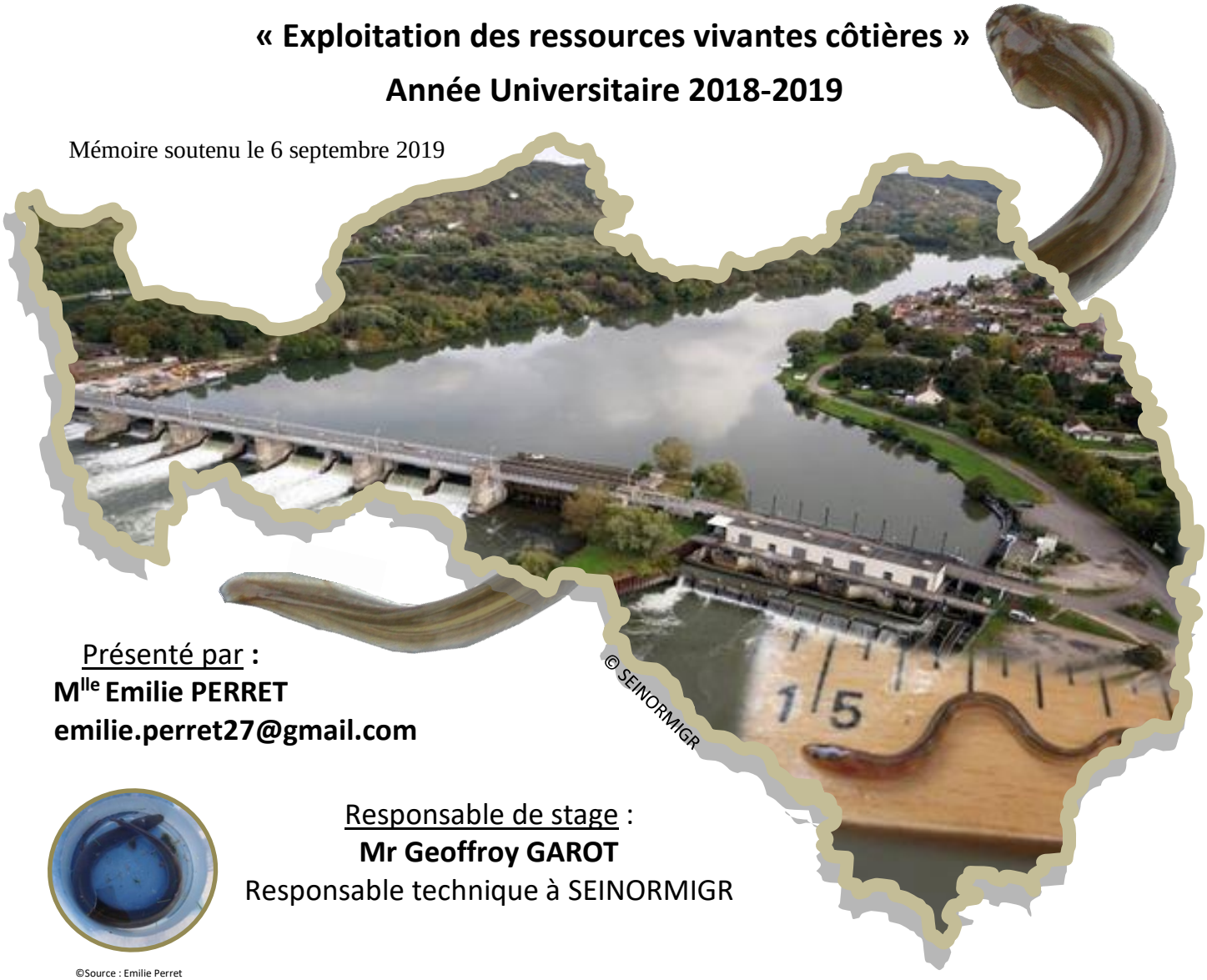
# Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

**Mémoire de master 2 ème année**

**« Exploitation des ressources vivantes côtières »**

**Année Universitaire 2018-2019**

Mémoire soutenu le 6 septembre 2019





Présenté par :

**M^lle Emilie PERRET**

**emilie.perret27@gmail.com**




©Source : Emilie Perret

Responsable de stage :

**Mr Geoffroy GAROT**

Responsable technique à SEINORMIGR

©Source : Emilie Perret

Structure d'accueil :

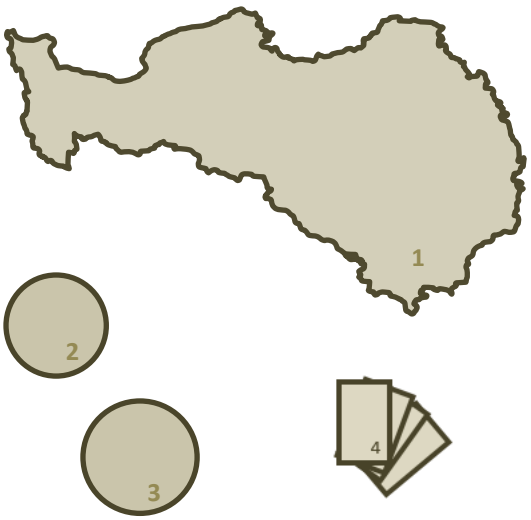
**SEINORMIGR**

Association Seine Normandie Migrateurs

11 Cours Clémenceau 76100 ROUEN

©Source : SEINORMIGR

**Partenaires techniques et financiers :**




**1 :** Carte représentant le bassin de la Seine et montrant à l'intérieur le site du barrage de Poses ainsi qu'une jeune anguille (Source : Perret, 2019 -SEINORMIGR).

**2 :** Anguille européenne adulte capturée dans les affluents de la Seine durant le suivi de la saison 2019 (Source : Perret, 2019).

**3 :** Méthode de mesure et de pesée journalière (Source : Perret, 2019).

**4 :** Rapport de stage des années précédentes sur le suivi et l'estimation du recrutement de la Seine en Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Source : SEINORMIGR).

# Remerciements

Avant de vous présenter mon rapport de stage, je tenais avant tout à adresser mes sincères remerciements à Monsieur Daniel HANCHARD, Président de la Fédération de la Seine Maritime pour la **P**êche et la **P**rotection du **M**ilieu **A**quatique (**APPMA**) et de l'**A**ssociation **S**eine **N**ormandie **M**igrateurs (**SEINORMIGR**), de m'avoir accueillie au sein de son établissement durant ces six mois (d'avril à septembre 2019) pour la réalisation de mon stage de fin d'études de Master 2ème année. Je tiens à remercier, également, mon tuteur de stage et responsable technique de l'association, Monsieur Geoffroy GAROT, pour m'avoir confié ce sujet d'étude qui m'a fortement intéressé personnellement et professionnellement, ainsi que pour tous les conseils apportés et les responsabilités qu'il m'a déléguées lors de différents événements comme par exemple lors des campagnes de pêches électriques réalisées dans les rivières de Seine Maritime ou encore lors de la manifestation de l'ARMADA.

Parallèlement à cela, je souhaiterais aussi dire un grand merci à toute l'équipe technique de SEINORMIGR pour leur accueil et leur gentillesse, mais plus particulièrement à Sébastien GRAAL pour son aide au quotidien lors des opérations de terrain sur le site du barrage de Poses-Amfreville, pour ses connaissances et son soutien pour les analyses statistiques, à Bruno MARTIN et à Florian DESHAYES, pour leur encadrement, leur disponibilité, leurs conseils, leurs encouragements tout au long de ce travail et les corrections apportées à ce présent rapport.

Concernant la Fédération de la Seine Maritime pour la pêche et la protection du milieu aquatique, je tiens à exprimer toute ma gratitude à Madame Vesna PETKOVSK du pôle administratif pour son accueil chaleureux, sa bonne humeur et pour son invitation à l'assemblée générale de la Fédération de la Seine Maritime pour la pêche et la protection du milieu aquatique, à Monsieur Ivan MIRKOVIC du pôle technique et à Monsieur Jean-Philipe HANCHARD du pôle développement pour leur convivialité.

Je suis également reconnaissante envers Chaïma LAHOUIMEL, Theo LE BOULANGER ainsi que tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu et qui m'ont apporté leur aide pour la relecture ainsi que la correction de ce mémoire de stage.

Pour finir, ce travail n'aurait pu aboutir sans l'aide de nos partenaires techniques et financiers, c'est donc tout naturellement que je profite de cette occasion pour les remercier également personnellement.

# Liste des acronymes

**ACP** : **A**nalyse en **C**omposante **P**rincipale.
**APPMA** : **A**ssociation agrée de **P**êche et de **P**rotection des **M**ilieux **A**quatiques
**BGM** : **B**retagne **G**rands **M**igrateurs.
**CEMAGREF** : **C**entre d'**E**tude du **M**achinisme **A**gricole et du **G**énie **R**ural des **E**aux et **F**orêts
**CIEM** : **C**onseil **I**nternational pour l'**E**xploration de la **M**er.
**CITES** : **C**onvention on **I**nternational **T**rade in **E**ndangered **S**pecies of wild fauna and flora. (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvage Menacées).
**COGEPOMI** : **CO**mité de **GE**stion de **PO**issons **MI**grateurs.
**DDTM** : **D**irection **D**épartementale des **T**erritoireset de la **M**er.
**DREAL** : **D**irection **R**égionales de l'**E**nvironnement, de l'**A**ménagement et du **L**ogement.
**DRIEE** : **D**irection **R**égional et **I**nterdépartementale de l'**E**nvironnement et de l'**E**nergie.
**ER** : **ER**osion.
**HE** : Lésions **HE**morragiques et congestives.
**IRSTEA** : **I**nstitut national de **R**echerche en **S**ciences et **T**echnologies pour l'**E**nvironnement et l'**A**griculture.
**LOGRAMI** : **LO**ire **GRA**nd **MI**grateurs.
**MIGADO** : **MI**grateurs **GA**ronne **DO**rdogne.
**MIGAPI** : **MIG**rateurs **A**rtois-**P**icardie.
**MIGRADOUR** : **M**igrateurs **ADOUR**.
**MRM** : **M**igrateurs **R**hône-**M**éditerranée
**NGM** : **N**ormandie **G**rand **M**igrateurs.
**ONEMA** : **O**ffice **N**ational de l'**E**au et des **M**ilieux **A**quatiques.
**PCB** : **B**iphényles **P**oly**C**hlorés.
**PB** : **P**oints **B**lancs.
**PGA : P**lan de **G**estion **A**nguille.
**PL** : **P**laies et **L**ésions anciennes (cicatrices).
**PLAGEPOMI : PLA**n de **GE**stion de **PO**issons **MI**grateurs.
**PN** : **P**oints **N**oirs.
**SEINORMIGR** : **SEI**ne **NOR**mandie **MIGR**ateurs.
**TG** : **T**umeurs, kystes, nodules et autres **G**rosseurs.
**UGA : U**nité de **G**estion **A**nguille.
**VIE** : **V**isible **I**mplant **E**lastomer (implant élastomère visible).
**VNF** : **V**oie **N**avigable de **F**rance.
**ZAP** : **Z**one d'**A**ction **P**rioritaire.
**ZO** : Etat pathologiques multiformes.

# Table des illustrations

**Figure 1** : Carte représentant le bassin versant de la Seine (Source : SEINORMIGR).

**Figure 2** : Carte représentant les 9 associations de surveillance des migrateurs réparties dans la métropole Française) (Source : SEINORMIGR).

**Figure 3** : Indice des stocks de juvéniles d'anguilles européennes sur la période de 1960 aux années 2000 (Source : ICES CIEM, 2017).

**Figure 4** : Classification biologique de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (ITIS, 2018).

**Figure 5** : Anatomie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) au stade anguillette (Source : Perret, 2019).

**Figure 6** : Aire de répartition mondiale de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Source : GBIF, 2019).

**Figure 7** : Cycle de vie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Source : Belpaire, 2008)

**Figure 8** : Transformation d'un juvénile d'anguille au stade larve leptocéphale (haut) en stade civelle (bas) (Source : Schmidt, 1903).

**Figure 9** : Vessie natatoire d'une anguille argentée parasitée par le nématode *Anguillicola crassus* (Source : Ariba et *al*., 2010).

**Figure 10** : Blessure d'anguille européenne argentée occasionnée par un héron (Source : Bruslé, 1994).

**Figure 11** : Cartographie présentant les zones prioritaires de gestion « anguilles » pour le bassin Seine-Normandie) (Source : ww.eau-seine-normandie.fr).

**Figure 12** : Présentation du bassin Seine-Normandie (Source : ww.eau-seine-normandie.fr).

**Figure 13** : L'influence de la marée dans l'estuaire de la Seine Aval (Source : GIP Seine Aval).

**Figure 14** : Vue d'ensemble de l'ouvrage de Poses ainsi que des passes à poissons et anguilles (rive droite-rive gauche) (Source : www. geoportail.gouv.fr).

**Figure 15** : Visualisation du dispositif de la passe à anguilles au niveau du barrage en rive droite. A : partie extérieure (aval) ; **B** : partie intérieure (amont). (Source : Perret, 2019).

**Figure 16** : Représentation du dispositif aval et amont de la passe à anguilles en rive gauche. **A** et **B** : Partie aval de la passe piège ; **C** : canal de liaison entre la partie aval et amont ; **D** : suite du canal de liaison + collecteur amont ; **E** : dernière rampe à anguilles partie amont ; **F** : bac de piégeage à anguilles (Source : Perret, 2019).

**Figure 17** : Exemple de fiche de relevés journalier pour le suivi anguilles 2019. Sur l'entête on retrouve la date et l'horaire du relevé. Sur le tableau, 5 colonnes sont dénombrées : une sur les numéros de capture ; une pour le tamis utilisé ; une pour les tailles des individus (mm), une pour les poids (g) et une pour les pathologies (Source : Perret, 2019).

**Figure 18** : Protocole de suivi pour les systèmes de passes-pièges actifs adaptés pour un nombre d'anguilles >100 (pour un nombre d'anguilles <100 individus, l'étape 2 est retirée) (Source : Perret, 2019).

**Figure 19** : Photographique d'un flottang avant (**A**) et après (**B**) la mise à l'eau à l'aval de la passe piège en rive droite (Source : Perret, 2019).

**Figure 20** : Récapitulatif des manipulations à réaliser en fonction des effectifs présents dans le vivier (Source : Perret, 2019).

**Figure 21** : Effectif journalier et pics migratoires (**vert**) en jeunes anguilles européennes pour la rive droite (**rouge**) (**A**) et la rive gauche (**bleu**) (**B**) présents dans la passe piège (Source : Perret, 2019).

**Figure 22** : **A** : Rétrospective du nombre et de la taille des jeunes anguilles capturées dans le flottang à l'aval de la passe piège durant la période du 22 juillet au 13 août 2019. **B** : Rétrospective du nombre et de la taille des jeunes anguilles capturées dans le flottang à l'aval de la passe piège pour l'année 2018 et 2019 (2018 : capture des individus du 2 mai au 27 juin) (Source : Perret, 2019 ; Sanmartin, 2018).

**Figure 23** : Pourcentage des individus capturés durant ce suivi 2019 sur la rive droite (**rouge**), la rive gauche (**bleu**) ainsi que ceux des individus de l'année (**violet**) et des individus de plus d'une année (**orange**) (Source : Perret, 2019).

**Figure 24** : Effectif journalier des individus de l'année (**violet**) et de plus d'un été (**orange**) et cumulé (**bleu**) des jeunes anguilles d'avril à août 2019 (Source : Perret, 2019).

**Figure 25** : Pourcentage total (d'avril à août 2019) des jeunes anguilles répertoriées par classe de taille en rive gauche (**A**) et en rive droite (**B**) (Source : Perret, 2019).

**Figure 26** : Boxplots représentant l'évolution mensuelles des classes de taille des juvéniles d'anguilles ayant franchies la passe des dispositifs (rive gauche : **A** ; rive droite : **B**) (Source : Perret, 2019).

**Figure 27** : Pathologies recensées sur les individus capturés sur la Seine durant le suivi 2019. **A** : anguille présentant une tumeur ; **B** : anguille présentant une tumeur operculaire ; **C** : anguilles présentant une plaie au niveau de sa nageoire caudale ; **D** : anguille présentant des

points blancs ; **E** : anguille présentant des points noirs ; **F** : anguille présentant des érosions ; **G** : anguille présentant des anciennes plaies (Source : Perret, 2019).

**Figure 28** : Pourcentage d'anguilles malades et saines capturées sur la passe piège durant le suivi sur la rive droite et la rive gauche, ainsi que pourcentage de chacune des pathologies présentes sur les anguilles pour chacune des deux rives. (Source : Perret, 2019).

**Figure 29** : Représentation de la dynamique migratoire des jeunes anguilles par rapport à la température de la Seine (Source : Perret, 2019).

**Figure 30** : Corrélation entre l'effectif journalier en anguilles et la température de la Seine. **A** : avant le 1 juillet 2019 ; **B** : après le 1 er juillet 2019 (Source : Perret, 2019).

**Figure 31** : Corrélation entre l'effectif journalier en anguilles et la température de la Seine durant la campagne de suivi 2018 (Source : Sanmartin, 2018).

**Figure 32** : Evolution mensuelle de la température de la Seine et de l'état sanitaire des jeunes anguilles (rive droite) durant la campagne de suivi 2019 (Source : Perret, 2019).

**Figure 33** : Effet de la température de la Seine et de l'air sur l'effectif journalier d'anguilles (**A** : pour l'année 2018 ; **B** : pour l'année 2019) (Source : Perret, 2019 ; Sanmartin, 2018).

**Figure 34** : Effectif journalier d'anguilles (**rive droite**) et de la température de la Seine (°C),des marées montantes ( ) et des nouvelles lunes ( ) pour l'année 2019 à Poses (Source : Perret, 2019).

**Figure 35** : Effectif journalier d'anguilles (rive droite) par rapport aux coefficients de marée pour l'année 2018 (Source : Perret, 2019 ; SHOM, 2018).

**Figure 36** : Représentation d'une ACP sur l'influence des paramètres environnementaux (Source : Perret, 2019).

**Figure 37** : Effectifs annuels d'anguilles capturées en amont des passes pièges. **A** : Effectifs annuels d'anguilles en rive gauche pour la période de 2014 à 2018 ; **B** : Effectifs annuels d'anguilles en rive droite pour la saison 2018 et 2019 (Source : Perret, 2019 ; SEINORMIGR, 2019).

**Figure 38** : Histogramme représentant les classes de taille des jeunes anguilles piégées dans la passe piège (rive gauche) en amont du barrage de Poses de 2014 à 2017 durant la période d'avril à août (Source : SEINORMIGR).

**Figure 39** : Histogramme représentant les classes de taille des jeunes anguilles piégées dans la passe piège (rive gauche) en amont du barrage de Poses de 2018 et 2019 durant la période d'avril à août (Source : SEINORMIGR, 2018 ; Perret, 2019).

**Figure 40** : Histogramme représentant les classes de taille des jeunes anguilles piégées dans la passe piège (rive droite) en amont du barrage de Poses de 2018 et 2019 durant la période d'avril à août (Source : Perret, 2019 ; SEINORMIGR, 2018).

# Table des tableaux

**Tableau 1** : Grille de codification des pathologies anatomo-morphologiques externes ainsi que des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu (Source : Elie et Girard, 2014).

**Tableau 2** : Récapitulatif des différents pourcentages d'anomalies pour chaque classe de taille en rive gauche (**bleu**) et en rive droite (**rouge**) (Source : Perret, 2019).

# Table des matières

**Remerciements** ……..
**Liste des abréviations** ……
**Table des illustrations** ……
**Table des tableaux** ……
**Table des matières** ……
**Structure d'accueil……... 1**
**Introduction …… 3**
**1) Contexte historique de l'étude……... 3**
**a) Problématique posée…… 3**
**b) Objectifs étudiés…… 5**
**2) Descriptif général de notre modèle biologique : l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*)……... 6**
**a) Classification et caractéristiques…… 6**
**b) Distribution géographique de l'espèce……... 7**
**c) Un cycle de vie complexe…… 7**
De la mer des Sargasses à l'état de larve…… 8
De la migration transatlantique à la vie continentale…….. 8
Du processus « d'argenture », à la reproduction……. 9
**d) Contraintes et mesures de préservation…….. 9**
Pressions naturelles…… 9
Pressions anthropiques…….. 10
Prises de consciences de la menace : réglementations…….. 11
**e) Intérêt de la préservation de l'espèce…… 12**
Intérêt économique…… 12
Intérêt écologique …….. 12
**3) Secteur d'étude : le bassin de la Seine …… 13**
**a) Etat des lieux du bassin…… 13**
**b) L'état de connaissance de la qualité hydrologique de la Seine…… 13**
**4) Site du suivi : l'ouvrage de Poses – Amfreville……... 14**
**a) Présentation générale du barrage de Poses…….. 14**
**b) Passes à poissons…… 14**

c) Rampes à anguilles…… 14
Matériels et méthodes…….. 15
1) Choix du site de la zone de terrain…… 15
2) Agencement des structures de franchissement et de capture…….. 15
3) Protocoles de suivi…….. 15
a) Matériels utilisés …… 15
Piège actif : pour un nombre inférieur à 100 individus et supérieur à 100 .. 15
Piège passif : flottang …….. 16
Capture, marquage, recapture ……. 16
b) Période et fréquence d'échantillonnage du suivi des différentes opérations …….. 17
c) Entretien journalier des dispositifs de captures …… 17
d) Méthodes employées dans les différentes installations …… 18
Piégeage actif ……. 18
Piégeage passif : flottang …… 18
Capture, marquage, recapture par VIE …….. 19
e) Paramètres environnementaux …….. 19
f) Etat sanitaire des individus …… 19
4) Traitement des données …… 19
a) Calculs d'estimations …….. 19
b) Analyses statistiques …… 20
Résultats …… 21
1) Analyse du suivi de montaison des anguilles pour l'année 2019 : comparaison des rives …… 21
a) Fonctionnalité des dispositifs…….. 21
b) Caractéristiques de ces individus …… 22
c) Etat sanitaire des individus …… 22
2) L'Effet des paramètres environnementaux sur la montaison des jeunes individus …….. 23
a) Température de l'eau …… 23
b) Température de l'air …….. 24
c) Coefficient de marée …….. 24
d) Autres facteurs …….. 24

**3) Comparaison interannuelle des individus ..... 25**

**Discussion ..... 26**

**Conclusion et perspectives ..... 31**

**Bibliographie ..... 32**

**Ressentis du stagiaire .....**

**Résumé .....**

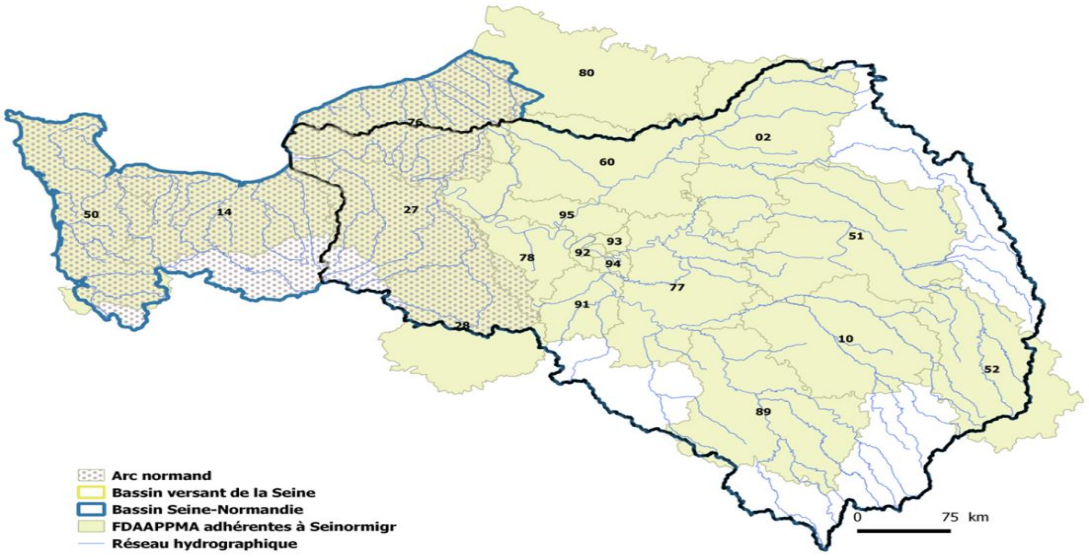



**Figure 1** : Carte représentant le bassin versant de la Seine (Source : SEINORMIGR).

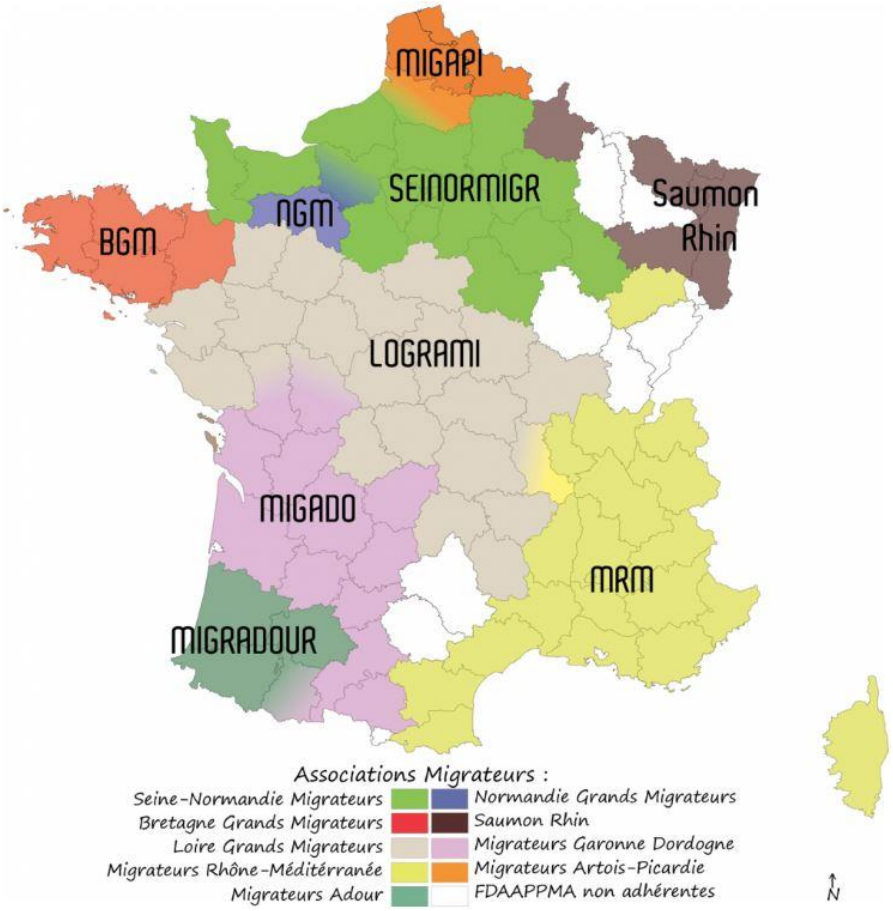



**Figure 2** : Carte représentant les 9 associations de surveillance des migrateurs réparties dans la métropole Française) (Source : SEINORMIGR).

# Structure d'accueil

**SEI**ne **NOR**mandie **MIGR**ateurs plus connue sous le nom de SEINORMIGR, a été créé en 2007 sur la décision de Monsieur Daniel HANCHARD, président de la Fédération de Seine Maritime pour la pêche et la protection du milieu aquatique. Cela fait maintenant 6 ans précisément, que cette association a obtenu par arrêté préfectoral, un agrément au niveau de la Haute Normandie pour sa qualité d'association de protection de l'environnement, et est depuis 4 ans l'invité permanent au Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (**COGEPOMI**) contribuant aussi à la rédaction du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (**PAGEPOMI**) dans le bassin Seine Normandie. Cette structure interrégionale, dont son unique bureau se situe à Rouen, couvre environ 89 130 $km^2$ de territoire d'action et 44 000 $km^2$ de cours d'eau. Depuis ce 1er janvier 2019, cet organisme regroupe 17 fédérations départementales pour la pêche et la protection du milieu aquatique, réparties en 20 départements du bassin Seine Normandie que sont : l'Aisne, l'Aube, le Calvados, l'Essonne, l'Eure, l'Eure et Loire, la Haute-Marne, la Manche, la Marne, le Nord, l'Oise, Paris (75, 92, 93, 94), la Seine Maritime, la Somme, le Val d'Oise, l'Yonne et les Yvelines pour permettre de concevoir une continuité dans le suivi et la gestion des populations des poissons migrateurs existantes (**Figure 1**). Parallèlement à cela, elle fait également partie des 9 associations migratrices actuelles présentent sur le territoire Français (**Figure 2**). Chacune de ces structures présentes dans l'Hexagone assure des missions différentes. Concernant plus précisément celles de SEINORMIGR, ces dernières sont aux nombres de 7 avec pour but de :

- Contribuer à l'évaluation et au suivi des populations piscicoles amphihalines sur le bassin Seine Normandie.
- Favoriser la valorisation et la gestion de la ressource piscicole, notamment pour la rendre visible et accessible à tous.
- Participer et s'investir techniquement et/ou financièrement dans les projets de restauration des axes de circulation des poissons migrateurs.
- Assister les maîtres d'ouvrage et les services instructeurs en matières techniques et administratives.
- Mener des études spécifiques en concertation avec les différents gestionnaires dans le cadre des politiques locales de l'eau.

- Participer à la définition et à la mise en œuvre des objectifs de restauration des populations des poissons migrateurs au sein du **CO.GE.PO.MI** en collaboration étroite avec le secrétariat technique (**DRIEE** Ile de France, Délégation de bassin et les établissements publics de l'Etat (**DREAL**, **ONEMA**, Agence de l'eau, **DDTM**…)).
- Et faire le lien entre les partenaires de sensibilité variés via la communication pour une meilleure sensibilisation aux milieux aquatiques.

L'association compte à son bord depuis octobre 2018, 4 salariés (un responsable technique Geoffroy GAROT et 3 chargés d'études, Sébastien, Florian et Bruno).

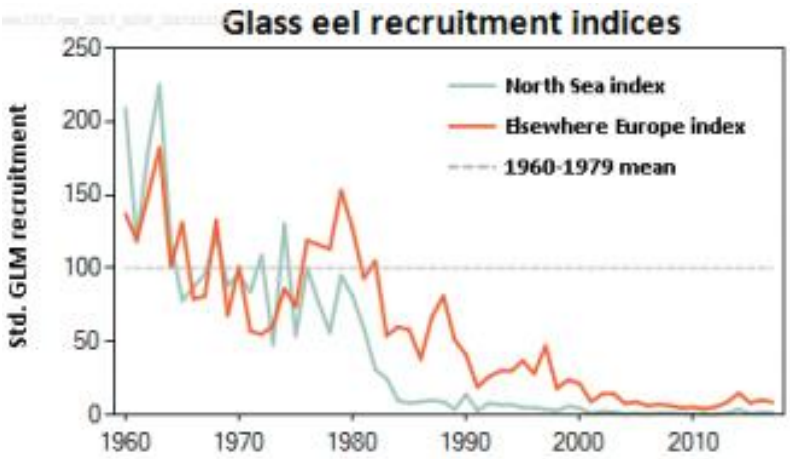



**Figure 3** : Indice des stocks de juvéniles d'anguilles européennes sur la période de 1960 aux années 2010 (Source : ICES CIEM, 2017).

# Introduction

## 1) Contexte historique de l'étude

### a) Problématique posée

*Anguilla anguilla* L., plus communément connue sous le nom d'anguille européenne, est le plus populaire des poissons thalassotoques d'Europe. En effet, que ce soit à travers les établissements scolaires, la restauration, les animations scientifiques ou encore par les pêcheurs (amateurs ou professionnels), ce poisson amphihalin fait l'objet de toutes les attentions (des plus jeunes aux plus anciens). Cette espèce migratrice aux allures de serpent est donc bien connue du grand public. Malgré cela, peu de personnes sont réellement conscientes que cette dernière est en train de nous filer entre les mains.

Jusque dans les années 1970, le stock de cette ressource était considéré comme illimité, au point que ce poisson serpentiforme était jusque fin 1980, une espèce commune voir même nuisible en France (Duhec *et al*., 2010). A partir des années 1980, l'arrivée des juvéniles sur les côtes européennes a commencé à chuter jusqu'à atteindre son minimum en 2009, soit de 1 à 5% de leur niveau avant la détérioration. A dater de ce jour, malgré une légère élévation du recrutement qui a été constatée par comparaison du niveau de référence des années 1960-1980, ce dernier reste minime (entre 4 et 12%) (CIEM, 2017) (**Figure 3**). À l'heure actuelle, en dépit de cette légère augmentation de recrutement, l'anguille européenne, qui a vu sa population se fragiliser depuis le milieu des années 70 sur l'ensemble de son territoire (Steinbach, 2010) (Rigton *et al*., 2016), est aujourd'hui inscrite sur la liste rouge des espèces menacées et y est classée en « danger critique d'extinction » d'après l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses ressources (**UICN**) (UICN, 2009 ; Jacoby *et al*. 2014). De plus, cet unique représentant des Anguillidées d'Europe, a été rangé depuis le 4 octobre 2007 en annexe II de la Convention Internationale sur le commerce des espèces menacées (**CITES**) (www.cites.org).

Les causes responsables de cette situation ont pu être engendrées par des pressions naturelles, comme la complexité de son cycle de vie (Adam *et al*., 2008 ; Imbert, 2008 ; ONEMA, 2008 et 2010), le réchauffement climatique avec la modification des courants

océanique, perturbant ainsi le retour des larves leptocéphales au niveau des côtes européennes (ICES, 2015) ou encore à la prédation et au parasitisme (l'anguillicolose) des jeunes individus (Jackson *et al*., 2001). Néanmoins, le moteur essentiel de ce déclin est d'origine anthropique. La pollution (rejet industriel ou domestique) (Feunteun, 2002, Belpaire *et al*. 2009 ; Geeraerts et Belpaire, 2010), la surpêche (Jackson *et al*., 2001 ; Costello *et al*., 2012 ; Pauly et Zeller, 2016) ou encore les installations humaines réalisées au niveau des cours d'eau (barrages hydrauliques ou écluses infranchissables), empêchent la remontée ou la descente des anguilles ainsi que des autres poissons au niveau des fleuves, occasionnant de ce fait des stress et des perturbations sur leur cycle biologique (Jacoby *et al.* 2014).

Afin d'améliorer cette situation, une première loi pêche a été établie le 29 juin 1984 (loi n°84-512 du 29 juin 1984 relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources piscicoles (articles 2 et 4). Cette loi halieutique, visant la protection des milieux aquatiques et notamment la faune aquacole, permet une meilleure gestion de celle-ci en y installant à travers les ouvrages présents le long des cours d'eau, des dispositifs de franchissement pour les poissons (www.legifrance.gouv.fr).

Comme l'anguille européenne passe l'essentiel de sa vie en eau douce (rivières, lacs, marécages) (Lasne et Lafaille, 2008), ce système de passe à poissons est donc une grande révolution pour le maintien de son cycle de développement et de ce fait sur sa protection. Cependant, cette espèce amphihaline catadrome, ayant un système et une allure de nage bien particulière contrairement aux autres poissons (Knights et White, 1998), ne peut donc pas s'engager dans la majorité de ces passes. C'est pourquoi, d'autre plans et règlementations locales, nationales ou internationales (Code de l'environnement, Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvage menacées d'extinction : conservation et commerce d'Anguilla spp, ou encore le plan gestion anguilles : R (CE) n°1100/2007 du Conseil européen du 18 septembre 2007) concernant cette espèce, ont de cette manière été développés, de façon à garantir au maximum la reconstitution de son stock.

C'est donc tout naturellement que des rampes à anguilles ont vu le jour et ont été aménagées et annexées aux installations déjà existantes sur certains ouvrages des cours d'eau, comme c'est le cas à l'ouvrage de Poses-Amfreville-sous-les-Monts dans le département de

l'Eure (27). Situé à 163 km de la côte normande, ce premier barrage de la Seine (notre lieu d'étude) présentant un obstacle à la continuité écologique de la Seine, a vu l'implantation de sa première passe à anguilles en 2013 grâce au soutien financier de la société Hydrowatt en rive gauche et d'une seconde en rive droite en 2017 grâce à Voie Navigable de France (VNF) (Plaquette passe à poissons d'Amfreville., 2014). Ces installations supplémentées aux passes à poissons existantes depuis 1991, permettent stratégiquement la réalisation de suivis scientifiques annuels de la montaison de cette espèce migratrice menacée d'extinction.

Ainsi, depuis avril 2014, l'association SEINORMIGR, avec l'aide de ses partenaires techniques et financiers (la Fédération de l'Eure pour la pêche et la protection du milieu aquatique, la Fédération nationale pour la pêche et la protection du milieu aquatique, l'agence de l'eau Seine Normandie et Hydrowatt) s'est employée à réaliser un suivi annuel de ces rampes dans le but de répondre aux problématique suivantes : les aménagements implantés sur le site de Poses-Amfreville-sous-les-Monts sont-ils fonctionnels ? Existe-t-il des limites pour chacun d'entre eux ? Qualitativement et quantitativement, quel est le recrutement de la Seine en anguille européenne ? Ou encore, le stock de cette ressource évolue t'il favorablement au fil du temps ?

### b) Objectifs étudiés

Les objectifs de cette sixième année d'étude et de suivi de montaison de l'anguille européenne au niveau de l'ouvrage de Poses-Amfreville-sous-les-Monts, sont de réaliser l'évaluation qualitative (classe de taille, stade de développement de l'espèce, état sanitaire des individus…) et quantitative (effectifs journalier, estimation globale…) du recrutement dans la Seine de ce poisson migrateur, dans l'intention de la comparer aux études réalisées antérieurement et nous renseigner sur l'état du stock de cette ressource. Ils permettront également de confronter la fonctionnalité des mécanismes de franchissement entre rive droite et rive gauche, afin de voir quelles en sont leurs limites, de façon à envisager de futures perspectives d'aménagement. Pour finir, cette étude a pour but également, de mettre en évidence le rôle éventuel des paramètres environnementaux sur l'évolution temporelle de l'activité migratrice de la montaison chez cette espèce d'anguille.

"Kingdom Animalia
Subkingdom Bilateria
Infrakingdom Deuterostomia
Phylum Chordata
Subphylum Vertebrata
Infraphylum Gnathostomata
Superclass Actinopterygii
Class Teleostei
Superorder Elopomorpha
Order Anguilliformes
Suborder Anguilloidei
Family Anguillidae
Genus *Anguilla*
Species *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)"

**Figure 4** : Classification biologique de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (ITIS, 2018).

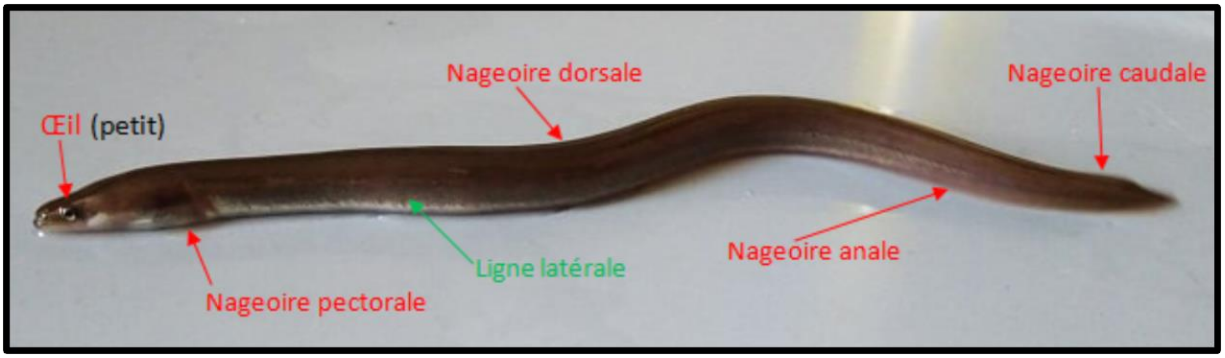



**Figure 5** : Anatomie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) au stade anguillette. (Source : Perret, 2019)

# 2) Descriptif général de notre modèle biologique : l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

## a) Classification et caractéristiques

Du latin *anguis* signifiant « serpent », l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, Linnaeus 1758) appartient à l'ordre des anguilliformes, à la famille des anguillidés et au genre *anguilla*, c'est-à-dire aux poissons possédant des nageoires caudales, anales et dorsales fusionnées (**Figure 4 et 5**) (Blache *et al*., 1973).

Occupant une place spéciale parmi les poissons continentaux, du fait de sa capacité de reptation, grâce à une production de mucus abondant (Keith *et al*., 2011) ou encore de sa forme atypique cylindrique, cette dernière peut atteindre une longueur de 40 cm maximale pour les mâles (Bauchot, 1986), à plus d'un mètre pour les femelles (148,7 cm la plus longue jamais recensée) (Tutman *et al*., 2007), et peser entre 0,3 et 6,6 kg (Dekker *et al*., 1998). Pour ce qui est de sa longévité, celle-ci se situe aux alentours d'une quinzaine d'années mais peut varier en fonction de sa zone géographique (Narberhaus *et al*., 2012).

Habitante de l'ombre, l'anguille passe l'essentiel de son temps dissimulé de la lumière. Étant opportuniste et ubiquiste (d'eau douce, d'eau saumâtre et maritime), elle possède de grandes capacités d'adaptation, aussi bien au niveau de l'émersion, que de la salinité (espèce euryhaline), lui donnant une image plutôt « mystérieuse et diabolique » (Chacerel, 1994).

Pour ce qui est de son régime alimentaire, celui-ci diffère selon son stade de développement ou de son milieu de vie. En eau douce, tout lui fait ventre. Prédatrice et carnivore, celle-ci se nourrit d'insectes aquatiques et aériens, d'escargots, de crustacés, de vers, voire même de poissons. Sa seule contrainte l'envergure de ses proies, en raison de l'étroitesse de sa gueule. En mer, elle ne se nourrit que de crustacés et de petits poissons (Jacoby et Gollock, 2014). Lorsque les anguilles sont prêtes à migrer vers la mer des Sargasses (à l'âge adulte), elles ne s'alimentent plus et vivent exclusivement de leurs réserves qu'elles ont emmagasinées, en raison de leur tube digestif qui est atrophié.

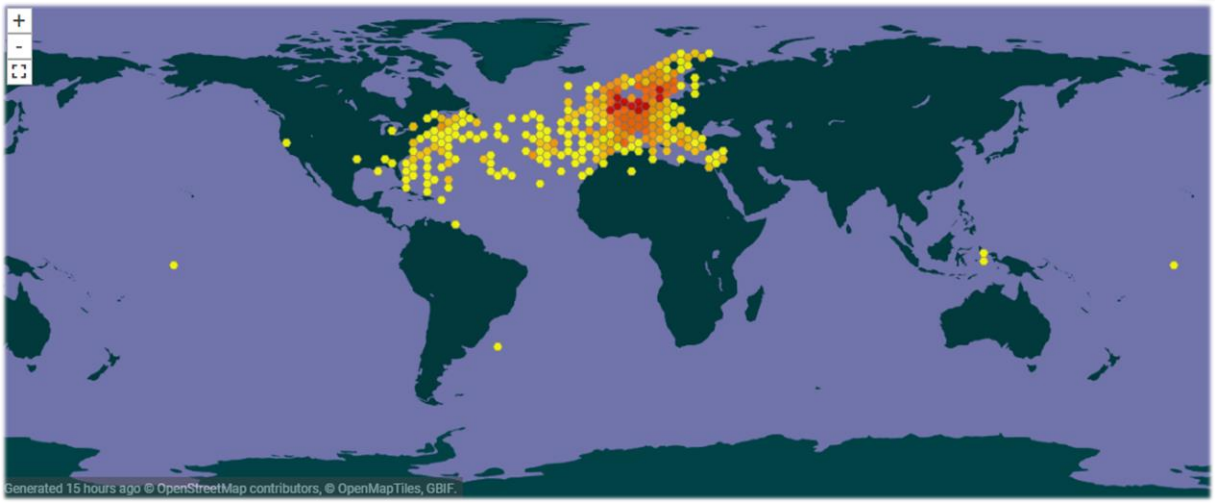



**Figure 6** : Aire de répartition mondiale de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Source : GBIF, 2019).

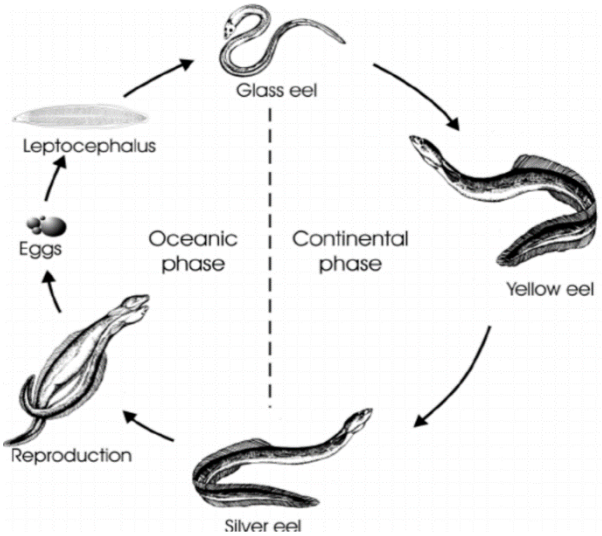



**Figure 7** : Cycle de vie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Source : Belpaire, 2008).

### b) Distribution géographique de l'espèce

Actuellement, sur l'ensemble de la planète, 19 espèces et sous-espèces du genre *Anguilla* sont recensées, mais seulement deux représentantes de ce genre vivent au niveau de l'Océan Atlantique : l'anguille américaine (*Anguilla rostrata*) et l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Adam, 2008 ; Imbert, 2008).

Bien que des études aient démontré que des hybridations existaient entre ces deux espèces, du fait de leur lieu de reproduction commun (Okamura et *al*., 2004 ; Albert, 2006) et de son aire de répartition extrêmement vaste s'étendant à travers toutes les côtes de l'Atlantique Nord (du large de la Floride au Groenland) à la Méditerranée et la Mer Noire (du Sénégal à la Scandinavie) (Deedler, 1984 ; Rochard et Elie, 1994) (Belpaire et Goemans, 2007) (**Figure 6**), l'anguille européenne ne formerait qu'une seule et unique population (métapopulation) (Als et *al*., 2011).

Cependant, en dépit de cette large répartition, seul un faible pourcentage effectuera véritablement la globalité de son cycle de vie.

### c) Un cycle de vie complexe

Ce grand migrateur dit « catadrome », grandit en milieu continental (eau douce ou eau saumâtre) et se reproduit en mer (Mer des Sargasses) à 6 000 km de nos côtes au large de la Floride, entre la fin du printemps et le début de l'été (Schmidt, 1923). Bien que son cycle biologique soit dorénavant entièrement éclairci, une zone d'ombre, concernant ses zones de frayères en Mer des Sargasses, persiste toujours à l'heure actuelle (Mac Dowall, 1998). C'est pour cette raison que son cycle reste énigmatique encore aujourd'hui pour les scientifiques (Tsukamoto et *al*., 2002).

Au fil de sa vie, l'anguille passe par 5 étapes. Son cycle débute en larve leptocéphale avant de se transformer en civelle une fois arrivée sur nos côtes. Elle se métamorphose par la suite en anguillette, puis en anguille jaune, avant de subir le processus dit « d'argenture ou silvering » en anglais, pour devenir définitivement une anguille argentée (stade adulte) etc… (**Figure 7**).

**Sens de la métamorphose**

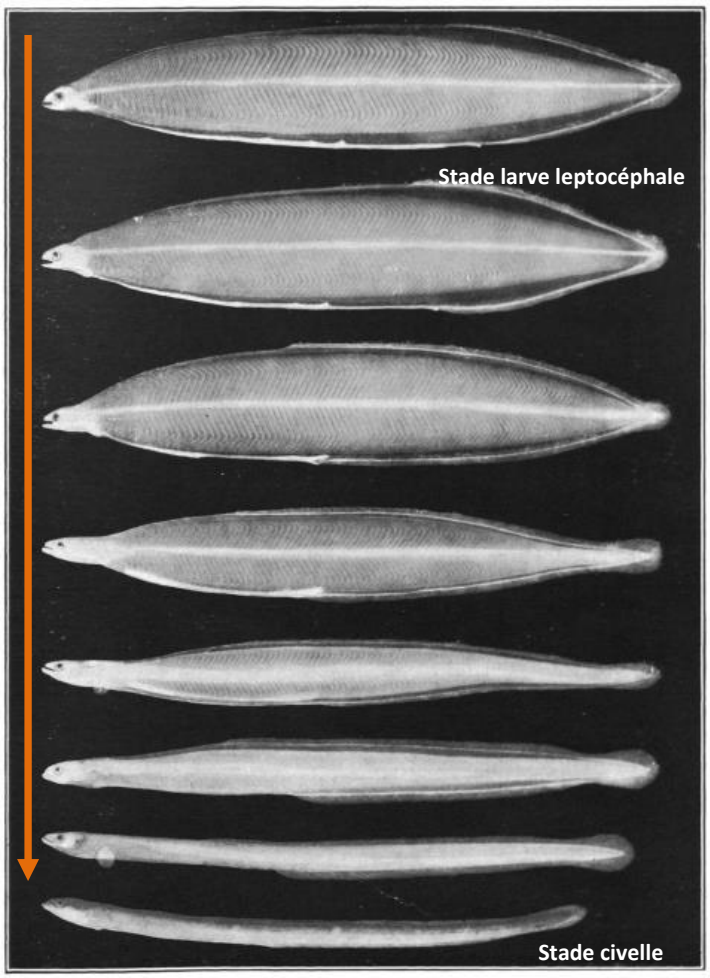



**Figure 8** : Transformation d'un juvénile d'anguille au stade larve leptocéphale (haut) en stade civelle (bas).

(Source : Schmidt et *al.*, 1903).

- **De la mer des Sargasses à l'état de larve**

Après éclosion des œufs en Mer des Sargasses (au large des Bermudes), les jeunes individus, nommés « larves leptocéphales », ne mesurent qu'à peine quelques millimètres. Ces organismes dont la forme est comprimée, dite en « feuille de saule » sont dentés, selon leur taille, de 3 à 20 dents du fait de leur régime alimentaire (ces derniers étant planctonophages, c'est-à-dire se nourrissant de planctons) (Bertin, 1951). Étant vulnérable, du fait de leur modeste prestance, ces larves ont la particularité d'être transparentes, leur permettant ainsi d'être invisibles aux yeux de leurs prédateurs durant toute la traversée transocéanique disséminés au gré des courants marins (entre 6 mois et 3 ans) (Tesch, 1977) (Rochard et Elie, 1994). Seules survivront celles qui courtiseront le Gulf Stream (McLeave *et al.*, 1998).

- **De la migration transatlantique à la vie continentale**

Après avoir parcouru entre 6 000 et 8 000 km, les larves leptocéphales se métamorphosent en « civelles » au moment d'atteindre les côtes européennes (**Figure 8**). À ce stade, bien qu'elles possèdent une silhouette cylindrique légèrement pigmentée, ces jeunes civelles (mesurant de 6 à 8 cm), ressemblent davantage morphologiquement aux adultes (Adam *et al.*, 2008). Après plusieurs semaines passées dans les eaux douces, ces jeunes civelles (ou pibales, selon les régions) passent au stade d'anguilles jaunes. Contrairement à ces précédentes étapes de croissance, l'anguille jaune est benthique et ce jusqu'à ce qu'elle atteigne 30 cm (Tesch, 2003), elle est en colonisation active sur le bassin. Le stade anguille jaune couvre les plus jeunes anguillettes déjà observées en dessous de 10 cm jusqu'à ce qu'elles s'argentent sans limite de taille. Durant cette étape de la vie, la robe de l'anguille change. Elle devient massive et visqueuse. La couleur de sa peau évolue également pour devenir « brun olive » du côté dorsal et jaune sur la partie ventrale. Contrairement à ses premiers stades larvaires, l'anguille jaune est benthique et sédentaire. Elle s'ensevelit à l'intérieur de crevasses ou s'enfouit sous les rochers (ICES, 2009). Durant cette phase de croissance, elle peut rester en eau douce pendant plusieurs années avant de retraverser l'Océan Atlantique pour se reproduire.

- **Du processus « d'argenture », à la reproduction**

Lors de la migration d'avalaison (encore appelée dévalaison), l'anguille jaune subit une ultime fois des transformations morphologiques et physiologiques afin de s'adapter au mieux au retour à la vie marine. C'est ce qu'on appelle le processus « d'argenture ». Sa robe devient alors plutôt noirâtre au niveau du dos et argentée sur le ventre. Son orifice oculaire s'élargit (Bauchot, 1986). Il s'agit de la phase finale de son cycle de vie au niveau du plateau continental. Sexuellement mature à cette étape de sa vie, ces dernières vont redescendre les cours d'eau et parcourir dans le sens inverse les 6 000 km pour revenir sur leurs lieux de naissance en mer des Sargasses non loin des côtes de la Floride et de Cuba. Au cours de la dévalaison, la gamétogénèse se réalise. Une fois arrivées sur place, la reproduction aura lieu entre 200 et 300 mètres de profondeur. Á la suite de son voyage retour et de sa possible reproduction, l'anguille argentée connaitra une mort certaine.

### d) Contraintes et mesures de préservation

Éric Feunteun, responsable de la station marine du Muséum national d'histoire naturel de Dinard (Ile et Vilaine) a dit : « avec l'anguille, chaque fois qu'on apporte une réponse, on se pose dix nouvelles questions ». Cette phrase résume bien la situation à l'état actuel, car l'ensemble des facteurs responsables de ce déclin étant complexe, il nous est donc impossible pour l'instant de trouver la ou les raisons principales. Toutefois, les causes de cette raréfaction n'en demeurent pas moins multiples.

- **Pressions naturelles :**

Toutes les espèces aquacoles existantes sur Terre, subissent des pressions naturelles plus ou moins identiques entre elles. Toutefois, pour ce qui est du cas de l'anguille européenne, ces pressions sont accentuées en raison de son cycle biologique complexe.

La plus connue des menaces naturelles est le changement climatique. L'impact de celui-ci occasionnerait en milieu océanique des modifications des courants du Gulf Stream, (selon certains chercheurs), perturbant ainsi, par la suite, le recrutement des jeunes individus (Knights, 2003). En milieu continental, des études réalisées sur des anguilles en captivité ont également prouvé qu'un dépassement de leur optimum thermique provoquerait une diminution de leur croissance (Sadler, 1979).

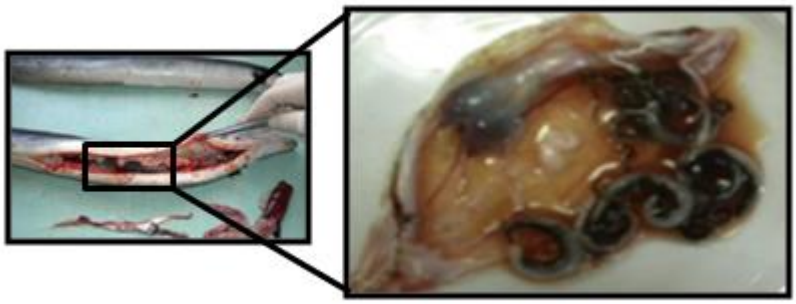


**Figure 9** : Vessie natatoire d'une anguille argentée parasitée par le nématode *Anguillicola crassus* (Source : Ariba et *al*., 2010).

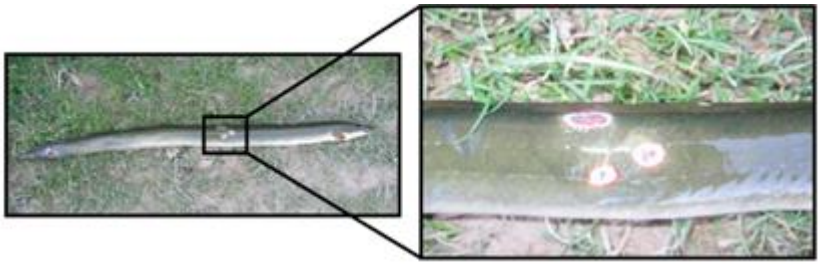


**Figure 10** : Blessure d'anguille argentée occasionnée par un héron (Source : Bruslé, 1994).

Les contaminants biotiques (parasites et agents pathogènes) sont également en cause. Chez l'anguille, il en existe une multitude (une cinquantaine comptabilisés), mais seulement trois engendreraient la mort des individus : *Pseudodactylogyrus anguillae*, *Pseudodactylogyrus bini* et *Anguillicola crassus*. Omniprésent en France, le parasite nématode *Anguillicola crassus* est le plus commun de tous. Pour vivre, il affecte la vessie natatoire de son hôte (**Figure 9**) (Ariba *et al*., 2010) tout en se nourrissant de son sang. La présence de ce nématode chez l'hôte, provoquerait un refus de nourriture pouvant parfois aboutir à la mort de l'anguille. Il entrainerait également une réduction de sa nage menaçant ainsi le succès de sa migration de dévalaison (Crivelli, 1998).

Principale cause de mortalité chez les jeunes stades (larves leptocéphales et civelles), la prédation est un autre facteur de pression naturelle à ce déclin. Au stade adulte ou en pleine croissance (anguillette, anguille jaune ou anguille argentée), la prédation est avant tout aviaire due aux cormorans, mouettes, grèbes ou encore hérons (**Figure 10**) (Bruslé, 1994). Cependant, aucune étude n'a démontré que cette pression affaiblirait considérablement le stock d'anguilles (Crivelli, 1998).

D'autres pressions existantes sont également mises en cause. Néanmoins ces dernières sont induites par l'activité humaine.

- **Pressions anthropiques :**

La dégradation de la qualité de l'eau est l'un des facteurs incontestables de ce déclin (Anonyme, 2010). Amilhat en 2007 a énoncé à travers une publication, que l'une des causes principales responsables de cette disparition, était engendrée par des contaminations de micropolluants (produits phytosanitaires, résidus médicamenteux, pesticides, métaux lourds…) dans les cours d'eau. Si les risques pour la santé humaine sont considérés comme bien moindre, les atteintes à l'environnement peuvent être très importantes. Même si l'anguille peut accumuler de larges quantités de molécules xénobiotiques lipophiles durant son séjour en eau douce, elle est parfois atteinte de pathologies pouvant entrainer la mort. Les PCB par exemple, très utilisés dans l'industrie durant les années 70, sont l'un des composés majeurs infectant l'immunité des jeunes individus. Une étude effectuée par CEMAGREF (maintenant IRSTEA), après prélèvement dans la Seine et dans le Rhône, a montré que les substances médicamenteuses exerçaient des actions féminisantes.

L'altération de la qualité des habitats est aussi une menace pour l'anguille. Etant une espèce sensible aux changements de substrats dans les cours d'eau, cette espèce migratrice peut être perturbée lors de la réalisation de travaux comme le drainage, le dragage ou encore l'extraction de granulats, car ceux-ci induisent une destruction des zones de refuge ainsi qu'une remise en suspension des polluants (Muchiut *et al*., 2002).

L'édification d'ouvrages hydrauliques sur certains cours d'eau limite également considérablement leur colonisation sur le continent. Une étude menée par Adam et *al* en 2008 confirme que la présence d'ouvrages aurait réduit la distribution spatiale de l'espèce de 7 à 25%. La construction de ces obstacles induirait un recul voire même une suspension de la migration de montaison. Pendant la migration de dévalaison, les barrages peuvent également être source de pression, entrainant blessures voire même la mort, occasionnée par les turbines des centrales hydroélectriques.

En France, en Espagne et au Portugal, l'anguille est exploitée à tous les stades de développement de son cycle biologique, mais plus spécialement en phase civelle et anguille argentée (Freyhof et Kottelat, 2008 in IUCN, 2008). De ce fait, la pêche amateur et professionnelle joue aussi un rôle majeur dans son déclin au même titre que le braconnage.

En raison des difficultés de hiérarchisation des pressions constatées engendrant ce déclin (Castonguay *et al*., 1994), et compte tenu de l'urgence de la situation (Righton *et al*., 2016), des réglementations ainsi que des plans de gestion ont été mis en place au niveau local voir même national afin d'empêcher tout anéantissement de cette espèce.

- **Prises de consciences de la menace : réglementations**

À la suite de ce constat alarmant, une règlementation induisant des mesures de reconstitution du stock a été votée le 18 septembre 2007 par le Conseil des Ministres de l'Union Européenne (règlement (CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007). Elle impose aux états membres d'instaurer un plan de gestion à chaque bassin versant afin d'atteindre le but fixé d'échappement d'anguilles argentées vers la Mer d'un minimum de 40% de la population si celle-ci ne subissent pas de pressions liées à l'activité humaine.

En France, le Plan Gestion Anguille (**PGA**) est composé d'un volet national divisé en volets locaux pour chaque Unité de Gestion Anguille (**UGA**). Ces volets, comme celui édité pour le bassin Seine Normandie, ont comme objectifs de réduire de 30 à 40 % (selon les

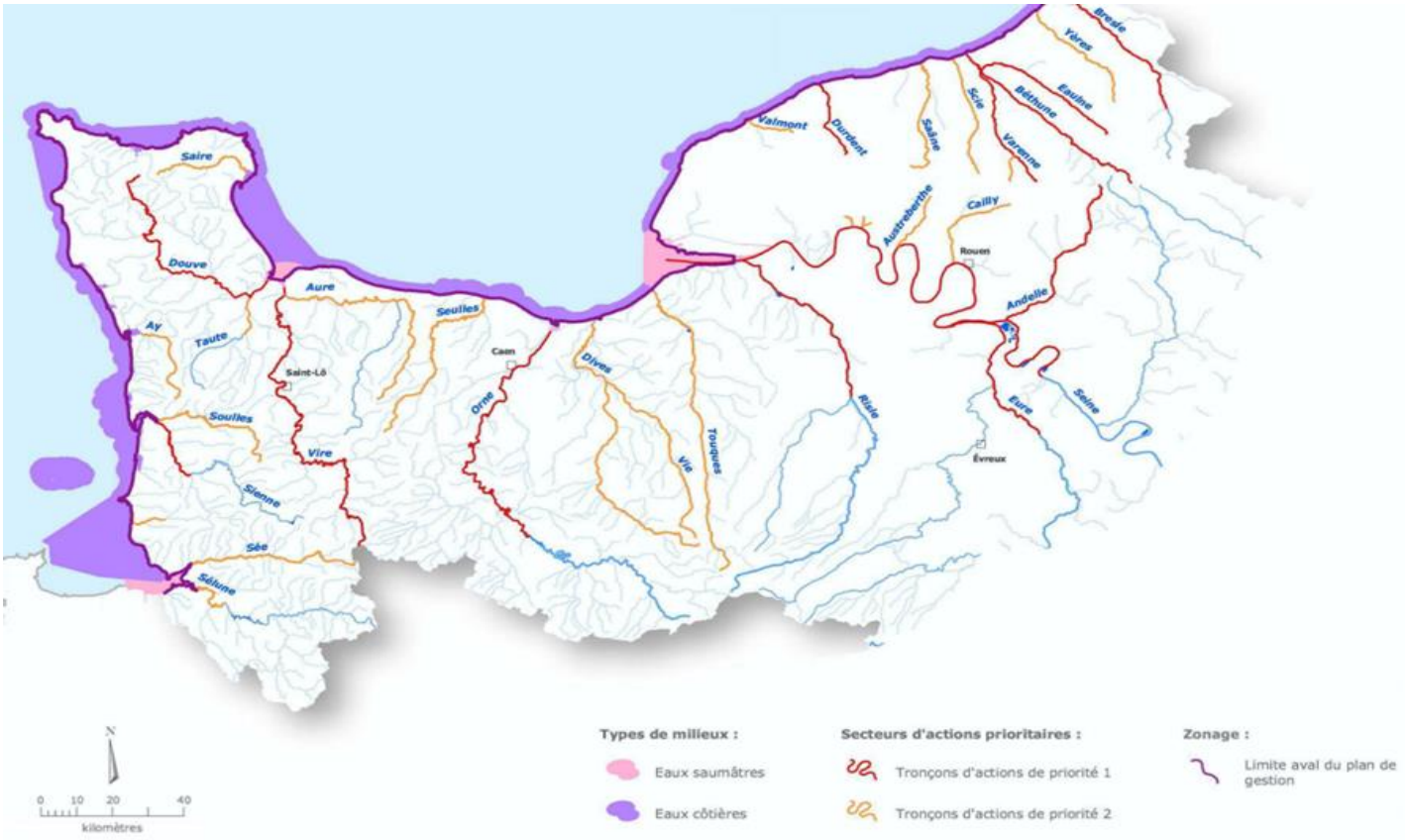



**Figure 11** : Cartographie présentant les zones prioritaires de gestion « anguilles » pour le bassin Seine-Normandie) (Source : ww.eau-seine-normandie.fr).

stades de développement des individus), le taux de mortalité occasionné par la pêche ou par les autres ressources comme le braconnage, la pollution ou encore par les barrages hydroélectriques.

Dans le bassin Seine Normandie, des mesures sur les zones d'actions prioritaires (ZAP) ont été établies dans l'intention d'agir prioritairement pour la conservation de l'anguille (Article L.214-17 du code de l'environnement). Comme la plupart des plans d'eau côtiers normands ainsi qu'une partie de la Seine sont placés en ZAP, son action est donc indispensable (ww.eau-seine-normandie.fr) (**Figure 11**). Il est à noter également que depuis 2009 des quotas concernant la pêche à la civelle existent vu que cette dernière est devenue une des principales sources de revenus pour les pêcheurs professionnels. Pour les stades plus avancés de l'anguille (jaune ou argentée), ces mesures consistent à réduire la durée de la saison de pêche allant parfois même jusqu'à son interdiction à l'extérieur du bassin de la Loire. Dans certains cours d'eau, la consommation de l'anguille y est même interdite d'après le plan national comme c'est le cas pour la Seine en raison de la présence des polychlorobiphényles (PCB). (www.pollutions.eaufrance.fr).

### e) Intérêt de la préservation de l'espèce

L'attachement porté à cette espèce ne date pas d'aujourd'hui. Jadis, les savants (comme Aristote, Pline l'Ancien, Freud ou encore Francesco Redi) manifestaient déjà un vif intérêt pour cette espèce du fait de sa vie si mystérieuse (Bruslé et Quignard, 2013). Aujourd'hui, son cycle de vie est pratiquement élucidé grâce aux scientifiques et à la technologie, néanmoins, celle-ci succite toujours de grands intérêts.

- **Intérêt économique**

Réputée pour la qualité de sa chair, quel que soit son stade de vie (de la civelle à l'anguille argentée), cette espèce est pêchée (voire même braconnée) aux quatre coins de l'Europe afin de répondre à la demande.

- **Intérêt écologique**

D'un point de vue écologique, l'anguille est considérée comme étant un biointégrateur de la qualité de l'environnement (Feunteun, 2002). De ce fait, lorsqu' elle est présente abondamment dans les cours d'eau, cela indique une bonne qualité physico-chimique de

**Figure 12** : Présentation du bassin Seine-Normandie (Source :www.eau-seine-normandie.fr)

ces derniers ainsi qu'un passage aisé à une hétérogénéité d'habitats (Baisez et Laffaille, 2005).

L'intérêt porté à ce poisson, pour ces diverses raisons, fait qu'aujourd'hui, il est étudié et considéré comme un enjeu primordial de préservation et que des règlementations ont dues être mises en place.

# 3) Secteur d'étude : le bassin de la Seine

## a) Etat des lieux du bassin

Le bassin Seine Normandie, représentant 55 000 km de cours d'eau, est constitué par la Seine, ses affluents (que sont l'Oise, la Marne, l'Yonne), et des cours d'eau côtiers normands (la Bresle, l'Arques, la Sélune ou encore la Vire). Il représente à lui seul 18% du territoire national, soit une surface de 95 000 km$^2$ (**Figure 12**). Réparti sur 6 régions et 28 départements, il comprend au total pas moins de 8 138 communes soit près de 18.3 millions d'habitants (Agence de l'eau Seine Normandie).

## b) L'état de connaissance de la qualité hydrologique de la Seine

La Seine, longue de 770 km, prenant sa source à Source-Seine dans la région Bourgogne Franche Comté et se jetant en Normandie entre Le Havre et Honfleur, est un des plus grands fleuves de France.

Longtemps considéré comme l'un des cours d'eau les plus pollués d'Europe, elle gagne de nos jours en propreté. De nombreuses études ont démontrées en effet que la qualité microbiologique ainsi que physico-chimique de cette dernière ne cessait de s'améliorer depuis 25 ans (Azimi et Rocher, 2016). Actuellement, il existe 32 espèces piscicoles recensées au niveau de ce cours d'eau contre seulement 3 dans les années 1970 (Azimi et Rocher, 2016). Concernant le niveau d'oxygénation du fleuve, ce dernier est en nette augmentation alors que les concentrations en nutriments azotés et phosphorés elles diminuent. (Azimi et Rocher, 2016).

Cette nette progression est due à la capacité et à la qualité des traitements réalisés sur les usines d'épuration.

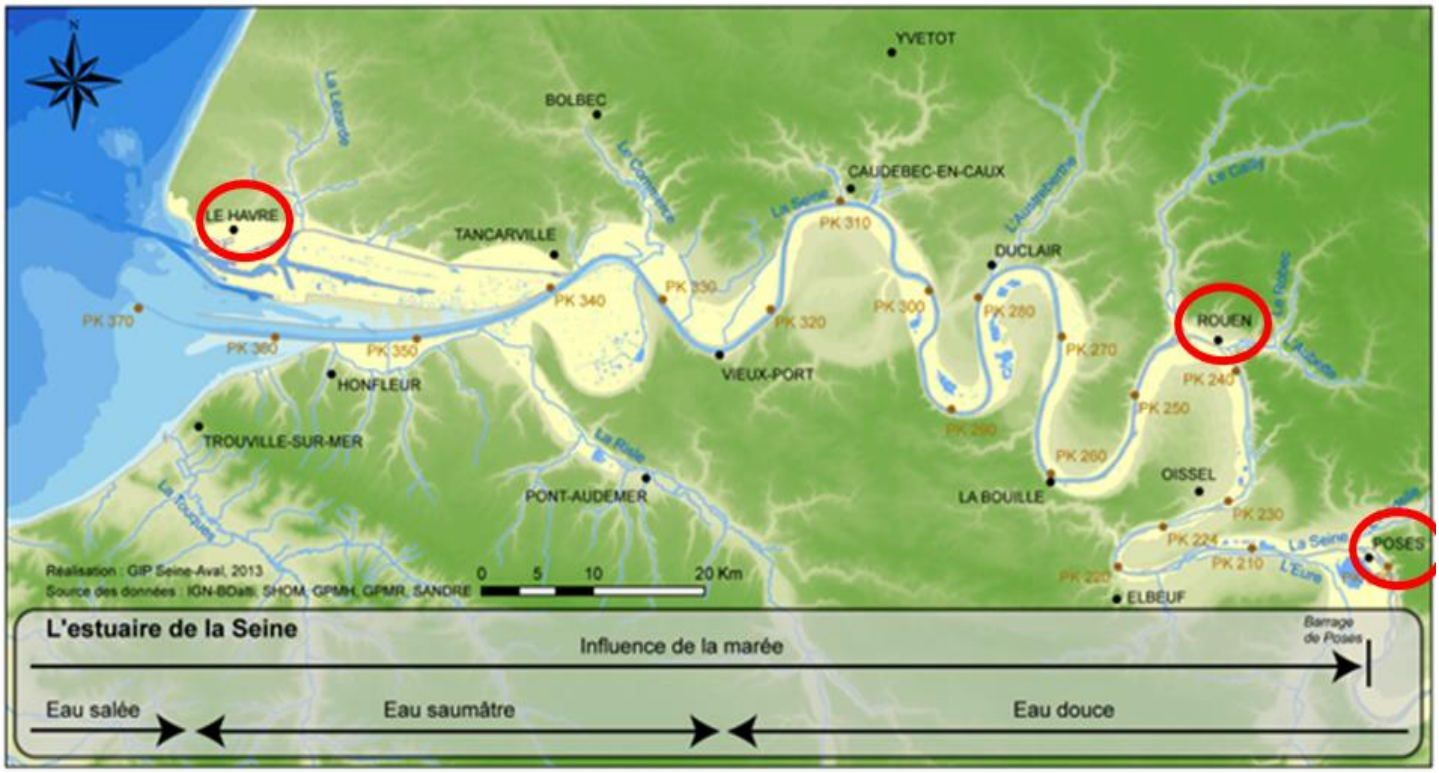



**Figure 13** : L'influence de la marée dans l'estuaire de la Seine Aval (Source : GIP Seine Aval).

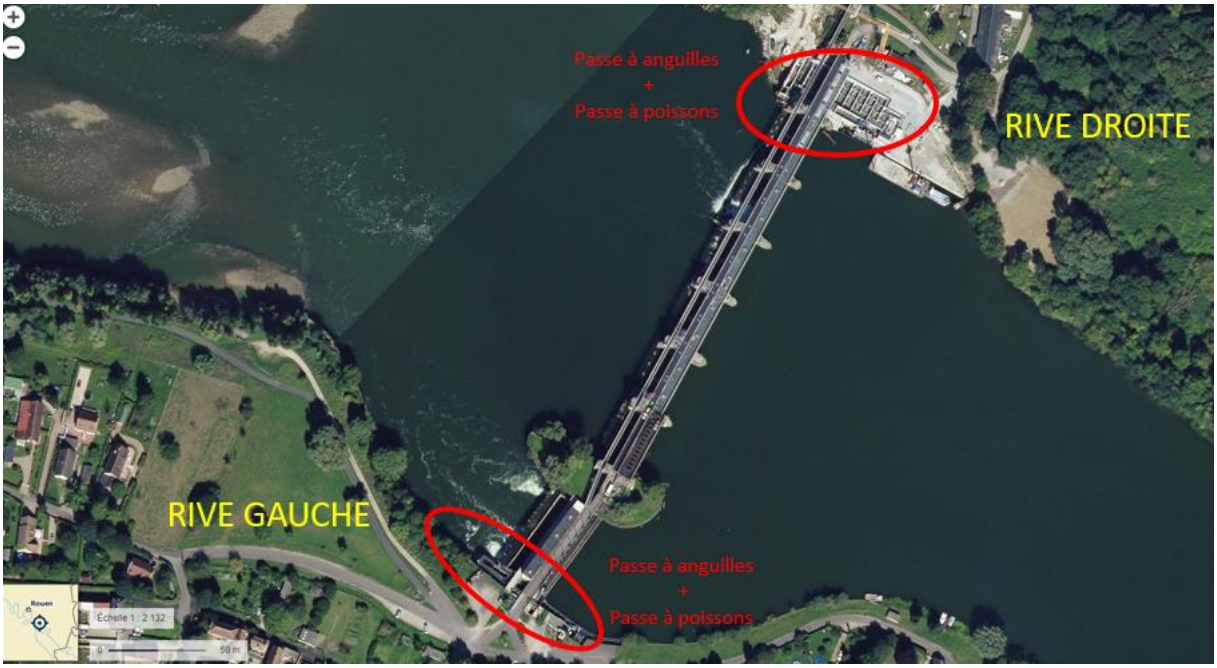



**Figure 14** : Vue d'ensemble de l'ouvrage de Poses ainsi que des passes à poissons et anguilles (rive droite-rive gauche) (Source : www. geoportail.gouv.fr).

# 4) Site du suivi : l'ouvrage de Poses Amfreville

## a) Présentation générale du barrage de Poses

Localisé dans le département de l'Eure (27), l'ouvrage de Poses–Amfreville, plus couramment appelé « Barrage de Poses » a été édifié entre 1878 et 1885 entre les communes d'Amfreville-sous-les-Monts (rive droite) et Poses (rive gauche). Édifice situé à 163 km de la mer, il est le premier obstacle depuis la côte normande à la migration des poissons migrateurs dont font partie les anguilles. Malgré son éloignement de la côte, ce barrage subit encore à l'aval le phénomène de marée (**Figure 13**).

Six ans après sa construction, l'usine hydroélectrique Hydrowatt a été implantée à côté de celui-ci du côté rive gauche. Par la suite, comme nous le verrons dans la rubrique 4) b) et c), plusieurs installations ont été insérées au niveau de cet ouvrage afin de le mettre en conformité avec les arrêtés instaurés (**Figure 14**).

## b) Passes à poissons

Suite à la mise en place de la loi pêche établie en 1984, une première passe à poissons a été implantée au site en 1991 (rive gauche) afin de permettre aux poissons migrateurs de contourner l'ouvrage et d'améliorer la libre circulation de ces derniers. Cette passe d'une longueur de 86 m, comporte 23 bassins successifs d'un dénivelé de 30 cm chacun. En 2007, cette passe a été équipée d'une chambre d'observation et d'un système de vidéo comptage dans le but de suivre le passage des espèces migratrices dans la Seine. Récemment (dans le courant de l'année 2017), en raison de la longueur du barrage (409 m) et de la largeur de la Seine aval, une seconde passe à poissons ainsi qu'une seconde chambre d'observation ont vu le jour dans l'intention d'aider à cette continuité écologique.

## c) Rampes à anguilles

Comme la capacité de nage des anguilles diffère de celle des autres poissons et que cet ouvrage fait partie des barrages prioritaires d'aménagement au niveau du plan gestion anguille, l'installation de passes pièges en 2013 (rive gauche) et 2017 (rive droite) sur ce site a été nécessaire afin de les aider à poursuivre leur migration de montaison et permettre de suivre et d'estimer le recrutement fluvial de cette espèce sur la Seine (Mullet, 2014).

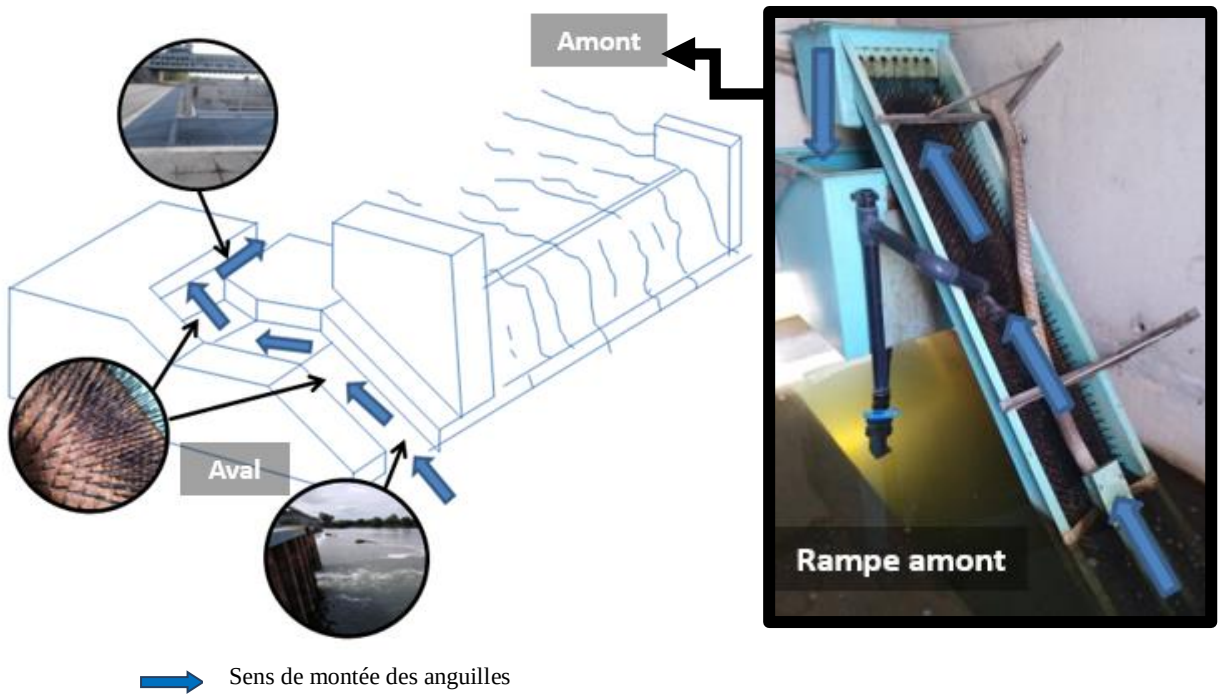



**Figure 15** : Visualisation du dispositif de la passe à anguilles au niveau du barrage en rive droite. **A** : partie extérieure (aval) ; **B** : partie intérieure (amont). (Source : Perret, 2019).

**Figure 16** : Représentation du dispositif aval et amont de la passe à anguilles en rive gauche. **A** et **B** : Partie aval de la passe piège ; **C** : canal de liaison entre la partie aval et amont ; **D** : suite du canal de liaison + collecteur amont ; **E** : dernière rampe à anguilles partie amont ; **F** : bac de piégeage à anguilles (Source : Perret, 2019).

# Matériels et méthodes

## 1) Choix du site de la zone de terrain

L'ouvrage de Poses-Amfreville a été choisi comme « site » pour le suivi anguille dans la Seine, car ce dernier est le premier dispositif de franchissement de l'estuaire Seine aval.

De plus, stratégiquement parlant, comme l'anguille est un bio indicateur de la qualité de l'eau, et que la Seine était représentée comme l'un des cours d'eau les plus pollués d'Europe, il est donc le lieu idéal pour permettre la visualisation du recrutement de l'espèce.

## 2) Agencement des structures de franchissement et de Capture

Quelle que soit la rive étudiée (gauche ou droite), le dispositif de franchissement à anguilles est construit sur les mêmes fondements (système aval, canal de liaison, rampes de reptation alimentées par l'eau de la Seine).

Cependant, vu que ces deux systèmes n'ont pas été construit la même année (2013 : rive gauche et 2017 : rive droite), quelques différences existent (**Figure 15 et 16**).

## 3) Protocole de suivi

### a) Matériels utilisés

Pour effectuer les relevés, le même matériel doit être utilisé durant toute la période de suivi afin de ne pas fausser les résultats.

Cependant, selon l'expérience menée et le type d'informations à recueillir, l'équipement mis à profit va être différent.

- **Piège actif : Pour un nombre inférieur à 100 individus et supérieur à 100**

Afin de permettre la réalisation du suivi dans les passes pièges, le matériel utilisé est le même pour un échantillon de moins ou plus de 100 individus. Pour cela il y a besoin :

**Relevé passe piège Poses : Biométrie**

Date : ..... T°C air : .....

Horaire : ..... T°C vivier : .....

| N° de capture | Tamis | Taille (mm) | Poids (g) | Patho | N° de capture | Tamis | Taille (mm) | Poids (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 mm | | | | 51 | 6 mm | | |
| 2 | 3 mm | | | | 52 | 6 mm | | |
| 3 | 3 mm | | | | 53 | 6 mm | | |
| 4 | 3 mm | | | | 54 | 6 mm | | |
| 5 | 3 mm | | | | 55 | 6 mm | | |
| 6 | 3 mm | | | | 56 | 6 mm | | |
| 7 | 3 mm | | | | 57 | 6 mm | | |
| 8 | 3 mm | | | | 58 | 6 mm | | |
| 9 | 3 mm | | | | 59 | 6 mm | | |
| 10 | 3 mm | | | | 60 | 6 mm | | |
| 11 | 3 mm | | | | 61 | 6 mm | | |
| 12 | 3 mm | | | | 62 | 6 mm | | |
| 13 | 3 mm | | | | 63 | 6 mm | | |
| 14 | 3 mm | | | | 64 | 6 mm | | |
| 15 | 3 mm | | | | 65 | 6 mm | | |
| 16 | 3 mm | | | | 66 | 6 mm | | |
| 17 | 3 mm | | | | 67 | 6 mm | | |
| 18 | 3 mm | | | | 68 | 6 mm | | |
| 19 | 3 mm | | | | 69 | 6 mm | | |
| 20 | 3 mm | | | | 70 | 6 mm | | |
| 21 | 3 mm | | | | 71 | 6 mm | | |
| 22 | 3 mm | | | | 72 | 6 mm | | |
| 23 | 3 mm | | | | 73 | 6 mm | | |
| 24 | 3 mm | | | | 74 | 6 mm | | |
| 25 | 3 mm | | | | 75 | 6 mm | | |
| 26 | 3 mm | | | | 76 | 6 mm | | |
| 27 | 3 mm | | | | 77 | 6 mm | | |
| 28 | 3 mm | | | | 78 | 6 mm | | |
| 29 | 3 mm | | | | 79 | 6 mm | | |
| 30 | 3 mm | | | | 80 | 6 mm | | |
| 31 | 3 mm | | | | 81 | 6 mm | | |
| 32 | 3 mm | | | | 82 | 6 mm | | |

**Figure 17** : Exemple de fiche de relevés journalier pour le suivi anguilles 2019. Sur l'entête on retrouve la date et l'horaire du relevé. Sur le tableau, 5 colonnes sont dénombrées : une sur les numéros de capture ; une pour le tamis utilisé ; une pour les tailles des individus (mm), une pour les poids (g) et une pour les pathologies (Source : Perret, 2019).

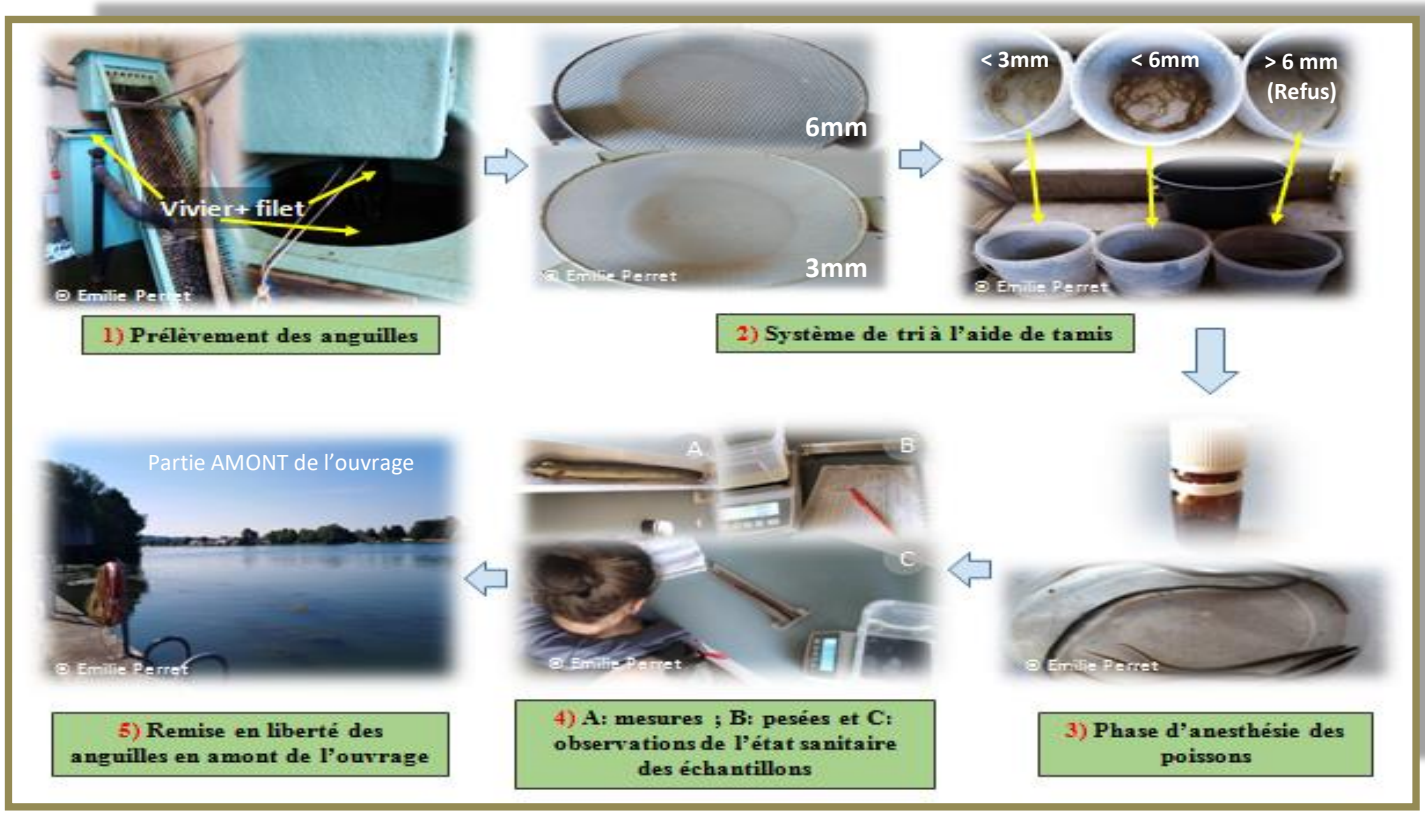



**Figure 18** : Protocole de suivi pour les systèmes de passes-pièges actifs adaptés pour un nombre d'anguilles >100 (pour un nombre d'anguilles <100 individus, l'étape 2 est retirée) (Source : Perret, 2019).

- D'une épuisette : pour prélever les anguilles.
- D'un carnet de bord : pour comptabiliser, annoter les données biométriques de chaque poisson ainsi que leur état sanitaire (**Figure 17**).
- D'eugénol : pour anesthésier les jeunes anguilles avant de commencer les mesures biométriques (mélange d'huile essentielle de clou de girofle et d'alcool à 70°C).
- De 3 bacs minimum : 1 pour prélever les individus du vivier, 1 pour les anesthésier et 1 servant de bac de réveil.
- Un ichtyomètre : pour mesurer les individus.
- Une balance : pour les peser individuellement (précise à 1g).
- Un récipient : pour poser les individus sur la balance (à adapter selon la taille des individus).

Lorsque le nombre d'anguilles sur une journée dépasse les 100 individus, 2 bacs ainsi que 2 tamis (de 3 et 6 mm) supplémentaires sont nécessaires pour permettre le triage en lot de ces derniers (**Figure 18 2)**).

- **Piège passif : Flottang**

Afin de visualiser l'efficacité du dispositif de franchissement de la passe piège en rive droite, un système de piège passif est installé au pied de l'ouvrage. L'équipement nécessaire pour ce type d'expérimentation est le flottang. Cet appareil est une superposition de 6 couches de treillis Macmat coupé en carré de 40 cm de long afin d'imiter un habitat flottant (**Figure 19**).

- **Capture, marquage, recapture**

Depuis 2015, un protocole de détection de **C**apture **M**arquage **R**ecapture (**CMR**) est appliqué en rive gauche sur 200 individus capturés.

En rive droite, du fait d'un nombre considérable d'individus par jour (comme durant le suivi 2018) (Sanmartin, 2018), ce marquage n'a pas été réalisé.

Afin d'exécuter cette procédure, le matériel à fournir est :

- Un VIE (Visible Implant Eslatomer) : pour visualiser les individus par la suite sous lampe UV.
- Une seringue de 0.3 ml : pour injecter le VIE.

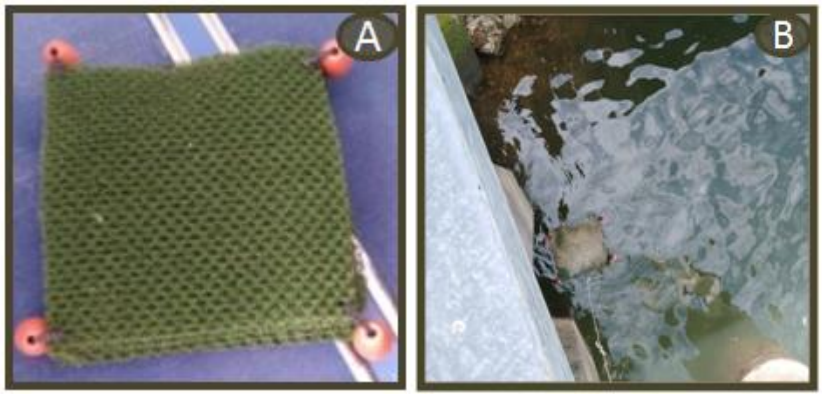



**Figure 19** : Photographique d'un flottang avant (**A**) et après (**B**) la mise à l'eau à l'aval de la passe piège en rive droite (Source : Perret, 2019).

- De l'eugénol : pour anesthésier les animaux.
- Un Ichtyomètre : pour réaliser les mesures.
- D'une lampe UV : pour visionner les marquages.
- Et d'avoir plusieurs 100$^{ènes}$ d'anguilles d'une longueur inférieure à 110 mm.

### b) Période et fréquence d'échantillonnage du suivi des différentes opérations

Après les expériences acquises lors des premières études menées les années précédentes, l'équipe en charge du suivi s'est rendu compte que seules les anguilles en reprises de montaison reprenaient leur migration en premier, en avril, suivant la température de l'eau. Les plus jeunes anguilles arrivent, elles, plus tard dans la saison. C'est pour cette raison que l'étude 2019 a débuté début avril.

Le relevé du dispositif de piégeage par système de rampes (piège actif) est fait chaque matin (en raison du comportement lucifuge de ces animaux) durant toute la période de suivi (d'avril jusqu'aux dernières anguilles capturées en fin de montaison qui est également dépendante de la température de l'eau), même durant les pics migratoires sur chacune des rives (hors week-ends). Néanmoins, dans le cadre de mon mémoire, mes relevés ont dû arrêter au mois d'août.

Le piège passif (flottang), installé début juillet, est quant à lui relevé chaque lundi matin.

Concernant le marquage au VIE, celui-ci n'a pas été réalisé cette année en raison du manque d'effectifs journaliers capturés en rive gauche.

### c) Entretien journalier des dispositifs de captures

Les passes-pièges sont des dispositifs nécessitant des interventions fréquentes. En effet en aval de ces derniers, des amas de débris organiques peuvent perturber la montaison des poissons. Afin d'éviter cela, les rampes de reptations sont régulièrement brossées afin de permettre un meilleur débit et empêcher de bloquer la remontée des individus. En amont, les viviers (rive gauche et droite) sont vidangés régulièrement afin de renouveler l'eau et récupérer tous les individus présents. Les pièges passifs ne nécessitent, par contre, aucune intervention. Malgré tout ils sont systématiquement vérifiés régulièrement afin d'assurer leur bon fonctionnement.

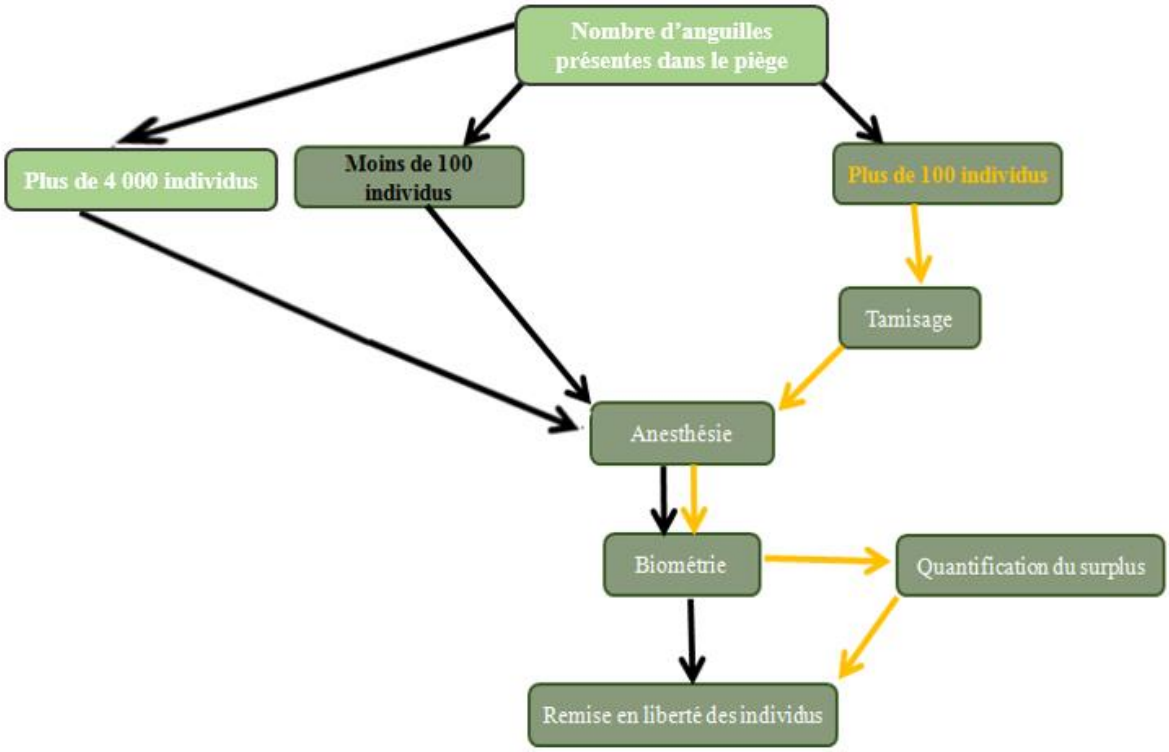



**Figure 20** : Récapitulatif des manipulations à réaliser en fonction des effectifs présents dans le vivier (Source : Perret, 2019).

Une fois toutes les opérations achevées, les anguilles sont remises immédiatement en liberté en amont de l'ouvrage.

### d) Méthodes employées dans les différentes installations

- **Piégeage actif**

Quel que soit le nombre d'anguilles présentes dans le vivier, la méthode sera globalement identique. Quelques dissimilitudes sont toutefois identifiées (**Figure 20**).

Pour un nombre d'anguilles inférieur à 100, le filet de piégeage (comprenant tous les animaux) est relevé chaque jour. Ces dernières sont ensuite transvasées dans un bac avant d'être anesthésiées.

Par la suite, les poissons sont placés dans un bac contenant une solution d'eugénol afin d'être anesthésiés avant manipulation. Une fois endormis, ces derniers sont pris individuellement afin d'effectuer leur biométrie (taille et poids) et détecter leurs éventuelles pathologies (**Figure 18 4)**).

Quand les effectifs dans le filet du vivier sont plus importants (>100 individus), ce dernier est retiré afin de permettre aux poissons une meilleure vivacité. A l'aide de l'épuisette, environ 200 individus sont capturés aléatoirement dans le bassin de capture amont avant de passer dans le tamis (3 et 6 mm) pour savoir à quelle classe de taille ils appartiennent. Une fois le tamisage effectué, 3 groupes sont formés (un lot refus (taille des individus comprise entre 150 mm et plus), un lot 6 mm (taille allant de 80 à 140 mm) et un lot 3 mm (taille inférieure à 90 mm)) afin d'identifier les individus de l'année (étant de 80 mm avant le 30 juin et de 100 mm à partir du 1er juillet) . Parmi ces différents lots, 50 individus sont aléatoirement sélectionnés afin d'être anesthésiés et biométrés. Les individus restants dans le vivier sont eux, par la suite, triés puis quantifiés, mais ne sont eux pas biométrés.

Lorsque le nombre est supérieur à 4 000, 3 lots de 30 individus sont aléatoirement capturés et biométrés. Le restant quant à lui est seulement pesé.

- **Piégeage passif : flottang**

Pour le suivi 2019, un seul flottang a été déposé en aval de la passe à anguille en rive droite afin de déceler d'éventuelles accumulations d'anguilles au pied du mur de la passe. La levée, pour cette méthode, se fait à l'aide d'une corde attachée au flottang. La remontée se fait

rapidement afin d'éviter que des individus ne s'échappent. Une fois le flottang arrivé sur la rive, il est directement retourné dans un bac rectangulaire de dimension 60 cm x 40 cm. Pour permettre aux individus présents de tomber par gravité. Une fois la manipulation terminée, les jeunes anguilles sont quantifiées avant d'être relâchées en amont de l'ouvrage.

- **Capture, marquage, recapture par VIE**

Cette campagne n'a pas eu lieu pour cette saison 2019. Néanmoins, ce protocole a pour objectif d'estimer l'efficacité du franchissement des passes à anguilles. Pour cette méthode, environ 200 individus capturés avec une épuisette en amont de la passe piège, sont marqués grâce au VIE jaune. A l'issue ces derniers sont relâchés en aval de l'ouvrage. Par la suite, les individus qui seront recapturés au niveau du franchissement seront biométrés (taille et poids).

### e) Paramètres environnementaux

De multiples paramètres environnementaux ont été choisis comme pouvant potentiellement contribuer à la migration des juvéniles. Ils ont été annotés quotidiennement dans un fichier Excel. Parmi ces paramètres nous avons :

- La température de l'air.
- La température de l'eau.
- Le coefficient de marée.
- Le débit fluvial.
- Le cycle lunaire.

### f) Etat sanitaire des individus

Pour chaque expérimentation, l'état sanitaire des individus a été fait minutieusement et individuellement. Lorsque les individus étaient porteurs de maladies, un code à 3 lettres et 1 chiffre était attribué (à l'aide du code pathologique) sur le terrain afin d'identifier le type de pathologie présent sur l'anguille. (**Tableau 1**).

## 4) Traitement de données

### a) Calcul d'estimation

Chaque jour, les données brutes sont numérisées au sein d'un fichier Excel. Afin de pouvoir quantifier par la suite le nombre d'individus présent quotidiennement, et éviter tous risques d'erreurs, un calcul d'estimation est réalisé sur ce tableur.

**Tableau 1** : Grille de codification des pathologies anatomo-morphologiques externes ainsi que des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu (Source : Elie et Girard, 2014).

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

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

-

### b) Analyses statistiques

Afin d'analyser au mieux nos résultats, des représentations graphiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R studio. Pour cela, différents tests ont été utilisés :

- **Test de corrélation de Spearman** : pour mettre en évidence le rôle des facteurs environnementaux sur l'activité migratoire de montaison des jeunes anguilles.
- **Analyse en Composante Principale** : pour visualiser quels sont les paramètres environnementaux responsables de la migration.

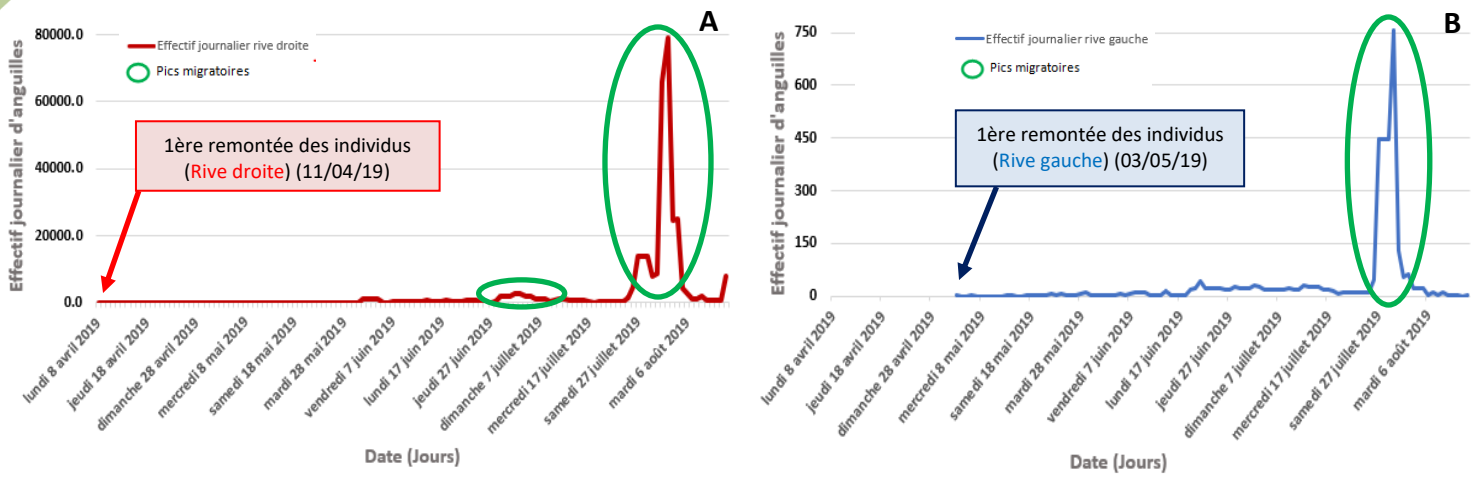
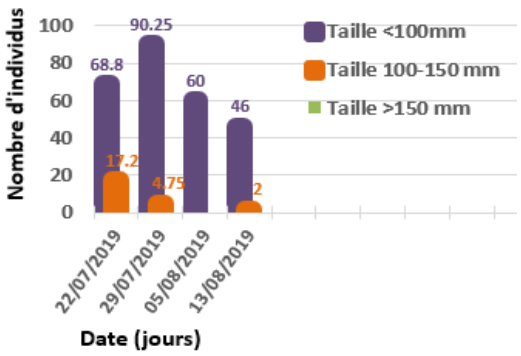



**Figure 21** : Effectif journalier et pics migratoires (**vert**) en jeunes anguilles européennes pour la rive droite (**rouge**) (**A**) et la rive gauche (**bleu**) (**B**) présents dans la passe piège (Source : Perret, 2019).




| | 2018 | 2019 |
|---|---|---|
| Nombre d'anguilles totales | 219 | 289 |
| < 100 mm | 180 | 265.11 |
| ≥ 100 mm | 39 | 23.95 |
| < 100 mm (%) | 82.19 | 91.73 |
| ≥ 100 mm (%) | 17.8 | 8.28 |

**Figure 22** : **A** : Rétrospective du nombre et de la taille des jeunes anguilles capturées dans le flottang à l'aval de la passe piège durant la période du 22 juillet au 13 août 2019. **B** : Rétrospective du nombre et de la taille des jeunes anguilles capturées dans le flottang à l'aval de la passe piège pour l'année 2018 et 2019 (2018 : capture des individus du 2 mai au 27 juin) (Source : Perret, 2019 ; Sanmartin, 2018).

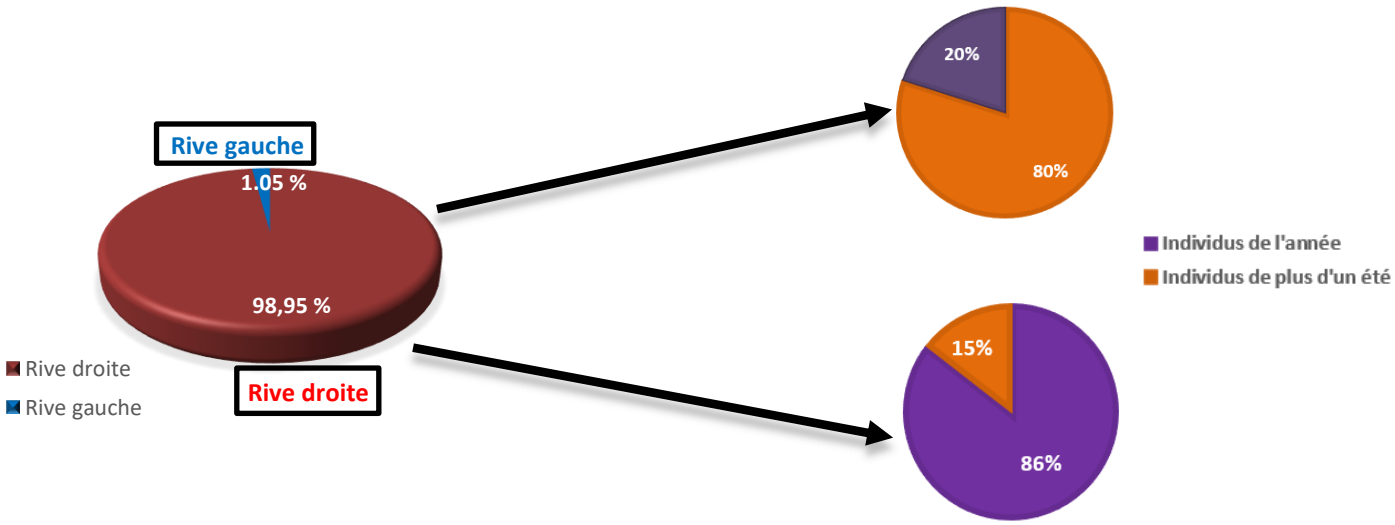



**Figure 23** : Pourcentage des individus capturés durant ce suivi 2019 sur la rive droite (**rouge**), la rive gauche (**bleu**) ainsi que ceux des individus de l'année (**violet**) et des individus de plus d'une année (**orange**) (Source : Emilie Perret, 2019).

# Résultats

## 1) Analyse du suivi de montaison des anguilles pour l'année 2019 : comparaison des rives

Cette année, le suivi effectué au barrage de Poses-Amfreville-sous-les-Monts (27), a commencé le 1er avril et s'est terminé le 14 août. Au total, ce n'est pas moins de 322 204 anguilles qui ont franchi les dispositifs mis en place sur le site (318 804 en rive droite et 3 401 en rive gauche).

Lorsque l'on regarde plus en détail chacun de ces dispositifs de franchissement, nous nous apercevons que ces derniers présentent de multiples variations.

### a) Fonctionnalité des dispositifs

Concernant l'effectif journalier, on observe d'après la **Figure 21**, que la première remontée saisonnière des individus s'est effectuée le jeudi 11 avril 2019 en rive droite et seulement le vendredi 3 mai 2019 pour la rive gauche, soit près de trois semaines de différences entre ces deux aménagements. D'après cette même figure, nous pouvons également constater que le nombre maximal d'anguilles capturées dans ces pièges était de 79 220 individus pour la rive droite (obtenu le 2 août), contre 754 pour la rive gauche (le 30 juillet). Au quotidien l'effectif des jeunes anguilles franchissant le barrage différait également. En rive gauche, l'effectif journalier du 3 mai au 14 août n'a jamais dépassé les 25 individus (sauf exception du 27 juillet au 2 août, 63 et 754 individus capturés). En rive droite, par contre (pour la même période), le nombre total journalier des 25 anguilles était déjà franchi à partir du 25 mai.

Concernant les pics migratoires, on remarque qu'ils sont aux nombres de deux en rive droite. Un premier pic à 2 793 individus est constaté le 3 juillet et un deuxième plus important à 79 220 individus, le 2 août 2019. La rive gauche, quant à elle, ne comptabilise, qu'un seul pic migratoire pendant tout le suivi (le 30 juillet 2019) avec 754 individus (**Figure 21**).

Le dispositif de piégeage passif (flottang), disposé à l'aval de la passe (rive droite) entre juillet et août 2019, visant à vérifier l'efficacité de ces dernières, nous montre, que la majorité des anguilles présents, sont essentiellement des individus de l'année à 91.73% (**Figure 22**).

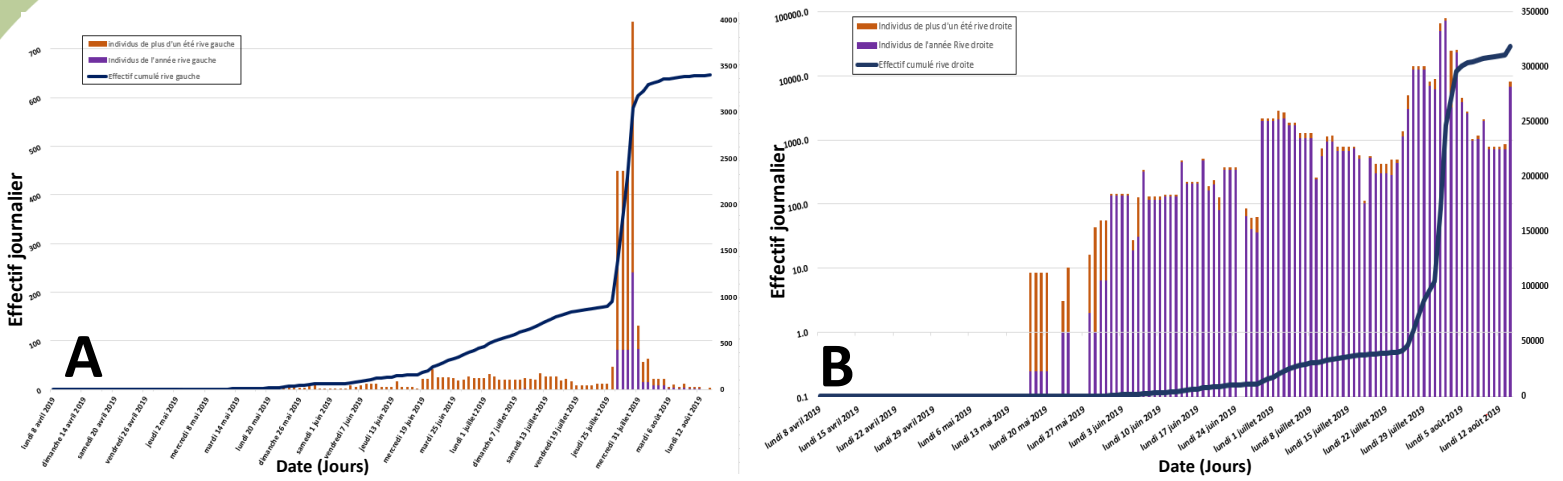



**Figure 24** : Effectif journalier des individus de l'année (**violet**), de plus d'un été (**orange**), et cumulé (**bleu**) des jeunes anguilles d'avril à août 2019 (Source : Perret, 2019).

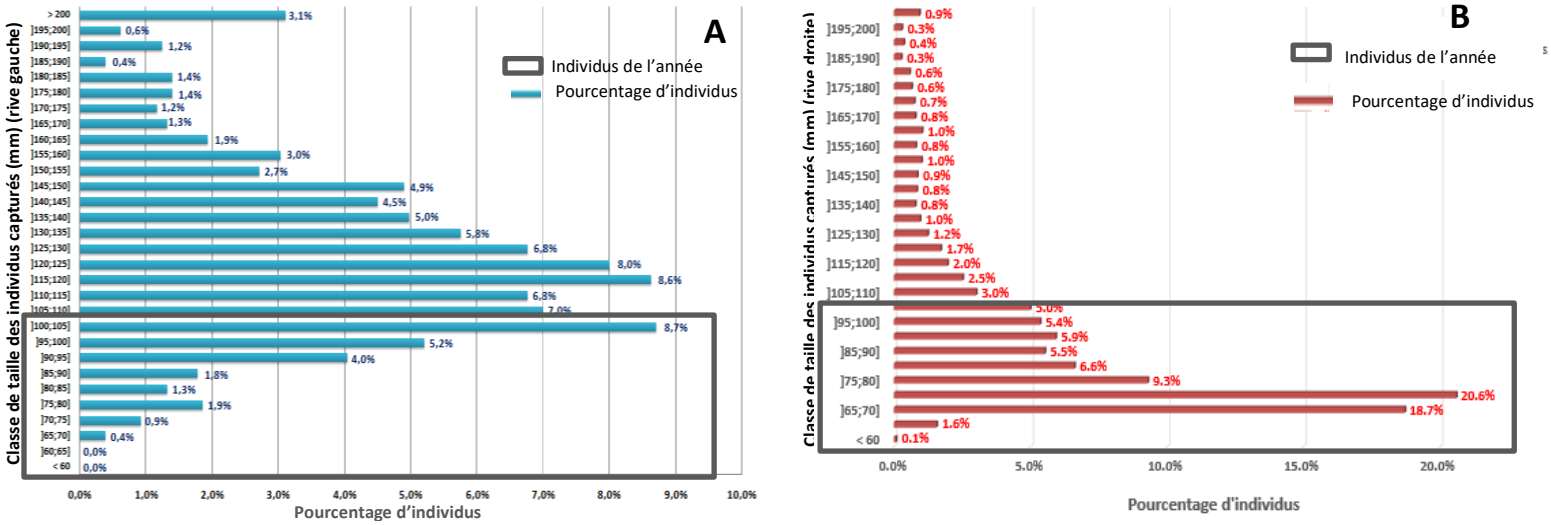



**Figure 25** : Pourcentage total (d'avril à août 2019) des jeunes anguilles répertoriées par classe de taille en rive gauche (**A**) et en rive droite (**B**) (Source : Perret, 2019).

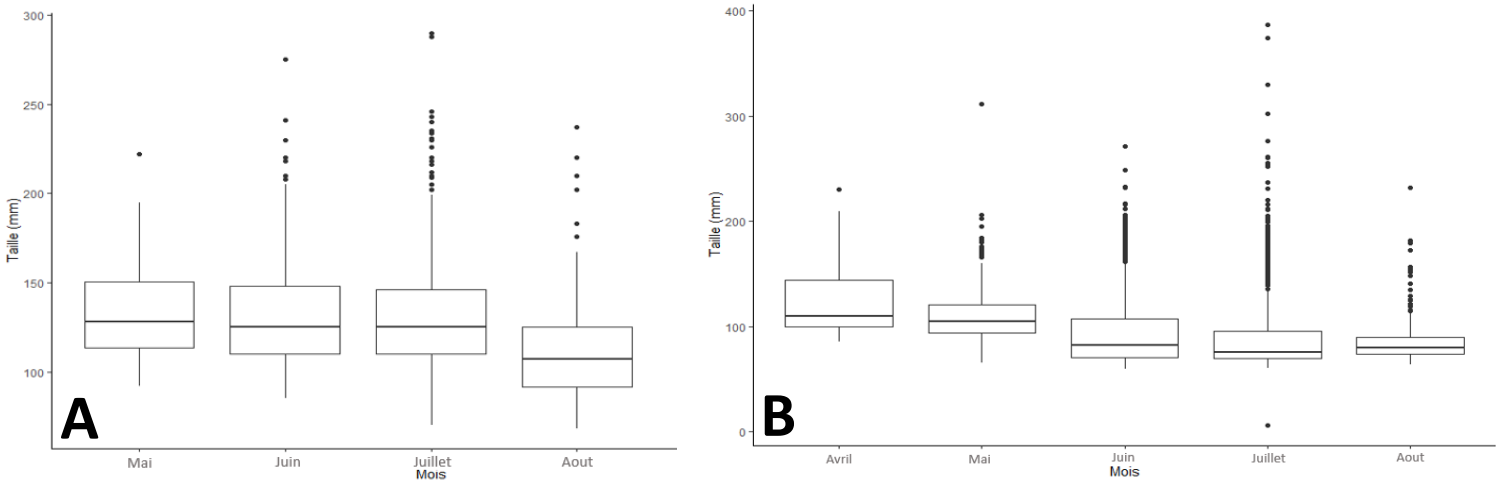



**Figure 26** : Boxplots représentant l'évolution mensuelles des classes de taille des juvéniles d'anguilles ayant franchies la passe des dispositifs (rive gauche : **A** ; rive droite : **B**) (Source : Perret, 2019).

Pour un effectif total et une période de prospection différente (du 03/05 au 27/06), l'année 2018 décrit pratiquement la même tendance avec 82% de ces individus ayant une taille inférieure à 100 mm (**Figure 19**).

### b) Caractéristiques de ces individus

Avec un total de 322 203 jeunes anguilles capturées durant la saison 2019, la rive droite représente à elle seule 98,95 % des captures (**Figure 23**). Parmi tous ces individus prélevés, 86 % étaient des individus de l'année en rive droite contre 20 % pour la rive gauche (**Figure 23**). Lorsque l'on observe la **Figure 24**, on voit (pour la rive droite), que la majorité de la remontée des individus de l'année est survenue dès le début du mois de juin, allant de 80 à 100 % des individus capturés quotidiennement, alors qu'au niveau de la rive gauche ce constat n'est pas si visible.

Sur l'ensemble des individus prélevés (rive gauche et rive droite confondues), les classes de taille les plus représentées pour la rive droite sont les ]65-70 mm] et ]75-80 mm], soit 19.7 % et 20.9 % des captures, alors que pour la rive gauche ce sont les ]100-105 mm] et les ]115-120 mm] qui sont les plus présents, soit 8.7% pour chacune des deux classes (**Figure 25**). Au cours du temps, une évolution des classes de taille est observée en rive droite mais reste constante en rive gauche, à l'exception du mois d'août où ces dernières diminuent légèrement (**Figure 26**). Au début du suivi (pour la rive droite), les individus capturés étaient essentiellement des anguilles mesurant entre 90 et 110 mm (d'avril à mai), alors qu'à partir de juin, la majorité d'entre elles faisaient entre 70 et 90 mm (**Figure 26**).

### c) Etat sanitaire des individus

Chaque anguille, capturée et biométrée lors du suivi 2019, a fait l'objet de scrutation pathologique visuelle (**Figure 27**).

Après analyse, on observe que 85,5 % des individus capturés et biométrés d'avril à août 2019, en rive gauche, sont atteints d'au moins une anomalie externe, contre 64,6% pour la rive droite. Parmi toutes les pathologies listées, les tumeurs (12 %), les points noirs (25 %) ainsi que les points blancs (16,6 %) sont les plus présentes en rive gauche alors que ce sont les tumeurs, les érosions ainsi que les points noirs en rive droite avec 19.4%, 19.2% et 18,4% des effectifs biométrés (**Figure 28**).

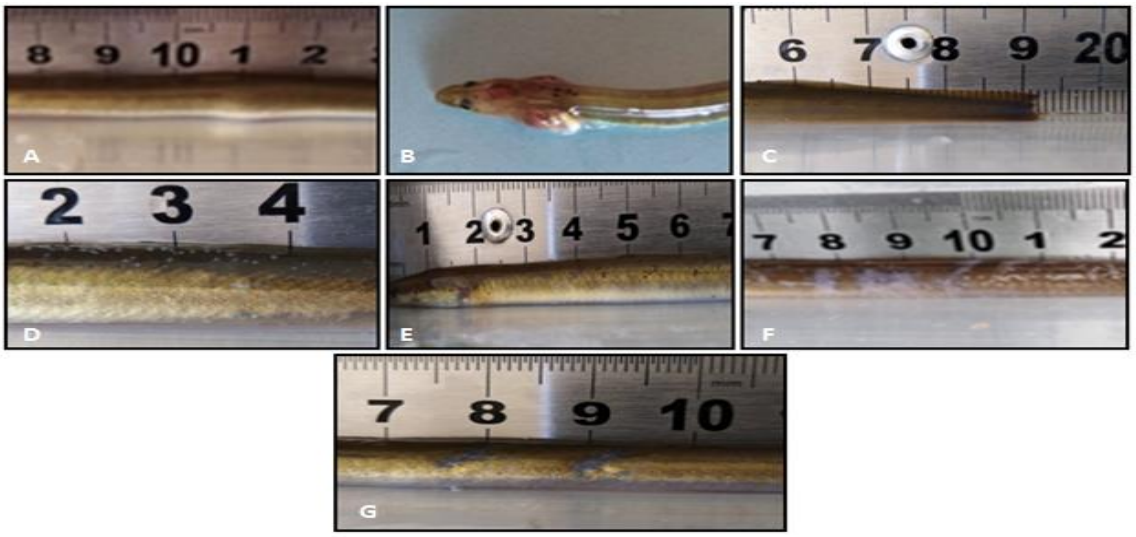



**Figure 27** : Pathologies recensées sur les individus capturés sur la Seine durant le suivi 2019. A : anguille présentant une tumeur ; B : anguille présentant une tumeur operculaire ; C : anguilles présentant une plaie au niveau de sa nageoire caudale ; D : anguille présentant des points blancs ; E : anguille présentant des points noirs ; F : anguille présentant des érosions ; G : anguille présentant des anciennes plaies (Source : Perret, 2019).

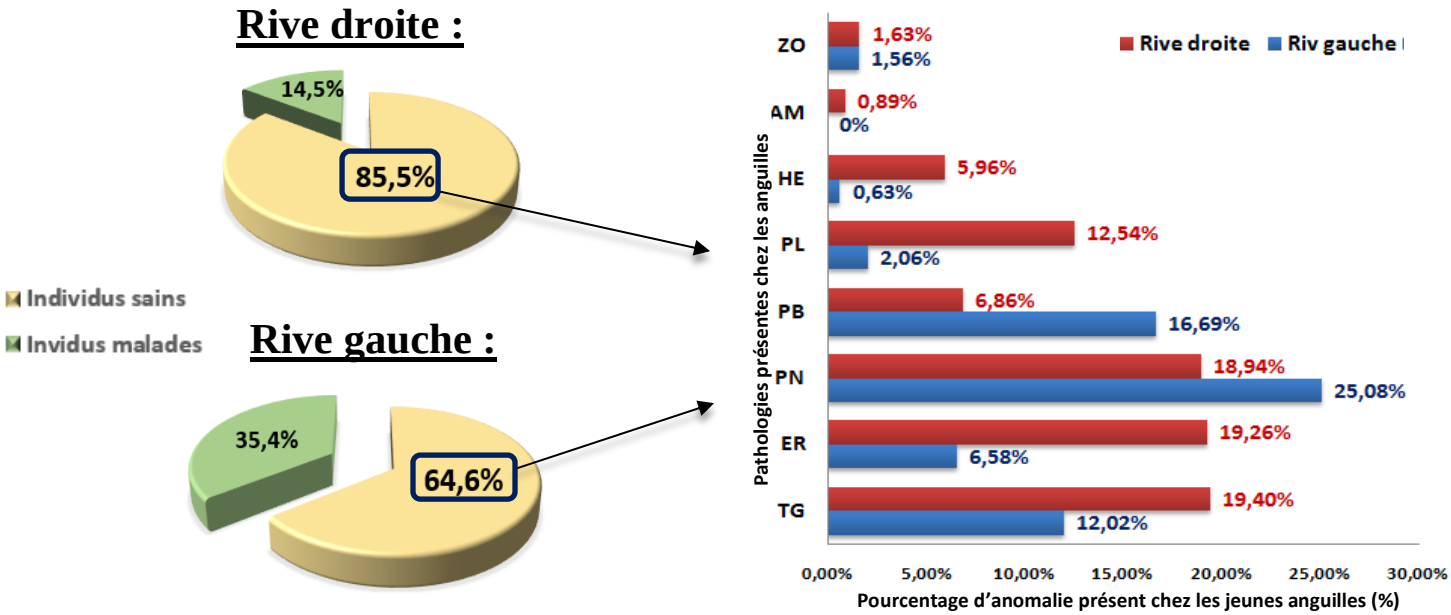



**Figure 28** : Pourcentage d'anguilles malades et saines capturées sur la passe piège durant le suivi sur la rive droite et la rive gauche, ainsi que pourcentage de chacune des pathologies présentes sur les anguilles pour chacune des deux rives. (Source : Perret, 2019).

Si l'on s'attarde d'un peu plus près sur les classes de taille les plus touchées par une pathologie, on s'aperçoit que ce sont les individus mesurant entre [100-150 mm [et [150 -200 mm [qui sont majoritairement atteints par au moins une pathologie (**Tableau 2**).

## 2) L'effet des paramètres environnementaux sur la montaison des jeunes individus

Afin d'avoir des résultats plus cohérents pour notre rapport et suite au peu d'effectifs obtenus en rive gauche, la partie « Effet des paramètres environnementaux sur la montaison des jeunes individus » a été réalisée à partir des données de la rive droite.

### a) Température de l'eau

En s'appuyant de la **Figure 29,** montrant la dynamique de l'activité migratoire de montaison des anguilles en fonction de la température de la Seine, on peut remarquer globalement que cette dernière progresse lorsque la Seine se réchauffe. A partir du 1er juillet néanmoins, lorsque la température stagne ou chute légèrement, un pic de migration (30 fois plus important que le premier pic de la fin du mois de juin) est relevé (les 1ers et 2 août). Afin d'expliquer ce résultat, des tests de corrélations ont été réalisés avant et après le 1 er juillet 2019. Après obtention des graphes de la **figure 30A**, il en ressort que la montaison des anguilles est bien corrélée à la température de la Seine, mais seulement jusqu'au 1er juillet, car au-delà de cette date, elle ne l'est plus (**Figure 30B**).

En comparant avec les résultats de 2018, on se rend compte que ces mêmes facteurs avaient déjà été mis en avant cette année-là, mais seulement durant la période du 1er juillet au 14 août (**Figure 31**).

Si l'on regarde maintenant l'évolution mensuelle de l'état sanitaire des individus biométrés lors du suivi 2019, en fonction de la température de la Seine, on remarque que plus la température de la Seine augmente, moins on constate de pathologies présentes au niveau des jeunes anguilles (**Figure 32**).

**Tableau 2** : Récapitulatif des différents pourcentages d'anomalies pour chaque classe de taille en rive gauche (**rouge**) et en rive droite (**bleu**) (Source : Perret, 2019).

| | TG | | ER | | HE | | PN | | PB | | PL | | ZO | | AM | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rive | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite |
| < 100 mm (%) | 6 | 30.1 | 0 | 11.4 | 0 | 20 | 0 | 26 | 0 | 5.7 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| [100-150 mm[ (%) | 63.6 | 50.7 | 45.2 | 33.9 | 75 | 13.3 | 76.1 | 64 | 30 | 48.6 | 65 | 50 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| [150-200 mm[ (%) | 21.2 | 19.2 | 45.2 | 37.8 | 25 | 46.7 | 23.9 | 10 | 70 | 40 | 25 | 33.3 | 100 | 100 | 0 | 0 |
| > 200 mm (%) | 9.2 | 0 | 9.6 | 16.9 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 5.7 | 5 | 16.7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

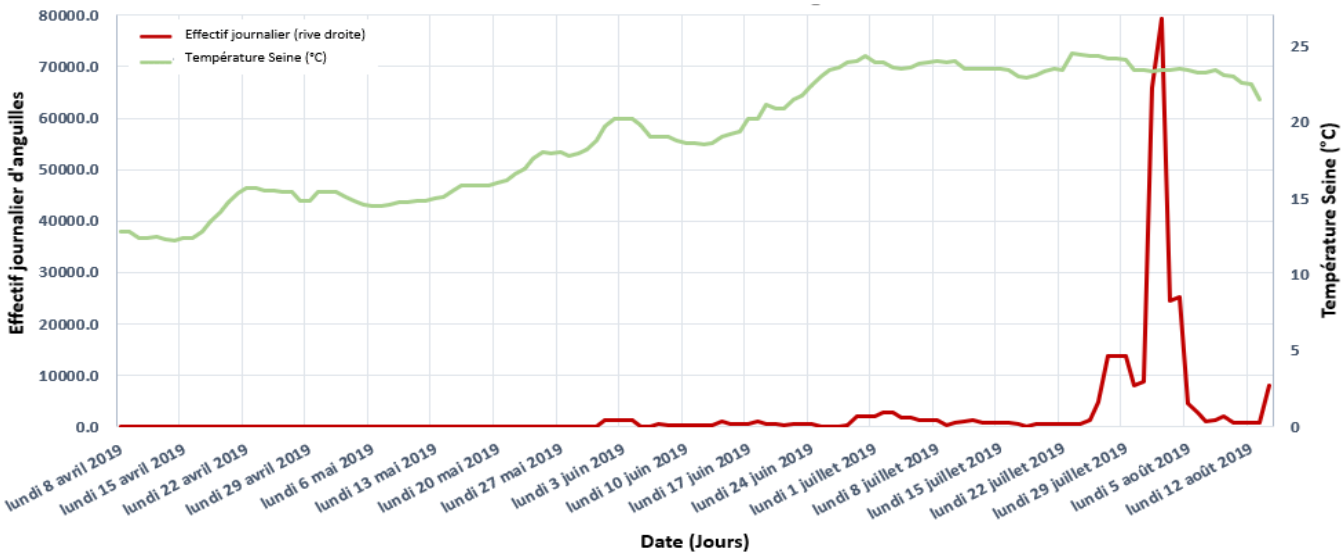



**Figure 29** : Représentation de la dynamique migratoire des jeunes anguilles par rapport à la température de la Seine (Source : Perret, 2019).

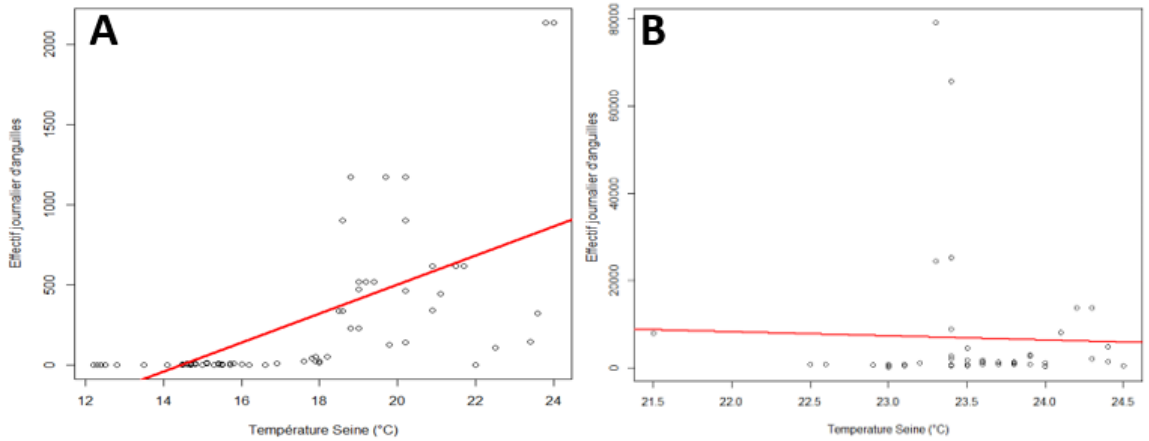



**Figure 30** : Corrélation entre l'effectif journalier en anguilles et la température de la Seine. **A** : avant le 1 juillet 2019 ; **B** : après le 1 er juillet 2019 (Source : Perret, 2019).

### b) Température de l'air

Durant cette campagne de suivi, le relevé de la température de l'air (à Rouen, vu qu'il n'y pas de dispositif de contrôle au niveau du barrage de Poses) a également été effectuée chaque matin et une moyenne de cette dernière a été réalisée pour le restant de la journée. Après résultats et comparaison avec l'année 2018, on ne peut pas dire qu'il y a une quelconque corrélation entre les variations de la température de l'air et la montaison des anguilles. De plus n'ayant pas pu obtenir toutes les valeurs de température pour le suivi 2018, les écarts entre ces deux paramètres sont à prendre avec précaution **Figure 33**. Pour exemple, le 27 juillet 2018, lorsque les températures étaient quasiment identiques (25,3°C pour la Seine et 25°C dans l'air), l'effectif journalier était de 7 670 individus. Lors d'écarts de température similaires, le 27 juin 2019 (avec 23,4 °C dans la Seine et 23,6°C dans l'air), l'effectif journalier atteint n'était alors que de 40 individus. Dans le sens inverse, lorsqu'il y avait un écart plus important entre la température de la Seine et celle de l'air, l'effectif journalier pouvait, lui, être plus conséquent. C'est le cas par exemple le 22 juin 2019 avec 615 individus alors que la température de l'air n'était que de 13.35 °C contre 20.9°C pour la Seine.

### c) Coefficient de marée

Durant le suivi 2019, il a été pris en compte les données de coefficients de marée ainsi que les différents cycles de lune. Il a alors été constaté que les pics migratoires ont été enregistrés durant les phases de marées montantes et de lune « noire » (ou nouvelle lune) (**Figure 34**). Concernant l'année de suivi 2018, ce constat n'avait pas abouti aux mêmes résultats. En effet pour par exemple pour la période du 4 août au 6 août 2018, lorsque les pics migratoires étaient entre 29 100 et 29 400 individus, le coefficient de marée pour cette période là n'était que de 56 à 48, soit une période de coefficients descendants (**Figure 35**).

### a) Autres facteurs environnementaux

Au cours de ce suivi, d'autres paramètres ont été relevés, comme la turbidité ou encore le débit fluvial. Afin de pouvoir mettre en évidence l'éventuel rôle de ces différents paramètres ainsi que de ceux cités précédemment que sont : la température de l'eau, la température de l'air ou encore les coefficients de marée, une analyse en composantes principales a été réalisée. Après résultats, on découvre que la turbidité ainsi que le coefficient de marée sont corrélées d'après la **figure 36**.

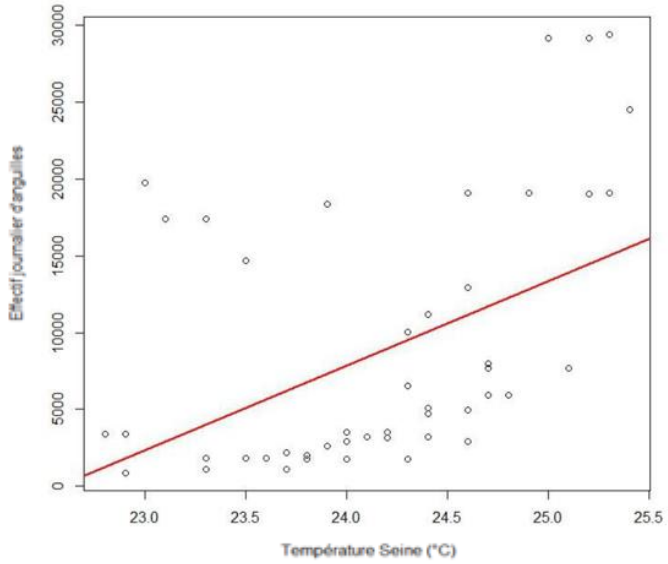



**Figure 31** : Corrélation entre l'effectif journalier en anguilles et la température de la Seine durant la campagne de suivi 2018 (Source : Sanmartin, 2018).

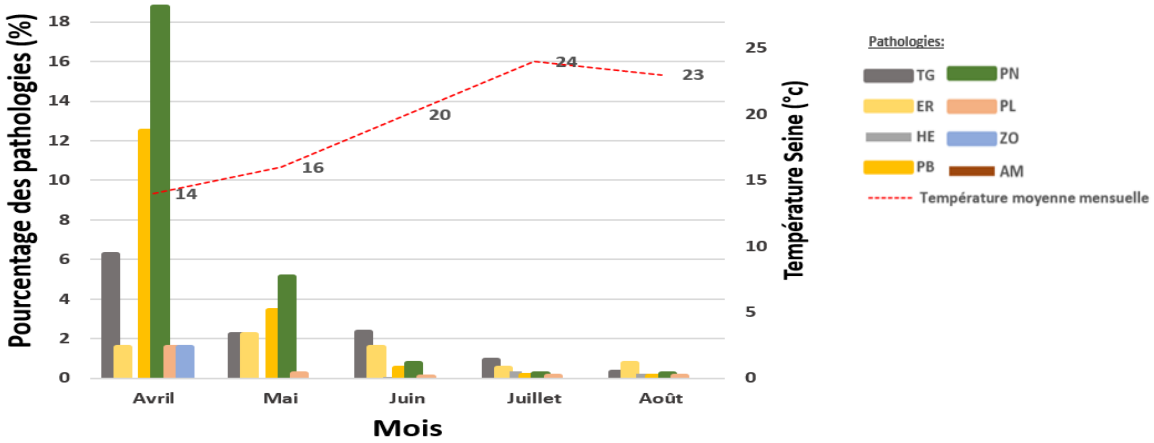



**Figure 32** : Evolution mensuelle de la température de la Seine et de l'état sanitaire des jeunes anguilles (rive droite) durant la campagne de suivi 2019 (Source : Perret, 2019).

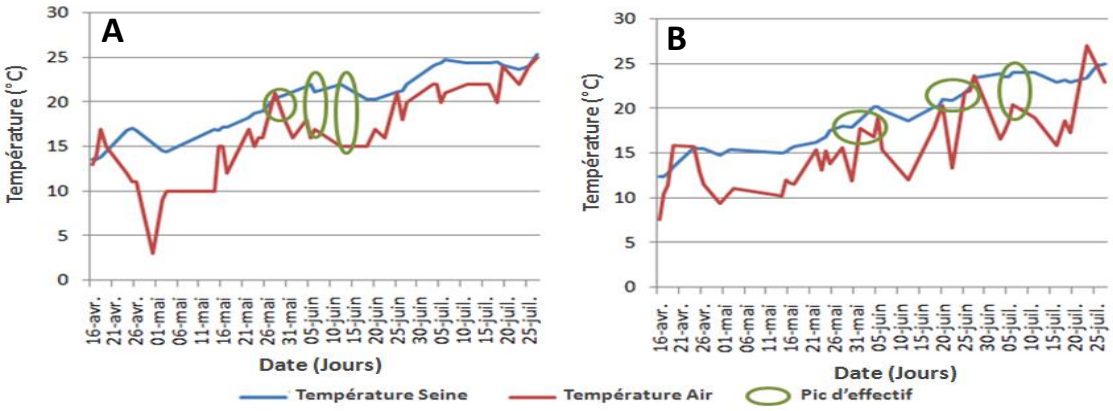



**Figure 33** : Effet de la température de la Seine et de l'air sur l'effectif journalier d'anguilles (**A** : pour l'année 2018 ; **B** : pour l'année 2019) (Source : Perret, 2019 ; Sanmartin, 2018).

## 3) Comparaison interannuelle des individus

En termes d'effectifs, cette sixième année est la plus faible depuis 2014 (toutes rives confondues).

En rive gauche, on a atteint un effectif de 3 401 individus, soit près de 7.3 fois moins qu'en 2018 (d'après la **figure 37A)** avec ces 24 670 jeunes anguilles ou encore 3 fois moins important par rapport à la campagne 2017 avec les 10 383 juvéniles capturées. Toutefois, ce résultat est assez similaire à l'année 2015 avec 4 358 individus ayant franchi la passe.

Pour la deuxième année de suivi en rive droite, la campagne de surveillance de montaison d'anguilles dans la Seine a montré que 318 804 individus sont passés par le dispositif de franchissement, soit près de 1.4 fois moins par rapport à l'année précédente (457 027 anguilles) (**Figure 37B**).

Si l'on regarde d'un peu plus près les classes de taille pour toutes ces années (2014 à 2018) (**Figure 38, 39 et 40**) pour la rive droite et la rive gauche, et que nous les comparons avec celles de l'année en cours, on remarque que celles-ci sont à peu près similaires.

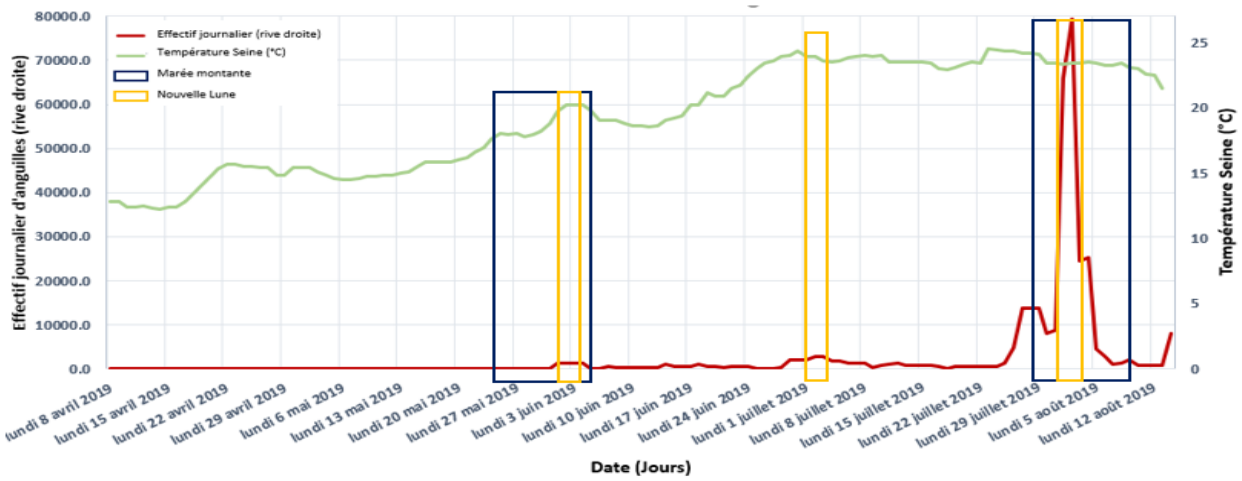



**Figure 34** : Effectif journalier d'anguilles (**rive droite**), de la température de la Seine (°C), des marées montantes ( ) et des nouvelles lune ( ) pour l'année 2019 à Poses (Source : Perret, 2019)

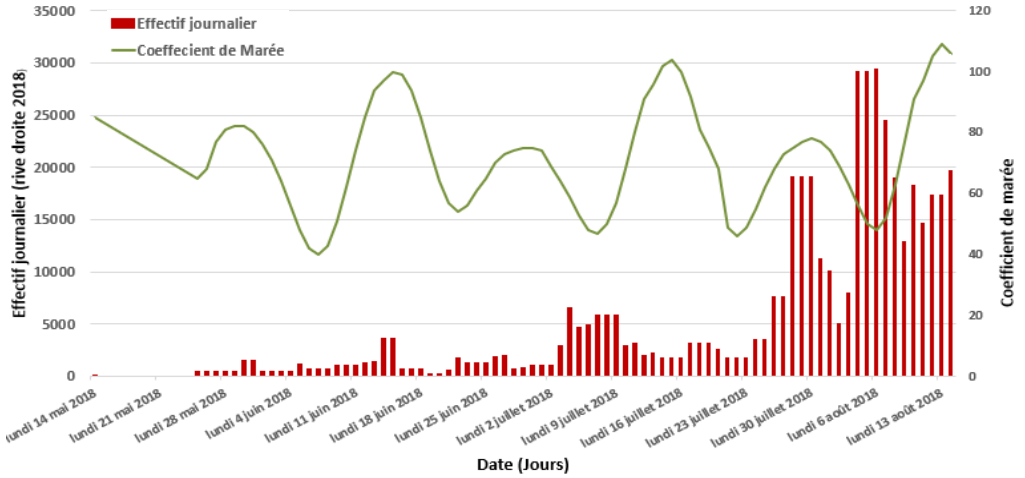



**Figure 35** : Effectif journalier d'anguilles (rive droite) par rapport aux coefficients de marée pour l'année 2018 (Source : Perret, 2019 ; SHOM, 2018).

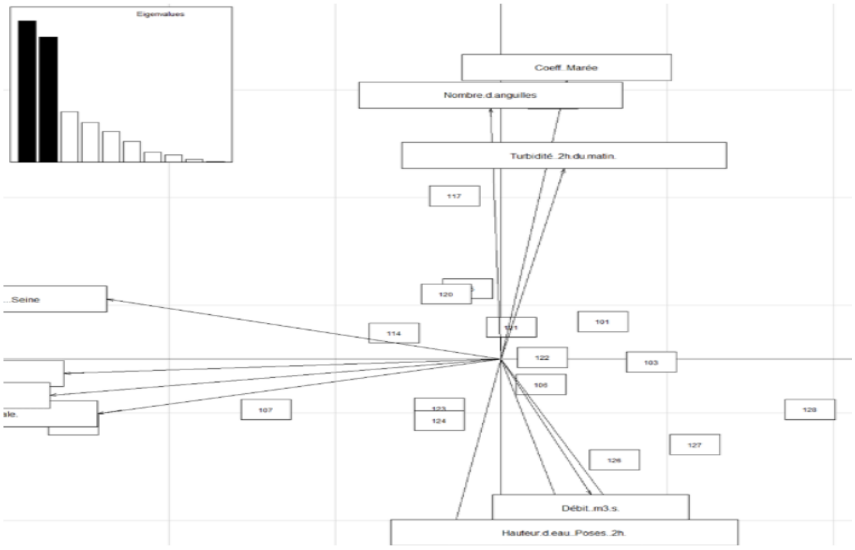



**Figure 36** : Représentation d'une ACP sur l'influence des paramètres environnementaux (Source : Perret, 2019).

# Discussion

En cette sixième année de suivi de montaison des jeunes anguilles européennes (*Anguilla anguilla)* au barrage de Poses-Amfreville (27), ce sont au total pas moins de **322 203** individus qui ont transités par les passes pièges, soit environ **1.52 %** de moins qu'en 2018. (2018 étant la meilleure année de suivi avec **491 742** anguilles capturées (rive droite comprise)). La répartition au niveau des différentes passes pièges s'est effectuée de la façon suivante : **3 401** individus comptabilisés en rive gauche (soit **1.05 %** de l'effectif total répertorié) et **318 804** individus au niveau de la rive droite. Au niveau de la rive gauche, l'année 2019 est donc inscrite comme étant la plus mauvaise année de montaison depuis 2014. En effet, depuis cette date (début du commencement du suivi par l'association SEINORMIGR), les effectifs annuels cumulés au niveau de cette rive (comme nous la montré la **figure 37a**), tournaient entre **8 881** et **10 463** jeunes anguilles, soit **2.6** à **3** fois plus par rapport à cette année (à l'exception des années 2015 où l'effectif a été de **4 358** individus et 2018 avec son record de **24 670**).

Cette année, les premiers individus ont été recensés le 11 avril en rive droite et le 3 mai au niveau de la rive gauche, soit près de 3 semaines de différence entre ces deux rives. En observant les figures 24 et 26, nous nous rendons compte que les premières anguilles arrivées au niveau de barrage, durant la période du mois d'avril à mai, étaient essentiellement des individus âgés de plus d'un été, car les classes de taille relevées d'avril à mai tournaient entre **110 - 150** mm pour la rive gauche et **100 - 150** mm pour la rive droite. Ce n'est qu'à partir du mois de juin que les classes de taille ont été inférieures au niveau de la rive droite (de **80** à **100** mm), alors qu'au niveau de la rive gauche celles-ci sont toujours restées constantes de juin à juillet (entre **110** et **140** mm), avec juste une légère diminution au mois d'août (de **90** à **120** mm). Les individus de l'année sont seulement arrivés au niveau des dispositifs de franchissement de la rive droite à partir du mois de juin, comme nous le montre clairement la figure 24. Au niveau de la rive gauche, un nombre très faible d'individus de l'année a été recensé, et ce en raison des particularités de cette rive (forts courants dus aux turbines et palplanches sur les bords).

La présence du barrage hydroélectrique en rive gauche peut être à l'origine de ce faible taux de passage. En effet, le débit de l'eau est beaucoup plus important que de la rive droite. Il faudrait pouvoir faire des relevés débimétriques de l'écoulement de l'eau au niveau de chaque

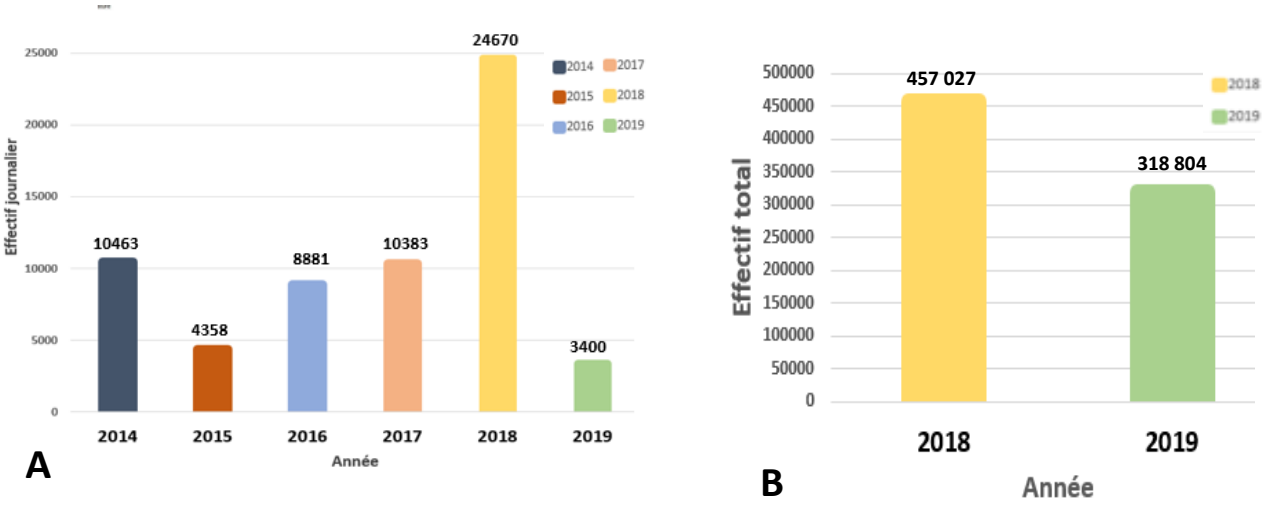



**Figure 37** : Effectifs annuels d'anguilles capturées en amont des passes pièges. **A** : Effectifs annuels d'anguilles en rive gauche pour la période de 2014 à 2018 ; **B** : Effectifs annuels d'anguilles en rive droite pour la saison 2018 et 2019 (Source : Perret et SEINORMIGR, 2019).

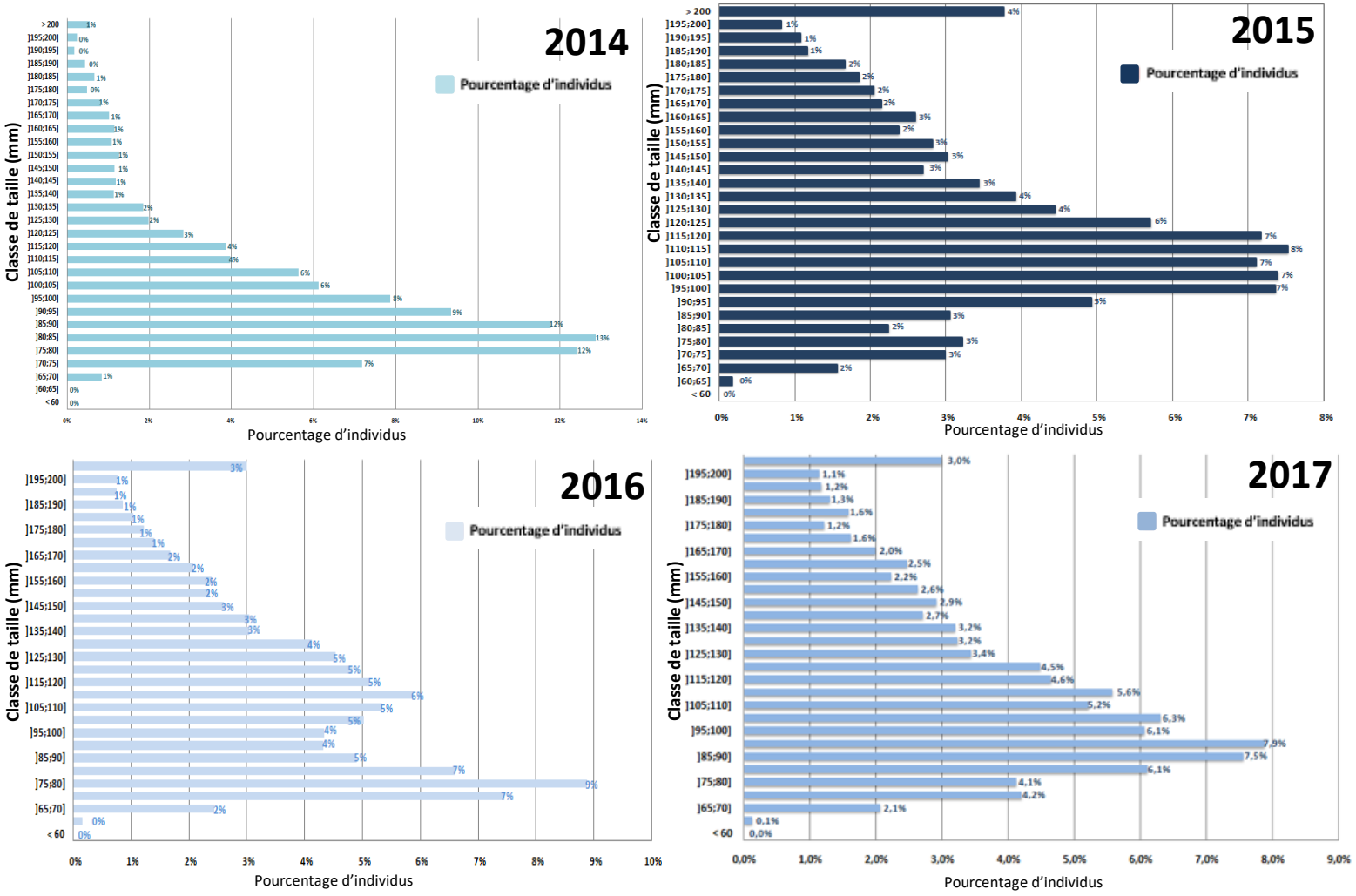



**Figure 38** : Histogramme représentant les classes de taille des jeunes anguilles piégées dans la passe piège (rive gauche) en amont du barrage de Poses de 2014 à 2017 durant la période d'avril à août (Source : SEINORMIGR).

passe à anguilles (en aval de la passe) afin de pouvoir comparer les valeurs. Il est naturel pour ce poisson, ayant déjà fait un très long voyage épuisant, d'aller remonter le courant du fleuve aux endroits les plus faciles. De même, les turbines de l'usine hydroélectrique génèrent du bruit et des brassages d'eau. D'après Pythagore, « tout est vibration ». Le bruit et le mouvement des fluides entrainent des ondes sonores. Les vibrations se transmettent à travers les solides, les liquides ou les gaz, car les ondes ont besoin d'un support matériel pour se propager. D'ailleurs, la vitesse de propagation varie en fonction de la nature du support. Elle est plus grande dans les solides et les liquides et augmente en fonction de la température (Le Lan, 2005). Les anguilles seraient donc sensibles également à ces ondes sonores plus importantes sur la rive où sont installées les turbines. Il faudrait pouvoir faire également un prélèvement de la température en rive gauche pour voir si cette dernière est identique à celle de la rive droite. Tout mouvement engendre de l'énergie cinétique et de l'énergie calorifique (effet Joule), d'où l'augmentation de la température (Le Lan, 2005). Donc si vraiment la température était un facteur essentiel lors de la montaison, nous devrions avoir plus de passage à gauche qu'à droite, mais les ondes sonores sont un facteur perturbant. Après avoir pris contact avec la société Hydrowatt, pour avoir des précisions sur certains jours de fonctionnement des turbines (29 et 30 juillet, jours des pics recensés au niveau de la rive gauche), les techniciens nous appris que les turbines n'avaient pas fonctionné le 29 juillet de **22h00** à **1h00**. Le pic survenu le 30 juillet (avec **754** individus comptabilisés) serait donc probablement à l'arrêt des turbines durant une partie de la nuit (tout en sachant que ces poissons effectuent leur montaison essentiellement la nuit). Il s'avère donc que la présence d'une usine hydroélectrique en fonctionnement perturbe la montaison des anguilles dans la Seine. Il ne serait pas nécessaire d'essayer de modifier ou changer le système de passes piège de la rive gauche tant que les turbines seront en marche. Il serait peut-être plus judicieux d'envisager l'installation de nouveaux dispositifs dans les courants plus calme du fleuve, par exemple entre les deux écluses, pour augmenter le flux d'anguilles lors de la montaison.

Au cours de cette année, deux pics migratoires ont été enregistrés en rive droite. Le premier fin juin début juillet (avec une moyenne journalière de **2 300** individus entre le 29 juin et le 3 juillet), et le second au début du mois d'août (avec une moyenne journalière de **48 606** individus entre le 1er et le 4 août). Le pic maximal a été atteint le 2 août avec **79 130** anguilles (**Figure 21**).

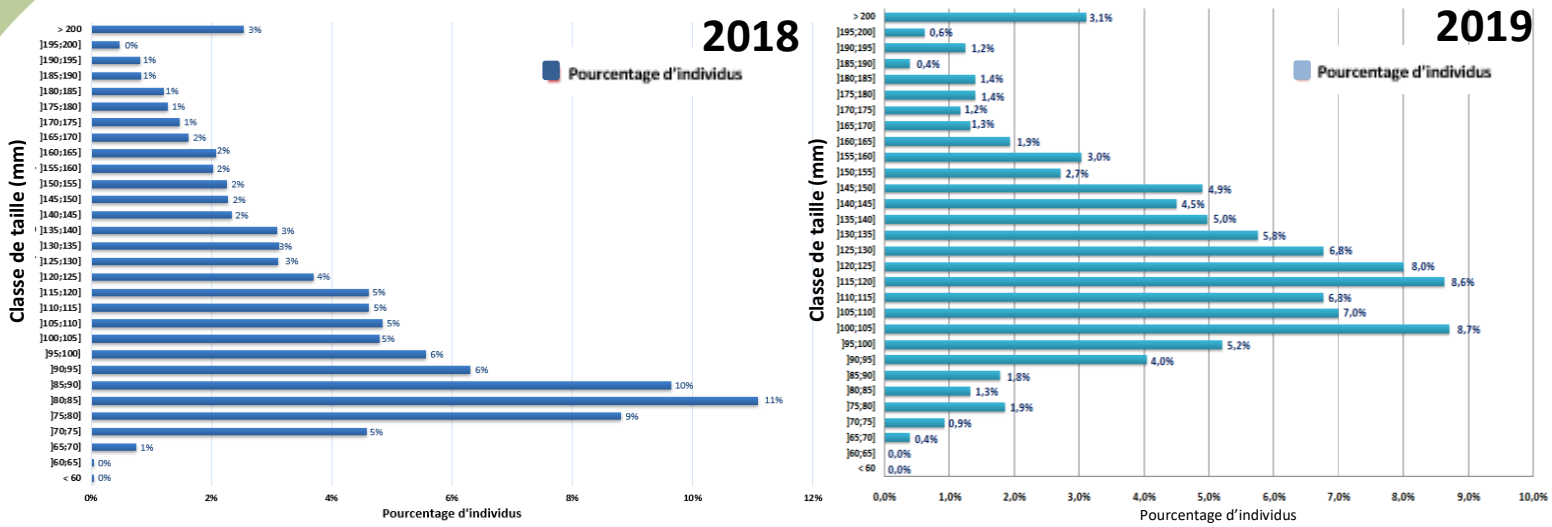



**Figure 39** : Histogramme représentant les classes de taille des jeunes anguilles piégées dans la passe piège (rive gauche) en amont du barrage de Poses de 2018 et 2019 durant la période d'avril à août (Source : SEINORMIGR et Perret)

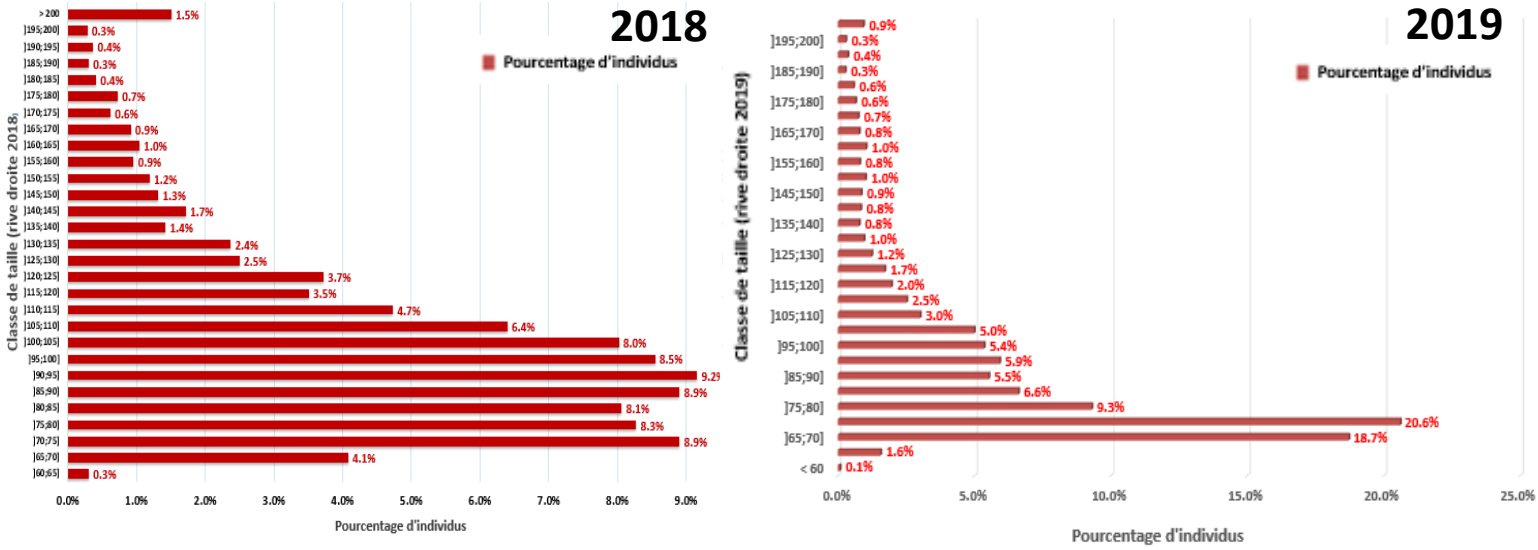



**Figure 40** : Histogramme représentant les classes de taille des jeunes anguilles piégées dans la passe piège (rive droite) en amont du barrage de Poses de 2018 et 2019 durant la période d'avril à août (Source : SEINORMIGR et Perret).

À la suite de l'observation de ces pics et de l'analyse des **figures 29, 34 et 35**, nous nous rendons compte également que les facteurs environnementaux jouent un rôle important dans la montaison des anguilles. Parmi ceux-ci, on trouve tout d'abord la température de l'eau (**Figure 29 et 30**). Une étude réalisée en 1997 par White et Knight à montré que le déclenchement de la montaison s'effectuait lorsque la température de l'eau se situait aux alentours de **12-14**°C. Au cours du suivi 2019, il a été constaté que la première remontée d'anguilles avait eu lieu au moment où la température de l'eau avait atteint les **12.4**°C, ce qui correspond à la littérature.
Au cours des années précédentes, il a été constaté que ces pics avaient eu lieu sensiblement durant les mêmes périodes de l'année, par vagues successives. D'après la **figure 30A**, une corrélation positive significative confirme le rôle de la température de l'eau sur le déclenchement de la montaison et de ce fait sur les pics migratoires des jeunes anguilles par vagues successives. Cependant, au vu de la **figure 30B**, on constate, à partir du 1 er juillet, une corrélation négative entre ces 2 variables, ce qui laisse penser que la température de l'eau est importante pour la migration chez ce poisson amphihalin, mais que d'autres paramètres environnementaux peuvent également jouer un rôle sur la montaison.

Parmi les autres paramètres pouvant influencer la montaison, on trouve également le coefficient de marée, le cycle lunaire et la température de l'air.
Pour ce qui est du coefficient de marée, nous nous sommes rendu compte que les effectifs comptabilisés étaient en augmentation lorsque les coefficients de marée étaient croissants. Lors des marées montantes, ce phénomène s'accentuait encore d'avantage. Ce qui semblerait logique puisque les anguilles sont portées par les eaux et ont donc beaucoup moins d'effort à fournir à ce moment-là.
Un autre paramètre environnemental a été particulièrement influent cette année. Il s'agit du cycle lunaire. En effet, les deux gros pics migratoires de cette année ont été observés lors de marées montantes à fort coefficients associées à une lune « noire » (ou nouvelle lune). Ce qui semble-t-il n'avait pas été constaté les années précédentes.
Au niveau de la température de l'air, il semblerait qu'elle n'ait pas d'incidence particulière lors des variations d'écart. Même remarque au niveau des écarts entre la température de l'eau et la température de l'air.

D'un point de vu sanitaire, des études auraient démontré que les facteurs environnementaux, et plus particulièrement la température de l'eau, auraient un rôle sur le

nombre de pathologies recensées. D'après la littérature, plus la température de l'eau se réchauffe, plus le nombre de pathologies observées augmente (constat mis en exergue dans les rapports des études réalisées par Brunet, 2014). Ces résultats pourraient s'expliquer en faisant l'allégorie du trajet des anguilles entre la Mer des Sargasses et leur fleuve d'habitat à des coureurs à pieds de longue distance, type marathon ou trail. Les premiers individus arrivants sont les plus endurants, souvent les individus les plus âgés. Ensuite nous avons les plus résistants (individus plus jeunes mais un peu moins endurants) ; pour finir par les personnes ayant un état de santé moindre ou atteintes d'handicap. La température de l'eau n'aurait donc pas une incidence majeure sur le taux d'anguilles présentant une pathologie. Notre suivi vient corroborer ce résonnement. Cette année (date du premier recensement pathologique des anguilles en montaison dans la Seine), il a été constaté l'inverse de ce qui a était démontré. En effet, ici, plus la température montait, et plus le nombre d'anguilles atteintes d'au moins une pathologie diminuait. Cette constatation de 2019, remettant en cause les précédentes études, nous interpelle sur les raisons et les causes de la présence de pathologie au niveau des sujets plus âgés arrivant les premiers. La dégradation constante des mers, des océans, et des cours d'eau s'accélérant fortement cette dernière décennie, ne serait-elle pas la cause de cette observation ? La libération de métaux lourds, de micro-organismes du Permafrost, de présence de microparticules de plastiques (d'année en année plus conséquentes), ne serait-elle pas un facteur explicatif à l'avancée et à l'augmentation de pathologie de nos anguilles ? Il faudrait pouvoir étudier de plus près l'état pathologique des individus pour en connaitre la source. La dissection d'individus morts serait peut-être nécessaire.

L'étude anatomique de l'anguille pourrait également nous être utile pour déterminer avec précision la présence de magnétite dans leur corps (comme l'a déjà énoncé Adam en 2008 avec la présence de magnétite dans la mâchoire). Chez les pigeons, les cétacés et les abeilles, des cristaux de magnétites ont été trouvés, permettant d'expliquer que ces derniers leur servent de capteurs et leur permettent de suivre le champ magnétique terrestre (Le Lan, 2005). Ces animaux enregistrent et gardent en mémoire ces champs magnétiques qu'ils utilisent pour leurs déplacements. On peut supposer que les anguilles possèdent ce même système expliquant leur migration d'un point A vers un point B à chaque génération comme si elles se transmettaient d'un individu à l'autre la carte magnétique des fond marins. Par contre, tels que pour les cétacés, des orages magnétiques peuvent perturber les données repères et leur faire perdre leur chemin, car ils ont un système « radar biologique » qui fonctionne avec l'émission d'une onde

acoustique permettant de calculer les distances. Sachant que les orages magnétiques et les éruptions solaires provoquent des tempêtes magnétiques (imperceptibles pour les êtres humains), mais néanmoins perçus par les animaux cités supra, on pourrait penser que la moindre perturbation magnétique peut éventuellement modifier leur migration. Il faudrait voir si en lune descendante les phénomènes gravitationnels sont différents. Selon Newton, tout élément est soumis à l'attraction de la Terre (**P=mg**) mais il est également soumis à l'attraction de la Lune (moins importante que celle de la Terre). Dans ce cas, les phénomènes météorologiques et astrales pourraient avoir des conséquences sur la montaison des anguilles, ce qui expliquerait également les pics lors de changement de lune. La lune est déjà responsable du phénomène des marées (plus d'individus sont recensés lors de marées montantes et lors de nouvelle lune dans notre suivi d'après la **figure 34**). Contrairement à certaines études réalisées qui supposaient que la lune avait une influence de part sa luminosité plus ou moins importante, induisant une augmentation de la montaison, ne serait-ce pas plutôt son influence sur la Terre qui serait responsable des pics de montaison. Il faudrait pouvoir travailler en synergie avec des entomologues et des astrophysiciens pour comprendre exactement les raisons des pics migratoires en marées montantes et en lune noire. La position de la lune aurait-elle une influence moindre en lune descente qu'en début de lune montante ? Ce qui aiderait peut-être nos anguilles à ressentir plus le champ magnétique terrestre et donc à trouver plus facilement et avec plus de précision leur chemin migratoire (leurs cristaux de magnétite n'étant plus perturbés).

# Conclusion et perspectives

Au cours de cette sixième année de suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne, réalisé au niveau du barrage hydraulique de Poses-Amfreville (du mois d'avril au mois d'août 2019), **322 203** anguilles ont été recensées au niveau des dispositifs spécifiques de franchissement de cet ouvrage. Cependant, la répartition n'est pas du tout équilibrée entre les deux rives. Au niveau de la rive gauche, où un système de production d'électricité est installé, seuls **4 301** individus ont été recensés, ce qui correspond à peine à **1.05 %** de l'effectif total. Les **98.95 %** restants (soit **318 804** individus) sont tous passés du côté de la rive droite où le fonctionnement des turbines et des courants engendrés n'ont pas eu d'influence négative sur la montaison de ces poissons. Au vu des résultats au niveau de la rive gauche, l'utilité ou l'amélioration de la passe piège de ce côté de ce fleuve ne s'avère visiblement pas nécessaire.

A ces effectifs relevés, on pourrait rajouter toutes les anguilles qui doivent probablement passer par les deux écluses situées également en rive droite, mais au niveau desquelles aucun système de comptage n'est mis en place. Vu que la rive droite est apparemment plus propice à la remontée des anguilles, il serait intéressant dans les années à venir de voir pour installer un système de comptage au niveau des écluses afin d'avoir une estimation plus précise sur la globalité des effectifs migratoires.

Le dispositif installé en rive droite a pour la seconde année consécutive donné entière satisfaction. Le résultat du flottang, mis en place pendant un mois du côté rive droite (avec seulement **289** individus comptabilisés sur une période d'un mois) confirme l'efficacité de cette passe piège.

L'influence des phénomènes environnementaux conditionnant les remontées des anguilles (telles que la marée montante, la température de l'eau) a de nouveau été constatée cette année. Cependant un nouveau facteur positif a été rencontré : le cycle lunaire, avec des pics de montaison recensés lors des lunes « noires ».

Au cours de ce suivi, il a été observé un nombre très important de pathologies sur ces jeunes anguilles (tumeurs, érosions, points noirs, points blancs…). Il serait donc intéressant et urgent dans les années à venir d'étudier l'origine ou les causes de ces dernières, afin de pouvoir enrayer ou stabiliser ce phénomène car il ne faudrait pas être juste spectateur du déclin et de la disparition de cette espèce actuellement en danger critique d'extinction.

# Bibliographie

**Aarestrup K., F. Økland M. M., Hansen D., Righton P., Gargan M., Castonguay L., Bernatchez P., Howey H., Sparholt M. I., Pedersen R., & McKinley S.** 2009. Oceanic spawning migration of the European eel (*Anguilla anguilla*). Science 325:1660.

**Adam G., Feunteun E., Prouzet P. & Rigaud C**., 2008. L'anguille européenne - Indicateurs d'abondance et de colonisation. Savoir-faire. Editions Quae. 393p.

**Agence de l'eu Seine Normandie**. www.eau-seine-normandie.fr. Date de consultation Mai 2019.

**Albert V**. 2006. Hybridation naturelle entre les anguilles américaines et européennes-Ampleur, répartition et stade de vie. Maîtrise en biologie.

**Als T.D., Hansen M.M., Maes,G.E., Castonguay M., Riemann L.,Aerestrup K, Munk P, Sparholt H, Hanel & Bernatchez L.** 2011. All roads leads to home : panmixia of European eel in the Sargasso Sea. Molecular Ecology, 20, p1333-1346.

**Amilhat E**., 2007. État sanitaire de l'Anguille européenne Anguilla anguilla dans le bassin Rhône Méditerranée et Corse : Synthèse Bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Cepralmar. CBETM, Université de Perpignan. 88p.

**Anonyme**, 2010. Sauvegarde de l'anguille : le plan de gestion français. Rapport ONEMA, 24 pages.

**Ariba S., Chaoui L., Derbal L., Kara M.H.** 2010. Etat du parasitisme d'*Anguillicolacrassus* chez l'anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le Lac Tonga (Algérie Nord Est). Laboratoire Bioressource marine. Université d'Annaba.

**Azini S., Rocher V**. 2016. Influence of the water quality improvement on fish population in the Seine River (Paris, France) over the 1990-2013 period, Sciences of the Total Environment, 542, 955-964.

**Baisez A., & Lafaille P**. 2005. Un outil d'aide à la gestion de l'anguille : Le tableau de bord anguilles du bassin Loire. Bull. Fr. Pêche Pisci., 378-379, p115-130.

**Bauchot M. L.** 1986. Anguillidae. Pages 535-536 in P. J. P. Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen, and E. Tortonese, editors. Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. Volume 2. UNESCO, Paris.

**Blache J., Beauchot M.L; & Saldanha L**. 1973. Anguilidae. In Check-list of the fishes of the north-eastern Atlantic and of the Mediterranean J.C. Hureau et T. Monod, p220-222.

**Belpaire C., & Goemans G**. 2007. Eels : contaminant cocktails pinpointing environmental contamination. ICES J Mar Sci 64(7) :1423-1436

**Belpaire C., Goemans G., Geeraerts C., Quataert P., Parmentier K., Hagel P., De Boer J** 2009. Decreasing eel stocks: survival of the fattest? Ecol. Freshw. Fish, 18, 197–214.

**Bertin L. 1951.** Les anguilles : variations, croissances, euryhalinité, toxicité, hermaphrodisme juvéniles et sexualité, migration, métamorphoses. Bibliothèque scientifique edn.Paris : Payot.

**Bradbury R.H., Cooke R., Erlandson J., Estes J.A., Hughes T.P., Kidwell S., Lange C.B., Lenihan H.S., Pandolfi J.M., Peterson C.H., Steneck R.S., Tegner M.J. & Warner R.R.** 2001. HistoricalOverfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. Science, New Series, Vol. 293, pp. 629-638.

**Brunet L**. 2014.Suivi de la migration de montaison de l'Anguille européenne (Anguilla anguilla, L.) sur la passe du Pas de Bouc : caractérisation du recrutement fluvial sur le Bassin Versant des Lacs Médocains.

**Brusle J.** 1994, L'Anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bull. Fr. Pêche Piscic., 335, 237-260.

**Brusle J., & Quignard J.P**. 2013. Biologie des poissons d'eau douce européens. Aquaculture-Pisciculture, Lavoisier/TEC et DOC, 740p.

**Castonguay M., Hodson P. V., Couillard C. M., Eckersley M. J., Dutil J. D. et Verreault G.** 1994. Why is recruitment of the American eel, Anguilla rostrata, declining in the St-Lawrence River and Gulf. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 51, 2, 479-488.

**Chancerel F.** 1994. La répartition de l'anguille en France. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 335 : 289-294.

**Crivelli A.J.** 1998. L'Anguille dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse : une synthèse bibliographique. DIREN-DB RMC, publication COGEPOMI RMC, 83 pp.

**Deelder, C. L.** 1984. Synopsis of biological data on the eel, Anguilla anguilla (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries Synopsis 80, revision 1.

**Dekker W.,van Os B., & van Willigen J.** 1998. Minimal and maximal size of eel. L'anguille européenne. 10E réunion du groupe de travail "Anguille" EIFAC/ICES. Bulletin Français de Pêche et Pêcherie, Conseil supérieur de la pêche, Paris.

**Duhec A., Delorme M.O., Hénaut A.** 2010. La reconstitution des stocks d'anguilles : un problème qui dépasse une simple politique de quotas de pêche. Les dossiers ; UMPC Sciences et politiques publiques.

**Duhec A., Delorme M.O., Hénaut A.** 2010. La reconstitution des stocks d'anguilles : un problème qui dépasse une simple politique de quotas de pêche. Les dossiers ; UMPC Sciences et politiques publiques.

**Elie P. et Girard P**. 2014. La santé des poissons sauvages : les Codes pathologique, un outil d'évaluation. Edit : Association Santé Poissons Sauvages.286p.

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

**Freyhof J. &Kottelat M.,** 2008, *Anguilla anguilla*, in IUCN 2008, IUCN 2008 Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org.

**GBIF Secretariat.** 2017. GBIF backbone taxonomy: Anguilla anguilla, Linnaeus, 1758. Global Biodiversity Information Facility, Copenhagen. Available: https://www.gbif.org/species/5212973. (August 2018, January 2019).

**Geeraerts C, Belpaire C.** 2010. The effects of contaminants in Europeaneel:areview. Ecotoxicology, 19(2), 239-266.

**Geoportail**. www.geoportail.gouv.fr Date de consultation Avril 2019.

**GIP Seine Aval**.www..seine-aval.fr.Date de consultation Mai 2019.

**ICES 2009**. Report of the 2009 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on eels (WGEEL), 7-12 September 2009, Göteborg, Sweden. ICES CM 2009, 137p.

**ICES. Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL),** 24 November-2 December 2015, Antalya, Turkey. ICES CM 2015/ACOM:18, 2015, 130 p.

**ICES/CIEM, 2017**. European eel (Anguilla anguilla) throughout its natural range. ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort. ICES Advice 2017, 6p.

**Imbert H.,** 2008. Stratégie conditionnelle contrôlant la dispersion continentale de l'anguille européenne. Thèse de doctorat en écologie aquatique. Université Bordeaux 1. 200p.

**ITIS (Integrated Taxonomic Information System).**2018. Anguilla anguilla (Linnaeus, 1758). Integrated Taxonomic Information System, Reston, Virginia. Available: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=161 128#null. (August 2018).

**Jacoby D., & Gollock M.** 2014. *Anguilla anguilla*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2014: e.T60344A45833138. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en. Downloaded on 28 June 2019.

**Jackson J.B.C., Kirby M.X., Berger W.H., Bjorndal K.A., Botsford L.W., Bourque B.J., Costello C., Ovando D., Hilborn R., Gaines S.D., Deschenes O. & Lester S.E.,** 2012. Status and Solutions for the World's Unassessed Fisheries. Science, Vol. 338, pp. 517-520.

**Keith P., Allardi J., & Moutou B.** 1992. Livre rouge des espèces menacées de poissons d'eau douce de France et bilan des introductions. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 18 Secrétariat de la Faune et de la Flore, Conseil Supérieur de la Pêche, CEMAGREF et Ministère de l'Environnement.

**Keith P., Persat H., Feunteun E. &Allardi J.** (coords), 2011.Les poissons d'eau douce de France. Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaire et biodiversité), 552p.

**Kirk R. S**. 2003. The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. Fisheries Management and Ecology10 : 385-394.

**Knights B., & White E.M**. 1998. Enchancing immigration and recruitment of eels: the use of passes and associated trapping systems. Fisheries Management and Ecology, 5(6), 459-471.

**Knights B.,** 2003, A review of the possible impacts of long term oceanic and climate change and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemispere. Sci. Total Environ. 310 : 237-244.

**Lasne E., & Laffaille P.** 2008. Analysis of distribution patterns of yellow European eels in the Loir catchement using logistic models based on presence-absence of different size-classes. Ecology of Freshwater Fish.

**Legifrance**. www.legifrance.gouv.fr. Date de consultation Mais 2019.

**Le Lann R,** 2005. Ces ondes qui nous soignent. Edition Alphée. 357p.

**Mad dowall**., 1988. Diadromy in fishes, migrations between fresh water and marine environments. Croom Helm Publ., London, 308P.

**Mc Cleave J.D., Brickley P.J., O'Brien K.M., Kistner D.A., Wong M.W., Gallagher M., Watson S.M.,** 1998, Do leptocephali of the European eel swim to reach continental waters? Status of the question., J. Mar., Biol., Ass. U. K., 78, 285-306.

**Ministère de l'Ecologie, d. l.** (2010). Plan de gestion anguille de la France - Application du règlement RCE n° 1100/2007 du 18 septembre 2007.

**Muchiut S., Gallet F., Aubin D., Baranger L., Le Bihan V., Perraudeau Y.,** 2002, Principaux facteurs à prendre en compte pour une meilleure gestion de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Rapport Observatoire des pêches et des cultures marines du golfe de Gascogne, Aglia edition, 82p.

**Mullet V**. Suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne (Anguilla anguilla). Mémoire de master en science de s environnements continentaux et côtiers. Université de Caen Basse Normandie, Caen, France. 49p.

**Narberhaus I., J. Krause and U. Bernitt, editors.** 2012. Threatened biodiversity in the German North and Baltic seas. Naturschutzund Biologische Vielfalt, Heft 117. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany.

**Okamura K.**, Ishizuka A., Siomi H., & Siomi M.C. 2004. Distinct roles for Argonaute proteins in small RNA-directed RNA cleavage pathoways. Genes. Dev, 18, p1655-1666.

**Pauly D. & Zeller D.,** 2016. Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. Nature Communications, 7:10244, doi:10.1038/ncomms10244, 9p.

**Righton D., Westerberg H., Feunteun E., Okland F., Gargan P., Amilhat E., …. & Acou A.** 2016. Empirical observations of the spawing migration of European eels : The long and dangerous road to the Sargasso Sea. Science Advances, 2(10), e1501694.

**Rochard E., & Elie P.** 1994. La macrofaune aquatique de l'estuaire de la Gironde. Contribution au livre blanc de l'Agence de l'Eau Adour Garonne. Pages 1-56 in J.-L. Mauvais and J.-F. Guillaud, editors. État des connaissances sur l'estuaire de la Gironde. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Éditions Bergeret, Bordeaux, France.

**Rocher V, Azimi S**. 2017. Evolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l'assainissement. Edition Johanet., 76 pages.

**Sadler K.** 1979. Effects of temperature on the growth and survival of the European eel, Anguilla anguilla L. Journal of Fish Biology, vol. 15, pp. 499-507.

**Sanmartin M.** 2018. Suivi et estimation du recrutement de la Seine en Anguilles européennes (Anguilla anguilla). Mémoire de Master 2. Université de Caen Normandie.

**Schmidt J.** 1903. Medd. Fra Kom F Havunders : Série Fisheries. Bd III, n°3 (PI.I).

**Schmidt, J**. 1923. The breeding places of the eel. Philosophical Transactions of the Royal Society, vol. 211, 1923, pp.179-208.

**Shom.** www.marée.shom.fr. Date de consultation Août 2019

**Tesch F.W**., 1977. The Eel, London: Chopmanand Hall.

**Tesch F.W.,** 2003, The Eel, fifth Edition, Blackwell publishing, 340p.

**Tsukamot K., Aoyama J, & Miller M.J .** 2002. Migration, speciation, and the evolution of diadromy in anguillid eels. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59:1989-1998.

**Tutman P., Glamuzina B., Bartulovic V., Jakov Dulcic J.** 2007 - A new maximum length for Anguilla anguilla (Anguillidae), Cybium, 31(4), 485-486.

**UICN**. 2009. La liste rouge des espèces menacées en France. Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Date de consultation Mai 2019.

# Ressentis du stagiaire

La participation à cette étude sur l'anguille européenne a été tout particulièrement enrichissante pour ma part, humainement, scientifiquement, ainsi que sur le rôle de l'association SEINORMIGR. Tout d'abord, les différentes rencontres tout au long des derniers mois passés, m'ont permis de côtoyer des personnes toutes plus intéressantes les unes que les autres, de par leurs connaissances sur les milieux aquatiques en eau douce et en mer, mais également pour l'intérêt et l'amour qu'ils portent à la nature nous entourant.

Ensuite, mon tuteur et les personnes qui m'ont soutenue et accompagnée durant le stage, ont su m'acculturer sur le « monde secret des anguilles européennes ». Ils ont partagé avec moi leurs savoir-faire et leurs connaissances pour que je puisse aborder sereinement ce sujet dont je n'avais jusqu'alors peu de connaissance, n'étant moi-même que pêcheuse en moyenne montagne et occasionnellement pêcheuse à pieds en bordure de mer. En suivant également mes cadres, j'ai participé aussi au quotidien de leur journée de travail au sein de l'association. Cet accompagnement m'a permis, de participer à une pêche électrique à Barentin, à l'animation d'un stand lors de l'événement de l'Armada 2019 à Rouen, à des rencontres avec des pêcheurs de la fédération, ou encore à l'assemblée générale de la fédération de pêche de Seine Maritime.

J'ai vraiment pu partager avec l'ensemble des personnes rencontrées, mon intérêt pour la faune et la flore aquatique qui ne fait que grandir et dont mes connaissances ne font et ne demandent qu'à s'accroitre. Ces derniers mois passés, m'ont apporté certes des connaissances mais n'ont fait que confirmer le choix et l'orientation que j'ai commencé à prendre durant ma vie d'étudiante et dont je souhaite poursuivre activement dans ma vie professionnelle.

# Résumé

Cette étude effectuée au niveau du barrage de Poses-Amfreville (27), a vu le jour en 2014, suite à l'installation en 2013 du premier dispositif de franchissement pour anguilles, en rive gauche. L'objectif du projet était l'étude du suivi et l'estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne. Depuis l'aménagement en 2017 d'une seconde rampe à anguilles en rive droite, une nette augmentation des effectifs de montaison a été observée. **457 027** anguilles ont été recensées en rive droite en 2018 et **318 804** en 2019, alors qu'il n'y avait seulement entre **4 300** et **24 600** individus les années précédentes sur la rive gauche. Le nouveau système mis en place sur la rive droite, dans une zone où il n'y a pas de courants provoqués par les turbines de la centrale électrique de la rive gauche, prouve donc entièrement son efficacité.

Les données recueillies durant le suivi 2019 ont permis de confirmer à nouveau l'influence des certains facteurs environnementaux (comme la température de l'eau, les coefficients de marée) sur la montaison des anguilles. Ces facteurs ont engendré des pics de montaison, comme ce fut le cas par exemple le 2 août avec un pic record à 79 130 individus. Un nouveau facteur influent a été relevé cette année : le cycle lunaire. En effet, les pics de montaison observés correspondaient tous cette année à une période de nouvelle lune (ou lune noire). On pourrait donc en déduire que cette phase de la lune associée à une marée montante est un facteur bénéfique pour la remontée des anguilles.

**Mots clés** : anguille européenne ; *Anguilla anguilla* ; Seine ; recrutement fluvial ; montaison ; flottang ; civelle ; anguille jaune ; barrage de Poses ; suivi et estimation ; passe à anguilles.

# Abstract

The study was done on Poses-Amfreville's (27) dam, was carried out in 2014, following the installation in 2013 of the first eel crossing system on the left shore. The objective of the propect was to study the monotoring and estimation of the recruitment of European eels from the Seine river. Since the construction in 2017 of a second eel ramp on the right shore, a significant increase in run size has been observed, **457,027** eels were counted on the right shore in 2018 and **318,804** in 2019 while there was only between **4,300** et **24,600** eel the precedent years on the left shore. The new system installed on the right shore, in an area where there are no currents caused by the turbines of the power plant on the left shore, therefore fully proves its effectiveness.

The data collected during the 2019's monitoring period confirmed once again the influence of certain environmental factors (such as water's temperature and tidal coefficient) on eel returns. These factors led to peak returns, as as the case on August 2, with a record of 79,130 eel. This years a new influent factor have been discovered : Lunar cycle. In fact, upstream's peak observed this year were linked to a new moon (or black moon). We can deduct this lunar phase linked to a rising tides is a benefic factor for the eel's rising.

**Keywords** : European eel ; *Anguilla anguilla* ; Seine river ; fluvial recruitment ; montaison ; flottang ; glass eel ; Yellow eel;the Poses Dam ; monitoring and estimation; eel pass .