



Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (*Anguilla anguilla* ; Linnaeus, 1758) sur le barrage de Poses (Eure).

Stage effectué du 3 avril au 31 aout 2023 avec Sebastien Grall de Seinormigr.



Mémoire de stage écrit par **Ourous Gabrielle**

Master Sciences de la Mer, parcours Interactions biotiques et Perturbations Anthropiques en environnement marin (IPA)

Année 2022-2023

Responsable universitaire : Yann Ourmieres et Jean-Louis Jamet

Engagement de non plagiat.

Je soussigné, Gabrielle Ourous.....

N° carte d'étudiant : 22105481.....

Déclare avoir pris connaissance de la charte des examens et notamment du paragraphe spécifique au plagiat.

Je suis pleinement conscient(e) que la copie intégrale sans citation ni référence de documents ou d'une partie de document publiés sous quelques formes que ce soit (ouvrages, publications, rapports d'étudiant, internet etc...) est un plagiat et constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour produire et écrire ce document.

Fait le 28/08/2023

Signature(s)



Ce document doit être inséré en première page de tous les rapports, dossiers et/ou mémoires.

Document du chapitre 10 annexe 5, issu de la Charte des examens adoptée en Conseil d'Administration le 11 juillet 2013 après avis du CEVU du 27 juin 2013 - Délibération N°2013-73- Modifié suite CFVU du 12/03/2015

REMERCIEMENT

Avant tout, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulé de ce stage :

A commencer par M. CHOUQUET Martial, président de la FDPPMA de l'Eure et de SEINORMIGR, pour m'avoir acceptée au sein de cette dernière.

M. GAROT Geoffroy, directeur de SEINORMIGR, pour m'avoir recrutée et permis d'effectuer ce stage.

M. GRALL Sébastien, chargé d'études et mon maître de stage, qui a été un guide précieux tout au long de cette expérience. Sa disponibilité et son soutien ont été essentiels pour mon apprentissage, et je le remercie sincèrement pour l'autonomie qu'il m'a accordée. Grâce à lui j'ai pu acquérir de nouvelles connaissances, que ce soit en ichtyologie, en inventaire piscicole ou sur le milieu associatif. Cette expérience a été très enrichissante, et je suis reconnaissante d'avoir eu l'opportunité de travailler sous sa direction. Je tiens également à souligner la grande gentillesse de M. GRALL Sébastien, qui a rendu cette expérience encore plus agréable et m'a permis de me sentir à l'aise dans mon environnement de travail.

L'équipe de SEINORMIGR, en particulier Florian DESHAYES et Adrien BARAULT, pour leur gentillesse et leur accueil chaleureux. Leur disponibilité et leur aide ont été précieuses tout au long de cette expérience, que ce soit pour répondre à mes questions ou pour m'accompagner sur le terrain.

L'équipe de la Fédération de la Pêche (76), pour leur gentillesse et leur accueil chaleureux dans leurs locaux.

TABLE DES ABREVIATIONS :

A

AAPPMA : Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

AESN : Agence de l'Eau Seine-Normandie

AME : AMont de l'Ecluse

AVR : AVal du de la Rampe et du barrage

F

FDPPMA : Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

L

LOGRAMI : Loire Grands Migrateurs

M

MIGADO : Association Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre

MRM : Migrateurs Rhône-Méditerranée

P

PGA : Plan National de Gestion Anguille

R

RD : Rive Droite

RG : Rive Gauche

S

SEINORMIGR : Seine-Normandie Migrateurs

U

UGA : Unité de Gestion de l'Anguille

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	8
CONTEXTE DE L'ETUDE	9
I) Description de l'Anguille Européenne	9
i) Classification	9
ii) Morphologie	9
iii) Anatomie et biologie-écologie	9
II) Cycle de vie et aire de répartition de l'Anguille Européenne	10
i) Migration anadrome : la larve de leptocéphale	11
ii) 1ere métamorphose : la civelle	11
iii) La sédentarisation en eaux continentales : l'anguille jaune	12
iv) 2eme métamorphose et migration catadrome : l'anguille argentée	12
III) Aire de répartition	13
IV) Importance écologique et économique de l'Anguille Européenne	13
V) Les menaces pesant sur l'Anguille Européenne	14
VI) Mesure de gestion et de protection de l'anguille européenne au niveau européen	15
VII) Le Bassin Seine-Normandie	16
i) Hydrographie	16
ii) Géologie et Topographie	16
iii) Qualité de l'eau et des habitats	16
iv) La réparation des anguilles européennes dans le bassin Seine-Normandie	17
VIII) L'association Seine-Normandie Migrateurs (SEINORMIGR)	17
IX) Les passes à poissons et les rampes à anguille au barrage de Poses (Eure), Seine	17
X) Le crabes chinois <i>Eriocheir sinensis</i> , et son possible impact sur l'anguille européenne	18
MATERIELS ET METHODES	19
I) Le lieu d'étude et localisation des dispositifs actifs et passifs	19
II) Les dispositifs de franchissement « actifs » spécial anguille	20
i) Rive gauche	20
ii) Rive droite	20
III) Protocole de suivi du recrutement	20
i) Fréquence du suivi	20
ii) Acquisition des données biométriques pour l'anguille européenne	20
iii) Protocole de dénombrement	21
iv) Acquisition des données biométriques pour les crabes chinois	22
v) La saisie et la bancarisation des données	22
v) Indice pathologique (IpG) et indice parasitaire (IpP)	22
vi) Paramètres environnementaux	22

vii) Entretien des dispositifs de franchissement spécifiques aux anguilles et passes à poisson	24
IV) Protocole des dispositifs « passifs » : les Flottang	24
RESULTATS.....	25
I) Bilan migratoire de 2023	25
i) Dispositif actif : les cuves de piégeage des rives	25
ii) Dispositif passif : les flottang.....	25
iii) Bilan migratoire interannuel depuis 2014.....	26
i) Dispositif actif : les cuves de piégeage des rives	26
ii) Dispositif passif : les « flottang »	26
iv) Morphotype des individus de 2023.....	27
i) La taille des individus selon la localisation et le type de piégeage.....	27
ii) La fréquence des classes de tailles rencontrées selon la rive	27
iii) Taille des individus selon les mois.....	28
v) Influences des paramètres environnementaux.....	28
i) Visualisation de l'influence des paramètres environnementaux sur l'effectif d'anguille	28
ii) Analyse des corrélations entre les variables environnementales et l'effectif de la population	29
iii) Modélisation des relations entre les variables environnementales et l'effectif de la population par le biais d'une régression Linéaire Généralisée (GLM)	29
vi) Etat sanitaire du recrutement	30
i) Récapitulatif de l'analyse de santé des anguilles au barrage de Poses et calcul des indices pathologiques et parasitaires	30
ii) Comparaison du pourcentage d'anguille atteintes par une pathologie entre 2021 et 2023.....	31
iii) Nombre d'anguilles affectées par une pathologie au fil des mois	31
iv) Proportion d'anguille atteintes par des anomalies anatomo-morphologiques externe et des ectoparasites	31
v) Causes principales des altérations anatomo-morphologique et des ectoparasites des anguilles et exemple imagé	33
vii) Suivi des captures de crabes chinois <i>E. sinensis</i>	33
DISCUSSION	34
Migration des anguilles en Seine : tendances et perspectives de recrutement	34
Disparités de distribution et accessibilité des anguilles entre les rives droite et gauche	34
Rôle des dispositifs de franchissement dans la dynamique migratoire des anguilles : obstacles et complexités.....	35
Dynamique migratoire des anguilles : corrélations entre facteurs environnementaux et comportements de migration	36
Évaluation de l'état sanitaire du recrutement d'anguilles : analyse des indices pathologique et parasitaire.....	38
Évolution et impact de la population de Crabe Chinois dans les dispositifs de franchissement des anguilles et son impact potentiel sur la biodiversité : analyse sur trois années consécutives	39

CONCLUSION	40
BIBLIOGRAPHIE.....	42
RESUME	50
ANNEXES.....	51
1) Tableau des classes de tailles des anguilles et le stade biologique associé. <i>Selon Adam et al., 2008 et l'association LOGRAMI</i>	51
2) Évaluation graphique des hypothèses sous-jacentes avant l'analyse du modèle linéaire généralisé. 51	
4) Tableau récapitulatif de la fréquence et des effectifs par stade biologique en fonction des rives	51
3) Fréquence (%) des classes de tailles d'anguilles par rive	51
Graphique de l'effectif en fonction et des paramètres environnementaux (5-11).....	52
12) Récapitulatif des anomalies anatomo-morphologiques externe et des ectoparasites trouvés sur les anguilles biométries lors du suivi 2023 ainsi que des potentiels causes.	53

INTRODUCTION

Les poissons migrateurs ont généralement besoin d'habitats complexes pour compléter leur cycle de vie, ce qui les rend particulièrement vulnérables aux changements environnementaux (Legrand, 2021). Par ailleurs, les modifications et altérations humaines du paysage ont perturbé les flux naturels qui se produisaient autrefois au sein des écosystèmes, des communautés et des populations (Antonio *et al.*, 2007). En effet, la fragmentation artificielle des rivières due notamment aux barrages et aux écluses constitue un véritable défi pour la viabilité à long terme de ces populations migratrices, car elle réduit considérablement les habitats disponibles pour ces espèces (Ribolli *et al.*, 2020). Cette pression de fragmentation vient s'ajouter à des pressions qui influencent de nombreuses espèces, comme la pollution, la surexploitation, la prédation, l'introduction d'espèces envahissantes ou encore le changement climatique. Ce qui fait de ces populations voyageuses au cycle de vie complexe, des espèces de plus en plus affectées par les impacts anthropiques.

Parmi les populations de poissons migrateurs touchées par ces changements anthropiques : l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Longtemps considérée comme une espèce nuisible, en raison notamment de son allure de serpent, mais aussi parce que, à tort, elle fut tenue responsable de la disparition des saumons et de l'amenuisement des stocks de truites et d'ombles dans nos rivières ; l'anguille se présente pourtant, à bien des égards, comme un poisson de première importance, tant sur le plan environnemental que sur le plan économique (Adam *et al.*, 2008). C'est jusqu'en 1984 que l'espèce est jugée nuisible, à cette époque elle représentait plus de la moitié de la biomasse piscicole de l'aval des systèmes fluviaux (Bruslé *et al.*, 2013 ; Philippe Keith *et al.*, 2011 ; Moriarty *et al.*, 1997). Selon des recherches récentes menées (Feunteun, 2002 ; Dekker, 2003 ; Baisez *et al.*, 2005), le recrutement de l'espèce aurait diminué de 90 à 99 % depuis 1960, conduisant les effectifs à des niveaux critiques pour la survie de l'espèce. Depuis donc, plus de trente ans, son stock et son aire de répartition sont en constante diminution (Anonyme, 1984 ; Moriarty, 1986 ; Bruslé, 1990 ; Elie *et al.*, 1994 ; Castelnaud *et al.*, 1994), d'autant plus, qu'elle est particulièrement exploitée et représente une ressource à l'enjeu économique non négligeable (Laharanne *et al.*, 2010). L'anguille européenne est donc aujourd'hui classée sur la liste rouge des espèces menacées comme « en danger critique d'extinction » (UICN) et fait actuellement l'objet de mesures de gestion. Dans ce contexte, un suivi annuel du recrutement de l'anguille européenne dans la Seine est réalisé au barrage de Poses. Ce site de suivi a été stratégiquement choisi car il représente le premier grand obstacle fluvial depuis la Manche (160 km) et constitue donc le passage obligatoire pour tout individu souhaitant rejoindre les secteurs amont du bassin de la Seine. L'objectif principal de ce suivi est d'évaluer de manière approfondie le recrutement de l'anguille dans la Seine, en portant une attention particulière aux aspects quantitatifs et qualitatifs. De plus, il permettra de comparer les recrutements annuels, d'évaluer l'efficacité des dispositifs de franchissement en place, et d'identifier les facteurs environnementaux qui peuvent exercer une influence sur la migration de l'anguille.

Ce rapport constitue, d'une part, une synthèse exhaustive des connaissances actuelles sur les anguilles européennes, c'est pourquoi il débutera en présentant de manière détaillée les aspects clés de cette espèce, notamment sa biologie, son importance écologique, sa répartition géographique, les menaces qui pèsent sur cette population, les mesures de protection mises en place au niveau européen et national. Il présentera le bassin Seine-Normandie et parlera de son importance pour les populations d'anguille, il présentera l'association Seinormigr et décrira leur mission principale. De plus, il présentera les dispositifs de franchissement spécifiques conçus pour faciliter la migration de l'anguille, et explorera également l'impact potentiel du crabe chinois, une

espèce envahissante, sur l'anguille et la biodiversité en général. Après cela, une description exhaustive des dispositifs de franchissement, du protocole de suivi et du traitement des données sera présentée. Les résultats du suivi réalisé en 2023 seront ensuite exposés, puis nous discuterons des résultats et nous les mettrons en perspective par rapport aux objectifs de l'étude, avec une réflexion sur leurs implications environnementales et les pistes de recherche futures éventuelles.

CONTEXTE DE L'ETUDE

I) Description de l'Anguille Européenne

i) Classification

Anguilla anguilla ou anguille européenne, est un poisson téléostéen appartenant à l'ordre des Anguilliformes (comprenant 15 familles) et à la famille des Anguillidae.

ii) Morphologie

L'anguille européenne (image 1), est un poisson serpentiforme au corps cylindrique. Elle possède trois nageoires : une nageoire impaire issue de la fusion de la dorsale, de la caudale et de l'anale, et deux pectorales situées en arrière des branchies. Au stade « anguille jaune » sa couleur est noire, brunâtre, verdâtre ou jaunâtre. Au stade « anguille argentée » le dos est vert sombre et ses flancs ont des reflets argentés, le ventre est blanc-nacré. L'Anguille à une gueule légèrement fendue, possède de petites écailles profondément incrustées dans le derme et secrète un mucus abondant qui lui permet d'avoir un déplacement par reptation dit de « glissement ondulatoire » (Durif, 2003 ; Keith *et al*, 2011) . L'espèce présente une capacité de saut nulle et de nage très limitée (Keith *et al.*, 2011).

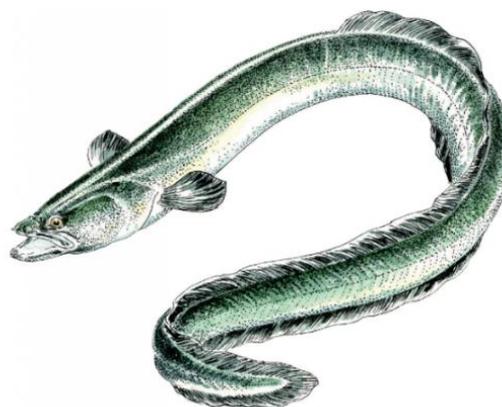


Image 1 : Illustration de l'Anguille Européenne (*Anguilla anguilla*) (Source : Seinormigr)

iii) Anatomie et biologie-écologie

L'anguille est une créature fascinante avec des adaptations uniques pour sa survie et sa reproduction. Ses caractéristiques physiologiques et comportementales lui permettent de prospérer dans des environnements variés malgré des défis complexes. Lors des périodes de migration, les anguilles voient leurs besoins en oxygène augmenter en raison de facteurs tels que le stress et les obstacles. Pour répondre à ces besoins accrus, elles utilisent leur peau, riche en vaisseaux sanguins, pour effectuer une respiration cutanée en milieu humide, en complément de la respiration par les branchies. Jusqu'à trois quarts de leur oxygène peut alors être percutanée (Berg & Steen, 1965). Grâce à sa capacité de reptation facilitée par son abondant mucus, ainsi qu'à sa respiration cutanée, l'anguille est capable de surmonter des obstacles physiques avec des hauteurs de chute importantes. Les plus petits individus sont même capables de ramper sur des parois verticales en utilisant les forces de tension superficielle créées entre leur corps et la surface humide de la paroi (Observatoire des poissons migrateurs Bretagne). L'anguille se caractérise par un hermaphrodisme juvénile, impliquant une coexistence de cellules mâles et femelles et une orientation sexuelle progressive (Tesch, 1977). Le processus complexe de détermination du sexe dépendrait de plusieurs facteurs, y compris des mécanismes génétiques et environnementaux comme la température et la densité de population. Selon l'hypothèse de déterminisme sexuel basé sur la densité-dépendance, les mâles domineraient dans les zones à forte densité, tandis que les femelles domineraient dans les zones moins peuplées (Adam *et al.*, 2008), reposant sur des mécanismes complexes liés à la communication chimique et aux signaux sociaux. Bien que certaines

recherches initiales (Schmidt, 1923) aient suggéré que la population d'*Anguilla anguilla* était panmictique, des études plus récentes (Wirth *et al.*, 2001 ; Maes *et al.*, 2002 ; Pujolar *et al.*, 2007 ; Daemen *et al.*, 2001) remettent en question ce caractère, en affirmant l'existence d'une diversité génétique au sein de la population. De plus, l'Anguille Européenne est une espèce semelpare, ce qui signifie qu'elle ne se reproduit qu'une fois au cours de sa vie, puis meurt peu après (Fontaine *et al.*, 1982). Cependant, le cycle de vie de l'anguille européenne recèle encore de nombreux mystères, en particulier en ce qui concerne la reproduction, qui n'a jamais été observée en milieu naturel, et aucun œuf ou adulte n'a encore pu être capturé dans l'aire de fraie présumée (Adam *et al.*, 2008).

II) Cycle de vie et aire de répartition de l'Anguille Européenne

L'anguille est un poisson amphihalin thalassotoque catadrome, c'est-à-dire qu'elle se reproduit en mer et croît en eau douce. Elles font également preuve d'une remarquable plasticité en matière de tolérance aux variations de salinité et de température en tant qu'organisme eurytherme et euryhalin. Les anguilles européennes se reproduisent dans l'océan Atlantique, mais passent la plupart de leur vie dans les rivières d'eau douce. Leur cycle biologique est assez complexe et comme précisé précédemment, certains points demeurent méconnus. Cependant, ce cycle comprend plusieurs phases bien établies, notamment deux migrations transocéaniques (anadrome et catadrome), une phase de croissance continentale (sédentarisation), deux métamorphoses, et probablement une unique reproduction (Schmidt 1904, Lecomte-Finiger 1984, Acou 2006).

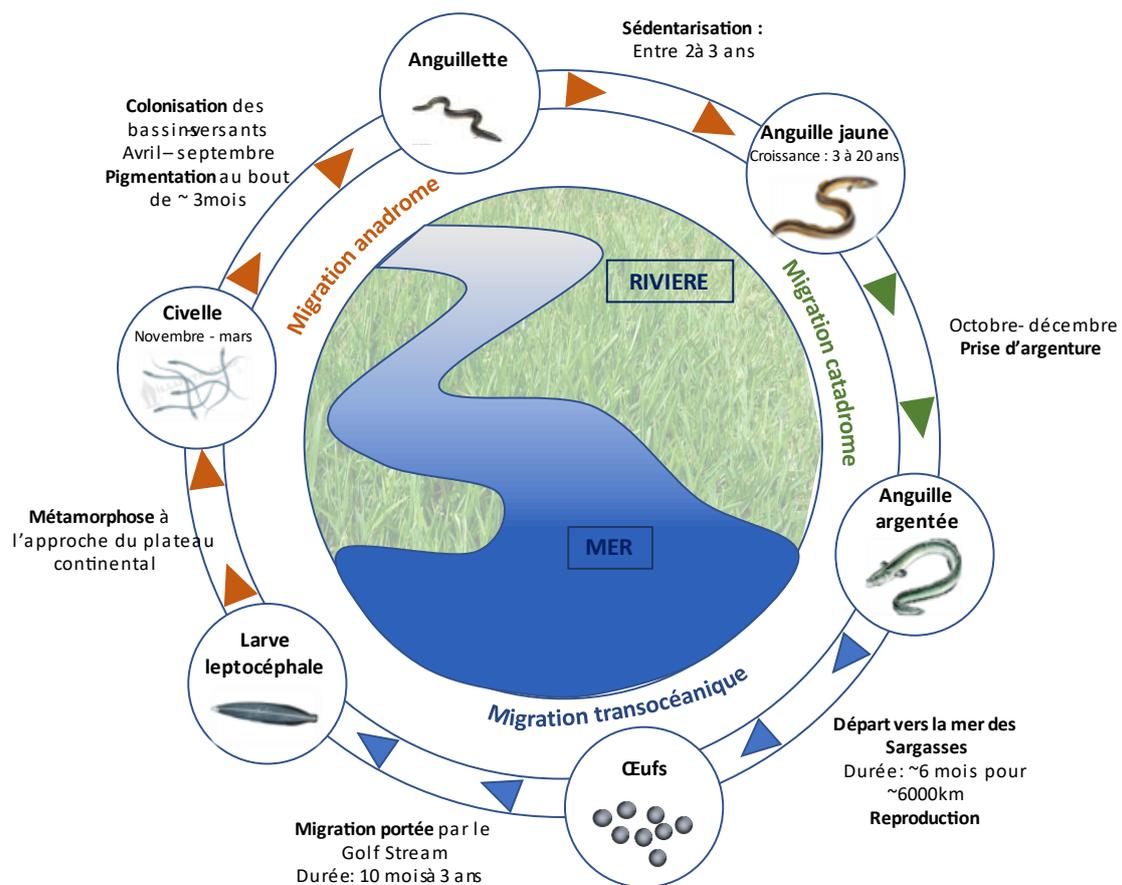


Figure 1 : Cycle de vie de l'anguille européenne, caractérisé par deux métamorphoses

i) Migration anadrome : la larve de leptocéphale

Le cycle de vie de l'anguille européenne débute depuis son site de reproduction et de ponte, dans la mer des Sargasses, une région de l'océan Atlantique nord située à environ 6000 km des côtes européennes et bordée par le Gulf Stream à l'ouest (Schmidt, 1923 ; Wright *et al.*, 2022). Au printemps, les œufs d'anguille européenne vont éclore, probablement à moins de 400 mètres de profondeur (Schmidt, 1922 ; Keith *et al.*, 2011). Les larves leptocéphales qui en émergent mesurent environ 5 mm et présentent une forme en « feuille de saule » (image 2), ce qui leur permet de s'adapter à la vie pélagique et aux courants marins (G. Adam *et al.*, 2008). Les larves leptocéphales vont alors entreprendre une migration transocéanique, en partie active, grâce au Gulf Stream et



Image 2 : Larve d'Anguille Européenne au stade leptocéphale mesurant environ 5mm.

guidée par leurs capacités de détection de l'eau douce (Tesch, 1977). La durée de cette migration, qui reste controversée, se situe entre 10 mois et 3 ans, avec des études récentes suggérant que la fourchette de 2,5 à 3 ans établie par Schmidt en 1922 est la plus probable (Bonhommeau, *et al.*, 2009). Pendant leur migration, les larves se déplacent à des profondeurs de 200 à 300 mètres pendant la journée, puis remontent à environ 25 mètres de la surface pendant la nuit pour échapper aux prédateurs et se nourrir de zooplancton (Hirschinger, 2015 ; Castonguay et McCleave, 1987). Lorsqu'elles approchent du plateau continental, les leptocéphales cessent de se nourrir et subissent une métamorphose progressive en civelles, un processus qui peut durer de 32 à 80 jours (Wang et Tzeng, 1998). L'enveloppe corporelle de la larve, composée de glycosaminoglycanes (GAG), fournit une réserve énergétique cruciale, utilisée principalement lors de cette transformation, qui va modifier radicalement la larve leptocéphale en un individu morphologiquement très différent (Lecomte-Finiger *et al.*, 1984 ; Pfeiler, 1999).

ii) 1ère métamorphose : la civelle

La métamorphose qui suit l'arrivée des larves à l'approche du plateau continental entraîne d'importantes modifications physiologiques, morphologiques et éthologiques chez chaque individu (Elie & E. Rochard, 1994). Cette transformation, en civelle (image 3), semble être impactée par les conditions environnementales telles que la température et la salinité de l'eau (Briand *et al.*, 2005), tandis que les principaux moteurs qui dirigent leur migration vers l'amont des cours d'eau sont leur tendance naturelle à suivre les courants (rhéotaxie) et leur forte attraction envers les habitats d'eau douce (hydrotropisme) (Bardonnnet *et al.*, 2005). Au début de la phase de colonisation des bassins-versants, les civelles, qui ne peuvent pas



Image 3 : Jeunes Anguilles Européennes au stade civelle (Source : SEINORMIGR)

encore se nourrir, développent un corps serpentiforme et une légère pigmentation tégumentaire (Prouzet, 2003). À ce stade, les civelles ont une taille moyenne de 6 à 8 cm (Adam et al., 2008). La majorité des civelles atteint les estuaires européens entre octobre et mars (Elie P., 1979, Geffroy, 2012). Cependant, en raison de l'éloignement de la mer, les premières civelles ne sont observées qu'à partir de mi-avril et leur présence se fait remarquer jusqu'à fin octobre au niveau du site d'étude, le barrage de Poses. Le stade civelle est le plus court du cycle de vie de l'anguille, il dure de quelques semaines à quelques mois (Guerault *et al.*, 1991). Les civelles réengageront leur alimentation dès l'apparition de dents, conjointement à l'évolution de leur système intestinal (Elie, 1979). Ce stade "civelle" est subdivisé en huit stades pigmentaires qui évoluent avec la progression de la pigmentation (Elie et al., 1982). La montaison des civelles le long des cours d'eau est influencée par plusieurs facteurs, la luminosité avec une augmentation de l'activité au crépuscule (Gandolfi et al., 1984 ; Gascuel, 1987 ; Elie et Rochard, 1994 ; Bardonnnet et al., 2003, 2005), le cycle lunaire, avec une augmentation de l'activité pendant la deuxième moitié du cycle et une forte diminution pendant la phase de pleine lune (Todd, 1981), la marée montante (McCleave *et al.*, 1982 ; Cantrelle, 1984 ; Gascuel, 1987 ; Wippelhauser *et al.*, 1987; Bardonnnet et al., 2005) et la température de l'eau (avec une augmentation des captures à 20°C) (White et Knights, 1997). Une fois pigmentées, les civelles deviennent des anguillettes jaunes mesurant environ 8 à 15 cm et conserveront leur comportement actif de colonisation jusqu'à la taille d'environ 30 cm. Dès que la limite de marée dynamique est franchie, les anguillettes colonisent activement le bassin versant (Lafaille *et al.*, 2000) ; en effet, pour progresser vers l'amont, elles seront obligées de nager à contre-courant sans pouvoir s'aider de la marée montante (Gascuel, 1986 ; Laharanne 2013).

iii) La sédentarisation en eaux continentales : l'anguille jaune

La forme « anguille jaune » (image 4), est la forme associée à la croissance et à la sédentarisation de l'anguille résidant en rivière, celle-ci va rester en eau douce entre 3 à 9 ans pour les mâles et entre 5 à 18 ans pour les femelles (Adam *et al.*, 2008). Cette période est caractérisée par une forte utilisation des ressources trophiques et une différenciation sexuelle de l'anguille. La spermatogénèse et l'ovogénèse se déroulent simultanément chez l'anguille. Toutefois, le développement du sexe mâle est influencé par un phénomène de densité-dépendance, le rendant prédominant lorsque les densités de population et les ressources sont élevées (Passakas et Tesch, 1980 ; Adam et al., 2008). Par conséquent, on observe un gradient de densité décroissant de mâles depuis l'aval vers l'amont.

iv) 2eme métamorphose et migration catadrome : l'anguille argentée

Une fois matures, les anguilles migrent vers la mer des Sargasses, adoptant une teinte argentée, marquant ainsi le stade « anguille argentée » (image 4). Cette transformation implique des changements physiologiques essentiels pour la migration et la reproduction, tels que l'épaississement du derme avec plus de mucus (Saglio *et al.*, 1988), la modification de la couleur de la robe pour le camouflage, le développement de la ligne latérale (Pankhurst et Lythgoe, 1983), l'élargissement des yeux (Pankhurst et Lythgoe, 1983; Lecomte-Finiger, 1990), l'allongement des nageoires pectorales (Durif, 2003) et une augmentation du volume musculaire et de l'activité hormonale (Pankhurst et Lythgoe, 1982 ; Lecomte-Finiger, 1990). Une augmentation des ionocytes dans les branchies, une augmentation du mucus dans l'œsophage permettant de protéger l'épithélium lors des



Image 4 : Anguille jaune (en haut) et anguille argentée (en bas). (Source : SEINORMIGR)

échanges d'ions et d'eau, ainsi qu'une activation endocrine hypophysaire, thyroïdienne et interrénale. L'intestin se réduit tandis que la vessie gazeuse s'adapte pour maintenir la pression hydrostatique en profondeur, les gonades deviennent matures (Lecomte-Finiger, 1990). Les anguilles migrent en réponse à des facteurs environnementaux tels que la température, le cycle lunaire et la photopériode (Boëtius 1967, Adam et al. 2008). Une deuxième migration transocéanique dure 1 à 6 mois, à environ 12 km/jour (Schmidt 1906, 1922) ou 6,5 km/jour (Wright *et al.*, 2022). Les mécanismes d'orientation vers les sites de reproduction impliquent le champ magnétique terrestre et d'autres facteurs (Westin 1990, Tesch *et al.*, 1992, Tesch et Rohlf 2003, Durif 2013, Schabetsberger *et al.*, 2016). La reproduction est considérée comme l'acte conclusif du cycle de vie de l'anguille, conférant ainsi un caractère sémelpare à l'espèce (Righton *et al.*, 2016). Celle-ci a lieu à environ 400 mètres de profondeur, avec les femelles produisant 0,8 à 1,3 million d'ovules (Feunteun *et al.* 2011).

III) Aire de répartition

Le stock d'anguille européenne est réparti sur l'ouest de l'Europe, le nord de l'Afrique, la Scandinavie ou encore en Méditerranée (Elie & Rochard, 1994) (figure 2). Les anguilles européennes vivent dans une grande variété de milieux aquatiques tels que les rivières, les lacs, les estuaires et les zones côtières.

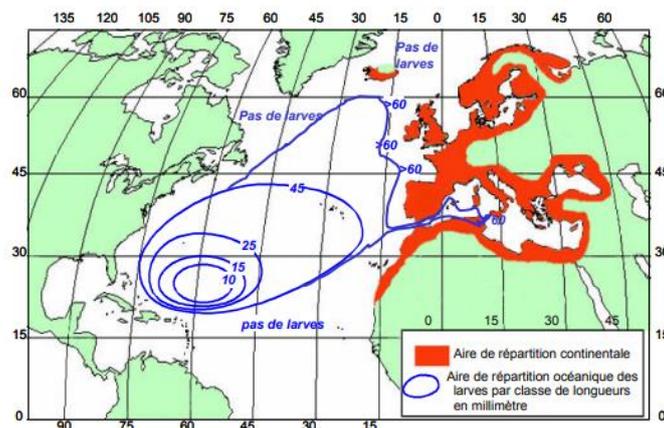


Figure 2 : Aire de répartition de l'anguille européenne, adaptée de Germain (1927) pour l'aire de répartition continentale et Schmidt (1922) pour la répartition des larves.

IV) Importance écologique et économique de l'Anguille Européenne

L'anguille européenne colonise tous les milieux aquatiques accessibles, depuis les estuaires jusqu'aux têtes des bassins versants. Elle est d'ailleurs l'une des espèces de poisson occupant la plus grande diversité d'habitats en France (Laffaille *et al.*, 2003 ; 2004 ; 2005). L'espèce est un prédateur avec un large spectre alimentaire, elle peut se nourrir d'insectes, de larves aquatiques, de crustacés, de poissons et de vers (Cantrelle, 1884). Son régime alimentaire devient exclusivement piscivore à partir de 30-35 cm de longueur. Pendant sa migration transatlantique, les larves leptocéphales se nourrissent d'organismes planctoniques en mer (Riemann *et al.*, 2010). L'anguille est un excellent biointégreur de la qualité de l'environnement, elle a une importance écologique significative en raison des flux d'énergie entre les milieux dulçaquicoles et marins, ce qui en fait une espèce clé (Willson *et al.*, 1995 ; Geffroy *et al.*, 2012, Feunteun, 2002). L'anguille est également une proie importante pour de nombreux prédateurs aquatiques tels que les ardéidés (Feunteun & Marion, 1994), les cormorans, les mouettes mais aussi des mammifères comme la loutre (Bruslé, 1994) et d'autres poissons comme le silure glane (Martino *et al.*, 2011). Par conséquent, elle doit être considérée comme une espèce parapluie pour la conservation de la biodiversité aquatique (Baisez

et Lafaille, 2005), ce qui rendrait sa gestion profitable à l'ensemble des organismes cohabitants. Lorsqu'elle est abondante, sa présence indique une certaine connectivité avec d'autres habitats (marais, annexes hydrauliques, plaines d'inondation...) en plus d'une bonne qualité physico-chimique car elle est particulièrement sensible aux pollutions diffuses (Robinet et Feunteun, 2002). D'un point de vue économique, l'anguille européenne possède une valeur marchande significative et est exploitée et commercialisée à tous ses stades continentaux (Elie, 1979 ; Bruslé, 1990). Aux alentours des années 2000, environ 500 tonnes de civelles (principalement exportées vers l'Asie) et 20 000 tonnes d'anguilles adultes (destinées au marché local ou national) étaient pêchées chaque année en Europe (Dekker, 2003 ; Imbert, 2008). En plus de cela, l'aquaculture européenne a produit environ 10 000 tonnes d'anguilles en 2007 (Peyre, 2018). À titre d'exemple, le prix moyen du kilogramme de civelle en France est passé de 200 € en 1996 à 650 € en 2005 (ICES, 2011). Globalement, les pêcheries européennes représentent un chiffre d'affaires estimé à 180 millions d'euros (Feunteun, 2002). L'anguille suscite donc un fort intérêt scientifique et économique en raison de l'effondrement et de l'état actuel de ses stocks (Bureau-du-Colombier, 2008).

V) Les menaces pesant sur l'Anguille Européenne

L'anguille est exposée à de nombreuses menaces naturelles et anthropiques en occupant les milieux dulçaquicoles et marins ainsi qu'en colonisant une grande diversité de biotopes. Les menaces comprennent :

- La surpêche : la pêche professionnelle représente 20 000 tonnes d'anguilles Européenne qui sont exploitées par an dans leur aire de répartition, avec environ 2 milliards d'individus par an capturés en Europe (Moriarty & Dekker, 1997). En plus de cela vient s'ajouter le braconnage, qui alimente une demande grandissante de civelles en Asie de l'Est (El-Hilali, 2007) ;
- Les obstacles à la migration, tels que les barrages provoquant un retard à la migration, un affaiblissement de la croissance et limitant la colonisation vers l'amont (Castonguay et al., 1994 ; Lasne & Laffaille, 2007 ; Machut et al, 2007) et les centrales hydroélectriques, pouvant blesser ou tuer les anguilles adultes qui retournent à l'océan pour frayer après, souvent, 5-20 ans de croissance en eau douce (Loctier, 2021) avec un taux de mortalité qui dépasse 50% pour les turbines de petite taille (Larinier & Travade, 1999);
- La dégradation de leur habitat, notamment la pollution qui touche fortement l'anguille du à son activité benthique, la rendant très sensible à certains composés xénobiotiques (Bruslé 1994 ; Robinet & Feunteun, 2002 ; Zimmermann *et al.*, 2004) tels que les métaux lourds, les pesticides, les PCB, les dioxines, les microcystines, etc., qui peuvent diminuer les capacités reproductrices, migratoires ou de résistance au stress et même entraîner la mort (Amiard-Triquet et al., 1987 ; Bruslé, 1994 ; White & Knights, 1997). Mais aussi les dragages, drainages, les extractions de granulats et le remodelage du lit des rivières qui altère la qualité de leur habitat (Bruslé, 1994) ;
- Les maladies liées aux virus, bactéries ou parasites. Les parasites allochtones sont probablement ceux exerçant la plus grande pression sur les populations d'anguille. En effet, ils peuvent entraîner des risques graves d'épizooties et peuvent donc compromettre sérieusement l'avenir des populations d'anguilles (Bruslé, 1994). Par exemple, la détérioration de la vessie natatoire par le parasite asiatique *Anguillicola crassus*, entraînant des cas de mortalité et limitant la migration transocéanique (Bruslé, 1994 ; Hilali, 2007). En outre les parasites autochtones ne semblent pas être une cause de fort déclin (Bruslé, 1994) ;
- Le changement climatique, provoquant des modifications hydroclimatiques tels que des modifications des courants marins, entraînant une augmentation de la mortalité lors des migrations amphihalines des leptocéphales (Dekker, 1998), mais aussi l'augmentation de la température et la modification du débit des cours d'eau affectant les populations d'anguille (INRAE) ;

- Enfin, l'on peut mentionner les prédateurs tels que les hérons, cormorans (Feunteun & Marion, 1994), et loutres (Bruslé, 1994) ; bien que leur impact ne soit pas une cause majeure du déclin des populations d'anguille.

VI) Mesure de gestion et de protection de l'anguille européenne au niveau européen

Face au déclin des populations d'anguilles européennes (figure 3), classée espèce en danger critique d'extinction dans le monde et en France d'après la liste rouge établie par l'UICN, la Commission européenne a émis le règlement (CE) n° 1100/2007, exigeant de chaque État membre l'élaboration d'un plan de gestion national (PGA), instauré en France depuis 2009 avec comme objectif à long terme d'atteindre une biomasse de géniteurs équivalente à 40% de celle qui aurait été produite dans un environnement non dégradé (soit 40% du stock des années 1980). Ce plan est décliné localement en Unités de Gestion

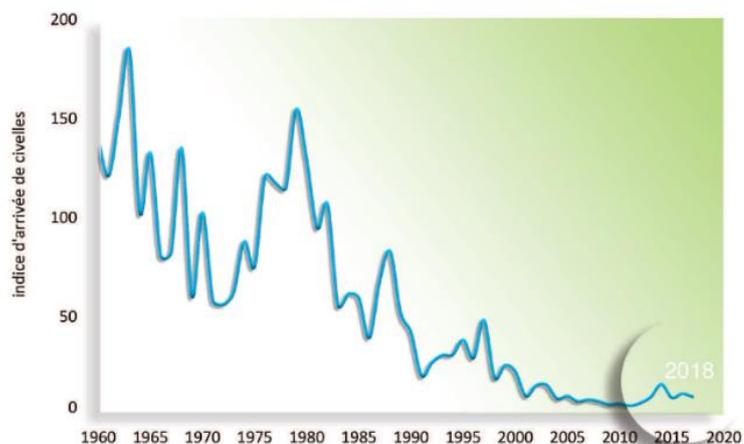


Figure 3 : Evolution de l'indice d'arrivée de civelles en France de 1960 à 2018 (AFB) ; montrant un déclin de 99% par rapport au recrutement des stocks de 1960.

de l'anguille (UGA), dans lesquelles des zones d'actions prioritaires (ZAP) sont déterminées, comme c'est le cas pour la partie aval de la Seine. Il y a une Unité de Gestion Anguille (UGA) pour chaque agence de l'eau en France, et les objectifs restent les mêmes pour chaque UGA : réduire la mortalité par la pêche de l'anguille juvénile, l'anguille jaune et l'anguille argentée, réduire la mortalité liée aux autres causes anthropiques, évaluer la biomasse d'anguilles argentées repartant en mer ou quittant le territoire français, le repeuplement et autres mesures pour reconstituer les stocks. Concernant l'unité Seine-Normandie, quatre thématiques sont abordées pour atteindre les objectifs fixés par le plan national (OFB, Journal officiel de l'Union européenne 2007) :

- Le repeuplement : opérations réalisées dans des zones favorables à leur mise en œuvre (faible pression anthropique, absence de pêche de l'anguille, etc.). D'après les premières analyses, les cours d'eau de l'arc normand semblent propices (PGA, 2008).
- Une gestion renforcée des pêcheries : application d'une réglementation particulière sur le territoire, avec notamment une réduction de la période de pêche à 5 mois par an, du 15 février au 15 juillet (PGA, 2008). Cette mesure est en place depuis 2011.
- Le rétablissement de la libre circulation et mise en conformité des ouvrages : en 2008, 409 ouvrages étaient identifiés comme à aménager prioritairement.
- Un programme de suivi et de surveillance (« monitoring anguille ») : programme de surveillance visant à estimer finement le stock d'anguilles jaunes en place, ainsi qu'à en suivre l'évolution tout au long du mandat et à révéler les caractéristiques et dynamiques de populations spécifiques aux cours de l'unité de gestion Seine-Normandie (Seinormigr, 2020).

Les rampes à anguille sont une mesure clé mise en place pour aider les anguilles à franchir les ouvrages infranchissables.

VII) Le Bassin Seine-Normandie

Le bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands inclut deux entités : le bassin de la Seine et l'arc normand (Figure 4). Avec une superficie de 97 000 km², il représente 18 % du territoire français (DRIEE Ile-de-France, 2011). Il est caractérisé par une démographie forte de 18,7 millions d'habitants, soit 30 % de la population nationale (AESN, 2022). Enfin, le bassin s'étend sur 10 régions, 29 départements et 8 654 communes.

i) Hydrographie

Le réseau hydrographique s'étend sur 55 000 km à travers 27 bassins versants. La Seine, le principal fleuve, parcourt 780 km depuis son origine sur le plateau de Langres jusqu'à la Manche. Elle draine 78 000 km² du bassin Seine-Normandie. Le système "Seine" englobe 23 000 km de cours d'eau, avec un débit de 14 milliards de m³ par an (Seine-Aval). Les affluents importants incluent l'Yonne, le Loing, l'Eure, la Marne, l'Oise, entre autres. Le débit moyen de la Seine à Vernon est de 474 m³/s, avec un régime pluvial océanique, caractérisé par des écoulements lents (Agence de l'Eau Seine-Normandie, Seinormigr).

ii) Géologie et Topographie

Le bassin versant de la Seine, essentiellement situé dans le bassin parisien, est une cuvette dissymétrique avec des couches sédimentaires marines et continentales datant du Mésozoïque et du Cénozoïque. Ces roches créent des superpositions en forme d'auréoles concentriques en pente douce vers l'ouest. La géologie varie le long de la Seine, avec des roches calcaires, argileuses et sableuses. L'eau de la Seine peut être dure en raison de sa teneur en minéraux comme le calcium et le magnésium. Cela peut affecter certaines populations de poissons, comme le saumon, qui préfèrent des eaux plus acides (fédération de la pêche nationale).

iii) Qualité de l'eau et des habitats

La région de la Seine a été aménagée pour répondre aux besoins croissants de sa population en nourriture, logements et équipement, tout en évoluant en mettant en place des infrastructures pour le transport de marchandises et l'énergie (Thieu, 2009). Cette région représente une part importante du trafic fluvial, de l'activité économique et agricole en France. Les pressions anthropiques, comme l'urbanisation et l'industrialisation, dont les effets physico-chimiques (micropolluants, flux de nutriments et de pesticides provenant de l'agriculture, assainissement des zones urbanisées...) et morphologiques (artificialisation des berges) ont impacté la Seine. Dans les années 70, la Seine avait une zone anoxique de 100 km en aval de Paris, ce qui signifiait que les animaux aquatiques aérobies, poissons y compris, ne pouvaient pas y vivre (DRIEE, 2016). Malgré cela, la qualité de l'eau et des habitats se serait améliorée entre 2013 et 2019, avec une augmentation de 38% à 41% des masses d'eau en bon ou très bon état. Parmi ces masses d'eau, 32% ont un bon état chimique, un chiffre qui atteint 90% si les polluants ubiquistes (HAP, PCB, DEHP, etc.) sont exclus (AESN, 2022). Les efforts incluent la réduction des rejets industriels et de station d'épuration. En ce qui concerne la qualité des habitats, les cours d'eau de Seine-Normandie sont affectés par diverses modifications hydro-morphologiques (chenalisation, recalibrage, etc.), la destruction de zones humides et l'implantation d'ouvrages. Cependant, depuis 2013, 1 500 km de cours d'eau sont à nouveau accessibles (AESN, 2022). Toutefois, si aucune mesure n'est prise, les projections indiquent une diminution à 18% des masses d'eau en bon ou très bon état d'ici 2027. Par conséquent, le contexte actuel de perturbation climatique a incité le comité de bassin à élaborer et voter une stratégie d'adaptation au changement climatique. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2022-2027, en vigueur, fixe la stratégie pour l'atteinte du bon état des milieux aquatiques en 2027, il se concentre ainsi sur plusieurs priorités, notamment l'amélioration des systèmes d'assainissement domestique, la réduction des pollutions agricoles, en particulier les nitrates et les pesticides, rendre franchissables les ouvrages prioritaires,

et le rétablissement de l'équilibre quantitatif dans les zones déficitaires (Cercle Français de l'Eau, AESN).

iv) La réparation des anguilles européennes dans le bassin Seine-Normandie

Comme c'est le cas au niveau mondial, la population d'anguilles dans la région Seine-Normandie a subi une dégradation significative, bien que l'espèce persiste dans les cours d'eau principaux du bassin. Cependant, la migration de ces anguilles est entravée par les nombreux aménagements transversaux, créant des obstacles qui empêchent ou retardent leur déplacement. Cela a pour

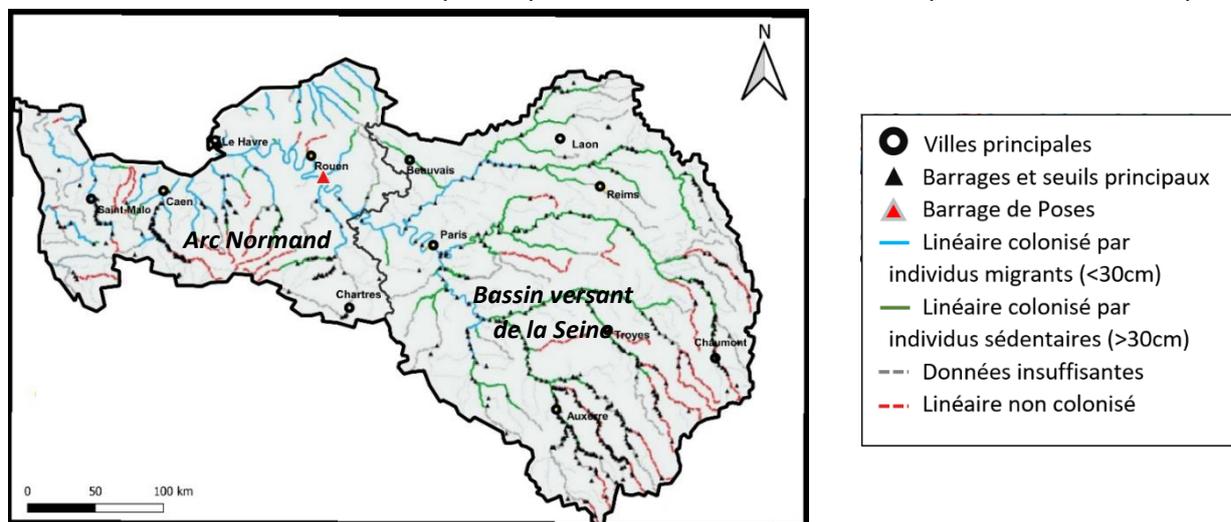


Figure 4 : Etat de la colonisation des cours d'eau par l'anguille européenne dans le bassin Seine-Normandie

conséquence un manque d'individus et la modification de la concentration d'anguilles sédentaires dans certaines zones en amont (Seinormigr, 2019). Toutefois, il convient de souligner que le bassin Seine-Normandie demeure l'un des principaux contributeurs à la biomasse d'anguilles argentées en France. Le modèle EDA, dans son évaluation de l'année 2015, a prédit que le bassin Seine-Normandie a généré 152 tonnes d'anguilles argentées sur les 618 tonnes produites dans l'ensemble du pays (Briand *et al.*, 2018).

VIII) L'association Seine-Normandie Migrateurs (SEINORMIGR)

L'association SEINORMIGR, créée en 2007, se dédie à la surveillance, la gestion et la préservation des poissons migrateurs en Normandie. Ses missions englobent la collecte de données et le suivi des populations piscicoles (pêche électrique, vidéo comptage à Poses et à Pontoise notamment, suivi des anguilles par piégeage au barrage de Poses, suivi des zones de frayères, etc.), la promotion de pratiques de pêche durables grâce à des expertises techniques, et le soutien aux projets de restauration des habitats de reproduction et de migration. Elle offre également une assistance technique et administrative, participe à des études en partenariat avec des organismes gouvernementaux, et joue un rôle clé dans la définition et la réalisation d'objectifs pour la restauration des populations de poissons migrateurs. L'association communique ces informations cruciales au moyen d'outils de valorisation, contribuant ainsi à la sensibilisation et à la prise de décisions éclairées pour la préservation des espèces aquatiques et de leur environnement (Seinormigr).

IX) Les passes à poissons et les rampes à anguille au barrage de Poses (Eure), Seine

La Seine est protégée par une loi sur l'eau adoptée en 1964 (et mise à jour en 2006). Cette loi vise à préserver la qualité de l'eau et des environnements aquatiques. En conséquence, le barrage de

Poses doit permettre aux poissons de nager librement, afin de maintenir leur mouvement naturel dans la rivière. En 1991, du côté de la rive gauche, lors de la création d'une centrale hydroélectrique par l'entreprise privée "HYDROWATT", une structure spéciale a été mise en place. Cette structure, composée de 23 bassins en série sur une distance de 86 mètres et d'un passage alternatif pour contourner la centrale, a été conçue pour faciliter le déplacement des poissons. En 2008, cette installation a été améliorée avec l'ajout d'un système de vidéo-comptage. Ce système vidéo sert à des fins scientifiques, tandis qu'une chambre d'observation est principalement utilisée à des fins pédagogiques. En 2017, coté rive droite, pour augmenter l'efficacité de franchissement piscicole, VNF construit une passe à bassins successifs à doubles fentes verticales avec système de vidéo-comptage. La passe à poissons se compose de 28 bassins répartis sur 8 niveaux (28 m x 60 m). Constitué de deux couloirs d'observation, le système est donc équipé de deux vidéo-comptages indépendants. Le dépouillement des fichiers de video-comptages est à la charge de SEINORMIGR. Contrairement aux autres espèces migratrices présentes dans la Seine, le stade juvénile de l'anguille européenne a des capacités de nage très limitées. En raison des forts courants présents dans les systèmes de passes à fentes verticales, les civelles en montaison ne peuvent pas les emprunter. Leur capacité de nage, avec une vitesse maximale allant seulement de 0,6 à 0,9 m/s (Knights & White, 2003), ne leur permet pas d'utiliser les passes à poissons (en comparaison, les saumons de 15 cm peuvent se déplacer jusqu'à 3,5 m/s). C'est pourquoi, au barrage de Poses, des rampes spéciales ont été installées pour aider les anguilles à se déplacer vers l'amont du barrage. Sur la rive gauche, des dispositifs pour aider les anguilles à franchir le barrage ont été ajoutés en 2013 aux systèmes déjà existants. Du côté droit, une rampe spéciale a été construite en 2017, en même temps que la passe à poissons. Depuis lors, ces passes ont été améliorés pour rendre la migration des anguilles plus efficace. En 2010, une évaluation a montré que ces installations ont grandement contribué à augmenter le nombre d'anguilles remontant la Seine (Seinormigr ; CDPMEM27 et ONEMA).

X) Le crabe chinois *Eriocheir sinensis*, et son possible impact sur l'anguille européenne

Depuis 2019, un suivi supplémentaire est fait sur la passe à anguille. En effet, le crabe chinois ou crabe à mitaine (*Eriocheir sinensis*), crustacé décapode de la famille des Varunidés, se retrouve dans les dispositifs de franchissement et de piégeage de l'anguille. Etant une espèce migratrice (Hoestlandt, 1959), sa présence est due à son cycle de vie. Au cours de sa phase juvénile, les individus remontent les cours d'eau au printemps, tandis qu'en automne les individus adultes (2-3 ans) rejoignent l'estuaire, lieu de reproduction (Noël & Breton, 2016). Le crabe chinois est natif des côtes asiatiques mais prolifère aussi, aujourd'hui, dans de nombreuses régions du monde, principalement en Europe et en Amérique du Nord. Il considéré comme l'une des 100 espèces exotiques envahissantes les plus nuisibles sur la planète par l'ISSG en 2006 (UICN). En plus des impacts économiques, cette espèce a de nombreux effets écologiques préjudiciables, notamment la compétition pour l'espace et les ressources, ainsi que la modification des habitats et des communautés. De plus, le crabe chinois peut être porteur d'*Aphanomyces astaci*, un champignon responsable de la peste de l'écrevisse qui peut être mortelle pour les espèces autochtones (Schrimpf et al., 2014). Le crabe chinois à mitaine est omnivore et opportuniste au niveau de son alimentation (Panning, 1939 ; Hymanson et al., 1999 ; Rudnick et al., 2000). Bien qu'aucune observation de prédation du crabe chinois à l'encontre des anguilles n'a été faite, le régime alimentaire de ce dernier laisse penser qu'une consommation des jeunes stades de l'anguille peut avoir lieu. En effet, il a été signalé que les crabes peuvent se nourrir de poissons morts et occasionnellement de poissons blessés, poissons moribonds (Panning, 1939 ; Rudnick et al., 2000), de poissons pris dans des filets ou des pièges (Panning, 1939 ; Gollasch, 2006). Les anguillettes et civelles empruntant le canal à anguilles pourraient donc potentiellement être consommées par le crabe chinois, surtout quand ceux-ci sont piégés dans un espace restreint avec les anguilles. Ces informations, combinées

aux nombreuses observations d'individus faites dernièrement au barrage de Poses, ont poussé l'association à mettre un place un suivi de la population.

MATERIELS ET METHODES

I) Le lieu d'étude et localisation des dispositifs actifs et passifs

Le barrage de Poses-Amfreville est localisé dans la boucle de la Seine qui se situe sur les communes de Poses et Amfreville-sous-les-Monts, dans le département de l'Eure (Figure 5). Cet ouvrage est localisé à 163 km de la mer et environ 610 km des sources de la Seine. Il constitue le premier obstacle fluvial rencontré par les poissons migrateurs provenant de la mer. Malgré son éloignement des côtes, l'influence de la marée se fait sentir jusqu'au pied du barrage de Poses (Figure 5). Cette

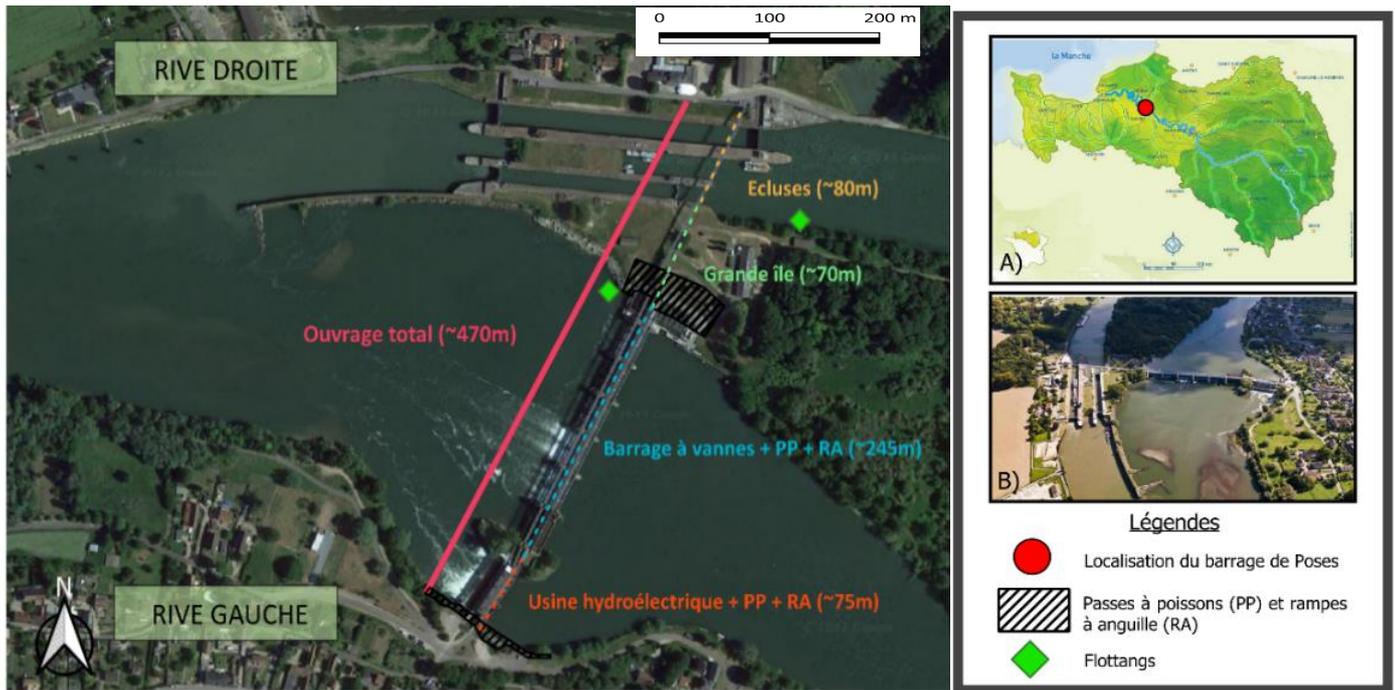


Figure 5 : Carte des infrastructures et de la localisation du barrage de Poses-Amfreville-sous-les-Monts (Eure) en Normandie. Réalisateur : Gabrielle Ourous – Logiciel : Qgis – Source : Google Earth – A) Carte du bassin de la Seine, Agence de l'Eau Seine-Normandie, B) Photographie du barrage de Poses, constructioncayola.

caractéristique implique des variations élevées du niveau d'aval avec des variations nyctémérales plus ou moins marquées en fonction du débit de la Seine et du coefficient de marée. En 1991 puis en 2017, des passes à poissons multi espèces ont également été construites respectivement en rive gauche et droite de l'ouvrage. Les rampes à anguilles sont localisées également en rive gauche et rive droite (figure 5) et ont été mises en service en 2013 et 2017 respectivement. Les dispositifs « passifs », les flottangs sont localisés en aval de la rampe de la rive droite et le second en amont des écluses.

II) Les dispositifs de franchissement « actifs » spécial anguille

i) Rive gauche

Le système de franchissement spécifique aux anguilles sur cette rive (figure 6, i) se décompose en trois parties. La 1ere partie se situe à l'aval de l'ouvrage et est composée de trois rampes de type « tapis-brosses » inclinées à 45°, chaque rampe se termine par un bassin de repos (A, B). La seconde partie correspond à un système de tuyauterie en PVC qui permet d'acheminer les anguilles, de la partie aval à la partie amont du dispositif (C, D). La dernière partie du dispositif comprend une rampe du même type qu'à l'aval, inclinée à 35° qui se finit sur un système de piégeage (E, F). Le dispositif de piégeage est composé d'une cuve piège alimentée par un tuyau auquel est fixé un filet pour faciliter la récupération des individus capturés. Les cuves permettent le piégeage en continu des individus en montaison.

ii) Rive droite

Contrairement à la rive gauche, le dispositif de franchissement spécifique à l'anguille rive droite (Figure 6, ii) a été pensé et construit en même temps que la passe à poissons, rendant celui-ci mieux adapté à la montaison des individus. En aval, deux rampes à anguilles de type « tapis-brosse » inclinées à 45° qui se finissent toutes deux par un bassin de repos (A, B), les rampes sont alimentées en eau par débordement du canal située en amont (C). A la suite de la deuxième rampe, un canal de 70 m long toute la passe à poissons et conduit les individus jusqu'au dispositif de piégeage (D). En amont, le canal débouche dans un local abritant le dispositif de piégeage qui comporte une rampe à anguille inclinée à 45° (E) et une cuve piège (F).

III) Protocole de suivi du recrutement

i) Fréquence du suivi

Les premières observations de jeunes anguilles ont lieu début, voire mi-avril, lorsque la température de l'eau dépasse les 14°C. Cela concerne les anguillettes en reprise de migration en attendant l'arrivée des civelles qui arrivent un peu plus tard. Cette année, le suivi a commencé le 3 avril et sera poursuivi jusqu'à fin août, pour ma part, et jusqu'en octobre par l'équipe Seinormigr. La relevée des pièges se fait trois jours par semaine (lundi, mercredi et vendredi) en début de période de migration puis lorsque la migration devient plus intense, à partir de mi-mai à fin août, la relevée s'effectue alors tous les jours (hors weekend et jours fériés, sauf si un pic migratoire est attendu). Ainsi, une demi-journée à deux opérateurs est généralement nécessaire pour une opération de suivi.

ii) Acquisition des données biométriques pour l'anguille européenne

Les individus piégés vont d'abord être anesthésiés dans une solution d'eugénol (huile essentielle de clous de girofle) diluée dans l'eau, dans le but de faciliter les manipulations. Puis les mesures biométriques sont effectuées dans l'ordre suivant :

- La longueur totale en mm des individus est mesurée à l'aide d'un ichtyomètre (± 1 mm), le stade de développement de l'anguille est défini selon le tableau annexe 1.
- L'identification d'éventuelles anomalies anatomo-morphologiques et/ou ectoparasites visibles à l'œil nu est effectuée d'après la grille de codification établie par Elie et Girard (2014).
- Le poids en gramme est mesuré grâce à une balance électronique ($\pm 0,1$ g)

Les anguilles anesthésiées sont conservées dans des seaux d'eau le temps de se réveiller, ce qui prend quelques minutes. Une fois réveillées elles sont relâchées en amont du barrage afin qu'elles

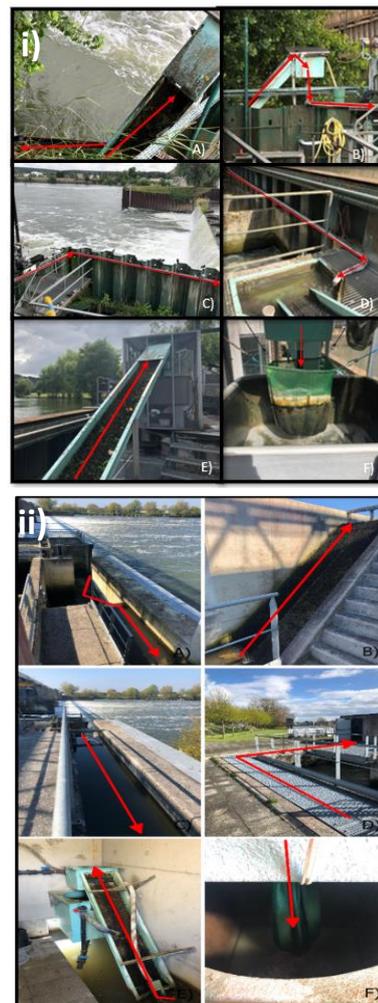


Figure 6 : Dispositif de franchissement spécial anguille en rive gauche (i) et droite (ii) du barrage de Poses. Les flèches rouges indiquent le trajet des individus.

Photographies : Gabrielle Ourous.

poursuivent leur montaison. Comme l'effectif des anguilles capturées peut fortement varier d'une relève à une autre, un protocole de dénombrement a été établi afin de s'adapter à la quantité d'individus.

iii) Protocole de dénombrement

Le protocole ci-dessous (figure 7) est appliqué selon le nombre d'anguilles estimé par l'opérateur lors de la relève :

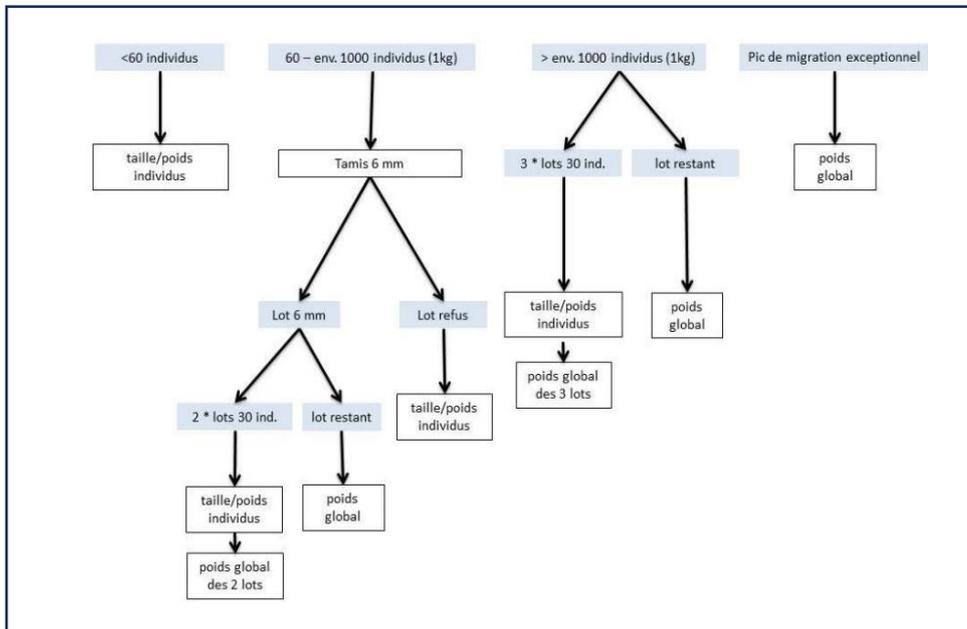


Figure 7 : Protocole de dénombrement (source : Seinormigr)

Cas n°1 : Tous les individus sont indépendamment mesurés et pesés.

Cas n°2 : La définition des lots repose sur un tamisage (tamis de maille 6 mm). Les individus qui ne passent pas au travers constituent le « lot refus » pour lequel les mesures sont individualisées. Ceux qui passent sont ajoutés dans le « lot 6 mm », ensuite subdivisé en deux lots de 30 anguilles (mesures individuelles) et un « lot restant ». Les deux lots de 30 permettent ainsi d'estimer le nombre d'anguilles du lot restant.

Cas n°3 : Trois lots de 30 anguilles sont choisis au hasard à l'épuisette. Elles sont mesurées et pesées individuellement. Ensuite, les trois lots sont pesés, ce qui permet d'estimer le nombre d'anguilles restantes.

Cas n°4 : En cas de pic migratoire exceptionnel, les anguilles sont pesées dans un lot unique. Pour éviter de fortes mortalités, elles sont remises le plus rapidement possible dans leur milieu. L'estimation des effectifs est permise grâce à une journée de suivi précédente (généralement la veille). En effet, à partir de la journée choisie, la masse totale des individus est divisée par le poids moyen d'une anguille de la précédente relève. L'estimation est donc construite de la façon suivante :

$$\text{Nombre d'individus} = \frac{\text{Masse totale}}{\text{Masse moyenne d'individu}}$$

iv) Acquisition des données biométriques pour les crabes chinois

Les individus piégés sont mesurés à l'aide d'un mètre puis le sexe est déterminé (image 5). Suite à une augmentation trop importante cette année du nombre de crabe, à partir de mi-avril, seul le nombre de crabes est noté, les autres mesures sont abandonnées car trop chronophages.



Image 5 : Crabes chinois (*Eriocheir sinensis*), a) individu femelle et b) mâle.

v) La saisie et la bancarisation des données

Sur le terrain, des carnets (rive droite, rive gauche et flottants) sont utilisés pour la saisie des données. Les divers paramètres biométriques sont renseignés pour l'anguille européenne, ainsi que la date, l'heure, les opérateurs et les éventuels commentaires divers.

Les données de terrain sont ensuite retranscrites dans la base de données STACOMI (Station de Contrôle des Migrations), développée sous PostgreSQL. Les données sont saisies via une interface JAVA et les résultats sont interprétés avec le package StacomIR sur Rstudio. L'objectif du projet STACOMI est de fournir une base de données open-source et standardisée pour le suivi des migrations piscicoles en France (Seinormigr).

v) Indice pathologique (IpG) et indice parasitaire (IpP)

Les codes pathologiques sont utilisés pour calculer l'IpG et l'IpP, indices évaluant la qualité de l'habitat et l'état de santé des peuplements piscicoles (Elie et Girard, 2014). L'indice pathologique (IpG) ne s'applique qu'aux lésions ; et considère trois paramètres :

- 1) Prévalence des poissons présentant des lésions externes : $P (\%) = \frac{\text{nb poissons avec lésions}}{\text{nb poissons examinés}}$
- 2) Intensité lésionnelle : Q = La notation va de 0 (absence de lésions) à 4 (plus de 10 lésions ou plus de 20% de recouvrement corporel).
- 3) Signification écopathologique des lésions : S = 1 pour les lésions mineures (Plaies, dépigmentation, coloration sombre, maigreur) et 2 pour les lésions majeures (déformations, tumeurs, érosions, nécroses, hémorragies, ulcères).

Pour une même pathologie (x), l'indice s'exprime comme suit : $IpG(X) = P(x) \times Q(x) \times S(x)$.

Pour une population donnée, les Ip relatifs à chaque lésion sont additionnés : $IpG = \sum Ip$.

L'indice parasitaire (IpP) s'applique, lui, uniquement aux maladies parasitaires, il est calculé de la même manière mais ne prend pas en compte la signification écopathologique (S).

Le résultat de ces indices est interprété selon la grille suivante :

Grille d'interprétation IpG et IpP					
Classe de qualité	0 → 0,04	0,04 → 0,20	0,21 → 0,80	0,80 → 1,40	1,41 → 8
Condition des poissons	Excellente	Bonne	Précaire	Dégradée	Mauvaise

vi) Paramètres environnementaux

Des auteurs ont montré l'importance des facteurs environnementaux dans la migration des civelles en estuaire (Meyer et Kuhl, 1952 ; Todd, 1981 ; Tzeng, 1985 ; White et Knights, 1997 ; Feunteun et al., 2003 ; Bardonnnet et al., 2005). Il convient ici d'identifier ces facteurs, spécifiquement pour le recrutement de la Seine en anguille, au barrage de Poses. Pour ce faire, divers paramètres sont relevés quotidiennement :

- Température (°C) de l'eau : Une sonde thermique automatique (modèle « Onset HOBO UA-001-64 PendantTemp ») relève la température toutes les heures, en amont de la rampe à anguille en rive droite.
- Température (°C) de l'air : Une deuxième sonde (même modèle que la précédente) relève la température de l'air toutes les heures en rive droite.
- Coefficient de marée : Données tirées du site internet : <https://www.haropaport.com/>. Haropa port est un ensemble de ports maritimes situés en Normandie, en France. Il s'agit d'une fusion des ports du Havre, de Rouen et de Paris pour former une entité portuaire intégrée, coopérative et compétitive. Pour cette étude le port de référence est situé au Havre.
- Débit moyen journalier (QmJ - m3/s) : Données tirées du site internet : hydro.eaufrance.fr. La station de mesure est située à Vernon (indisponible à Poses).
- Les données météorologique (Nébulosité, précipitation, pression atmosphérique et vitesse du vent) : données tirées du site internet : <https://public.opendatasoft.com/>. Il s'agit de l'Observation météorologique historiques de France (SYNOP), données provenant d'une station à Rouen-Boos.

Afin d'évaluer la relation entre l'effectif des anguilles et chaque variable d'intérêt (température, coefficient de marée, débit, nébulosité, pression atmosphérique, vitesse du vent et précipitation), nous avons initialement effectué des tests de corrélation de Pearson pour chaque paire de variables. Cette approche a permis de quantifier les associations individuelles entre les variables et l'effectif des anguilles. Ensuite, dans le but de comprendre comment ces variables influencent collectivement les variations du nombre d'anguilles, nous avons employé un modèle linéaire généralisé (GLM).

Avant de procéder à l'analyse du GLM, nous avons préalablement évalué la validité des hypothèses sous-jacentes à notre modèle au moyen de trois types de graphiques (annexe 2).

Le premier, le graphique "Résiduels vs Fitted" (annexe 2, A), nous a permis de vérifier si les résidus (les écarts entre les valeurs observées et prédites) suivaient une structure particulière par rapport aux valeurs ajustées. Une répartition aléatoire des résidus autour de zéro indique que les hypothèses de linéarité et d'homoscédasticité sont probablement respectées.

Le deuxième graphique, "Normal Q-Q" (annexe 2, B), a été utilisé pour vérifier la normalité des résidus. Lorsque les points s'alignent approximativement le long d'une ligne droite, cela suggère que les résidus suivent une distribution normale, ici les points ne s'alignent pas, ce qui indique que la distribution n'est pas normale. Nous avons également confirmé ce constat avec un test de Shapiro-Wilk, dont le p-value très proche de zéro indique que les données ne suivent pas une distribution normale.

Enfin, le troisième graphique, "Scale-Location" (annexe 2, C), a servi à évaluer l'homoscédasticité, c'est-à-dire si les résidus présentent une dispersion uniforme à travers différentes valeurs prédites. Bien que nous ayons observé une légère tendance ascendante, indiquant une variation modérée de la variance des résidus avec les valeurs prédites, nous avons décidé de continuer avec ce modèle en tenant compte de l'impact relativement léger de cette violation sur nos résultats.

En somme, ces analyses graphiques ont guidé notre décision de choisir un modèle linéaire généralisé (GLM) basé sur une loi gamma pour traiter nos données. Cette loi est adaptée à la nature continue et positive des observations, ainsi qu'à leur asymétrie, ce qui nous permet de capturer la variabilité hétérogène de nos données.

vii) Entretien des dispositifs de franchissement spécifiques aux anguilles et passes à poisson

Lors de chaque relève, les pièges sont nettoyés et leur fonctionnement est vérifié. Les points de contrôle sont listés par le tableau ci-dessous (tableau 1). En moyenne, ces opérations monopolisent 20 mn / rive / 2 opérateurs.

Contrôle			
Objet	Rive	Rive gauche	Rive droite
Fonctionnement de l'armoire électrique et des pompes		OUI	
Alimentation en eau des rampes et débit d'eau dans les répartiteurs*		OUI	
Débits dans le canal de liaison et éventuels débordements du 2ème collecteur		OUI	NON
Nettoyage			
Nettoyage du sédiment et débris dans la cuve, le filet et le répartiteur		OUI	
Nettoyage du sédiment et débris dans le 2ème collecteur et autour de la crépine		OUI	NON

Tableau 1 : Liste des opérations d'entretien des pièges à anguille du barrage de Poses. La mention OUI précise les manipulations à effectuer selon la rive. *Le répartiteur (amont direct des rampes), disperse un filet d'eau sur la largeur des brosses.

IV) Protocole des dispositifs « passifs » : les Flottang

En parallèle des rampes à anguilles dites « actives », deux flottang sont disposés sur le site (image 6). Le premier est situé en aval de la rampe de la rive droite et le second en amont des écluses (figure 5). Ces emplacements sont choisis pour montrer, d'une part, l'accumulation ou non des jeunes stades en aval direct de l'ouvrage (ce qui indiquerait un problème d'accès à la rampe), et d'autre part, une voie de passage migratoire par les écluses. Développé en 2014 par la Cellule Migrateurs Seudre, le « flottang » est un piège passif qui superpose 10 couches de treillis Macmat, découpées en carrés de 50 cm de côté et équipées de flotteurs (Lauronce et al., 2018). Il reconstitue une zone



Image 6 : Flottang (Seinormigr)

de refuge pour les petites anguilles (-12 cm) près des berges du barrages constitués de palplanches, qui offrent peu, voire pas du tout, d'habitats pour les anguillettes et civelles. Ses principaux avantages sont sa facilité de mise en œuvre et de reproductibilité pour d'autres études et sa complémentarité avec les rampes à anguilles. La relevée de ces dispositifs passifs se fait 3 fois par semaine. Les anguilles piégées sont ensuite anesthésiées, pesées et mesurées selon le même protocole que pour les dispositifs dits « actifs » et la bancarisation des données se fait de la même manière.

RESULTATS

I) Bilan migratoire de 2023

i) Dispositif actif : les cuves de piégeage des rives

Cette année, le suivi a commencé le 3 avril 2023 et c'est fini le 25 août. Le 1^{er} individu a été observé le 13 avril en rive droite et le 17 avril en rive gauche. La 1^{ere} anguillette d'un été (80-150mm) a été observée le 19 avril en rive gauche et le 9 mai en rive droite. La 1^{ere} civelle (<80mm) de l'année a été observée le 2 juin en rive droite et le 23 juin en rive gauche. Nous avons comptabilisé sur toute la période de suivi, 182 031 anguilles, soit 175 875 en rive droite et 6156 en rive gauche. Le dispositif RD a fonctionné sur toute la période de suivi et le dispositif RG a dysfonctionné du 23 au 30 mai puisque la pompe aval était hors service, mettant à sec les rampes à anguille. Elle a ensuite dysfonctionné du 24 au 26 juin puisque la pompe amont était hors service durant cette période, ce qui a asséché la cuve de piégeage et la rampe en amont. La figure 8 expose les effectifs journaliers et cumulés des anguilles sur la période de suivi. Ces pics sont observés en juin, à mi-juillet, début août et fin août, avec le pic principal se produisant vers la mi-juillet. En ce qui concerne la comparaison avec les années précédentes, les différentes années de suivi de la montaison de l'anguille montrent des variations dans les moments précis où les pics migratoires se produisent, bien qu'ils restent tous dans la période estivale. En contraste, la rive gauche ne montre qu'un petit pic migratoire observé mi-juillet.

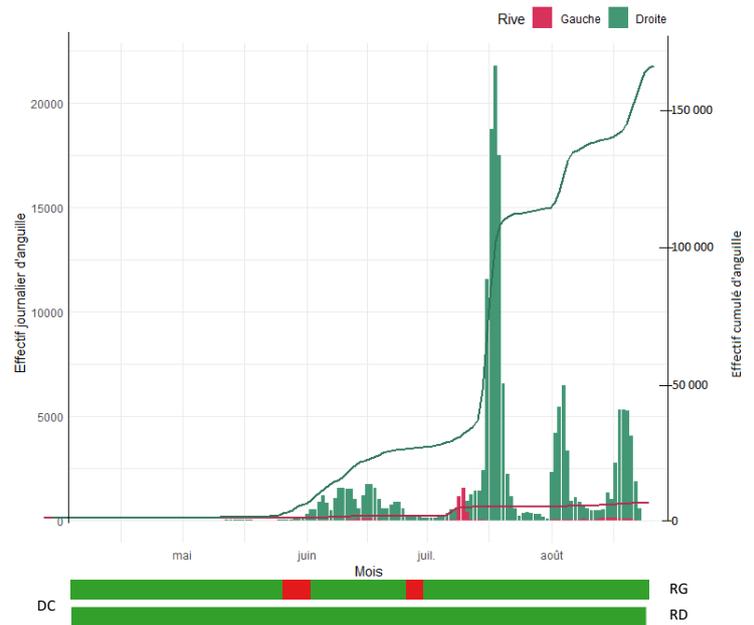


Figure 8 : Graphique des effectifs journaliers et cumulés d'anguilles de 2023 pour les deux rives. Les barres DC indiquent les périodes de fonctionnement correctes (vert) et de dysfonctionnement (rouge) des dispositifs de franchissements

ii) Dispositif passif : les flottang

Les données relatives aux effectifs des deux dispositifs flottants (AVR = Aval des Rampes en rive droite et AME = Amont des Ecluses) ont été suivies du 26 avril au 25 août inclus. Les premières observations d'individus pour les deux dispositifs ont été enregistrées le 28 avril. En totalité, 13921 individus ont été observés pour le flottang AVR, tandis que 138 individus ont été observés pour le flottang AME. Le graphique 9 illustre les effectifs journaliers et cumulés d'anguilles pour ces deux dispositifs. En analysant les données du flottang AVR, on peut constater que les pics migratoires sont présents vers la mi-juin, mi-juillet, ainsi qu'au début et à la fin du mois d'août. Ces tendances migratoires correspondent à ce qui est observé du côté de la rive droite. Cependant, il est important de

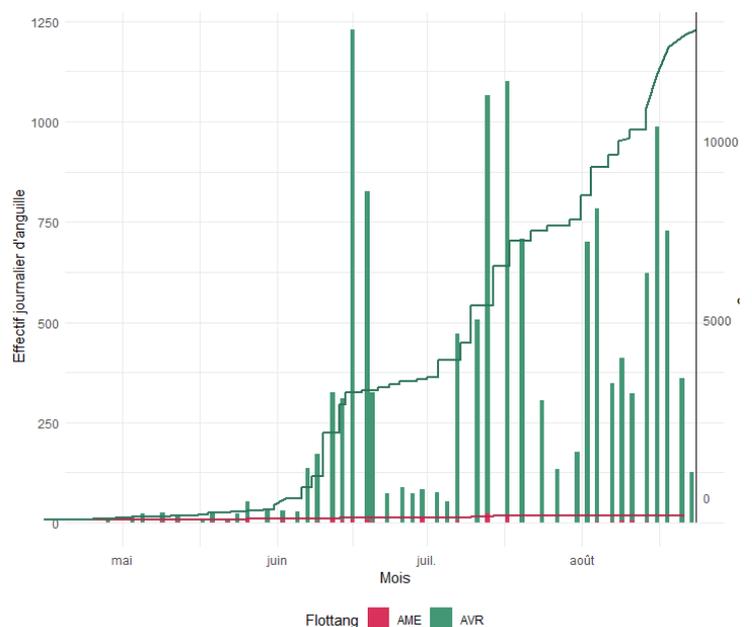


Figure 9 : Graphique des effectifs journaliers et cumulés d'anguilles de 2023 pour les deux flottang

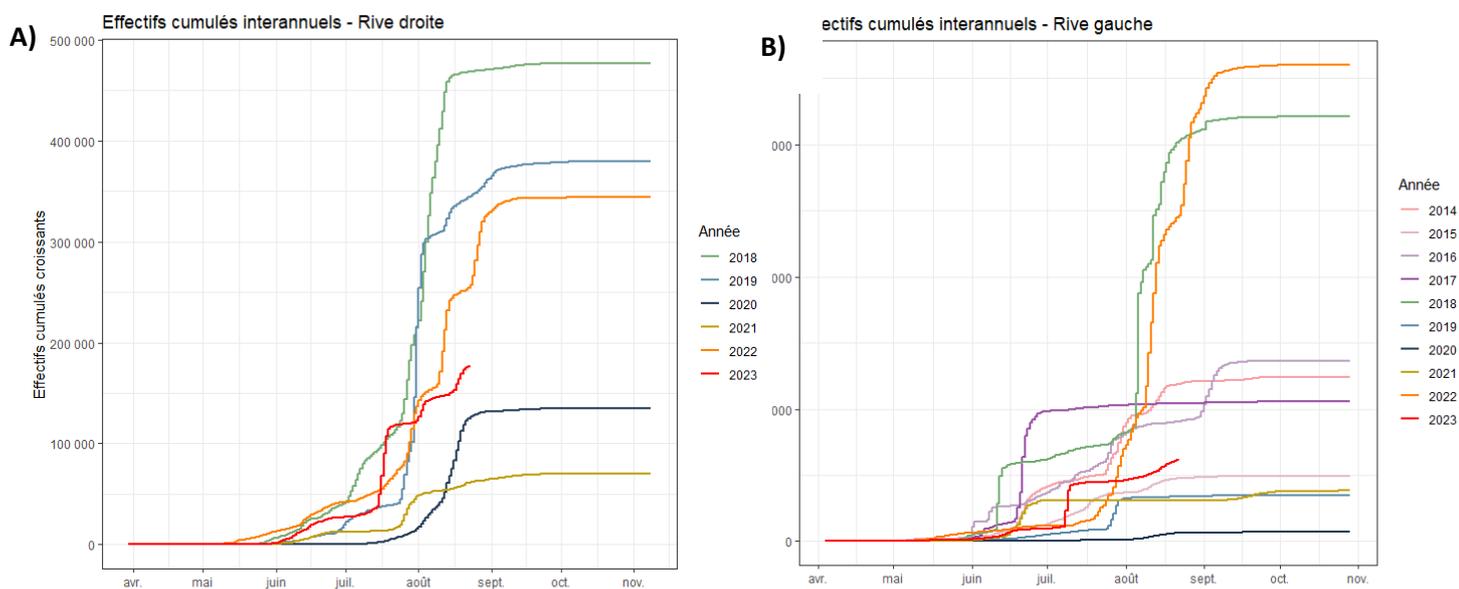
noter que le pic migratoire le plus marqué se produit en juin pour le flottang AVR, tandis que pour la rive droite, ce pic survient en juillet. En ce qui concerne le flottang AME, l'appréciation de la dynamique migratoire est entravée par les effectifs très limités. Malgré cela, une légère augmentation des effectifs peut être observée vers la mi-juillet.

iii) Bilan migratoire interannuel depuis 2014

i) Dispositif actif : les cuves de piégeage des rives

Le suivi du recrutement de la Seine en Anguille européenne sur le barrage de Poses est réalisé depuis 2014 en rive gauche et 2018 en rive droite. Afin de représenter et de comparer la dynamique des migrations depuis le commencement des suivis, des graphiques (figure 10) des effectifs cumulés d'anguilles interannuels en rive droite (A) et en rive gauche (B) ont été réalisés. On observe cette même tendance à des effectifs beaucoup plus bas en rive gauche qu'en rive droite pour toutes les années de suivis. La rive droite semble être une voie de passage privilégiée pour les anguilles voulant

Figure 10 : Graphiques des effectifs cumulés interannuels rive droite (A) et rive gauche (B)



migrer en amont du barrage. De plus, on peut observer que les courbes des effectifs cumulés varient fortement d'une année à l'autre. Aussi dans l'ensemble, on remarque une période où la dynamique de migration est beaucoup plus importante, celle-ci se situe entre la mi-juin et septembre pour les deux rives. En effet la majorité des individus vont arriver à cette période. La dynamique est davantage perceptible en rive droite et est marquée d'un important pic à la fin-juillet.

ii) Dispositif passif : les « flottang »

Afin de comparer le nombre d'anguille présent dans les flottang au fil des années, ainsi que d'analyser si les stades juvéniles s'accroissent en aval de la structure ou non, tout en surveillant le passage migratoire par le biais des écluses, la figure 11 C et D ont été élaborés respectivement. Nous pouvons observer une nette augmentation, cette année, du nombre d'anguille présent dans le flottang AVR

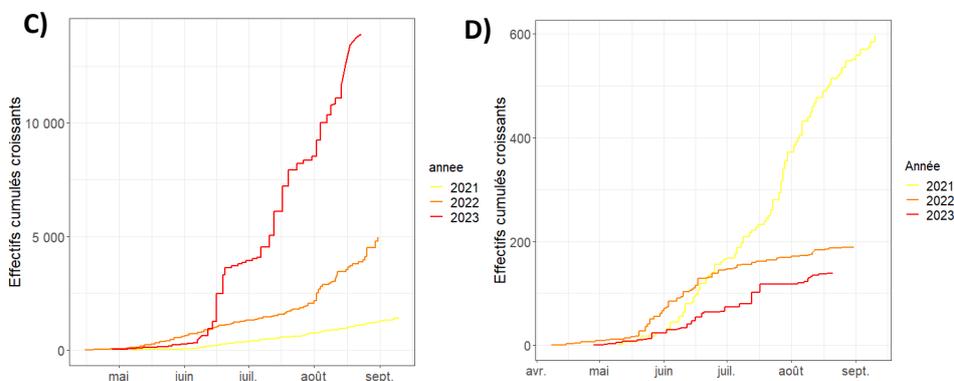


Figure 11 : Courbes interannuelles des effectifs cumulés d'anguilles pour le flottang AVR (C) et pour le flottang AME (D)

(C). L'augmentation est marquée à partir de mi-juin et début juillet, fin juillet et début août. En ce qui concerne le nombre de membres présents dans le groupe flottant AME, on remarque (D) une baisse d'effectifs par rapport aux années précédentes.

iv) Morphotype des individus de 2023

i) La taille des individus selon la localisation et le type de piégeage

Sur le terrain, nous avons pu remarquer qu'en rive gauche, nous avons beaucoup moins fréquemment de petits individus de l'année qu'en rive droite mais aussi dans les flottang. En rive droite les civelles de l'année semblaient être bien plus présentes que les anguillettes et anguille jaune. Dans les flottang nous avons trouvé pour la plupart des civelles de l'année. Ainsi, le graphique 12, représente la taille des individus (mm) en fonction de la localisation et le type de piégeage. Pour les cuves de piégeage des rives, la taille moyenne des individus trouvés en rive gauche est de 120 mm alors qu'en rive droite elle est à 112 mm, la médiane, elle, est de 114 et 94 mm respectivement. Pour les flottang, la taille moyenne des individus trouvés en AVR et en AME sont de 81 mm et la médiane est de 76 et 77 mm respectivement. Des tests statistiques ont été employés pour évaluer les différences de taille des échantillons entre diverses localisations (AME, AVR, Rive droite et Rive gauche). Comme le test de Kruskal-Wallis a révélé une statistique de test significative, cela suggère des disparités notables dans la taille entre au moins deux groupes. Afin d'identifier les paires de groupes présentant des différences significatives, le test de Dunn a été exécuté en utilisant une correction Bonferroni pour maîtriser le taux de fausses découvertes dans le cadre de multiples comparaisons. Sous l'hypothèse nulle H_0 , stipulant que les tailles des échantillons sont équivalentes parmi les divers groupes, les résultats montrent qu'il n'existe pas de différence significative dans la taille des échantillons entre les localisations AME et AVR (p -valeur ajustée = $0.3797 > 0.05$). Par contraste, les tailles des échantillons provenant des localisations RD et RG se révèlent significativement distinctes de celles des échantillons AME et AVR, ainsi que l'une de l'autre (p -valeurs ajustées très proches de zéro). Ces constatations s'alignent avec les tendances observées lors des années antérieures.

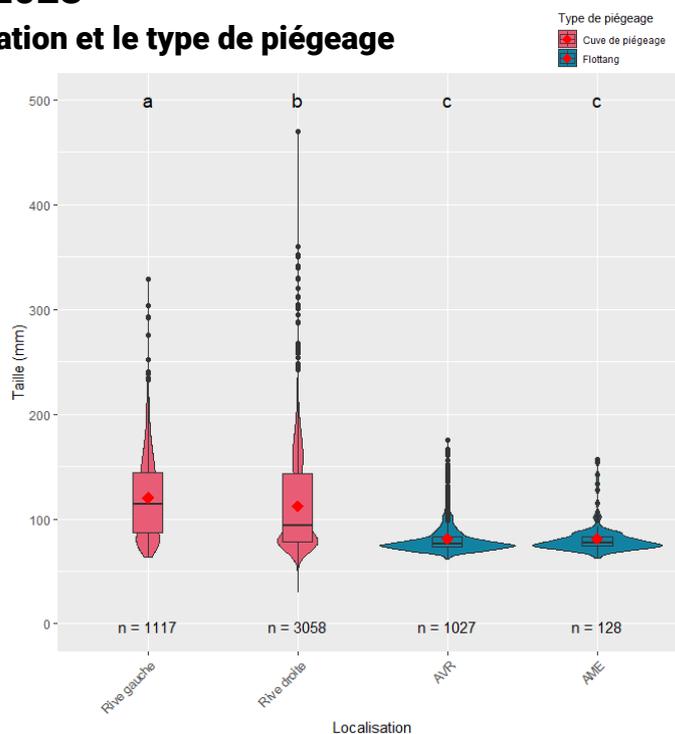


Figure 12 : Comparaison de la taille (mm) des anguilles en rive gauche, rive droite, ainsi que dans les flottang en amont de l'écluse (AME) et en aval de la rampe (AVR). 2023. Moyenne (point rouge), médiane (barre noire), n = le nombre d'individu biométré.

ii) La fréquence des classes de tailles rencontrées selon la rive

Ce graphique illustrant la fréquence des différentes classes de tailles (Annexe 3), ainsi que le tableau synthétisant la fréquence et les effectifs des stades selon les rives (Annexe 4), apportent un éclairage complémentaire aux informations présentées dans le graphique précédent. Les conclusions qui peuvent être tirées de ces représentations sont les suivantes et ont été interprétées en utilisant l'annexe 1 :

- Les individus de l'année en période de montaison sont plus fréquents en RD qu'en rive gauche RG.
- Les anguillettes d'au moins un été sont plus fréquentes en RG qu'en RD.
- Les individus en stade "anguille jaune" d'au moins deux étés sont présents à des fréquences similaires dans les deux rives.

- En ce qui concerne l'effectif total d'individus par stade, on observe une prédominance de la RD par rapport à la RG pour tous les stades.

iii) Taille des individus selon les mois

Sur le graphique 13 on remarque que la taille mensuelle des anguilles (RG + RD) diminue globalement au fil des mois de suivi. Le test de significativité Kruskal-Wallis chi-squared, suggère fortement qu'il y a des différences significatives entre les tailles moyennes des différents mois (p-value < 2.2e-16). Après avoir effectué le test de Kruskal-Wallis et déterminé qu'il existe des différences significatives entre les groupes, nous avons effectué des comparaisons multiples (test de Dunn avec méthode de Bonferroni) pour identifier les paires spécifiques de mois qui diffèrent significativement les unes des autres. Ainsi, les résultats du test suggèrent que les tailles varient significativement entre toutes les paires de mois (p-values extrêmement faibles), sauf pour la paire "06 - 08" où la différence n'est pas significative au seuil α de 0,05 (p-value = 0,06).

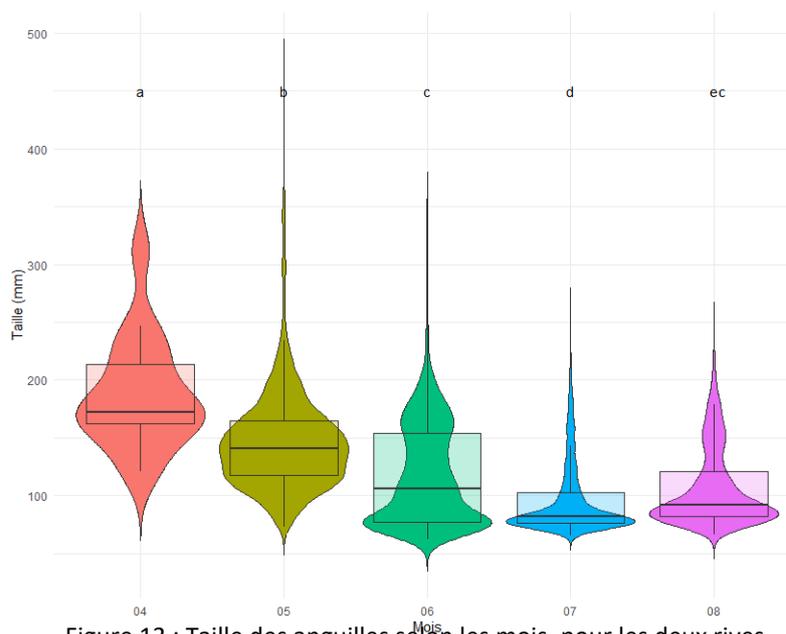


Figure 13 : Taille des anguilles selon les mois, pour les deux rives

v) Influences des paramètres environnementaux

i) Visualisation de l'influence des paramètres environnementaux sur l'effectif d'anguille

Pour commencer nous avons représenté l'effectif journalier d'anguille avec l'évolution des paramètres environnementaux selon la période de suivi (annexes 5-11). Le graphique annexe 5 montre l'évolution de l'effectif et de la température de l'eau semble montrer une augmentation de l'effectif lorsque les températures se réchauffent. En effet on commence à observer des pics d'activité migratoire lorsque la température approche de 20°C, avec un important pic début juillet où la température atteignait les 25°C. Pour ce qui est du graphique annexe 6 de l'effectif et du débit, on observe un début d'activité migratoire lorsque le débit devient plus faible (moins que 300 m³/s), on remarque également que les pics migratoires coïncident avec les périodes de faible débit. Le graphique annexe 7 relatif à l'effectif et au coefficient de marée semble dévoiler que les pics migratoires principaux de juin, début juillet, fin juillet, début août et fin août se chevauchent avec la montée du coefficient de marée. En juin, les premiers pics mineurs d'activité migratoire sont observés entre le premier quartier de lune et la pleine lune. Le pic migratoire significatif début juillet se situe également entre le premier quartier de lune et la pleine lune. Le troisième pic migratoire fin juillet et début août correspond à la période entre le dernier quartier de lune et la nouvelle lune,

tandis que le quatrième pic migratoire se positionne entre le premier quartier de lune et la pleine lune. Le graphique annexe 8 illustrant l'effectif et l'évolution de la vitesse du vent, ne montrant pas de corrélation évidente entre les pics migratoire et les variations de la vitesse du vent. De manière similaire, le graphique annexe 9 concernant l'effectif et l'évolution de la couverture nuageuse basse ne montre pas de corrélation évidente. Le graphique annexe 10 lié à l'effectif et à l'évolution de la pression atmosphérique suggère que certains pics de migration se superposent avec les périodes de dépression atmosphérique. Enfin, le graphique annexe 11 illustrant l'effectif et l'évolution de la précipitation, suggère que certains pics de migration pourraient être synchronisés avec la fin de périodes de fortes précipitations.

ii) Analyse des corrélations entre les variables environnementales et l'effectif de la population

Température

La corrélation entre la température et l'effectif total de la population a été évaluée. Les résultats indiquent une corrélation positive significative (corrélation de Pearson : 0.45, p-value < 0.001). Cette constatation suggère qu'à mesure que la température augmente, l'effectif de la population a tendance à augmenter également.

Débit

Une corrélation négative significative a été identifiée entre le débit et l'effectif total de la population (corrélation de Pearson : -0.435, p-value < 0.001). Ceci suggère que des débits bas pourraient être associés à des effectifs de population plus importants.

Coefficient de marée

La corrélation entre le coefficient de marée et l'effectif total de la population s'est avérée négligeable (corrélation de Pearson : 0.08, p-value = 0.17). Ces résultats ne suggèrent pas de lien significatif entre ces deux variables.

Vitesse du vent

La corrélation entre la vitesse du vent et l'effectif total de la population s'est avérée négligeable (corrélation de Pearson : - 0.07, p-value = 0.25). Ces résultats ne suggèrent pas de lien significatif entre ces deux variables.

Nébulosité

Les résultats montrent une corrélation négative significative entre la nébulosité et l'effectif total de la population (corrélation de Pearson : 0.167, p-value = 0.025). Cette constatation suggère qu'une plus grande nébulosité pourrait être associée à des effectifs de population plus important.

Pression Atmosphérique

L'analyse de corrélation entre la pression atmosphérique et l'effectif total de la population d'anguilles ne révèle pas de relation significative (corrélation de Pearson : -0.140, p-value = 0.060). Cependant, avec un seuil de signification de 10%, la p-value (0.06) indique une corrélation statistiquement significative.

Pluviométrie

Aucune relation significative n'a été trouvée entre la pluviométrie et l'effectif total de la population (corrélation de Pearson : -0.011, p-value = 0.62). Les résultats indiquent que ces deux variables ne sont pas étroitement liées.

iii) Modélisation des relations entre les variables environnementales et l'effectif de la population par le biais d'une régression Linéaire Généralisée (GLM)

Ici, la variable température et le coefficient de marée auraient un effet significatif sur le nombre d'anguille avec une p-value très faible (p-value < 0.001), cela indique que ces variables pourraient être liées aux variations de l'effectif. En revanche, les autres variables testées, telles que la nébulosité, la pression atmosphérique, le débit, les précipitations et la vitesse du vent, ne montrent

pas de relations significatives avec l'effectif des anguilles ($p > 0,05$). En résumé, notre modèle met en évidence l'impact positif de la température et du coefficient de marée sur l'effectif des anguilles, tandis que d'autres variables environnementales ne semblent pas avoir d'effets significatifs dans ce contexte.

vi) Etat sanitaire du recrutement

Au cours du suivi de montaison des jeunes anguilles en 2023, on a pu constater, comme les années précédentes, que certaines anguilles présentaient des signes d'anomalies anatomomorphologiques externes et des ectoparasites, visibles à l'œil nu. Le tableau 3 résume l'analyse de santé des anguilles et la condition des anguilles en Seine au barrage de Poses.

i) Récapitulatif de l'analyse de santé des anguilles au barrage de Poses et calcul des indices pathologiques et parasitaires

Localisation Analyse de santé	RG	RD	RG + RD	AVR	AME
Nombre d'anguilles examinés	1162	3033	4195	1027	128
Nombre d'anguilles atteintes par une « pathologie »	118	329	455	48	31
Pourcentage d'anguilles atteintes par une « pathologie »	10,1	10,8	10,4	4,6	24,2
IpG	0,07	0,03	0,11	0,02	0,32
Condition des anguilles	Bonne	Excellente	Bonne	Excellente	Précaire
IpP	0,077	0,085	0,162	0,035	0,21
Condition des anguilles	Bonne	Bonne	Bonne	Excellente	Précaire
% d'anguilles touchées par le parasitisme	8,0	8,2	8,1	3,1	14,1
% d'anguilles ayant une lésion mineure	0,19	0,5	0,34	0,6	0
% d'anguilles ayant une lésion majeure	1,9	2,1	2	0,9	10,1

Tableau 3 : Récapitulatif de l'analyse de santé des anguilles au barrage de Poses.

Lorsque l'on examine les résultats de l'analyse de santé des anguilles pour les deux rives, on remarque que 10,4% d'anguilles sont affectées par une « pathologie », dont 8,1 % est du parasitisme, 0,34% est une lésion mineure et 2 % est une lésion majeure. Les lésions sont considérées comme étant soit une altération anatomomorphologique, soit une altération de la couleur. Les indices (IpG et IpP) montrent globalement une bonne condition sanitaire des anguilles en Seine au barrage de Poses. L'état sanitaire des anguilles pour les flottang, montre une excellente condition des anguilles au flottang AVR mais une condition précaire pour les anguilles trouvées dans le flottang AME. En effet, on trouve 24,2% d'anguilles atteintes, soit le plus important pourcentage de tous les dispositifs de piégeage étudiés ici. De plus, il est remarquable que le parasitisme ressort comme le principal facteur contribuant de manière significative à une grande partie des cas d'« anguilles atteintes de pathologies ». En effet, les données indiquent un pourcentage d'anguilles touchées par le parasitisme plus élevé que celui des anguilles présentant des lésions mineures ou majeures. En outre, il est à noter que le pourcentage d'anguilles avec des lésions majeures est également supérieur à celui des lésions mineures. De plus, on peut observer des disparités notables dans la vulnérabilité des anguilles aux parasites externes en fonction de l'emplacement des dispositifs de piégeage.

ii) Comparaison du pourcentage d'anguille atteintes par une pathologie entre 2021 et 2023

Sur le graphique 14, on remarque une augmentation globale du pourcentage d'anguilles atteintes par une « pathologie » de 2021 à 2023, à l'exception du flottang AVR qui maintient des pourcentages d'anguilles atteintes relativement constants d'une année à l'autre.

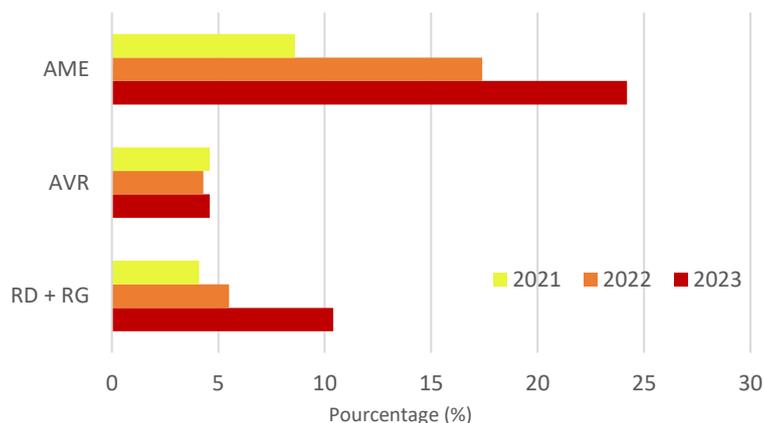


Figure 14 : Pourcentage d'anguilles atteintes par une pathologie selon les différents dispositifs de piégeage de 2021 à 2023.

iii) Nombre d'anguilles affectées par une pathologie au fil des mois

L'observation de la figure 15 révèle que la majorité des altérations anato-morphologiques (lésions et les altérations de la couleur) sont principalement observées en juillet, suivi par le mois d'août. Quant aux maladies parasitaires (points blancs et noirs), elles sont plus fréquentes en août, suivies de près par le mois de juillet. Conformément à ce qui a été mentionné précédemment, il est notable que la prévalence des maladies parasitaires dépasse celle des altérations anato-morphologiques. Ces données suggèrent une occurrence plus marquée des pathologies autour de la période estivale.

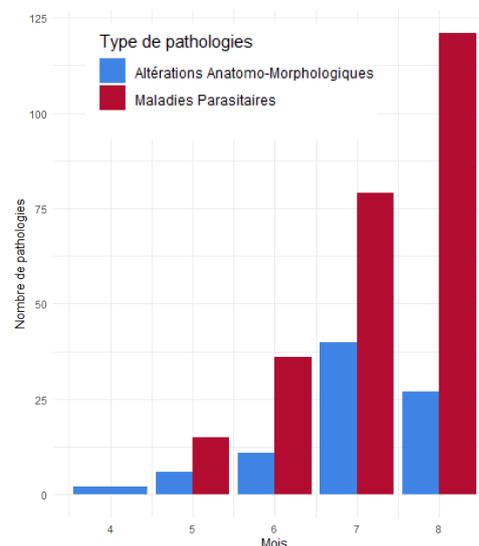


Figure 15 : Nombre d'anguilles atteintes par une pathologie selon les mois

iv) Proportion d'anguille atteintes par des anomalies anato-morphologiques externe et des ectoparasites

Les graphiques A, B, C, D de la figure 16 et 17, donne un aperçu des proportions d'anomalies anato-morphologiques externes et des ectoparasites constatés sur les anguilles. Pour rappel, seules les anguilles biométrées ont été examinées, les anguilles pesées en lot (qui représentent la majorité des individus) n'ont pas été examinées.

a) Rives

On peut constater une différence dans la diversité des "pathologies" observées chez les anguilles piégées sur RD par rapport à celles piégées sur la RG, avec 10 pathologies distinctes identifiées en RD et 5 en RG. Il est important de noter que la taille de l'échantillon est plus réduite en RG, ce qui influe probablement sur la probabilité de trouver des pathologies. De plus, une observation notable concerne la prévalence de certaines pathologies spécifiques. Les pathologies les plus fréquemment rencontrées sont des maladies parasitaires "Points Noirs (PN)" à 36,7 % en RD et 42 % en RG, ainsi que la maladie des « Points Blancs (PB) », représentant 36,9 % en RD et 37,5 %. Ensuite, les "Érosions (ER)" représentent 16,1 % en RD et 13,6 % en RG. Il est également à noter que l'état de "Maigreur (AM)" est présent chez 5,6 % des anguilles présentant des pathologies en RD, tandis qu'il est absent en RG.

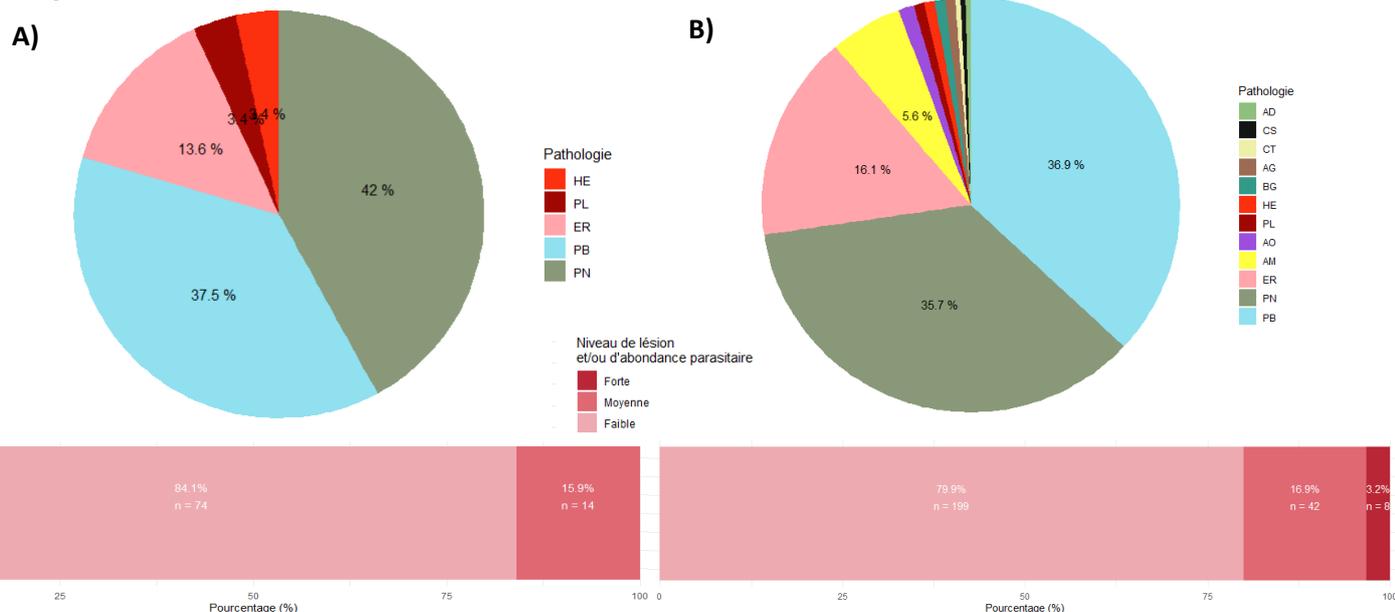


Figure 16 : Proportion et intensité des anomalies anato-morphologiques externe et des ectoparasites visibles à l'œil nu des anguilles atteintes par une « pathologie ». A) Rive gauche, B) Rive droite. Le terme général de « pathologie » est utilisé pour parler des anomalies anato-morphologiques externe ou des ectoparasites.

b) Flottang

On peut également constater (Figure 17) une différence dans la diversité des "pathologies" observées chez les anguilles piégées dans le flottang AVR (C) et AME (D). On trouve 9 pathologies

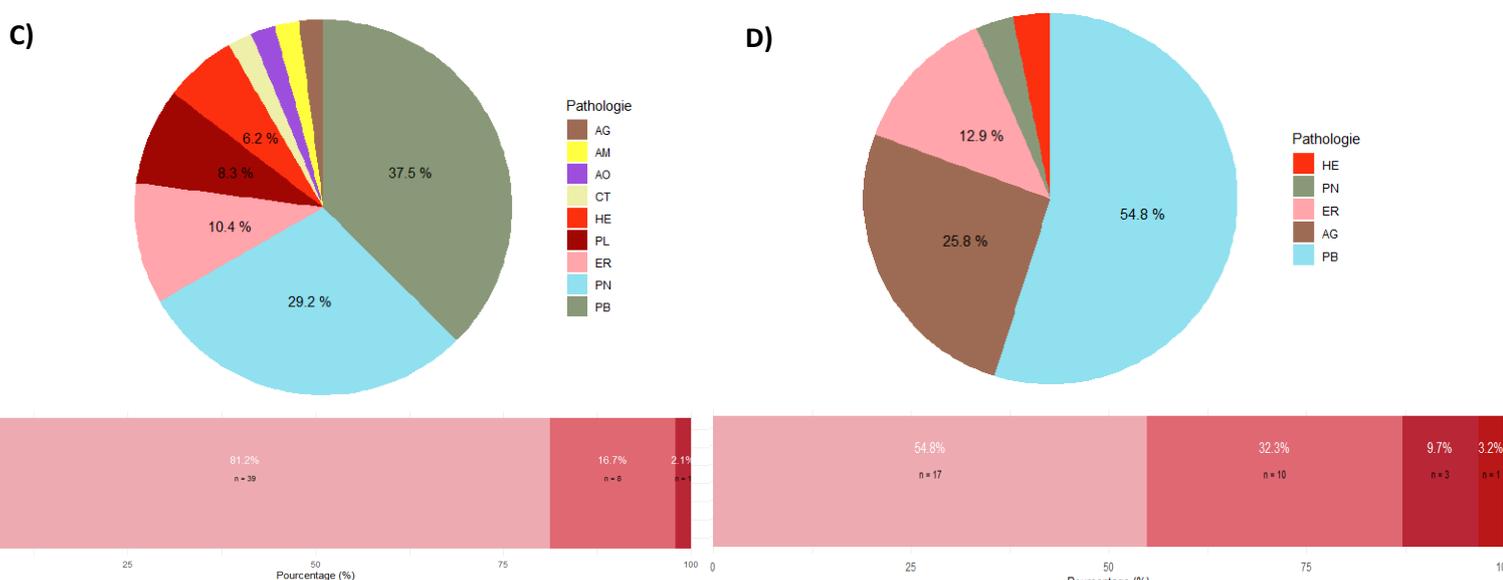


Figure 17 : Proportion et intensité des anomalies anato-morphologiques externe et des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu. Flottang : C) AVR, D) AME.

distinctes identifiées pour le flottang AVR et 5 pour AME. Il est important de noter que la taille de l'échantillon est plus réduite le flottang AME, ce qui influe probablement sur la probabilité de trouver des pathologies. De plus, une observation notable concerne la prévalence de certaines pathologies spécifiques. Comme pour les deux rives on retrouve dans le flottang AVR, une majorité de pathologies « Points blancs » et « Points noirs ». Pour le flottang AME, c'est différent, on observe une grande majorité d'anguilles avec des « Points blancs » (54.8%), mais peu de « Points noirs ». La deuxième pathologie la plus observé pour le flottang AME sont les « tumeurs, kystes, nodules ou autres grosseurs (AG) ».

v) Causes principales des altérations anatomo-morphologique et des ectoparasites des anguilles et exemple imagé

Les anomalies anatomo-morphologique rencontré cette pendant la période de suivi sont recensées dans le tableau en annexe 12.

vii) Suivi des captures de crabes chinois *E. sinensis*

Au cours de cette année, notre décompte dans les dispositifs de piégeage de l'anguille a révélé la présence de 5665 crabes chinois, sur la période du 3 avril au 24 aout. L'évolution des effectifs au fil des années de surveillance est illustrée sur le graphique 18, mettant en évidence une hausse marquée de l'effectif de crabes par rapport aux années précédentes. De plus, une tendance à l'augmentation au fil des mois est observée, avec une abondance croissante durant la période estivale, indiquant un pic de montaison à cette période. Une observation notable est que le mois de mai présente un effectif plus faible que les autres mois. Cette période (mi-mai) correspond à la mise en place d'une première tentative de piège spécifique pour les crabes dans le canal à anguilles. Ce dispositif consiste en une grille métallique avec des interstices d'une taille de 3 centimètres, permettant le passage des anguilles tout en empêchant les crabes, à l'exception des plus petits, de traverser. Cette grille était surmontée d'un bac en plastique de manière à ce que les crabes qui grimpent sur la grille tombent ensuite dans le bac en plastique, où ils restent piégés. Cette initiative a initialement rencontré un certain succès, mais malheureusement, son efficacité a diminué rapidement. Le 4 juillet, une nouvelle tentative visant à empêcher les crabes d'atteindre la cuve de piégeage des anguilles a été mise en place. Cette fois, la même grille métallique a été installée entre deux murs, empêchant ainsi les crabes de la franchir, cette fois-ci aucune incidence n'a été visible, puisque les crabes ont réussi à trouver des moyens pour passer malgré cela.

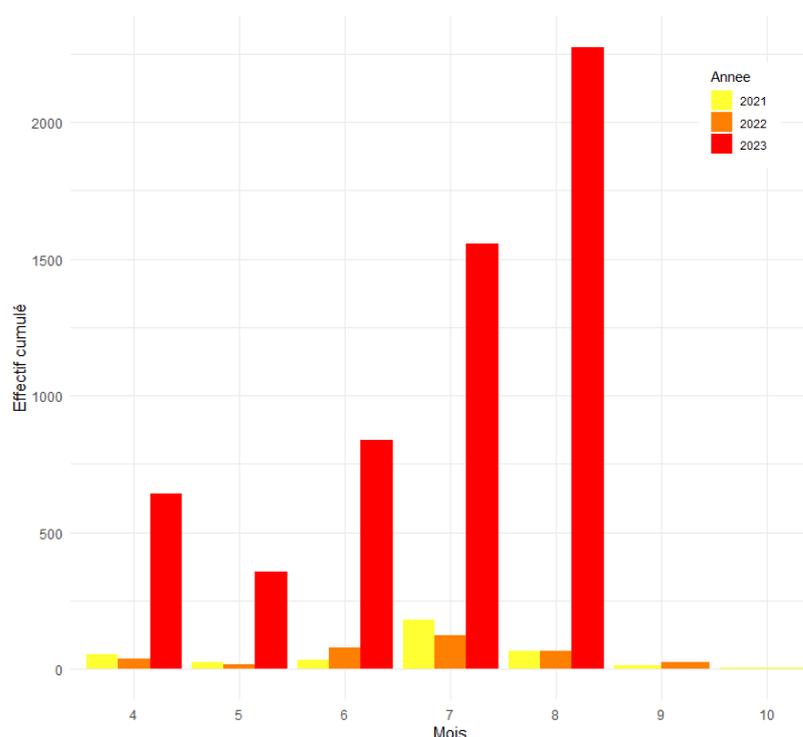


Figure 18 : Histogramme des captures mensuelles de crabes chinois dans la cuve-piège en rive droite de 2021 à 2023

DISCUSSION

Migration des anguilles en Seine : tendances et perspectives de recrutement

Le suivi du recrutement de la Seine en anguille européenne est réalisé pour la 10^{ème} année consécutive en rive gauche et la 6^{ème} année en rive droite du barrage de Poses. Entre le 3 avril et le 25 août inclus, un total de 196 090 anguilles a migré au-delà du barrage. Parmi celles-ci, 92,83 % ont emprunté la rive droite, 3,14 % la rive gauche, 7,1 % ont utilisé le dispositif flottang AVR, et 0,06 % ont transité par l'écluse grâce à l'indicateur du flottang AME. Il est important de noter que l'indicateur du flottang AME ne fonctionne que comme un moyen de repérer le passage des anguilles par cette voie, sans constituer un estimateur de la population réelle. Quatre vagues migratoires sont observées : la 1^{ère} en juin, la 2nde mi-juillet, la 3^{ème} début août et la 4^{ème} mi-août. Le recrutement de cette année est plus faible que 2022, 2020 et 2018. Il convient de souligner que la période de montaison n'est pas conclue à la date du 25 août. Les pics de migration peuvent se manifester tout au long du mois de septembre, et la montaison peut se poursuivre jusqu'en octobre, ce qui pourrait potentiellement modifier la tendance observée jusqu'à présent. Les captures sont à la baisse de 48.35% par rapport à 2022 et à la hausse de 197.47 % par rapport à 2021. En comparaison avec les trois autres grands fleuves et leurs affluents ayant la plus grande production d'anguilles argentées après la Seine (Briand *et al.*, 2018), examinons les résultats pour la Loire représentée par l'association LOGRAMI : pour cette année, les décomptes font état de 8236 anguilles jaunes en montaison à travers toutes les stations, comparativement aux 764 anguilles recensées en 2022, ce qui signifie une augmentation des effectifs cette année par rapport à l'année précédente. En ce qui concerne la Garonne, représentée par l'association MIGADO, 69215 anguilles en montaison ont été recensées à la station de Tuilières (Dordogne) pour cette année. Cependant, à la même période l'année précédente, ce nombre était significativement plus élevé, atteignant 198169. À la station de Golfech (Garonne), l'association avait dénombré 254287 anguilles le 15 septembre 2022, tandis que le 1^{er} août 2023, ce chiffre était de 263443, dépassant ainsi le total de l'année précédente. En ce qui concerne le Rhône-Méditerranée, représenté par l'association MRM, l'année 2022 avait connu des résultats positifs, avec une capture de plus de 1,5 million de civelles aux Saintes Maries de la Mer, soit quatre fois la moyenne des cinq années précédentes. À Beaucaire, au barrage de Vallabrègues, les résultats étaient tout aussi encourageants, avec plus de 340 000 individus capturés, dépassant ainsi la moyenne observée depuis le début du suivi (212 000). Pour cette année en cours, bien que le suivi s'étende jusqu'en novembre, l'association a déjà capturé 3 499 511 civelles aux Saintes Maries de la Mer, 44176 au barrage de Vallabrègues et 52 760 au barrage d'Avignon, montrant ainsi une augmentation par rapport à la même période l'année précédente. En somme, pour le moment sur la Seine, il est observable que la tendance nationale indiquant une amélioration du recrutement par rapport à l'année précédente n'est pas suivie. De plus, les données de capture et de montaison révèlent des tendances variées d'une année à l'autre pour différentes régions et cours d'eau, indiquant des fluctuations dans les populations d'anguilles. Ces variations soulignent l'importance de suivre de près les dynamiques de migration et les facteurs environnementaux pour mieux comprendre et gérer la santé de ces populations vulnérables. Pour ce qui est du fonctionnement des dispositifs de franchissement, en rive droite le dispositif a fonctionné correctement sur toute la période de suivi. En rive gauche les dysfonctionnements du dispositif ont pu être impactant sur le suivi de la montaison, surtout la dernière panne qui a lieu juste avant le pic de montaison observé début juillet.

Disparités de distribution et accessibilité des anguilles entre les rives droite et gauche

L'une des conclusions les plus frappantes est l'abondance accrue des anguilles en rive droite par rapport à la rive gauche du cours d'eau. L'observation d'une plus grande quantité d'anguilles lors de leur migration en rive droite pourrait découler de l'interaction de divers facteurs, dont la différence majeure se situe sûrement dans l'aménagement relativement plus récent de la rive droite, qui

facilite probablement davantage la montaison. Effectivement, le système de franchissement de la rive gauche semble plus complexe à franchir, car il est caractérisé par sa proximité avec l'usine hydroélectrique. Celle-ci génère de forts courants qui masquent l'attractivité du courant généré de la rampe, ce qui s'oppose avec les faibles capacités de nage des jeunes anguilles. Il est également caractérisé par une longue gouttière dépourvue de bassin de repos. En rive droite, malgré une efficacité nettement supérieure de ses dispositifs par rapport à ceux de la rive gauche, il est constaté que le débit d'attraction demeure insuffisant, généralement compris entre 4 à 4,2 m³/s, alors que des valeurs de 4,1 à 6,7 m³/s seraient plus appropriées selon les évaluations de SCIMABIO, Interface et OTEIS. De plus, la vanne de régulation en aval des dispositifs de franchissement présente un dysfonctionnement constant en position basse. Pour pallier cette situation, des travaux de réhabilitation sont envisagés, impliquant le rehaussement de la vanne, ce qui induirait une chute et une augmentation de la vitesse de l'écoulement, ce qui pourrait être défavorable à la migration des anguilles. C'est dans ce contexte que SCIMABIO, Interface et OTEIS recommandent l'installation d'une nouvelle rampe (positionnée verticalement à l'entrée de la rampe actuelle) permettant aux anguilles de progresser en amont. Dans l'ensemble, la réparation de la vanne de régulation, conjuguée à la création d'une nouvelle rampe, contribuerait à accroître l'attrait du dispositif tout en maintenant des conditions d'accessibilité favorables. De plus, l'analyse des données relatives à la taille des échantillons et des stades de développement des anguilles révèle des schémas différents entre les rives droite et gauche, avec des variations notables significatives à chaque emplacement. Les individus en période de montaison de l'année sont plus fréquemment présents en rive droite par rapport à la rive gauche, suggérant une plus grande accessibilité aux dispositifs de montaison pour la rive droite lors du stade « civelle ». Cette différence pourrait être attribuée aux mêmes facteurs mentionnés précédemment. Il est envisageable que les civelles, du fait de leur vulnérabilité accrue à l'épuisement et de leurs capacités de nage très restreintes pendant la montaison par rapport aux anguilles plus matures et résistantes, puissent accéder plus aisément au système de franchissement en rive droite, du fait de son adaptation supérieure. Ces schémas sont en accord avec les résultats des années précédentes.

Rôle des dispositifs de franchissement dans la dynamique migratoire des anguilles : obstacles et complexités

L'influence des dispositifs de franchissement sur la dynamique migratoire est également à souligner. Les anguilles semblent rencontrer des difficultés à atteindre les dispositifs de piégeage, comme en témoigne l'augmentation cette année de leur présence dans le flottang à l'aval du barrage (AVR), où une forte densité de population est observée. Ce phénomène pourrait être attribué non seulement aux obstacles physiques imposés par les dispositifs de franchissement, à la raréfaction des habitats à l'aval du barrage en raison de la présence de palplanches le long des rives, ainsi qu'aux facteurs environnementaux tels que les fluctuations du courant engendrées par les mouvements d'ouverture et de fermeture des vannes du barrage, mais également à la fonction de ces flottangs en tant que lieux de repos potentiels pour les anguilles épuisées par leur migration. Par conséquent, il est plausible que les anguilles s'accumulent dans le flottang AVR en raison d'une combinaison de facteurs, incluant à la fois les obstacles à la migration, la force du courant et la recherche d'endroits favorables au repos. Par ailleurs, on peut supposer que la diminution du nombre d'individus cette année dans le flottang en amont de l'écluse (AME), pourrait suggérer des défis supplémentaires pour la navigation à travers les écluses. Malgré cette hypothèse, la proportion des anguilles utilisant l'écluse demeure incertaine, empêchant de déterminer si cela englobe une grande partie ou non de la population migrante. Le flottang AME remplit avant tout le rôle de signaler l'existence d'une voie de passage dans cette direction. De plus, cette zone offre une abondance d'habitats naturels pour les anguilles, ce qui pourrait expliquer la faible fréquentation de cette zone par ces dernières. Une observation notable concernant le flottang AME est qu'il a été fréquemment trouvé hors de l'eau. Cette situation peut être attribuée vraisemblablement au passage fréquent de péniches et de

bateaux. Il est important de souligner que cette présence intermittente du flottang AME hors de l'eau peut introduire une source de variation et potentiellement altérer la précision des comptages d'anguilles.

Dynamique migratoire des anguilles : corrélations entre facteurs environnementaux et comportements de migration

Les pics migratoires en juin, mi-juillet et début août soulèvent des questions intrigantes quant aux facteurs déclencheurs de ces mouvements massifs d'anguilles. Il est intéressant de noter que ces pics migratoires coïncident avec l'augmentation de la température, la diminution du débit ainsi qu'avec les fluctuations du coefficient de marée, et possiblement avec une augmentation de la couverture nuageuse, jouant notamment un rôle sur la luminosité, et de la pression atmosphérique, ce qui suggère une sensibilité de l'anguille aux conditions environnementales changeantes. Comme démontré par White et Knights (1994), la température de l'eau est corrélée à la montaison des anguilles. D'après Feunteun (2008), les premières captures sont déclenchées à partir de 14°C. En ce qui nous concerne, cette année, nous avons eu notre première capture le 12 avril à une température de 12.5°C. On peut noter néanmoins, que les premières captures ne concernaient pas les jeunes anguilles mais bien les anguillettes et anguilles jaunes d'au moins deux étés. La première civelle a été remarqué le 2 juin 2023, là où la température de l'eau dépassait légèrement les 20°C. En effet, d'après White et Knights, 1997, à partir de 20°C les captures augmentent significativement. C'est d'ailleurs à partir de cette date que les effectifs ont fortement augmenté, ce qui coïncide avec nos résultats et la bibliographie. Au cours de cette année, la température moyenne de l'eau, enregistrée d'avril à mi-août, s'est établie à 19,23°C. En comparaison, les années précédentes, sur la même période, ont enregistré les températures suivantes : 19,95°C en 2018, 19,08°C en 2019, 19,24°C en 2020, 18,39°C en 2021 et 20,70°C en 2022. Il est intéressant de noter que les années avec des températures d'eau plus élevées ont également affiché des effectifs d'anguilles plus importants que celles avec des températures plus fraîches. Cela est particulièrement évident en 2022 et en 2018, années durant lesquelles le recrutement d'anguilles a été particulièrement abondant. Pour ce qui est de 2019, malgré une moyenne de température moins importante que cette année le recrutement a été meilleur, ce qui nous rappelle que de nombreux facteurs peuvent jouer sur l'effectif en montaison. Par ailleurs, en ce qui concerne le débit, lorsque des situations de débit élevé surviennent, il est possible que la progression des civelles dans l'estuaire soit entravée voire interrompue (Ben Abdallah, 1991 ; Elie et Rochard, 1994 ; Bardonnnet et al., 2005, Hirschinger, 2015), on remarque d'ailleurs que les pics de montaison surviennent au moment où les débits ralentissent. Nos résultats mettent en évidence une corrélation entre la réduction du débit et l'accroissement de l'effectif d'anguilles. Néanmoins, il est essentiel de garder en tête que ces corrélations ne confirment pas nécessairement une causalité. Par exemple, en ce qui concerne le débit, bien que celui-ci diminue au cours de la saison, cela ne signifie pas automatiquement qu'il exerce une influence sur la migration. Cela pourrait simplement résulter du fait que les anguilles arrivent à Poses pendant les périodes de faible débit. Si la station de comptage était située beaucoup plus en aval, comme à l'entrée de l'estuaire, nous pourrions obtenir des résultats opposés. L'idéal serait de disposer d'une date d'arrivée dans l'estuaire pour pouvoir comparer si la vitesse de migration varie d'une année à l'autre en fonction de ces paramètres. Cela dit, cela ne minimise pas l'importance de suivre ces paramètres. En effet, un changement soudain de température ou de débit pourrait entraîner un arrêt ou un ralentissement visible de la migration. La visualisation de l'effectif d'anguille et du coefficient de marée semble montrer, que les anguilles se servent de la marée montante pour se déplacer en amont, indiquant peut-être une corrélation entre les deux. De plus, ces pics de montaison ont lieu soit entre le premier quart de lune et la pleine lune soit entre le dernier quart et la nouvelle lune, toujours là où la marée est montante. Cependant, on semble observer peu d'activité migratoire lorsque la pleine lune et la nouvelle lune est présente. La divergence entre les

résultats du test de corrélation de Pearson et ceux de la GLM pour l'impact du coefficient de marée sur l'effectif d'anguille peut s'expliquer par le fait que le modèle GLM, en incluant plusieurs variables environnementales et en permettant des ajustements complexes, a pu mieux capturer une relation linéaire approximative entre le coefficient de marée et l'effectif d'anguille. En outre, en ce qui concerne les divers paramètres environnementaux examinés, il est possible de mentionner le décalage entre l'arrivée des civelles et l'événement, qui a probablement influencé nos tests. Dans la bibliographie, nombreux sont les travaux qui traitent de l'influence de la marée sur les anguilles. Depuis le début du XXe siècle, on sait que les civelles utilisent les courants de marée montante dans les estuaires pour migrer vers l'amont (Schmidt, 1906 ; Bertin, 1951). Le mécanisme général du "transport sélectif par courant de marée" a été confirmé par des études *in situ* et *ex situ* sur les anguilles européennes et américaines (Creutzberg, 1961 ; McCleave et Kleckner 1982 ; McCleave *et al.*, 1987 ; Beaulaton & Castelnaud, 2005). L'hypothèse la plus probable est qu'elles profitent d'un transport pélagique principalement passif par les courants de marées lors du flot mais par contre nagent activement près du fond lors du jusant (Mc Cleave *et al.*, 1982 ; Elie et Rochard 1994). Les mécanismes physiologiques à l'origine de ces comportements pourraient être liés à la détection des turbulences, à la modulation des champs électriques ou à l'utilisation hypothétique d'horloges circatidales pour synchroniser leur migration lors des marées montantes (Mc Cleave *et al.*, 1982). Ces observations couplées aux connaissances acquises sur les anguilles dans la bibliographie nous suggèrent un lien entre la dynamique de migration des anguilles et les cycles de marée. En ce qui concerne l'effet de la lumière sur la montaison des civelles, la littérature suggère que les niveaux de lumière pourraient jouer un rôle dans l'influence de la migration de ces jeunes anguilles. Cette influence ne serait pas tant liée à une inhibition de leur mouvement, mais davantage à la position verticale des poissons dans la colonne d'eau. Les travaux antérieurs indiquent que les civelles pourraient ajuster leur comportement migratoire en réponse à la lumière (Casamajor 1999 ; Bardonnnet *et al.*, 2005). Par exemple, une étude menée par Creutzberg (1961) dans la région du Texelstroom, aux Pays-Bas, a comparé les captures de civelles effectuées à l'aide de filets de pêche à différentes profondeurs et en surface, de jour comme de nuit. Selon les observations de cette étude, les civelles sembleraient poursuivre leur migration pendant la journée, mais elles le feraient à des profondeurs plus importantes et dans des couches d'eau plus sombres. Ces résultats suggèrent que la migration des civelles pourrait être influencée par la distribution verticale de la lumière dans l'eau plutôt que par une inhibition de leur déplacement qui aurait été causé par une intensité lumineuse importante (Bardonnnet *et al.*, 2005). En outre, l'étude a établi que les civelles non pigmentées avaient une réponse moins forte à la lumière par rapport aux civelles pigmentées, ce qui suggère que le niveau de pigmentation influence leur sensibilité et leur comportement vis-à-vis de la lumière. Cette constatation pourrait influencer la montaison des anguilles au barrage de Poses, étant donné que les canaux menant aux dispositifs de piégeage ont une profondeur moindre, ce qui peut permettre à la lumière de pénétrer. De plus, la luminosité de la lune influencerait également, par le même procédé que la lumière du soleil, la migration des civelles (Casamajor 1999 ; Casamajor *et al.*, 2008). Expliquant ainsi une activité moindre lors des phases de pleine lune, et une activité plus importante lors des premiers et derniers quarts de lune. En ce qui concerne l'influence de la pression atmosphérique sur la montaison des civelles, des travaux menés par Meyer et Kuhl (1952/53) se sont penchés sur les statistiques générales et les observations réalisées au barrage de Herbrum sur l'Ems, en Allemagne de l'Ouest. Ces chercheurs ont avancé que des facteurs météorologiques tels que la pression atmosphérique et les conditions météorologiques influencent la migration des civelles et les jeunes anguilles. Dans d'autres articles, on peut remarquer que la dépression atmosphérique joue un rôle dans la migration des anguilles vers la mer, sans parler de son influence sur la montaison en eau douce des jeunes anguilles (Okumara *et al.* 2002, Acou *et al.* 2008). Dans une étude de Lagarde *et al.*, en 2021, il est suggéré que les anguilles pourraient réagir aux variations de la pression atmosphérique en interprétant une diminution comme un signe de

pluie à venir. Cette anticipation de conditions pluvieuses pourrait inciter leur migration, car les pluies entraînent généralement une augmentation des proies terrestres dans l'eau. Bien que cela n'ait pas été documenté pour les anguilles, d'autres biotes d'animaux tels que le moineau à couronne blanche (*Zonotrichia leucophrys*) et le requin à pointe noire (*Carcharhinus limbatus*) ont été documentés comme ayant des réponses comportementales associées à la diminution de la pression atmosphérique (Heupel et al., 2003 ; Breuner et al., 2013). Toutefois, il est essentiel de noter qu'aucun effet similaire n'a été identifié dans nos analyses statistiques en ce qui concerne les précipitations et leur impact sur l'effectif des anguilles. Cette disparité requiert des investigations plus approfondies afin d'établir si cet élément a réellement un impact significatif ou s'il s'agit simplement d'une corrélation. Les schémas observés soulignent l'importance d'une surveillance continue de ces facteurs environnementaux pour mieux comprendre leur influence sur la migration des anguilles.

Évaluation de l'état sanitaire du recrutement d'anguilles : analyse des indices pathologique et parasitaire

Pour ce qui est de l'état sanitaire des populations d'anguilles, les indices pathologique (IpG) et parasitaire (IpP), apportent des éclairages distincts sur la santé de ces populations. Cette année, l'état sanitaire du recrutement est globalement bon pour les deux rives, excellente pour les anguilles du flottang AVR mais le recrutement du flottang AME, lui, est précaire, ce qui ressemble aux constatations faites pour les autres années. Selon Elie et Girard (2014), dans le contexte de la maladie parasitaire des points blancs, il est évoqué que la surdensité d'individus peut favoriser le développement et la transmission de parasites. Cette situation semble s'appliquer aux dispositifs de piégeage des deux rives, qui regroupent un grand nombre d'individus en un même endroit lorsqu'ils sont piégés ensemble. Cette concentration d'individus se retrouve également dans le cas du flottang AVR, où une accumulation d'individus à l'intérieur de celui-ci peut se produire. En ce qui concerne le flottang AME, il est possible qu'il serve de refuge à des individus ayant vraisemblablement franchi l'écluse et qui ont été retenus pendant un certain laps de temps en grand nombre, à la base d'un obstacle infranchissable. Par ailleurs, d'autres facteurs tels que les fonds anfractueux, la lenteur des courants et l'accumulation de matières organiques pourraient également contribuer à cette situation, on retrouve ces conditions en particulier pour le flottang AME. Ce dernier pourrait accueillir des anguilles ayant attendu l'ouverture des écluses et qui se seraient retrouvées piégées dans les sédiments accumulés au pieds de celle-ci. De plus, ces auteurs mentionnent que les conditions optimales pour le développement de la maladie parasitaire des points blancs causé par l'agent parasitaire *Ichtyophthirius multifiliis*, serait une température de l'eau comprise entre 16°C et 20°C. Ils mentionnent que l'élévation thermique de l'eau accélère le déroulement du cycle du parasite qui à 10°C serait de 21 jours alors qu'à 25°C il serait de seulement 3 jours. Pour ce qui est de la maladie parasitaire des points noirs, il est mentionné le fait que la température influence également le cycle de *Bucephalus polymorphus*, comme pour la maladie des points blancs, lorsqu'elle augmente elle favoriserait l'accélération du cycle parasitaire. Ces mêmes auteurs affirment qu'en raison de l'épaisseur de la peau des anguilles, celle-ci n'est pas affectée. Pourtant, nombreuses sont les anguilles présentant un diagnostic similaire à celui décrit dans le livre. Dans le rapport des autres années, il a aussi été constaté la présence de points noirs sur les anguilles. Cela soulève la possibilité qu'une autre maladie, peut-être encore inconnue ou non abordée dans l'étude, puisse être à l'origine de ces symptômes observés chez les anguilles. Il est également envisageable que l'épaisseur de la peau des anguilles ne soit pas une barrière absolue au développement de ces kystes parasitaires. Pour ce qui est du développement d'anomalie anatomo-morphologique, nombreux sont les facteurs possibles, vous trouverez les principales causes décrites dans le tableau ? en annexe. Néanmoins, on peut discuter du fait que l'on retrouve plus fréquemment des anomalies anatomo-morphologiques sévères chez les anguilles trouvées dans le flottang en amont de l'écluse,

endroit, nous le rappelons, fortement fréquenté par tout type de bateaux. En effet, plusieurs fois au cours des relevés de ce flottang, nous avons pu constater des nappes de carburant à l'endroit où le flottang AME était positionné, indiquant l'exposition évidente des anguilles aux polluants. Ces constatations renforcent la notion que la Seine est soumise à une variété de pollutions. L'arrêté concernant les PCB, qui interdit la consommation de poissons issus de ces eaux, ne montre qu'une fraction de l'impact néfaste des polluants sur la biodiversité. Dans leur étude, Elie et Girard (2014) font mention, notamment en ce qui concerne le développement de tumeurs, de kystes, de nodules et autres grosseurs, ainsi que dans le cas d'érosions et de maigreur, que les contaminants environnementaux tels que le pétrole, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), les polychlorobiphényles (PCB), les métaux lourds comme le cadmium, et les éléments chimiques semi-métalliques comme l'arsenic, agissent comme des facteurs impactant la santé des populations d'anguilles, des poissons en général et même de tout être vivant exposé et sensible à ces polluants. Nous avons également relevé la prévalence significative de la pollution plastique dans la Seine, constatant à plusieurs occasions la présence d'anguilles (provenant des flottang) emprisonnées à l'intérieur de déchets plastiques. Cette mise en évidence souligne la nécessité pressante d'améliorer la qualité intrinsèque des eaux de la Seine ainsi que des écosystèmes aquatiques à l'échelle globale.

Évolution et impact de la population de Crabe Chinois dans les dispositifs de franchissement des anguilles et son impact potentiel sur la biodiversité : analyse sur trois années consécutives

Au cours de cette troisième année consécutive de surveillance du Crabe chinois (étant donné que les années 2019 et 2020 ont suivi une méthodologie différente, elles ne seront pas abordées ici), une nette augmentation du nombre de crabes a été observée dans les dispositifs de piégeage et de franchissement des anguilles par rapport aux années précédentes. Effectivement, sur la période début avril – fin septembre, en 2021, 342 crabes ont été comptabilisés, en 2022, 348. Tandis que sur la période début avril – fin août, nous avons capturés 5665 crabes. Soit environ 16 fois plus que les années précédentes. La question principale liée à la présence envahissante de crabes dans les installations conçues pour le passage des anguilles est la suivante : comment prévenir l'invasion des crabes dans ces dispositifs de franchissement ? En effet, malgré nos efforts pour empêcher l'accès des crabes aux dispositifs de franchissement et aux cuves de piégeage des anguilles, ils parviennent toujours à pénétrer ces structures. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer cette situation. Nous avons envisagé la possibilité que les petits individus puissent facilement passer en se glissant sur le côté. En ce qui concerne les spécimens plus grands, il est possible qu'ils réussissent à passer par-dessus les grilles et les bacs en plastique, notamment en poussant les grilles métalliques, qui sont flexibles et fixées de manière relativement précaire. Nous avons également considéré la possibilité qu'ils puissent accéder aux dispositifs en passant par la pompe qui alimente en eau la rampe et la cuve de piégeage, peut-être attirés par le courant créé par celle-ci. Ces observations incitent Seinormigr à poursuivre leurs efforts pour mettre en place des structures mieux adaptées et plus robustes afin d'empêcher leur passage. Cependant, concernant l'impact qu'ils auraient sur les anguilles, il semblerait que ces individus aient davantage un comportement migratoire plutôt qu'un comportement de prédation active des anguilles circulant dans le canal. Malgré les observations occasionnelles de crabes parvenant à saisir une civelle avec leurs pinces, occasionnant ainsi des dommages, aucune observation de consommation directe n'a été remarquée. Cependant, l'absence d'observations de consommation ne peut pas être interprétée comme une preuve définitive de l'absence de ce comportement, car la consommation reste une possibilité plausible : nous retrouvons parfois des morceaux d'anguille, possiblement coupés par les pinces des crabes, au fond de la cuve de piégeage. Il convient également de prendre en considération le contexte particulier des cuves de piégeage : les deux espèces se retrouvent en proximité, ce qui

diffère de leur interaction habituelle dans la nature. Il faut noter que la cuve de piégeage de la rive droite puisse parfois être abondamment rempli d'anguilles et de crabes, augmentant ainsi les opportunités pour les crabes d'entrer en contact avec celles-ci. Le stress occasionné par l'accumulation de ces deux espèces peut-être à l'origine des réflexes des crabes à pincer ce qui passe autour d'eux. Cependant, comme nous l'avons dit précédemment dans le contexte de l'étude : les crabes peuvent se nourrir de poissons morts et occasionnellement de poissons blessés ou poissons moribonds (Panning, 1939 ; Rudnick et al., 2000) ainsi que de poissons pris dans des filets ou des pièges (Panning, 1939 ; Gollasch, 2006), ce qui doit inciter l'observation du comportement de ces crabes face aux anguilles pour en comprendre le réel impact, en considérant l'environnement particulier de ces dispositifs. Noël P. et Breton G. en 2016, indiquent que les jeunes individus sont d'abord végétariens au stade juvénile puis potentiellement prédateur en grandissant. D'après les observations d'Hoestlandt en Flandres françaises (1959), la taille maximale des juvéniles est de 58 mm, bien que nous ayons observé quelques spécimens adultes, la plupart se trouve être des juvéniles en montaison. Il y a donc moins de probabilité que ceux-ci prédate les anguilles. En 2021, Seinormigr a réalisé une expérience qui consistait à laisser 24 heures plusieurs crabes dans un aquarium en présence d'une civelle morte, individu qu'ils avaient retrouvé mort dans le système de vidange de la cuve à anguilles. Cette expérience a révélé qu'aucune prédation n'a eu lieu au cours de ces 24 heures. Pour ce qui est de son impact en général, à des densités élevées, l'espèce peut occasionner des préjudices aux ressources halieutiques ainsi qu'aux engins de pêche utilisés par les pêcheurs (Noël & Breton, 2016). Son impact peut s'étendre aux espèces indigènes locales, notamment les poissons et les invertébrés, en raison de la prédation et de la compétition qu'il induit (GISD, 2019). Le Crabe chinois, en tant qu'omnivore opportuniste, se nourrit de phanérogames aquatiques, d'algues, de détritus, d'œufs de poisson et d'une variété étendue de macroinvertébrés (GISD, 2019). Cette forme de prédation peut entraîner des réductions significatives au sein des populations de ces espèces ainsi que de leurs concurrents directs, tels que les écrevisses. Les espèces d'écrevisses rares et en situation de menace peuvent subir des conséquences néfastes du fait des densités élevées du Crabe chinois, notamment en raison de la compétition pour les ressources et l'habitat (GISD, 2019), mais aussi en leur transmettant la peste des écrevisses (Schrimpf et al., 2014). De plus, lorsque cette espèce est présente en forte densité, elle peut causer des dégradations aux digues et provoquer une érosion des berges en creusant des terriers pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres de profondeur (Sarat 2019 ; Gollasch, 2011). Cependant, il est impératif de réitérer que le principal facteur en jeu dans ce contexte est l'intervention humaine, qui a sciemment ou involontairement introduit le Crabe chinois sur un territoire qui ne lui est pas natif, ce qui devrait susciter une sensibilisation au sein de la population.

CONCLUSION

Au cours de cette année, un total de 196 090 anguilles a été enregistré en train de franchir le barrage de Poses. Parmi elles, 92,83 % ont choisi la rive droite pour leur migration, tandis que 3,14 % ont opté pour la rive gauche. En outre, 7,1 % ont utilisé le dispositif flottang en aval de la rampe, et une minorité de 0,06 % a emprunté le dispositif flottang en amont de l'écluse. Ces chiffres mettent en évidence que la rive droite est plus adaptée à la montaison des jeunes anguilles. Cependant, il est également notable, en observant le nombre significatif d'anguilles accumulées au pied du barrage (dispositif flottang AVR), que des améliorations doivent être apportées pour accroître son efficacité. En effet, il est essentiel d'envisager des améliorations pour rendre les rampes plus accessibles et attrayantes, particulièrement sur la rive gauche. Ces mesures favoriseraient une montaison plus efficace des anguilles et optimiseraient l'utilisation du site, tout en permettant une évaluation plus précise du recrutement. En outre, les données du dispositif flottang AVR nous informent sur le passage au niveau des écluses. Il serait pertinent pour les années à venir d'envisager la mise en place

d'un dispositif de décompte au niveau des écluses, dans le but d'obtenir une évaluation plus précise de l'ensemble des effectifs migratoires. En dressant le bilan de cette dixième année de suivi du recrutement de l'anguille européenne au barrage de Poses, il est difficile de qualifier la situation de satisfaisante, bien qu'elle ne soit pas la plus alarmante enregistrée jusqu'à présent. En comparant ces chiffres avec les recrutements dans d'autres grands fleuves qui jouent un rôle crucial pour les futures populations d'anguilles argentées, il devient évident que la Seine ne suit pas la tendance nationale qui indique une amélioration du recrutement par rapport à l'année précédente. L'influence des paramètres environnementaux qui peuvent jouer un rôle sur la dynamique migratoire des anguilles, tels que la marée montante, la hausse de la température de l'eau, les faibles débits et la variations des conditions météorologiques, a été observé. Cependant, de nombreuses expérimentations doivent encore être menées pour évaluer de manière approfondie leur véritable incidence sur la migration des anguilles. L'évaluation de la santé des populations d'anguilles cette année montre des résultats positifs globalement, mais il existe une fragilité persistante pour les anguilles provenant du flottang AME. Des observations passées indiquent que la densité d'individus et la qualité de l'eau peut influencer le développement parasitaire. Les anomalies anatomiques des anguilles peuvent être liées à divers facteurs, dont certains pourraient être associés à l'exposition aux polluants. Cette évaluation souligne l'importance de préserver la qualité de l'eau dans la Seine et de sensibiliser la population à l'impact de nos actions sur l'environnement.

En résumé, ces données mettent en lumière la complexité de la migration des anguilles face à la fragmentation des cours d'eau due aux barrages. Elles mettent en évidence le besoin crucial d'améliorations structurelles et d'une étude approfondie des facteurs environnementaux influençant la montaison des anguilles. Cette étude souligne également l'urgence d'une gestion proactive pour préserver ces populations. Ce rapport propose une voie à suivre : l'adoption de dispositifs et de pratiques durables favorisant la montaison des anguilles et préservant leur bien-être, tout en sensibilisant davantage à l'importance de notre environnement. Ainsi, nous pourrions assurer un avenir positif pour les anguilles de la Seine et leur écosystème.

BIBLIOGRAPHIE

- Acou, A. (2006). *Bases biologiques d'un modèle pour estimer la biomasse féconde de l'anguille européenne en fonction des recrues fluviales et du contexte de croissance : approche comparative à l'échelle de petits bassins versants*. Thèse, Université de Rennes.
- Adam, G., Feunteun, E., Prouzet, P., & Rigaud, C. (2008). L'anguille européenne: indicateurs d'abondance et de colonisation. Dans A. Monaco, E. Feunteun, & G. Adam. Quae.
- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN). *Les poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie*. Récupéré sur <https://www.eau-seine-normandie.fr/>
- Amiard-Triquet, C., Amiard, J., Andersen, A., Elie, P., & Métayer, C. (1987). the eel (*anguilla anguilla* L.) as a bioindicator of metal pollution: factors limiting its use. *Wat. Sci. Tech*, Vol. 19, Rio, pp. 1229-1232.
- Anonyme. (1984). Rapport de synthèse et programme quinquennal. *Groupe national anguille*, 60.
- Antonio, R., Agostinho, A., Mayer Pelicice, F., Bailly, D., Okada, E., & Henrique, J. (2007). Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes?
- Ashworth, S., & Blanc, G. (1997). *Anguillicola crassus*, a recently introduced aggressive colonizer of European eel stocks. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*
- Baisez, A., & Laffaille, P. (2005). *Un outil d'aide à la gestion de l'Anguille : Le tableau de bord anguille du bassin Loire*. LOGRAMI - Université de Rennes 1 - Fish-Pass. *Bull. Fr.*
- Bardonnet, A., Bolliet, V., & Belon, V. (2005). Recruitment abundance estimation: Role of glass eel (*Anguilla anguilla* L.) response to light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 321, Issue 2, Pages 181-190.
- Beaulaton, L., & Castelnaud, G. (2005). *The efficiency of selective tidal stream transport in glass eel entering the Gironde (France)*. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (2005) 378-379 : 5-21.
- Ben Abdallah, L. (1991). *Influence de quelques facteurs abiotiques sur l'abondance des civelles d'Anguilla anguilla dans l'estuaire de la Loire (France)*. Dublin: EIFAC, Working group on eel.
- Berg, T., & Steen, J.-B. (1965). *Physiological mechanisms for aerial respiration in the eel*. *Comp Biochem Physiol.* 15(4) : 469-84.
- Bertin, L. (1951). *Les anguilles : variation, croissance, euryhalinité, toxicité, hermaphrodisme juvénile et sexualité, migrations, métamorphoses*.
- Bessert, M., & Ortí, G. (2008). *Genetic effects of habitat fragmentation on blue sucker populations in the upper Missouri River (Cycleptus elongatus Lesueur, 1918)*.
- Boëtius, J. (1967). *Experimental indication of lunar activity in European silver eels, Anguilla anguilla (L.)*. *Medd Dan Fisk-Havunders* 6:1-6.
- Bonhommeau, Gascuel, Blanke, Tréguier, Grima, Rivot, . . . Castonguay. (2009). *Estimate the mortality and the duration of the trans-Atlantic migration of European eel Anguilla anguilla leptocephali using a particle tracking model*. *Journal of Fish Biology* 74 (9) : 1891-1914.
- Brasseur, T., Neveu, T., Blanc, J., Perez, E., Sanmartin, M., Flesselle, A., . . . Mullet, V. (2022, 2021, 2020, 2019, 2018, 2017, 2016, 2015, 2014). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (Anguilla anguilla) sur le barrage de Poses (Eure)*. *Seinormigr.*

- Breuner, C., Sprague, R., Patterson, S., & Woods, H. (2003). *Environnement, comportement et physiologie : les oiseaux utilisent-ils la pression barométrique pour prédire les tempêtes ?* J. Exp. Biol. 2013 , 216 , 1982-1990.
- Briand, C., Chapon, P.-M., Beaulaton, L., Drouineau, H., & Lambert, P. (2018). *Escapement of silver eels (Anguilla anguilla), Eel density analysis (EDA 2.2.1).*
- Briand, C., Fatin, D., Ciccotti, D., & Lambert, P. (2005). *A stage-structured model to predict the effect of temperature and salinity on glass eel Anguilla anguilla pigmentation development.* Journal of Fish Biology 67, 993–1009.
- Bruslé, J. (1990). Interest of early stages of fish development (egg, larva and fry) in ecotoxicology, cytogenetic abnormalities and teratogenic malformations induced by chemical contamination of aquatic environment. *Biological Structures and Morphogenesis*, V.3, p125.
- Bruslé, J. (1994). *L'Anguille européenne Anguilla anguilla, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes.* Laboratoire de Biologie Marine, Université de Perpignan. Perpignan: Bull. Fr. Pêche Piscic.
- Bruslé, J., & Quignard, J. (2013). *Biologie des poissons d'eau douce européens (2e éd.).* Lavoisier.
- C. Amiard-Triquet, J. A. (1987). The Eel (*Anguilla anguilla* L.) as a Bioindicator of Metal Pollution: Factors Limiting Its Use. Dans *Wat. Sci. Tech. Vol. 19, Rio* (pp. p1229-1232).
- Cantrelle, I. (1984). *Les populations de civelles d'anguilla anguilla L. en migration dans l'estuaire de la Gironde.* HAL open science .
- Castelnaud, G., Gueraud, D., Desauvay, Y., & Elie, P. (1994). Yield and abundance of the civelle (*Anguilla anguilla* L.) at the beginning of the nineties. Dans *L'anguille européenne Bilan des travaux et expérimentations en cours (Volume 1)* (pp. 263 - 287). Bull. Fr. Pêche Piscic.
- Castonguay, M., V. Hodson, C. Moriarty, F. Drinkwater, & M. Jessop. (1994). Is there a role of ocean environment in American and European eel decline? Dans *Fisheries Oceanography* (pp. 197-203). Wiley.
- Castonguay, M., & McCleave, J. D. (1987). *Vertical distributions, diel and ontogenetic vertical migrations and net avoidance of leptocephali of Anguilla and other common species in the Sargasso Sea.* Journal of Plankton Research, Volume 9, Issue 1, 1987, Pages 195–214.
- Castonguay, M., Hodson, P., Moriarty, C., Drinkwater, K., & Jessop, B. (1994). Is there a role of ocean environment in American and European eel decline? *Fisheries Oceanography*, V.3, Issue 3, 197-203p.
- Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de l'Eure (CDPMEM27) et l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA). (s.d.). *Evaluation de l'efficacité des passes à anguille du barrage de Poses en 2008.*
- Creutzberg, F. (1961). *On the orientation of migrating elvers (Anguilla vulgaris Turt.) in a tidal area.* Netherlands Journal of Sea research, 1, 3, 257-338.
- Daemen, E., Cross, T., Ollevier, F., & Volckaert, F. (2001). Analysis of the genetic structure of European eel (*Anguilla anguilla*) using microsatellite DNA and mtDNA markers. *Marine Biology*, 139, p755–764.
- De Casamajor, M., Bru, N., & Prouzet, P. (1999). *Influence de la luminosité nocturne et de la turbidité sur le comportement vertical de migration de la civelle d'Anguille (Anguilla anguilla L.) dans l'estuaire de l'Adour.* Bull. Fr. Pêche Piscic., 355, 327-347.

- Dekker, W. (1998). Long-term trends in the glasseels immigrating at Den Oever, The Netherlands. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*
- Dekker, W. (2003). Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology*, 10, 365–376.
- Dekker, W. (2003). Status of the European Eel Stock and Fisheries. *Eel Biology*, pp 237–254.
- Décision n° DRIEE-SDDTE-2016-153 d'Ile-de_France D (27 septembre 2016).
- Durif, C. (2003). La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. *Thèse*.
- Durif, C. (2003). *La migration d'avalaison de l'anguille européenne Anguilla anguilla : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles*. *Thèse*.
- E. Daemen, T. Cross, F. Ollevier, & F. Volckaert. (2001). Analysis of the genetic structure of European eel (*Anguilla anguilla*) using microsatellite DNA and MtDNA markers. *Marine Biology*, 139: 755 –764.
- E. M. White, B. K. (2005). Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. Dans *Fish Biology (1997)*. Wiley.
- El-Hilali. (2007). *L'anguille européenne (Anguilla anguilla L., 1758) dans le Bas-Sebou : Biologie et infestation par Anguillicola crassus*. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Rabat (Maroc).
- Elie, P., & E. Rochard. (1994). Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 335 : 81-98.
- Elie, P., & Girard, P. (2014). *La santé des poissons sauvages : les Codes pathologique, un outil d'évaluation*. Association Santé Poissons Sauvages.
- Fédération de la pêche. (2017). *Les poissons migrants, un patrimoine fragile à préserver !* Récupéré sur <https://www.federationpeche.fr>
- Feunteun E, Pascal Laffaille, Tony Robinet, Cédric Briand, Aurore Baisez, Jean-Michel Olivier & Antony Acou. (2003). A Review of Upstream Migration and Movements in Inland Waters by Anguillid Eels: Toward a General Theory. *Eel Biology*, pp 191–213.
- Feunteun E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): an impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18: 575-591.
- Feunteun, & Marion, L. (1994). Assessment of Grey Heron predation on fish communities : the case of the largest European colony. *Hydrobiologia*, 279/280: 327-344.
- Fontaine, M., Delerue-Le Belle, N., Lallier, F., & Lopez, E. (1982). Toutes les anguilles succombent-elles après la reproduction et frayent-elles nécessairement en mer ? *Biologie générale, C. R. Acad. Sc. Paris*, 294, 809-811.
- andolfi, Pesaro, & Tongiogi. (1984). *Environmental factors affecting the ascent of elvers, Anguilla anguilla (L.), into the Arno river*. *Oebalia*, Vol X, 17-35.
- Gascuel, D. (1987). *La civelle d'anguille dans l'estuaire de la Sèvre Niortaise, biologie, écologie, exploitation*. ENSA Rennes . 4 (1), 353 p.
- Geffroy, B. (2012). Déterminisme environnemental du sexe chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.). *Thèse, Université de Pau et des pays de l'Adour, Pau*.

- Geffroy, B., & Bardonnnet, A. (2012). Differential effects of behaviour, propensity to migrate and recruitment season on glass eels and elvers' growing performance. Dans *Ecology of Freshwater Fish* (pp. Tome 21 , Numéro 3, 469-482p).
- Gollasch, S. (2006). Nobanis – invasive alien species fact sheet –Eriocheir sinensis.
- Gollasch, S. (2011). *NOBANIS –Invasive Alien Species Fact Sheet - Eriocheir sinensis*.
- Guerault, D., Lecomte-Finiger, R., Desaunay, Y., Biagianti, S., Beillois, P., & Grellier, P. (1991). *The glass eels arrivals in the Vilaine estuary (Northern Bay of Biscay) through the year 1990 : demographic features and early life history*. EIFAC Working Party on Eel, Dublin, Ireland, 28 p.
- Heupel, M., Simpfendorfer, M., & Hueter, R. (2003). *Courir avant la tempête : les requins à pointe noire réagissent à la baisse de la pression barométrique associée à la tempête tropicale*. *Fish Biol.* 2003 , 63 , 1357-1363.
- Hilali, E. (2007). L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans le Bas-Sebou: Biologie et infestation par *Anguillicola crassus*. Thèse.
- Hirschinger, J. (2015). *Données nouvelles sur le cycle biologique et les infestations parasitaires*. Thèse, Université Paul-Sabatier, Toulouse.
- Hoestlandt, H. (1959). Répartition actuelle du crabe chinois (*Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards) en France, Laboratoire de Zoologie de la Faculté libre des Sciences de Lille. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, N°194, p5-14.
- Hymanson, Z., Wang, J., & Sasaki, T. (1999). Lessons from the home of the Chinese minen crab. *IEP Newsletter*, 12: 25-32.
- Imbert, De Larvergne, Gayou, Rigaud, & Lambert. (2008). *Evaluation of relative distance as new descriptor of yellow European eel spatial distribution*.
- Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE). (s.d.). *Les scientifiques d'INRAE au chevet de la protection de l'anguille en Europe*.
- Journal officiel de l'Union européenne. (2007). *Règlement (CE) No 1100/2007 du Conseil du 18 septembre 2007 instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes*.
- Keith, P., Persat, H., Feunteun, E., & Allardi, J. (2011). *Les Poissons d'eau douce en France*. Biotope Edition.
- Kentaro Morita, S. H. (2009). *Effects of habitat fragmentation by damming on salmonid fishes: lessons from white-spotted charr in Japan*.
- Kirk, R. (2003). The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. Dans *Fisheries Management and Ecology* (pp. Volume 10, Issue 6, Pages 385-394).
- Knights, B., & White, E. (2003). Enhancing immigration and recruitment of eels: the use of passes and associated trapping systems. *Fisheries Management and Ecology*, 459-471.
- Lafaille, Baisez, Rigaud, & Feunteun. (2004). *Habitat preferences of different European eel size classes in a reclaimed marsh: a contribution to species and ecosystem conservation*. *Wetlands* 24: 642–651.
- Lafaille, Feunteun, Acou, & Lefeuvre. (2000). *Role of European eel (Anguilla anguilla L.) in the transfer of organic matter between marine and freshwater systems*.
- Lafaille, Feunteun, Baisez, Robinet, Acou, Legault, & Lek. (2003). *Spatial organisation of European eel (Anguilla anguilla L.) in a small catchment*. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 254–264.

- Laffaille, Briand, Fatin, Lafage, & Lasne. (2005). *Point sampling the abundance of European eel (Anguilla anguilla) in freshwater areas*. Archiv fur Hydrobiologie 162:91–98.
- Lagarde, R., Peyre, J., Amilhat, E., Bourrin, F., Prellwitz, F., Simon, G., & Faliex, E. (2021). *Movements of Non-Migrant European Eels in an Urbanised Channel Linking a Mediterranean Lagoon to the Sea*.
- Laharanne, A., & Pawar, A. (2010). Suivi de la montaison de l'Anguille européenne sur le bassin versant des lacs médocains. *Fédération départementale de la Pêche* 33.
- Laharanne, A., & Vassart. (2013). *Suivi de la montaison de l'Anguille européenne sur le bassin versant des lacs médocains (saison de migration 2012)*. Beychac-et-Caillau: Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de la Gironde.
- Lara, M. J. (1994). Catch statistics, capture methods size and. *Bull. Sea Fish. Inst.*, 131, 31–39.
- Larinier, M., & Travade, F. (1999). La dévalaison des migrateurs: problèmes et dispositifs. *Bull Fr. Pêche Piscic*, 353/354:181.
- Lasne, E., & Laffaille, P. (2007). Analysis of distribution patterns of yellow European eels in the Loire catchment using logistic models based on presence–absence of different size-classes. Dans *Ecology of Freshwater Fish* (pp. V.17, I.1, 30-37p). Wiley.
- Lasse Riemann, H. A. (2010). Qualitative assessment of the diet of European eel larvae in the Sargasso Sea resolved by DNA barcoding. *Marine biology*.
- Le plan de gestion de l'anguille en France*. (s.d.). Récupéré sur Office Français de la Biodiversité (OFB): <https://professionnels.ofb.fr/>
- Lecomte-Finiger, R. (1990). *Metamorphose de l'anguille jaune en anguille argentée Anguilla anguilla L. et sa migration catadrome*. Biol 29:183–194.
- Lecomte-Finiger, R., Maunier, C., & Khafif, M. (1984). *La larve leptocéphales, ces méconnues*. Cybium 2004, 28(2): 83-95.
- Legrand, M. (2021). *Les poissons amphihalins de France face au changement climatique : évolution des effectifs et modification de la phénologie migratoire*. Université de Toulouse: Thèse.
- Leonard S. Machut, K. E. (2007). Anthropogenic Impacts on American Eel Demographics in Hudson River Tributaries, New York. Dans *Transactions of the American Fisheries Society* (pp. Volume 136- Issue 6).
- L'Observatoire des poissons migrateurs de Bretagne. (s.d.). *Anguille Européenne*. Récupéré sur <https://www.observatoire-poissons-migrateurs-bretagne.fr/>
- Loctier, D. (2021, 11 30). Les multiples raisons du déclin des anguilles européennes. *Euronews*.
- Loire Grand Migrateur (LOGRAMI). (s.d.). Récupéré sur <https://www.logrami.fr/>
- M. Fontaine, N. Delerue-Le Belle, F. Lallier, & E. Lopez. (1982). Biologie générale. Toutes les anguilles succombent-elles après la reproduction et frayent-elles nécessairement en mer ? C. R. *Acad. Sc. Paris*, 294, 809-811.
- Machut, L., Limburg, K., Schmidt, R., & Dittman, D. (2007). Anthropogenic Impacts on American Eel Demographics in Hudson River Tributaries, New York. Dans *Transactions of the American Fisheries Society* (pp. Volume 136 - Issue 6, 1699-1713p). AFS.
- Maes, G., & Volckaert, F. (2002). Clinal genetic variation and isolation by distance in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Biological Journal of the Linnean Society*, Volume 77, Issue 4, 509–521p.

- Martino, A., Syväranta, J., Crivelli, A., Cereghino, R., & Santoul, F. (2011). Is European catfish a threat to eels in southern France? Dans *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* (pp. 21: 276–281). Wiley.
- McCleave, J. D., R.C. Kleckner, & Martin Castonguay. (1987). Reproductive sympatry of American and European eels and implications for migration and taxonomy. *American Fishery Society Symposium*, 286-297.
- McCleave, J., & Kleckner, R. (1982). *Selectiv e tidal strea m transport in the estuarine migration of glass eel of the America n eel (Anguilla rostrata)*. . J. Cons. Int.Explor. Mer, 40, 262-271.
- McCleave, J., & Wippelhauser, G. (1987). *Behavioral aspects on selective tidal stream transport in juvenile American eels*. American Fisheries Society Symposium, 1, 138-150.
- Meyer, P., & Kulh, H. (1952). *Welche milieu-faktoren spielen beim glassaalaufstieg eine rolle ?* Arch. Fish Wiss., 4, 87-94.
- Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre (MIGADO). (s.d.). Récupéré sur <http://www.migado.fr/>
- Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM). (s.d.). Récupéré sur <https://www.migrateursrhonemediterranee.org/>
- Moriarty, C. (1986). Riverine migration of young eels *Anguilla anguilla* (L.). *Fisheries Research*, 4. 43-58p.
- Moriarty, C., & Dekker, W. (1997). *Managment of the European Eel*. Marine Institute. Fisheries Bulletin.
- Noël, P., & Breton, G. (2016). Le crabe chinois à mitaines *Eriocheir sinensis* (H. Milne Edwards, 1853). *Inventaire national du Patrimoine naturel*, pp. 1-24.
- Office Français de la Biodiversité (OFB). (2022). *Projet de Plan National en faveur des Migrateurs amphihalins*.
- Okamura, A., Yamada, Y., Tanaka, S., Horie, N., Utoh, T., Mikawa, N., . . . P. Oka, H. (2002). *Atmospheric depression as the final trigger for the seaward migration of the Japanese eel Anguilla japonica*. Japan: IRAGO Institute, 677 Ehima-shinden, Atsumi Aichi 441-3605.
- Pankhurst, N., & Lythgoe, J. (1983). *Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel Anguilla anguilla (L.)*. Fish biology.
- Panning, A. (1939). The Chinese mitten crab. *Report of the board of Regents of the Smithsonian, Institution, Washington*, 3508: 361-375.
- Passakas, & Tesch. (1980). *Karyological and gonadal sex of eels (Anguilla anguilla) from the German Bight and the lower River Elbe*. Institute of Systematic and Experimental Zoology - Biologische Anstalt Helgoland (Zentrale).
- Peyre, J. (2018). *Suivi de la migration anadrome de l'Anguille européenne*. U. Université de Lorraine. Parc naturel régional du Marais poitevin.
- Pfeiler, E. (1999). *Developmental physiology of elopomorph leptocephali*. *Comparative Biochemistry. A Molecular and Integrative Physiology* 123, 113-128.
- Prouzet, P. (2003). *Etude sur la civelle (Anguilla anguilla) dans l'estuaire de l'Adour: Pêche, biologie, comportement, modélisations hydrodynamique et comportementale, estimations des flux de civelles en estuaire*. Rapport Institution Adour : Ifremer-Un.
- Pujolar, J., Maes, G., & Volckaert, F. (2007). Genetic and morphometric heterogeneity among recruits of the European eel, *Anguilla anguilla*. *Bulletin of Marine Science*, Volume 81, Number 2, pp. 297-308.

- Ribolli, J., Zaniboni-Filho, E., Barros Machado, C., de Souza Guerreiro, T., & Galetti Jr, P. (2020). *Anthropogenic river fragmentation reduces long-term viability of the migratory fish *Salminus brasiliensis* (Characiformes: Bryconidae) populations.*
- Riemann, L., Alfredsson, H., Hansen, M., Bachler, M., & Castonguay, M. (2010). Qualitative assessment of the diet of European eel larvae in the Sargasso Sea resolved by DNA barcoding. *Biology Letters*, Volume 6, Issue 6.
- Righton, Westerberg, Feunteun, Okland, Gargan, Amillhat, & Aarestrup. (2016). *Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea.* American Association for the Advancement of Science.
- Robinet, T., & Feunteun, E. (2002). Sublethal Effects of Exposure to Chemical Compounds: A Cause for the Decline in Atlantic Eels? *Ecotoxicology*, 11, pages265–277.
- Rudnick, D., Hieb, K., Grimmer, K., & Resh, V. (2000). Patterns and processes of biological invasion: The Chinese mitten crab in San Francisco Bay. *Basic and Applied Ecology*, V.4, I.3, 249-262.
- Saglio, P., & Escaffre, A. (1988). *Structural characteristics of the epidermal mucosa in yellow and silver European eel, *Anguilla anguilla* (L.)*. Fish biology.
- Sarat, E. (2019). *Premier signalement du crabe chinois dans les Bouches-Du-Rhône.*
- Schabetsberger, J. Miller, Dall’Olmo, Kaiser, Økland, Watanabe, . . . Tsukamoto. (2016). *Hydrographic features of anguillid spawning areas: potential signposts for migrating eels.* MEPS 554:141-155 .
- Schmidt, J. (1906). Contribution to the life history of the eel (*Anguilla vulgaris*, Flem.). *Rapp. P.V., Réunion. Cons. perm. Int. Explor. Mer.,* 5, 137-264.
- Schmidt, J. (1922). The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Dans Series B, Containing Papers of a Biological Character* (pp. Vol. 211 (1923), pp. 179-208.).
- Schrimpf, A., Schmidt, T., & Schulz, R. (2014). Invasive Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) transmits crayfish plague pathogen (*Aphanomyces astaci*). *Aquatic Invasions*, Volume 9, Issue 2: 203–209 .
- SCIMABIO Interface. (s.d.). Récupéré sur <https://www.scimabio-interface.fr/>
- Seine-Normandie Migrateur*. (s.d.). Récupéré sur [Seinormigr: https://www.seinormigr.fr/](https://www.seinormigr.fr/)
- T. Wirth, & L. Bernatchez. (2001). Genetic evidence against panmixia in the European eel. *Nature* 409 (6823), 1037-1040p.
- Tech, F., & Rohlf, N. (2003). *Migration from Continental Waters to the Spawning Grounds.* Biologie de l'anguille pp 223-234.
- Tesch, F. (1977). *The Eel Biology and Management of Anguillid Eel.* London: Chapman and Hall.
- Tesch, F. (1977). *The Eel Biology and Management of Anguillid Eel.* Chapman and Hall, London.
- Thieu, V., Billen, G., & Garnier, J. (2009). *Nutrient transfer in three contrasting NW European watersheds: The Seine, Somme, and Scheldt Rivers. A comparative application of the Seneque/Riverstrahler model.* Water Research Volume 43, Issue 6, April 2009, Pages 1740-1754.
- Todd, P. (1981). Timing and periodicity of migrating New Zealand freshwater eels (*Anguilla* spp.). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 225-235.

- Tzeng, W. (1985). Immigration timing and activity rhythms of the eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of northern Taiwan, with emphasis on environmental influences. *Bull Jpn Soc Fish Oceanogr*, 47-48p.
- UICN. (s.d.). Récupéré sur Union Internationale pour la Conservation de la Nature: <https://uicn.fr/>
- Wang, C.-H., & Tzeng, W.-N. (1998). *Interpretation of geographic variation in size of American eel Anguilla rostrata elvers on the Atlantic coast of North America using their life history and otolith ageing*. MEPS 168:35-43 (1998) .
- Westin , L. (1990). *Orientation mechanisms in migrating European silver eel (Anguilla anguilla): Temperature and olfaction*. Marine Biology pages175–179 .
- White , E., & Knights, B. (1997). Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. *Journal of Fish Biology*, Volume 50, Issue5, Pages 1104-1116.
- Willson, M., & Halupka, K. (1995). Anadromous Fish as Keystone Species in Vertebrate Communities. Dans *Conservation Biology* (pp. Volume 9, Issue 3, 489-497p). Wiley.
- Wirth, T., & Bernatchez, L. (2001). Genetic evidence against panmixia in the European eel. *Nature*, 409, pages1037–1040.
- Wright, R., T. Piper, A., Aarestrup, K., M. N.Azevedo, J., Cowan, G., Don, A., . . . Righton, D. (2022). *First direct evidence of adult European eels migrating to their breeding place in the Sargasso Sea*. Scientific reports (2022) 12:15362.
- Zimmermann, S., Baumann, U., Taraschewski, H., & Sures, B. (2004). Accumulation and distribution of platinum and rhodium in the European eel *Anguilla anguilla* following aqueous exposure to metal salts. Dans *Environmental Pollution* (pp. Volume 127, Issue 2, January 2004, Pages 195-202). Elsevier.

RESUME

Les poissons migrateurs sont particulièrement vulnérables aux changements environnementaux et aux modifications anthropiques du paysage qui perturbent les flux naturels au sein des écosystèmes. La fragmentation anthropique des rivières, exercée par les barrages et les écluses, est un réel problème pour la viabilité à long terme des populations de poissons migrateurs, notamment l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Cette espèce migratrice catadrome est classée dans la liste rouge des espèces menacées comme « en danger critique d'extinction » dans le monde et en France, où elle est soumise au Plan National de Gestion de l'Anguille (PGA). Dans le département de l'Eure, le barrage de Poses est le premier obstacle à la montaison des jeunes anguilles en Seine. Pour aider à la survie de cette espèce, deux dispositifs de franchissement spécifiques à la montaison des anguilles (rampe et cuve piège) ont été ajoutés à l'ouvrage, et un suivi du recrutement fluvial est mené pour la 9^{ème} année consécutive en rive gauche et la 5^{ème} année en rive droite. En parallèle, un suivi du crabe chinois (*Eriocheir sinensis*), espèce envahissante, est effectué pour la troisième année. Le bilan de l'année 2023 affiche des résultats moins favorables par rapport à l'année précédente et ne correspond pas aux tendances nationales qui montre un recrutement en amélioration par rapport à 2022.

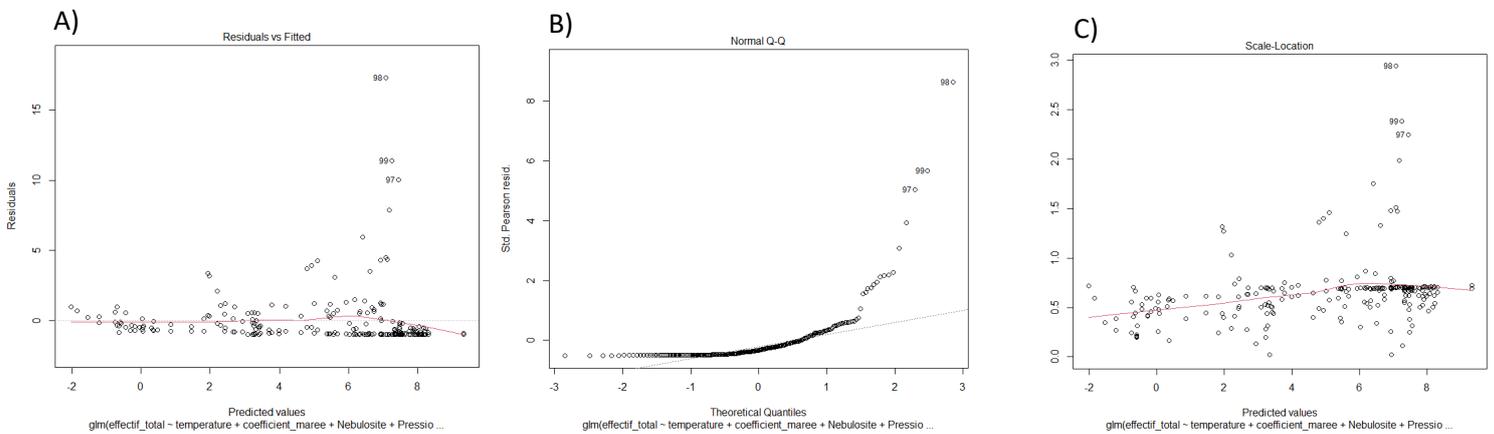
Migratory fish are particularly vulnerable to environmental changes and anthropogenic modifications of the landscape that disrupt natural flows within ecosystems. Anthropogenic fragmentation of rivers, caused by dams and locks, is a real problem for the long-term viability of migratory fish populations, especially the European eel (*Anguilla anguilla*). This catadromous migratory species is critically endangered in France, where it is subject to the National Management Plan for Eels (PGA). In the department of Eure, the Poses dam is the first obstacle to the migration of young eels in the Seine. To help the survival of this species, two specific devices for eel migration (a ramp and a trap tank) have been added to the dam, and a monitoring of river recruitment has been conducted for the 9th consecutive year on the left bank and the 5th year on the right bank. In parallel, a monitoring of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*), an invasive species, has been carried out for the third year. The assessment of the year 2023 shows less favorable results compared to the previous year and does not align with the national trends, which indicate an improved recruitment compared to 2022.

ANNEXES

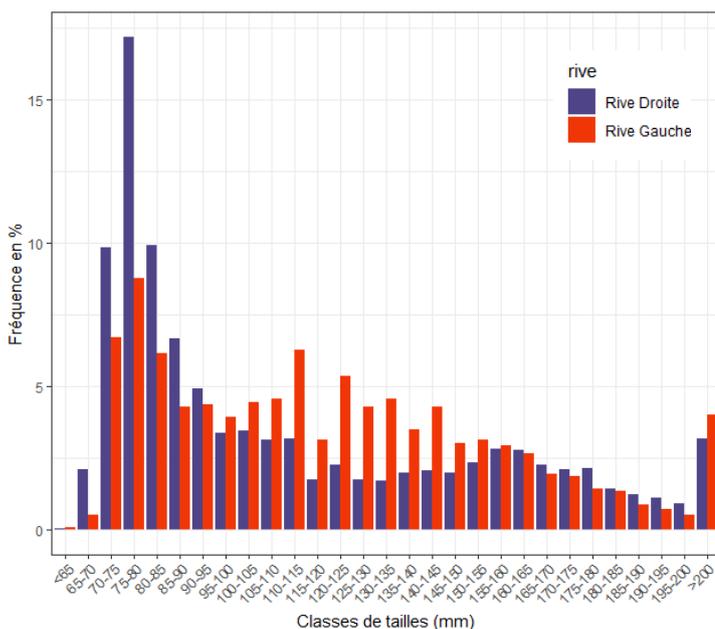
1) Tableau des classes de tailles des anguilles et le stade biologique associé. *Selon Adam et al., 2008 et l'association LOGRAMI*

Classes de taille (mm)	Stade biologique
50-80	Civelle ou anguilette de moins d'un été
80-150	Jeune anguilette jaune d'un été
150-300	Anguille jaune non sexuellement différenciée d'au moins deux étés
300-450	Individus mâles pouvant s'argenter ou individus femelles en croissance.
450-600	Individus femelles pouvant s'argenter. Petits gabarits (150-400 g), le plus souvent associés aux milieux peu profonds.
600-1200	Individus femelles pouvant s'argenter (moyen gabarits 400-800g et gros gabarits >800g, les gros gabarits étant le plus souvent associés aux milieux profonds).

2) Évaluation graphique des hypothèses sous-jacentes avant l'analyse du modèle linéaire généralisé.



3) Fréquence (%) des classes de tailles d'anguilles par rive



4) Tableau récapitulatif de la fréquence et des effectifs par stade biologique en fonction des rives

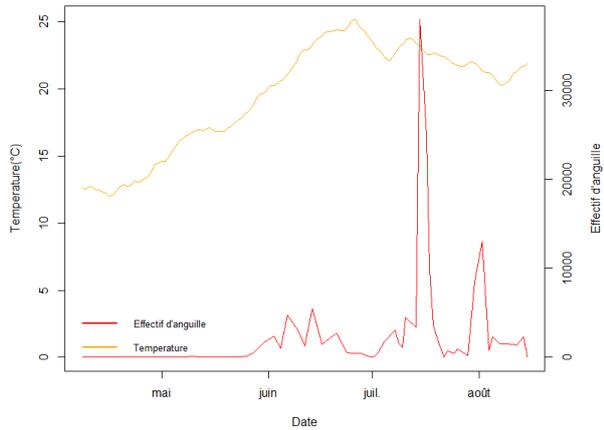
CIV : Civelle de l'été ou anguilette de l'année ; ANGT : Anguilette d'au moins un été ; ANGJ : Anguille jaune d'au moins deux étés

	Stade	Fréquence (%)	Effectif
RD	CIV	29.1	894
	ANGT	41.7	1276
	ANGJ	22.4	684
RG	CIV	16	180
	ANGT	53.3	595
	ANGJ	21.6	241

Graphique de l'effectif en fonction et des paramètres environnementaux (5-11)

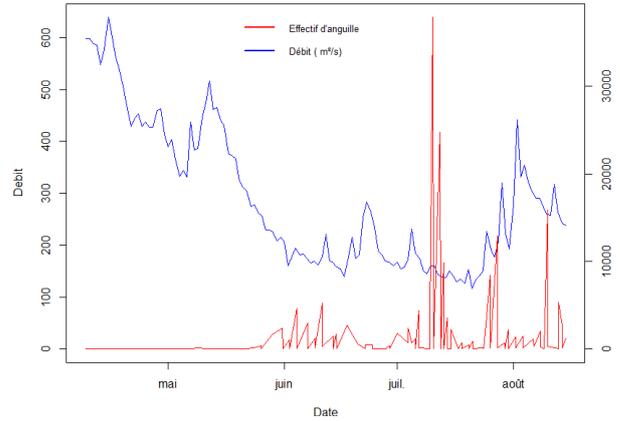
5)

Effectifs journaliers d'anguille et l'évolution de la température sur la période de piégeage



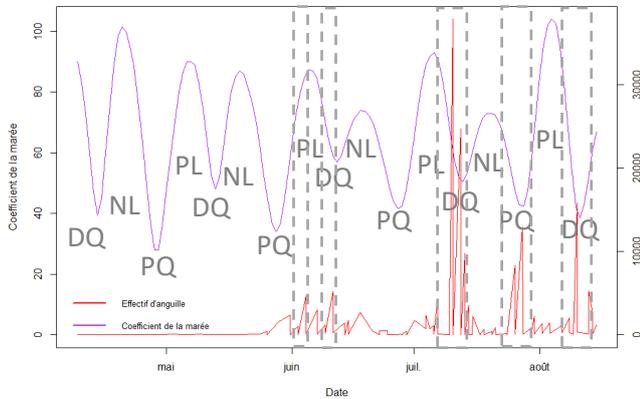
6)

Effectifs journaliers d'anguille et l'évolution du débit sur la période de piégeage



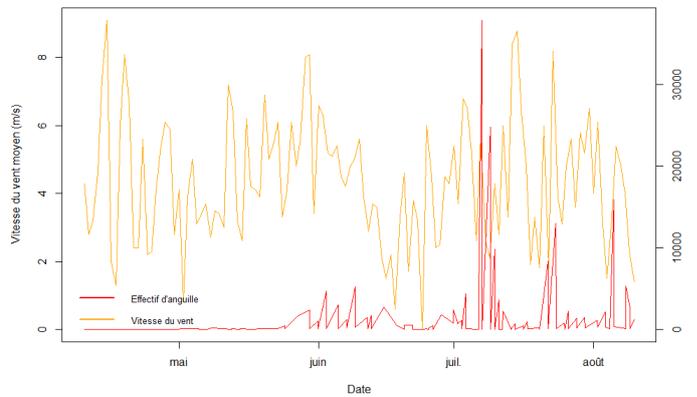
7)

Effectifs journaliers d'anguille et l'évolution du coefficient de la marée sur la période de piégeage



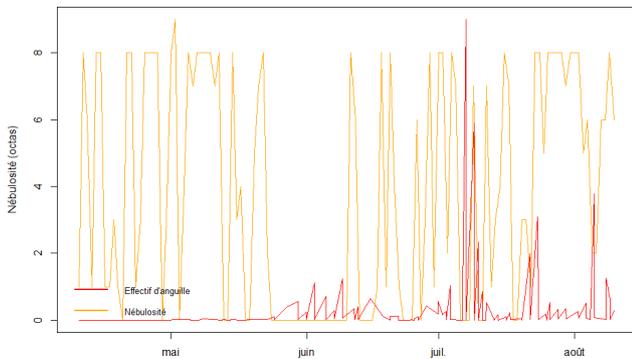
8)

Effectifs journaliers d'anguille et l'évolution de la vitesse du vent sur la période de piégeage



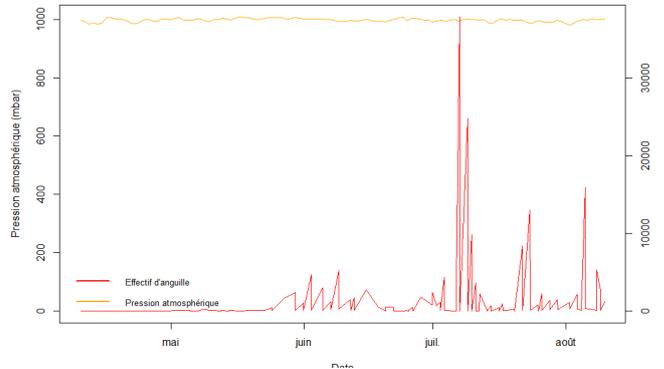
9)

Effectifs journaliers d'anguille et l'évolution de la couche nuageuse basse sur la période de piégeage



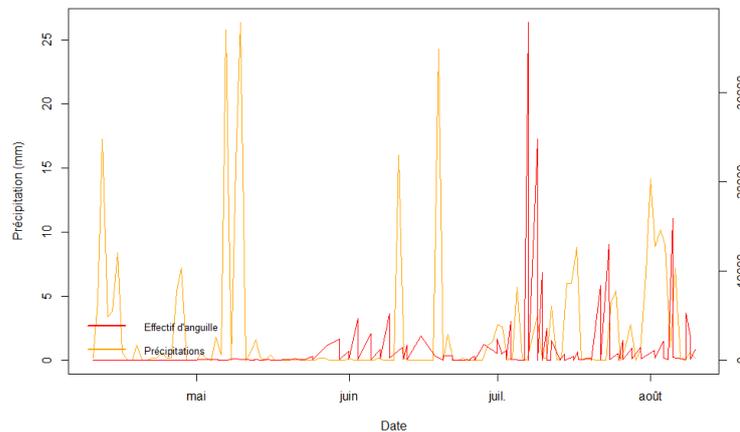
10)

Effectifs journaliers d'anguille et l'évolution de la pression atmosphérique sur la période de piégeage



11)

Effectifs journaliers d'anguille et la précipitation sur la période de piégeage



12) Récapitulatif des anomalies anatomo-morphologiques externe et des ectoparasites trouvés sur les anguilles biométries lors du suivi 2023 ainsi que des potentiels causes. Les principales causes sont indiqués grâce au livre « La santé des poissons sauvages : les codes pathologiques un outil d'évaluation » de P.Elie et P.Girard de 2014.

Altération anatomo-morphologique	Causes principales	Exemple imagé
Absence d'organe (AO)	<ul style="list-style-type: none"> - Septicémies bactériennes - Parasitisme externe (Gyrodactylose) ou interne (Bucéphalose larvaire) - Blessures - Frottements, traumatismes - Maladies héréditaires 	 <p style="text-align: center;">Absence de museau</p>
Bulles de gaz (BG)	<ul style="list-style-type: none"> - Sursaturation de l'eau par un seul gaz, le plus souvent de l'azote, plus rarement du CO2 - Augmentation de la pression totale des gaz dissouts dans l'eau. <p>La sursaturation de l'eau en gaz s'observe sous les chutes d'eau, cela peut être dû à des structure naturelle comme les cascades mais aussi anthropique comme les barrages.</p>	 <p style="text-align: center;">Bulle de gaz dans l'abdomen</p>
Déformation, difformités et malformation (AD)	<ul style="list-style-type: none"> - Composés organochlorés (pesticides, herbicides), métaux lourds - Parasitisme à Myxosporidies (notamment <i>Myxobolus cerebralis</i>) - Maladies virales et bactérienne (Flavobactérioses, tuberculose, nocardiose) - Toxines algales - Séquelles de fractures, traumatismes (capture, prédation) - Tumeurs - Origine congéniale - Troubles neuromusculaires - Maladie héréditaires ou génétiques, mutations - Facteurs physiques : hypoxie, radioactivité, température inadaptées, chocs thermiques, sursaturation gazeuses etc 	 <p style="text-align: center;">Difformités du corps</p>
Erosion (ER)	<p>Peau et nageoires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pollution chimique : HAP brut, cadmium (Cd) - Facteurs environnementaux défavorables - Brulures (U.V solaires) - Blessures (prédation, frottements, engins de capture) - Parasites externes - Carences nutritionnelles ou vitaminiques <p>Branchies :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maladies bactériennes et parasitaires 	 <p style="text-align: center;">Multiples érosions</p>

<p>Maigreur (AM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Privation prolongée de nourriture - Parasitisme interne - Intoxications chroniques - Micropolluants - Infections bactériennes chroniques - Stress physiologique 	 <p>Civelle avec poids normal (0,3g pour 75 mm) en haut et civelle amaigrie en bas (0,1g pour 77mm)</p>
<p>Plaies et/ou lésions anciennes (PL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Par objet, outil ou matériel (couteau, hameçon, époussette, hélice de bateau, turbines des usines hydroélectriques etc.) - Par morsure (prédation), ou organe coupant ou tranchant - Par projectile 	 <p>Plaies sur le flanc</p>
<p>Tumeurs, kystes, nodules et autres grosseurs (AG)</p>	<p>Sur le corps en générales :</p> <p>Tumeurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Certain virus (Lymphocystis ; Lymphosarcome du brochet) - Contaminants environnementaux (pétrole, HAP, DDT, PCBs, arsenic, RX) - Prédisposition génétique - Vieillesse (à l'origine de mutations) <p>Kystes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parasitismes (Myxosporidies) - Bactérioses <p>Granulomes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réponse à l'invasion de l'organisme par des agents infectieux, ou non (corps étrangers) <p>Papillomes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Virus - Contamination des sédiments <p>Nodules :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origine virale (cas de la maladie lymphokystique) <p>Vésicules :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frottements répétés, brûlures, gel - Exposition a une infection, notamment viral (herpesvirus) - Exposition à des produits chimiques <p>Kystes branchiaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parasitisme à Myxosporidies 	 <p>Grosseur abdominale</p>  <p>Kystes branchiaux</p>

<p>Lésions hémorragiques et congestives (HE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Maladies infectieuses : septicémies virales et bactériennes - Parasitisme - Traumatismes, plaies, blessures, irritations - Carence en vitamine A 	 <p>Lésion hémorragique sur le flanc</p>  <p>Lésions hémorragiques branchiales</p>
<p>Altération de la couleur</p>	<p>Causes principales</p>	<p>Exemple imagé</p>
<p>Coloration terne ou pâle, dépigmentation (CT)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mycose, parasites (<i>Ichthyophthirius</i>, <i>Oodinium</i>) - Nécrose printanière : Probablement multifactorielle. Des recherches bactériologiques faites sur le rein des animaux atteints présentent un manque d'uniformité. On ne peut pas exclure la possibilité d'une étiologie virale primaire (I. Dalsgaard, 1987) - Minéralisation insuffisante, sursaturations gazeuses, hypoxie - « Maladie du dépérissement », causé en milieu acide par une Mycobactérie, <i>Nocardia</i>. 	 <p>Anguille dépigmentée et anguille avec pigmentation normale</p>
<p>Parasitisme</p>	<p>Causes principales</p>	<p>Exemple imagé</p>
<p>Points blancs (PB)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Protozoaires ciliés <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> et <i>Cryptocaryon irritans</i>, parasites monoxènes obligatoires des poissons. <p><i>I. multifiliis</i> est responsable de l'ichtyophthiriose ou « maladies du point blanc », parasitose économiquement désastreuse, considérée comme fléau mondiale. <i>C. irritans</i>, est l'équivalent en eau de mer de <i>I. multifiliis</i></p>	 <p>Points blancs sur le flanc</p>
<p>Points noirs (PN)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - En eau douce, <i>Bucephalus polymorphus</i>, <i>Uvulifer ambloplitis</i>, <i>Crassiphiala bulboglossa</i>, <i>Diplostomum spathaceum</i> et <i>Posthodiplostomum cuticola</i> sont les cinq espèces de Trématodes, vers plats non segmentés, les plus fréquemment rencontrés et sont des agents d'une maladie parasitaire grave, la Bucéphalose larvaire. - En eau salée ou saumâtre, les PN sont généralement causés par des métacercaires de <i>Cryptocotyle lingua</i> 	 <p>Points noirs parsemés sur l'ensemble du corps</p>

