Mémoire de stage – 2ème année

Master FREMAC - Promotion 2020-2022

Mention : *Gestion de l'environnement*

Parcours : *Fonctionnement et Restauration des Ecosystèmes Aquatiques Continentaux*

Suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne (*Anguilla anguilla* ; *Linnaeus, 1758*) au barrage de Poses (Eure) pour la période 2022

Théau BRASSEUR

Etude menée du 01.04.2022 au 30.09.2022

Université Clermont-Auvergne – UFR Biologie

Association Seine-Normandie Migrateurs

Soutenu le 07.09.2022

Responsable universitaire : Alexandre BEC

Directeur structure : Geoffroy GAROT

Tuteur de stage : Sébastien Grall

Photographie de couverture : Civelles issues du repeuplement

Crédits : © SEINORMIGR

Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience, il me paraît naturel de remercier les personnes actrices de ce stage :

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

M. GAROT Geoffroy, directeur de SEINORMIGR, pour m'avoir accueilli au sein de sa structure. Il a su m'épauler et me guider tout au long de cette expérience et ce, malgré le contexte actuel de l'épidémie de Covid-19.

M. GRALL Sébastien, chargé d'études. En tant que maître de stage, il a su m'apprendre, me conseiller et me guider tout au long de cette expérience. Grâce à lui, j'ai pu acquérir de nouvelles connaissances, notamment en ichtyologie, inventaires piscicoles ou encore en programmation et en statistiques. Je le remercie de sa grande disponibilité et de l'autonomie qu'il m'a accordées.

L'équipe de SEINORMIGR : Florian DESHAYES, Adrien BARAULT, Alice LEMONNIER et Maxime POTIER.

Les partenaires techniques et financiers.

M. BEC Alexandre, tuteur universitaire dans le cadre de ce projet, pour sa disponibilité.

Merci à la fédération de pêche de Seine-Maritime, l'université Clermont-Auvergne, l'équipe éducative et mes camarades qui m'ont précieusement aidé pour la réalisation de ce document.

M. LADRIERE Tanguy pour son accompagnement au cours de mon cursus universitaire et surtout pour son amitié.

Mme POQUET pour son aide dans la traduction du résumé.

Enfin, **bien évidemment**, ma famille pour sa confiance, sa bienveillance et son accompagnement dans mes démarches.

Partenaires

Partenaires financiers

- Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Fédération Nationale pour la Pêche en France

Partenaires techniques

- Hydrowatt
- Voies Navigables de France
- Fédération de l'Eure pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
- Syndicat Mixte de la Base de Plein Air et de Loisirs de Léry-Poses.

Table des matières

Résumé

Abstract

Table des illustrations

Table des abréviations

Glossaire

Association Seine-Normandie Migrateurs

1. Introduction 1

2. Synthèse bibliographique 2

2.1. Généralités sur *Anguilla anguilla* 2

2.1.1. Présentation de l'espèce 2

2.1.2. Aire de répartition 4

2.1.3. Cycle biologique 5

2.1.3.1. Larve leptocéphale : Migration anadrome 5

2.1.3.2. Civelle : 1ère métamorphose 6

2.1.3.3. Anguille jaune : Sédentarisation en eaux continentales 7

2.1.3.4. Anguille argentée : 2ème métamorphose et migration catadrome 8

2.1.4. Menaces 9

2.1.5. Evolution des stocks et statut de l'anguille 10

2.1.6. Intérêts de l'espèce 11

2.1.7. Mesures de conservation : Le PGA 11

3. Contexte 13

3.1. Bassin Seine-Normandie 13

3.1.1. Topographie et géologie 13

3.1.2. Occupation des sols 14

3.1.3. Hydrographie - Synthèse hydrologique 15
3.1.4. Qualité de l'eau et des habitats 15
3.2. Poissons migrateurs en Seine-Normandie 16
3.2.1. Poissons migrateurs 16
3.2.2. Situation d'*A.anguilla* 17
3.3. Site d'étude : Poses – Amfreville-sous-les-Monts 18
3.3.1. Barrage 18
3.3.2. Dispositifs de franchissement et vidéo-comptage 19
3.4. Contexte de l'étude 19
4. Matériel et méthodes 21
4.1. Dispositifs anguille 21
4.1.1. Rive gauche 21
4.1.2. Rive droite 22
4.2. Protocole de suivi 23
4.2.1. Fréquence de suivi 23
4.2.2. Entretien des pièges 23
4.2.3. Acquisition des données biométriques 24
4.2.4. Protocole de dénombrement 24
4.2.5. Saisie et bancarisation des données 25
4.3. Les dispositifs passifs 26
4.3.1. Protocole « Flottang » 26
4.3.2. Saisie et bancarisation des données 26
4.4. Le crabe chinois, *Eriocheir sinensis* 27
4.4.1. Description de l'espèce 27
4.4.2. Impacts du crabe chinois sur l'anguille européenne 28
4.4.3. Protocole de capture 28
4.5. Paramètres environnementaux 28

4.6. Traitement des données 29
4.6.1. Analyse globale 29
4.6.2. Analyses statistiques 31
5. Résultats 32
5.1. Bilan migratoire interannuel 32
5.2. Bilan migratoire 2022 34
5.3. Morphotype des individus en 2022 34
5.3.1. Tailles selon la rive 34
5.3.2. Tailles mensuelles 35
5.3.3. Condition des anguilles 36
5.4. Influence des facteurs environnementaux 37
5.5. Etat sanitaire du recrutement 38
5.6. Bilan des flottangs 39
5.6.1. Effectifs 2022 39
5.6.2. Tailles des individus 40
5.6.3. Etat sanitaire 40
5.7. Captures de crabes 41
6. Discussion 42
7. Conclusion 49
Bibliographie
Annexes

Résumé

La France est le 6ème pays hébergeant le plus grand nombre d'espèces menacées (*OFB*). L'une d'entre-elles s'avère particulièrement préoccupante, de par l'effondrement de ses stocks : l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Le déclin de cette espèce a motivé l'Europe à prendre des mesures de conservation pour chaque état membre. En France, il s'agit du 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. Deux dispositifs de franchissement spécifiques (rampe et cuve piège) ont été ajoutés à l'ouvrage. Un suivi du recrutement fluvial est mené pour la 9ème année consécutive en rive gauche et la 5ème année en rive droite. En parallèle, des pièges passifs (flottangs) sont utilisés et un suivi du crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) est effectué pour la seconde année.

Mots-Clés : Anguilla anguilla, Recrutement fluvial, Seine, Rampe à anguilles, Flottang, Eriocheir sinensis.

Abstract

France is the 6th country with the highest number of threatened species (*OFB*). One of them is particularly worrying, due to the collapse of its stocks: the European Eel (*Anguilla anguilla*). The decline of this species has motivated Europe to take conservation measures for each member state. In France, it is the National Eel Management Plan (PGA).

In the Eure department, the Poses dam is the first obstacle to the upstream migration of young eels in the Seine. Two specific crossing devices (ramp and trap tank) have been added to the structure. A monitoring of the river recruitment is carried out for the 9th consecutive year on the left bank and the 5th year on the right bank. In parallel, passive traps (floats) are used and a monitoring of Chinese crab (*Eriocheir sinensis*) is carried out for the second year.

Keywords : Anguilla anguilla, River recruitment, Seine, Eel ramp, Flottang, Eriocheir sinensis.

Table des illustrations

Figure 1 - Associations migrateurs (AM) des grands bassins français (SEINORMIGR)..... b
Figure 2 - Classification de l'Anguille européenne (INPN) 2
Figure 3 - Anguilla anguilla (FDPPMA80, 2018)..... 3
Figure 4 - 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. 4
Figure 5 - Cycle biologique de l'anguille européenne (D'après Geffroy, 2012) 5
Figure 6 - Stade larve leptocéphale d'A. anguilla (Eric Feunteun, MNHN) 6
Figure 7 - Civelle (SEINORMIGR) 7
Figure 8 - Anguillette ou anguille jaune (FDPPMA80, 2018) 8
Figure 9 - Anguille argentée (P. Porché, Ifremer)..... 9
Figure 10 - Evolution de l'indice d'arrivée de civelles en France de 1960 à 2018 (AFB)..... 10
Figure 11 - Bassin de la Seine et de l'arc normand (Réalisateur: Théau BRASSEUR ; Données: SEINORMIGR)..... 13
Figure 12 - Généralités topographiques du bassin Seine-Normandie 14
Figure 13 - Typologie des territoires du bassin Seine-Normandie (OGRE, RA 2010, AESN/DRIEE, 2014) 14
Figure 14 – Statuts des principaux migrateurs. (ANG= Anguille européenne, ALA= Grande alose, LPM= Lamproie marine, LPR= Lamproie fluviatile, ALF= Alose feinte, SAT= Saumon atlantique, TRM= Truite de mer - CR= En danger critique d'extinction, EN= En danger, VU= Vulnérable, LC= Préoccupation mineure) 16
Figure 15 - Colonisation des anguilles en Seine-Normandie (Réalisateur : Théau BRASSEUR - Données : SEINORMIGR, ROE) 17
Figure 16 - Barrage de Poses (Réalisateur : Théau BRASSEUR – Photographie : parcours-europeens-rouen.fr – Données : Google Map Satellite, SEINORMIGR) 18
Figure 17 - Dispositif de franchissement anguille en rive gauche du barrage de Poses. Les flèches rouges indiquent le trajet des individus. (SEINORMIGR)..... 21
Figure 18 - Dispositif de franchissement anguille en rive droite du barrage de Poses. Les flèches rouges indiquent le trajet des individus. (SEINORMIGR) 22

Figure 19 - Liste des opérations d'entretien des pièges à anguille du barrage de Poses. La mention OUI précise les manipulations à effectuer selon la rive. ([1]Le répartiteur (amont direct des rampes), disperse un filet d'eau sur la largeur des brosses) 23
Figure 20 - Protocole de dénombrement des anguilles pour le barrage de POSES (SEINORMIGR) 24
Figure 21 - Flottang pêchant (Flesselle, 2016) 26
Figure 22 - Crabe chinois mâle à gauche et femelle à droite (Neveu, 2021) 27
Figure 23 - Grille d'interprétation de l'indice pathologique (IpG) et parasitaire (lpP) (Elie et Girard, 2014) 30
Figure 24 – Bilan migratoire depuis 2014 par rive : effectifs totaux et CPUE à la date retenue en 2022 et sur la saison complète. 32
Figure 25 - Effectifs cumulés interannuels en rive gauche. 33
Figure 26 - Effectifs cumulés interannuels en rive droite. 33
Figure 27 - Effectifs cumulés et journaliers des deux rives en 2022. 34
Figure 28 - Taille (mm) des anguilles en RG et en RD en 2022. 34
Figure 29 - Fréquences des classes de tailles (par 5 mm) des anguilles en RG (orange) et en RD (bleu) en 2022. 35
Figure 30 - Taille (mm) mensuelle des anguilles en RG + RD en 2022. 35
Figure 31 - Coefficient allométrique et relation taille/poids en RG et en RD. 36
Figure 32 - Ecarts-types et moyennes du coefficient de condition K selon le mois et la rive. 36
Figure 33 - Cercle de corrélation des variables environnementales - ACP. 37
Figure 34 - Graphique des individus (ACP) selon les variables environnementales, par mois de capture en 2022. 37
Figure 35 - Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées sur les deux rives. PA= Parasitisme / PB= Points Blancs / PN= Points Noirs / ER= Erosion / AG= Tumeurs, grosseurs / AD= Difformité / HE= Hémorragie / PL= Plaies / ZO= Etat pathologique multiforme / AC= Altération de la Couleur / CT= Coloration terne ou pâle. 38
Figure 36 - Synthèse de l'état sanitaire du recrutement en RG et en RD. 39
Figure 37 - Effectifs cumulés et journaliers des deux flottangs en 2022. 39
Figure 38 - Taille (mm) des anguilles dans l'AVR et l'AME en 2022. 40
Figure 39- Synthèse de l'état sanitaire du recrutement dans l'AVR et l'AME. 41
Figure 40 - Captures mensuelles de crabes chinois dans la cuve-piège en rive droite en 2021 et 2022. 41

Table des abréviations

A

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

AESN : Agence de l'Eau Seine-Normandie

C

CIEM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer

CITES : Convention de Washington

COGEPOMI : Comité de Gestion des Poissons Migrateurs

F

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

FNPF : Fédération Nationale pour la Pêche en France

M

MIGADO : Association Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre

MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

O

OSPAR : Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est

P

PGA : Plan National de Gestion Anguille

PLAGEPOMI : Plan de Gestion des Poissons Migrateurs

U

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Glossaire

Amphihalin : Se dit d'un organisme aquatique qui effectue une partie de son cycle en milieu marin et une partie en eau douce.

Dulçaquicole : Se dit d'un organisme aquatique qui effectue son cycle exclusivement en eau douce.

Panmictique : Se dit d'une population dont chacun des individus sont répartis de manière homogène au sein de celle-ci. Chaque individu de cette population se reproduit aléatoirement, à chances égales de se reproduire avec un autre individu du sexe opposé.

Système de vidéo-comptage : Dispositif permettant le suivi des déplacements piscicoles dans une passe à poissons par un enregistrement informatique à déclenchement automatique. Cette méthode permet une acquisition de données en continu sans manipulations d'individus et sans risques pour l'opérateur.

Association Seine-Normandie Migrateurs

Préambule : *Les informations présentées ci-dessous sont tirées de site internet : https://www.seinormigr.fr.*

Historique : A l'initiative d'un ancien président de la FDPPMA de Seine-Maritime (M. Daniel HANCHARD), l'association SEINORMIGR a été créée en 2007 pour le suivi et la gestion des populations de poissons migrateurs. Depuis 2011, elle est inscrite au PLAGEPOMI du bassin Seine-Normandie et siège en tant qu'invité permanent. Par arrêté préfectoral du 13 décembre 2012, elle obtient son agrément d'association de protection de l'environnement pour la région Haute-Normandie. Un an plus tard, elle est habilitée pour prendre part aux débats environnementaux dans le cadre des instances régionales. Enfin, en 2020, Seine-Normandie Migrateurs et Normandie Grands Migrateurs ont fusionné en une seule association.

Missions : Les missions principales de SEINORMIGR sont les suivantes :

- Contribuer à la connaissance, l'évaluation et au suivi des populations piscicoles amphihalines sur le bassin Seine-Normandie et la région Normandie.
- Favoriser la valorisation et la gestion des grands migrateurs, notamment avec un porter à connaissance technique et scientifique qui soit visible et accessible en veillant au développement durable des pratiques halieutiques.
- Participer techniquement et/ou financièrement dans les projets de restauration des axes de circulation et des habitats de reproduction et de développement des poissons migrateurs en vue d'assurer leur sauvegarde et la recolonisation des cours d'eau.
- Assister les maîtres d'ouvrages et les services instructeurs en matière technique et administrative dans tous les projets contribuant à l'accomplissement du cycle biologique des grands migrateurs.
- Mener des études ou publications spécifiques en concertation avec les différents gestionnaires et pouvoir publics en appui aux décisions politiques locales de l'eau afin de démontrer le bénéfice de l'action à consentir à toutes les échelles des cours d'eau.

- Participer à la définition et la mise en œuvre des objectifs de restauration des populations de poissons migrateurs au sein du COGEPOMI et de son PLAGEPOMI en collaboration étroite avec le secrétariat technique (DRIEE Île de France, délégation de bassin) et les établissements publics de l'Etat (DREAL, AFB, Agence de l'Eau, DDTM…).
- Communiquer des données, à partir d'outils de valorisation (tableaux de bord).

Territoire d'actions : Sur le plan national, SEINORMIGR fait partie des huit associations migrateurs (AM) qui recouvrent les grands bassins français (Cf. figure n°1). Ces AM sont toutes créées par les acteurs du loisir pêche et de la protection des milieux aquatiques (FNPF, FDPPMA, AAPPMA…). De cette manière, SEINORMIGR regroupe par adhésion des adhérents particuliers et les AAPPMA et FDPPMA des départements de son territoire d'actions : 02, 10, 14, 27, 28, 50, 51, 52, 60, 61, Paris (75, 92, 93, 94), 76, 77, 78, 80, 89, 91 et 95. Le territoire s'étend sur 97 000 km² et comprend 50 000 km de cours d'eau à travers le bassin de la Seine et les fleuves côtiers normands.

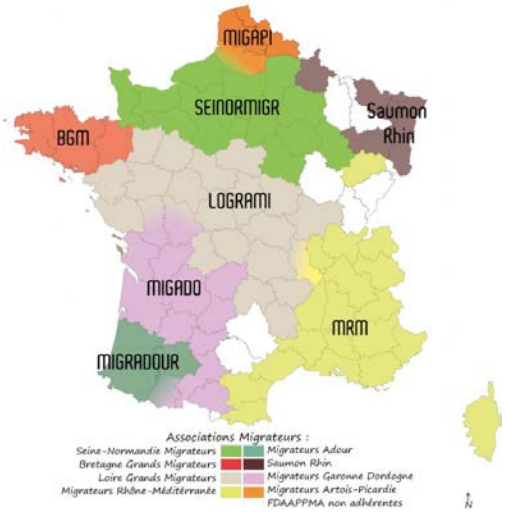


Figure 1 - Associations migrateurs (AM) des grands bassins français (SEINORMIGR)

Organisation : Plus de 200 000 pêcheurs à travers les 18 FDPPMA adhérentes sont représentés par SEINORMIGR. La structure est dirigée par le conseil d'administration, lui-même composé de 20 membres sous la présidence du M. Martial CHOUQUET, également président de la FDPPMA de l'Eure. Les premiers salariés sont recrutés en 2009. Aujourd'hui, l'équipe technique comporte six employés répartis sur deux antennes (Rouen, dans les locaux de la FDPPMA76 et Mondeville dans le Calvados) :

- Geoffroy GAROT : Directeur (Rouen)
- Maxime POTIER : Responsable technique (Mondeville)
- Alice LEMONNIER : Chargé d'études (Mondeville)
- Adrien BARAULT : Chargé d'études (Rouen)
- Florian DESHAYES : Chargé d'études (Rouen)
- Sébastien GRALL : Chargé d'études (Rouen)

1. Introduction

En constante extension, les activités humaines constituent la 1ère cause d'érosion de la biodiversité mondiale (*UICN*). A tel point que plus de 35 % des milieux humides littoraux et continentaux du monde ont disparu depuis 1970 (*MTES*). Cette situation engendre de profonds changements pour les écosystèmes, menaçant entre autres, la faune piscicole (*Keith et al., 2020*). En France, près de 25 % des poissons dulçaquicoles et amphihalins sont considérés à minima comme menacés (18 espèces sur 80) (*UICN, 2019*). Parmi eux figurent 8 grands migrateurs, dont l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla* ; *Linnaeus, 1758*).

Jugée nuisible jusqu'en 1984, l'espèce représentait plus de 50 % de la biomasse piscicole de l'aval des systèmes fluviaux (*Bruslé et Quignard, 2013* ; *Moriarty et Dekker, 1997*). Aujourd'hui, selon les auteurs, le recrutement aurait diminué entre 90 et 99 % depuis 1960, si bien que les niveaux d'effectifs sont en-dessous des limites biologiques acceptables pour la survie de l'espèce (*Feunteun, 2002* ; *Dekker et al., 2003* ; *Baisez et Lafaille, 2005*). Obstacles à la migration, disparition d'habitats, modifications hydro-climatiques, surpêche ou encore pollution sont autant de facteurs limitants (*Bruslé, 1994*). Face à ce déclin, la commission européenne, par le règlement (CE) n° 1100/2007, exige à chaque état membre l'élaboration d'un plan de gestion national (PGA), instauré en France depuis 2009. Ce plan est décliné localement en unités de gestion (UGA) dans lesquelles des zones d'actions prioritaires (ZAP) sont déterminées, comme c'est le cas pour la partie aval de la Seine.

Dans ce cadre, un suivi annuel du recrutement du fleuve en anguille européenne est réalisé au barrage de Poses. Son positionnement est stratégique car il est le premier obstacle depuis la Manche (160 km), constituant de fait, une porte d'entrée pour l'amont du bassin. Ce suivi a pour but : **(i)** d'évaluer le recrutement de la Seine en anguille, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, **(ii)** de comparer les recrutements annuels, **(iii)** d'évaluer la fonctionnalité des dispositifs de franchissement, **(iv)** d'identifier les facteurs environnementaux influençant la migration et **(v)** de fournir un indice de recrutement pour le COGEPOMI, afin d'élaborer le PLAGEPOMI, plan quinquennal de gestion des poissons migrateurs.

Ce rapport présente d'abord le modèle d'étude : *A. anguilla*. Sont exposés ensuite le territoire de la Seine-Normandie, le site d'étude, puis le cadre général du suivi. La partie « matériels et méthodes » décrit les dispositifs de franchissement, le protocole et le traitement des données. Enfin, les résultats sont commentés puis discutés avant la conclusion et les perspectives.

2. Synthèse bibliographique

2.1. Généralités sur *Anguilla anguilla*

2.1.1. Présentation de l'espèce

Anguilla anguilla est un poisson téléostéen appartenant à l'ordre des Anguilliformes (comprenant 15 familles) et à la famille des Anguillidae (*El-Hilali, 2007 ; Elie, 1979*). Selon l'INPN, sa systématique est la suivante :

Classification		
Domaine	Biota (*D.Don*)	
Règne	Animalia (*Linnaeus, 1758*)	
Embranchement	Chordata (*Haeckel, 1874*)	Individus définis par 3 caractères : (i) tube nerveux dorsal, (ii) chorde dorsale et (iii) tube digestif ventral. Il existe les tuniciers, céphalocordés et vertébrés.
Classe	Actinopterygii (*Klein, 1885*)	Ossification du crâne ou du squelette entier. Poissons épineux ou à nageoires rayonnées.
Ordre	Anguilliformes	Poissons serpentiformes. Nageoires caudales, anales et dorsales continues. Pas de pelviennes.
Famille	Anguillidae (*Rafinesque, 1810*)	Comprend 19 espèces.
Genre	Anguilla (*Garsault, 1764*)	
Espèce	*Anguilla* (*Linnaeus, 1758*)	Anguille européenne.

Figure 2 - Classification de l'Anguille européenne (INPN)

Morphologie :

Par sa morphologie particulière, l'anguille est aisément reconnaissable. En effet, il s'agit d'un poisson serpentiforme (du latin *anguis*, le serpent) au corps cylindrique dans sa partie antérieure et aplati latéralement dans la région caudale (Cf. figure n°3) (*Durif, 2003* ; *Feunteun et al., 2011*). Il existe un dimorphisme sexuel lié à la taille des individus (*Bruslé et Quignard, 2013*).

En effet, les mâles mesurent a maxima 45 cm pour plus d'un mètre pour les femelles (record observé à 148,7 cm) (*Bauchot, 1986* ; *Tutman et al., 2007*). L'espèce peut peser jusqu'à 6kg (*Dekker et al., 1998*). Enfin, *Narberhaus et al., 2012* estime la longévité de l'anguille à une quinzaine d'années bien qu'elle fluctue selon la zone géographique. *A. anguilla* est dépourvue de pelviennes mais dispose néanmoins de nageoires pectorales bien développées en arrière des branchies. Les dorsales, caudales et anales fusionnent pour former une longue nageoire unique allant de l'anus au milieu du dos (*Hirschinger, 2015*). Elle porte une peau épaisse recouverte de minuscules écailles ovales (profondément incrustées dans le derme apparaissant à 15-20 cm) (*Feunteun et al., 2011* ; *Lenoir, 2015*). Enfin, sa gueule est largement fendue. L'espèce présentant une capacité de saut nulle et de nage très limitée, la production d'un mucus abondant lui permet de se déplacer par reptation (*Keith et al., 2011*). La vitesse critique de nage d'une anguille jaune (vitesse qu'elle peut maintenir) est en moyenne de 0,43 m/s (*Quintella et al., 2010*). La vitesse maximale d'une anguillette est située entre 0,3 et 0,5 m/s (un saumon de 15 cm est capable de se déplacer jusqu'à 3,5 m/s) (*Clough et Turnpenny, 2001*). Dans un écoulement de 0,30 m/s, la civelle parcourt 3 m maximum, distance qui passe à une trentaine de centimètres dans un courant de 0,5 m/s (*Mc Cleave, 1980*).

Figure 3 - Anguilla anguilla (FDPPMA80, 2018)

Anatomie :

Préambule : Cette partie vise à présenter succinctement quelques caractéristiques anatomiques de l'anguille afin de mieux comprendre son écologie.

L'appareil respiratoire (branchies) des anguilles est très développé. Cela permet des mouvements respiratoires amples et lents, en cohérence avec les faibles besoins en oxygène de l'espèce (*El-Hilali, 2007*). Toutefois, en période migratoire ces besoins s'accentuent (stress, altération des conditions environnementales…). A ce moment, un mécanisme de compensation intervient : la respiration cutanée.

Exclusivement veineux, le sang est toxique et contient des substances cytotoxiques et neurotoxiques (*Bertin, 1942* ; *Tesch, 1977*).

En définitif, l'anguille se caractérise par un hermaphrodisme juvénile, ce qui implique une coexistence de cellules mâles et femelles et une orientation sexuelle progressive (*Tesch, 1977*).

Régime trophique et importance écologique :

L'anguille est un prédateur au large spectre alimentaire, qui se nourrit d'insectes et de larves aquatiques, de crustacés, de poissons ou encore de vers. S'agissant d'un carnassier opportuniste, son régime devient exclusivement piscivore à partir de 30-35 cm (*Feunteun et al., 2011*). Selon *Riemann et al.,* (2010), en mer, les larves leptocéphales se nourrissent d'organismes planctoniques durant leur migration transatlantique. En outre, les flux énergétiques entre le milieu dulçaquicole et marin accordent à l'Anguille une importance écologique non négligeable (*Helfman, 2007*). On parle alors d'espèce clé (*Willson et Halupka, 1995* ; *Geffroy, 2012*). L'anguille constitue également une proie de choix pour de nombreux prédateurs aquatiques tels que les ardéidés (*Feunteun et Marion, 1994*). Pour toutes ces raisons, elle doit être considérée comme une espèce parapluie (*Baisez et Lafaille, 2005*).

2.1.2. Aire de répartition

Par son statut d'espèce amphihaline, la distribution de l'Anguille européenne est assez particulière et vaste (Cf. figure n°4). Son site probable de ponte, en mer des Sargasses (au large des côtes américaines), s'étend entre 23° et 30° Nord et entre 48° et 75° Ouest (*McCleave et al., 1987*). En mer, *A. anguilla* se laisse porter par le Gulf Stream dans la moitié Nord de l'océan Atlantique. A proximité des côtes, l'aire de colonisation s'étend des pays d'Europe à ceux de l'Afrique du Nord soit de l'Islande au Maroc. Cela coïncide avec l'extrémité de la circulation anticyclonique des masses d'eaux de l'Atlantique Nord (*Acou, 2006*). L'espèce est également présente dans le bassin méditerranéen et la mer noire (*Ege, 1939*). En eau douce, seuls les obstacles à la migration (seuils, barrages…) limitent la répartition continentale de l'espèce (*Adam, 1997*). S'agissant d'un stock unique se reproduisant en mer des Sargasses, l'anguille est souvent associée à un caractère panmictique (*Schmidt, 1922*). Cela implique une gestion de la population à l'échelle de son aire de répartition.

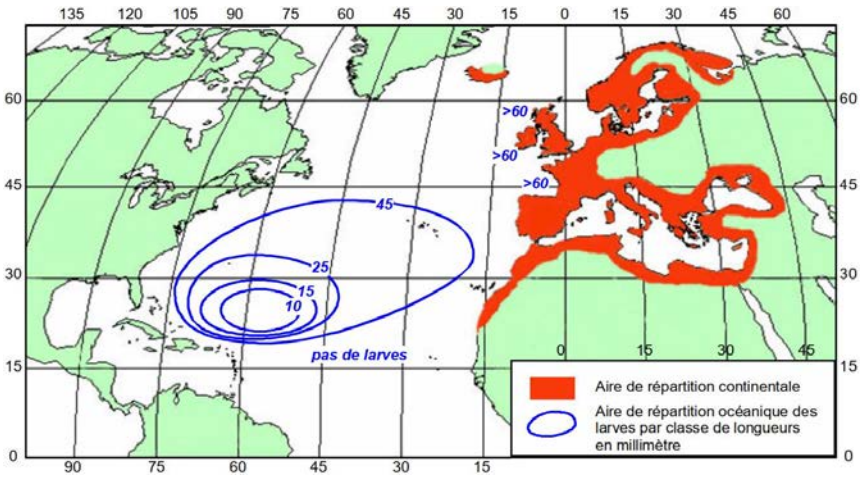


Figure 4 - Aire de répartition de l'anguille européenne, adaptée de Germain (1927) pour l'aire de répartition continentale et Schmidt (1922) pour la répartition des larves.

Néanmoins, des travaux récents en génétique remettent de plus en plus en cause cette panmixie (*Farrugio et Elie, 2011*).

2.1.3. Cycle biologique

L'anguille est un poisson migrateur amphihalin thalassotoque catadrome, c'est-à-dire dont la reproduction a lieu en mer et la croissance en eau douce.

Son cycle biologique est assez complexe (Cf. figure n°5) et certains points demeurent méconnus. Néanmoins, celui-ci comporte plusieurs phases clairement établies : il présente deux migrations transocéaniques (anadrome et catadrome), une phase de croissance continentale (sédentarisation), deux métamorphoses et vraisemblablement, une unique reproduction (*Acou, 2006*).

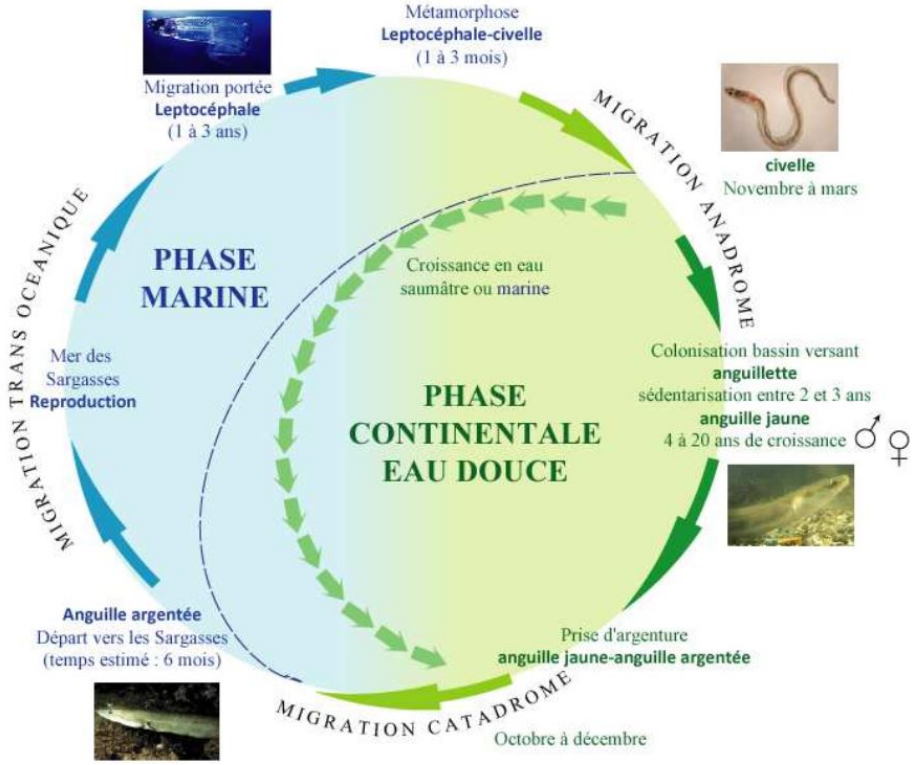


Figure 5 - Cycle biologique de l'anguille européenne (D'après Geffroy, 2012)

2.1.3.1. Larve leptocéphale : Migration anadrome

Longtemps considérée comme une espèce à part entière (*Leptocephalus brevirostris* ; *Kaup, 1856*), c'est en 1896 que la larve leptocéphale a été reconnue comme étant un premier stade juvénile d'*A. Anguilla* (*Grassi*). Certains auteurs considèrent un stade préalable : les larves préleptocéphales (*Guérault et al., 1991*).

La larve leptocéphale est translucide et est en forme de feuille de saule, s'adaptant ainsi à la vie pélagique et aux courants marins (Cf. figure n°6) (*Edeline, 2005*). Elle mesure moins de 10 mm (*Martin, 2010*). D'après *Pfieler* (1999), elle dispose de glycosaminoglycanes (GAG) constituant une enveloppe corporelle très hydratée sous forme de composés hydrophiles. Ceux-ci maintiennent et hydratent le corps larvaire de l'individu, tout en lui fournissant des polysaccharides lors de la métamorphose en civelle, durant laquelle l'anguille perd ses dents et ne s'alimente pas (*Bertin, 1951*).

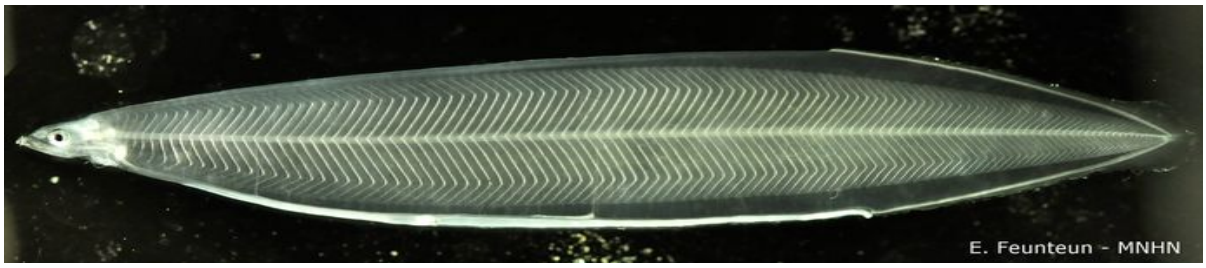


Figure 6 - Stade larve leptocéphale d'A. anguilla (Eric Feunteun, MNHN)

L'éclosion intervient au printemps dans la mer des Sargasses (près des îles Caraïbes), probablement à moins de 400 m de profondeur (*Schmidt, 1922* ; *Feunteun et al., 2011*). Peu à peu, les larves rejoignent le courant océanique nord-équatorial « le Gulf Stream » et sont portées (nage passive) vers les côtes du Nord-Est de l'Atlantique, soit une traversée d'environ 6 000 km pour atteindre les côtes françaises (*Kettle et Haines, 2006* ; *Lecomte-Finiger, 1994*). En modélisant les courants marins à partir de la mer des Sargasses, *Bonhommeau et al.,* (2009) ont estimé cette traversée à 21 mois. Pendant la migration, les larves se situent entre 200 et 300 m de profondeur la journée et reviennent à environ 25 m de la surface la nuit, pour éviter les prédateurs et se nourrir de zooplancton (*Hirschinger, 2005* ; *Castonguay et McCleave, 1987*). A l'approche du plateau continental, les leptocéphales cessent de se nourrir et se métamorphosent progressivement (entre 32 et 80 jours selon *Wang et Tzeng*, 1998) en civelle (*Hirschinger, 2005*).

2.1.3.2. Civelle : 1ère métamorphose

La métamorphose en civelle permet de coloniser les milieux continentaux (Cf. figure n°7 ; *Edeline, 2005*). Au début de celle-ci, les futures civelles ont une taille comprise entre 6 et 8 mm (*Adam et al., 2008*). La vitesse de métamorphose est conditionnée par la température de l'eau et sa salinité (*Briand et al., 2005*). Tout en migrant vers les côtes, le corps commence à devenir serpentiforme. Lorsque la marée est montante, elles se laissent porter près de la surface tandis qu'elles rejoignent le fond en marée descendante pour lutter contre le courant (*Hirschinger,*

2005). La plupart des sujets arrivent entre octobre et mars aux estuaires d'Europe (*Geffroy, 2012*). A mesure qu'ils colonisent ces estuaires, une pigmentation tégumentaire s'initie, alors que l'alimentation est arrêtée (*Prouzet, 2004* ; *Charlon et Blanc, 1983*). Celle-ci reprendra dès l'apparition d'une denture, accompagnée d'un développement intestinal (*Vilter, 1945* ; *Elie, 1979*).

La remontée des civelles est conditionnée par divers facteurs : (**i**) le crépuscule (*Bardonnet et al., 2003, 2005*), (**ii**) la température de l'eau, avec une augmentation des captures à 20°C (*White et Knights, 1994*), (**iii**) la marée montante (*Bardonnet et al., 2003*) et (**iv**) le cycle lunaire avec plus d'activité pendant la deuxième moitié du cycle (*Todd, 1981*).

Selon *Guerault et al.* (1991), le stade civelle s'étend sur 3 mois. Cette période est subdivisée par *Elie et al.* (1982) en huit stades pigmentaires évoluant selon l'avancée de la pigmentation (VA, VB, VIA0, VIA1, VIA2, VIA3, VIA4 et VIB).

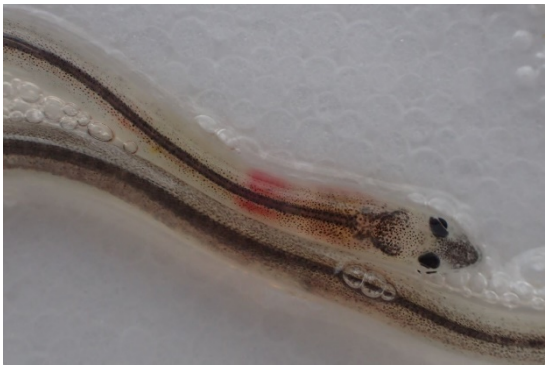


Figure 7 - Civelle (SEINORMIGR)

Lorsque le corps est totalement pigmenté et que la croissance reprend, la métamorphose est terminée et la civelle devient alors une anguillette (anguille jaune de petite taille) (*Edeline, 2005*).

2.1.3.3. Anguille jaune : Sédentarisation en eaux continentales

Dès que la limite de marée dynamique est franchie, les anguilles colonisent activement le bassin versant (montaison), à partir d'une taille moyenne de 13 cm (*Lafaille et al., 2000*). On considère ces individus comme des anguillettes. A l'inverse, les anguilles jaunes (Cf. figure n°8) sont associées à une phase de croissance et de sédentarisation (*Lafaille et al., 2005*). Cette période est caractérisée par une forte utilisation des ressources trophiques et une différenciation sexuelle de l'anguille. En effet, la spermatogénèse et l'ovogénèse sont simultanées, mais le développement du sexe mâle est conditionné par un phénomène de densité-dépendance : il est majoritaire lorsque les densités de population et la disponibilité des ressources sont fortes (*Passakas et Tesch, 1980*). De ce fait, il existe un gradient décroissant de mâles (et de densité de population) depuis l'aval vers l'amont. Dès que les sujets sont mâtures (3 à 9 ans pour les mâles soit 20 à 45 cm pour 20 à 150 g contre 5 à 18 ans pour les femelles soit 35 à 100 cm pour 60 à 2100 g), ils s'argentent et entament une longue dévalaison (migration catadrome) vers la mer des Sargasses entre le mois d'août et décembre (*Oliveira, 1999* ; *Feunteun et al., 2011*).

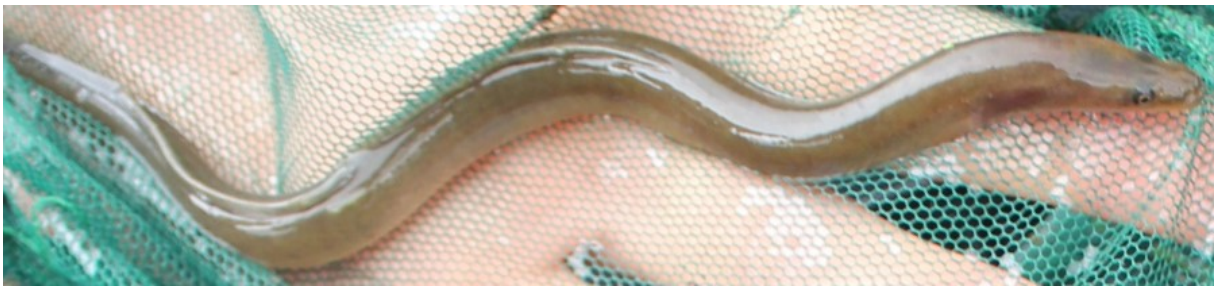


Figure 8 - Anguillette ou anguille jaune (FDPPMA80, 2018)

2.1.3.4. Anguille argentée : 2ème métamorphose et migration catadrome

Avec le phénomène d'argenture (dernière métamorphose), l'anguille acquiert une physiologie adaptée à la vie marine (*Durif et al., 2008*). On observe ainsi des évolutions physio-morphologiques majeures lors de la dévalaison (Cf. figure n°9) :

- Epaississement du derme, accompagné d'une surproduction de mucus (*Saglio et al., 1988*). La robe évolue vers une teinte argentée sur la partie abdominale et brun-noir sur la partie supérieure (camouflage marin) et la ligne latérale se développe (*Pankhurst et Lythgoe, 1983*) ;
- Elargissement du diamètre de l'œil (x 1,5) avec modifications des photorécepteurs rétiniens (*Es-Sounni et al., 1987*) ;
- Allongement de la nageoire pectorale (*Durif, 2003*) ;
- Augmentation du volume musculaire (de 5 à 13 %) et de l'activité hormonale (*Pankhurst et Lythgoe, 1982* ; *Lecomte-Finiger, 1990*). Phase de répit alimentaire. Modification de la vessie gazeuse, assurant un maintien de la pression hydrostatique pour s'adapter aux profondeurs marines (*Lecomte-Finiger, 1990*).

Le déclenchement de la migration semble être corrélée à des mécanismes physiologiques et à certains facteurs environnementaux (t°C, cycle lunaire, débits, turbidité, photopériode…) (*Larsson et al., 1980*). Une nuit obscure et nuageuse serait propice aux déplacements (*Redi, 1684*).

En mer, les anguilles adoptent une migration verticale nycthémérale, passant de 200 m de profondeur la nuit à 1000 m le jour pour éviter les prédateurs tout en s'alimentant (*Geffroy, 2012* ; *Aarestrup et al., 2009*). Selon *Westin* (1990), la température et l'olfaction joue un rôle dans l'orientation des anguilles vers le lieu de ponte. Mais *Tesch et Rohlf* (2003) estiment que le champ magnétique terrestre, dont la sensibilité des individus a déjà été démontrée, est la piste

plus probable (*Nishi et Dickman, 2012*). La reproduction est probablement l'acte concluant le cycle de vie, accordant ainsi un caractère sémelpare à l'espèce (*Westerberg, 1979*). Comme précisé auparavant (Cf. partie n°2.1.3.1.), celle-ci s'effectuerait à 400 m de profondeur. Les femelles produiraient entre 0,8 et 1,3 millions d'ovules (*Feunteun et al., 2011).*

Figure 9 - Anguille argentée (P. Porché, Ifremer)

2.1.4. Menaces

En occupant le milieu dulçaquicole et marin et en colonisant une grande diversité de biotopes, l'anguille est considérablement exposée aux menaces **naturelles** et **anthropiques** :

- **Modifications hydroclimatiques :** Les changements globaux entraînent une modification des courants marins (t°C, salinité), augmentant ainsi la mortalité lors des migrations amphihalines, notamment pour les leptocéphales (*Dekker, 1998*).

- **Parasitisme :** Détérioration de la vessie natatoire par le parasite asiatique *Anguillicola crassus*, entrainant des cas de mortalités et limitant la migration transocéanique (*Kirk, 2003* ; *Blanc, 1989*). Les parasites autochtones ne semblent pas être une cause de déclin.

- **Prédation :** Par exemple les hérons et cormorans, et dans certains cas, le silure glane et la loutre (*Bruslé, 1994* ; *Adam, 1997* ; *FDPPMA59, 2013*).

- **Surpêche et braconnage :** L'anguille est exploitée à tous ses stades. En plus de la pêche professionnelle (30 000 tonnes/an dans les eaux européennes vers les années 2000), le braconnage alimente une demande grandissante de civelles en Asie de l'Est (*El-Hilali, 2007*).

- **Obstacles à la migration et turbines hydroélectriques :** Les ouvrages influencent la production de géniteurs, provoquent un retard à la migration, un affaiblissement de la croissance et limitent la colonisation vers l'amont (*Castonguay et al., 1994* ; *Lasne,*

2007 ; *Machut et al., 2007*). Lors de leur dévalaison, les anguilles argentées subissent des mortalités importantes en passant dans les turbines hydroélectriques (*Ices, 2007*).

- **Pollution :** Par son activité benthique, l'anguille est un poisson bio-accumulateur qui contrairement aux apparences, est très sensible à certains composés xénobiotiques (*Robinet & Feunteun*, 2002 ; *Zimmerman et al., 2004*). De nombreuses études montrent que des concentrations, même minimes (métaux lourds, pesticides, PCB, polluants lipophiles, dioxines, microcystines…), sont susceptibles de diminuer les capacités reproductrices, migratoires ou de résistance au stress voir entrainer la mort (*Amiard-Triquet et al., 1987 ; Knights, 1997*).

En conséquence, les effectifs d'anguilles diminuent partout en Europe (*Lara, 1994*).

2.1.5. Evolution des stocks et statut de l'anguille

Auparavant abondante dans nos cours d'eau, l'anguille était même classée nuisible jusqu'en 1984 (*Bruslé et Quignard, 2013*). Selon *Dekker et al.* (2003), les chutes de captures se sont amplifiées dès le milieu du XXème siècle (Cf. figure n°10) avant de s'effondrer dans les années 1970-1980 (*Maurin et Keith, 1994*). Ce même auteur estime un déclin de 99% par rapport au recrutement des stocks de 1960. De cette manière, l'érosion significative des effectifs a valu à l'anguille d'être considérée comme menacée par le CIEM et la convention OSPAR. Elle est par ailleurs considérée en danger critique d'extinction dans le monde et en France (d'après la liste rouge établie par l'UICN). Enfin, la convention CITES l'a classée en annexe 2 en 2008, dans le but d'interdire les exportations en dehors de l'union européenne (*Feunteun et al., 2011*).

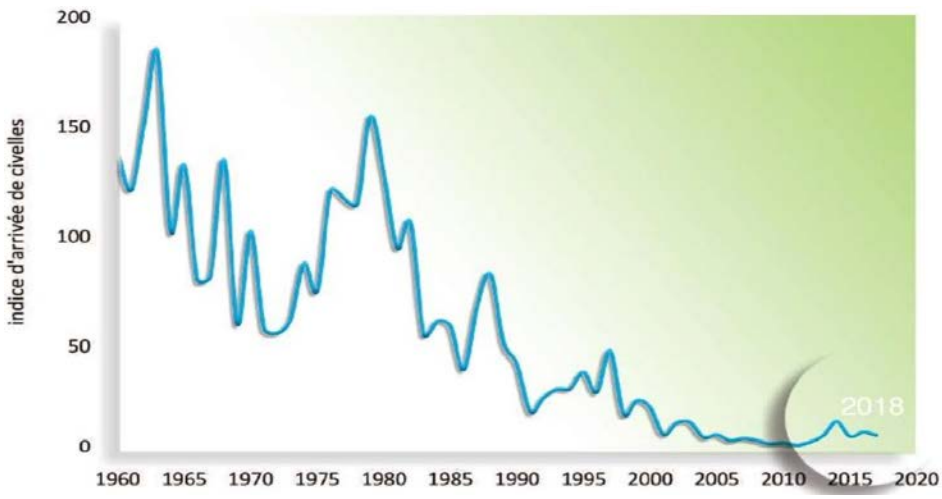


Figure 10 - Evolution de l'indice d'arrivée de civelles en France de 1960 à 2018 (AFB)

2.1.6. Intérêts de l'espèce

L'effondrement et l'état actuel des stocks gratifient l'anguille d'un fort intérêt scientifique et économique (*Bureau-du-Colombier, 2008*).

En effet, l'espèce colonise tous les milieux aquatiques accessibles, depuis les estuaires jusqu'aux têtes des bassins versants. Elle est d'ailleurs l'une des espèces (sur le volet ichtyologique) occupant la plus grande diversité d'habitats en France (*Lafaille et al., 2004*). Selon *Feunteun* (2002), l'anguille est un excellent biointégrateur de la qualité de l'environnement faisant d'elle une espèce à fort intérêt dans l'expertise scientifique. Ce même auteur la considère comme une espèce parapluie, 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*). Enfin, elle est à la fois eurytherme et euryhaline, supportant ainsi de grandes variations de températures et de salinité (*Feunteun et al., 2011*).

Sur le plan économique, l'espèce présente une forte valeur marchande et est ainsi exploitée et commercialisée à tous ses stades continentaux (*Elie, 1979* ; *Bruslé, 1990*). Vers les années 2000, 500 tonnes de civelles (majoritairement exportées vers l'Asie) et 20 000 tonnes d'anguilles adultes (marché local ou national) sont pêchées chaque année en Europe (*Dekker, 2003* ; *Imbert, 2008*). A cela s'ajoute une production de 10 000 tonnes d'anguilles en 2007 par l'aquaculture européenne (*Peyre, 2018*). A titre d'exemple, le prix moyen du kg de civelle en France est de 650 € en 2005 contre 200 € en 1996 (*ICES, 2011*). Le poids des pêcheries européennes est ainsi estimé à 180 millions d'euros (*Feunteun, 2002*).

2.1.7. Mesures de conservation : Le PGA

L'effondrement des stocks d'anguilles a incité l'Europe à prendre des mesures de conservation en parallèle d'un contexte législatif conséquent (Cf. annexe n°1 ; Cf. partie n°2.1.5.).

Règlement européen : En 2005, la direction générale « Pêche et affaires maritimes » a soumis au parlement européen un projet de règlement, débattu en 2006 et adopté en 2007 (*Duhec et al., 2009* ; *PreLex, 2007*). Ce règlement (CE) n° 1100/2007 a un objectif : augmenter le nombre d'anguilles qui partent en reproduction (au moins 40% de l'effectif théorique d'anguilles

argentées) pour retrouver les niveaux d'abondance des années 60. Il exige à chaque état membre l'élaboration d'un plan de gestion, devant être approuvé par la Commission européenne.

Plan national : Pour répondre aux obligations du règlement européen, un plan national de gestion de l'anguille (PGA) est instauré depuis 2009, sur trois ans renouvelables. Deux échelles de travail sont fixées : **(i)** échelle nationale pour un cadre de travail homogène et **(ii)** échelle locale pour une déclinaison du PGA en neuf Unités de Gestion Anguille (UGA) dont celle de Seine-Normandie (*DRIEE Ile-de-France, 2016*).

UGA Seine-Normandie : Une Zone d'Actions Prioritaires (ZAP) privilégie, au cours des 6 premières années du premier PGA, des actions de gestion pour une augmentation d'effectifs d'anguilles au sein du bassin Seine-Normandie (*PGA, 2007*). L'identification d'une ZAP répond à deux objectifs (Cf. annexe n°2). Les principaux axes fixés pour l'atteinte des objectifs sont les suivants :

- **(i)** **Rétablissement de la libre circulation :** 420 ouvrages prioritaires « anguilles » doivent assurer la libre circulation de montaison et d'avalaison en Seine-Normandie.
- **(ii)** **Quotas de pêche :** Limitation des captures de civelles sur la côte Manche-Atlantique, encadrement pour l'anguille jaune et interdiction presque totale pour l'anguille argentée (*SEINORMIGR, 2020*).
- **(iii)** **Repeuplement :** Consiste au transfert de civelles issues des pêcheries (jusqu'à 60 %) dans des zones plus favorables (*DRIEE Ile-de-France, 2016*).
- **(iv)** **Monitoring anguille :** Programme de suivi du PGA visant à évaluer et suivre le stock d'anguilles jaunes et le recrutement fluvial en jeunes anguilles (*SEINORMIGR, 2020*). L'association SEINORMIGR est en charge de ce monitoring pour l'UGA Seine-Normandie.

3. Contexte

3.1. 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 (Cf. figure n°11). 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.

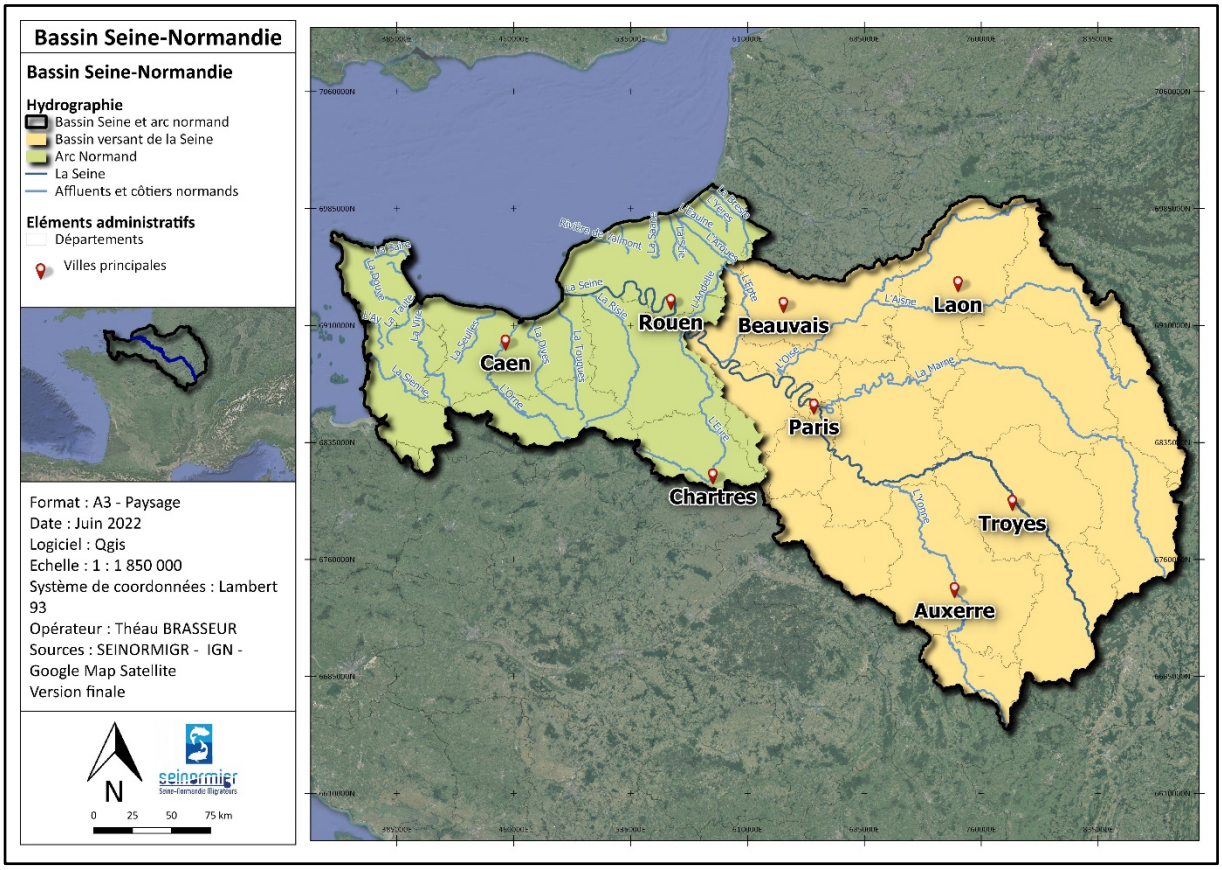


Figure 11 - Bassin de la Seine et de l'arc normand (Réalisateur: Théau BRASSEUR ; Données: SEINORMIGR)

3.1.1. Topographie et géologie

En son centre, le bassin est principalement constitué d'une cuvette sédimentaire à auréoles concentriques (*DRIEE Ile-de-France, 2016*). Trois massifs métamorphiques ou cristallins sont également identifiés : **(i)** à l'extrémité Nord-Est (Ardennes), **(ii)** à l'extrémité Sud-Est (Morvan) et **(iii)** à l'Ouest (ex Basse-Normandie).

Les versants se distinguent par des reliefs faiblement accentués. Le tableau suivant (Cf. figure n°12) regroupe quelques généralités topographiques du bassin Seine-Normandie :

Généralités topographiques			
Point culminant	902 m - Sources de l'Yonne	**Surface bassin < 100 m**	25 %
Altitude moyenne	160 m	**Surface bassin > 500 m**	1 %

Figure 12 - Généralités topographiques du bassin Seine-Normandie

3.1.2. Occupation des sols

Par sa démographie, le bassin de la Seine subit une forte pression urbaine et industrielle, notamment sur sa partie aval (Cf. figure n°13). La partie Est est davantage forestière, contrastant avec une nette activité agricole sur tout le pourtour de l'Île-de-France.. Cela cause des problématiques d'érosion et de ruissellement des sols. Dans l'ex Basse-Normandie (Ouest), l'élevage est prépondérant alors que la pointe Nord-Ouest est davantage rurale (petites communes et pratiques culturales).

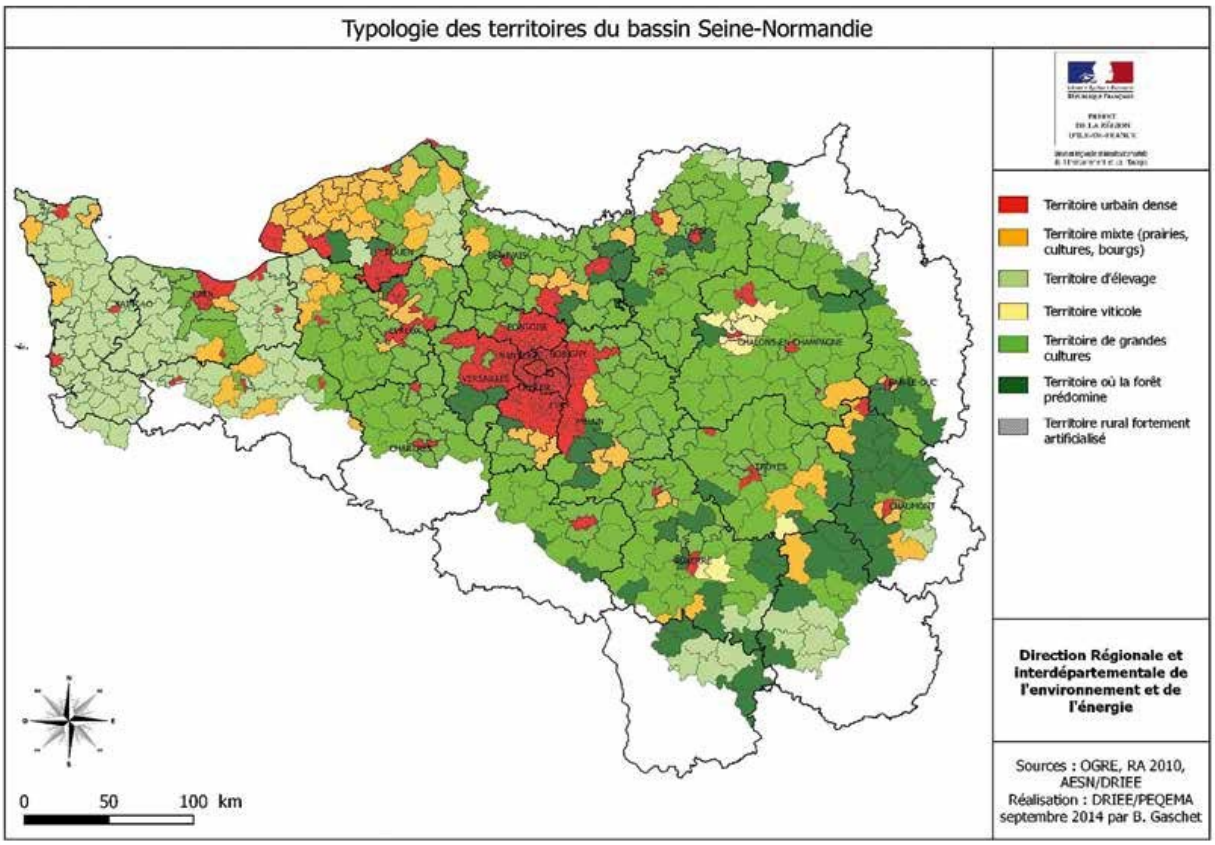


Figure 13 - Typologie des territoires du bassin Seine-Normandie (OGRE, RA 2010, AESN/DRIEE, 2014)

3.1.3. Hydrographie - Synthèse hydrologique

Le réseau hydrographique s'écoule sur 55 000 km de cours d'eau parmi 27 bassins versants (SEINORMIGR, 2020). A l'Ouest, plus de 600 km de façade maritime bordent le territoire, dont l'axe principal est la Seine (*DRIEE Ile-de-France, 2016*). Ce fleuve prend sa source sur le plateau de Langres (Côte-d'Or) à 446 m d'altitude, et rejoint la Manche entre Le-Havre (Seine-Maritime) et Honfleur (Calvados), après un cours de 780 km. Elle draine un versant de 78 000 km² (et de 65 000 km² en amont de Poses), représentant 80,5 % du Bassin Seine-Normandie (*AESN*, 2014). Son module est de 474 m^3/s (station de Vernon) (Cf. annexe n°3), défini par un régime pluvial océanique et des écoulements lents. Les principaux affluents sont : **(i) en rive gauche :** l'Yonne, le Loing, l'Eure et la Risle et **(ii) en rive droite :** l'Ource, l'Aube, la Marne, l'Oise, l'Epte et l'Andelle.

3.1.4. Qualité de l'eau et des habitats

Au début des années 70, la Seine était marquée d'une zone anoxique de 100 km (en aval de Paris), excluant toutes espèces piscicoles (*DRIEE, 2016*). Aujourd'hui d'après le SDAGE Seine-Normandie, la qualité de l'eau et des habitats s'est améliorée entre l'état des lieux de 2013 et 2019, malgré le développement économique et démographique du territoire.

A critères d'évaluation constants, la proportion de masses d'eau en bon ou très bon état est passée de 38 % en 2013 à 41 % en 2019 (Cf. annexe n°4). Sur ces masses d'eau, 32 % présentent un bon état chimique, chiffre qui augmente jusqu'à 90 % si les polluants ubiquistes (HAP, PCB, DEHP…) sont ignorés (*AESN, 2022*). Ces résultats s'expliquent par plusieurs axes de progression dont la réduction des rejets des stations d'épuration et des installations industrielles. Concernant la qualité des habitats, les cours d'eau de Seine-Normandie sont très touchés par des modifications hydro-morphologiques (chenalisation, recalibrage…), la destruction de zones humides ou encore l'implantation d'ouvrages. Sur ce point, 1 500 km de cours d'eau sont de nouveau accessibles depuis 2013 (*AESN, 2022*).

Néanmoins, en cas d'inaction les estimations prédisent une chute à 18% des masses d'eau en bon ou très bon état d'ici 2027 (fin du 3ème cycle de gestion). Aussi, le contexte actuel de dérèglement a incité le comité de bassin à élaborer et voter une stratégie d'adaptation au changement climatique. Le SDAGE 2022-2027 est ainsi axé sur plusieurs priorités : **(i)** améliorer les systèmes d'assainissement domestique, **(ii)** limiter les pollutions agricoles

(notamment les nitrates et pesticides), **(iii)** rendre franchissables les ouvrages prioritaires et **(iv)** rétablir un équilibre quantitatif dans les zones déficitaires.

3.2. Poissons migrateurs en Seine-Normandie

3.2.1. Poissons migrateurs

Avec ses 600 km de façade maritime, le bassin Seine-Normandie constitue un territoire à enjeux pour les espèces amphihalines. A l'origine, 11 taxons sont recensés sur le bassin. Aujourd'hui, les efforts entrepris en matière de gestion ont permis le maintien de 9 espèces sur la partie aval de la Seine (avec le retour de l'éperlan en 1998). Néanmoins, 7 d'entre elles sont inscrites sur la liste rouge de l'UICN et bénéficient d'un statut particulier (Cf. figure n°14). Par ailleurs, les ouvrages hydrauliques créent des blocages ou des retards à la migration, limitant la colonisation par ces espèces (Cf. annexe n°5).

<table>
<tr><th colspan="8">Statuts des principaux migrateurs de Seine-Normandie</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Espèce</th><th colspan="2">Conventions internationales</th><th>Protection nationale</th><th colspan="2">Plans de gestion</th><th colspan="2">Liste rouge</th></tr>
<tr><td>OSPAR, annexe V</td><td>Berne, annexe III</td><td>Arrêté ministériel de biotopes</td><td>PLAGEPOMI Seine-N</td><td>PGA</td><td>Monde</td><td>France</td></tr>
<tr><td>ANG</td><td>√</td><td rowspan="5">√</td><td>X</td><td rowspan="6">√
Doit concorder avec le PGA</td><td rowspan="6">Propre à l'anguille</td><td>CR</td><td rowspan="2">CR</td></tr>
<tr><td>ALA</td><td>X</td><td rowspan="5">√</td><td rowspan="5">LC</td></tr>
<tr><td>LPM</td><td>√</td><td>EN</td></tr>
<tr><td>LPR</td><td rowspan="2">X</td><td rowspan="3">VU</td></tr>
<tr><td>ALF</td></tr>
<tr><td>SAT</td><td>√</td></tr>
<tr><td>TRM</td><td>X</td><td>X</td><td>LC</td></tr>
</table>

Figure 14 – Statuts des principaux migrateurs. (ANG= Anguille européenne, ALA= Grande alose, LPM= Lamproie marine, LPR= Lamproie fluviatile, ALF= Alose feinte, SAT= Saumon atlantique, TRM= Truite de mer - CR= En danger critique d'extinction, EN= En danger, VU= Vulnérable, LC= Préoccupation mineure)

La gestion de ces espèces est régie par le code de l'environnement qui fixe un cadre unique. Ainsi, un COGEPOMI élabore un PLAGEPOMI, arrêté par le préfet coordonnateur de bassin de l'UGA Seine-Normandie. Le plan actuel (6ème édition) s'étend sur la période 2022-2026. Le PLAGEPOMI se doit de suivre les prescriptions énoncées dans le PGA.

3.2.2. Situation d'*A.anguilla*

A l'image du contexte mondial, le stock d'anguilles de Seine-Normandie s'est considérablement dégradé même si l'espèce est toujours présente dans les axes principaux du bassin. Sa dispersion est compromise par les nombreux aménagements transversaux, ce qui bloque ou retarde la migration, engendrant un déficit d'individus et/ou un cloisonnement d'anguilles sédentaires dans certaines zones amont (*SEINORMIGR, 2019*) (Cf. figure n°15).

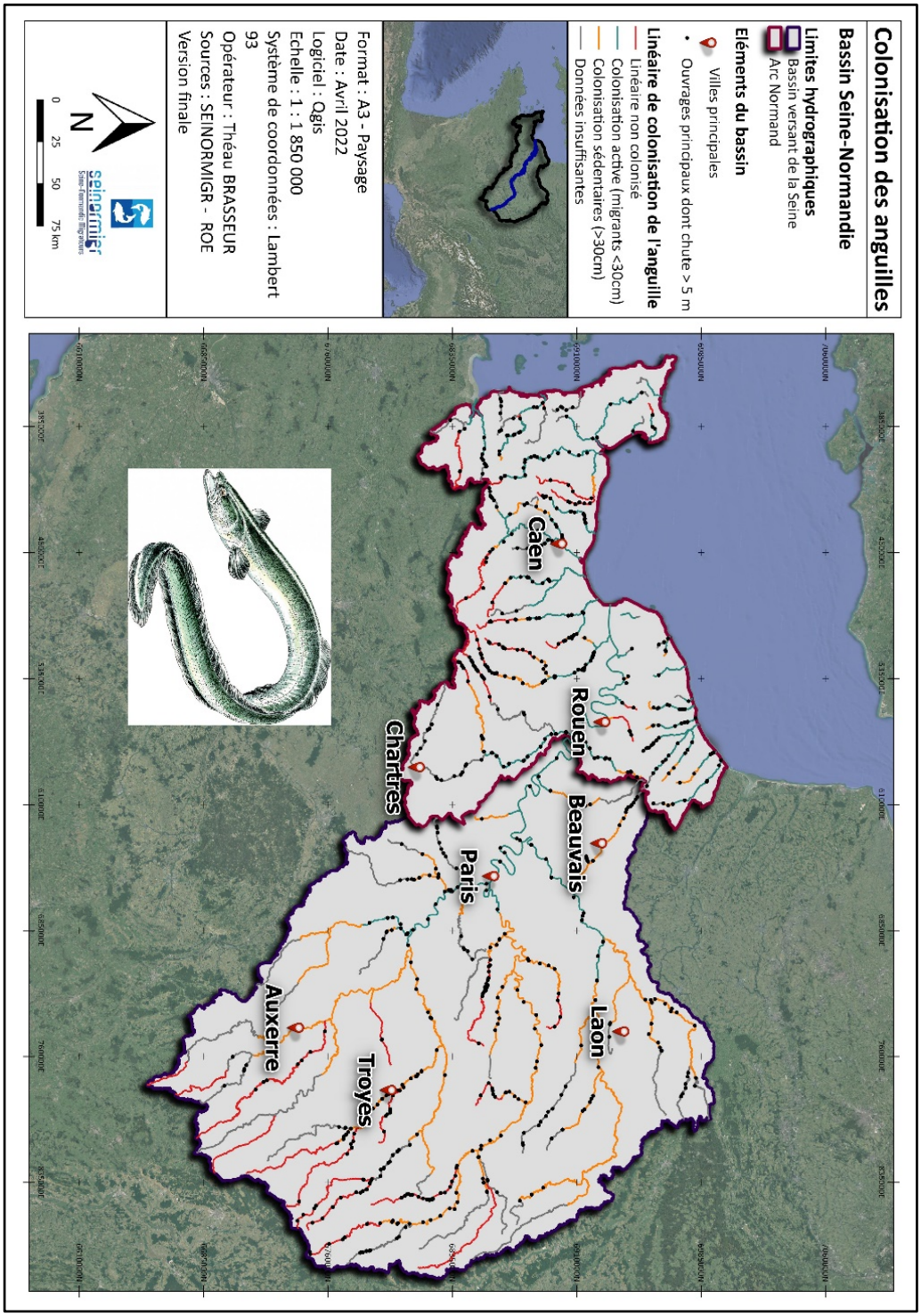


Figure 15 - Colonisation des anguilles en Seine-Normandie (Réalisateur : Théau BRASSEUR - Données : SEINORMIGR, ROE)

3.3. Site d'étude : Poses – Amfreville-sous-les-Monts

3.3.1. Barrage

Le barrage de Poses fut construit en 1885 entre les communes de Poses et d'Amfreville-sous-les-Monts (Eure) sur la Seine (Cf. figure n°16). Conçu initialement pour la navigation, une usine hydroélectrique a été ajoutée en 1991. Il est le 1er obstacle du fleuve depuis son embouchure (160 km de la Manche). Ainsi, il fixe la limite de marée dynamique, séparant l'estuaire en aval et la Seine continentale en amont (*Grall et al., 2019*). De cette manière, l'aval de l'ouvrage est soumis à un marnage régulier (variation du niveau des eaux). Les infrastructures se dissocient en trois sections (respectivement de la rive gauche à rive droite) : **(i)** l'usine hydroélectrique (gérée par Hydrowatt) **(ii)** le système de vannage et **(iii)** les écluses (gérées par VNF) pour une longueur totale de 470 m. La hauteur de chute moyenne est de 5,4 m. Une synthèse des principales caractéristiques est présentée en annexe n°6.

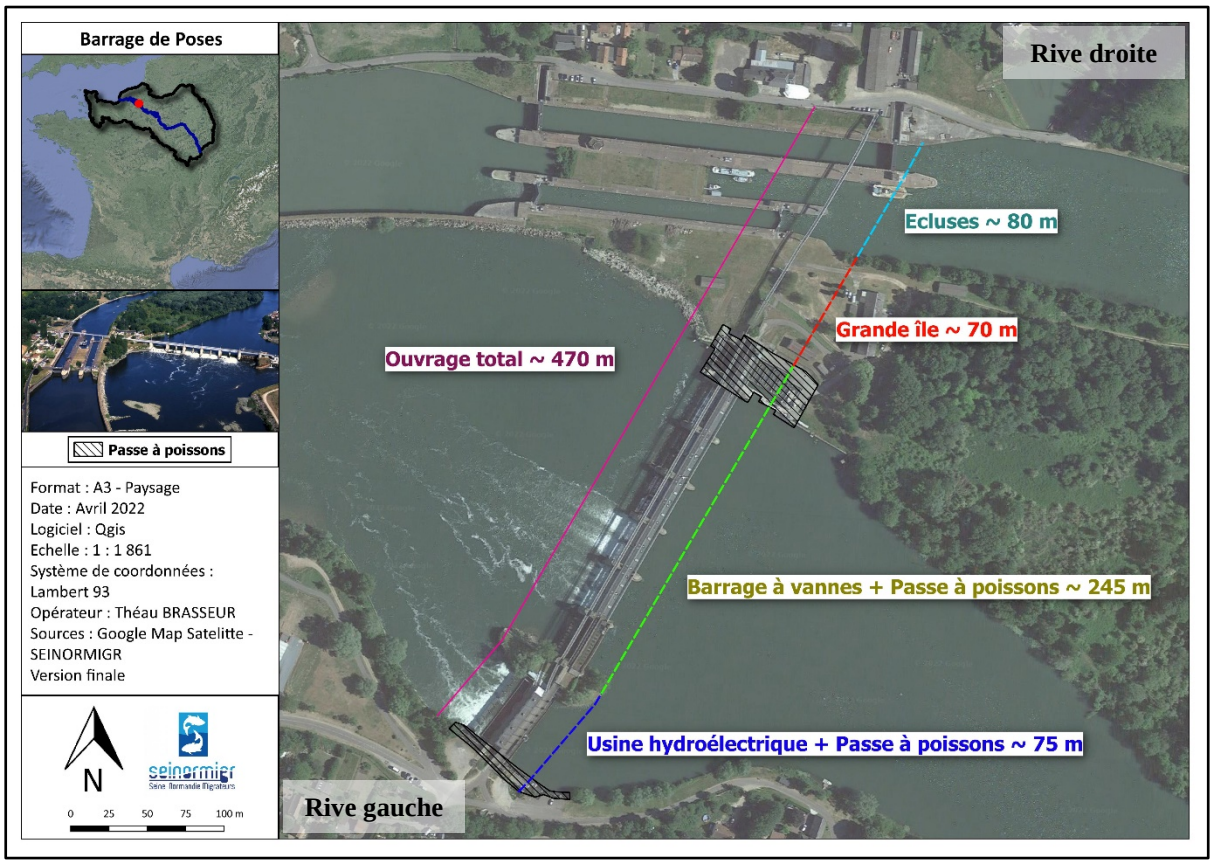


Figure 16 - Barrage de Poses (Réalisateur : Théau BRASSEUR – Photographie : parcours-europeens-rouen.fr – Données : Google Map Satellite, SEINORMIGR)

3.3.2. Dispositifs de franchissement et vidéo-comptage

La Seine est classée au titre de la loi sur l'eau du 16 décembre 1964 (aujourd'hui encadré par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de 2006). Par conséquent, le barrage de Poses doit respecter les exigences de libre circulation piscicole.

Préambule : *Se rapporter aux annexes n°7 à 9 pour l'illustration des propos.*

Rive gauche : En 1991, à la création d'une usine hydroélectrique par « HYDROWATT », une passe à bassins successifs à fentes verticales est implantée par cette société privée, en plus d'une chambre d'observation. La passe se compose de 23 bassins (sur 86 m) et d'un by-pass permettant le contournement de l'usine hydroélectrique pour la dévalaison. En 2008, le dispositif est complété par un système de vidéo-comptage (uniquement pour les bassins) puis en 2013 par une rampe spécifique anguille (passe-piège). Le vidéo-comptage est utilisé en tant qu'outil scientifique alors que la chambre d'observation a davantage une vocation pédagogique. Le Syndicat Mixte de la Base de Plein Air et de Loisirs de Léry-Poses assurait le dépouillement des séquences vidéos, avant de le déléguer à SEINORMIGR depuis environ 2 ans.

Rive droite : En 2017, pour augmenter l'efficacité de franchissement piscicole, VNF construit une passe à bassins successifs à double fentes verticales, en plus d'une rampe à anguilles et d'un 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-comptage indépendants, dont le dépouillement des fichiers est à la charge de SEINORMIGR.

3.4. Contexte de l'étude

a- Suivi du recrutement fluvial :

Depuis 2014 (entre avril et septembre), SEINORMIGR est en charge de suivre le recrutement en jeunes anguilles dans le bassin de la Seine depuis le barrage de Poses, 1er obstacle en aval du fleuve. Deux pièges spécifiques anguille sont utilisés à cet effet (rive gauche + droite). Le suivi rentre dans le cadre du monitoring anguille de l'UGA Seine-Normandie, programme encadré par le PGA. L'objectif est également de fournir un indice de recrutement pour le COGEPOMI, afin d'élaborer le PLAGEPOMI, plan quinquennal de gestion des poissons migrateurs.

b- <u>Année 2022 :</u>

Cette année 2022 marque la 5ème et 9ème année du suivi de montaison, respectivement en rive droite et gauche. La présente étude s'inscrit dans la continuité des suivis déjà réalisés. Cette année, les principales problématiques considérées sont les suivantes :

- **(i)** Quel est le recrutement de la Seine en anguille européenne en 2022, quantitativement et qualitativement ?
- **(ii)** Comment le recrutement évolue-t-il depuis 2014 ?
- **(iii)** Les dispositifs de franchissement sont-ils fonctionnels ?
- **(iv)** Quels sont les principaux facteurs d'arrivée des anguilles au barrage de Poses ?

4. Matériel et méthodes

4.1. Dispositifs anguille

Vis-à-vis des faibles capacités de nage des jeunes anguilles (Cf. partie n°2.1.1.), les passes à fentes verticales du barrage compliquent la montaison des individus (seule exception car le dispositif est franchissable par la plupart des taxons). Néanmoins, la capacité de reptation de l'espèce lui permet d'escalader des parois verticales en utilisant les tensions superficielles créées entre le corps et la paroi (à condition que celle-ci reste humidifiée) (*Baudoin et al., 2014*). Les rampes spécifiques anguilles (types brosses, cf. figure n°17) se montrent particulièrement adaptées pour les jeunes stades et sont donc employées sur le site d'étude.

4.1.1. Rive gauche

Comme évoqué précédemment, la rampe a été ajoutée en 2013. D'une longueur totale de 61 m, elle se décompose en 3 entités (Cf. figure n°17) :

(i) **<u>Partie aval :</u>** (photos n°1 à 3) Une 1ère rampe (brosse) dont la base est immergée en permanence, permet l'entrée des individus dans le dispositif. Ensuite, deux autres rampes se succèdent. Elles sont toutes deux inclinées à 45° et séparées par un bassin de repos. Ces équipements sont situés en aval de la centrale hydroélectrique et débouchent sur une cuve connectée à un canal de liaison.

Figure 17 - Dispositif de franchissement anguille en rive gauche du barrage de Poses. Les flèches rouges indiquent le trajet des individus. (SEINORMIGR)

(ii) **<u>Canal de liaison :</u>** (photos n°3 à 6) Avec une inclinaison négative de 2°, le canal (tube PVC), d'une longueur de 56 m, permet une montaison assistée des anguilles. Il se déverse dans un collecteur, au pied d'une nouvelle rampe.

(iii) **<u>Partie amont :</u>** (photos n°6 à 8) Cette dernière rampe (inclinée à 35°) dirige les anguilles vers un dispositif de piégeage. Il s'agit d'une cuve (alimentée par une pompe) où tombent les anguilles dans un filet pour empêcher les fuites et faciliter la récupération des individus.

4.1.2. Rive droite

Sur cette rive, la rampe a été conçue en même temps que la passe à poissons (2017), ce qui la rend plus adaptée qu'en rive gauche. D'une longueur totale de 100 m, elle se décompose de nouveau en 3 entités (Cf. figure n°18) :

Figure 18 - Dispositif de franchissement anguille en rive droite du barrage de Poses. Les flèches rouges indiquent le trajet des individus. (SEINORMIGR)

(i) **<u>Partie aval :</u>** (photos n°1 à 2) A l'aval du barrage, une 1ère rampe (brosse) est succédée d'un bassin de repos (collecteur) puis d'une nouvelle rampe. Celles-ci sont inclinées à 45° et sont alimentées par surverse via un canal en amont.

(ii) **<u>Canal de liaison :</u>** (photos n°2 à 6) D'une longueur proche de 80 m (pente à 0,072°), le canal oriente les individus vers le dispositif de piégeage.

(iii) **<u>Partie amont :</u>** (photo n°6) Une fois dans le local de piégeage, les anguilles empruntent une dernière rampe (inclinée à 45°). Cela les entraine dans une cuve

(alimentée par une pompe) où elles tombent dans un filet pour faciliter les manipulations. Celui-ci est retiré en cours de saison, lorsque les effectifs augmentent.

4.2. Protocole de suivi

4.2.1. Fréquence de suivi

A Poses, les premières observations ont lieu à la mi-avril (lorsque la température de l'eau dépasse les 14 °C) et concernent des anguillettes en reprise de migration, en attendant l'arrivée des civelles (*Mullet, 2014* ; *Lenoir, 2015* ; *Flesselle, 2016*). Cette année, le suivi a commencé le 1er avril et sera poursuivi jusqu'en octobre. Les pièges sont relevés deux à trois fois / semaine en période creuse et tous les jours lorsque la migration s'intensifie. En cas de fort pic, une intervention les week-ends ou jours fériés est nécessaire pour éviter des mortalités (surdensité d'individus en raison d'un sous-dimensionnement de la cuve de stockage). Une demi-journée à deux opérateurs est généralement nécessaire pour une opération de suivi.

4.2.2. Entretien des pièges

Lors de chaque relève, les pièges sont nettoyés et leur fonctionnement est vérifié. De manière générale, les points de contrôle (sensiblement différents selon la rive) sont listés par le tableau ci-dessous (Cf. figure n°19). En moyenne, ces opérations monopolisent 20 mn / rive / 2 opérateurs.

Entretien des pièges anguille – Barrage de Poses		
Contrôle		
Objet	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[1]	OUI	
Débits dans le canal de liaison et éventuels débordements du 2ème collecteur	OUI	NON
Nettoyage		
Objet	Rive gauche	Rive droite
Enlèvement des fines et débris dans le vivier (cuve), le filet et le répartiteur	OUI	
Enlèvement des fines et débris dans le 2ème collecteur et autour de la crépine	OUI	NON

Figure 19 - Liste des opérations d'entretien des pièges à anguille du barrage de Poses. La mention OUI précise les manipulations à effectuer selon la rive. ([1]Le répartiteur (amont direct des rampes), disperse un filet d'eau sur la largeur des brosses)

4.2.3. Acquisition des données biométriques

Au préalable, les individus piégés sont anesthésiés dans une solution d'eugénol (huile essentielle de clous de girofle) diluée dans l'eau. Ceci dans un but de faciliter les manipulations. Ensuite, les mesures biométriques sont effectuées dans l'ordre suivant :

- **(i)** Longueur totale (Lt) en mm, à l'aide d'un ichtyomètre (± 1 mm).
- **(ii)** Identification d'éventuelles anomalies anatomo-morphologiques, d'après la grille de codification établie par *Elie et Girard* (2014) (Cf. annexe n°10).
- **(iii)** Poids (P) en g, à l'aide d'une balance électronique (± 0,1 g).

Le temps du réveil (quelques minutes), les anguilles sont conservées dans des seaux d'eau. Elles sont relâchées, en rive gauche comme en rive droite, environ 80 m en amont du barrage pour poursuivre leur montaison.

Les effectifs capturés varient d'une relève à une autre. Aussi, un protocole de dénombrement est établi afin de s'adapter à la quantité d'individus.

4.2.4. Protocole de dénombrement

Le protocole ci-dessous (Cf. figure n°20) est appliqué selon le nombre d'anguilles estimé par l'opérateur lors de la relève :

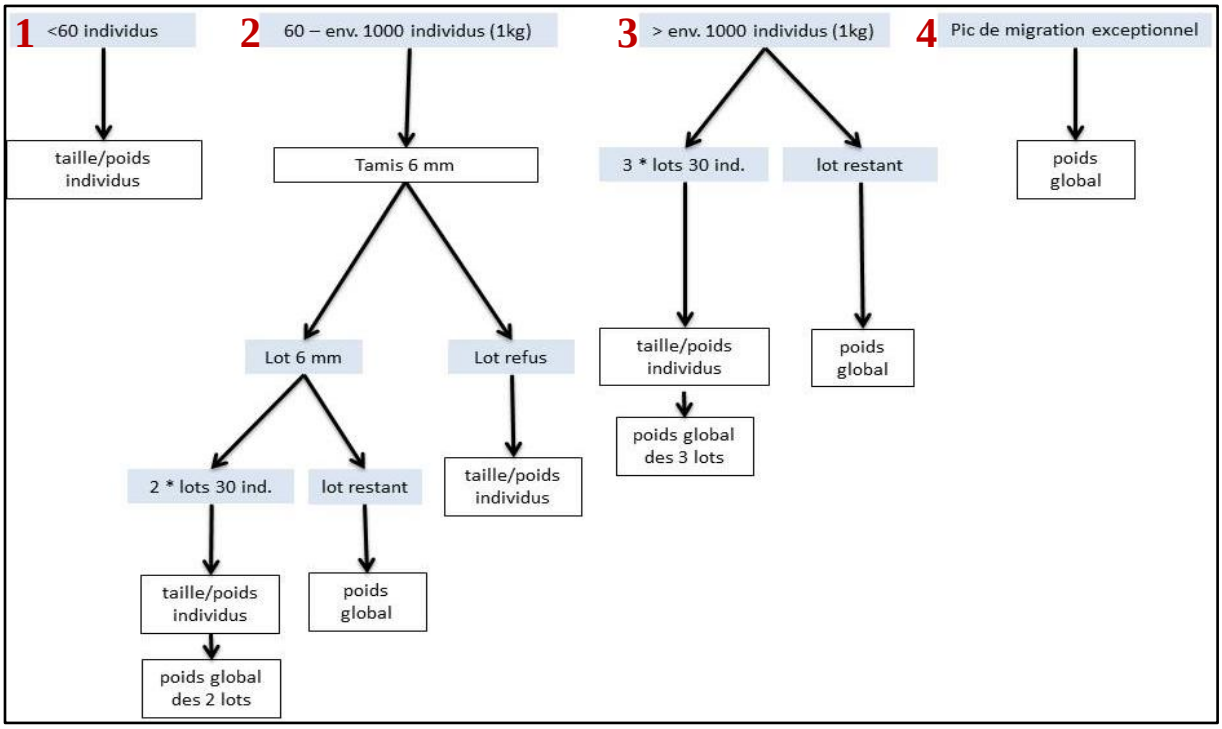


Figure 20 - Protocole de dénombrement des anguilles pour le barrage de POSES (SEINORMIGR)

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 :

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

4.2.5. Saisie et bancarisation des données

Saisie terrain : Un carnet est utilisé pour la saisie de données sur le terrain (Cf. annexe n°11). Divers paramètres sont renseignés : date et heure du suivi, opérateur(s), éléments biométriques (taille, poids et codes pathologiques), nombre de crabe chinois et commentaires éventuels.

Bancarisation informatique : Les données de terrain sont 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 (*Legrand et al., 2019*). L'objectif du projet STACOMI est de fournir une base de données open-source et standardisée pour le suivi des migrations piscicoles en France.

4.3. Les dispositifs passifs

4.3.1. Protocole « Flottang »

En parallèle des rampes à anguilles dîtes « actives », deux flottangs sont disposés sur le site (Cf. figure n°21). Le premier est situé en aval de la rampe de la rive droite (AVR) et le second en amont des écluses (AME). 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. En rive gauche, des vols et dégradations ont eu lieu, poussant SEINORMIGR à les retirer de ce côté du fleuve. Ils sont employés à Poses depuis 2016 et relevés dans le même temps que le suivi des rampes. De nouveau, les anguilles sont anesthésiées, analysées (biométrie complète) puis relâchées en amont du barrage.

Développé en 2014 par la Cellule Migrateurs Seudre, le flottang est un piège passif qui superpose 10 couches de treillis Macmat, découpées en 50 cm de côté et équipées de flotteurs (*Lauronce et al., 2018*). Il reconstitue une zone de refuge pour les petites anguilles (-12 cm) près des berges. 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.

Figure 21 - Flottang pêchant (Flesselle, 2016)

4.3.2. Saisie et bancarisation des données

Saisie terrain : Un carnet dédié aux flottangs est aussi utilisé pour la phase terrain. Les paramètres renseignés sont les mêmes que pour les pièges actifs.

Bancarisation informatique : Les données sont retranscrites dans un fichier Excel. Pour chaque année de suivi (depuis 2020), des tableaux croisés dynamiques produisent automatiquement des graphiques et tableaux actualisés. Ce dispositif a été mis en place dans le cadre de cette étude.

4.4. Le crabe chinois, *Eriocheir sinensis*

Pour la seconde année en rive droite, un suivi du crabe chinois (*Eriocheir sinensis* ; *Edwards, 1853*) est réalisé dans la passe à anguille (Cf. figure n°22). Ce suivi a été mis en place suite à une augmentation des captures dans la cuve piège depuis quelques années.

4.4.1. Description de l'espèce

Arthropode appartenant à la classe des *Malacostraca*, le crabe chinois « *Eriocheir sinensis* » est un crustacé décapode brachyoure de la famille des Vanuridés (*Clark, 2006* ; *Sakai, 2013*). Il est aisément reconnaissable par ses pinces abondamment velues et sa carapace comprimée de forme quadrilatérale (*Godin et Smigielski, 2013*). D'une couleur vert-olive ou gris-verdâtre, *E. sinensis* peut mesurer jusqu'à 75 x 88 mm (longueur x largeur du céphalothorax) (*Vivier, 1938*).

Figure 22 - Crabe chinois mâle à gauche et femelle à droite (Neveu, 2021)

Originaire de Chine, il s'étend de la côte occidentale de Corée au Nord jusqu'à la province de Folkien au Sud (*Hoestlandt, 1959*). Il fut découvert pour la première fois en Europe (Allemagne) en 1912 mais sa propagation sur le continent ne commença qu'en 1923 (*Peters, 1933*). Son introduction inopinée a été causée via les ballasts de navires asiatiques (*Noël et Breton, 2016*). En France, les premières observations ont lieu en Flandre française en 1937 puis en 1943 en estuaire de Seine à Villerville (*Hoestlandt, 1943*).

Comme *A. anguilla*, *E. sinensis* est une espèce euryhaline catadrome (*Godin et Smigielski, 2013*). A la fin de l'été, les adultes (3 à 5 ans) entament leur migration anadrome (ou de dévalaison) vers la mer pour s'y reproduire. L'accouplement et la ponte ont lieu d'octobre à janvier (*Godin et Smigielski, 2013*). Au printemps, les juvéniles remontent les cours d'eau jusqu'à 1 400 km de la mer (*Sakai, 1976* ; *Noël et Breton, 2016*). Ces périodes coïncident avec les observations du barrage de Poses.

4.4.2. Impacts du crabe chinois sur l'anguille européenne

D'après *Lowe et al* (2004), le crabe chinois fait partie des 100 pires espèces invasives. Outre les impacts économiques, les préjudices écologiques sont multiples : **(i)** compétition pour l'espace et les ressources et **(ii)** modification des habitats et des communautés. L'espèce est également vectrice d'*Aphanomyces astaci*, champignon responsable de la peste de l'écrevisse (létale pour les taxons autochtones) (*Schrimpf et al., 2014*). Davantage concernée par l'exploitation des ressources, l'anguille peut être limitée en cas de surdensité du crabe. En outre, il n'est pas à exclure que les petits sujets constituent l'une des proies du crustacé car lors de sa phase continentale, *E. sinensis* est végétarien au stade juvénile, puis il évolue progressivement en prédateur (alimentation à deux tiers végétale et à un tiers animale). Les lieux de concentration d'anguilles comme la cuve et le canal constituent de fait, des zones d'inquiétude.

4.4.3. Protocole de capture

En juin 2021, six nasses appâtées ont été mises en place dans le canal à anguilles. Ce protocole ne sera pas reconduit cette année car il s'est avéré chronophage et peu efficace (les résultats ont montré que les crabes sont en phase migratoire, diminuant le risque de prédation sur les anguilles). Les individus se retrouvent ainsi piégés dans la cuve à anguille. Les mesures biométriques sont effectuées comme suit : (Cf. annexe n°12)

- **(i)** Largeur maximale du céphalothorax (Lct) en mm, à l'aide d'un mètre (± 1 mm).
- **(ii)** Identification du sexe.

Conformément à son statut d'espèce susceptible de provoquer des déséquilibres biologiques (article R. 432-5 du code de l'environnement), les individus sont détruits suite aux mesures. Un carnet de terrain est dédié à ce suivi. Les données sont retranscrites dans la base de données STACOMI, au même titre que les anguilles relevées dans les cuves pièges.

4.5. Paramètres environnementaux

Certains auteurs ont montré l'importance des facteurs environnementaux dans la migration des civelles en estuaire (*Todd, 1981* ; *Tzeng, 1985* ; *White et Knights, 1997* ; *Feunteun et al., 2003* ; *Bardonnet et al., 2003, 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 : maree.shom.fr. Le Shom est un établissement public à caractère administratif, placé sous la tutelle du ministère des Armées (*shom.fr*). Le port de référence est situé au Havre.

Débit moyen journalier (QmJ - m^3/s) : Données tirées du site internet : hydro.eaufrance.fr. La station de mesure est située à Vernon (indisponible à Poses).

4.6. Traitement des données

4.6.1. Analyse globale

Captures annuelles et CPUE :

Pour analyser les captures annuelles, les effectifs bruts journaliers sont utilisés. Toutefois, pour comparer inter-annuellement les données, un traitement par CPUE (Capture par Unité d'Effort de Pêche) est nécessaire. Cette méthode permet d'atténuer les différences de protocole d'une année à l'autre en considérant le nombre d'individus capturés selon le moyen de capture par unité de temps. Ainsi, les temps de fonctionnement des dispositifs de franchissement ou des flottangs sont pris en compte. Dans cette étude, la CPUE est une estimation semi-quantitative qui donne une valeur pondérée du nombre d'anguilles / jours de piégeage pour la rive (R= RG ou RD) ou pour le flottang (F= AVR ou AME) pour l'année (n) de suivi :

$$\text{CPUE (Rn)} = \frac{\text{Effectif total capturé}}{\text{Temps de piégeage (jour)}} \qquad \text{CPUE (Fn)} = \frac{\text{Effectif total capturé}}{\text{Temps de piégeage (jour)}}$$

Coefficient allométrique (b) et coefficient de condition (K) :

Le coefficient allométrique (b) exprime la forme du corps du poisson (*Bellamy et al., 2014*). La corrélation entre la longueur (L) et le poids (P) s'exprime par la formule $P = a \cdot L^b$ (a= constante ; *Ricker, 1968*). Afin d'homogénéiser les variables, les données sont linéarisées pour établir une relation de forme : y= a + bx. Si b=3, la croissance du peuplement est isométrique et est

allométrique si b≠3. Le coefficient de Fulton (K) renseigne sur l'embonpoint du poisson (*Loheac, 2008*). Ainsi, il permet de juger l'utilisation des ressources trophiques dans le temps et est complémentaire avec b : $K = \frac{10^5 \cdot P}{L^3}$ (P= poids en gr ; L= longueur en mm).

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*** (s'applique uniquement aux lésions) considère trois paramètres :

- **(i)** Prévalence des poissons présentant des lésions externes : **P** (%) = (nb poissons avec lésions) / (nb poissons examinés)
- **(ii)** Intensité lésionnelle : **Q** = La notation va de 0 (absence de lésions) à 4 (plus de 10 lésions ou plus de 20% de recouvrement corporel).
- **(iii)** Signification écopathologique des lésions : **S** = 1 pour les lésions mineures et 2 pour les lésions majeures (déformations, tumeurs, érosions, nécroses, hémorragies, ulcères).

Pour une même pathologie (x), l'indice s'exprime comme suit : $\mathbf{Ip(x)} = P(x) \times Q(x) \times S(x)$. Pour une population donnée, les $\mathbf{I_p}$ relatifs à chaque lésion sont additionnés : $\mathbf{I_{pG}} = \sum I_p$.

L'indice ***parasitaire*** (s'applique uniquement aux parasites) 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 – I_{pG} et I_{pP}					
Classes de qualité	0 → 0,04	0,05 → 0,20	0,21 → 0,80	0,81 → 1,40	1,41 → 8
Condition des poissons	Excellente	Bonne	Précaire	Dégradée	Mauvaise

Figure 23 - Grille d'interprétation de l'indice pathologique (IpG) et parasitaire (IpP) (Elie et Girard, 2014)

Période retenue : Comme précisé auparavant, le suivi s'étend du 1er avril jusqu'en octobre. Toutefois vis-à-vis du stage, les données sont traitées jusqu'au 30 septembre inclus. Pour les données relatives aux facteurs environnementaux, l'analyse est effectuée jusqu'au 21 août inclus (les températures ayant été relevées ce jour).

4.6.2. Analyses statistiques

L'objectif des analyses est de répondre aux hypothèses préalablement établies (Cf. partie n°3.4). Les traitements sont réalisés à l'aide du logiciel R, version 4.1.3, 2022.

Paramètres environnementaux :

L'analyse en composante principale (ACP) est utilisée pour identifier les paramètres environnementaux influant la migration. Cette technique est renforcée (sur chaque paramètre) par un test de corrélation (test de Pearson) entre la variable Y (effectifs d'anguille) et X (paramètre choisi). Un test de significativité du R^2 est également appliqué.

Tests de comparaison :

Pour comparer **2 échantillons**, le test de Student est employé à condition que la variable suive une loi normale (équivalent non-paramétrique : Wilcoxon). Pour **3 échantillons ou plus,** l'ANOVA 1 est utilisée dans le cas où la normalité et l'homoscédasticité sont vérifiées (équivalent non-paramétrique : Kruskal-Wallis). En cas de significativité, un test de comparaison multiple détermine le ou les échantillons différent(s). Les p-values (p) sont interprétées au risque $\alpha = 5\%$ puis selon leur niveau de significativité (Cf. annexe n°13). Enfin, les graphiques type « violinplot » sont préférés aux boxplot car la distribution des données pour chaque échantillon est représentée (la moyenne est indiquée par un point blanc au-dessus des boîtes).

5. Résultats

5.1. Bilan migratoire interannuel

Le suivi est réalisé depuis 2014 en rive gauche (RG ensuite) et 2018 en rive droite (RD ensuite). Cependant, les périodes de fonctionnement des dispositifs ne sont inventoriées que depuis 2018. Grâce à cette information, la CPUE est calculée pour chaque rive (Cf. figure n°24 ; *note : dans un souci de lisibilité, les temps de fonctionnement ne sont pas indiqués*).

Bilan migratoire depuis 2014								
	RG				**RD**			
	Au 30 septembre		*Saison complète*		*Au 30 septembre*		*Saison complète*	
	Effectifs	CPUE	Effectifs	CPUE	Effectifs	CPUE	Effectifs	CPUE
2014	12 395		12 395					
2015	4 916		4 916					
2016	13 642		13 642					
2017	10 545		10 566					
2018	32 088	192	32 128	163	476 450	3 722	476 958	3 223
2019	3 456	20	3 471	18	378 622	2 058	379 875	2 021
2020	726	7	742	5	134 520	1 387	134 972	828
2021	3 727	76	3 814	54	69 995	398	70 258	343
2022	35 967	213			343 426	1 887		

Figure 24 – Bilan migratoire depuis 2014 par rive : effectifs totaux et CPUE à la date retenue en 2022 et sur la saison complète.

Les graphiques suivants présentent la dynamique de migration par rive. La ligne en pointillés indique la date retenue en 2022 et la ligne rouge horizontale, 50 % de la migration annuelle. D'après les figures n°24 à 26 la RG présente des effectifs bruts et des CPUE très faibles, au profit de la RD qui constitue une voie de passage privilégiée. En effet, depuis 2018 les CPUE indiquent des captures journalières moyennes de 60 individus en RG contre 1 604 en RD (soit près de 27 fois plus). Concernant la dynamique migratoire, les évolutions des captures en RG sont différentes d'une année à l'autre, même si la majorité des individus arrivent entre juin et la mi-août (Cf. figure n°25). A l'inverse, la dynamique est davantage perceptible en RD et est marquée d'un pic à la fin-juillet. A l'image de l'effondrement mondial des stocks, les effectifs capturés à Poses diminuent chaque année.

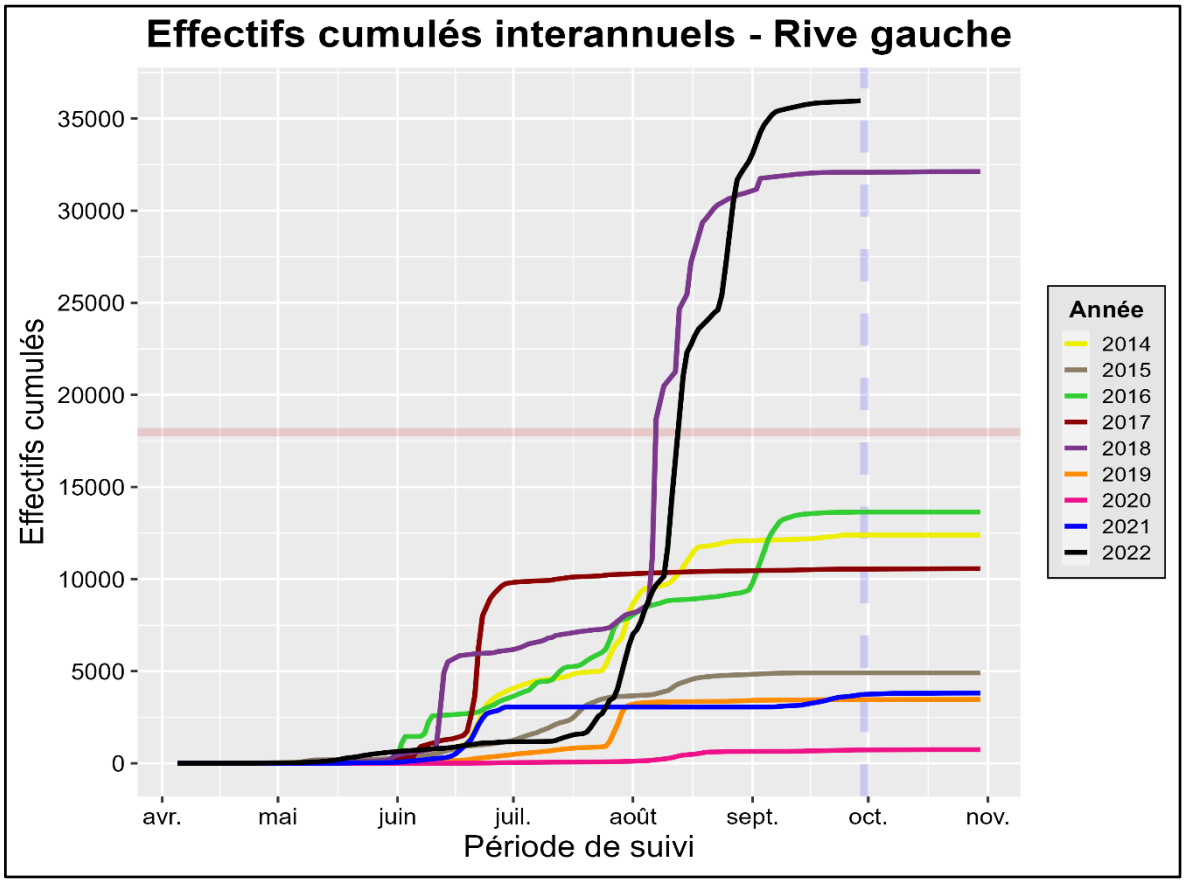


Figure 26 - Effectifs cumulés interannuels en rive gauche.

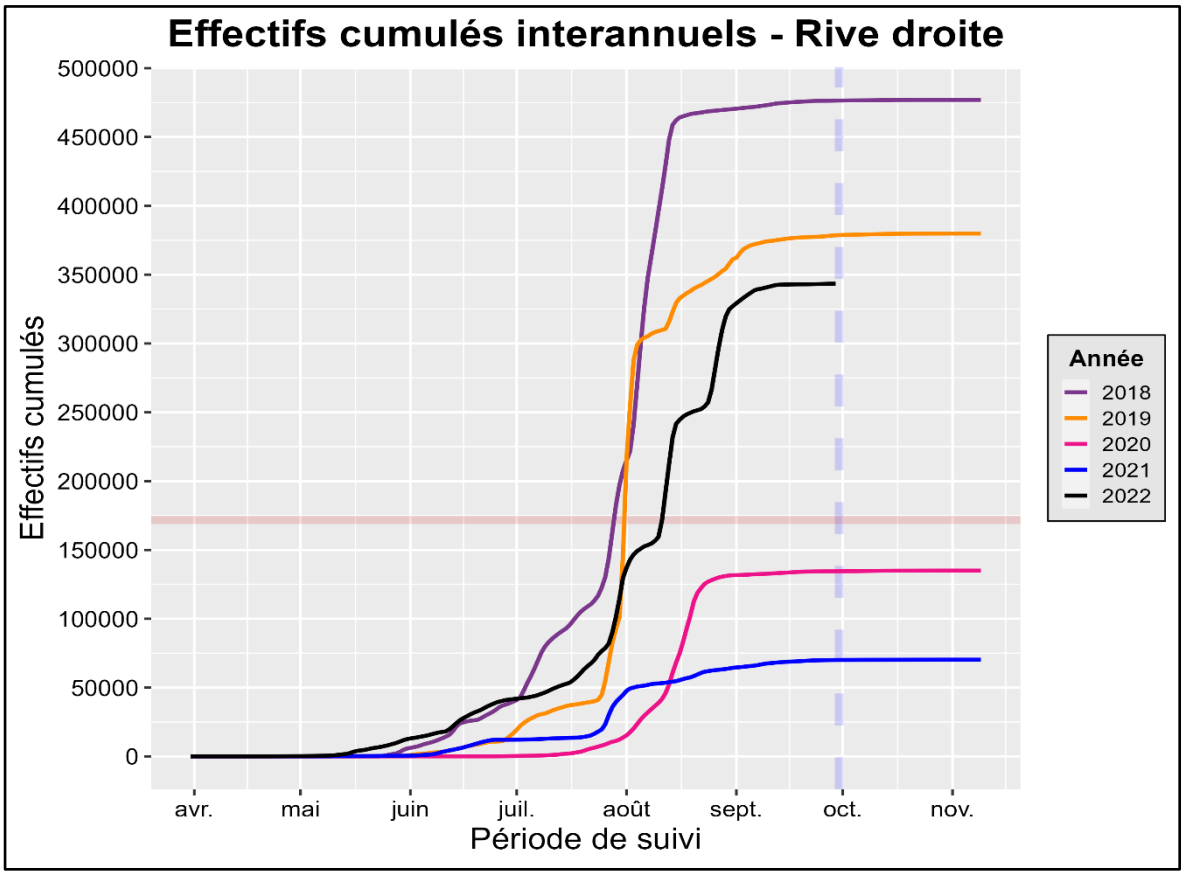


Figure 25 - Effectifs cumulés interannuels en rive droite.

5.2. Bilan migratoire 2022

Du 1er avril au 30 septembre inclus (soit 182 jours), le dispositif de RD a fonctionné en continu contre 169 jours en RG (soit 92,9 % du temps). En RD, le premier individu a été observé le 04 avril pour le 22 avril en RG. Au total, 379 393 anguilles ont franchi le barrage, dont 9,48 % (35 967 inds) en RG et 90,52 % (343 426 inds) en RD (Cf. figure n°27). Cette année, la RD est donc de nouveau la voie migratoire privilégiée des anguilles. A l'instar des précédentes années, le pic migratoire est observé à la mi-août.

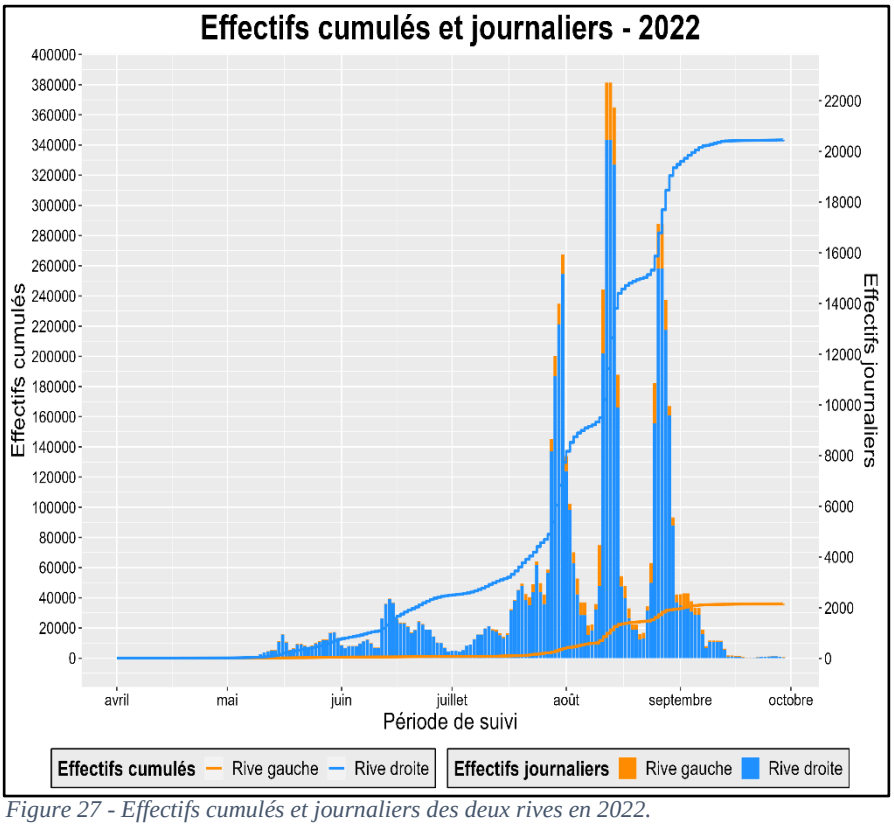


Figure 27 - Effectifs cumulés et journaliers des deux rives en 2022.

5.3. Morphotype des individus en 2022

5.3.1. Tailles selon la rive

Note : les données de taille ne concernent que les individus biométrés.

Le graphique n°28 présente en ordonnée la taille des individus (mm) sur chacune des rives. La taille moyenne en RG est de 99,6 mm (± 31,5 ; médiane= 89) et de 100,7 mm (± 37,6 ; médiane= 85) en RD. Les individus empruntant la rive droite sont donc

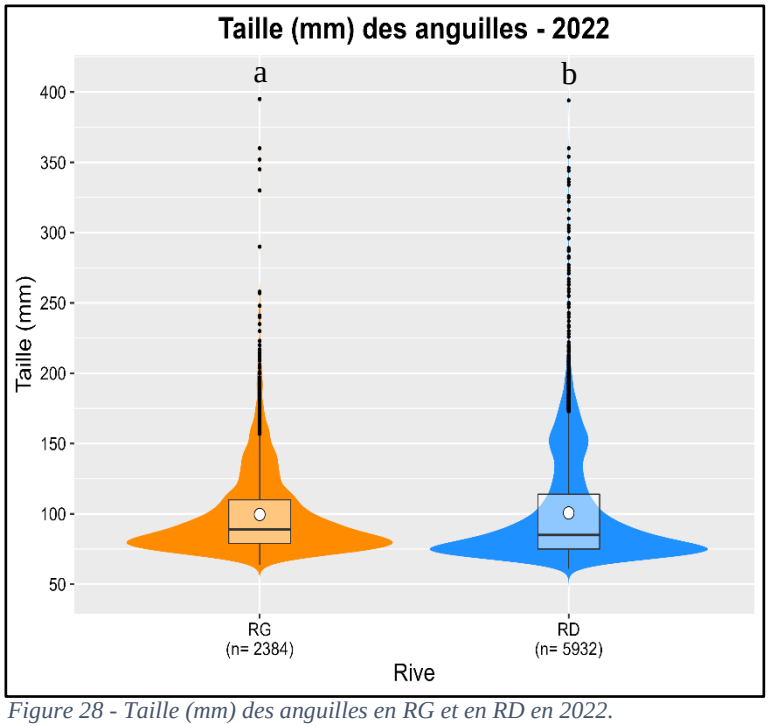


Figure 28 - Taille (mm) des anguilles en RG et en RD en 2022.

significativement plus petits qu'en rive gauche (wilcox-test, p < 0,05). Ces résultats suivent la même tendance que les années précédentes (Cf. annexe n°14).

En présentant la répartition des classes de tailles en fréquences, le graphique n°29 complète les résultats ci-dessus. En effet, les individus de l'année (<= 80 mm) composent 41 % des effectifs en RD contre seulement 29 % en RG où 46 % des anguilles mesurent entre 80 et 110 mm. En combinant les deux rives, les individus de l'année représentent plus d'un tiers (38 %) des captures de 2022. Au regard des suivis précédents, ce résultat est assez conforme (43, 40 et 28 % respectivement en 2019, 2020 et 2021).

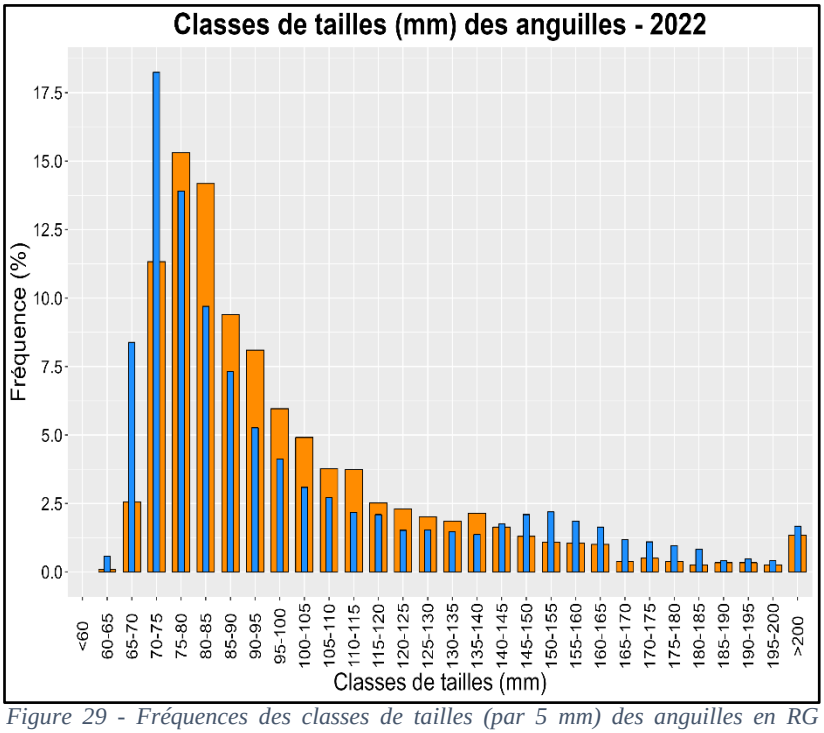


Figure 29 - Fréquences des classes de tailles (par 5 mm) des anguilles en RG (orange) et en RD (bleu) en 2022.

5.3.2. Tailles mensuelles

En début de saison, la majorité des individus capturés ont au moins passé un hiver en Seine et sont en reprise de montaison. Au fil des mois, les individus de l'année sont davantage représentés. De fait, la taille mensuelle des anguilles (RG + RD) diminue significativement (Kruskal-test, p < 0,05) comme le montre la figure n°30). Par

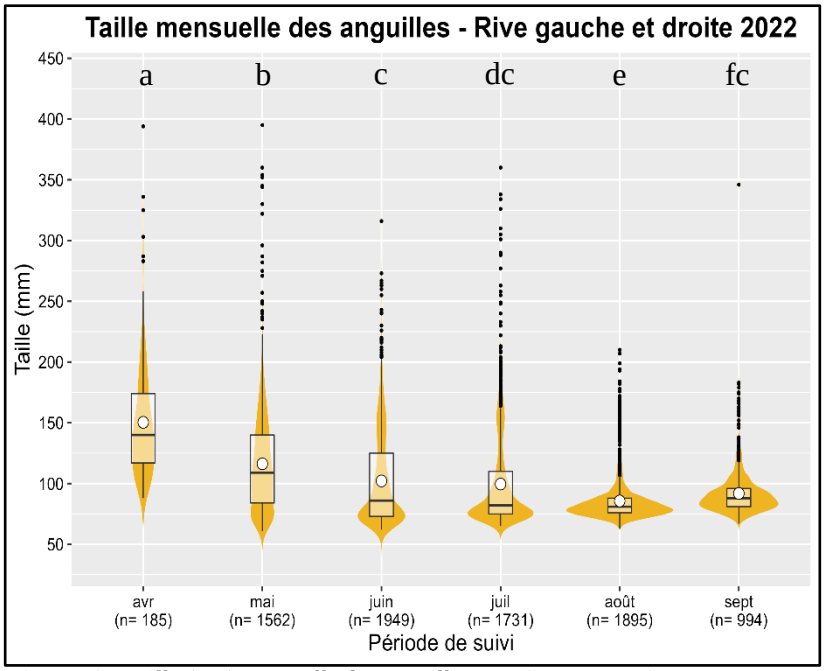


Figure 30 - Taille (mm) mensuelle des anguilles en RG + RD en 2022.

ailleurs, les tests affirment que tous les mois sont statistiquement différents entre eux (hormis juin avec juillet et septembre), ce qui témoigne d'une baisse constante de la taille d'avril à août (Cf. annexe n°15). Cette diminution est également constatée en considérant indépendamment les deux rives (Cf. annexes n°16 et 17).

5.3.3. Condition des anguilles

La corrélation entre la longueur (L) et le poids (P) est du type $y = -16 + 3{,}4x$ en RG et $y = -16 + 3{,}5x$ en RD (Cf. figure n°31 et annexe n°18). De fait, la croissance est dite allométrique positive autant en RG (b= 3,4), qu'en RD (b= 3,5). Cela signifie que la prise de poids est favorisée à l'augmentation de la taille.

Coefficient allométrique (b)		
Relation taille/poids	**RG**	**RD**
R^2	0,95	0,96
p-value	< 2,2e-16	< 2,2e-16
b	3,4	3,5
Type croissance	Allométrie positive	Allométrie positive

Figure 31 - Coefficient allométrique et relation taille/poids en RG et en RD.

D'après le graphique n°32, le coefficient de condition varie au cours des mois avec une diminution des valeurs d'avril à août (sauf en RG en avril où les valeurs sont peu nombreuses et en juillet/septembre en RD). La diminution des valeurs est significative (Kruskal-test, $p < 0{,}05$). Toutefois, le test de comparaison multiple révèle que cette différence n'est pas significative entre tous les mois (Cf. annexe n°19). Enfin, les coefficients de condition sont différents d'une rive à l'autre (wilcox-test, $p < 0{,}05$) (en moyenne, 0,096 en RG et 0,099 en RD ; cf. annexe n°20).

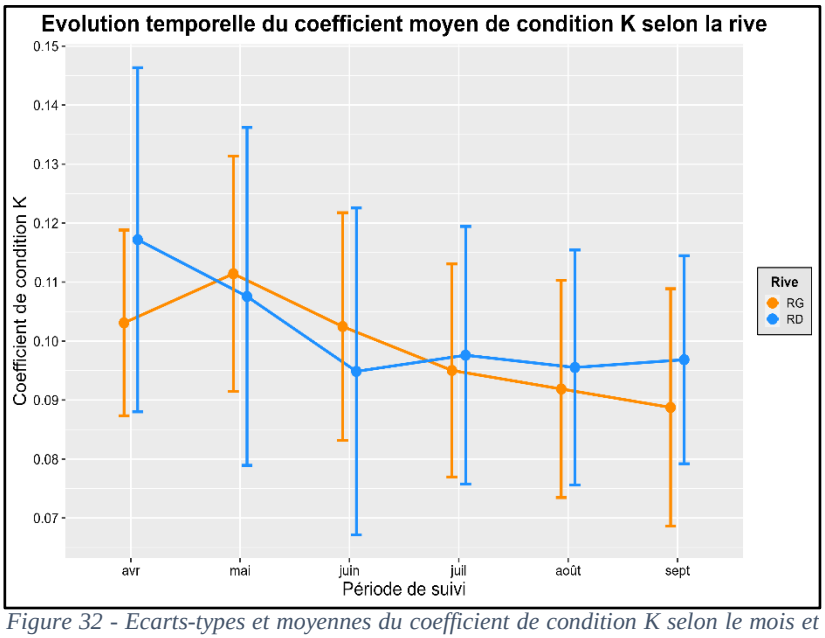


Figure 32 - Ecarts-types et moyennes du coefficient de condition K selon le mois et la rive.

5.4. Influence des facteurs environnementaux

Rappel : les données traitées ici s'arrêtent au 21 août compris.

Les annexes n°21 à 28 présentent la dynamique de migration en fonction de chaque facteur environnemental (coefficient de marée, t°C seine, t°C air et débit). L'influence de ces paramètres sur les captures est résumée par l'ACP ci-contre (figure n°33), dont l'inertie des dimensions est satisfaisante (89 %). Toutes les variables sont bien représentées. Le 1er axe est fortement associé à la température de l'air et de l'eau (fortement corrélées entre-elles) et au débit. Le deuxième axe est davantage corrélé au coefficient de marée. En superposant ces résultats avec le graphique des individus (Cf. figure n°34), il semble qu'en avril, les remontées d'anguilles diminuent avec l'augmentation des débits. En effet, les premiers jours du suivi, les captures sont très faibles et le débit est naturellement plus élevé que les mois suivants. Le mois de mai n'est visiblement pas influencé par une variable en particulier. De juin à août, les températures (t°C de l'air et de la Seine) influencent progressivement la montaison. Ainsi, le nombre d'anguilles augmente avec l'élévation des températures (t° Seine → R^2= 0,89 ; t° air → R^2= 0,63) et la diminution du débit (R^2= 0,76). Les coefficients de marée n'ont aucune influence (R^2= 0,004).

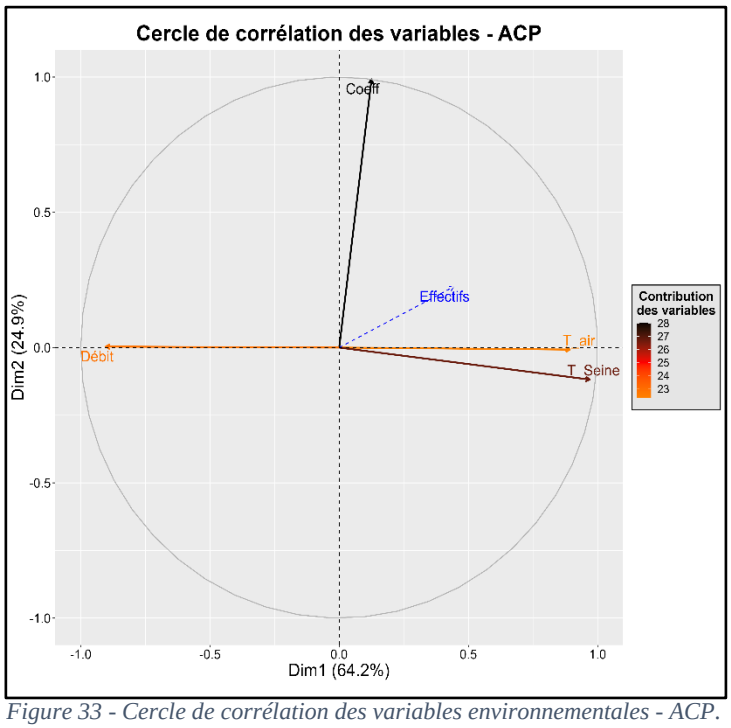


Figure 33 - Cercle de corrélation des variables environnementales - ACP.

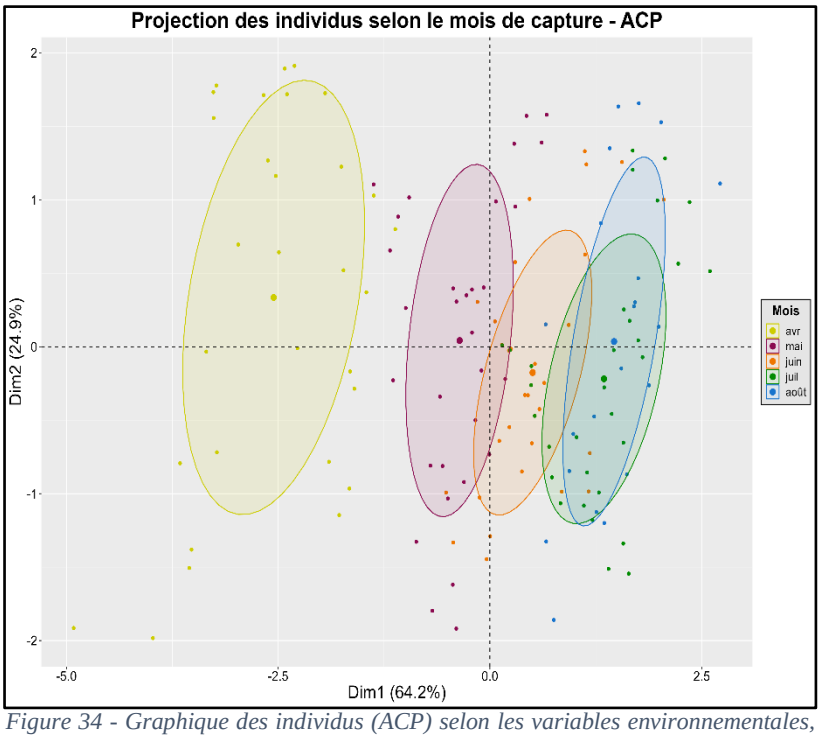


Figure 34 - Graphique des individus (ACP) selon les variables environnementales, par mois de capture en 2022.

5.5. Etat sanitaire du recrutement

Le tableau n°36 résume les calculs d'indice pathologique (IpG) et parasitaire (IpP) et la figure n°35 recense les pathologies observées sur les deux rives confondues (traitées séparément en annexes n°29 et 30). Globalement, 5,55 % des poissons examinés présentent des lésions (462 sur 8 317). Les indices montrent respectivement une bonne (IpG= 0,05) et excellente (IpP= 0,04) condition des poissons sur le plan pathologique et parasitaire. En RD, l'IpG est proche d'une condition excellente (à 0,02 près). Les valeurs indicielles sont presque identiques sur les deux rives, tout comme la distribution des catégories pathologiques : près de deux tiers des poissons lésionnés sont atteints de parasitisme, un quart à un tiers de lésions majeures et quelques individus de lésions mineures. Il en est de même pour les intensités lésionnelles : 20 % de lésions moyennes à très fortes en RG contre 27 % en RD. Enfin, les pathologies les plus représentées sont respectivement : la présence de points blancs (29 %), de points noirs (27 %) et de marques d'érosion (26 %).

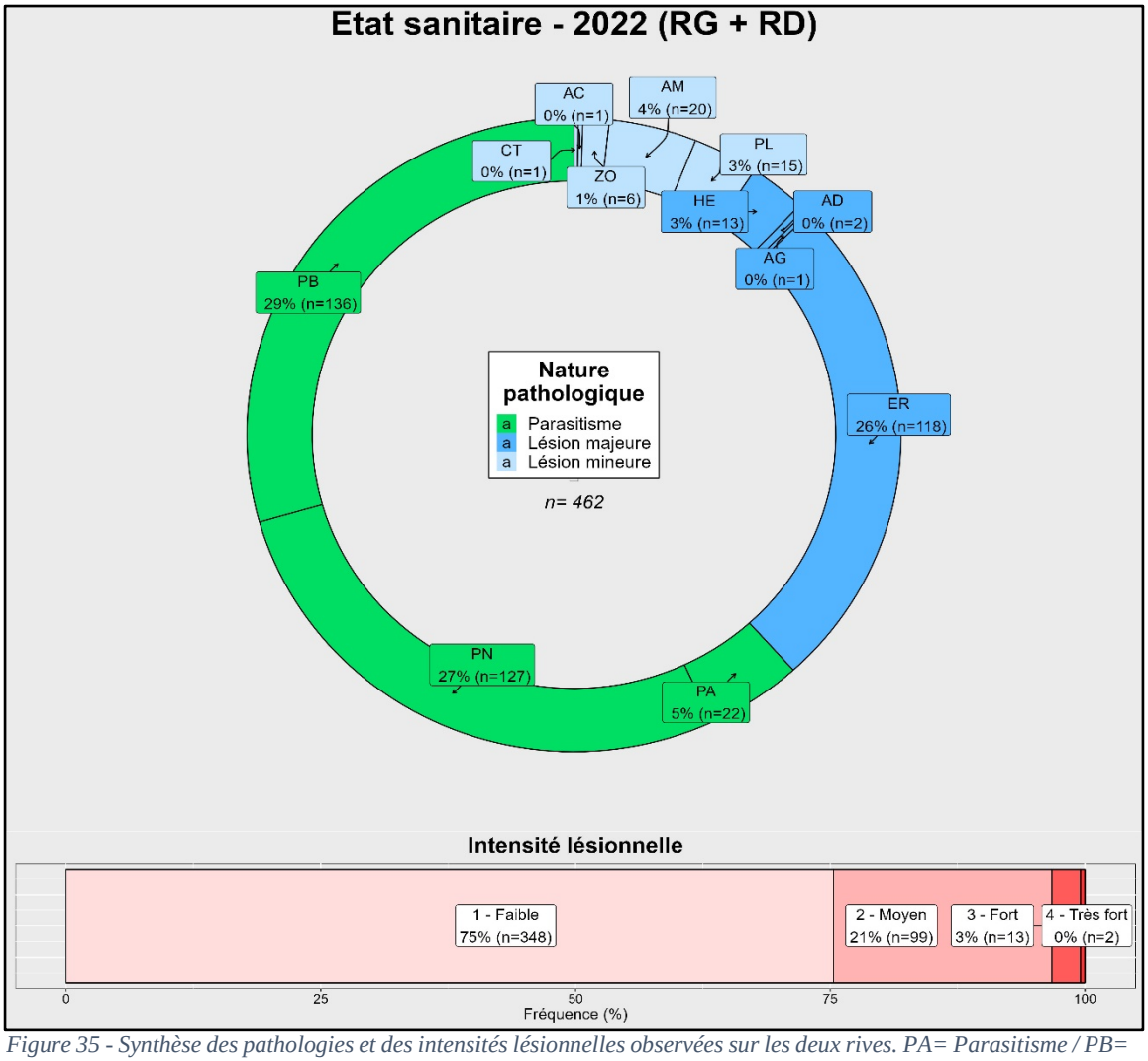


Figure 35 - Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées sur les deux rives. PA= Parasitisme / PB= Points Blancs / PN= Points Noirs / ER= Erosion / AG= Tumeurs, grosseurs / AD= Difformité / HE= Hémorragie / PL= Plaies / AM= Maigreur / ZO= Etat pathologique multiforme / AC= Altération de la Couleur / CT= Coloration terne ou pâle.

Synthèse – Etat sanitaire du recrutement			
	RG	**RD**	**RG + RD**
nb poissons examinés	*2 384*	*5 933*	*8 317*
nb poissons avec lésions	*131*	*331*	*462*
IpG	0,04	0,06	0,05
Condition des poissons	**Excellente**	**Bonne**	**Bonne**
IpP	0,04	0,04	0,04
Condition des poissons	**Excellente**	**Excellente**	**Excellente**
Parasitisme	63 %	60 %	61 %
Lésion majeure	22 %	33 %	30 %
Lésion mineure	15 %	7 %	9 %

Figure 36 - Synthèse de l'état sanitaire du recrutement en RG et en RD.

5.6. Bilan des flottangs

5.6.1. Effectifs 2022

Les deux flottangs (*AVR= Aval Rampe en rive droite et AME= Amont Ecluses*) ont été actifs du 1er avril au 02 sept. inclus. Pour l'AME, le premier individu a été observé le 11 avril pour le 19 avril dans l'AVR. Au total, 5 155 anguilles ont été piégées, dont 3,67 % (189 inds) dans l'AME et 96,33 % (4 966 inds) dans l'AVR (Cf. figure n°37). Ce dernier semble donc être davantage utilisé, même si les captures de l'AME montrent qu'une voie de passage vers l'amont existe via les écluses.

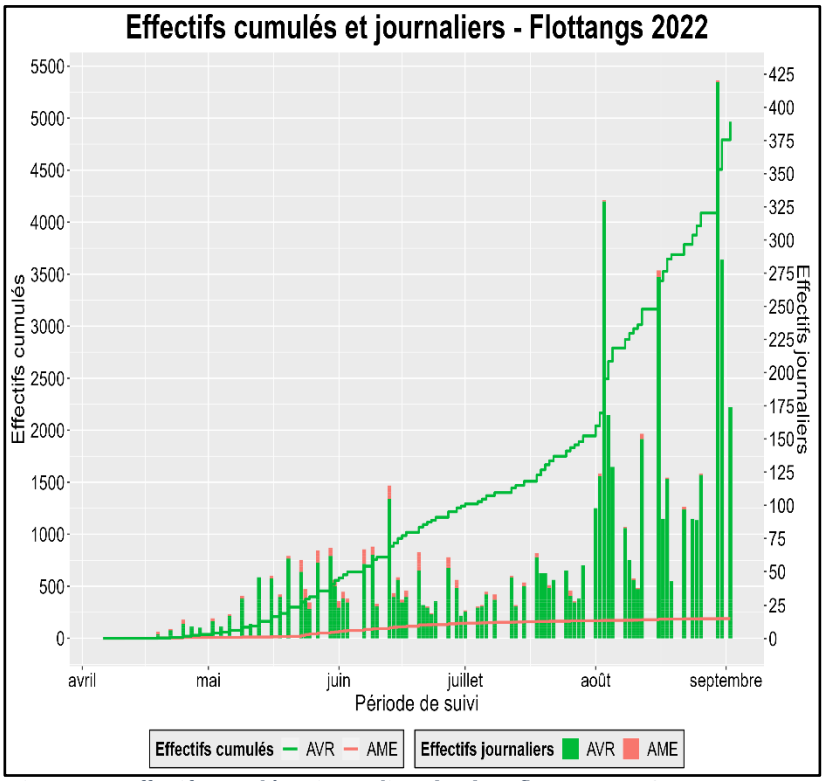


Figure 37 - Effectifs cumulés et journaliers des deux flottangs en 2022.

5.6.2. Tailles des individus

Le graphique n°38 présente en ordonnée la taille des individus (mm) pour chacun des flottangs. La moyenne de taille à l'aval de la rampe est de 82,3 mm (± 16,07) et de 82,5 mm (± 14,73) à l'amont des écluses. Les tailles médianes sont de 77 mm pour l'AVR et 78 mm pour l'AME. Le lieu de capture ne semble donc pas influencer la taille des individus (wilcox-test, p > 0,05).

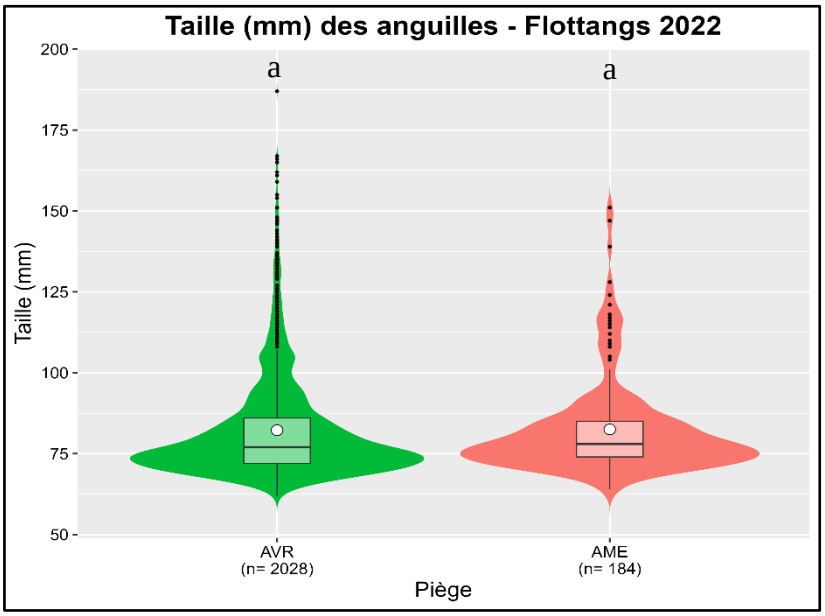


Figure 38 - Taille (mm) des anguilles dans l'AVR et l'AME en 2022.

5.6.3. Etat sanitaire

Les annexes n°31 à 33 recensent les pathologies observées sur les deux flottangs et le tableau n°39 résume les calculs d'indice pathologique (IpG) et parasitaire (IpP). Globalement, 5,42 % des poissons examinés présentent des lésions (120 sur 2 212). Les indices montrent respectivement une excellente (IpG= 0,03) et bonne (IpP= 0,06) condition des poissons sur le plan pathologique et parasitaire. Les valeurs indicielles sont presque identiques sur les deux flottangs, hormis l'état parasitaire précaire observé dans l'AME (IpP= 0,23). La distribution des catégories pathologiques est également similaire d'un flottang à l'autre : environ trois quarts des poissons lésionnés sont atteints de parasitisme, 16 à 18 % de lésions majeures et 3 à 8 % de lésions mineures. Les intensités lésionnelles sont également plus fortes avec l'AME : 50 % de lésions moyennes à très fortes contre 27 % dans l'AVR. Enfin, les pathologies les plus représentées sont respectivement : la présence de points blancs (38 %), de points noirs (24 %) et de marques d'érosions (14 %).

Synthèse – Etat sanitaire du recrutement			
	AVR	**AME**	**AVR + AME**
nb poissons examinés	*2 028*	*184*	*2 212*
nb poissons avec lésions	*88*	*32*	*120*
IpG	0,02	0,09	0,03
Condition des poissons	**Excellente**	**Bonne**	**Excellente**
IpP	0,04	0,23	0,06
Condition des poissons	**Excellente**	**Précaire**	**Bonne**
Parasitisme	74 %	81 %	75 %
Lésion majeure	18 %	16 %	18 %
Lésion mineure	8 %	3 %	7 %

Figure 39- Synthèse de l'état sanitaire du recrutement dans l'AVR et l'AME.

5.7. Captures de crabes

Sur la même période (entre le 01 avril et le 30 sept. compris), les captures mensuelles de crabes sont sensiblement identiques entre 2021 et 2022 (342 dont 47 dans les nasses contre 348 cette année) (Cf. figure n°40). A l'exception du mois d'avril, les captures ont tendance à augmenter de mai à juillet puis à baisser à partir d'août, tant en 2021 qu'en 2022. Concernant les tailles moyennes mensuelles, une augmentation significative est également observée de mai à juillet (Kruskal-test, $p < 0,05$; cf. annexe n°34). Par ailleurs, une différence des tailles moyennes annuelles existe (wilcox-test, $p < 0,05$). En effet, la moyenne de taille des crabes en 2021 est de 36,7 mm (± 5,8) contre 32,2 mm (± 5,1) en 2022. Enfin, depuis 2021 les mâles sont dominants (sex-ratio= 1,56:1).

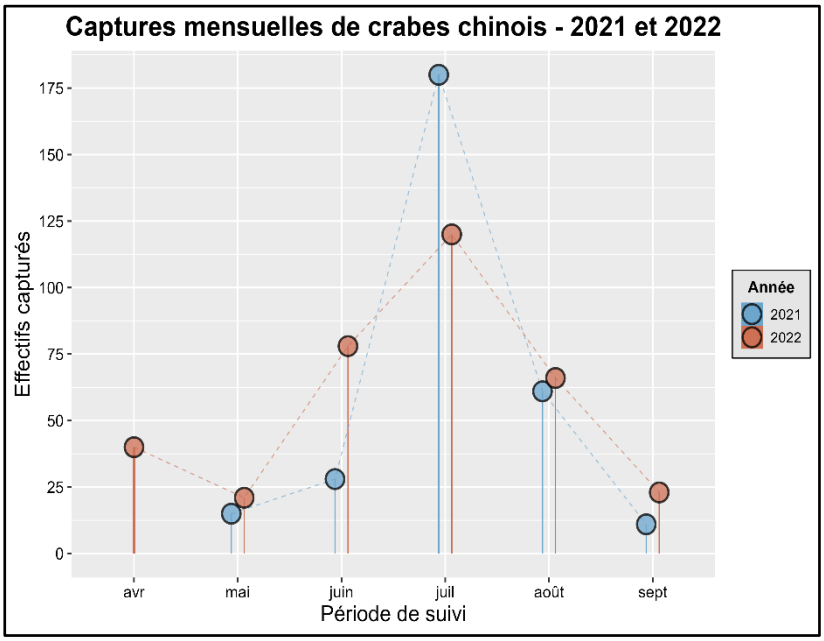


Figure 40 - Captures mensuelles de crabes chinois dans la cuve-piège en rive droite en 2021 et 2022.

6. Discussion

Recrutement de la Seine en anguille européenne au 30 septembre 2022 :

Le suivi du recrutement de la Seine en anguille européenne est réalisé pour la 9ème année consécutive en rive gauche et la 5ème année en rive droite du barrage de Poses, 1er obstacle depuis la Manche. Du 1er avril au 30 sept. inclus, 379 393 anguilles ont franchi le barrage, dont 9,48 % (35 967 inds) en RG et 90,52 % (343 426 inds) en RD, voie privilégiée par les anguilles car les dispositifs sont plus adaptés. Trois vagues migratoires sont observées : la 1ère entre le 29 juillet et le 2 août (49 665 inds), la 2nd entre le 11 et 14 août (81 723 inds) et la 3ème entre le 26 et 30 août (58 030 inds). Au vu des résultats, il semble que le recrutement annuel soit satisfaisant. En effet, sur la même période, seuls les effectifs de 2018 et 2019 sont meilleurs que cette année (respectivement 508 538 et 382 078 inds). Les captures sont à la hausse de 181 % par rapport à 2020 et de 415 % par rapport à 2021. Cette hausse est également constatée sur les stations de Golfech (Garonne) et de Tuilières (Dordogne), puisque les effectifs 2022 (jusqu'au 28/06) ont respectivement déjà augmentés de 519 % et de 299 % par rapport à 2021 (*données MIGADO*). En rive gauche, les réguliers dysfonctionnements du dispositif (4 pannes réparties sur 11 jours) ne semblent pas avoir impacté la montaison des individus, puisque le pic de migration est observé sur la même période qu'en rive droite et que les captures sont supérieures à toutes les autres années.

En amont du barrage, le bassin de la Seine s'étend sur environ 65 000 km². De fait, le recrutement 2022 représente une densité de 5,84 inds/km² en amont des dispositifs. En comparaison, entre 1996 et 2016, les captures du barrage d'Arzal sur la Vienne (bassin versant de 11 000 km²), sont de l'ordre de 893 881 inds/an soit 81,2 inds/km² (*Briand et al., 2017*). Sur le fleuve Somme (bassin versant de 5 560 km²) entre 2011 et 2019, ces captures sont de 5 070 inds/an, soit 0,91 inds/km² (*données FDPPMA80*). Par conséquent, même si de fortes disparités existent entre les bassins versants, le recrutement de la Seine est plutôt faible.

Respectivement de 2019 à 2021 en RG, la part d'individus de l'année (<= 80 mm) est de 3 %, 12 %, puis 24 %. Plus conséquente en RD, cette proportion ne cesse de diminuer chaque année : 49 %, 46 % puis 29 % de 2019 à 2021. Cette année, 38 % du recrutement total (RG + RD) est composé d'individus de l'année (29 % en RG et 41 % en RD). Entre 2021 et 2022, la part des jeunes individus est donc supérieure sur chacun des dispositifs. Le faible recrutement de petits

sujets en RG témoigne une certaine sélectivité du dispositif (bien que celui-ci est en hausse depuis 2019). En effet, les résultats récoltés depuis quelques années condamnent des mauvaises conditions d'accessibilité de la rampe. L'usine hydroélectrique génère de forts courants qui masquent l'attractivité de la rampe et qui s'opposent avec les capacités de nage limitées des jeunes anguilles (0,1 à 0,2 m/s pour les civelles et 0,3 à 0,6 m/s pour les anguillettes). A cela s'ajoute les palplanches en berge, qui suppriment des zones de caches et des points de fixations pour la progression des anguilles (Cf. annexe n°35). Si des travaux d'enrochements des berges ont été évoqués en juillet 2016, aucun aménagement n'a été réalisé à ce jour. En RD, les individus de l'année sont mieux représentés qu'en 2021, et les chiffres sont similaires à 2019 et 2020. Cependant, le débit d'attrait est jugé insuffisant : celui-ci est généralement compris entre 4 à 4,2 m^3/s, alors que 4,1 à 6,7 m^3/s seraient adéquats (*d'après l'expertise de SCIMABIO Interface et OTEIS ;* Cf. annexe n°36). Par ailleurs, la vanne de régulation située en aval des dispositifs de franchissement est défectueuse (constamment en position basse). Des travaux de restauration sont à l'étude, impliquant de remonter la vanne, créant ainsi une chute et augmentant la vitesse d'écoulement, ce qui serait défavorable à la montaison. C'est pourquoi SCIMABIO Interface et OTEIS proposent l'installation d'une nouvelle rampe (située à la verticale contre l'entrée de la rampe actuelle), permettant aux anguilles de progresser vers l'amont (Cf. annexe n°37). En somme, la restauration de la vanne de régulation couplée à l'aménagement d'une nouvelle rampe permettrait d'augmenter l'attractivité du dispositif tout en maintenant de bonnes conditions d'accessibilité.

Condition des anguilles :

Le recrutement présente une allométrie positive, c'est-à-dire que la prise de poids est favorisée à l'augmentation de la taille. En RD, les coefficients de condition sont supérieurs (alors qu'une condition plus forte en RG serait bénéfique aux anguilles pour lutter contre les courants de la centrale). Néanmoins, le coefficient baisse au fil de la saison, potentiellement car les individus de l'année sont de plus en plus représentés. Lors de leur colonisation estuarienne, ils stoppent leur alimentation, diminuant ainsi le coefficient moyen du peuplement (*Charlon et Blanc, 1983* ; *Prouzet, 2004*).

Etat sanitaire du recrutement :

Chaque année, l'état sanitaire du recrutement est très bon. En 2022, les indices pathologiques et parasitaires confirment cette tendance et montrent une condition des poissons bonne à excellente (tant sur les deux rives qu'avec les deux flottangs). Au total, 582 anguilles présentent des anomalies anatomo-morphologiques, pour 10 529 individus biométrés (soit 5,53 %). Le parasitisme est la nature pathologique la plus observée (376 inds, soit 64,6 %), suivi des lésions majeures (155 inds, soit 26,6 %) puis des lésions mineures (51 inds, soit 8,8 %). Les flottangs présentent une part d'infestation parasitaire plus élevée que dans les dispositifs (75 % contre 61 %). D'après *Elie et Girard* (2014), le développement et la transmission de parasites peuvent être favorisés par l'accumulation d'individus pour l'AVR, et par les courants lentiques en amont des écluses pour l'AME (où le taux de parasitisme induit une condition précaire des poissons d'après l'indice parasitaire). Toutefois, cette hypothèse se repose sur les données d'une année de suivi, ce qui est statistiquement insuffisant. De plus selon *Bruslé* (1994), les auteurs supposent que les parasitoses ne soient pas responsables d'épizooties graves dans le milieu naturel. Leurs effets négatifs se manifesteraient surtout en conditions d'élevage (*Bruslé, 1990*). Leurs impacts sur le recrutement semblent donc minimes, d'autant que les individus de l'année, davantage sensibles, sont peu touchés (les ''points blancs'' ou ''points noirs'' peuvent engendrer une forte mortalité juvénile ; *Elie et Girard, 2014*).

Recrutement par les flottangs :

Initié depuis 2016 au barrage de Poses, le suivi flottang apporte des informations complémentaires aux dispositifs de franchissement.

Une étude menée par MIGADO en 2018 a d'ailleurs démontrée que le flottang est un outil efficace pour montrer un effet d'accumulation en pied d'ouvrage (*Lauronce et al., 2018*). Dans les suivis précédents, cet effet a été démontré à l'usine hydroélectrique de la RG. Cette année, le flottang en aval de la rampe en rive droite (AVR) est utilisé dans le même cadre. Au vu des effectifs qui sont largement inférieurs à ceux dans la cuve (4 966 captures entre le 01 avril et le 02 sept.), le flottang semble être utilisé comme zone temporaire de repos, plutôt que de révéler une surdensité des individus en aval de la rampe. En effet, à marée basse, le débit d'attrait en aval direct présente des vitesses de courants trop élevées pour la plupart des individus capturés (taille moyenne de 82,2 mm). A cela s'ajoute un déficit de caches et des berges en palplanches. Les individus arrivent donc la veille (le piège est relevé quotidiennement) probablement pour

attendre la marée haute et/ou le crépuscule pour franchir plus aisément l'entrée du dispositif. Pendant ce temps, les anguilles sont en phase de repos et évitent les prédateurs.

A l'instar des précédentes années, le piège AME a permis de montrer une voie de passage des anguilles par les écluses. Malgré un débit beaucoup moins attrayant que celui de la RG ou de la RD, 189 individus ont été capturés. Toutefois, ce nombre est largement sous-estimé puisqu'un seul piège est installé en amont des écluses. A ce jour, aucun dispositif ne permet d'estimer finement le recrutement par cette voie, alors que les anguilles sont libres de poursuivre leur montaison une fois les écluses franchies (jusqu'au prochain barrage situé 41 km en amont).

Influence des facteurs environnementaux sur le recrutement :

Températures :

Comme démontré par *White et Knights* (1994), la température de l'eau est corrélée à la montaison des anguilles (R^2= 0,89, $p < 0,05$). D'après *Feunteun* (2008), les premières captures sont déclenchées à partir de 14°C. Ce constat est le même à Poses : cette température a été atteinte à partir du 17 avril, date avant laquelle seules 4 anguilles ont été piégées. A 20°C, les captures augmentent significativement (*White et Knights, 1994*). Cela coïncide de nouveau avec les résultats : au-dessus de cette valeur, 99,1 % du recrutement a été comptabilisé. La température de l'eau étant corrélée à la température de l'air (R^2= 0,84, $p < 0,05$), les pics de chaleur de cette année ont provoqué une augmentation de la température moyenne de l'eau par rapport aux autres années (19,5°C en 2020, 18,2°C en 2021 et 20,4°C en 2022), pouvant favoriser le recrutement.

Débits et coefficients de marée :

En cas de forts débits, la progression des civelles en estuaire peut-être ralentie voir bloquée (*Ben Abdallah, 1991* ; *Elie et Rochard, 1994* ; *Hirschinger, 2015*). Les faibles débits de cette année, en lien avec une pluviométrie déficiente, ont potentiellement favorisé la montaison (R^2= 0,76, $p < 0,05$). Certaines études ont montré un effet combiné de l'intensité du débit et du coefficient de marée : quand le débit diminue et que les coefficients augmentent, la marée se propage dans l'estuaire en favorisant la migration (*Prouzet, 2003*). Toutefois, ce paramètre ne porte aucune influence statistique sur les remontées (R^2= 0,0044, $p > 0,05$), ce qui va à

l'encontre des ressentis de terrain (ce constant est le même sur les suivis précédents). Une étude en marais poitevin met en avant que les coefficients de marée ont un rôle modulateur sur la migration (plus ou moins favorisant), mais que celui-ci n'est pas déterminant (*Peyre, 2018*). Dans la littérature, l'influence de ce paramètre n'est donc pas systématique.

Captures de crabe chinois :

Pour cette deuxième année du suivi du crabe chinois (*Eriocheir sinensis* ; *Edwards, 1853*), 348 unités ont été détruites, contre 342 en 2021 (305 dans la cuve et 47 dans les nasses). D'une année à l'autre, les effectifs se stabilisent. D'après la bibliographie et les observations in-situ, l'impact sur l'anguille est certainement négligeable dans le contexte du barrage de Poses. En effet, les crabes rencontrés sont en phase de montaison, période qui ne concernent que les juvéniles (*Sakai, 1976* ; *Noël et Breton, 2016*). D'après les observations d'*Hoestlandt* en Flandres françaises (1959), la taille maximale des juvéniles est de 58 mm. Depuis les deux années de suivi, un seul spécimen avec une taille supérieure a été capturé. A ce stade, les crabes sont essentiellement végétariens et ne deviennent des prédateurs que lors de leur phase de sédentarisation (*Hoestlandt, 1943*). Inaccessible depuis l'amont, la rampe anguille n'est pas empruntée par les crabes adultes lors de leur dévalaison à la fin de l'été (à ce stade, ils présentent une menace). Malgré son statut d'espèce exotique envahissante, *Eriocheir sinensis* ne représente à priori pas de menace pour l'anguille. Concernant le sex-ratio, il est difficile d'expliquer la dominance des mâles (1,56:1), même si selon *Kamps* (1935), les femelles sont plus sensibles aux variations de salinité (d'après l'une de ses expériences exposant 40 femelles et 30 mâles à une salinité de 26 ‰, 17 femelles sont mortes contre 3 mâles). A noter qu'en estuaire de Seine, la salinité est très variable (0,5 à 40 ‰) en fonction de la marée (elle diminue lors du jusant et augmente lors du flot ; *GIP Seine-Aval, 2013*).

Limites et perspectives de l'étude :

Dysfonctionnements matériels :

Comme chaque année, des défaillances récurrentes des pompes sont survenues en RG. Heureusement, la panne la plus longue (7 jours, liée à un problème de débit d'attrait en aval) est survenue début juillet, soit en-dehors d'une période migratoire intense. Les trois autres pannes n'ont duré que quelques heures et ne semblent pas avoir significativement impacté la montaison. Cependant, sur ces temps de non-fonctionnement, ce sont potentiellement quelques centaines d'individus qui ont été davantage exposés à la prédation et/ou à l'épuisement (à cela s'ajoute les conditions d'accessibilité et d'attractivité du site encore plus problématique).

Pour la biométrie, la balance ne garantit pas l'obtention de données robustes. Premièrement, elle est très sensible à l'eau, au vent ou encore aux vibrations, rendant les mesures moins fiables. In-situ, l'opérateur ajoute involontairement de l'eau lors de la pesée, ce qui accroît fortement les poids des petits individus. Pour les anguilles inférieures à 0,5 g, la précision de la balance (± 0,1 g) est insuffisante. Pour toutes ces raisons, la prudence est de rigueur quant à l'interprétation des coefficients de condition qui ne semblent pas adaptés pour les civelles.

Biais du protocole de suivi :

En raison d'une mortalité apparente, l'utilisation de tamis de 3 à 4 mm est arrêtée depuis quelques années. Aujourd'hui, la maille utilisée est de 6 mm, écart qui parait important puisqu'il laisse passer des individus de 140 voir 150 mm. A noter que l'estimation du nombre d'individus se repose sur le poids des lots d'anguilles biométrés (environ 60 / relève). Cette année, pour atténuer les disparités de poids entre les individus et estimer plus finement le nombre d'anguilles, près de 150 individus sont comptés manuellement puis pesés, en plus des lots d'anguilles.

Les individus d'une taille inférieure ou égale à 80 mm sont considérés comme ayant moins d'un été. Or, il s'agit d'une valeur arbitraire, susceptible d'évoluer au cours de la saison. L'étude de l'âge des anguilles de montaison en Seine est donc une perspective intéressante. Diverses méthodes existent (scalimétrie, squelettochronologie) mais l'otolithomètrie est la plus complète et adaptée pour les anguilles. Il s'agit d'une estimation de l'âge par microscopie électronique à balayage (*El-Hilali, 2007*).

Lors de la relève du flottang AVR, le dispositif est hissé depuis la berge sur plusieurs mètres de hauteur (alors que l'AME est doucement tiré vers la berge). A ce moment, quelques anguilles peuvent s'échapper et les captures sont donc légèrement sous-estimées. Près des écluses, l'AME est quelque fois retourné ou échoué par le passage des bateaux.

Acquisition de données supplémentaires :

Si les écluses sont connues pour être une voie de passage des anguilles, aucun dispositif de dénombrement ne permet d'estimer le flux d'individus. L'ajout d'un piège en aval direct des écluses (rampe + cuve piège), permettrait d'avoir une idée (très) approximative du stock d'anguilles. En complément, un flottang en aval de la rampe mettrait en évidence un potentiel effet d'accumulation (ce qui reste peu probable par rapport aux éclusées). Enfin, l'ajout d'un flottang en aval de la rampe rive gauche permettrait de comparer les proportions d'accumulation d'individus entre les deux rives. En cas d'application, ces suggestions nécessiteraient des moyens humains supérieurs.

Aménagements possibles :

En RG, des travaux sont nécessaires pour améliorer les conditions d'accessibilité et d'attractivité de la rampe. La configuration du site complique tout projet d'aménagement même si quelques pistes pourraient être approfondies (mise en place d'enrochements, isolation hydraulique le long des palplanches, implantation d'un support pour la reptation…). En RD, les principales problématiques sont un déficit de débit d'attrait et des vitesses de courant excessives à marée basse. Comme précisé auparavant, une expertise est en cours. Pour les anguilles dévalantes, le remplacement des turbines par des vis ichtyocompatibles réduiraient la mortalité en favorisant le taux d'échappement vers la mer (objectif visé par le PGA).

7. Conclusion

Auparavant abondante, l'anguille est aujourd'hui en danger critique d'extinction dans le monde et en France. Face à ce déclin, la commission européenne exige à chaque état membre l'élaboration d'un plan de gestion national (PGA), décliné localement en unités de gestion (UGA). L'un des axes fixés par ce plan est le programme de suivi ou « monitoring anguille », à la charge de SEINORMIGR pour l'Unité de Gestion Anguille Seine-Normandie.

Dans ce cadre, le barrage de Poses marque un point stratégique pour évaluer le recrutement de la Seine puisqu'il constitue le premier obstacle depuis la Manche. En cette neuvième année de suivi, le bilan 2022 est relativement satisfaisant. Du 1er avril au 30 sept. inclus, 379 393 anguilles ont franchi le barrage, dont 35 967 en rive gauche (meilleure année depuis 2014) et 343 426 en rive droite (3ème meilleure année depuis 2018). Parmi ces captures, la part d'individus de moins d'un été est de seulement 38 %. Ce chiffre est en hausse par rapport à 2021 et a tendance à se stabiliser au regard des premiers suivis. Sur le plan sanitaire, le recrutement est dans un état excellent (582 anguilles présentent des pathologies, sur 10 529 individus biométrés, soit 5,53 %) et les mortalités dans les pièges ont été faibles. Cette étude a permis de montrer l'influence positive des températures (air et Seine) sur la migration. De plus, les individus arrivent à Poses lorsque les débits diminuent. En tant que pièges passifs, les flottangs ont confirmé qu'une voie migratoire existe par le biais des écluses. En aval de la rampe rive droite, le flottang crée une zone de repos et permet de suivre les effectifs en pied d'ouvrage. D'ailleurs, les captures sont plutôt corrélées avec celles des dispositifs de franchissement (R^2= 0,55, $p < 0,05$), ce qui permet de prévoir les pics migratoires. Concernant le crabe chinois (*Eriocheir sinensis*), les captures 2021 et 2022 sont comparables et les observations in-situ ne montrent pas d'impacts sur l'anguille.

Pour conclure, les deux dispositifs présentent des contraintes pour la montaison des anguilles, même si la rive droite est plus efficiente et représente mieux le recrutement fluvial. Au vu de la sélectivité de la rive gauche sur les individus, il est urgent d'améliorer les conditions d'accessibilité et d'attractivité de la rampe. Une meilleure utilisation du site permettrait d'estimer plus finement le recrutement et de comparer les effectifs avec la rive droite. Dans ce même but, la mise en place d'un système de dénombrement par les écluses serait pertinente. A ce jour, aucun dispositif ne permet d'estimer le flux d'individus.

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 1, Rennes.

Agence de l'Eau Seine-Normandie. (2010). *Le SDAGE 2010-2015. Du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. Pour un bon état des eaux en 2015.*

Agence de l'Eau Seine-Normandie. (2016). *Le SDAGE 2016-2021 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.*

Agence de l'Eau Seine-Normandie. (2022). *Schéma Directeur d'Aménagement de Gestion des Eaux (SDAGE) 2022-2027 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.*

Aigoui, F., & Dufour, M. (2008). *Guide passes à poissons.* Division Restauration et Développement du Réseau. Béthune: VNF.

Albert, V., Jonsson, B., & Bernatchez, L. (2006). *Natural hybrids in Atlantic eels (Anguilla anguilla, A. rostrata): evidence for successful reproduction and fluctuating abundance in space and time.* Sau∂árkrókur: Molecular Ecology 15, 1903–1916.

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. Pêche Piscic.

Baudoin, J.-M., Burgun, V., Chanseau, M., Larinier, M., Ovidio, M., Sremski, W., . . . Voegtle, B. (2014). *Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes.* ONEMA.

Beaulaton, L., & Azam, D. (2019). *ACOR - Apport De Connaissances Aux Opérations De Repeuplement En Anguille. Synthèse Bibliographique.* AFB. INRA.

Beaulaton, L., & Pénil, C. (2009). *Protocoles spécifiques anguille pour l'onema.* ONEMA.

Bellamy, E., Sevin, K., Penil, C., & Mahe, K. (2014). *SUIVI 2013 DES CAPTURES D'ANGUILLES POUR LA DCF : ANALYSE DES OTOLITHES.* ONEMA.

Blanc, J. (2020). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne.* Mémoire de stage, SEINORMIGR, Rouen.

Bolliet, V., Lambert, P., Rives, J., & Bardonnet, A. (2007). *Rhythmic swimming activity in Anguilla anguilla glass eels: Synchronisation to water current reversal under laboratory conditions.* Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 344 54–66.

Breton, G. (2014). *Espèces introduites ou invasives des ports du Havre, d'Antifer et de Rouen (Normandie, France).* Le-Havre: Association Port Vivant.

Briand, C. (2009). *Dynamique de population et de migration des civelles en estuaire de Vilaine.* Thèse, AgroCampus Ouest.

Briand, C., Chapon, P.-M., Beaulaton, L., Drouineau, H., & Lambert, P. (2018). *Eel density analysis (EDA 2.2.1). Escapement of silver eels (Anguilla anguilla) from French rivers. 2018 report.* ResearchGate.

Briand, C., Fatin, D., Ciccotti, E., & 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.

Briand, C., Sauvaget, B., & Eriau, G. (2017). *Gestion de l'anguille (Anguilla anguilla, L.) sur le bassin versant de la Vilaine. Edition août 2017.* La Roche Bernard: EPTB Vilaine.

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.

Bureau Du Colombier, S. (2008). *Place du statut énergétique dans la dynamique migratoire de la civelle d'anguille européenne (Anguilla anguilla).* Thèse, Université de Pau et des pays de l'Adour, Pau.

Cesco, H., Lambert, A., & Crivelli, A. (2001). *Pseudorasbora parva (Téléostéen, Cyprinidae) espèce invasive, nouvel agent du maintien et de la dissémination de l'anguillicolose en France ?* Université des Sciences, Montpellier II - Station Biologique de la Tour du Valat. Paris: Société Française de Parasitologie.

De casamajor, M., Bru, N., & Prouzet, P. (2000). *Fluctuations des captures de civelles (Anguilla anguilla L.) et analyse de la variation de leur capturabilité dans l'estuaire de l'Adour.* Bull. Fr. Pêche Piscic.

Dekker, W. (2003). *Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, Anguilla anguilla?* IJmuiden: Fisheries Management and Ecology, 10, 365–376.

DRIEE - Ile-de-France. (2011). *Plan de gestion des POISSONS MIGRATEURS du bassin Seine-Normandie (2011 - 2015).* Comité de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie. Gentilly: FISH-PASS et DRIEE-IF.

DRIEE - Ile-de-France. (2016). *Plan de gestion des POISSONS MIGRATEURS du bassin Seine-Normandie (2016 - 2021).* Comité de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie. Paris: DRIEE-IF.

Duhec, A., Delorme, M.-O., Hénaut, A., & Martin, C. (2009). La gestion des ressources d'anguille : enjeu européen et problématiques locales. *Ingénieuries (Antony), (59-60),* pp. 119-130.

Edeline, E. (2005). *Facteurs de contrôle de la dispersion continentale chez l'anguille.* Thèse, Université de Paul Sabatier - Toulouse III, Toulouse.

El-Hilali, M. (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. (1979). *Contribution à l'étude des montées de civelles d'Anguilla anguilla Linné (Poisson, Téléostéen, Anguilliforme), dans l'estuaire de la Loire : Pêche, Ecologie, Ecophysiologie et Elevage.* Thèse, Laboratoire de Zoologie générale et d'Ecophysiologie, Rennes.

Elie, P., & Girard, P. (2014). *La santé des poissons sauvages : les Codes pathologie, un outil d'évaluation.* Association Santé Poissons Sauvages.

Elie, P., & Rochard, E. (1994). *Migration des civelles d'Anguilles (Anguilla anguilla L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus.* CEMAGREF, Groupement de Bordeaux, Division Aquaculture et Pêche, Equipe poissons migrateurs et pêche continentale. Gazinet: Bull. Fr. Pêche Piscic.

Elie, P., Daguzan, J., & Le Piver, M. (1980). *Alimentation et croissance des civelles d'Anguilla anguilla L. (Poisson T´el´eosteen-anguilliforme) ´elev´ees exp´erimentalement en " canalisation ", au laboratoire.* Clermont-Ferrand: Annales de zootechnie, 29 (3), pp.229-244. <hal-00887990>.

Farrugio, H., & Elie, P. (2011). *Etat de l'exploitation de l'anguille européenne (Anguilla anguilla, Linée 1758) et éléments pour l'élaboration de plans de gestion dans la zone CGPM.* Marseille: Commission générale des pêches pour la Méditéranée, comité scientifique consultatif (CSC).

Fauconnet, E. (2011). *Suivi des populations d'Anguilles (Anguilla anguilla) dans le département du Nord 2011 - Rapport Intermédiaire.* Le-Quesnoy: FDPPMA59.

Flesselle, A. (2016). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille Européenne (Anguilla anguilla).* Mémoire de stage, SEINORMIGR, Rouen.

FNPF. (2017). *Les poissons migrateurs, un patrimoine fragile à préserver !* Paris.

Fontaine, Y. (1994). *L'argenture de l'Anguille : Métamorphose, anticipation, adaptation.* Laboratoire de Physiologie Générale et Comparée, Muséum National d'Histoire Naturelle, URA 90 CNRS "Evolution des Régulations Endocriniennes". Paris: Bull. Fr. Pêche Piscic.

Gascuel, D., Feuteun, E., & Fontenelle, G. (1995). *Seasonal dynamics of estuarine migration in glass eels (Anguilla anguilla).* Rennes: Aquar. Living Resour., 8, 123-133.

Geffroy, B. (2012). *Déterminisme environnemental du sexe chez l'anguille européenne (Anguille anguilla L.).* Thèse, Université de Pau et des pays de l'Adour, Pau.

Godin, J., & Smigielski, F. (2013). *Première mention du Crabe chinois Eriocheir sinensis H. Milne-Edwards, 1853 dans la vallée de la Scarpe et situation actuelle de l'espèce dans le Nord - Pas-de-Calais, la Somme et la Belgique.* Le Héron.

Grall, S. (2022). *Bilan des migrations sur les stations de contrôle du Barrage de Poses - Amfreville-sous-les-Monts.* Rouen: SEINORMIGR.

Grall, S., Garot, G., Martin, B., & Deshayes, F. (2019). *Contrôle des migrations des salmonidés sur la Seine au barrage de Poses-Amfreville-sous-les-Monts, année 2019.* Rouen: SEINORMIGR.

Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval. (2013). *Contextes climatique, morphologique & hydro-sédimentaire : La salinité dans l'estuaire de la Seine.* Rouen: GIP Seine-Aval.

Harrison, A., Walker, A., Pinder, A., Briand, C., & Aprahamian, M. (2014). *A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation.* Rev Fish Biol Fisheries.

Hirschinger, J. (2015). *Données nouvelles sur le cycle biologique et les infestations parasitaires des Anguilles de polynésie française.* 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. Lille: Bulletin français de pisciculture.

Imbert, H. (2020). *Stratégie conditionnelle contrôlant la dispersion continentale de l'anguille européenne.* Thèse, Université de Bordeaux I, Bordeaux.

Jellyman, D. (1979). *Upstream migration of glass-eels (Anguilla spp.) in the Waikato River.* New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 13:1, 13-22, DOI: 10.1080/00288330.1979.9515776.

Keith, P., Persat, H., Feunteun, E., & Allardi, J. (2011). *Les poissons d'eau douce de France.* (M. n. naturelle, Éd.) Paris (collection Inventaire et biodiversité): Biotope, Mèze .

Lafage, D., & Legrand, M. (2021). *Paroles de Migrateurs - L'anguille en Brière.* La Chapelle-sur-Erdre: LOGRAMI.

Laharanne, A., & Vassart, A.-S. (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.

Lambert, P. (2005). *Exploration multiscalaire des paradigmes de la dynamique de la population d'anguilles européennes à l'aide d'outils de simulation.* Thèse, Université Bordeaux I, Bordeaux.

Lauronce, V., Burguete, M., & Doucet, T. (2018). *Actions pour la sauvegarde de l'anguille européenne sur le bassin Gironde Garonne Dordogne.* MIGADO.

Lecomte-Finiger, R. (1983). *ÉVOLUTION MORPHOMÉTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE DE LA CIVELLE (Anguilla anguilla L.,1758) EN MÉDITERRANÉE AU COURS DE SA PIGMENTATION Anatomical and energetical development of Mediterranean elver (Anguilla anguilla L., 1758) during pigmentation.* Vie et Milieu / Life & Environment, Observatoire Océanologique - Laboratoire Arago, pp.87-92. ffhal-03012859.

Lecomte-Finiger, R., & Bruslé, J. (1984). *L'anguille Anguilla anguilla des lagunes du Languedoc-Roussillon : Intérêt biologique et valeur halieutique.* Observatoire Océanologique - Laboratoire Arago, Vie et Milieu. HAL - Open science.

Legault, A. (1993). *L'anguille : Aménagement des obstacles à la migration.* Ministère de l'agriculture et du développement rural. Rennes: FISH-PASS.

Legrand, M., Briand, C., & Besse, T. (2019). *stacomiR : a common tool for monitoring fish migration.* JOSS - The Journal of Open Source Software.

Lenoir, M. (2015). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne (Anguilla anguilla).* Mémoire de stage, SEINORMIGR, Rouen.

Lobry, J. (2004). *Quel référentiel de fonctionnement pour les écosystèmes estuariens ? : Le cas des cortèges de poissons fréquentant l'estuaire de la Gironde.* Thèse, Université Bordeaux I, Bordeaux.

Loheac, B. (2008). *Première contribution à l'étude de la population de cristivomer du Lac Noir de l'Archeboc - Approche scalimétrique.* St-Alban-Leysse: Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de la Savoie.

Marty, S., Poilbarbe, T., & Santal, J. (2014). *Suivi de la montaison de l'anguille européenne (Anguilla anguilla) et évaluation de l'efficacité de détection du compteur à résistivité sur l'aménagement hydroélectrique EDF de Baigts-de-Béarn (Gave de Pau, 64) : 2ème campagne - Résultats mars à août 2013.* Gan: MIGRADOUR.

Matrat, R. (2010). *Le fonctionnement du COGEPOMI.* Association Loire Grands Migrateurs.

Moriarty, C., & Dekker, W. (1997). *Managment of the European Eel.* Marine Institute. Fisheries Bulletin.

Mullet, V. (2014). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne (Anguilla anguilla).* Mémoire de stage, SEINORMIGR, Rouen.

Neveu, T. (2021). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (Anguilla anguilla).* Mémoire de stage, SEINORMIGR, Rouen.

ONEMA. (2008). *Sauvegarde de l'anguille : Un règlement européen - 14 questions/réponses.* ONEMA.

Palstra, A., van Ginneken, V., & van den Thillart, G. (2008). *Cost of transport and optimal swimming speed in farmed and wild European silver eels (Anguilla anguilla).* POB 9516, 2300 RA Leiden, The Netherlands: Institute of Biology Leiden, Leiden University.

Paquet, G. (2002). *Biologie et écologie de l'ombre commun (Thymallus thymallus L.) dans l'Orbe à la Vallée de Joux, canton de Vaud, Suisse.* Lausanne: Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne.

Passakas, T., & Tesch, F.-W. (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). HELGOLANDER MEERESUNTERSUCHUNGEN.

Pawar, A. (2010). *Suivi de la migration des civelles sur le bassin versant des lacs médocain (33).* Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de la Gironde. Tours: Université François-Rabelais.

Perret, E. (2019). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (Anguilla anguilla).* Mémoire de stage, SEINORMIGR, Rouen.

Peyre, J. (2018). *Suivi de la migration anadrome de l'Anguille européenne.* Université de Lorraine. Parc naturel régional du Marais poitevin.

PGA. (2007). *Plan de Gestion Anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 Septembre 2007. Volet national.*

PGA. (2008). *Plan de gestion anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 Septembre 2007. Volet local de l'unité de gestion Seine Normandie.*

PGA. (2012). *Plan de gestion anguille de la France. Rapport de mise en oeuvre - juin 2012. Article 9 du R (CE) n°1100/2007.*

Podgorniak, T. (2016). *Impact des obstacles aquatiques sur la migration des jeunes stades d'Anguilla anguilla.* Ecologie, Environnement. Université de Bordeaux.

Porcher, J. (1992). *LES PASSES A ANGUILLES.* Bull. Fr. Pêche Piscic. Cesson-Sévigné: Conseil Supérieur de la Pêche.

Porcher, J., & Travade, F. (1992). *Les dispositifs de franchissement : Bases biologiques, limites et rappels réglementaires.* Bull. Fr. Pêche Piscic. Conseil Supérieur de la Pêche.

Prouff, B. (2017). *BILAN ECO-PATHOLOGIQUE - Application des codes pathologie lors des inventaires piscicoles de la Fédération.* Castres: Fédération du Tarn pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.

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.* Pau-Adour: Rapport Institution Adour-Ifremer-Univ.

Quintella, B., Mateus, C., Costa, J., Domingos, I., & Almeida, P. (2010). *Critical swimming speed of yellow- and silver-phase European eel (Anguilla anguilla, L.).* Berlin: J. Appl. Ichthyol. 26, 432–435.

Rakotomalala, R. (2011). *Tests de normalité. Techniques empiriques et tests statistiques. Version 2.0.* Université Lumière Lyon 2.

Righton, D., Westerberg, H., Feunteun, E., Okland, F., Gargan, P., Amillhat, E., . . . Aarestrup, K. (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.

Sanmartin, M. (2018). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (Anguilla anguilla).* Mémoire de stage, SEINORMIGR, Rouen.

SEINORMIGR. (2017). *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (Anguilla anguilla).* Rapport d'étude, Rouen.

SEINORMIGR. (2020). *Programme de monitoring (surveillance) du plan de gestion anguille français – Évaluation du stock d'anguilles jaunes en place sur l'Unité de Gestion Anguille Seine-Normandie – Année 2020.* Seine Normandie Migrateurs (SEINORMIGR).

Székely, C. (1994). *Paratenic hosts for the parasitic nematode Anguillicola crassus in Lake Balaton, Hungary.* Veterinary Medical Research Institute - Hungarian Academy of Sciences. Budapest: DISEASES OF AQUATIC ORGANISMS.

Vivier, P. (1938). *Un nouvel hôte indésirable de nos eaux douces : Le crabe chinois (Eriocheir sinensis H.-M. Edw.).* Bulletin français de pisciculture.

White, E., & Knights, B. (1997). *Dynamics of upstream migration of the European eel, Anguilla anguilla (L.), in the Rivers Severn and Avon, England, with special reference to the effects of man-made barriers.* London: Fisheries Managment and Ecology, 4, 311-324.

Yahyaoui, A., Freyhof , J., & Steinmann, I. (2004). *Ichthyologic diversity and biology of Anguilla anguilla L., 1758 (Actinopterygii, Anguillidae) in the middle Rhine.* Zool. baetica.

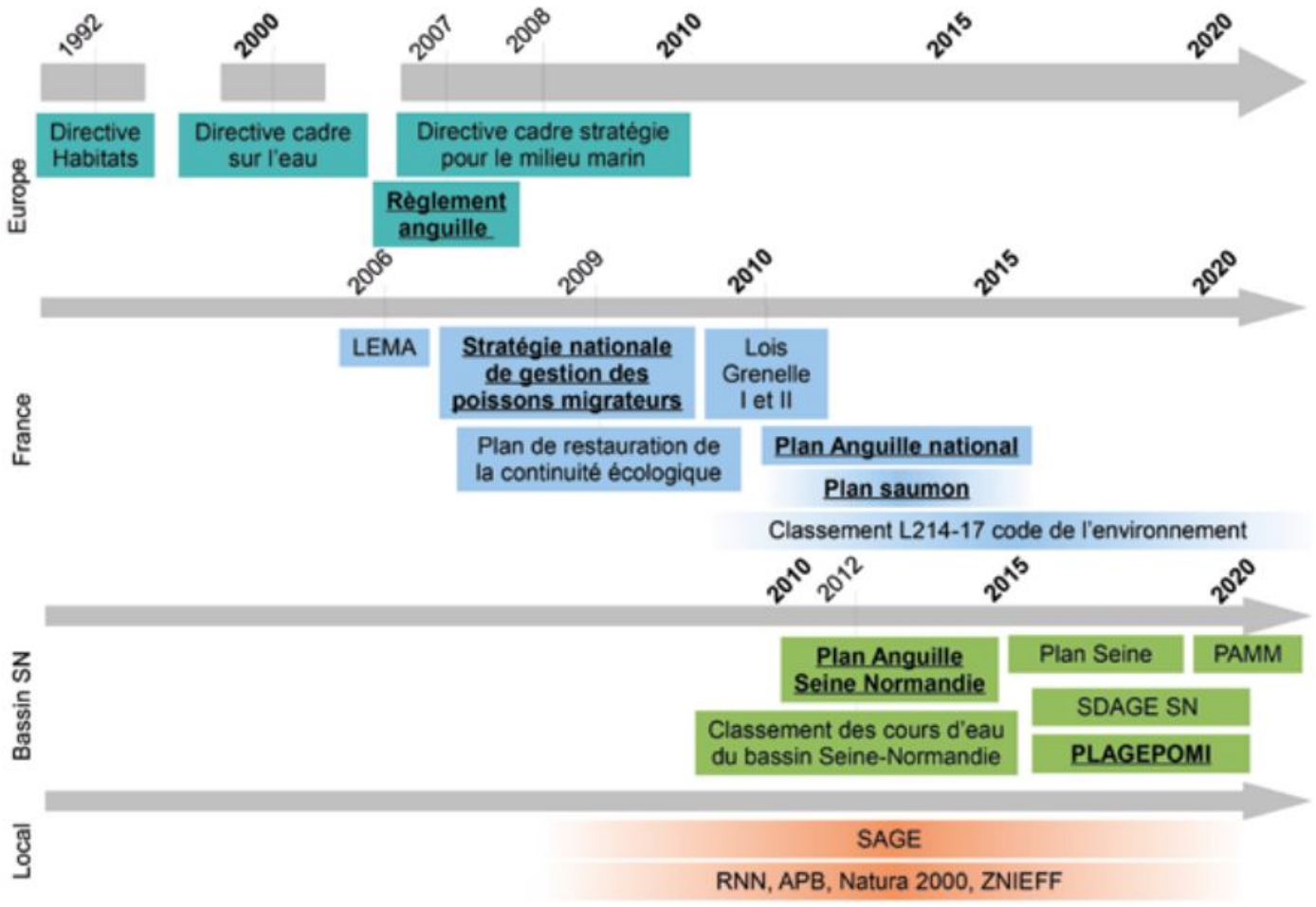
ANNEXES

Table des annexes

1. Contexte législatif concernant la conservation des poissons migrateurs.
2. Objectifs d'identification d'une Zone d'Actions Prioritaires (ZAP).
3. Evolution des débits moyens mensuels (m^3/s) de la Seine à Vernon du 01/01/2010 au 31/12/2021.
4. Etat écologique des cours d'eau du bassin Seine-Normandie.
5. Linéaires colonisés par les poissons migrateurs (hors anguille) sur les cours d'eau du bassin Seine-Normandie.
6. Principales caractéristiques du barrage de Poses – Amfreville-sous-les-Monts.
7. Photographies des dispositifs en rive gauche et droite.
8. Schémas simplifiés des deux passes à poissons (avec les systèmes de vidéo-comptage et la chambre d'observation (seinoscope) de la rive gauche).
9. Schémas simplifiés des deux systèmes de vidéo-comptage.
10. Grille de codification des anomalies anatomo-morphologiques externes et des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu.
11. Carnet de saisie de données terrain.
12. Schéma des points de mensuration du Crabe chinois (*Eriocheir sinensis*).
13. Degrés de significativité du risque alpha (α).
14. Taille (mm) des anguilles en RG et en RD depuis 2019.
15. Résultats du test de comparaisons multiples relatif à la taille des anguilles selon le mois en 2022.
16. Taille (mm) mensuelle des anguilles en RG en 2022.
17. Taille (mm) mensuelle des anguilles en RD en 2022.
18. Relation taille/poids des anguilles selon la rive en 2022.
19. Résultats du test de comparaisons multiples relatif aux coefficients K selon le mois.
20. Coefficient de condition K selon la rive en 2022.
21. Effectifs journaliers selon le coefficient de marée, rive gauche et droite confondues, en 2022.
22. Corrélation entre les effectifs journaliers et les coefficients de marée, rive gauche et droite confondues, en 2022.

23. Effectifs journaliers selon la température de la Seine (°C), rive gauche et droite confondues, en 2022.
24. Corrélation entre les effectifs journaliers et la température de la Seine (°C), rive gauche et droite confondues, en 2022.
25. Effectifs journaliers selon la température de l'air (°C), rive gauche et droite confondues, en 2022.
26. Corrélation entre les effectifs journaliers et la température de l'air (°C), rive gauche et droite confondues, en 2022.
27. Effectifs journaliers selon le débit de la Seine (m^3/s), rive gauche et droite confondues, en 2022.
28. Corrélation entre les effectifs journaliers et le débit de la Seine (m^3/s), rive gauche et droite confondues, en 2022.
29. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées en rive gauche.
30. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées en rive droite.
31. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées dans l'AVR et l'AME.
32. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées dans l'AVR.
33. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées dans l'AME.
34. Taille (mm) des crabes chinois (*Eriocheir sinensis*) prélevés depuis 2021.
35. Photographie de l'aval de la centrale hydroélectrique et de la rampe à anguille (orange) en rive gauche. En vert, les palplanches longeant la berge et en rouge les courants limitants la montaison.
36. Schéma représentatif de la répartition du débit d'attrait en RD.
37. Proposition d'aménagement d'une rampe à anguille verticale (en arc de cercle), permettant aux anguilles de repter pour progresser dans le dispositif de franchissement.

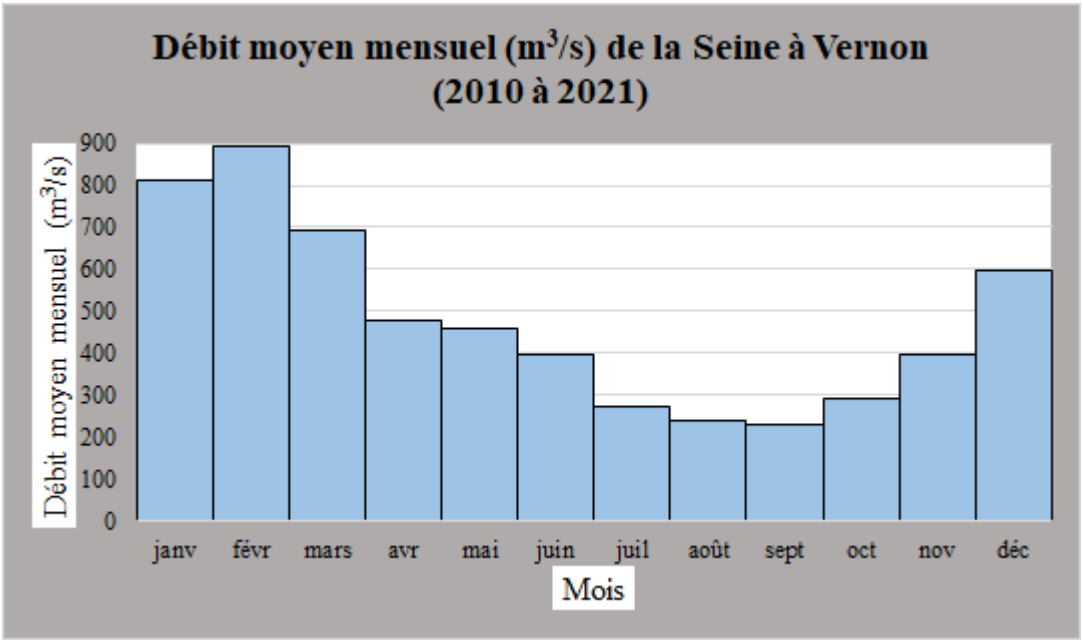
1. Contexte législatif concernant la conservation des poissons migrateurs. (*DRIEE Ile-de-France, 2016*)



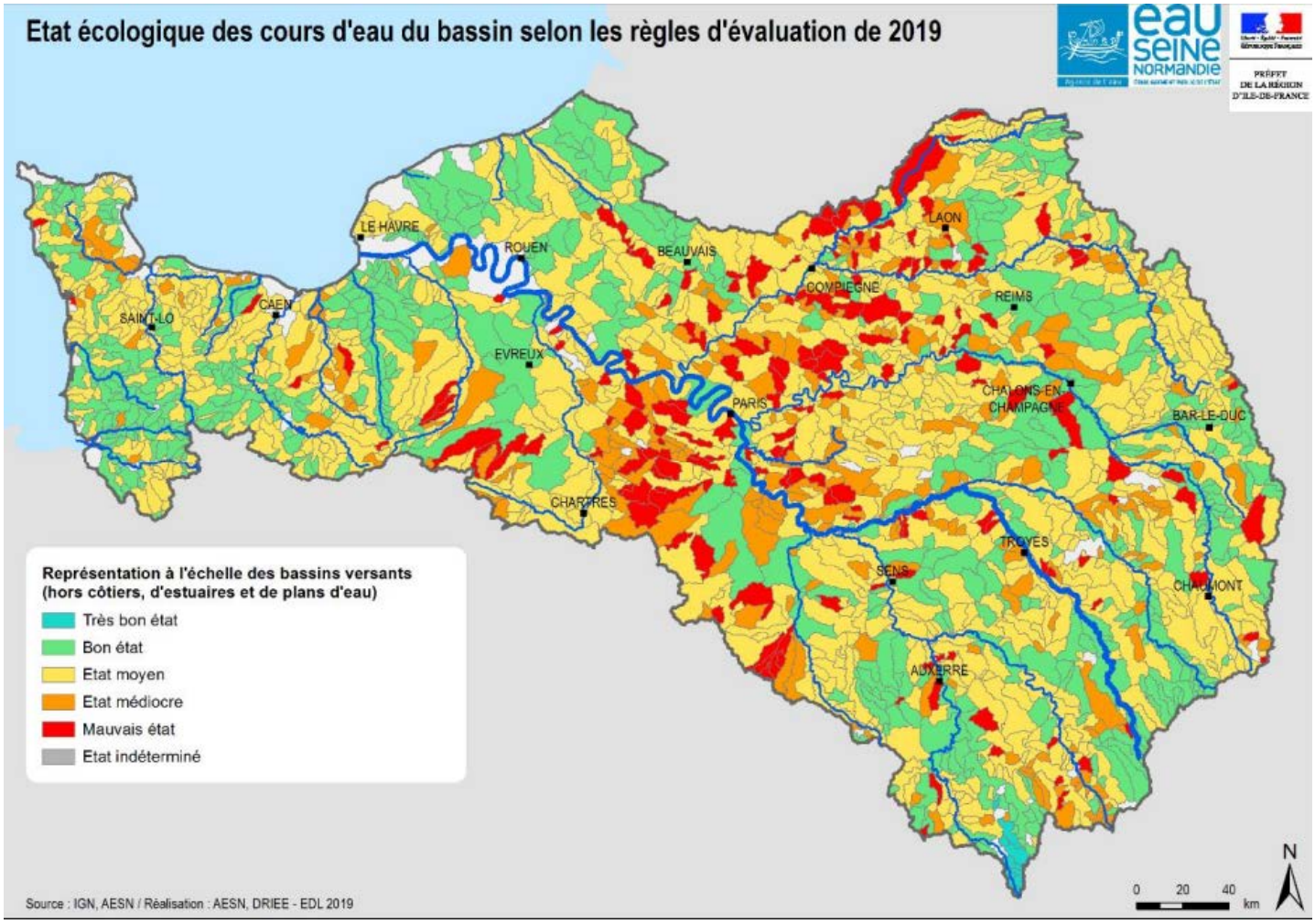
2. Objectifs d'identification d'une Zone d'Actions Prioritaires (ZAP). (*PGA, 2007*)

1. valider que les listes de rivières pressenties dans le SDAGE comme à classer au titre du L.214-17, donc sur un périmètre d'enjeux plus large que les anguilles, ne laissent pas de côté des portions de bassin où le seul enjeu anguilles est présent et important (par exemple, petits cours d'eau côtiers, accès aux zones de marais mouillé…),
2. au sein du pool de cours d'eau classés, identifier les portions où des gains biologiques importants sont possibles dans les 6 ans si les ouvrages sont aménagés. Cela définit une priorité d'action des services sur un lot d'ouvrages afin d'obtenir leur aménagement. Tous les 6 ans, ces priorités sont révisées

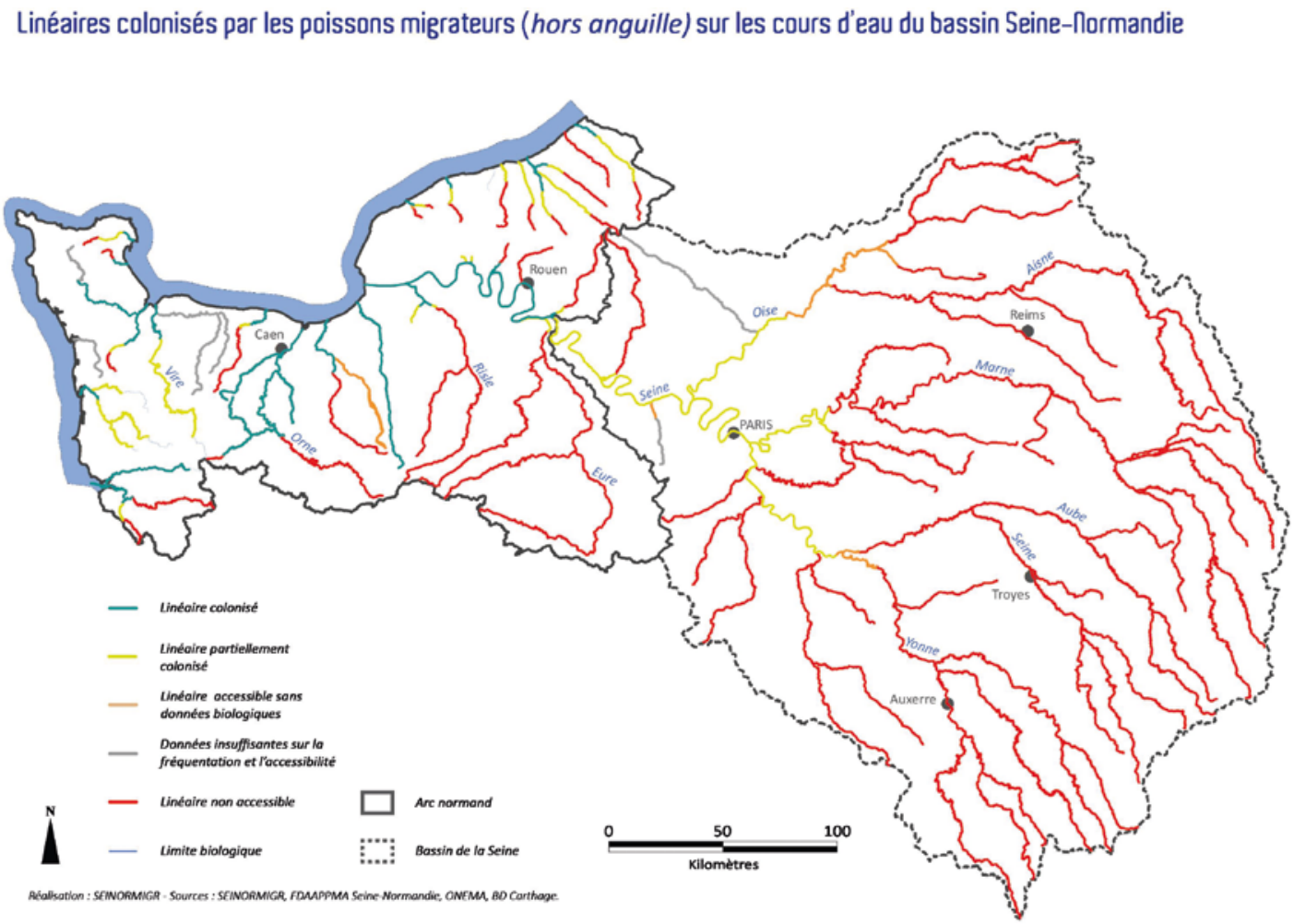
3. Evolution des débits moyens mensuels (m^3/s) de la Seine à Vernon du 01/01/2010 au 31/12/2021 (*hydro.eaufrance.fr*)



4. Etat écologique des cours d'eau du bassin Seine-Normandie. (*AESN/DRIEE, EDL 2019*)



5. Linéaires colonisés par les poissons migrateurs (hors anguille) sur les cours d'eau du bassin Seine-Normandie. (*SEINORMIGR, FDPPMA Seine-Normandie, ONEMA, BD Carthage*)



6. Principales caractéristiques du barrage de Poses – Amfreville-sous-les-Monts. (*SEINORMIGR*)

Descriptif de l'ouvrage	
Type d'ouvrage	Vannes
Date de construction	1885
Propriétaire	Etat
Usages (rive gauche/rive droite)	Hydroélectricité (Hydrowatt)/Navigation (VNF)
Longueur (m)	245 – (470 avec usine hydroélectrique et écluses)
Hauteur de chute (m)	5,4
QMNA5 (m3/sec)	200
Code ROE	52354
La passe à poissons	
Type de passe	Bassins à fentes verticales et rampe à anguilles
Nombre de bassins	22
Nombre de vitres d'observation	4
Rive	Gauche
Date de construction	1990-1991
Financeur(s)	Agence de l'eau Seine Normandie Hydrowatt
Propriétaire	Hydrowatt
Système de dénombrement	
Dispositif de dénombrement	Vidéocomptage – Piégeage (anguille)
Date de mise en service	Vidéocomptage : 2008 ; Piégeage : 2014
Financeurs	Agence de l'Eau Seine Normandie - Conseil Général de l'Eure - Syndicat Intercommunal de l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) - SEINORMIGR
Gestionnaires	Syndicat Mixte de la Base de Plein Air et de Loisirs de Léry-Poses - SEINORMIGR
Observatoire en direct (webcam)	Non

7. Photographies des dispostifs en rive gauche et droite. (*a= Passe à poissons, rive gauche ; b= Rampe à anguille, rive gauche ; c= Système de vidéo-comptage, rive gauche ; d= Système de vidéo-comptage, rive droite ; e= Passe à poissons, rive droite ; f= Rampe à anguille, rive droite ; g= Chambre d'observation (seinoscope), rive gauche. SEINORMIGR).*

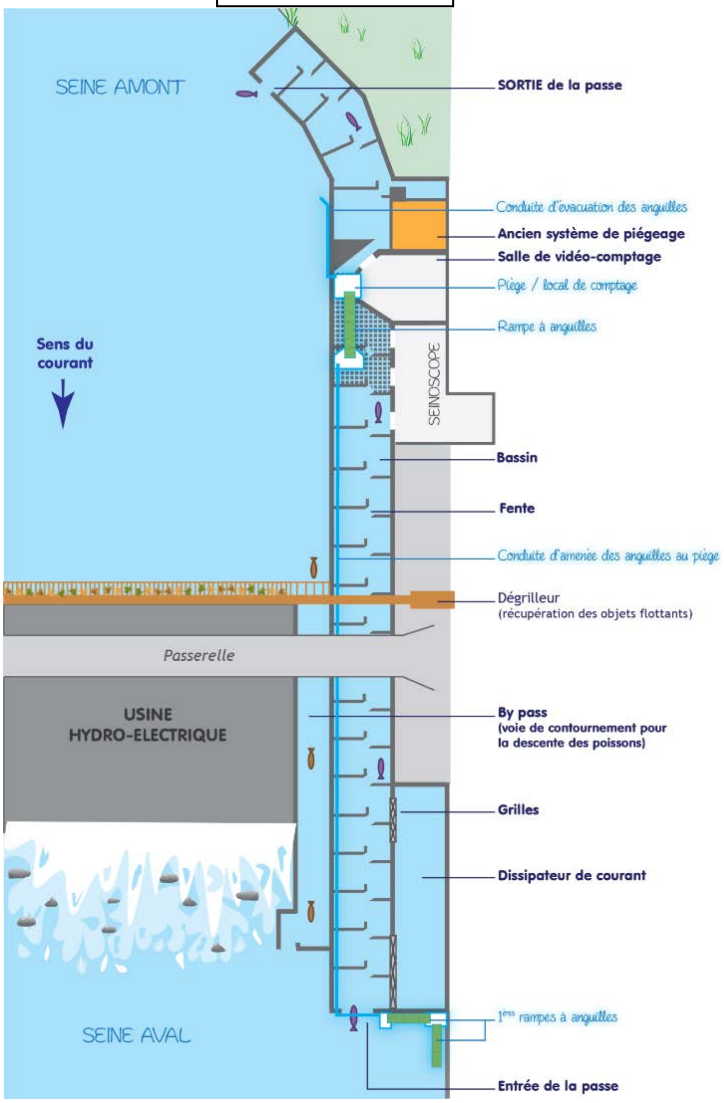
e

f

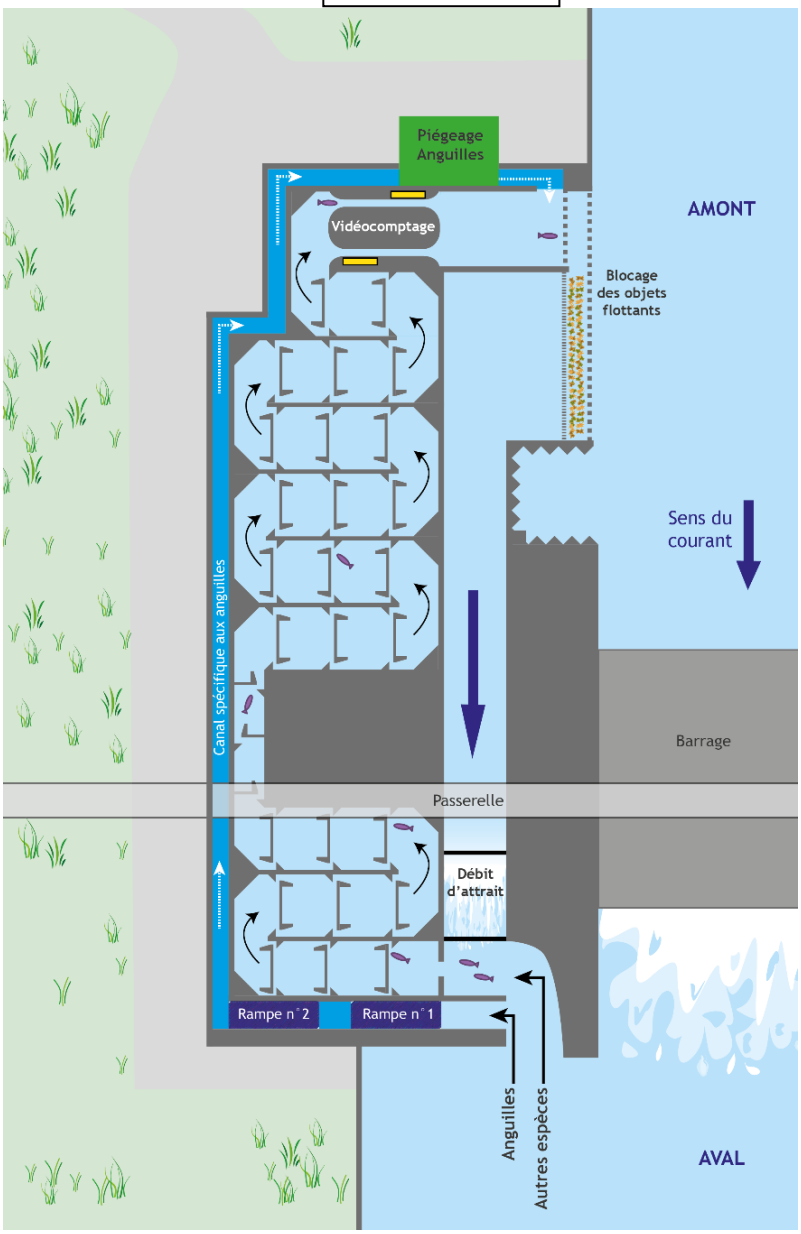
g

8. Schémas simplifiés des deux passes à poissons (avec les systèmes de vidéo-comptage et la chambre d'observation (seinoscope) de la rive gauche). (*SEINORMIGR*)

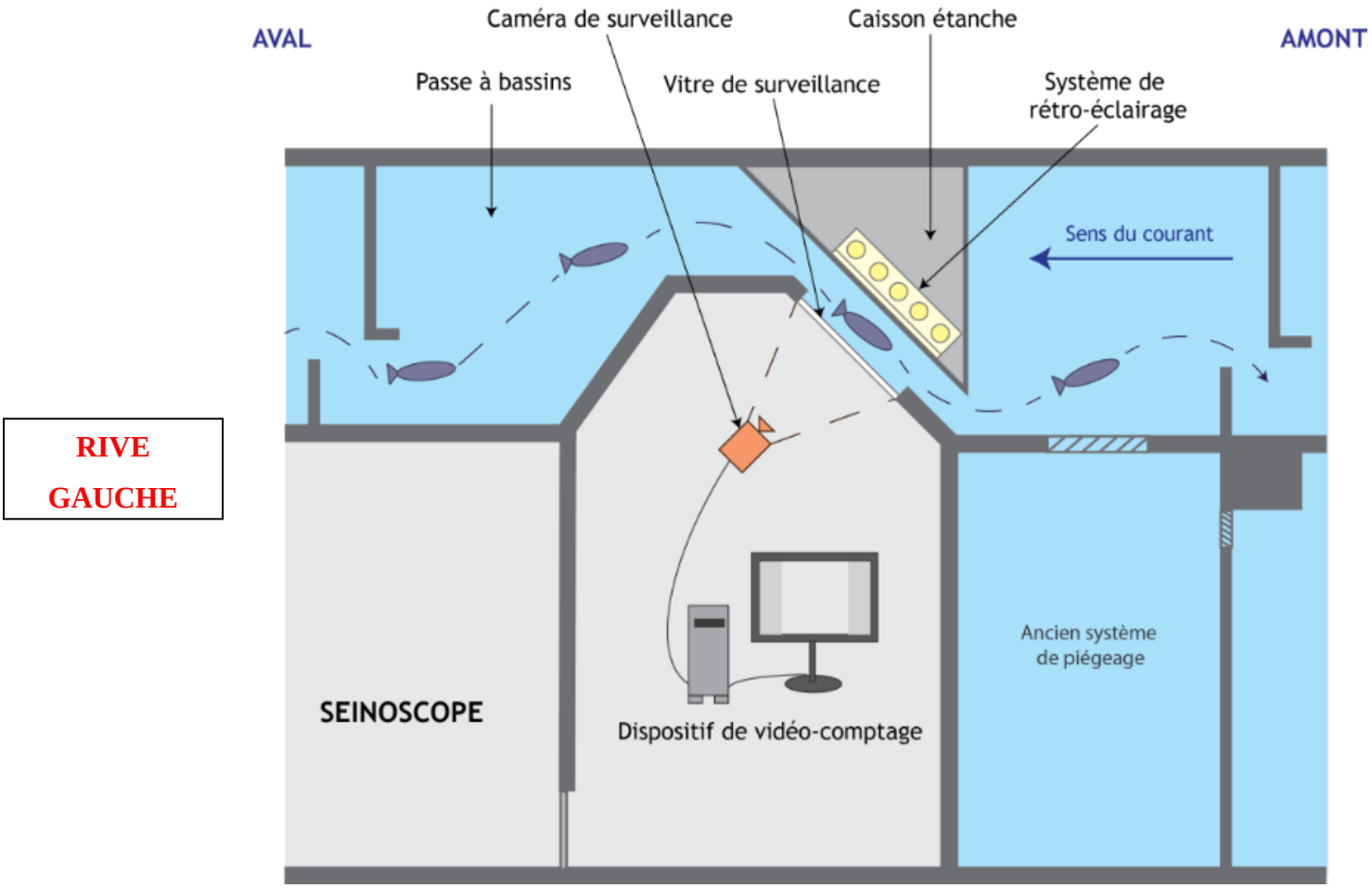
RIVE GAUCHE

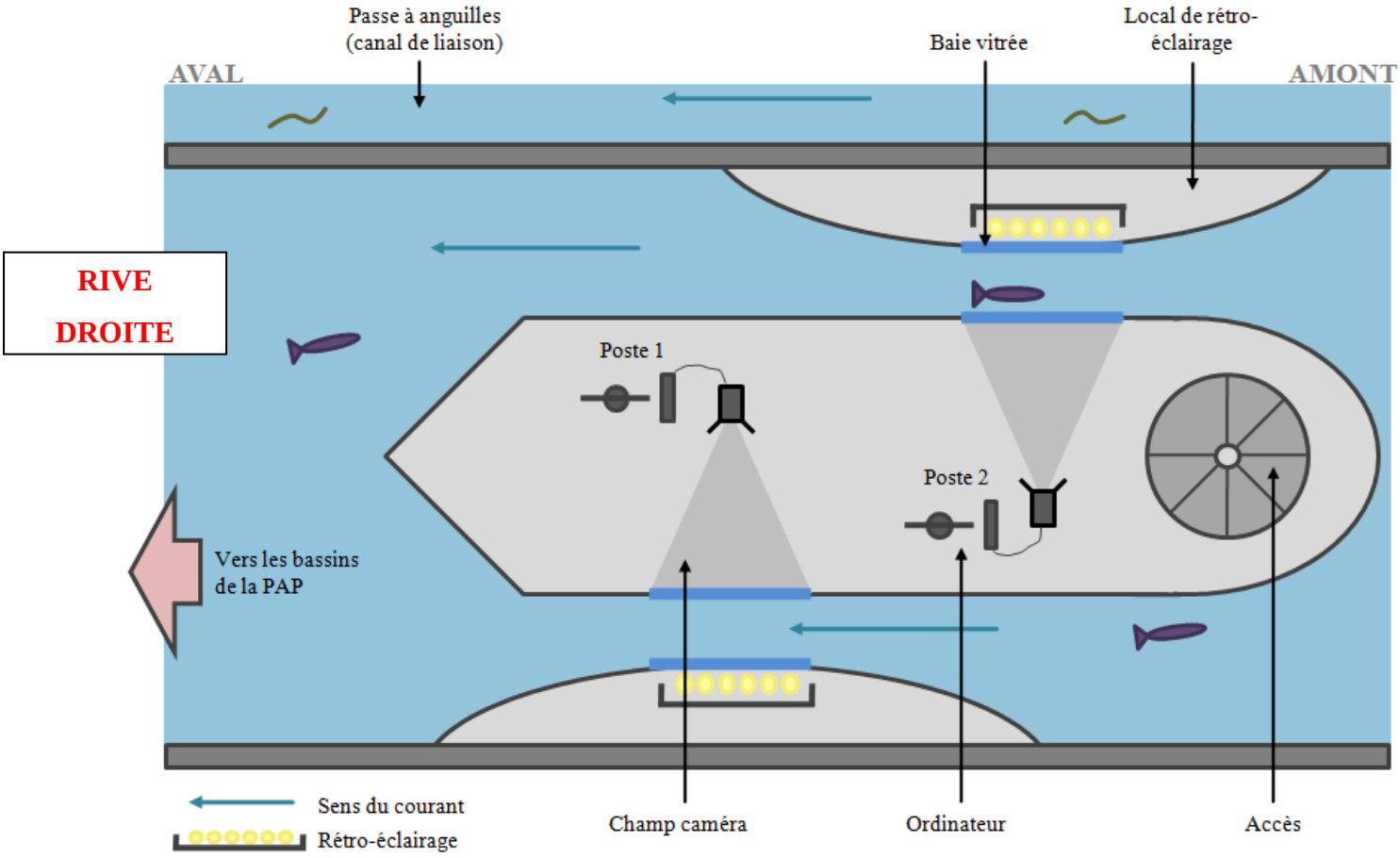


RIVE DROITE



9. Schémas simplifiés des deux systèmes de vidéo-comptage. (*SEINORMIGR*)





10. Grille de codification des anomalies anatomo-morphologiques externes et des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu. (*Elie et Girard, 2014*)

Altérations anatomo-morphologiques	AA	Localisations anatomique	Code
Absence d'organes	AO	Tout le corps	C
Bulles de gaz	BG	Tête	T
Déformations, difformités et malformations	AD	Mâchoire	M
Erosions	ER	Bouche	G
Nécrose	NE	Barbillon	J
Hypersécrétion du mucus	HM	Narine	Z
Hypertrophie et hyperplasie	HY	Œil	Y
Lésions hémorragiques et congestives	HE	Opercule (fente branchiale chez l'anguille)	O
Maigreur	AM	Branchies (sauf anguille, congre, lamproie)	B
Plaies et lésions anciennes (cicatrices)	PL	Dos (= face pigmentée ou zénithale)	D
Tumeurs, kystes, nodules et autres grosseurs	TG	Colonne vertébrale	V
Ulcères (hémorragiques) et ulcérations	UH	Flanc	F
Etats pathologiques multiformes	ZO	Ligne latérale	L
Altérations de la couleur	AC	Ecailles	E
Opacité	OP	Abdomen (= face aveugle ou nadirale)	A
Coloration sombre (mélanose)	CS	Orifice urogénital (anus)	U
Coloration terne ou pâle, dépigmentation	CT	Nageoire dorsale	H
Parasitisme	PA	Nageoire pectorale	P
Points blancs	PB	Nageoire pelvienne	R
Points Noirs	PN	Nageoire anale	S
Crustacés	PC	Nageoire caudale	Q
Hirudinés (sangsues)	PH	Nageoire adipeuse (salmonidés seulement)	J
Lamproies	PP	Pédoncule caudal	K
Champignons	PM	Nageoire principale (anguille)	N

Nombre de lésions (N) et/ou abondance parasitaire (Ab)	Code		Taux (%) de recouvrement corporel (S^2)	Code
N = 0 et/ou absence (Ab)	0		$S^2 = 0$ %	0
N<3 et/ou abondance (Ab) faible	1		$S^2 < 5$%	1
N= 4-6 et/ou abondance (Ab) moyenne	2		$S^2 = 5$-10 %	2
N= 7-10 et/ou abondance (Ab) forte	3		$S^2 = 10$- 20 %	3
N => 10 et/ou abondance (Ab) très forte	4		$S^2 = > 20$ %	4

11. Carnet de saisie de données terrain. (*SEINORMIGR*)

Relevé passe piège Poses : Biométrie **Unité de Gestion Seine-Normandie/SEINORMIGR**

Date : _____ Horaire : _____ Opérateurs : _____

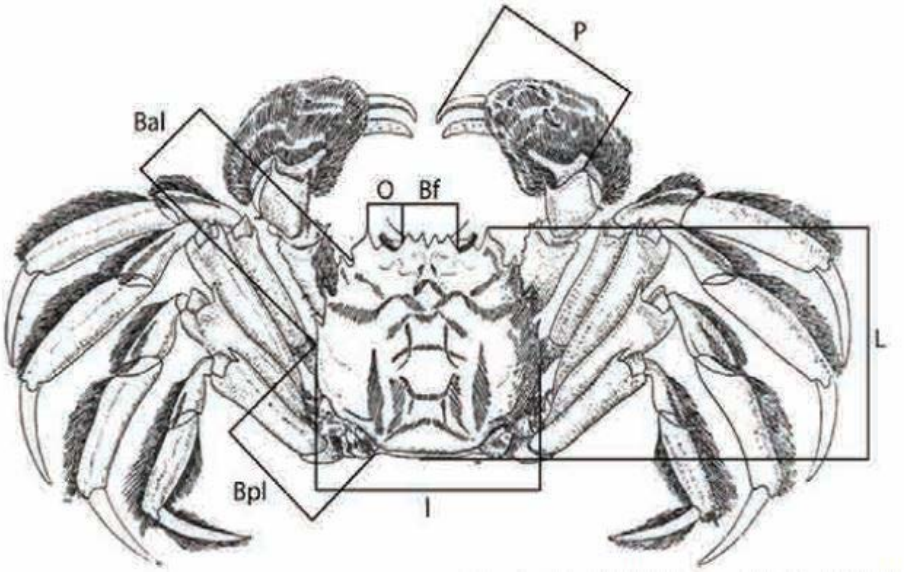
Lot 30 ind n°1				Lot 30 ind n°2				*Lot 30 ind n°3* ou Lot refus			
N° de capture	Taille (mm)	Poids (g)	Patho	N° de capture	Taille (mm)	Poids (g)	Patho	N° de capture	Taille (mm)	Poids (g)	Patho
1				31				61			
2				32				62			
3				33				63			
4				34				64			
5				35				65			
6				36				66			
7				37				67			
8				38				68			
9				39				69			
10				40				70			
11				41				71			
12				42				72			
13				43				73			
14				44				74			
15				45				75			
16				46				76			
17				47				77			
18				48				78			
19				49				79			
20				50				80			
21				51				81			
22				52				82			
23				53				83			
24				54				84			
25				55				85			
26				56				86			
27				57				87			
28				58				88			
29				59				89			
30				60				90			
Poids global (humide) Lot :				Poids global (humide) Lot :				Poids global (humide) Lot :			

Poids lots excédents	Poids global cas "pic de migration"	Commentaires
Poids global lot tamisé restant :		Nb crabe chinois :
Poids global lot restant :		

12. Schéma des points de mensuration du Crabe chinois (*Eriocheir sinensis*).

(*D'après André (1946), modifié GODIN (2015)*)

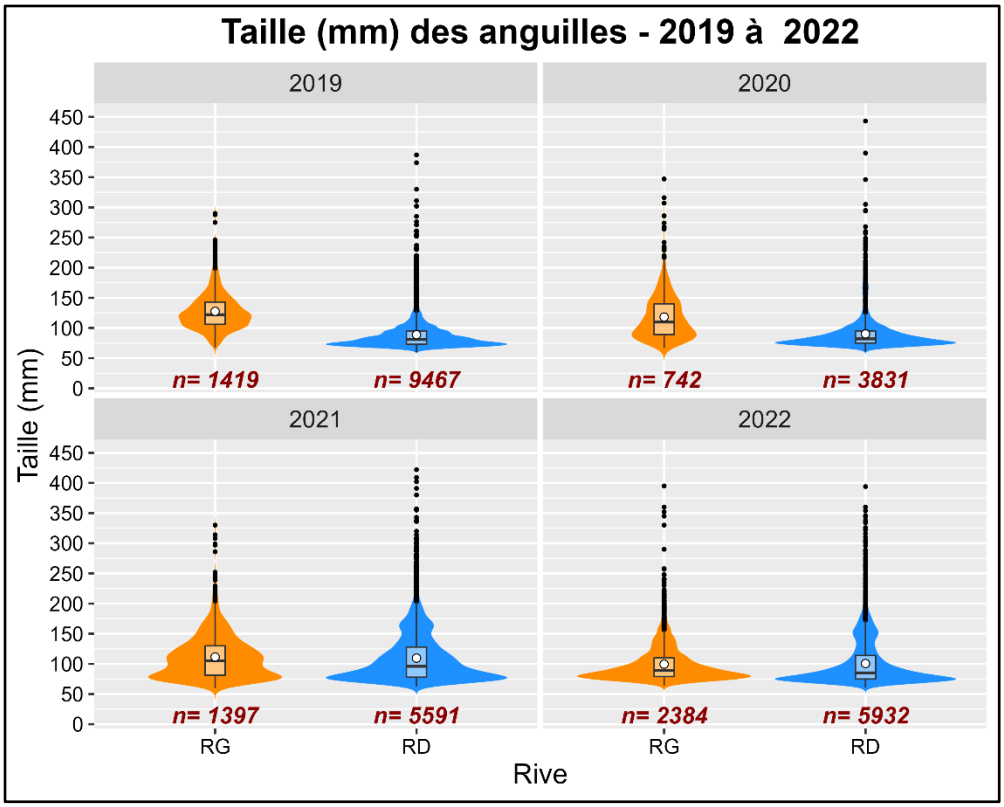
L	Longueur du céphalothorax
l	Largeur du céphalothorax
Bf	Bord frontal
Bal	Bord antéro-latéral
Bpl	Bord postero-latéral
O	Orbite
P	Chélipède (Propodus + dactyle)



13. Degrés de significativité du risque alpha (α). (*Brasseur, 2022*)

Dégrés de significativité du risque α	
Valeurs	Degré de significativité
$p > 0,05$	Différence non significative
$0,05 \geq p > 0,01$	Différence significative
$0,01 \geq p > 0,001$	Différence hautement significative
$p \leq 0,001$	Différence très hautement significative

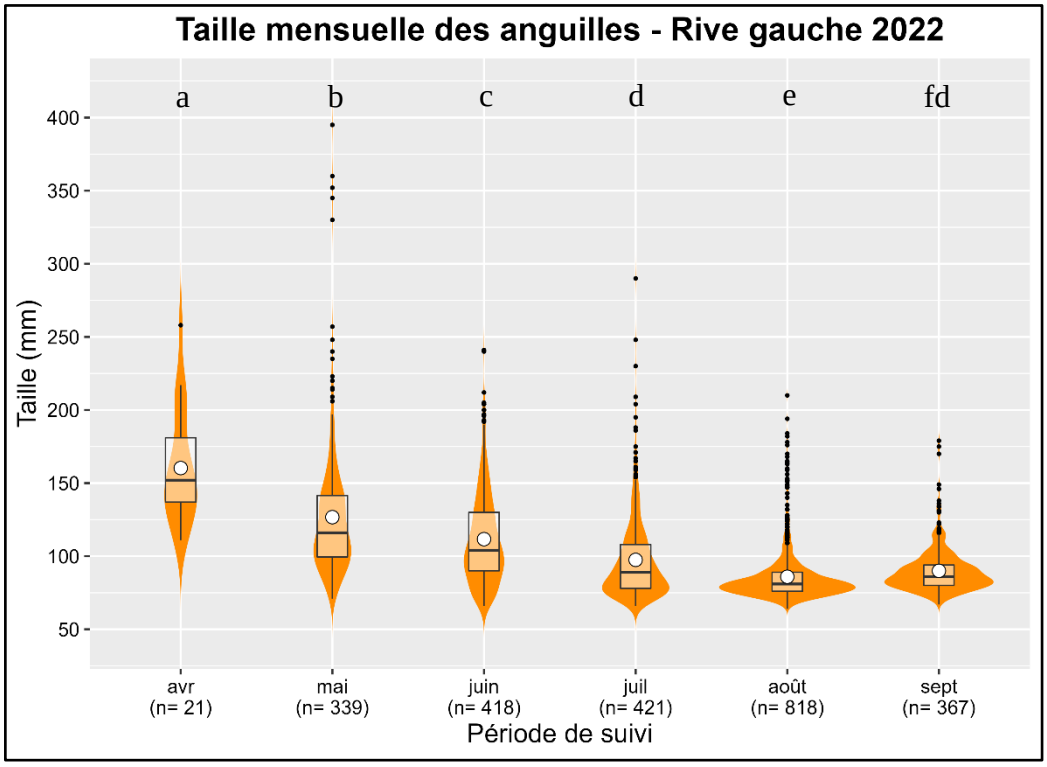
14. Taille (mm) des anguilles en RG et en RD depuis 2019.



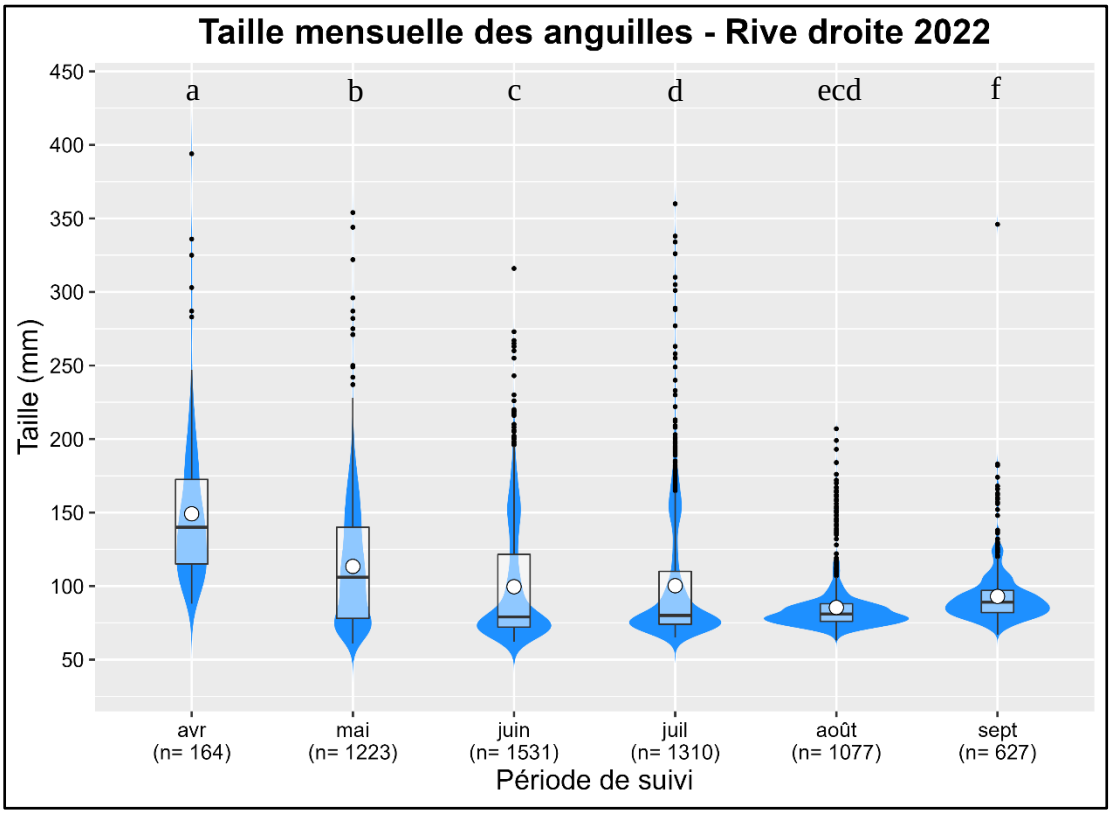
15. Résultats du test de comparaisons multiples relatif à la taille des anguilles selon le mois en 2022.

Comparaison des tailles par mois	
Mois	**Interprétation p-value**
avril-mai	Diminution - TRUE***
avril-juin	Diminution - TRUE***
avril-juillet	Diminution - TRUE***
avril-août	Diminution - TRUE***
avril-sept	Diminution – TRUE***
mai-juin	Diminution - TRUE***
mai-juillet	Diminution - TRUE***
mai-août	Diminution - TRUE***
mai-sept	Diminution - TRUE***
juin-juillet	Diminution – FALSE (p= 1)
juin-août	Diminution - TRUE***
juin-sept	Diminution - FALSE (p= 0,63)
juillet-août	Diminution - TRUE***
juillet-sept	Augmentation - TRUE***
août-sept	Augmentation - TRUE***

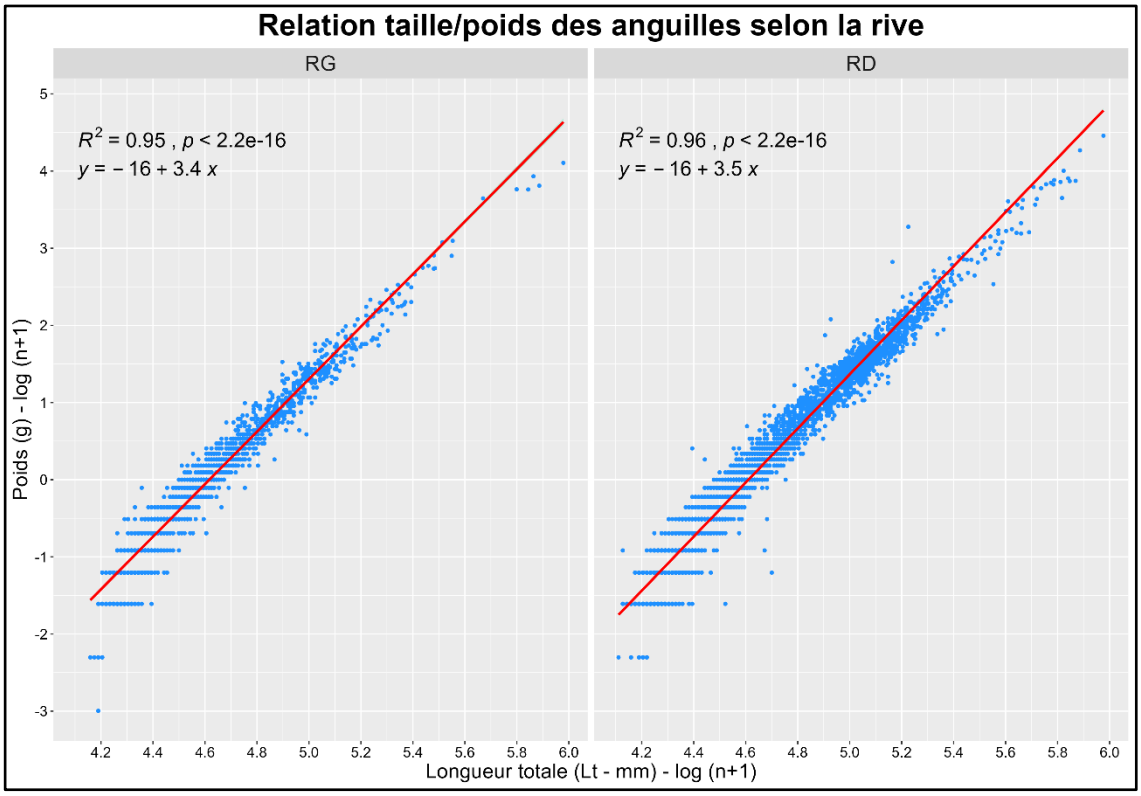
16. **Taille (mm) mensuelle des anguilles en RG en 2022.**



17. **Taille (mm) mensuelle des anguilles en RD en 2022.**



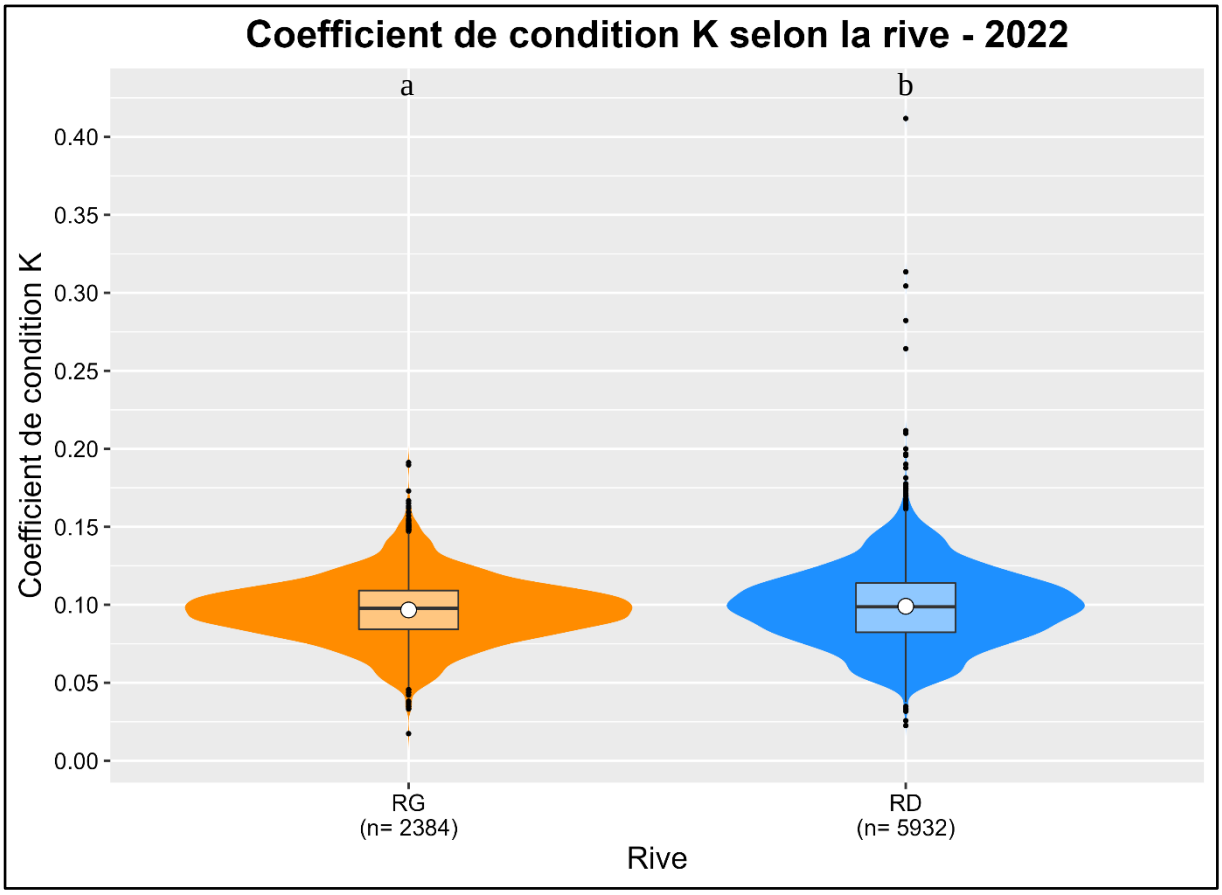
18. **Relation taille/poids des anguilles selon la rive en 2022.**



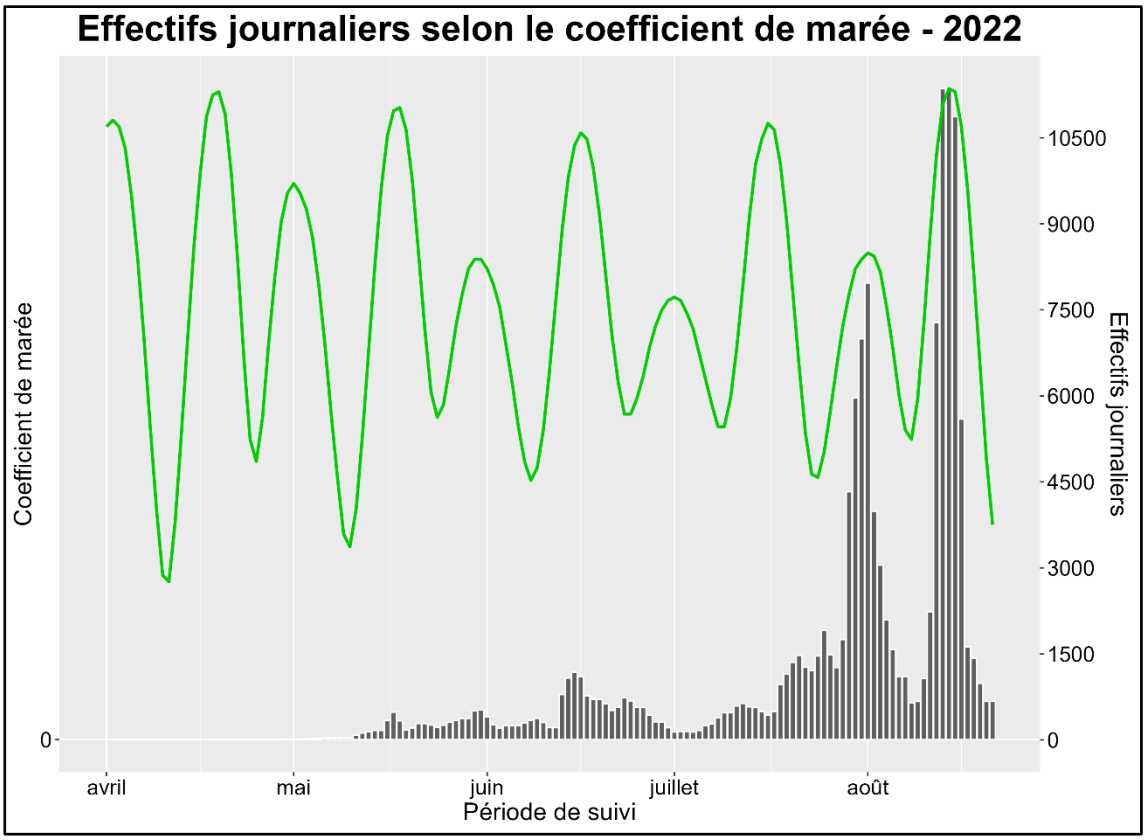
19. **Résultats du test de comparaisons multiples relatif aux coefficients K selon le mois.**

Comparaison des coefficients K par mois	
Mois	**Interprétation p-value**
avril-mai	Diminution - FALSE (p= 0,15)
avril-juin	Diminution - TRUE***
avril-juillet	Diminution - TRUE***
avril-août	Diminution - TRUE***
avril-sept	Diminution - TRUE***
mai-juin	Diminution - TRUE***
mai-juillet	Diminution - TRUE***
mai-août	Diminution - TRUE***
mai-sept	Diminution - TRUE***
juin-juillet	Diminution - FALSE (p= 1)
juin-août	Diminution - FALSE (p= 0,13)
juin-sept	Diminution - FALSE (p= 0,29)
juillet-août	Diminution - TRUE**
juillet-sept	Diminution - TRUE**
août-sept	Diminution - FALSE (p= 1)

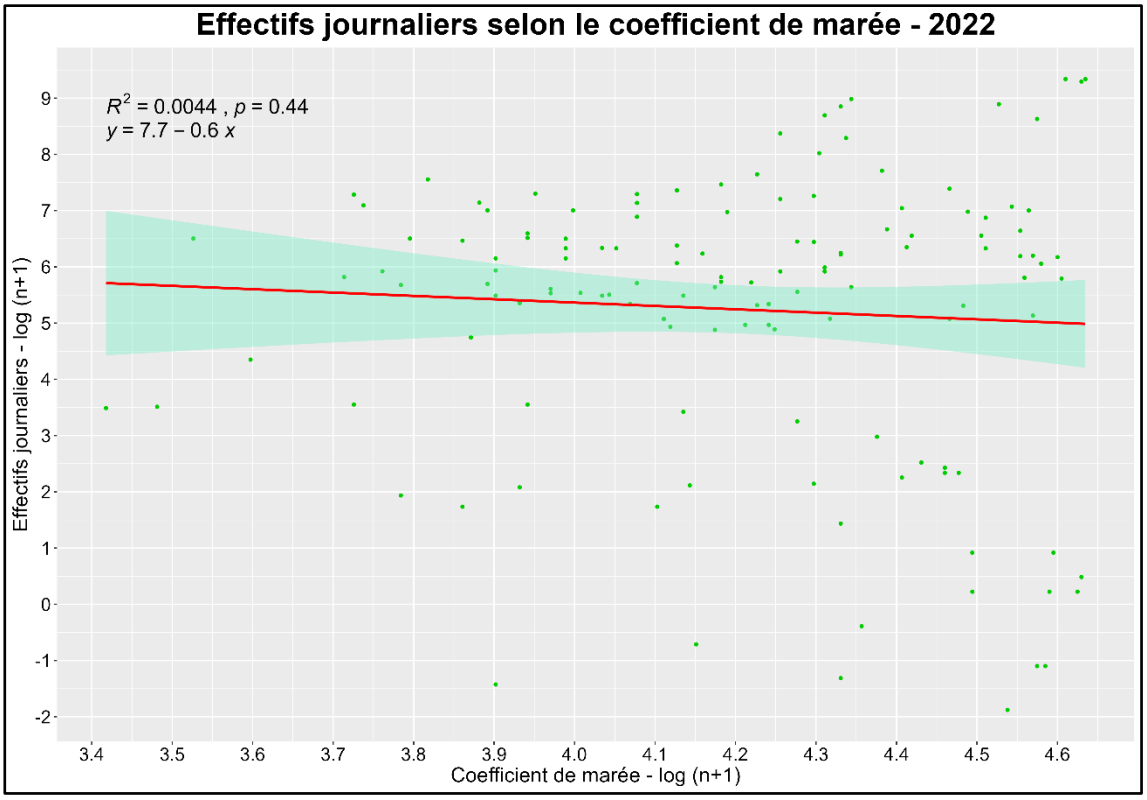
20. **Coefficient de condition K selon la rive en 2022.**



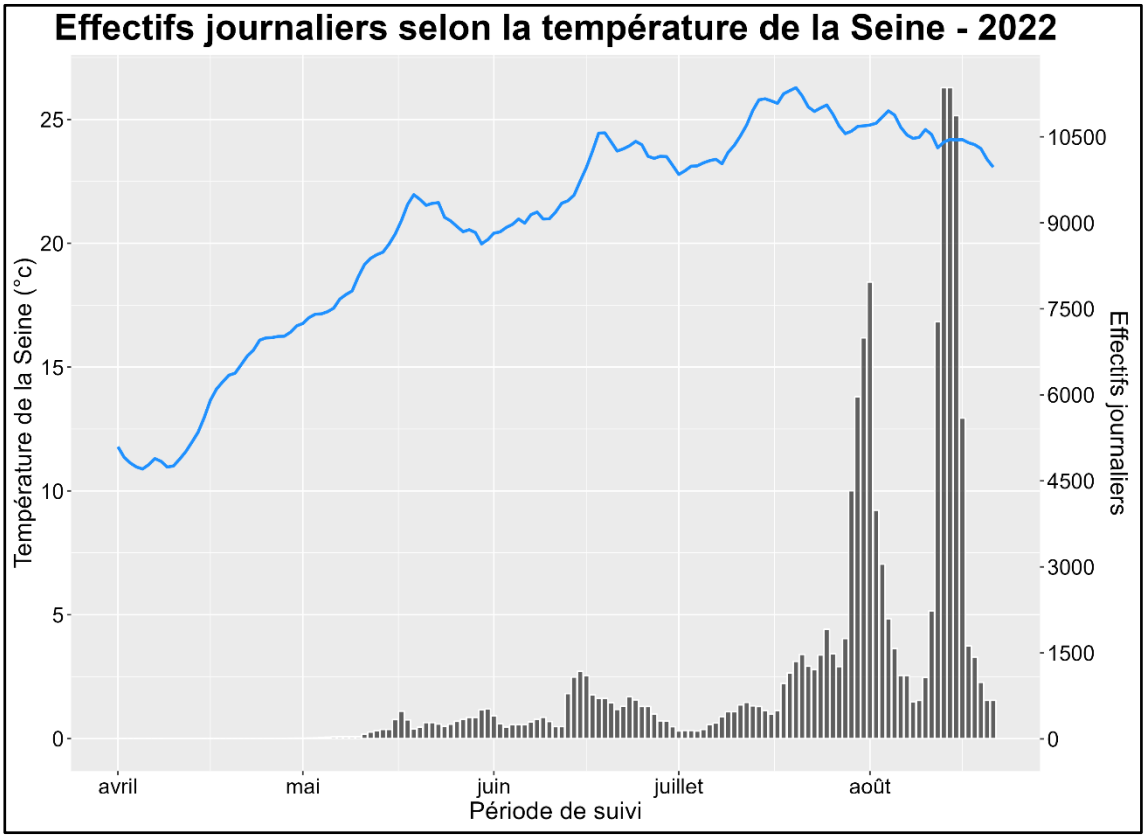
21. **Effectifs journaliers selon le coefficient de marée, rive gauche et droite confondues, en 2022.**



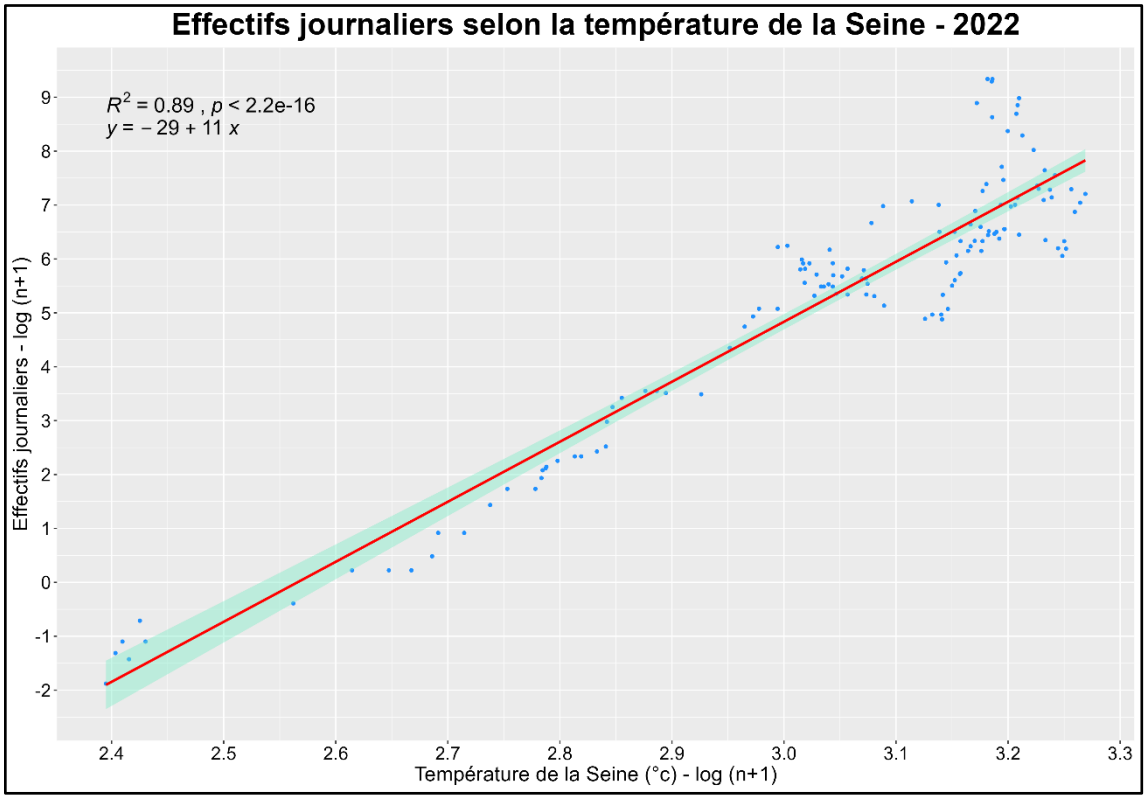
22. **Corrélation entre les effectifs journaliers et les coefficients de marée, rive gauche et droite confondues, en 2022.**



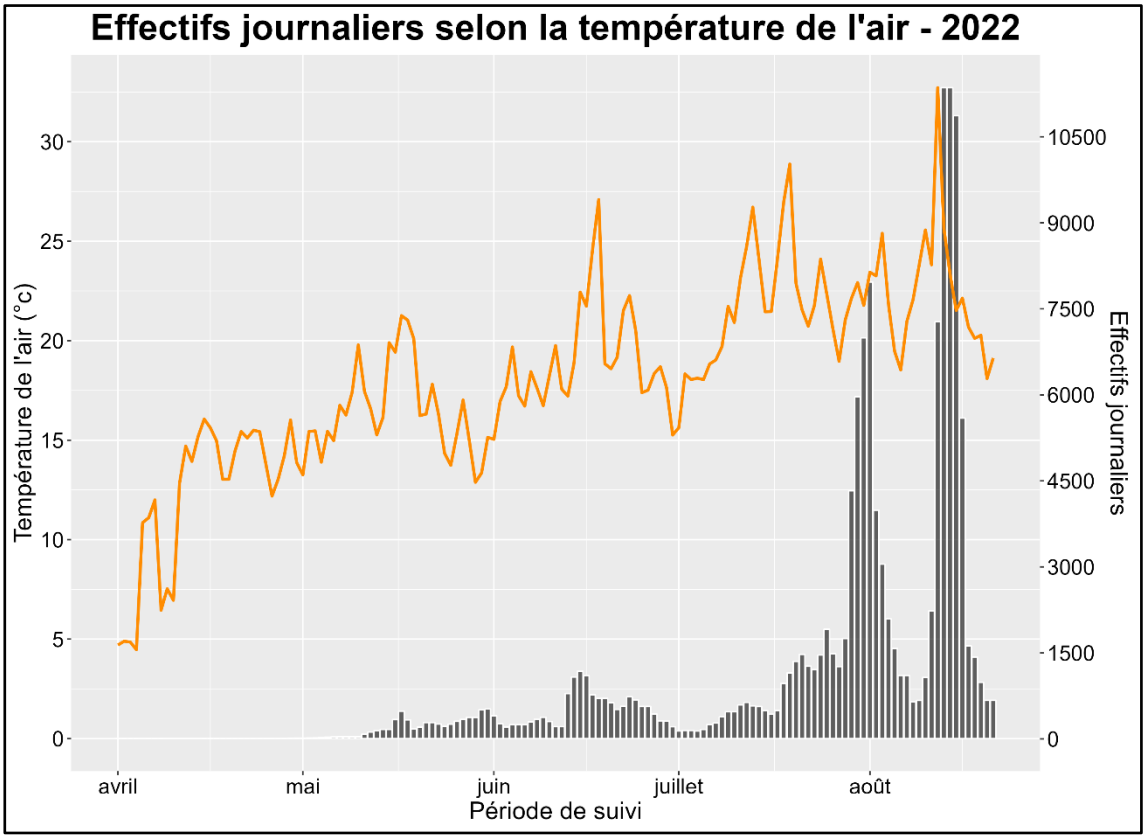
23. **Effectifs journaliers selon la température de la Seine (°C), rive gauche et droite confondues, en 2022.**



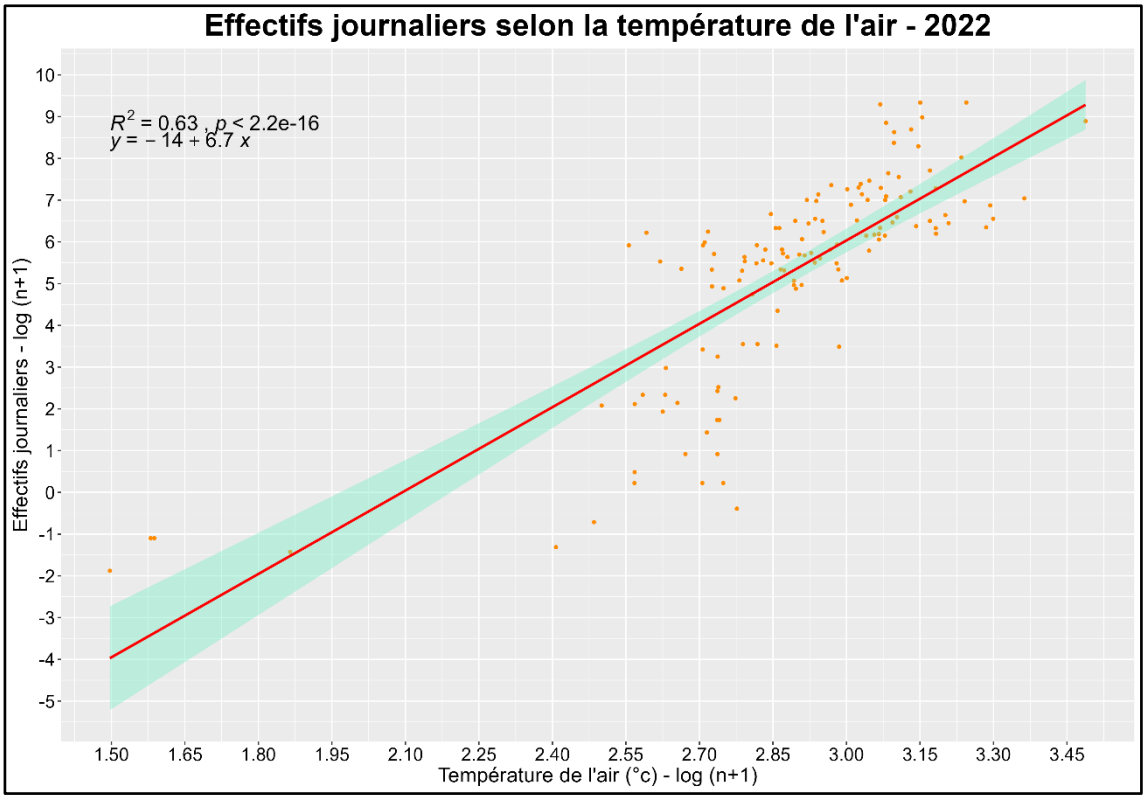
24. **Corrélation entre les effectifs journaliers et la température de la Seine (°C), rive gauche et droite confondues, en 2022.**



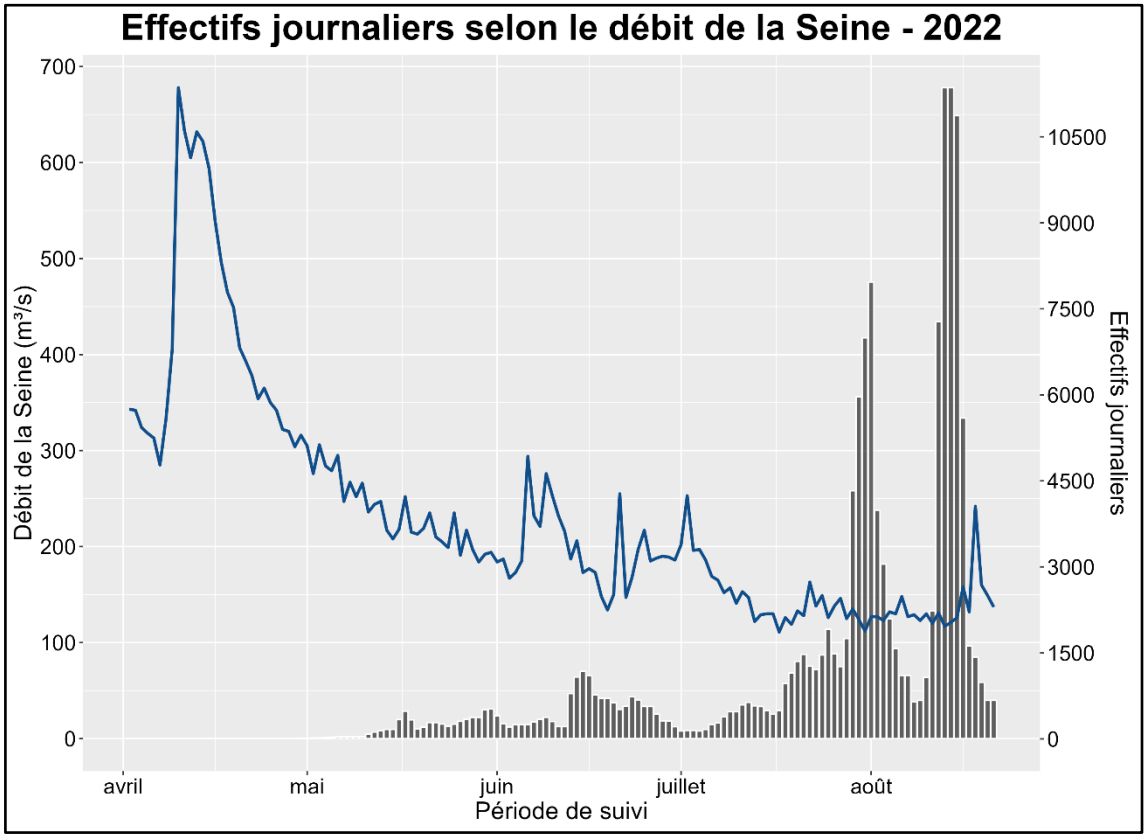
25. **Effectifs journaliers selon la température de l'air (°C), rive gauche et droite confondues, en 2022.**



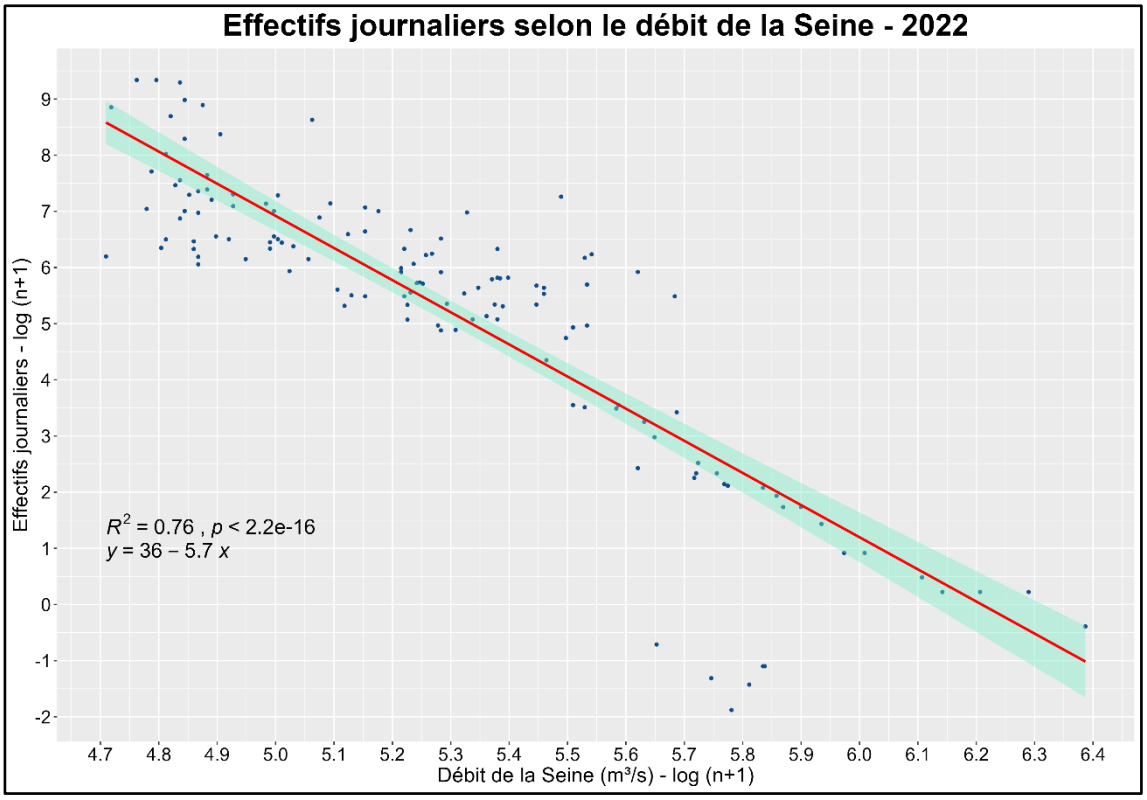
26. **Corrélation entre les effectifs journaliers et la température de l'air (°C), rive gauche et droite, confondues en 2022.**



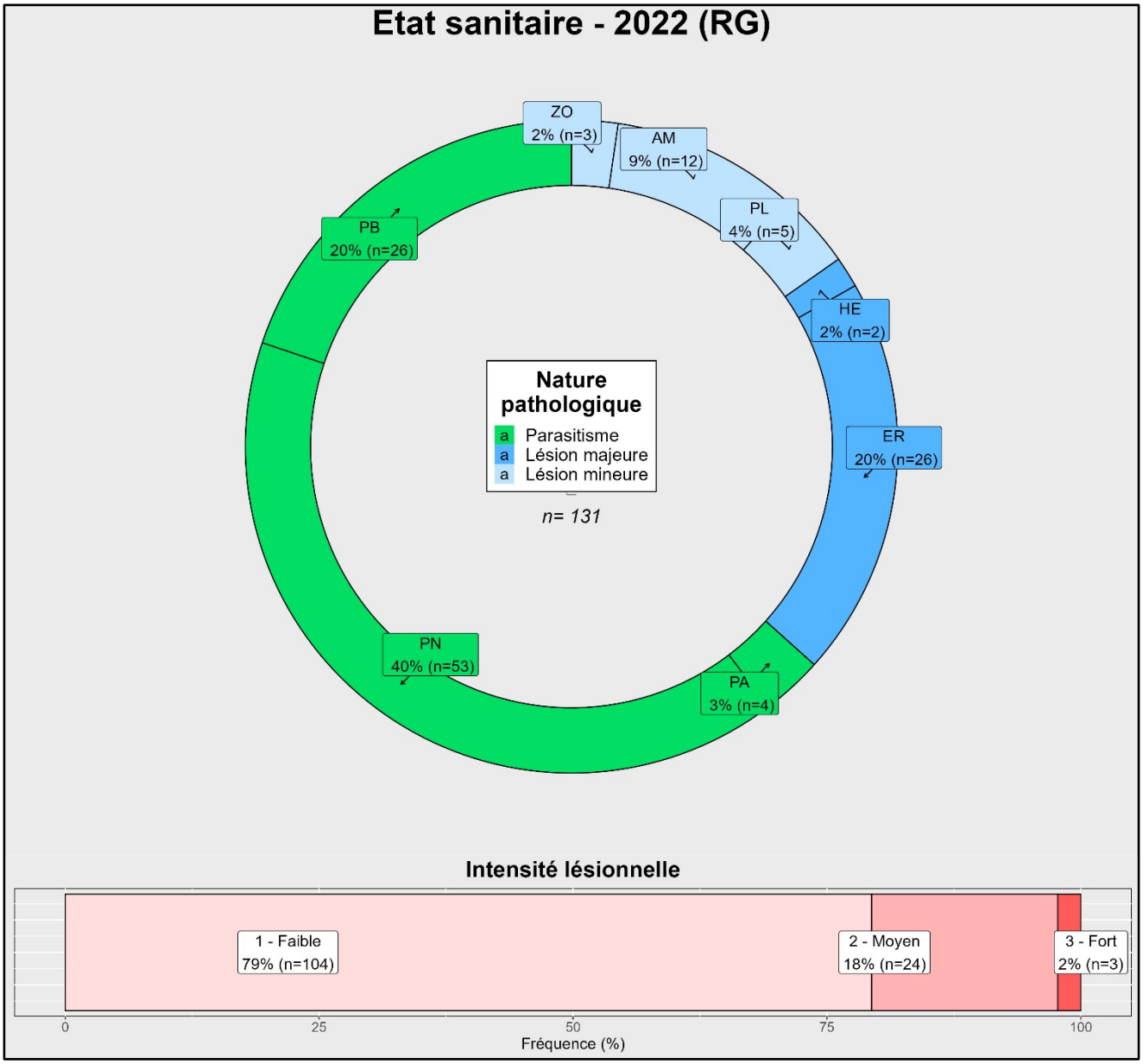
27. Effectifs journaliers selon la débit de la Seine (m³/s), rive gauche et droite confondues, en 2022.



28. Corrélation entre les effectifs journaliers et le débit (m³/s), rive gauche et droite confondues, en 2022.

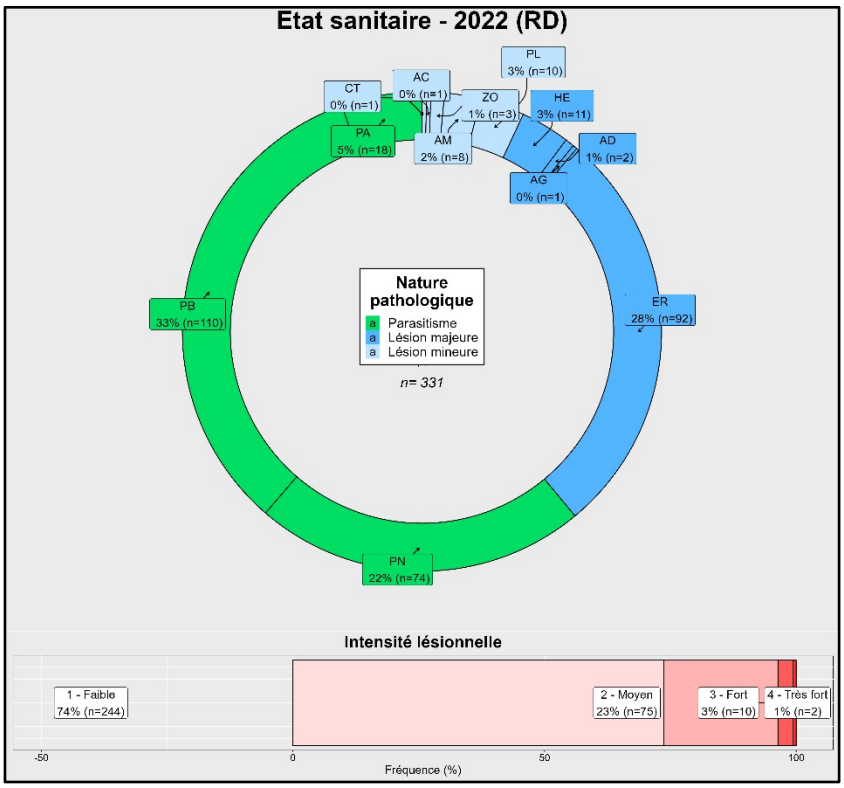


29. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées en rive gauche. *(PA= Parasitisme / PB= Points Blancs / PN= Points Noirs / ER= Erosion / HE= Hémorragie / AM= Maigreur / PL= Plaies / ZO= Etat pathologique multiforme)*



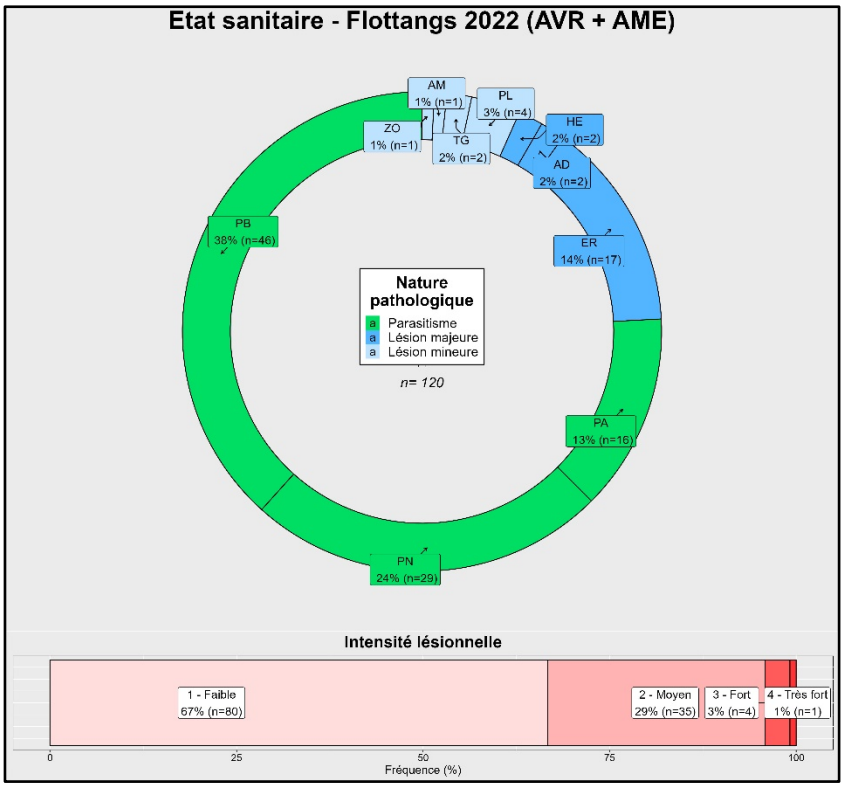
30. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées en rive droite.

(PA= Parasitisme / PB= Points Blancs / PN= Points Noirs / ER= Erosion / AG= Tumeurs, grosseurs / AD= Difformité / HE= Hémorragie / PL= Plaies / AM= Maigreur / ZO= Etat pathologique multiforme / AC= Altération de la Couleur / CT= Coloration terne ou pâle)



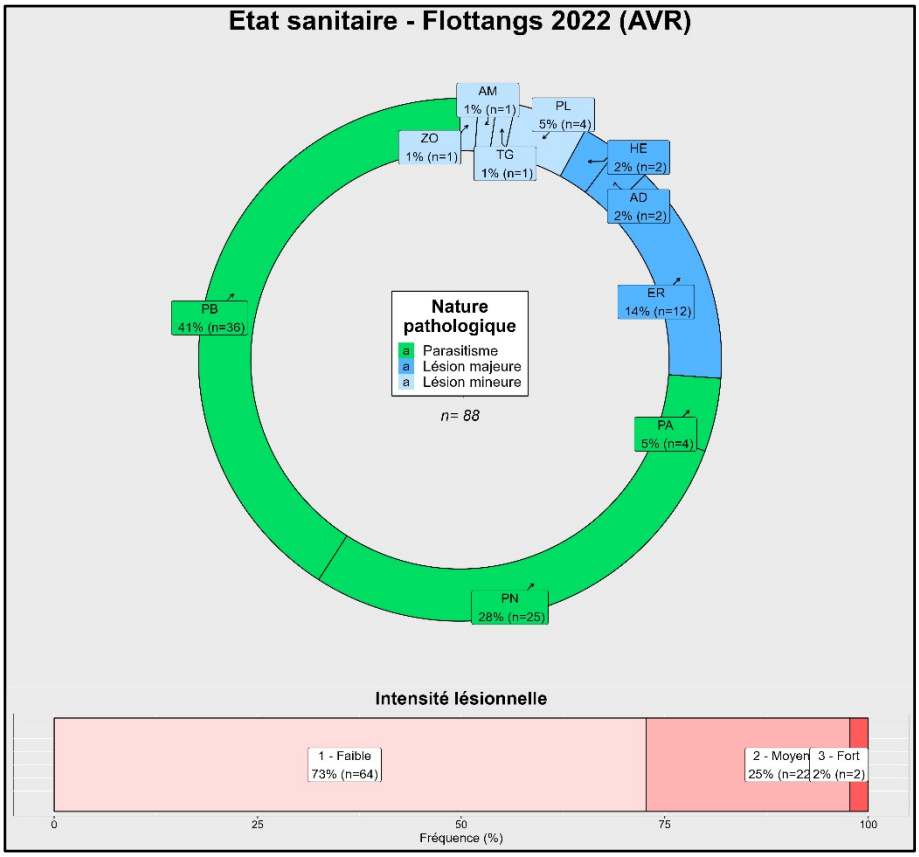
31. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées dans l'AVR et l'AME.

(PA= Parasitisme / PB= Points Blancs / PN= Points Noirs / ER= Erosion / AD= Difformité / HE= Hémorragie / AM= Maigreur / TG= Tumeurs, kystes / PL= Plaies / ZO= Etat pathologique multiforme)

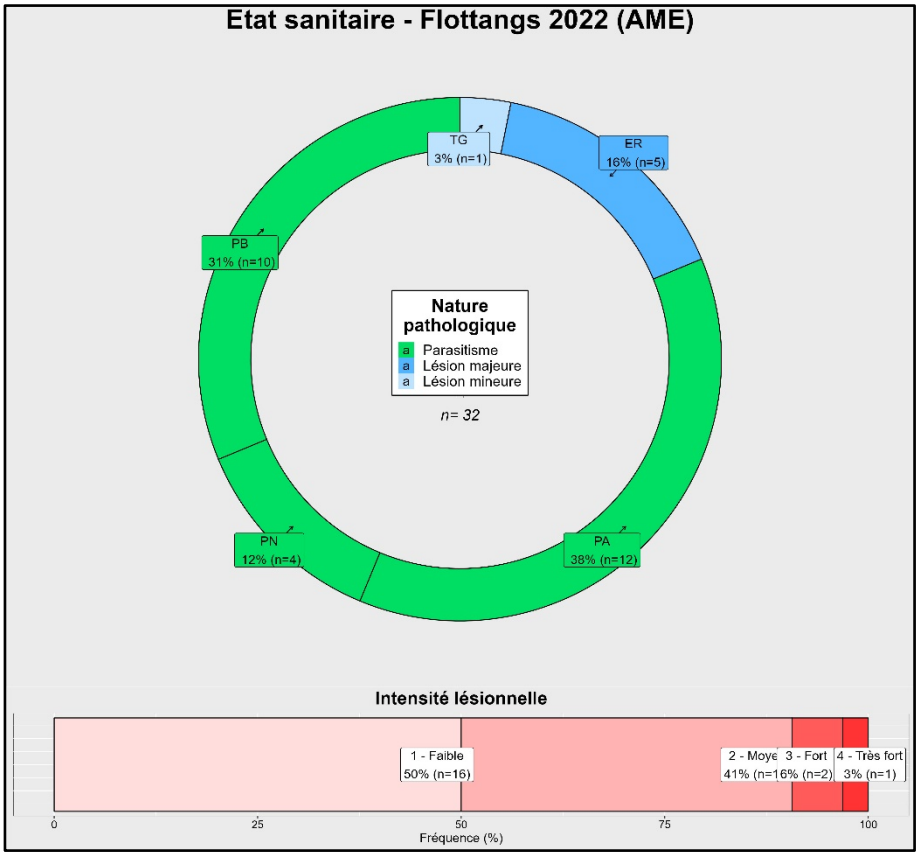


32. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées dans l'AVR.

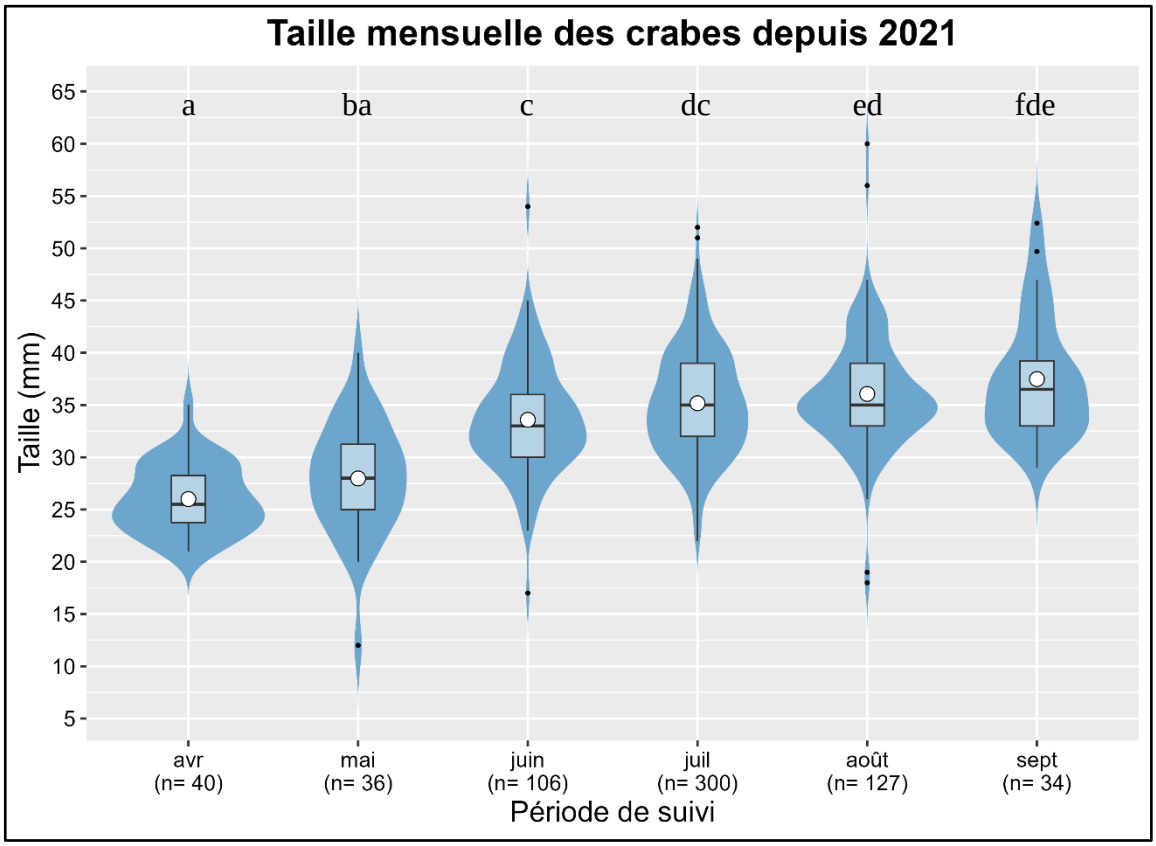
(PA= Parasitisme / PB= Points Blancs / PN= Points Noirs / ER= Erosion / AD= Difformité / HE= Hémorragie / AM= Maigreur / TG= Tumeurs, kystes / PL= Plaies / ZO= Etat pathologique multiforme)



33. Synthèse des pathologies et des intensités lésionnelles observées dans l'AME. *(PA= Parasitisme / PB= Points Blancs / PN= Points Noirs / ER= Erosion / TG= Tumeurs, kystes)*

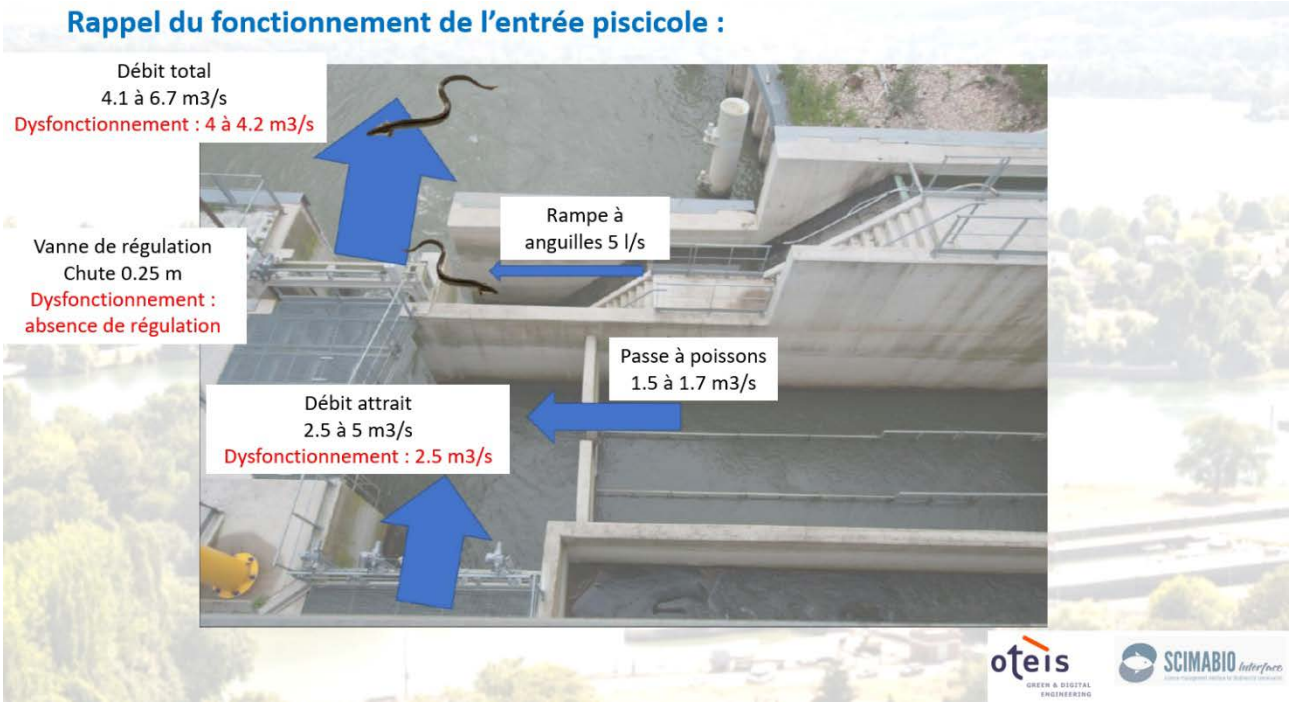
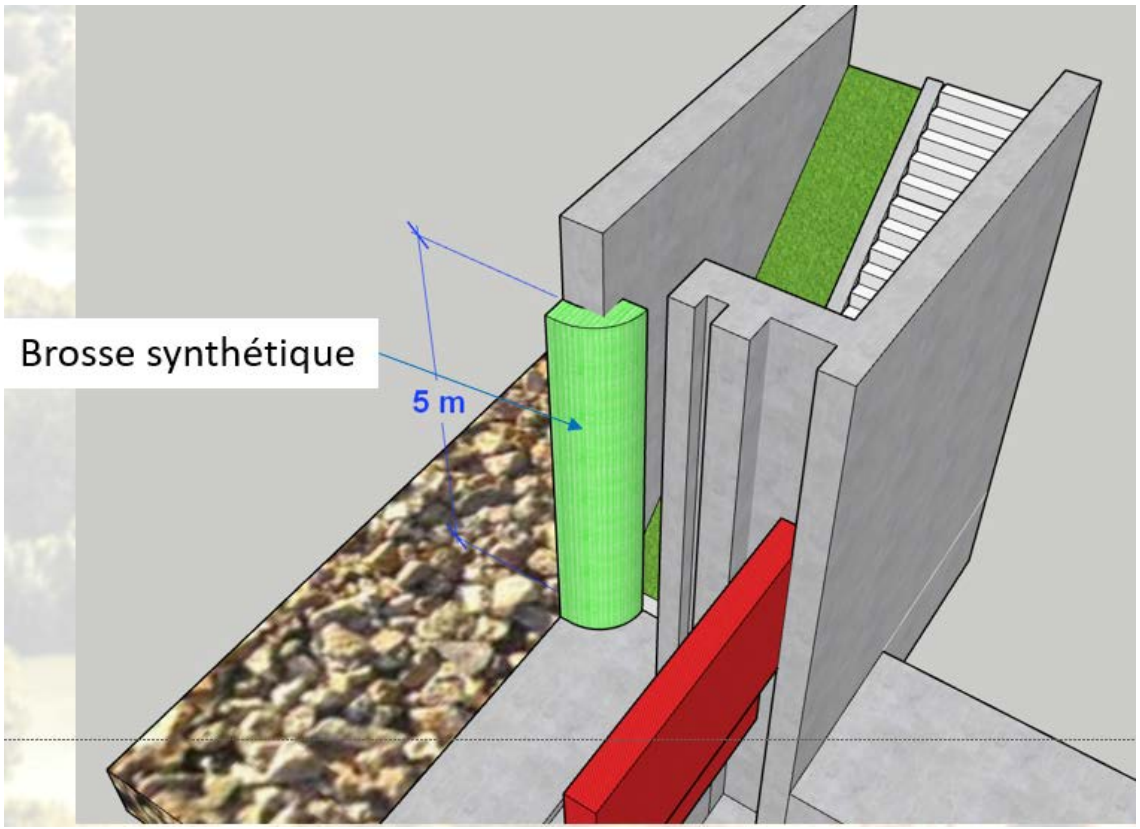


34. **Taille (mm) des crabes chinois (*Eriocheir sinensis*) prélevés depuis 2021.**



35. **Photographie de l'aval de la centrale hydroélectrique et de la rampe à anguille (orange) en rive gauche. En vert, les palplanches longeant la berge et en rouge les courants limitants la montaison** (*Adapté de Théo Neveu, 2021*).

36. **Schéma récapitulatif de la répartition du débit d'attrait en RD** (*SCIMABIO Interface et OTEIS, 2022*).



37. **Proposition d'aménagement d'une rampe à anguille verticale (en arc de cercle), permettant aux anguilles de repter pour progresser dans le dispositif de franchissement** (*SCIMABIO Interface et OTEIS, 2022*).