
Abondance, croissance, stade de développement et dispersion de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) recrutée dans une diversité typologique des cours d'eau du bassin hydrographique de la Meuse belge

Auteur : Romain, Vasthi Rose Myrielle

Promoteur(s) : Ovidio, Michael; Nzau Matondo, Billy

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des ressources aquatiques et aquaculture

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/9803>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Université de Liège
Université de Namur

Unité de Biologie du Comportement – UR FOCUS
Laboratoire de Démographie des Poissons et d’Hydroécologie



Master de Spécialisation en Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture
(GeRAA)

Travail de Fin d’Etude

Abondance, croissance, stade de développement et dispersion de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) recrutée dans une diversité typologique des cours d'eau du bassin hydrographique de la Meuse belge



Présenté par :

Vasthi Rose Myrielle ROMAIN

Sous la supervision de :

Pr Michael OVIDIO

Dr Billy NZAU MATONDO

Année académique 2019-2020

Résumé

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L. 1758) est une espèce menacée d'extinction et est classée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) dans la liste rouge des espèces en voie de disparition depuis 2008. En Wallonie, l'état de conservation des stocks d'anguilles est très mauvais. Les peuplements locaux d'anguilles sont réduits à la présence de quelques spécimens âgés qui sont sur le point de faire leur dévalaison de reproduction en mer de Sargasse. Les stocks d'anguilles jaunes sauvages qui remontent la Meuse belge depuis la mer du Nord en passant par la Meuse néerlandaise se sont effondrés de 99% en 28 ans. Le seul espoir pour reconstituer les stocks locaux altérés et conserver l'espèce reste le recours à la pratique de repeuplement des cours d'eau avec des civelles importées. Mais à l'état actuel des connaissances, le repeuplement nécessite encore des études scientifiques pour l'optimiser.

Cette étude s'inscrit dans le cadre des recherches cofinancées par l'Europe (le FEAMP) et la Wallonie (le SPW) menées par le Laboratoire Démographique des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH) de l'Université de Liège qui vise à optimiser le repeuplement pour un maximum d'efficacité de recrutement des anguilles. Dans une dimension intégrant l'échelle des cours d'eau typologiquement différents et l'échelle temporaire depuis le déversement des civelles en 2017, ce travail consiste à étudier l'abondance, la croissance, la dispersion, le stade de développement et la composition de la faune aquatique sympatrique et des recrues anguilles issues du repeuplement. La pêche électrique a été le moyen d'échantillonnage utilisé pour récolter les données dans les six cours d'eau typologiquement différents sur le plan hydromorphologique, physicochimique et trophique.

Les résultats obtenus ont montré la présence de recrues anguilles dans les 6 cours d'eau étudiés, ce qui est un signal, fort c'est la capacité de jeunes stades d'anguille à coloniser les réseaux hydrographiques wallons dans sa diversité typologique. Les performances de croissance observées sont comparables à celles des anguilles des milieux eutrophes européens avec des coefficients d'allométrie de type majorant (bonnes niches écologiques) et des facteurs de condition K cohérent (individus en bon état de santé) avec le stade actuel de développement (phase de croissance) des recrues anguilles étudiées. La dispersion des recrues anguilles a lieu en amont comme en aval des points de déversement des civelles, le point « 0 », dans des rivières. Ces anguilles exploitent majoritairement les habitats les plus productifs situés près de rives parce qu'ils offrent des conditions optimales de vie d'un point de vue bioénergétique et protection contre le courant et les prédateurs. Les recrues anguilles sont capables de vivre avec plusieurs espèces de la faune aquatique (20 espèces identifiées) dont certaines espèces sont susceptibles d'exercer une prédation sur elles.

Aux regards du réseau hydrographique wallon dense, du mauvais état de conservation de l'espèce et du succès actuel de recrutement des anguilles après le repeuplement, on peut affirmer que la pratique du repeuplement a un bel avenir pourvu qu'elle soit réalisée dans les règles de l'art.

Mots clés : Anguille (*Anguilla anguilla*), Abondance, Croissance, Stade de développement, Dispersion, Faune sympatrique, Repeuplement.

Remerciements

Je remercie le grand Dieu Jéhovah de me donner le courage et la détermination de réaliser ce travail. Mes remerciements à l'ARES-CCD pour m'avoir accordé cette bourse d'étude.

Je remercie vivement mon promoteur Pr Michael Ovidio et mon co-promoteur monsieur Billy Nzau Matondo, qui ont accepté de m'accompagner et de me guider dans la réalisation de ce travail au sein du Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie. Je présente mes hommages et mes sincères remerciements à mes professeurs du master pour les encouragements et les savoirs reçus d'eux.

Je remercie d'une façon très spéciale mes parents monsieur et madame Herze Romain, mon frère et ma sœur Cassandra et Lemuel Jean Arthur Romain; Junior Jean Dosinique, News-line & Nacheley Fabien et l'Ingénieur Agronome Soniel Mercius, Me Joël Noel pour le soutien moral.

Mes remerciements à Manise Pierre, Annie Pascal Fils-Aimé, Ruth Tabitha Jean-François, Peterly Jean, Junior Jules François, Brutus Vania, Maciaq Ketsie, Marcelin Cherichel, Alieth Dugoirand, Edson André, Claudin Pierre et Jeff Garçon pour votre soutien.

J'exprime toute ma gratitude envers tous les membres du personnel administratif de l'Université Anténor Firmin, mes amis et amies, mes camarades-conseillers et mes collègues de promotion avec qui j'ai discuté de mon travail spécialement Ernesuze Declama, Georges Christian Mabilia Ma Diambu. Je dis également merci à mes compatriotes haïtiens résidant à Liège.

Enfin à vous, honorables membres du Jury, je dis merci pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Listes des figures

Figure 1 : Morphologie de l'anguille européenne (Moussaoui et Naneche, 2013).....	2
Figure 2: Cycle de vie de l'anguille européenne (Beaudoin et al., 2014).....	2
Figure 3: (a) larve leptocephale (Wikipédia.org); (b) civelles (futurascience.com et Wikipédia.org); (c) anguille jaune (Wikipédia.org) et (d) anguilles argentées (gastronomia.com).	4
Figure 4: Aire de répartition géographique de l'anguille européenne (Adam, 1997).....	5
Figure 5: Type d'habitats occupés par l'anguille (Stade juvénile) : sous-berge (A), débris ligneux (B), blocs (C) (Seleck, 2017).....	5
Figure 6: Séries chronologiques (44 sites) du recrutement des civelles et des anguilles jaunes dans les rivières européennes. Chaque série chronologique a été ajustée à sa moyenne de 1979–1994 (ICES, 2019).....	7
Figure 7: Variation annuelle des captures de civelles transparentes dans l'Yser à la station de Nieupoort de 2000 à 2019. * Les données pour l'année 2016 sont incomplète non représentatives, en raison de problèmes techniques au niveau des écluses, et ne sont utilisé à des fins statistiques, ni pour l'évaluation des stocks internationaux (Belpaire, 2019).....	7
Figure 8: Variation du nombre d'anguilles jaunes ascendantes capturée dans la passe à poissons de Visé-Lixhe entre 1992 et 2019. Données de l'Université de Liège (Nzau Matondo et al., 2015; Nzau Matondo et Ovidio, 2016). * Les données pour 2019 (n = 73) incluent les anguilles sauvages (n = 40) et les anguilles ensemencées (n = 33) (Belpaire, 2019).	8
Figure 9: Historique de repeuplement en anguille européenne (civelles et anguillettes) en Wallonie de 1967 à 2019. (Rapport 2019, Commission piscicole de Liège. Anguille Province de Liège) (Oumarou, 2019).	11
Figure 10: (a) Carte de localisation et (b) images des six rivières étudiées (l'Oxhe, le Winamplanche, le Wayai, la Hoëgne, la Berwinne et la Gueule) dans le bassin hydrographique de la Meuse (Colson, 2018).	14
Figure 11: Evolution temporaire de la croissance linéaire (LT – longueur totale) chez les recrues anguilles 0+ : 2017, les recrues anguilles 1+ : 2018 et les recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées.....	22
Figure 12 : (a) Accroissement annuel de la longueur totale (LT) chez les individus marqués et les individus non marqués et (b) Accroissement annuel de LT chez les individus capturés marqués en fonction de la rivière.....	23
Figure 13: Longueur totale et facteur de condition chez les recrues anguilles 0+ : 2017(a) et (a'), les recrues anguilles 1+ : 2018 (b) et (b') et les recrues anguilles 2+ : 2019 (c) et (c') en fonction de la rivière.....	25
Figure 14: Relation poids – longueur chez les recrues anguilles 0+ : 2017, les recrues anguilles 1+ : 2018 et les recrues anguilles 2+ : 2019 (toutes les rivières réunies).	26
Figure 15: Relation entre le coefficient d'allométrie et le facteur de condition chez les recrues anguilles (toutes les rivières réunies).....	26
Figure 16: Synthèse des stades de développement chez les recrues anguilles 2+ : 2019 dans toutes les rivières réunies.....	27
Figure 17: Dispersion longitudinale chez les recrues anguilles 0+ : 2017 (a), les recrues anguilles 1+ : 2018 (b) et les recrues anguilles 2+ : 2019 (c) dans les rivières étudiées.....	28
Figure 18: Dispersion latérale chez les recrues anguilles 0+ : 2017(a), les recrues anguilles 1+ : 2018 (b) et les recrues anguilles 2+ : 2019 (c) dans les rivières étudiées.	29
Figure 19: La faune aquatique sympatrique des recrues anguilles 0+ : 2017, des recrues anguilles 1+ : 2018 et des recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées.	31

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Classification systématique de l'anguille européenne</i>	1
<i>Tableau 2 : Description des 6 rivières étudiées.</i>	15
<i>Tableau 3 : Paramètres hydromorphologiques, physicochimiques et composition de la faune aquatique des cours d'eau étudiés de 2017 à 2019.</i>	17
<i>Tableau 4 : Abondance et densité observées des recrues anguilles 0+ : 2017, des recrues anguilles 1+ : 2018 et des recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées.</i>	21
<i>Tableau 5 : Croissance de la longueur totale -LT, relation poids – longueur, coefficient d'allométrie et facteur de condition chez les recrues anguilles 0+ : 2017, les recrues anguilles 1+ : 2018 et les recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées.</i>	24
<i>Tableau 6 : Stades de développement chez les recrues anguilles 2+ : 2019 en fonction de la rivière.</i>	27
<i>Tableau 7 : Distance linéaire de dispersion chez les recrues anguilles 0+ (2017), les recrues anguilles 1+ (2018) et les recrues anguilles 2+ (2019) dans les rivières étudiées.</i>	28
<i>Tableau 8 : Composition spécifique de la faune aquatique sympatrique aux recrues anguilles 0+ : 2017, recrues anguilles 1+ : 2018 et recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées (présence).</i>	30

Table des matières

RÉSUMÉ	I
REMERCIEMENTS	II
LISTES DES FIGURES.....	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
TABLE DES MATIÈRES	V
I-INTRODUCTION.....	1
1.1.- GÉNÉRALITÉ.....	1
1.1.1.- Classification systématique de l'anguille.....	1
1.1.2.-Description morphologique et anatomique de l'anguille.....	1
1.1.3.- Cycle de vie de l'anguille.....	2
1.1.3.1.-Stade larvaire.....	3
1.1.4.1.-Stade de civelle ou stade juvénile.....	3
1.1.5.1.- Stade adulte.....	3
1.2.- AIRE DE DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	4
1.2.1.- Comportement de dispersion et utilisation de l'habitat	5
1.3.- REPRODUCTION	5
1.4.- ALIMENTATION	6
1.5.- ETAT DE STOCK, CAUSES ET REMÈDES.....	6
1.5.1.- Etats des stocks.....	6
1.5.1.1.- Au niveau international.....	6
1.5.1.2.- En Belgique	7
1.6.- CAUSES DE LA DIMINUTION DES STOCKS	8
1.6.1.- Causes naturelles.....	8
1.6.2.- Causes anthropiques.....	9
1.7.- PISTES DE RÉMÉDIATIONS À LA DIMINUTION DES STOCKS.....	10
1.8.- REPEUPLEMENT	10
1.9.- PROBLÉMATIQUE ET JUSTIFICATION DE L'ÉTUDE	12
II.- MÉTHODOLOGIE	14
2.1.- MATÉRIEL UTILISÉ.....	14
2.2.- LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	14
2.3.- CARACTÉRISTIQUES HYDROMORPHOLOGIQUE ET PHYSICOCHIMIQUE	16
2.4.-TECHNIQUE DE REPEUPLEMENT	17
2.5.- ÉCHANTILLONNAGE.....	18
2.5.1.- Pêche électrique de capture et marquage	18
2.5.2. Marquage et relâcher.....	19
2.6.- ANALYSES STATISTIQUES.....	19
III- RESULTATS	21
3.1.- ABONDANCE ET DENSITÉ OBSERVÉES	21
3.2.- ÉTUDE DE LA CROISSANCE	22
3.2.1.-Évolution temporaire de la taille corporelle	22
3.2.3. Relation poids – longueur.....	24
3.3.- STADE DE DÉVELOPPEMENT	26
3.4.- DISPERSION	27
3.4.1.- Dispersion longitudinale.....	27

3.4.2.- <i>Dispersion latérale</i>	29
3.5.- FAUNE AQUATIQUE SYMPATRIQUE.....	30
IV. DISCUSSIONS.....	32
4.1.- ABONDANCE ET DENSITÉ DES RECRUES ANGUILLES	32
4.2.- PERFORMANCE DE CROISSANCE ET STADE DE DÉVELOPPEMENT DES ANGUILLES 2+	32
IV. 3.- DISPERSION LONGITUDINALE ET LATÉRALE.....	33
IV. 4.- FAUNE AQUATIQUE SYMPATRIQUE.....	33
V. CONCLUSION.....	34
VI. PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS	34
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35
ANNEXES.....	I

I-INTRODUCTION

1.1.- Généralité

1.1.1.- Classification systématique de l'anguille

Il n'existe que le genre *Anguilla* dans la famille des Anguillidés. Ce genre comprend 15 espèces d'anguille dont une espèce européenne *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), une espèce américaine *Anguilla rostrata* (Lesueur, 1817), une espèce japonaise *Anguilla japonica* (Temminck et Schlegel, 1846) et 12 autres espèces des milieux tropicaux (Deelder, 1985; Tesch, 2003; Bruslé & Quignard, 2006). L'anguille européenne est une espèce migratrice amphihaline thalassotoque c'est-à-dire qu'elle reproduit dans la mer et grandit dans la rivière (Ladjama, 2010) qui a été décrit par Linné en 1758. Le tableau ci-dessous présente la classification systématique de l'anguille européenne.

Tableau 1: Classification systématique de l'anguille européenne (Durif, 2003)

Règne	Animal
Embranchement	Chordés
Sous-embranchement	Vertébrés
Infra-embranchement	Gnathosomes
Superclasse	Ostéichtyens
Classe	Actinoptérygiens
Sous-classe	Néoptérygiens
Infra-classe	Téléostéens
Superordre	Elopomorphes
Ordre	Anguilliformes
Sous-ordre	Anguilloïdés
Famille	Anguillidés
Genre	<i>Anguilla</i>
Espèce	<i>Anguilla</i>

Nom binomial : *Anguilla anguilla* L. 1758

1.1.2.-Description morphologique et anatomique de l'anguille

L'anguille européenne est un poisson qui a un corps serpentiforme (Renault, 2011), dont la partie antérieure est cylindrique et la partie postérieure est un peu comprimée (FAO, 2009). Les nageoires dorsales, caudales et anales se fusionnent et forment une nageoire très longue et impaire, elle possède une paire de nageoires pectorales très petites et sont de forme arrondie. Elle ne possède pas de nageoire pelvienne (Moussaoui et Naneche, 2013). La tête est assez longue et légèrement comprimée. Les yeux sont ronds et petits chez les stades jeunes et chez les anguilles jaunes, mais ils s'élargissent chez l'anguille argentée. La mâchoire inférieure plus longue que la mâchoire supérieure et elle est saillante. L'anguille possède de minuscules dents qui sont placées en plusieurs séries sur les mâchoires et le vomer, sur le côté vertical de la tête. On trouve de petites fentes branchiales à la base de chaque nageoire pectorale (FAO, 2009). Le museau est étroit et porte des narines tubuleuses (Fievet, 2017). La peau est recouverte de mucus épais et des petites écailles de forme ovale insérés de façon profonde, ce qui lui donne une texture lisse et visqueuse (Bruslé & Quignard, 2006). La couleur de la robe varie en fonction du stade de développement au cours du cycle biologique.

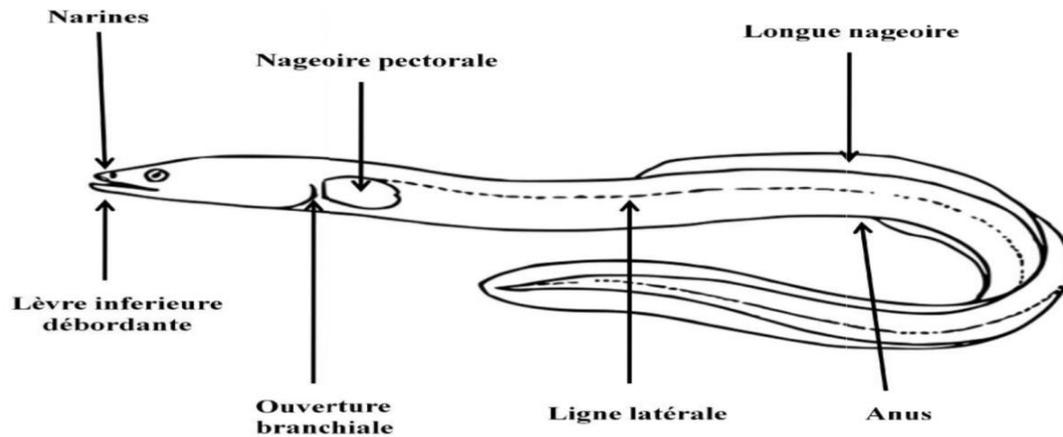


Figure 1 : Morphologie de l'anguille européenne (Moussaoui et Naneche, 2013)

Le corps de l'anguille européenne comprend entre 111 et 119 vertèbres tandis que chez l'anguille américaine, le nombre de vertèbres se situe entre 103 et 112 (Bruslé & Quignard, 2006) et la ligne latérale est bien distincte (FAO, 2009). Au stade adulte, le poids varie entre 300 g à 3 kg et la longueur totale varie entre 30 cm et 1,5 m (Loïc, 2019). L'anguille possède une vessie natatoire qui se modifie au cours des différents stades de sa vie. Par la réabsorption et la sécrétion des gaz, elle permet de faire des mouvements verticaux dans la colonne d'eau (Durif, 2003; El Hilali, 2007; Moussaoui et Naneche, 2013).

1.1.3.- Cycle de vie de l'anguille

L'anguille est une espèce amphihaline, thalassotoque, catadrome, semelpare qui a un cycle biologique très complexe (figure 2) (Tesch, 2003). C'est un poisson grand migrateur, et son cycle de vie est unique et spécial (Charrie et al., 2010; Plastra et al., 2010). Quand la femelle atteint l'âge de maturité sexuelle, elle migre vers la mer des Sargasses pour se reproduire (Elie et al., 1987).

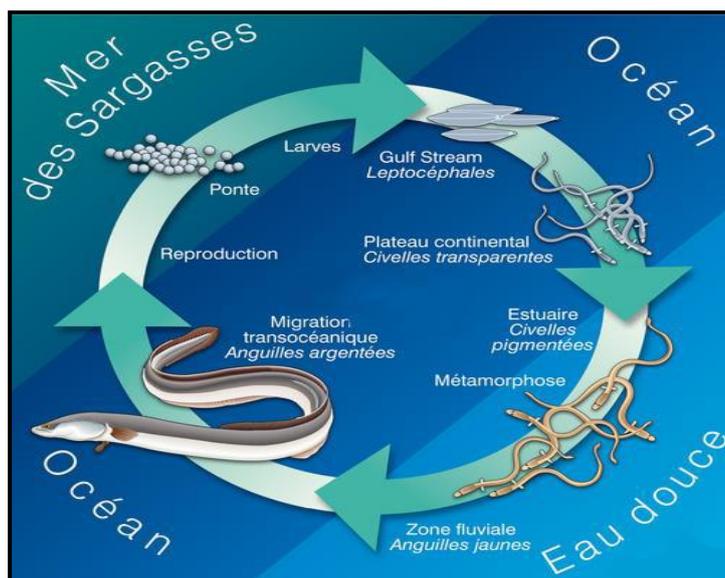


Figure 2: Cycle de vie de l'anguille européenne (Beaudoin et al., 2014)

1.1.3.1.-Stade larvaire

Une fois arrivé sur le lieu de reproduction, la ponte des géniteurs a eu lieu et l'éclosion des œufs donne naissance à des larves de petites tailles ayant la ressemblance d'une feuille de Saule appelée **larves leptocéphales**. Elles vont se laisser emporter par le Gulf Stream vers les côtes européennes et de l'Afrique du Nord (Drouineau et al., 2018) (Figure 3a).

1.1.4.1.-Stade de civelle ou stade juvénile

Une fois sur le plateau continental, les larves leptocéphales vont se métamorphoser en **civelles** qui mesurent entre 5 à 7 cm et deviennent serpentiformes. Les civelles se concentrent dans les estuaires grâce aux courants des fleuves qui les attirent (Prouzet, 2005), où elles vont subir des modifications de couleur (Fukuda et al., 2013). Cette phase de développement d'anguilles européennes caractérise le recrutement estuarien (Tesch, 2003; Prouzet, 2005). Les estuaires sont la zone de regroupement des civelles à partir de laquelle elles colonisent le plateau continental (Ovidio et al., 2013) (figure 3b). Avec la croissance, les civelles deviennent des **anguillettes** et ensuite des **anguilles jaunes**. Le stade d'anguille jaune est la phase de croissance (Panfili et al., 2012) et de sédentarisation de l'espèce en milieu continental. Cette phase dure entre 3 à 15 ans selon le sexe (Lafaille et al., 2005) pendant laquelle les anguilles occupent une grande diversité d'habitats (Ovidio et al., 2013). Les mâles colonisent les estuaires et les habitats continentaux proches des estuaires et restent moins longtemps au stade d'anguille jaune avant de s'argenter et de migrer vers le lieu de reproduction. Les femelles occupent les habitats qui se situent en amont des cours d'eau et y vivent longtemps (Tesch, 2003) (Figure 3c).

1.1.5.1.- Stade adulte

Les anguilles jaunes se métamorphosent en **anguilles argentées** (figure 3d) (Bevacqua et al., 2011), c'est le stade de leur préparation à la vie marine, la dévalaison et la reproduction (Durif et al, 2000). Au cours de la migration vers la mer des Sargasses, elles atteignent la maturité sexuelle. A ce stade, elles possèdent une importante réserve de graisse acquise lors des régimes nutritionnels aux stades précédents. La migration s'effectue quand l'anguille atteint l'âge de 4 à 20 ans pour les femelles (El Hilali, 2007; Campton et Crivelli, 2010; Charrier et al., 2010) et 8 à 12 ans pour les mâles (www.larousse.fr). Les tailles respectives varient entre 35 à 46 cm pour les mâles et 50 à 100 cm pour les femelles (Campton et Crivelli, 2010).

Cette migration se fait en rivière par dévalaison, tout en profitant des périodes de crues et des inondations de l'automne jusqu'au début de l'hiver (Prouzet et al, 2007). Durant le parcours, son organisme se transforme afin de s'adapter à la vie en eau salée. Les mâles sont les premiers à partir vers la mer (Geffroy, 2012) et pendant la migration les anguilles ne se nourrissent pas (Elie et al, 1987).

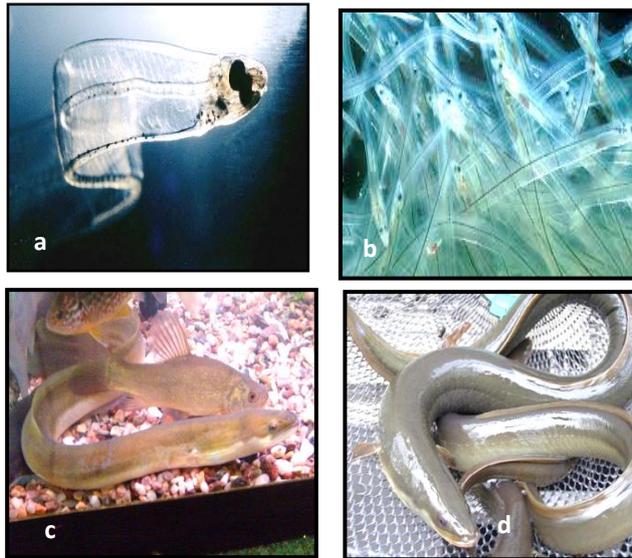


Figure 3: (a) larve leptocéphale (Wikipédia.org); (b) civelles (futurascience.com et Wikipédia.org); (c) anguille jaune (Wikipédia.org) et (d) anguilles argentées (gastronomia.com).

1.2.- Aire de distribution géographique

L'anguille européenne est un poisson migrateur amphihalín ayant deux grands trajets migratoires dans son cycle de vie (Adam, 1997). L'aire de distribution de l'anguille européenne s'étend du lieu de reproduction situé en mer des Sargasses jusqu'aux zones continentales de croissance qui sont des cours d'eau et lacs accessibles depuis la mer (figure 4) (Deelder, 1985; Georgeon & Campton, 2018; Oumarou, 2019). La ponte a lieu en fin d'hiver et printemps. Les adultes meurent après la reproduction unique. Les larves leptocéphales en forme d'une feuille de saule se dispersent de la mer des Sargasses jusqu'au plateau continental Européen et nord-africain grâce au Gulf Stream. On rencontre les juvéniles sur les côtes Atlantique Nord, dans la mer baltique, dans la méditerranée et sur les côtes de l'Afrique du Nord et le Sénégal (Fievet, 2017).

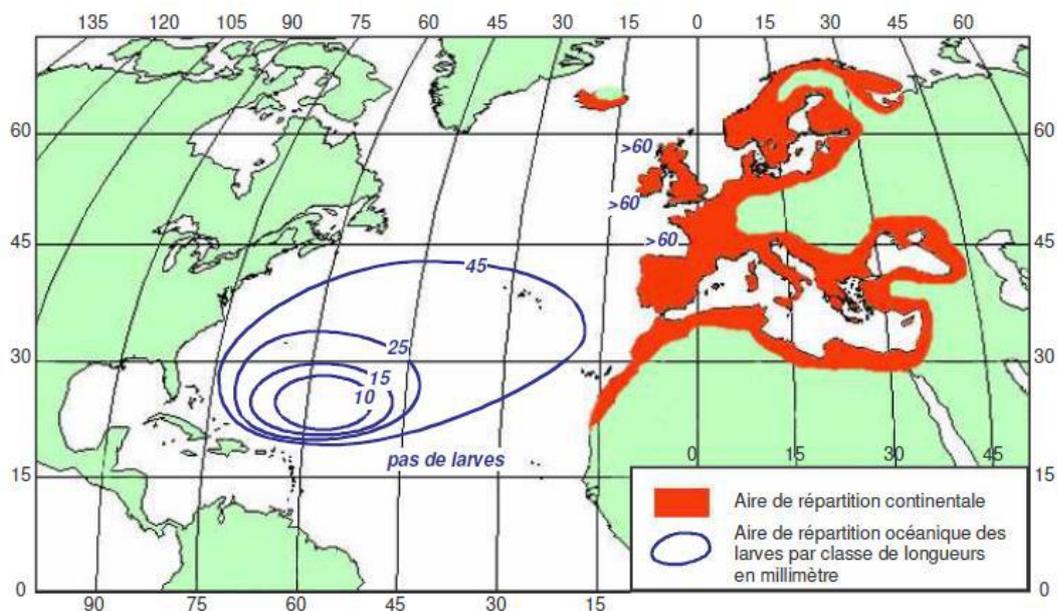


Figure 4: Aire de répartition géographique de l'anguille européenne (Adam, 1997).

En Belgique, notamment au sein de la région wallonne, on retrouve l'anguille dans les fleuves, les cours d'eau et les ruisseaux appartenant aux bassins de l'Escaut, de la Seine, du Rhin et de la Meuse. Actuellement, c'est dans les habitats les plus proches de la mer du Nord qu'on trouve les peuplements les mieux structurés (Philippart et al., 2010; Nzau Matondo & Ovidio, 2016; Belpaire et al., 2018; Oumarou, 2019).

1.2.1.- Comportement de dispersion et utilisation de l'habitat

L'anguille exprime un comportement cryptique et une phototaxie négative (Ovidio et al, 2013; Colson, 2019). On la retrouve tout le long du bassin hydrographique jusqu'à l'amont (Daverat et al., 2003; Seleck, 2017). L'habitat est constitué des cavités enterrées dans les murs de pierre, des sous-berges, des espaces entre les rochers et les racines, des sédiments fins surtout pour les jeunes anguilles (figure 5A, B, C) (Banes et al., 1998; Séleck, 2017). Dans les bassins hydrographiques continentaux, cette occupation est déterminée par quatre types de comportements : La première et la deuxième année de vie, les jeunes anguilles expriment le comportement de «*pioneer* » qui migrait vers l'amont sans être influencés par la densité locale en anguille et les conditions environnementales. Elles remontent les cours d'eau jusqu'à être bloquées par des facteurs abiotiques. Quant aux anguilles au comportement de «*founders* », elles exprimeraient des mouvements de densité-dépendance et migreraient vers l'amont dans la rivière jusqu'à ce qu'elles trouvent un habitat favorable et libre (potentiellement avec de faibles densités) (Feunteun et al., 2003). Les anguilles jaunes auraient également deux types de comportement. Le comportement territorial où les individus sédentaires effectuent des faibles déplacements autour d'une zone (par exemple la zone de capture-marquage : Ovidio et al. 2013; Nzau Matondo et al., 2019) et le comportement des nomades où les individus utiliseraient des zones différentes (de la mer à l'eau douce). Les bassins hydrographiques sont progressivement colonisés par les déplacements vers l'amont des nouvelles anguilles qui remplacent les anciennes ce qui explique le gradient d'âge et de taille qui existe entre l'amont et l'aval (Feunteun et al., 2003; Seleck, 2017). Le comportement migratoire en amont des anguilles européennes en phase jaune a été étudié en fleuve intérieur éloigné de la mer (> 320 km en amont de la mer du Nord) n'est pas bien compris.



Figure 5: Type d'habitats occupés par l'anguille (Stade juvénile) : sous-berge (A), débris ligneux (B), blocs (C) (Seleck, 2017)

1.3.- Reproduction

La maturation sexuelle des individus mâles et femelles s'effectue pendant la migration de reproduction, (El Hilali, 2007). La nage active est un élément favorisant la maturation des

gonades, mais, c'est la pression des profondeurs et la salinité de l'eau qui déclenchent la sécrétion hormonale. La migration océanique ainsi que les différents aspects de la reproduction restent à ce jour mal connus (Farrugio et al., 2011).

1.4.- Alimentation

L'anguille européenne est une espèce prédatrice qui se nourrit principalement la nuit, en utilisant son odorat qui est très développée. Elle a une alimentation très diversifiée, et à chaque stade de son cycle de développement, son régime alimentaire est différent (Costa et al., 1992). L'anguille européenne a un régime alimentaire benthique (Renault, 2011; Moussaoui et Naneche, 2013). Les larves leptocéphales se nourrissent de planctons tout en commençant leur migration par la vie pélagique pendant une durée de 2 ans (Moussaoui et Naneche., 2013). Dans les autres stades de développement, elles se nourrissent de petits poissons, d'écrevisses, d'escargot d'eau, de vers d'insectes aquatiques, d'acariens et de déchets divers (Costa et al., 1992).

1.5.- Etat de stock, causes et remèdes

1.5.1.- Etats des stocks

1.5.1.1.- Au niveau international

Par sa surabondance dans les eaux continentales, l'anguille a été considérée pendant longtemps comme une espèce dont les populations ne s'épuiseraient jamais. Cependant, vers les années 1980, les stocks commençaient à diminuer (Belpaire et al, 2014). De nos jours, l'espèce figure sur la liste rouge de l'union international pour la conservation de la nature ce qui veut dire qu'il est en danger critique d'extinction (UICN, 2010). Le déclin des stocks concerne tous les stades de développement de l'anguille. Le recrutement des civelles pour l'année 2019 a été évalué à 9.6% en Europe et 1,4% en mer du Nord par rapport à la période de référence 1960-1979 (ICES, 2019). Pour les anguilles jaunes, le niveau de recrutement européen en 2019 atteint 26.4% par rapport à la même période de référence (figure 6) (ICES, 2019). Malgré les plans de gestion qui a été mis en place en Europe la proportion d'anguille reste insuffisante au maintien et au rétablissement de la population d'anguilles (ICES, 2016).

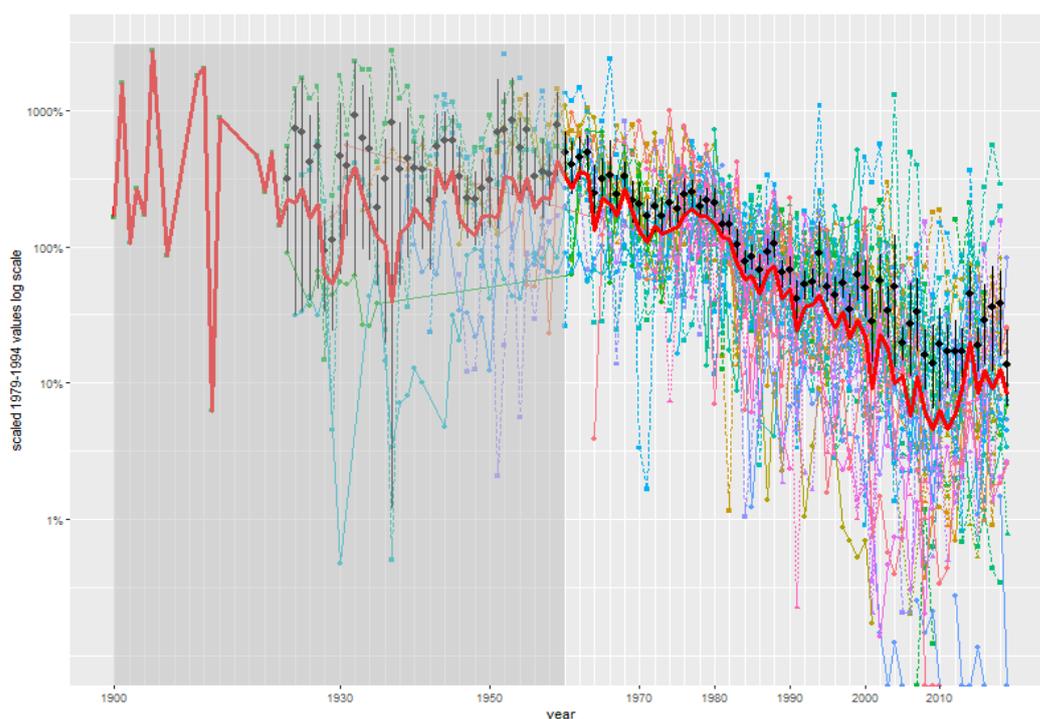


Figure 6: Séries chronologiques (44 sites) du recrutement des civelles et des anguilles jaunes dans les rivières européennes. Chaque série chronologique a été ajustée à sa moyenne de 1979–1994 (ICES, 2019)

1.5.1.2.- En Belgique

Dans la région de Flandre, les premiers suivis en ce qui concerne la montaison des civelles sur l’Yser ont commencé en 1964. Le phénomène de diminution des stocks d’anguilles européennes a été constaté au niveau de toutes les stations régulièrement surveillées (Belpaire et al., 2018). En 1974, la masse de civelles qui étaient capturées à la station de Nieupoort situé à l’embouchure de l’Yser dans la mer du Nord était de 946,0 kg, alors qu’en 2018, celle-ci ne s’élevait qu’à 1,8kg (figure 8) (Belpaire et al. 2019). En Wallonie, les observations ne sont pas meilleures, l’état des stocks est mauvais et sont réduits à la présence de quelques anguilles femelles âgées qui sont sur le point d’entamer leur dévalaison pour aller se reproduire (Nzau Matondo & Ovidio 2016). La remontée d’anguilles jaunes de la Meuse belge provenant de la mer du Nord a été évaluée en 2019 à 1,2% par rapport au niveau record de 1992 dans la station de Lixhe située à 323 km de la mer du Nord (figure 7) (Nzau Matondo et al., 2020). La remontée des anguilles jaunes dans la Meuse belge depuis la mer du Nord en passant par la Meuse néerlandaise s’est effondrée de près de 99% en 28 ans de monitoring intensif des échelles à poissons situées à 340 km de la mer du Nord (Nzau Matondo et al., 2020). Si aucune action n’est réalisée, il est fort probable que le départ progressif des dernières anguilles argentées ne soit plus compensé par la colonisation des jeunes recrues avec comme conséquence la disparition de l’anguille européenne dans le bassin hydrographique de la Meuse en Wallonie (Nzau Matondo & Ovidio, 2018).

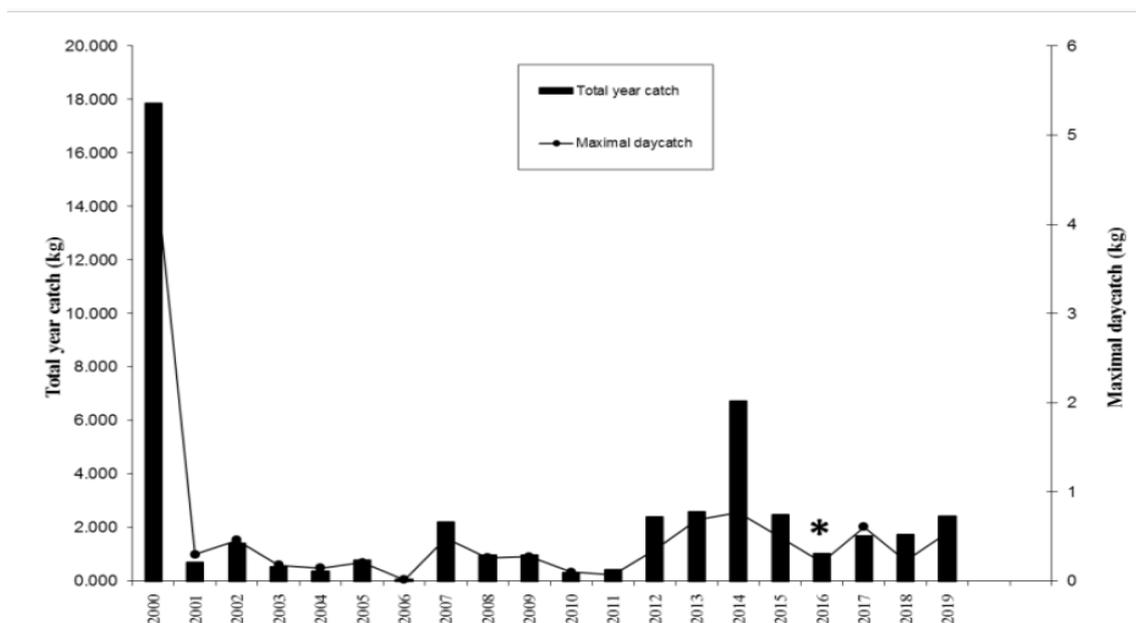


Figure 7: Variation annuelle des captures de civelles transparentes dans l’Yser à la station de Nieupoort de 2000 à 2019. *. Les données pour l’année 2016 sont incomplète non représentatives, en raison de problèmes techniques au niveau des écluses, et ne sont utilisé à des fins statistiques, ni pour l’évaluation des stocks internationaux (Belpaire, 2019).

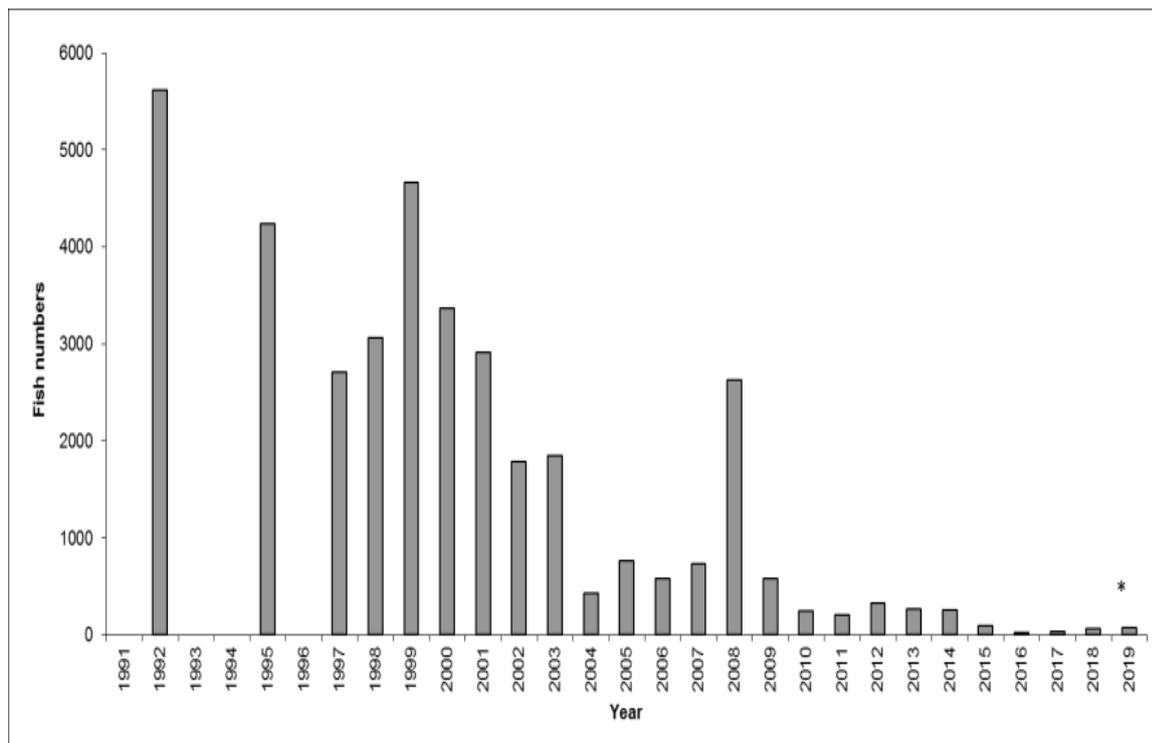


Figure 8: Variation du nombre d'anguilles jaunes ascendantes capturée dans la passe à poissons de Visé-Lixhe entre 1992 et 2019. Données de l'Université de Liège (Nzau Matondo et al., 2015; Nzau Matondo et Ovidio, 2016). * Les données pour 2019 (n = 73) incluent les anguilles sauvages (n = 40) et les anguillesensemencées (n = 33) (Belpaire, 2019).

1.6.- Causes de la diminution des stocks

1.6.1.- Causes naturelles

Pathogènes : L'*Anguillicola crassus* qui affecte la vessie natatoire de l'anguille (Lefebvre et al., 2013) et provoque des lésions et la perte d'élasticité progressive de la vessie natatoire, ce qui la rend moins fonctionnelle pour assurer l'équilibre lors de la dévalaison vers la Mer des Sargasses (Dhaoudi et al., 2014). Ce nématode se nourrit du sang de l'anguille (Ladjama, 2010). Il y a également l'*Anguillid herpes virus* qui agit sur la croissance et entraîne des troubles d'ingestion chez l'espèce au stade juvénile et adulte, et aussi le *Pseudodactylogyrus spp* qui est un parasite monogène qui provoque la diminution de la survie en attaquant les branchies de l'anguille (Gérard et al, 2013).

Prédation : La prédation est exercée par des espèces piscivores provenant soit des milieux marins soit des milieux d'eau douce, (mammifères et oiseaux aquatiques) (Lindquist, 1979; Bruslé, 1994; Philippart, 2007). Elle est la principale cause de mortalité des anguilles aux stades leptocéphales et civelles tandis que les anguilles jaunes ou argentées sont victimes des mammifères comme la loutre, les hérons grèbes et les mouettes (Bruslé, 1994; Campton et al., 2012). Le régime alimentaire de certains prédateurs par exemple le cormoran *Phalacrocorax carbo* contenait entre 4,4 et 14,5 % d'anguilles jaunes (Philippart, 2007 ; Oumarou, 2019).

1.6.2.- Causes anthropiques

Pollution des eaux : Les contaminants organiques (POCs, EDPs, BPCs) et inorganiques comme le mercure provoquent une diminution des réserves lipidiques et agissent sur la texture et la chair des anguilles (Caron *et al.*, 2016). Ils sont de véritables perturbateurs endocriniens responsables du dysfonctionnement du système reproducteur de l'espèce et engendrent une diminution importante des réserves de graisse pourtant capitales lors de la migration du stade anguille argentée ainsi que le développement de tumeurs épidermiques (Bruslé & Quignard, 2006) et rendent la vessie natatoire non fonctionnelle (Dekker et Van Willigen, 1988). Ainsi le retour vers la mer de sargasse pourrait être compromis (Bruslé, 1994).

Altération de la qualité et pertes des habitats : L'anguille est une espèce benthique qui est sensible aux modifications que peuvent subir le substrat des cours d'eau. Les travaux de dragage, de remodelage des lits des cours d'eau et de drainage des zones humides perturbent grandement sa survie, parce qu'ils altèrent la qualité des habitats et limitent l'accès à l'alimentation et aux habitats diversifiés. Les barrages constituent des obstacles à la migration des anguilles. Ils induisent d'abord, pour les jeunes anguilles lors de la montaison une limitation de l'accès aux habitats de croissance (Lafaille *et al.*, 2005b). Ensuite, ils provoquent des blessures et des mortalités lors de la dévalaison des anguilles argentées (McCarthy *et al.*, 2008; Calles *et al.*, 2013). Puis, en amont des barrages, les anguilles argentées sont bloquées et retardées dans leur dévalaison (McCarthy *et al.*, 2008; Piper *et al.*, 2013) ce qui diminue leur chance d'atteindre la mer des Sargasses et de se reproduire (Travade *et al.*, 2010) à cause de la diminution des réserves énergétiques (Winter *et al.*, 2006). Ces entraves à la libre circulation limitent l'espace vital de l'espèce et réduisent l'accès aux habitats propices pour leur croissance (Philippart & Ovidio, 2009; Podgorniak *et al.*, 2018).

Surpêche et Réchauffement climatique : Aux stades de civelle et d'anguille argentée, l'espèce est très exploitée par les asiatiques et les européens (Freyhof & Kottelat, 2008). Sa pêche est une activité socio-économique très importante en Europe (Campton *et al.*, 2012) et sa valeur commerciale a été estimée à environ 180 millions d'euros/an (Feunteun *et al.*, 2000). Dans la gastronomie, les civelles constituent un plat très recherché (Dekker, 2004), à cause de sa chair ferme, grasse et sans arête. La surpêche pratiquée pour la satisfaction des besoins croissants de la population humaine nuit gravement à la survie de l'espèce (ICES, 2018; Drouineau *et al.*, 2018).

Le réchauffement climatique est à l'origine des déviations des courants océaniques et du Gulf Stream, il diminue de façon considérable la productivité des océans, entraîne une migration transocéanique très longue chez les larves leptocéphales voire même impossible et une stratification thermique accentuée en mer des Sargasses conduisant à une production primaire faible (Drouineau *et al.*, 2018). Il y a aussi une réduction au niveau des ressources trophiques, qui impacte la survie et la croissance des larves pendant la migration (Renault, 2011; Moussaoui et Naneche, 2013). Il engendre une diminution du recrutement des larves et une baisse de la taille des civelles (Feunteun *et al.*, 2002; Dekker *et al.*, 2004). Le changement climatique entraîne aussi une surabondance des cyanobactéries au détriment de la production des diatomées (Miller & Tsukamoto, 2015), et la réduction de la production de l'aliment principal des leptocéphales la « neige marine » (Riemann *et al.*, 2010).

1.7.- Pistes de rémédiations à la diminution des stocks

Les directives de rémédiations des stocks d'anguilles ont été élaborées en 2007 par un règlement instituant des mesures pour le contrôle des stocks faces aux facteurs qui perturbent la croissance. De part, son statut critique sur l'UICN, elle est placée en Annexe II de la convention sur le commerce international des espèces de la faune et de la flore sauvage qui sont menacées d'extinction (CITES, 2017). Actuellement, l'anguille fait l'objet d'une politique de gestion sur le continent européen. Le règlement (R (CE)) du 18/09/2007 de l'UE demande aux Etats membres de mettre en place des systèmes de gestion par le contrôle, la surveillance, le repeuplement et le permis d'importation et d'exportation. L'objectif de chaque plan de gestion c'est de réduire la mortalité due aux facteurs anthropiques et d'assurer au minimum 40% d'échappement vers la mer de la biomasse d'anguille argentée pristine (n'ayant subi aucune action anthropique). Les mesures prévues par le règlement pour reconstituer les stocks d'anguilles sont les suivants :

- Réduire l'activité de pêche commerciale et limiter la pêche récréative ;
- Faciliter le franchissement des rivières et améliorer les habitats dans les cours d'eau ;
- Transporter des anguilles argentées depuis les eaux intérieures vers des eaux où elles puissent migrer librement vers la mer des Sargasses ;
- Lutter contre les prédateurs, favoriser l'aquaculture et Repeupler les zones exemptes des facteurs qui impactent le stock ;
- Arrêter temporairement les turbines des centrales hydroélectriques lors de la dévalaison.

Le Plan anguille en Belgique a été faite en fin 2008 et accepté en janvier 2010 par l'Union Européenne. En Wallonie, certaines mesures de sauvegarde et protection de l'espèce sont mises en œuvre dans le cadre du Plan Anguille belge qui a été élaboré. Parmi elles, il y a l'amélioration des voies de remontée, la réduction de mortalité à la dévalaison, le renforcement des stocks locaux par des techniques de repeuplements réguliers, l'interdiction de consommation de l'anguille quelle que soit sa taille corporelle (Oumarou, 2019).

1.8.- Repeuplement

Le repeuplement est une mesure de conservation pratiqué depuis le début du 20^{ème} siècle, dont le but est de déverser le plus souvent que possible des civelles ou des anguillettes dans des milieux naturels dont l'état écologique est bon, où les potentialités d'accueil et de croissance sont sous-utilisées par l'espèce. Mais, l'objectif à long terme est d'augmenter le nombre de géniteurs sains capable de rejoindre la mer (Desprez et al., 2013). Les civelles sont pêchées dans les estuaires des côtes françaises ou anglaises (Westin, 2003) où elles sont maintenues pendant quelques jours en captivité (Feunteun, 2002). La pratique est encouragée par l'Union européenne pour la restauration du stock d'anguille européenne (EU, 2007) et est largement pratiquée. Mais les suivis et les évaluations d'efficacité sont encore rares (Wickström & Sjöberg, 2014) , surtout en ce qui concerne la densité au déversement pour un rendement élevé en jeunes recrues, le sex-ratio des individus produits, le type de matériel biologique, la qualité des adultes et le comportement des jeunes recrues dans un cours d'eau.

En Belgique, plus précisément en Wallonie, la Commission Provinciale du Fonds piscicole de Liège présente des statistiques de l'existence de la pratique du repeuplement au cours des années 1967-1980 pendant les périodes des prises importantes de civelles en Flandre. Vers les années 2011-2019, dans le cadre de l'implantation du Plan d'Anguille belge, un intérêt particulier s'est développé pour le repeuplement en civelle importée (Philippart et al., 2010; Nzau Matondo et al., 2015). De 1967 à 1999 plus de trois décennies 2 056 300 civelles de 0,36 g et 12 024

anguilles jaunes de 42 g ont été déversées dans la Meuse liégeoise, la dérivation de la Meuse, le Canal Albert, la Meuse entre Ben-Ahin et Flémalle. De 2011 à 2019 moins d'une décennie 3 100 229 civelles de 0,2 g sont déjà déversées dans plusieurs cours d'eau appartenant aux bassins hydrographiques de la Meuse, du Rhin et de l'Escaut (figure 9) (Philippart et al., 2010; Ovidio et al. 2015; Nzau Matondo et al., 2019).

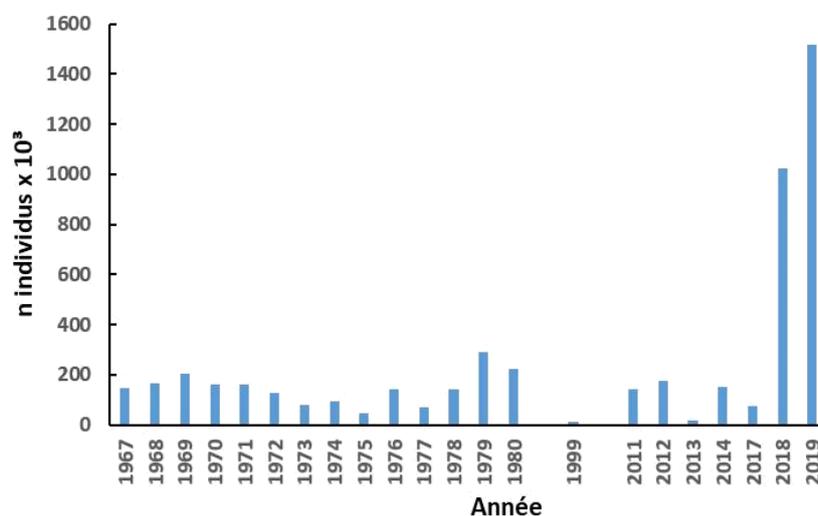


Figure 9: Historique de repeuplement en anguille européenne (civelles et anguillettes) en Wallonie de 1967 à 2019. (Rapport 2019, Commission piscicole de Liège. Anguille Province de Liège) (Oumarou, 2019).

a) Avantages

Des travaux de recherche récents montrent que les anguilles issues du repeuplement survivent à un taux de 45% (Simon & Döner, 2014), avec un taux de croissance de 0,5-10,5 cm/an (Simon et al., 2013; Ovidio et al., 2015), ils colonisent des habitats ayant les caractéristiques hydromorphologiques, physico-chimiques et trophiques variées (Nzau Matondo et al. 2019), et s'argentent dans les milieux aquatiques imposés (Prigge et al., 2013; Sjöberg et al. 2008). Comme des anguilles provenant de remontée sauvage ou naturelle, elles trouvent les voies de dévalaison vers la mer de Sargasses (Sjöberg et al., 2017). La pratique du repeuplement ne présente aucun risque génétique quand elle s'opère à l'intérieur de l'aire de distribution de l'espèce (ICES, 2009). Le repeuplement agit directement sur la hausse des stocks locaux d'anguilles (Ovidio et al. 2015; Nzau Matondo et al. 2019). A long terme, il permet l'augmentation des stocks de géniteurs d'anguilles argentées qui dévalent vers la mer de Sargasses au niveau des bassins hydrographiques. Les taux intéressants des apports du repeuplement dans l'échappement des anguilles argentées de 28-40% (Sjöberg et al., 2008) et de 0-40% (Wickström et al., 2010) ont été observés dans certains bassins hydrographiques. Le repeuplement bien appliqué permet de mieux comprendre l'adaptation, la dispersion, la croissance, la survie et la dynamique de colonisation des individus transloqués dans un nouvel environnement (Baltus, 2019).

b) Inconvénients

Le repeuplement présente aussi des inconvénients comme les risques de propagation des maladies et des parasites associés aux civelles transloquées (Van Den Tillart *et al.*, 2004; Williams & Threader, 2007), les risques de repeupler des matériels biologiques (civelles, anguillettes) de moindre qualité contaminés aux polluants chimiques (Palstra *et al.*, 2006), les risques de dispersion des individus de stade avancé ayant déjà été sélectionnés pour des cours d'eau donateurs, les risques de produire des peuplements surdensitaires avec une sex-ratio biaisé en faveur des mâles (Nzau Matondo *et al.*, 2019). Ces risques peuvent réduire considérablement les efforts de repeuplement de soutien aux stocks locaux et ceux de conservation de l'espèce (Oumarou, 2019).

c) Croissance et Survie

Des observations ont montrées que la croissance des anguilles provenant du repeuplement est comparable à celle des anguilles recrutées naturellement (Lin *et al.*, 2007). L'habitat est la seule chose qui induirait une différence de croissance, parce que les anguilles des estuaires, des zones côtières et des lagons grandissent plus vite (Lin *et al.*, 2007), elles ont un taux de graisse plus élevé (Ladjama, 2010) et une infestation par *Anguillicola crassus* plus faible (Marohn *et al.*, 2013) que celles qui vivent dans les eaux douces, peu importe leur histoire de vie (Lin *et al.*, 2007). Le contenu en graisse et la présence des parasites conduisent à une diminution du potentiel reproducteur des individus vivant en eau douce. Bien que le repeuplement en eau douce permet de produire des individus viables, certains remettent en question son utilité et son efficacité, car les anguilles qui habitent les zones côtières et les eaux saumâtres paraissent en meilleure santé que celles des eaux douces (Marohn *et al.*, 2013).

d) Dispersion

Dans la zone d'accueil, il y a une diminution d'environ 85 % du nombre d'individus un an après le repeuplement (Bisgaard & Pedersen, 1991; Pedersen, 2009). Cette disparition immense est due à la mortalité, la dispersion et à l'émigration des civelles (Pedersen, 2009), qui nagent à une vitesse de 0,64 km/jour (White & Knights, 1997a). Les anguilles migrent vers l'amont et vers l'aval du point de déversement dans une amplitude qui varie selon les conditions du repeuplement (Ovidio *et al.*, 2015). Une dispersion plus faible aurait eu lieu si la densité de repeuplement était plus faible c'est-à-dire inférieur à 1 anguille/m², ce qui montre l'importance de prendre en considération la capacité du milieu qui accueille les anguilles (Pedersen, 2009).

1.9.- Problématique et justification de l'étude

Les repeuplements à des fins scientifiques sont financés par l'Europe (FEAMP) et la Wallonie (le SPW) depuis 2013. Ils sont entrepris par le Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH) de l'Université de Liège avec comme objectif principal d'optimiser la pratique du repeuplement pour un recrutement maximal en jeunes anguilles dans les cours d'eau. En 2013, des civelles d'anguille européenne provenant d'un estuaire du Royaume-Unis ont été déversées dans 3 rivières de petite taille ayant des caractéristiques typologiques différentes dans le sud de Belgique. Chacune de ces rivières a eu un seul point de déversement (Seleck, 2018). De 2013 à 2017, des suivis scientifiques soutenus par pêche électrique et

campagne télémétrique ont été réalisés sur ces essais de repeuplement surdensitaire (1-1,5 kg de civelles lâché en 1 seul point) réalisés dans les trois ruisseaux de tête de bassin. Les acquis scientifiques de ces premiers essais ont été la connaissance de la densité de repeuplement, de la distance entre les sites de relâcher, des types de rivières à repeupler et les profils comportementaux des recrues anguilles (Ovidio et al. 2015; Nzau Matondo et al. 2019).

De 2017 à ce jour, ces acquis ont été transposés sur des rivières de plus grande dimension. Six cours d'eau de bonne capacité d'accueil et typologiquement différents sur les plans hydromorphologique, physico-chimique et trophique sont utilisés pour réaliser le deuxième essai de repeuplement avec dispersion des civelles dans le milieu (densité 2,4 kg/ha en plusieurs sites dans une rivière) dans le but d'affiner la pratique du repeuplement en milieu continental. Ce deuxième essai de repeuplement a permis à ce jour la caractérisation des habitats optimaux pour un recrutement-rétention maximal à l'échelle du secteur de cours d'eau (survie, croissance, dispersion, état sanitaire) de jeunes anguilles de 0+, 1+ et 2+ (Colson, 2018 ; Baltus, 2019, Oumarou, 2019). En revanche, l'aspect de l'étude comparative à l'échelle du cours d'eau et du temps intégrant l'abondance, la croissance, le stade de développement et la dispersion des recrues anguilles demeurent à ce jour peu abordé. Ceci est particulièrement pertinent d'autant plus l'espèce est déjà biologiquement très dynamique d'un point de vue de la taille corporelle, de l'exploitation de l'habitat dans les cours d'eau et du stade de développement.

Cette étude s'inscrit parmi les recherches qu'effectue le LDPH dans le cadre de ce projet. Elle a pour but de caractériser dans la dimension intégrant l'échelle des cours d'eau typologiquement différents et l'échelle temporaire depuis le déversement des civelles, l'abondance, la croissance, le stade de développement, la faune aquatique sympatrique et la dispersion des anguilles recrutées des opérations de repeuplement réalisées en 2017. La pêche électrique a été le moyen d'échantillonnage utilisée pour récolter les données dans les six cours d'eau étudiés.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

- Étudier l'abondance en nombre, densité et biomasse;
- Établir la relation poids-longueur ;
- Présenter la distribution des tailles et du facteur de condition ;
- Étudier l'accroissement annuel de la taille corporelle (la croissance) chez les individus marqués et non marqués ;
- Caractériser la relation entre le coefficient d'allométrie et le facteur de condition et, l'accroissement annuel de la taille corporelle et le cours d'eau;
- Caractériser le stade actuel de développement;
- Décrire la dynamique de dispersion ;
- Identifier la faune aquatique sympatrique.

II.- Méthodologie

2.1.- Matériel utilisé

Pour chaque séance de pêche électrique de capture, marquage et recapture, les matériels suivants ont été utilisés: des épuisettes, des anodes de types EFKO 3,0 KVA, une cathode, des groupes électrogènes, des seaux de 5l, une mire et deux mesureurs de 100 mètres chacun, (Baltus, 2019).

2.2.- Localisation de la zone d'étude

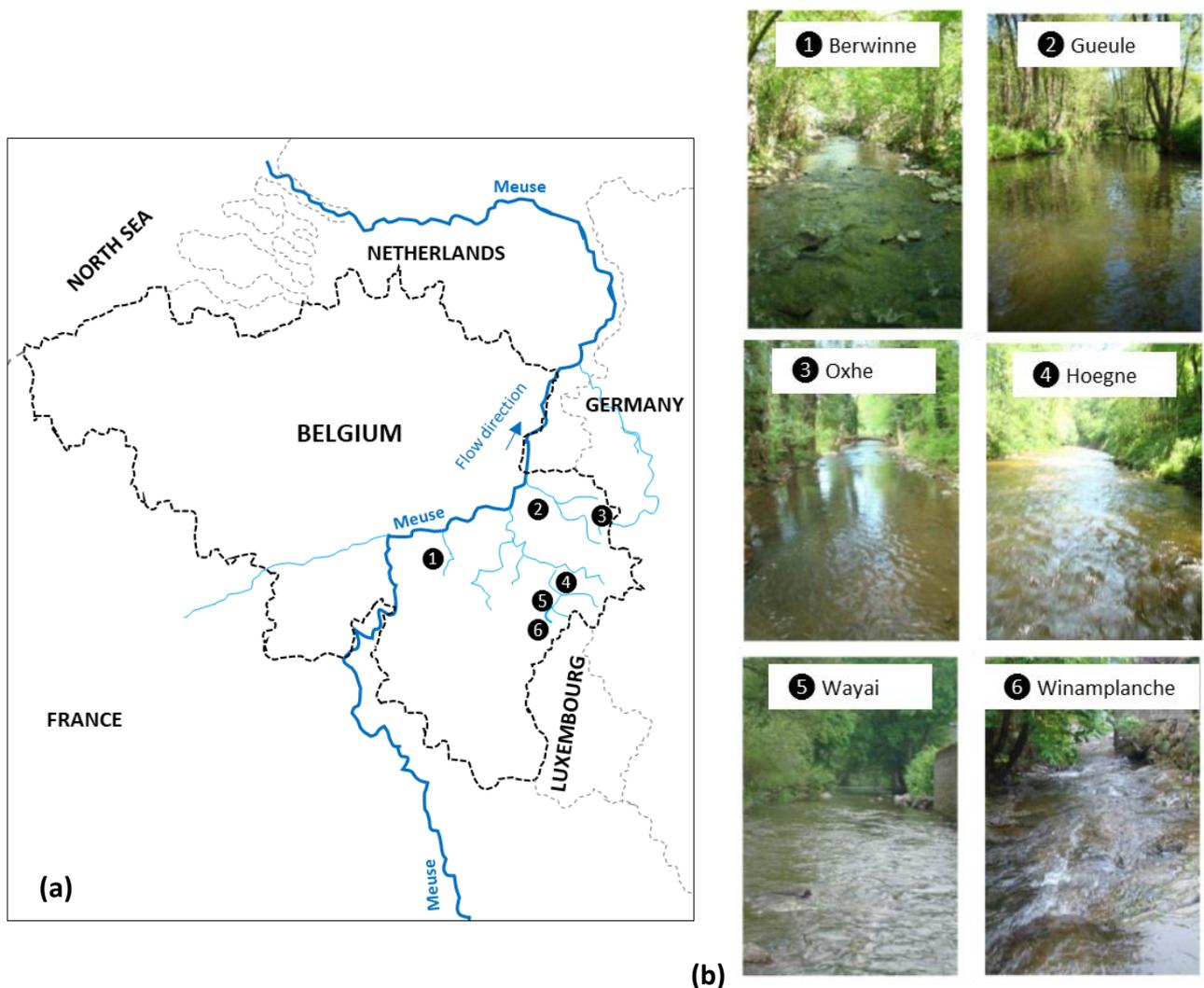


Figure 10: (a) Carte de localisation et (b) images des six rivières étudiées (l'Oxhe, le Winamplanche, le Wayai, la Hoëgne, la Berwinne et la Gueule) dans le bassin hydrographique de la Meuse (Colson, 2018).

Cette étude a été réalisée dans 6 cours d'eau typologiquement différents sur le plan hydromorphologique, physicochimique et trophique, appartenant tous au bassin hydrographique de la Meuse Belge et ayant bénéficié des opérations de repeuplement scientifique en civelles réalisées le 21 mars 2017. Ces cours d'eau sont la Berwinne, la Gueule, la Hoëgne, l'Oxhe, le Wayai et le Winamplanche. Le Wayai et le Winamplanche sont des cours d'eau de typologie ardennaise tandis que la Berwinne, la Gueule, la Hoëgne et l'Oxhe sont de typologie condrusienne. Trois de ces 6 rivières notamment l'Oxhe, la Berwinne et la Gueule sont des affluents directs de la Meuse. Le Winamplanche est un affluent direct du Wayai qui se jette à son tour dans la Hoëgne. La Hoëgne est un affluent direct de la Vesdre qui se jette en son tour dans l'Ourthe qui est un affluent direct de la Meuse. (Figure 10).

La Gueule coule sur des couches composées de grès ou de calcaire. La Berwinne a un lit limoneux caillouteux surplombant une couche calcaire. L'Oxhe est caractérisée par un ruissellement sur des fonds limoneux alluvionnaires et des affleurements de schiste quartzeux. La Hoëgne, le Wayai et le Winamplanche coulent sur des lits composés des couches composées de schiste et de calcaire (Tableau 2) (Oumarou, 2019).

La Gueule et l'Oxhe se situent dans des zones géologiques à pente moyenne. Mais la Gueule est le seul affluent qui se jette dans la Meuse du côté des Pays-Bas et qui possède une zonation piscicole de type ombre inférieure (Huet, 1949). Les 5 autres rivières sont de zonation piscicole de type truite. Parmi les sites d'étude, le site d'étude le plus proche de la Meuse (3km) se situe dans l'Oxhe. Le site d'étude de la Berwinne est à 18km de la Meuse tandis que ceux des 4 autres rivières sont à plus de 30 km de la Meuse. Tous les sites d'étude sont éloignés de la mer du Nord et sont situés à plus de 320 km de l'estuaire de la Meuse. La superficie des bassins versants des rivières étudiées varie entre 46,32 (Oxhe) et 380 km² (Gueule).

Le débit moyen le plus élevé est de l'ordre de 3,17 m³/s et est rapporté dans la Hoëgne. Les 6 cours d'eau qui font l'objet de cette étude présentent un régime thermal très proche. L'indice biotique global normalisé montre une qualité de l'eau moyenne de ces cours. En revanche, l'indice biotique d'intégrité piscicole met une précision sur une classification de qualité de l'eau de ces cours d'eau et montre une qualité variant entre le niveau médiocre dans la Gueule et le niveau très bon dans la Hoëgne, le Wayai et l'Oxhe. Elle est de niveau moyen dans la Berwinne. L'indice « diatomée » range ces rivières entre le niveau moyen dans la Gueule et le Wayai et le niveau très bon dans la Hoëgne. L'indice « diatomée » dans la Berwinne est de niveau bon (Tableau 2) (Oumarou, 2019).

Tableau 2: Description des 6 rivières étudiées.

Rivière	Berwine	Guele	Hoëgne	Wayai	Winamplanc he	Oxhe
Typologie	Condrusienn e	Condrusienne	Condrusienn e	Ardennaise	Ardennaise	Condrusienn e
Géologie	Sol limono- caillouteux sur calcaire	Calcaire + grès	Schiste + calcaire	Schiste + calcaire	Schiste (Calcaire = ?)	Schiste, quartzeux + limon alluvionnair e
Pente	Forte	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne
Zonation	Truite	Ombre inférieure	Truite supérieure	Truite inférieure	Truite	Truite
Confluenc e	Meuse belge	Meuse néerlandaise	Vesdre	Hoëgne	Wayai	Meuse belge
Affluent principau x	R. d'Asse Bel R. de Mortier Bolland	Roebach, R. de Vivier, Rodbushkesbac h, Tunishbach, Banhagenbach	Statte Wayai	Winamplanc he Chawion	-	R. de Falogne
Distance entre le site d'étude et la Meuse (km)	18	43	34	34	38	3
Distance entre le site d'étude et la mer (km)	341	324	377	376	381	366
Bassin versant (km²)	118	380	189	93.78	-	45.32
Débit moyen (m³/s)	0,505	1,277	3,17	1,386	-	-
Indice de qualité des eaux						
IBGN	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	-	Moyen
IBIP	Moyen	Médiocre	Très bon	Très bon	-	Très bon
IPS	Bon	Moyen	Très bon	Moyen	-	Bon

IBGN = indice biotique globale normalisé, IBIP = indice biotique d'intégrité piscicole, IPS = Indice diatomée (aquabio.environnement.wallonie.be)

2.3.- Caractéristiques hydromorphologique et physicochimique

La caractérisation hydromorphologique des secteurs étudiés présente non seulement une diversité typologique de tous les secteurs au sein d'une même rivière, mais aussi entre les cours d'eau. Le secteur de la Hoëgne est le plus large secteur étudié. La Gueule est le plus profond. Le Wayai et la Hoëgne montrent un écoulement dominant de type rapide. Dans la Berwinne, la Gueule et l'Oxhe, il y a une diversité très élevée de faciès d'écoulement composée de plat lentique, de courant plat et de radier. Un substrat de fond à granulométrie excessivement grossière a été identifié dans le Wayai et dans la Hoëgne, un autre à granulométrie à tendance fine a été identifié dans la Gueule, dans le Winamplanc et dans l'Oxhe. Le substrat de fond grossier, présentant un équilibre entre les blocs et les pierres grossières a été observé dans la

Berwinne et dans la Hoëgne. Tous les secteurs étudiés sont couverts par la ripisylve à des degrés divers, mais le Wayai et la Gueule sont les secteurs les moins couverts (Colson, 2018). Sur le plan de vue physicochimique, les rivières les plus froides sont le Winamplanche et la Hoëgne. Ils ont un pH légèrement acide, une conductivité très basse, une dureté totale et une dureté carbonatée, carbonates de calcium. En ce qui concerne la richesse de la faune aquatique, elle varie entre 3 espèces de poissons pour l'Oxhe et 16 espèces de poissons pour la Gueule. La présence de la truite fario est très remarquée dans l'Oxhe, le Wayai, le Winamplanche et la Hoëgne. Dans la Gueule on retrouve le chevesne et le chabot dans la Berwinne (Oumarou, 2019). Les caractéristiques physico-chimiques, hydromorphologiques et la diversité typologique qui existent entre les rivières étudiées sont résumées et présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: Paramètres hydromorphologiques, physicochimiques et composition de la faune aquatique des cours d'eau étudiés de 2017 à 2019

Valeurs moyennes	Berwinne	Gueule	Hoëgne	Oxhe	Wayai	Winamplanche
Paramètres Hydromorphologiques						
Largeur	5.3	7.1	8.5	4.7	7.6	5
Profondeur (cm)	19	27.1	25.4	16.3	23.7	25.6
Substrats dominants	B- PG	PF - GG	B -PG	PG -PF	B - GG	R
Faciès d'écoulement	C -PL	CL -PC	R -PC	PC -PL	PC - R	PC -PL
Couverture	C - NC	C	C	C - NC	C -NC	C -NC
Paramètres Physico-chimiques (mg/l)						
T° moyenne	11.3	11.3	10.6	10.8	11	10.4
Conductivité (µs/cm)	611.9	590.3	152.7	550.6	226	112.5
pH	7.6	7.7	6.6	7.7	7.3	6.7
Ammonium	0.05	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05
Nitrate	2.9	3.8	1.2	2.8	1.9	1.5
Nitrite	0.1	0.1	0.01	0.04	0.05	0.02
Phosphate	0.3	0.3	0.03	0.09	0.04	0.02
Dureté carbonatée (°GH)	6.8	8.9	2.3	7.2	3.7	2.5
Dureté totale (°KH)	12.7	12.1	2.8	11.9	4.5	2.7
Carbonate de Calcium	97.7	82.4	18.75	82.5	25	20
Dioxyde de Silicium	3.7	4.2	2.7	3.8	3.7	3.4
Fer	0.1	0.07	0.1	0.04	0.1	0.08
Cuivre	0.09	0.08	0.08	0.1	0.08	0.1
Oxygène	10	10.4	10.8	10.7	10.7	10.4

Substrats dominants: B =Bloc ; PG = Pierres Grossières ; PF =Pierres Fines ; GG =Graviers Grossiers ; R = Roches.

Faciès d'écoulement: C = Courant ; PL = Plat Lentique ; PC = Plat Courant ; CL = Chenal Lentique ; R = Rapide.

Couverture : C = Couvert ; NC = Non Couvert.

2.4.-Technique de repeuplement

Sur les côtes françaises, au niveau du golfe de la Gascogne s'installe la société Gurruchaga Marée (Handaye, France) qui a fourni les 17,3 kg de civelles utilisées comme matériel biologique lors des opérations de repeuplement. Ces opérations ont été réalisées le 21 mars 2017

dans les 6 cours d'eau qui ont été sélectionnés pour la dispersion des civelles (cohorte 2017) et ceci dans plusieurs sites espacés de 250 m au sein d'un même cours d'eau. La sélection des cours d'eau a été faite sur la base de leur bonne capacité d'accueil et de leur diversité typologique. Les civelles ont été individuellement mesurées (Moyenne \pm SD : 67 \pm 4,4mm) et pesées (0,23 \pm 0,05g). Elles appartenaient aux stades pigmentaires (civelle, FI) et ont été déversées dans les cours d'eau sélectionnés le jour de leur réception. Les sites de relâcher ont d'abord fait l'objet de balisage tous les 250 m et géoréférencés. Le nombre de sites par rivière varie de 6 (Hoëgne) à 11 (Berwinne). La densité de repeuplement utilisée était de 2,4 kg de civelles/ha. Elle a été déterminée sur la base des résultats obtenus dans le ruisseau de référence réputé « bon recruteur en civelles », le Ry de Mosbeux, au cours des essais de repeuplement scientifique de 2013 (Ovidio et *al.*, 2015). L'Oxhe dispose d'un seul site de relâcher par le fait que ce cours d'eau a accueilli le stock restant des civelles après le déversement de 2017 réalisé dans la Berwinne, la Gueule, l'Hoëgne, le Wayai et la Winamplanche (Oumarou, 2019).

2.5.- Échantillonnage

L'échantillonnage pour évaluer l'efficacité du repeuplement a eu lieu moyennant l'utilisation de la pêche électrique réalisée au niveau des secteurs repeuplés appartenant aux 6 rivières sélectionnées. Les données exploitées dans ce cadre cette étude concernent les données empilées au cours des sessions de pêche électrique qui ont eu lieu en automne de 2017, 2018 et 2019.

2.5.1.- Pêche électrique de capture et marquage

La pêche électrique a permis la capture des jeunes recrues anguilles, le marquage des individus capturés et la localisation géographique du lieu de capture des anguilles dans un secteur/cours d'eau. Cette technique a conduit à l'évaluation des paramètres biologiques des recrues anguilles comme l'abondance, la croissance, le stade de développement, la dispersion et la faune sympatrique. La méthode de capture par pêche à l'électricité consiste à créer un courant électrique entre une cathode (pôle négatif) et une anode (pôle positif), les deux sont reliés à un groupe électrogène. Ce courant induit une nage forcée en direction de l'anode. La cathode est plongée dans la rivière à proximité du groupe électrogène. Au moment où l'utilisateur plonge l'anode dans l'eau, le courant se forme entre les deux pôles. Les anguilles qui sont proche de l'anode sortent de leurs refuges et peuvent être capturées à l'aide d'une épuisette. Rappelons que les anguilles ont la particularité d'exhiber un comportement cryptique, ce qui rend difficile leur capture. Le secteur de pêche est balisé au centimètre près avec l'aide d'un décimètre déployé sur une longueur de 100 m vers l'amont (+100) et vers l'aval (-100) par rapport au site de déversement, ce qui donne un linéaire total de pêche de 200 m. La pêche a été effectuée en deux passages, de l'aval vers l'amont.

La capture de chaque jeune anguille a été suivie directement de la caractérisation de l'endroit de sa capture (micro-habitat) en termes de la profondeur d'eau, de type de substrat de fond, et d'écoulement et de couverture, et la localisation latérale dans la rivière (rive gauche, rive droite, milieu) et longitudinale (distance par rapport au site de relâcher des civelles) dans la rivière (Colson, 2018). L'anguille capturée a été ensuite conduite à la table de contrôle pour effectuer des mesures biométriques, des observations parasitaires macroscopiques et un marquage

durable par insertion intra péritonéale d'une puce (pit-tag) de type Radio Frequency Identification (RFID) (Photos, Annexe).

2.5.2. Marquage et relâcher

Les anguilles capturées ont été anesthésiées dans une solution de 2-phénoxy éthanol (0,5 ml/l), mesurées (± 1 mm), et pesées (Kern 440-45N; $\pm 0,1$ g) (Nzau Matondo et al., 2020). A chaque pêche de capture, un total de 5 anguilles par secteur a été prélevé et confié au laboratoire d'Immunologie et Vaccinologie de la Faculté de Médecine Vétérinaire à l'université de Liège pour des analyses fines de l'état sanitaire post-repeuplement. Le marquage a été fait au moyen d'un pit-tag RFID (12 x 2 mm ; 0,095 g dans l'air). Le pit-tag ne contient pas de batterie et n'a aucun effet néfaste sur la santé et le bien-être de l'animal. C'est dans la partie médio-ventrale de la cavité abdominale d'anguille incisée à 2 mm que la puce est logée (Ovidio et al., 2013; Nzau Matondo et al., 2017). L'incision est stérilisée à la bétadine et se cicatrise rapidement sans avoir besoin d'une suture. Après le marquage RFID et le réveil post anesthésique, les anguilles marquées ont été relâchées avec succès à l'endroit précis qu'ils ont été capturés (Colson, 2018 ; Nzau Matondo et al., 2019). Ce marquage permet un suivi durable de l'individu marqué.

2.6.- Analyses statistiques

Après les séances de pêche de capture, les données recueillies ont été encodées sur le logiciel Excel et traitées sur R. Ces logiciels ont été utilisés pour effectuer l'ensemble des calculs comme le pourcentage, la moyenne, les centiles, le minimum, le maximum et aussi pour réaliser les différents graphiques. L'abondance des recrues anguilles pour chaque année est exprimée en nombre d'individus capturés, densité (nombre d'individus/surface pêchée) et biomasse (nombre d'individus * poids moyen).

La croissance est analysée en termes de l'évolution de la longueur totale (individus marqués, individus non marqués et le mélange de ces 2 groupes) en fonction de l'âge post-repeuplement, de l'accroissement annuelle de la longueur totale chez les individus marqués et les individus non marqués et chez les individus marqués, de l'accroissement annuelle de la longueur totale chez les individus marqués entre les rivières et de la relation poids-longueur, la distribution des classes de tailles, le coefficient d'allométrie et le facteur de condition des recrues anguilles. Pour calculer la relation poids-longueur, on a utilisé la régression linéaire. Les calculs de cette relation ont été fait à partir de l'équation $P = a*LT^b$, transformer en $\log_{10}(P) = \text{Log}_{10}(a) + b*\text{Log}_{10}(LT)$, dont le but est de réduire la variabilité et d'homogénéiser les variables. Dans cette équation, P correspond au poids en g ; LT est la longueur totale en cm, a est le coefficient de la forme du corps et b représente le coefficient allométrique de croissance. Si le coefficient b est égal à 3 cela indique une croissance isométrique en poids et en longueur, par contre s'il est inférieur à 3 cela traduit une croissance plus importante en longueur qu'en poids. Mais, lorsque le coefficient est supérieur à 3 c'est le contraire.

Le stade de développement est déterminé par le calcul des indices/stades d'argenture (Durif et al. 2003). Il y a 5 stades chez les femelles : stades FI et FII, phase de croissance ; le stade FIII, phase pré-migratoire et les stades FIV et V, phase migratoire de l'espèce (anguille argentée). Chez les mâles, on distingue moins de stades (2 stades : MI (apparition des gonades, MII (MIIs-sédentaires et MIId – individus argentés dévalants) parce qu'ils se métamorphosent à des tailles

inférieures à celles des femelles. L'indice/stade d'argenteure est calculé suivant la formule suivante :

$$Si = Constante_i + (L * L_i) + (P * P_i) + (LP * LP_i) + (moyenne DO * DO_i)$$

Où Lt : longueur totale du corps ; P : poids corporel, LP : longueur de la nageoire pectorale, DO : diamètre moyen (horizontal et vertical) de l'œil. i constante dépendant des stades. Le Smax donne le stade de l'anguille (Desprez, 2003).

La distribution longitudinale et la distribution latérale des recrues anguilles ont été analysées chaque année (âge) pour chaque rivière. De même, un inventaire de la faune aquatique avec identification des espèces a été réalisé à chaque séance de pêche électrique.

La comparaison de la taille corporelle des recrues anguilles entre les groupes d'âge, celle de la croissance annuelle entre les individus marqués, les individus non marqués et entre les individus marqués entre les rivières et la comparaison du facteur de condition entre rivières ont été faite à l'aide du test de Kruskal-Wallis (KW). Ce test était suivi par le test de Wilcoxon pour réaliser une comparaison par pair entre groupes. Le test de Chi² a été utilisé pour tester la répartition entre l'occupation des habitats amont et l'occupation des habitats aval (dispersion longitudinale) des recrues anguilles 3+ et la répartition entre l'occupation des rives et l'occupation du centre du cours d'eau.

III- RESULTATS

3.1.- Abondance et densité observées

Le bilan des pêches de recensement des anguilles issues du repeuplement montre de 2017 à 2019 que 38,2 ha appartenant à 18 secteurs des 6 rivières ont été pêchés (tableau 3). Ces pêches ont permis de capturer au total 1 119 recrues anguilles (biomasse 18,1 kg) dont 88 individus étaient des recrues anguilles recapturées après leur marquage RFID. Les recrues anguilles 0+ : 2017, 1+ : 2018 et 2+ : 2019 ont été capturées dans tous les cours d'eau recensés. En revanche, on note l'absence de recrues anguilles 0+ : 2017 dans 2 secteurs appartenant à 2 rivières notamment le secteur 5-Pré-au-Pont dans la Hoegne et le secteur 3-Theux dans le Winamplanche. Le recrutement en anguille est maximal en terme de nombre et de biomasse dans la rivière Berwinne (n = 490 ; biomasse = 7,9 kg). Il est en revanche minimal dans le Winamplanche (n = 47 ; biomasse = 0,4 kg). La densité est également maximale dans la Berwinne (densité = 8 individus / 100 m², jusqu'à 13 ind./100 m² en 2017 sur le secteur 2-Val Dieu dans la Berwinne). La densité minimale de 1 ind./m² est observée dans la Hoegne et la Gueule.

Tableau 4: Abondance et densité observées des recrues anguilles 0+ : 2017, des recrues anguilles 1+ : 2018 et des recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées.

Rivières	Secteurs	Date de pêche	Surface pêchée (m ²)	N		Biomasse (g)	Densité (ind./m ²)	N recapturé	N civelle déversées
				observé	moyen (g)				
1. Berwinne	6-Herve	09 juin 2017	882	25	2,6	65,3	0,03	-	1586
	2-Val Dieu	08 sept. 2017	1102	138	3,2	444,7	0,13	-	1586
		25 sept. 2018	1170	125	17,6	2200,0	0,11	15	1586
		09 sept. 2019	1160	80	43,6	2488,0	0,07	29	1586
	10-Moulin Boukai	25 sept. 2018	678	58	11,9	690,2	0,09	-	1586
		23 oct. 2019	980	64	30,6	1958,4	0,07	16	1586
	Sous total	-	5972	490	-	7846,6	0,08	60	9516
2. Gueule	8-Moresnet	28 sept. 2017	1894	15	2,7	23,0	0,01	-	1380
	4-Plombières	28 sept. 2017	1894	24	3,5	83,6	0,01	-	1700
	1-Plombières	18 sept. 2018	1558	23	13,4	308,2	0,02	-	1894
		18 sept. 2019	1380	9	38,4	345,6	0,01	1	1894
	2-Plombières	19 sept. 2018	1516	10	13,6	136,0	0,01	-	1894
		17 sept. 2019	1440	21	44,9	942,9	0,02	2	1894
	Sous-total	-	9682	92	-	1839,3	0,01	3	10 656
3. Wayai	2-Spixhe	10 Avril 2017	1586	55	3	163,0	0,04	-	1700
	9-Spa	10 Nov.2017	1586	19	4,9	92,6	0,01	-	1360
	3-Spixhe	03 Oct. 2018	1314	33	8,7	287,1	0,03	-	1586
		26 Sept.2019	1720	26	22,7	590,2	0,02	-	1586
	8-Spa	04 Oct.2018	1200	48	29,1	1108,8	0,04	-	1586
		01 Oct. 2019	1360	46	56,2	2585,2	0,03	7	1586
	Sous-total	-	8766	227	-	4826,9	0,03	7	9404
4. Hoegne	2-Chaufhied	13 Oct. 2017	1860	19	1,9	36,3	0,01	-	2846
	5-Pré-au-Pont	25 Oct.2017	1560	-	-	-	-	-	-
		10 Sept. 2018	1320	62	12,9	51,6	0,05	-	2846
	3-Chaufhied	10 Oct. 2018	1380	4	10,8	666,9	0,003	-	2846
		15 Oct. 2019	1860	13	29,8	387,4	0,01	5	2486
		Sous-total	-	7980	98	-	1142,2	0,01	5
5. Winamplanche	3-Theux	10 Mars 2017	1020	-	-	-	-	-	-
	1-Theux	05 Sept. 2018	870	39	8,6	309,6	0,05	-	529
		23 Oct.2019	1020	8	19,5	117,0	0,01	-	529
	Sous-total	-	2910	47	-	426,6	0,02	-	1058
6. Oxhe	1-Ombret	25 Oct. 2017	940	28	1,4	38,2	0,03	-	4405
	2-Ombret	16 Oct. 2018	962	55	8,6	396,0	0,06	-	4405
	2-Ombret	01 Oct. 2019	940	82	18,8	1541,6	0,09	13	4405
		Sous-total	-	2842	165	-	1975,8	0,06	13
Total	-	-	38 152	1119	-	18 057,4	-	88	55 233

3.2.2. Accroissement annuel de la longueur totale

Le taux d'accroissement annuel de la longueur totale chez les recrues anguilles issues du repeuplement ne diffère pas significativement entre les individus capturés marqués (valeur moyenne, 78 mm/an) et les individus capturés non marqués (111 mm/an) (test de Wilcoxon : $V = 1461$, $p = 0.994$) (figure 12a). Chez les individus capturés marqués, le taux varie entre les rivières mais sans être significativement différent (Kruskal-Wallis : $\chi^2 = 3,733$; $p = 0.443$) (figure 12b). Il est en moyenne de 86 mm/an dans la Berwinne ; 80 mm/an dans la Gueule ; 79 mm/an dans la Hoegne ; 73 mm/an dans le Wayai et ; 46 mm/an dans l'Oxhe.

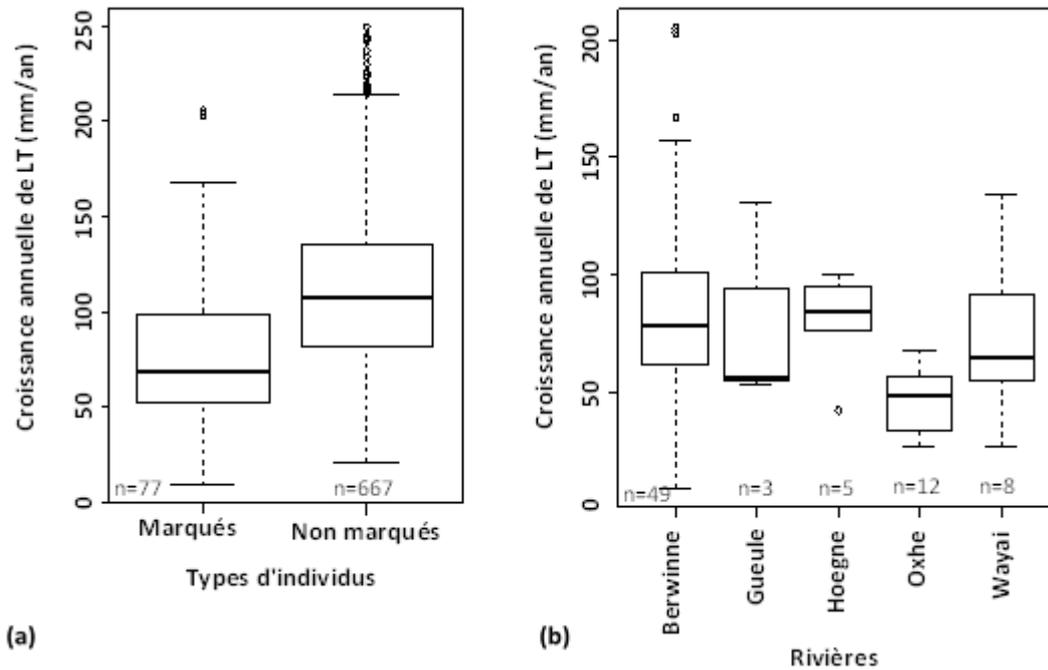


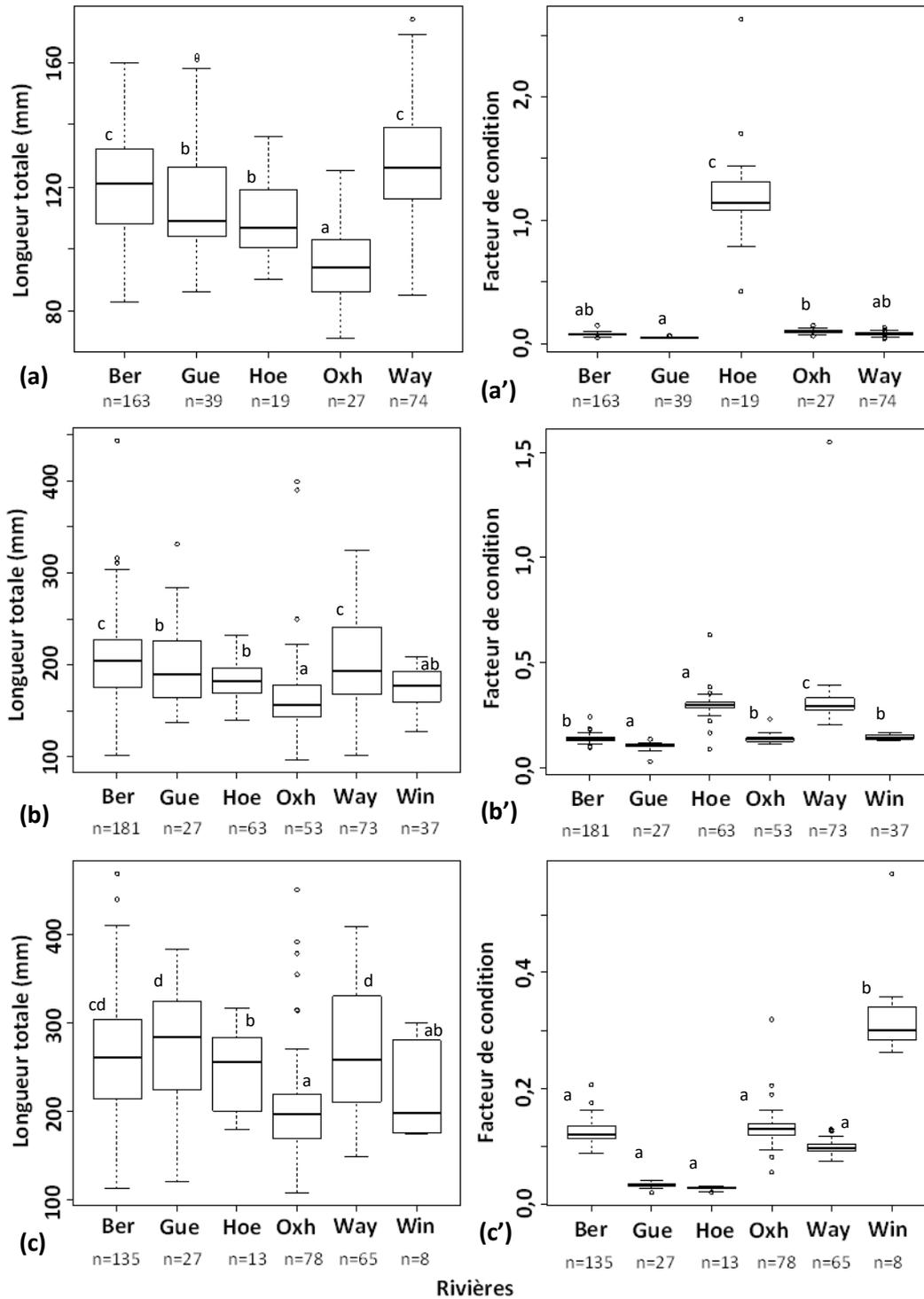
Figure 12 : (a) Accroissement annuel de la longueur totale (LT) chez les individus marqués et les individus non marqués et (b) Accroissement annuel de LT chez les individus capturés marqués en fonction de la rivière.

3.2.3. Relation poids – longueur

Dans toutes les rivières étudiées, les recrues anguilles grandissent d'année en année (tableau 5). La croissance linéaire est significativement plus élevée chaque année dans 2 rivières (la Berwinne et la Wayai) par rapport aux 4 autres rivières (tests de Kruskal-wallis : $\chi^2 = 54,6 - 62,2$; $p < 2,3 \cdot 10^{-10}$ et de Wilcoxon, $p < 0,05$) (figure 13). Une corrélation forte est observée entre la longueur totale et le poids chez les recrues anguilles pour tous les âges et toutes les rivières. Le coefficient d'allométrie montre globalement une croissance positive ($b > 3$) chaque année (figure 14 a, b, c). En revanche, entre les rivières, la croissance est positive chaque année dans la Berwinne, la Gueule et l'Oxhe. Elle présente des variations entre la croissance positive ($b > 3$) et la croissance négative ($b < 3$) dans la Wayai, la Hoegne et le Winamplanche. Le facteur de condition est globalement resté faible ($K < 0,5$) chez les recrues anguilles dans toutes les rivières à l'exception des recrues anguilles 0+ : 2017 dans la Hoegne qui montrent des valeurs supérieures (K moyen = 1,23) (figure 13). Le coefficient d'allométrie et le facteur de condition sont négativement liés chez les recrues anguilles ($R = -0,684$; $p = 0,001933$) (figure 15).

Tableau 5: Croissance de la longueur totale -LT, relation poids – longueur, coefficient d'allométrie et facteur de condition chez les recrues anguilles 0+ : 2017, les recrues anguilles 1+ : 2018 et les recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées.

Rivières	Année	N	LT (cm)		Relation poids – longueur					K	
			Moy± SD	90%	R ²	F	b	a	p	Moy± SD	90%
Civelles	2017	51	6,72±0,44	6-7,5	0,710	117,9	3,326	-3,13	1,23*10 ⁻¹⁶	0,066±0,008	0,054-0,078
1. Berwinne	2017	163	12,0±1,9	9,2-14,7	0,926	2007	3,326	-3,13	<2*10 ⁻¹⁶	0,075±0,010	0,060-0,087
	2018	181	20,6±4,4	14,3-28,4	0,936	2622	3,060	5,885	1,84*10 ⁻¹⁶	0,137±0,016	0,116-0,160
	2019	135	26,2±6,6	16,9-37,8	0,946	4617	3,099	2,909	<2*10 ⁻¹⁶	0,124±0,017	0,103-0,140
2. Gueule	2017	39	11,6±2,0	8,9-15,8	0,963	968,1	3,449	3,292	<2,2*10 ⁻¹⁶	0,051±0,006	0,045-0,065
	2018	27	19,6±4,6	14,1-27,7	0,870	168	3,166	3,000	1,35*10 ⁻¹⁶	0,102±0,018	0,090-0,136
	2019	27	27,3±6,51	18,4-36,0	0,978	1102	3,491	3,475	<2,2*10 ⁻¹⁶	0,453±0,078	0,344-0,580
3. Wayai	2017	74	12,6±1,8	8,9-15,4	0,880	527,2	3,264	3,093	<2,2*10 ⁻¹⁶	0,082±0,014	0,061-0,101
	2018	73	20,5±5,0	14,3-29,8	0,893	594,9	2,802	2,517	<2,2*10 ⁻¹⁶	0,320±0,200	0,230-0,380
	2019	65	27,2±7,6	16,8-36,6	0,978	3330	3,148	2,971	<2,2*10 ⁻¹⁶	0,110±0,013	0,090-0,140
4. Hoëgne	2017	19	11,0±1,3	9,5-13,3	0,337	864,2	2,095	1,935	9*10 ⁻³	1,230±0,433	0,751-1,797
	2018	63	18,0±2,1	15,3-22,4	0,680	128,1	2,796	2,534	<2*10 ⁻¹⁶	0,298±0,060	0,250-0,350
	2019	13	24,9±4,6	19,0-31,5	0,960	258,3	3,561	-3,558	5*10 ⁻²	0,028±0,004	0,021-0,031
5. Winamplanche	2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2018	37	17,6±2,1	14,0-20,6	0,957	772,8	3,018	2,843	<2*10 ⁻¹⁶	0,144±0,113	0,130-0,161
	2019	8	22,2±29,6	17,4-29,6	0,876	42,3	2,755	2,487	6*10 ⁻³	0,336±0,100	0,270-0,498
6. Oxhe	2017	27	9,5±1,4	7,3-9,4	0,867	163,3	3,060	5,885	<2*10 ⁻¹⁶	0,137±0,016	0,116-0,160
	2018	53	16,7±5,4	10,7-23,3	0,979	2380	3,086	2,871	<2,2*10 ⁻¹⁶	0,453±0,078	0,344-0,580
	2019	78	20,5±6,1	12,7-32,1	0,947	1335	3,079	2,890	<2,2*10 ⁻¹⁶	0,131±0,030	0,103-0,161



Ber: Berwinne	Hoe: Hoegne	Way: Wayai
Gue: Gueule	Oxh: Oxhe	Win: Winamplanche

Figure 13: Longueur totale et facteur de condition chez les recrues anguilles 0+ : 2017(a) et (a'), les recrues anguilles 1+ : 2018 (b) et (b') et les recrues anguilles 2+ : 2019 (c) et (c') en fonction de la rivière.

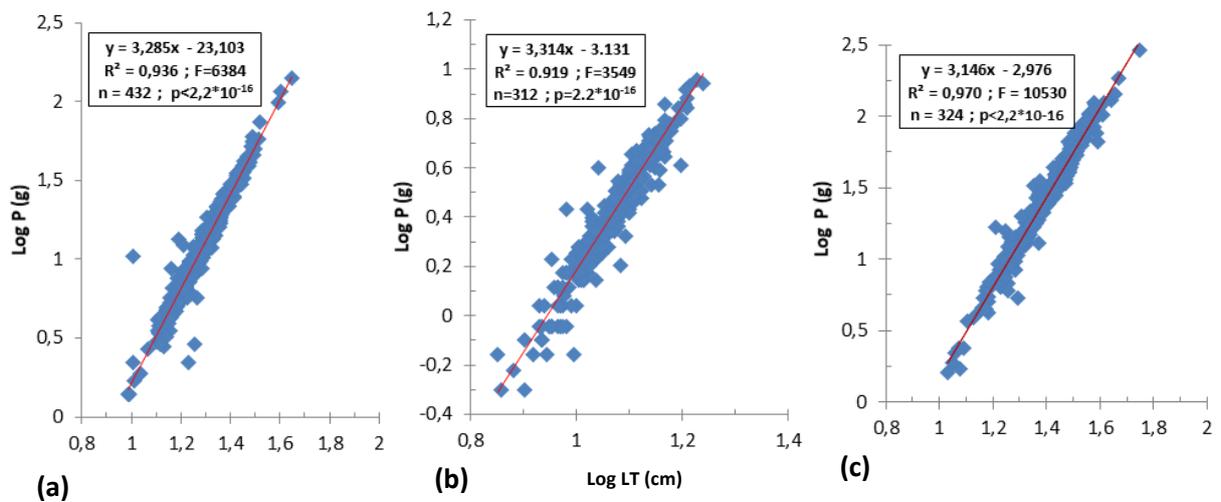


Figure 14: Relation poids – longueur chez les recrues anguilles 0+ : 2017, les recrues anguilles 1+ : 2018 et les recrues anguilles 2+ : 2019 (toutes les rivières réunies).

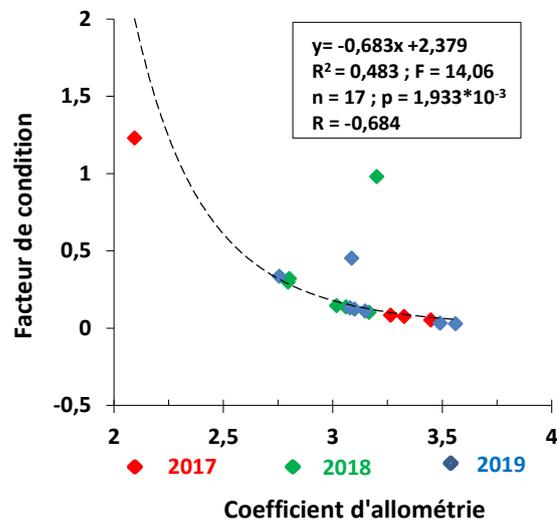


Figure 15: Relation entre le coefficient d'allométrie et le facteur de condition chez les recrues anguilles (toutes les rivières réunies).

3.3.- Stade de développement

Trois stades de développement (FI, FII, MII) sont identifiés chez les recrues anguilles 2+ : 2019 (tableau 7). Dans la Berwinne, on retrouve les trois stades. On en dénombre 2 dans 2 rivières notamment les FI et MII dans la Gueule et les FI et FII dans le Wayai. Un seul stade (FI) est observé dans le Hoegne et le Winamplanche. Dans toutes les rivières réunies, le stade FI

prédomine et représente >90% des recrues anguilles 2+ : 2019 (figure 16). Les anguilles de stade FII sont de plus grande taille que les anguilles de stade FI.

Tableau 6: Stades de développement chez les recrues anguilles 2+ : 2019 en fonction de la rivière.

Rivières	Stade								
	FI			FII			MII		
	Abondance		LT (cm)	Abondance		LT (cm)	Abondance		LT (cm)
n	%	Moyenne (min-max)	n	%	Moyenne (min-max)	n	%	Moyenne (min-max)	
1. Berwinne	32	88,9	27,7 (18,8-44,0)	2	5,6	50,7 (46,9-54,5)	2	5,6	28,8 (27,1-30,4)
2. Gueule	22	95,7	28 (20,1)	-	-	-	1	4,3	28,4 (28,4)
3. Wayai	31	96,9	27,9 (16,1-36)	1	3,1	56 (36)	-	-	-
4. Hoëgne	9	100	25,5 (19,8-31,6)	-	-	-	-	-	-
5. Winamplanche	3	100	22,1 (17,7-30)	-	-	-	-	-	-

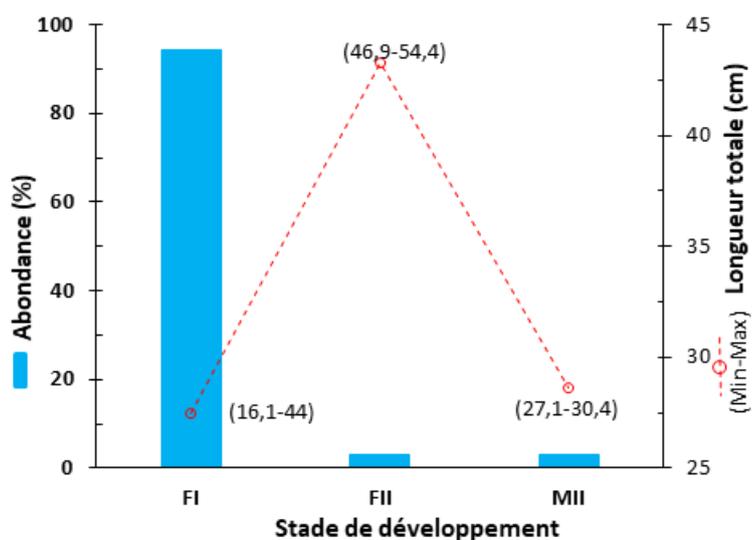


Figure 16: Synthèse des stades de développement chez les recrues anguilles 2+ : 2019 dans toutes les rivières réunies.

3.4.- Dispersion

3.4.1.- Dispersion longitudinale

Les résultats de dispersion longitudinale montrent la présence des recrues anguilles en amont comme en aval du point « 0 » de déversement des civelles en 2017 (figure 17 et tableau 7). Avec l'âge post repeuplement en rivière, on observe une absence de capture d'individus 2+ : 2019 au niveau du point « 0 ». La rivière Oxhe montre une présence des recrues anguilles 1+ et 2+ en position exclusivement aval par rapport au point « 0 ». La distance linéaire de dispersion couvre la quasi-totalité du linéaire du secteur pêché.

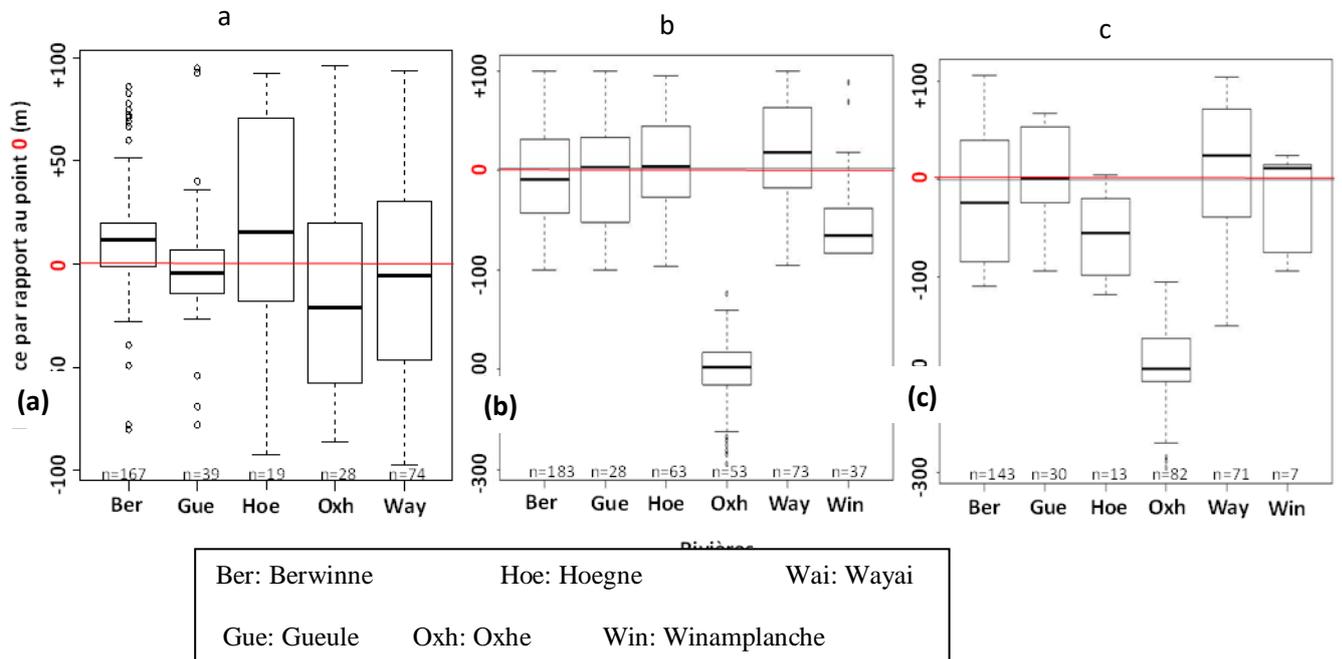


Figure 17: Dispersion longitudinale chez les recrues anguilles 0+ : 2017 (a), les recrues anguilles 1+ : 2018 (b) et les recrues anguilles 2+ : 2019 (c) dans les rivières étudiées.

Tableau 7: Distance linéaire de dispersion chez les recrues anguilles 0+ (2017), les recrues anguilles 1+ (2018) et les recrues anguilles 2+ (2019) dans les rivières étudiées.

Rivières	Année	n	Positions extrêmes (distance linéaire en m)		n au point 0	Rapport Amont : Aval	X ² ; p-value
			100%	90%			
1. Berwinne	2017	167	-82 à +86 (166 m)	-24 à +75 (99 m)	5	3 : 1	18,87 ; 14,03*10 ⁻⁵
	2018	183	-100 à +100 (200m)	-89 à +81 (170m)	3	1 : 1	3,24 ; 71,86*10 ⁻¹
	2019	143	-110 à +107 (207m)	-102 à +96 (198m)	-	2 : 1	1,15 ; 0,2845
2. Gueule	2017	39	-75 à +95 (173m)	-78 à +45 (123m)	3	1 : 1	0,50 ; 0,47
	2018	28	-100 à +100 (200m)	-93 à +75 (168m)	2	1 : 1	0 ; 1
	2019	30	-94 à +68 (162m)	-81 à + 67 (147m)	-	1 : 1	0 ; 1
3. Wayai	2017	74	-97 à +94 (191m)	-91 à +94 (185m)	2	1 : 1,4	1,01 ; 0,316
	2018	73	-96 à +100 (196m)	-83 à +95 (178m)	-	2 : 2	2,39 ; 0,122
	2019	71	-150 à +105 (255m)	-105 à +100 (200m)	-	2 : 1	0,72 ; 0,40
4. Hoëgne	2017	19	-92/+92 (184m)	-72 à +92 (164m)	-	2 : 2	0,45 ; 0,5023
	2018	63	-97/+95 (192m)	-87 à +78 (165m)	1	1 : 1	0 ; 1
	2019	13	-118/+5 (123m)	-117 à +6 (123m)	-	1 : 13	5,04 ; 24,74*10 ⁻¹
5. Winamplanche	2017	-	-	-	-	-	-
	2018	37	-83/+88 (171m)	-83 à +28 (111m)	-	1 : 5	12,83 ; 34,13*10 ⁻³
	2019	7	-94/++25 (119m)	-88 à +22 (110m)	-	2 : 1	0 ; 1
6. Oxhe	2017	28	-86/+96 (182m)	-79 à +93 (166m)	1	2 : 1	0,70 ; 40,22
	2018	53	-295/-124 (171m)	-283 à 124 (134m)	-	- : 53	-
	2019	82	-295/-105 (190m)	-267 à -121 (146m)	-	- : 82	-

3.4.2.- Dispersion latérale

Les résultats de dispersion latérale montrent la présence des recrues anguilles sur toute la coupe transversale (le milieu, la rive droite et la rive gauche) des rivières à l'exception de la Gueule où on retrouve des recrues anguilles 2+ : 2019 dans les habitats situés uniquement près des rives (figure 18). La majorité de recrues anguilles sont capturées près de rives (>60% d'anguilles capturées ; test de $\chi^2 = 1.273$, $p = 5,293 \cdot 10^{-4}$) dans toutes les rivières à l'exception de la Berwinne où on capture chaque année près de la moitié d'anguilles au centre du cours d'eau.

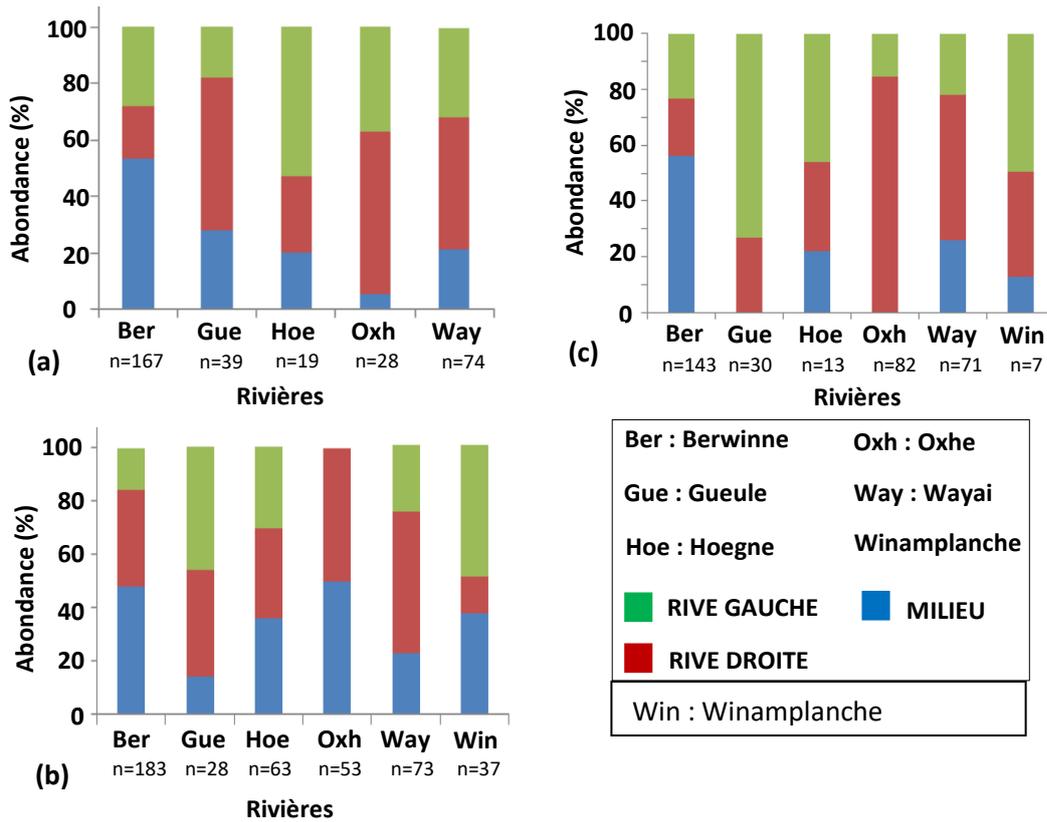


Figure 18: Dispersion latérale chez les recrues anguilles 0+ : 2017(a), les recrues anguilles 1+ : 2018 (b) et les recrues anguilles 2+ : 2019 (c) dans les rivières étudiées.

3.5.- Faune aquatique sympatrique

La composition de la faune aquatique sympatrique aux recrues anguilles est globalement composée de 20 espèces dont 5 sont potentiellement prédatrices des recrues anguilles (figure 19 et tableau 8). Parmi les espèces prédatrices, il y a la truite fario, le silure, le brochet, l'anguille européenne résidente et l'écrevisse. En revanche, l'abondance de ces espèces prédatrices est faible et limitée à la présence de quelques spécimens dans les rivières étudiées à l'exception de la truite fario qui est très abondante et serait de ce fait le prédateur le plus redoutable.

Tableau 8: Composition spécifique de la faune aquatique sympatrique aux recrues anguilles 0+ : 2017, recrues anguilles 1+ : 2018 et recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées (présence).

Rivières	Année	Faune aquatique		
		Composition	n	n anguilles
1. Berwinne	2017	2 12 4 6 8 13 17 16	8	163
	2018	2 12 6 8 13 16 10 14 15	9	183
	2019	2 12 15 3 5 6 8 13	8	144
	Sous total	2 12 3 4 5 6 8 10 13 14 15 16 17	13	-
2. Gueule	2017	12 9 10 3 10 14 17 2 4 6 7 8 16	13	39
	2018	12 10 16 1 2 3 4 6 7 8 9 11 13 14 17 18	16	33
	2019	12 10 11 1 2 3 4 5 6 7 8 9 13	13	30
	Sous total	12 10 16 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 17 18	18	-
3. Wayai	2017	12 15 13 4 2 8	6	74
	2018	12 15 16 2 4 8 13 10	8	81
	2019	12 15 2 4 3 8 13 19	8	72
	Sous total	12 2 15 16 4 8 13 10 3 19	10	-
4. Hoëgne	2017	15 12 7 2 8 13	6	19
	2018	12 2 7 8 15	5	66
	2019	12 2 3 5 6 8 13 15	8	13
	Sous total	12 2 3 5 6 8 13 15 7	9	-
5. Winamplanche	2017	12 2 15	3	-
	2018	12 2 8 10 14 15	6	39
	2019	12 2 3 8 13 15 20	7	8
	Sous total	12 2 3 8 10 13 14 15 20	9	-
6. Oxhe	2017	12 7 16 2 8	5	28
	2018	12 2 16	3	55
	2019	12 2 6 7 8	5	82
	Sous total	12 2 6 7 8 16	6	-

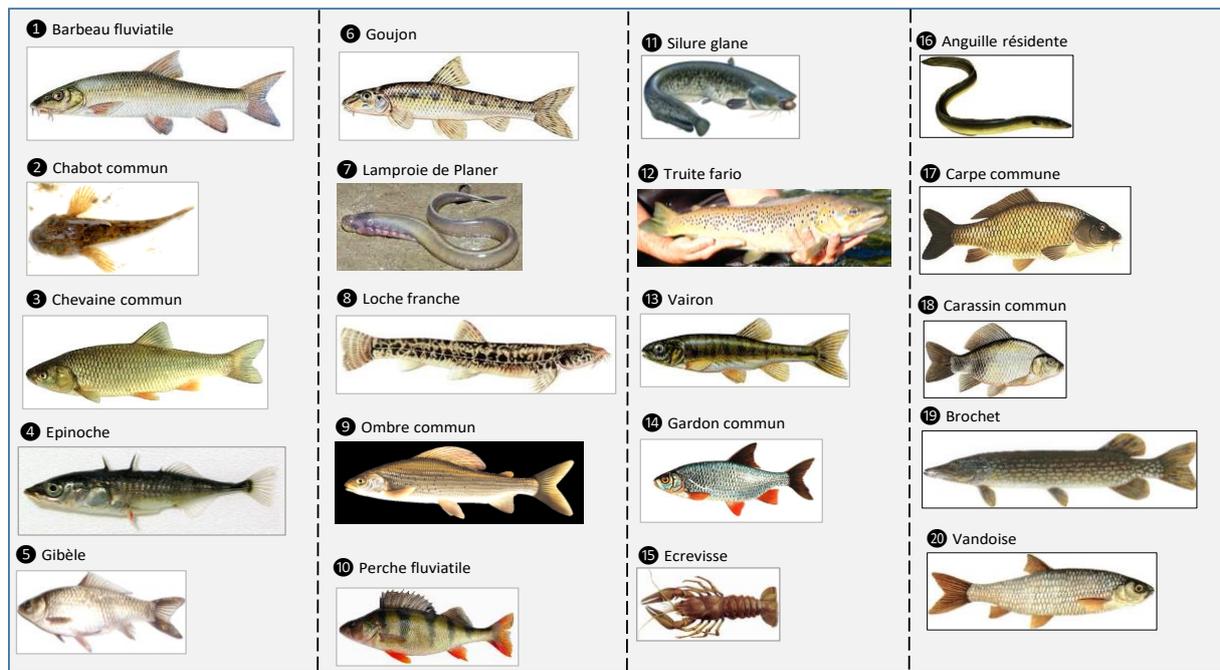


Figure 19: La faune aquatique sympatrique des recrues anguilles 0+ : 2017, des recrues anguilles 1+ : 2018 et des recrues anguilles 2+ : 2019 dans les rivières étudiées.

IV. Discussions

4.1.- Abondance et densité des recrues anguilles

La présence de recrues d'anguilles dans les 6 cours d'eau qui ont fait l'objet d'un repeuplement est un signal fort d'une opération réussie de translocation opérée en 2017. Elle démontre également la capacité de jeunes stades d'anguille à coloniser le réseau hydrographique wallon dans la diversité typologique des cours d'eau d'un point de vue hydromorphologique, physicochimique et trophique. Elle implique également au regard du déclin drastique du processus de colonisation naturelle par des anguilles sauvages que cette pratique a probablement un bel avenir en Wallonie. La variabilité en abondance et densité observée entre les rivières révèle cependant une différence de capacité d'accueil entre les cours d'eau, élément auquel les gestionnaires des rivières devraient prêter attention lors de la sélection des rivières à des fins de repeuplement de conservation de l'espèce. Le choix devrait être orienté vers des cours d'eau présentant la typologie du cours d'eau meilleur recruteur en anguilles (comme la Berwinne dans notre étude).

Avec des densités restaurées des peuplements d'anguilles nous atteignons la valeur maximale de 13 individus au 100 m², le repeuplement apparaît comme une mesure crédible de conservation et sauvegarde de l'espèce. Mais les densités réelles seraient encore beaucoup plus importantes que les densités observées à cause du comportement cryptique de l'espèce (Ovidio et al., 2013) et de la capturabilité faible de l'anguille (taux de capture = 25% dans la Berwinne : Nzau Matondo et al., 2020). La densité maximale observée situerait ce cours d'eau en zone aval du bassin versant à une distance de moins de 50 km amont par rapport à la zone limite d'influence des marées selon les estimations de Ibbotson et al.(2002), or, on est dans notre étude à environ 340 km de la mer du Nord.

4.2.- Performance de croissance et Stade de développement des anguilles 2+

Les recrues anguilles grandissent en taille corporelle après leur déversement en rivières au stade de civelles. Les anguilles marquées (LT, 1+ : 22 cm ; 2+ : 26 cm) montrent des tailles plus élevées que les anguilles non-marquées (LT, 1+ : 19 cm ; 2+ : 25 cm). En revanche le taux d'accroissement annuel de la taille entre les 2 groupes d'anguilles (valeur moyenne, anguilles marquées = 8 cm/an et anguilles non-marquées = 11 cm/an) ne diffère pas significativement. Ces résultats semblent minimiser l'influence du marquage sur la croissance des recrues anguilles mais une telle affirmation nécessiterait une expérimentation sérieuse en milieu contrôlé. Chez les anguilles marquées, la croissance moyenne annuelle varie entre les rivières et est de 5 à 9 cm/an dépendant du niveau trophique de chaque rivière. Ces performances de croissance sont comparables à celles observées dans des milieux eutrophes européens (3,6 à 5,1 cm/an : Pedersen 2000 ; 2,3 à 4,9 cm/an : Simon et al., 2013; 3 à 6,9 cm /an : Silm et al., 2017; 2 à 5 cm/an : Bisgaard et Pedersen 1991; 2,2 cm/an : Ovidio et al. 2015). Les performances de croissance observées dans cette étude révèlent que les cours d'eau sélectionnés sont des bons milieux de croissance des recrues anguilles après le repeuplement. Ceci est soutenu par la croissance observée globalement positive annuellement révélée par des coefficients d'allométrie de type majorant $b > 3$ montrant que les anguilles évoluent dans des bonnes niches écologiques. Le facteur de condition K qui permet d'évaluer l'embonpoint des individus varie en moyenne entre les rivières et l'âge et est généralement entre 0,03 et 0,453 (maximum 1,23) apparaît cohérent (individus en bon état de santé) d'autant plus que les anguilles 0+, 1+ et 2+ examinées sont encore en pleine phase de croissance et l'espèce possède un corps serpentiforme (Renault, 2011), dont la partie antérieure est cylindrique et la partie postérieure est comprimée

latéralement (FAO, 2009). Van Ginneken et al. (2007) rapportent les valeurs de K chez les anguilles européennes variant entre 0,16 et 0,22. Le stade de développement influence les valeurs de K, elles sont élevées chez les anguilles ayant terminé leur phase de croissance.

La majorité des anguilles 2+ sont des individus femelles (97,1%) en phase de croissance (les stades FI = 94,2% et FII = 2,9%) d'après le calcul des indices/stades d'argenture (Durif et al., 2003). Les mâles sédentaires pré-migrants (stade MII = 2,9%) sont très minoritaires. Ceci implique que les anguilles de la cohorte 2017 ont probablement encore beaucoup d'années à vivre dans nos cours d'eau avant leur migration de reproduction vers la mer de Sargasses.

IV. 3.- Dispersion longitudinale et latérale

Les stades de civelles (transparentes et pigmentées) et d'anguillettes sont connus pour une expression de comportement intense de colonisation vers l'amont des rivières par densité-dépendance (Lafaille et al., 2000 ; Ibbotson et al., 2002; Nzau Matondo & Ovidio, 2018). Les pêches électriques de capture réalisées dans cette étude révèlent que la dispersion longitudinale des anguilles 0+, 1+ et 2+ a eu lieu vers l'amont comme vers l'aval des points de déversement au stade des civelles, le point « 0 », dans des rivières. Ceci démontre que les anguilles issues du repeuplement sont donc capables d'explorer la rivière dans les deux sens (amont et aval) afin de trouver et d'exploiter les habitats qui leurs sont favorables. La distance linéaire de dispersion couvre la quasi-totalité du linéaire du secteur pêché. La présence d'anguilles 1+ et 2+ observée exclusivement en aval du cours d'eau appelé Oxhe sur le secteur 2-Ombret s'explique par le fait que ce secteur est situé complètement en aval du point de déversement de civelles situé en amont, sur le secteur 1-Ombret. Le choix du secteur 2-Ombret est justifié par la présence abondante d'habitats plus productifs favorables à la survie et à la croissance des recrues anguilles.

La dispersion latérale montre l'exploitation de la coupe transversale complète de la rivière. Mais le taux d'utilisation élevé des rives par rapport au milieu des cours d'eau est couramment observé dans plusieurs études sur l'écologie de l'anguille (Ovidio et al., 2015; Séleck, 2017; Colson, 2018). La préférence pour les rives est probablement due à la disponibilité abondante en abris de bonne qualité offrant une protection optimale contre le courant et les prédateurs (Ovidio et al., 2015). L'utilisation importante du centre du cours d'eau, la Berwinne, serait facilitée par les courants faibles et l'abondance d'abris de bonne qualité observés dans les 100 m amont par rapport au point de déversement des civelles, lesquels sont situés dans la zone de débit réservé.

IV. 4.- Faune aquatique sympatrique

La composition de la faune aquatique sympatrique des recrues anguilles est globalement composée de 20 espèces dont 5 sont potentiellement prédatrices des anguilles. Ceci pourrait révéler que l'implantation des civelles dans les rivières réceptrices ne semble pas modifier la structure et la composition de communauté ichthyenne existante dans les rivières réceptrices. De même, l'anguille, jusqu'à l'âge de 4 ans post repeuplement (anguille 3+), est capable de vivre avec plusieurs espèces de la faune aquatique et même avec les espèces qui peuvent exercer une prédation sur elle.

V. Conclusion

Cette étude s'inscrit dans le cadre des recherches menées par le LDPH dans le cadre du projet FEAMP repeuplement en civelles. Elle vise à étudier l'abondance, la croissance, le stade de développement et la dispersion de l'anguille européenne recrutée dans une diversité typologique des cours d'eau du bassin hydrographique de la Meuse belge. La méthodologie utilisée implique l'utilisation de la technique de pêche électrique réalisée annuellement depuis 2017.

Les résultats obtenus ont montré que dans leurs rivières réceptrices, pourtant typologiquement différentes d'un point hydromorphologique, physicochimique et trophique, les civelles transloquées survivent, grandissent et se dispersent pour exploiter les habitats situés sur les profils complets longitudinal et latéral de la rivière. Les performances de recrutement et de croissances observées sont globalement convenables (et même très bonnes dans certains cours d'eau) et comparables à celles rapportées chez les anguilles européennes des bons milieux aquatiques. Ce qui démontre les potentialités énormes pour la pratique de repeuplement de restauration et conservation des peuplements altérés dans les cours d'eau du réseau hydrographique wallon. Le repeuplement, si il est réalisé correctement, peut être considéré comme une mesure efficace qui contribue à la reconstitution des stocks d'anguilles européennes perdus dans les zones géographiquement éloignées de la mer du Nord (>340 km).

VI. Perspectives et Recommandations

Dans le but d'approfondir les connaissances scientifiques en ce qui concerne la pratique du repeuplement, il serait utile de:

- Poursuivre les suivis d'abondance des recrues anguilles sur des longs linéaires en ciblant l'inventaire sur des habitats les plus productifs.
- Poursuivre sur le long terme l'évolution de la croissance, de l'abondance, du stade de développement et de la dispersion sur les secteurs régulièrement pêchés.
- Transposer les acquis de cette étude vers des cours d'eau qui ne sont pas encore alevinés en civelles, dans le but d'améliorer les stocks locaux d'anguilles et dans le moyen et long terme, contribuer aux stocks dévalants d'anguilles argentées se reproduisant en mer de Sargasses.

Cette étude nous a apportée des connaissances non seulement sur la biologie de l'espèce mais aussi sur l'efficacité de la pratique de repeuplement en civelles d'anguille européenne dans les cours d'eau du bassin hydrographique de la Meuse belge. Sur le plan pratique et pour la gestion de la biodiversité dans les cours d'eau, nos propositions sont les suivantes :

- Utiliser ces informations dans la sélection des cours d'eau à repeupler pour une meilleure efficacité et réussite du repeuplement.
- Modifier et renforcer la capacité d'accueil des rivières pour garantir une bonne qualité des recrues anguilles (bon état de santé), tout en apportant des bons abris (substrats grossiers).

Références Bibliographiques

- Adam, G.**, (1997). L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L. 1758) : dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques (Doctoral dissertation, Toulouse 3).
- Baltus, L.**, (2019). Détermination des habitats optimaux des anguilles 1+ pour le repeuplement d'anguilles européennes dans le bassin hydrographique de la Meuse. Travail de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du grade de Bachelier en Agronomie, Orientation forêt et nature. Catégorie Agronomique, 2019, 60p.
- Baras, E., Salmon, B., & Philippart, J. C.**, (1994). Évaluation de l'efficacité d'une méthode d'échantillonnage par nasses des anguilles jaunes (*Anguilla anguilla* L.) en migration dans la Meuse. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, (335), 7-16.
- Baudoin, J. M., Burgun, V., Chanseau, M., Larinier, M., Ovidio, M., Sremski, W., ... & Voegtle, B.**, (2014). Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes, Onema.
- Belpaire, C. G. J., Goemans, G., Geeraerts, C., Quataert, P., Parmentier, K., Hagel, P., & De Boer, J.**, (2009). Decreasing eel stocks: survival of the fattest?. Ecology of freshwater fish, 18(2), 197- 214.
- Belpaire, C., Buysse, D., Breine, J., Verreycken, H., Ovidio, M., Nzau Matondo, B.,...& Vlietinck, K.**, (2014). Report on the eel stock and fishery in Belgium 2013/2014. Joint EIFAAC/ICES/GFCM WGEEL Report, 202-244.
- Belpaire, C., Pujolar, J., Geeraerts, C., & Maes, G.**, (2016). Contaminants in Eels and their Role in the Collapse of the Eel Stocks. Biology and Ecology of Anguillid Eels, (December 2017), 225–250.
- Belpaire, C., Breine, J., Van Wichelen, J., Pauwels, I., Nzau Matondo, B., Ovidio, M.,...& Lieven, B.**, (2018). Report on the eel stock, fishery and other impacts, in: Belgium 2018.
- Bevacqua, D., Andrello, M., Melià, P., Vincenzi, S., de Leo, G. A., & Crivelli, A. J.**, (2011). Density-dependent and inter-specific interactions affecting European eel settlement in freshwater habitats. Hydrobiologia, 671(1), 259–265.
- Bisgaard, J., & Pedersen, M. I.**, (1991). Mortality and growth of wild and introduced cultured eels (*Anguilla anguilla* (L.)) in a Danish stream, with special reference to a new tagging technique. Dana, 9, 57-69.
- Bruslé, J. & Quignard, J.P.**, (2006). Biologie des poissons d'eau douce européens. Tec & Doc (ed.), Paris, Collection Aquaculture – Pisciculture, 625 pages
- Bruslé, J.**, (1994). L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bull. Fr. Pêche Piscic. 335 : 237-260.
- Calles, O., Olsson, I. C., Comoglio, C., Kemp, P. S., Blunden, L., Schmitz, M., & Greenberg, L. A.**, (2010). Size-dependent mortality of migratory silver eels at a

- hydropower plant, and implications for escapement to the sea. *Freshwater Biology*, 55(10), 2167–2180.
- Campton, P., Crivelli, A., & Lebel, I.**, (2011). L'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans le canal d'Arles à Bouc—Etat des lieux et premiers résultats de la passe-piège installée sur le barrage à sel (campagne 2010/2011). Rapport MRM, 55pages+ annexes.
- Campton P., Crivelli A.J., Lebel I.**, (2012), L'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans le canal d'Arles à Bouc, (État des lieux et premiers résultats de la passe-piège installée sur le barrage à sel) Campagne 2011/2012, France, 70p.
- Caron, A., Pannetier, P., Rosabal, M., Budzinski, H., Lauzent, M., et al.**, (2016). Organic and inorganic contamination impacts on metabolic capacities in American and European yellow eels. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2016, 73:1557-1566, <https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0473>.
- Charrier F., Le Gurun L., Abdallah Y., Legault A., Caraguel J. M., Blanck A., Lebel I.**, (2010). Contribution à l'amélioration des connaissances et à la gestion de l'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans les lagunes méditerranéennes - Cas de l'Etang de l'Or. Rapport CEPRALMAR. Groupement MRM/FISH PASS. 135 pp.
- CITES**, (2017). Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. Annexes I, II et III.
- Colson, D.**, (2018). Caractérisation des habitats optimaux pour le repeuplement de civelles d'anguille européenne dans le bassin hydrographique de la Meuse. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Master en Biologie des Organismes et Écologie. Liège : Faculté des Sciences, UR-FOCUS, Unité de biologie du Comportement, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 2018, 51 p.
- Costa J. L., Assis C. A., Almeida P. R., Moreira F. M. et Costa M. J.**, (1992). On the food of the european eel, *Anguilla Anguilla* (L.), in the upper zone of the Tagus estuary, Portugal. *Journal of Fish Biology*. 41: 841-850p.
- Daverat, F., Limburg, K.E., Thibault, I., Shiao, J.C., Dodson, J., Caron, F., Tzeng, W.N., Iizuka Y. & Wickström, H.**, (2006). Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate eel species, *Anguilla anguilla*, *A. japonica* and *A. rostrata*. *Marine Ecology Progress Series*, 308, 231–241p.
- Deelder, C-L.**, (1985). Exposé synoptique des données biologiques sur l'anguille, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). FAO Synop. Paches, (80) Rev.1:71 p.
- Dekker W. et Van Willigen J.**, (1989). Short note on the distribution and abundance of *Anguillicola* in the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 1, 46-47.
- Dekker, W.**, (2004). Status of the European eel stock and fisheries. *Eel Biology*, 237–254.
- Desprez, M., Crivelli, A. J., Lebel, I., Massez, G., & Gimenez, O.**, (2013). Demographic assessment of a stocking experiment in European Eels. *Ecology of Freshwater Fish*, 22(3), 412–420.
- Dhaouadi R., A. Sghaier, N. Aloui, A. Rejeb, D. Tarhouni, M.A. Dargouth, A. Amara**, (2014). Etude de l'infestation de l'anguille européenne, *Anguilla anguilla*, par le

nématode *Anguillicoloides crassus* dans la lagune de Ghar El Melh (Nord de la Tunisie). Mar. Life– VOL.18 : 17-24, Tunis, Tunisie, Octobre 2014, 1-18 p.

Drouineau, H., Durif, C., Castonguay, M., et al., (2018). Freshwater eels: A symbol of the effects of global change. *Fish Fish.* 2018 ; 00 :1–28.

Durif C., Elie P., Dufour S., Marchelidon J. et Vidal B., (2000). Analyse des paramètres morphologiques et physiologiques lors de la préparation à la migration de dévalaison chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) du lac de grand-lieu (Loire - Atlantique). *Cybium*, 24 : 63-74p.

Durif C., (2003.) La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migrations et franchissement d'obstacles. Thèse de Doctorat en Ecologie Aquatique, Université de Paul Sabatier, Toulouse III. 348 pp.

Durif, C., Elie, P., Gosset, C., Rives, J. & Travade, F., (2003). Behavioural study of downstream migrating eels by radio telemetry at a hydroelectric power plant. *In:* Dixon, D.A. (ed.), Biology, management and protection of catadromous eels, Symposium 33. Bethesda, MD, USA: American Fisheries Society, 343–356p.

El Hilali M., Yahyaoui A. et Chetto N. (2004). Etude de l'infestation des anguilles (*Anguilla anguilla*) par le parasite (*Anguillicola crassus*) dans l'estuaire du Sebou au nord-ouest du Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie n°26-27:39-42.

Elie P., Rigaud C., (1984), Etude de la population d'anguilles de l'estuaire et du bassin versant de la Vilaine : pêche, biologie, écologie. Examen particulier de l'impact du barrage d'Arzal sur la migration anadrome. Rapport CEMAGREF, 174p.

Elie, P., & Rigaud, C., (1987). L'impact d'un barrage d'estuaire sur la migration des poissons amphihalins: le cas de l'anguille et du barrage d'Arzal. *La Houille Blanche*, (1-2), 99-108 p.

EU, (2007). Establishing measures for the recovery of the stock of European eel. Council regulation (EC) no 1100/2007 of 18 September 2007. Official Journal of the European Union L248: 17 – 23.

FAO, (2009). *Anguilla anguilla*. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by The Danish Aquaculture Development Group (DANAQ). Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. CD-ROM (multilingual).

Farrugio H., Elie P., (2011). État de l'exploitation de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) et éléments pour l'élaboration de plans de gestion dans la zone CGPM. Commission générale des pêches pour la méditerranée. 48 p.

Feunteun, E., (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18(5), 575–591.

Feunteun, E., Lafaille, P., Robinet, T., Briand, C., Baisez, A., Olivier, J. M., & Acou, A., (2003). A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Towards a general theory. *Eel Biology*, 191–213.

Fievet E., (2017). Anguille européenne (*Anguilla anguilla*), Eco-Med, Marseille, France, 5p.

- Fukuda, N., Miller, M. J., Aoyama, J., Shinoda, A., & Tsukamoto, K.,** (2013). Evaluation of the pigmentation stages and body proportions from the glass eel to yellow eel in *Anguilla japonica*. *Fisheries Science*, 79(3), 425–438.
- Geffroy B.,** (2012). Déterminisme environnemental du sexe chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.). Thèse de Doctorat. Université de Pau et des pays de l'Adour. 408 p.
- Geffroy, B., & Bardonnnet, A.,** (2012). Differential effects of behaviour, propensity to migrate and recruitment season on glass eels and elvers' growing performance. *Ecology of Freshwater Fish*, 21(3), 469–482p.
- Georgeon, M., Campton, P.,** (2018). Suivi des passes pièges à anguilles sur le Rhône aval, Campagne d'étude 2017/Tendances 2008-2017, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 39p. + Annexes.
- Gérard, C., Trancart, T., Amilhat, E., Faliex, E., Virag, L., Feunteun, E., & Acou, A.,** (2013). Influence of introduced vs. native parasites on the body condition of migrant silver eels. *Parasite*, 20.
- Huet, M.,** (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 11(3-4), 332-351.
- Ibbotson, A., Smith, J., Scarlett, P., & Aprhamian, M.,** (2002). Colonisation of freshwater habitats by the European eel *Anguilla anguilla*. *Freshwater Biology*, 47(9), 1696-1706.
- ICES,** (2009). Report of the Workshop on Combining Climatic Scenarios and Medium-Term Predictions for Baltic Herring and Sprat stocks (WKCSMPB), 13–16 October 2009, Ponza, Italy. ICES CM 2009/BCC:03. 50 pp.
- ICES,** (2016). ICES WGEEL REPORT 2016, Report of the Working Group on Eels (WGEEL) Cordoba, Spain, (September), 15–22.
- ICES,** (2018). Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL), 5–12 September 2018, Gdańsk, Poland. ICES CM 2018/ACOM:15. 152 pp.
- ICES,** (2019). Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL). Scientific Reports. 1:50. Denmark, 177 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5545>
- Ladjama, I.,** (2010). Les parasites de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L. 1758) capturée dans le lac Tonga et la lagune El mellah. Mémoire Présenté en vue de l'Obtention du Diplôme de Magister en Aquaculture, 1-128p.
- Laffaille, P., Acou, A., & Guillouët, J.,** (2005). The yellow European eel (*Anguilla anguilla* L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. *Ecology of Freshwater Fish*, 14(2), 191–196.
- Lefebvre, F., Fazio, G., Mounaix, B., & Crivelli, A. J.** (2013). Is the continental life of the European eel *Anguilla anguilla* affected by the parasitic invader *Anguillicoloides crassus*? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1754), 20122916–20122916.
- Lesueur, C.A.,** (1817). Characters of a new genus, and descriptions of three new species upon which it is formed : discovered in the Atlantic ocean in the months of March and April,

- 1816; lat. 22° 9. Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. 1(1): 37-41.
- Lin, Y. J., Ložys, L., Shiao, J. C., Iizuka, Y., & Tzeng, W. N.,** (2007). Growth differences between naturally recruited and stocked European eel *Anguilla anguilla* from different habitats in Lithuania. Journal of Fish Biology, 71(6), 1773–1787.
- Lindquist, A.,** (1979). Observations on glass eels in the Skagerrack and Kattegat. Rapp. P.V. Reun. Cons. int. Expl. Mer, 174, 45-50.
- Marohn, L., Jakob, E. & Hanel, R.,** (2013). Implications of facultative catadromy in *Anguilla anguilla*. Does individual migratory behaviour influence eel spawner quality? Journal of Sea Research, 77, 100–106p.
- McCarthy, T.K., Frankiewicz, P., Cullen, P., Blaszkowski, M., O'Connor, W. & Doherty, D.,** (2008). Long-term effects of hydropower installations and associated river regulation on River Shannon eel populations: mitigation and management. Hydrobiologia, 609(1), 109–124p.
- Miller, M.J. & Tsukamoto, K.,** (2015). The ecology of oceanic dispersal and survival of *anguillid leptocephali*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 74: 958–971. dx.doi.org/10.1139/cjfas-2016-0281.
- Moussaoui, M., & Naneche, Z.,** (2013). Contribution à l'étude de la biologie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L. 1758) au niveau de l'Oued Soumman. Mémoire de Fin de Cycle ; En vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Sciences Naturelle de l'Environnement., 1-62p.
- Nzau Matondo, B., Benitez, J. P., Dierckx, A., Philippart, J. C., & Ovidio, M.,** (2014). Arrival of European eel in Belgian Part of the Meuse: who and how are they?. In Proceedings of the 10th International Conference on Ecohydraulics.
- Nzau Matondo, B., Philippart, J. C., Dierckx, A., Benitez, J. P., Rimbaud, G., & Ovidio, M.,** (2015). Estimation de l'abondance du stock des anguilles recrutées par migration de remontée dans la Meuse en Wallonie et réalisation des essais de repeuplement en juvéniles. Rapport final du projet financé par le Fonds européen pour la Pêche (Code projet: 32-1102-002) (No. 32-1102- 002). Université de Liège.
- Nzau Matondo, B., Philippart, J. C., Dierckx, A., Rimbaud, G., Benitez, J. P., & Ovidio, M.,** (2015). Le suivi des populations d'anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin hydrographique de la Meuse belge: Etat du stock, dynamique de montaison et essais de repeuplement de soutien aux populations locales.
- Nzau Matondo, B. & Ovidio, M.,** (2016). Dynamics of upstream movements of the European eel *Anguilla anguilla* in an inland area of the River Meuse over the last 20 years. Environ Biol Fish 99: 223–235.
- Nzau Matondo, B., & Ovidio, M.** (2018). Living Resources Decreased stock entering the Belgian Meuse is associated with the loss of colonisation behaviour in yellow-phase European eels.
- Nzau Matondo B., Jean-Philippe Benitez, Arnaud Dierckx, Xavier Rollin et Michaël Ovidio,** (2020). An evaluation of restocking practice and demographic stock assessment

methods for cryptic juvenile European eel in upland rivers. Sustainability 12, 1124
doi:10.3390/su12031124.

- Oumarou A. A.**, (2019). Suivi par télémétrie de l'occupation du temps et de l'espace de jeunes stades d'anguilles européenne issues d'un repeuplement. Travail de fin d'étude en vue de l'obtention du grade de Master de Spécialisation en Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture. Liège : Faculté des Sciences, UR-FOCUS, Unité de biologie du Comportement, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 2019, 63p.
- Ovidio, M., Serebinski, A. L., Philippart, J. C., & Nzau Matondo, B.**, (2013). A bit of quiet between the migrations: The resting life of the European eel during their freshwater growth phase in a small stream. *Aquatic Ecology*, 47(3), 291–301.
- Ovidio, M., Tarrago-Bes, F., & Matondo, B. N.**, (2015). Short-term responses of glass eels transported from UK to small Belgian streams. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 51, No. 3, pp. 219-226). EDP Sciences.
- Palstra A. P., Van Den Thillart G.**, (2010). Swimming physiology of european silver eels (*Anguilla anguilla*, L.1758): energetic costs and effects on sexual maturation and reproduction. *Fish PhysiolBiochem*, 36: 297-322p.
- Panfili, J., Darnaude, A. M., Lin, Y. J., Chevalley, M., Iizuka, Y., Tzeng, W. N., & Crivelli, A. J.**, (2012). Habitat residence during continental life of the European eel *Anguilla anguilla* investigated using linear discriminant analysis applied to otolith Sr: Ca ratios. *Aquatic Biology*, 15(2), 175–185.
- Pedersen, M. I.**, (2000). Long-term survival and growth of stocked eel, *Anguilla anguilla* (L.), in a small eutrophic lake. *Dana*, 12, 71-76.
- Pedersen, M. I.**, (2009). Does stocking of Danish lowland streams with elvers increase European eel populations. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 58, pp. 149-156). American Fisheries Society.
- Philippart, J. C., Ovidio, M., Rimbaud, G., Dierckx, A., & Poncin, P.**, (2010). Bilan des observations sur les populations de l'anguille dans les sous-bassins hydrographiques Meuse aval, Ourthe, Amblève et Vesdre comme bases biologiques à la prise de mesures de gestion en rapport avec le Règlement Anguille 2007 de l'Union européenne.
- Philippart, J-C., & Ovidio, M.**, (2009). Meuse à Lanaye-Eijsden L'impact des prises d'eau industrielles et des turbinages hydroélectriques sur la dynamique des populations de poissons et la qualité de leur habitat dans les cours d'eau navigables Le cas de la Meuse et de l'Ourthe en Wallonie. Université de Liège- Unité de Biologie du Comportement. Université de Liège- Unité de Biologie du Comportement. Gembloux, mars 2009.
- Philippart, J.C. & Ovidio, M.**, (2007). Obstacles à aménager en priorité en Région wallonne. Identification des priorités d'action d'après les critères biologiques et piscicoles. Rapport final de synthèse pour la période 2005-2007 sur le thème : Définition de bases biologiques et éco-hydrauliques pour la libre circulation des poissons dans les cours d'eau non navigables de Wallonie. Volume 3. 71pages+annexes (avril 2007).

- Piper, A.T., Wright, R.M., Walker, A.M. & Kemp, P.S.,** (2013). Escapement, route choice, barrier passage and entrainment of seaward migrating European eel, *Anguilla anguilla*, within a highly regulated lowland river. *Ecological Engineering*, 57, 88–96p.
- Podgorniak, T., De Oliveira, E., Daverat, F., Pierron, F.,** (2018). Apport d'une étude transcriptomiques et comportementale aux connaissances de l'impact des obstacles aquatiques sur les anguillettes migrantes. *Hydroécol. Appl. EDF*, 2018. <https://doi.org/10.1051/hydro/2018002>.
- Prigge, E., Marohn, L., & Hanel, R.,** (2013). Tracking the migratory success of stocked European eels *Anguilla anguilla* in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology*, 82(2), 686–699.
- Prouzet P. et Bouvet J. C.,** (2007). Quantification de la biomasse saisonnière de civelles (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de la Loire et estimation du taux d'exploitation saisonnier de la pêche professionnelle pour les saisons de pêche 2003 à 2005. Laboratoire des Ressources Halieutiques d'Aquitaine Anglet – Campus de Montaury. 45 p.
- Prouzet, P.,** (2005). Approche écosystémique de la gestion de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) à l'échelle européenne. Colloque. IFREMER-DPS. Laboratoire Halieutique d'Aquitaine Technopole IZARBEL 64210 Bidart.
- Renault S.,** (2011). Etude éco-toxicologique des impacts des contaminations métalliques et organiques chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de la Gironde. Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux 1. 420 pp.
- Riemann, L., Alfredsson, H., Hansen, M. M., Als, T. D., Nielsen, T. G., Munk, P., et al.,** (2010). Qualitative assessment of the diet of European eel larvae in the Sargasso Sea resolved by DNA barcoding. *Biology Letters*, 6, 819–822. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0411>.
- Séleck, E.** (2017). Occupation du temps et de l'espace d'une population de jeunes anguilles européennes issues d'un repeuplement. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Master en Biologie des Organismes et Écologie. Liège : Faculté des Sciences, UR-FOCUS, Unité de biologie du Comportement, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 2017, 63p.
- Silm, M., Bernotas, P., Haldna, M., Järvalt, A., & Nõges, T.,** (2017). Age and growth of European eel, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), in Estonian lakes. *Journal of Applied Ichthyology*, 33(2), 236–241.
- Simon, J., & Dörner, H.,** (2014). Survival and growth of European eels stocked as glass- and farm-sourced eels in five lakes in the first years after stocking. *Ecology of Freshwater Fish*, 23(1), 40–48.
- Simon, J., Dörner, H., Scott, R. D., Schreckenbach, K., & Knösche, R.,** (2013). Comparison of growth and condition of European eels stocked as glass and farm sourced eels in lakes in the first 4 years after stocking. *Journal of Applied Ichthyology*, 29, 323–330p.
- Sjöberg, N. B., Wickström, H., Asp, A., & Petersson, E.,** (2017). Migration of eels tagged in the Baltic Sea and Lake Mälaren—in the context of the stocking question. *Ecology of Freshwater Fish*, 26(4), 517–532.

- Sjöberg, N.B., Petersson, E., Wickström, H., Hansson, S.,** (2009). Effects of the swimbladder parasite *Anguillicola crassus* on the migration of European silver eels *Anguilla anguilla* in the Baltic sea. *Journal of Fish Biology* 74 : 2158-2170.
- Tesch, F.W.,** (2003). In Thorpe JE (ed.), *The Eel*, London: Blackwell Science, 408 pages.
- Temminck & Schlegel,** (1846), *Anguilla japonica*
- Travade, F., Larinier, M., Subra, S., Gomes, P. & De-Oliveira, E.,** (2010). Behaviour and passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 398, 1-19p.
- UICN France, MNHN, SFI & ONEMA,** (2010). La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France, 12p.
- Van Den Thillart, G., Van Ginneken, V., Körner, F., Heijmans, R., Van Der Linden, R., & Gluvers, A.,** (2004). Endurance swimming of European eel. *Journal of Fish Biology*, 65(2), 312–318.
- Van Ginneken, V. J. T., & Maes, G. E.,** (2005). The European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus), its lifecycle, evolution and reproduction: A literature review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15(4), 367–398.
- Westin, L.,** (2003). Migration failure in stocked eels *Anguilla anguilla*. *Marine Ecology Progress Series*, 254, 307–311.
- White, E.M. & Knights, B.,** (1997a). Dynamics of upstream migration of the European eel, *Anguilla anguilla*(L.), in the Rivers Severn and Avon, England, with special reference to the effects of man-made barriers. *Fisheries Management and Ecology*, 4(4), 311–324p.
- Wickström, H., & Sjöberg, N. B.,** (2014). Traceability of stocked eels - the Swedish approach. *Ecology of Freshwater Fish*, 23(1), 33–39p.
- Williams, B. & Threader, R.,** (2007). A review of the proceedings and outcomes of the workshop on the American Eel, *Anguilla rostrata*, stocking in Canadian waters. Montreal, Canada, March 27-28, 2007. Report developed for Ontario Power Generation, Renfrew, Ontario.
- Winter, H. V., Jansen, H. M., & Bruijs, M. C. M.,** (2006). Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the River Meuse. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(2), 221–228.

ANNEXES

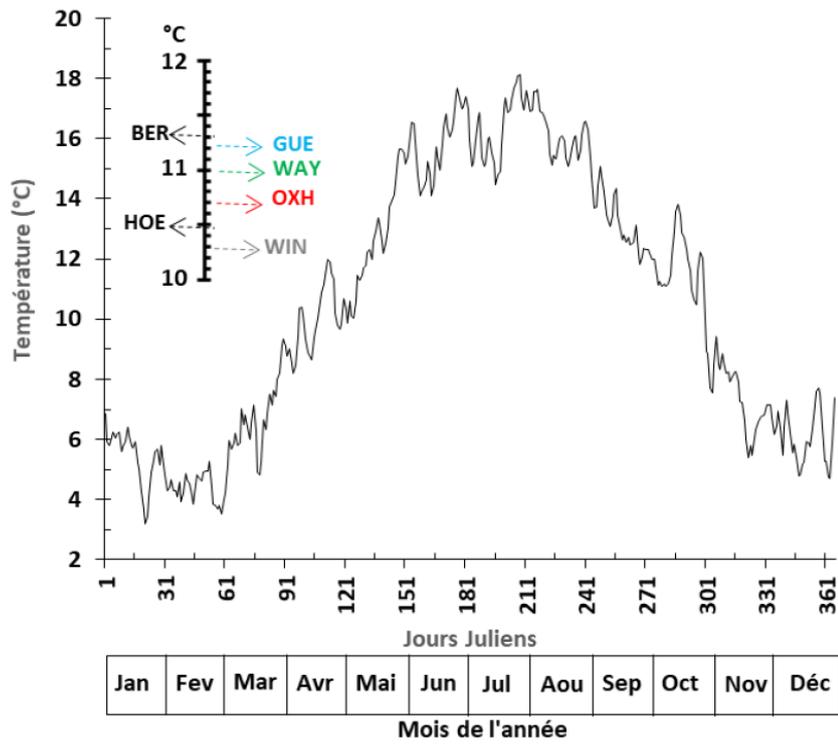


Figure 1: Température moyenne journalière expérimentée par les anguilles de la cohorte 2017 de 2017 à 2019. BER : Berwinne, GUE : Gueule, WAY : Wayai, OXH : Oxhe, HOE : Hoegne et WIN : Winamplanche indiquent les niveaux de la température moyenne journalière de chaque rivière.



Figure 2: (a) Pêche électrique de capture, marquage et recapture et (b) recrues anguilles de la cohorte 2017.

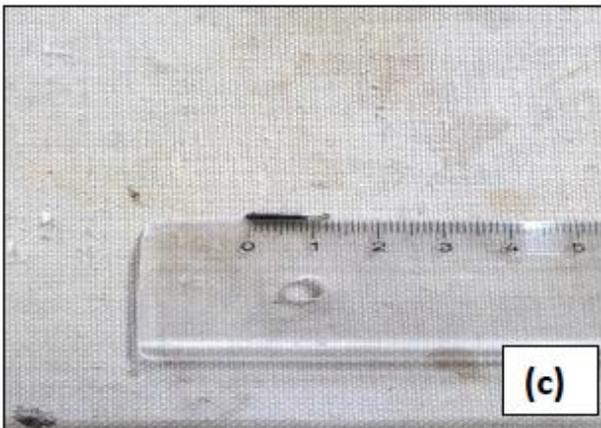
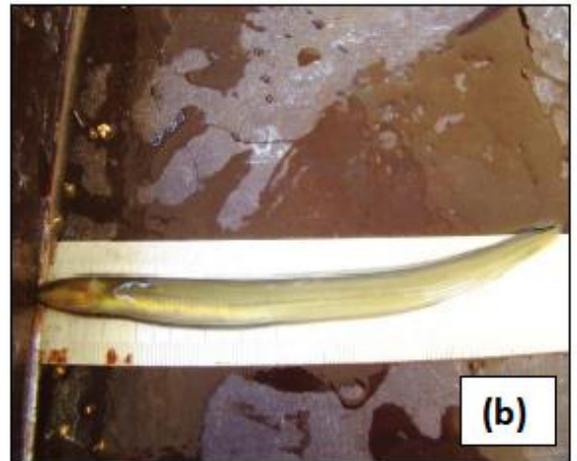


Figure 3: manipulations liées aux suivis des recrues anguilles de la cohorte 2017, (a) Pesée, (b) mesure de la longueur totale, (c) marque RFID, (d) insertion de la marque, (e) anguille marquée et (d) mesures physicochimiques des eaux (kit Jbl) des rivières alevinées.