RAPPORT TECHNIQUE D'ÉTUDE

Suivi 2019-2020 de la migration des anguilles d'avalaison du bassin de la Loire dans le cadre de la contribution à la gestion de l'espèce et de ses habitats

APPEL À PROJETS

Recherche, expérimentation, acquisition et valorisation des connaissances sur les populations de poissons migrateurs amphihalins sur le bassin de la Loire

PORTEUR DE PROJET

AAPPBLB (Association Agréée des Pêcheurs Professionnels en eau douce du Bassin Loire Bretagne)

Mathieu Bodin, Directeur et Alice Lemonnier, Chargée d'études

Jérôme Monfray, Président et Philippe Boisneau, Vice-Président délégué « Migrateurs »

PARTENAIRES FINANCIERS ET INSTITUTIONNELS

AELB (Agence de l'Eau Loire-Bretagne)

FEDER (Fonds Européens de Développement Régional)

DREAL de Bassin Loire-Bretagne

Région Centre Val-de-Loire

PARTENAIRES TECHNIQUES

Les pêcheurs professionnels au guideau du bassin de la Loire

Université de Tours-CITERES UMR7324

MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle)

Mars 2020

Alice Lemonnier

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 4

MATERIEL ET METHODES 6

1. Sites d'étude 6

2. Technique de capture au guideau 7

3. Relève hebdomadaire 7

4. Données récoltées 8

4.1. Une vision à minima de la dynamique migratoire 8

4.2. Effort de pêche et captures d'anguilles 8

4.3. Confidentialité des données 8

4.4. Caractéristiques morphologiques et critères d'argenture 9

4.5. Niveau de contamination des vessies par le parasite Anguillicola crassus 10

5. Analyse statistique 11

5.1. Conditions hydrologiques 11

5.2. Caractéristiques biométriques des anguilles capturées 11

RESULTATS 12

1. Hydrologie et bilan des captures 2019/2020 12

2. Ratio grandes / petites des anguilles capturées au guideau 14

3. Caractéristiques biométriques des anguilles échantillonnées 15

3.1. Calendrier d'échantillonnage 15

3.2. Relation taille-masse 16

3.3. Caractéristiques biométriques (taille, poids et embonpoint) selon le sexe, la date de capture et la pêcherie sur l'ensemble des individus échantillonnés 16

3.5. Argenture 19

4. Niveau de contamination des vessies par le parasite Anguillicola crassus 20

DISCUSSION 22

1. Hydrologie et bilan des captures 2019/2020 22

2. Ratio grandes / petites des anguilles capturées au guideau 23

3. Caractéristiques biométriques des anguilles échantillonnées 24

4. Niveau de contamination des vessies par le parasite A. crassus 25

Bibliographie 27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des pêcheries au guideau pour le suivi 2019-2020 6
Figure 2 : Schéma d'un guideau (Source : Guide des engins de pêche fluviale et lacustre, CSP, 2003)..... 7
Figure 3 : Débits Montjean-sur-Loire (Source http://hydro.eaufrance.fr)..... 13
Figure 4 : Reconstitution de la saison de pêche 2019-2020 avec les captures par unité d'effort cumulées et le débit (m3/s) en fonction du temps. Réalisation MNHN, CRESCO, B. Bourillon, 2020. (Source http://hydro.eaufrance.fr)..... 13
Figure 5 : Ratio petites/grandes selon la saison de captures depuis 2001. Réalisation MNHN, CRESCO, B. Bourillon, 2020. 15
Figure 6 : Relation taille-masse de l'ensemble des captures 2019/2020. GLM (n=244, p<0,05, Ln (Masse)~Ln (Taille)). Points observés (bleus=mâles ; rouges=femelles) avec courbe de prédiction et intervalle de confiance du modèle..... 16
Figure 7 : Comparaison de la taille (a et c), de la masse ou poids (b et d) des individus en 2019 selon la pêcherie (a et b) et la date de capture (c et d). Groupes issus du GLM (p<0,05, n=244). Groupes significativement différents : A<B<C. Points bleus= individus mâles ; points roses= individus femelles. 18-19
Figure 8 : Proportion de chaque stade d'argenture selon la pêcherie sur les anguilles échantillonnées en 2019/2020 (n=244). FII=Stade femelle résidente ; FIII=Stade femelle pré-migrante ; FV= Stade femelle migrante ; MII= Stade mâle migrant. 20
Figure 9 : Fréquence des anguilles d'avalaison par nombre de nématodes *A. crassus* retrouvés dans leur vessie natatoire respective (n=121) 21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Lots de pêche associés aux pêcheries en 2019-2020 6
Tableau 2 : Ratio grandes-petites des anguilles d'avalaison depuis 2015-2016..... 15
Tableau 3 : Calendrier d'échantillonnage 2019-2020 des anguilles d'avalaison 15
Tableau 4 : Résultats des Modèles Linéaires Généralisés réalisés sur les caractéristiques biométriques (taille, masse, embonpoint) en fonction du sexe, de la date de capture et de la pêcherie (n=244, p<0.05). Moyennes et écarts-type issus des moyennes ajustées à partir du modèle, groupes issus des moyennes ajustées et de la significativité de l'interaction (NS (non significatif) : p>0,05 ; * : p<0,05 ; ** : p<0,01 ; *** : p<0,001). Groupes significativement différents : A<B<C. 17
Tableau 5 : Résultats du GLM du nombre de vers en fonction de la saison de captures (n=1426, p<0.05). Moyennes et écarts-type issus des moyennes ajustées à partir du modèle, groupes issus des moyennes ajustées. Groupes significativement différents : A<B<C. 21
Tableau 6 : Taux d'infestation selon la présence de vers, l'opacité de la vessie et la pigmentation ou la présence de débris sur les anguilles 2019/2020. n=121. 22

INTRODUCTION

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, Linnaeus, 1758), migrateur catadrome emblématique de nos cours d'eau est depuis 1980 en constante régression sur l'ensemble de son aire de répartition (Beaulaton & Briand, 2007). On estime aujourd'hui que les effectifs de l'unique population de cette espèce ont chuté de près de 95% en 30 ans (Harrison *et al.*, 2014). Selon le CIEM (2006), le stock d'anguille est en dessous de ses limites biologiques (Acou *et al.*, 2015). La réduction du stock est notamment dû à un problème de recrutement (Harrison *et al.*, 2014). En effet, celui-ci est à un niveau minimal historique et la plupart des observations ne montrent pas de tendance à la récupération (Harrison *et al.*, 2014). Les tendances de recrutement vont jusqu'à une baisse de 99% dans certaines zones comme au Royaume-Uni (Harrison *et al.*, 2014). Les causes de cette régression sont multiples, synergiques et principalement d'origine anthropique (Beaulaton & Briand, 2007 ; Harrison *et al.*, 2014). Selon la commission des pêcheries intérieures (EIFAC) de la FAO, elles peuvent être classées en deux groupes, les causes d'origine océanique et celles d'origine continentale. Les facteurs continentaux sont multiples : l'exploitation commerciale sur tous les stades du cycle de vie, la perte et la fragmentation des habitats, la construction d'ouvrages et d'obstacles à la migration, les prélèvements d'eau de surface, l'infestation parasitaire ou encore la pollution de l'eau (Molnar, 1993 ; Sauvaget *et al.*, 2003 ; Beaulaton & Briand, 2007 ; Harrison *et al.*, 2014).

Afin d'espérer la reconstitution partielle du stock d'anguille européenne, le conseil des ministres européens a adopté, en septembre 2007, un règlement (CE n°1100/2007 du 18/09/07) qui demande à chaque état concerné d'établir des plans de gestion de l'anguille pour restaurer le stock, bassin par bassin (Acou *et al.*, 2015). Ce règlement prévoit un échappement minimum de 40% des futurs géniteurs et un repeuplement des cours d'eau européens. Le programme INTERREG III B, INDICANG, dans des travaux antérieurs, avait anticipé cette démarche et proposé la mise au point d'indicateurs de l'état des stocks d'anguilles sur des bassins versants index. Ces indicateurs portent sur les trois écophases, civelles, anguilles jaunes et anguilles argentées et sur la qualité des bassins versants.

Considérant que la production d'anguilles argentées est la première cible de gestion à atteindre et que peu de données sont disponibles, les objectifs sur cette écophase visent à évaluer l'échappement en anguilles (Acou *et al.*, 2015). L'échappement en anguilles argentées d'un bassin versant se caractérise par sa production potentielle de géniteurs appelée également potentiel reproducteur, leur qualité (Bourillon *et al.*, 2019), c'est-à-dire leur capacité à se reproduire, mais aussi par la mortalité directe d'origine anthropique qui vient réduire cet échappement (Acou *et al.*, 2015). Le potentiel reproducteur représente la quantité d'anguilles argentées dévalant du bassin, telle qu'elle serait observée, chaque année, si la dévalaison ne

dépendait pas des facteurs climatiques imprévisibles et sans mortalité d'origine anthropique.

La Loire est le seul grand fleuve français sur lequel il existe une pêcherie d'anguilles de dévalaison organisée (Acou *et al.*, 2015). L'Association Agréée des Pêcheurs Professionnels en eau douce du Bassin Loire Bretagne (AAPPBLB) fournit, au tableau de bord Anguille – Loire, un indice annuel de l'abondance des anguilles argentées. Cet indice est construit à partir des captures annuelles de quatre pêcheries sélectionnées parmi les 5 à 13 pratiquants l'avalaison. Sont également transmises les données journalières de captures au guideau (Capture Par Unité d'Effort, CPUE) de tous les pêcheurs.

De 1987 à 2007, la réglementation relative à la pratique de la pêche d'anguilles de dévalaison autorisait les captures sans discontinuer du 1er octobre au 15 février. Depuis 2008, l'application d'une nouvelle réglementation, en lien avec le règlement européen instituant une relève hebdomadaire du samedi à partir de 18 heures au lundi à 6 heures, pour la même période de pêche, a entraîné un changement dans les pratiques et dans la constitution de l'indice d'abondance puisque 28% des jours de la saison de pêche ne peuvent plus être échantillonnés. En 2009, le recalcul de l'indice d'abondance pour la période 1987-2007 en enlevant les périodes de relève hebdomadaire a montré la constance de la pêcherie au guideau dans son activité de manière globale. Une réduction de la période de pêche de 28% en durée a entraîné une réduction globale des efforts de 27% et des captures de 26%. Mais ceci ne doit pas cacher de grandes disparités interannuelles mais aussi inter pêcheries (Proust, 2019).

Ce rapport d'exécution présente, pour la campagne 2019-2020, l'effort de pêche de l'ensemble des pêcheurs professionnels localisés à l'amont d'Ancenis, incluant les relèves hebdomadaires. Les caractéristiques des géniteurs seront également analysées (sexe, taille, masse, condition corporelle). Une évaluation non exhaustive de la contamination de la vessie natatoire par le parasite *Anguillicola crassus* sera fournie. Enfin, l'indice d'abondance, construit à partir des captures annuelles des quatre mêmes pêcheries depuis 1987, apportera des précisions quant à l'évolution interannuelle de l'abondance des géniteurs d'anguilles dévalant la Loire pendant la période autorisée de pêche (du 1er octobre 2019 au 15 février 2020). Le calcul de l'indice d'abondance a été reconduit avec application virtuelle de la relève hebdomadaire dans son intégralité de façon à disposer d'un élément de comparaison avec les années antérieures ; l'analyse des captures et efforts de pêche, sur les relèves hebdomadaires pêchées, ayant été préalablement conduite.

MATERIEL ET METHODES

1. Sites d'étude

Depuis 1987, les sites de suivi de migration des anguilles d'avalaison correspondent aux pêcheries au guideau en activité, localisées sur le cours inférieur de la Loire. En 2019-2020, elles sont situées entre La Ménitré (Maine-et-Loire) et Ancenis (Loire-Atlantique), la numérotation correspondant au lot sur lesquels les pêcheries sont positionnées (Figure 1). Une portion intéressante du bassin hydrographique de la Loire peut donc être suivi, à l'exception des masses d'eau se situant à l'aval d'Ancenis et comprenant une population relativement importante d'anguilles (Erdre, Sèvre Nantaise, Grand-Lieu...).

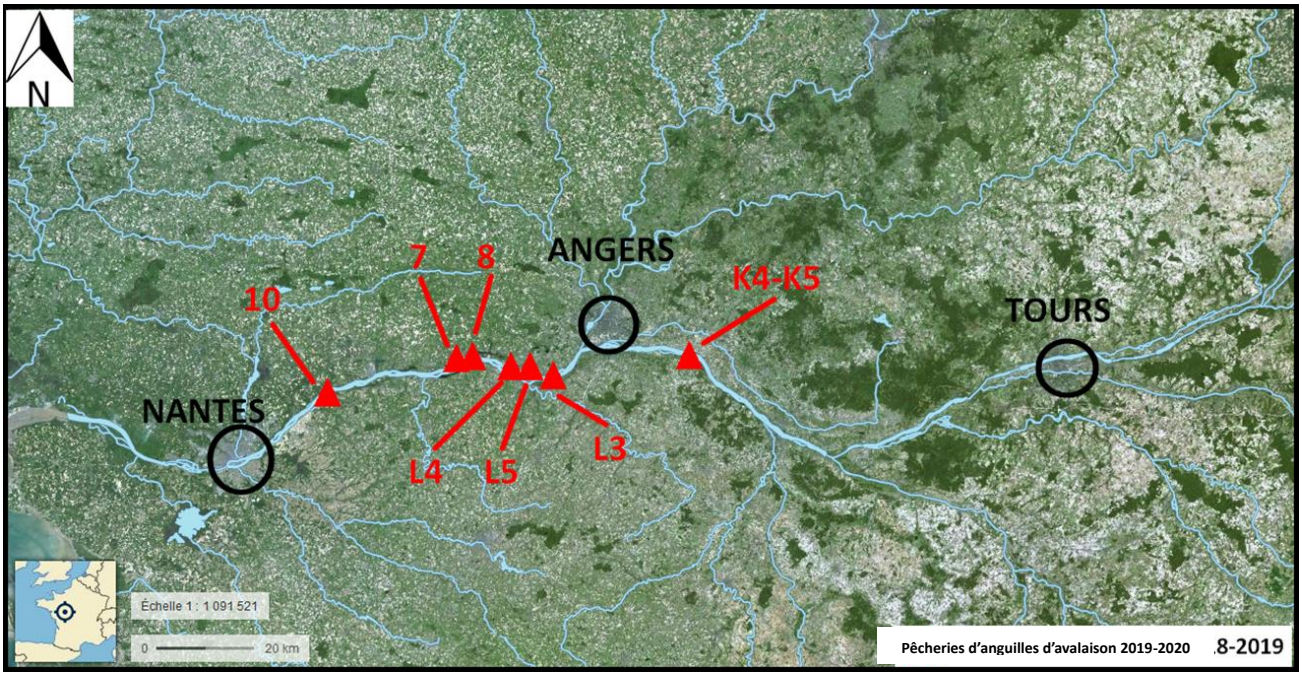


Figure 1: Localisation des pêcheries au guideau pour le suivi 2019-2020 (Réalisation AAPPBLB, M. Bodin, 2020).

La liste des pêcheurs ainsi que numéro de lot sur lesquels ils exercent leur activité sont présentés dans le Tableau 1. Pour la campagne 2019-2020, 7 pêcheries sont en activité et sont toutes des pêcheries au guideau.

Tableau 1 : Lots de pêche associés aux pêcheries en 2019-2020

Lot de pêche	Département	Pêcherie
K4-K5	49	Maurand M
L3	49	Monfray J.
L4 & L5	49	Rezé L. & Grosbois D.
7 & 8	44	Perraud Y. & M.
10	44	Troussard T.

2. Technique de capture au guideau

Le guideau, également appelé dideau, est un engin de capture sélectif utilisé pour pêcher l'anguille d'avalaison dite argentée. En Europe, la technique de pêche au guideau n'est plus pratiquée que sur le bassin de la Loire. La période réglementaire de pêche, qui débute le 1er octobre et se termine le 15 février de l'année suivante, correspond à la période préférentielle de migration des anguilles d'avalaison. Cette pêche se pratique essentiellement de nuit, lors de crues accompagnées le plus souvent de conditions météorologiques dépressionnaires. Elle nécessite plusieurs relèves du filet durant la nuit afin qu'il ne soit obstrué par les feuilles, branches ou troncs emportés par le courant. Le guideau est un filet en forme d'entonnoir d'environ 25 m de long sur 10 m de large et 5 m de haut dont les mailles se rétrécissent pour se terminer, par la poche, à 10 mm de côté. Il est amarré à deux poteaux métalliques horizontaux reliés à un treuil permettant de manœuvrer le guideau depuis un bateau. Le bateau est ancré face au courant qui maintient le guideau ouvert et entraîne les anguilles dans celui-ci jusqu'à la poche qui se trouve à son extrémité (Figure 2).

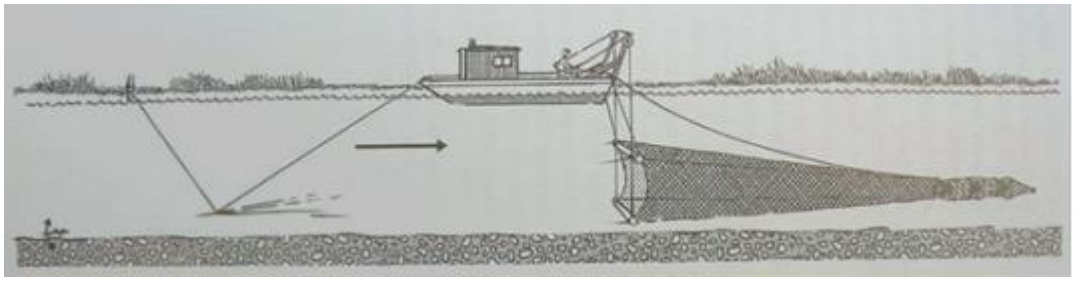


Figure 2: Schéma d'un guideau (Source Guide des engins de pêche fluviale et lacustre, CSP, 2003)

3. Relève hebdomadaire

Pour la campagne de pêche au guideau 2019-2020 (du 1er octobre 2019 au 15 février 2020), la relève hebdomadaire s'applique à nouveau pour la pêche de l'anguille argentée sur les deux départements concernés, à savoir le Maine-et-Loire et la Loire-Atlantique. Afin de pérenniser le suivi réalisé par les pêcheurs professionnels sur cette écophase de l'anguille depuis 1987, l'étude inclut l'ensemble des guideaux pour le suivi de la dévalaison entre le samedi 18h et le lundi 6h. Les arrêtés de pêche scientifique ont ainsi permis aux pêcheurs professionnels au guideau de poursuivre leur effort de pêche pendant les week-ends dans un contexte réglementaire précis, suivant un quota équivalent à la moyenne des nuits de pêche réalisées depuis le début des données historiques en possession de l'AAPPBLB, lorsque les conditions hydro climatiques étaient favorables et avec obligation de remise à l'eau de l'ensemble des captures. Les signatures des arrêtés, au préalable de la campagne, ont permis un bon suivi des

captures dès le début de la saison de pêche.

4. Données récoltées

4.1. Une vision à minima de la dynamique migratoire

Les anguilles adultes dévalent le fleuve pour traverser l'Océan Atlantique et aller se reproduire dans la mer des Sargasses. La période préférentielle où la majorité des anguilles dévale est l'automne et l'hiver. Cependant, contrairement à ce qui est inscrit dans le PLAGEPOMI Loire 2014-2019 (§2.2.1 p19), la dévalaison des anguilles en Loire n'a pas lieu exclusivement entre octobre et février, cette période correspondant à la période de pêche, mais les migrations ont lieu toute l'année. Cela est prouvé par exemple par l'utilisation de la technique du guideau pour le suivi de la dévalaison des smolts au printemps (avril, mai, juin) dans le secteur de Varades en 2009 où plusieurs anguilles argentées y sont dénombrées. Plus surprenant, plusieurs d'entre elles ont été observées alors qu'il n'y avait aucune augmentation de débit. En 2019, un suivi de dévalaison en période de fermeture de pêche (du 16 février au 30 septembre) est donc mis en place pour confirmer ou non ces observations passées.

En plus de la restriction temporelle de l'échantillonnage des anguilles d'avalaison au guideau, une restriction géographique est également opérée du fait de l'absence d'échantillonnage à l'aval d'Ancenis. Les résultats fournis dans ce rapport représentent donc une vision à minima de la dynamique migratoire des anguilles d'avalaison du bassin de la Loire.

4.2. Effort de pêche et captures d'anguilles

Chaque année, les pêcheurs professionnels d'anguilles argentées transmettent à l'AAPPBLB leurs données journalières de capture, en différenciant les grosses anguilles, qui sont les femelles, des petites, qui sont les mâles dont la longueur est inférieure à 460mm. L'autre donnée essentielle est l'effort de pêche exprimé en nombre d'heures de pêche par 24h. Le nombre de captures est alors rapporté à une unité commune d'effort de pêche pour obtenir la CPUE (Capture Par Unité d'Effort), permettant ainsi la comparaison entre plusieurs pêcheries et/ou plusieurs sous-bassins d'étude. La CPUE représente le nombre d'anguilles capturées par bateau actif et par nuit de pêche, c'est-à-dire de la veille à 12h au lendemain à 12h.

$$\text{CPUE} = \frac{\text{Nombre d'anguilles capturées}}{\text{Nombre de nuits de pêche}}$$

4.3. Confidentialité des données

Les données de captures et d'efforts de pêche transmises gracieusement par les pêcheurs professionnels sont des données individuelles de leurs entreprises de pêche. Afin de préserver la confidentialité de ces données, aucune donnée brute de capture n'est renseignée dans ce

rapport. Ce principe de regroupement de données est par ailleurs inspiré des synthèses des captures via le Suivi National de la Pêche aux Engins (SNPE) produites par l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) puis l'Office Français pour la Biodiversité (OFB).

4.4. Caractéristiques morphologiques et critères d'argenture

- **Biométrie**

Deux types de mesures existent, celles réalisées in situ sur les anguilles utilisées par le Muséum National d'Histoire Naturel lors du marquage des anguilles pour les « Capture-Marquage-Recapture » (CMR) et celles réalisées en atelier lors des éviscérations d'anguilles destinées à la fumaison.

- **Relation taille, poids et coefficient d'embonpoint K**

Après avoir été endormies dans un bain anesthésiant, les anguilles sont mesurées à l'aide d'un réglet et pesées à l'aide d'une balance dont la précision est de 5g, les unités utilisées étant le mm pour la longueur (Lt) et le g pour la masse (Pt). A l'aide de ces deux mesures, le coefficient de condition, noté K, est calculé et permet de mesurer l'embonpoint des anguilles.

$$K=\frac{100*Pt\ (g)}{(0{,}1*Lt\ (mm))^3}$$

- **Sex ratio**

A chaque relève du guideau, le pêcheur compte les anguilles capturées en différenciant les femelles (LT≥460mm) des mâles. A partir de ces données fournies par l'ensemble des pêcheurs au guideau, le rapport des sexes de la population d'anguilles d'avalaison capturées est calculé.

- **Critères d'argenture**

Divers critères d'argenture sont utilisés (selon la méthode EELREP de Durif *et al.*, 2005). Parmi ceux-ci, l'indice d'argenture basé sur le diamètre oculaire, la livrée de l'anguille et la présence de points noirs sur la ligne latérale.

Le diamètre horizontal et vertical de chaque œil (Dh et Dv, en mm) est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse. L'indice oculaire, noté IO, est calculé pour chaque œil à partir de la formule de Pankhurst (1982) :

$$IO=\left(\frac{Dv+Dh}{4}\right)^2 * \frac{\pi}{Lt}$$

Les études précédentes montraient qu'il n'y avait pas de différence significative entre les diamètres de l'œil gauche et droit. Ainsi, seuls les diamètres oculaires verticaux et horizontaux de l'œil gauche sont mesurés, permettant d'optimiser la durée des mesures pour chaque anguille

et par conséquent augmenter la taille de l'échantillon d'anguilles étudiées.

Cependant, les diamètres oculaires ne sont pas mesurés sur toutes les anguilles destinées à la fumaison. En effet, pour permettre au pêcheur de retirer plus facilement le mucus, ces anguilles sont préalablement plongées plusieurs heures dans une solution salée très concentrée. Mais cette solution modifie également la morphologie de l'œil ; c'est pourquoi ce paramètre n'est pas systématiquement mesuré sur ces individus.

La présence d'au moins un point noir sur la ligne latérale (de la pectorale jusqu'à la queue) ainsi que la livrée (contraste de couleur entre les faces dorsales et ventrales) sont deux critères qualitatifs codifiés sous forme binaire (1: Présence ; 0 : Absence).

4.5. Niveau de contamination des vessies par le parasite Anguillicola crassus

Depuis plusieurs années, de nombreuses anguilles d'avalaison capturées sur différents sites de pêche ont été éviscérées pour la fumaison et font l'objet d'observations de la vessie natatoire afin d'en estimer la contamination par le parasite *A. crassus*.

Ce nématode est ingéré au stade adulte par l'anguille, puis il se fait un chemin du tube digestif vers la vessie natatoire. Il y pond de nombreux œufs, qui seront rejetés via le tube digestif. Les larves naissent dans l'eau et attendent sur les substrats (vase, sable...) d'être ingérées par un hôte intermédiaire, un copépode ou un autre crustacé, parfois un poisson. La larve évolue alors dans cet hôte jusqu'à ce qu'elle soit mangée par une anguille et le cycle recommence.

Les nématodes présents dans la vessie natatoire sont comptés. L'opacité et la pigmentation de la vessie permettent de mettre en évidence l'importance de la dégradation de la paroi interne de la vessie due à ces nématodes. Si toutefois aucun parasite n'est présent au moment de la dissection mais que la vessie présente des débris ou une pigmentation, alors la vessie a déjà contenu des nématodes mais ceux-ci ont disparu. Ainsi, pour la contamination des vessies par *A. crassus*, trois critères sont étudiés :

1) **Nombre de nématodes** : comptage des nématodes une fois la vessie ouverte
2) **Opacité de la vessie :** 0: vessie transparente ; 1: vessie nacrée et 2: vessie opaque
3) **Pigmentation, Débris :** 0: vessie sans exsudat ni pigmentation ; 1: vessie avec exsudat ou pigmentation et 2: vessie avec exsudat et pigmentation

Cette étude sur la contamination des vessies natatoires par *A. crassus* ne fait l'objet d'aucun sacrifice supplémentaire d'individus d'anguilles puisque réalisée à partir d'individus destinés à la fumaison pour commercialisation.

5. Analyse statistique

Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R (3.5.2).

Pour l'ensemble de ces analyses, le seuil de significativité choisi est de 0,05 (* : p<0,05 ; ** : p<0,01 ; *** : p<0,001).

5.1. Conditions hydrologiques

Afin de comparer les débits journaliers entre la période historique (1900-2019) et ceux de cette année (2019/2020) pendant la période réglementaire de pêche (1/10 au 15/02, n=133) à la station de Montjean-sur-Loire, un Modèle Linéaire Généralisé (GLM à Loi Normale) a été construit (GLM (*débit~période*)).

5.2. Caractéristiques biométriques des anguilles capturées

1- Un GLM (Loi Normale) a été construit sur l'ensemble des données 2019/2020 obtenues, pour connaître l'influence du sexe, de la période de capture, du lot (pêcheurs et localisation différents) et la date de pêche sur la taille, la masse et l'embonpoint mesurés sur l'ensemble des captures 2019. Le modèle testé :

(1) GLM (Mesure biométrique (taille, masse ou embonpoint) ~ sexe + pêcheur + date de pêche)

A l'issu du modèle, les moyennes ajustées pour les modalités de chaque facteur testé avec effet significatif ont été calculées (package « emmeans », Lenth *et al.*, 2019). Des groupes ont ensuite été attribués à chaque facteur en fonction de la valeur moyenne de chaque modalité (package « multcompView », Graves *et al.*, 2015). Une lettre différente a été attribuée à chaque modalité significativement différente d'une autre. Des groupes sexes séparés ont également été réalisés.

2- Afin de caractériser la relation taille-masse de notre échantillon selon le sexe des individus, un GLM (Loi Normale) log-log a été construit à partir des données observées :

(2) GLM (ln(poids)~ln(taille)+sexe)

Les paramètres *a* et *b* de la relation classique taille-poids ont été estimés à l'aide des prédictions du modèle :

$$W = aL^b$$

Où *W*=Poids de l'individu, *L*=Taille de l'individu, *a* et *b*= paramètres de la relation.

3- Un autre GLM (Loi Normale) a été construit sur l'ensemble des données 2019/2020

obtenues (n=244), pour connaître l'influence du sexe, de la période de capture, du lot (pêcheurs et localisation différents) et de la date de capture sur l'indice oculaire. Le modèle testé est :

(3) GLM (Indice oculaire ~ sexe + pêcheur + date de capture)

4- Enfin, dans le but de comparer le nombre de vers *A. crassus* retrouvé (Loi Normale) en fonction de l'année d'échantillonnage (depuis 2010) et des pêcheries (4 pêcheries depuis 10 ans), GLM (n=1426) a été construit. Le modèle testé est :

(4) GLM (Nombre vers ~ pêcheur + saison de capture)

A l'issu du modèle, les moyennes ajustées pour les modalités de chaque facteur testé avec effet significatif ont été calculées. Des groupes ont ensuite été attribués à chaque facteur en fonction de la valeur moyenne de chaque modalité. Une lettre différente a été attribuée à chaque modalité significativement différente d'une autre. Enfin, dans le but de déterminer la complémentarité des critères d'infestation, un dernier GLM a été construit (*GLM (Nombre vers ~ pigmentation + opacité)*, n=1426).

Seuls les effets significatifs sont présentés graphiquement dans ce rapport (boîtes à moustaches ou courbes). L'ensemble des modèles ont pris en compte les différences entre sexe. Néanmoins, au vu du faible nombre de mâles par rapport aux femelles, les graphiques ont été réalisés sexes confondus. D'autres graphiques réalisés par le Muséum National d'Histoire Naturelle sont également présentés pour compléter l'analyse (CRESCO, B. Bourillon, 2020).

RESULTATS

1. Hydrologie et bilan des captures 2019/2020

Entre le 1er octobre 2019 et le 15 février 2020, les débits journaliers à Montjean-sur-Loire (1147 m³/s) ne diffèrent pas de la moyenne journalière interannuelle historique calculée sur la période 1900-2019 (1004 m³/s, Δ=+3,4%, GLM (1), p>0,05, Figure 3). Ainsi, contrairement aux deux saisons précédentes, la saison de pêche 2019-2020 se distingue par une hydrologie non déficitaire avec un débit moyen supérieur à 3% par rapport au module interannuel calculé depuis 1900 (Figure 3). Pour la première fois sur les trois dernières saisons, la rupture d'étiage en octobre a permis la mise à l'eau d'un guideau le 19 octobre, et ainsi les premières captures de la saison 2019-2020 (0,4%, Figures 3 et 4). A la première crue, début novembre, la migration des anguilles argentées a réellement débuté permettant 16% des captures totales sur la saison (Figure 4). Entre fin novembre et fin décembre, deux crues consécutives d'intensité croissante

(de 300 m^3/s à 1600 m^3/s et 1200 m3/s à 2900 m3/s) traduisent plus de 80% des captures de la saison (42,7% et 40,9%, Figure 4). Par la suite, la longue période de faible débit du mois de janvier marque un plateau dans l'évolution des captures. Enfin fin janvier, une crue d'intensité inférieure à la précédente (700 m3/s à 2200 m3/s) n'a permis aucune capture, les guideaux étant tous hors de l'eau à cette période (Figure 4).

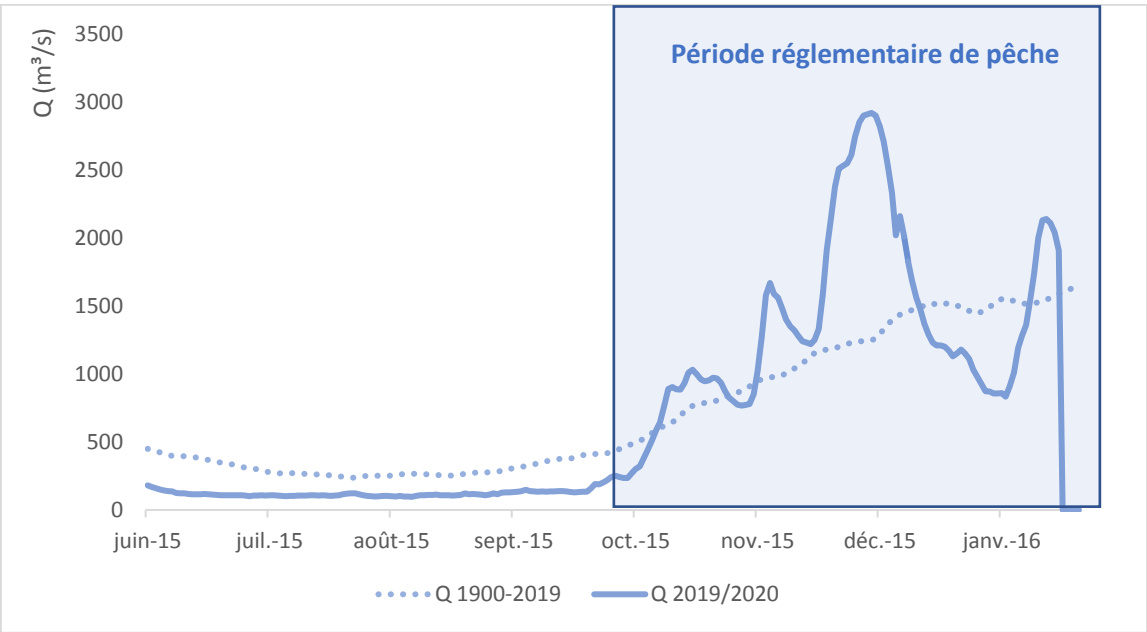


Figure 3: Débits Montjean-sur-Loire (Source *http://hydro.eaufrance.fr***)**

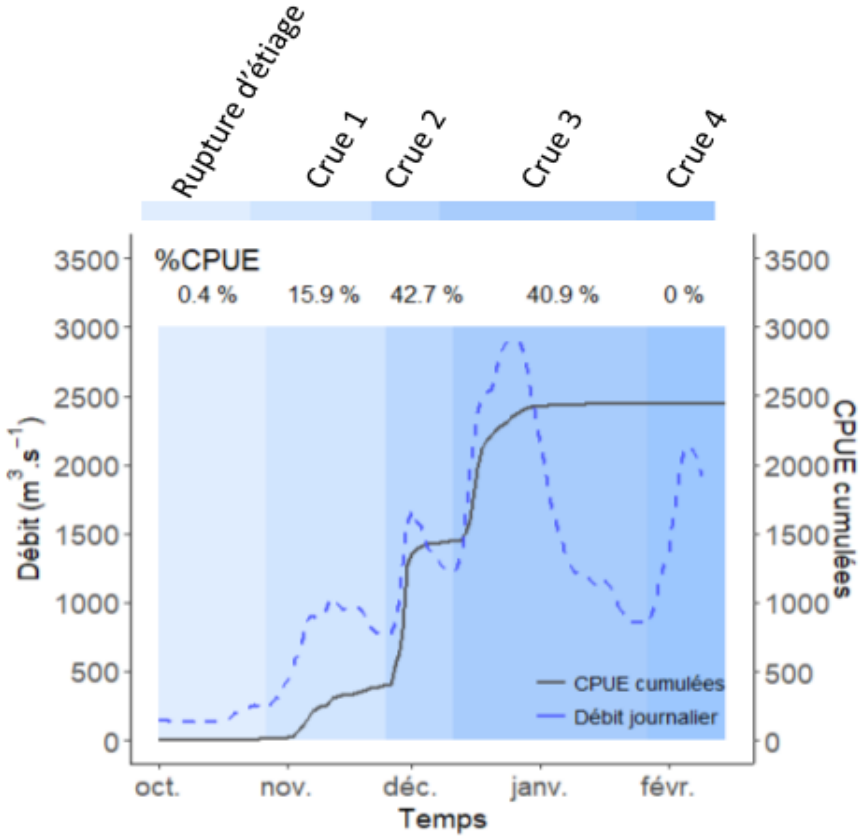


Figure 4: Reconstitution de la saison de pêche 2019-2020 avec les captures par unité d'effort cumulées (courbe trait plein noir) et le débit (m³/s, courbe trait pointillé bleu) en fonction du temps. Réalisation MNHN, CRESCO, B. Bourillon, 2020 (Source *http://hydro.eaufrance.fr***).**

Lors de la campagne 2019-2020, 10 118 anguilles ont été capturées par l'ensemble des guideaux,

soit environ deux fois moins que la moyenne interannuelle depuis la campagne 2001-2002 (26 000 anguilles environ). Par rapport aux deux saisons précédentes (2017-2018 et 2018-2019), le nombre d'anguilles capturées est d'environ 1000 individus en moins cette année. Près de 41% du total de ces captures ont été capturées puis relâchées lors de la relève hebdomadaire (28% du temps passé en période de pêche), le pourcentage de relâche est nettement supérieur à celui de la moyenne interannuelle (24%) calculée depuis la mise en place de la relève hebdomadaire en 2008-2009. Sur l'ensemble de la période, 164 nuits de pêche ont été réalisées. Ceci représente un effort de pêche de 58,7% en 2019/2020, inférieur aux deux autres saisons précédentes (68% en 2017/2018 et 74% en 2018/2019). Cependant, la CPUE moyenne sur la saison 2019/2020 est supérieure à celle des deux précédentes saisons (30,2 ± 64,1 anguilles par nuit de pêche contre 25,7 ± 60,6 en 2017/2018 et 23,5 ± 43,9 en 2018/2019). Le nombre de nuits sans effort de pêche est supérieur cette année également, mais sans augmentation des nuits avec captures nulles. Également, le taux de capture maximal en une nuit de pêche est supérieur cette année par rapport aux deux saisons précédentes (467 anguilles contre 354 en 2017/2018 et 240 en 2018/2019). Ainsi, malgré un effort de pêche globalement inférieur cette saison, les captures restent importantes avec globalement plus d'individus capturés en moyenne avec le même effort.

2. Ratio grandes / petites des anguilles capturées au guideau

Cette année et ce depuis 2001, le ratio grandes / petites anguilles sur l'ensemble de la saison de pêche est en faveur des grandes à 67% (Tableau 2 et Figure 5). C'est sur le lot L3 (Chalonnes-sur-Loire) et les lots L4-L5 (Montjean-sur-Loire) et dans une moindre mesure le lot 10 (Ancenis) que les taux de grandes anguilles sont les plus forts (80%, 75% et 67% respectivement, Tableau 2). En revanche, c'est sur le lot K5 (La Ménitré) et les lots 7-8 (Varades) que les ratios semblent se rapprocher de l'équilibre (56% et 58% de grandes, Tableau 2). Les proportions grandes/petites semblent varier selon l'année et le lot (Tableau 2 et Figure 5). Sur l'ensemble des pêcheries, la proportion des petites anguilles par rapport aux grandes tend à augmenter depuis 2014 (Tableau 2 et Figure 5). Depuis 2016, le ratio semble stable autour de 60% de grandes pour 40% de mâles (Tableau 2 et Figure 5). Ce ratio étant considéré comme une approche du sex-ratio, les femelles semblent ainsi majoritaires sur l'ensemble des données depuis 2001.

Tableau 2 : Ratio grandes-petites des anguilles d'avalaison depuis 2015-2016

ratio grandes/petites	La Ménitré		Chalonnes (L3)		Montjean (L4+L5)		Varades (7+8)		Ancenis (10)		Loire	
	grandes	petites	grandes	petites	grandes	petites	grandes	petites	grandes	petites	grandes	petites
2015-16	88%	12%	77%	23%	64%	36%	68%	32%	-	-	71%	29%
2016-17	93%	7%	67%	33%	40%	60%	72%	28%	-	-	57%	43%
2017-18	-	-	72%	28%	65%	35%	63%	37%	-	-	67%	33%
2018-19	57%	43%	69%	31%	65%	35%	42%	58%	-	-	60%	40%
2019-20	**56%**	**44%**	**80%**	**20%**	**75%**	**25%**	**58%**	**42%**	**67%**	**33%**	**67%**	**33%**

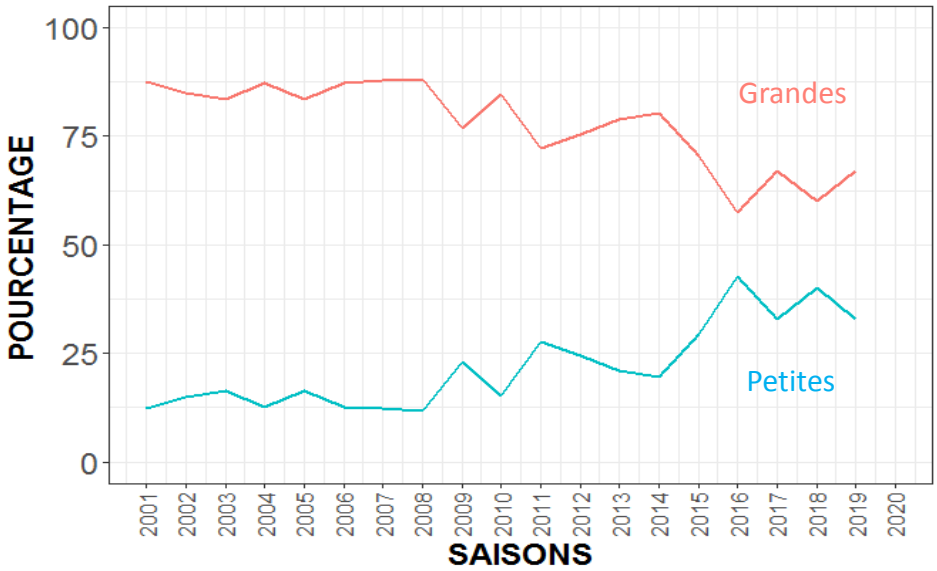


Figure 5 : Ratio grandes/petites anguilles selon la saison de captures depuis 2001. Réalisation MNHN, CRESCO, B. Bourillon, 2020.

3. Caractéristiques biométriques des anguilles échantillonnées

3.1. Calendrier d'échantillonnage

Cette année, 244 individus ont été échantillonnés pour effectuer des mesures biométriques, 121 ont été disséquées pour l'analyse de contamination des vessies par le nématode *A. crassus*. Au total, 7 sessions d'échantillonnage réparties sur l'ensemble de la période de pêche ont été réalisées (Tableau 3). Aucun individu issu de la dernière crue n'a pu être échantillonné, puisqu'aucune capture n'a été réalisée au moment de cette crue (Figure 4 et Tableau 3).

Tableau 3: Calendrier d'échantillonnage 2019-2020 des anguilles d'avalaison

	♂	♀	date	crue
La Ménitré (K4-K5)	7	38	05/11/19	1
Chalonnes (L3)	0	39	16/12/19	3
Montjean (L4-L5)	0	60	05/11/19	1
		20	29/11/19	2
	0	10	16/12/2019	3
Varades (7-8)	7	3	05/11/19	1
	0	60	01/12/19	3
TOTAL 2019-2020	**14**	**230**		

3.2. Relation taille-masse

La relation taille-masse observée est de type puissance (GLM (2), p=2,2e-16, Figure 6). Cette relation est allométrique négative (b<3) : $Masse=2e\text{-}06(Taille)^{2,96}$. Ainsi, la croissance en taille est supérieure à celle en poids en début de relation et devient inférieure à cette dernière à partir d'une valeur seuil (750 mm environ pour 800 g, Figure 6). Les individus au-delà de 750 mm semblent grossir plus vite qu'ils ne grandissent, indiquant un possible ralentissement de croissance (Figure 6). Ici, une seule relation a été établie sur tous les individus, sexes confondus (GLM, n males=14, n femelles= 230, Figure 6). Les individus mâles représentent les individus les plus petits et les moins lourds (tailles inférieures à 45 cm, Figure 6), les femelles les plus grands et les plus lourds (tailles supérieures à 45cm, Figure 6).

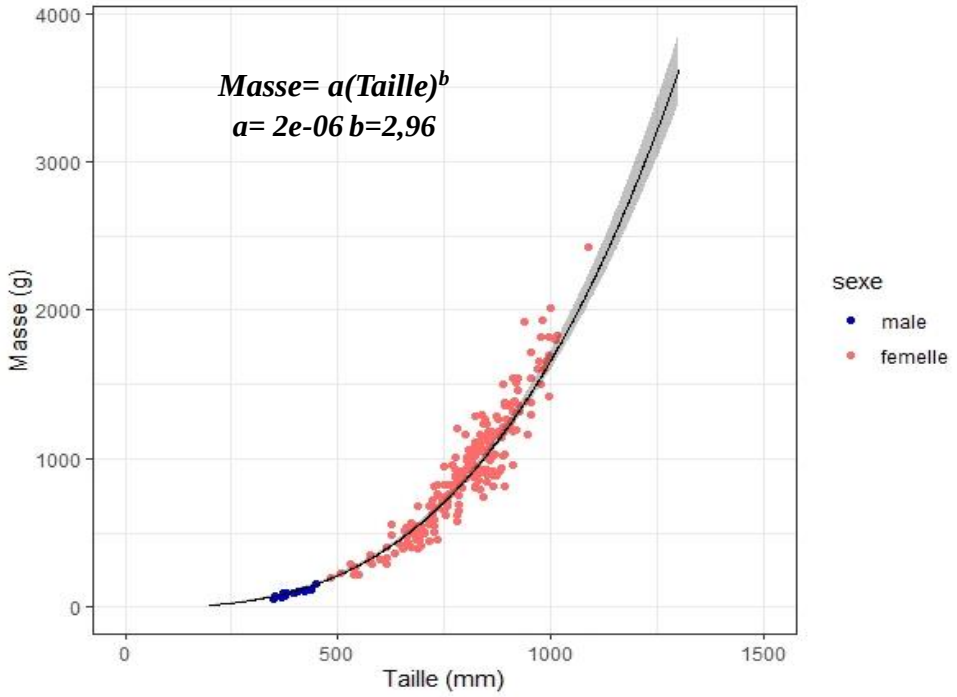


Figure 6 : Relation taille-masse de l'ensemble des captures 2019/2020. GLM (n=244, p<0,05, Ln (Masse)~Ln (Taille)). Points observés (bleus=mâles ; rouges=femelles) avec courbe de prédiction et intervalle de confiance du modèle

3.3. Caractéristiques biométriques (taille, poids et embonpoint) selon le sexe, la date de capture et la pêcherie sur l'ensemble des individus échantillonnés

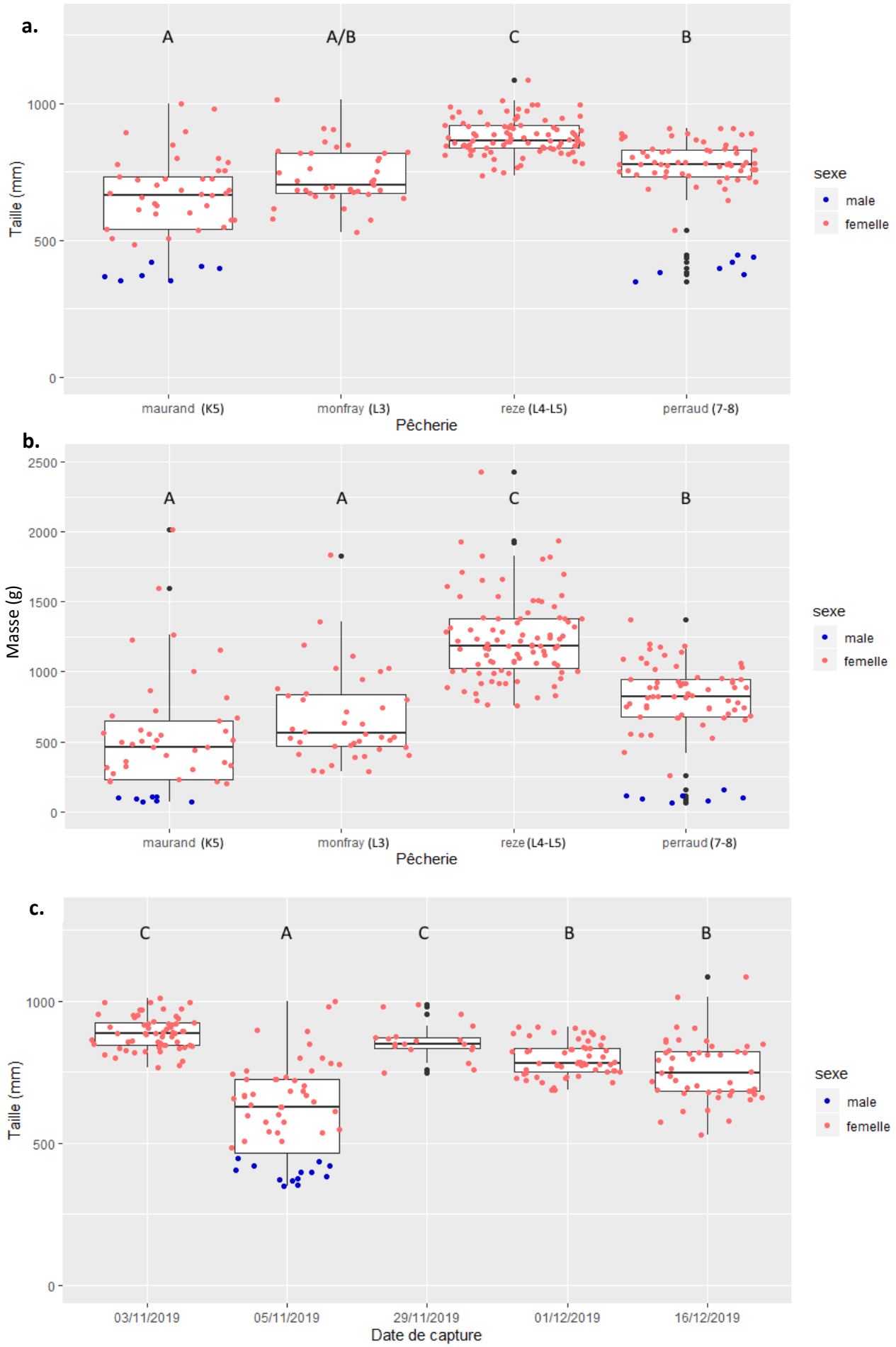
D'après les résultats du GLM (3) (Tableau 4), la taille et la masse des individus d'anguilles échantillonnés en biométrie varient selon le sexe, la date de pêche et la pêcherie (GLM, 1<df<3, 3,26<F<66,37, 2,21e-14<p<0,02, Tableau 4). L'embonpoint ne semble pas varier selon ces mêmes caractéristiques (GLM, p>0,05, Tableau 4). Ainsi, les individus mâles (426 ± 28,48 mm et 464 ± 2,66 g, Figure 7) ont en moyenne une taille et une masse inférieures aux femelles (776 ± 7,24 mm et 512 ± 2,60 g, Figure 7).

Selon la date de capture sur l'ensemble des anguilles échantillonnées, la taille et la masse diffèrent (GLM, df=3, 3,26<F<4,41, 5e-3<p<0,02, Tableau 4). Le 03 et le 29 novembre, les plus gros et grands individus ont été capturés (Tableau 4, Figures 7c et 7d). Le 05 novembre, les

individus sont les plus petits et les plus minces (Tableau 4, Figures 7c et 7d). Les individus capturés en décembre sont par rapport au reste de la période de taille et de masse moyennes (Tableau 4). Selon la pêcherie, la taille et la masse diffèrent également (GLM, df=2, 5,22<F<8,67, 2e-4<p<6e-03, Tableau 4). Ainsi, les pêcheries situées le plus en aval ont capturé des individus de taille et de masse en moyennes plus importantes (lots L4-L5 : 713 ± 18,3 mm et 920 ± 52,4 g ; lots 7-8 : 609 ± 17,1 mm et 520 ± 48,9 g, Tableau 4, Figures 7a et 7b). Les pêcheries les plus en amont au contraire ont prélevés des individus plus petits et plus minces en moyennes (lot L3 : 557 ± 22,1 mm et 357 ± 63,3 g ; lot K5 : 523 ± 18,4 mm et 309 ± 52,7 g, Tableau 2, Figures 7a et 7b). Les individus mâles ont été capturés uniquement le 05 novembre sur la pêcherie la plus en aval (7-8) et la plus en amont (K5) (Tableau 4 et Figure 7). Sur l'ensemble des dates de captures et des pêcheries, les tendances sont ainsi similaires sexes confondus ou distincts (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultats des Modèles Linéaires Généralisés réalisés sur les caractéristiques biométriques (taille, masse, embonpoint) en fonction du sexe, de la date de capture et de la pêcherie (n=244, p<0.05). Moyennes et écarts-type issus des moyennes ajustées à partir du modèle, groupes issus des moyennes ajustées et de la significativité de l'interaction (NS (non significatif) : p>0,05 ; * : p<0,05 ; ** : p<0,01 ; *** : p<0,001). Groupes significativement différents : A<B<C.

Caractéristique biométrique	Facteur	Degré de liberté	Valeur du test	p	Modalités du facteur	Moyenne+/- Ecart-type des moyennes ajustées	Groupe	Groupe pour les mâles	Groupe pour les femelles
taille ~	**sexe**	1	66,37	**2,21e-14 *****	**mâle**	426 ± 28,48	A	A	A
					femelle	776 ± 7,24	B	B	B
	date de capture	3	3,26	**0,02 ***	**03/11/2019**	740 ± 20,8	C	C	C
					05/11/2019	540 ± 16	A	A	A
					29/11/2019	759± 28,1	C	C	C
					01/12/2019	647 ± 20,9	B	B	B
					16/12/2019	608 ± 21,8	B	B	B
	pêcherie (lots)	2	5,22	**6e-3 ****	**Perraud (7/8)**	609 ± 17,1	B	B	B
					Rezé (L4/L5)	713 ± 18,3	C	C	C
					Monfray (L3)	557 ± 22,1	A/B	A/B	A/B
					Maurand (K5)	523 ± 18,4	A	A	A
masse ~	**sexe**	1	22,10	**4,43e-6 *****	**mâle**	464 ± 2,66	A	A	A
					femelle	512 ± 2,6	B	B	B
	date de capture	3	4,41	**5e-3 ****	**03/11/2019**	1040 ± 60	C	C	C
					05/11/2019	348 ± 46,1	A	A	A
					29/11/2019	896 ± 80,9	C	C	C
					01/12/2019	618 ± 60,2	B	B	B
					16/12/2019	470 ± 8,55	A/B	A/B	A/B
	pêcherie (lots)	2	8,67	**2e-4 *****	**Perraud (7/8)**	520 ± 48,9	B	B	B
					Rezé (L4/L5)	920 ± 52,4	C	C	C
					Monfray (L3)	357 ± 63,3	A	A	A
					Maurand (K5)	309 ± 52,7	A	A	A
embonpoint ~	**sexe**	**NS**							
	date de capture	**NS**							
	pêcherie (lots)	**NS**							


a.
A
A/B
C
B
Taille (mm)
1000
500
0
maurand (K5)
monfray (L3)
reze (L4-L5)
perraud (7-8)
Pêcherie
sexe
male
femelle
b.
A
A
C
B
Masse (g)
2500
2000
1500
1000
500
0
maurand (K5)
monfray (L3)
reze (L4-L5)
perraud (7-8)
Pêcherie
sexe
male
femelle
c.
C
A
C
B
B
Taille (mm)
1000
500
0
03/11/2019
05/11/2019
29/11/2019
01/12/2019
16/12/2019
Date de capture
sexe
male
femelle

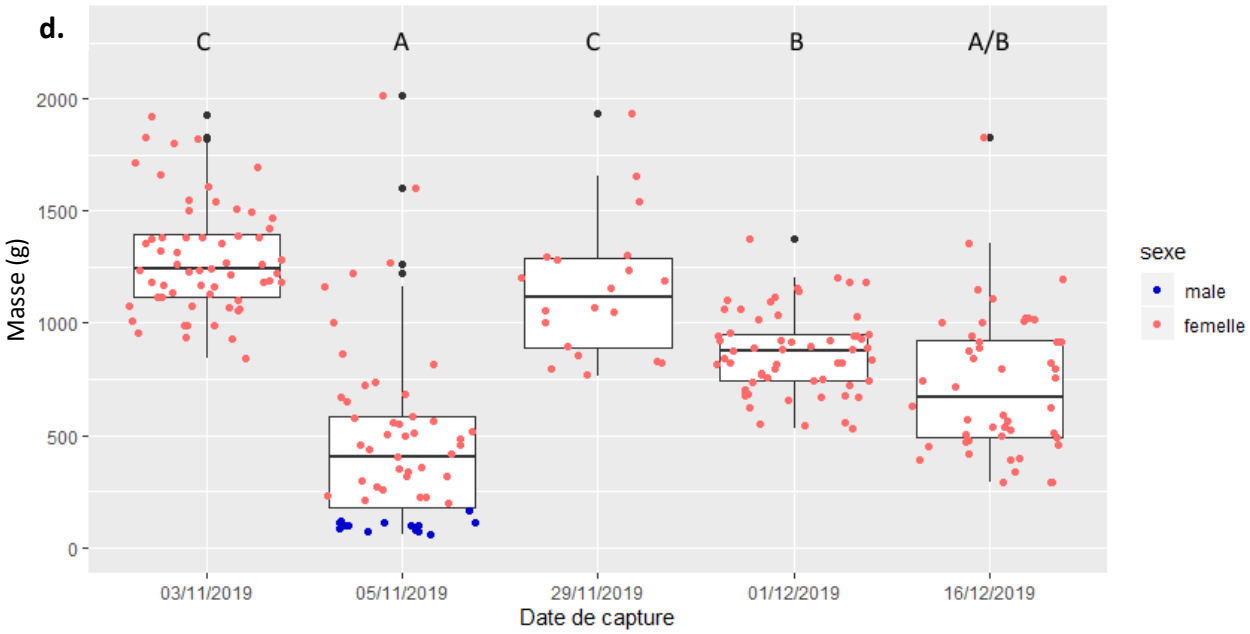


Figure 7 : Comparaison de la taille (a et c), de la masse (b et d) des individus en 2019 selon la pêcherie (a et b) et la date de capture (c et d). Groupes issus du GLM (p<0,05, n=244). Groupes significativement différents : A<B<C. Points bleus= individus mâles ; points roses= individus femelles.

3.5. Argenture

- **Ligne latérale et livrée**

La totalité des individus échantillonnés en biométrie présentent au moins un point noir sur leur ligne latérale et une livrée marquée. La présence systématique d'une livrée marquée ici ne corrobore pas les observations des années précédentes, où le taux d'individus à livrée marquée était inférieur.

- **Indice Oculaire Gauche**

D'après les résultats du GLM (4), l'indice oculaire ne varie ni selon le sexe (GLM, df=1, F=2,97, p=0,08), ni la pêcherie (GLM, df=2, F=0,07, p=0,94) ni la date de capture (GLM, df=3, F=1,83, p=0,14). Ainsi, l'indice oculaire ne semble pas différent selon la localisation et la date de capture, sexes confondus. Ainsi, l'indice oculaire des anguilles mesurées cette année est de 2,39 ± 0,42 mm en moyenne sur toute la période et toutes les pêcheries.

- **Stade d'argenture**

En réunissant les trois critères d'argenture, la majorité des anguilles échantillonnées sont en migration (stades FV et MII 98%, Figure 8). La totalité des mâles échantillonnés sont des mâles argentés en migration. C'est sur le lot L3 que la proportion de femelles migrantes est la plus forte, avec un taux de 100% (Figure 8). Seuls les lots L4-L5 en basse Loire contiennent des femelles en pré-migration (Figure 8). Très peu d'anguilles femelles résidentes ont été retrouvées

(1%) et en pré-migration (1%) (Figure 8). Sur les lots L4-L5 et K5, 2 individus estimés au stade femelle résidente ont été retrouvés cette année (Figure 8).

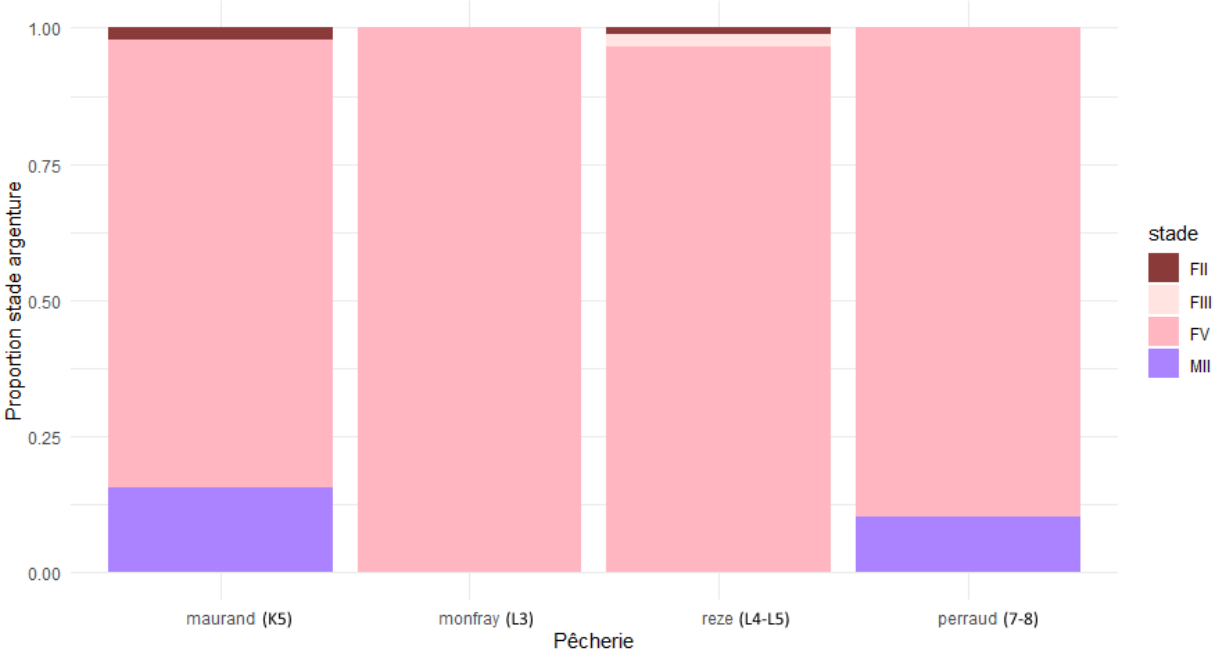


Figure 8 : Proportion de chaque stade d'argenture (méthode EELREP (Durif *et al.*, 2005) selon la pêcherie sur les anguilles échantillonnées en 2019/2020 (n=244). FII=Stade femelle résidente ; FIII=Stade femelle pré-migrante ; FV= Stade femelle migrante ; MII= Stade mâle migrant.

4. Niveau de contamination des vessies par le parasite Anguillicola crassus

Sur les 121 anguilles disséquées, 32% ne présentent pas de vers dans la vessie natatoire soit plus de 2 fois plus que sur l'échantillonnage de 2018 (13% en 2018, Figure 10). La prévalence de parasitose sur la saison 2019/2020 est donc de 68%. Le nombre maximal (intensité maximale) de vers retrouvés dans une vessie est de 58 pour une anguille capturée à Montjean-sur-Loire. La majorité des anguilles possédait entre 0 et 5 nématodes dans leur vessie (Figure 10), avec une moyenne de 3,64 ± 0,59 vers par anguille sur l'ensemble des données de la saison (Tableau 5).

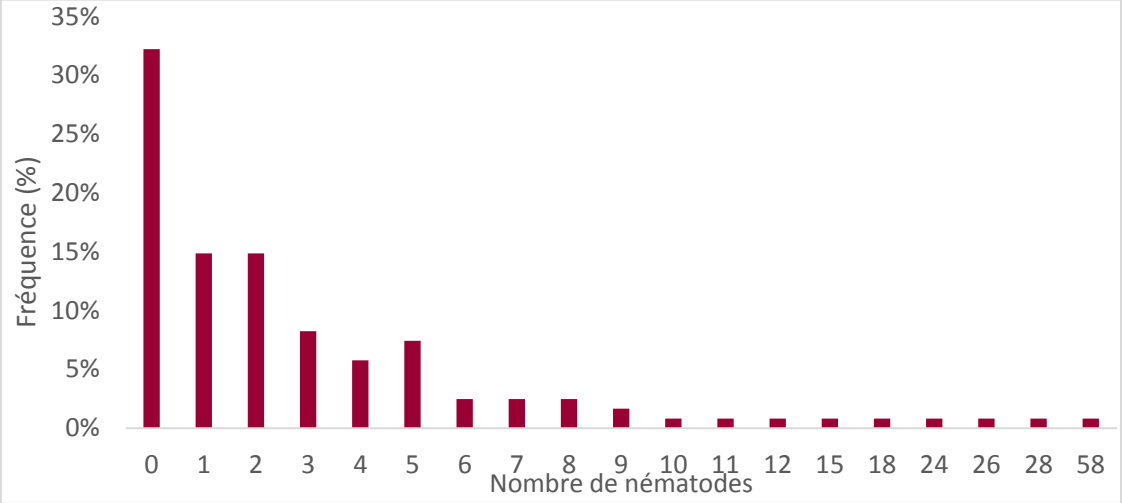


Figure 9 : Fréquence des anguilles d'avalaison par nombre de nématodes *A. crassus* retrouvés dans leur vessie natatoire respective (n=121).

D'après les résultats du GLM (4) (Tableau 5) sur les différentes saisons d'échantillonnage, le nombre de vers présents dans les anguilles échantillonnées varie selon la saison de capture (GLM, df=8, F=2,40, p=0,01) mais pas selon la pêcherie (GLM, df=3, F=0,88, p=0,45). Les moyennes annuelles retrouvées depuis 2010 varient entre 3,28 ± 0,34 vers par anguille échantillonnées (2015/2016) et 6,47 ± 0,77 vers par anguille échantillonnée (2018/2019). Sur l'ensemble de la période, on retrouve un taux de parasites par anguille de 3,90 ± 6,51. 92 individus dans une seule anguille ont été retrouvés au maximum pendant la saison 2016/2017. Globalement, 2010/2011 et 2015/2016 représentent les deux saisons où le nombre de vers est le plus faible (3,3 environ individus par anguille). C'est sur la saison 2018/2019 et 2016/2017 que la prévalence est au contraire la plus forte (6 individus par anguille environ) (Tableau 5). Les autres années d'échantillonnage représentent des taux d'infestation moyen ou abondances moyennes autour de 4 individus retrouvés par anguille (Tableau 5).

Tableau 5 : Résultats du GLM du nombre de vers en fonction de la saison de captures (n=1426, p<0.05). Moyennes et écarts-type issus des moyennes ajustées à partir du modèle, groupes issus des moyennes ajustées. Groupes significativement différents : A<B<C.

	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Moyenne+/- Ecart-type des moyennes ajustées	3,26 ± 0,49	4,62 ± 0,97	3,98 ± 0,50	3,55 ± 0,53	3,95 ± 0,54	3,28 ± 0,34	5,86 ± 0,70	4,10 ± 0,66	6,47 ± 0,77	3,64 ± 0,59
Groupe	A/B	A/B/C	A/B/C	A/B/C	A/B/C	A	B/C	A/B/C	C	A/B/C

Bien que 32% des anguilles disséquées ne comportent pas de vers dans la vessie, seule l'une d'entre elle est considérée comme saine (nombre équivalent à 2018, Tableau 6). En effet, l'état

sanitaire d'un individu dépend à la fois de la présence de vers mais aussi de la transparence de la vessie, de sa pigmentation et de la présence d'exsudat, critères traduisant une possible infestation passée par le parasite. Ces indices ne semblent pas être corrélés au nombre de vers directement présents, mais semblent complémentaires à celui-ci (GLM (nombre de vers ~ pigmentation + opacité), $p>0,05$, $n=1426$). Ainsi, hormis un individu la totalité des anguilles qui ne possèdent pas de vers dans la vessie natatoire présentent une opacité marquée et/ou avec de la pigmentation et/ou de l'exsudat.

Tableau 6 : Taux d'infestation selon la présence de vers, l'opacité de la vessie et la pigmentation ou la présence de débris sur les anguilles 2019/2020. n=121.

présence de vers	68%
opacité vessie	99%
pigmentation ou débrits	96%

DISCUSSION

1. Hydrologie et bilan des captures 2019/2020

Les débits automnaux et hivernaux de cette saison 2019/2020 ont été dans les normes par rapport aux données historiques. Cette saison est considérée comme non déficitaire en eau sur toute la période de la pêche d'anguilles d'avalaison, contrairement aux deux saisons précédentes (2017/2018 et 2018/2019 ; Proust, 2019). De plus, la rupture d'étiage en octobre a permis la mise à l'eau d'un guideau le 19 octobre, ce qui n'avait été possible les deux saisons précédentes (Proust, 2019). Au total, quatre épisodes de crue se sont déroulés de début novembre jusqu'à début février. La 2ème et la 3ème crue d'intensités croissantes entre fin novembre et fin décembre totalisent plus de 80% de l'ensemble des captures sur toute la saison. C'est par ailleurs sur cette période que les 7 guideaux ont été simultanément sur l'eau la majorité du temps. La 4ème crue n'est représentée par aucune capture, puisqu'aucun guideau n'était à l'eau à cette période, la saison étant considérée comme terminée selon les témoignages recueillis (Maurand, comm. pers., 2020 ; Monfray, comm. pers., 2020 ; Perraud, comm. pers., 2020 & Rezé, comm.pers., 2020).

Sur les 279 nuits de pêche de la saison, 10 118 anguilles ont été capturées par l'ensemble des guideaux soient 1000 individus de moins par rapport aux deux dernières saisons. Le taux de captures de cette année (comme les deux saisons précédentes) est globalement deux fois inférieur au taux de captures moyen calculé sur les 10 dernières années (Proust, 2019). Cependant, le nombre de guideaux sur l'eau a diminué également, pouvant en partie expliquer ces différences (Acou *et al.*, 2015). Plus de 40% de ces captures ont été réalisés pendant les relèves hebdomadaires (sur les week-ends). Ceci signifie que près de la moitié des individus ont été capturés sur l'équivalent de 28% du temps de travail des pêcheurs, mais également que

40% des captures ont été relâchées et ainsi non prélevées. Globalement sur cette saison, l'effort de pêche est moins important que les deux saisons précédentes (Proust, 2019). Pour autant, le taux de capture moyen et la CPUE maximale sur la saison sont meilleurs par rapport aux deux autres années (Proust, 2019). Ceci signifie que cette année, la présence des pêcheurs sur l'eau a été moins importante mais elle a été efficace car accompagnée de captures la grande majorité du temps. Toutefois, l'écart-type moyen des captures est plus fort cette année également, ce qui montre une très forte hétérogénéité des taux de captures entre les dates et les lots sur la saison mais également par rapport aux autres saisons de capture. Des différences dans l'intensité de migration et les périodes de dévalaison à l'échelle d'un bassin versant ou sur l'ensemble de l'aire de répartition de l'anguille ont été largement documentées (Feunteun *et al.*, 2000 ; Feunteun *et al.*, 2003 et Acou *et al.*, 2009). Ces différences de captures par unité d'effort sur les dernières saisons peuvent s'expliquer par les variations des conditions environnementales, comme les épisodes hydrologiques ou la température de l'eau (Feunteun *et al.*, 2000 ; Feunteun *et al.*, 2003 ; Acou *et al.*, 2009 et Acou *et al.*, 2015). En effet, les variations des facteurs environnementaux agissent sur l'état physiologique du poisson pendant l'argenture et sur sa migration (Acou *et al.*, 2009). Cette année, les épisodes de crues ont été intenses et brefs, ce qui a permis de bons taux de captures sur de courtes durées (conditions hydrologiques très difficiles sur crues 2 et 3), puis des captures moyennes le reste de la période (Bourillon, comm. pers., 2020). Aussi, les crues intenses ont parfois empêché la sortie du matériel, malgré les conditions favorables à la capture d'anguilles réunies (Monfray, comm. pers., 2020). Enfin, la baisse en captures de cette année corroborent la tendance de diminution de l'abondance d'anguilles argentées de la Loire depuis 2001 (Acou *et al.*, 2015). Il est également observé depuis le début de l'étude sur la Loire une augmentation significative de la taille et de la masse des individus échantillonnés, pouvant refléter une baisse significative du nombre d'individus plus jeunes au profit de spécimens plus âgés, autre indice d'une chute d'abondance dans un bassin (Acou *et al.*, 2015). Ces observations en Loire sont également cohérentes avec les tendances observées à l'échelle européenne depuis les années 2000 (ICES, 2011 dans Acou *et al.*, 2015). Cependant, une augmentation de l'abondance des anguilles argentées en Loire est à espérer dès 2020, avec les nombreux recrutements de civelles effectués depuis 2010 (âge moyen des anguilles argentées en Loire de 10 ans ; Acou *et al.*, 2015).

2. Ratio grandes / petites des anguilles capturées au guideau

Depuis le début du suivi (2001), l'approche du sex-ratio par le ratio grandes/petites est systématiquement en faveur des grandes sur l'ensemble des captures en Loire (Proust, 2019). Cette approche n'est qu'une estimation du sex-ratio, puisque la catégorisation des individus capturés se fait sur le terrain en fonction de la taille (mâles faisant moins de 45cm et femelles

plus de 45cm) sans mesure stricte (Bourillon, comm. pers., 2020). Ainsi, la part d'anguilles « petites » qui caractérise la part de mâles contient également des individus femelles en limite de taille (entre 45 et 50 cm). En revanche, la part de « grandes » est généralement représentée uniquement par des femelles, étant bien différenciées des petits individus (Bourillon, comm. pers., 2020). Ainsi, on peut déduire que le sex-ratio sur les anguilles capturées en Loire est, depuis 2001, en faveur des femelles, quel que soit le lot (variation spatiale) ou la période de capture (variation temporelle). Cette observation corrobore les études précédentes en Loire (Acou *et al.*, 2015). Cependant, la part de « petites » depuis 2001 restée stable jusqu'en 2014 autour de 20%, a augmenté entre 2014 et 2016 pour arriver à un taux de 40% des anguilles capturées. Depuis 2016, ce taux semble stagner, conduisant à un ratio global grandes / petites autour de 60% / 40%. Le sexe des individus étant en partie déterminé en fonction de la densité (forte densité conduit à une proportion de mâles plus importantes, faible densité à des femelles), une hypothèse pour expliquer cette évolution pourrait être une augmentation de la densité des individus en Loire depuis 2014 (Feunteun, comm. pers., 2019). Aucune étude à ce jour ne permet d'affirmer ces propos. Concernant le ratio grandes / petites en fonction des lots de pêche, des variations se perçoivent également. Des différences sont attendues entre les différentes pêcheries, puisqu'il existe une distribution spatiale des sexes au sein même d'un bassin versant comme la Loire (Acou *et al.*, 2007). D'ordre général, les plus grandes femelles sont majoritaires vers les zones amont du bassin versant tandis que les mâles sont majoritaires dans les zones aval (Haraldstad et al. 1985 et Vollestad 1992 dans Acou *et al.*, 2009). Cette année pour autant, aucune tendance claire n'a pu être observée. En effet, certaines années comme la saison 2015/2016 ont été marquées par un taux plus important de « grandes » anguilles dans les pêcheries les plus amont par rapport aux pêcheries aval. Cette année, la pêcherie la plus en amont avait un taux moins important de « grandes » anguilles que la pêcherie la plus en aval. Cette irrégularité peut s'expliquer par l'absence de pêcheries participantes sur tout le linéaire de la Loire. En effet, il se peut que nos pêcheries localisées en basse Loire et Loire moyenne ne suffisent pas pour observer un éventuel gradient du sex-ratio en Loire.

3. Caractéristiques biométriques des anguilles échantillonnées

Sur l'ensemble de la saison, des échantillonnages ont été effectués sur 244 individus issus des 3 crues avec effort de pêche. D'après l'analyse des données biométriques de ces individus, la taille et la masse varient selon le sexe, la date de pêche (variation temporelle) et la pêcherie (variation spatiale). Les femelles représentent les individus avec une taille et une masse plus importantes que les mâles, en accord avec d'autres études sur cette espèce (Feunteun *et al.*, 2003 ; Acou *et al.*, 2009 et Acou *et al.*, 2015). Cependant, peu de mâles ont constitué notre échantillon de cette année, capturés sur une seule date (05/11) et sur deux des quatre pêcheries

(K5 et L4-L5). Les mâles et les plus petites femelles migrent généralement plus tôt dans la saison que les grandes femelles (dès l'ouverture de la pêche en octobre en Loire (Acou *et al.*, 2015)), ce qui peut expliquer ce résultat (Haraldstad *et al.* 1985 dans Acou *et al.*, 2009). De plus, les mâles se trouvent davantage sur les zones aval (jusqu'en estuaire) dans de grands hydrosystèmes tels que la Loire, ce qui peut expliquer la faible représentation de ceux-ci dans notre échantillonnage biométrique (Acou *et al.*, 2015). C'est en novembre qu'ont été échantillonnés les plus gros et grands individus (03/11 et 29/11, 1ère et 2ème crue), mais également les plus petits et minces (05/11, 1ère crue). La présence de mâles sur uniquement la capture du 05 novembre semble expliquer cette différence, les mâles étant les plus petits et les plus minces individus de l'échantillon. Les individus capturés en décembre présentaient une masse et une taille moyennes par rapport au reste des individus (3ème crue). Au niveau spatial, les pêcheries situées en aval (7-8 et L4-L5) ont capturé en moyenne des individus plus grands et plus massifs que les pêcheries amont (L3 et K5). Ici, la présence de mâles ne permet pas d'expliquer ces différences, étant présent dans une pêcherie en aval et une pêcherie en amont.

L'argenture est considérée comme l'ultime métamorphose qui prépare l'anguille à la migration de reproduction (Acou *et al.*, 2009). Concernant le stade d'argenture des individus échantillonnés, la majorité des individus présentait un stade avancé de migrateur reproducteur. En effet, les anguilles argentées prêtes à entreprendre leur migration d'avalaison sont caractérisées par une livrée très contrastée, sombre sur la partie supérieure et claire sur la partie abdominale (Acou *et al.*, 2009). Tous les individus échantillonnés cette année possédaient une livrée et au moins un point noir sur la ligne latérale. L'indice oculaire, globalement similaire entre les individus, les dates et les pêcheries était de 2,39 mm en moyenne. Selon les trois critères d'argenture, 98% des anguilles échantillonnées dont l'ensemble des mâles étaient considérées comme mâtures en migration (FV et MII). Peu d'individus ont été identifiés comme résidentes et pré-migrantes. Ces résultats sont similaires à ceux d'études précédentes en Loire (Acou *et al.*, 2009 ; Acou *et al.*, 2015). En effet, les mâles se métamorphosent à des tailles (< 450 mm) et âges (entre 3 et 14 ans) plus faibles que ceux des femelles (> 450 mm ; entre 6 et 18 ans) puisque leur fertilité n'est pas liée à leur taille contrairement aux femelles (Vollestad 1992 et Svedang *et al.*, 1996 dans Acou *et al.*, 2009). Ainsi, malgré une forte hétérogénéité de tailles et de masses visible dans notre échantillon, il n'est pas surprenant que la grande majorité des individus échantillonnés soient des anguilles au stade argenté en migration.

4. Niveau de contamination des vessies par le parasite A. crassus

Les anguilles disséquées cette année ont un taux de parasitisme par *A. crassus* plus deux fois moins important que l'année dernière. En effet, 32% ne présentent pas de vers dans la vessie natatoire contre 13% en 2018. La prévalence (taux d'anguilles infectées de l'échantillon)

(Sauvaget *et al.*, 2003) du parasite sur notre échantillon est donc de 68% cette année. Sur les individus échantillonnés, entre 0 et 5 vers ont été majoritairement retrouvés, avec une abondance moyenne (nombre de vers par anguille examinée) (Sauvaget *et al.*, 2003) globale de 4 vers par individu et une intensité maximale 58 vers au maximum dans un individu. L'intensité moyenne (nombre de vers par anguille infectée) (Sauvaget *et al.*, 2003) est de 5 vers par anguille infectée en moyenne. La transmission et donc la prévalence, l'abondance et l'intensité du parasitisme d'*A. crassus* sur *Anguilla anguilla* varient selon plusieurs critères comme la salinité, la température de l'eau, le temps passé en milieu contaminé ou encore l'abondance de l'hôte dans le milieu (Sauvaget *et al.*, 2003 ; Dhaouadi *et al.*, 2014). Il a été retrouvé en Bretagne notamment que le taux d'anguilles infesté était très nettement supérieur en eau douce qu'en milieux estuariens ou marins (60 à 90 % de prévalence contre 15% en estuaires, Sauvaget *et al.*, 2003 ; moins de 4% en lagune marocaine, Dhaouadi *et al.*, 2014). De plus, il a été également recensé des variations saisonnières de la prévalence parasitaire sur cette espèce, comme dans un estuaire du Maroc où l'infestation fluctuait entre 13% et 55 % selon la saison. L'abondance en vers présent dans notre échantillon de Loire semble varier selon l'année d'échantillonnage (variation temporelle), sans montrer de différence entre les différentes pêcheries (variation spatiale). C'est dans la saison 2018/2019 et 2016/2017 que le nombre moyen de nématodes retrouvés par anguille était le plus fort, avec 6 vers retrouvés en moyenne par individu. Au contraire, c'est dans la saison 2015/2016 et 2010/2011 que le taux moyen de parasitisme était le plus faible, avec 3 vers retrouvés par individu en moyenne.
Enfin, la prévalence, l'intensité et l'abondance peuvent être positivement corrélées à la longueur et au poids des poissons, comme dans El-Hilali *et al.* (2005). Ainsi, les femelles étant en Loire de masse et de taille supérieures peuvent être davantage parasitées que les mâles (El-Hilali *et al.*, 2005). Cette année, l'ensemble des individus examinés était constitué de femelles, contrairement à d'autres saisons comme 2018/2019 (Proust, 2019). Or, la prévalence et l'abondance sont inférieures cette année par rapport à la saison 2018/2019, indiquant une éventuelle baisse du taux de parasitisme sur la sous population d'anguille argentée en Loire cette année.

Enfin, lorsque l'on prend également d'autres critères de dégradation de la vessie tels que son opacité et la présence de pigmentation ou d'exsudat, plus de 99% des individus échantillonnés révèlent des traces d'une parasitose passée. Cette contamination passée diffère de la prévalence car les anguilles n'ont pas forcément été en présence du parasite au même moment (Sauvaget *et al.*, 2003). Nos résultats tendent à confirmer ce propos, la pigmentation et l'opacité de la vessie n'étant pas en lien avec le nombre de vers dans notre étude. Cette information appuie l'hypothèse que le taux actuel d'infestation pourrait être moins fort cette année que les années

précédentes. Un dernier critère est utilisé dans la littérature pour évaluer les traces de parasitisme : l'épaisseur de la vessie (Sauvaget *et al.*, 2003 ; El-Hilali *et al.*, 2005 ; Dhaouadi *et al.*, 2014 ; Bourillon *et al.*, 2019). Ce critère n'a pour l'instant pas été pris en compte dans notre étude, et permettrait une analyse plus précise pour caractériser la parasitose d'*A. crassus* sur les anguilles argentées de Loire.

Bibliographie

Acou A., Boisneau C., Bodin M., Bultel E., Boury P. & E. Feunteun, 2015. Evaluation du flux annuel d'anguilles argentées produit par la Loire fluviale (amont d'Ancenis) pour 6 saisons d'avalaison (de 2001/02 à 2004/05, 2008/09 et 2012/13) et étude du comportement d'avalaison jusqu'à l'estuaire par télémétrie acoustique (saison 2011/12). Rapport MNHN de la Station marine de Dinard. 35 p + annexes.

Acou A., Boisneau C. & E. Feunteun, 2009. Prédiction des pics de dévalaison des anguilles argentées à partir des données environnementales : état des connaissances et développement d'un modèle opérationnel sur la Loire pour la gestion du turbinage. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, CRESCO, Dinard. 123p + annexes.

Beaulaton, L., & C. Briand, 2007. Effect of management measures on glass eel escapement. – ICES Journal of Marine Science, 64: 1402–1413.

Bourillon B, Acou A., Trancart T., Virag L., Proust A., Bodin M., Boisneau C. & E. Feunteun, 2019. Évaluation du flux d'échappement en anguilles argentées *Anguilla anguilla* en Loire fluviale et étude de l'efficacité à long terme des opérations de repeuplement. Rapport d'avancement MNHN de la Station marine de Dinard. 34 p.

Dhaouadi R., Sghaier A., Aloui N., Rejeb A., Tarhouni D., Dargouth M.A. & 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*. **18** : 17-24.

Durif, C., Dufour, S. & P. Elie, 2005. The silvering process of Anguilla anguilla: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. J. Fish. Biol.66, 1025e1043.

El-Hilali M., Yahyaoui A. & N. Chetto, 2005. 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*. **26-27**: 39-42.

Feunteun E., A. Acou, P. Laffaille & A. Legault. 2000. European eel (Anguilla anguilla): prediction of spawner escapement from continental population parameters. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57: 1627-1635.

Feunteun E., P. Laffaille, T. Robinet, C. Briand, A. Baisez, J.M. Olivier & A. Acou. 2003. A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Towards a general theory. In: Aida K, K. Tsukamoto, K. Yamauchi (eds) Eel Biology. Springer-Verlag, Tokyo, pp. 191-213.

Graves S., Piepho H-P., & L. Selzer, 2015. MultcompView : Visualizations of Paired Comparisons. R package version 0.1-7.

Harrison A.J., Walker A.M., Pinder A.C., Briand C. & M.W. Aprahamian, 2014. A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. *Rev Fish Biol Fisheries*. *1*: 1-17. doi: 10.1007/s11160-014-9356-8.

Lenth R., Singmann H., Love J., Buerkner P. & M. Herve, 2019. Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.4.2.

Molnar K., 1993. Effect of decreased oxygen content on eels (*Anguilla Anguilla*) infected by *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea). *Acta veterinaria Hungarica*. **41** (3-4): 349-360.

Pankhurst 1982. Changes in body musculature with sexual maturation in the European eel, *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*. **21**(4): 417-428. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1982.tb02847.x.

Proust A., 2019. Suivi 2018-2019 de la migration des anguilles d'avalaison du bassin de la Loire dans le cadre de la contribution à la gestion de l'espèce et de ses habitats. Rapport technique d'études AAPPBLB. 25p.

Sauvaget B., Fatin D. & C. Briand, 2003. Contamination par *Anguillicola crassus* de cinq populations d'anguilles (*Anguilla anguilla*) du littoral de Bretagne sud (France). *Bull. Fr. Pêche Piscic*. **368** : 21-26.