



Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) au barrage de Poses (Eure) – 2025

Agathe LEBOURG



Sous la direction de : Sébastien GRALL

40 rue Robert Hooke, 76800 Saint-Étienne-du-Rouvray

Du 01/04/2025 au 30/09/2025



ATTESTATION DE SOUTENANCE & APPRECIATIONS DU JURY

Mlle LEBOURG Agathe

Étudiant.e en M2 *Génie Ecologique*, a soutenu ce jour le présent mémoire, devant un jury composé d'enseignants-chercheurs et de chercheurs de l'Université de Poitiers.



❖ Qualité générale du mémoire :

♦ <u>Structuration</u>	♦ <u>Présentation du sujet</u>	♦ <u>Traitement du sujet</u>	♦ <u>Discussion</u>
☐ Excellente	☐ Excellente	☐ Excellente	☐ Excellente
☐ Très bonne	☐ Très bonne	☐ Très bonne	☐ Très bonne
☐ Bonne	☐ Bonne	☐ Bonne	☐ Bonne
☐ Passable	☐ Passable	☐ Passable	☐ Passable
☐ Pas bonne	☐ Pas bonne	☐ Pas bonne	☐ Pas bonne

❖ Qualité générale de la présentation orale :

♦ <u>Prestation</u>	♦ <u>Esprit de synthèse</u>	♦ <u>Qualité de l'illustration</u>
☐ Excellente	☐ Excellent	☐ Excellente
☐ Très bonne	☐ Très bon	☐ Très bonne
☐ Bonne	☐ Bon	☐ Bonne
☐ Passable	☐ Passable	☐ Passable
☐ Pas bonne	☐ Pas bon	☐ Pas bon

❖ Déroulement du stage (*Appréciations du Maître de stage*) :

♦ <u>Insertion dans l'équipe</u>	♦ <u>Qualité d'assimilation</u>	♦ <u>Implication personnelle</u>
☐ Excellente	☐ Excellente	☐ Excellente
☐ Très bonne	☐ Très bonne	☐ Très bonne
☐ Bonne	☐ Bonne	☐ Bonne
☐ Passable	☐ Passable	☐ Passable
☐ Pas bonne	☐ Pas bonne	☐ Pas bon



En conséquence, les appréciations du jury, en l'état actuel du mémoire, sont les suivantes :

➤ Note sur le mémoire : / 20 (coeff. 0.6) ➤ Note sur l'oral..... / 20 (coeff. 0.4)

➤ Avis sur la divulgation du mémoire en l'état actuel :

- | | |
|---|--|
| ☐ Autorisée sans modification. | ☐ Autorisée après modifications majeures. |
| ☐ Autorisée après modifications mineures. | ☐ Non autorisée. |
| ☐ Non divulgation pour clause de confidentialité | |

Fait à Poitiers, le..... Signature et cachet du président du Jury

Remerciements

Je tenais à remercier l'ensemble des personnes que j'ai pu rencontrer au cours de mon stage :

Je remercie tout d'abord, M. Martial Chouquet, président de la FDAAPPMA de l'Eure et de l'association SEINORMIGR, pour m'avoir accepté au sein de cette dernière.

Je remercie également Florian Deshayes, directeur de SEINORMIGR pour son accueil au sein de la structure et sa gentillesse.

J'adresse un remerciement tout particulier à mon maître de stage, Sébastien Grall, chargé d'études, pour le temps qu'il m'a consacré malgré son emploi du temps chargé. Je le remercie pour sa disponibilité, le partage de son expérience et de ses connaissances, notamment en ichtyologie, qui m'ont permis d'enrichir mes compétences. Je le remercie également pour la confiance et l'autonomie qu'il m'a accordées tout au long de ce stage.

Je remercie chaleureusement l'ensemble de l'équipe de SEINORMIGR : Adrien Barault, Florian Deshayes, Alice Lemonnier, Maxime Potier, Romain Dupuy-Jandard et Lilou Ann-Mossmann pour leur accueil bienveillant et leur gentillesse. Je les remercie également pour leur aide précieuse tout au long de ce stage tant sur le terrain qu'au bureau.

Enfin, je tiens à remercier ma famille pour son soutien constant durant ce stage.

Liste des abréviations

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

ACP : Analyse en Composantes Principales

AESN : Agence de l'Eau Seine Normandie

AFB : Agence Française pour la Biodiversité

BGM : Bretagne Grands Migrateurs

CITES : Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora
(Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction)

COGEPOMI : Comité de Gestion des Poissons Migrateurs

FDAAPPMA : Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

GLM : Generalized Linear Model (Modèle linéaire généralisé)

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

IpG : Indice pathologique Global

IpP : Indice pathologique Parasitaire

MIGADO : Migrateurs Garonne Dordogne

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturel

MRM : Migrateurs Rhône-Méditerranée

NAO : North Atlantic Oscillation (Oscillation Nord-Atlantique)

PCB : Polychlorobiphényles

PGA : Plan de Gestion Anguille

PLAGEPOMI : Plan de Gestion des Poissons Migrateurs

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SEINORMIGR : Seine-Normandie Migrateurs

STACOMI : Station de Contrôle des Migrations

UGA : Unité de Gestion Anguille

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

VNF : Voies Navigables de France

WWF : World Wide Fund for Nature (Fonds mondial pour la nature)

ZAP : Zone d'Action Prioritaire

Avant-propos

L'association Seine-Normandie Migrateurs (SEINORMIGR) fait partie des huit associations migrateurs interrégionales de France (Figure 1). Elle a été créée en 2007 sur l'initiative de l'ancien Président de la Fédération de la Seine-Maritime pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, M. Daniel Hanchard. L'objectif était de pallier le manque de suivis sur les populations de poissons migrateurs en Haute-Normandie pour ainsi créer une unique et même continuité sur le suivi et la gestion de ces populations. En 2011, elle est inscrite au Plan de Gestion des Poissons Migrateurs

(PLAGEPOMI) du bassin Seine-Normandie où elle siège en tant qu'invité permanent. C'est en 2012 qu'elle obtient son agrément en qualité d'association de protection de l'environnement sur la région Haute-Normandie et depuis 2013 elle est habilitée à prendre part aux débats environnementaux dans le cadre des instances consultatives régionales. En 2020, elle fusionne avec Normandie Grands Migrateurs afin de créer une seule et unique association de grands migrateurs sur le territoire Seine-Normandie.

Son territoire s'étend sur une superficie de 94 500 km² sur lequel se trouvent près de 55 000 km de cours d'eau. Il regroupe par adhésion 20 Fédérations Départementales pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) couvrant 23 départements, des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) et des adhérents physiques représentant ainsi plus de 200 000 pêcheurs. Elle est gérée par un conseil d'administration composé de 20 membres dont le président est M. Martial Chouquet, et compte depuis 2009 sur une équipe technique comptant actuellement six salariés permanents répartis sur deux antennes : Rouen (76) et Mondeville (14) (Figure 2).

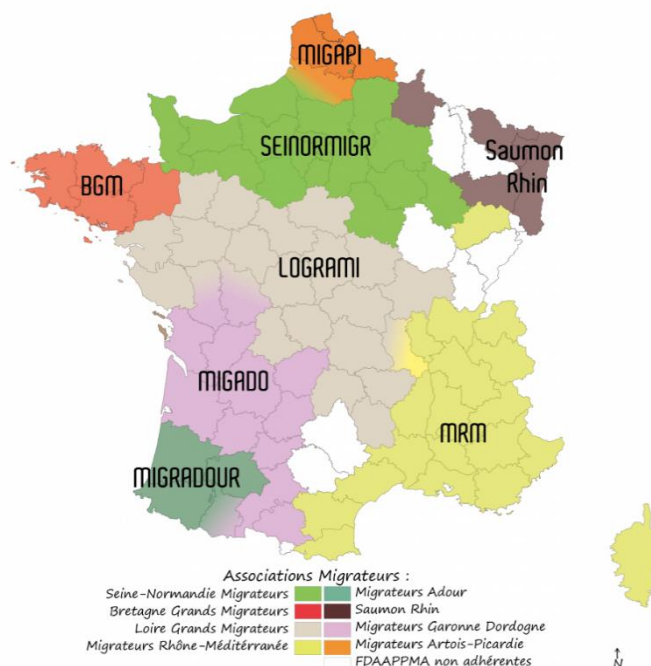


Figure 1 : Territoire des Associations Migrateurs en France (SEINORMIGR)

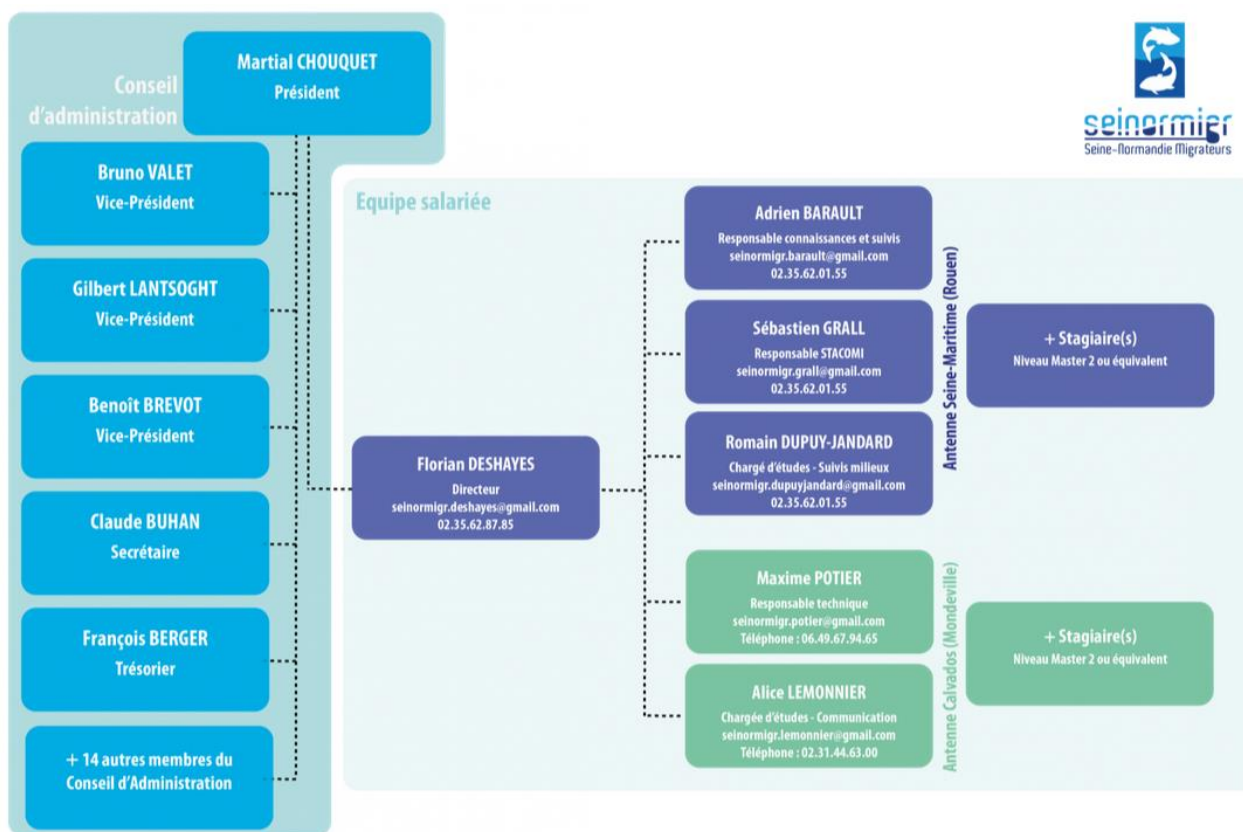


Figure 2 : Organigramme de l'association SEINORMIGR (SEINORMIGR)

Les salariés assurent le suivi et la gestion de sept espèces migratrices amphihalines : le Saumon atlantique, la Truite de mer, l'Anguille européenne, l'Alose feinte, la Grande alose, la Lamproie fluviatile et la Lamproie marine. Leurs missions principales incluent :

1. **Étude et suivi** des populations de poissons migrateurs en Seine-Normandie et en Normandie.
2. **Valorisation et gestion durable** des espèces migratrices grâce à une diffusion accessible des connaissances scientifiques.
3. **Soutien aux projets de restauration** des habitats et axes de circulation des poissons migrateurs.
4. **Assistance technique et administrative** aux porteurs de projets liés au cycle biologique des migrateurs.
5. **Conduite et coordination d'études** pour appuyer les décisions politiques sur la gestion des cours d'eau.
6. **Participation aux stratégies de restauration** des poissons migrateurs au sein des instances nationales et régionales.
7. **Communication et diffusion des données** sous forme de publications, tableaux de bord et outils d'évaluation adaptés à tous les niveaux.

Table des matières

Remerciements	
Liste des abréviations.....	
Avant-propos.....	
Table des figures	
Table des tableaux	
I. Introduction	1
II. Contexte.....	2
1) Généralités sur l'Anguille européenne	2
a) Présentation de l'espèce.....	2
b) Cycle biologique et aire de répartition	3
c) Intérêts écologiques et économiques.....	6
d) Les menaces	7
e) Les protections.....	8
2) Le contexte géographique	9
a) Le bassin de la Seine	9
b) Le barrage de Poses : site d'étude	11
III. Matériels et méthodes	12
1) Les rampes à anguilles : pièges actifs	12
a) Rive gauche	12
b) Rive droite	13
2) Protocole de suivi du recrutement	13
a) Fréquence de suivi	13
b) Protocole de suivi et entretien des pièges	14
3) Le « flottang » : piège passif	15
4) Saisie et bancarisation des données	16
5) Paramètres environnementaux	16

6)	Traitement des données	16
a)	Indice pathologique Global (IpG) et Indice pathologique Parasitaire (IpP).....	16
b)	Analyses statistiques.....	17
IV.	Résultats	18
1)	Bilan migratoire 2025.....	18
a)	Les rampes à anguilles	18
b)	Le flottang	19
2)	Bilan migratoire interannuel.....	19
a)	Les rampes à anguilles	19
b)	Le flottang	20
3)	Morphotypes des individus de 2025.....	20
a)	Taille des individus selon le dispositif	21
b)	Évolution de la taille en fonction du mois	22
4)	Effets des paramètres environnementaux	23
5)	État sanitaire du recrutement 2025.....	24
a)	Caractéristiques sanitaires générales	24
b)	Évolution temporelle des pathologies observées.....	25
V.	Discussion	25
1)	Bilan du recrutement 2025	25
2)	Évaluation de l'état sanitaire du recrutement.....	28
3)	Influence des paramètres environnementaux sur le recrutement	29
4)	Limites et perspectives	30
a)	Contraintes techniques et limites des dispositifs	30
b)	Biais dans l'estimation du recrutement.....	31
c)	Pistes d'amélioration	32
VI.	Conclusion.....	32
	Références.....	34

Annexes.....

Résumé.....

Abstract.....

Table des figures

Figure 1 : Territoire des Associations Migrateurs en France (SEINORMIGR)	6
Figure 2 : Organigramme de l'association SEINORMIGR (SEINORMIGR)	7
Figure 3 : Anguilla anguilla (MRM, 2019).....	2
Figure 4 : Aire de répartition et cycle biologique de l'Anguille européenne (SEINORMIGR)	3
Figure 5 : Larve leptocéphale (E. Feunteun, MNHN)	4
Figure 6 : Civelle (FDAAPPMA 33)	5
Figure 7 : Anguille jaune (en haut) et argentée (en bas) (SEINORMIGR)	5
Figure 8 : Évolution de l'indice d'arrivée de civelles en France de 1960 à 2018 (AFB).....	8
Figure 9 : Le bassin de la Seine (AESN)	9
Figure 10 : Carte de la localisation et des infrastructures du barrage de Poses en Normandie. A) Carte du bassin de la Seine (AESN), et B) Vue aérienne du barrage (Construction cayola).	11
Figure 11 : Dispositifs de franchissement pour les anguilles (SEINORMIGR)	13
Figure 12 : Protocole de dénombrement établi par SEINORMIGR	14
Figure 13 : Flottang (SEINORMIGR).....	15
Figure 14 : Graphique des effectifs journaliers et cumulés en anguilles (rive gauche et rive droite)	18
Figure 15 : Graphique des effectifs journaliers et cumulés en anguilles du flottang	19
Figure 16 : Graphique des effectifs cumulés interannuels en anguilles	19
Figure 17 : Graphique des effectifs cumulés interannuels du flottang	20
Figure 18 : Taille des individus en fonction du dispositif de piégeage	21
Figure 19 : Graphique des classes de taille des individus selon le dispositif	22
Figure 20 : Évolution de la taille des individus au cours des mois (dispositifs groupés)	22
Figure 21 : Cercle des corrélations de l'ACP	23
Figure 22 : Projection du recrutement d'anguilles en fonction des mois	23
Figure 23 : Évolution des types de pathologies au cours des mois	25

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des opérations d'entretien des pièges à anguille du barrage de Poses. La mention OUI précise les manipulations à effectuer selon la rive. *Le répartiteur (amont direct des rampes), disperse un filet d'eau sur la largeur des brosses.....	15
Tableau 2 : Grille d'interprétation des indices IpG et IpP (Elie & Girard, 2014)	17
Tableau 3 : Synthèse des données sanitaires du recrutement.....	24

I. Introduction

Les milieux aquatiques, marins comme dulçaquicoles jouent un rôle crucial dans les équilibres écologiques et fournissent des services essentiels, tels que la régulation des écosystèmes et le soutien à de nombreuses activités humaines (*Naturefrance*, 2022, 2023). Cependant, ces milieux subissent depuis plusieurs décennies des pressions croissantes, principalement liées aux activités humaines, entraînant une perte alarmante et continue de leur biodiversité (Borgwardt *et al.*, 2018). Parmi ces pressions, la fragmentation des rivières, naturelle mais surtout artificielle via les barrages et autres aménagements anthropiques, réduit la connectivité (Rahel & McLaughlin, 2018). L'étude de Grill *et al.* (2019) suggère que 63 % des rivières dans le monde ne coulent plus librement et que la moitié de tous les tronçons de cours d'eau ont une connectivité réduite. Cette fragmentation contribue au déclin des populations de poissons migrateurs d'eau douce qui ont diminué de 81 % entre 1970 et 2020 selon le dernier rapport du WWF (Deinet *et al.*, 2024).

L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) figure parmi les espèces les plus touchées par les menaces pesant sur les milieux aquatiques. Autrefois abondante et considérée comme une ressource inépuisable, elle représentait plus de 50 % de la biomasse piscicole en aval des systèmes fluviaux (Bruslé & Quignard, 2013; Keith *et al.*, 2011). Jusqu'en 1984, elle était considérée comme nuisible du fait de son aspect serpentiforme et était systématiquement retirée des rivières à salmonidés car elle était jugée responsable, à tort, de leur déclin (Adam *et al.*, 2008). Aujourd'hui, son déclin est alarmant avec une diminution estimée entre 90 et 99 % des stocks depuis 1960 (Dekker, 2003a; Feunteun, 2002; Gollock *et al.*, 2011; Moriarty & Dekker, 1997). Il résulte de nombreux facteurs tels que la surpêche, la dégradation des habitats, la pollution ou encore le changement climatique (Bruslé, 1994). Au vu de ces faibles effectifs, l'espèce a été classée en danger critique d'extinction par l'UICN (Pike *et al.*, 2020) et fait l'objet d'un Plan de Gestion Anguille (PGA) mis en place par le règlement (CE) n° 1100/2007 de l'Union Européenne en vigueur depuis 2009 (PGA France, 2010). Ce plan est décliné localement en Unités de Gestion Anguille (UGA) et vise à coordonner les mesures de conservation et de gestion pour assurer la survie de l'espèce.

Dans ce contexte, l'association SEINORMIGR assure depuis 2014 un suivi annuel du recrutement sur le bassin de la Seine, au niveau du barrage de Poses. Ce recrutement, correspondant à l'arrivée des jeunes anguilles dans les eaux douces après leur migration depuis la mer des Sargasses, est un indicateur clé de l'état des populations et des efforts de conservation. En tant que premier obstacle rencontré depuis la mer, le barrage de Poses constitue un site stratégique

pour le suivi de l'espèce. L'objectif principal de ce suivi est d'analyser le recrutement des jeunes anguilles en Seine en étudiant à la fois les aspects quantitatifs et qualitatifs. Cela inclut également une comparaison des recrutements annuels, d'évaluer l'efficacité des dispositifs de franchissement installés sur le fleuve, et d'identifier les paramètres environnementaux influençant la migration. Cette étude s'articule autour de plusieurs hypothèses. D'une part, il est supposé que les variations entre les flux migratoires soient liées à des facteurs environnementaux tels que le débit et la température de l'eau (Feunteun *et al.*, 2003; White & Knights, 1994). Et d'autre part, bien que les dispositifs de franchissement installés sur le barrage soient essentiels, leur efficacité reste probablement insuffisante pour garantir une migration optimale.

Ce rapport présente, dans un premier temps, l'Anguille européenne ainsi que le bassin de la Seine et le site d'étude. Puis, la partie « matériels et méthodes » détaille les dispositifs de franchissement, le protocole de suivi ainsi que le traitement des données. Enfin, les résultats obtenus sont présentés et discutés, permettant de tirer des conclusions sur le recrutement, ouvrant ainsi la voie à des pistes d'amélioration pour la gestion de l'espèce.

II. Contexte

1) Généralités sur l'Anguille européenne

a) Présentation de l'espèce

L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est un poisson téléostéen thalassotoque de la famille des Anguillidae (Fricke & Fong, 2025; Pike *et al.*, 2020). Elle est reconnaissable grâce à sa morphologie serpentiforme, d'où elle tire son nom, « *anguis* » signifiant serpent en latin (Durif, 2003). Son corps cylindrique s'aplatit dans la région caudale et est doté de trois nageoires : une nageoire impaire issue de la fusion des nageoires dorsale, caudale et anale, et deux nageoires pectorales développées (Durif, 2003; Hirschinger, 2015; Keith *et al.*, 2011) (Figure 3). Bien que sa capacité de nage soit faible et qu'elle soit incapable de sauter, elle sécrète un mucus abondant qui facilite son déplacement par reptation (Hirschinger, 2015; Keith *et al.*, 2011) permettant même aux jeunes anguilles de grimper sur des surfaces verticales grâce aux forces de tension superficielles (BGM, n.d.).

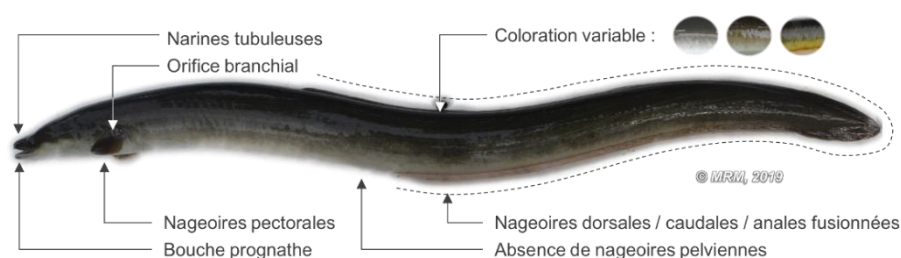


Figure 3 : *Anguilla anguilla* (MRM, 2019)

L'anguille est caractérisée par un hermaphrodisme juvénile, ce qui implique une coexistence entre les cellules mâles et femelles et une différenciation sexuelle progressive (Tesch, 1977). La population d'Anguille européenne est considérée comme panmictique, formant une seule population génétique avec un brassage aléatoire des individus (Als *et al.*, 2011; Palm *et al.*, 2009; Schmidt, 1922; Tesch, 1977). Toutefois, cette hypothèse fait l'objet de débats, certaines études mettant en évidence des hétérogénéités de taille et de distance au sein du génome (Maes & Volckaert, 2007; Pujolar *et al.*, 2007; Ragauskas *et al.*, 2017; Wirth & Bernatchez, 2001).

b) Cycle biologique et aire de répartition

L'Anguille européenne est un poisson amphihalín catadrome : elle passe donc la majeure partie de sa vie en eau douce ou saumâtre avant de regagner la mer pour se reproduire (Tesch, 1977). Elle est capable de s'adapter à d'importantes variations de température et de salinité, ce qui lui permet de coloniser de nombreux milieux aquatiques continentaux tels que les estuaires, les cours d'eau et les marais littoraux (Hirschinger, 2015). Cette plasticité rend son aire de distribution très vaste. Cette dernière s'étend de son unique lieu de ponte présumé, dans la mer des Sargasses, une région de l'océan Atlantique située à environ 6 000 km des côtes européennes, jusqu'en Europe et au nord de l'Afrique (Elie & Rochard, 1994; Schmidt, 1922) (Figure 4).

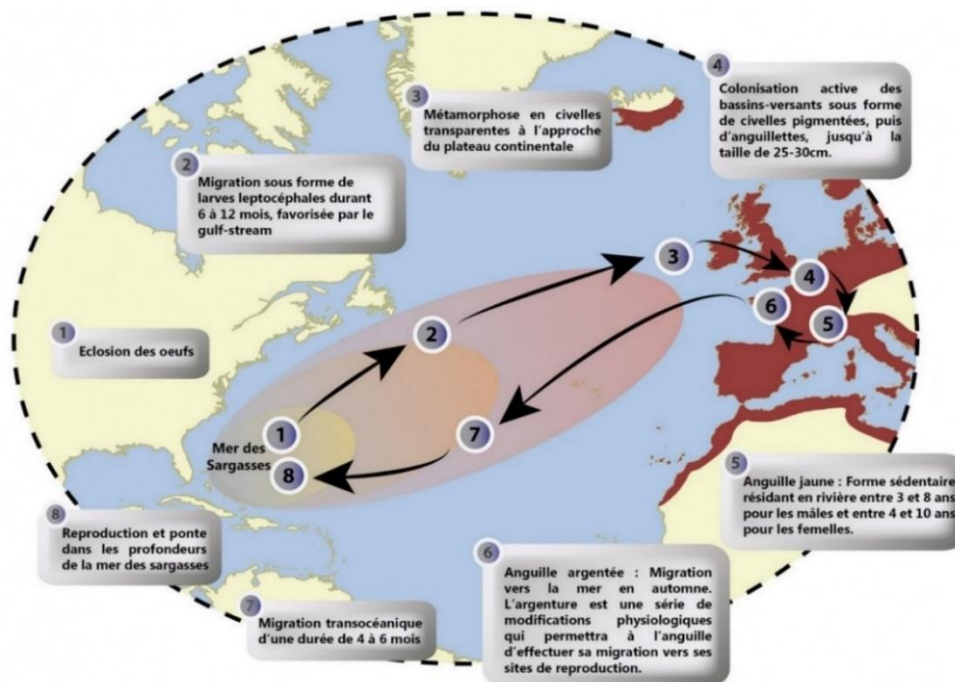


Figure 4 : Aire de répartition et cycle biologique de l'Anguille européenne (SEINORMIGR)

Le cycle biologique de l'Anguille européenne demeure méconnu et complexe, car sa reproduction n'a jamais été directement observée, et aucun œuf n'a encore été découvert dans sa

zone de fraie présumée (Adam *et al.*, 2008). Cependant, il comprend plusieurs phases bien établies, notamment deux migrations transocéaniques (anadrome et catadrome), une phase de croissance continentale (sédentarisation), deux métamorphoses, et probablement une unique reproduction (Acou, 2006; Arai, 2020) (Figure 4).

Ce cycle débute dans la mer des Sargasses dans une vaste zone couvrant 2 000 km de large (Miller *et al.*, 2019; Schmidt, 1922). Les œufs éclosent au printemps, en petites larves translucides, appelées leptocéphales. Elles sont caractérisées par leur taille de quelques millimètres et leur forme en feuille de saule adaptée au milieu pélagique (Keith *et al.*, 2011; Lecomte-Finiger *et al.*, 2004; Schmidt, 1922) (Figure 5). Ces larves entament leur migration anadrome transocéanique, guidées par le Gulf Stream, un courant océanique chaud, et leurs capacités de détection de l'eau douce (McCleave *et al.*, 1987; Tesch, 1977). La durée de cette migration est controversée mais durerait environ 21 mois (Bonhommeau *et al.*, 2009). Au cours de celle-ci, elles effectuent des migrations nycthémerales, alternant entre 200 et 300 mètres de profondeur la journée pour éviter les prédateurs, et 25 mètres la nuit pour se nourrir de zooplancton (Castonguay & McCleave, 1987; Hirschinger, 2015). À l'approche du talus continental, elles cessent de se nourrir et entament leur métamorphose en civelle (Hirschinger, 2015).

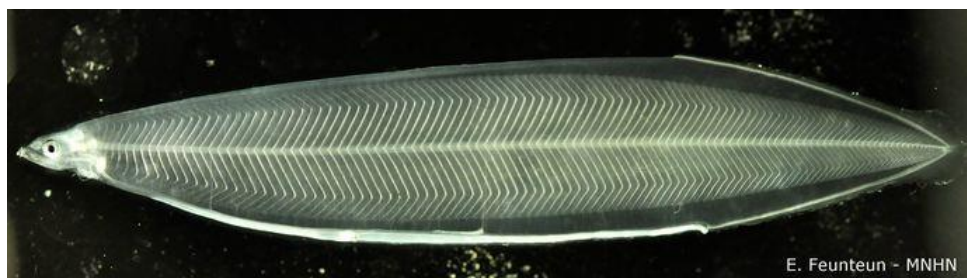


Figure 5 : Larve leptocéphale (E. Feunteun, MNHN)

Cette métamorphose entraîne des changements morphologiques, physiologiques et comportementaux (Elie & Rochard, 1994; Feunteun *et al.*, 2011). Au départ transparentes, les civelles mesurent entre 60 et 80 millimètres (Adam *et al.*, 2008) et développent leur pigmentation au contact de l'eau douce sous l'influence de la salinité et de la température (Briand *et al.*, 2005; Hirschinger, 2015) (Figure 6). Initialement présentes dans la zone d'influence des marées, une grande majorité colonise progressivement les fleuves et les rivières profitant de la marée montante pour se faire transporter à la surface, et rejoignant le fond à marée descendante (Hirschinger, 2015). Ce stade dure environ 3 mois et est subdivisé en 8 stades pigmentaires (Elie *et al.*, 1982; Prouzet, 2003). Leur alimentation reprend progressivement et est composée de sédiments, d'insectes, de crustacés et de vers (Cantrelle, 1984; Derbal *et al.*, 2013). La migration est influencée par divers

facteurs notamment le crépuscule (Bardonnnet *et al.*, 2003, 2005), la température de l'eau (White & Knights, 1994), la marée montante (Bardonnnet *et al.*, 2005; Cantrelle, 1984) et le cycle lunaire (Todd, 1981). Une fois pigmentées, les civelles deviennent des anguillettes de 8 à 15 cm sans différenciation sexuelle, qui colonisent activement les bassins versants jusqu'à atteindre environ 30 cm (Adam, 1997; Laffaille *et al.*, 2000).



Figure 6 : Civelle (FDAAPPMA 33)

Le stade anguille jaune marque la fin de la migration anadrome active et correspond à une phase de croissance sédentaire qui dure plusieurs années, bien que certains individus conservent une mobilité (Adam *et al.*, 2008; Daverat *et al.*, 2006; Laffaille, Acou, *et al.*, 2005). L'anguille possède alors une coloration brun-verdâtre. Elle exploite intensivement les ressources trophiques, avec un régime carnivore opportuniste, pour préparer sa migration catadrome (Derbal *et al.*, 2013) (Figure 7). La spermatogénèse et l'ovogenèse sont simultanées, mais le développement du sexe mâle est soumis à la densité dépendance : ils dominent dans les zones des parties basses des bassins versants où la densité de population et la disponibilité de ressources sont importantes, tandis que les femelles dominent en amont où la densité est plus faible (Adam *et al.*, 2008; Passakas & Tesch, 1980). Un dimorphisme sexuel en découle : les femelles croissent plus rapidement et plus longtemps (5 à 18 ans contre 3 à 9 ans pour les mâles), et atteignent des tailles dépassant parfois un mètre, tandis que les mâles dépassent rarement 45 cm (Acou, 2006; Bruslé & Quignard, 2013; Keith *et al.*, 2020).



Figure 7 : Anguille jaune (en haut) et argentée (en bas) (SEINORMIGR)

L'argenture est la dernière métamorphose, marquant le passage à la phase migratoire et reproductive. Elle s'accompagne de changements morphologiques et physiologiques majeurs : les gonades deviennent matures, la pigmentation devient argentée sur le dos et blanche sur le ventre offrant un camouflage adapté au milieu marin (Tesch, 1977) et les yeux s'élargissent avec une augmentation des photorécepteurs (Adam, 1997; Pankhurst & Lythgoe, 1983) (Figure 7). Le derme s'épaissit, la production de mucus augmente (Saglio *et al.*, 1988) et les nageoires pectorales s'allongent (Durif, 2003). La paroi de la vessie natatoire subit également des modifications permettant le maintien de la pression hydrostatique à plus de 2 000 mètres de profondeur (Adam *et al.*, 2008; Lecomte-Finiger, 1990). Le début de la migration est influencé par différents paramètres environnementaux tels que la température, le cycle lunaire et la photopériode (Adam *et al.*, 2008). D'après Westin (1990), l'orientation vers leur lieu de ponte se ferait grâce à la température et à l'olfaction, mais l'hypothèse la plus probable est celle de l'utilisation du champ magnétique terrestre (Durif *et al.*, 2013; Schabetsberger *et al.*, 2016). La reproduction de cette espèce semelpare aurait lieu à 400 mètres de profondeur et les femelles produiraient entre 0.8 et 1.2 millions d'œufs (Feunteun *et al.*, 2011; Righton *et al.*, 2016; Tesch, 1977).

c) Intérêts écologiques et économiques

Sur le plan écologique, l'Anguille européenne colonise l'ensemble des milieux aquatiques accessibles, elle est donc l'une des espèces de poissons occupant la plus grande diversité d'habitats en France (Laffaille, Briand, *et al.*, 2005). En tant qu'espèce benthique bio-accumulatrice (Baillon, 2015) et bio-intégratrice (Feunteun, 2002), elle a un fort intérêt scientifique notamment dans l'expertise de la qualité de l'environnement. Feunteun (2002), va même jusqu'à la qualifier d'espèce parapluie rendant sa gestion bénéfique pour les organismes cohabitants. Son abondance dans le milieu reflète donc la connectivité avec d'autres habitats ainsi qu'une bonne qualité physico-chimique, l'espèce étant particulièrement sensible aux pollutions diffuses (Robinet & Feunteun, 2002).

Sur le plan économique, elle est une ressource à forte valeur marchande, exploitée et commercialisée à tous ses stades continentaux (Elie, 1979). Dans les années 2000, la pêche en Europe atteignait environ 500 tonnes de civelles, principalement destinées à l'exportation vers l'Asie, et 20 000 tonnes d'anguilles adultes étaient vendues sur les marchés locaux ou nationaux (Dekker, 2003b; Imbert *et al.*, 2008). Parallèlement, l'aquaculture européenne produisait 10 000 tonnes d'anguilles en 2007 (Peyre, 2018). Cette forte demande a eu un impact sur l'évolution du

prix moyen au kilo de la civelle qui est passé de 61€/kg en 1989 à plus de 500€/kg en 2024 (Alonso & Van Uhm, 2023; PGA France, 2010, 2024).

d) Les menaces

Du fait de sa capacité de colonisation des différents milieux aquatiques dulçaquicoles et marins, l'anguille est exposée à de nombreuses menaces naturelles et anthropiques :

- **Surpêche** : La pêche professionnelle de l'anguille atteint environ 20 000 tonnes par an dans son aire de répartition, avec environ 2 milliards d'anguilles capturées en Europe (Moriarty & Dekker, 1997). La demande grandissante en Asie de l'Est, entraîne un braconnage important des civelles, considérées comme met raffiné et médicinales (Alonso & Van Uhm, 2023).
- **Dégradation des habitats** : Les modifications des substrats et la destruction des zones humides affectent les populations d'anguilles (Bruslé, 1994). Les barrages et autres obstacles à la migration provoquent une rupture de la continuité écologique, limitant l'accès des individus aux habitats situés en amont et affectant leur croissance (Lasne & Laffaille, 2007; Machut *et al.*, 2007). De plus, les turbines des centrales hydroélectriques provoquent une mortalité importante lors de la dévalaison (Bruslé, 1994; Moriarty & Dekker, 1997).
- **Pollution** : En tant qu'espèce bio-accumulatrice, l'anguille est sensible à certains composés xénobiotiques tels que les polychlorobiphényles (PCB), les métaux lourds, les pesticides, ... qui peuvent diminuer les capacités reproductrices, migratoires ou de résistance au stress, voire entraîner la mort (Bruslé, 1994; Moriarty & Dekker, 1997; White & Knights, 1994).
- **Changement climatique** : Les changements globaux, incluant la modification des courants marins et de l'oscillation Nord-Atlantique (NAO), perturbent les migrations amphihalines et augmentent la mortalité des leptocéphales lors de leur migration (Dekker, 1998; Kettle *et al.*, 2008; Miller *et al.*, 2016). De plus, l'augmentation de la température et la modification du débit des cours d'eau impactent la migration des anguilles argentées (Acou *et al.*, 2008; Bruijs & Durif, 2009).
- **Maladies** : Si les parasites autochtones ne semblent pas jouer un rôle majeur dans leur déclin (Bruslé, 1994), les parasites allochtones exercent une pression plus importante. Par exemple, le parasite asiatique *Anguillicola crassus*, est responsable de la détérioration de la vessie natatoire, ce qui réduit les capacités de nage et compromet le succès reproducteur des individus adultes (Barry *et al.*, 2014; Kirk, 2003; Palstra *et al.*, 2007).

- **Prédation** : L'anguille est la proie de nombreux prédateurs tels que les ardéidés (Feunteun & Marion, 1994), les cormorans, les mouettes (Bruslé, 1994), les mammifères comme la loutre (Libois & Rosoux, 1989), et les poissons tels que le silure glane (Musseau *et al.*, 2024). Néanmoins, la prédation ne constitue qu'un facteur mineur dans ce déclin (Bruslé, 1994).

e) Les protections

Depuis les années 1980, la population d'anguille connaît un déclin drastique (Figure 8). Le recrutement continental des civelles a chuté de 90-99 % (Dekker, 2003a; Gollock *et al.*, 2011; Moriarty, 1986, 1996), et les stocks d'anguilles ont été divisés par dix (Moriarty & Dekker, 1997).

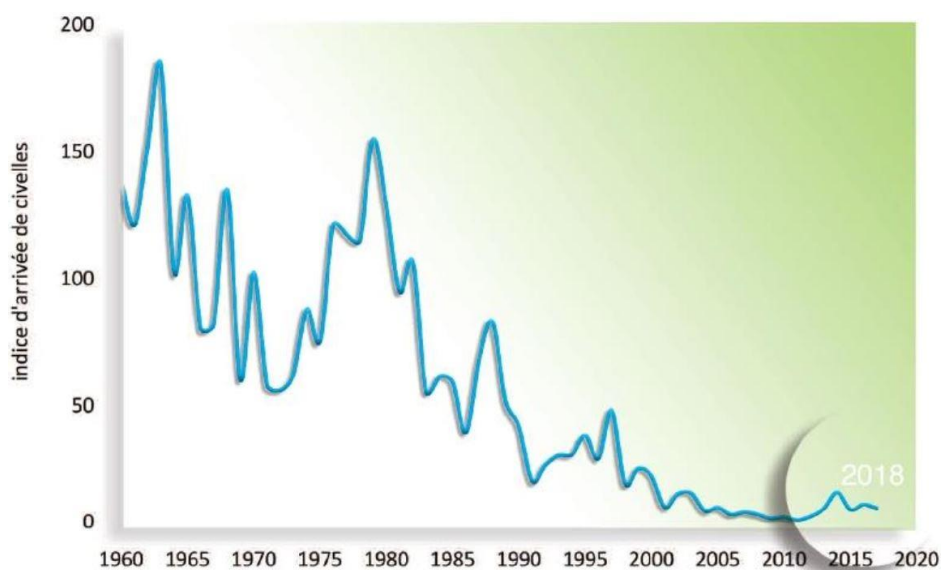


Figure 8 : Évolution de l'indice d'arrivée de civelles en France de 1960 à 2018 (AFB)

Face à cette situation critique, l'espèce a été inscrite en 2007 à l'annexe II de la CITES pour réguler son commerce. Depuis 2009, toute exportation hors de l'Union Européenne est interdite (Feunteun *et al.*, 2011). De plus, l'anguille est classée en danger critique d'extinction depuis 2008 en France et dans le monde par l'UICN (Pike *et al.*, 2020). Au niveau européen, le règlement (CE) n°1100/2007 impose à chaque état membre l'élaboration d'un Plan de Gestion Anguille. Ce plan vise à rétablir une biomasse de géniteurs équivalente à 40 % de celle qu'aurait produit une population sans déclin. En France, le PGA est entré en vigueur en 2009, et est décliné localement en neuf UGA, correspondant aux grands bassins versants. Chaque UGA comprend des zones d'actions prioritaires (ZAP). Les objectifs sont les suivants (PGA France, 2010; PGA Seine-Normandie, 2010) :

- **Régulation de la pêche** : avec instauration de quotas de captures de civelles sur la côte Manche-Atlantique, renforcement de l'encadrement de la pêche à l'anguille jaune et interdiction quasi-totale pour l'anguille argentée.

- **Rétablissement de la libre circulation** : en 2010 un classement des cours d'eau a été établi et 420 ouvrages prioritaires ont été identifiés pour être mis en conformité, 149 ouvrages sont à ce jour conformes (PGA France, 2024).
- **Repeuplement** : il consiste au transfert de civelles issues des pêcheries (jusqu'à 60 %) dans des zones favorables comme les cours d'eau de l'arc normand.
- **Monitoring anguille** : c'est un programme de suivi et de surveillance des stocks d'anguilles visant à évaluer l'efficacité des mesures et les ajuster si nécessaire.

2) Le contexte géographique

a) Le bassin de la Seine

Le bassin hydrographique de la Seine couvre 94 500 km², soit 18 % du territoire français (Figure 9). Il comprend deux entités : l'arc normand et le bassin de la Seine, englobant plus de 8 000 communes réparties sur 28 départements soit 6 régions. La démographie est importante avec 18,3 millions d'habitants (soit 30 % de la population nationale), la majorité provenant de la région Île-de-France (AESN, n.d.).

Le bassin compte 55 000 km de cours d'eau et 650 km de linéaire côtier. La Seine, longue de 773 km, prend sa source sur le plateau de Langres, en Côte d'Or, à 450 mètres d'altitude et se jette dans la Manche entre Le Havre et Honfleur. Elle draine un bassin versant d'environ 75 000 km², alimenté par ses principaux affluents : l'Oise, la Marne et l'Yonne (AESN, n.d.).



Figure 9 : Le bassin de la Seine (AESN)

L'intensification des aménagements liée à la croissance démographique a profondément modifié le bassin, entraînant l'artificialisation des berges et des impacts physico-chimiques (apports agricoles en nutriments et pesticides, rejets urbains, ...) (Thieu, 2009). Le bassin se caractérise par une faible densité des forêts (12 %) alors que l'activité agricole (39 %) et l'urbanisation (23 %) sont fortement présentes autour des grands cours d'eau (AESN, n.d.; Olivry *et al.*, 2023) (Annexe 1.1). Dans les années 1970, la Seine était un exemple caractéristique de blocage des migrations avec une zone anoxique d'environ 100 km en aval de Paris (DRIEE-IF, 2016). Cependant, le bassin a connu des améliorations notables et aucune zone anoxique n'a été observée depuis 2007 (Olivry *et al.*, 2023). Entre 2013 et 2018, la proportion des masses d'eau en bon état ou très bon état écologique est passé de 38 % à 41 % (AESN, n.d.) (Annexe 1.2). En 2019, 90 % des masses d'eau étaient jugées en bon état chimique, mais ce pourcentage chutait à 32 % dès lors que les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) étaient inclus dans l'évaluation (Annexe 1.3). Les PCB sont présents dans tous les compartiments et représentent un risque élevé d'imprégnation pour les poissons, notamment pour l'anguille, espèce fortement bio-accumulatrice (Baillon, 2015; Fisson, 2016). La qualité des habitats reste affectée par les modifications anthropiques (chenalisation, recalibrage, ...), mais depuis 2013, 1 500 km de cours d'eau ont été rendus accessibles. Toutefois, en l'absence de mesures supplémentaires, les masses d'eau en bon état écologique pourraient chuter à 18 % (AESN, n.d.). Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2022-2027 vise ainsi à réduire les rejets de polluants, rendre franchissables les ouvrages prioritaires, et améliorer les systèmes d'assainissement domestiques (AESN, 2022).

Grâce à son importante façade maritime, le bassin Seine-Normandie constitue une zone clé pour les poissons amphihalins, servant de porte d'entrée et de sortie pour leurs migrations. Neuf espèces migratrices y sont recensées, dont sept sont inscrites sur la liste rouge de l'UICN. Leur gestion est encadrée par le Plan de Gestion pour les Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI), mis en œuvre localement par le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI). Il intègre les déclinaisons locales du PGA Seine-Normandie et fixe pour 6 ans les mesures utiles à la reproduction, au développement, à la conservation et à la circulation de ces espèces (PLAGEPOMI, 2022).

À l'échelle du bassin, comme sur le plan mondial, la population d'anguilles a décliné bien que l'espèce persiste dans les axes principaux (Annexe 2.1). Leur migration est affectée par les nombreux aménagements présents qui retardent voire empêchent leur déplacement engendrant un déficit d'individus et/ou un cloisonnement des anguilles sédentaires dans les zones amont (SEINORMIGR, 2023) (Annexe 2.2).

b) Le barrage de Poses : site d'étude

Le barrage de Poses, construit en 1881 entre les communes de Poses et d'Amfreville-sous-Monts (Eure, Figure 10), a été initialement conçu pour la navigation. En 1991, une usine hydroélectrique a été ajoutée en rive gauche par l'entreprise privée HYDROWATT. Le barrage constitue ainsi le premier obstacle rencontré par les poissons depuis la Manche située à 160 km et il fixe la limite de marée dynamique séparant l'estuaire en aval et la Seine continentale en amont. L'ouvrage est long de 470 mètres et présente une hauteur de chute de 5,4 mètres. Il se décompose en trois parties (de la rive droite à la rive gauche) : les écluses gérées par Voies Navigables de France (VNF), les vannes et l'usine hydroélectrique gérée par HYDROWATT (Grall *et al.*, 2023).

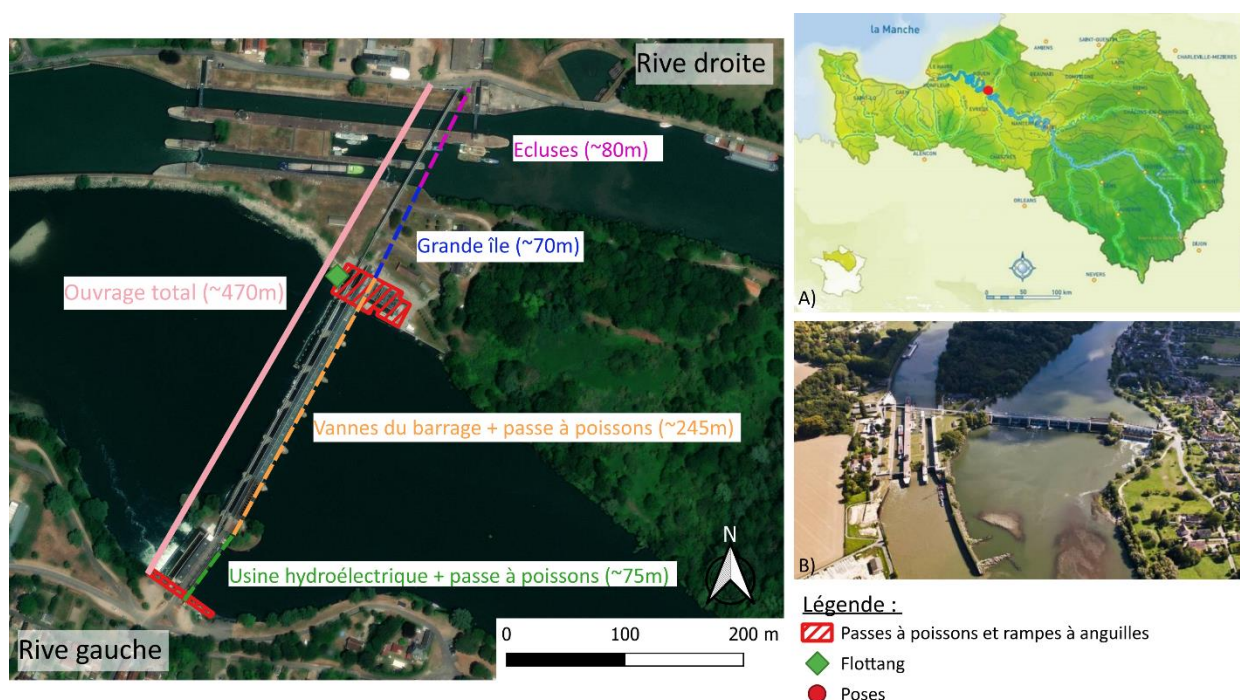


Figure 10 : Carte de la localisation et des infrastructures du barrage de Poses en Normandie.

A) Carte du bassin de la Seine (AESN), et B) Vue aérienne du barrage (Construction cayola).

Conformément aux exigences de la Loi sur l'Eau du 16 décembre 1964 (révisée en 2006 par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques), les ouvrages de la Seine doivent permettre la libre circulation des poissons. En conséquence, lors de la construction de l'usine hydroélectrique en 1991, une passe à poissons à fentes verticales a été construite. Elle se compose de 23 bassins successifs sur une longueur de 86 mètres et d'un by-pass qui permet la dévalaison. En 2008, un dispositif de vidéo-comptage a été installé servant d'outil scientifique pour le suivi des migrations piscicoles. Le dépouillement des fichiers vidéo est assuré depuis 2020 par l'association SEINORMIGR. En 2013, une rampe à anguilles a été ajoutée pour renforcer les dispositifs existants (Annexe 3.1 et 3.2).

En raison de la longueur de la Seine et afin d'améliorer la continuité écologique, VNF a mis en place un deuxième dispositif de franchissement opérationnel depuis 2017. Celui-ci est composé d'une passe à poissons à double fentes verticales, composée de 28 bassins successifs sur 8 niveaux (60m x 28m), ainsi que d'une rampe à anguilles. Équipé de deux couloirs d'observation, le dispositif comprend deux systèmes de vidéo-comptage indépendants, dont l'analyse des fichiers est également réalisée par SEINORMIGR (Annexe 3.1 et 3.3).

Depuis 2014, SEINORMIGR assure le suivi du recrutement des anguilles en montaison sur le bassin de la Seine. Le barrage de Poses, grâce à son emplacement et ses rampes à anguilles, constitue un site d'étude stratégique pour collecter des données dans le cadre de l'objectif « monitoring anguille » du PGA pour l'UGA Seine-Normandie. Ce suivi a pour objectifs de collecter des données précieuses sur les flux de montaison, l'état sanitaire des individus et leur distribution saisonnière. Ces informations permettent d'élaborer un indice de recrutement, transmis au COGEPOMI, qui l'utilise pour ajuster le PLAGEPOMI.

III. Matériels et méthodes

1) Les rampes à anguilles : pièges actifs

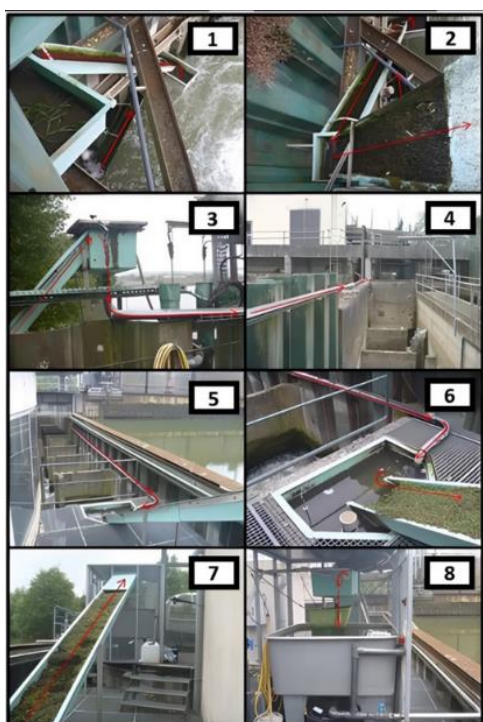
À la différence des autres poissons migrateurs, les jeunes anguilles ne peuvent pas emprunter les passes à poissons classiques en raison de leur faible capacité de nage : leur vitesse maximale est comprise entre 0,6 et 0,9 m/s (Porcher, 1992). Des rampes à anguilles, composées de « tapis-brosse » inclinés et traversés par un filet d'eau, sont donc nécessaires pour assurer leur migration. Les jeunes anguilles les franchissent grâce à leur capacité de reptation (Legault, 1992).

a) Rive gauche

Le système de rampes à anguilles a été ajouté en 2013 et greffé à la passe à poissons. Il se décompose en trois parties principales et est long de 61 mètres (Figure 11A). La 1^{ère} partie en aval est composée de 3 rampes de type « tapis-brosse » inclinées à 45° et séparées par des bassins de repos (photos 1 à 3). La base de la première rampe est immergée en permanence afin de permettre l'entrée des individus dans le dispositif. La seconde partie est un tube PVC de 56 mètres incliné à 2°, permettant la montaison des anguilles, qui se déverse dans un collecteur (photos 4 à 6). La troisième partie est composée d'une rampe inclinée à 35° (photo 7) et débouche sur le système de piégeage composé d'une cuve piège alimentée par un tuyau auquel est fixé un filet pour faciliter la récupération des individus capturés (photo 8).

b) Rive droite

Contrairement à la rive gauche, le dispositif a été pensé et conçu en même temps que la passe à poissons en 2017 le rendant plus adapté à la montaison (Figure 11B). Le dispositif est long de 100 mètres et se compose également de trois parties. La partie aval est composée de deux rampes de type « tapis-brosse » inclinées à 45° et alimentées par surverse via un canal en amont. La première rampe se termine par un bassin de repos (photos 1 et 2). Ensuite, un long canal d'environ 80 mètres et incliné à 0,072° dirige les anguilles vers le dispositif de piégeage. En amont, le canal arrive dans le local abritant le dispositif de piégeage. Une dernière rampe inclinée à 45° débouche dans une cuve alimentée par une pompe.



A) Rive gauche



B) Rive droite

Figure 11 : Dispositifs de franchissement pour les anguilles (SEINORMIGR)

Les flèches rouges indiquent le chemin emprunté.

2) Protocole de suivi du recrutement

a) Fréquence de suivi

Les premières observations d'anguilles sur les dispositifs ont souvent lieu début avril à partir du moment où la température de l'eau dépasse les 14°C. Les premiers individus observés sont des anguillettes en reprise de migration, les civelles arrivant un peu plus tard dans la saison. Au départ, les opérations de suivi sont donc réalisées trois fois par semaine (lundi, mercredi et vendredi), puis tous les jours lorsque la migration s'intensifie (hors week-end et jours fériés, sauf en cas de pic de

migration). De manière générale, cela nécessite une demi-journée de relève pour deux opérateurs. Cette année, les relevés ont commencé le 4 avril 2025 pour la rive gauche et le 7 avril 2025 pour la rive droite et se poursuivront jusqu'en octobre.

b) Protocole de suivi et entretien des pièges

L'opérateur récupère dans un premier temps les anguilles présentes dans la cuve et estime leur nombre. Comme celui-ci peut varier considérablement d'une relève à l'autre, un protocole de dénombrement spécifique est établi (Figure 12).

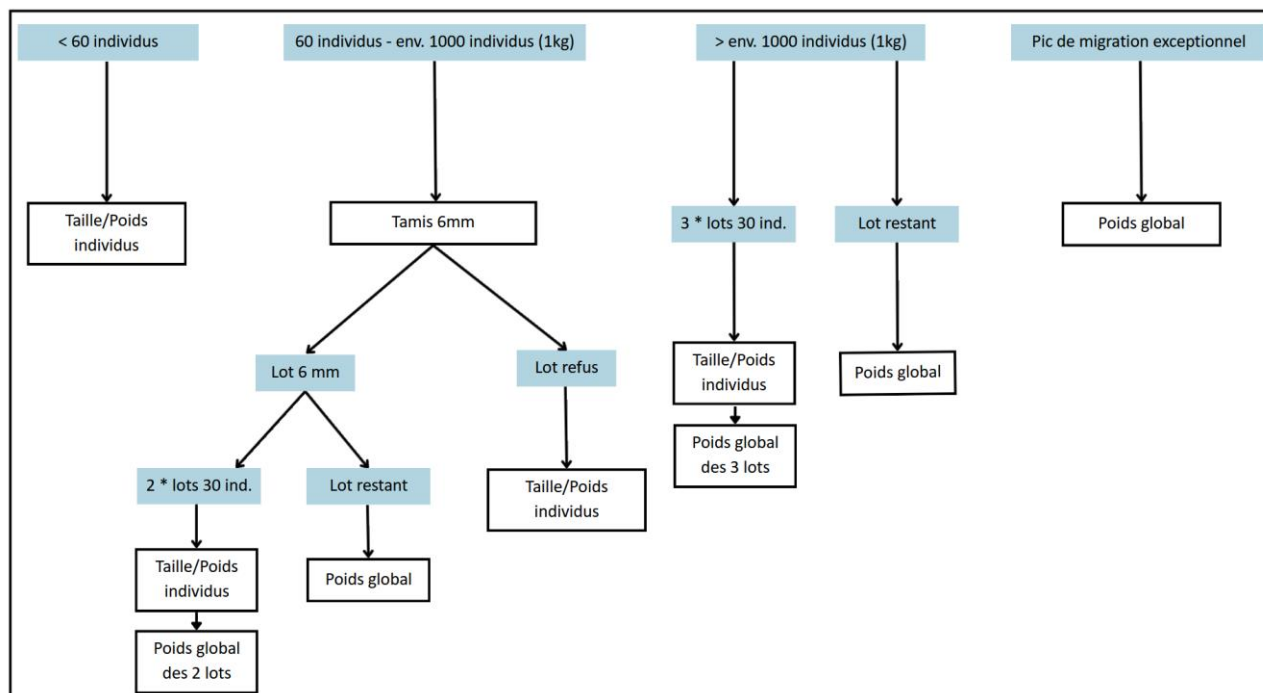


Figure 12 : Protocole de dénombrement établi par SEINORMIGR

Les anguilles capturées dans les cuves sont, au préalable, anesthésiées dans une solution d'isoeugénol (dérivé d'huile essentielle de clou de girofle) diluée dans de l'eau afin de faciliter leur manipulation. Les mesures biométriques suivantes sont ensuite effectuées :

- La longueur totale, mesurée en millimètres à l'aide d'un ichtyomètre (± 1 mm).
- L'identification à l'œil nu de toute anomalie anatomo-morphologique ou d'éventuels ectoparasites, selon la grille de codification établie par Elie et Girard (2014) (Annexe 4.1).
- Le poids, mesuré en grammes à l'aide d'une balance électronique (± 1 g).

Les anguilles sont ensuite placées quelques minutes dans des seaux d'eau en attendant leur réveil avant d'être relâchées en amont du barrage, sur la rive droite, afin de leur permettre de poursuivre leur migration.

À chaque relève, les pièges sont nettoyés et leur fonctionnement est vérifié. De manière générale, les points de contrôles (sensiblement différents selon la rive) sont listés dans le Tableau 1.

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

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

3) Le « flottang » : piège passif

En complément des rampes à anguilles, un flottang est disposé sur le site, en aval de la rampe de la rive droite (Figure 10). Cet emplacement permet de détecter les éventuelles accumulations d'anguilles au pied de la passe, pouvant survenir en cas de dysfonctionnement ou d'un mauvais attrait. Ce type de dispositif a été développé en 2014 par la Cellule Migrateurs Seudre. Le flottang est un piège passif composé de 10 couches de treillis Macmat superposées, découpées en carrés de 50 cm de côté et équipées de flotteurs (Lauronce *et al.*, 2018) (Figure 13). Il sert de zone de refuge aux anguilles de moins de 12 cm près des berges. Il présente plusieurs avantages : une mise en œuvre simple, une bonne reproductibilité et une complémentarité aux rampes à anguilles. Le flottang est relevé trois fois par semaine, et les anguilles capturées sont anesthésiées, pesées et mesurées selon le même protocole que celui appliqué aux dispositifs actifs.



Figure 13 : Flottang (SEINORMIGR)

4) Saisie et bancarisation des données

Sur le terrain, des carnets (rive droite, rive gauche et flottang) sont utilisés pour la saisie des données. Les divers paramètres biométriques sont renseignés, ainsi que la date, l'heure, les opérateurs et d'éventuels commentaires (Annexe 4.2). Les données de terrain sont ensuite retranscrites dans la base de données STACOMI (Station de Contrôle des Migrations), développée sous PostgreSQL. Elles sont saisies via une interface JAVA et les résultats sont interprétés avec le package StacomIR sur Rstudio (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.

5) Paramètres environnementaux

De nombreux auteurs ont montré l'importance des facteurs environnementaux dans la migration des civelles en estuaire (Bardonnnet *et al.*, 2003, 2005; Feunteun *et al.*, 2003; Todd, 1981; Tzeng, 1985; White & Knights, 1994). 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** : les données sont tirées du site internet seine-aval.fr. La station de mesure est située à Rouen (indisponible à Poses).
- **Température (°C) de l'air** : les données sont tirées du site internet meteo.france.fr. La station de mesure est située à Muids (indisponible à Poses).
- **Coefficient de marée** : les données sont tirées du site internet maree.shom.fr. Le port de référence est situé au Havre.
- **Débit moyen journalier (QmJ – m³/s)** : les données sont tirées du site internet hydro.eaufrance.fr. La station de mesure est située à Vernon (indisponible à Poses).

6) Traitement des données

a) Indice pathologique Global (IpG) et Indice pathologique Parasitaire (IpP)

Les codes pathologiques sont utilisés pour calculer deux indices l'IpG et l'IpP. Ces indices permettent d'évaluer la qualité de l'habitat ainsi que l'état de santé des peuplements piscicoles (Elie & Girard, 2014). L'IpG ne s'applique qu'aux lésions et considère trois paramètres :

- **Prévalence des poissons présentant des lésions externes** : $P = \frac{\text{nombre de poissons avec lésions}}{\text{nombre de poissons examinés}}$.
- **Intensité lésionnelle** : Q est évalué sur une échelle de 0 à 4 (0 = absence de lésions, 4 = plus de 10 lésions identiques ou plus de 20 % de recouvrement corporel).

- **Signification écopathologique des lésions** : S = 1 pour les lésions mineures (plaies, dépigmentation, coloration sombre, maigreur) et 2 pour les lésions majeures (déformations, tumeurs, érosions, nécroses, hémorragies, ulcères).

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

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

L'IpP s'applique uniquement aux parasites et est calculé de manière similaire à l'IpG, mais ne tient pas compte du paramètre S. Le résultat de ces indices est interprété à l'aide de la grille suivante (Tableau 2).

Tableau 2 : Grille d'interprétation des indices IpG et IpP (Elie & Girard, 2014)

Grille d'interprétation – IpG et IpP					
Classe de qualité	0 → 0,04	0,05 → 0,20	0,21 → 0,80	0,81 → 1,40	1,41 → 8,00
Condition des poissons	Excellente	Bonne	Précaire	Dégradée	Mauvaise

b) Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées sur les données récoltées afin de répondre aux problématiques énoncées dans l'introduction. Les données traitées couvrent la période du 4 avril au 22 septembre 2025. Avant toute analyse, les hypothèses requises pour les tests paramétriques ont été vérifiées. En l'absence de normalité des distributions, des tests non paramétriques ont été privilégiés pour garantir la robustesse des résultats.

Pour comparer les échantillons selon les dispositifs : le **test de Wilcoxon** a été utilisé pour comparer deux échantillons. Le **test de Kruskal-Wallis** a, lui, été appliqué pour comparer plus de deux échantillons. En cas de résultats significatifs avec le test de Kruskal-Wallis, des comparaisons post-hoc ont été réalisées à l'aide du **test de Dunn**, avec une correction de Bonferroni pour les comparaisons multiples.

Pour évaluer l'influence des variables environnementales sur le recrutement : une **Analyse en Composantes Principales** (ACP) a été effectuée avec une pondération par l'effectif journalier afin d'identifier les variables les plus associées à la migration, suivie de **tests de corrélation de Spearman**. Enfin, un **modèle linéaire généralisé** (GLM) avec une loi Gamma a été utilisé pour tester l'effet de la température de l'eau et du coefficient de marée, en excluant le débit en raison de sa corrélation avec la température.

Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R Studio (version 4.3.1). Le seuil de significativité statistique a été fixé à $\alpha = 0,05$.

IV. Résultats

1) Bilan migratoire 2025

a) Les rampes à anguilles

Sur la période retenue pour l'analyse, plusieurs dysfonctionnements des rampes ont été recensés. En rive droite, le piège a été hors service du 14 au 19 mai, en raison d'une consignation électrique par VNF. En rive gauche, un défaut d'alimentation des rampes aval a été constaté du 7 au 25 juillet, ainsi qu'un arrêt de la pompe amont du 4 au 5 août.

Les premières observations d'anguilles ont eu lieu le 4 avril en rive gauche et le 7 avril en rive droite. La première civelle (≤ 80 mm) a été capturée le 25 avril en rive gauche et le 2 mai en rive droite. Au total, ce sont 1 410 537 anguilles qui ont été comptabilisées au franchissement du barrage, dont 81 113 (soit 5,8 %) en rive gauche et 1 329 424 (soit 94,2 %) en rive droite (Figure 14). Cette répartition souligne un déséquilibre entre les deux rives, en faveur de la rive droite. Cette différence est statistiquement significative (test de Wilcoxon, $p < 2,2e-16$), ce qui confirme que le dispositif de la rive droite est bien plus emprunté par les individus en montaison.

Plusieurs pics de migration ont été observés au cours de la saison : le premier du 24 au 28 juillet en rive droite (263 076 individus), le deuxième du 10 au 14 août sur les deux dispositifs (215 056 individus), et le troisième du 22 au 28 août avec 321 368 individus.

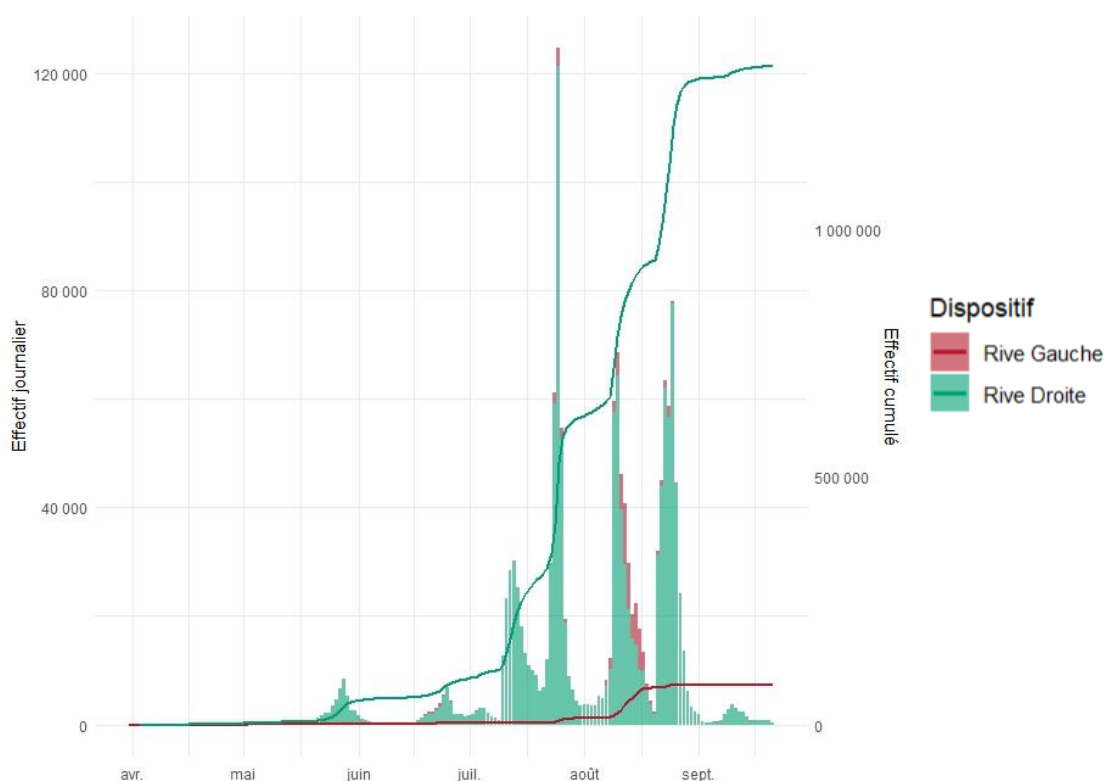


Figure 14 : Graphique des effectifs journaliers et cumulés en anguilles (rive gauche et rive droite)

b) Le flottang

Le flottang installé en aval de la rampe en rive droite a été mis en place le 19 mai, les premiers individus y ont été observés le 21 mai. Les données issues de ce piège ont été étudiées jusqu'au 5 septembre. Au total, 12 712 anguilles ont été dénombrées. La Figure 15 présente l'évolution des effectifs journaliers et cumulés au cours de la période de suivi. La quantité d'individus présente dans le flottang semble assez stable pendant la période de suivi, et augmente en août lors des pics de migration.

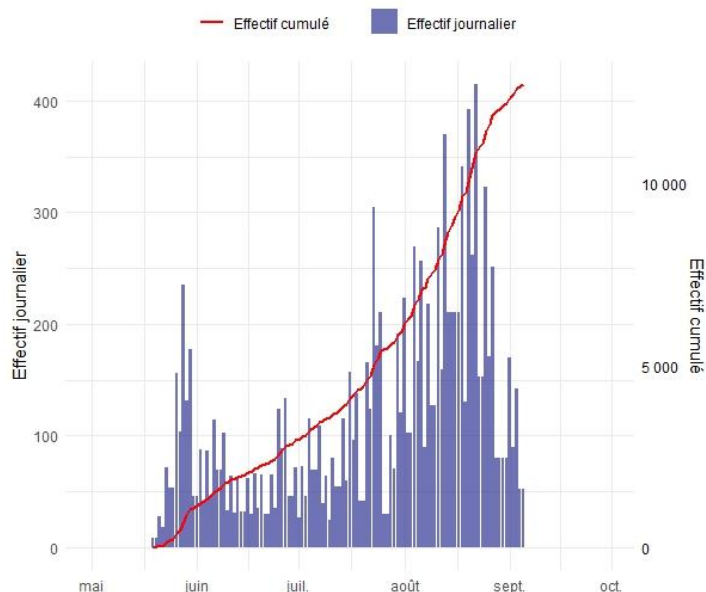


Figure 15 : Graphique des effectifs journaliers et cumulés en anguilles du flottang

2) Bilan migratoire interannuel

a) Les rampes à anguilles

Le suivi du recrutement est effectué à Poses depuis 2014 en rive gauche et depuis 2018 en rive droite. Afin de comparer les dynamiques migratoires, des graphiques d'effectifs cumulés interannuels ont été réalisés pour la rive gauche (Figure 16A) et la rive droite (Figure 16B).

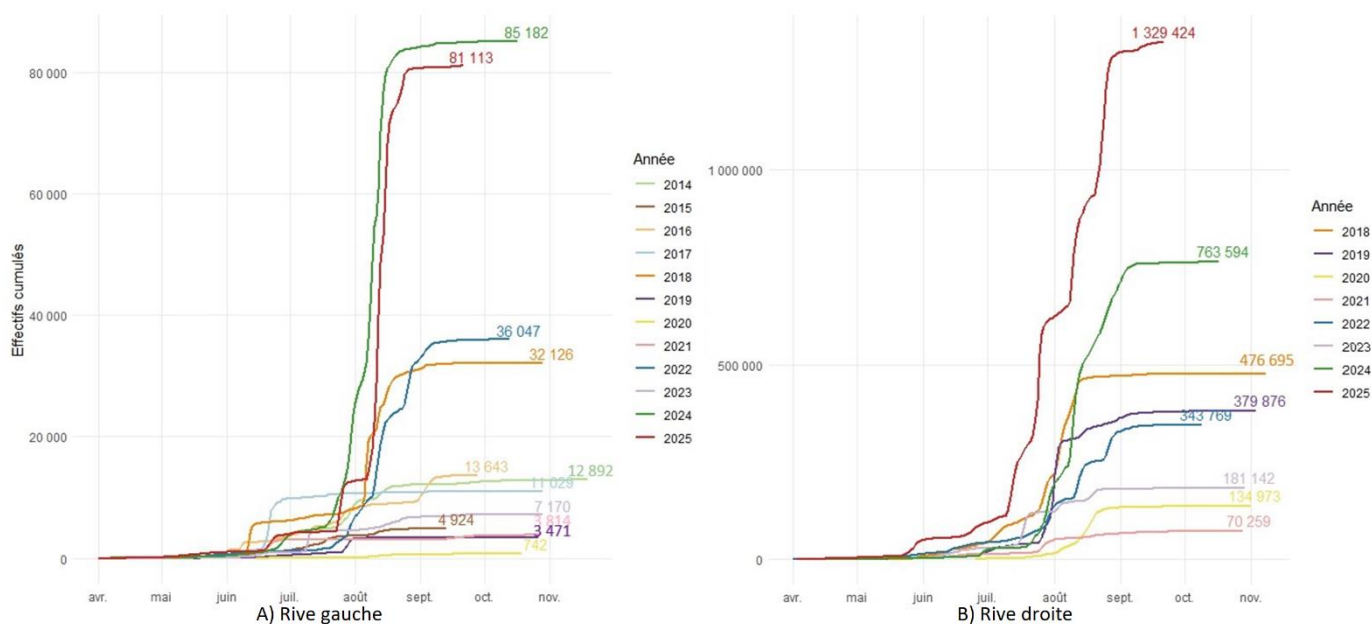


Figure 16 : Graphique des effectifs cumulés interannuels en anguilles

Cette année, les effectifs observés en rive gauche se situent parmi les plus élevés depuis 2014, bien au-dessus de la plupart des années, mais inférieurs au pic exceptionnel enregistré en 2024. En rive droite, en revanche, le recrutement est particulièrement important : les effectifs dépassent ceux enregistrés lors des meilleures saisons et présentent également le meilleur démarrage.

Pour les deux dispositifs, les captures sont restées faibles en début de saison, avec une intensification progressive à partir de la mi-juin. Les pics de migration ont principalement eu lieu entre la mi-juin et le mois d'août comme pour les autres années, dont un pic notable à la mi-juillet pour la rive droite et deux pics début et fin août pour les deux rives. À l'image des années précédentes, le dispositif en rive gauche est sélectif en nombre pour les individus en montaison (Annexe 5.1).

b) Le flottang

Pour le flottang, un graphique représentant les effectifs cumulés annuels a été réalisé afin de comparer l'évolution de l'accumulation des individus au pied des rampes entre les années (Figure 17). En 2025, les captures ont commencé à augmenter progressivement dès le début du mois de juin, alors qu'en 2021, 2022 et 2023, cette hausse n'était marquée qu'à partir de la fin juin. Cette campagne enregistre le nombre le plus élevé d'individus capturés en excluant 2023. Les captures hebdomadaires de 2025 sont significativement plus élevées que celles de 2021, 2022 et 2024 (Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$; test de Dunn : $p < 0,03$), mais aucune différence significative n'est observée avec 2023 (Annexe 5.2).

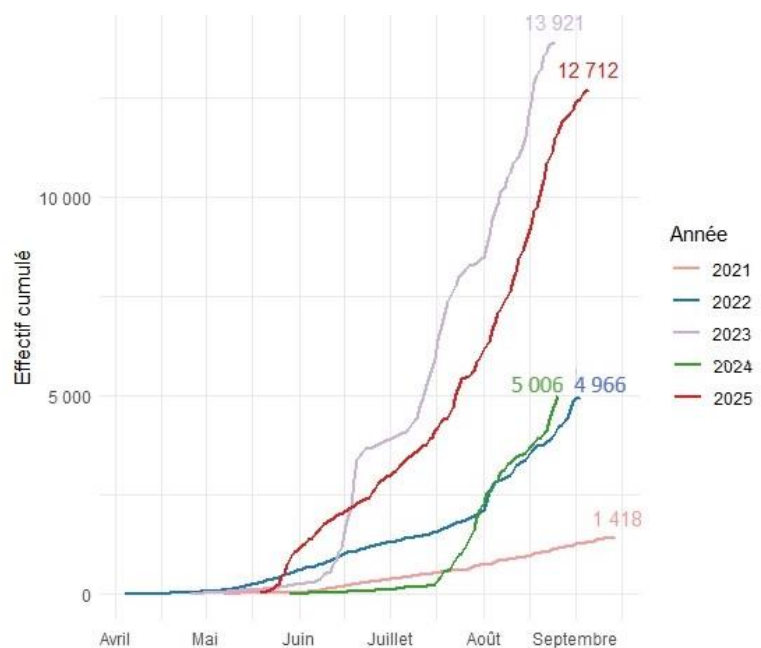


Figure 17 : Graphique des effectifs cumulés interannuels du flottang

3) Morphotypes des individus de 2025

Seuls les individus biométrés lors des relèves ont été inclus dans l'analyse des morphotypes.

a) Taille des individus selon le dispositif

Pour comparer la taille des individus en fonction du dispositif de piégeage, des violin plots des longueurs (en millimètres) ont été réalisés pour chaque piège (Figure 18).

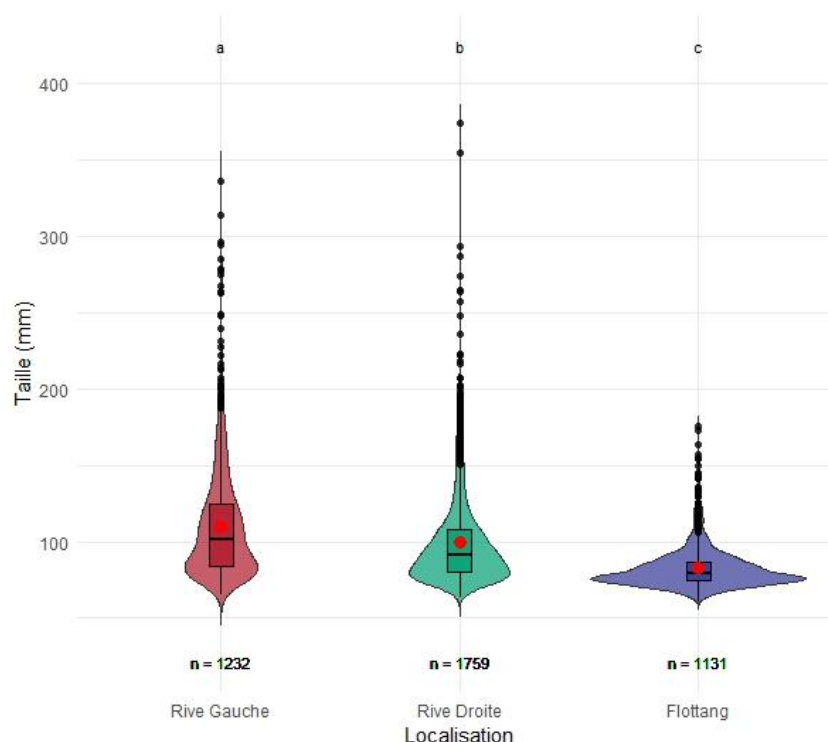


Figure 18 : Taille des individus en fonction du dispositif de piégeage

Les individus présents en rive gauche ont en moyenne une taille de 110,1 mm ($\pm 35,8$ mm), alors que ceux en rive droite ont une taille moyenne de 99,8 mm ($\pm 30,7$ mm). Les médianes sont respectivement de 101 mm et 91 mm. Les individus ayant séjourné dans le flottang ont une taille moyenne de 82,6 mm ($\pm 13,9$ mm), avec une médiane de 79 mm.

Le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence une différence significative de taille entre les dispositifs de capture ($p < 2,2e-16$). Le test post-hoc de Dunn montre que les individus capturés dans le flottang sont significativement plus petits que ceux capturés en rive gauche ($p = 7,6e-145$) et en rive droite ($p = 2,5e-82$). De plus, les individus de la rive droite sont également significativement plus petits que les individus de la rive gauche ($p = 1,2e-17$).

La répartition des classes de tailles (Figure 19) vient compléter ces résultats. En effet, les classes de tailles inférieures ou égales à 80 mm (individus de l'année) représentent 16,2 % en rive gauche et 23,9 % en rive droite. En combinant les deux rives, les individus de l'année représentent 20,8 %. Ces mêmes classes de tailles sont largement représentées pour le flottang (52,3 %).

Les classes de tailles comprises entre 80 et 110 mm (individus de plus d'une année) représentent 43,6 % en rive gauche, 52,9 % en rive droite et 42,6 % dans le flottang.

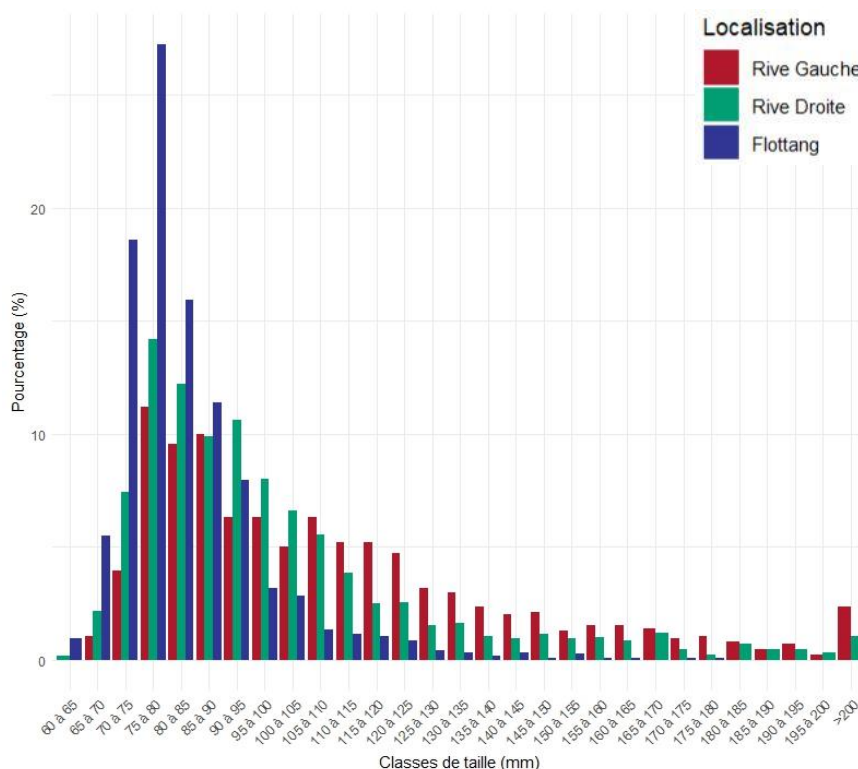


Figure 19 : Graphique des classes de taille des individus selon le dispositif

b) Évolution de la taille en fonction du mois

L'évolution de la taille des anguilles au cours du recrutement (pièges groupés) a été représentée à l'aide d'un boxplot global (Figure 20). Le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence une différence significative de la taille des individus entre les mois ($p < 2,2e-16$), confirmée par le test post-hoc de Dunn, qui a révélé que les individus étaient significativement plus petits au cours des mois ($p < 0,001$) à l'exception des mois de juin et juillet qui ne diffèrent pas. En août et en septembre, la taille des individus augmente par rapport aux mois précédents.

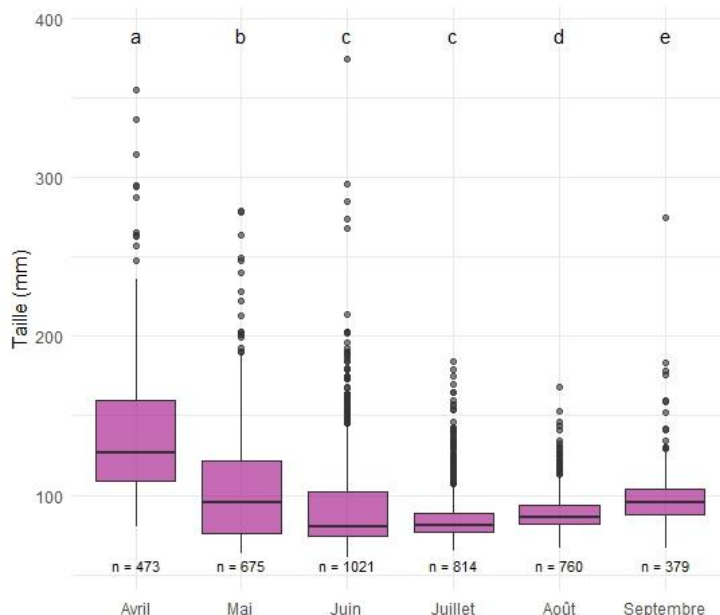


Figure 20 : Évolution de la taille des individus au cours des mois (dispositifs groupés)

Cette analyse a également été réalisée séparément pour chaque dispositif (Annexe 5.3). Pour la rive gauche, la taille moyenne des anguilles diminue significativement jusqu'en juillet ($p < 0,003$)

puis augmente en septembre. Pour la rive droite, il y a également une diminution significative de la taille des individus ($p < 0,01$) sauf entre juin et juillet et entre mai et août. Pour le flottang, la taille reste similaire entre mai et juin et augmente significativement entre juin et septembre ($p < 0,001$).

4) Effets des paramètres environnementaux

L'ACP résume l'influence du débit, du coefficient de marée et des températures de l'eau et de l'air sur le recrutement à Poses (Figure 21). Les deux premières dimensions expliquent 71,8 % de la variance. Le premier axe (45,1 %) oppose le débit (contribution négative) aux températures (contributions positives), traduisant la transition printanière-estivale, tandis que le second axe (26,7 %), dominé par le coefficient de marée (contribution positive), reflète une variabilité ponctuelle liée au cycle de marée.

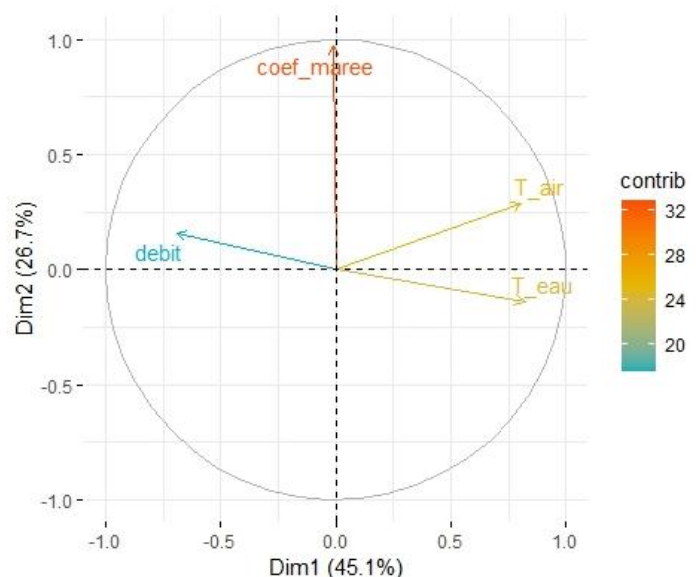


Figure 21 : Cercle des corrélations de l'ACP

La projection des individus révèle que, pour le mois d'avril, les captures sont plus faibles dans des conditions de débit élevé et de faibles températures (Figure 22). Au fil de la saison, la diminution du débit et l'augmentation des températures sont associées à une hausse des captures, particulièrement importante en juillet et août. En septembre, les conditions évoluent à nouveau vers des débits plus élevés et des températures plus faibles, rapprochant ce mois des situations observées au printemps (avril-mai). Le coefficient de marée, bien qu'influent sur la deuxième dimension de l'ACP, semble jouer un rôle plus ponctuel dans la structuration temporelle globale. Les

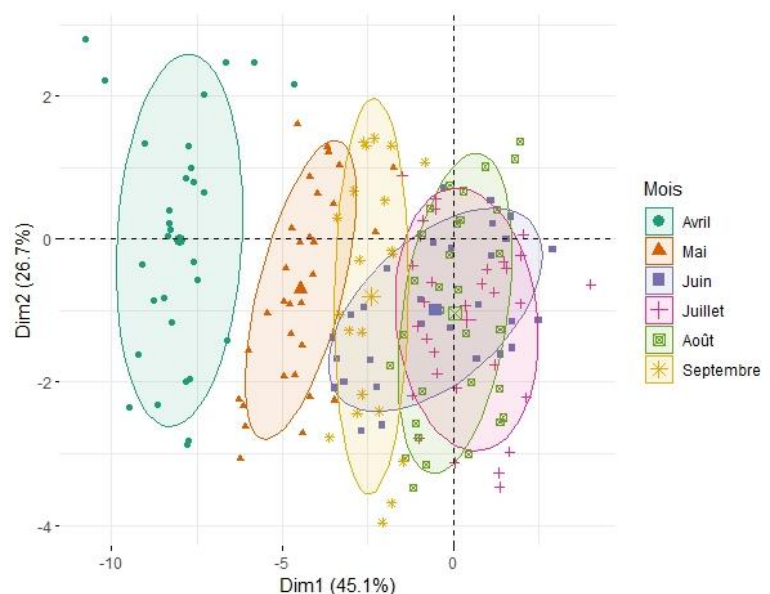


Figure 22 : Projection du recrutement d'anguilles en fonction des mois

conditions thermiques et hydrologiques sont ainsi des facteurs clés dans le déclenchement et l'intensité du recrutement.

Les tests de Spearman confirment cette tendance : les effectifs d'anguilles sont positivement corrélés avec la température de l'eau ($R^2 = 0,77$; $p < 0,001$) (Annexe 5.4), et négativement avec le débit ($R^2 = -0,71$; $p < 0,001$) (Annexe 5.5). En revanche, le coefficient de marée présente une faible corrélation ($R^2 = 0,22$; $p = 0,0028$) (Annexe 5.6).

Par ailleurs, le modèle GLM révèle que la température de l'eau influence significativement les effectifs observés ($p < 2,2e-16$) tout comme le coefficient de marée ($p < 0,0001$). Il y a également une interaction significative entre les deux paramètres ($p = 0,0005$). Ces résultats suggèrent que lorsque la température de la Seine et le coefficient de marée sont élevés, il y a une augmentation du recrutement.

5) État sanitaire du recrutement 2025

a) Caractéristiques sanitaires générales

Lors de la période de suivi, les individus biométrés ont fait l'objet d'une analyse des potentielles anomalies anatomo-morphologiques ou d'ectoparasites, leur synthèse est présentée dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Synthèse des données sanitaires du recrutement

	Flottang	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche + droite
Nombre d'anguilles biométrées	1 131	1 232	1 759	2 911
Nombre d'anguilles avec pathologie(s)	78	176	135	311
IpG	0,075	0,102	0,056	0,075
Condition des anguilles	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
IpP	0,041	0,097	0,052	0,071
Condition des anguilles	Excellente	Bonne	Bonne	Bonne
Parasitisme	53,8 %	61,4 %	60 %	60,8 %
Lésions mineures	16,7 %	15,3 %	13,3 %	14,5 %
Lésions majeures	29,5 %	23,3 %	26,7 %	24,7 %

L'IpG et l'IpP ont été calculés pour chacun des dispositifs et révèlent :

- Pour l'IpG : une bonne condition des anguilles pour l'ensemble des dispositifs de piégeage.

- Pour l'IpP : une bonne condition des anguilles en rive gauche et en rive droite, et une excellente condition des anguilles dans le flottang.

Les types de pathologies rencontrés sur les anguilles sont présentés par l'Annexe 5.7. Deux pathologies liées au parasitisme sont majoritairement retrouvées : les points blancs et les points noirs. L'érosion constitue ensuite la lésion majeure la plus fréquente. L'Annexe 5.8 présente l'intensité des pathologies, elle montre que pour l'ensemble des dispositifs les pathologies ont une intensité faible.

b) Évolution temporelle des pathologies observées

Le graphique suivant illustre l'évolution des catégories de pathologies au cours du temps (Figure 23). Le nombre d'individus présentant des lésions mineures ou majeures est assez constant. En revanche, le nombre d'individus présentant du parasitisme, catégorie la plus représentée, varie au fil du temps avec une majorité d'individus parasités au mois d'août.

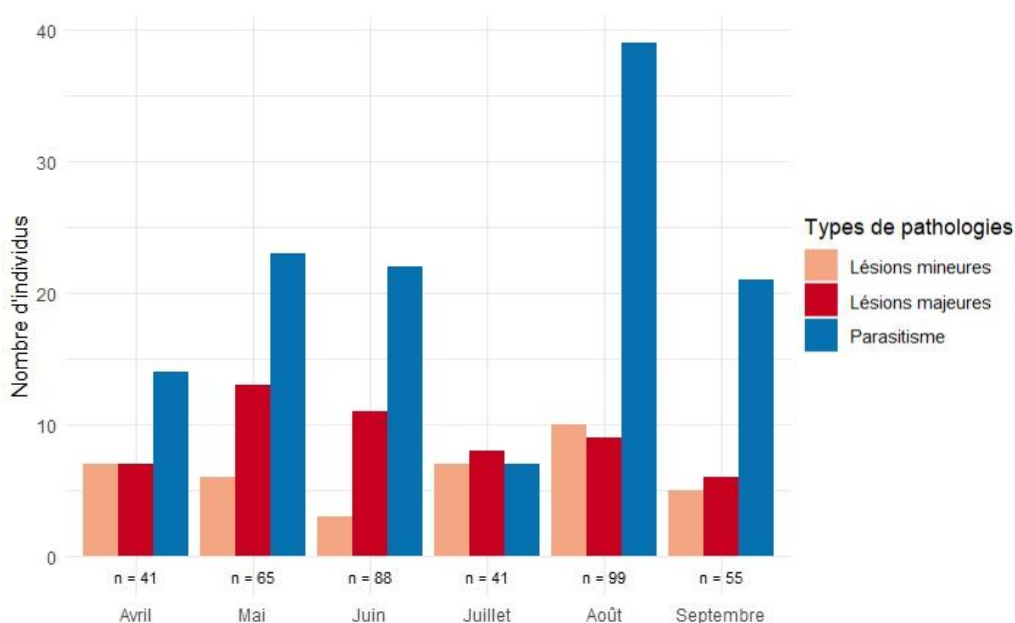


Figure 23 : Évolution des types de pathologies au cours des mois

V. Discussion

1) Bilan du recrutement 2025

L'année 2025 signe la 12^{ème} année de suivi de l'Anguille européenne en rive gauche, et la 8^{ème} en rive droite. Entre le 1^{er} avril et le 22 septembre, 1 410 537 anguilles ont franchi le barrage dont 81 113 en rive gauche et 1 329 424 en rive droite. La migration de 2025 constitue à ce jour la meilleure année de recrutement depuis le début des suivis, avec un démarrage particulièrement précoce et intense. Ce phénomène pourrait en partie s'expliquer par la forte cohorte de

recrutement observée en 2024, dont une partie des individus (notamment les retardataires ou les individus d'une année) pourrait poursuivre sa montaison en début de saison 2025.

Cette tendance semble se confirmer à l'échelle nationale. Sur le bassin de la Garonne, à la station de Golfech, les effectifs sont également en forte hausse, avec 442 961 individus recensés au 31 juillet, un record depuis le début du suivi en 1993 (*MIGADO*, n.d.). Sur le bassin Rhône-Méditerranée, à la passe piège du Grau de la Fourcade, 3 217 184 civelles ont été recensées sur la saison 2024-2025 contre 895 675 en 2023-2024 (*MRM*, n.d.). Ces observations laissent entrevoir une dynamique positive du recrutement. Néanmoins, il est important de maintenir ces suivis afin de mieux comprendre les facteurs influençant les flux migratoires des jeunes anguilles.

L'arrêt du dispositif en rive droite mi-mai n'a quasiment pas impacté la migration des anguilles, l'interruption étant survenue en dehors d'un pic de migration. De même, le défaut de pompe amont en rive gauche a été identifié rapidement limitant son impact. En revanche, la faible alimentation en eau sur les rampes aval de la rive gauche s'est produite lors de la première vague migratoire, ce qui a fortement limité le franchissement des anguilles.

Sur l'ensemble de la période analysée, la part d'individus de l'année (≤ 80 mm) est de 23,9 % en rive droite et 16,2 % en rive gauche. Cette disparité entre les deux rives peut s'expliquer par plusieurs facteurs. En effet, les bilans interannuels montrent que les anguilles empruntent majoritairement le dispositif de la rive droite. Ce comportement s'explique en partie par les caractéristiques propres à chaque rive. Le dispositif de la rive gauche, installé en réponse à la mise en œuvre du PGA, est situé au pied de l'usine hydroélectrique. Cette dernière crée de forts courants qui masquent l'attractivité de la rampe. De plus, les berges en palplanches n'offrent aucune zone de repos pour les individus ce qui limite leur accès, en particulier pour les jeunes anguilles dont les capacités de nage sont limitées (Annexe 5.9). Ces contraintes d'accès pourraient aussi expliquer la taille moyenne plus élevée des anguilles capturées en rive gauche, les plus petits individus étant probablement moins en mesure de franchir ce dispositif (Keith *et al.*, 2011).

Le dispositif de la rive droite, conçu en même temps que la passe à poissons, apparaît plus adapté pour la montaison, comme en témoigne le recrutement observé. Toutefois, il présentait jusqu'à l'année dernière un débit d'attrait insuffisant selon l'expertise de SCIMABIO, Interface et OTEIS, oscillant entre 4 et 4,2 m³/s ainsi qu'une vanne de régulation défectueuse, constamment en position basse, en aval des dispositifs de franchissement. Ces experts recommandaient un débit optimal compris entre 4,1 et 6,7 m³/s qui serait obtenu par le rehaussement de la vanne, créant ainsi une chute pour renforcer l'attractivité du dispositif. Néanmoins, cette chute a été jugée

potentiellement défavorable à la montaison en raison d'une vitesse d'écoulement excessive par rapport aux capacités de nage des jeunes anguilles. Ces modifications ont été réalisées cette année. Cependant, des dysfonctionnements récurrents des sondes de régulation ont engendré des hauteurs de chutes excessives, dépassant parfois un mètre, rendant l'accès aux dispositifs de franchissement difficile, voire impossible. Malgré ces contraintes, l'impact sur la migration semble limité. Lorsque la vanne était en position basse, les individus franchissaient normalement, et même lors de chutes importantes, aucun effet significatif n'a été observé. En effet, lors du pic de migration du 24 au 28 juillet, alors que la chute était particulièrement importante, 263 076 individus ont été recensés, ce qui suggère que leur forte motivation migratoire a permis le franchissement malgré des conditions hydrauliques défavorables.

Les données issues du flottang, installé en amont des rampes pour détecter une éventuelle accumulation des individus, viennent compléter ce constat. En 2025, les captures hebdomadaires sont statistiquement plus élevées, à l'exception de 2023 qui, malgré un recrutement particulièrement faible (181 112 individus), présentait déjà de fortes captures. L'augmentation observée en 2025 s'explique à la fois par le recrutement record et, probablement, par l'augmentation du débit d'attrait de la passe. À l'inverse, en 2024, malgré un recrutement élevé (763 594 individus), les captures flottang sont restées plus faibles. Le débit d'attrait semble donc avoir freiné l'entrée dans le dispositif et favorisé une accumulation temporaire des individus en amont. Le flottang apparaît ainsi comme une zone temporaire de repos ou de refuge par les jeunes individus qui attendent potentiellement la nuit, du fait de leur comportement lucifuge, pour poursuivre leur montaison (Cantrelle, 1981).

Par ailleurs, une évolution temporelle des tailles a été observée au cours de la saison de suivi. Les individus capturés en début de saison étaient en moyenne plus grands, ce qui s'explique par la présence d'anguillettes en reprise de migration. À mesure que la saison progresse, les civelles arrivent progressivement, entraînant une diminution de la taille moyenne des individus capturés dans les dispositifs. Dans le flottang, les individus capturés sont majoritairement de petite taille (75 % $\leq$ 90 mm), ce qui s'explique par sa sélectivité (Lauronce *et al.*, 2018). Toutefois, au cours des pics de migration de cette année, ce sont majoritairement des individus âgés de plus d'un an qui ont été observés, contrairement aux campagnes précédentes où les civelles dominaient largement.

2) Évaluation de l'état sanitaire du recrutement

À l'image des années précédentes, les indices pathologiques révèlent que les individus ont globalement une bonne condition. Sur les 4 122 anguilles biométrées seules 389 présentaient des pathologies (soit 9,4 %), et seulement 51 individus de l'année étaient touchés par une pathologie (soit 1,2 %). La majorité des cas était concernée par du parasitisme (58,4 %).

De nombreux facteurs peuvent favoriser le développement du parasitisme chez l'anguille (Elie & Girard, 2014). Parmi eux, le stress, la surdensité et la température sont souvent cités (Elie & Girard, 2014; Lafferty & Kuris, 1999). À Poses, les anguilles capturées dans les pièges sont soumises à ces conditions : malgré une relève quotidienne, l'accumulation d'individus peut entraîner un stress important. Concernant la température de l'eau, aucune corrélation significative avec les individus parasités n'a été détectée, ce qui s'explique par le suivi de différents individus au cours de la saison et par la prédominance de jeunes anguilles faiblement exposées aux variations thermiques. La vitesse du courant est également évoquée comme un facteur aggravant dans certaines études, notamment lorsque les eaux sont stagnantes (Janovy *et al.*, 1997). Toutefois, ce point ne semble pas s'appliquer ici : l'hydrosystème situé au pied du barrage est lotique, avec des courants forts générés par les vannes et l'usine hydroélectrique, renforcés par l'influence des marées.

De plus, la présence de métaux lourds et de polluants, notamment les HAP et les PCB, est connue pour provoquer de nombreuses altérations morphologiques et physiologiques chez les poissons, en particulier chez l'Anguille européenne, espèce bio-accumulatrice (Baillon, 2015; Elie & Girard, 2014). Cependant, l'état sanitaire des anguilles recrutées en 2025 apparaît globalement bon. Il convient toutefois de souligner que cette évaluation porte principalement sur des individus de l'année, dont le temps d'exposition aux contaminants est encore limité. De ce fait, cette analyse ne reflète pas nécessairement l'état de santé de l'ensemble de la population, notamment des individus plus âgés qui peuvent être davantage affectés par l'accumulation de polluants au fil du temps. L'état chimique de la Seine en Normandie reste classé comme mauvais selon l'AESN (n.d.), notamment en raison de la présence de substances ubiquistes persistantes (voir Annexe 1.3). Par ailleurs, un arrêté préfectoral interdit la consommation de poissons de la Seine en raison des concentrations élevées en PCB.

Dans ce contexte, l'évaluation sanitaire du recrutement permet de maintenir une surveillance de fond, même si aucun signal inquiétant n'a été relevé cette année parmi les jeunes anguilles en montaison.

3) Influence des paramètres environnementaux sur le recrutement

Les résultats des analyses menées sur les variables environnementales ont permis de mettre en évidence l'importance de la température de l'eau et du débit dans la dynamique du recrutement en anguilles à Poses.

L'ACP montre une forte association entre l'évolution des effectifs journaliers et les variations saisonnières de ces deux variables, confirmant leur rôle structurant dans le processus de montaison. La température de l'eau apparaît comme un facteur déclencheur majeur. En effet, comme l'ont montré White & Knights (1994), les mouvements migratoires sont influencés par des seuils thermiques. Nos résultats confirment cette tendance puisque les premières captures ont été enregistrées dès 12,6°C, ce qui concorde avec les valeurs comprises entre 12 et 14°C pour le début de la migration rapportées dans la littérature (Feunteun *et al.*, 2008). Au-delà de 20°C, les captures augmentent significativement d'après White & Knights (1994), et de fait, 95,2 % du recrutement a eu lieu à Poses une fois cette température atteinte. Par ailleurs, la température de l'air joue également un rôle, car elle conditionne directement celle de l'eau. Leur forte corrélation explique leur contribution commune dans l'ACP, renforçant l'idée que les conditions thermiques globales sont déterminantes pour initier et soutenir la montaison.

À l'inverse, le débit influence négativement le recrutement, indiquant que des débits élevés pourraient ralentir voire bloquer la montaison des anguilles (Elie & Rochard, 1994; Hirschinger, 2015). Ce phénomène s'explique notamment par la faible capacité de nage des civelles, qui les rend vulnérables aux courants soutenus et aux obstacles (Keith *et al.*, 2011). Cependant, les premières captures d'avril se produisent souvent lors des fortes eaux printanières. De plus, en 2024 (2^{ème} meilleure année), les débits étaient tout au long de la saison parmi les plus élevés enregistrés, suggérant que de forts débits n'empêchent pas la migration mais peuvent moduler son rythme et sa répartition saisonnière. En 2025, les débits plus faibles ont potentiellement facilité l'accès aux rampes, expliquant en partie les bons résultats du recrutement.

Le rôle du coefficient de marée apparaît contrasté selon les analyses. Dans l'ACP, il contribue fortement à la deuxième dimension (88 % de la variance de l'axe 2), ce qui suggère qu'il structure une composante importante mais secondaire de la variabilité environnementale. En revanche, son lien global avec les effectifs est faible (coefficient de Spearman = 0,22), traduisant une influence limitée lorsqu'il est considéré isolément. Le modèle GLM affine cette interprétation : le coefficient de marée présente un effet direct significatif et interagit positivement avec la température, suggérant que son influence se manifeste surtout lorsque les conditions thermiques sont favorables.

Ce résultat rejoint les observations de plusieurs auteurs qui soulignent l'importance de la marée comme facteur de migration dans les zones estuariennes migration (Elie & Rochard, 1994; Gascuel, 1986; O'Leary *et al.*, 2022). Dans le cas de Poses, situé à 160 km de la mer, son action semble plus indirecte : il agirait comme un facteur opportuniste, facilitant ponctuellement la progression des individus, notamment lors des vives-eaux. En effet, les principaux pics de migration observés cette année coïncident avec des coefficients supérieurs à 85, renforçant l'hypothèse d'une contribution significative de ce paramètre lors de certains épisodes favorables.

Ces résultats mettent donc en lumière l'importance de suivre les paramètres environnementaux pour mieux anticiper les dynamiques de recrutement. Ils soulignent également la nécessité de prendre en compte le changement climatique, dont les effets sur les régimes de température et de débit pourraient à terme modifier les fenêtres de migration des juvéniles (O'Leary *et al.*, 2022).

4) Limites et perspectives

a) Contraintes techniques et limites des dispositifs

Malgré l'intérêt de ce suivi à long terme, plusieurs limites méthodologiques peuvent influencer l'estimation précise du recrutement. Tout d'abord, les dysfonctionnements ponctuels des dispositifs de capture ont entraîné des blocages dans la montaison, réduisant ainsi la représentativité de certains épisodes migratoires. Ces dysfonctionnements sont récurrents entre les années et ont un impact plus ou moins important sur le recrutement. Ils exposent notamment les individus à la prédation et à l'épuisement.

En rive droite deux problématiques majeures peuvent être relevées. La première, qui date de la création du dispositif, est le sous-dimensionnement de la cuve de piégeage. Lors des pics de migration, le volume d'anguilles devient parfois trop important, provoquant un entassement des individus. Cette situation génère un stress élevé, accentué par un déficit d'oxygène, augmentant le risque de mortalité. Pour limiter ces effets, une surveillance accrue est nécessaire avec des relèves fréquentes, ce qui mobilise des ressources humaines importantes. Un bulleur a été installé cette année pour pallier le manque d'oxygène. Cependant, une solution à plus long terme est actuellement envisagée pour la saison prochaine avec la mise en place d'une cuve avec une plus grande capacité ainsi que d'une deuxième rampe équipée d'un dispositif de comptage automatique (Annexe 5.10). Autre contrainte notable cette année : les dysfonctionnements des sondes de régulation du débit d'attrait à la suite des travaux. Bien que des ajustements aient été apportés, les

régulations hydrauliques restent instables, générant parfois des hauteurs de chute importantes. Ces conditions rendent l'accès aux dispositifs de franchissement difficile, voire impossible. Cependant, comme dit précédemment, l'impact sur la migration semble modéré.

De plus, la précision des mesures de poids reste partiellement dépendante de la précision de la balance (± 0.1 g) et des conditions environnementales (vent, vibration, humidité) pouvant affecter la stabilité de la balance. La pesée des individus de petites tailles est ainsi biaisée par l'opérateur qui ajoute involontairement de l'eau, ce qui augmente le poids réel des civelles. C'est pourquoi aucune analyse sur le poids n'a été réalisée. Pour améliorer la fiabilité des données, une pesée systématique d'un sous-échantillon de 100 à 200 individus a été mise en place, permettant une extrapolation plus robuste de l'effectif réel.

Un autre facteur limitant concerne la prédation observée sur les rampes de montaison, en particulier en rive droite. Des corneilles noires (*Corvus corone*) et des aigrettes (*Egretta garzetta*) ont été régulièrement observées en train de capturer des anguilles directement sur les rampes. Cette prédation ciblée peut contribuer à une diminution locale des effectifs observés, particulièrement lors des périodes de fort passage. Pour y remédier, l'installation de filets de protection est envisagée afin de limiter l'accès des oiseaux aux dispositifs tout en garantissant le bon fonctionnement des pièges.

Enfin, l'absence de données sur la date d'arrivée des civelles dans l'estuaire limite l'interprétation des résultats. Connaître ce paramètre permettrait d'estimer leur temps de transit jusqu'à Poses et de mieux comprendre l'influence des conditions environnementales, la corrélation négative observée avec le débit pouvant être liée à la localisation du site en fin d'estuaire.

b) Biais dans l'estimation du recrutement

Il est important de noter que l'estimation du recrutement est sujette à certains biais. Les écluses représentent une voie de passage alternative pour les anguilles. Pendant quelques années un flottang était installé en amont des écluses pour en évaluer l'importance. Cependant, à cause du passage des bateaux celui-ci était régulièrement retrouvé échoué, son utilisation a donc été stoppée. De plus, en tant que dispositif passif, il ne permettait pas une estimation fiable du nombre d'individus. Néanmoins, les données recueillies ont confirmé que les anguilles empruntaient cette voie, suggérant que les chiffres actuels sous-estiment vraisemblablement le recrutement total. La mise en place d'un dispositif de comptage pourrait être intéressante à l'avenir. Par ailleurs, lors des relèves du flottang en rive droite, il n'est pas rare que des anguilles parviennent à s'échapper

notamment lorsqu'elles sont proches des extrémités, entraînant des pertes ponctuelles difficiles à quantifier et contribuant également à cette sous-estimation.

c) Pistes d'amélioration

Ces éléments ouvrent plusieurs pistes d'amélioration. En rive droite, l'ajout d'une seconde rampe aval, positionnée verticalement à l'entrée de la rampe actuelle, déjà recommandé par SCIMABIO, Interface et OTEIS, permettrait de faciliter l'entrée des anguilles dans le dispositif.

Des travaux d'aménagement des berges pourraient être envisagés en rive gauche afin d'optimiser l'attractivité du dispositif, par exemple par la mise en place d'enrochements favorisant les zones de repos et de refuge pour les anguilles (Duhamel *et al.*, 2004; Morin *et al.*, 2010). Toutefois, leur mise en œuvre reste complexe, dépendant des contraintes techniques, réglementaires et de la volonté des gestionnaires.

VI. Conclusion

Autrefois abondante, l'Anguille européenne a fortement décliné dans les années 1980 et est classée en danger critique d'extinction par l'UICN depuis 2008. Le plan de gestion anguille instauré en 2010 a conduit à la mise en place d'un suivi européen, réalisé sur le bassin de la Seine par l'association SEINORMIGR.

Le suivi est mené au barrage de Poses et vise à évaluer le recrutement en jeunes anguilles (civelles et anguillettes). Sa position, en tant que premier obstacle depuis la mer, est stratégique. La campagne de suivi de 2025 marque une année record, avec 1 410 537 individus recensés, soit la meilleure année depuis 2014. Cette importante montaison s'inscrit dans une tendance nationale encourageante. La majorité des anguilles (94,2 %) a emprunté le dispositif situé en rive droite, soulignant la sélectivité du dispositif en rive gauche, à la fois en nombre et en taille.

Sur le plan sanitaire, l'état des individus demeure bon, avec une faible prévalence des pathologies majeures, bien que les pressions environnementales (pollution, stress, prédation) justifient le maintien d'une surveillance attentive. Le rôle majeur des conditions environnementales sur la migration, notamment la température de la Seine et le débit, souligne la nécessité de poursuivre un suivi à long terme. Ce dernier permet d'évaluer l'efficacité des dispositifs de franchissement mais aussi d'anticiper les effets du changement climatique sur les dynamiques de recrutement.

Malgré un recrutement satisfaisant sur les dernières années à Poses, la situation de l'anguille sur le bassin de la Seine reste préoccupante. Les nombreux barrages présents en amont de la Seine, sont dépourvus d'aménagements fonctionnels pour la montaison, limitant fortement la colonisation de l'ensemble du bassin. De plus, la fragmentation globale des habitats associée aux autres pressions s'exerçant sur l'anguille compromet la dévalaison des anguilles argentées. Ainsi, ce bon recrutement ne garantit pas à lui seul le bon état de la population sur le long terme.

Références

- 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 de doctorat]. UNIVERSITÉ DE RENNES 1.
- Acou, A., Laffaille, P., Legault, A., & Feunteun, E. (2008). Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(3), 432–442. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00295.x>
- Adam, G. (1997). *L'anguille européenne (Anguilla anguilla L. 1758): Dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques* [Thèse de doctorat, Toulouse 3]. <https://theses.fr/1997TOU30107>
- Adam, G., Feunteun, E., Prouzet, P., & Rigaud, C. (2008). *L'anguille européenne: Indicateurs d'abondance et de colonisation*.
- AESN. (n.d.). *Le bassin de la Seine | Agence de l'Eau Seine-Normandie*. Agence de l'Eau Seine-Normandie. Consulté le 25 avril 2025, à l'adresse suivante <https://www.eau-seine-normandie.fr/agence-de-leau/le-bassin-de-la-seine>
- AESN. (2022). *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2022-2027 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands* (p. 180). Agence de l'Eau Seine-Normandie. <https://www.calameo.com/agence-de-l-eau-seine-normandie/read/004001913e70f7f2c707c>
- Alonso, A. I., & Van Uhm, D. P. (2023). The illegal trade in European eels: Outsourcing, funding, and complex symbiotic-antithetical relationships. *Trends in Organized Crime*, 26(3), 293–307. <https://doi.org/10.1007/s12117-023-09490-5>
- Als, T. D., Hansen, M. M., Maes, G. E., Castonguay, M., Riemann, L., Aarestrup, K., Munk, P., Sparholt, H., Hanel, R., & Bernatchez, L. (2011). All roads lead to home: Panmixia of European eel in the Sargasso Sea. *Molecular Ecology*, 20(7), 1333–1346. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05011.x>
- Arai, T. (2020). Ecology and evolution of migration in the freshwater eels of the genus *Anguilla* Schrank, 1798. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05176>

- Baillon, L. (2015). *Étude de l'impact des contaminants métalliques et organiques chez l'anguille européenne (Anguilla anguilla) et américaine (Anguilla rostrata) au moyen d'approches transcriptomiques* [Phdthesis, Université de Bordeaux]. <https://theses.hal.science/tel-01206524>
- Bardonnnet, A., Bolliet, V., & Belon, V. (2005). Recruitment abundance estimation: Role of glass eel (*Anguilla anguilla* L.) response to light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 321(2), 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.02.004>
- Bardonnnet, A., Dasse, S., Parade, M., & Heland, M. (2003). Influence de l'alternance jour/nuit sur les déplacements de civelles en fluvarium. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 368, 9–20. <https://doi.org/10.1051/kmae:2003032>
- Barry, J., McLeish, J., Dodd, J. A., Turnbull, J. F., Boylan, P., & Adams, C. E. (2014). Introduced parasite *Anguillicola crassus* infection significantly impedes swim bladder function in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Diseases*, 37(10), 4. <https://doi.org/10.1111/jfd.12215>
- BGM - Les poissons migrants, tous des athlètes de haut niveau ? (n.d.). Observatoire des poissons migrants Bretagne. Consulté le 17 avril 2025, à l'adresse suivante <https://www.observatoire-poissons-migrants-bretagne.fr/>
- Bonhommeau, S., Le Pape, O., Gascuel, D. D., Blanke, B., Tréguier, A.-M., Grima, N., Vermard, Y., Castonguay, M., & Rivot, E. (2009). Estimates of the mortality and the duration of the trans-Atlantic migration of European eel *Anguilla anguilla* leptocephali using a particle tracking model. *Journal of Fish Biology*, 74(9), 1891–1914. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02298.x>
- Borgwardt, F., Robinson, L., Trauner, D., Teixeira, H., Nogueira, A. J. A., Lillebø, A. I., Piet, G., Kuemmerlen, M., O'Higgins, T., McDonald, H., Arevalo-Torres, J., Barbosa, A. L., Iglesias-Campos, A., Hein, T., & Culhane, F. (2018). Exploring variability in environmental impact risk from human activities across aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 652, 1396–1408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.339>
- 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(4), 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00798.x>

Brujls, M. C., & Durif, C. M. (2009). Silver Eel Migration and Behaviour. In *Spawning Migration of the European Eel: Reproduction index, a useful tool for conservation management* (pp. 65–95). Dordrecht: Springer Netherlands.

Bruslé, J. (1994). L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335, 237–260. <https://doi.org/10.1051/kmae:1994015>

Bruslé, J., & Quignard, J. P. (2013). *Biologie des poissons d'eau douce européens* (Deuxième édition). Tec & Doc.

Cantrelle, I. (1981). *Etude de la migration et de la pêche des civelles (Anguilla anguilla L., 1758) dans l'estuaire de la Gironde*. Université de Paris VI.

Cantrelle, I. (1984). Les populations de civelles d'*Anguilla anguilla* L. en migration dans l'estuaire de la Gironde. *Vie et Milieu / Life & Environment*, 109–116. <https://doi.org/hal-03019927>

Castonguay, M., & McCleave, J. D. (1987). Vertical distributions, diel and ontogenetic vertical migrations and net avoidance of leptocephali of *Anguilla* and other common species in the Sargasso Sea. *Journal of Plankton Research*, 9(1), 195–214. <https://doi.org/10.1093/plankt/9.1.195>

Daverat, F., Limburg, K. E., Thibault, I., Shiao, J.-C., Dodson, J. J., Caron, F., Tzeng, W.-N., Iizuka, Y., & Wickström, H. (2006). Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate eel species, *Anguilla anguilla*, *A. japonica* and *A. rostrata*. *Marine Ecology Progress Series*, 308, 231–241. <https://doi.org/10.3354/meps308231>

Deinet, S., Marconi, V., Freeman, R., Puleston, H., & McRae, L. (2024). *Living Planet Report 2024 Technical Supplement: Living Planet Index* (p. 36). ZSL.

Dekker, W. (1998). Long-term trends in the glasseels immigrating at Den Oever, The Netherlands. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 349, 199–214. <https://doi.org/10.1051/kmae:1998045>

Dekker, W. (2003a). Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology*, 10(6), 365–376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2003.00352.x>

- Dekker, W. (2003b). Status of the European eel stock and fisheries. In K. Aida, K. Tsukamoto, & K. Yamauchi (Eds.), *Eel Biology* (pp. 237–254). Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-65907-5_17
- Derbal, F., Hamdi, S., Rouag-Laouira, L., Chaoui, L., & Kara, M. (2013). *Régime alimentaire de l'anguille Anguilla anguilla dans les eaux de transition de l'est de l'Algérie*.
- DRIEE-IF. (2016). *Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie 2011-2015* (p. 116).
- Duhamel, S., De Roton, G., & Jourde, J. (2004). *Habitats intertidaux entre la Risle et l'Epi de la Roque: Éléments sur la faune benthiques et le pélagos en relation avec le biotope*. (Rapport final CSLN / Port Autonome de Rouen 2ème phase de l'étude ; p. 32).
- Durif, C. (2003). *La migration d'avalaison de l'anguille européenne Anguilla anguilla: Caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles* (p. 348) [Phdthesis, Doctorat Ecologie aquatique, Université Toulouse III]. <https://hal.inrae.fr/tel-02581507>
- Durif, C., Browman, H. I., Phillips, J. B., Skiftesvik, A. B., Vøllestad, L. A., & Stockhausen, H. H. (2013). Magnetic compass orientation in the European eel. *PLOS ONE*, 8(3), e59212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059212>
- 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, écologie, écophysiologie et élevage* [Thèse de doctorat, Université de Rennes - U.E.R. Sciences Biologiques].
- Elie, P., & Girard, P. (2014). *La santé des poissons sauvages: Les codes pathologie, un outil d'évaluation*. Association Santé Poissons Sauvages.
- Elie, P., Lecomte-Finiger, R., Cantrelle, I., & Charlon, N. (1982). Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'Anguilla anguilla L. (Poisson téléostéen anguilliforme). *Vie et Milieu / Life & Environment*, 32, 149–157. <https://doi.org/hal-03012493>
- Elie, P., & Rochard, E. (1994). Migration des civelles d'anguilles (Anguilla anguilla L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335, 81–98. <https://doi.org/10.1051/kmae:1994006>

- Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18(5), 575–591. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00021-6](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00021-6)
- Feunteun, E., Adam, G., & Prouzet, P. (2008). *L'anguille européenne : Indicateurs d'abondance et de colonisation*. Éditions Quae.
- Feunteun, E., Laffaille, P., Aoyama, J., De Casamayor, M. N., Dumont, P., & Jellyman, D. (2011). Commercially important catadromous fish. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.
- Feunteun, E., Laffaille, P., Robinet, T., Briand, C., Baisez, A., Olivier, J.-M., & Acou, A. (2003). A review of upstream migration and movements in inland waters by Anguillid eels: Toward a general theory. In K. Aida, K. Tsukamoto, & K. Yamauchi (Eds.), *Eel Biology* (pp. 191–213). Springer Japan. https://doi.org/10.1007/978-4-431-65907-5_14
- Feunteun, E., & Marion, L. (1994). Assessment of Grey Heron predation on fish communities: The case of the largest European colony. *Hydrobiologia*, 279(1), 327–344. <https://doi.org/10.1007/BF00027865>
- Fisson, C. (2016). *Imprégnation des cours d'eau haut-normands par les PCB et autres micropolluants* (p. 35). Étude réalisée par le GIP Seine-Aval pour le compte de la Cellule de Suivi du Littoral Normand.
- Fricke, R., & Fong, J. D. (2025, April 9). *Catalog of Fishes*. California Academy of Sciences. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
- Gascuel, D. (1986). Flow-carried and active swimming migration of the glass eel (*Anguilla anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 40(3), 321–326. <https://doi.org/10.1007/BF01983739>
- Gollock, M., Curnick, D., & Debney, A. (2011). Recent recruitment trends of juvenile eels in tributaries of the River Thames. *Hydrobiologia*, 672(1), 33–37. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0754-9>

Grall, S., Lemonnier, A., Deshayes, F., Barault, A., & Pottier, M. (2023). *Contrôle des migrations des poissons grands migrateurs sur la Seine au barrage de Poses -Amfreville-sous-les-Monts, année 2023* (p. 50). Seine Normandie Migrateurs (SEINORMIGR).

Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H., Ehalt Macedo, H., Filgueiras, R., Goichot, M., Higgins, J., Hogan, Z., Lip, B., McClain, M. E., Meng, J., Mulligan, M., ... Zarfl, C. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755), 215–221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>

Hirschinger, J. (2015). *Données nouvelles sur le cycle biologique et les infestations parasitaires des anguilles de Polynésie française*. 134.

Imbert, H., De Lavergne, S., Gayou, F., Rigaud, C., & Lambert, P. (2008). Evaluation of relative distance as new descriptor of yellow European eel spatial distribution. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(4), 520–527. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00321.x>

Janovy, J., Snyder, S. D., & Clopton, R. E. (1997). Evolutionary Constraints on Population Structure: The Parasites of *Fundulus zebrinus* (Pisces: Cyprinodontidae) in the South Platte River of Nebraska. *The Journal of Parasitology*, 83(4), 584–592. <https://doi.org/10.2307/3284228>

Keith, P., Feunteun, E., Allardi, J., & Persat, H. (2011). *Les Poissons d'eau douce de France*. BIOTOPE.

Keith, P., Poulet, N., Denys, G., Changeux, T., Feunteun, E., & Persat, H. (2020). *Les poissons d'eau douce de France* (Deuxième édition). BIOTOPE.

Kettle, A. J., Bakker, D. C. E., & Haines, K. (2008). Impact of the North Atlantic Oscillation on the trans-Atlantic migrations of the European eel (*Anguilla anguilla*). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G3). <https://doi.org/10.1029/2007JG000589>

Kirk, R. S. (2003). The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. *Fisheries Management and Ecology*, 10(6), 385–394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2003.00355.x>

Laffaille, P., Acou, A., & Guillouët, J. (2005). The yellow European eel (*Anguilla anguilla* L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. *Ecology of Freshwater Fish*, 14(2), 191–196. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2005.00092.x>

- Laffaille, P., Briand, C., Fatin, D., Lafage, D., & Lasne, E. (2005). Point sampling the abundance of European eel (*Anguilla anguilla*) in freshwater areas. *Arch. Hydrobiol.*, 162(1), 91–98.
- Laffaille, P., Feunteun, E., Acou, A., & Lefeuvre, J. C. (2000). Role of European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the transfer of organic matter between marine and freshwater systems. *SIL Proceedings*, 1922-2016, 27(1), 616–619. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11901309>
- Lafferty, K. D., & Kuris, A. M. (1999). How environmental stress affects the impacts of parasites. *Limnology and Oceanography*, 44(3part2), 925–931. https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3_part_2.0925
- Lasne, E., & Laffaille, P. (2007). Analysis of distribution patterns of yellow European eels in the Loire catchment using logistic models based on presence–absence of different size-classes. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(1), 30–37. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00253.x>
- Lauronce, V., Burguete, M., & Doucet, T. (2018). *Actions pour la sauvegarde de l’anguille européenne sur le bassin Gironde Garonne Dordogne*. Association Migrateurs Garonne Dordogne (MIGADO).
- Lecomte-Finiger, R. (1990). Métamorphose de l’anguille jaune en anguille argentée *Anguilla anguilla* L. et sa migration catadrome. *L’Année biologique*, 29(3), 183–194.
- Lecomte-Finiger, R., Maunier, & Khafif, M. (2004). Les larves leptocéphales, ces méconnues. *Cybium*, 28(2), 83–95.
- Legault, A. (1992). Étude de quelques facteurs de sélectivité de passes à anguilles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 325, 83–91. <https://doi.org/10.1051/kmae:1992016>
- Legrand, M., Briand, C., & Besse, T. (2019). StacomIR: a common tool for monitoring fish migration. *JOSS - The Journal of Open-Source Software.*, 3. <https://doi.org/10.21105/joss.00791>
- Les services rendus par les milieux d’eau douce.* (2023). Naturefrance. <http://naturefrance.fr/les-services-rendus-par-les-milieus-deau-douce>
- Les services rendus par les milieux marins et littoraux.* (2022). Naturefrance. <http://naturefrance.fr/les-services-rendus-par-les-milieus-marins-et-littoraux>

Libois, R., & Rosoux, R. (1989). Écologie de la loutre (*Lutra lutra*) dans le Marais Poitevin 1. Étude de la consommation d'anguilles. *Vie et Milieu / Life & Environment*, 39(3–4). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/112346>

Machut, L. S., Limburg, K. E., Schmidt, R. E., & Dittman, D. (2007). Anthropogenic impacts on American eel demographics in Hudson River Tributaries, New York. *Transactions of the American Fisheries Society*, 136(6), 1699–1713. <https://doi.org/10.1577/T06-140.1>

Maes, G. E., & Volckaert, F. A. M. (2007). Challenges for genetic research in European eel management. *ICES Journal of Marine Science*, 64(7), 1463–1471. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm108>

McCleave, J. D., Kleckner, R. C., & Castonguay, M. (1987). Reproductive sympatry of American and European eels and implications for migration and taxonomy. *American Fisheries Society Symposium*, 1, 286–297.

MIGADO - Passages aux stations de contrôle. (n.d.). Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre (MIGADO). Consulté le 05 août 2025, à l'adresse suivante <https://www.migado.fr/category/stations-controle/>

Miller, M. J., Feunteun, E., & Tsukamoto, K. (2016). Did a “perfect storm” of oceanic changes and continental anthropogenic impacts cause northern hemisphere anguillid recruitment reductions? *ICES Journal of Marine Science*, 73(1), 43–56. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv063>

Miller, M. J., Westerberg, H., Sparholt, H., Wysujack, K., Sørensen, S. R., Marohn, L., Jacobsen, M. W., Freese, M., Ayala, D. J., Pohlmann, J.-D., Svendsen, J. C., Watanabe, S., Andersen, L., Møller, P. R., Tsukamoto, K., Munk, P., & Hanel, R. (2019). Spawning by the European eel across 2000 km of the Sargasso Sea. *Biology Letters*, 15(4), 20180835. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0835>

Moriarty, C. (1986). Variations in elver abundance at European catching stations from 1938 to 1985. *Vie et Milieu / Life & Environment*, 233.

Moriarty, C. (1996). The decline in catches of European elver 1980-1992. *Fisheries & Aquatic Life*, 4(2a), 245-248.

Moriarty, C., & Dekker, W. (1997). Management of the European Eel. *Irish Fisheries Bulletin*, 15, 108.

Morin, J., Minier, C., Bacq, N., & Dégremont, C. (2010). *Poissons, habitats, & ressources halieutiques: Cas de l'estuaire de la Seine*. (p. 78). GIP Seine-Aval.

<https://archimer.ifremer.fr/doc/00319/43021/42535.pdf>

MRM - Observatoire en direct. (n.d.). Observatoire des poissons migrateurs amphihalins Rhône-Méditerranée. Consulté le 05 août 2025, à l'adresse suivante <https://www.observatoire-rhonemediterranee.fr/observatoire-en-direct/#0>

Musseau, C., Contournet, P., Mutel, S., Nahon, S., & Nicolas, D. (2024). *Suivi temporel de l'écologie trophique du silure glane et de l'anguille européenne dans un canal de drainage en Camargue. Analyses isotopiques de janvier 2017 à janvier 2019*. Convention de subvention OFB, Rapport final, Tour du Valat. <https://hal.science/hal-04725098>

O'Leary, C., Healy, S., Cruikshanks, R., Kelly, K., & Gargan, P. (2022). Assessment of the environmental drivers of European glass eel (*Anguilla anguilla*) recruitment in transitional waters. *Environmental Biology of Fishes*, 105(9), 1203–1217. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01340-7>

Olivry, M., Teichert, N., Trancart, T., Carpentier, A., Acou, A., Muntoni, M., Bacq, N., & Feunteun, E. (2023). *Renforcement des connaissances sur l'anguille Européenne au service de la restauration des habitats de l'Estuaire de La Seine* (p. 99) [Rapport de recherche du programme Seine-Aval 7]. MNHN, Station Marine de Dinard, GIP Seine-Aval.

Palm, S., Dannewitz, J., Prestegard, T., & Wickström, H. (2009). Panmixia in European eel revisited: No genetic difference between maturing adults from southern and northern Europe. *Heredity*, 103(1), 82–89. <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.51>

Palstra, A. P., Heppener, D. F. M., van Ginneken, V. J. T., Székely, C., & van den Thillart, G. E. E. J. M. (2007). Swimming performance of silver eels is severely impaired by the swim-bladder parasite *Anguillicola crassus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 352(1), 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.08.003>

Pankhurst, N. W., & Lythgoe, J. N. (1983). Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 23(2), 229–240. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1983.tb02898.x>

- Passakas, T., & Tesch, F.-W. (1980). Karyological and gonadal sex of eels (*Anguilla anguilla*) from the German Bight and the lower River Elbe. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 34(2), 159–164. <https://doi.org/10.1007/BF01984037>
- Peyre, J. (2018). *Suivi de la migration anadrome de l'Anguille européenne* (p. 33).
- PGA France. (2010). *Plan de gestion anguille de la France* (p. 120).
- PGA France. (2024). *Plan de gestion anguille de la France. Rapport de mise en œuvre—Juin 2024* (p. 186).
- PGA Seine-Normandie. (2010). *Plan de gestion anguille de la France. Volet local de l'unité de gestion Seine Normandie* (p. 47).
- Pike, C., Crook, V., Gollock, M., Beaulaton, L., Belpaire, C., Dekker, W., Díaz, E., Durif, C. M. F., & Hanel, R. (2020). *Anguilla anguilla*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T60344A152845178.en>
- PLAGEPOMI. (2022). *Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie 2022-2027* (p. 160).
- Porcher, J. P. (1992). Les passes à anguilles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 326–327, 134–142. <https://doi.org/10.1051/kmae:1992010>
- Prouzet, P. (2003). *Étude 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*. Rapp. Institution Adour-Ifremer-UPPA.
- Pujolar, J. M., Maes, G. E., & Volckaert, F. A. M. (2007). Genetic and morphometric heterogeneity among recruits of the European eel, *Anguilla anguilla*. *Bulletin of Marine Science*, 81(2), 297–308.
- Ragauskas, A., Butkauskas, D., & Bianchini, M. L. (2017). Distinct matriline in the panmictic population of the European eel *Anguilla anguilla*? *Aquatic Living Resources*, 30, 21. <https://doi.org/10.1051/alr/2017021>

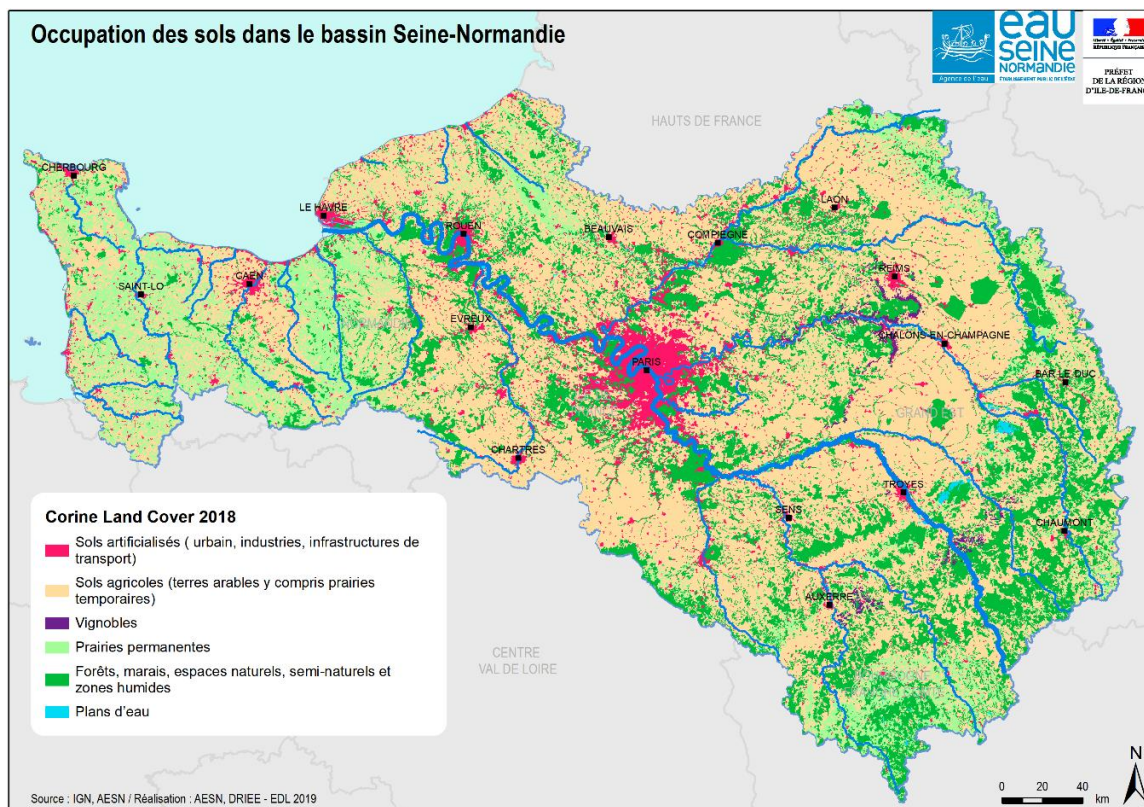
- Rahel, F. J., & McLaughlin, R. L. (2018). Selective fragmentation and the management of fish movement across anthropogenic barriers. *Ecological Applications*, 28(8), 2066–2081. <https://doi.org/10.1002/eap.1795>
- Righton, D., Westerberg, H., Feunteun, E., Økland, F., Gargan, P., Amilhat, E., Metcalfe, J., Lobon-Cervia, J., Sjöberg, N., Simon, J., Acou, A., Vedor, M., Walker, A., Trancart, T., Brämick, U., & Aarestrup, K. (2016). Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. *Science Advances*, 2(10), e1501694. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501694>
- Robinet, T. T., & Feunteun, E. E. (2002). Sublethal effects of exposure to chemical compounds: A cause for the decline in Atlantic eels? *Ecotoxicology*, 11(4), 265–277. <https://doi.org/10.1023/A:1016352305382>
- Saglio, P., Escaffre, A. M., & Blanc, J. M. (1988). Structural characteristics of the epidermal mucosa in yellow and silver European eel, *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 32(4), 505–514. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05390.x>
- Schabetsberger, R., Miller, M. J., Dall’Olmo, G., Kaiser, R., Økland, F., Watanabe, S., Aarestrup, K., & Tsukamoto, K. (2016). Hydrographic features of anguillid spawning areas: Potential signposts for migrating eels. *Marine Ecology Progress Series*, 554, 141–155. <https://doi.org/10.3354/meps11824>
- Schmidt, J. (1922). The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B, Biological Sciences.*, 211, 179–208. <https://doi.org/10.1098/rstb.1923.0004>
- SEINORMIGR. (2023). *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 2022* (p. 66) [Rapport de suivi]. Seine Normandie Migrateurs (SEINORMIGR).
- Tesch, F. W. (1977). *The Eel: Biology and Management of Anguillid Eels*. Chapman and Hall.
- Thieu, V. (2009). *Modélisation spatialisée des flux de nutriments (N, P, Si) des bassins de la Seine, de la Somme et de l’Escaut: Impact sur l’eutrophisation de la Manche et de la Mer du Nord* [Phdthesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI]. <https://theses.hal.science/tel-00446589>

- Todd, P. R. (1981). Timing and periodicity of migrating New Zealand freshwater eels (*Anguilla* spp.). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 15(3), 225–235. <https://doi.org/10.1080/00288330.1981.9515915>
- Tzeng, W.-N. (1985). Immigration timing and activity rhythms of the eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of northern Taiwan, with emphasis on environmental influences. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 47(48), 11–28.
- Westin, L. (1990). Orientation mechanisms in migrating European silver eel (*Anguilla anguilla*): Temperature and olfaction. *Marine Biology*, 106(2), 175–179. <https://doi.org/10.1007/BF01314798>
- White, E. M., & Knights, B. (1994). Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. *Journal of Fish Biology*, 50(5), 1104–1116. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01634.x>
- Wirth, T., & Bernatchez, L. (2001). Genetic evidence against panmixia in the European eel. *Nature*, 409(6823), 1037–1040. <https://doi.org/10.1038/35059079>

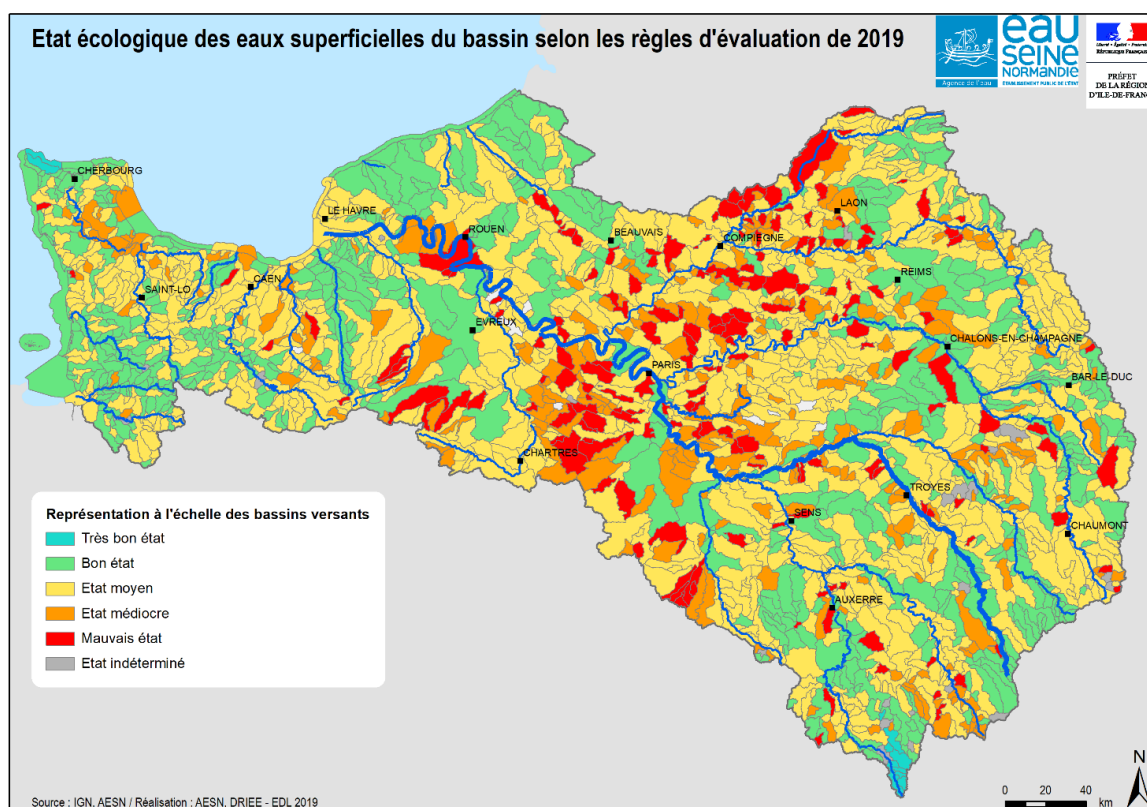
Annexes

Annexe 1 : Cartes d'occupation des sols ainsi que des états écologiques et chimiques des eaux superficielles dans le bassin de la Seine-Normandie (Source : AESN, 2019)

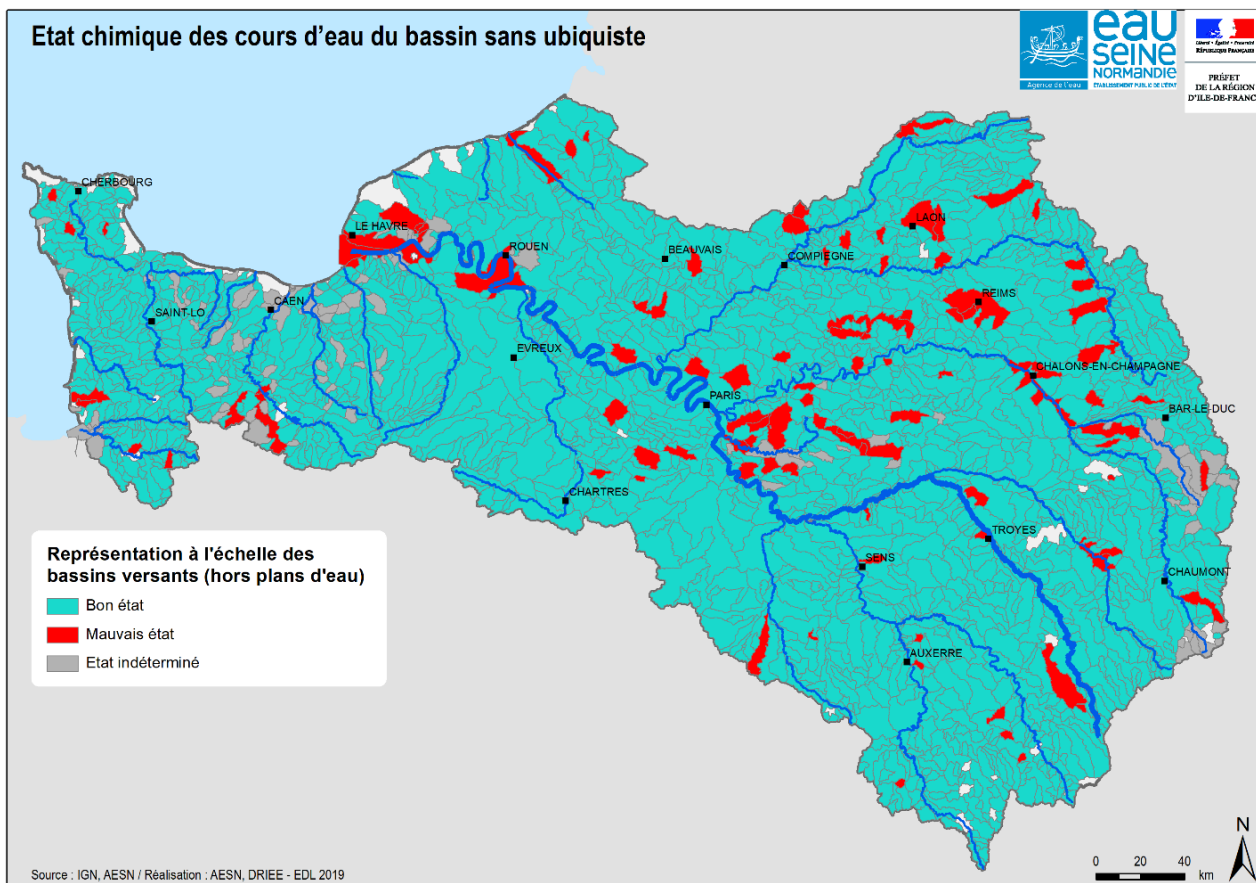
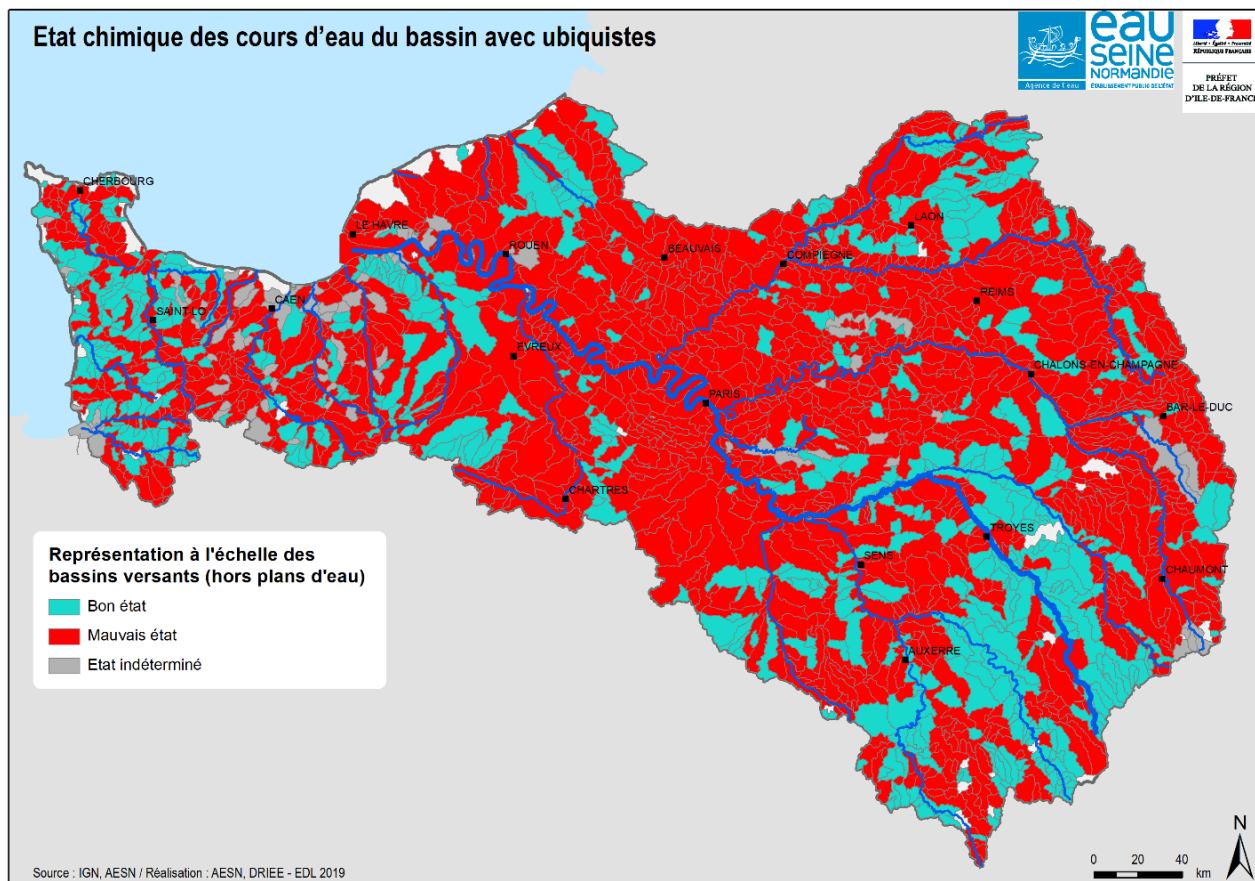
1.1 Carte de l'occupation des sols



1.2 Carte de l'état écologique des eaux superficielles

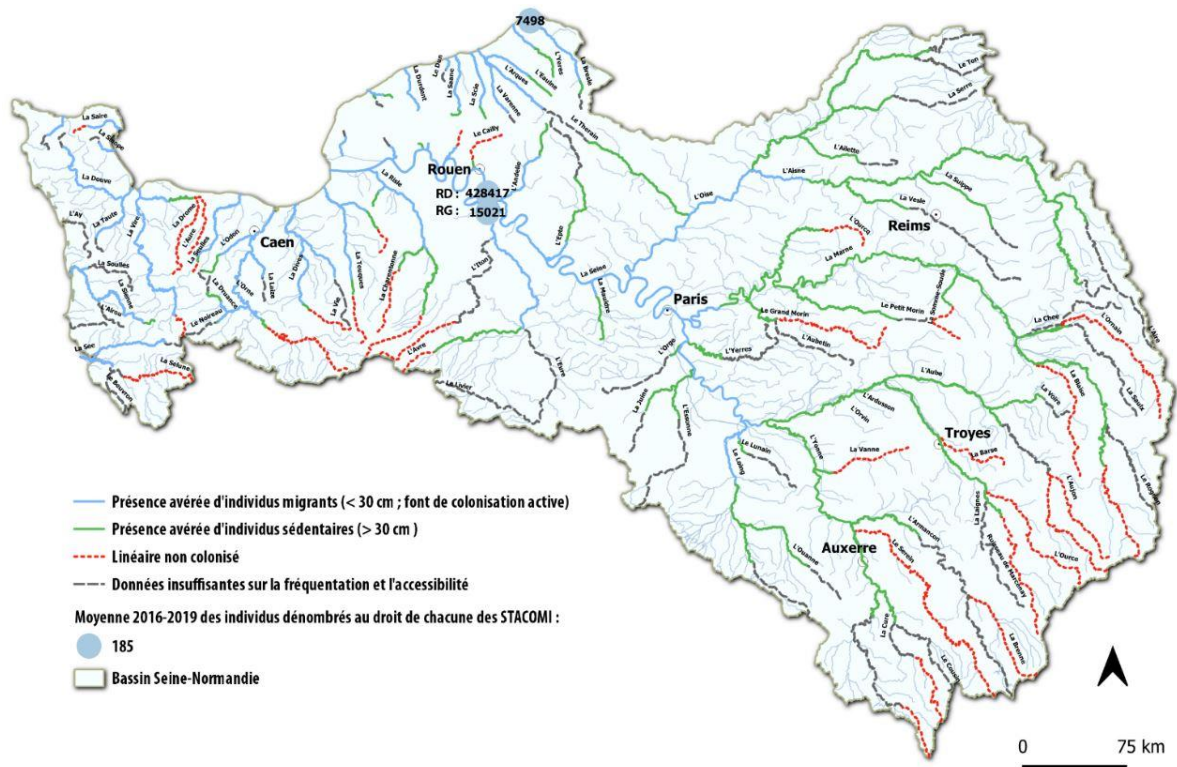


1.3 Carte des états chimiques des cours d'eau avec et sans ubiquistes

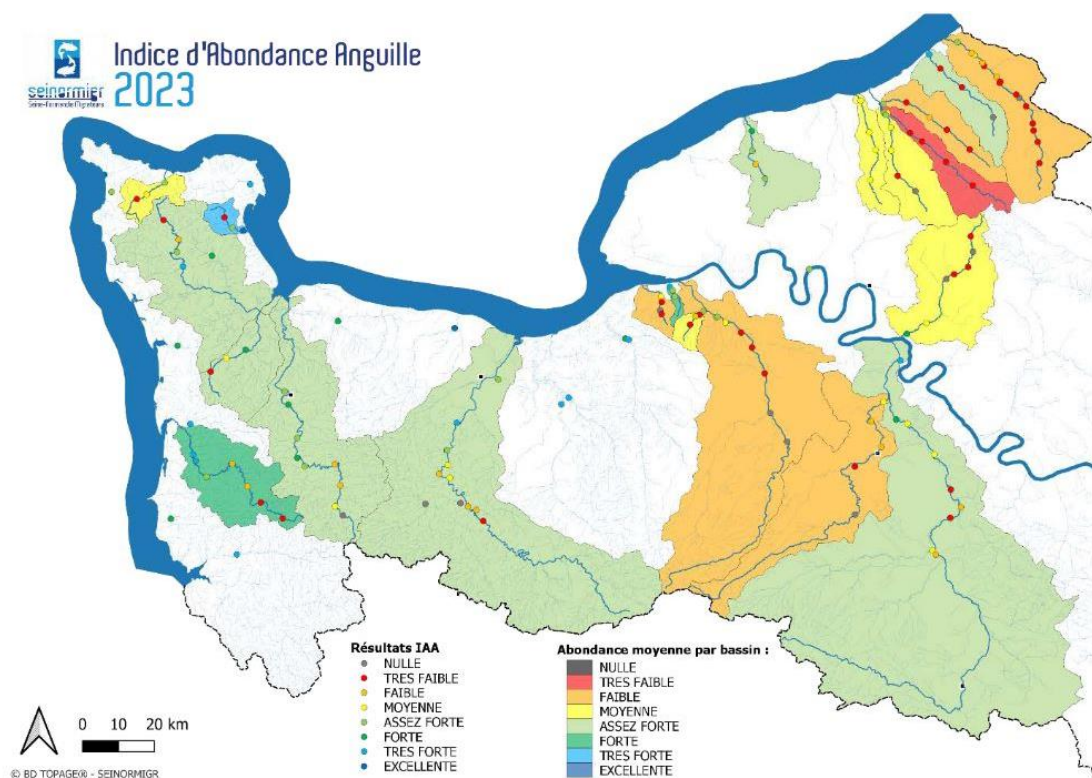


Annexe 2 : Données de répartition de l'Anguille européenne dans le bassin Seine-Normandie
(Source : SEINORMIGR)

2.1 Niveaux de fréquentation des cours d'eau principaux du bassin Seine-Normandie par l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

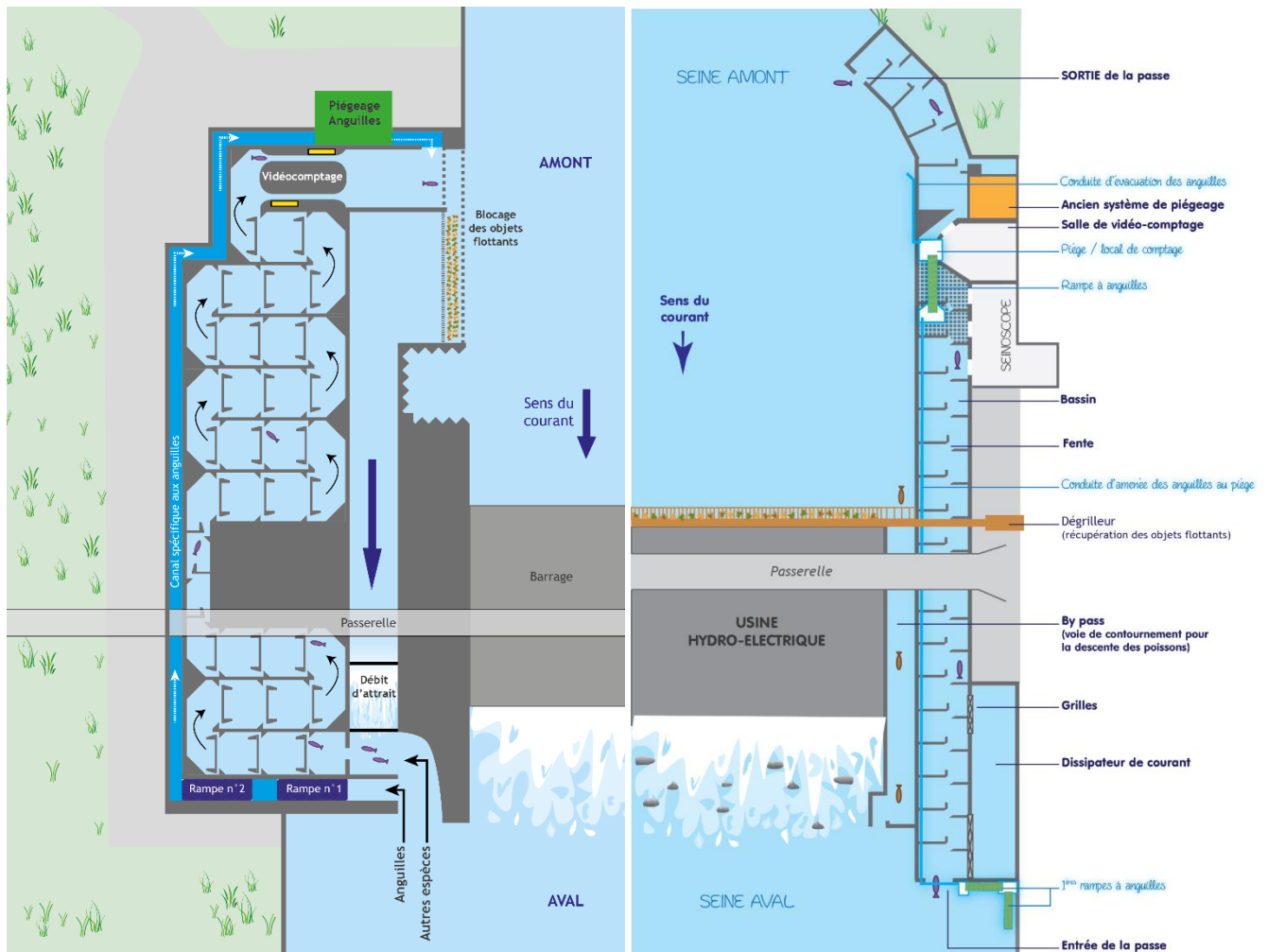


2.2 Carte des résultats 2023 du monitoring anguille sur l'UGA Seine-Normandie

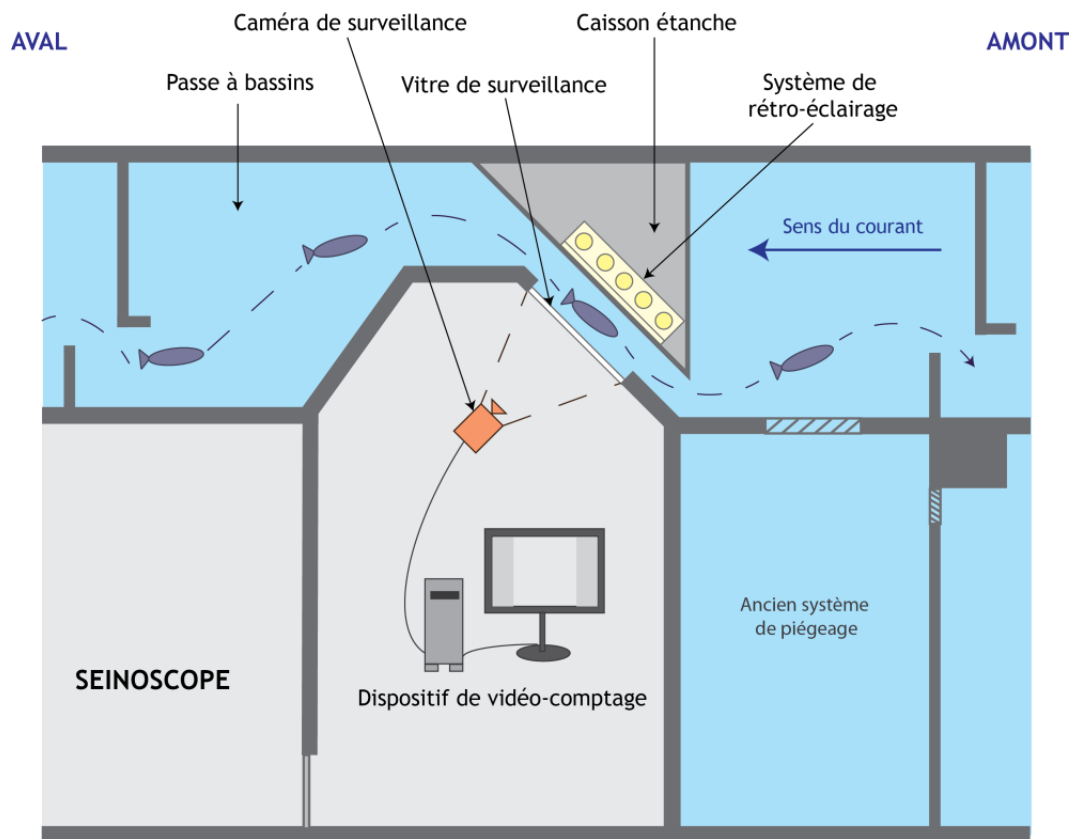


Annexe 3 : Schémas des passes à poissons et des systèmes de vidéo-comptage sur le barrage de Poses (Source : SEINORMIGR)

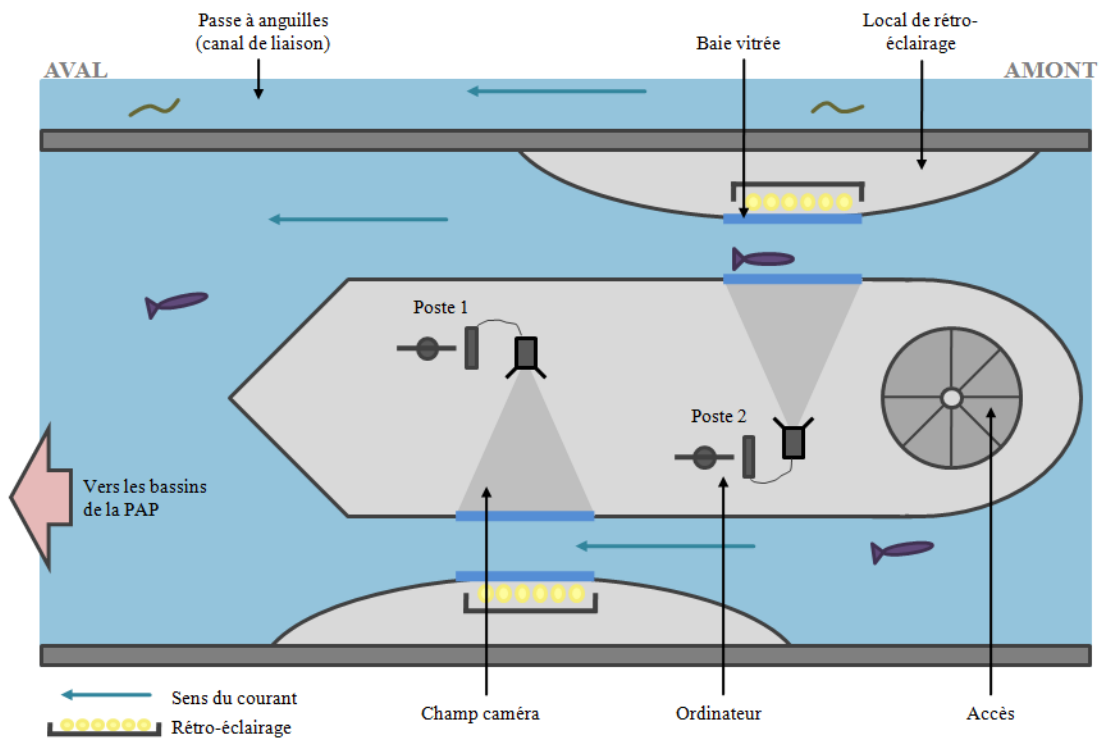
3.1 Schémas des passes à poissons et rampes à anguilles du barrage de Poses (rive droite à gauche et rive gauche à droite)



3.2 Schéma du système de vidéo-comptage de la rive gauche du barrage de Poses



3.3 Schéma du système de vidéo-comptage de la rive droite du barrage de Poses



Annexe 4 : Documents de référence pour le suivi sur le terrain

4.1 Grille de description des lésions d'intérêt écopathologique majeur (Elie et Girard, 2014)

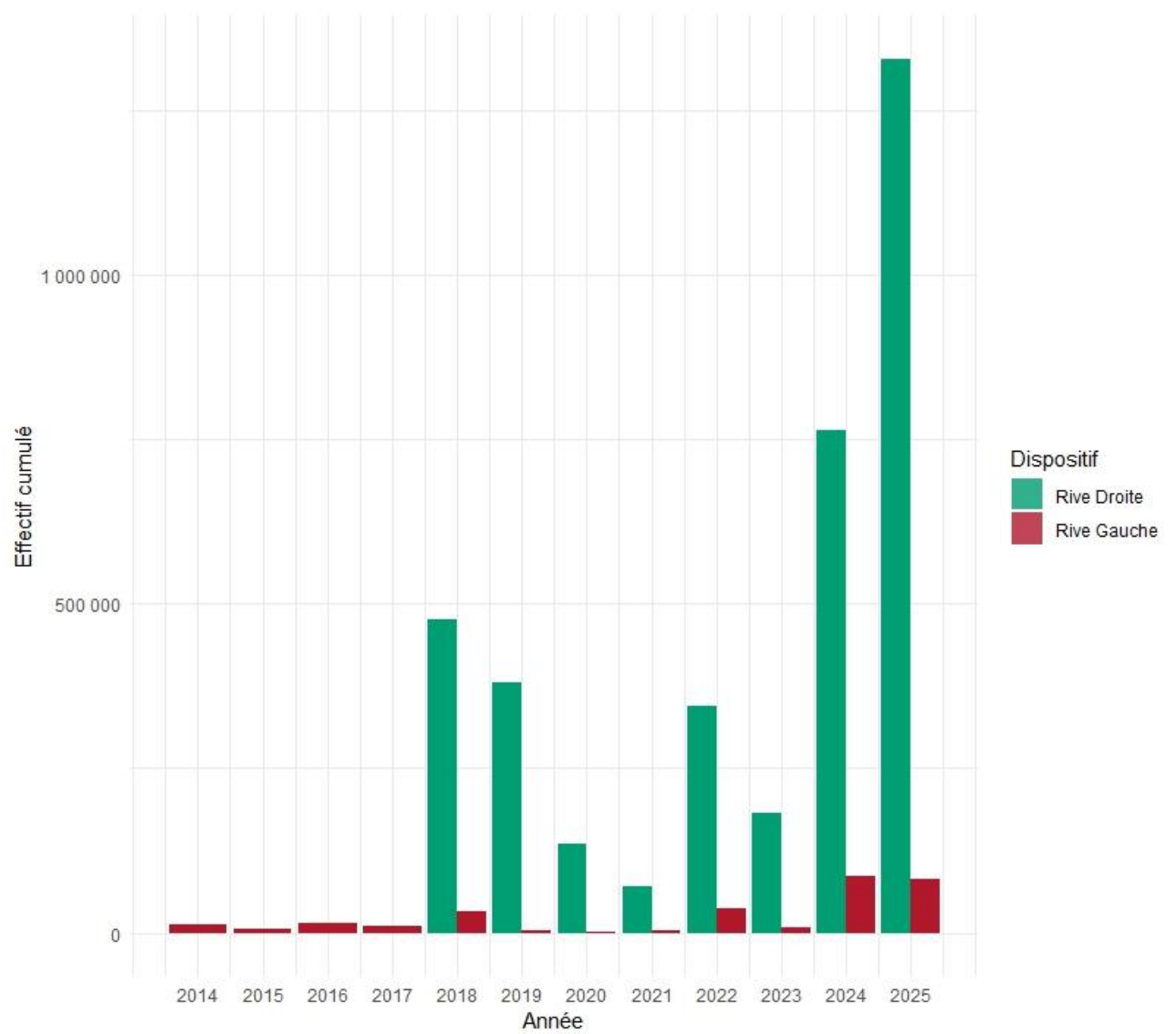
<u>Lésions anatomo-morphologiques</u>	Code	<u>Localisations anatomiques</u>	Code
Absence d'organe	AO	Corps	C
Altération de la couleur	AC	Tête	T
Anus rouge ou saillant	US	Bouche	G
Bulle de gaz	BG	Mâchoire	M
Déformation, difformité	AD	Ceil	Y
Erosion	ER	Branchie	B
Etat pathologique multiforme	ZO	Fente branchiale	O
Hémorragie	HE	Nageoire principale	N
Hypersécrétion de mucus	SM	Nageoire pectorale	P
Lésions branchiales :	LB	Nageoire caudale	Q
- nécrose, érosion	NE	Abdomen	A
- kyste	KY	Dos	H
- congestion	CH	Colonne vertébrale	V
Lésions oculaires :	LO	Flanc	F
- hémorragie	HE	Ligne latérale	L
- exophtalmie	EX	Pédoncule caudal	K
- ulcère	UL	Orifice anal	U
- perte d'oeil	AO		
- parasitisme	PA		
Maigreux	AM		
Masses et grosseurs	AG		
Nécrose	NE		
Ulcère (hémorragique)	UH		
<u>Importance des lésions :</u>			
<u>Abondance/nombre/degré d'altération (N)</u>	QI	<u>Taux de recouvrement (S²)</u>	QI
Absence : N = 0	0	Recouvrement nul : S ² = 0%	0
Abondance/altération faible : N < 3	1	Recouvrement faible : S ² < 5%	1
Abondance/ altération moyenne: N = 4-6	2	Recouvrement moyen : S ² = 5-10%	2
Abondance/ altération forte : N = 7-10	3	Recouvrement fort : S ² = 10-20%	3
Abondance/ altération très forte: N = > 10	4	Recouvrement très fort : S ² > 20%	4
<u>Parasitisme :</u>			
<u>Parasitisme externe</u>		<u>Abondance parasitaire (Ab)</u>	QI
Point blanc	PB	Absence	0
Mycose (« mousse »)	PM	Abondance faible	1
Crustacés	PC	Abondance moyenne	2
Hirudinés (<i>Piscicola geometra</i>)	PH	Abondance forte	3
Autres	PX	Abondance très forte	4

4.2 Feuille du carnet de terrain à remplir lors des relevés des pièges à anguilles

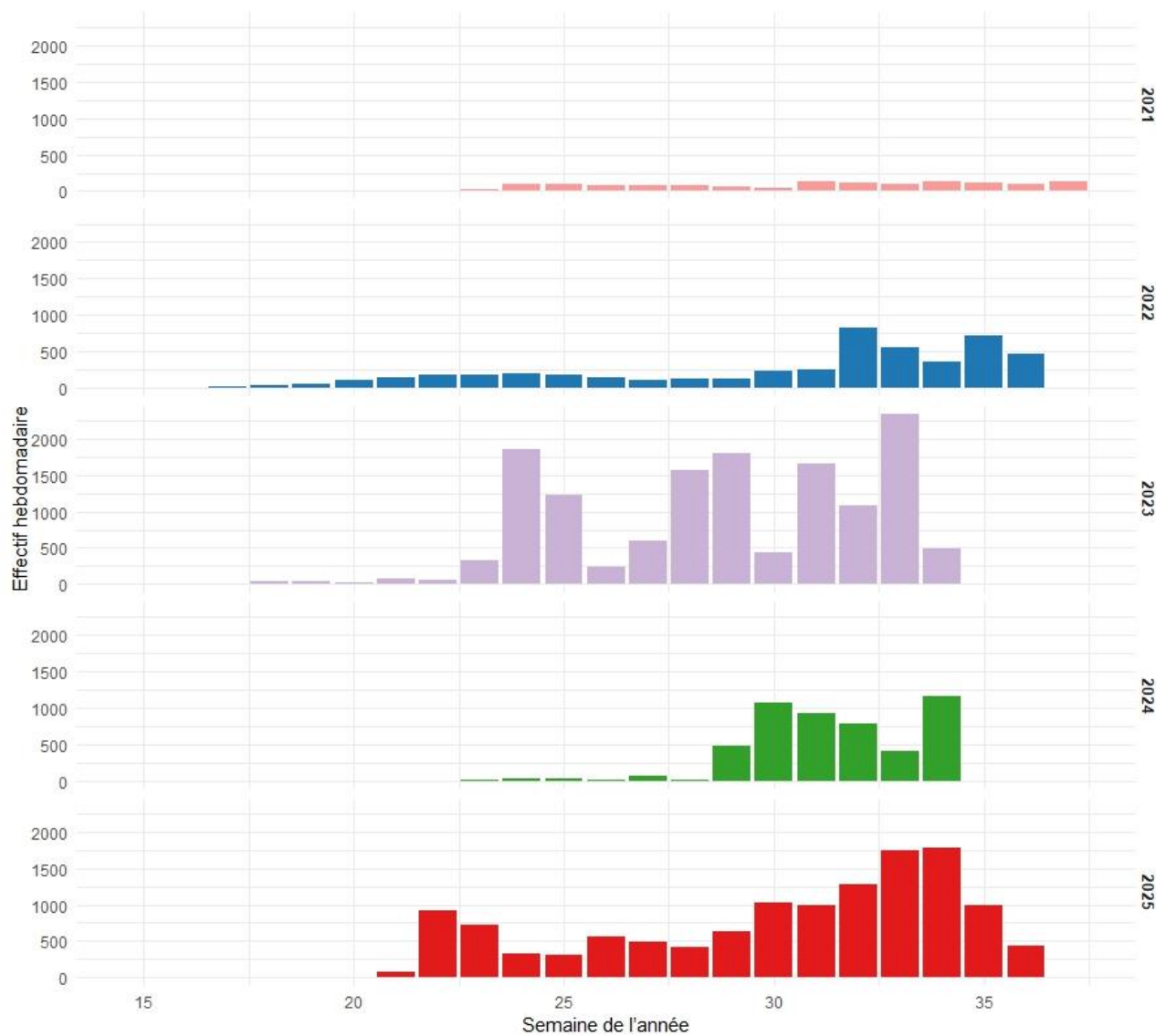
Relevé passe piège Poses : Biométrie				Unité de Gestion Seine-Normandie/SEINORMIGR							
Date : _____				Horaire : _____		Opérateurs : _____					
Lot 30 ind n°1				Lot 30 ind n°2				Lot 30 ind n°3 ou Lot refus			
N° de capture	Taille (mm)	Poids (g)	Patho	N° de capture	Taille (mm)	Poids (g)	Patho	N° 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 :											

Annexe 5 : Données complémentaires aux résultats et à la discussion

5.1 Comparaison des effectifs cumulés entre rive gauche et rive droite



5.2 Évolution des captures hebdomadaires d'anguilles de 2021 à 2025

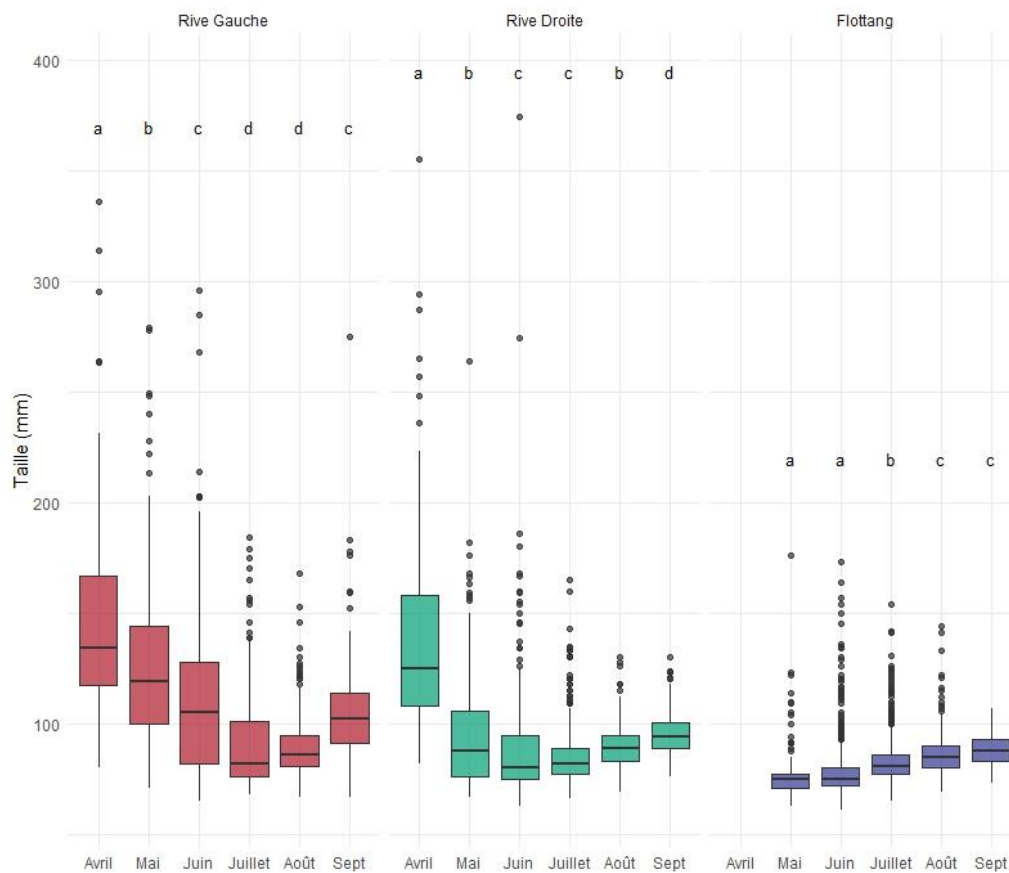


Correspondances des semaines pour l'année 2025 :

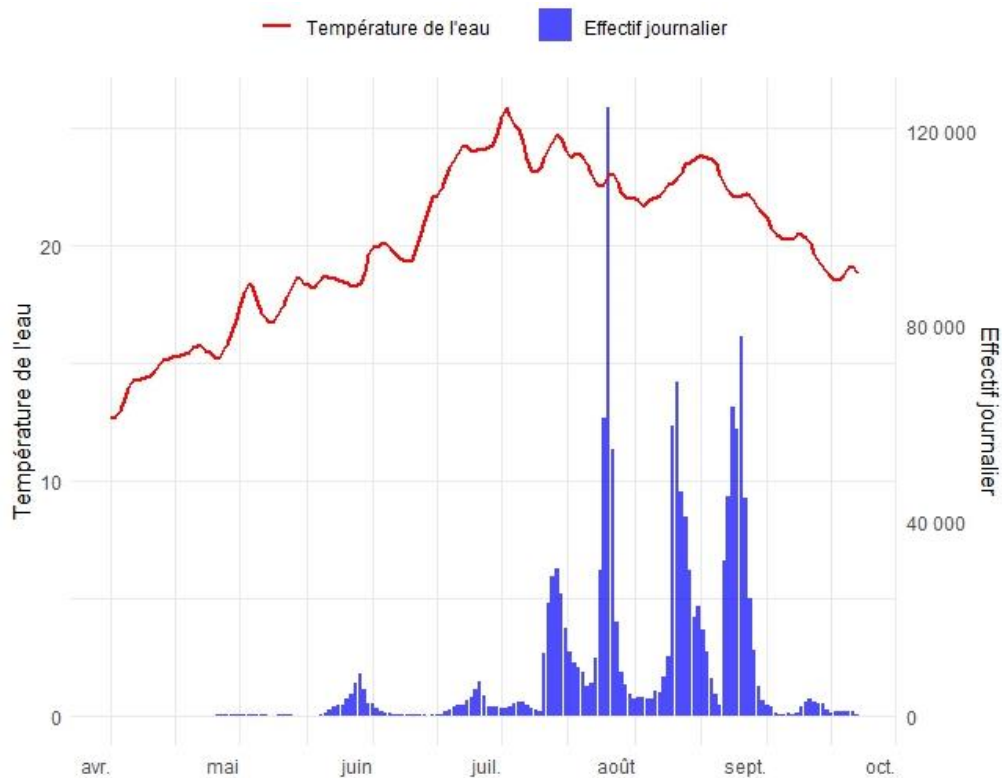
- Semaine 20 : 12 au 18 mai
- Semaine 25 : 16 au 22 juin
- Semaine 30 : 21 au 27 juillet
- Semaine 35 : 25 au 31 août

5.3 Évolution de la taille des anguilles au cours du mois en fonction du dispositif de piégeage

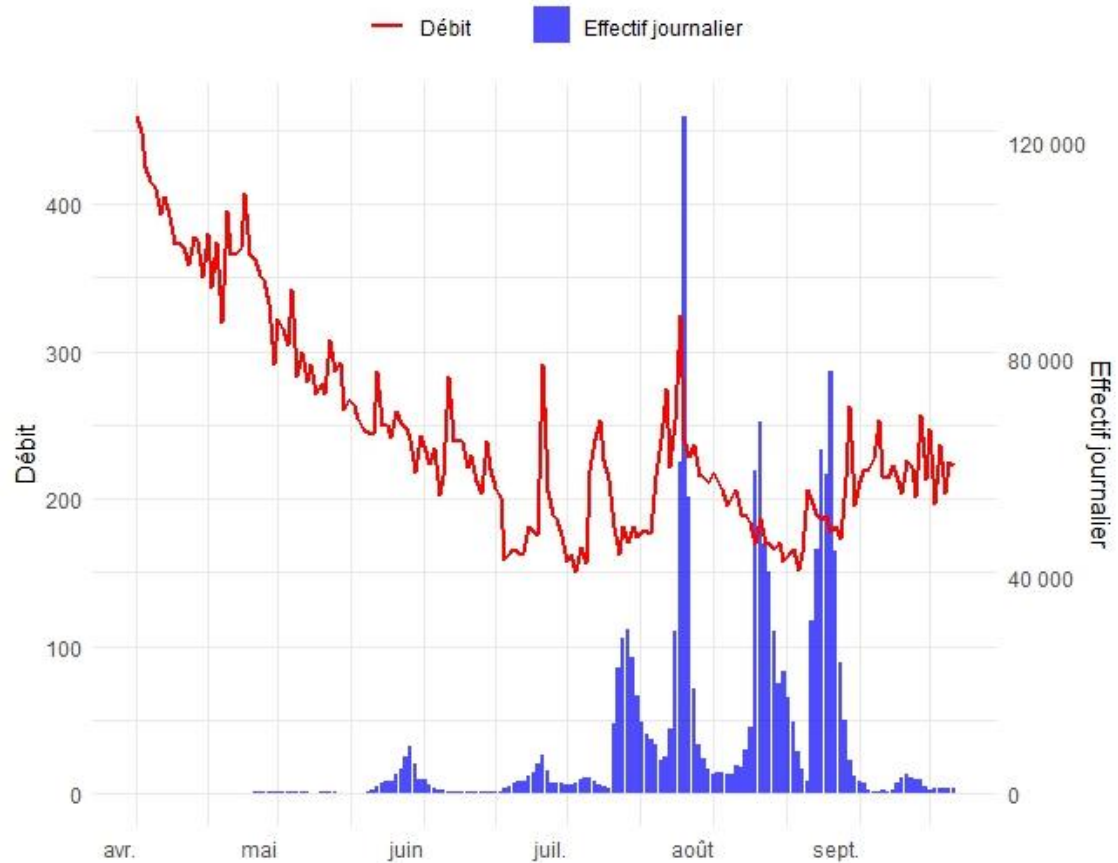
(Les lettres indiquent les différences significatives entre mois au sein de chaque dispositif : test de Kruskal-Wallis suivi d'un test de Dunn avec correction de Bonferroni).



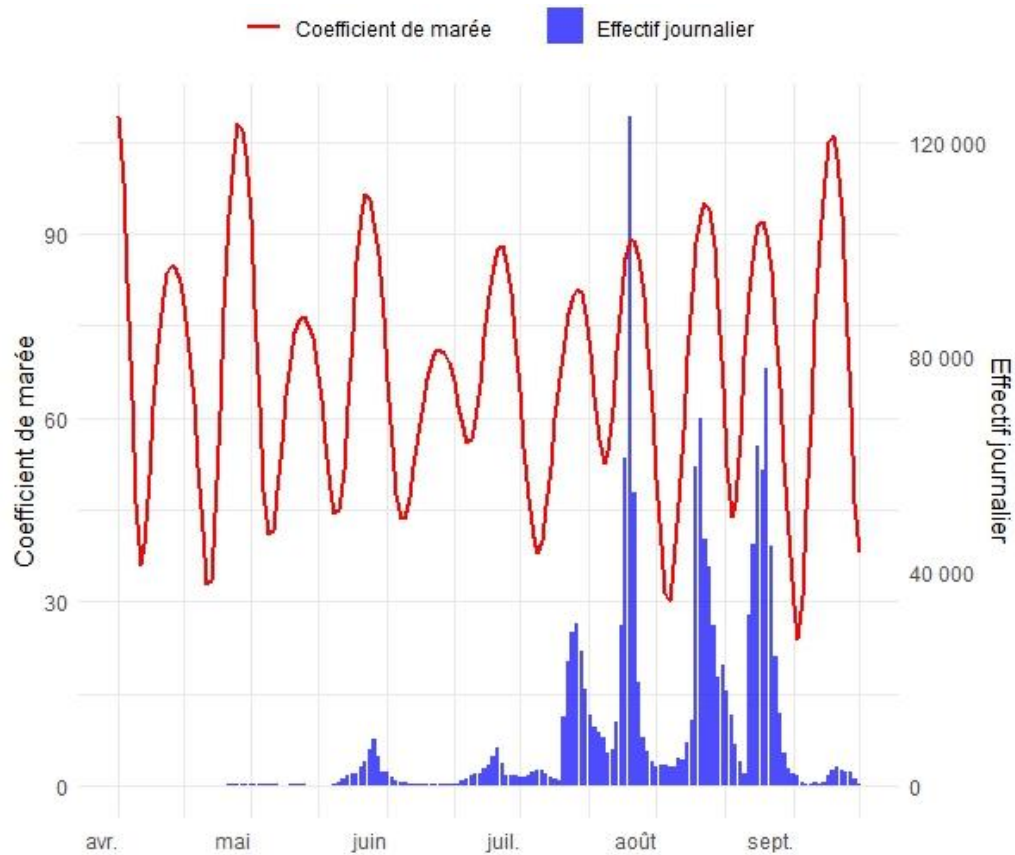
5.4 Évolution de l'effectif journalier d'anguilles en fonction de la température de l'eau



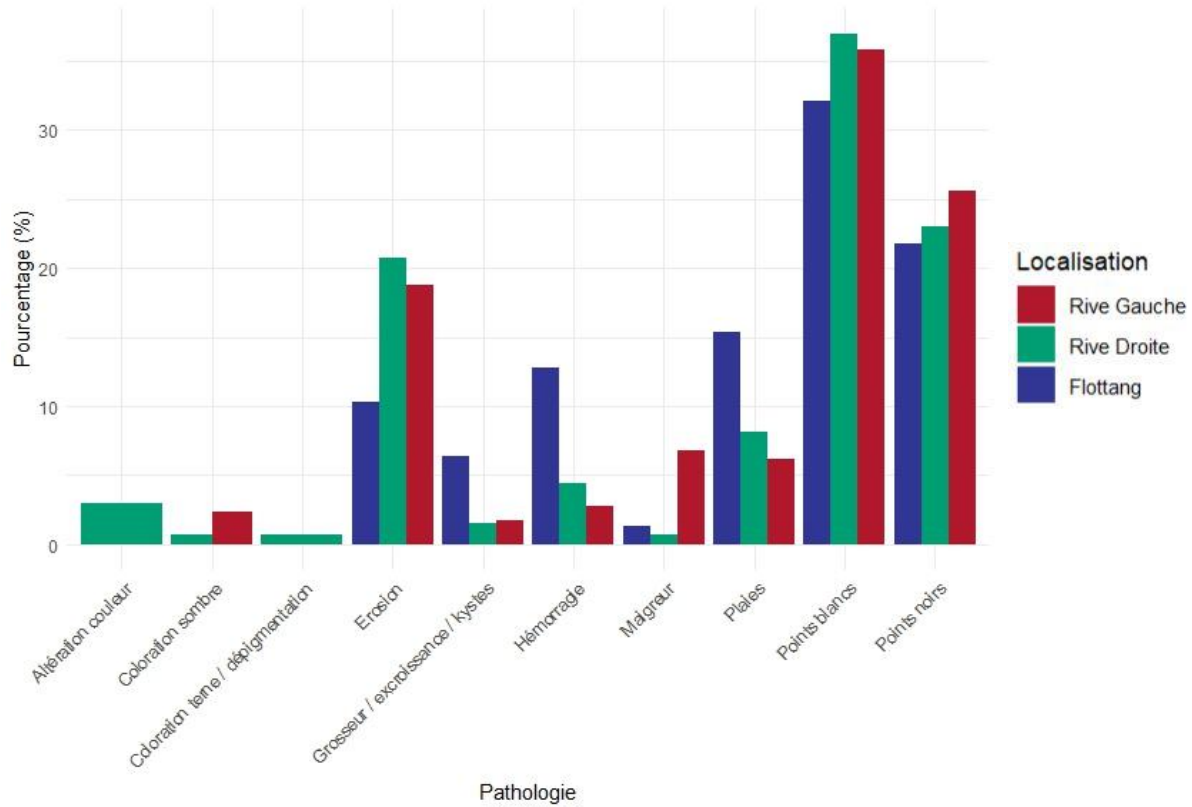
5.5 Évolution de l'effectif journalier d'anguilles en fonction du débit



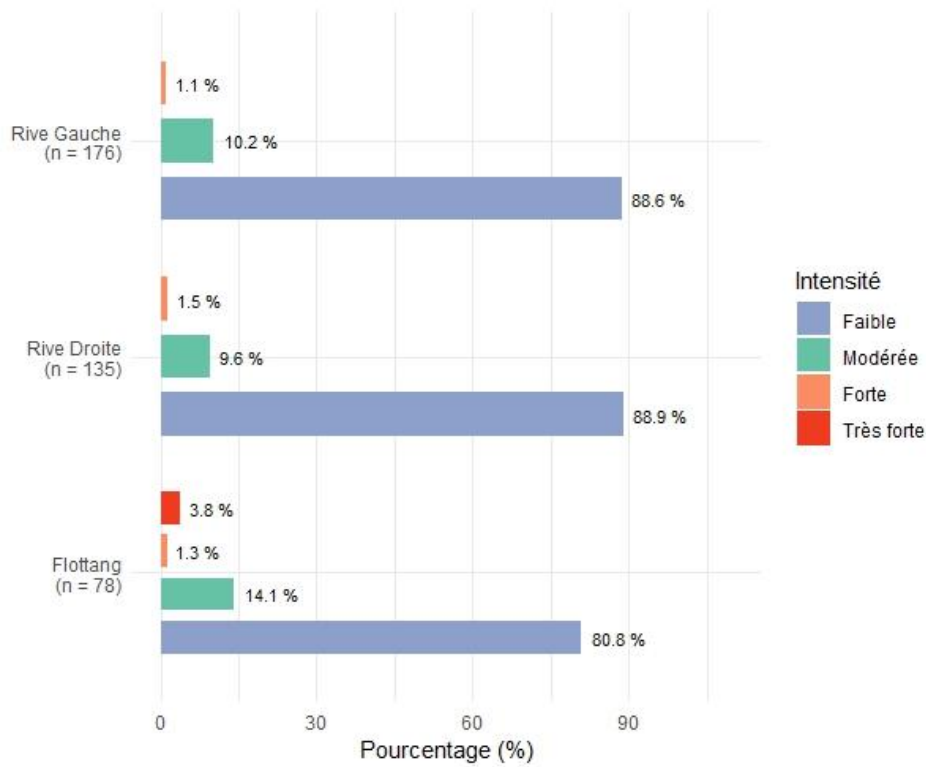
5.6 Évolution de l'effectif journalier d'anguilles en fonction du coefficient de marée



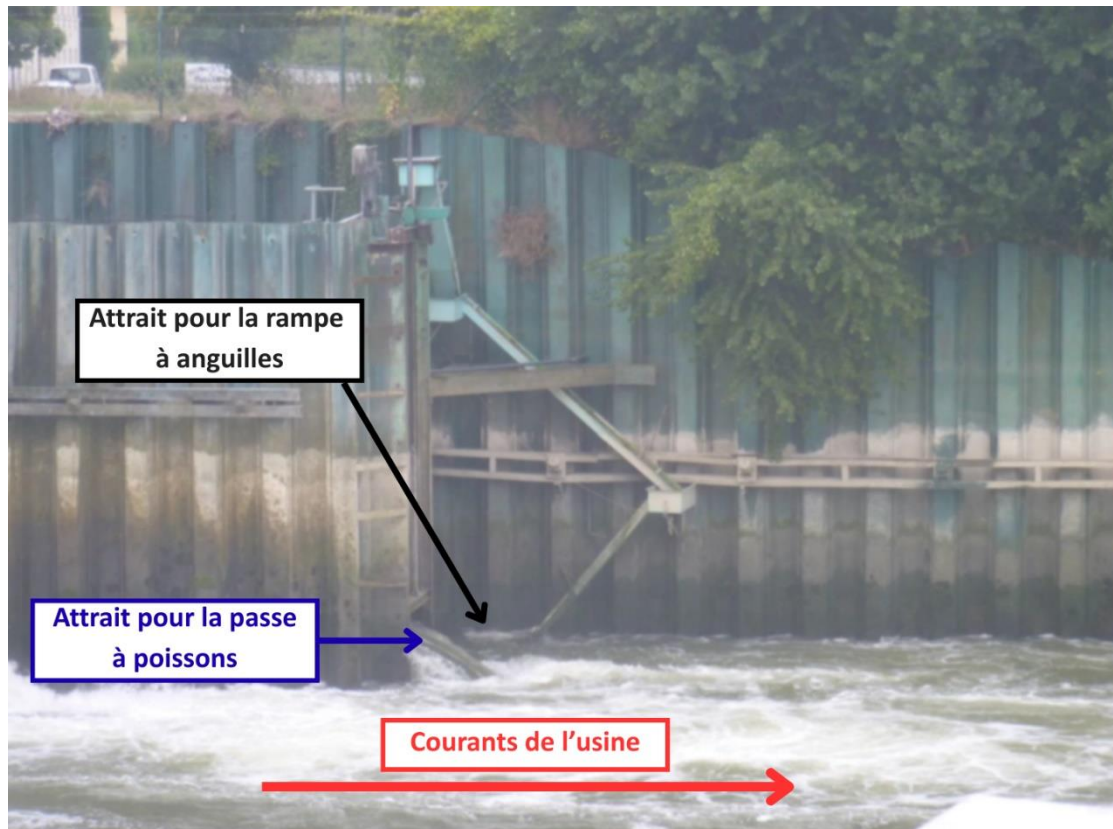
5.7 Détail des pathologies rencontrées sur les anguilles en fonction du dispositif



5.8 Intensité des pathologies rencontrées sur les anguilles en fonction du dispositif

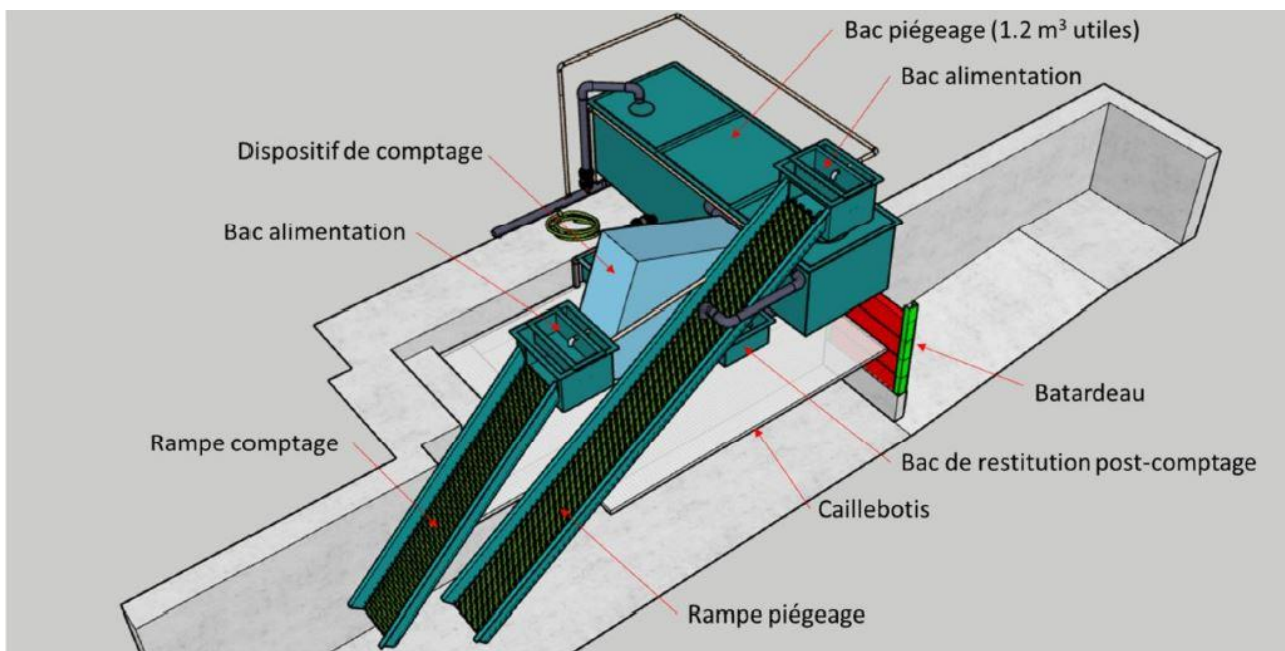


5.9 Photographie de l'aval de la rampe à anguilles en rive gauche

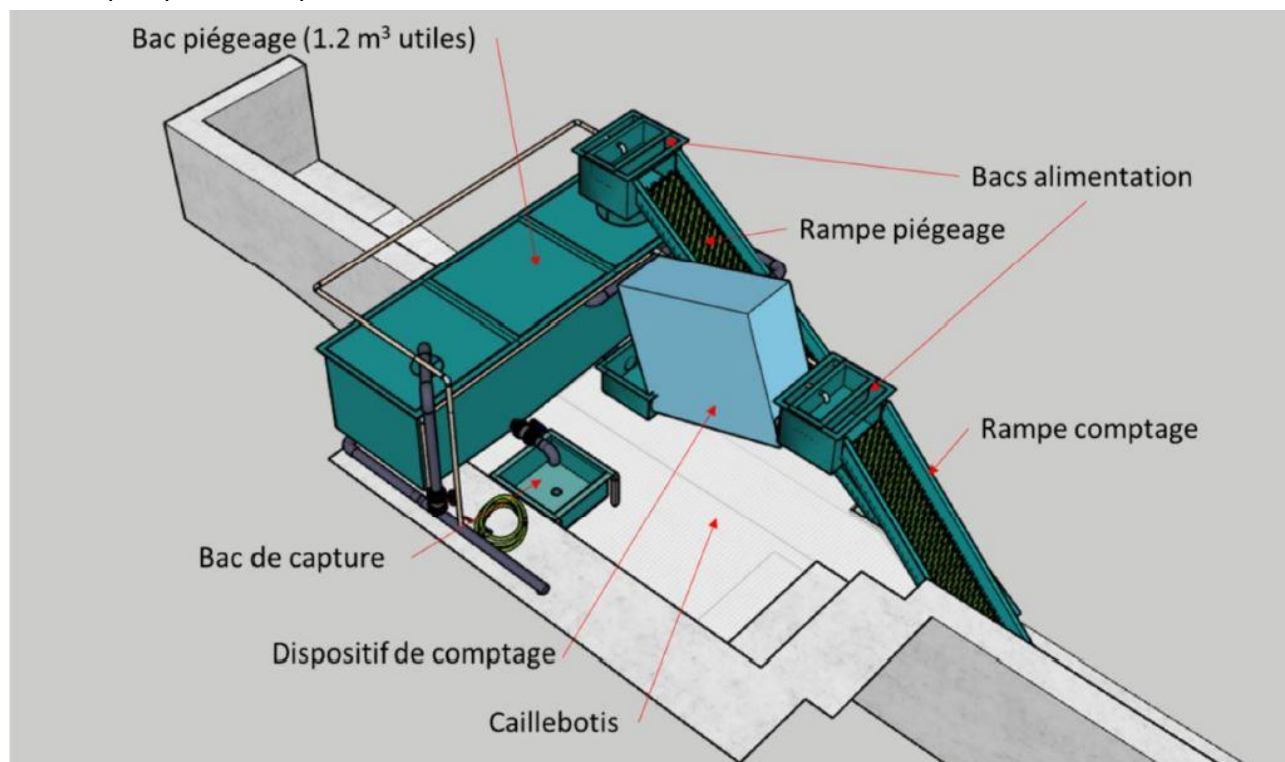


5.10 Illustrations du scénario d'aménagement de la cuve de piégeage en rive droite

Vue en perspective depuis l'aval rive gauche :



Vue en perspective depuis l'aval rive droite :



Résumé

Les milieux aquatiques subissent depuis plusieurs décennies des pressions croissantes, entraînant notamment une perte de biodiversité, en particulier chez les espèces migratrices. Parmi elles, l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*), autrefois abondante, a connu un déclin majeur dans les années 1980. Elle fait aujourd'hui l'objet d'un plan de gestion européen qui impose un « monitoring » anguille. Depuis 2014, l'association SEINORMIGR assure ce suivi sur le bassin de la Seine, au barrage de Poses (Eure). L'objectif est d'analyser le recrutement des jeunes anguilles en Seine, d'évaluer l'efficacité des dispositifs de franchissement et d'identifier les paramètres environnementaux influençant leur migration.

La campagne 2025 marque une année record, avec 1 410 537 anguilles recensées, dont 81 113 en rive gauche et 1 329 424 en rive droite. Cette différence témoigne d'une sélectivité du dispositif en rive gauche qui est rendu difficile d'accès notamment à cause des courants générés par l'usine hydroélectrique. L'analyse de l'influence des paramètres environnementaux a révélé un effet significatif de la température de l'eau et du débit sur la montaison. Malgré une amélioration du recrutement ces dernières années, la situation globale de l'espèce demeure préoccupante en raison de la fragmentation des habitats et des obstacles à la migration.

Mots clés : *Anguilla anguilla*, recrutement, Seine, rampe à anguilles, flottang

Abstract

Aquatic environments have been under increasing pressure for several decades, leading to a loss of biodiversity, especially among migratory species. Among them, the European eel (*Anguilla anguilla*), once abundant, experienced a major decline in the 1980s. It is now the subject of a European management plan that requires eel monitoring. Since 2014, the SEINORMIGR association has been carrying out this monitoring in the Seine basin, at the Poses dam (Eure). The aim is to analyse the recruitment of young eels in the Seine, evaluate the effectiveness of crossing devices and identify the environmental parameters influencing their migration.

The 2025 campaign marks a record year, with 1,410,537 eels counted, including 81,113 on the left bank and 1,329,424 on the right bank. This difference reflects the selectivity of the device on the left bank, which is difficult to access, particularly due to the currents generated by the hydroelectric plant. Analysis of the influence of environmental parameters revealed a significant effect of water temperature and flow on upstream migration. Despite an improvement in recruitment in recent years, the overall situation of the species remains worrying due to habitat fragmentation and migration barriers.

Keywords: *Anguilla anguilla*, recruitment, Seine, eel ramp, flottang