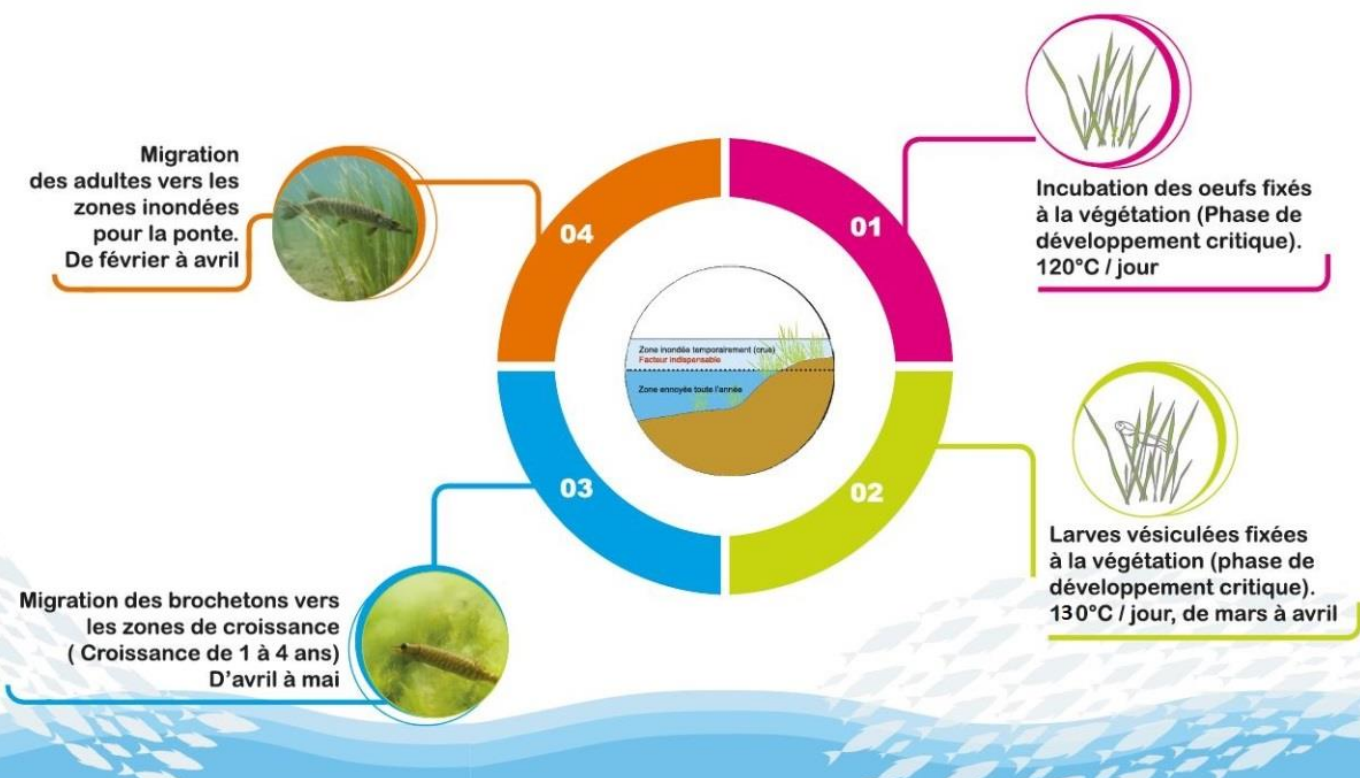
Le Brochet est une espèce dite phytophile, sa reproduction nécessite des zones de végétations herbacées recouvertes par l'eau en période de hautes eaux (à la faveur des crues) ou des zones de végétations aquatiques denses (Keith et al. 2011).

La végétation ennoyée par la crue (herbacés, Carex, joncs, glycéries, Phalaris...) constituera un support de ponte idéale pour les femelles et de fixation pour les larves. Ensuite les faibles hauteurs d'eau permettent au milieu de se réchauffer et de favoriser l'incubation des œufs. La taille de la frayère se doit d'être également relativement importante du fait de la fécondation des œufs d'une femelle par plusieurs mâles. On estime la surface minimale de fraie à 1000 m² (Souchon, 1983) pour un couple de géniteurs. Mais 3 mâles et une femelle peuvent par exemple saturer une frayère de 1500m². La ponte est en général fractionnée sur 2 à 5 jours par paquets. En termes de fécondité, les femelles peuvent produire en moyenne entre 16 000 et 45 000 ovules/kg.

Les frayères les plus efficaces sont les prairies humides ou les annexes hydrauliques telles que les noues, les dépressions humides et les bras morts (Farrell 2011). Ces milieux particuliers (végétation dense, hauteur d'eau entre 30 à 100cm, ensoleillé et lentique) sont essentiels à la reproduction de l'espèce et à la survie de ses larves (Chancerel 2003).

Stade larvaire

L'incubation dure 120 degrés-jours et la vésicule vitelline se résorbe en 130 degrés-jours. A leur éclosion les jeunes larves de Brochet vont se ventouser sur les végétaux disponibles (Raat 1988, Cooper et al 2008).



Il est enfin nécessaire que les annexes restent suffisamment longtemps en eau afin de laisser assez de temps aux brochetons de croître dans une zone calme, sans prédateurs et riche en nutriments et en zooplanctons.

Juvenile

Le régime alimentaire du Brochet est strictement carnassier, mais évolue au cours de sa croissance. L'alimentation active commence entre le remplissage de la vessie natatoire et la résorption totale de la vésicule vitelline. Le zooplancton (entomostracés et crustacés principalement) constitue la nourriture exclusive des jeunes Brochets dès leur première prise de nourriture jusqu'à une taille qui avoisine 20 mm. Vient ensuite un stade entomophage qui débute chez les alevins à partir d'une taille variable comprise, selon les

auteurs, entre 20 et 30 mm et persiste jusqu'à une taille proche de 60 mm. Ce régime peut cependant perdurer dans l'alimentation des Brochetons jusqu'à une taille de 100 mm et plus, que le stade ichtyophage soit atteint ou non (Kohn et Leviten 1976, Eklöv 1997 Jeppesen et al 1997).

Le cannibalisme des jeunes sujets de moins de 50 mm est aussi couramment observé au sein d'une même cohorte (Bry et al 1992, Chanceler 2003).



De mai à juin les Brochetons de 6 à 8 cm dits fingerlings vont être plus mobiles et entamer une migration afin de rejoindre le cours d'eau principal, aidés normalement par un ressuyage naturel de la zone de fraie.

Il est à noter qu'en milieu naturel les taux de survie des alevins sont très faibles. Seulement entre 0,3% et 10% des Brochetons arriveront en âge de migrer vers les bras principaux et entre 0,0005% et 1,5% d'atteindre l'âge adulte. Les taux de survie aux âges les plus jeunes sont fortement tributaires de la qualité de la frayère (Chancerel, 2003 ; Skov et Nilsson 2018). D'après les écrits on est donc en droit d'attendre une production de 0,25 fingerlings migrant par m² de frayère fonctionnelle, d'où l'intérêt majeur de caractériser les surfaces favorables à la reproduction.

L'importance de la végétation (habitat de reproduction et de nurserie) revêt aussi une importance capitale dans la réussite du cycle.

Le recrutement des Brochetons dépend donc :

- Conditions d'accès aux zones de reproduction
- Biomasses adulte en deçà d'un certain seuil
- Abondance des proies
- Température
- Éléments toxiques
- Retour au milieu naturel
- Substrats
- Stabilité temporelle des niveaux d'eau dans la frayère (pour l'accès, l'incubation, l'éclosion et le stade migrant)
- Taux de matière organique en suspension
- Prédation
- Nature des habitats de recouvrement
- Transparence

Enjeux et pressions

De par ses caractéristiques et préférences écologiques particulières, cette espèce est très impactée par les activités d'origines anthropiques. Nécessitant des zones de reproductions et de nurseries particulières, notamment des zones soumises à des variations hydriques. Le maintien de l'espèce est mis en balance par les aménagements hydrauliques tels que : l'intensification des pratiques agricoles, les barrages, les endiguements, le recalibrage, le reprofilage des cours d'eau et le drainage des zones humides.

Ces aménagements peuvent empêcher la libre circulation horizontale des individus géniteurs entre le lit mineur et majeur ainsi que l'inondation des sites de reproductions. Mais ils peuvent également fractionner leurs répartitions longitudinales. En effet, le Brochet n'est pas une espèce sauteuse et sa capacité de franchissement est donc limitée.

Malgré son caractère relativement ubiquiste, une régression significative des populations de Brochet est observée principalement à cause de la disparition progressive de ses aires de reproductions privilégiées.

En effet, parmi les pressions les plus intenses qui peuvent se poser sur ces zones, il est possible de lister :

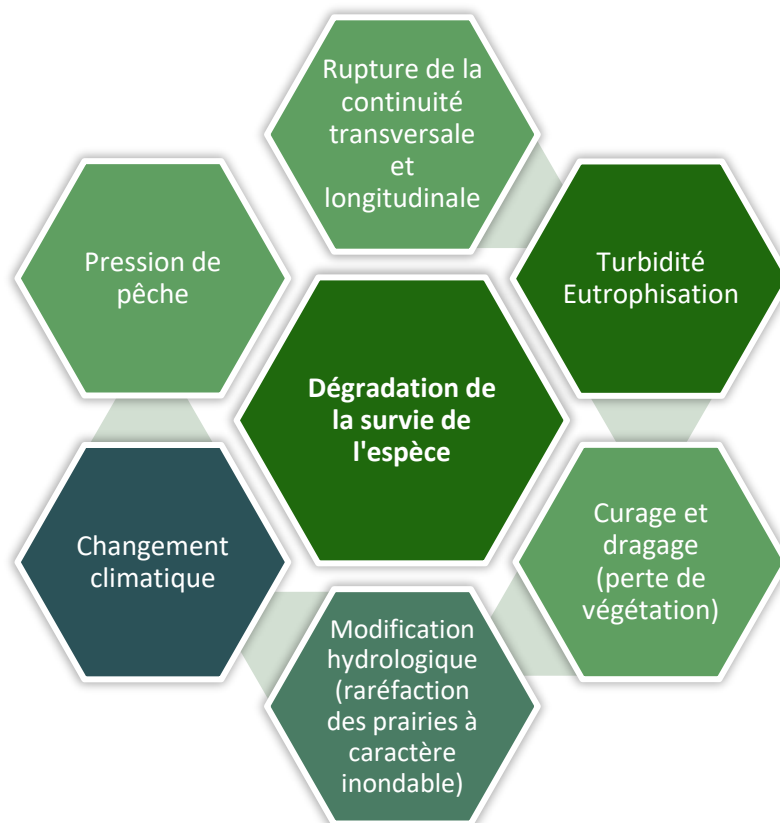


Figure 5 : Schéma des différentes pressions s'exerçant sur l'espèce Brochet.

- La rupture de la continuité qui peut freiner ou bloquer l'accès aux zones de fraies pour les adultes.
- L'eutrophisation des milieux et par là, la hausse de la turbidité qui peut nuire à l'alimentation du poisson (chasse à vue) mais aussi à la végétation et donc au développement et à la survie des larves (Ask et al. 2009, Karlsson et al. 2009, Hongve et al. 2014).
- Les curages ou les dragages intensifs voir la circulation fluviale intense peuvent aussi avoir un effet sur la diversité et la densité végétale. Celle-ci étant étroitement liée à la survie de l'espèce (Sandström et al 2005).
- La modification de l'hydrologie ou de la morphologie fluviale peut avoir un impact sur la structuration de la végétation aquatique rivulaire ou immergée. Ces modifications influent directement sur la réussite de la reproduction (Farrell et al. 2010). Les zones inondables sont en effet de plus en plus rares de part ces profondes modifications paysagères.
- Le changement climatique impacte de nombreuses espèces vivantes dont le Brochet (changement de température, agent pathogène, UV, etc.).
- La pression de pêche qui peut être non négligeable dans certaines zones.

Sur notre territoire, le Brochet est classé en Liste Rouge UICN des poissons d'eau douce de France métropolitaine (2009) avec le statut vulnérable (VU). Pour le moment, en France, la taille minimale de capture est fixée à 60 cm et le quota journalier de carnassiers par pêcheur est de 3 dont 2 brochets par pêcheur (Décret numéro 2016-417 du 7 avril 2016). Un autre outil de protection est le décret frayère du Pas-de-Calais (n° 2008-283 du 25/03/08) permettant de les protéger (20 000€ d'amende en cas de destruction de frayères ou des zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole).

De part ces caractéristiques, la restauration et la préservation des habitats de reproduction du Brochet sont des enjeux majeurs. De plus, les milieux humides, de par leurs spécificités possèdent une forte valeur écologique grâce aux services rendus par leurs fonctionnement (autoépuration, abatement des crues, réserves de biodiversité majeures par exemple).

Les enjeux dans l'hémisphère Nord, en Europe et plus particulièrement en France sont connus avec un poids économique et social de l'espèce Brochet très important. En effet, le Brochet est une des espèces les plus recherchées par les pêcheurs. Bon nombre d'évènements tournent autour de ce taxon. Pour donner un ordre d'idée plus de 150 000 pêcheurs ont été recensés en 2017 pour 3700 associations. La Fédération Nationale de la Pêche en France estime ainsi le poids économique de la pêche à environ 2 milliards d'euros (<https://www.federationpeche.fr>). Bon nombre d'actions ou de subventions sont directement allouées à la protection ou à l'étude de cette espèce.

Le Brochet dans le marais Audomarois

Le Brochet est depuis toujours une espèce emblématique du marais Audomarois, recherchée par de nombreux pêcheurs à pieds ou embarqués. La technique la plus utilisée par les pêcheurs locaux est la pêche au vif suivie par la pêche aux leurres. L'AAPPMA de la Concorde est l'association de pêche locale. Celle-ci se trouve être l'AAPPMA qui a le plus d'adhérents du département du Pas-de-Calais avec plus de 4000 pêcheurs en 2019. Cette structure entreprend l'animation du territoire local, sa surveillance avec 3 Gardes Pêches Particuliers sur place qui procèdent notamment aux déversements de brochets. En général, ce sont entre 200 et 300kg de brochets à l'Est et la même quantité à l'Ouest du marais qui sont lâchés, idem en cyprinidés (Gardons, Carpes commune et Tanches) avec selon les années 30 à 50kg de Goujon sur certains secteurs.

De nombreux autres acteurs locaux se partagent la gestion de ce territoire d'exception avec notamment l'assise forte du syndicat mixte Eden 62, du Parc Naturel Régional Caps et Marais d'Opales et du Conservatoire du Littoral. Ainsi, si la majeure partie du territoire reste privée, une importante superficie est gérée par ces structures de protections des milieux naturels.

Ces 700 km de voies d'eau dont 100km de cours d'eau qui couvrent les 37km² du marais sont pour la plupart des habitats de vie caractéristiques du Brochet. De tout temps jeunes et moins jeunes pêcheurs ont pu s'adonner à la pratique de la pêche de cette espèce.

Néanmoins si le territoire est riche en termes d'habitats, de caches, de végétations hélophytiques et hydrophytiques et de ressources alimentaires, celui-ci peut faire face à de nombreuses pressions. Comme par exemple : une absence de marnage liée à la gestion hydraulique du territoire par un système d'écluses (niveau d'eau constant maintenu par la régulation du Niveau Normal de Navigation du bief de Gravelines – Flandres par VNF) et de vannes complexes, une circulation fluviale dense en période touristique, un curage fréquent des voies d'eau ou encore des intrants agricoles et des rejets domestiques forts.



Figure 6 : Des habitats propices au domaine vital d'un brochet dans le marais.

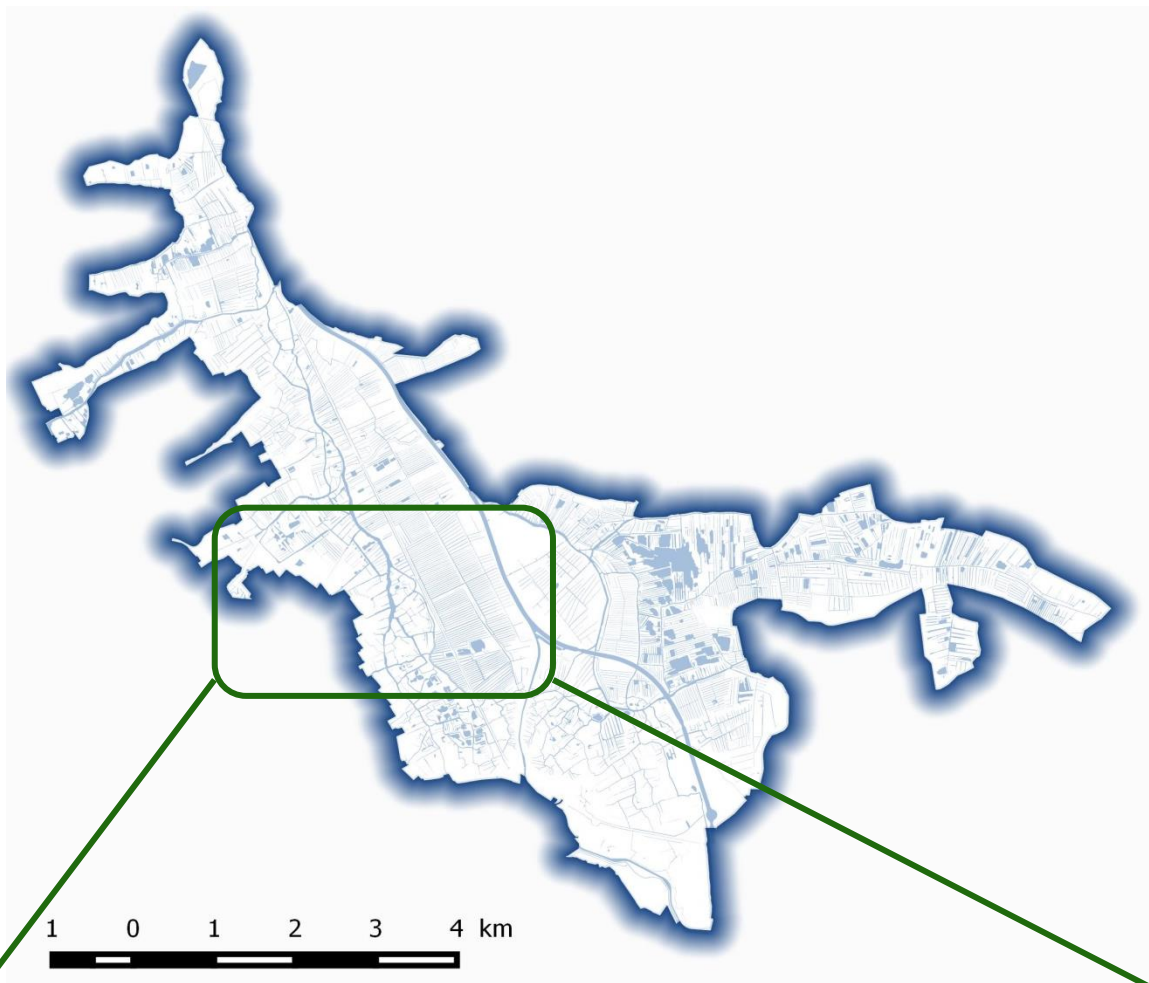
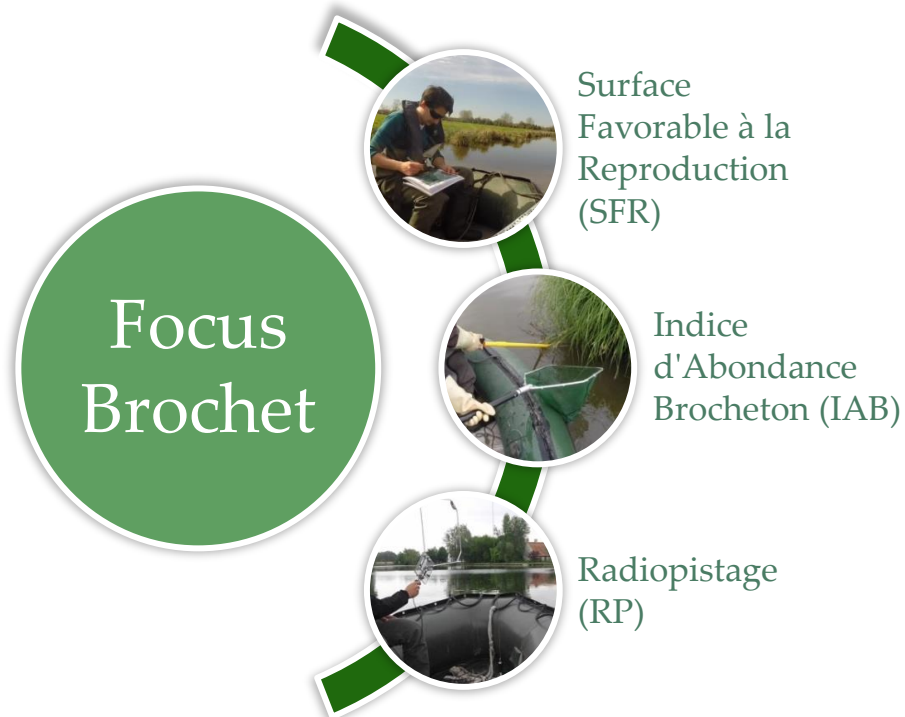


Figure 7 : Le marais Audomarois, exemples des habitats qui semblent être propices pour une population de brochets (Lieux-dit du Grand Large et du Ketestrom).

Malgré tout, peu de données piscicoles ont été produites lors des dernières années hormis sur le Romelaère et dans certaines zones (Natura 2000, annexes hydrauliques, etc.). La présente étude est la première étude complète entreprise sur le marais sur l'ensemble du cycle de vie de l'espèce repère.

L'objectif de cette étude est donc de diagnostiquer le potentiel et la fonctionnalité écologique du réseau hydrologique du marais Audomarois à l'aide de trois volets développés sur :



Chaque volet est développé à part mais l'ensemble de ceux-ci sont en interaction. Ainsi :

- **Surface Favorable à la Reproduction (SFR)** : ce volet a pour but l'analyse et la quantification des surfaces qui peuvent être favorables à la fraie de l'espèce en prenant en compte les données issues de la bibliographie ainsi que les résultats de l'analyse statistique produite sur les IAB.
- **Indice d'Abondance Brocheton (IAB)** : Déploiement d'un indicateur spécifiquement centré sur les juvéniles de brochets. Identification ciblée des zones avec fraies effectives de brochets.
- **Radiopistage (RP)** : Etude comportementale spatiale dont le but est de suivre les déplacements des brochets, étudier leur répartition en termes de domaines vitaux et leur migration de reproduction.

Ceci en vue de proposer des pistes de réflexions futures pour la mise en œuvre de zones de sauvegarde, la mise en place d'opérations de restaurations ou de créations de frayères. Ainsi que de restaurer l'accès à des entités qui fonctionnent en vase clos. En bref, d'assurer le maintien de cette espèce emblématique dont la situation est contrastée dans le marais Audomarois.

Protocole Surface Favorable à la Reproduction (SFR)

Approche cartographique

De par ces caractéristiques, le marais Audomarois possède un vaste et dense réseau hydrologique secondaire. Celui-ci est communément appelé par les acteurs locaux : réseau de fossés. Ces linéaires importants de canaux et de fossés (majoritairement privés) sont potentiellement des lieux attractifs pour le Brochet et notamment sa reproduction mais très peu de données existent sur le sujet.

En effet, il était nécessaire pour le bon déroulement du projet de hiérarchiser et d'organiser au mieux le temps de travail. Il aurait été complexe de répartir les recherches sur l'ensemble du territoire (pour rappel 700km de voies d'eau).

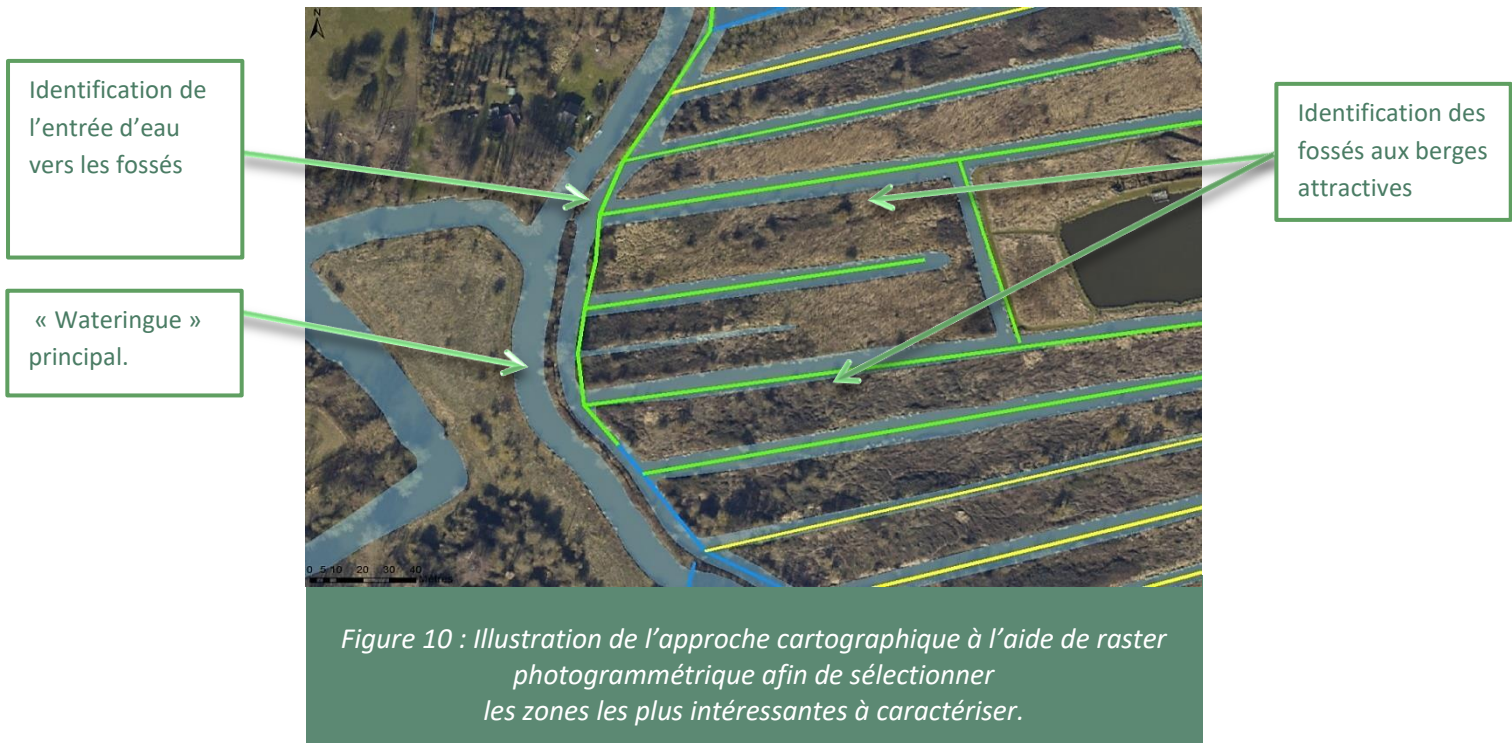
Notre regard c'est ainsi porté sur le réseau de fossés du marais, qui semble plus attractif à la reproduction des brochets et à leur phase de grossissement au regard d'études bibliographiques semblables.

D'autant qu'un diagnostic et une base de données étaient déjà existants sur les habitats de berges des cours d'eau principaux (nommés « wateringues ») réalisés en 2012 dans le cadre de la rédaction du Plan de Gestion de la 7^{ème} section des wateringues par les bureaux d'études Airele et Alfa environnement.

Comme présenté dans l'introduction, le but de l'étude est de produire une cartographie plus ou moins exhaustive des frayères à Brochet du marais. Ou tout du moins de fournir un état de connaissance qui fera office de socle pour les recherches futures.

Pour ce faire, il s'agira en premier lieu de découper le périmètre Ramsar du marais Audomarois en plusieurs zones d'études afin de faciliter et partitionner les recherches. L'approche classique de travailler en étudiant un linéaire de rivière est plus utilisée mais dans notre cas, le réseau du marais est trop dense et diffus pour aborder les recherches de cette façon.

Un pré-repérage sur ortho-photos a été réalisé afin d'orienter les investigations de terrain.

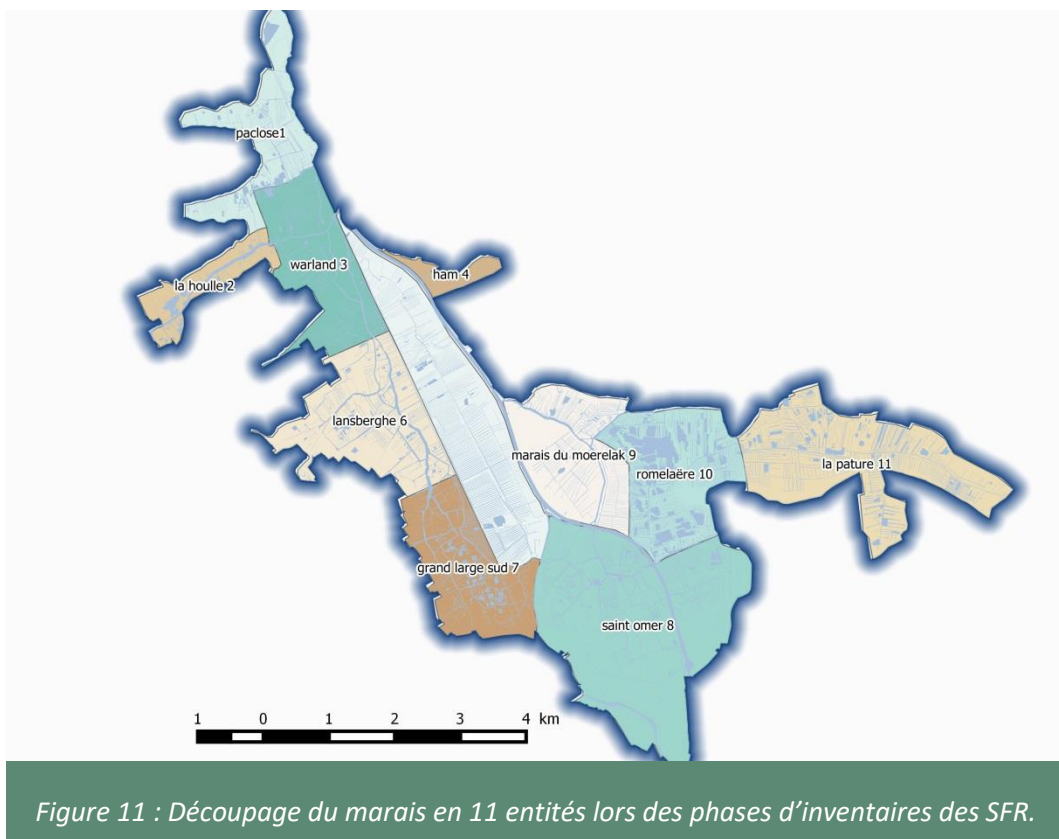


Découpage d'entités homogènes

Ainsi 11 entités ont été choisies en fonction de plusieurs paramètres à savoir :

- Leurs relatives homogénéités d'occupation du sol (maraîchage, usage récréatif, urbain, code CORINE Land Cover...).
- Leurs isolations hydrauliques (même affluent pour l'ensemble des canaux ou encore séparation par les grands axes navigables).
- Le découpage des axes de transport et la facilité des points d'accès pour les phases terrain (découpage, réseau routier, chemin de fer, canaux navigables...).

A l'aide de cette approche les phases d'inventaires terrain ont pu se dérouler de manière organisée.



Approche inventaire terrain

Les prospections sur les secteurs ont ensuite été réalisées sur l'ensemble du territoire afin de diagnostiquer *in situ* chaque entité pré-repérée.

Période d'inventaire

Le recensement fut réalisé de début février à fin mars 2018. Ceci en vue de correspondre avec les dates de reproductions attendues sur le territoire. Lors de cette période, les sites peuvent être visités de manière optimale avec peu de végétation facilitant ainsi les accès ou le passage en embarcation. De plus, la seule végétation en place lors de cette période (hydrophytique vivace ou héliophytique) est, en toute logique, disponible à la fraie de l'espèce.

Déroulement des inventaires terrain

Lors des suivis, l'objectif est de pouvoir couvrir un maximum de linéaire afin d'être le plus représentatif possible. Pour ce faire, le recensement des habitats en présence se doit d'être rapide. Une fiche typologique a été produite en vue de bancariser les données générées.

Les inventaires étaient réalisés par tout temps en voiture, à pied, à vélo, en canoë ou en bateau à moteur selon les zones et les accès. L'opérateur renseigne les informations sur une tablette tactile pourvu d'un logiciel SIG.



Figure 12 : Exemples des embarcations utilisées pour se déplacer plus facilement dans les annexes du marais.

Fiche terrain

Un road-book et une fiche terrain ont été créés pour servir de support aux prospections. La base du principe de notation de fonctionnalité de la fiche a été inspirée par les travaux de F.Chancerel en 2010. Cette base nous semblait pertinente et a été adaptée au contexte marais. Le système de points peut être intéressant pour classer et hiérarchiser le grand nombre de sites obtenus (cf annexe).

On retrouve sur chaque fiche les coordonnées du site, le nom du lieu-dit, la date, la température, la météo, la connexion hydrique, la végétation et les divers éléments descriptifs. La note prend en compte la surface

potentiellement en eau, le recouvrement végétal hydrophytique et héliophytique en place, l'état de la connexion (section de contrôle), l'ensoleillement (ombrage engendré par la végétation arborescente et arborée), la profondeur, la turbidité évaluée, le débit et la topographie des lieux. A cela s'ajoute également une partie commentaire.

Cette fiche servira à présenter les différents sites recensés ou les stations IAB. Les données obtenues seront intégrées dans une table attributaire contenant l'ensemble des surfaces favorable à la reproduction.

Fiche Typologie

Une fiche présentant les divers codes de typologie associés à la table attributaire SFR est présentée en annexe.

Celle-ci codifie la saisie dans les champs de la table afin de gagner en productivité. En général c'est un code d'intensité qui est à notifier, entre 1 et 3. Les champs importants à remplir afin de classer les sites sont les suivant :

- Hauteur de la berge (fort >1m, moyen [1-0,5m] et faible <0,5m)
- Longueur (longueur de polyligne calculée automatiquement sur SIG, surface en eau pouvant également être calculé *a posteriori* si besoin).
- Pendage de la berge (fort [60°-90°], moyen [30°-60°], faible <30°)
- Profondeur de l'eau (très peu profond [0,1-0,3m], peu profond [0,3-0,6m], moyen [0,6-1m], profond >1m)
- Ombrage relatif (fort, moyen, nul)
- Habitats de berge ou de fond (couple hélophyte+hydrophyte, hélophyte seul, hydrophyte seul, graminées, végétation arbustive, berge à nu)
- Artificialisation des berges (tunage, palplanche, tôle ou acier, béton, synthétique)
- Ouvrage ou connexion si présence (avec leur nature et leur éventuelle franchissabilité pour les espèces piscicoles)
 - Une photo est prise si les habitats semblent attractifs ou si une connexion ou un obstacle non connu sont renseignés. Une photo est en général prise pour chaque zone d'environ 100-300m en vue. L'importante banque photo classée par zone sera également utile *a posteriori*.

Tablette tactile et SIG

Une tablette tactile renforcée a été utilisée lors de cette phase terrain avec le logiciel SIG Qgis afin de cartographier les habitats répertoriés. Chaque drain, fossé ou petit cours d'eau du réseau secondaire seront répertoriés et renseignés dans les divers champs de la table attributaire ou retracés si besoin (si assec, remblais, fossés manquant à ajouter ou qui n'existe plus à supprimer etc.).



Figure 13 : Illustrations de prospections en bateau (avec tablette et jumelles).

Descriptif du matériel embarqué

Pour les relevés terrain, le matériel utilisé peut être listé comme suivant :

- Sac à dos et pochette étanche
- GPS Trimble® Juno 3B avec le logiciel ArpentGIS
- Tablette tactile Windows renforcé avec le logiciel Qgis
- Fiches terrains et book cartographique

- Sonde thermique ou multiparamètres
- Télémètre laser
- Paire de Jumelles
- Planche, crayons et feuilles
- Appareil photo numérique, téléphone et batterie externe
- Décamètre ou pige étalonné
- Trousse de premier secours
- Canoë, vélo ou bateau pneumatique
- Equipements de protection individuelle : Bottes, cuissardes ou waders, gilets de sauvetages, lunettes polarisantes, autres...

Analyse et expertise cartographique

L'ensemble des données accumulées lors des sorties sont traitées sous SIG à l'aide du logiciel ArcGis. Cela dans le but de produire une couche cartographique de l'ensemble des fossés avec leur description, et par la réaliser un atlas des Surfaces Favorables à la Reproduction du Brochet dans le marais.

Indice d'Abondance Brocheton (IAB)

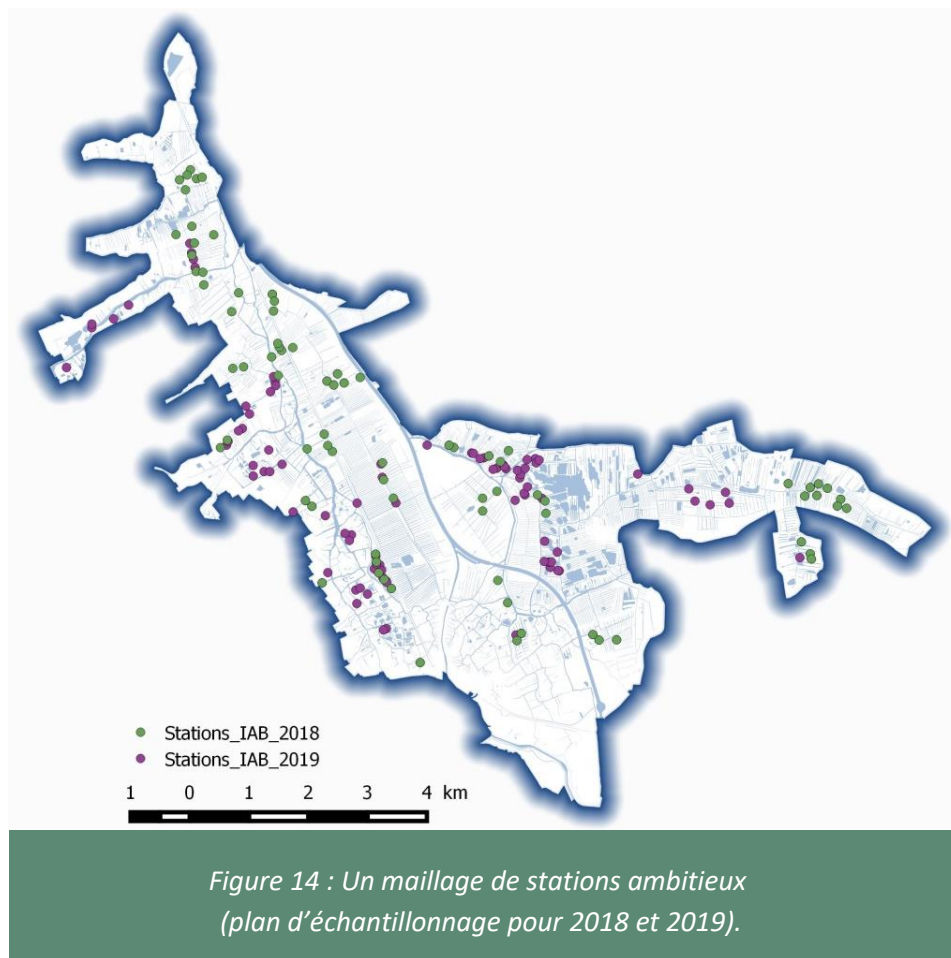
En parallèle de l'étude des surfaces favorables à la reproduction, des échantillonnages ponctuels sont réalisés afin de juger de l'effort ou de la réussite de la reproduction sur les sites. Étant donné la taille très variée des sites et l'important linéaire recensé, il fut nécessaire de sélectionner et de définir des sites à échantillonner en fonction des critères relevés.

L'atlas cartographique produit lors du volet SFR a servi de trame pour choisir les stations à échantillonner.

Période et sites échantillonnés

Un protocole d'échantillonnage a été défini en fonction de la surface des zones à prospecter, l'objectif étant de pouvoir procéder de manière efficace et rapide sur chaque station, notamment les plus étendues. Un large maillage de stations ambitieux a donc été créé afin de couvrir un maximum de zones représentatives du marais Audomarois.

Au total, ce sont 205 stations qui ont été échantillonnées sur deux années dont 60 stations en 2018 et 145 en 2019. Le protocole a été déployé du 14/05/2018 au 18/05/2018 et du 02/05/2019 au 28/05/2019. Le mois de mai fut jugé le plus propice à la réussite des phases d'inventaires, les juvéniles étant en majorité arrivés au stade Brocheton migrant (mesurant entre 40 et 60mm).



Protocole d'échantillonnage

Description de la méthode

Comme pour toutes les espèces piscicoles, l'abondance de juvéniles de l'année (âge 0+) est un indicateur important du fonctionnement d'une frayère (évaluation du recrutement). L'Echantillonnage Ponctuel d'Abondance est réalisé en 5 min de temps pêche effective quasiment en continue en longeant la berge et en ciblant des habitats de types reproduction et nurserie. Ce protocole d'échantillonnage découle du protocole Vigitruite© ou de l'Indice d'Abondance Saumon (qui cible les zones de production de types radiers/plats courants propres aux salmonidés afin d'échantillonner les juvéniles 0+/1+ en 5 min de temps) qui a été

adapté à l'échantillonnage de brochetons. Ce protocole, adapté aux exigences de l'espèce, permet entre autre de multiplier les stations et donc d'en prospecter un grand nombre pour avoir une vision globale de l'effort de reproduction sur un secteur donné. Cela permet également d'affiner et de préciser quels sont les habitats et les substrats de ponte privilégiés par l'espèce. Cet indice, de type « Capture Par Unité d'Effort » (CPUE) est exprimé en nombre de juvéniles de l'année (0+) capturés en cinq minutes de temps de pêche électrique effective.

Dans le détail, les habitats prospectés sont uniquement des faciès lentiques, de faible hauteur d'eau, à la végétation aquatique dense et à la végétation rivulaire basse si possible recouverte d'eau (*Carex*, *Phalaris*, herbacés, etc). Seuls les brochetons de l'année (0+) sont comptabilisés pour produire l'indice d'abondance. Les brochetons 1+ (classe de taille [220-300] sont certes échantillonnés mais non pris en compte dans le calcul de l'indice). Le stade 0+ est associé à la classe de taille 30 à 80mm (à partir du mois de mai). D'autre part, la distinction peut se faire plus précisément après biométrie et analyse de l'histogramme des effectifs par classe de taille, notamment en raison des taux de croissances plus élevés des brochetons en milieu calcaire ou plus riche en nourriture.



Figure 15 : Illustrations du protocole IAB
(deux opérateurs à pied en berge et 3 opérateurs embarqués).

Matériel de pêche déployé

Le matériel déployé nécessaire à la réalisation des Indices d'Abondance Brocheton se compose :

- D'un appareil portatif de type LR-24 (Smith & Root®), dont l'anode fait 35 centimètre de diamètre.
- D'une épuisette avec une tête à cadre métallique (aluminium) et à bord inférieur droit de 60 et 75 centimètres de large, équipées d'un filet avec une maille de 4 millimètres et dont la profondeur est environ égale à la largeur de l'épuisette.
- D'une épuisette avec un cadre de forme ovoïde ou rectangulaire de 20cm de large et pourvue d'un filet avec une maille de 2 millimètres.
- D'un bac de stabulation pour stocker les individus capturés.
- D'un ou plusieurs ichtyomètres.
- De waders et de gants isolants pour les opérateurs.
- D'une annexe pneumatique de 2.90m Frazer Session® équipée d'un moteur électrique Minn Kota® 55lbs et des batteries marines.
- D'un terminal GPS Trimble Juno 3B® pour cartographier le linéaire échantillonné.



Figure 16: LR-24 Smith & Root ®

N.B.: Les individus situés en périphérie du champ électrique qui n'ont pas subi la « mise en nage forcée » (phénomène d'électronarcose) et qui n'ont pas pu être capturés (échappement) ne sont pas comptabilisés. Mais s'ils ont pu être formellement identifiés, leur taille est estimée et ils sont compris dans l'échantillonnage.

D'autre part, à l'issue du temps de pêche effectif de 5min, si les habitats ciblés sont encore présents sur le reste du linéaire prospecté, un effort supplémentaire d'échantillonnage sans comptabilisation du temps peut être réalisé et les individus capturés seront donc inventoriés mais non pris en compte dans le cadre du calcul de l'IAB (sondage supplémentaire hors protocole).

Calcul de l'Indice d'Abondance Brocheton

L'Indice d'Abondance Brocheton par station correspond donc au nombre de juvéniles de l'année (0+) capturé en 5min de temps. Afin d'apprécier un caractère qualitatif à cet indice, nous avons décidé d'élaborer des classes de qualité associées à des classes d'abondance (un code couleur a été attribué à 6 classes d'abondance) :

Nombre de Brochetons 0+ échantillonnés en 5 min					
0	[1 – 3]	[4 – 8]	[9 – 15]	[16 – 22]	≥ 23
Nul	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

Tableau 1 : Classes de qualité associées aux classes d'abondances.

Analyse des données

Mesures biométriques

Les informations issues de la phase de biométrie sont notées sur des fiches terrains et l'ensemble des données sont collectées et bancarisées.

Analyse des variables

Afin d'analyser les variables obtenues, le logiciel utilisé pour l'analyse des résultats est le logiciel R version 3.6.2 (associé à l'interface plus didactique de Rstudio Team). Les packages utilisés lors des analyses sont les packages *vegan*, *ggplot2*, *FactoMineR* et *ade4*.

Statistique descriptive multivariée

Les résultats du volet SFR (codification selon typologie) sont croisés avec les résultats du volet IAB (occurrence des taxons et des Brochetons de l'année). L'analyse choisie est l'Analyse en Correspondances Multiples (*com. pers.* Ingénieur de recherche IRSTEA et Université de Lorraine).

C'est une technique descriptive qui vise à résumer l'information contenue dans un grand

nombre de variables, ceci afin de faciliter l'interprétation des corrélations existantes entre ces variables. L'objectif est de savoir quelles sont les modalités corrélées entre elles. L'ensemble des mesures sont représentées dans un espace à plusieurs dimensions où chaque axe présente les différentes variables. L'analyse permet de dégager un profil type des divergences entre site avec ou sans brochetons.

Radiopistage (RP)

Le volet radiopistage est une étude centrée sur l'écologie spatiale. Si les études actuelles sont de plus en plus nombreuses sur le sujet, la majorité traite de l'étude d'effectifs inférieurs à 30 sujets et sont réalisées en rivière ou dans des plans d'eau. Très peu ou aucune étude n'a eu lieu sur des milieux de type marais comme celui-ci. Plusieurs références peuvent être listées à titre indicatif (tableau1).

Reference	Localisation	Résumé
M.Burr, 2002	Alaska	Sur 42 Brochets, mouvements et fidélité des Brochets à la rivière Dall
Masters, et al., 2003	Angleterre	Sur 15 Brochets, répartition spatiale des Brochets au sein de la rivière Frome
Ovidio & Philippart, 2005	Belgique	Sur 6 Brochets, cycle annuel d'activité et cycle de reproduction du Brochet sur l'Ourthe
Dubost & Vauclin, 2004	France	Sur 52 Brochets, déplacements des Brochets en période de reproduction et observation de l'impact des obstacles sur l'III
Hodder, Masters, & Beaumont, 2007	Angleterre	Sur 27 Brochets, comportement de répartition spatiale des poissons sur la rivière Frome
Kobler et al. 2008	Allemagne	Sur 11 Brochets, déplacement sur un lac
FDAAPPMA 59 2015	France	Sur 10 Brochets, migration sur la Sambre
FDAAPPMA 62 2014	France	Sur 10 Brochets étude des déplacements sur les canaux de Guînes et Ardres
FDAAPPMA 55 2019	France	Sur 100 Brochets, études des déplacements et migrations sur 2 ans sur la rivière Meuse et ses annexes

Tableau 2 : Exemple de plusieurs études d'écologie spatiale dans l'hémisphère Nord.

Si diverses technologies sont mises à dispositions (télémétrie acoustique, imagerie acoustique, télémétrie radio, capture/marquage/recapture, etc.), la méthode choisie comme la plus pertinente dans notre cas est la méthode de suivi télémétrique à l'aide d'émetteurs radio.

Protocole de prélèvement des sujets

Nombre de sujets marqués

C'est au total 18 sujets qui ont donc été capturés dans le marais Audomarois en vue d'être marqués pour être suivis. Cet effectif a été défini en fonction du coût de l'opération (nombre d'émetteurs, personnels déployés pour la phase de capture...) et son déploiement. En effet, il aurait été très complexe de suivre un trop grand nombre d'individus et à l'inverse avec trop peu d'individus, l'extrapolation statistique devient difficile.

S'il était initialement prévu de marquer 20 sujets, des difficultés ont été rencontrés pour

arriver à ce chiffre. En effet, les brochets n'étaient pas si abondants dans les zones prospectées. De plus, ils n'atteignaient fréquemment pas la taille requise pour un marquage sans risque et ont donc été relâchés directement. En effet, le poids de l'émetteur ne doit pas dépasser 2% du poids total de l'individu afin de ne pas gêner l'animal dans sa nage ou son mode de vie. Le poids des émetteurs utilisés dans le cadre de cette étude est de 23 g, par conséquent, seuls les brochets capturés de plus de 1150 g en seront équipés.

Campagnes de prélèvements

Les campagnes se sont déroulées sur 2 jours complets à l'Est (du 20 au 21/11/2019) et 2 jours complets à l'Ouest (du 24 au 25/10/2018) à l'aide de 6 opérateurs.



L'appareil utilisé lors des campagnes de captures des Brochets est un « Electrofishing-boat » de la marque Smith & Root® (USA). Il s'agit d'un bateau spécialement conçu pour la pêche en grand milieu (cf Focus RCS pour plus de descriptions).

Celui-ci est constitué d'une coque robuste en aluminium, d'un poste de pilotage et de deux grands bras escamotables. Les câbles en acier placés sur la proue de l'embarcation font office de cathode. Les câbles placés en « araignée » au bout des deux bras font office d'anode (Figure 17).

Le bateau est également équipé d'un vivier à demeure avec une circulation d'eau, d'une surface antidérapante et d'une pédale à l'avant permettant à un des opérateurs d'activer ou désactiver le champ électrique rapidement et avec sécurité.

Des schémas techniques peuvent être consultés en annexe du Focus RCS. La tension de sortie est ajustable et modulable ce qui permet un réglage fin de l'électrotaxie et limite les tétanies quelle que soit la conductivité.

Les opérateurs sur l'embarcation, avancent le long des berges en laissant un courant continu (des interruptions peuvent être réalisées si jugées pertinentes) jusqu'à l'apparition d'un Brochet dans le champ.



Figure 18 : Capture d'un Brochet à l'avant du bateau et stabulation dans le vivier

Les secteurs ciblés

Les secteurs de capture sont choisis si la présence de géniteurs y est avérée et que la profondeur permet une certaine efficacité de pêche.

Deux grandes zones de captures sont ciblées :

- A l'Ouest du marais à partir de l'embarcadère de la commune de Salperwick. Les prospections sont réalisées sur le wateringue dit du « Grand large » et sur les cours d'eau attenants dans un rayon d'environ 3km.
- A l'Est du marais à partir de la cale de mise à l'eau de la commune de Nieurlet. Les prospections sont réalisées sur les wateringues dits du « Moreleck » et de la rivière de Nieurlet ainsi que sur les cours d'eau attenants dans un rayon d'environ 2,5 km.

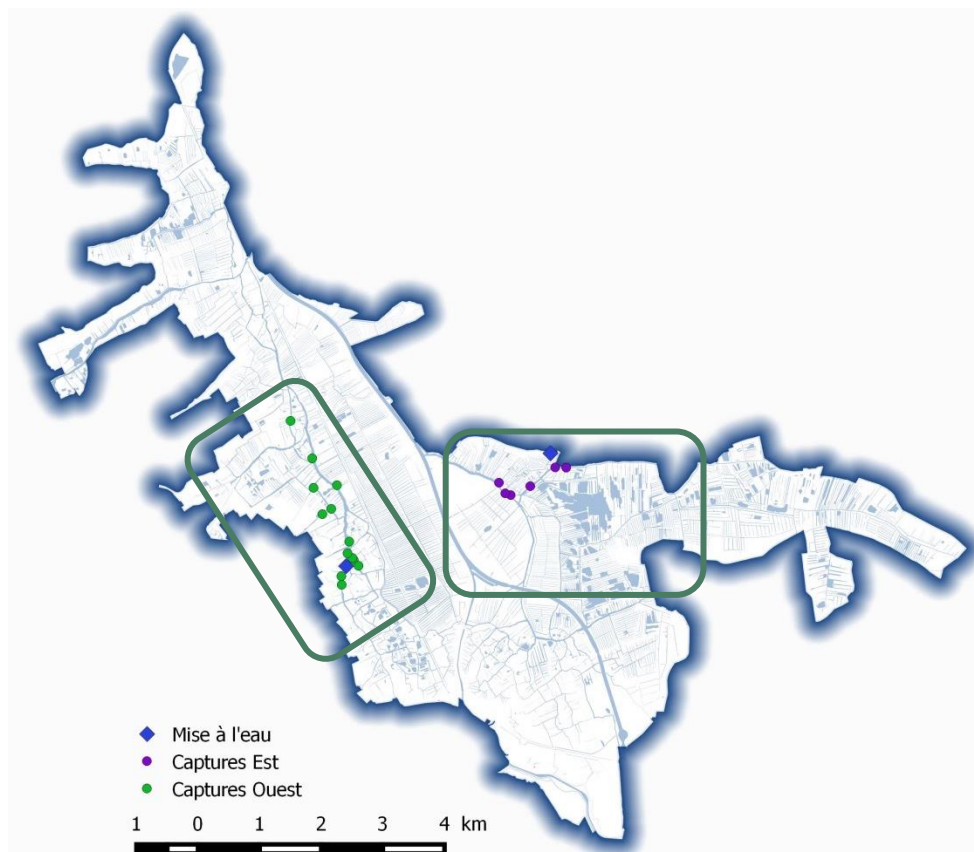


Figure 19 : Répartition des points de captures des 18 sujets marqués et zones de prospection encadrées.

Protocole de marquage

Une fois qu'un ou plusieurs individus sont capturés, ceux-ci sont mis en stabulation dans un bac de 200 litres ou dans le vivier de l'EFB. Ils sont ensuite amenés à l'atelier de chirurgie en vue d'être équipés d'un émetteur.

Préparation du matériel

Avant de démarrer les opérations de marquage et de biométrie il est nécessaire de préparer le matériel et de vérifier son bon état. Avec comme suit : vérification des fiches de marquage, désinfection des outils chirurgicaux et de l'émetteur, test du bon fonctionnement de l'émetteur, préparation du bain anesthésiant, mise en eau des bacs de stabulation, de réveil et de marquage et enfin organisation de la table et de l'atelier de marquage.

La zone de travail étant situé dans un milieu naturel et non dans un milieu fermé (type bureau ou laboratoire) l'environnement ne peut être à 100% stérile. Néanmoins un soin tout particulier doit être apporté pour obtenir une asepsie maîtrisée de la zone de travail afin d'optimiser la réduction des risques infectieux. L'ensemble du matériel utilisé (émetteur et matériel chirurgical) est désinfecté avec de l'alcool éthylique pur 96% et correctement séché avant chaque manipulation. Le port de gants est également recommandé lors de l'acte chirurgical.



Figure 20 : Présentation du poste de marquage et du matériel associé.

Phase d'anesthésie des individus

L'anesthésie des individus est obtenue grâce à l'utilisation d'eugénol (huile essentielle de Clous de girofle) déjà dilué avec de l'éthanol. La concentration optimale utilisable du produit pur se situe entre 0,3 mL et 0,4 mL pour 10 litres d'eau (Chanseau et Larinier, 2000). Cet anesthésique étant peu soluble dans l'eau, celui-ci est dilué à 10% avec de l'éthanol. Le volume d'anesthésiant dilué a utilisé est donc de 3 mL à 4 mL pour 10 litres d'eau.



Figure 21 : Brochet en anesthésie profonde.

Le bain anesthésiant est réalisé dans une caisse similaire au bac de stabulation de 200L noir avec possibilité de poser un couvercle ce qui permet de fermer facilement ce dernier afin d'anesthésier l'individu dans le noir (réduction de la production de cortisol (hormone du stress)).

Après les premiers signes d'anesthésies de l'individu (balancement sur les flancs, plus

d'action de nage, ventilation lente et régulière, les mesures biométriques, et le sexage de l'individu peuvent débiter ainsi qu'un prélèvement d'écailles en vue de réaliser une analyse scalimétrique.

Phase de biométrie

Plusieurs données vont être relevées pour tous les individus capturés. Il s'agit des données suivantes (les Fiches individus sont en annexe) :

- Espèce (Brochet)
- Sexe ♀ ♂
- Longueur totale (mm)
- Etat sanitaire (cf Classes)
- Poids (g)
- Photos des deux flancs

Le jugement de l'état sanitaire correspond à l'attribution d'une lettre et celle-ci renvoie à la description de l'état:

CLASSE	DESCRIPTION
A	Etat très satisfaisant
B	Etat assez satisfaisant (écaillage partiel, blessures bénignes ou cicatrisées)
C	Etat moyen (plaies, rougeurs, écailles manquantes, nageoires abîmées)
D	Etat préoccupant (blessures importantes, saignement, écaillage très important)
E	Etat alarmant (blessures très graves, état général très dégradé, survie compromise)

Tableau 3 : Tableau de codification des classes d'états sanitaires des Brochets marqués.

Marquage et chirurgie

Le contingent de 18 Brochets adultes ont été marqués à l'aide d'« émetteurs actifs » de type ATS F1230.

Pour l'opération d'implantation de l'émetteur, l'individu est placé sur le dos dans un berceau de marquage incliné dans le bac, sa tête reste immergée dans l'eau afin d'alimenter les branchies en oxygène.

L'individu va être équipé d'un émetteur ATS à antenne interne de type F1225 (de 23 g avec option mortalité après 12 heures d'immobilisation). L'implantation de cet émetteur s'effectue dans la cavité abdominale des individus. Pour information le poids de l'émetteur une fois immergé dans 1L d'eau ne pèse plus que 19g. Ce qui autorise le marquage de sujets qui pèsent que 950g. Dans notre cas, nous avons choisi de marquer des individus matures sexuellement et donc de sélectionner les individus en fonction d'une taille supérieure ou égale à 50 cm.

Le marquage débute par une application locale de désinfectant type Bétadine® appliquée avant la réalisation d'une incision de 2 à 3 cm entre les nageoires pelviennes et l'anus à l'aide d'un scalpel et d'une sonde cannelée. L'émetteur est ensuite inséré avec soin dans la cavité abdominale et glissé sous

le plancher des nageoires pelviennes afin que celui-ci ne pèse pas sur les sutures en vue d'une bonne cicatrisation. Des fils de sutures à résorption lente sont utilisés pour réaliser 3 sutures simples.

L'ensemble du matériel utilisé est correctement désinfecté avec de l'éthanol 96% et séché avant la manipulation (cf préparation du matériel). De même, la fréquence d'émission de l'émetteur est testée puis notée avant l'opération.



Figure 22 : 1. Ouverture au scalpel de la cavité ventrale 2. Insertion de l'émetteur ATS 3. Points de sutures après implantation 4. Marques externes de type « spaghetti » codées et insérées au niveau de la dorsale 5. Un individu dans l'ichtyomètre.

Les individus sont également marqués à l'aide d'une marque externe de type « spaghetti » pourvu d'un code afin d'identifier le poisson en cas de capture par un pêcheur.

Des écailles sont prélevées en vue de réaliser une analyse scalimétrique au laboratoire.

Réveil et relâche du poisson



Figure 23 : Relâche des individus.

L'individu est ensuite transporté et placé dans un bac de réveil pourvu d'un bulleur relié à une bombonne d'O₂ si besoin.

Lorsque l'individu est revenu à l'état d'équilibre et qu'il montre une activité de nage, celui-ci sera relâché dans le milieu.

Protocole de radiopistage

Après le marquage des individus, les Brochets équipés d'émetteurs ATS vont pouvoir être suivis par radiopistage. Les ondes radio émises par l'émetteur sont captées par un poste récepteur qui permet de localiser tous les individus.



Figure 24 : Opération de radiopistage embarquée à l'aide d'une antenne boucle.



Figure 24bis : Opération de radiopistage embarquée à l'aide d'une antenne boucle.

Les émetteurs

Les émetteurs ATS choisis sont de type F1230 de chez la société Advanced Telemetry Systeme – “ATS” (U.S.A). L'émetteur émet un signal sur une plage de fréquence comprise entre 49 et 51,9 MHz. Chaque émetteur non codé émet sur une fréquence qui lui est propre, ce qui permet d'identifier individuellement chaque individu marqué (variation d'environ 10 KHz entre les fréquences d'émission).



Figure 25 : Émetteur ATS à antenne interne F1230 et postes récepteurs (indicateur de fréquence et d'intensité du signal).

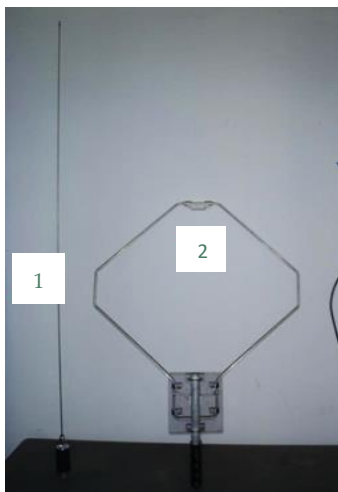
Les émetteurs émettent un signal à raison de 55 PPM (signaux par minute), soit approximativement 1 « bip » toutes les secondes. De plus concernant les marques à antenne interne comme celle utilisées sur les Brochets, une option mortalité est disponible. Au bout de 12 heures d'immobilisation complète de l'émetteur, le nombre de signaux par minute double pour passer à 110 PPM (soit environ « 2 bip »

par seconde). Le passage en “double bip” indique donc la mort probable du poisson. Les émetteurs possèdent une durée de vie de 250 jours garantis ce qui permettra de couvrir l’ensemble de la période de suivi. Les émetteurs ont une portée de 100 m environ (en fonction des obstacles sur le terrain ou de la profondeur de l’eau).

Les récepteurs

Les signaux émis par les émetteurs pourront être reçus grâce à des récepteurs. Les modèles utilisés sont des postes de type R4500. Ces postes sont reliés à une antenne qui permet de recevoir et d’enregistrer le signal. Plusieurs types d’antennes sont disponibles :

- L’antenne Fouet **1** : Cette antenne peut se fixer magnétiquement sur le toit d’un véhicule pour le radiopistage. La distance de réception varie entre 100 m 150m selon la topographie et les caractéristiques du milieu.
- L’antenne Boucle **2** : Cette antenne permet de localiser plus précisément les individus grâce à la technique de biangulation (entre 30 et 100m cf Figure 27).



En effet, le signal sera reçu plus fortement lorsque l’antenne boucle est orientée dans l’axe de l’émetteur.

Au contraire, une réception plus faible, voire une extinction du signal est observée lorsque l’antenne est orientée perpendiculairement à l’émetteur.

Bien sûr, cette variation est facile à mettre en avant à forte distance de l’émetteur et pourra être mise en avant à faible distance de l’émetteur uniquement en abaissant et en jouant avant le “gain” des récepteurs.

Figure 26 : Différentes types d’antennes pouvant être utilisées (1. Antenne fouet 2. Antenne boucle).

Enfin, grâce à plusieurs localisations de l'émetteur par technique de biangulation, il est possible d'estimer la localisation précise de ce dernier :

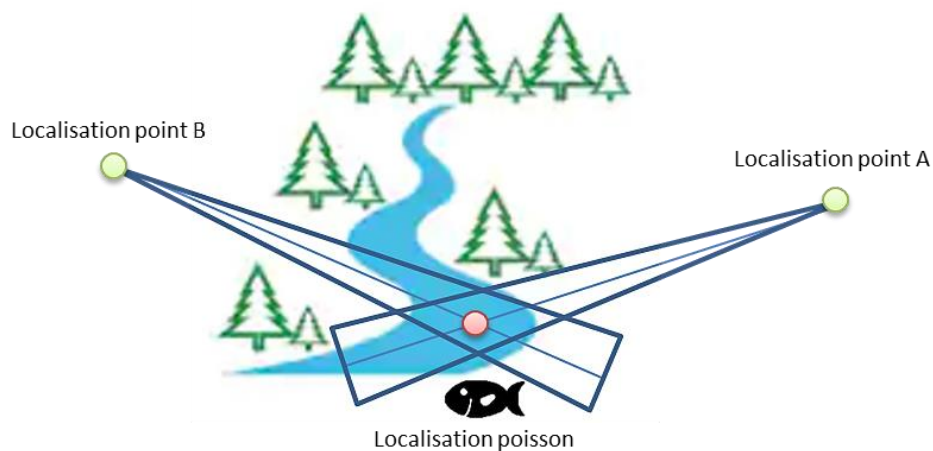


Figure 27 : Schéma du principe de biangulation.

Les données de localisation

Les localisations sont notées à l'aide d'un terminal GPS Trimble® Juno 3B équipé du logiciel ArpentGIS. La date et l'heure sont renseignées ainsi que d'éventuels commentaires (intensité du signal, habitat, etc.).

Ces données vont fournir des renseignements sur les dynamiques de migrations des Brochets dans le marais (vitesse, impact des conditions environnementales, zone de repos, zones de reproduction, etc.). C'est pourquoi un maximum de localisations permettra d'obtenir un jeu de données le plus complet possible. Concernant la fréquence des suivis radiotracking, deux sorties par semaine sont réalisées lors des phases de vie sédentaire et une sortie par jour au mieux ou 3 sorties par semaine au minimum sont réalisées entre janvier et mars.

Communication

L'aspect communication est un volet important dans le cadre d'une telle étude. En effet, les individus suivis pouvant potentiellement être capturés lors de la saison de pêche, il est nécessaire qu'un maximum de pêcheur soit au courant de l'étude en cours.

Il en est de même pour la valorisation des actions auprès de la population locale. Ainsi :

- Plusieurs articles sont parus dans des journaux locaux (La Voix du Nord et l'Indépendant).
- Plusieurs animations de radiopistage participatif ouvert au public en bacôve traditionnelle ont permis de montrer le déroulement d'une demi-journée de pistage (partenariat Eden62).
- Plusieurs conférences et autres animations grands publics ont permis de sensibiliser les pêcheurs et les habitants à la préservation de l'espèce et des milieux aquatiques en général.
- Une affiche a été spécialement conçue pour l'étude et fut placardée au niveau de nombreux sites fréquentés ainsi que dans les magasins de pêches et les structures publiques type office du tourisme etc. (modèle consultable en annexe).

Suivi thermique

3 sondes HOBOWare Pro ont été positionnées dans des zones stratégiques afin de suivre la température de l'eau tout au long de l'étude :

- Au niveau du Canal à Grand gabarit et la confluence avec le Canal de Neuffossé (suivi thermique de la masse d'eau canalisée).
- Au niveau de l'embarcadere de la commune de Salperwick (suivi marais Ouest).
- Au niveau d'un ponton situé au milieu du wateringue Moreleck (suivi marais Est).

Ces 3 sondes ont permis le suivi de la température pour différents volets du projet FBMA et ont donc été en place lors des deux ans.



Figure 28 : Positions des 3 sondes thermiques HOBOWare.

Analyse scalimétrique des individus suivis

La scalimétrie est une technique fréquemment employée en raison de la facilité de prélèvement et de préparation des écailles ainsi que son caractère non destructeur (le poisson repart à l'eau à l'inverse d'un prélèvement d'otolithes). C'est une méthode permettant d'identifier la croissance des individus à l'aide de l'étude des *circuli* (les stries concentriques des écailles).

Le protocole international de détermination de l'âge des poissons est basé sur la méthode de lecture décrite par l'IFREMER.

Etudier les *circuli* nous renseigne sur les périodes de croissances intensives ou non, ceci en vue d'obtenir l'âge de l'individu. Les *circuli* sont majoritairement composés de substances minérales et constituent une réserve de calcium pour le poisson. Le calcium est stocké dans les écailles. Celle-ci prend le rôle de réservoir de calcium, ce dernier peut être remobilisé, notamment dans le cas de période moins faste en nourriture voir lors de la période de reproduction (création de gamètes).

Ainsi les *circuli* seront espacés en période de forte disponibilité alimentaire (donc de forte croissance) alors qu'en période défavorable ils seront plus concentrés (et appelés des *annulus*). En conclusion, les

étés sont donc marqués sur les écailles par des stries écartées alors que les hivers sont marqués par des stries resserrées.

Plusieurs écailles ont donc été prélevées sur chaque sujet radiopisté en vue de connaître son âge et éventuellement si celui-ci peut ou s'est déjà reproduit. Les écailles sont observées au microscope après traitement.

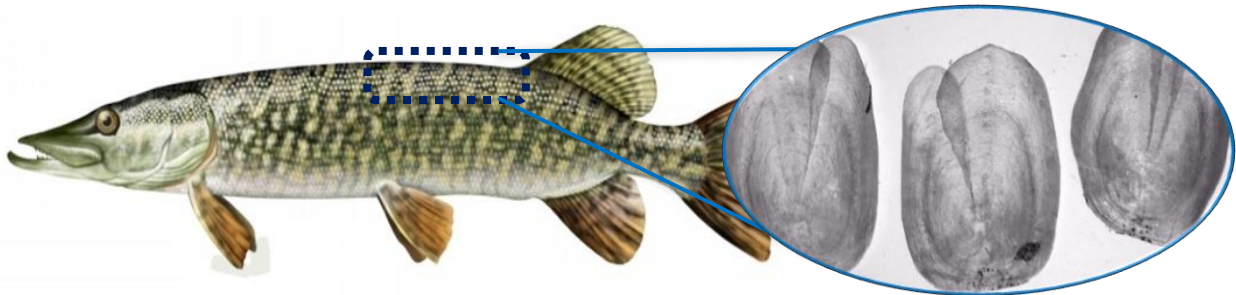


Figure 29 : Zone de prélèvement des écailles sur les Brochets capturés et illustration de la méthode de scalimétrie via l'étude d'une écaille de Brochet au microscope.

Etude botanique en partenariat avec le CBNBL

Pour caractériser finement les végétations les plus favorables à la fraie des brochets, des relevés phyto-sociologiques ont été réalisés sur des stations où il y a eu captures de brochetons. Ces relevés ont été réalisés sur 12 stations sur 3 jours début juin 2019.

La méthode utilisée par le Conservatoire Botanique National de Bailleul (CBNBL), est dite la méthode « sigmatiste ». L'emplacement des relevés et de leurs limites a été défini par une observation approfondie des watergangs en étudiant la triple homogénéité de la surface et la notion d'aire minimale des taxons rencontrés (cf CBNBL 2019 ; Etude des végétations des frayères à Brochet dans le marais Audomarois).

Pour ce faire, une annexe pneumatique (type Frazer Session®) est utilisée pour pouvoir se déplacer plus facilement dans certains watergangs où le tirant d'eau est faible pour ne pas démobiler la végétation de fond.. Une corde munie d'un grappin est utilisée pour récolter la végétation aquatique qui sera ainsi déterminée dans l'embarcation par les opératrices du CBNBL compétentes en la matière (éventuellement à l'aide d'ouvrage de détermination). Les échantillons pour lesquels des doutes sont émis sont conditionnés en sachet hermétique avec de l'eau pour être déterminés au laboratoire du CBNBL. Des mesures de la station et un croquis sont réalisés. Un disque de Secchi est aussi utilisé pour quantifier la turbidité. Les données sont compilées à l'aide d'une tablette tactile.

En parallèle, un important travail de caractérisation et de hiérarchisation visuel à l'aide des photos des 205 stations d'inventaires IAB a été entrepris. Il s'agissait de classer des sites en fonction de leurs ressemblances avec les sites où des Brochetons ont été mis en évidence.

Ainsi 3 classes de potentialité ont été déterminées par le CBNBL (faible, moyenne et forte).



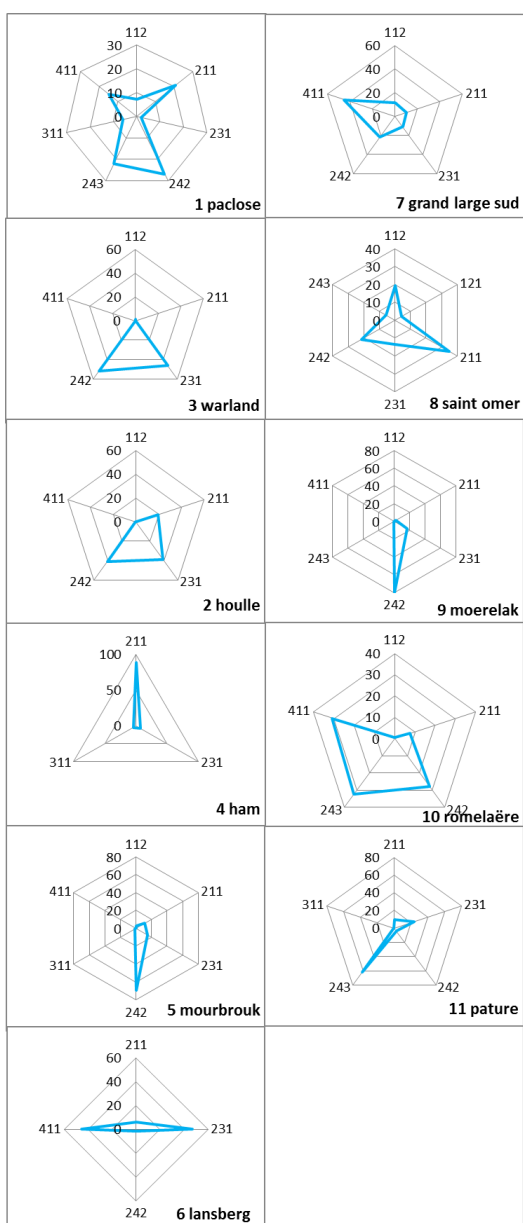
Figure 30 : Relevé phytosociologique réalisé par le CBNBL à l'aide d'un grappin et utilisation d'un disque de Secchi.

Résultats

Surfaces Favorables à la Reproduction

Description générale des zones inventoriées

Ancienne zone humide tourbeuse, le marais a été largement transformé au XIXe siècle en région maraîchère et d'élevage. Les paysages de l'Audomarois sont contrastés avec une mosaïque d'utilisation des sols variée et relativement anthropisée (cf Introduction générale – Projet FBMA).



Globalement, au regard de la typologie CORINE Land Cover, la surface du marais Audomarois est constituée de 31% de systèmes culturaux et parcellaires complexes, 19% de prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole, 16% de terres arables hors périmètres d'irrigation (zone d'étude = zone Ramsar de 37km²). Le code marais intérieur représente 11% avec une surface en eau total de plus de 10% du territoire Ramsar, ce qui est conséquent.

Rappel des codifications Corine Land Cover :

- 111:** Tissu urbain continu
- 112:** Tissu urbain discontinu
- 121:** zones industrielles ou commerciales et installations publics
- 211:** Terres arables hors périmètres d'irrigation
- 231:** Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole
- 242:** Systèmes culturaux et parcellaires complexes
- 243:** Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
- 311:** Forêts de feuillus
- 411:** marais intérieur

Ainsi les zones les plus naturalisées sont les zones du Landsberg, de la Pâture et le Grand large. Les zones les plus anthropisées sont le pourtour de la ville de Saint-Omer et les zones très cultivés comme Moerelek, Mourbrouk ou encore le Warland. Les zones les plus propices au Brochet semblent être les surfaces en prairie.

Figure 31 : Radars représentant les proportions des diverses codifications Corine Land Cover présentes dans le marais pour les 11 entités de travail.

Ségrégation cartographique



Figure 32 : Exemples concrets de codifications de 4 sites dont deux jugés SFR (1 et 3). Avec faible profondeur, ombrage et pendage et des habitats attractifs comme hélrophytes haut type *Phalaris* (1) ou hélrophytes bas type *Carex* (3). A l'inverse de fossés non catégorisés comme SFR avec des berges abruptes et des habitats pratiquement inexistantes (4) ou artificialisés et trop ombragés (2).

L'expertise de terrain a permis de caractériser 257km de linéaires sur les 556km de fossés du marais (soit près de la moitié) et de mettre en évidence 160 km de linéaires de fossés comme SFR soit 28,8% du réseau.

Des difficultés ont émergé lors des phases terrain conduisant à des résultats non représentatifs pour les deux entités Ham (4) et Pâture (11). Nous nous sommes en effet heurtés à un refus de la part du propriétaire pour visiter la zone 4. Pour la zone 11, il fût également impossible de rendre compte d'un relevé exhaustif à cause des refus des propriétaires et des nombreuses zones piégées en bateau (zones de mares de huttes privés). Néanmoins ces zones semblent prometteuses au vu des résultats du volet IAB.

Enfin les 160km de linéaires catégorisés SFR sont hiérarchisés en 3 grandes classes de fonctionnalité. En effet, le marais étant un milieu particulier, éloigné du fonctionnement d'une rivière classique, il n'a pas été choisi de noter les sites (comme à l'instar des fiches identification de frayère produite par la FDAAPPMA 27 ou 77, bien que très fonctionnelles). De plus, il n'aurait pas été possible de couvrir

autant de linéaires en poussant dans l'analyse. Ainsi la validation des sites et leur hiérarchisation furent en perpétuelle évolution tout au long de l'étude car en étroite relation avec les autres volets. Ce qui a notamment été permis avec l'identification des divergences entre : sites avec Brochetons, sans Brochetons mais similaires et sans Brochetons.

Cette analyse a permis de classer les stations selon leur potentialité d'accueil du Brocheton (explications cf CBNBL 2019 ainsi que le volet IAB et botanique) :

- **Potentialité faible** : habitats parfois ombragés, trop larges, ou physionomie de la végétation ne correspondant pas totalement à l'optimum. Ici en orange avec uniquement Hélophyte haut type *Phalaris*.
- **Potentialité moyenne** : une partie des critères jugés nécessaires aux Brochetons sont remplis. Avec la végétation qui semble être du Groupement à *Carex*, ici en vert.
- **Potentialité forte** : similitudes importantes avec les stations où ont été observées du brocheton. Ici en bleu, linéaire avec des groupements d'hélophytes et d'hydrophytes.

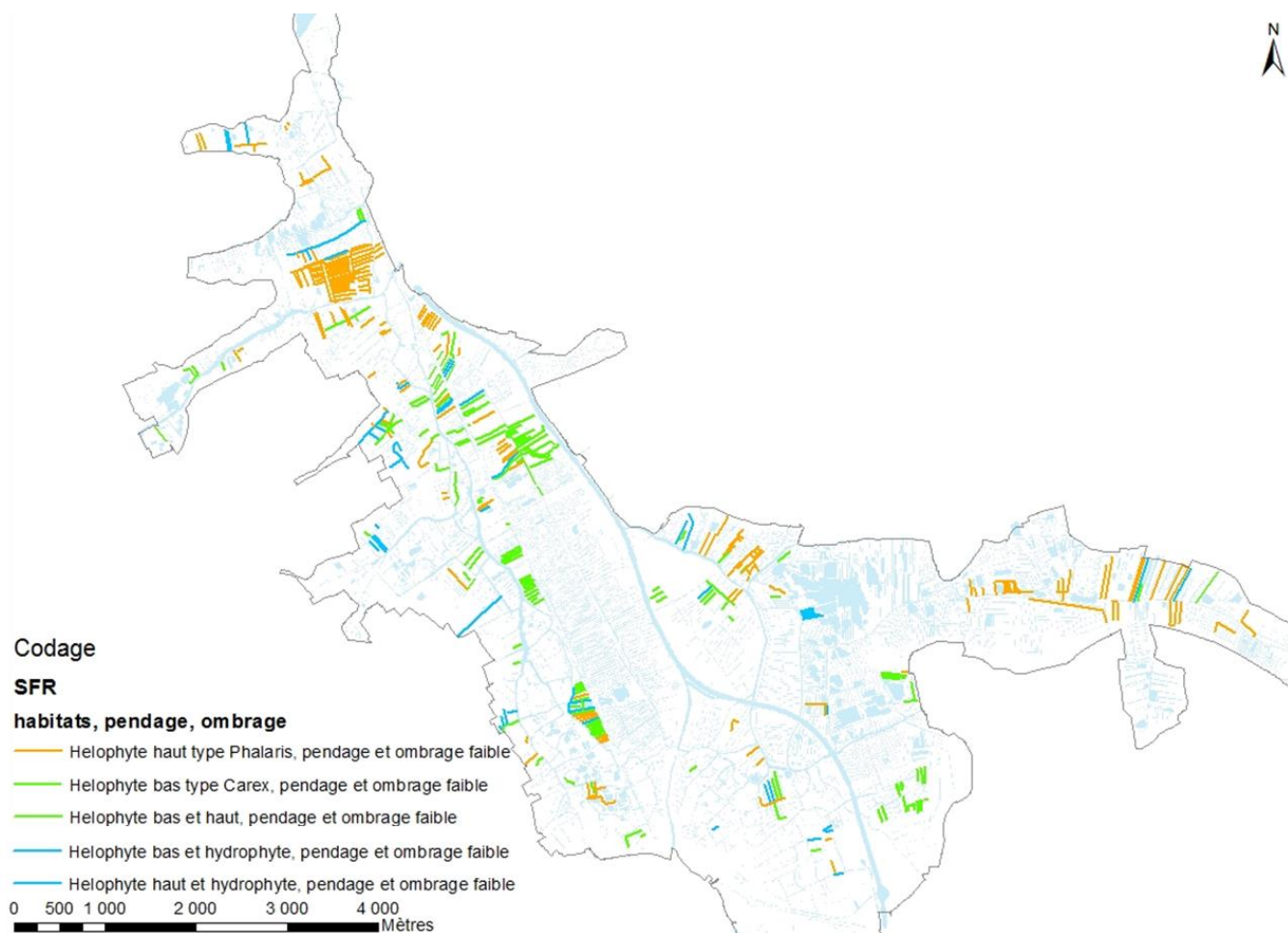


Figure 33 : Cartographie des surfaces favorables à la reproduction du Brochet dans le marais.

Les surfaces jugées favorables à la fraie de l'espèce sont inégalement réparties sur l'ensemble du territoire du marais. Mais certaines zones sont plus favorables que d'autres comme : le lieu-dit du Warland (3), les annexes de la Houlle (2), les Pâtorettes (7), les annexes de la Middeldick(3), etc.

Quantification des Surfaces Favorables à la Reproduction de l'espèce Brochet

ID	NOM	SURFACE (en m ²)	PERIMETRE (en m)	LINEAIRE FOSSE* (en m)	LINEAIRE CARACTERISE (en m)	LINEAIRE SFR* (en m)	% SFR*
1	Paclose et marais de la Vlotte	2422216	12475	22398,7	8029,371	1683,6	21,0
2	La Houlle	1177838	7515	5687,6	4486,136	2040,5	45,5
3	Warland et Muissens	2911960	10268	50455,8	38976,656	8926,5	22,9
4	Marais du Ham*	464713	4918	11543,2	nr	nr	nr
5	Mourbrouk & westbrouck	4606218	13316	120430,2	66554,072	11662,0	17,5
6	Lansberg et Grand Large Nord	3644380	11259	50588,1	25701,994	10757,2	41,7
7	Grand Large Sud	3012311	8856	30834,0	20407,29	5831,1	28,6
8	Saint Omer Nord	7632892	13285	54124,2	26640,449	9231,2	33,8
9	Marais du Moerelak et Dambricourt	2969283	7927	64644,6	46338,476	9414,7	20,3
10	Etangs du Romelaëre	3345869	8082	71056,2	8980,693	1961,7	21,8
11	La Pâture	4700130	14128	87300,4	19160,645	1120,1	5,8
total	Marais Audomarois	37400000	69522	546664,2	257246,4	160582	28,8

Tableau 4 : Récapitulatif des identifiants des diverses zones inventoriées.

Avec SFR* : Surface Favorable à la Reproduction du Brochet, déduit à partir des analyses multivariées des IAB, des relevés phytosociologiques et des recherches bibliographiques des préférences de l'espèce.

LINEAIRE FOSSE*: le réseau secondaire (ou watergangs) est ici représenté car plus attractif à l'espèce Brochet. Ces linéaires ne sont pas classés cours d'eau à l'inverse des waterings du marais.

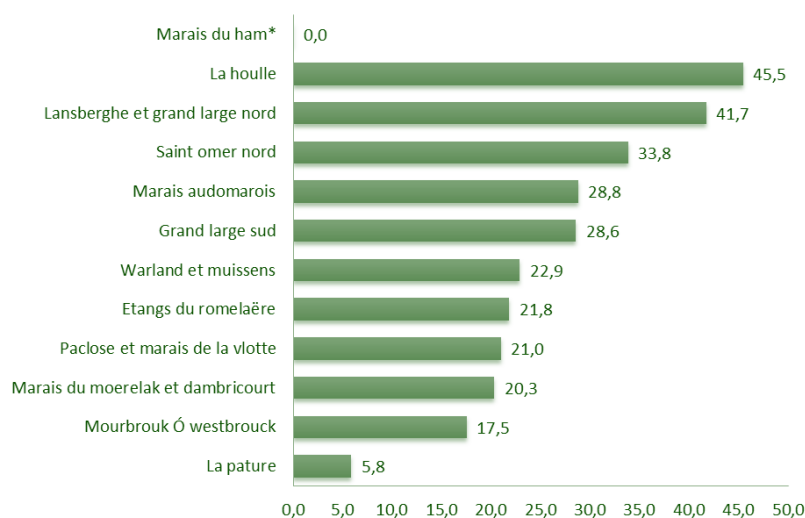


Figure 34 : Pourcentage de SFR des diverses zones inventoriées.

*Données non-renseignées pour le marais du Ham.

Après ciblage des milieux clés, la couche SIG SFR sert de guide pour rechercher les zones à échantillonner pour le volet IAB.

Indices d'Abondances Brochetons

Résultats globaux

C'est au total 205 sites d'inventaires qui ont pu être échantillonnés sur les deux années au mois de mai soit 35km de linéaire. Des Brochets (adultes et juvéniles compris) ont été dénombrés sur 7 sites en 2018 et 26 stations en 2019.

Des juvéniles de l'année ont pu être échantillonnés sur 17 stations au total dont 7 en 2018 et 11 en 2019. Cela représente 8,3% d'occurrence en juvéniles de l'année sur l'ensemble des 205 sites inventoriés dans le marais (respectivement 10% en 2018 et 7,6% en 2019).

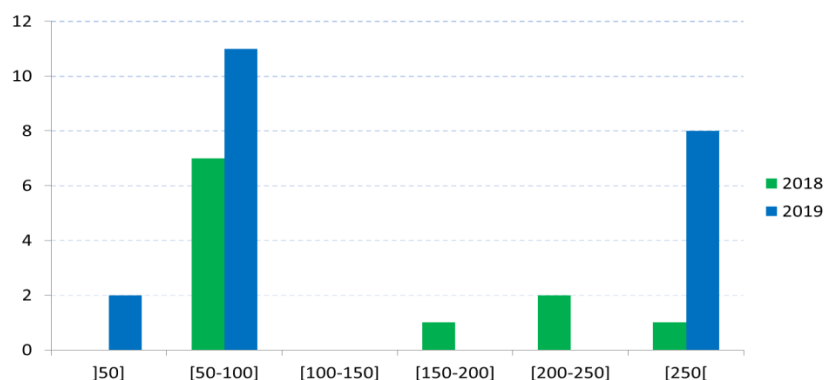


Figure 35 : Histogrammes des classes de tailles de Brochets capturés.

Si le protocole cible les petites classes de taille, qui représentent la majeure partie des captures, plusieurs captures anecdotiques de grands sujets ont eu lieu. En effet, un individu de 375 mm a été capturé en 2019 et un de 435 mm en 2018. Des plus grands individus ont bien sûr été observés mais non capturés car cela n'était pas pertinent, les jeunes sujets étant visés (cf protocole IAB).

SFR	m	km	%
Linéaire de fossé total	556238,0	556,0	
Linéaire caractérisé	257481,2	257,0	46,3
Linéaire SFR	160582,4	160,0	28,8
Frayères	m ²	km ²	%
Superficie total réseau fossé	2305803,1	2,3	
Superficie frayère effective	82028,3	0,1	3,6
IAB	m	km	%
Linéaire échantillonné	34983,26097	35,0	
Linéaire avec brochetons	2457,1	2,5	7,0
Occurrence de brochetons sur les 205 stations			8,3

Tableau 5 : Récapitulatif des résultats des volets IAB et SFR ainsi que l'identification des frayères effectives.

Captures accessoires

Les autres taxons, à défaut d'être capturés (restriction liée au protocole), se sont vu être notés en présence (occurrence). Ainsi 18 taxons ont été inventoriés dans les fossés du marais (dont 17 poissons). Certains, très rares, n'ont été relevés que sur quelques sites. Il s'agit de la Bouvière, du Goujon ou encore de la Loche de rivière. D'autres taxons, plus communs dans le marais, ont été retrouvés sur plus de 50% des stations comme la Perche fluviatile, l'Anguille ou le Gardon.

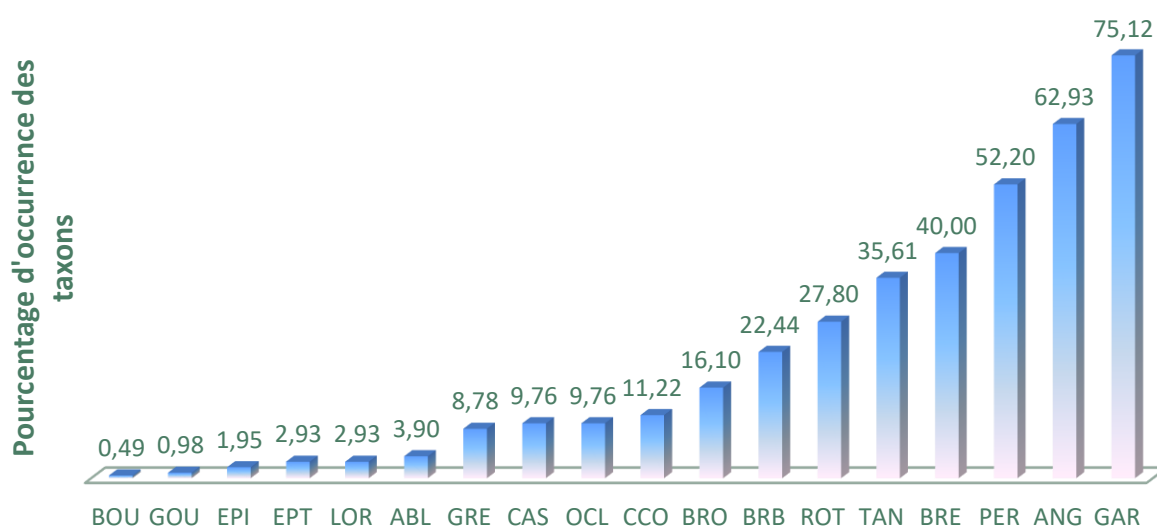


Figure 36 : Occurrence (en %) des 18 taxons aquatiques rencontrés lors des inventaires IAB (NB : BRO correspond au taxon Brochet tout stades confondus).

Nom vernaculaire	Code taxon	Nom scientifique
Bouvière	BOU	<i>Rhodeus amarus</i>
Goujon	GOU	<i>Gobio gobio</i>
Epinoche	EPI	<i>Gasterosteus aculeatus</i>
Epinochette	EPT	<i>Pungitius pungitius</i>
Loche de rivière	LOR	<i>Cobitis taenia</i>
Ablette	ABL	<i>Alburnus alburnus</i>
Gremille	GRE	<i>Gymnocephalus cernuus</i>
Carrasin	CAS	<i>Carassius sp.</i>
Ecrevisse américaine	OCL	<i>Orconectes limosus</i>
Carpe commune	CCO	<i>Cyprinus carpio</i>
Brochet	BRO	<i>Esox lucius</i>
Brème bordelière	BRB	<i>Blicca bjoerkna</i>
Rotengle	ROT	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>
Tanche	TAN	<i>Tinca tinca</i>
Brème commune	BRE	<i>Abramis brama</i>
Perche fluviatile	PER	<i>Perca fluviatilis</i>
Anguille	ANG	<i>Anguilla anguilla</i>
Gardon	GAR	<i>Rutilus rutilus</i>

Tableau 6 : Liste des taxons retrouvés dans les fossés du marais lors des IAB.

Parmi les espèces échantillonnées, certaines présentent un intérêt patrimonial ou un statut de conservation important en France tels que : l'Anguille (*Anguilla anguilla* ; CR), le Brochet (*Esox lucius* ; VU), la Bouvière (*Rhodeus amarus* ; LC), la Loche de rivière (*Cobitis taenia* ; VU).

La Bouvière et la Loche de rivière sont également retrouvées en Annexe II de la Directive Cadre Habitats Faune Flore. Leur présence sur certaines stations est donc une information importante.



Figure 37 : Exemple de captures réalisées : 1. Juvénile de Brocheton de l'année (individu cible des IAB), 2. Jeune Brochet d'une année, 3. Loche de rivière, 4. Juvénile de Tanche.

Synthèse cartographique

L'ensemble des résultats des campagnes d'échantillonnage 2018 et 2019 peut être résumé sous forme de cartes (Figure 38 et 39). Ainsi, l'occurrence en Brochetons de l'année est relevée de manière hétérogène sur le marais. Mais 4 grandes zones sont mises en avant avec des résultats positifs, il s'agit de :

- la Houlle (zone 2)
- du Grand Large Nord et les alentours du Landsberg (6)
- le Nord du Morelek et de la RNN du Romelaëre (10)
- la Pâturage, au Nord de la Vesseliette (11)

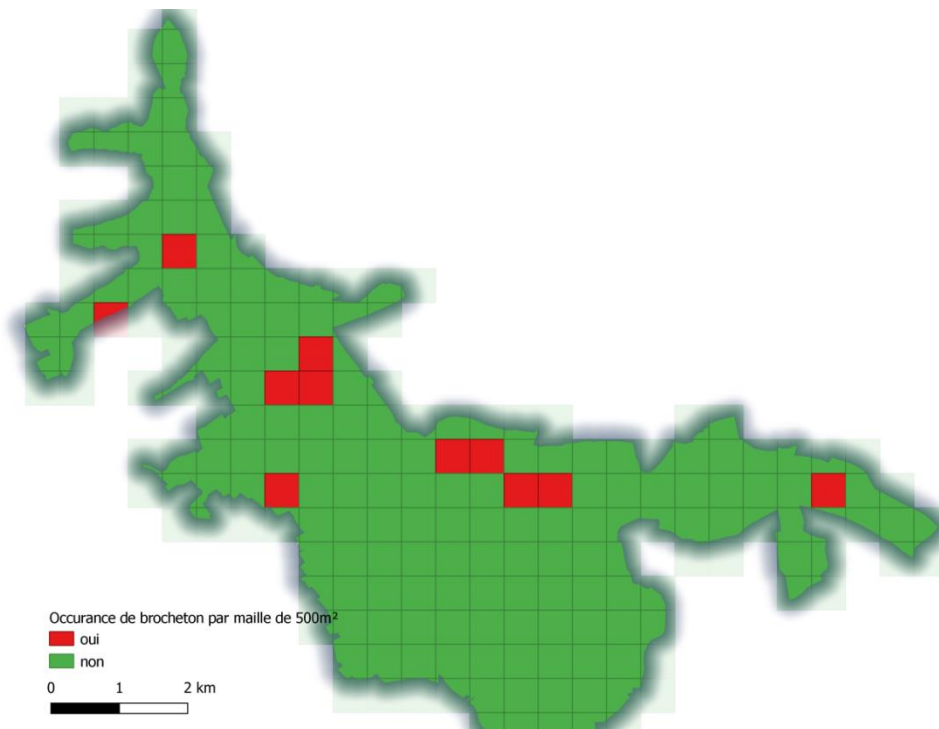


Figure 38 : Occurrence de Brochetons sur le marais Audomarois entre 2018 et 2019.

Si une occurrence de 8,3% de Brochetons semble en adéquation avec d'autres études similaires de recherches de frayères, il n'en est pas de même avec les densités observées. En effet, seul un ou deux Brochetons maximum ont été capturés sur les stations positives. Cette donnée étant très faible il n'est ainsi pas envisageable de réaliser des études statistiques comparatives sur les densités. L'indice d'abondance initialement prévu ne peut non plus être déployé (à moins de classer l'ensemble des frayères identifiées en classe de qualité « mauvaise »).

Ainsi, ce sont 3 stations sur les 17 échantillonnées au total qui ont mis en évidence 2 brochetons contre 1 seul pour les autres (cf stations numérotées sur la Figure 39). La reproduction est ainsi avérée mais qu'en est-il de la réussite ou de l'efficacité limitée de celle-ci ? Pour répondre à cette question, des analyses multifactorielles ont été réalisées en parallèle de l'étude phytosociologique afin de démarquer les sites avec brochetons, des sites sans brocheton (Figure 41 et 42).

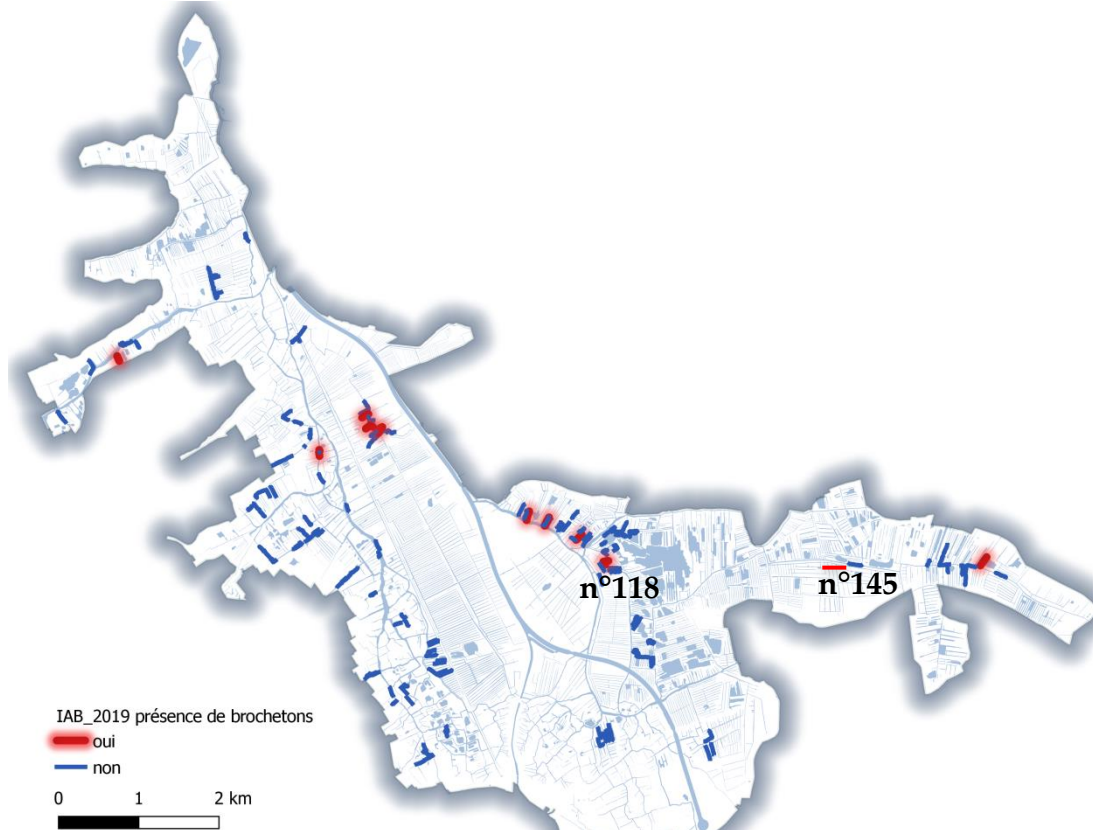
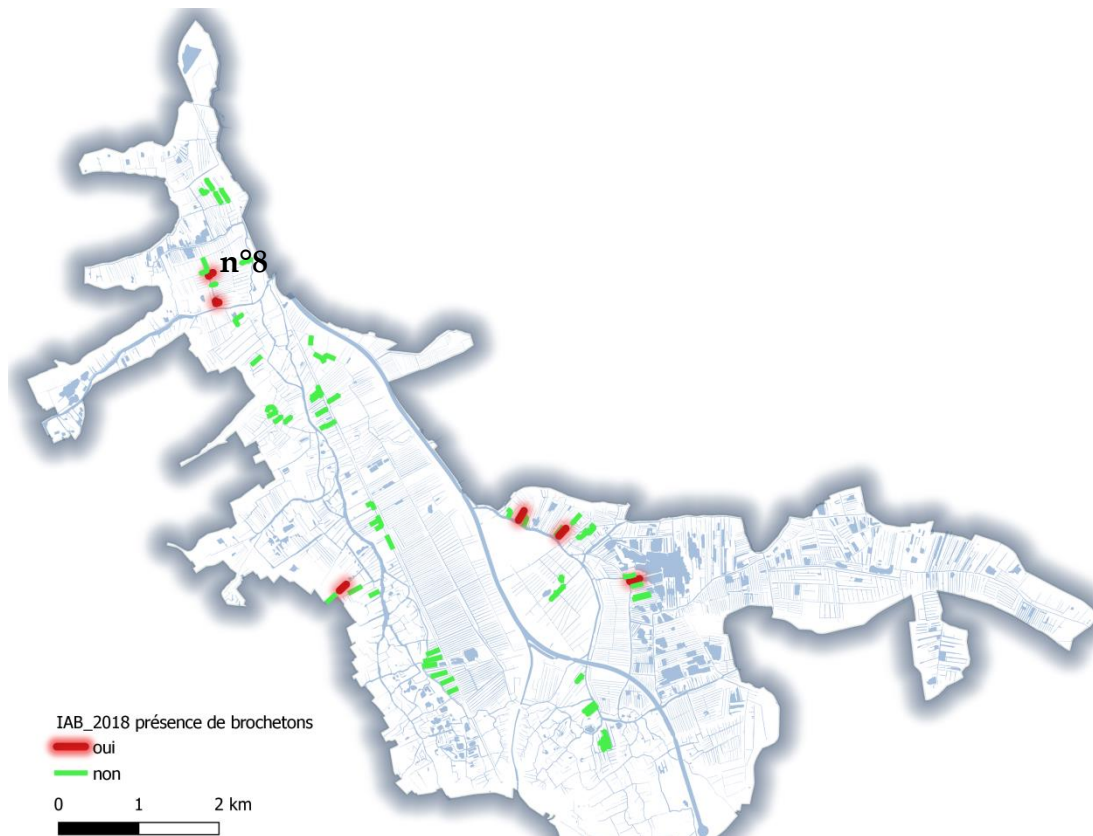


Figure 39 : Résultats des Indices d'Abondances Brochetons 2018 et 2019. Les nombres associés représentent les numéros des stations avec deux Brochetons échantillonnés au lieu d'un pour les autres.

Analyses des variables physico-chimiques

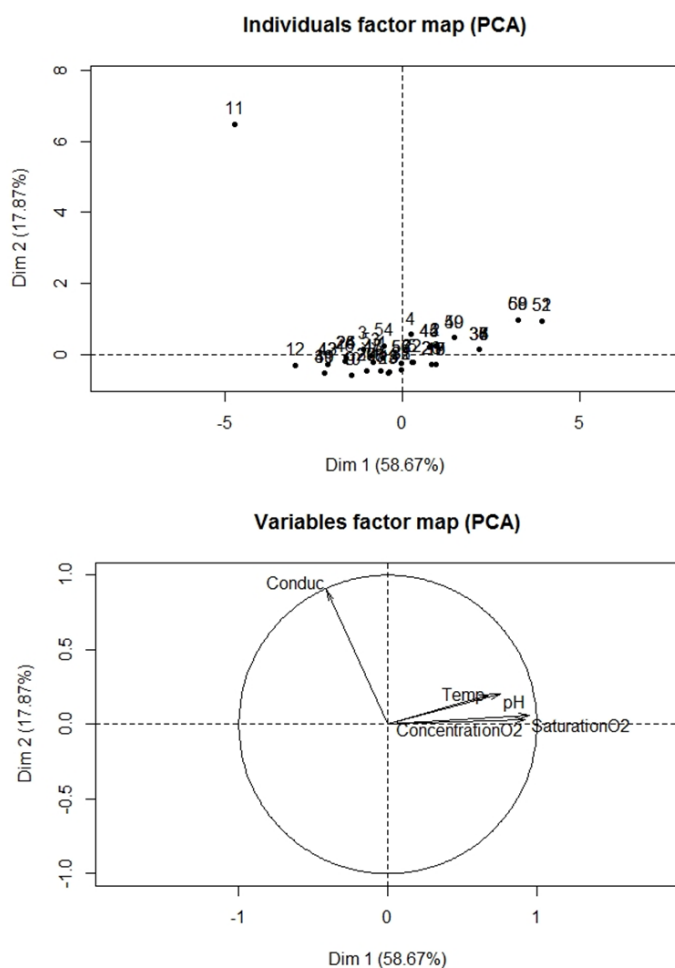


Figure 40 : ACP sur les 5 mesures physico-chimiques réalisées sur les stations IAB et cercle des corrélations associé.

agricoles peut-être avancée mais sans certitude.

Une analyse en composante principale (ACP) a été utilisée afin de mettre en évidence les relations entre les variables physico-chimiques mesurées lors des 205 inventaires.

L'ACP a été réalisée sur des variables environnementales transformées par la fonction log pour les variables continues ou par la racine carrée de la fonction arcsin pour les proportions.

Peu de tendances ressortent de cette analyse. En effet, les données physico-chimiques restant relativement homogènes lors des deux années au mois de mai, celles-ci tendent toutes dans le même sens, hormis pour la température et la conductivité.

Pour la température, celle-ci était très fluctuante en fonction des jours de pêche.

Pour la conductivité, c'est surtout la station 11 (2018) qui induit une ségrégation forte à cause de sa valeur très importante de conductivité. En effet c'est la seule station qui fut annulée en cours de pêche car le matériel se mettait en arrêt par sécurité (plus de 3390 μS). Une hypothèse de la nappe apportant des variations de conductivité forte ou des intrants

	Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
2018	10,9	118,1	14,7	8,1	655,8
2019	8,1	78,7	14,6	7,7	722,7

Tableau 7 : Moyennes des mesures physico-chimiques lors des IAB 2018 et 2019.

Analyses multivariées variables abiotiques

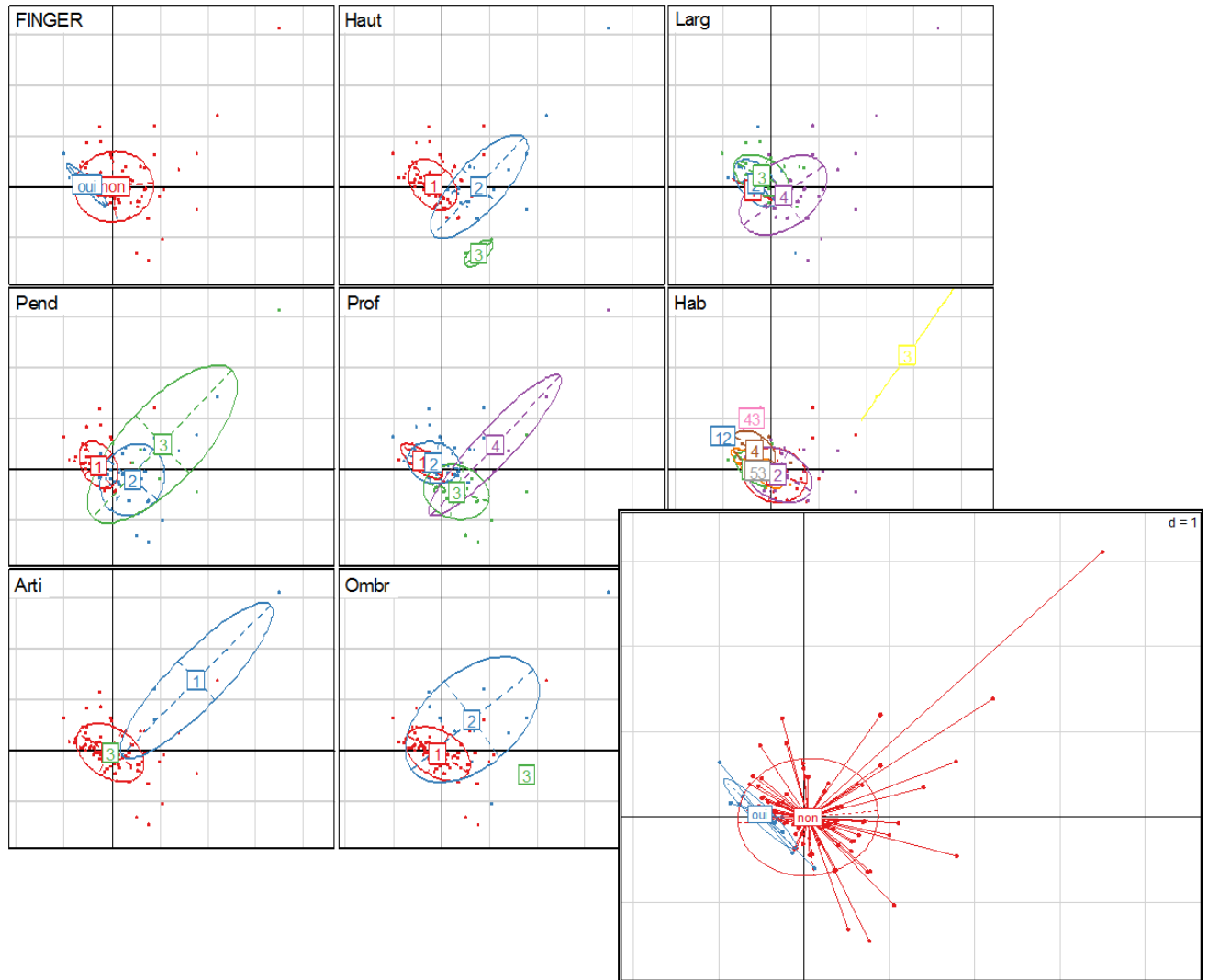


Figure 41 : ACM réalisée sur les 7 variables environnementales descriptives (fonction .scatter) et barycentre des stations avec Brocheton (Oui en bleu) et sans (Non en rouge). Pour la typologie associée se référer à la p.19 ou en annexe.

Une analyse en composante multiples (ACM) a été utilisée afin de mettre en évidence les relations entre les 7 variables descriptives disponibles pour les 205 stations et la présence ou non de brochetons de l'année (avec : Hauteur de berge, Largeur du fossé, Pendage des berges, Profondeur moyenne du fossé, Habitats majoritaires, Artificialisation et Ombrage). Pour des raisons statistiques, 7 variables environnementales ont été retenues pour cette analyse et sont présentées dans la Figure 41.

L'ACM révèle que la présence d'hélophytes (bas ou haut code 1 et 2) dans les fossés est fortement liée à la présence de berges en pente douce et de faible hauteur. Une profondeur faible est plutôt corrélée avec la présence d'hydrophytes, alors qu'une profondeur importante et un ombrage fort conditionne des berges à nues et le non développement d'hydrophytes.

Par rapport à la présence ou non de brochetons, les barycentres semblent tout de même superposés. Ce fait indique une ressemblance possible entre les sites avec et sans brochetons. Ainsi les variables descriptives du milieu n'expliquent pas tout. Comme il le sera également décrit dans le volet ayant

trait à l'étude botanique, certains sites sans brocheton sont similaires en termes de typologie d'habitats de reproduction de certains sites avec brochetons. Néanmoins, il ressort tout de même que les sites présentant du brocheton sont corrélés avec :

- Pendage latéral faible
- Hauteur de berge faible
- Habitat héliophyte bas type carex et hydrophytes
- Ombrage faible
- Aucune artificialisation de berge

Analyses multivariées variables biologiques

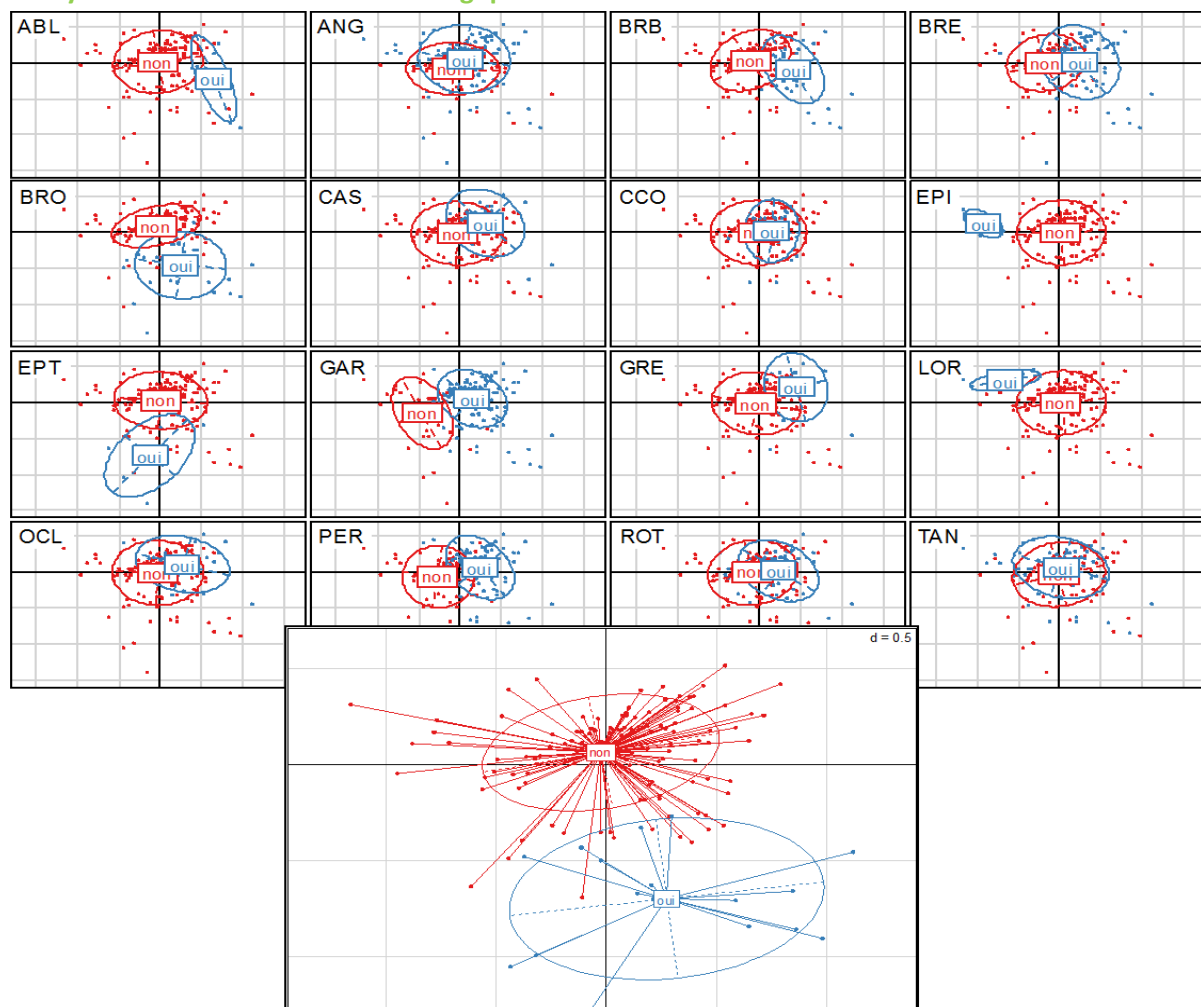


Figure 42 : ACM réalisée sur les variables d'occurrence des espèces de poissons. 15 taxons sont renseignés (avec exception des espèces rares, fonction .scatter) et les barycentres des stations avec Brocheton (Oui en bleu) et sans (Non en rouge). BRO représente la présence de Brochet adulte et FINGER de juvéniles.

L'analyse réalisée sur les divers taxons retrouvés nous apporte d'autres informations. Tout d'abord dans cette analyse, les barycentres des stations avec ou sans brochetons se démarquent fortement les uns des autres. Ce fait laisse transparaître une différenciation des communautés pouvant être rencontrées dans les fossés avec brochetons par rapport aux fossés sans. La présence de brochetons semble ainsi être corrélée avec la présence d'assez peu d'espèces comme les autres brochets ou les

épinoches. Ce trait peut permettre d'avancer l'hypothèse que les brochetons ne doivent pas être en compétition avec d'autres espèces sur les fossés du marais pour survivre. Par exemple la présence de perches, de grémilles ou de brèmes semble être corrélée avec l'absence de juvéniles de brochets. En effet, mise à part la Brème commune, ce résultat semble logique de par l'impact que peuvent avoir ces espèces à régime omnivore à tendance piscivore. Pour les brèmes, il est probable que leur forte propension à remuer le fond de l'eau peut conduire à une augmentation de la turbidité néfaste au développement des larves de brochets.

En parallèle, la présence de loches de rivière semble corrélée à la présence d'épinochettes mais pas de gardon ou de perche par exemple. Ces observations laissent entrevoir le fait que les fossés du marais peuvent avoir des disparités fortes quant à l'attractivité de certaines communautés piscicoles. Certains fossés seraient ainsi plus propices à la présence de certains taxons et pas d'autres selon leurs caractéristiques.

Etude phytosociologique

Sur les 17 stations où des brochetons ont été observés, 12 ont pu être inventoriées par le Conservatoire Botanique National de Bailleul (CBNBL). Les résultats de cette étude peuvent être consultés de manière plus détaillée dans le rapport « Etude des végétations des frayères à Brochet dans le marais Audomarois » (CBNBL 2019). De manière plus concise, les conclusions de l'étude sont les suivantes :

Les fossés caractérisés présentent des similarités en termes de structuration de communauté végétale avec :

- Profondeur toujours inférieure à 100 cm et d'environ 40 à 60 cm
- Largeur comprise entre 3 et 5 m mais peut atteindre 10 m à certains endroits
- Eau peu turbide
- Ensoleillement fort, peu d'arbres au bord des watergangs
- Les parcelles annexes sont des prairies

Globalement, les 12 stations présentent une végétation assez homogène. En effet, toutes les végétations hélophytiques relevées ont été identifiées comme étant du Groupement à *Carex paniculata* et *Carex pseudocyperus*. Cette végétation est marquée physionomiquement par la présence de grands touradons de *Carex* (Figure 43). Entre ces touradons, on trouve de grandes hélophytes à inflorescences discrètes telles que : *Rumex hydrolapathum*, *Phalaris arundinacea subsp. Arundinacea* et *Phragmites australis* (CBNBL 2019).



Figure 43 : Illustrations des groupements de *Carex* majoritairement observés sur les stations avec présence de juvéniles de Brochet dans le marais.

Si l'ensemble des stations présentait des végétations similaires sur leurs deux berges, deux grands types de structuration ont été mis en évidence. Il s'agit des structures où les *Carex* sont largement dominants et des structures qui présentent une composition floristique semblable aux autres relevés mais avec néanmoins une abondance moindre en *Carex* et plus importante en roseaux et Baldingère.

Il est à noter que ces groupements sont relativement rares dans les Haut-de-France. De plus, un certain nombre d'espèces d'intérêt patrimonial ont été relevées lors des analyses. Il s'agit notamment de : *Thysselinum palustre*, *Thalictrum flavum*, *Galium uliginosum* et *Eleocharis palustris* ou encore *Utricularia* sp.

En revanche, concernant les végétaux aquatiques, ceux-ci sont assez peu développés et présents à cette période de l'année. Cette observation sous-entend l'hypothèse que la végétation déterminante pour la fraie de l'espèce n'est pas la végétation hydrophytiques (trop peu implantée) mais bien la végétation de berges et notamment le Groupement à *Carex paniculata* et *Carex pseudocyperus*.

Les autres stations

Si, à la base, l'ensemble des stations échantillonnées lors des IAB semblait attractif pour l'espèce, des divergences sont apparues au sein même des stations. Si ces divergences ne sont pas nettement stigmatisées dans le cadre des analyses multivariées des paramètres physiques (pente, hauteur, etc.), l'étude de la végétation en place semble mettre en avant plus de singularités.

En effet, le CBNBL a également pu analyser les jeux de photographies (et donc la physionomie des groupements de végétation) des autres stations échantillonnées dans le cadre des IAB.

3 grandes classes de potentialité d'accueil de l'espèce sont présentées : forte, moyenne et faible (cf volet SFR). Un exemple de ces 3 types de station est proposé via la Figure 44.



Figure 44 : Exemples de 4 stations à potentialité de frayère et de nurserie différentes pour l'espèce Brochet ; faible (1), moyenne (2) et forte (3 et 4).

Potentialité	Nombre de stations	Proportion (%)
Faible	59	42,14
Moyenne	39	27,85
Forte	12	8,57
Non évaluée	30	21,42

Tableau 8 : Classement par potentialité de 140 stations IAB (certaines stations n'ont pas été évaluées pour cause d'absence ou de mauvaise qualité photo).

Présentations des frayères effectives identifiées

Ainsi ce sont 13 frayères à brochets effectives qui ont pu être caractérisées dans le marais. Celles-ci représentent une superficie totale de 82 028 m² soit 8,2 hectares. Cette superficie représente également 3,6% de la surface en eau des fossés du marais. Ces entités ont été tracées en fonction des linéaires IAB positifs, des linéaires adjacents similaires à potentialité forte et de la surface en eau (Figure 45).

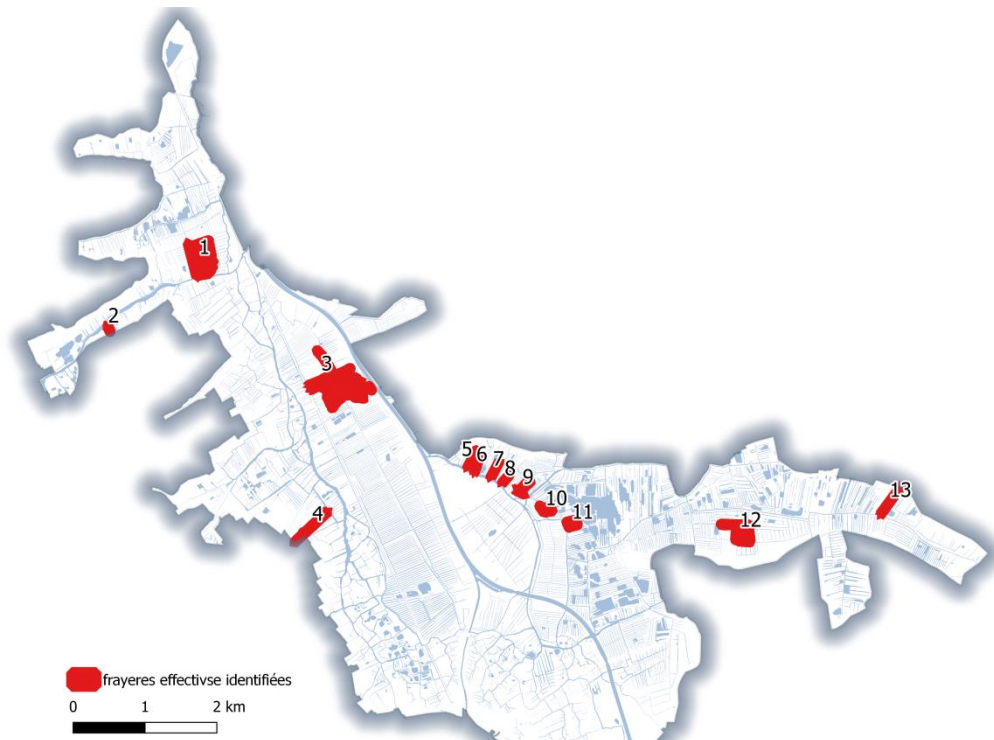


Figure 45 : Récapitulatif de l'ensemble des frayères effectives de Brochet sur le marais Audomarois. Surfaces calculées cumulées entre des linéaires IAB positifs, les linéaires adjacents similaires à potentialité forte et la surface en eau.

Ces zones peuvent *a posteriori* faire l'objet d'une inclusion dans l'arrêté frayère départemental avec une définition plus fine des frayères localement (Arrêté préfectoral portant inventaire relatif aux frayères et aux zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole prévu par l'article R 432-1-1 en application de l'article L 432-3 du code de l'environnement, mis à jour en 2014). En effet celui-ci ne semble pas exhaustif sur le marais, seuls les grands axes y sont renseignés.

Une inclusion est aussi envisageable dans un Arrêté de Protection de Biotope (APB) sur des plus grandes surfaces. Il permettra de réglementer voire d'interdire certaines activités perturbantes sur le biotope en place. La décision revient à l'Etat et donc à la préfecture d'Arras. Les préconisations développées dans le présent rapport et les préconisations du PDPG 2.0 du Pas-de-Calais doivent être prises en compte dans l'élaboration des documents.

Les 13 sites présentés ci-dessous ont été sélectionnés comme les plus importants à sauvegarder :

Frayère 1



La frayère 1 représente une superficie de 2ha et est connectée directement à la rivière de la Houle. Cette zone est très prometteuse de par ses habitats et ses résultats. 3 brochetons y ont été recensés en 2018 mais pas en 2019 (sur 6 stations IAB en 2019 et 4 stations en 2018 dont 2 positives). Cette station est bordée de prairies.

Frayère 2



Cette station localisée à proximité de la Houle est bordée de prairies. Groupement observé à *Carex paniculata* et *Carex pseudocyperus*. La frayère représente une surface de 742m², c'est la plus petite des 13 frayères identifiées. 1 brocheton y a été comptabilisé en 2019 (station non échantillonnée en 2018). La végétation en bordure recouvre 90 % de la berge qui est dominée par d'imposants touradons de *Carex*.

Frayère 3



Cette station localisée sur un watergang perpendiculaire de la MiddelDick est bordée de prairies.

C'est la plus grande surface uniforme d'un seul tenant attractive pour l'espèce du marais de Morbrouck. En effet, la surface de la frayère représente 2,1ha. 3 brochetons y ont été dénombrés sur 3 stations. Si seulement 3 stations ont présentée des juvéniles de l'année sur 10 échantillonnées au total dans la zone, l'ensemble de la surface étant homogène et attractive pour l'espèce, il est probable que selon les années l'ensemble des bras bordants le wateringue principal puisse être propice à la fraie. Les eaux y sont très claires, les habitats propices et la nourriture (invertébrés) abondante. Mais cette zone semble déconnectée du reste du marais. Les arrivées d'eau du wateringue ayant été comblées plus au Nord. Il conviendrait de reconnecter cette zone au reste du marais pour accroître sa productivité (population relictuelle de géniteurs).

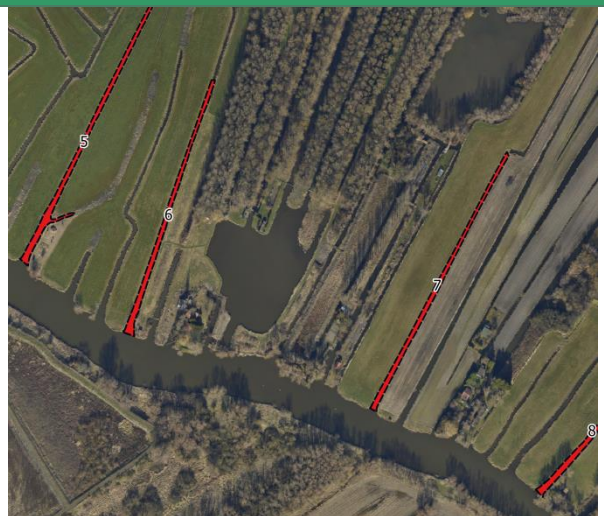
Frayère 4



Cette frayère est localisée à proximité du Grand Large à Salperwick (lieu-dit du fossé des moines). La végétation en bordure recouvre 100 % de la berge qui est dominée par des touradons de *Carex*. La station est lumineuse, il n'y pas d'arbre à proximité pouvant ombrager le watergang. Par rapport aux autres sites, cette station est caractérisée par une flore aquatique développée. La frayère présente une superficie de 7600m².

Ce site a fait l'objet en 2019 d'un partenariat avec la 7^{ème} section des wateringues afin de trouver le meilleur compromis possible entre les besoins des propriétaires (curage pour navigation) et la sauvegarde du site. Les préconisations suivantes ont été déployées : curage uniquement du tiers central, laisser 1,5m de chaque côté des berges afin de sauvegarder les touradons, mise en réserve de la zone avec le placement de plusieurs panneaux.

Frayère 5, 6, 7, 8 et 9



Ces 5 zones de frayères sont relativement similaires et ont été regroupées. Elles représentent respectivement : 1245, 1013, 1008, 704 et 2566m². Soit au total 6536m². 1 brocheton par site a pu être trouvé et cela pour les deux années du suivi. Il semble que les sites ont une productivité homogène entre les années.

Ces fossés sont tous perpendiculaires à la Rivière du Moerleck et bordés de prairies. La végétation en bordure recouvre 100 % de la berge et le groupement *Carex* est abondant. Sur certains sites comme la frayère 7, les roseaux sont plus présents.

Frayère 9, 10 et 11



Les frayères 9 et 10 sont localisées sur un watergang qui est lui-même perpendiculaire à la Rivière du Moerleck et bordée de prairies. Ces zones présentent une végétation de bordure imposante avec encore une fois des grands touradons pouvant offrir un habitat de nurserie idéal aux jeunes brochetons. Un juvénile a été trouvé sur la frayère 9 et 11 mais deux sur la 10 qui semble avoir une plus grande potentialité.

La frayère 11 est particulière dans ce sens où elle est située sur un casier hydraulique de la RNN du Romelaëre et n'est pas connectée au reste du réseau sauf dans le cas d'une forte montée des eaux. Si de par ce fait les eaux sont plus claires et les brochetons présents, ils étaient amaigris par rapport aux autres brochetons capturés sur les autres sites (probable oligotrophie du milieu, fonctionnant en casier fermé une bonne partie de l'année). Ces 3 sites sont donc particulièrement intéressants, et pourraient tenter d'être reproduits dans les zones alentours semblables avec une gestion adaptée.

Frayère 12



La frayère 12 correspond à la zone de casiers centraux située sur la ferme Lambert, une importante zone de prairies en gestion par le PNR (et dont le conservatoire du littoral s'est porté acquéreur). Au regard des 4 jeunes individus capturés (3 juvéniles de l'année et 1 de l'an passé), le site possède un potentiel pour l'espèce Brochet. C'est en effet une des zones à la potentialité la plus élevée du marais. L'eau y est claire, les berges sont douces et les habitats fortement favorables à la reproduction de l'espèce (*Carex* et hydrophytes).

Ces données semblent ainsi indiquer qu'une population viable de brochets fréquente le site d'étude. Mais de par le caractère de vanne par ouverture intermittente de l'entrée du réseau hydraulique, la population en place est vraisemblablement une population relictuelle et isolée. L'amélioration de la continuité latérale pourrait être une solution intéressante à envisager dans le futur pour viabiliser ces populations. La superficie de ce réseau de casier représente 9033m².

Frayère 13



Cette dernière zone de frayère n'a pas été inventoriée par le CBNBL, mais semble présenter des habitats semblables avec encore une fois ces communautés de *Carex* qui semblent si attractives à l'espèce. Le fossé a une surface de 2530m². Si nul autre brocheton n'a été échantillonné dans les zones adjacentes, celles-ci semblent néanmoins présenter une potentialité moyenne à forte. En effet, des poissons de un ou deux ans ont été aperçus plusieurs fois. De plus, la forte proportion de gène de brochet (cf focus ADNe) relevé sur la Vesseliette (le wateringue qui communique avec ces fossés) nous permet d'avancer l'hypothèse de la présence d'une grande population de brochets dans la zone (densité d'habitats importants, pression de pêche très faible par rapport au reste du marais, etc.).

Radiopistage

Survie et suivis des poissons

Pour rappel, les campagnes de marquage se sont déroulées sur 2 jours complets à l'Est (du 20 au 21/11/2019) et 2 jours complets à l'Ouest (du 24 au 25/10/2018) à l'aide de 6 opérateurs.

C'est donc au total 18 poissons qui ont pu être suivis par radiopistage entre le 29/10/2018 et le 23/07/2019. Les brochets marqués sont localisés une fois par semaine excepté pendant les périodes hypothétiques de migration entre janvier et mars où ils sont localisés trois fois par semaine minimum. C'est au total 50 sorties qui ont été entreprises (dont 5 en voiture et 45 en bateau).

Sur l'ensemble des sorties le taux de détection moyen est de 65%. Les sujets ont ainsi été globalement bien retrouvés hormis certaines semaines notamment lors d'aléas climatiques. En effet, lors du mois de février 2019, le marais s'est retrouvé pris dans la glace, entraînant ainsi des difficultés pour se déplacer lors des radio-trackings. D'autres difficultés ont été rencontrées notamment au vue de l'importante zone de recherche (37km²) et des nombreuses zones privées complexes voire parfois impossibles d'accès. Néanmoins, tous les sujets ont été retrouvés sauf un seul à l'Ouest qui malheureusement n'aura été retrouvé qu'une seule fois (fréquence 49514).



Figure 46 : Les 4 saisons du suivi radiopistage.

A l'issue du suivi, 5 poissons ont été perdus et/ou capturés sur les 18, ce qui reste un bon taux de retour avec :

- 2 individus probablement morts suite à la forte canicule de juin/juillet 2019 ou éventuellement capturés puis remis à l'eau dans de mauvaises conditions. Il s'agit du 49353 et du 49600 à l'Ouest. Ces deux poissons ont été retrouvés en « double bip ». Le corps du 49600 a été retrouvé mais pas celui du 49353.
- 3 individus n'ont jamais été radiopistés mais ont disparu (dernier pointage pour le 49414, 51670 et 49550) dans une zone de forte pression de pêche journalière (pont de l'embarcadère de Salperwick).

Poissons capturés

Les brochets mesuraient en moyenne 652mm à l'Ouest et 576mm à l'Est. Leurs états sanitaires étaient néanmoins assez hétérogènes.

OUEST

ID	Fréquence	COFA1	COFA2	Date de capture/ marquage	Taille	Etat sanitaire	Date de capture à la ligne (déclaration pêcheur)	Age (scalimétrie)
1	49444	15523	15524	25/10/2018	609	B		4+
2	49570	15520	15518	25/10/2018	520	A		3+
3	51730	15522	15521	25/10/2018	611	A	05/11/2018 et 10/01/2019	4+
4	49353	15516	15517	25/10/2018	658	B	31/10/2018	4+
5	49414	15482	15483	25/10/2018	667	B		4+
6	49154	15484	15485	25/10/2018	735	B		5+
8	51670	15486	15487	26/10/2018	557	A		3+
9	49550	15488	15489	26/10/2018	692	D		4+
10	49600	15490	15492	26/10/2018	705	A		4+
11	49514	17330	17331	26/10/2018	603	A		3+
12	49560	17326	17327	26/10/2018	554	B		3+
13	49484	17328	17329	26/10/2018	914	A		6+

EST

ID	Fréquence	COFA1	COFA2	Date de capture/ marquage	Taille	Etat sanitaire	Date de capture à la ligne (déclaration pêcheur)	Age (scalimétrie)
14	49384	17335	17336	20/11/2018	550	B		3+
15	49464	17337	17338	20/11/2018	578	A		4+
16	49580	17340	17341	20/11/2018	524	C	04/11/2019	3+
17	49631	17342	17344	20/11/2018	722	A		4+
18	49590	17347	17346	21/11/2018	524	A		3+
13b	49620	17333	17332	20/11/2018	558	C		3+

Tableau 9 : Récapitulatifs des sujets marqués.

Campagne de communication et retour des pêcheurs

Lors des suivis de radiopistage, une campagne de communication a eu lieu afin d'inciter les pêcheurs locaux à nous retourner des informations dans le cas où un individu marqué était pêché. Globalement, les retours furent plutôt bons malgré les disparitions précédemment citées et le fait que pour certains l'aspect communicatif fut insuffisant. Il conviendra de tenter d'améliorer encore ce point lors d'études futures.

3 individus suivis se sont vu pêchés (aux leurres). Il s'agit de la fréquence 51730, poisson qui a été pêché à 2 reprises le 05/11/18 et le 10/01/19 (soit à 36 jours d'intervalle). Celui-ci a été capturé puis remis à l'eau une première fois par un pêcheur seulement 11 jours après le marquage. Le poisson à la fréquence 49353 a été pêché et gracié le 31/10/18, soit 6 jours après son marquage. Pour le 49580 (♂), celui-ci fut capturé en fin d'étude le 04/11/2019, et nous renseigne ainsi sur un taux de croissance de 6 cm après son marquage un an avant.

Approche globale

Les déplacements des brochets situés à l'Ouest et à l'Est du marais ne présentent pas de différences significatives entre eux (*Kruskaltest* $p=0,09$). Ils sont ainsi dans cette partie représentés ensemble.

Les distances moyennes de déplacement quant à elles comptent au moins une différence entre les 9 mois de suivis (*Kruskaltest* $p<0,05$). Il s'agit du mois de février qui se distingue des autres mois excepté pour mars (*pairwise wilcoxtest* *fev/autres* $p<0,05$; *pairwise wilcoxtest* *fev/mar* $p=0,06$).

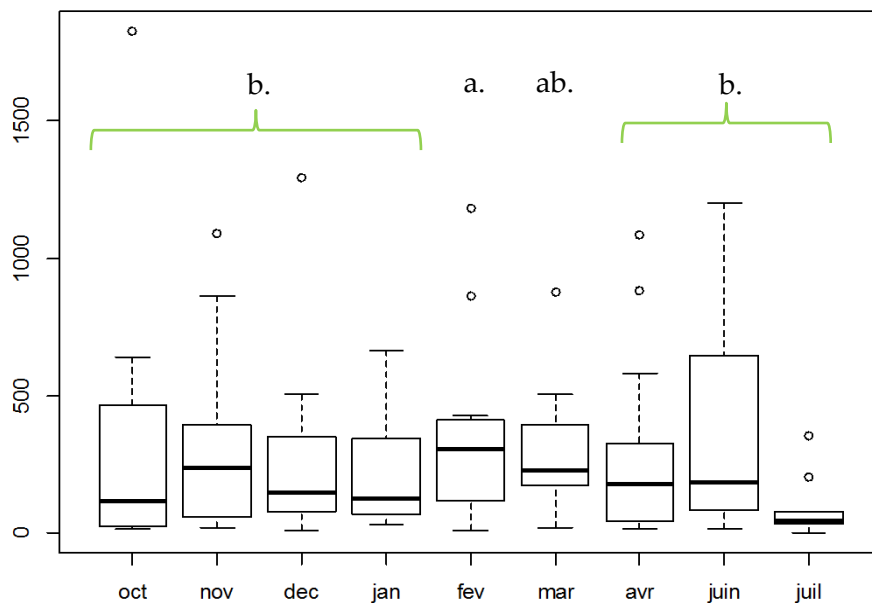


Figure 47 : Boxplot des distances moyennes par mois des Brochets suivis et groupes statistiques associés (avec légère correction des valeurs aberrante sur 1 Brochet en juillet et juin).

La relative uniformité de ces valeurs peut être expliquée par de grandes disparités comportementales inter-individus (divergences au niveau des périodes de migration, des distances de migration, des domaines vitaux et des pré-migrations). En effet, certains sujets ont migré à des moments différents et sur des distances très variées.

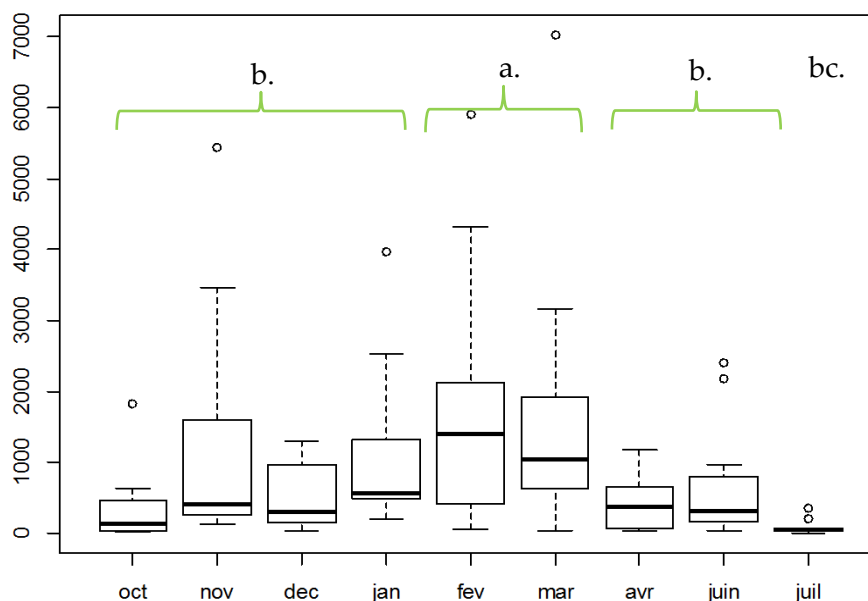


Figure 48 : Boxplot des sommes des déplacements totaux par mois des Brochets et groupes statistiques associés.

Si les sommes des déplacements mensuelles des poissons sont significativement différentes (*Kruskaltest* $p < 0,05$) il convient de nuancer ces résultats puisque les sommes des déplacements peuvent être biaisées en janvier-février-mars lié à l'augmentation de la fréquence des sorties à ces périodes. Néanmoins, la figure peut nous renseigner sur des distances extrêmes plus importantes en février-mars que sur les autres mois (*pairwise wilcoxtest* *fev/autres* $p < 0,05$; *pairwise wilcoxtest* *mar/autres* $p < 0,05$). Les Brochets entreprennent donc des grands déplacements en février-mars et semble plus sédentaire hors de cette période.

Approche individuelle

Ces observations sont affinées par la lecture de la Figure 49 qui présente le positionnement de chaque individu en fonction du temps. La gauche du graphique représente les points de relâche après marquage. La méthode de ségrégation lors des calculs des amplitudes de déplacement fut la suivante. Lorsqu'un poisson rejoint un bras annexe, la distance dans le bras est calculée en prenant la confluence comme zéro. S'ajoute ensuite la distance déjà parcourue dans le cours d'eau principal. Un poisson remis à l'eau au pk 5 et qui remonte jusqu'au pk 2 de l'affluent joignant le Grand Large par exemple au pk 7 aura effectué une montaison de $(7-5) + 2 = 4$ km.

Les individus se sont rapidement répartis après la relâche (au niveau de leurs sites de captures initiaux pour la plupart). Puis les sujets semblent avoir préférentiellement un poste fixe et sont très sédentaires hors de leurs périodes de migration identifiées. Certains sujets comme le 49353 sont en revanche plus nomades. Un seul sujet ne s'est absolument pas déplacé lors du suivi, il s'agit du 49384, qui est uniquement resté dans un plan d'eau. Les autres sujets ont entrepris des mouvements entre 2 et 7km de leurs domaines vitaux lors de la période de février à mars.

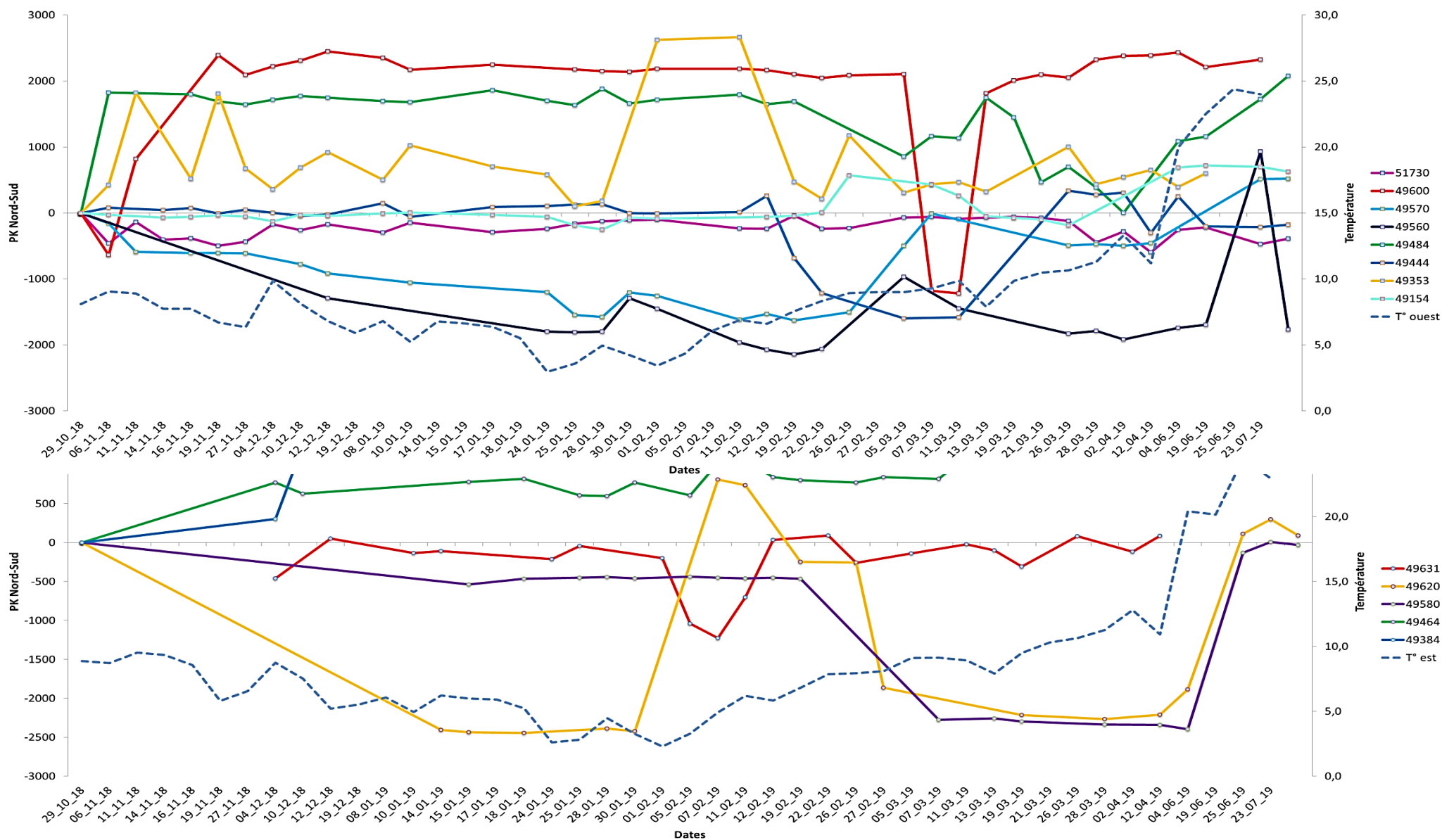


Figure 49 : Mouvements des Brochets radiopistés en fonction de leurs positions selon l'axe Nord-Sud. En haut pour les poissons de l'Ouest du marais et en bas pour l'Est. Les individus 49550, 51670, 49414 (Ouest) et 49590 (Est) ne sont pas représentés afin d'améliorer la lisibilité (trop peu de pointage).



La Figure 49 met donc en exergue une hétérogénéité comportementale qui présente néanmoins des rapprochements.

En effet, à la lecture de celles-ci, 3 périodes semblent se distinguer :

- i. La période de pré-migration qui couvre la période de janvier-début février mais pour certains poissons uniquement (par exemple 49353, 49560 ou 49620).
- ii. La période de migration qui couvre la période de février-mars (exemple facilement distinguable avec 49600 : pour une femelle ou 49444 : pour un mâle).
- iii. La période sédentaire caractéristique avec des déplacements restreints aux domaines vitaux.

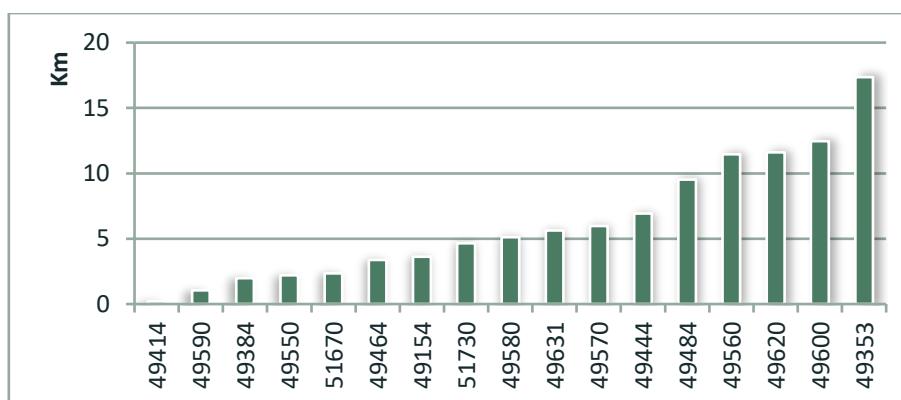


Figure 51 : Distances cumulées des différents poissons suivis.

Les distances cumulées par individu peuvent être présentées à titre indicatif afin de montrer la grande hétérogénéité qu'il fut possible d'observer entre les individus. Comme avec le sujet 49353 assez nomade tout au long du suivi face à certains sujets qui se sont peu déplacés.

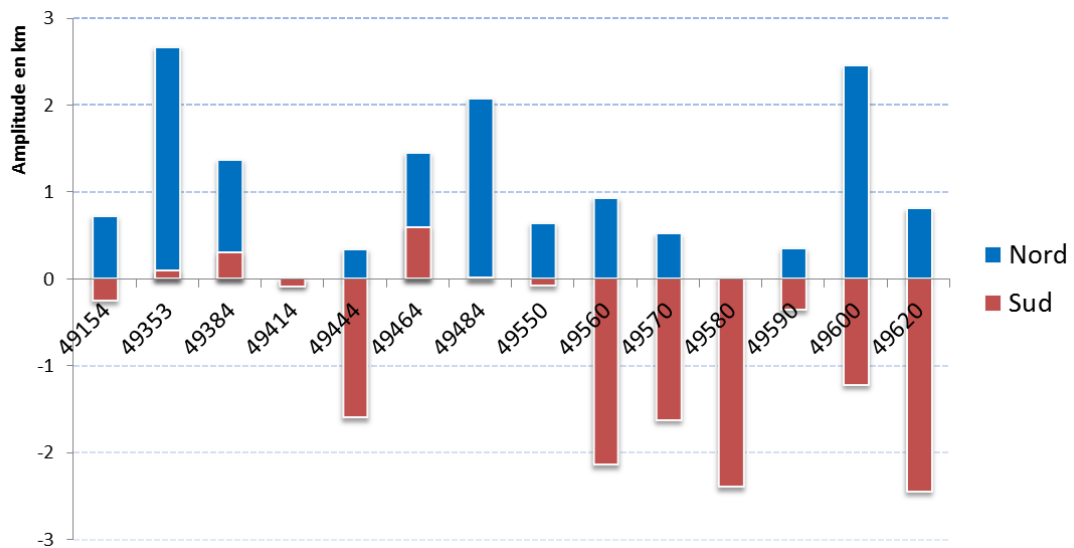


Figure 52 : Amplitude de déplacement maximum (au Nord ou au Sud) observées au cours du suivi.

Les amplitudes maximum au Nord et minimum au Sud nous renseignent sur les valeurs de déplacements extrêmes.

Les résultats montrent que les amplitudes de déplacements et les distances cumulées peuvent fortement varier en fonction du temps et des individus suivis. Un brochet peut ainsi se déplacer beaucoup en peu de temps et inversement certains brochets se sont très peu déplacés durant l'année de suivi.

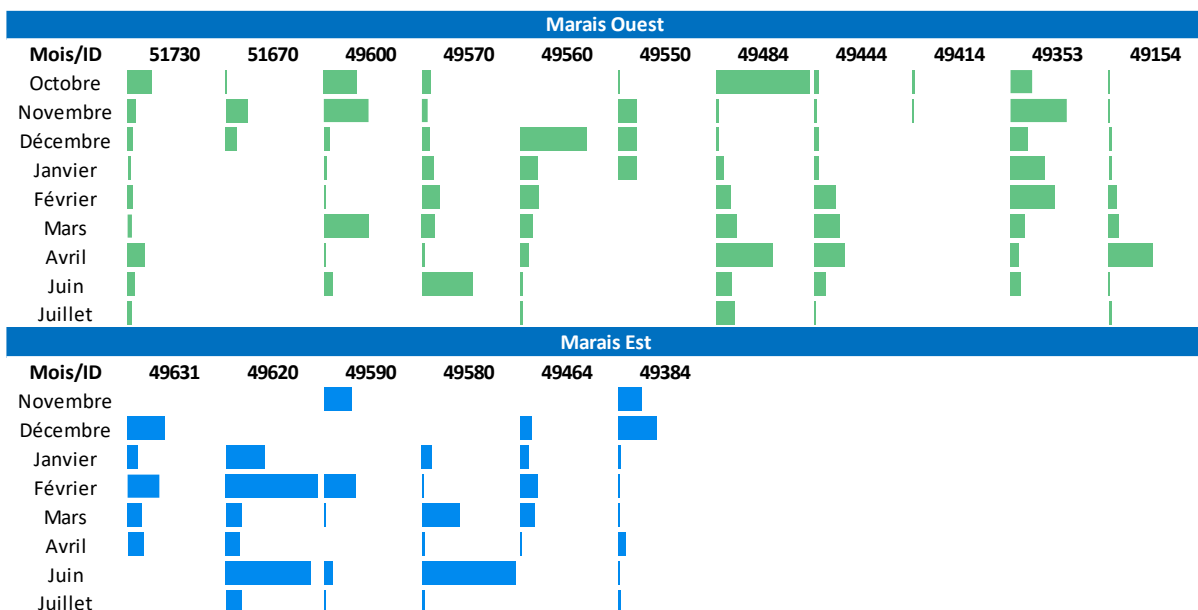


Figure 53 : Représentation schématique du déplacement moyen mensuel de chaque individu.

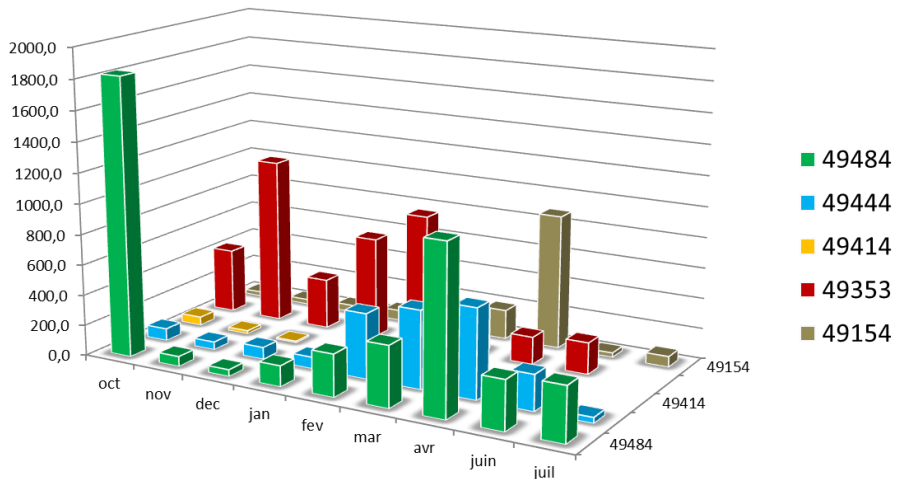
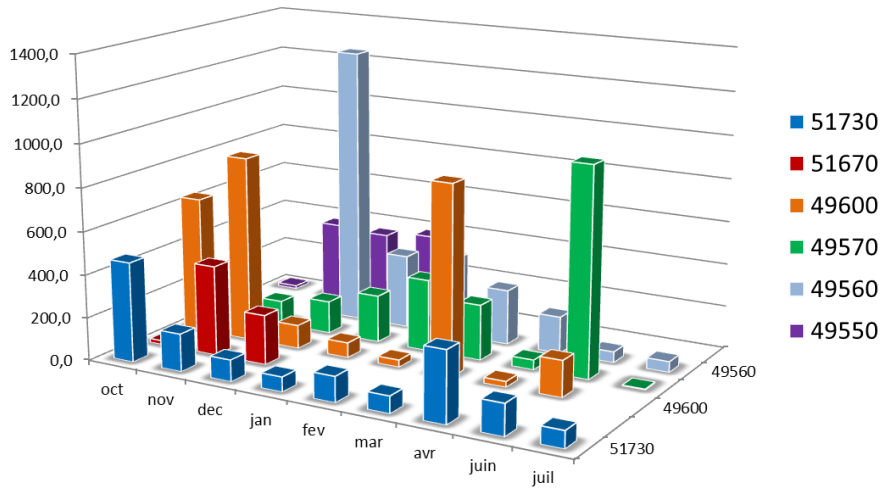
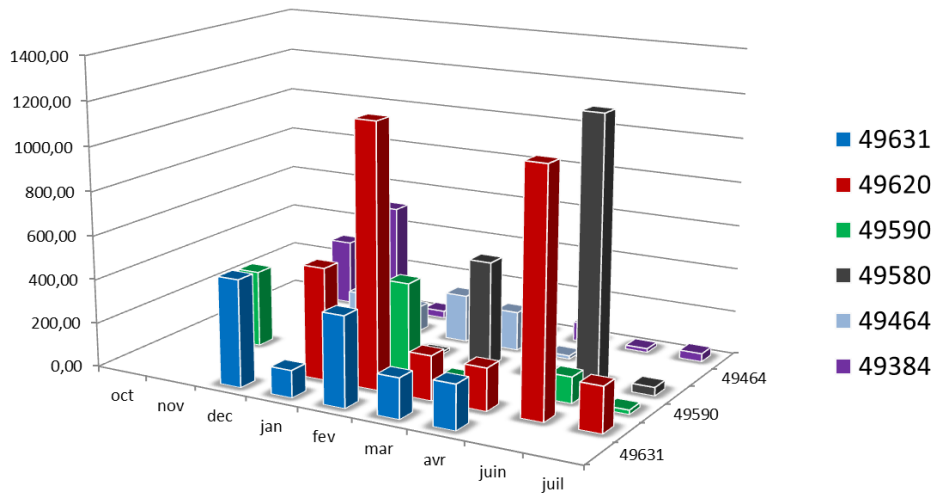


Figure 53bis : Représentation des déplacements moyens mensuels des Brochets.

Approche individuelle remarquable

Les sujets sont restés préférentiellement sur les axes principaux lors de leurs périodes sédentaires (wateringues de largeur supérieure à 5 m et de profondeur moyenne de 1,5m) et semblent avoir ciblé des fossés du réseau secondaire lors de leur période de migration. Si c'était une observation attendue, il est louable d'avoir pu observer ce comportement et d'identifier des zones de reproduction probables supplémentaires en lien avec les autres volets de l'étude (Figure 54).



Il est ainsi possible de citer les brochets 49620 (♀) et 49464 (♂) à l'Est du marais qui ont permis d'identifier des zones où des brochetons de l'année ont été échantillonnés suite aux IAB (Figure 54). Le comportement de ces deux individus est remarquable et permet d'illustrer des divergences comportementales entre mâle et femelle. En effet, l'individu femelle (49620) a entrepris sa migration de manière soudaine puis a stoppé à 3 reprises dans des drains propices à sa reproduction (éloignés chacun de plus de 1,5km). Le mâle quant à lui (49464) a migré sur une plus courte distance et sur une période plus courte dans un seul drain situé non loin de son domaine vital.

Figure 54 : Identification d'un drain favorable à la reproduction lors du radiopistage. Un individu a été suivi ici en février et des brochetons y ont été trouvés en mai lors des IAB.

Afin d'illustrer au mieux ces mouvements au sein du marais, la lecture des déplacements de 6 individus (3 à l'Ouest et 3 à l'Est) est proposée Figure 55 avec des photographies de certaines zones remarquables où ils ont séjourné.

Aucun obstacle majeur à la migration de reproduction n'a été identifié. Les cours d'eau (wateringues) du marais étant en général bien connectés entre eux et avec les fossés (watergangs) attenants. Néanmoins les autres volets de l'étude (IAB et SFR) ont pu démontrer un intérêt d'ouverture de zones supplémentaires (reconnexion ou connexion). Il est toujours possible que les brochets puissent avoir un intérêt à rejoindre des zones supplémentaires lors de leur migration, mais cette hypothèse n'a pas pu être confortée ici.

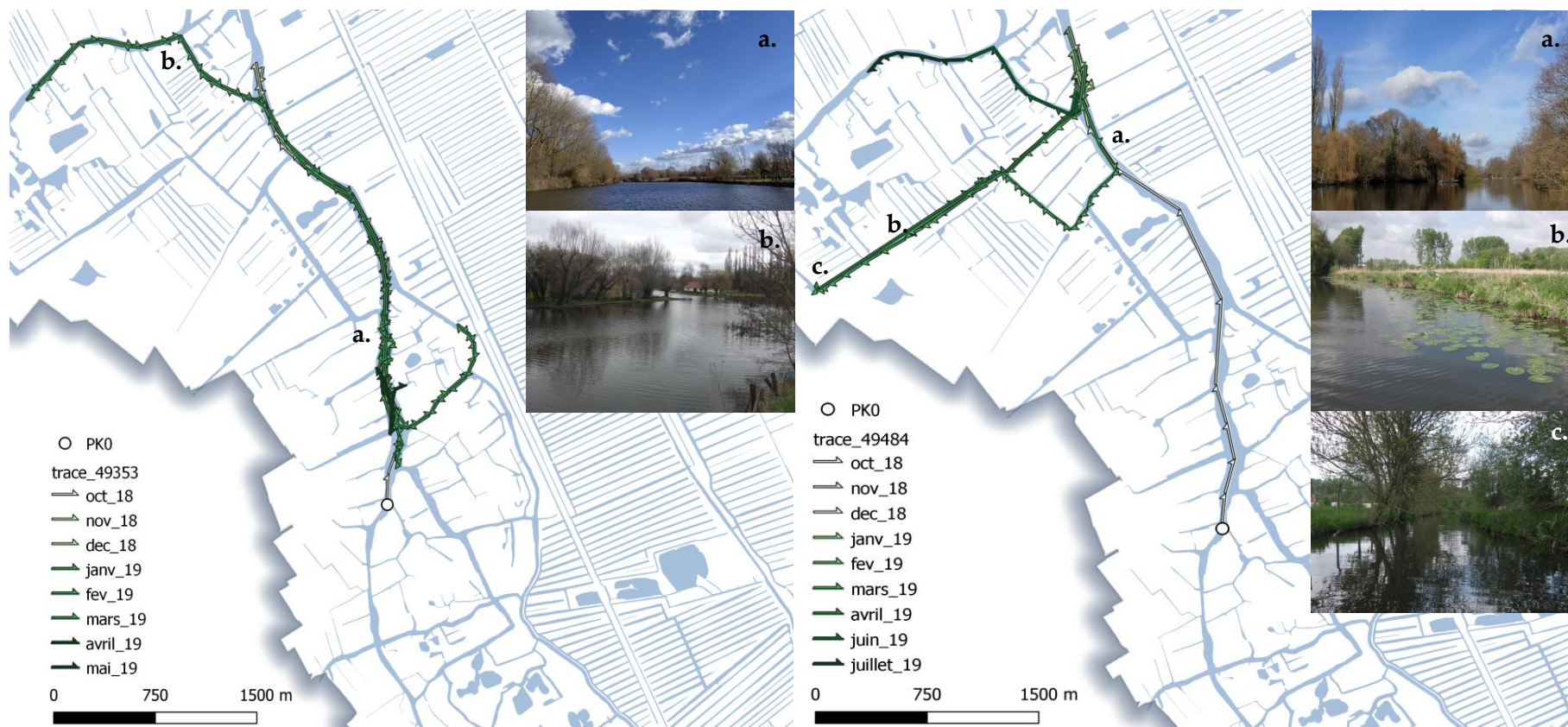


Figure 55 : Présentations schématiques des déplacements de 6 sujets remarquables (dont 3 situés à l'Ouest en vert et 3 situés à l'Est en bleu). Avec plusieurs photographies illustratives des zones où ont voyagé les Brochets dont : avec toujours en a. le domaine vital et en b. les alentours de la zone occupées lors de la période de migration de février à mars selon les sujets.



Figure 55 : Présentations schématiques des déplacements de 6 sujets remarquables (dont 3 situés à l'Ouest en vert et 3 situés à l'Est en bleu). Avec plusieurs photographies illustratives des zones où ont voyagé les Brochets avec : toujours en a. le domaine vital et en b. les alentours de la zone occupée lors de la période de migration de février à mars selon les sujets.



Figure 55 : Présentations schématiques des déplacements de 6 sujets remarquables (dont 3 situés à l'Ouest en vert et 3 situés à l'Est en bleu). Avec plusieurs photographies illustratives des zones où ont voyagé les Brochets avec : toujours en a. le domaine vital et en b. les alentours de la zone occupée lors de la période de migration de février à mars selon les sujets.

Domaine vital

Les domaines vitaux des brochets (hormis 4 individus disparus trop tôt dans le suivi pour être validés avec certitude) sont présentés ci-dessous.

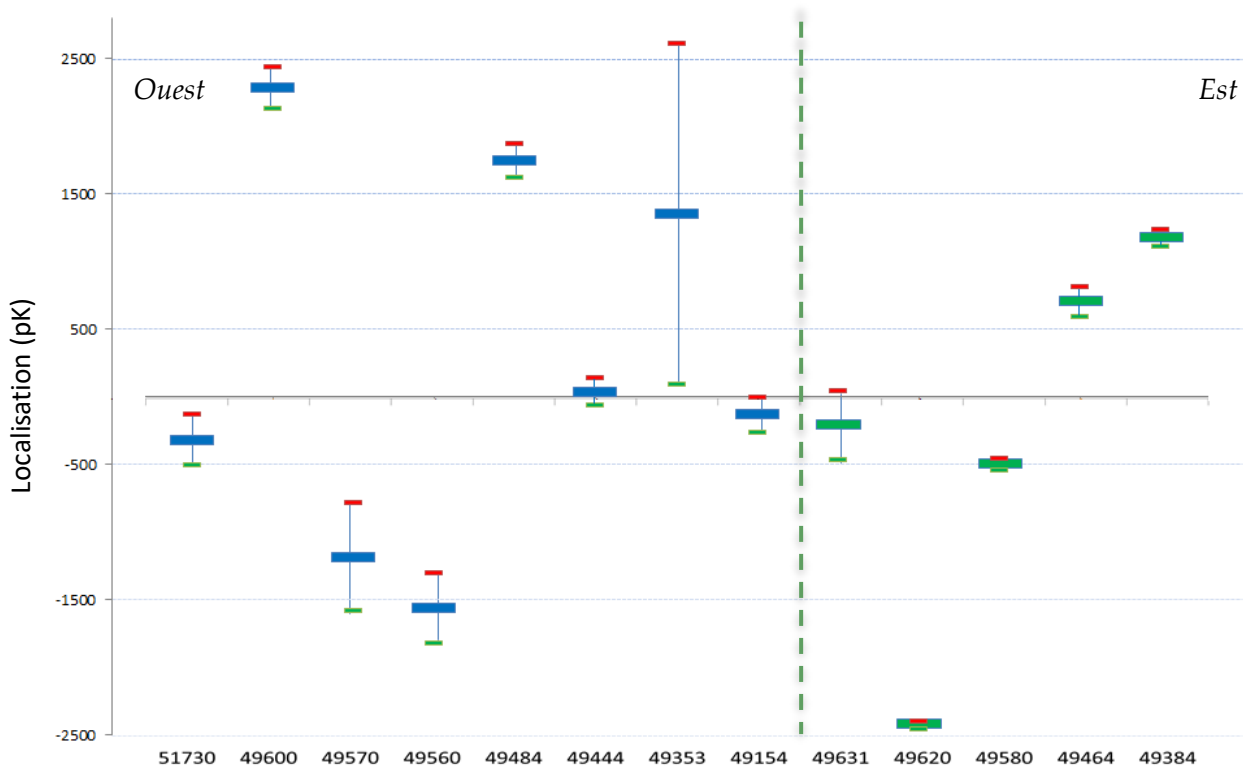


Figure 56 : Répartition des domaines vitaux identifiés lors de la période de sédentarisation (hors période de migration et de retour sur zone de domaine vital après marquage et de périodes de pré-migrations). Avec en bleu les Brochets de l'Ouest et en vert les Brochets à l'Est (zones non similaires).

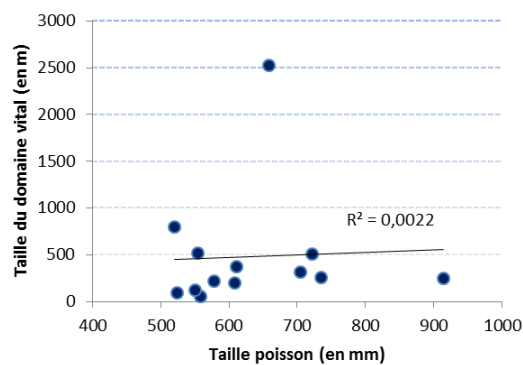


Figure 57 : Taille du domaine vital des individus en fonction de leur taille et droite de régression linéaire associée.

Ces domaines sont assez hétérogènes entre les différents individus mais la taille de ceux-ci ne semble donc pas être corrélée avec la taille du domaine vital (Figure 57). On remarque toutefois une différenciation nette avec des individus avec des domaines très réduits (49444 – 49154 à l'Ouest et

49620 – 49580 à l’Est) face aux autres. Si des différences visuelles apparaissent, notamment entre les brochets à l’Est qui semblent avoir des domaines plus petits qu’à l’Ouest, il ne semble y avoir de différenciations statistiques significatives (*Kruskaltest* $p=0,8$).

Facteur abiotique : la température de l’eau

Comme présenté lors de la partie introductive, les variations de débits et de niveau d’eau sont quasi-inexistantes au sein du marais Audomarois. De cette observation factuelle découle plusieurs conséquences comme nous avons pu le voir lors des précédents volets (IAB et SFR). Ainsi notre analyse s’est uniquement portée sur les variations de températures, seul facteur abiotique pouvant donc influencer la fraie du Brochet dans le marais (hors facteurs

biotiques comme la dégradation des végétaux etc.).

La température de l’eau varie au cours du suivi entre 3°C au mois de janvier 2019 et 25°C lors de l’été 2019. Les intervalles de température ont été fixés par rapport à la bibliographie (Chancerel 2003 ; Skov et Nilsson 2018) avec un intervalle [6-12°C] correspondant à la température adéquate pour la reproduction.

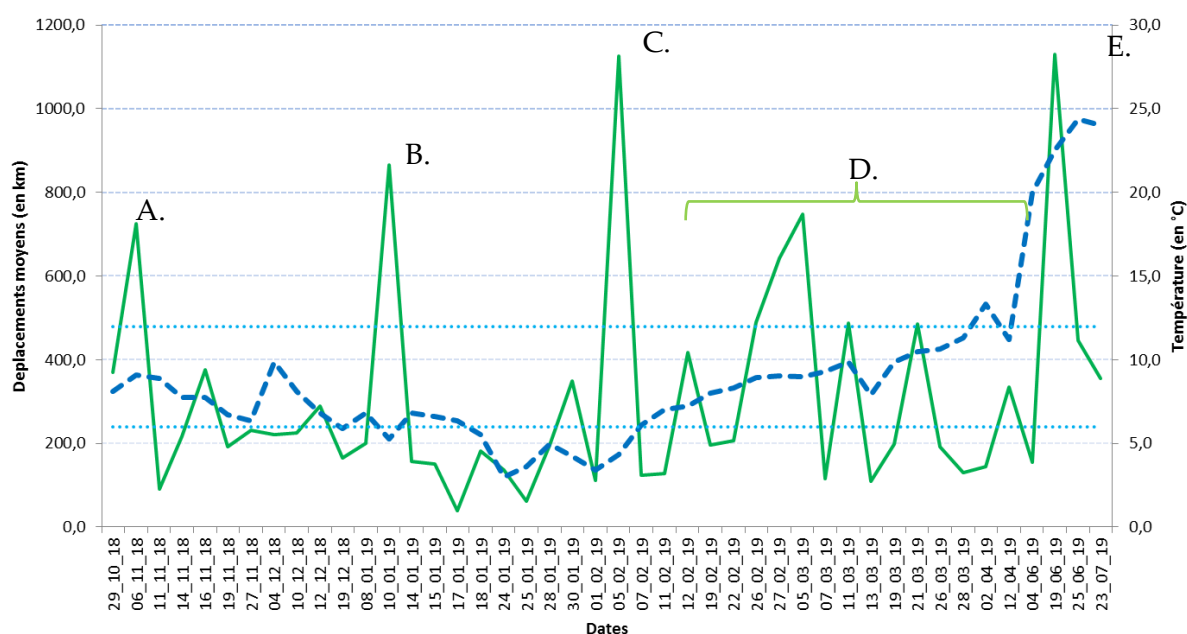


Figure 58 : Moyennes des déplacements (en vert) en fonction de la température de l’eau (en bleu) et intervalle thermique.

Les gammes thermiques apposées au regard de la bibliographie semblent coïncider avec les périodes de migration observées lors du radiotracking. Ainsi, en prenant en compte les résultats présentés plus haut et la Figure 58, il est possible de représenter les différentes périodes identifiées avec en :

- A. Retour de certains sujets au niveau des zones où ils furent capturés.
- B. Période d’exploration ou de pré-migration précoce de certains sujets.
- C. Période de pré-migration ou de migration précoce de certains sujets.
- D. Amplitude de la période de migration identifiée, correspondante avec la gamme de température de [6-12°C].
- E. Retour tardif de certains sujets dans leur domaine vital.

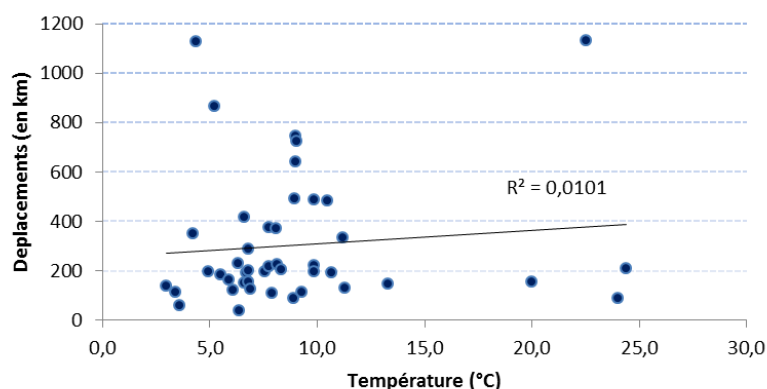
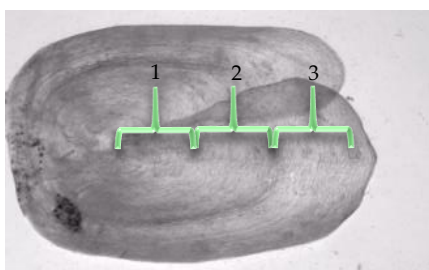


Figure 59 : Déplacements en fonction de la température de l'eau et droite de régression linéaire associée.

S'il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre la température et la distance de déplacement (Figure 59), on remarque néanmoins une correspondance avec les gammes de température [6-12] °C et les mouvements migratoires des sujets.

Les résultats peuvent toujours être critiquables au vue des migrations de certains sujets qui furent identifiés hors de cette gamme. En effet, des biais peuvent exister de par le placement des sondes températures HOBOWare. Celles-ci étaient placées à l'ombre (nécessité de cacher au mieux la sonde) certains individus ont pu avoir une migration déclenchée dans des zones où les eaux furent légèrement plus chaudes ou tout du moins de températures différentes des optimums thermiques décrétés par la bibliographie (pic de déplacement moyen en C. cf Figure 58).

Scalimétrie



	Age observé			
	3+	4+	5+	6+
Effectifs	8	8	1	1
Taille moyenne	548,6±19,6	655,25±41,9	735,0	914,0

Tableau 10 : Effectifs et tailles moyennes (en mm) des Brochets capturés et les classes d'âge associées (obtenue par la scalimétrie) et écart-types si plus de 3 valeurs. Une écaille de Brochet 3+ est présentée à titre illustratif.

La taille moyenne des individus ayant atteint l'âge de maturité sexuelle (fixée à 3 ans pour les femelles et 2 ans pour les mâles) est de 548,6 mm. Même si nos effectifs de captures sont faibles et ne permettent pas de déployer des analyses statistiques, on remarque tout de même que la taille légale de capture dans le département (TLC à 600 mm) est pertinente. Cette étude, en plus d'offrir un retour d'expérience sur la lecture des écailles de brochets nous a surtout permis de valider la maturité sexuelle des brochets suivis par radiopistage.

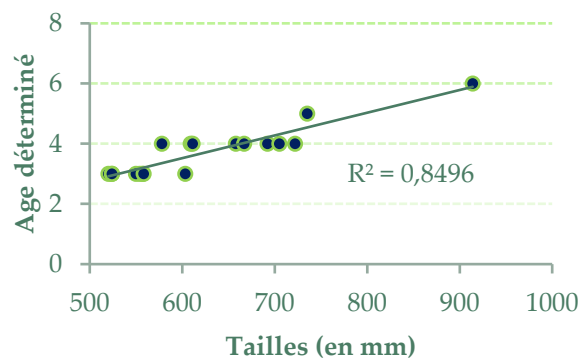


Figure 60 : Relation linéaire entre l'âge déterminé par scalimétrie et la taille des sujets.

La lecture de la droite de régression linéaire nous renseigne sur la relation entre les tailles des individus et leurs âges déterminés. Ce résultat est logique et attendu, nous permettant de confirmer la pertinence de nos lectures d'âges.

Il pourrait être envisagé dans le futur de déployer un modèle d'estimation de la taille des brochets du marais, à l'aide notamment de la méthode de rétro-calcul permise par le modèle de Von Bertalanffy. Ceci dans le cas où un plus grand stock d'écailles de brochets différents nous serait parvenu.

Discussion

Récapitulatif des résultats

De nombreux résultats ont pu émerger sur la connaissance du cycle biologique de l'espèce Brochet dans le marais Audomarois grâce à ce Focus centré sur cette espèce emblématique. La conclusion et le cheminement emprunté par ce Focus peuvent être retranscrits de façon schématique afin d'imager les faits (Figure 61). En effet, nos investigations ont permis d'émettre des corrélations qui nous ont permis de décrire, d'identifier et de hiérarchiser des enjeux en vue d'établir des préconisations de gestion adaptées.

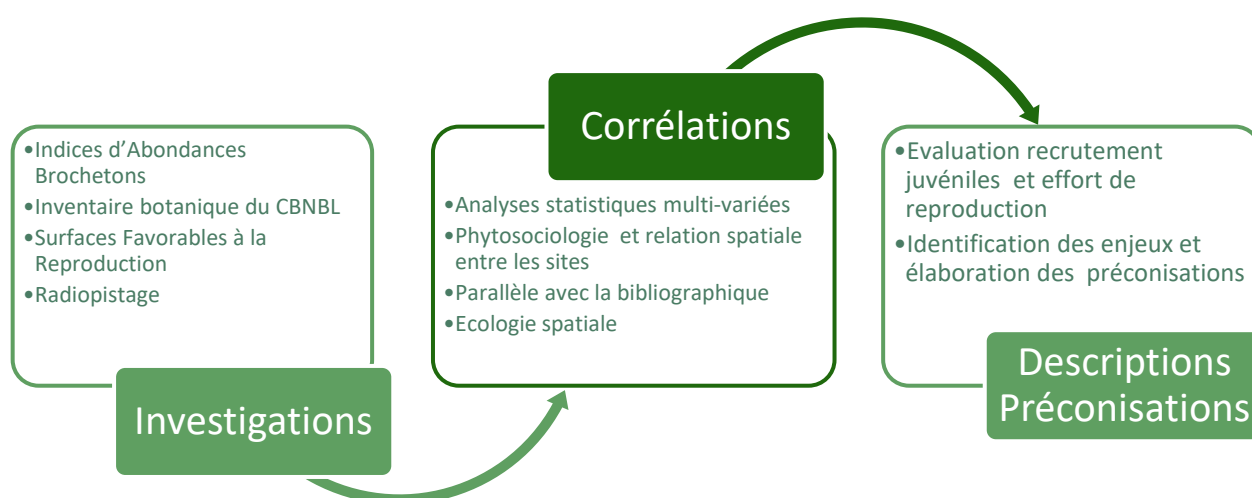


Figure 61 : Récapitulatif schématique du raisonnement entrepris lors du Focus Brochet afin de parvenir à des préconisations de gestions adaptées en fonction des enjeux.

De manière succincte, nous pouvons rappeler les objectifs de chaque volet qui nous ont permis l'évaluation de la fonctionnalité écologique du Marais pour l'espèce :

- Le volet SFR nous a permis d'identifier près de 160km de linéaires vraisemblablement favorables à la fraie du Brochet (soit 28,8% du linéaire de fossés du marais) hiérarchisés en 3 classes de potentialités.
- Le volet RP nous a permis d'identifier les mouvements migratoires et les périodes de migration de l'espèce dans ce dédale de voies d'eaux.
- Le volet IAB en parallèle de l'étude botanique nous a permis d'identifier 82 022 m² de frayère effective (vision optimiste) ainsi que de lister les conditions à remplir des sites pour la reproduction et la croissance des poissons. De plus la lumière s'est faite sur les problématiques de fonctionnement des frayères dans le marais (efficacité faible).

En définitive, l'état du contexte est jugé malgré tout perturbé pour l'espèce Brochet.

Retour d'expérience

Surfaces Favorables à la Reproduction

Si les campagnes d'inventaires des surfaces favorables à la fraie ont permis de remplir nos attentes avec l'identification d'un nombre important de linéaires d'intérêt, des problèmes ont tout de même été identifiés, notamment l'accessibilité de certaines zones voire sites sur des propriétés privées. Plus particulièrement les huttes de chasse et les parcelles consacrées au maraîchage.

En effet, il fut prévu de couvrir plus de zones mais certaines n'ont pas pu être visitées suite à l'accessibilité des sites très hétérogène, aux grands nombres de propriétés privées interdites d'accès ou encore de par le caractère de la zone d'étude globale (hydrosystème marais complexe à appréhender par rapport au lit majeur d'une rivière).

Indice d'Abondance Brocheton

C'est globalement un bon retour d'expérience qui ressort du déploiement des IAB. En effet, ce protocole a démontré son efficacité de par sa facilité de déploiement et la multiplication des stations sur un vaste périmètre. Sa pertinence pourrait permettre son utilisation dans d'autres types de milieux, à l'instar de méthodes déjà utilisées en routine tels que le protocole VigiTruite® ou encore l'Indice d'Abondance Saumon (IAS) propre aux contextes salmonicoles. Nous pouvons lister succinctement ses avantages et ses inconvénients :

+ Rapidité de mise en œuvre et échantillonnage en 5min de temps de pêche effective, extrapolation surfacique car linéaire complet de pêche sans interruption, faible nombre d'opérateurs, matériel léger portatif, multiplication des stations, etc.

- Calcul par CPUE, non exhaustif d'une zone complète, habitats ciblés, etc.

En termes de perspectives, s'il était louable d'avoir pu mettre en place un large maillage de 205 stations, certaines zones n'ont pu être inventoriées et auraient mérité toutefois notre attention. Cela aurait pu être le cas :

- Du marais communal au Nord-Ouest de la commune de Saint-Omer, une zone de maraîchage intensif aux larges wateringues.
- Du lieu-dit du petit Bagard au Sud de la Vesseliette (une zone protégée et en gestion par Eden62).
- Des quelques zones annexes de la rivière de Nieurlet où des pieds de Stratiote Faux-Aloes ont été trouvés (offrant probablement un bon support de ponte cf Figure 55 p.77 site b. du Brochet 49631) mais cloisonnées par des grillages. Un juvénile y a été néanmoins aperçu en bateau lors d'une session de pistage confirmant l'intérêt d'étudier dans le future cette zone.

Radiopistage et écologie spatiale

Nos observations ont pu être confrontées à la bibliographie ou des études similaires menées par nos confrères des Fédérations de la Meuse (55) ou du Nord (59) par exemple.

Si la plupart de nos observations semblent en accord avec la bibliographie et furent attendues comme : le sédentarisme des sujets hors période de reproduction (Burr 2002, Masters et al. 2003) ou encore la concordance des périodes de migration et des bornes thermiques entre 6 et 12°C (Dubost & Vauclin 2004, Ovidio & Philippart 2005). Certaines observations en revanche sont tout de même plus surprenantes. En effet, les domaines vitaux de la majeure partie de nos sujets sont relativement petits par rapport à d'autres études (Ovidio & Philippart 2003, Masters, et al. 2003). De plus certains domaines se chevauchent, plusieurs individus semblent cohabiter dans la même zone de 500m (notamment à l'Ouest près de l'embarcadère de Salperwick).

Néanmoins à l'instar de Masters, et al., deux groupes d'individus semblent se démarquer : les sédentaires « assumés » aux domaines vitaux restreints et les « nomades » aux domaines importants et qui réalisent des allers et retours journaliers (comme le sujet 49353).

Les Brochets sédentaires ont été radiopistés avec une occurrence importante toujours proche de lieux dits de « caches » semblant adaptées à l'espèce. Ce fut fréquemment le cas par exemple sous des barques abandonnées, des embâcles, des souches, des saules ou d'autres arbres aux systèmes racinaires plus imposants... Une bonne partie des sujets semblaient également privilégier des croisements hydrauliques entre plusieurs bras, vraisemblablement attractifs.

Il en est de même lors des périodes de migration de reproduction. Si certains sujets ont entrepris une migration sur plus de 7km (aller-retour) la majeure partie des effectifs ne sont guère allés plus loin que 2 km en moyenne pour frayer. Ces observations nous amènent à croire que les brochets étudiés ici dans un contexte de marais doux endigué ont des comportements migratoires légèrement différents des sujets vivants en hydrosystème rivière. L'hypothèse pouvant être avancée peut être la suivante : les sujets ayant à disposition des habitats potentiellement propices à la fraie non loin, n'éprouvent pas la nécessité de migrer sur de grande distance pour en trouver. La plupart de ces lieux propices se trouvaient être des fossés secondaires directement connectés au wateringue principale (selon un agencement « en peigne »).

Enfin, en ce qui concerne les limites de l'étude et les problèmes rencontrés, quelques remarques peuvent être énoncées. Des difficultés lors des suivis ont parfois été rencontrées liées encore une fois à la nature de la zone d'étude (dédalles de voies d'eau et difficultés d'accès avec un certain nombre de propriétés privées à l'accès condamnés). Ou encore la durée de la charge des accumulateurs des postes récepteurs mobiles ATS parfois limitée sur une journée de pistage.

Comme nous l'avons vu dans la partie matériel et méthode, le faible nombre de sujets fut défini entre différents paramètres dont la limitation technique et humaine. Il aurait pu être éventuellement intéressant de marquer un plus grand nombre de sujets même si il aurait été ainsi très difficile de les suivre avec un seul ou deux opérateurs plusieurs fois par semaine.

En définitive, ce fut un bon retour d'expérience riche en enseignement sur les comportements de l'espèce dans cet hydrosystème particulier qu'est le marais Audomarois.

Calcul des productions de brochets théoriques du marais Audomarois

Pour prétendre à une évaluation efficace, un parallèle est proposé entre les calculs de production de Brochets théoriques et les productions observées au sein du marais Audomarois. Dans la littérature (avec notamment : « Le Brochet. Biologie et gestion » de Chancerel une référence classiquement utilisée en France), la production de Brochetons est extrapolée sur la base suivante :

- 0,2 à 0,3 juvéniles/m² pour des marais aménagées et contrôlées.
- 0,5 juvéniles/m² à 1 juvéniles/m² (exceptionnellement) pour des sites naturels de très bonnes qualités.
- 2 à 3 juvéniles/m² pour les bassins d'élevages où tous les facteurs favorables sont réunis et gérés.
-

À partir de ces données sur le recrutement, il sera possible de déterminer la densité théorique en Brochets et plus particulièrement de Brochets de tailles capturables.

La taille minimale de capture est fixée à 60cm depuis 2018. S'il serait pertinent de réaliser une étude scalimétrique de grande ampleur, nos échantillons (18 sujets) nous permettent tout de même d'avancer le fait qu'à cette taille les brochets ont entre 3 et 4 ans.

Si la littérature nous renseigne également sur la fécondité des sujets (entre 16000 et 45000 ovules/kg de femelle), ainsi que sur les taux de survie des brochetons moyens et ce jusqu'à

leur âge de maturité sexuelle (maturité entre 2 et 4 ans pour 2% des juvéniles. cf tableau11), il nous est complexe d'appliquer la démarche de calcul. En effet, le stock de géniteurs se reproduisant sur les sites reste inconnu. Mais il nous est possible, en vue de réaliser des projections, de s'appuyer sur la démarche de Nihouarn. Ainsi, il est possible de calculer le nombre de Brochets théoriques avec le taux de survie des individus entre chaque année fixé à 0,5. Si ce taux peut évidemment fluctuer en fonction des multiples facteurs de pression qui pèsent sur le Brochet (parasitisme, prédation, pression de pêche, pollution, etc.) cela reste, il est vrai, un parti pris simplificateur de la démarche de calcul.

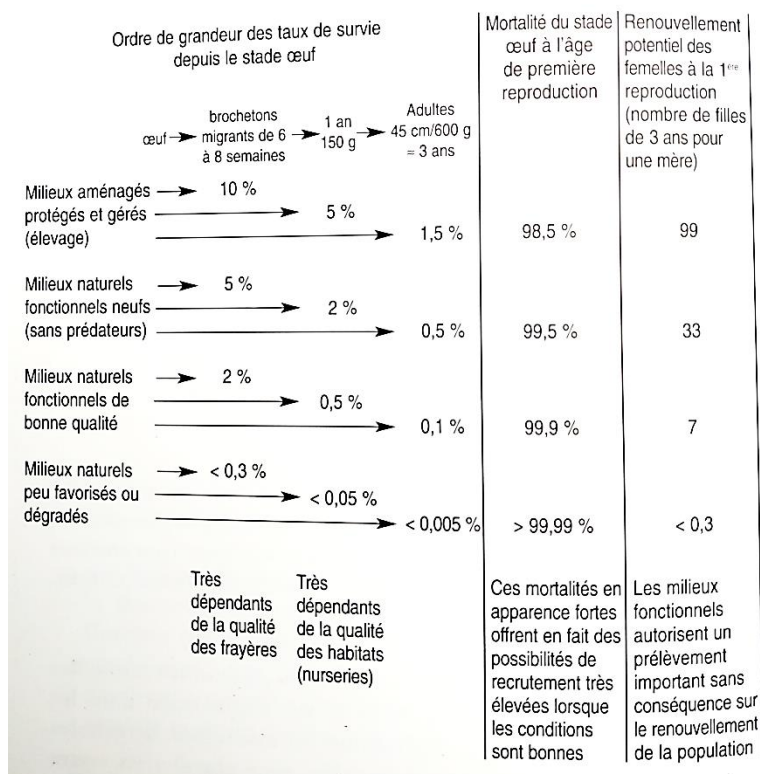


Tableau 11 : Taux de survie à l'issue de la fécondation des œufs au stade adulte mature sexuellement selon la potentialité des milieux (selon Chancerel 2003).

calcul des potentialités d'accueil théorique

D'après Chancerel		
0,2 à 0,3 juvéniles/m ² pour des marais aménagés et contrôlés.		→ Production théorique basse
0,5 juvéniles/m ² à 1 juvéniles/m ² (exceptionnellement) pour des sites naturels de très bonnes qualités.		→ Production théorique haute
2 à 3 juvéniles/m ² pour les bassins d'élevages où tous les facteurs favorables sont réunis et gérés.		→ non calculé/non pertinent
D'après Nihouarn		
Nihouarn indique que le taux de survie des individus entre chaque année est de 0,5		
Ainsi si 50 BRO → (50%) → 25(0+) → (50%) → 12.5(1+) → (50%) → 6.25(2+) → (50%) → 3.1(3+)		
D'après nos résultats sur le marais		
Dans le cas des inventaires positifs, la moyenne est de 1,2 juvéniles échantillonnés sur 17 stations (de linéaire moyen de 165m et de largeur moyenne de 1m avec le balayage de l'anode).		
La productions ainsi observées est de :	0,0073	par m ²
	0,73	pour 100m ²

Tableau 12 : Base du calcul des populations et des productions théoriques de Brochets face à nos résultats dans le marais.

Enfin, dans notre cas, les 205 inventaires (IAB) ont permis de mettre en évidence la présence de juvéniles de l'année sur 17 stations avec une moyenne de 1,2 fingerlings par station. En prenant en compte le linéaire moyen échantillonné (165m) et en le recoupant avec la largeur moyenne échantillonnée (1m

correspondant plus ou moins à l'amplitude de déplacement de l'anode le long des berges échantillonnées par les opérateurs terrain), nous pouvons extrapoler afin d'obtenir une production moyenne de brochetons sur nos deux ans d'étude dans le marais (0,0073 brocheton/m²).

Pour 100m ²	0+	1+	2+	3+	4+	5+
Production théorique basse	25,00	12,50	6,25	3,13	1,56	0,78
Production théorique haute	50,00	25,00	12,50	6,25	3,13	1,56
Production observée	0,73	0,37	0,18	0,09	0,05	0,02
Pour les frayères effectives identifiées	0+	1+	2+	3+	4+	5+
Production théorique basse	20507,07	10253,54	5126,77	2563,38	1281,69	640,85
Production théorique haute	41014,15	20507,07	10253,54	5126,77	2563,38	1281,69
Production observée	598,81	299,40	149,70	74,85	37,43	18,71
Pour les SFR	0+	1+	2+	3+	4+	5+
Production théorique basse	80291,21	40145,61	20072,80	10036,40	5018,20	2509,10
Production théorique haute	160582,42	80291,21	40145,61	20072,80	10036,40	5018,20
Production observée	2344,50	1172,25	586,13	293,06	146,53	73,27

Tableau 13 : Projections théoriques des productions de brochets, pour 100m², pour nos 82028,1m² de frayères effectives identifiées et pour l'ensemble des SFR observés dans le marais. Les individus dits 0+ sont les juvéniles de l'année au stade Brocheton migrant. Les individus 3+ et 4+ sont normalement des individus adultes capables de se reproduire et également de taille capturable.

Il est donc possible de se rendre compte de la problématique inhérente au manque de fonctionnalité des frayères dans le marais Audomarois. En effet, si on décide d'évaluer la fonctionnalité des sites étudiés :

- i. la productivité théorique (entre 0,25 et 0,5 brochetons/m²) définit une bonne fonctionnalité.
- ii. alors que la production identifiée en 2018-2019 sur le marais (de 0,0073/Brocheton/m²) semble exposer une fonctionnalité médiocre.

Ainsi, l'ensemble des frayères identifiées nous permettrait techniquement de produire entre 74,85 et 37,43 brochets adultes par an alors qu'on serait en droit d'attendre entre 2563,38 (projections basse) et 5126,77 (projections haute) brochets adultes par an. Les valeurs observées sur le marais sont de l'ordre d'une productivité de 34 à 68 fois moindres que les valeurs théoriques dans le cas d'un fonctionnement *optimum*. Si ces projections restent critiquables, elles nous servent néanmoins à se rendre compte des problématiques mises en lumière sur le renouvellement des populations de brochets dans le marais Audomarois.

Identification des problématiques

Comme nous avons pu le voir grâce à la transversalité des résultats produits lors des volets IAB et botanique, les frayères effectives dans le marais sont :

- d'une profondeur toujours inférieure à 100 cm et d'environ 40 à 60 cm
- d'une largeur comprise entre 3 et 5 m mais peut atteindre 10 m à certains endroits
- avec une eau peu turbide
- pourvues d'un ensoleillement fort, peu d'arbres au bord des watergangs
- les parcelles annexes sont des prairies
- les communautés végétales sont toujours structurées autour du groupement à *Carex paniculata* et *Carex pseudocyperus*.

Si la phase de reproduction est donc bien réalisée sur le marais, la phase de développement semble d'une réussite plus que mitigée. Or il s'agit du stade de développement qui est le plus fragile, ce stade est même plus important que la qualité de la fraie elle-même (Casselman and Lewis 1996, Skov & Nilsson 2018). Les observations réalisées semblent tendre vers l'hypothèse principale suivante : les frayères (même effectives) recensées dans le marais semblent malgré tout être des frayères dites « par défaut » pour l'espèce Brochet et par un ensemble de facteurs de pressions, présentent une fonctionnalité médiocre. En effet, les problématiques suivantes peuvent être listées :



Figure 62 : Problématiques majeures identifiées sur le marais pour la réussite de la reproduction du Brochet.

- Par rapport aux facteurs abiotiques** : La qualité physico-chimique moyenne de l'eau (cf Focus RCS) pourrait jouer sur les taux de mortalité des larves ou des œufs (Spry and Wiener 1991). La turbidité quant à elle peut être un facteur limitant de la croissance de par son impact dans la recherche alimentaire des poissons (Ask et al 2009, Karlsson et al 2009, Jönsson et al 2011). L'hyper-eutrophisation des milieux observée sur certains sites (intrants agricoles, ensoleillement etc.) peut être à l'origine entre autre, d'une prolifération d'algues filamenteuses ou de lentilles d'eau recouvrant la surface des fossés et pouvant étouffer les espèces animales et végétales vivant au fond.



Figure 63 : Un fossé recouvert de lentilles d'eau diverses et d'*Azolla Filiculoides* occultant la lumière tôt dans la saison.

- Par rapport aux facteurs biotiques** : Les seuls substrats disponibles à la fraie à cause de l'absence de marnage sont les communautés de *Carex* ou de roseaux divers, de type *Phalaris*. Or ces substrats, s'ils peuvent faire l'affaire, sont classés comme bien moins productifs et adaptés que les prairies inondées par exemple (Farrell et al. 2011).



Figure 64 : Rappel des habitats identifiés comme les plus fonctionnels dans le marais, les imposants touradons de *Carex* dont les feuilles trempent dans l'eau et offrent un support aux œufs et un abri aux Brochetons (à gauche). A droite, des habitats « classiques » représentatif d'une frayère à Brochet dans le lit majeur d'un cours d'eau.

- Par rapport aux facteurs structurants** : Le facteur principal dont résulte la plupart des autres problématiques listées est tout simplement l'absence de marnage dans le marais. En effet, les niveaux d'eau étant gérés artificiellement depuis des siècles par un ensemble d'écluses et de vannes qui permet de garder une hauteur d'eau globalement très uniforme. Si ce système a permis aux populations locales de s'implanter avec une plus grande facilité à l'époque de l'édification des villes alentours. A l'heure actuelle, le bilan démontre que cela a aussi pu avoir un effet néfaste sur bon nombre de communautés animales et végétales, et plus particulièrement sur le Brochet. A plus grande échelle, la disparition des prairies inondables est un problème récurrent en France et en Europe. Les modifications des régimes hydrauliques rendent l'accès à ces zones favorables à la reproduction du Brochet de plus en plus rare ou de moins en moins fonctionnel (Threinen 1969, Farrell et al 2010).

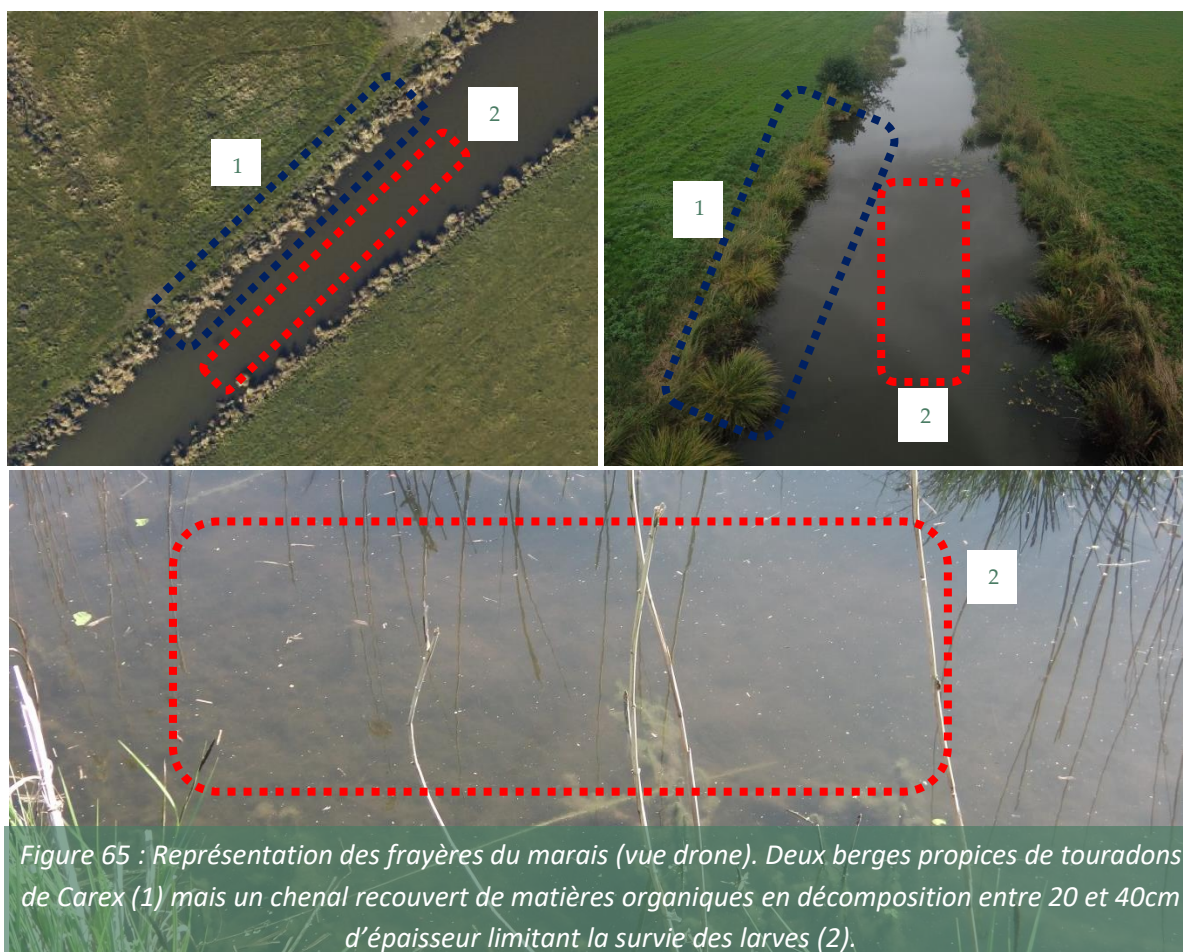


Figure 65 : Représentation des frayères du marais (vue drone). Deux berges propices de touradons de *Carex* (1) mais un chenal recouvert de matières organiques en décomposition entre 20 et 40cm d'épaisseur limitant la survie des larves (2).

De plus, dans notre cas, une explication supplémentaire des taux de réussite très limités de la survie des larves peut être trouvée. En effet, les fossés propices à la fraie dans le marais sont pratiquement toujours organisés comme suivant : avec deux berges aux habitats propices et un chenal central à tendance tourbeuse et parfois avec un épais matelas de matières organiques en décomposition (Figure 65).

Or les œufs se dégradent sur un fond couvert de matière organique (Skov & Nilsson 2018). Ainsi les œufs sont vraisemblablement relâchés aussi bien en pleine eau que dans les zones propices des berges (Farrell et al 2001, Farrell et al 2010, Pierce et al 2012). Ils décantent dans la colonne d'eau et les œufs à la surface adhérente, se fixent sur les plantes (ici les tiges de *Carex* qui trempent plus ou moins dans l'eau). Le reste des œufs qui

décantent plutôt au centre du chenal quant à eux, atterrissent sur le fond au niveau des sédiments ou sur de la matière en décomposition.

Ces matières peuvent engendrer un faible taux d'oxygène ou d'autres facteurs limitants

comme une concentration élevée en sulfure d'hydrogène compromettante ainsi la survie des œufs et des larves de Brochet (Siefert et al 1973, Fago 1977, Casselman & Lewis 1996).

Hiérarchisation des enjeux et préconisations de gestion

Il convient suite à l'identification des pressions pesant sur le cycle vital du Brochet, de hiérarchiser les enjeux en vue de produire des préconisations de gestion adaptées pour favoriser et optimiser la population.

4 grands axes principaux de travail futur peuvent d'être avancés avec:

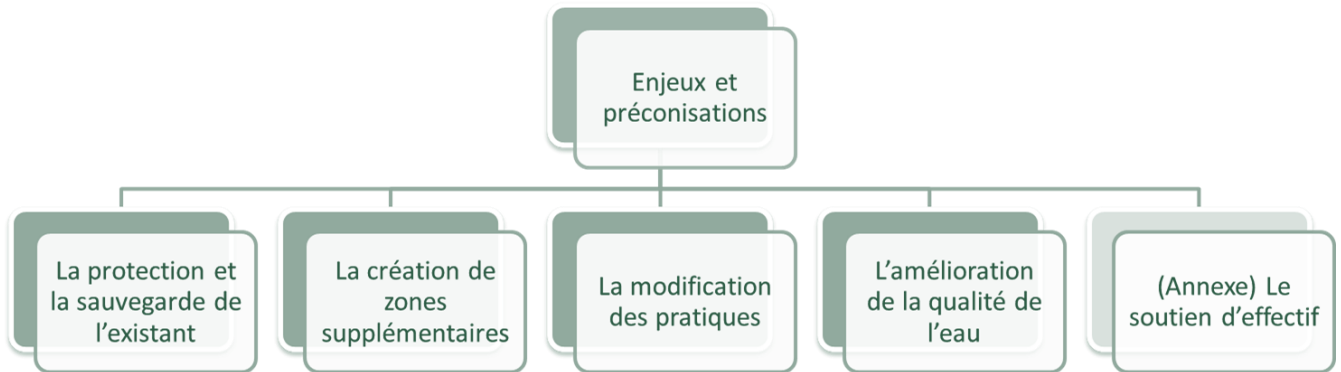


Figure 66 : Les axes de travail proposés pour la sauvegarde du Brochet dans le marais.

1. **La protection et la sauvegarde des zones effectives** identifiées qui sont déjà existantes sur le marais (82 022 m²).

Cet axe de travail pourrait se faire à travers l'utilisation de plusieurs outils administratifs comme :

- a. L'incorporation dans l'arrêté frayère préfectoral.
- b. La maîtrise du foncier des zones à fort intérêt.
- c. La mise en place d'un arrêté préfectoral de biotope (APB).
- d. La sanctuarisation de certains sites vis-à-vis de la pêche (réserves).

2. **La création de zones supplémentaires.** La proposition ou la réalisation de différents travaux en faveur du Brochet peuvent être aussi envisagées.

Avec deux propositions principales, qui seront stratégiquement plus avantageuses que la création d'une frayère classique (qui serait plus coûteuse pour une rentabilité incertaine) :

- a. La reconnexion proposée comme solution afin d'augmenter les zones jugées favorables à la fraie et à la potentialité élevée mais à la base déconnectées de l'axe principal.

Avec des aménagements à moindre coût mais aux retours sur investissement pouvant être potentiellement importants tels que :

- i. Le calage de buse ou de tube en PEHD de diamètre supérieur à 80cm.
- ii. L'implantation de ponts-cadres ou de dalots.
- iii. La mise en place de passerelle engin avec deux culés en béton et un tablier central.

Exemple : La reconnexion latérale de certains fossés situés au Nord du marais le long de la rivière du Moereleck comme le marais de Dambricourt pourrait être pertinente.



Figure 67 : Exemple de deux buses mal positionnées ne permettant pas le passage des géniteurs mais servant uniquement à la base à drainer la zone amont (1et2). Exemple de deux solutions améliorant la connectivité latérale (3 et 4) de manière optimale.

- b. L'aménagement de frayères gérées sous forme de casier hydraulique par des gestionnaires identifiés afin de permettre un changement de hauteur d'eau aux périodes propices selon un calendrier bien établi (Guide technique pour la restauration des frayères à Brochet - UFBAG-ADEAG 2014).

Une solution relativement efficace consisterait alors en la pose d'un ouvrage de gestion des niveaux d'eau. Lors des périodes propices : l'ouvrage est ouvert pour accueillir les géniteurs et augmenter le niveau d'eau (janvier-février-mars). Puis l'ouvrage est fermé pour garder un niveau plus important qu'à l'extérieur et favoriser la croissance des larves (mi-mars-avril). Enfin, le ressuyage de la frayère sera réalisé avec l'ouverture de l'ouvrage (mi-mai-juin-juillet) et laissé en gestion libre les autres périodes.

Ce type d'ouvrage est très efficace puisqu'il permet de ressuyer progressivement la frayère en enlevant les bastaings (planches) une par une. Il nécessite néanmoins une charge de manutention relativement importante et une logistique spécifique (Figure 67). Il conviendra donc de rechercher des sites pilotes auprès de nos partenaires privilégiés.



Crédit photo : FDAAPPMA 17

Crédit photo : FDAAPPMA 16

Figure 68 :

Exemple de deux ouvrages de gestion des niveaux d'eau pour des casiers hydrauliques (issus du « Guide technique pour la restauration des frayères à Brochet » (UFBAG-ADEAG 2014).



Figure 68 bis :

Exemple de zones de casier hydrauliques pouvant être gérés au Sud de la RNN du Romelaëre (à gauche avant coupe, à droite après coupe).

NB : Bien-entendu, les propositions listées ci-dessus feront l'objet d'une démarche globale de définition de projets futurs. Avec les étapes suivantes à suivre afin de monter au mieux ces actions concrètes : priorisation des actions de restauration, choix de zones à restaurer, étude de faisabilité et enfin phase travaux puis suivis scientifiques d'évaluation.

3. **La modification de certaines pratiques de gestion locale.** Cet axe de travail peut être entrepris avec notamment :

- a. La production d'un guide des bonnes pratiques à destination des gestionnaires ou des propriétaires riverains. Ce guide pourrait être produit conjointement avec les partenaires locaux. Celui-ci aura la vocation de mettre l'accent sur la gestion des berges afin de sauvegarder ou de laisser se développer les touradons de *Carex* si favorables à l'espèce Brochet. Pour cela il faut notamment (préconisations reprises du rapport du CBNBL 2019) :

- i. Limiter au maximum l'artificialisation des berges.
- ii. Laisser ces habitats bordés plutôt de prairies. En effet, la fauche régulière des berges ou l'embroussaillage des berges empêchent le maintien des touradons dans le temps.
- iii. Le maintien de l'élevage dans le marais audomarois qui semble être une condition *sine qua non* à la conservation de ce groupement de *Carex*.



Figure 69 : Exemple d'une berge (à droite) fauchée de manière répétée et au droit de l'interface terre-eau conduisant à une raréfaction des habitats jugés propices. A droite, une gestion adaptée et une fauche à 1,5m du bord permettant un maintien des touradons qui de plus apporte un maintien de la berge.

- b. Les missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) opérées par la Fédération centrées sur la gestion ou la proposition d'aménagement en faveur de la reconquête de surface fonctionnelle pour la fraie du Brochet.

4. **L'amélioration de la qualité de l'eau**, qui est un volet rejoignant les conclusions du focus RCS.

5. Un 5^{ème} point facultatif peut aussi être ajouté avec le soutien d'effectifs des populations de brochets adultes (reempoisonnement). Si cette pratique est de moins en moins conseillée (à juste titre) elle peut trouver son intérêt dans certains cas spécifiques notamment en seconde catégorie piscicole. En effet, les taux de survie des poissons issus de pisciculture sont en général fortement inférieurs aux poissons sauvages. Des différences comportementales apparaissent aussi comme le fait que les individus issus de reempoisonnement sont très rapidement capturés par les pêcheurs, et ce, bien plus facilement que les poissons issus du milieu. A titre indicatif, nous pouvons citer une étude similaire de nos confrères de la FDAAPPMA55 qui ont marqué plus de 100 brochets dont 56 poissons issus de déversement et seulement 4 ont survécu à la fin de l'étude.

Si la stratégie de soutien des effectifs peut être remise en cause, cette option peut tout de même permettre d'assurer une pêche récréative et à travers cela sauvegarder certains géniteurs issus du milieu.

Une autre proposition serait la mise en place d'une législation des tailles de captures dite en « double maille » c'est-à-dire que les individus capturables seraient uniquement compris entre 60 et 80cm ; ce qui permettrait ainsi de sauvegarder les femelles de grandes tailles, connues pour relâcher une quantité d'œufs bien plus importante.

Conclusion

Cette étude d'évaluation de la fonctionnalité écologique du marais Audomarois pour l'espèce Brochet a permis d'établir un diagnostic multiple sur : les surfaces favorables à la reproduction, les comportements des adultes et de leur reproduction ainsi que sur le fonctionnement des frayères.

Il a été établi que la situation de l'espèce dans le marais semble très contrastée avec des frayères où, si la reproduction est effective, la réussite de la fraie est mitigée. En effet, la survie des larves et leur développement semblent perturbés par un ensemble de facteurs identifiés.

De ces problématiques découlent directement une hiérarchisation des enjeux et par là, des préconisations de gestion adaptées. Celles-ci sont présentées sous 4 grands axes de travail avec à savoir : la protection de l'existant, la création de zones supplémentaires, la modification des pratiques et l'amélioration de la qualité de l'eau.

Il est primordial d'agir dès à présent pour la préservation et pour l'amélioration des milieux de vie du Brochet sur le secteur. L'analyse et le diagnostic ainsi réalisés seront utiles dans le cadre du déploiement d'une dynamique de sauvegarde de cette espèce emblématique qu'est le Brochet dans ce milieu ci-particulier qu'est le marais Audomarois.

Les 3 volets du Focus Brochet (SFR, IAB et RP) nous ont permis de remplir de nombreux objectifs



Le volet SFR nous a permis d'identifier :

- ✓ Base cartographique des habitats.
- ✓ 160 km de linéaires vraisemblablement favorables à la fraie du Brochet (soit

28,8% du linéaire de fossés du marais)
hiérarchisés en 3 classes de potentialités :

→ **Bonne, Moyenne et Faible**



Le volet RP nous a permis d'identifier :

- ✓ Les mouvements migratoires et les périodes de migration de l'espèce dans ce dédale de voies d'eau.
- ✓ De grandes disparités comportementales inter-individus.



Le volet IAB en parallèle de l'étude botanique nous a permis d'identifier :

- ✓ Une occurrence de 8,3 % pour 205 stations d'inventaires. **Reproduction avérée mais efficacité mitigée.**
- ✓ Les conditions à remplir des sites pour la reproduction et la croissance des poissons ainsi que l'identification des communautés botaniques nécessaire.
- ✓ Des problématiques : Absence de marnage – fond tourbeux – Habitats disponibles mais non réellement fonctionnels – qualité de l'eau – turbidité.
- ✓ 82 022 m² frayère effective (vision optimiste).



Etat du contexte malgré tout jugé **très perturbé.**

Préconisations hiérarchisés en fonction des enjeux / zones ciblées

4 grands axes principaux de travail futur peuvent être avancés avec:

- La protection et la sauvegarde des zones effectives
- La création de zones supplémentaires
- La modification de certaines pratiques de gestion locale
- L'amélioration de la qualité de l'eau

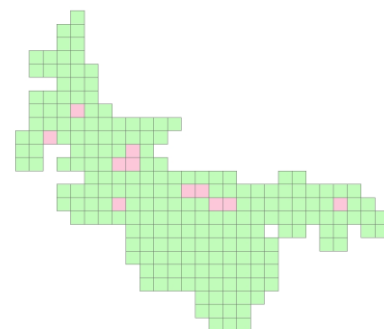


Schéma des zones de frayères affectives dans le

Bibliographie

ASK, J. ET AL. 2009. Terrestrial organic matter and light penetration. Effects on bacterial and primary production in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 54:2034-2040.

BARAULT A., FDAAPPMA27, 2014. Etude du Brochet (*Esox lucius* L.) en Seine – Potentialités de reproduction, dynamique comportementale et émergence de projets, 47p.

BRY, C. ET AL. 1992. Analysis of sibling cannibalism among pike, *Esox lucius*, juveniles reared under semi-natural conditions, *Env. Biol. Fish.* 35:75-84.

CASSELMAN, J.M. AND C.A. LEWIS. 1996. Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). *Can J. Fish. Aquat.Sci.* 53: 161-174

CHANCEREL, 2003. Le Brochet, biologie et gestion, Conseil supérieur de la pêche, 199p.

COOPER, J.E. ET AL. 2008. Potential effects of spawning habitat changes on the segregation of northern pike (*Esox lucius*) and muskellunge (*E. masquinongy*) in the Upper St. Lawrence River. *Hydrobiologia* 601:41-53

CRAIG, J.F. AND J.A. BABALUK. 1989. Relationship of condition of walleye (*Stizostedion vitreum*) and northern pike (*Esox lucius*) to water clarity, with special references to Dauphin lake, Manitoba. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:1581-1586.

DUBOST N et VAUCLIN V 2004 Etude des déplacements et des migrations du Brochet (*Esox lucius* L.) par radiopistage dans l'Ille (1997-2000)

EKLÖV, P. 1997. Effects of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distributions of perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox lucius* L.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54:1520-1531.

FAGO, D.M. 1977. Northern pike production in managed spawning and rearing marshes. *Tech. Bull. Wisc. Dep. Nat. Resour.* 96:1-30.

FARRELL, J.M. 2001. Reproductive Success of sympatric Northern Pike and Muskellunge in an Upper St. Lawrence River Bay. *Trans. Am. Fish. Soc.* 130(5):796-808.

FARRELL, J.M. ET AL. 2010. Water-level regulation and coastal wetland vegetation in the upper St. Lawrence River: inferences from historical aerial imagery, seed banks, and *Typha* dynamics.

FDAAPPMA03 2018. Evaluation de la fonctionnalité des annexes hydrauliques du Val d'allier pour l'espèce Brochet 63p.

FDAAPPMA59 2014 Etude des mouvements saisonniers et des habitats préférentiels au cours d'un cycle annuel chez le Grand Brochet (*Esox lucius* L.,1758) par radiopistage sur la Rivière Sambre (59) en 2013-2014

FDAAPPMA59 Suivi des populations de Brochet (*Esox Lucius*) dans le département du Nord (59) Bilan synthétique des études de 2011 à 2014.

- HODDER, K.H. et al. 2007. Techniques for evaluating the spatial behaviour of river fish. *Hydrobiologia* 582:257-269.
- HONGVE, D., G. RIISE AND J.F. KRISTIANSEN. 2004. Increased colour and organic acid concentration in Norwegian forest lakes and drinking water - a result of increased precipitation. *Aquat. Sci.* 66:231-238.
- JEPPESEN, E. et al. 1997. Top-down control in freshwater lakes; the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* 342:151-164.
- JOHN M. FARRELL 2011 Reproductive Success of Sympatric Northern Pike and Muskellunge in an Upper St. Lawrence River Bay. Faculty of Environmental and Forest Biology, 13210, USA Version of record first published: 09 Jan 2011.
- JÖNNSSON, M. ET AL. 2011. Foraging success of juvenile pike *Esox lucius* depends on visual conditions and prey pigmentation. *J. Fish. Biol.* 79:290-297.
- KARLSSON, J. ET AL 2009. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. *Nature* 460:506-509.
- KOBLER, A., KLEFOTH, T., WOLTER, C. et al. *Hydrobiologia* (2008) Contrasting pike (*Esox lucius* L.) movement and habitat choice between summer and winter in a small lake 601: 17. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9263-2>
- KOHN A.J. AN P.J. LEVITEN. 1976. Effect of habitat complexity on population density and species richness in tropical intertidal predatory gastropod assemblages. *Oecologia* 25:199-210
- LAUTISSIER A., FDAAPPMA 59, 2015. Suivi des populations de Brochet (*Esox lucius*) dans le département du Nord – Bilan synthétique des études de 2011 à 2014. 73p.
- OVIDIO, M. AND PHILIPPART. 2005. Long range seasonal movements of northern pike (*Esox lucius* L.) in the barbel zone of the river Ourthe (River Meuse basin, Belgium). Pp191-202.
- PERSAT H , KEITH P, FEUNTEUN E, ALLARDI J, 2011. Les poissons d'eau douce de France. Museum national d'histoire naturelle – Biotope Edition; 550p.
- PIERCE, R.B. 2012. Northern Pike: Ecology, Conservation, and Management History. University of Minnesota Press. 208 pp.
- RAAT, A. 1988. Synopsis of biological data on the northern pike: *Esox lucius* Linnaeus, 1758. *FAO Fish. Syn.* 145:178 pp.
- SANDSTRÖM, A. AND P. KARAS. 2005. Boating and navigation activities influence the recruitment of fish in a Baltic Sea archipelago area. *Ambio* 34:125-130.
- SEPTIEME SECTION DE WATERINGUE 2012. Marais audomarois – territoire de la 7eme section, plan de gestion des voies d'eau et des berges du marais audomarois volet diagnostic octobre 2012 139p
- SIEFERT, R.E., W.A. SPOOR AND R.F. SYRETT. 1973. Effects of reduced oxygen concentrations on northern pike (*Esox lucius*) embryos and larvae. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30:849-852
- SKOV C. NILSSON P. A. 2018. *Biology and Ecology of Pike*, 411p.

SOUCHON, 1983. La reproduction du Brochet (*Esox lucius*, L., 1758) dans le milieu naturel, Revue bibliographique dans « Le Brochet, gestion dans le milieu naturel et élevage ». Edition R Billard.

SPRY, D.J. AND J.G. WIENER. 1991. Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: a critical review. *Environ. Pollut.* 71:243-304.

THREINEN, C.W. 1969. An evaluation of the effect and extent of habitat loss on northern pike populations and means of prevention of losses. *Wis. Dep. Nat. Resour. Bur. Fish Mgmt. Rep.* 28.

UFBAG-ADEAG 2014. Guide technique pour la restauration des frayères à Brochet – 23p.

Annexes

Rappel de la typologie utilisée lors des inventaires SFR avec tablette tactile

Table attributaire polyligne du réseau tertiaire							
ID	longeur	hauteur	pendage	profondeur	ombrage	habitats	artificialisation
nom/code	automatique	mesure	mesure	mesure	observation	observation	observation

hauteur	code	observation en m
	1	<0,5
	2	entre 0,5 et 1
	3	>1

pendage	code	observation en °
	1	faible <30°
	2	moy 30-60°
	3	60°-90°

profondeur	code	observation en m
	1	0,1-0,3
	2	0,3-0,6
	3	0,6-1
	4	>1

ombrage	code	observation
	1	nulle
	2	moy
	3	fort

habitats	code	observation
	1	hélrophyte/hydrophyte (50/50)
	2	hélrophyte
	3	hydrophyte
	4	graminées
	5	arbres
	0	berge à nu

artificialisation	code	observation
	1	tunage bois
	2	paleplanche
	3	tôle
	4	béton
	5	synthétique

Table attributaire point ouvrage et connexion				
ID	nature	connexion piscicole	franchisabilité	
nom/code	observation	observation	observation	

nature	code	ouvrage
	1	vanne levante
	2	écluse
	3	écluette
	4	seuil
	5	batard d'eau
	6	buse (béton)
	7	drain (pvc)
	8	tube (pehd)
	9	pont cadre
	10	dallot

connexion piscicole	code	observation
	0	non
	1	oui

franchisabilité	code	ICE
	0	barrière totale
	0,33	impact majeur
	0,66	impact significatif
	1	franchisable
	nc	impact indéterminé

Fiche terrain utilisée lors du recensement de frayère



Etude du Brochet (*Esox lucius*) au sein du marais Audomarois :
Fiche terrain prospection des Frayères 2018/2019

Organisme : FDAAPPMA 62	Site :	Secteur :
Observateur :	Rive :	
Date :	Météo :	Coordonnées : X : Y :

Données général du site		
Commune :	Cours d'eau :	Nom de site :
Tronçon du cours d'eau sous influence d'ouvrages <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
Si oui type d'ouvrage :		

Description du site	
Typologie : <input type="checkbox"/> prairie inondable <input type="checkbox"/> fossé <input type="checkbox"/> marais <input type="checkbox"/> bras tertiaire <input type="checkbox"/> bras mort <input type="checkbox"/> autres : ...	
Surface potentielle :	Température de la frayère :
Connexion hydraulique avec réseau gabarit supérieur:	
Continue <input type="checkbox"/> Amont <input type="checkbox"/> Aval <input type="checkbox"/> Nulle <input type="checkbox"/> Transversal <input type="checkbox"/>	
Si nulle, reconnexion : <input type="checkbox"/> facile <input type="checkbox"/> envisageable <input type="checkbox"/> difficile	
Si nulle, types d'obstacles : <input type="checkbox"/> embâcle <input type="checkbox"/> merlon <input type="checkbox"/> remblais <input type="checkbox"/> autres : ...	
Mode d'alimentation : <input type="checkbox"/> source <input type="checkbox"/> nappe <input type="checkbox"/> débords <input type="checkbox"/> réseau secondaire/primaire <input type="checkbox"/> autres : ...	

Occupation de la surface mouillée par les végétaux				
	Nulle (<5%)	Faible (5 à 25%)	Moyenne (25 à 50%)	Forte (>50%)
Graminées :				
Hélophytes :				
Hydrophytes :				
Arbres :				
Autres :				

Evaluation de potentiel d'habitats favorables à la reproduction			
Linéaire de la frayère en m	0 (<50)	2 (50 à 1500)	4 (>1500)
Densité de végétaux graminoides et hélophytes	0 (<25)	2 (25 à 50)	4 (>50)
Communication avec le cours d'eau principal	0 (nulle)	2 (moyenne)	4 (bonne)
Ouvrage à l'aval (distance de la frayère)	0 (0 à 300m)	1 (300 à 600m)	2 (>600m)
Ensoleillement de la zone	0 (nulle)	1 (moyenne)	2 (bonne)
Profondeur moyenne	0 (<0,1/>1m)	1 (0,1 à 0,25)	2 (>0,25/<1)
Turbidité	0 (forte)	1 (moyenne)	2 (bonne)
Pente des berges	0 (forte 60à90°)	1 (moy 60à30°)	2 (faible<30°)
Ecoulement dans la frayère	0 (moyen)	1 (faible)	2 (nulle)
Linéaire de l'interface végétaux et eau en m	0 (<50)	2 (50 à 1500)	4 (>1500)
Total			

Observation de géniteurs ? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	Résilience eau :
Fonctionnalité :	
Commentaires :	

Caractérisation des surfaces favorables à la reproduction

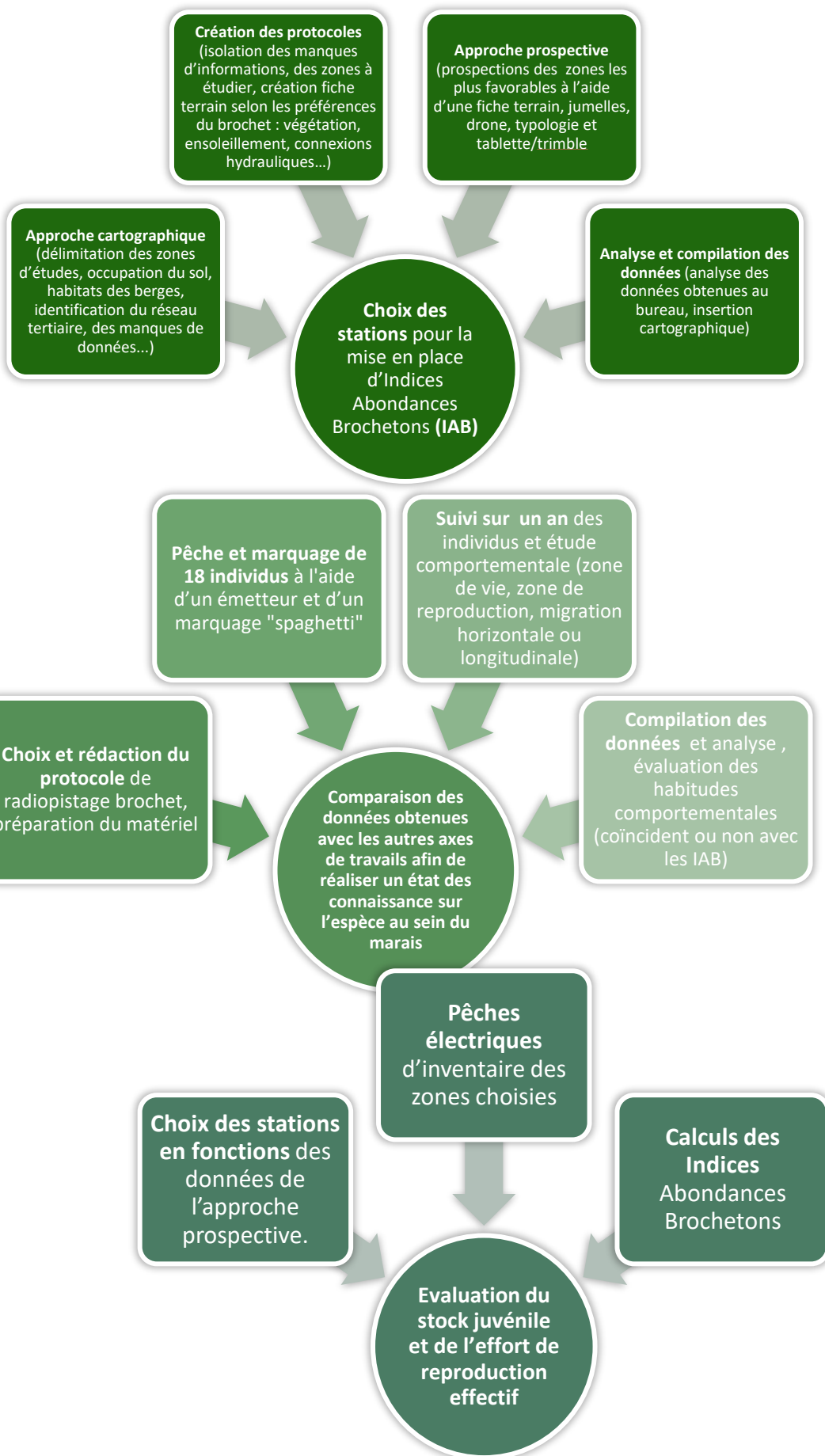
- Approche cartographique
- Approche prospective
- Analyse et compilation des données

Caractérisation par l'effort de reproduction

- Choix de station pour la mise en place d'indices abondances brochetons
- Pêche des sites IAB

Caractérisation comportementale

- Radiopistage de 18 individus
- Analyse des données et des sites de reproductions éventuels



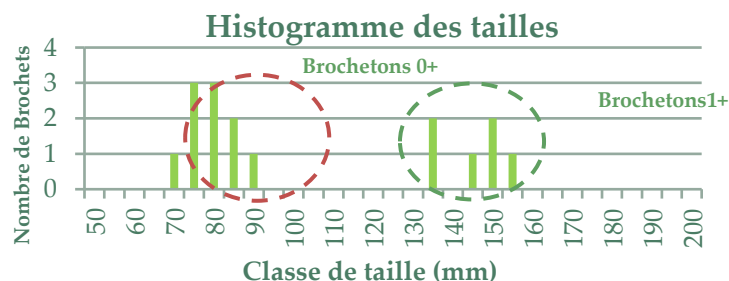
Indices d'Abondance Brocheton (IAB)

→ Inspiré du protocole (EPA 5 min) de pêche Indice d'Abondance Saumon qui cible l'habitat de reproduction typique (FDAAPPMA 62)

1. Description de la méthode

Comme pour toutes les espèces piscicoles, l'abondance de juvéniles de l'année (âge 0+) est un indicateur important du fonctionnement d'une frayère (évaluation du recrutement). L'Echantillonnage Ponctuel d'Abondance est réalisé en 5 min de temps pêche effective quasiment en continue en longeant la berge et en ciblant des habitats de types reproduction et nurserie. Ce protocole d'échantillonnage découle du protocole Vigitruite© ou de l'Indice d'Abondance Saumon (qui cible les zones de production de types radiers/plats courants propres aux salmonidés afin d'échantillonner les juvéniles 0+/1+ en 5 min de temps) qui a été adapté à l'échantillonnage de brochetons. Ce protocole, adapté aux exigences de l'espèce, permet entre autre de multiplier les stations et donc d'en prospecter un grand nombre pour avoir une vision globale de l'effort de reproduction sur un secteur donné. Cela permet également d'affiner et de préciser quels sont les habitats et les substrats de ponte privilégiés par l'espèce. Cet indice, de type « Capture Par Unité d'Effort » (CPUE) est exprimé en nombre de juvéniles de l'année (0+) capturés en cinq minutes de temps de pêche électrique effective.

Dans le détail, les habitats prospectés sont uniquement des faciès lenticules, de faible hauteur d'eau, à la végétation aquatique dense et à la végétation rivulaire basse si possible recouverte d'eau (Carex, Phalaris, herbacés, etc). Seul les Brochetons de l'année (0+) sont comptabilisés pour produire l'indice d'abondance. Les brochetons 1+ (classe de taille [220-300]) sont certes échantillonnés mais non pris en compte dans le calcul de l'indice). Le stade 0+ est associé à la classe de taille 30 à 80mm (à partir du mois de mai). D'autre part, la distinction peut se faire plus précisément après biométrie et analyse de l'histogramme des effectifs par classe de taille, notamment en raison des taux de croissances plus élevés des brochetons en milieu calcaire ou plus riche en nourriture.



2. Matériel de pêche

Le matériel déployé nécessaire à la réalisation des Indices d'Abondance Brocheton se compose:

- D'un appareil portatif de type LR-24 (Smith & Root®) ou autre appareil de pêche électrique portatif à 1 anode, dont l'anode fait 35 centimètre de diamètre.
- D'une épuisette avec une tête à cadre métallique (aluminium) et à bord inférieur droit de 60 et 75 centimètres de large, équipées d'un filet avec une maille de 4 millimètres et dont la profondeur est environ égale à la largeur de l'épuisette.
- D'une épuisette avec un cadre de forme ovoïde ou rectangulaire de 20cm de large et pourvue d'un filet avec une maille de 2 millimètres.
- D'un bac de stabulation pour stocker les individus capturés.
- D'un ou plusieurs ichtyomètres.
- De waders et de gants isolants pour les opérateurs.

- D'une annexe pneumatique de 2.90m Frazer Session® équipée d'un moteur électrique Minn Kota® 55lbs et des batteries marines.
- D'un terminal GPS Trimble Juno 3B® pour cartographier le linéaire échantillonné.

3. Protocole de pêche

Dans le cadre de l'Indice d'Abondance Brocheton, l'atelier de pêche doit comprendre au minimum 3 personnes afin de réaliser convenablement l'opération dans l'eau ou en bateau:

- Une personne porteuse du matériel de pêche électrique portatif et donc de l'anode, de ce fait également responsable de l'atelier de pêche, seul à pouvoir manœuvrer l'interrupteur de courant et en contact visuel avec les personnes évoluant dans l'eau ou à ses côtés dans l'embarcation.
- Une personne portant une des épuisettes la plus adaptée au terrain, grande épuisette fixe ou également l'épuisette mobile pour davantage de maniabilité.
- Une personne qui pilote l'annexe « phraser session » et responsable du récipient (seau) pour stocker le poisson capturé avant sa prise en charge par l'atelier de biométrie. Cette personne assure en même temps la comptabilisation des traits de pêche.

Le déroulement de la pêche électrique s'effectue comme décrit ci-dessous :

1. L'équipe descend dans le cours d'eau à la limite aval de la station ou avance avec l'annexe mobile si cela est possible (hauteur d'eau, végétaux aquatiques, vase).
2. Le porteur d'anode désigne le point où le/les porteur(s) d'épuisette vont de positionner. Les épuisettes sont placées stratégiquement, fermement maintenues. L'utilisation de cadres de tailles différentes permet de mieux s'adapter à la topographie des fonds et à la végétation.
3. Le déclenchement du champ électrique est donné après que les épuisettes soient correctement positionnées et seulement quand l'anode est entièrement dans l'eau. L'anode balaye une zone d'environ 3 à 4 m devant les épuisettes, d'amont en aval, dans la veine d'eau et le long des berges végétalisées que ces dernières filtrent.
4. Les poissons attirés par l'anode, puis sporadiquement paralysés, sont entraînés au fond des épuisettes sous l'effet concomitant du courant d'eau et du mouvement décrit par l'électrode.
5. Au besoin, les poissons restés bloqués contre le substrat du fond ou dans la végétation immergée sont récoltés au moyen de la petite épuisette mobile.
6. Les captures se limitent aux juvéniles de Brochet, qui sont momentanément stockés dans le seau (comptage visuel des autres espèces rencontrés).
7. En cas de capture d'au moins un juvénile de Brochet sur le trait, les paramètres de ce dernier sont décrits comme présenté en annexe (fiche biométrie).
8. L'ensemble de l'équipe se déplace latéralement de quelques mètres pour sortir de la zone précédemment ratissée par le champ électrique et les étapes 2 à 7 sont répétées. La progression doit rester continue lorsque les habitats semblent attractifs pour l'espèce. Il est possible d'avancement de plusieurs mètres si les habitats sont inintéressant (berge à nue sur plusieurs mètres).

Remarque :

→ Les individus situés en périphérie du champ électrique qui n'ont pas subis la « mise en nage forcée » (phénomène d'électronarcose) et qui n'ont pas pu être capturés (échappement) ne sont pas comptabilisés. Mais s'ils ont pu être formellement identifiés, leur taille est estimée et ils sont compris dans l'échantillonnage.

D'autre part, à l'issue du temps de pêche effectif de 5min, si les habitats ciblés sont encore présents sur le reste du linéaire prospecté, un effort supplémentaire d'échantillonnage sans comptabilisation du temps peut être réalisé et les individus capturés seront donc inventoriés mais non pris en compte dans le cadre du calcul de l'IAB (sondage supplémentaire hors protocole).

→ La prospection d'une station s'achève après **5 min** de temps de pêche effectif, mesurées directement par le compteur du temps de mise sous tension, situé sur le boîtier de l'appareil de pêche électrique ou par un chronomètre tenu par un opérateur.

→ La prospection est continue ou avec interruption par ambiance et le linéaire est géolocalisé avec un terminal GPS type Trimble® Juno 3B.



→ Illustration d'un trait (FDAAPPMA 62) de la prospection dans le cadre d'un IAB (FDAAPPMA62, 2018)

4. Calcul de l'Indice Abondance Brochetons

L'Indice d'Abondance Brocheton par station correspond donc au nombre de juvéniles de l'année (0+) capturé en 5min de temps. Afin d'apprécier un caractère qualitatif à cet indice, nous avons décidé d'élaborer des classes de qualité associées à des classes d'abondance (un code couleur a été attribué à 6 classes d'abondance) :

Nombre de Brochetons 0+ échantillonnés en 5 min					
0	[1 – 3]	[4 – 8]	[9 – 15]	[16 – 22]	≥ 23
Nul	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

Classes de qualité associées aux classes d'abondances.



A la pêche aux informations sur le brochet audomarois

La fédération de pêche du Pas-de-Calais, dans le cadre de son projet d'étude « Focus Biodiversité du Marais Audomarois », réalise une action scientifique de radiopistage sur l'espèce Brochet.

Ce protocole permettra d'améliorer la connaissance de cette espèce et de ses habitudes de reproduction au sein du marais Audomarois et ainsi permettre de mieux la protéger.

Comment participer ?



- 1 Je pêche un poisson marqué au niveau de la dorsale avec un petit tube de couleur
- 2 Je relève le numéro de cette marque dite spaghetti ainsi que le lieu et la date de la capture
- 3 Je communique les informations à la Fédération de pêche au 03.91.92.02.03

 Je remets le poisson à l'eau pour que l'étude puisse continuer...

62

Marque spaghetti

Poisson suivi par entente de radiopistage

Contact : Ywen Namokel,
Chargé d'étude FBMA
Tél : 06.24.18.10.14
Mail : ywen.namokel@peche62.fr

Merci à tous pour votre participation

Une étude financée par :



Fédération du Pas-de-Calais pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
2 rue des Alpes, 62510 ARQUES
Tél : 03.91.92.02.03 - Mail : contact@peche62.fr
www.peche62.fr



Connectez-vous à la nature...



Conception : Eden 62 - Photo Eden 62

Retrouvez-nous sur les réseaux sociaux
et sur www.eden62.fr

La
Grange
nature
la Maison nature du Département

CONFÉRENCE LA BIODIVERSITÉ AQUATIQUE

Vendredi 24 Janvier 2020

*Vous connaissez sans doute
le Brochet et l'Anguille, mais
connaissez-vous la Bouvière ?
Une recherche d'ADN effec-
tuée au cours de l'année dans
le marais vous éclairera sur
la diversité des poissons*

GRATUIT

RDV à 18h30 à la
Grange nature
à Clairmarais

Sur réservation à la
Grange nature au
03 21 38 52 95
(40 pers. max)

En partenariat
avec



 **Pas-de-Calais**
Le Département

FICHE INDIVIDU

Date	25/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	11h48
Coordonnées de la capture (La93)	X: Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO1	Taille LT (mm)	609
Sexe	male	Poids (g)	
Etat sanitaire	B	Remarques: partie inférieure caudale arraché, fg ecaillage amont dorsal et mandibule	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49444	
N°spaghettis	15523	15524

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	11h59
Heure fin de manipulation	12h10

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick; X: Y:	H: 13h00
---	---	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	25/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	13h06
Coordonnées de la capture (La93)	X: Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO2	Taille LT (mm)	520
Sexe	male	Poids (g)	918
Etat sanitaire	A	Remarques: ras	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49570	
N°spaghettis	15520	15518

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	13h20
Heure fin de manipulation	13h28

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 13h50
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	25/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	12h31
Coordonnées de la capture (La93)	X: Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO3	Taille LT (mm)	611
Sexe	femelle	Poids (g)	1230
Etat sanitaire	A	Remarques: ras	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	51730	
N°spaghettis	15522	15521

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	12h45
Heure fin de manipulation	12h52

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 13h30
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	25/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	13h51
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y :

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO4	Taille LT (mm)	658
Sexe	femelle	Poids (g)	2350
Etat sanitaire	B	Remarques: fg manque écailles à la ventrale	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49353	
N°spaghettis	15516	15517

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	14h06
Heure fin de manipulation	14h15

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 14h51
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	25/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	14h51
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y :

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO5	Taille LT (mm)	667
Sexe	femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire	B	Remarques: fd eraflure nag ventrale	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49414	
N°spaghettis	15482	15483

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	15h03
Heure fin de manipulation	15h14

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick; X : Y :	H : 15h41
---	--	-----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	25/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	15h30
Coordonnées de la capture (La93)	X: Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO6	Taille LT (mm)	735
Sexe	femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire		Remarques: fg trace jaune pecto, fd tache jaune regen écaille au dessus ventrale	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49154	
N°spaghettis	15484	15485

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	15h43
Heure fin de manipulation	15h53

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 16h15
---	---	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	26/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	13h02
Coordonnées de la capture (La93)	X: Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO8	Taille LT (mm)	557
Sexe	femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire	A	Remarques: ras	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	51670	
N°spaghettis	15486	15487

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	13h14
Heure fin de manipulation	13h21

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 14h00
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	26/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	13h31
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y :

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO9	Taille LT (mm)	692
Sexe	male	Poids (g)	
Etat sanitaire	D	Remarques: mandibule sup droite rougeurs, rayons dorsales brisés, oeil vitreux, maigreur générale, écaillé en	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49550	
N°spaghettis	15488	15489

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	13h49
Heure fin de manipulation	13h57

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick; X : Y :	H : 15h18
---	--	-----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	26/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	14h24
Coordonnées de la capture (La93)	X: Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO10	Taille LT (mm)	705
Sexe	femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire	A	Remarques: rougeurs comissures et pecto, abcès, tache jaune ventrale	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49600	
N°spaghettis	15490	15492

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	14h37
Heure fin de manipulation	14h47

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 15h18
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	26/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	16h22
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y :

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO11	Taille LT (mm)	603
Sexe	femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire	A	Remarques: poux ventre	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49514	
N°spaghettis	17330	17331

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	16h33
Heure fin de manipulation	16h40

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 16h40
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	26/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	15h21
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO12	Taille LT (mm)	554
Sexe	male	Poids (g)	
Etat sanitaire		Remarques:eraflures, régénérations,coupures machoire inférieure	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49560	
N°spaghettis	17326	17327

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	15h32
Heure fin de manipulation	15h41

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 16h15
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	26/10/2018
Heure (Bain anesthésiant)	14h44
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO13	Taille LT (mm)	914
Sexe	Femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire	A	Remarques: ras, piscicola	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49484	
N°spaghettis	17328	17329

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	15h59
Heure fin de manipulation	16h10

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 cale de mise à l'eau salperwick ; X: Y:	H: 16h55
---	--	----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	20/11/2018
Heure (Bain anesthésiant)	11h51
Coordonnées de la capture (La93)	X : cf sig Y :

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO13b	Taille LT (mm)	558
Sexe	femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire	C	Remarques: pecto flanc droit atrophié	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49620		
N°spaghettis	17333		17332

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	12h04
Heure fin de manipulation	12h10

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 ; X : cale nierlet	Y : H : 14h57
---	-------------------------	---------------

OBSERVATIONS & REMARQUES

dorsale échancrée eraflure sur ligne latérale et entre dorsale et pecto flanc droit atrophiée



FICHE INDIVIDU

Date	20/11/2018
Heure (Bain anesthésiant)	12h26
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO14	Taille LT (mm)	550
Sexe	male	Poids (g)	
Etat sanitaire	B	Remarques: flanc gauche nagoire atrophiée/hémorragie et écailles régénéré entre dorsale et anale	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49384	
N°spaghettis	17335	17336

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	12h43
Heure fin de manipulation	12h48

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 ; X:	Y:	H : 14h57
---	-----------	----	-----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	20/11/2018
Heure (Bain anesthésiant)	13h12
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO15	Taille LT (mm)	578
Sexe	male	Poids (g)	
Etat sanitaire	A	Remarques: eraflure fg	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49464	
N°spaghettis	17337	17338

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	13h26
Heure fin de manipulation	13h33

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 ; X:	Y:	H : 14h57
---	-----------	----	-----------

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	20/11/2018
Heure (Bain anesthésiant)	15h01
Coordonnées de la capture (La93)	X: Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO16	Taille LT (mm)	524
Sexe	male	Poids (g)	
Etat sanitaire	C	Remarques: 4 piscicola mandibule inférieur, éraflure fg et fd, piscicola milieu fg	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49580	
N°spaghettis	17340	17341

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	15h13
Heure fin de manipulation	15h20

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 ; X:	Y:	H:
---	-----------	----	----

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	20/11/2018
Heure (Bain anesthésiant)	16h01
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO17	Taille LT (mm)	722
Sexe	femelle	Poids (g)	
Etat sanitaire	A	Remarques: fd piscicola pecto droite et tache jaune ventrale gauche, fg ras	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49631	
N°spaghettis	17342	17344

INFORMATION MANIPULATION

Heure sortie du bain anesthésiant	16h14
Heure fin de manipulation	16h22

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 ; X:	Y:	H:
---	-----------	----	----

OBSERVATIONS & REMARQUES



FICHE INDIVIDU

Date	21/11/2018
Heure (Bain anesthésiant)	15h40
Coordonnées de la capture (La93)	X : Y:

MESURES BIOMETRIQUES

Espèce	BRO18	Taille LT (mm)	524
Sexe	male	Poids (g)	
Etat sanitaire	A	Remarques: fg légère éraflure écaille régénéré sous dorsale et fd ancienne éraflure entre fd et anale	

MARQUAGE

N° Fréquence ATS	49590	
N°spaghettis	17347	17346

INFORMATION MANIPULATION


Heure sortie du bain anesthésiant	15h47
Heure fin de manipulation	15h55

Lieu de la remise à l'eau / Heure relâche	PK 0 ; X:	Y:	H:
---	-----------	----	----

OBSERVATIONS & REMARQUES



Station 6	Zone 3 : Warland et muissens
------------------	-------------------------------------

	Localisation	
	Commune	Houille
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	644031 7079645
	Linéaire échantillonné en 5min	131 m

	Description	
	Date	15/05/2018
	Météo	nuageux
	Largeur en eau	>3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Grand héliophyte type roselière
	Artificialisation	
	Ombrage	Aucun
Corine Land Cover	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexe	

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
7,2	70	14,5	7,6	605



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	2	ANG, ROT, TAN
Taille (mm)	248	
	74	

Station 8

Zone 3 : Warland et muissens


	Localisation	
	Commune	Houlle
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	643981
Linéaire échantillonné en 5min	140 m	


	Description	
	Date	15/05/2018
	Météo	nuageux
	Largeur en eau	1,5-3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Grand hélophyte type roselière
	Artificialisation	Aucune
	Ombrage	Aucun
Corine Land Cover	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexes	

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
7,2	70	14,5	7,6	605



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	3	CAS, GAR, PER
Taille (mm)	435	
	63	
	61	


Station 29		Zone : <u>Lansberghe et grand large nord</u>	
	Localisation		
	Commune	<u>Salperwick</u>	
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	645581	7076092
Linéaire échantillonné en 5min		113 m	

	Description	
	Date	16/05/2018
	Météo	nuageux
	Largeur en eau	>3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophyte bas type carex et hydrophytes
	Artificialisation	Aucune
	Ombrage	Aucun
Corine Land Cover	231: Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	

<u>Physico-chimie</u>				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (<u>microS/cm</u>)
6.8	66	14,5	7,5	655



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	ANG, GAR, OCL, PER
Taille (mm)	55	



Station 42	Zone : Marais du moerelak et dambricourt	
	Localisation	
	Commune	Nieurlet
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	648317 7076781
Linéaire échantillonné en 5min	126 m	

	Description	
	Date	17/05/2018
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	Entre 0,5 et 1,5m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophyte bas type carex
	Artificialisation	Aucune
	Ombrage	Aucun
Corine Land Cover	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexes	

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
6.8	66	14,5	7,5	655



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	BRE, GAR
Taille (mm)	55	

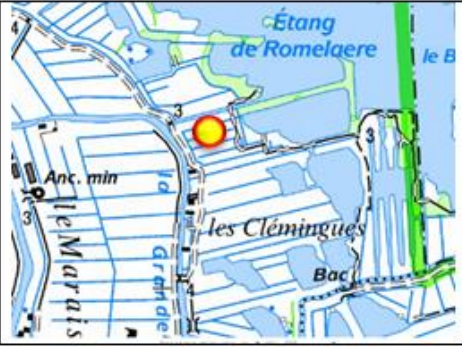
Station 45		Zone : <u>Marais du moerelak et dambricourt</u>	
	Localisation		
	Commune	Nieurlet	
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	647806	7076990
	Linéaire échantillonné en 5min	135 m	
	Description		
	Date	17/05/2018	
	Météo	ensoleillé	
	Largeur en eau	Entre 1,5 et 3m	
	Hauteur de berge	Faible <0,5m	
	Pendage	Faible <30°	
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m	
	Habitats majoritaires de berge	Hélophyte bas type carex et hydrophytes	
	Artificialisation	Aucune	
	Ombrage	Aucun	
Corine Land Cover	242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes		


Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
9.04	88	14.6	7,9	732



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	
Taille (mm)	54	ANG, CCO, EPT, GAR, TAN

Station 48	Zone : Casier du Romelaer
-------------------	----------------------------------

	Localisation	
	Commune	Saint Omer
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	649219 7076185
	Linéaire échantillonné en 5min	125 m

	Description	
	Date	17/05/2018
	Météo	nuageux
	Largeur en eau	Entre 1,5 et 3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Grand hélophyte type roselière et hydrophytes
	Artificialisation	Aucune
	Ombrage	Aucun
Corine Land Cover	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexes	


<u>Physico-chimie</u>				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
5.4	54	15.2	7,8	615



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	2	ANG
Taille (mm)	200	
	51	

Station 58	Zone : Saint Omer nord
-------------------	-------------------------------

	Localisation	
	Commune	Saint Omer
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	648820 7074143
Linéaire échantillonné en 5min	246 m	

	Description	
	Date	18/05/2018
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	>3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,6 et 1m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophytes bas type carex et hydrophytes
	Artificialisation	Aucune
Ombrage	Aucun	
Corine	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexes	


Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
10.5	107	16.7	8.4	680




Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces ANG, BRE, CCO, GAR, ROT, TAN
Nombre	1	
Taille (mm)	214	

Fiches stations avec Brochetons 2019

Station 4	Zone : Houlle
------------------	----------------------

	Localisation	
	Commune	Houlle
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	642782,7 7078861,1
	Linéaire échantillonné en 5min	139 m

	Description	
	Date	02/05/2019
	Météo	nuageux
	Largeur en eau	>3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophyte bas type carex et hydrophytes
	Artificialisation	Aucun
	Ombrage	Aucun
Corine Land Cover	241 : Cultures annuelles associées à des cultures permanentes	

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8	78	13,9	8,3	662



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	ANG, BRE, EPT
Taille (mm)	49	

Station 25	Zone :
-------------------	---------------

	Localisation	
	Commune	
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	645283,4 7077694,4
	Linéaire échantillonné en 5min	105 m

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
11,7	114	14,1	7,8	587

	Description	
	Date	03/05/2019
	Météo	nuageux
	Largeur en eau	>6m
	Hauteur de berge	Moyenne entre 0,5 et 1m
	Pendage	Fort 60-90°
	Profondeur	Entre >1m
	Habitats majoritaires de berge	Hydrophytes
	Artificialisation	Tunage bois
	Ombrage	Moyen
Corine Land Cover	411 : Marais intérieurs	




Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	PER, GRE, ANG
Taille (mm)	55	


Nb : Probable Brochet migrant

Station 137	Zone :
--------------------	---------------

Localisation		
Commune		
Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	653568,8	7076341,3
Linéaire échantillonné en 5min	149 m	



Physico-chimie				
Concentration O ₂ (mg/l)	Saturation O ₂ (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
4,3	43	15,4	8	1033

	Description	
	Date	17/05/2019
	Météo	nuageux
	Largeur en eau	>3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible >30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophytes bas type carex
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
Corine Land Cover	231: Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	BRE, BRB, CAS, GRE, OCL, GAR, PER, ROT, TAN
Taille (mm)	43	

Station 76	Zone :
-------------------	---------------

Localisation			
	Commune		
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	646029,1	7077987,3
	Linéaire échantillonné en 5min	155 m	

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8,8	76	14,8	7,9	679

	Description	
	Date	10/05/2019
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	>3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Moyen 30-60°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophytes bas type carex
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
Corine Land Cover	231: Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	




Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	TAN, GAR, CCO
Taille (mm)	72	

Station 80	Zone :
-------------------	---------------

	Localisation		
	Commune		
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	645851,9	7078152,6
Linéaire échantillonné en 5min		120 m	

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8,8	76	14,8	7,9	679

	Description	
	Date	10/05/2019
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	>3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible <30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophytes bas type carex et Hydrophytes
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
Corine Land Cover	231: Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	




Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	ANG, BRE, BRB, CAS, GAR, PER, ROT
Taille (mm)	57	

Station 82	Zone :
-------------------	---------------

	Localisation		
	Commune		
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	645907,9	7078023,9
Linéaire échantillonné en 5min	128 m		


Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8,8	76	14,8	7,9	679

	Description	
	Date	10/05/2019
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	1,5-3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible >30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Grand héliophyte type roselière
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
Corine Land Cover	231: Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	ANG, BRE, BRB, GAR, PER, TAN
Taille (mm)	72	

Station 85	Zone :
-------------------	---------------

	Localisation	
	Commune	
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	648520,9 7076636,2
Linéaire échantillonné en 5min	122 m	


Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8,8	76	14,8	7,9	679

	Description	
	Date	13/05/2019
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	1,5-3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible >30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophytes bas type carex et Hydrophytes
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
Corine Land Cover	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexes	



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces ANG, GAR, PER, TAN
Nombre	1	
Taille (mm)	72	

Station 104	Zone :
--------------------	---------------

	Localisation		
	Commune		
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	648464,8	7076613,1
Linéaire échantillonné en 5min	121 m		


Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8,8	76	14,8	7,9	724

	Description	
	Date	14/05/2019
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	1,5-3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible >30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Grand héliophyte type roselière et Héliophytes bas type carex
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
Corine Land Cover	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexes	



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	ABL, ANG, BRE, BRB, GAR, PER, TAN
Taille (mm)	58	

Station 106	Zone :
--------------------	---------------

	Localisation		
	Commune		
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	647884,6	7076903,1
Linéaire échantillonné en 5min	146 m		


Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8,8	76	14,8	7,9	724

	Description	
	Date	15/05/2019
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	1,5-3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible >30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophytes bas type carex et Hydrophytes
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
	Corine Land Cover	242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes



Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	1	ABL, ANG, BRE, BRB, GAR, PER, ROT
Taille (mm)	53	

Station 118	Zone :
--------------------	---------------

	Localisation	
	Commune	
	Coordonnées X et Y (Lambert 93 en m)	648839,1 7076337,8
Linéaire échantillonné en 5min	129 m	

Physico-chimie				
Concentration O ² (mg/l)	Saturation O ² (%)	T° (°C)	pH	Conductivité (microS/cm)
8,8	76	14,8	7,9	724

	Description	
	Date	14/05/2019
	Météo	ensoleillé
	Largeur en eau	1,5-3m
	Hauteur de berge	Faible <0,5m
	Pendage	Faible >30°
	Profondeur	Entre 0,3 et 0,6m
	Habitats majoritaires de berge	Hélophytes bas type carex et Hydrophytes
	Artificialisation	Nul
	Ombrage	Nul
Corine Land Cover	242 : Systèmes cultureux et parcellaires complexes	

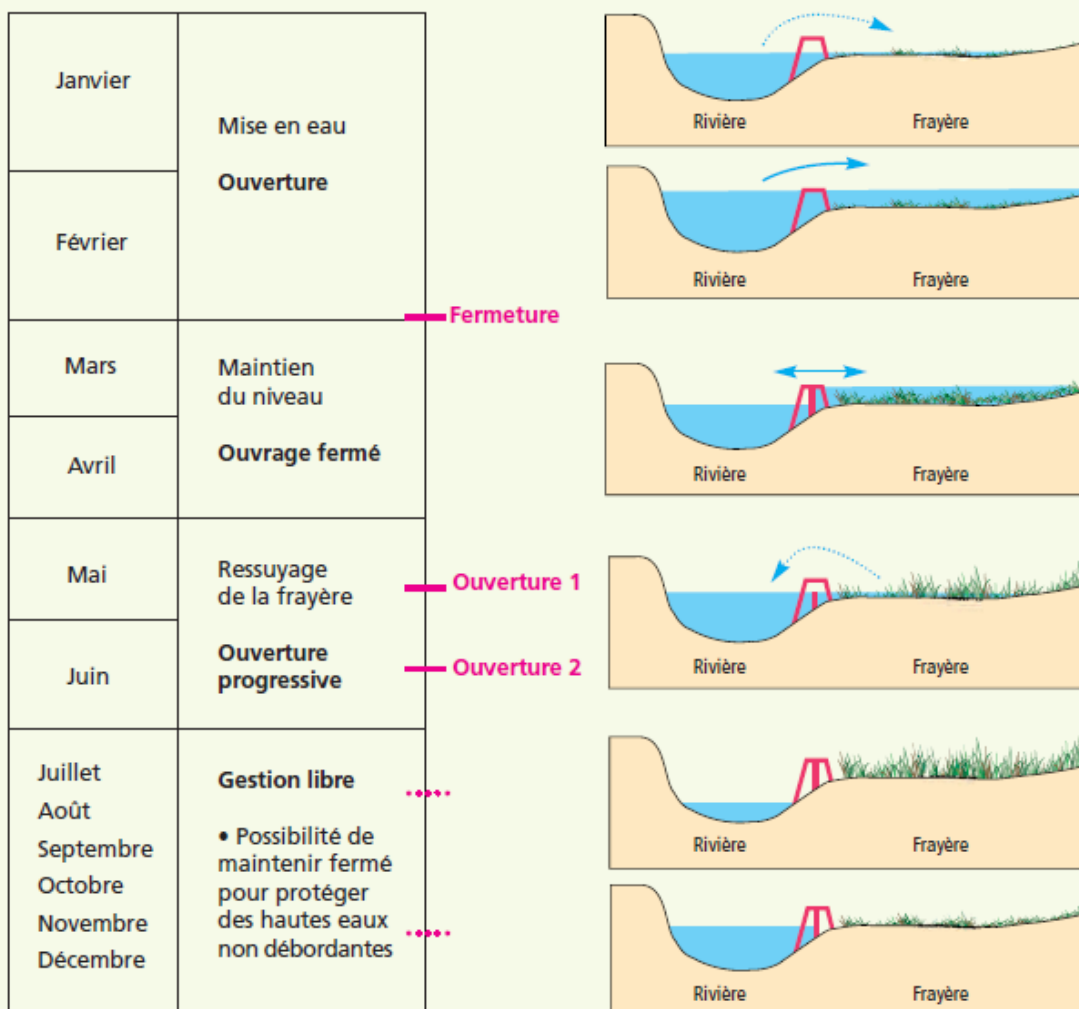


Résultat de la pêche d'abondance en 5min		
Brochet		Autres espèces
Nombre	2	
Taille (mm)	43 63	BRE, BRB, GAR, PER, ROT

Résultats de pêches d'inventaires sur des stations hors IAB échantillonnées lors d'une étude centrée sur l'ADNe conjointe avec le PNR Caps et marais d'opale et la FDAAPPMA sur le site du lieu-dit de la ferme Lambert (62).



Calendrier de manoeuvres d'un ouvrage de gestion des niveaux d'une frayère à brochet



Un attention particulière doit être portée lors du ressuyage de l'annexe car les brochetons ne suivent pas l'eau naturellement, beaucoup restent piégés. En reproduction naturelle aménagée, même si la vidange est très lente et les pentes convenables, il est indispensable d'être présent afin de récupérer les juvéniles piégés.

Focus Hydro- morphologique



Sommaire

Introduction	4
Matériel & Méthode	5
Présentation et choix des méthodes	5
Le LIDAR (Light Detection and Ranging)	5
La photogrammétrie	7
Application du protocole choisi	8
Mise en forme des données	10
Résultats et descriptif des données produites	11
Présentation des données	11
Notice d'utilisation du produit	15
Conclusion et perspectives	15
Ce qu'il faut retenir	17
Bibliographie	18

Table des figures

Figure 1 : Schéma d'application de la méthode LIDAR (sources : D. Lague et « rencontres de l'ONEMA » n°42 2016).

Figure 2 : 1-Photogrammétrie classique (IGN, google, geoportail) à 20cm. 2-Photogrammétrie de précision (actualisée) de 5cm au niveau de la RNN du Romelaëre. 3-Zoom d'un casier du Romelaëre.

Figure 3 : Etape de « paquetage » ; Poses et géo-références des repères au sol afin de relier les dalles photos entrent elles à l'aide d'une station total ou Tachéomètre.

Figure 4 : Extrait du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Un code couleur a été appliqué en fonction de l'altimétrie (Qgis 3.10 avec les modules GrassGis et Qgis2treejs).

Figure 5 : Exemple d'application du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Usage de la fonction permettant de produire un profil topographique sur le wateringue du fossé des moines (Global Mapper 21.0).

Figure 6 : Exemple d'application des orthophotos à 5cm. Zooms successifs permettant d'apprécier les habitats de berges présent sur l'étang de Degazelle au Nord de la RNN du Romelaëre.

Figure 7 : Exemple d'application des fichiers .shp.

Figure 8 : Exemple d'application des modules 3D d'études topographique via Qgis2threejs.

Tableaux

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des lasers rouge et vert.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des diverses techniques de photogrammétries.

Lexique

ADNe : ADN environnemental

MNT : Modèles Numérique de Terrain

SIG : Système d'Information Géographique

Introduction

A l'heure actuelle de l'émergence des nouvelles technologies voire de nouvelles sciences notamment du numérique, un grand nombre de nouveaux outils permet de révolutionner le métier d'écologie. A l'instar de la méthode d'analyse par ADNe, de la radio-téléométrie ou encore de l'imagerie acoustique, les technologies d'imageries aériennes peuvent être pertinentes pour aider les acteurs et les gestionnaires du marais Audomarois dans leur travail de préservation, de restauration et d'évolution de cette vaste zone humide de grand intérêt.

En effet, la plupart des études scientifiques biologiques récentes se retrouvent être le plus souvent croisées avec d'autres disciplines, en lien direct avec la chimie, la génétique, le numérique, l'urbanisme ou les systèmes d'informations géographiques.

Ce dernier Focus compte produire une base informative pertinente à destination de tous les gestionnaires du marais Audomarois afin d'affiner ou de faciliter leurs approches cartographiques.

Ainsi, l'émergence de ce Focus a eu lieu suite aux constats suivants :

- Difficultés d'appréhender le marais en termes de surface, de topographie et les enjeux liés au fonctionnement hydrologique.
- Les connexions, les déconnexions, les remblais, les aménagements en tout genre sont monnaies courantes dans la zone et leurs effets sont parfois méconnus.
- Actualisation des 700km du réseau de wateringues et de watergangs.
- Une aide à la distinction et à la détermination des cours d'eau et des fossés dans le cadre d'une révision du classement des cours d'eau. Cela pourra servir pour la production d'une nouvelle cartographie de référence pour les différentes réglementations applicables aux cours d'eau : loi sur l'eau (entretien des cours d'eau), BCAE (Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales) et ZNT (Zones Non Traitées).
- Une base de travail en vue d'établir des opérations et des travaux de restauration écologiques.
- D'établir un atlas cartographique sur les densités des communautés végétales.

La possibilité de l'application de plusieurs méthodes fut donc analysée en vue de répondre à ces problématiques, notamment l'utilisation du Lidar (Light Detection and Ranging ; une technologie basée sur les faisceaux laser) et de la photogrammétrie haute précision.

Lors de ce présent Focus, ces méthodes seront présentées ainsi que le raisonnement ayant amené au choix de la méthode employée pour étudier le réseau hydrologique du marais vu du ciel. Cette étude a été réalisée en partenariat avec le bureau d'étude spécialisé InGeo basé à

Saint-Omer. Les données ont été produites par l'utilisation de la méthode de photogrammétrie haute précision à l'aide de survols en avion léger et compilées sous différentes formes (notamment avec un Modèle Numérique de Terrain).

L'ambition de ce Focus est de pouvoir apporter un outil adaptatif de gestion aux partenaires œuvrant sur le marais Audomarois. Il est donc différent des autres Focus précédents et propose plutôt une notice d'utilisation et des exemples d'application des données produites.

Matériel et méthode

Présentation et choix des méthodes

A l'heure de la démocratisation et de l'utilisation des drones et des techniques de détections, les levés aéroportés sont sans nul doute plus rapides que les méthodes de topographie traditionnelles au sol. Néanmoins que ce soit avec l'utilisation du LIDAR ou de la photogrammétrie, ces deux méthodes présentent presque autant de points communs que de divergences. De prime abord, c'est la technique LIDAR qui fut pressentie en termes d'utilisation lors de l'ébauche du projet. Malgré tout, et pour les raisons décrites ci-dessous, c'est la photogrammétrie qui fut utilisée sur le marais Audomarois.

Le LIDAR (Light Detection and Ranging)

Le LIDAR est une technologie basée sur l'analyse de la topographie grâce à l'usage de faisceaux laser. L'appareil en survol au-dessus de la zone étudiée va libérer un laser et mesure le temps qu'il faut pour que la lumière revienne au niveau du capteur (Vennetier et al., 2010 Vautier et al. 2010). C'est un capteur actif (émission de source d'énergie).

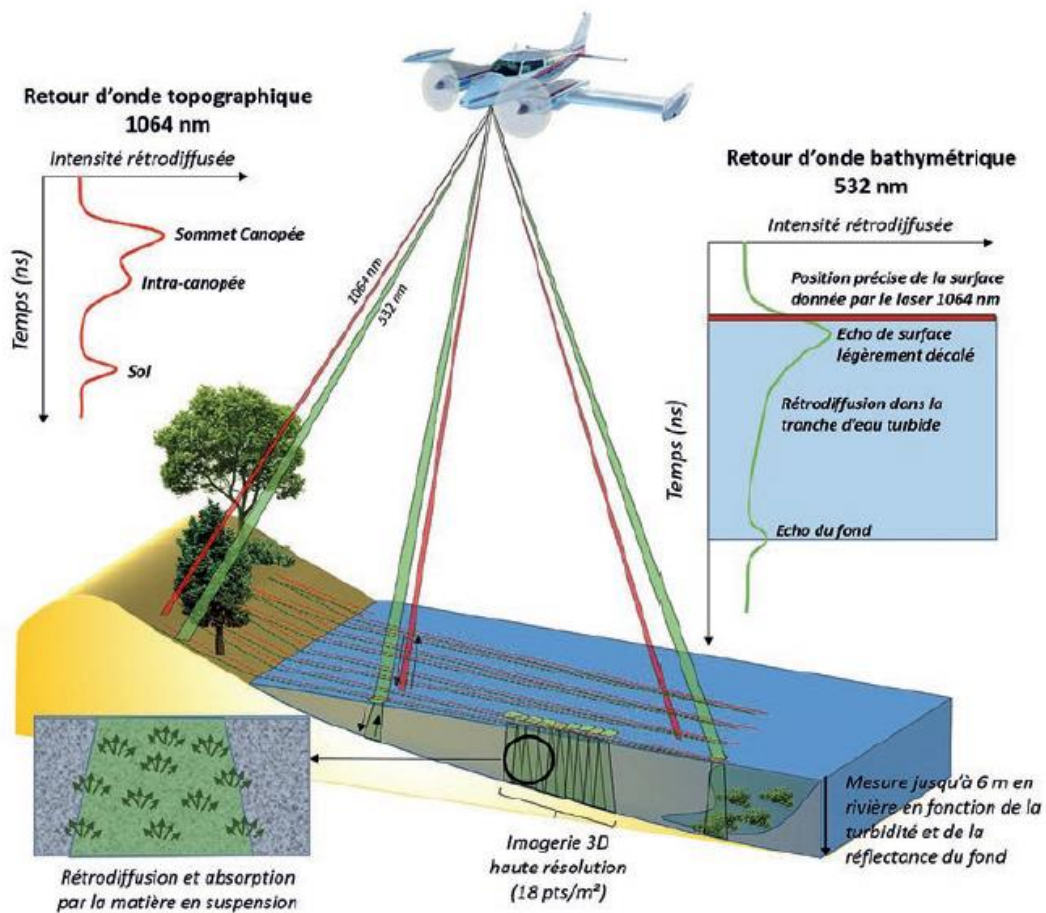


Figure 1 : Schéma d'application de la méthode LIDAR (sources : D. Lague et « rencontres de l'ONEMA » n°42 2016).

Le produit principal réalisé par LIDAR est un nuage de points en 3D. Le nombre de points du nuage va directement dépendre du capteur ainsi que des paramètres de vol (fréquence de balayage, taux de répétition, altitude et vitesse). Le nuage est aussi produit en fonction des besoins de l'utilisateur (grand nombre pour des petits objets type lignes électriques, rambardes, éclairage urbain ou plus faible comme lors d'une analyse topographique de zone rurale etc.).

Le capteur LIDAR est uniquement monochrome et un post-traitement est nécessaire pour faciliter l'interprétation (Buczowski « Drone LiDAR or Photogrammetry ? Everything you need to know »). Le post-traitement ajoute de la complexité au processus global mais permet de classer les points en fonction des types d'objets ou de la topographie.

L'émetteur LIDAR peut permettre selon les cas d'émettre deux types de faisceaux différents. Le laser vert et le laser rouge (Tableau 1).

Avantages	Désavantages
Laser rouge : « Scan » tridimensionnel du terrain, topographie	Difficulté d'acquisition précise si végétation trop dense
Laser vert : Bathymétrie en plus de la topographie (rouge)	Coût plus important et difficulté d'acquisition précise si eau turbide

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des lasers rouge et vert.

Les faisceaux laser rouges peuvent pénétrer dans la végétation. Néanmoins, si la végétation est trop dense, il est possible d'avoir des difficultés d'acquisitions précises. En général, le LIDAR est capable d'atteindre le terrain sous la canopée. Il est donc par-là, fort utile dans l'élaboration de MNT (Modèle Numérique de Terrain). Ces lasers se réverbèrent sur l'eau.

Les faisceaux verts quant à eux permettent de traverser l'eau et d'établir un écho bathymétrique. Ils sont donc très utiles afin d'acquérir la donnée de bathymétrie, ce qui peut être pertinent dans l'étude du marais.

Il est possible de coupler les deux lasers afin d'acquérir une précision maximum (Figure 1).

Néanmoins, suite à de nombreux échanges avec notre partenaires InGeo ainsi que M. Dimitri Lague (Directeur de Recherche CNRS - Quantitative Geomorphology & LiDAR, Université de Nantes-Rennes), l'utilisation de cette méthode se serait heurtée à plusieurs limites dans le marais Audomarois. En effet, les résultats produits pourraient être très incertains pour plusieurs raisons :

- i – Une eau trop turbide dans plusieurs zones de rivières ou d'étangs ; ce qui porte préjudice à l'utilisation de la méthode.
- ii – Une épaisse couche de matière organique à cause du caractère lentique de la zone d'étude ; ces matières sont pénalisantes car elles peuvent absorber le laser.

En définitive, bien que le levé topo-LIDAR offre des analyses intéressantes sur la connectivité des différents cours d'eau (possibilité de détecter parfaitement ce qui est en eau de ce qui ne l'est pas), il

y aurait probablement quelques zones impossibles à mesurer en bathymétrie. Dans ces conditions, il peut être difficile de garantir des certitudes en termes de profondeur atteinte. D'après le Dr. Lague et des avis d'experts, la méthode a été abandonnée au vu du rapport coût/bénéfice mis en jeu.

Néanmoins l'utilisation du LIDAR bathymétrique peut être parfaitement pertinente dans le cadre d'analyse de grand cours d'eau dynamique et limpide comme l'Ain, la Loire ou le Vénéon (Vázquez-Tarrío et al. 2016).

La photogrammétrie



Avantages	Désavantages
Photogrammétrie classique : bonne vue du ciel et gratuité du service	Résolution trop faible pour de l'observation précise de la végétation ou des connexions
Photogrammétrie de précision (avec ULM) : actualisée en 2019, possibilité de rendu 3D et de MNT. Possibilité d'observation précise des remblais sauvages, de l'endiguement, des obstacles à l'écoulement, de la végétation...	Coût plus important et certaines zones au sol cachées si trop de végétations arborées et arborescentes
Photogrammétrie infrarouge : observation précise de la végétation pérenne (aquatique ou terrestre).	N'existe qu'en précision 10cm maximum (optique)

Tableau 2 : *Avantages et inconvénients des diverses techniques de photogrammétries.*

La photogrammétrie quant à elle, est une technologie passive. Elle est basée sur des images transformées de la 2D en modèles cartométriques 3D. Le même principe est utilisé avec une caméra classique pour établir une perception de profondeur (Buczowski « Drone LiDAR or Photogrammetry? Everything you need to know »). A l'inverse de la technique LIDAR, la photogrammétrie ne peut générer que des points basés sur ce que le capteur visualise. C'est-à-dire que les surfaces arborées denses ou les bâtiments peuvent couvrir le sol et donc ne pas permettre une vision précise. Néanmoins, cette approche étant visuelle, elle permet de produire des rasters colorimétriques de précisions (à l'inverse de LIDAR monochrome sans post-traitement). Ainsi la photogrammétrie peut être la technologie de mise pour les cas d'utilisation où une évaluation visuelle précise est requise (Bretar 2006).

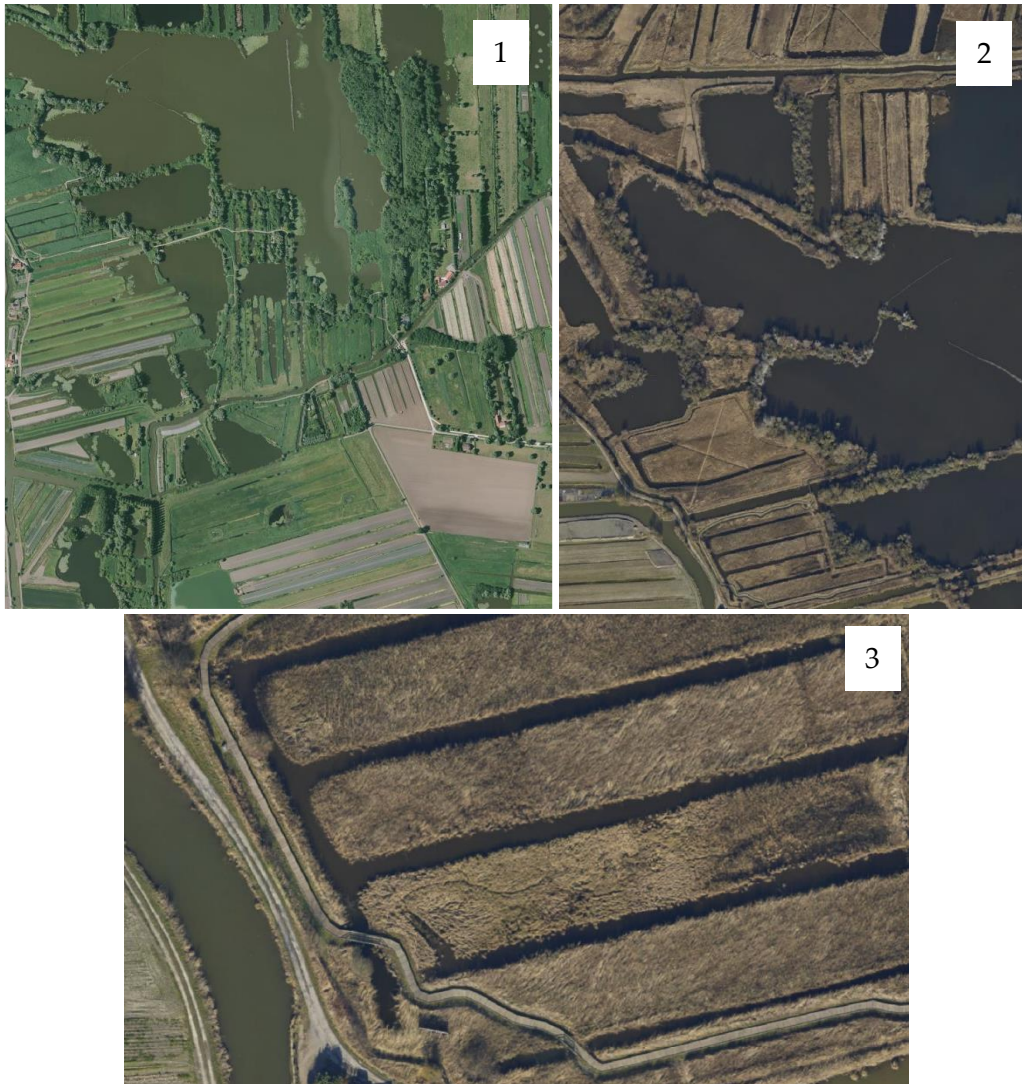


Figure 2 : 1-Photogrammétrie classique (IGN, google, géoportail) à 20cm. 2-Photogrammétrie de précision (actualisée) de 5cm au niveau de la RNN du Romelaëre. 3-Zoom d'un casier du Romelaëre pour apprécier la précision des traits.

Il est même possible de coupler les deux méthodes mais bien sûr avec une augmentation significative du coût associé.

L'acquisition des imageries par infrarouge est également utile et peut permettre une analyse fine de la densité de végétation en présence par exemple (lumière rouge réverbéré par la chlorophylle).

Application du protocole choisi

La photogrammétrie permettant également de produire un MNT avec des données XYZ en plus de permettre un rendu de haute définition des habitats du marais et d'être moins coûteuse que la technique LIDAR (avec les limitations décrites précédemment). C'est en définitive cette technique qui fut adoptée.

Dans certains cas de figure (zone d'étude de plusieurs centaines de m² voir un ou deux km²) il est couramment admis d'utiliser un drone professionnel afin de réaliser les survols. Mais dans notre cas, la zone d'étude couvrant 37km², l'utilisation d'un drone aurait été trop coûteux en termes de temps

(plusieurs semaines voire mois de travail uniquement pour les survols). Un avion léger type ULM a donc été utilisé sur un seul jour de beau temps.

Le choix de la période a été élaboré en prenant en compte la période de reproduction propice du Brochet (volonté d'observer les habitats hydrophytiques pérennes), d'avoir une faible végétalisation des surfaces pour faciliter l'élaboration du MNT (pointages XYZ) et enfin pour avoir une luminosité suffisante (éviter les « ombres rasantes »).

Le projet a donc été réalisé par le bureau d'étude InGeo spécialiste dans le domaine sur la période de janvier à juin 2019, en suivant les processus suivants:

1. Gestion administrative et réalisation des demandes d'autorisations diverses.
2. Etape de préparation des repères au sol ou « plaquettage ». Pose de repères spécifiques afin de calibrer les jonctions entre les dalles photogrammétriques *a posteriori* (figure 3). Des repères mobiles sont posés au sol ou des points durs blancs sont géo-référencés (passages piétons par exemple).
3. Prises de vues aériennes en avion lors de la journée du 24/02/2019 en suivant le plan de vol pré-établi. Prises de vues verticales en couleurs (RVB) résolution 6cm (2200 clichés) ainsi que l'acquisition du canal IRC en 9cm.
4. Construction du canevas photogrammétrique pour calage et référencement des clichés (stéréo-préparation et aéro-triangulation).
5. Réalisation d'un MNT avec les données XYZ (GRID ASCII 0,5m).
6. Production de l'Ortho-photoplan RVB numérique 5cm (dalles TIFF géo-référencées de 2000 x 2000m ainsi qu'un fichier global en ECW).
7. Restitution des polygones en eau, des connexions, des obstacles à l'écoulement et des remblais sur les 37km² en fichier .shp.



Figure 3 : Etape de « plaquettage ». Poses et géo-référencements des repères au sol afin de relier les dalles photos entrent elles à l'aide d'une station total ou Tachéomètre.

Mise en forme des données

L'intégralité des fichiers livrables ont été obtenus en juin. Le document livrable représente 145Go.

- Le MNT est découpé en deux parties avec le fichier .breaklines en .dgn (lignes de ruptures de pentes) et les 30 dalles en .asc.
- Les orthophotoplans 5cm RVB, 9cm IR et grises sont en fichier TIF.
- Les entités surfaciques sont en fichiers shapes.

Résultats et descriptif des données produites

Les fichiers livraisons ont été globalement très utiles lors des différents autres volets et Focus du projet FBMA. Ceux-ci ont permis d'apporter une aide à l'analyse, d'identifier les surfaces en eau et les habitats présents. Ils ont aussi été utilisés comme base de travail pour des inventaires ou des travaux.

La FDAAPPMA étant une association loi 1901 reconnue d'utilité publique, l'ensemble des données décrites ci-dessous est disponible gratuitement. Pour ce faire, il est uniquement nécessaire de prendre rendez-vous avec le personnel référent de la FDAAPPMA62 afin de convenir de l'échange de données suite à la signature d'une convention d'échanges.

Présentation des données

Les données sont organisées en 3 volets avec : le MNT, les Orthophotos (raster en TIF) et les entités surfaciques descriptives (couches vecteurs .shp). Ainsi :

1. **Le Modèle Numérique de Terrain** : le MNT se compose de 30 dalles de 2km avec un point XYZ tous les 50cm. Les données sont en .asc. Le fichier contient également une couche de lignes de ruptures « breaklines » en .dgn. Ces documents permettent à l'utilisateur de profiter de données altimétriques permettant l'analyse des profils topographique du marais.

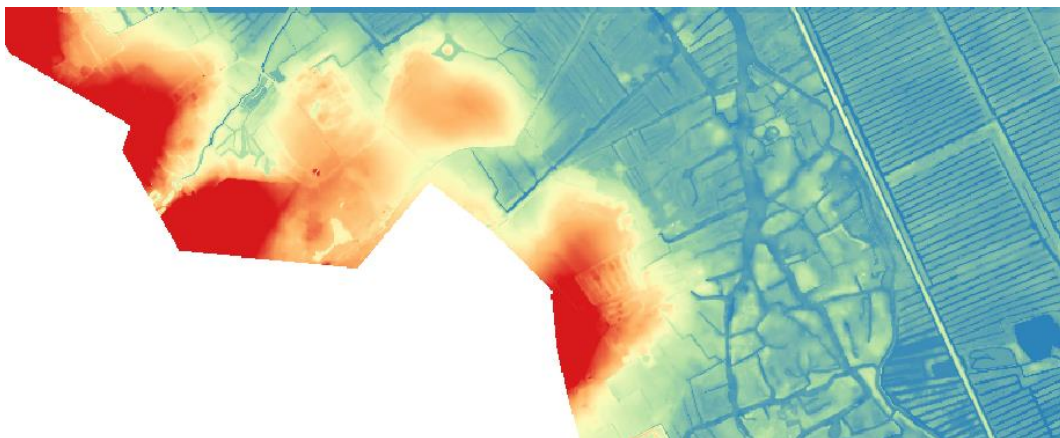


Figure 4 : Extrait du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Un code couleur a été appliqué en fonction de l'altimétrie (Qgis 3.10 avec les modules GrassGis et Qgis2treejs)

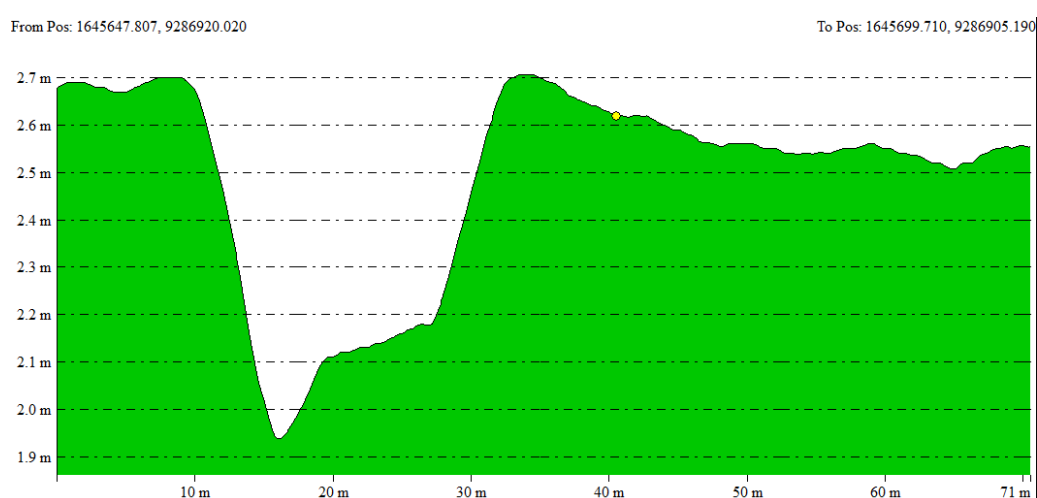
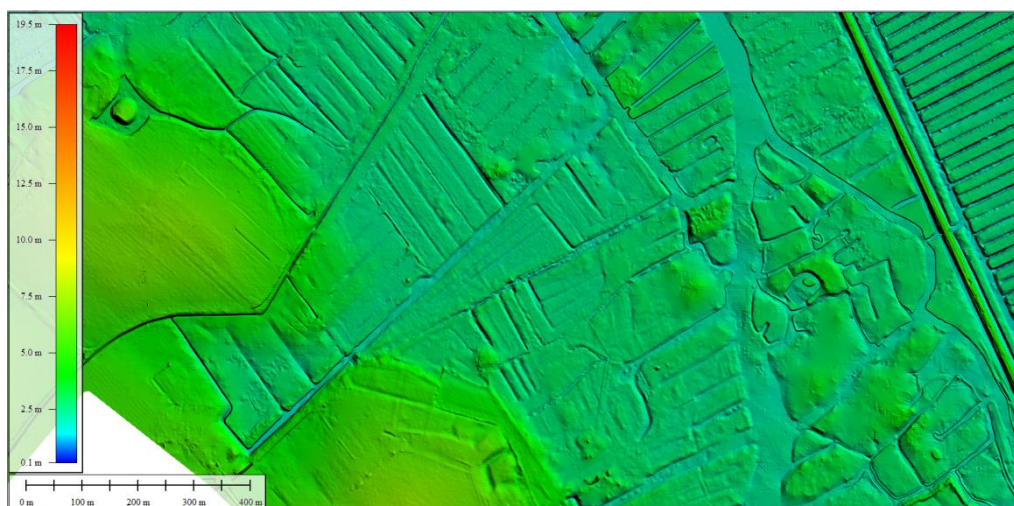


Figure 5 : Exemple d'application du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Usage de la fonction permettant de produire un profil topographique sur le wateringue du fossé des moines (Global Mapper 21.0).

2. Les Orthophotoplans

Découpage en 3 parties avec :

- a. Les fichiers couleurs de haute précision (RVB 5cm en .tif et .ecw) avec 402 tuiles de 600m. Un fichier global pouvant s'ouvrir plus facilement est aussi disponible en .ecw mais de moindre précision. Une grille en .shp permet de faire office de filtre de recherche pour retrouver les références des différentes tuiles.
- b. Les fichiers gris de précision moindre (PIR 9cm en .tif) sont aussi représentés.
- c. Les fichiers infrarouges (IR 9cm en .tif) sont organisés de la même manière et permettent d'apprécier les différences de teintes de rouge en fonction de la densité de chlorophylle en présence.

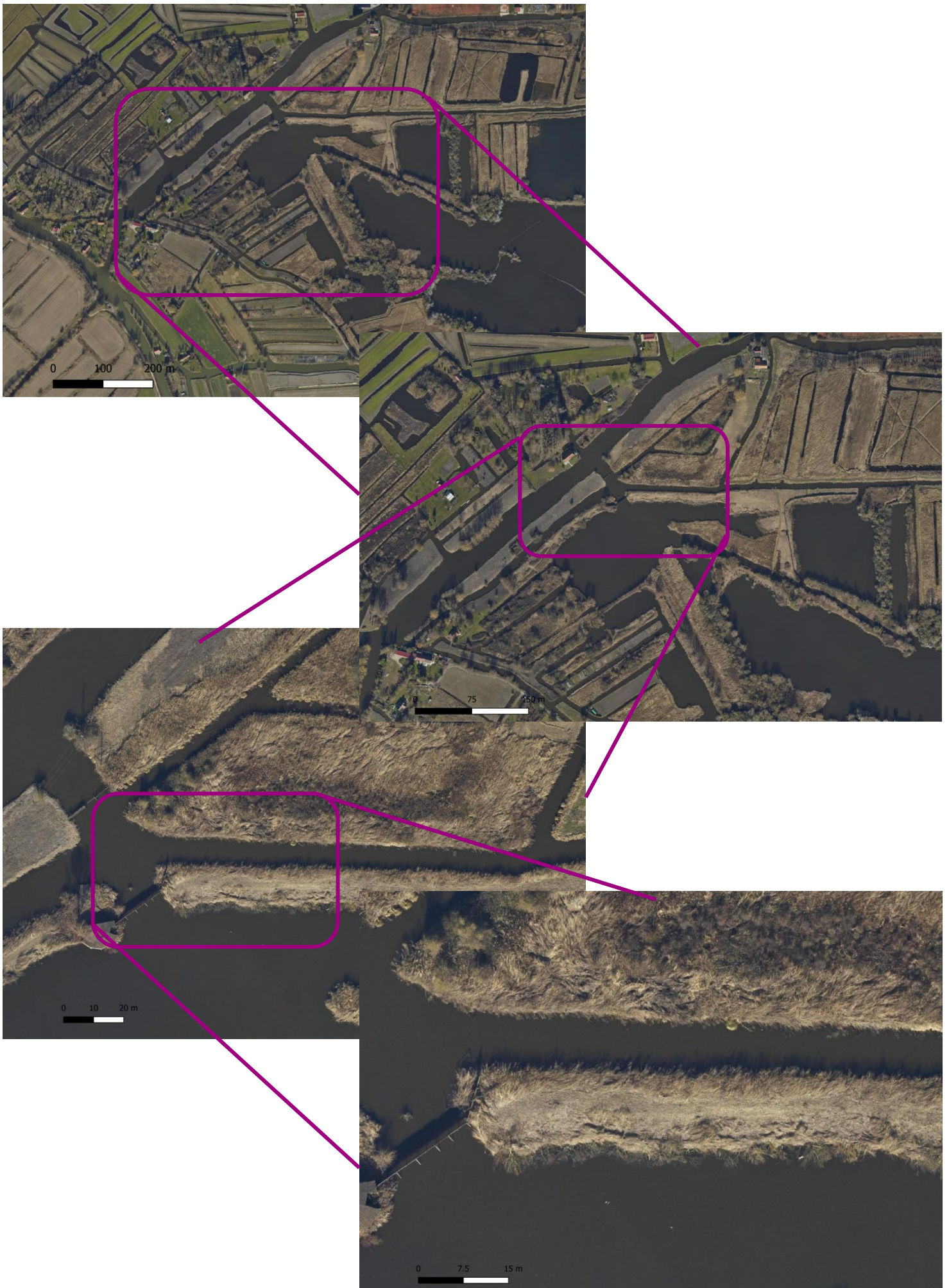


Figure 6 : Exemple d'application des Orthophotoplans à 5cm. Zooms successifs permettant d'apprécier les habitats de berges présent sur l'étang de Degazelle au Nord de la RNN du Romelaëre.

3. Les entités surfaciques

Ce fichier est organisé en deux parties avec un assemblage de fichiers shapes (fichier baptisé « topo shp »)

- a. Fichier de forme linéaire → avec les ouvrages recensés.
- b. Fichier de forme polygone → avec la surface en eau de plusieurs entités du marais hiérarchisés par échelle de gabarit :
 - i. Surface en eau du Canal à Grand gabarit.
 - ii. Surface des cours d'eau principaux (grands wateringues).
 - iii. Surface des cours d'eau secondaires (petits wateringues).
 - iv. Surfaces des fossés (watergangs).
 - v. Les déversoirs.
 - vi. Les écluses.
 - vii. Les étangs, plans d'eau et autres grandes surfaces en eau.
 - viii. Les îlots.
 - ix. Les ouvrages.
 - x. Les passerelles.
 - xi. Les vannes.



Figure 7 : Exemple d'application des fichiers .shp.

Notice d'utilisation du produit

Il est ainsi possible aux utilisateurs de profiter pleinement des données mais plusieurs recommandations doivent néanmoins être émises :

- L'utilisation des fichiers Orthophotoplans nécessite des ordinateurs relativement performants. Il est déconseillé par exemple d'ouvrir l'ensemble des tuiles ortho en même temps.
- L'utilisation des entités surfaciques peut permettre de remettre à jours les tracés des différentes entités en eau.
- Si une multitude de logiciels SIG peuvent être utilisés pour exploiter les données, le package Qgis 2threejs ou le logiciel GlobalMapper ou les modules 3D de ArcToolsBox de Arcgis peuvent être pertinents pour projeter le MNT en 3D. Un tel affichage est fort utile afin de permettre l'analyse des sites voire de produire des rendus de communication.

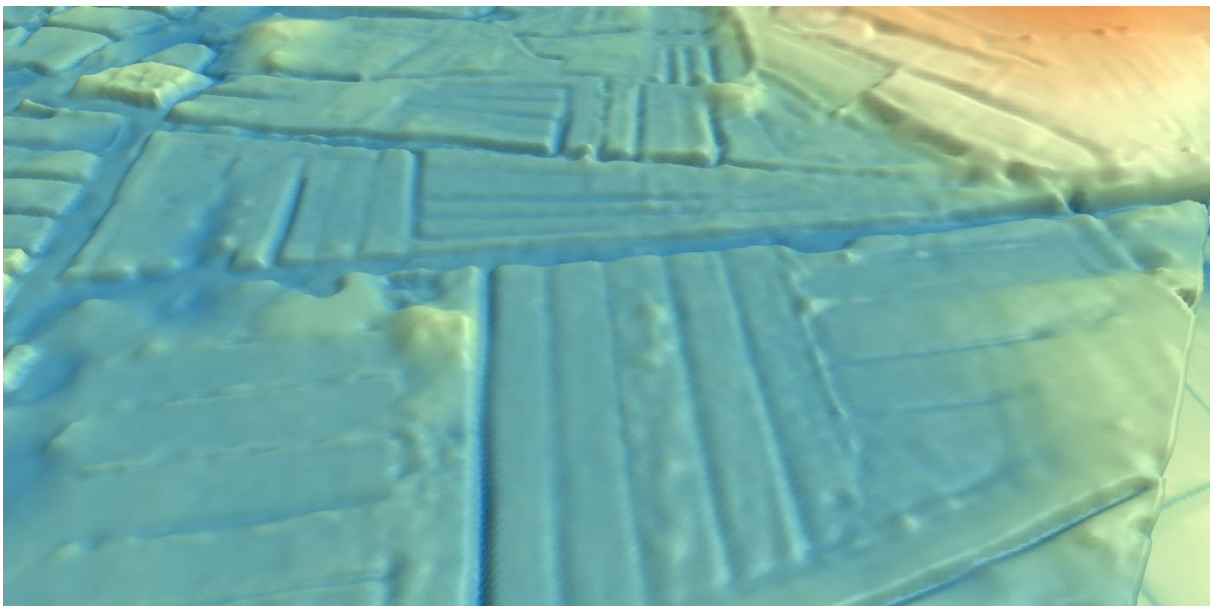


Figure 8 : Exemple d'application des modules 3D d'études topographique via Qgis2threejs sur l'annexe du fossé des moines.

Conclusion et perspectives

En définitive, l'utilisation des données produites lors des survols du marais Audomarois a permis d'appuyer les 4 autres Focus du projet FBMA. De plus, l'analyse nous a permis de mettre en évidence :

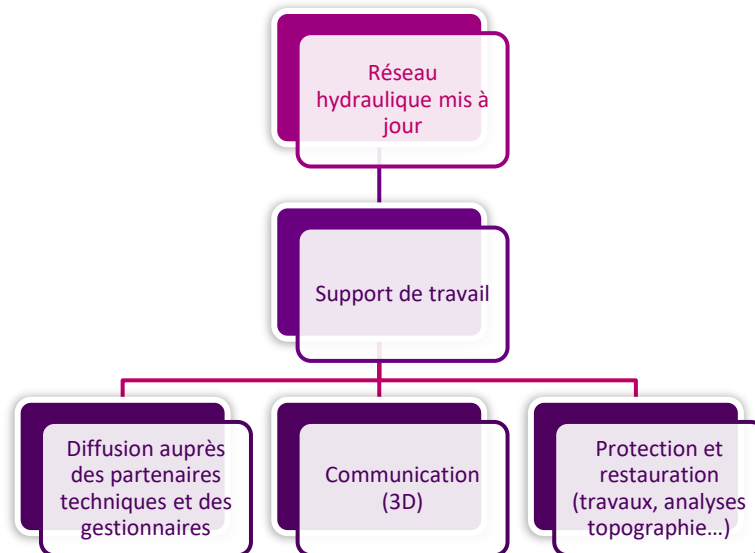
- Un réseau dense et complexe en eau qui est à présent connu et mis à jour sous divers supports de travail (MNT, 3D, IR, photo).
- Un support de communication (3D).
- 184 ouvrages divers.
- 317 passerelles, déversoirs, vannes, remblais sauvages, etc.
- L'identification de nombreuses connexions et déconnexions inconnues auparavant.

Néanmoins, il conviendra en perspective de ce présent Focus, de faire vivre ces données en permettant leur utilisation auprès des acteurs locaux et en les utilisant afin d'identifier des points clefs de fonctionnement de la connectivité latérale du marais dans le futur. En effet, au vue de la densité et de la qualité des données en présence, il peut être pertinent de réaliser des études futures ayant trait au fonctionnement hydrologique pur du marais Audomarois. En parallèle de cela, ce support de travail peut être usité lors de futures préconisations de gestions ou de travaux de restauration proposés sur le secteur.

D'ici là, les données produites pourront être diffusées et utilisées comme support de travail auprès des partenaires techniques et des gestionnaires locaux (CAPSO, PNR, CBNBL, SMAGEAA, SAGE Audomarois, EDEN62, 7^{ème} Section de wateringues, etc.) afin de les épauler pour gérer et protéger au mieux ce milieu si particulier qu'est le marais Audomarois.

Objectif d'identification précise du réseau dense et complexe en eau qui est à présent connu et mis à jour sous divers supports de travail (MNT, 3D, Infrarouge, photogrammétrie, entités surfaciques).

Support de travail et de communication → utile à de nombreux partenaires



Connectivité latérale ou deconnection latérale ?



- 184 ouvrages,
- 317 passerelles, déversoirs, vannes, remblais sauvages, etc.
- Aide pour les préconisations / travaux restauration / création / gestion hydraulique.



Convention d'échange de données afin d'accéder aux données

Convention d'échange de données afin d'accéder aux données gratuitement

Bibliographie

ACOU A, BOURY P, LAFAILLE P CRIVILLI AJ FREUNTEUN E 2005. Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver eel (*Anguilla anguilla*), Arch. Hydrobiol, 164 (2) : 237-255.

BRETAR (F.), ROUX (M.) et PIERROT-DESEILLIGNY 2006 Couplage de données laser aéroporté et photogrammétriques pour l'analyse de scènes tridimensionnelles Thèse école nationale supérieure des télécommunications ENST, 166 pages.

BUCZKOWSKI A. "Drone LiDAR or Photogrammetry? Everything you need to know."

KOKALJ Z., ZAKŠEK K. AND OŠTIR K. 2011. Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models Cambridge University Press: 02 January 2015 pp. 263-273.

VAUTIER F. VOLDOIRE O. Comparaison lasergrammétrie/photogrammetrie pour la mesure de l'érosion de pierres de façade (abbatiale de Manglieu, Puy-de-Dôme) Collection EDYTEM. Cahiers de géographie Année 2011 12 pp. 199-205

VÁZQUEZ TARRÍO D., BORGNIET L., LIEBAULT F., RECKING A., MALAVOI JR, LOIRE R. 2016. Utilisation d'images drone pour caractériser le mosaïque sédimentaire d'une rivière en tresses (Vénéon, massif des Ecrins).

VENNETIER M., MERIAUX P., BUSSET F., FELIX H., LACOMBE S 2010. Apport de la télédétection LIDAR aéroporté haute définition pour la caractérisation de la végétation des digues - Ecosystèmes méditerranéens et risques.

Conclusion Générale FBMA



L'objectif principal du projet **Focus Biodiversité Marais Audomarois** était d'améliorer les connaissances sur l'hydrosystème du marais Audomarois, et plus particulièrement sur les communautés piscicoles, leurs interrelations écosystémiques et sur la fonctionnalité des milieux (interfaces terres-eaux). Ces objectifs ont été atteints à travers le déploiement de 5 Focus transversaux et peuvent être résumés dans le diagramme page suivante.

L'ADNE

L'utilisation de l'**ADNe** nous a permis de mettre en évidence 29 taxons différents sur le marais dont 10 espèces patrimoniales et plusieurs espèces exotiques. Ce fut un retour d'expérience qui a permis de valider la pertinence du déploiement de cette méthode sur un hydrosystème de typologie marais doux endigué.

LE RESEAU DE CONTROLE ET DE SURVEILLANCE

Le déploiement du Focus **le Réseau De Contrôle et de Surveillance** nous a permis de caractériser la qualité biologique du marais à l'aide de deux indicateurs : Macro-invertébré Grand Cours d'Eau (MGCE) et Indice Poisson Rivière adapté (IPR). La qualité du marais est jugée très bonne pour les invertébrés et médiocre pour les poissons sur les deux ans. Un parallèle a pu être réalisé avec des données physico-chimiques en cours d'analyse du SAGE de l'Audomarois. Plusieurs paramètres déclassants ont été mis en lumière comme le phosphore total, des pesticides et les orthophosphates.

LE FOCUS ANGUILE

Le Focus **Anguille** quant à lui avait à cœur de mettre en évidence des grandes tendances ; comme l'étude de la cinétique migratoire, des points de ralentissement ou de blocage de la migration, le flux et les axes préférentiels de la migration anadrome. Ces objectifs ont été remplis à l'aide de la méthode Flottang et les données obtenues ont pu mettre en évidence une arrivée du flux début juin, un manque d'attractivité des annexes et des points de blocage.

LE FOCUS BROCHET

Les objectifs du Focus **Brochet** ont été atteints puisque le Focus a permis de cartographier près de la moitié du linéaire de fossés (watergangs) du marais et de caractériser 28% de Surfaces Favorables à la Reproduction (SFR). Le volet IAB nous a permis de mettre en évidence 82 022 m² de frayères effectives mais somme toute à la fonctionnalité incertaine. En effet, seuls 8,2% des 205 stations d'inventaires ont présenté une reproduction effective avec présence de brochetons à raison d'un seul individu ou de deux dans quelques cas. Le volet botanique (approche phytosociologique spatiale) et les analyses statistiques multivariées nous ont aidés à identifier les problématiques et permettre l'émission de plusieurs préconisations de gestion hiérarchisées, tels que : protéger l'existant, création et réouverture de sites supplémentaires (amélioration de la capacité de production), modification des pratiques et amélioration de la qualité de l'eau.

LE FOCUS HYDROMORPHOLOGIE

Le dernier Focus a permis de produire un support de travail cartographique de qualité à travers un Modèle Numérique de Terrain, des orthophotoplans à 5 cm et la remise à jour du réseau en eau du

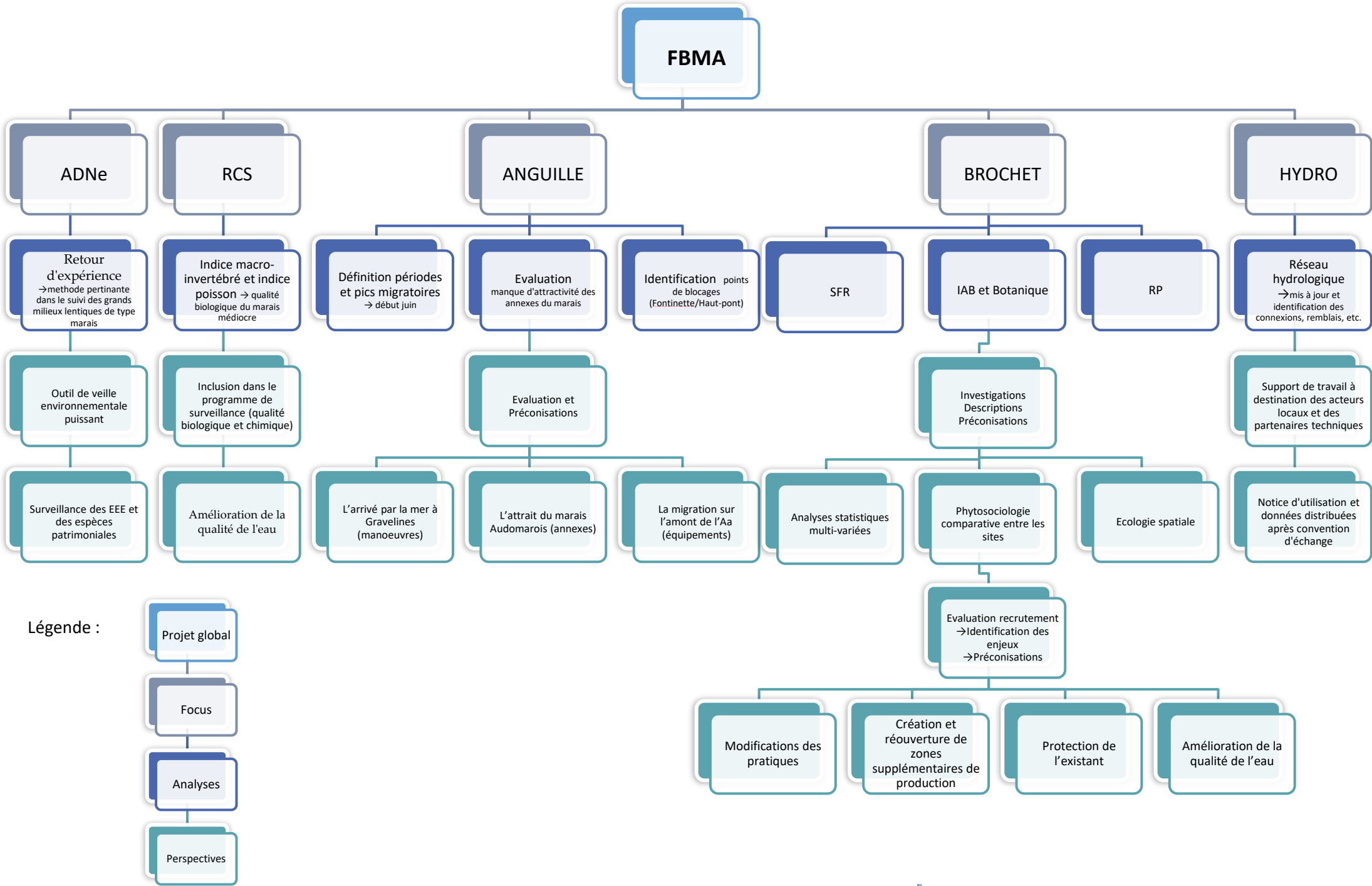
marais (entités surfaciques). Ce Focus **Hydromorphologie** a donc plutôt vocation à la diffusion d'un outil à destination des partenaires techniques et des gestionnaires locaux pour les aider dans leur gestion sur le marais.

L'ensemble de ces productions a permis la caractérisation des communautés ichthyologiques dans cet hydrosystème particulier en caractérisant le réseau hydraulique dense du marais. Les données produites seront également utiles à l'actualisation future du Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (PDPG 3.0 du Pas-de-Calais) puisqu'un certain nombre d'espèces protégées et/ou d'intérêt halieutique ont été répertoriées dans ces milieux. La mise en application des préconisations émises grâce au projet FBMA est riche en enjeux. Cela prend place dans le cadre d'une volonté d'amélioration de la qualité biologique et physico-chimique ainsi que dans la conservation de la biodiversité au sein du marais Audomarois.

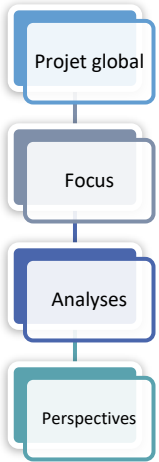
A NOTER : Une vidéo est proposée sur le site de la FDAAPPMA 62 afin d'illustrer le déploiement des différents focus en 6 min :

<http://www.peche62.fr/fbma/>

Schéma des résultats et des perspectives du projet FBMA



Légende :



Résumé

Le Marais Audomarois est un haut lieu de biodiversité. Cette vaste zone humide est désignée zone Ramsar et UNESCO. Malgré ces couches de protections, les connaissances scientifiques et biologiques concernant le marais reste lacunaire sur le compartiment ichtyologique. Le but du projet F.B.M.A. est ainsi de combler ce manque de données en fournissant un état de la connaissance de qualité sur ce compartiment biologique. Pour remplir cette mission, 5 axes nommés « Focus » sont développés lors de deux années de suivi scientifique (2018-2020). Ces Focus sont centrés sur des espèces cibles ou des méthodes d'études novatrices :

Focus Brochet : Poisson prédateur emblématique de nos cours d'eau, le Brochet (*Esox Lucius*, VU), même si il est aussi très présent dans le marais, fait face à de nombreuses pressions qu'il convient d'étudier. Pour ce faire, un inventaire cartographique des surfaces favorables à sa reproduction a été entrepris, permettant ainsi de cibler des zones d'intérêt pour l'espèce. 205 pêches d'indice d'abondance brocheton ont été réalisées sur deux ans dans la zone, permettant de mettre en évidence une reproduction effective sur 8% des stations. 18 sujets adultes ont été marqués à l'aide d'un émetteur radio et suivis par la méthode de « radio-tracking » sur une année complète. Une étude botanique a aussi été réalisée en partenariat avec le CBNBL afin de caractériser de façon précise les communautés végétales retrouvées sur chaque frayère effective.

Ces divers travaux vont permettre de cibler des zones de frayères à sauvegarder et de produire des préconisations sur l'espèce dont la situation est contrastée dans le marais.

Focus Anguille : Espèce amphihaline thalassotoque, l'Anguille (*Anguilla anguilla* CR) fait face à de nombreuses pressions lors de sa migration. Pour étudier son arrivée dans le marais, un suivi à l'aide de « Flottang » a été réalisé sur deux années et 18 stations entre début avril et fin juillet en vue d'étudier la cinétique migratoire de l'espèce. La majeure partie des effectifs arrive entre début juin et mi-juillet. Les Annexes du marais semblent peu attractives hormis en amont (secteur Houlle). Les anguilles semblent privilégier l'axe canalisé pour poursuivre leur migration et des points de blocage ont été identifiés.

Focus ADN : Le prélèvement d'ADN environnemental est une méthode novatrice de plus en plus utilisée. Cette approche prend tout son sens dans le milieu particulier et le dédale de voies d'eau qu'est le marais. Cette méthode innovante permet de détecter la présence de certains taxons aquatiques dans un prélèvement d'eau. 13 stations ont été prélevées sur l'ensemble du marais. L'étude a pu par exemple mettre en évidence 29 taxons au total dont 10 espèces patrimoniales et 6 espèces exotiques. Cette étude fut réalisée en partenariat avec le laboratoire SpyGen®.

Focus RCS : Deux stations de réseau de surveillance ont été placées à l'ouest et à l'est du marais sur des milieux représentatifs et adaptés aux méthodes d'inventaires déployées. Ainsi un MGCE (Indice Macroinvertébré Grand Cours d'Eau) et un IPR adapté (Indice Poisson Rivière avec un « Electrofishing boat » de Smith&Root®) ont été réalisés deux ans de suite pour caractériser la qualité biologique du marais. Celle-ci oscille entre le très bon pour les invertébrés benthiques et entre médiocre et mauvais pour le compartiment piscicole.

Focus hydromorphologie : La cartographie et le suivi des zones humides sont des éléments indispensables pour l'évaluation de leurs fonctions et la préservation de leur biodiversité. Il s'agit donc de caractériser le potentiel du marais via la photogrammétrie haute précision, la thermographie infrarouge, la topographie et l'étude des réseaux hydrologiques. Ces données ont pu être acquises lors de survols en ULM en partenariat avec le bureau Ingeo. Ce Focus fait office de base de travail de qualité pour nos différents partenaires (Modèle Numérique de Terrain, Topographie 3D, Photogrammétrie haute précision et Infrarouge).

Grâce à la transversalité de ces 5 axes et à la compilation et l'analyse des données obtenues, l'étude FBMA a permis de produire un état de la connaissance piscicole faisant office de base solide pour des études futures. La production de préconisations de gestion adaptées à ce milieu fragile si particulier qu'est le marais audomarois sera également utile au tissu de partenaires œuvrant dans le contexte cuvette Audomaroise.

Abstract

The Marais Audomarois is a biodiversity hotspot located on the territory of 15 municipalities in Pas-de-Calais. It covers an area of 37 km². The area includes over 700 km of waterways. This vast wetland is designated as a Ramsar and UNESCO Zone. Despite these layers of protection, scientific and biological knowledges about the marsh remains deficient in the fish compartment. The aim of the F.B.M.A. project realised by the FDAAPPMA62 is to complete this data gap by providing a state of quality knowledge on this biological compartment. 5 «Focus» are developed during two years of scientific monitoring (2018-2020). These Focus are based on target species or innovative methods of study.

The Pike (*Esox Lucius*, VU), an iconic predator of our waterways, although it is also very established in the marsh, it faces many pressures that need to be studied. Thereby, a cartographic inventory of areas favourable to its reproduction was undertaken. thus allowing to target areas of interest for the species. 205 pikes abundance index peaches were carried out over two years in the area, allowing a reproduction on 8% of the stations. 18 adults subjects were tagged with a radio

transmitter and followed by the "radio-tracking" method over a full year. A botanical study was also carried out in partnership with the CBNBL in order to accurately characterize the recovered plant communities on each effective spawning zone.

These various works will allow targeting areas of spawning zone to be protected and produce recommendations on the species whose situation is contrasted in the marsh.

Focus Eel: An amphihaline thalassotoque species, the Eel (*Anguilla anguilla* CR) faces many pressures during its migration. To study its arrival in the marsh, a two-year 18-stations follow-up using "Flottang" was conducted between early April and late July. The objective is thus to study the migratory kinetics of the species. The majority of staff arrives between early June and mid-July. The Annexes of the marsh seem not very attractive except upstream (sector Houlle). The Eels seem to favour the channelled axis to continue their migration and blocking points have been identified.

Focus DNAe: Environmental DNA collection is an innovative and increasingly used method. This approach takes all its meaning in the particular environment and maze of waterways that is the marsh. This innovative method can detect the presence of certain aquatic taxa in a water sample. 13 stations were taken across the marsh. For example, the study identified a total of 29 taxa including 10 heritage species and 6 exotic species. This study was carried out in partnership with the Spygen® laboratory.

Focus RCS: Two monitoring network stations were placed to west and east of the marsh in representative environments and adapted to the survey methods that are deployed. For example, an IBGA (biological index adapted for large rivers) and an adapted IPR (fish index river with a Smith&Root® Electrofishing boat) were produced during two years in a row to characterize the biological quality of the marsh. It oscillates between very good for benthic invertebrates and between poor and bad for the fish compartment.

Hydromorphology focus: The mapping and monitoring of wetlands are essential elements for the evaluation of their functions and the preservation of their biodiversity. The aim is therefore to characterize the potential of the marsh through high-precision photogrammetry, infrared thermography, topography and the study of hydrological networks. This data could be acquired during ULM flights in partnership with the Ingeo office. This Focus serves as a quality working base for our various partners (Digital Terrain Model, 3D Topography, High Precision Photogrammetry and Infrared).

Thanks to the transversality of these 5 axes and the compilation and analysis of the data obtained, the FBMA study made it possible to produce a state of knowledge on fish as a solid basis for future studies. The production of management recommendations that are adapted to this fragile environment, and so special as the Audomarois marsh, will also be useful to the fabric of partner working in the Audomarois perimeter.