Master 2

Sciences des Environnements Continentaux et Côtiers

Spécialité Environnement, Sols, Eaux et Biodiversité - Parcours Biodiversité

Suiui et estimation du recrutement de la Seine en Anguille Européenne (*Anguilla anguilla*)

2015-2016

Aurélie FLESSELLE

Maître de stage:

Geoffroy GAROT

SEINORMIGR - Association Seine Normandie-Nord Migrateurs

Partenaires techniques et financiers:

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

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier le président de l'association SEINORMIGR, Monsieur Daniel HANCHARD, de m'avoir accueilli au sein de la structure pour pouvoir y effectuer mon stage de fin d'étude.

Je remercie tout particulièrement Geoffroy GAROT, mon maître de stage, pour l'ensemble de ces connaissances apportées, ses conseils avisés et aussi pour m'avoir permis de participer à différents événements dont encore les pêches électriques à venir.

Merci également à Bruno et Florian, pour leur gentillesse, leur bonne humeur mais aussi leurs conseils. Un grand merci à Emma, de m'avoir supporté et aidé au cours de ce suivi.

Je remercie également Patrick, Dominique et tous les autres employés d'HYDROWATT qui étaient toujours présents au moindre souci technique.

Enfin, je souhaite remercier la Fédération de l'Eure pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique pour leur aide apporté lors du suivi sur 24 heures, mais également pour m'avoir permis de participer aux suivis de frayères de lamproies marines sur l'Andelle et l'Epte.

Résumé

Les populations d'anguille européenne sont en nette régression partout dans le monde depuis les années 80, à tel point qu'aujourd'hui l'espèce est classée comme en danger critique d'extinction par l'IUCN. Le 18 septembre 2007, le Conseil de l'Union Européenne a adopté le règlement (CE) n°1100/2007, instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes par l'élaboration d'un Plan de Gestion Anguille. De plus, une mesure réglementaire impose que les passes à poissons soient en capacité de faire franchir toutes les espèces, y compris les anguilles dont les jeunes individus en montaison nécessitent un dispositif adapté à leur mode de reptation. Dans ces démarches, une rampe de reptation spécifique aux anguilles a été installée en 2013 au niveau de la passe à poissons construite en 1991 en rive gauche du barrage de Poses.

2016 est la troisième année de suivi de ce dispositif. Au total, 8920 anguilles ont franchi les rampes contre 4358 individus en 2015 et 11762 individus en 2014 (au 19 août). Cette année, 1116 individus de l'année ont été capturés dans les proportions suivantes: 62% de civelles et 38% d'anguillettes pigmentées. Qualitativement, les anguilles européennes étaient comprises dans une classe de taille entre 64 mm pour le plus petit individu et 340 mm pour le plus grand. La relève des flottangs ne révèle pas la présence d'individus plus petits en aval du barrage qui ne seraient pas capables de passer par les rampes. En revanche, plus de 80% des individus ont une taille inférieure à 150 mm donc sont au maximum âgés de deux étés. Le taux d'efficacité de la passe à anguilles, évalué grâce à une campagne de capture-marquage-recapture au Visible Implant Elastomer (VIE), n'est que de 3% avec une perte de 28% des individus ayant réussi à franchir les premières rampes en aval. Le dispositif de franchissement ne semble donc pas fonctionnel, ce qui pourrait expliquer la faible estimation en recrutement d'anguille européenne sur la Seine. En septembre, l'ouverture d'une passe à anguilles en rive droite du barrage permettra, dans l'hypothèse d'une efficacité plus élevée, une meilleure estimation du recrutement du fleuve dans sa globalité, puis de valider ou non les hypothèses émises en rive gauche.

Mots clés: *Anguilla anguilla* , Seine , Migration , Barrage , Recrutement fluvial

Abstract

European eel populations are in decline over the world since the 80's, consequently the species is nowadays classified as critically endangered by IUCN Red List. On 18th September 2007, Council Of European Union adopted Regulation (EC) No 1100/2007, establishing measures for the recovery of the stock of European eel, by the development of an Eel Management Plan. Moreover, a regulatory measure requires fish-way are in ability to be crossed by all species, including eels. Thus, an eel specific crawling ramp was installed in 2013 at the fish pass built in 1991 on the left bank of the Poses dam.

The eel migration monitoring is undertook since 2014. In 2016, 8920 eels crossed the ramps against 4358 in 2015 and 11762 in 2014 (until August 19). This year, 1116 elvers were captured in the following proportions: 62% of glass eels and 38% of pigmented ells. Qualitatively, the smallest European eel is 64 mm long and the largest European eel is 340 mm long. The flottangs experiment does not reveal smaller individual class size downstream of the Poses dam. In contrast, over 80% of individuals are below 150 mm long and they are two summer old maximally. The mark-recapture campaign shows a 3% efficiency rate of the crossing device.

The crossing device seems not functional, which could explain the low recruitment of the European eel on the river Seine upstream of the Poses dam. In September, opening of an eel specific crawling ramp on right bank of the Poses dam, will, if the efficiency is higher, a better estimate of fluvial recruitment, and to validate or not assumptions on the left bank.

Keywords: *Anguilla anguilla* , Seine river , Migration , Dam , Fluvial recruitment

Table des matières

Remerciements i

Résumé ii

Abstract iii

Table des illustrations vii

Structure d'accueil: Association Seine Normandie-Nord Migrateur x

Introduction 1

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA PREMIERE PARTIE 4

L'anguille européenne 5

1. Systématique: *Anguilla anguilla* (Linné, 1758) 5

2. Diversité du genre *Anguilla* 5

3. Biologie d'*Anguilla anguilla* 6

3.1. Description concise de l'espèce 6

3.2. Aire de répartition 7

3.3. Cycle biologique 8

3.3.1. Stade: Larve leptocéphale 9

3.3.2. Stade: Civelle (Phase de pénétration: eau continentale) 9

3.3.3. Stade: Anguille jaune (Phase de colonisation: eaux estuariennes et continentales) 10

3.3.4. Stade: Anguille argentée (Phase de migration: eau douce vers eaux marines) 10

4. Intérêt de l'espèce 11

4.1. Intérêt écologique 11

4.2. Intérêt économique 11

5. Menace 11

5.1. Menaces naturelles 11

5.1.1. Prédation 11

5.1.2. Agents pathogènes 12

5.1.3. Modifications hydro-climatiques 13

5.2. Menaces anthropiques 13

5.2.1. Pêche 13

5.2.2. Artificialisation (anthropisation) 13

5.2.2.1. Obstacles à la migration 13

5.2.2.2. Altérations de la qualité des habitats 14

5.2.2.3. Introduction d'espèces exotiques (animales et végétales) 14

5.2.2.4. Polluants 15

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA SECONDE PARTIE 16

La Bassin Seine-Normandie 17

1. Présentation du Bassin Seine-Normandie 17

2. Hydrologie du Bassin Seine-Normandie 18
3. Gestion des poissons migrateurs 18
3.1. Prise de conscience de la menace sur l'anguille européenne 18
3.2. Le plan de gestion anguille en France 19
3.2.1. Le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) 20
3.2.2. Le Plan de Gestion des Poisons Migrateurs (PLAGEPOMI) 20
3.2.3. Le plan de gestion anguille 20
3.2.3.1. Monitoring 21
3.2.3.2. Repeuplement 21
3.2.3.3. Mise en conformité des ouvrages 22
POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA TROISIEME PARTIE 23
Site d'étude: La barrage de Poses/Amfreville-sous-les-monts 24
1. Présentation du barrage 24
2. Passe à poissons et chambre d'observation 25
POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA QUATRIEME PARTIE 26
Matériels et méthodes 27
1. Rive gauche - Poses 27
1.1. Dispositif de franchissement et de piégeage 27
1.2. Fréquence de suivi du piège 29
1.3. Entretien du dispositif de piégeage 29
1.4. Paramètres environnementaux 29
1.4.1. Température 29
1.4.2. Teneur en oxygène et pourcentage de saturation en oxygène 30
1.4.3. Autres paramètres 30
1.5. Biométrie 30
1.6. Suivi qualitatif des anguilles en aval et amont du barrage de Poses 30
1.6.1. Objectif 30
1.6.2. Choix de l'outil utilisé: le Flottang 31
1.6.3. Protocole 32
1.7. Capture-Marquage-Recapture 35
1.7.1. Objectifs 35
1.7.2. Choix du type de marquage: VIE (Visible Implant Elastomer) 35
1.7.3. Protocole 36
2. Rive droite - Amfreville-sous-les-monts 37
2.1. Dispositif de franchissement et de piégeage 38
2.2. Objectifs et retard des travaux 38
3. Analyses statistiques 39

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA CINQUIEME PARTIE 40
Résultats 41
1. Fonctionnement du dispositif de piégeage 41
2. Evolution des paramètres environnementaux 43
2.1. Température 43
2.4. Oxygène 44
2.5. Incidence des paramètres environnementaux sur la migration des individus 46
3. Suivi de la migration des anguilles européennes en 2016 48
3.1. Déroulement de la migration 48
3.2. Influence des paramètres environnementaux 49
4. Distinction du suivi de la migration des anguilles européennes selon leur âge 51
4.1. Individus de l'année (âgés de moins d'un été) 51
4.1.1. Déroulement de la migration 51
4.1.2. Influence des facteurs environnementaux 52
4.1.3. Caractéristiques de la population 54
4.2. Anguillettes (âgées d'un été au moins) 58
4.2.1. Déroulement de la migration 58
4.2.2. Influence des facteurs environnementaux 58
4.2.3. Caractéristiques de la population 60
5. Phénomène de crue 63
6. Suivi qualitatif en aval et en amont du barrage de Poses 65
6.1. Suivi qualitatif en aval du barrage de Poses 65
6.2. Suivi qualitatif en amont du barrage de Poses 67
7. Capture - Marquage - Recapture 67
7.1. Suivi sur 24 heures 67
7.2. Efficacité de la passe piège 69
8. Comparaison des suivis 2014, 2015 et 2016 70
8.1. Migration des individus de l'année 72
8.2. Structure en classe de taille 73
Discussion 75
Conclusion 80
Bibliographie 81
Annexes 87

Table des illustrations

Figure 1: Photographies d'une anguille européenne (Anguilla anguilla) (à gauche), d'une anguille américaine (Anguilla rostrata) (au centre) et d'une anguille japonaise (Anguilla joponica) (à droite). Source: ARKIVE et Tansuigyo. 6
Figure 2: Photographies d'une larve leptocéphale (à gauche) et de civelles (à droite). Source: ARKIVE. 6
Figure 3: Photographie d'une anguille jaune (en haut) et d'une anguille argentée (en bas). Source: Geoffroy GAROT - SEINORMIGR. 7
Figure 4: Aire de répartition de l'anguille européenne. Adaptée de Germain (1927) pour l'aire continentale et Schmidt (1922) pour la répartition océanique des larves. Source: Patrick LAMBERT, 2005. 8
Figure 5: Cycle biologique de l'anguille européenne. Proposé par le groupe national anguille français (Anonyme, 1984). Source: Patrick LAMBERT, 2005. 8
Figure 6: Photographie d'un cormoran ayant pêché une anguille jaune. Source: ARKIVE. 12
Figure 7: Photographies du parasite *Anguillicola crassus*. A droite: parasites dans le corps d'une anguille. Source: Dan MINCHIN, 2008. 12
Figure 8: Photographie d'un crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) retrouvé dans la Seine en aval du barrage de Poses. 15
Figure 9: Délimitation du bassin Seine-Normandie et des cours d'eau côtiers normands. Source: IGN BD Carto, ASEN/DRIEE, Etat des lieux, Mars 2013 (SDAGE, 2014). 17
Figure 10: Délimitation des neufs unités de gestion de l'anguille (UGA). Source: ONEMA, 2015. 19
Figure 11: Localisation et vue aérienne du barrage de Poses. Source: GéoPortail. 24
Figure 12: Photographies du dispositif de rampes à anguilles. a) = Partie aval , b) = Partie amont. Source: Geoffroy GAROT - Seinormigr. 28
Figure 13: Photographies d'un flottang pêchant sur la Seine. 31
Figure 14: Localisation de départ des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses. 32
Figure 15: Localisation finale des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses 33
Figure 16: Photographies du déroulement d'une séance de marquage. 36
Figure 17: Schéma de la passe à Poissons, rive droite - Amfreville-Sous-les-Monts. Source: VNF, 2014. 38
Figure 18: Graphique de l'effectif cumulé d'anguilles en montaison sur la Seine à Poses. En bleu: 50% de la migration le 11 juillet 2016. 41
Figure 19: Graphique représentant la hauteur d'eau de la Seine à Poses pendant le phénomène de crue. Les données vont du 27 mai 2016 au 16 juin 2016. En bleu: Niveau d'eau en amont du barrage de Poses. En vert: Niveau d'eau en aval du barrage de Poses. En rouge: Niveau d'eau dans le premier bassin de la passe à poissons après l'aval. 42
Figure 20: Graphique représentant l'évolution journalière de la température sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En vert: Température de l'air. En bleu: Température de la Seine. En rouge: Température du vivier. En noir: Température du collecteur. 43
Figure 21: Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la température sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En vert: Température de l'air. En bleu: Température de la Seine. En rouge: Température du vivier. En blanc: Température du collecteur. 44
Figure 22: Graphique représentant l'évolution journalière de l'oxygène sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En bleu: Teneur en oxygène de la Seine. En rouge: Teneur en oxygène du vivier. En noir: Teneur en oxygène du collecteur. 45
Figure 23: Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la teneur en oxygène sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En bleu: Teneur en oxygène de la Seine. En rouge: Teneur en oxygène du vivier. En blanc: Teneur en oxygène du collecteur. 45
Figure 24: Représentation d'une ACP sur l'influence des paramètres environnements par rapport à la migration des anguilles européennes selon les mois. Légende: a)= Cercle de corrélation. b)= Projection des individus selon les mois; 1 = avril ; 2 = mai ; 3 = juin ; 4 = juillet ; 5 = août. 47

Figure 25: Graphique représentant l'effectif journalier d'anguilles capturées en montaison de la Seine à Poses en fonction de la température. En bleu: Température de la Seine. 48
Figure 26: Corrélation entre la migration des anguilles et la température (°C) de la Seine. 49
Figure 27: Corrélation entre la migration des anguilles et la teneur en oxygène (mg/L) de la Seine. 50
Figure 28: Effectif journalier des individus de l'année en montaison sur la Seine à Poses. En rouge: Anguillettes pigmentées. En jaune: Civelles stade VIB. En bleu: Température (°C) de la Seine. 51
Figure 29: Corrélation entre la migration des individus de l'année et la température de la Seine. 53
Figure 30: Corrélation entre la migration des individus de l'année et la teneur en oxygène dans la Seine. 54
Figure 31: Structure en classe de taille des individus de l'année. En jaune: civelles. En rouge: anguillettes pigmentées..... 55
Figure 32: Répartition des individus de l'année selon leur stade pigmentaire par mois. En jaune: civelles. En rouge: anguillettes pigmentées. 56
Figure 33: Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la taille des individus de l'année selon les mois. 57
Figure 34: Boxplot représentant l'évolution mensuelle du poids des individus de l'année selon les mois. 57
Figure 35: Graphique représentant l'effectif journalier d'anguillettes jaunes âgées d'un été au moins capturées en montaison de la Seine à Poses en fonction de la température. En bleu: Température de la Seine. 58
Figure 36: Corrélation entre la migration des anguillettes jaunes âgées d'un été au moins et la température (°C) de la Seine. 59
Figure 37: Corrélation entre la migration des anguillettes jaunes âgées d'un été au moins et la teneur en oxygène (mg/L) de la Seine. 60
Figure 38: Structure en classe de taille des anguillettes jaunes âgées d'un été au moins..... 61
Figure 39: Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la taille des individus âgés d'un été au moins selon les mois. 62
Figure 40: Boxplot représentant l'évolution mensuelle du poids des individus âgés d'un été au moins selon les mois. 62
Figure 41: Provenance des anguilles européennes suite au phénomène de crue. En bleu: individus aspirés par la pompe amont. En rose: Individus ayant franchi le dispositif de rampes à anguilles. 64
Figure 42: Structure en classe de taille des anguilles européennes retrouvées dans les flottangs. 66
Figure 43: Effectif d'anguilles européennes capturées pendant le suivi sur 24 heures. En bleu: individus non marqués. En jaune: individus marqués au VIE jaune. 68
Figure 44: Effectif d'anguilles européennes marquées au VIE jaune capturées pendant le suivi sur 24 heures. . 69
Figure 45: Comparaison de l'effectif cumulé d'anguilles européennes en montaison sur la Seine à Poses sur les trois années d'études. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En rouge: 2016. 70
Figure 46: Comparaison de l'effectif journalier d'anguilles européennes capturées pendant les trois années de suivi. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016. 71
Figure 47: Comparaison de l'effectif cumulé des individus de l'année en montaison sur la Seine à Poses sur les trois années d'études. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016. 72
Figure 48: Comparaison de l'effectif journalier individus de l'année capturées pendant les trois années de suivi. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016. 73
Figure 49: Structure en classe de taille d'anguilles européennes capturées en montaison sur la Seine à Poses. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016. 74

Tableau 1: Localisation de départ des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses. 32
Tableau 2: Localisation finale des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses..... 33
Tableau 3: Calendrier de relève des flottangs. 34
Tableau 4: Récapitulatif des deux campagnes de marquage au VIE. 37
Tableau 5: Calendrier prévisionnel des travaux. Source: VNF, 2014. 39
Tableau 6: Récapitulatif du nombre de relevé des flottangs posés en aval du barrage. 65
Tableau 7: Efficacité du flottang situé au pied de la passe (code 4). 66

Tableau 8: Récapitulatif du nombre de relevé des flottangs posés en amont du barrage. 67

Annexe 1: Tableau récapitulatif sur la distribution des différents stades de civelles 87
Annexe 2: Schéma de la passe à poissons de Poses. Source: Seinormigr. 88
Annexe 3: Schéma du dispositif de passe piège à anguilles. a) = Vue aérienne générale du dispositif. b) = Vue aérienne de la partie aval. c) = Vue aérienne de la partie amont. Source: FishPass. 89
Annexe 4: Protocole de construction et de relève d'un flottang. 90
Annexe 5: Protocole de marquage au Visible Implant Elastomer (Lenoir, 2015). 93
Annexe 6: Photographie de l'inondation survenue lors du phénomène de crue (photographie datant du 06/06/2016). Le niveau dans la passe à poissons est égal au niveau d'eau en amont de l'usine hydroélectrique. Le collecteur est complètement recouvert par les eaux. 98
Annexe 7: Photographie d'anguilles accumulées dans la passe à Poisson. Ce jour, la passe a été vidée pour cause de nettoyage des vitres du seinoscope et du local de vidéo-comptage. 98
Annexe 8: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la température de l'air (a), de la Seine (b), du vivier (c) et du collecteur (d) par mois.es effectifs d'anguillettes capturés par mois (a), de la taille des anguillettes (b) et du poids des anguillettes (c). 99
Annexe 9: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la température de l'eau entre la Seine, le vivier et le collecteur. 101
Annexe 10: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la teneur en oxygène de l'eau entre la Seine, le vivier et le collecteur. 101
Annexe 11: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la teneur en oxygène de la Seine (a), du vivier (b) et du collecteur (c) entre les différents mois. 101
Annexe 12: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de l'abondance en individus de l'année entre les différents mois. 102
Annexe 13: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la taille des individus de l'année entre les différents mois. 103
Annexe 14: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples du poids des individus de l'année entre les différents mois. 103
Annexe 15: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la taille des anguillettes jaunes entre les différents mois. 103
Annexe 16: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples du poids des anguillettes jaunes entre les différents mois. 104
Annexe 17: Schéma simplifié de la montée des eaux lors du phénomène de crue. En rouge: Cuve piège ; En vert: Pompe amont ; Flèche bleu: Chute d'eau ; Trait bleu: Niveau d'eau ; a) = Niveau d'eau normal ; b) = Montée des eaux intermédiaire ; c) = Montée des eaux maximale, le niveau aval a rejoins le niveau amont. 104
Annexe 18: Filet attaché au canal de liaison pour permettre de faire la différenciation entre les individus ayant franchi le dispositif et ceux aspirés par la pompe amont. 105
Annexe 19: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de l'abondance en anguilles européennes entre les trois années d'études. 105
Annexe 20: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de l'abondance en individus de l'année entre les trois années d'études. 106
Annexe 21: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples des classes de taille des anguilles européennes entre les trois années d'études. 106
Annexe 22: Photographie d'anguilles retrouvées mortes dans le collecteur après avoir désobstrué le canal de liaison reliant la partie aval à la partie amont du dispositif. 106

Structure d'accueil: Association Seine Normandie-Nord Migrateur

SEINORMIGR est une association migrateurs créée en 2007 sur l'initiative du Président de la Fédération de la Seine-Maritime pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA). C'est une association interrégionale qui regroupe 15 Fédérations Départementales pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique réparties sur 18 départements (Aisne, Aube, Essonne, Eure, Haute-Marne, Marne, Nord, Oise, Paris (75, 92, 93, 94), Seine-Maritime, Seine-et-Marne, Somme, Val d'Oise, Yonne, Yvelines). Cette association est ainsi présente sur les bassins Seine-Normandie et Artois-Picardie dans le but de créer une seule continuité dans le suivi et la gestion des populations de poissons migrateurs présentes ou en phase de recolonisation de ces cours d'eau. Elle représente une superficie de 90000km² comprenant 26200km de linéaire de cours d'eau. SEINORMIGR réalise de nombreuses missions sur l'ensemble des deux bassins hydrographiques, tels que:

- Contribuer à l'évaluation et au suivi des populations piscicoles amphihalines
- Favoriser la valorisation et la gestion de la ressource piscicole, notamment pour le 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'ouvrages et les services instructeurs en matière technique et administrative
- Mener des études spécifiques en concertation avec les différents gestionnaires dans le cadre des politiques locales de l'eau
- Participer à la définition et la mise en œuvre des objectifs de restauration des populations de poissons migrateurs au sein du COGEPOMI

Aujourd'hui, l'association compte 3 salariés: un responsable technique et deux chargés d'études. Depuis 2011, SEINORMIGR est inscrite au Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Seine-Normandie et y siège en tant qu'invité permanent. Après 5 années d'activité, SEINORMIGR obtient en 2012 son agrément sur la région Haute-Normandie en qualité d'association de protection de l'environnement.

Introduction

Au cours des dernières décennies, la perte de la biodiversité marine n'a cessé d'augmenter, causant un grand changement structurel et fonctionnel dans les écosystèmes marins côtiers du monde entier (Jackson *& al.*, 2001). Plusieurs perturbations anthropiques engendrent cette diminution comme la pollution, la dégradation de la qualité des eaux ou encore les changements climatiques (Jackson *& al*., 2001), mais la surpêche précède toutes ces autres causes (Jackson *& al.*, 2001; Costello *& al*., 2012; Pauly & Zeller, 2016). En 2011, il a été estimé que 28,8% des stocks de poissons pêchés étaient surexploités (FAO, 2014). Par conséquent, un grand nombre d'espèces marines et de poissons d'eaux douces sont inscrits sur la liste rouge de l'IUCN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) (Baillie *& al*., 2004). En France, 7 espèces de poissons migrateurs sont présentes dans cette liste. Une est considérée comme en préoccupation mineure: la Truite de mer (*Salmo* trutta), 4 sont considérées comme vulnérable: la Grande alose (*Alosa alosa*); l'Alose feinte (*Alosa fallax*); la Lamproie de rivière (*Lampetra fluviatilis*); le Saumon atlantique (*Salmo salar*), et 2 comme en danger critique d'extinction: l'Esturgeon européen (*Acipenser sturio*) et l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (UICN France *& al*., 2010).

En effet, alors qu'elle était autrefois abondante et présente dans de nombreux cours d'eau d'Europe (UICN France *& al*., 2010; Vecchio & Roussel, 2010), l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) a vu son abondance diminuer de manière importante dès les années cinquante (Adam *& al*., 2008; Dekker, 2003a), dans un premier temps dans la mer du Nord et la mer Baltique (Adam *& al*., 2008), et dans presque toute son aire de répartition depuis les années 1980 (Dekker, 2003a; Dekker, 2003b; Moriarty & Dekker, 1997; Vecchio & Roussel, 2010). Une baisse proche des 90% dans le recrutement des anguilles européennes a été notée en Europe (Dekker, 2003a), et elle ne cesse de diminuer. Par exemple, une diminution du stock de civelles de 2014 à 2015 est encore observée, passant de 3,7% à 1,2% du stock présent avant les années 1980 dans la mer du Nord, et de 12,2% à 8,4% dans les autres océans. Les anguilles jaunes, elles, sont aujourd'hui à 11% des stocks présents avant les années 1980 (ICES, 2015).

Les perturbations anthropiques (pollution, changements climatiques, modifications des habitats etc.) expliquent ces diminutions (Baisez & Laffaille, 2005, Jackson *& al*., 2001), mais ils ne sont pas les déclencheurs de cet appauvrissement. En effet, l'anguille européenne était omniprésente avant les années 50 et par conséquent les répercussions que pouvaient avoir sur elle, par exemple un aménagement hydraulique, n'étaient pas prises en compte: sa capacité de franchissement des obstacles n'a pas été évaluée et elle est alors restée bloquée au pied des ouvrages (Chancerel, 1994).

Pourtant, l'anguille européenne est considérée comme une espèce parapluie et comme un bio-intégrateur de la qualité de l'environnement (Feunteun, 2002). En effet, lorsqu'elle est abondante dans un cours d'eau, elle indique une bonne qualité physico-chimique de l'eau et un accès aisé à une diversité d'habitats (marais, plaines d'inondation des vallées fluviales, zones apicales des cours d'eau, etc.) (Baisez & Laffaille, 2005). Elle est donc aujourd'hui considérée comme un enjeu majeur de conservation et des plans sont mis en place pour la préserver; notamment le règlement (CE) n°1100/2007, adopté par le Conseil de l'Union Européenne le 18 septembre 2007, instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes par l'élaboration d'un plan de gestion de l'anguille (Conseil de l'Union Européenne, 2007). En France, le plan de gestion anguille se divise en deux axes: une approche globale et une approche territoriale qui est constituée en neuf annexes correspondant aux neuf unités de gestion de l'anguille (UGA) du plan de gestion dont l'UGA Seine-Normandie (République Française, 2010).

Le Bassin Seine-Normandie est d'une superficie continentale totale de 94500km², comprenant environ 70000km de cours d'eau et un peu plus de 640km de façade maritime. Parmi ces 70000km de cours d'eau, de très nombreux obstacles physiques à la migration peuvent être énumérés. Les obstacles les plus contraignants sont les barrages, notamment les barrages hydroélectriques qui bloquent la migration des jeunes individus aux pieds des ouvrages et qui, du fait du turbinage, cause la mortalité de nombreuses anguilles argentées lors de la dévalaison. C'est le cas du barrage de Poses, qui, situé à 160km depuis la limite transversale de la mer, représente le premier obstacle à la montaison des anguilles en Seine. A l'aval du barrage, les densités d'anguilles observées sont de 1,4/ind./100m², alors qu'a l'amont, une forte chute de densité est observée, témoignant des difficultés de franchissabilité (République Française, non daté). En 2013, une rampe de reptation spécifique aux anguilles a alors été installée au niveau de la passe à poissons construite en 1991 rive gauche, permettant ainsi d'assurer un franchissement plus aisé pour les anguilles européennes en montaison.

Afin de répondre aux conditions soumises par le règlement (CE) n°1100/2007 (plan de gestion anguilles) et de permettre une évaluation du stock d'anguilles européennes sur la Seine, cette étude incorpore les problématiques suivantes: *Le dispositif de franchissement des anguilles sur la Seine à Poses est-il fonctionnel? Quelles en sont les limites? Quel est le recrutement de la Seine en anguille européenne, qualitativement et quantitativement? Le stock en anguilles européennes dans la Seine évolue-t-il favorablement?*

2016 est la troisième année d'étude sur le dispositif de montaison des anguilles sur la Seine rive gauche, à Poses. Parallèlement aux deux années précédentes, les premiers objectifs seront de tester

la fonctionnalité du dispositif de franchissement, d'estimer le recrutement de la Seine en anguille européenne, de suivre l'évolution temporelle de l'activité migratrice de l'espèce, d'identifier les pics de migration et d'évaluer l'effet potentiel des facteurs environnementaux sur la migration des individus. En complément des suivis réalisés pour la première fois l'année dernière, un suivi de la migration sur 24 heures et une estimation du taux d'efficacité de franchissement de la rampe par la méthode du capture-marquage-recapture permettront également d'évaluer l'efficacité du dispositif mis en place. Une comparaison du stock d'anguilles européennes dans la Seine (rive gauche) sur les trois années sera réalisée. Enfin, le recrutement qualitatif de la Seine sera évalué grâce à l'installation de flottang à l'aval et à l'amont du barrage, ce qui permettra d'évaluer l'efficacité de franchissement du dispositif par les différents stades d'évolution de l'espèce (de civelles à anguillettes).

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA PREMIERE PARTIE

- 19 espèces et sous-espèces du genre *Anguilla* réparties dans le monde
- L'anguille est un **grand poisson migrateur thalassotoque catadrome**
- L'**anguille européenne** (***Anguilla anguilla***):
    - Se reproduit en **mer des Sargasses**
    - Effectue **deux migrations** de plus de **6000 km** à travers l'océan atlantique
        - Une migration de son aire de reproduction jusqu'au plateau continental
        - Une migration génésique catadrome
    - Se répartit le long des côtes ouest du continent européen et nord-ouest du continent africain, en Islande puis dans le bassin méditerranéen
    - Est classée "**en danger critique d'extinction**" par l'IUCN
- **Quatre stades** de développement et **deux métamorphoses**:
    - A l'éclosion des œufs, les **larves leptocéphales** sont entrainées par transport passif grâce aux courants marins jusqu'aux côtes continentales
    - Aux abords du talus continental, elles se métamorphoses en **civelles**
    - Les civelles migrent dans les estuaires et cours d'eau puis se pigmentent pour devenir des **anguillettes pigmentées** puis des **anguilles jaunes** correspondant à la fin de la pigmentation sur l'ensemble du corps
    - Les mâles se concentrent principalement en aval des bassins versants où la densité en anguille est plus importante
    - Les femelles dominent en amont des bassins versants où la densité en anguille est plus faible. Elles sont plus âgées, plus grandes et plus grosses que les mâles
    - L'anguille se métamorphose en **anguille argentée** lorsqu'elle s'apprête à entamer la migration d'avalaison (modifications comportementales, physiologiques et morphologiques)
- L'anguille présente un intérêt écologique et un intérêt économique
- Différentes menaces agissant en synergie expliquent le déclin des anguilles: prédation, agents pathogènes, modifications hydro-climatiques, pêche, obstacles à la migration, altérations de la qualité des habitats, polluants

L'anguille européenne

1. Systématique: *Anguilla anguilla* (Linné, 1758)

La classification biologique de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est la suivante (Blache *& al*., 1973):

Règne	**:** Animales
Embranchement	**:** Cordées
Sous-embranchement	**:** Vertébrés
Super-classe	**:** Ostéichtyens[1]
Classe	**:** Actinoptérygiens[2]
Sous-classe	**:** Néoptérygiens[3]
Infra-classe	**:** Téléostéens[4]
Super-ordre	**:** Elopomorphes[5]
Ordre	**:** Anguilliformes[6]
Sous-ordre	**:** Anguilloides
Famille	**:** Anguillidés
Genre	**:** *Anguilla*[7]
Espèce	**:** *anguilla*

[1] Poissons osseux

[2] Poissons à nageoires rayonnées

[3] Bouche dans la longueur du corps de l'animal; Nombre égal d'os dermiques et de supports de rayons de la nageoire dorsale; Symplectique (os intervenant dans l'articulation de la mâchoire)

[4] Os maxillaire et prémaxillaire mobiles; Nageoire caudale à symétrie apparente

[5] Métamorphose de la larve leptocéphale en un individu morphologiquement différent

[6] Poissons serpentiformes

[7] Nageoires caudales, anales, dorsales continues

2. Diversité du genre *Anguilla*

19 espèces et sous-espèces du genre *Anguilla* sont réparties sur l'ensemble des océans mondiaux (Adam, 2008; Imbert, 2008; Durif, 2003), excepté dans l'atlantique sud (Tsukamoto & Aoyama, 1998). Malgré une distinction de ces genres, des imprécisions résident encore dans le statut taxonomique de l'anguille (Adam *& al*., 2008). En effet, des hybridations entre l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), l'anguille américaine (*Anguilla rostrata*) voire l'anguille japonaise (*Anguilla japonica*) sont souvent observées (Fig.1) (Okamura *& al*., 2004). Une étude a permis d'évaluer, grâce à des analyses génétiques, une proportion considérable de 15,5% d'hydrides (d'anguille européenne avec anguille américaine) en Islande (Albert, 2006). En revanche, entre ces 3 genres *Anguilla,* l'anguille européenne et l'anguille américaine sont les seules représentantes dans le nord de l'Atlantique

(Imbert, 2008) et, alors que leur zone de reproduction se chevauche très probablement (Adam *& al*., 2008), une ségrégation bien établie entre les deux est aujourd'hui mis en évidence notamment grâce aux travaux sur la diversité génétique de Wirth et Bernatchez en 2001 et 2003 (Wirth & Bernatchez, 2001; Wirth & Bernatchez, 2003). Physiquement, elles ne diffèrent l'une de l'autre que par un nombre supérieur de vertèbres pour la première (Imbert, 2008).

<u>Figure 1</u>: Photographies d'une anguille européenne (Anguilla anguilla) (à gauche), d'une anguille américaine (Anguilla rostrata) (au centre) et d'une anguille japonaise (Anguilla joponica) (à droite). Source: ARKIVE et Tansuigyo.

3. Biologie d'*Anguilla anguilla*

3.1. Description concise de l'espèce

L'anguille européenne connait quatre stades de développement au cours de sa vie: d'abord en larve leptocéphale à l'éclosion des œufs, ensuite en civelle puis en anguille jaune et argentée.

La larve leptocéphale (Fig.2) ne mesure que quelques millimètres et est d'une forme en "feuille de saule". Elle est dentée de 3 à 20 dents selon la taille de l'individu et est consommatrice de plancton (Bertin, 1951). La civelle (Fig.2), elle, mesure au début de sa métamorphose 70 à 80 mm, ne s'alimente pas et ressemble morphologiquement à l'anguille adulte mais a un corps transparent qui se pigmente petit à petit (Adam *& al*., 2008; Greenhalgh, 2003).

<u>Figure 2</u>: Photographies d'une larve leptocéphale (à gauche) et de civelles (à droite). Source: ARKIVE.

L'anguille européenne adulte (Fig.3) a un corps serpentiforme. Elle peut mesurer de 40 à 150 cm: la femelle est plus grosse que le mâle et a également une forme de tête plus large. L'anguille

européenne ne possède pas de nageoires pelviennes, en revanche les nageoires dorsale, caudale et anale sont soudées et forment une bande continue le long du corps de l'animal. Les écailles, petites, apparaissent en fonction de la taille de l'anguille (Bruslé & Quignard, 2013), et la peau est recouverte de mucus. Son régime alimentaire est carnivore et son comportement est sédentaire. Dans un premier temps anguille jaune, vivant en rivière et caractérisée en particulier par un ventre jaune ainsi qu'un dos brun olive, de petits yeux et une ligne latérale peu visible, elle se métamorphose avant la dévalaison en anguille argentée ayant des reflets métalliques, un diamètre oculaire plus important et une ligne latérale pigmentée et visible, pour pouvoir entamer la migration en mer (Pecl, 1991; Bruslé, 1994; Greenhalgh, 2003; Adam *& al*., 2008).

Figure 3: Photographie d'une anguille jaune (en haut) et d'une anguille argentée (en bas). Source: Geoffroy GAROT - SEINORMIGR.

3.2. Aire de répartition

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est une espèce amphihaline thalassotoque (Bruslé, 1994; Elie & Rochard, 1994; Adam *& al*., 2008). Elle effectue deux types de migrations: une migration de son aire de reproduction jusqu'au plateau continental et une migration génésique catadrome (Bruslé, 1994).

Son aire de répartition est très vaste (Fig.4) (Imbert, 2008; Durif, 2003). En effet, elle se reproduit dans la mer des Sargasses (Schmidt, 1922 ; Amilhat *& al*., 2016) puis entame une migration de plus de 6000 km à travers l'océan atlantique vers l'est où elle se répartit le long des côtes ouest du continent européen et nord-ouest du continent africain, en Islande puis dans le bassin méditerranéen (Tesch, 2003; Elie & Rochard, 1994). C'est une espèce qui colonise les différents types d'habitats accessibles depuis la mer, ce qui fait d'elle l'espèce ichtyologique occupant la plus grande diversité d'habitats sur l'ensemble du territoire français (Laffaille *& al*., 2003; Laffaille *& al*., 2004).

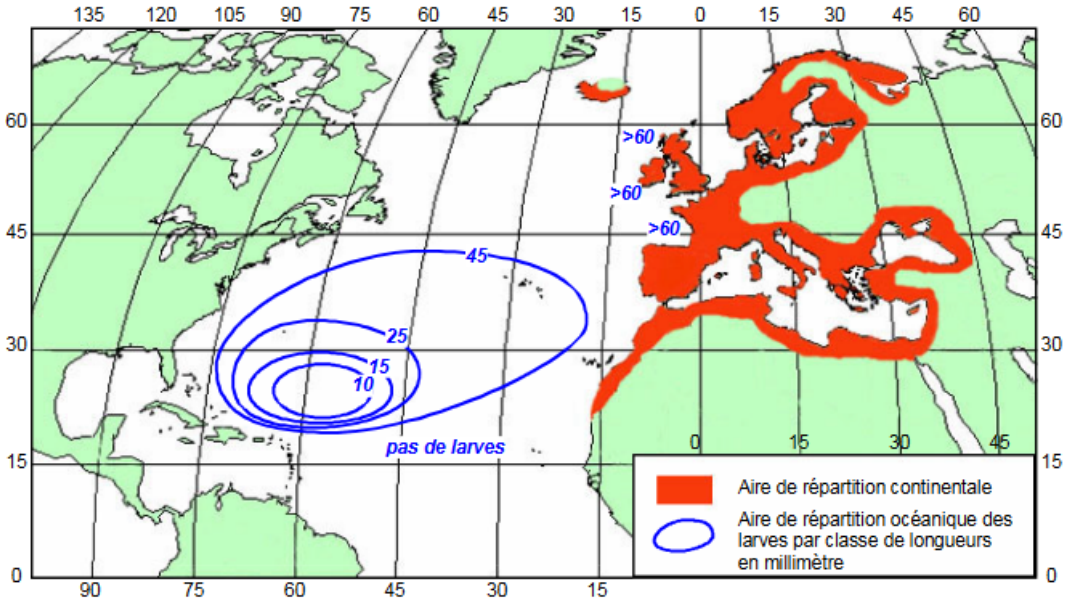


Figure 4: Aire de répartition de l'anguille européenne. Adaptée de Germain (1927) pour l'aire continentale et Schmidt (1922) pour la répartition océanique des larves. Source: Patrick LAMBERT, 2005.

3.3. Cycle biologique

Au début des années 20, les travaux de Schmidt (1923) ont permis d'en savoir plus sur le cycle biologique de l'anguille (Fig.5), notamment de connaître le lieu de frai de l'espèce qui était resté inconnu jusque-là (Als *& al*., 2011). La zone de frai se trouve au sud de la mer des Sargasses et s'étend sur plus de 1000km d'Est en Ouest (Kleckner & McCleave, 1987).

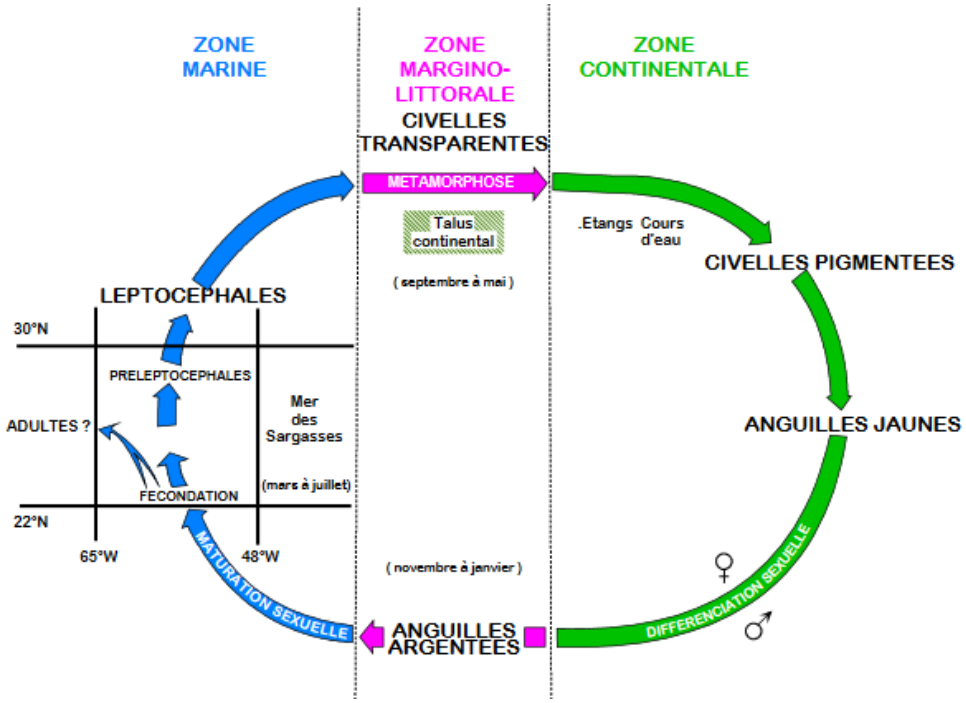


Figure 5: Cycle biologique de l'anguille européenne. Proposé par le groupe national anguille français (Anonyme, 1984). Source: Patrick LAMBERT, 2005.

3.3.1. Stade: Larve leptocéphale

Le cycle de vie de l'anguille européenne est encore à l'heure actuelle marquée par de nombreuses zones d'ombre, particulièrement en milieu marin (Adam *& al.*, 2008; Als *& al.*, 2011). En effet, la reproduction de l'anguille n'a jamais été observée et ni adultes ni œufs n'ont déjà été capturés dans l'aire de frai (Nilo & Fortin, 2001; Als *& al.*, 2011). Le frai a lieu de janvier à juillet (Adam *& al.*, 2008), avec un pic de reproduction en mars (Nilo & Fortin, 2001). Les premières études supposaient que la reproduction s'effectuait à des profondeurs comprises entre 400 et 700 mètres (Schmidt, 1925), mais une anguille a déjà été observée à 2000 mètres de profondeur au large des Bahamas (Robins *& al.*, 1979).

A l'éclosion des œufs, la larve est appelée leptocéphale. Elle est transportée par différents courants océaniques de manière passive, en particulier par le Gulf Stream, jusqu'aux zones côtières et les cours d'eau douce d'Europe et d'Afrique de Nord (Tesch, 2003; Als *& al.*, 2011). Elle parcoure ainsi plus de 6000km (Tesch, 2003). En revanche, elle peut également effectuer des migrations verticales sur plusieurs centaines de mètres (Tesch, 1982).

A l'approche du talus continental, âgée d'environ un an et ayant une taille de 70 à 80mm, la larve leptocéphale se métamorphose en civelle. Ici encore, des incertitudes existent sur l'âge des larves à ce stade (Cieri & McCleave, 2000), car une récente étude a mis en évidence que des particules inertes mettent trois ans pour être transportées par le Gulf Stream entre la mer des Sargasses et les côtes européennes (Kettle & Haines, 2006).

3.3.2. Stade: Civelle (Phase de pénétration: eau continentale)

Différents stades de civelles sont connus (Annexe 1), allant de V_A à VII (Strubberg, 1913; Elie *& al.*, 1982; Lecomte-Finiger, 1983), dont le principal critère de différenciation est le développement de la pigmentation superficielle (Briand, 2003). La cinétique de cette pigmentation dépend de la salinité et de la température de l'eau (Briand *& al.*, 2004).

Lorsqu'elle arrive dans l'estuaire, la civelle, qui est encore transparente, ne s'alimente pas. Elle est, à ce niveau, au stade V_A (Elie *& al.*, 1982). Suivent plusieurs stades, jusqu'au stade VI_{A4}, où la civelle commence entre autres à s'alimenter. Elle est au stade V_B quand des tâches pigmentaires cérébrales et caudales apparaissent et sont distinctes, et c'est à ce niveau que les civelles sont alors les plus abondantes en estuaires entre eau salée et eau douce (Briand *& al.*, 2005; Laffaille *& al.*, 2007). Au stade VI_B, la civelle est totalement pigmentée (Briand, 2009).

Au stade VII, la civelle est devenue anguillette, avec l'apparition des pigments jaunes et le développement d'un comportement de plus en plus benthique (Briand, 2009).

3.3.3. Stade: Anguille jaune (Phase de colonisation: eaux estuariennes et continentales)

Le comportement de la civelle change alors, et passe d'un type pélagique et passif à un type actif et autonome. Le stade anguille jaune correspond à la fin de la pigmentation sur l'ensemble du corps (Imbert, 2008). Une partie des civelles va migrer vers l'amont, alors que l'autre partie va se sédentariser dans les parties basses des fleuves et des estuaires, voire dans les eaux de transition littorale (espaces lagunaires, marais salés) (Daverat *& al*., 2006). En aval des bassins versants, la densité en anguille est la plus importante et est composée majoritairement de mâles. A l'inverse, en amont des bassins versants, la densité est plus faible avec une dominance de femelles qui sont plus âgées, plus grandes et plus grosses (Pecl, 1991; Greenhalgh, 2003; Adam *& al*., 2008). Il faut cependant faire attention car cette disposition n'est pas vérifiée dans les bassins versants de faible dimension (Laffaille *& al*., 2003). Cette phase de croissance dure plusieurs années (Imbert, 2008), en effet, 8 à 12 ans peuvent séparer les deux types de migration (Bruslé, 1994), et lorsque les anguilles jaunes ont atteint une taille suffisante elles se métamorphosent en anguille argentée (Oliveira, 1999).

3.3.4. Stade: Anguille argentée (Phase de migration: eau douce vers eaux marines)

Pendant cette phase, l'anguille connait des modifications comportementales, physiologiques et morphologiques (Durif, 2003; Acou *& al*., 2005; Van Ginneken *& al*., 2007). Une anguille jaune se métamorphose en anguille argentée lorsqu'elle a atteint une certaine taille. La croissance des anguilles dépend de plusieurs paramètres environnementaux, par conséquent une anguille jaune peut se transformer en anguille argentée plusieurs années après une autre anguille du même âge vivant dans des conditions différentes (Adam *& al*., 2008).

La dévalaison se fait pendant tous les mois de l'année, avec une intensification différente selon les saisons, la latitude et la présence ou non d'obstacles (Feunteun *& al*., 2000). Un pic de migration est tout de même observé en automne dû à l'augmentation des débits (Bruslé & Quignard, 2013). En effet, les paramètres environnementaux comme le débit ou encore la température (etc.) ainsi que les rythmes lunaires jouent un rôle sur le déclenchement de la dévalaison (Durif, 2003). Les femelles migrent à un âge plus important et à une taille plus grande que les mâles (Acou *& al*., 2005).

4. Intérêt de l'espèce

4.1. Intérêt écologique

L'anguille européenne est considérée comme un bio-intégrateur de la qualité de l'environnement et comme une espèce parapluie (Feunteun, 2002). Etant sensible aux pollutions diffuses, l'abondance d'anguilles européennes dans un cours d'eau indique une excellente qualité physico-chimique de l'eau. C'est également une espèce bio-accumulatrice. Au cours de sa croissance continentale, elle stocke des PCB dans ses réserves lipidiques (Robinet & Feunteun, 2002). De plus, sa présence dans un milieu prouve l'existence d'une grande diversité d'habitats (marais, plaines d'inondation des vallées fluviales, zones apicales des cours d'eau, etc.) (Baisez & Laffaille, 2005).

4.2. Intérêt économique

L'anguille européenne représente une ressource économique importante. En effet, elle est exploitée à tous ces stades biologiques (civelles à anguilles argentées) (Imbert, 2008).

Les civelles sont exportées vers l'Asie (Imbert, 2008) où la demande est très importante. Les prix sont très élevés et peuvent atteindre 600 à 700 €/kg pour des civelles vivantes (Adam *& al*., 2008).

Les anguilles adultes, elles, font l'objet d'un marché local et national (Imbert, 2008).

Il y a également un important marché dû au braconnage, en particulier sur la civelle (Adam *& al.,* 2008).

5. Menace

L'effectif de l'anguille européenne ont fortement chuté dans la majorité des bassins versants ces dernières années (Adam *& al*., 2008). Cette espèce est alors classée "en danger critique d'extinction" depuis 2008 (UICN France *& al*., 2010).

Les facteurs expliquant le déclin des anguilles agissent en synergie (Baisez & Laffaille, 2005; Bruslé, 1994).

5.1. Menaces naturelles

5.1.1. Prédation

Différents prédateurs de l'anguille européenne (selon les stades physiologiques) sont observées (Bruslé, 1994).

Plusieurs espèces de poissons peuvent s'attaquer aux larves leptocéphales, tels que le thon (*Thunnus sp.*), l'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) ou encore le congre (*Conger conger*). En ce qui concerne les civelles, il s'agit plus particulièrement du bar commun (*Dicentrarchus labrax*) et des truites (*Salmo trutta*) (Bruslé, 1994).

Les prédateurs des anguilles jaunes sont majoritairement des oiseaux comme par exemple les cormorans (Fig.6) ou les mouettes , mais aussi des mammifères comme la loutre (Bruslé, 1994).

Figure 6: Photographie d'un cormoran ayant pêché une anguille jaune. Source: ARKIVE.

5.1.2. Agents pathogènes

Plusieurs parasites peuvent être hébergés par les anguilles. Par exemple, dans un lac danois, 46 espèces de parasites ont été identifiées comme utilisant les anguilles pour hôte (Koie, 1988). Ils peuvent être protozoaires, trématodes, cestodes, acanthocéphales, nématodes, crustacés, acariens (Bruslé, 1994).

Anguillicola crassus (Fig.7), parasite spécifique des anguilles responsable de l'anguillicolose, a été introduite en Europe suite à l'importation d'anguilles japonaises (*Anguilla japonica*) en Méditerranée (Peters & Hartmann, 1986). Ce ver nématode provoque des lésions dans la vessie gazeuse et il s'y reproduit (Adam *& al*., 2008). Après plusieurs infestations, la paroi de la vessie natatoire devient moins fonctionnelle et n'assure plus l'équilibre hydrostatique lors de la migration transocéanique (Möller *& al*., 1991).

Figure 7: Photographies du parasite *Anguillicola crassus*. A droite: parasites dans le corps d'une anguille. Source: Dan MINCHIN, 2008.

5.1.3. Modifications hydro-climatiques

Le recrutement en civelles dans les bassins versants est influencé par les hauteurs d'eau et les débits d'eau. Les fluctuations climatiques, thermiques et hydrométéorologiques, peuvent donc expliquer certaines variations quantitatives du recrutement (Bruslé, 1994).

Aussi, les modifications du Gulf Stream pourraient avoir d'importantes conséquences sur la migration des larves.

5.2. Menaces anthropiques

5.2.1. Pêche

Tous les stades de l'anguille (civelle, anguillette, anguille jaune, anguille argentée) sont exploités. Il est estimé que 20000 tonnes d'anguilles en moyenne sont exploitées par an dans le monde entier, ce qui représente environ 2 milliards d'individus par an en Europe (Dekker, 2000).

La pêcherie civellière, notamment française et espagnole, est d'une grande importance socio-économique, particulièrement pour les petites pêches côtières (Prouzet *& al*., 2002). En Asie, et plus particulièrement en Chine, la demande en civelles est très importante. Les prix au kilogramme de civelles vivantes peuvent atteindre entre 600 et 700€ (Adam *& al*., 2008).

La pêche, présente sur l'ensemble des stades continentaux (Dekker, 2003a), n'est pas le phénomène ayant déclenché la diminution de l'abondance d'anguilles (Prouzet, 2003) mais elle y a contribué et l'a amplifié car la pression de capture des individus n'a pas été adaptée assez vite à la chute des effectifs (Adam *& al*., 2008).

5.2.2. Artificialisation (anthropisation)

Dans les bassins versants fortement artificialisés, la chute des densités en anguilles européennes est plus importantes que dans les bassins versants où l'impact anthropique est moins fort (Lobon-Cervia *& al*., 1995).

Différents facteurs anthropiques agissent en synergie selon les bassins versants (Adam *& al*., 2008).

5.2.2.1. Obstacles à la migration

Plus de 25000 grands barrages ont été édifiés dans le monde entier au cours du XXème siècle, et ce pour diverses raisons (eau potable, irrigation, électricité, navigation, etc.) (Adam *& al*., 2008). En Europe, près de 65% du débit des rivières est régulé et la construction de barrages est de plus en plus importante depuis la seconde guerre mondiale (Anonyme, 2003).

Une des causes les plus importantes quant à la diminution de l'effectif en anguille européenne dans son aire de répartition est la réduction de l'accessibilité des habitats. La mise en place d'obstacles

(comme par exemple des barrages) fragmentent les habitats et bloquent l'accès à l'amont des cours d'eau (Adam *& al*., 2008). Les barrages provoquent une déconnexion entre les milieux aquatiques et réduisent la quantité d'habitats disponibles, et ont donc fortement contribué à ce déclin (Baisez, 2005).

Des passes à poissons ont été construites pour faciliter le franchissement des barrages par les poissons migrateurs potamotoques lors de leurs remontées vers l'amont mais elles ne sont pas utilisables par les anguilles et peu de systèmes spécifiques aux anguilles ont été aménagés, encore à l'heure actuelle (Adam *& al*., 2008; Briand *& al*., 2005).

De plus, ces barrages entravent la migration d'avalaison des anguilles argentées (Dekker, 1987) où elles meurent mutilées dans les turbines hydroélectriques (Boubée *& al*., 2001; Winter *& al*., 2006).

5.2.2.2. Altérations de la qualité des habitats

Les travaux, tels que les dragages, extractions de granulats, remodelages des lits de rivières, drainages des zones humides, etc., perturbent les populations d'anguilles qui sont sensibles à la qualité du substrat sur lequel elles vivent. Les conséquences sont les mêmes pour les travaux modifiant les conditions hydrologiques tel que l'accroissement de la salinité entre autres (Bruslé, 1994).

La dégradation de la qualité des habitats est défavorable à l'anguille européenne (Laffaille *& al*., 2004) et plus particulièrement la diminution de la surface des zones humides (Baisez, 2001). L'augmentation de l'utilisation de pesticides en agriculture, notamment dans les zones humides, entrainent les particules polluantes dans les cours d'eau (Adam *& al*., 2008). En plus des pesticides, la pollution dans les cours d'eau peut être due aux développements des industries libérant des PCB (pourtant aujourd'hui interdits mais toujours présents) et des retardateurs de flammes dans les milieux aquatiques (Adam *& al*., 2008). En effet, l'anguille accumule dans ses graisses différents types de contaminants (chlorobiphényls, métaux lourds, pesticides organochlorés, etc.) (Adam *& al*., 2008). Cette contamination pourrait avoir un effet sur le déclenchement précoce de l'argenture et donc de la migration d'avalaison avant même que l'anguille ait eu le temps de stocker l'énergie nécessaire pour entamer la migration transocéanique. Aussi, le niveau de contamination par les polluants chez l'anguille entraine une diminution de la fécondité des anguilles, voire à une stérilisation pour les niveaux très élevés (Robinet & Feunteun, 2002).

5.2.2.3. Introduction d'espèces exotiques (animales et végétales)

Plusieurs espèces invasives peuvent entraver la bonne migration des anguilles européennes. Parmi elles, le crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) (Fig.8) ou encore l'écrevisse de Floride (*Procambarus clarkii*) qui colonise abondamment les zones en aval des bassins versants. Les espèces végétales exotiques

peuvent aussi jouer un rôle négatif sur l'ascension des anguilles, comme la jussie (*Ludwigia sp.*) et le myriophylle (*Myriophyllum aquaticum*) qui envahissent les canaux d'irrigation. De plus, pour ces dernières, de grandes quantités de désherbants étaient utilisées pour les éradiquer, sans pour autant être une méthode efficace, polluants ainsi les eaux (Adam *& al*., 2008).

Figure 8: Photographie d'un crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) retrouvé dans la Seine en aval du barrage de Poses.

5.2.2.4. Polluants

Plusieurs substances chimiques xénobiotiques sont toxiques pour les anguilles: métaux-lourds, pesticides, hydrocarbures, détergents, phénols, contaminations multifactorielles, parasites allochtones (Bruslé, 1994).

La Seine parcoure un bassin fortement urbanisé concentrant de nombreuses activités industrielles et agricoles. Ainsi, dans les eaux, dans les sédiments mais aussi dans les organismes vivants sont retrouvés de nombreux contaminants chimiques tels que les métaux lourds, les pesticides, le PCB, etc. (Fisson, 2014).

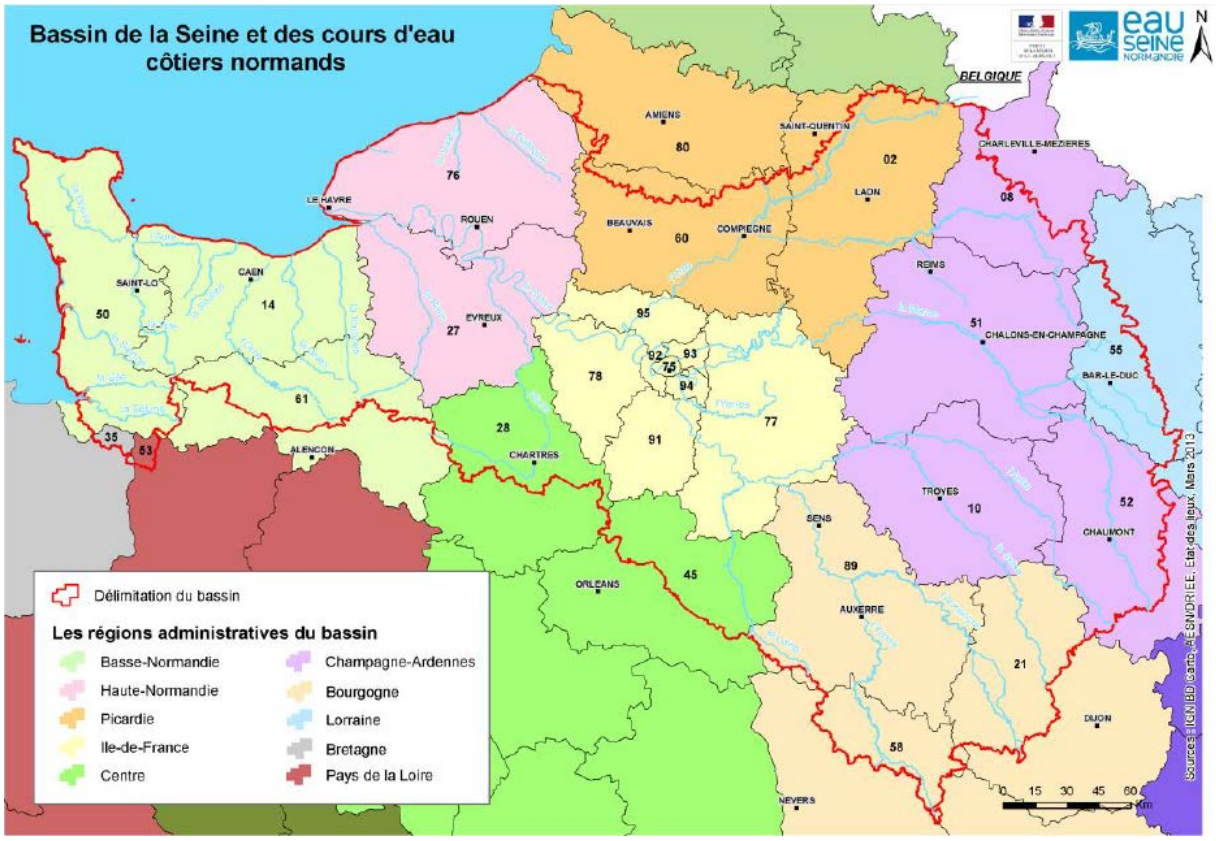
POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA SECONDE PARTIE

- Le **Bassin Seine-Normandie** (ou Bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands) regroupe deux ensembles: le bassin de la Seine et l'arc normand
- Il représente 18% du territoire français: sa superficie est de 94500 km² et il s'étend sur 640 km de littoral
- Le bassin versant de la Seine correspond à 82,5% du Bassin Seine-Normandie, soit 78000 km²
- Il est composé de 55000 km de cours d'eau
- 18/09/2007, le Conseil de l'Union Européenne adopte le règlement (CE) n° 1100/2007, instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes par l'élaboration d'un **Plan de Gestion Anguille**
- L'objectif de chaque plan de gestion est "de réduire la mortalité anthropique afin d'assurer [...] un taux d'échappement vers la mer d'au moins 40% de la biomasse d'anguilles argentées [...]"
- En France, le plan de gestion anguille se divise en deux axes: une approche globale et une approche territoriale divisé en 9 Unités de Gestion Anguilles (UGA)
- Pour l'**UGA Seine-Normandi**e, le plan de gestion anguille se décline en 3 axes majeurs: monitoring, repeuplement et mise en conformité des ouvrages

La Bassin Seine-Normandie

1. Présentation du Bassin Seine-Normandie

Le bassin Seine-Normandie (ou bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands) (Fig.9) regroupe deux ensembles qui sont le bassin de la Seine et l'arc normand qui est constitué des cours d'eau côtiers et des affluents de l'estuaire de la Seine (de la Bresle en Haute-Normandie à la Sélune en Basse-Normandie). Il représente 18% du territoire français, correspondant à une surface de 94500km² et il s'étend sur 640km de littoral. Ce bassin, qui s'étend sur 9 régions, 25 départements et 8720 communes, regroupe près de 18,3 millions d'habitants, soit 30% de la population métropolitaine, avec une concentration plus importante sur la région Ile-de-France (65% de la population de ce territoire) (SDAGE, 2014; COGEPOMI, 2011).



<u>Figure 9</u>: Délimitation du bassin Seine-Normandie et des cours d'eau côtiers normands. Source: IGN BD Carto, ASEN/DRIEE, Etat des lieux, Mars 2013 (SDAGE, 2014).

2. Hydrologie du Bassin Seine-Normandie

Le réseau hydrographique du bassin Seine-Normandie est composé de 55000km de cours d'eau. La Seine parcourt environ 780km, de sa source sur le plateau de Langres en Côte-d'Or jusqu'à ce qu'elle se jette dans la Manche entre Le Havre et Honfleur. Ce fleuve draine un bassin versant de 78000km², correspondant à 82,5% du Bassin Seine-Normandie (SDAGE, 2014).

3. Gestion des poissons migrateurs

3.1. Prise de conscience de la menace sur l'anguille européenne

Déclarée auparavant comme nuisible dans les cours d'eau de 1ère catégorie piscicole jusqu'en 1984 (UICN France *& al*., 2010; Imbert, 2008), le Groupe National Anguille, à cette même date, avait tiré la sonnette d'alarme en mettant en évidence la diminution des stocks de civelles capturées en France en concluant que l'espèce pouvait être menacée (Groupe National Anguille, 1984; Imbert, 2008). Puis en 1992, elle est classée comme "vulnérable" dans le livre rouge des espèces menacées de poissons d'eau douce de France (Keith *& al*., 1992). C'est alors en 1998 que le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) recommande de limiter "au plus bas niveau possible" la pêche, alors considérée de non durable, de cette espèce car elle est "en dehors de ces limites biologiques de sécurité" (Anonyme, 1998; Baisez & Laffaille, 2005; Conseil de l'Union Européenne, 2007). L'abondance de cette espèce diminuant d'année en année (Vecchio & Roussel, 2010), le CIEM recommande en 2002 la mise en place d'un programme de reconstitution du stock d'anguille en urgence (Baisez & Laffaille, 2005; Conseil de l'Union Européenne, 2007). L'anguille européenne est aujourd'hui inscrite comme "En danger critique d'extinction" sur la liste rouge des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) en France ainsi qu'au niveau mondial, et est classée depuis le 13 mars 2009 en annexe II de la Convention sur le commerce international des espèces de la faune et de la flore sauvages menacées d'extinction (UICN France *& al*., 2010). Le 18 septembre 2007, le Conseil de l'Union Européenne adopte le règlement (CE) n° 1100/2007, instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes par l'élaboration d'un plan de gestion de l'anguille. L'objectif de chaque plan de gestion, défini par l'article 2.4., est "de réduire la mortalité anthropique afin d'assurer avec une grande probabilité un taux d'échappement vers la mer d'au moins 40% de la biomasse d'anguilles argentées correspondant à la meilleure estimation possible du taux d'échappement qui aurait été observé si le stock n'avait subi aucune influence anthropique" (Conseil de l'Union Européenne, 2007; Bevacqua *& al.*, 2015). Pour cela, les Etats membres doivent recenser puis définir les différents bassins hydrographiques situés sur leur territoire constituant un habitat naturel pour l'anguille européenne (article 2.1.), pour enfin communiquer à la Commission un ou plusieurs plans de gestion au plus tard le 31 décembre 2008 (article 4.1.) (Conseil de l'Union Européenne, 2007). Conformément à l'article 2.3., la France a

établi un plan de gestion anguille approuvé par la Commission Européenne le 16 février 2010 (République Française, 2015).

3.2. Le plan de gestion anguille en France

En France, le plan de gestion anguille se divise en deux axes: une approche globale et une approche territoriale qui sont en étroite relation. La partie principale qui est réalisée à l'échelle nationale a pour objectif de répondre aux principales exigences du règlement européen pour proposer un cadre de travail homogène et la partie territoriale permet de prendre en compte les caractéristiques de chacun des territoires ainsi que les moyens techniques et humains disponibles. Ce deuxième niveau est constitué en neuf annexes correspondant aux neuf unités de gestion de l'anguille (UGA) du plan de gestion (Fig.10): UGA Rhin-Meuse, UGA Bretagne, UGA Loire, UGA Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre, UGA Adour-Cours d'eau côtiers, UGA Rhône-Méditerranée, UGA Corse, UGA Artois-Picardie et UGA Seine-Normandie (République Française, 2010).

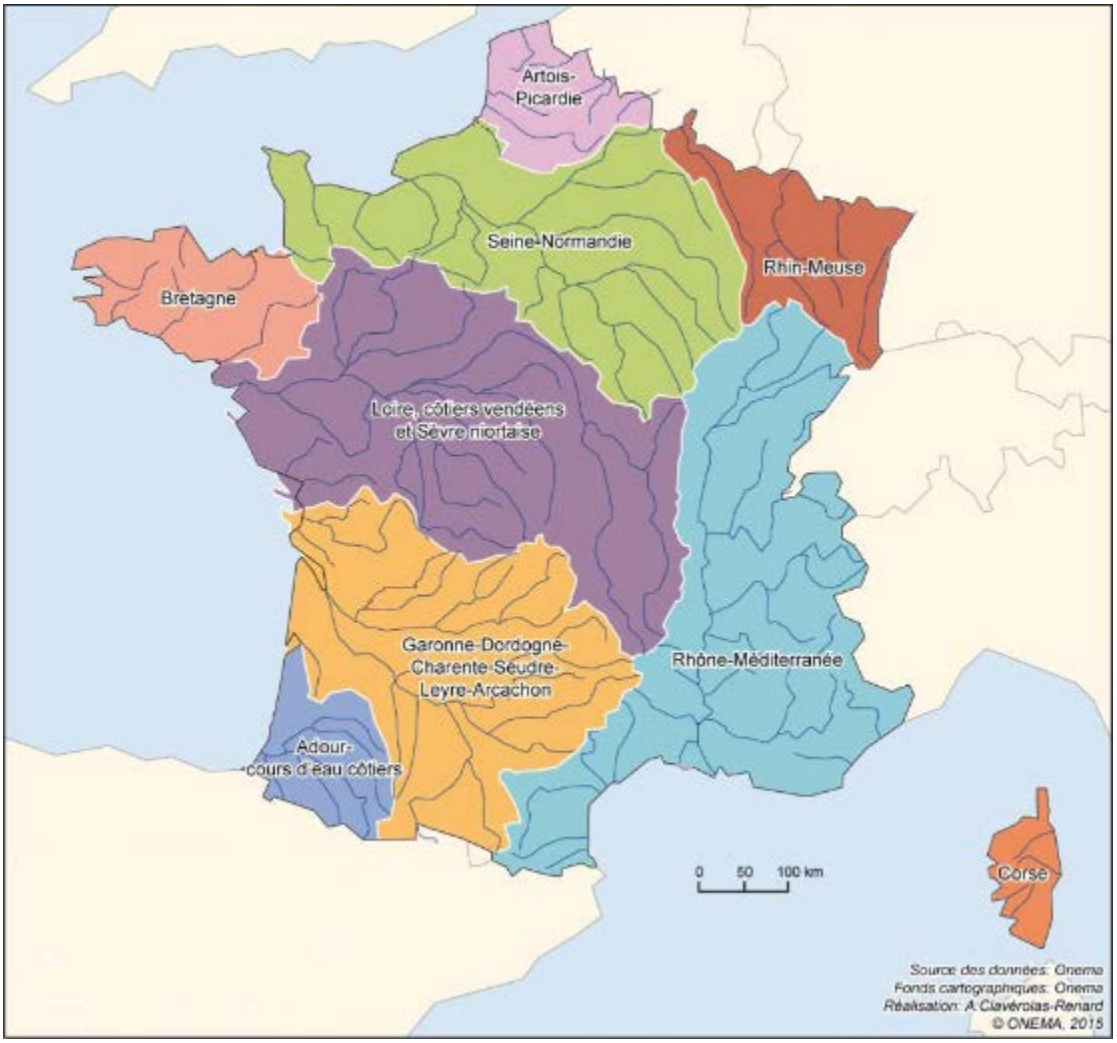


Figure 10: Délimitation des neufs unités de gestion de l'anguille (UGA). Source: ONEMA, 2015.

3.2.1. Le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI)

Un COGEPOMI couvre chaque grand bassin fluvial où sa compétence s'étend sur l'ensemble des cours d'eau présents sur le bassin et a pour mission d'encadrer la gestion des populations amphihalines (COGEPOMI, 2011).

3.2.2. Le Plan de Gestion des Poisons Migrateurs (PLAGEPOMI)

Un PLAGEPOMI est élaboré par chaque COGEPOMI et il détermine pour cinq ans, entre autres, les mesures utiles à la conservation et au cycle de vie du poisson (reproduction, développement, circulation), les modalités d'estimation des stocks et d'estimation de la quantité pouvant être pêchée, etc.

Le bassin Seine-Normandie est actuellement à son cinquième plan de gestion. Les plans précédents sont les suivants:

- 1995-1999: plan arrêté le 21 février 1995
- 2000-2005: plan arrêté le 8 décembre 1999
- 2006-2010: plan arrêté le 29 mai 2006
- 2011-2015: plan arrêté le 18 avril 2011
- 2016-2021 (plan de gestion actuel)

(COGEPOMI, 2011).

3.2.3. Le plan de gestion anguille

La France a mis en place un plan national de gestion de l'anguille sur trois ans renouvelable (2009-2012, 2012-2015, 2015-2018), suite au règlement anguille européen (n°1100/2007) du 18 septembre 2007.

A court terme, l'objectif est d'agir sur les principaux facteurs de mortalité, pour, à long terme, assurer un taux d'échappement d'au moins 40% de la biomasse pristine (correspondant à la biomasse théorique dans l'hypothèse où les contraintes anthropiques sur le milieu seraient absentes. Dans ce cas, cette biomasse théorique étant difficilement estimable, la biomasse observée dans les années 80 sert de référence) vers la mer. En parallèle de ces objectifs, la qualité des habitats, de l'eau et des sédiments sera améliorée pour assurer la reconstitution des stocks d'anguilles.

Différentes stratégies sont utilisées pour mener à bien ce plan de gestion anguille:

- Sur la pêche légale
    - Améliorer l'encadrement des différentes classes de pêcheurs
    - Améliorer le suivi des prélèvements

    - Réduire la mortalité par pêche de 30% en trois ans (sur chaque stade biologique)
- Sur les barrages
    - Améliorer la connaissance sur le franchissement des anguilles (biologie et technique)
    - Développer des techniques de franchissement fonctionnels
    - Aménager les ouvrages prioritaires pour améliorer la colonisation des anguilles vers les bassins versants et réduire la mortalité liée au turbinage (dû aux usines hydroélectriques)
    - Mise en normes des ouvrages
- Sur les pollutions et les habitats
    - Atteindre les objectifs DCE
    - Améliorer les mesures prises concernant la restauration des zones humides et la pollution des sédiments (mesures importantes pour les anguilles)
- Sur le braconnage
    - Renforcer l'encadrement et les obligations des opérateurs
    - Mettre en place une traçabilité des produits
- Sur le repeuplement
    - Réserver jusqu'à 60% des captures de civelles au repeuplement
    - Sélectionner les zones les plus favorables pour le repeuplement
    - Mise en place d'un suivi des taux de survie des civelles déversées

(COGEPOMI, 2011).

Sur l'estuaire de la Seine, ce plan de gestion se décline en 3 axes majeurs: monitoring, repeuplement et mise en conformité des ouvrages (Garot, 2012).

3.2.3.1. Monitoring

Sur le bassin Seine-Normandie, le programme de monitoring est assuré par l'association SEINORMIGR. L'objectif de ce suivi est d'estimer le stock d'anguilles jaunes présent sur l'UGA Seine-Normandie, de suivre son évolution ainsi que la dynamique des populations spécifiques aux cours d'eau. 137 stations de mesure d'abondance réparties sur 18 cours d'eau font partie du réseau de surveillance anguille sur l'ensemble de l'UGA Seine-Normandie (Garot, 2012).

3.2.3.2. Repeuplement

La pêche de civelles est aujourd'hui autorisée qu'aux pêcheurs professionnels et est restreinte à un quota dont 60% est réservé au repeuplement (Conseil de l'Union Européenne, 2007). Pour la campagne 2015-2016 le quota de capture de civelles des marins pêcheurs sur l'UGA Seine-

Normandie était de 1726kg dont 690kg pour la consommation et 1036kg pour le repeuplement (http://www.lepecheurprofessionnel.fr/index.php/le-coin-de-l-anguille/civelles-2015-2016).

3.2.3.3. Mise en conformité des ouvrages

L'objectif de la mise en conformité des ouvrages hydroélectriques est de réduire la mortalité des anguilles notamment celle liée aux turbines. Sur le bassin Seine-Normandie, 42 équipements hydroélectriques correspondent à des turbines en activités et révèlent différents problèmes: 93% des prises d'eau étudiées possèdent des grilles trop espacées, 56% des prises d'eau étudiées possèdent des grilles à inclinaison défavorable, 56% des prises d'eau étudiées ne possèdent pas d'exutoire pour la dévalaison et 66% des exutoires sont insuffisamment alimentées (Garot, 2012).

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA TROISIEME PARTIE

- Le **barrage de Poses** a été créé en 1885 dans le département de l'Eure, entre la commune de Poses en rive gauche et la commune d'Amfreville-sous-les-monts en rive droite
- Il est localisé à 160 km de l'embouchure de l'estuaire
- Il marque la fin de l'estuaire et le pied de l'ouvrage matérialise la limite de la marée dynamique
- Il représente le **premier obstacle à la migration** des anguilles sur la Seine
- En rive droite:
    - Présence de deux écluses parallèles
    - Construction d'une passe à poissons intégrant des rampes à anguilles (fin des travaux en septembre 2016)
- En rive gauche:
    - Usine hydroélectrique (HYDROWATT) construit en 1991 comprenant 4 turbines
    - Mise en conformité de l'usine la même année: création d'une passe à poissons et d'une chambre d'observation permettant la mise en place d'un système de vidéo-comptage
    - Depuis 2013, un système de **rampes à anguilles** surmonte la passe à poissons

Site d'étude: La barrage de Poses/Amfreuille-sous-les-monts

1. Présentation du barrage

Le barrage de Poses, créé en 1885, est situé dans le département de l'Eure entre la commune de Poses en rive gauche et la commune d'Amfreville-sous-les-monts en rive droite. Localisé à 160 km de l'embouchure de la Seine, le barrage de Poses marque la fin de l'estuaire et le pied de l'ouvrage matérialise la limite de la marée dynamique. Il représente également le premier obstacle à la migration des anguilles sur la Seine (Fig.11).

<u>Figure 11</u>: Localisation et vue aérienne du barrage de Poses. Source: GéoPortail.

Le barrage est d'une longueur de 245m et au total, en comprenant les écluses et l'usine hydroélectrique, il est d'une longueur de 470m. En effet, en rive droite du barrage se trouve deux écluses parallèles assurant le passage des bateaux en Seine. Sur cette même rive, une passe à poissons intégrant des rampes à anguilles est actuellement en travaux et devrait être fonctionnelle en septembre 2016. En rive gauche du barrage a été construit en 1991 une usine hydroélectrique (HYDROWATT) comprenant au total quatre turbines. La même année, la mise en conformité de l'usine a permis la création d'une passe à poissons et d'une chambre d'observation permettant la

mise en place d'un système de vidéo-comptage. Depuis 2013, un système de rampes à anguilles surmonte la passe à poissons.

2. Passe à poissons et chambre d'observation

Afin d'améliorer la libre circulation des poissons au niveau du barrage de Poses, l'installation d'une passe à poissons a été imposée comme mesure d'accompagnement de l'usine hydroélectrique. Il s'agit d'une passe à bassins successifs d'une longueur de 86m, constituée de 23 bassins avec un dénivelé de 30cm entre chaque bassin (Annexe 2).

La chambre d'observation est composée en deux parties avec deux buts distincts. La première est le seinoscope, munie de trois baies vitrées, qui permet l'accueil du public avec des rôles pédagogiques et de sensibilisation. La deuxième est une salle de vidéo-comptage, pour l'aspect scientifique, où est installée un système de caméra permettant d'assurer le suivi de montaison des communautés piscicoles de la Seine.

Enfin, un dispositif de passe à anguilles surmonte la passe à poissons depuis 2013, construit par le bureau d'études FishPass (Annexe 3). Ce système assure la franchissabilité du barrage par les anguilles en montaison (ce qui n'était pas assuré par la passe à poissons en elle-même) et permet, par l'installation d'une cuve piège, de fournir des données qualitatives et quantitatives sur la migration de l'espèce afin d'estimer le recrutement fluvial de l'anguille sur la Seine.

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA QUATRIEME PARTIE

- La **passe à anguilles** est constituée en 3 parties: une partie aval, un canal de liaison et une partie amont
- Un **vivier**, situé à la fin du dispositif, permet la capture des anguilles
- Le suivi de la passe à anguilles est assuré depuis **2014**
- Cette année, le suivi de l'activité de montaison s'est fait à partir du **1er avril 2016**
- Le piège est relevé tous les jours, hors week-end et jours fériés
- Les anguilles sont séparées en 3 catégories grâce à l'utilisation de deux tamis
- Les individus sont **pesés** et **mesurés** par lot de 50
- Les paramètres environnementaux étudiés sont: la température, la teneur en oxygène, la hauteur d'eau, le débit, le coefficient de marée
- Des **flottangs** ont été utilisés pour mettre en évidence la présence ou non d'individus plus petits/jeunes en aval du barrage
- Pour évaluer le taux d'efficacité du dispositif, deux campagnes de c**apture-marquage-recapture** ont été réalisées à l'aide du marquage **Visible Implant Elastomer** (**VIE**): pour la première les individus ont été relâchés 200 mètres en aval du barrage (*difficulté des individus à trouver la première rampe?*) et pour la deuxième les individus ont été relâchés directement dans la passe à anguilles (*difficulté des individus à franchir le dispositif?*)
- En complément, un suivi sur 24 heures a été réalisé pour déterminer le temps nécessaire aux anguilles à franchir le dispositif

Matériels et méthodes

1. Rive gauche – Poses

1.1. Dispositif de franchissement et de piégeage

La passe à anguilles (Fig.12), en rive gauche du barrage hydroélectrique, est superposée à la passe à poissons. Elle est d'une longueur de 61 mètres et est constituée en 3 parties:

- Une partie aval: au pied du barrage hydroélectrique, où les anguilles débutent leur ascensions
- Une partie amont: sur la passe à poissons, où les relevés du piège sont effectuées
- Un canal de liaison: reliant la partie aval à la partie amont

Le système aval est constitué de trois rampes inclinées à 45° recouvertes d'un substrat de type mixte pour permettre le passage d'un large intervalle de taille d'anguilles. Au centre, les brosses sont resserrées pour permettre le passage des petites anguilles, alors qu'aux extrémités l'espacement entre les brosses est plus important pour favoriser le passage des plus gros individus. La rampe la plus en aval du dispositif est située à la cote de 1,50 m NGF (Nivellement Général de la France), ce qui permet à la rampe d'être immergée constamment même lors grosses marées. Au-dessus, une gouttière de débit d'attrait y est disposée pour attirer les anguilles. Chacune des trois rampes sont séparées les unes des autres par un bassin de repos pour permettre aux anguilles de se reposer avant d'entamer l'ascension de la rampe suivante. La dernière des rampes de ce système aval est surmontée d'un collecteur muni d'un répartiteur, assurant l'irrigation des rampes et du canal de liaison (grâce à une pompe immergée dans la passe à poissons) et entrainant les anguilles vers le canal de liaison.

La canal de liaison est d'une longueur de 56 m et présente une pente négative de 2 cm/m. Il relie le système aval, au niveau du premier collecteur, au système amont où il débouche dans un deuxième collecteur.

Le système amont est constituée d'une rampe inclinée à 35° recouverte d'un substrat du type mixte. Cette rampe relie le deuxième collecteur à un deuxième répartiteur permettant la capture des anguilles et l'irrigation (grâce à une deuxième pompe immergée dans un ancien bassin de piégeage) de la rampe et du vivier où tombent les anguilles. Dans les périodes de non suivi des anguilles, les anguilles sont orientées dans la seine en amont du barrage grâce à un système de canalisation situé

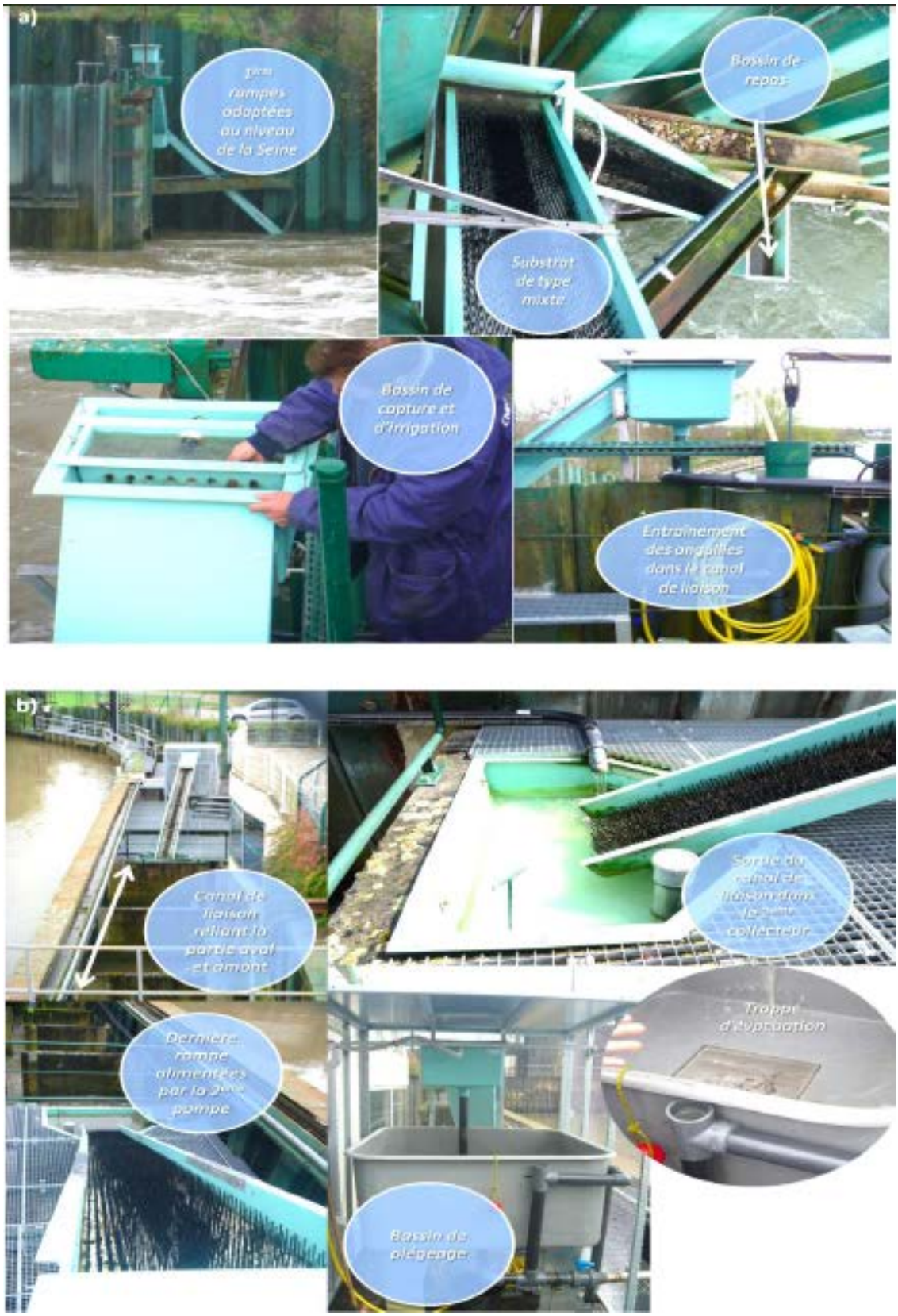


Figure 12: **Photographies du dispositif de rampes à anguilles. a) = Partie aval , b) = Partie amont. Source: Geoffroy GAROT - Seinormigr.**

sous le vivier. En revanche, pour permettre le suivi des anguilles, le système de canalisation est filtré et les anguilles sont stockées dans un filet située dans le vivier.

(Fish-Pass, 2013).

1.2. Fréquence de suivi du piège

Le suivi de la passe à anguilles est assuré depuis 2014, année de construction du dispositif. Les résultats des deux années précédentes et l'analyse des enregistrements de vidéo-comptage de 2008 à 2013 indiquent une migration des anguilles au niveau de Poses à partir de mi-avril. Pour ces raisons, le suivi de l'activité de montaison s'est fait à partir du 1er avril 2016. Le piège est relevé tous les jours, hors week-end et jours fériés.

1.3. Entretien du dispositif de piégeage

Afin d'assurer un bon fonctionnement du dispositif de piégeage, une vérification et un nettoyage du système sont réalisés à chaque relevé du piège. Les vérifications consistent à s'assurer que:

- Les pompes aval et amont fonctionnent
- Les débits d'eaux, dans les répartiteurs et le canal de liaison, soient suffisants
- Les rampes soient alimentées en eau
- Le deuxième collecteur ne déborde pas
- L'armoire électrique fonctionne correctement

Le nettoyage consiste à:

- Enlever le limon et autres débris s'accumulant dans le deuxième collecteur
- Enlever le limon et autres débits s'accumulant dans le vivier
- Nettoyer les crépines dans le deuxième collecteur
- Débarrasser les répartiteurs des débris pouvant s'y accumuler et qui gênent la bonne répartition des eaux

1.4. Paramètres environnementaux

Lors de chaque relevé de piège, différents paramètres environnementaux sont enregistrés, afin de permettre d'évaluer l'effet de ces facteurs sur la migration des anguilles.

1.4.1. Température

Les températures de l'air, de la Seine, du deuxième collecteur et du vivier sont relevées tous les matins, à l'aide d'un thermomètre Hanna Checktemp 1.

De plus, deux sondes thermiques enregistreuses sont placées dans le deuxième collecteur ainsi que dans l'ancien bassin de piégeage à côté de la pompe amont.

1.4.2. Teneur en oxygène et pourcentage de saturation en oxygène

La teneur en oxygène et le pourcentage de saturation en oxygène sont mesurés dans la Seine, le deuxième collecteur et dans le vivier grâce à un oxymètre Handy Polaris, une fois par semaine.

1.4.3. Autres paramètres

Le coefficient de marée est récupéré chaque jour sur Météo Consult Marine, ainsi que le recouvrement de la lune sur Calendrier-365.fr.

La hauteur d'eau au niveau du barrage de Poses est relevée tous les jours par l'usine HYDROWATT.

Le débit au niveau de Poses est récupéré sur Hydro-France.

1.5. Biométrie

Selon le nombre d'individus capturés, deux méthodes sont utilisées:

- Moins de 50 individus: Chaque individu, après avoir été anesthésié dans une solution d'eugénol, est mesurée à l'aide d'un ichtyomètre (précision 1 mm) et est pesée grâce à une balance à précision (précision 0,1g).
- Plus de 50 individus: Les anguilles capturées sont séparées en trois groupes grâce à deux tamis de mailles 3 ou 6 mm.
    - Tamis 3 mm → individus de l'année
    - Tamis 6 mm → individus âgés d'un été
    - Refus de tamis → individus âgés au moins de deux étés

  Si le nombre d'anguille dans chaque groupe est inférieur à 50, alors chaque individu est mesuré et pesé.

  Si dans un groupe le nombre d'anguille est supérieur à 50, alors la biométrie est effectuée sur 50 individus échantillonnés au hasard. Les autres anguilles sont pesées ensemble et sont dénombrées grâce à un calcul utilisant le poids moyen des 50 individus ayant subi la biométrie.

1.6. Suivi qualitatif des anguilles en aval et amont du barrage de Poses

Un suivi qualitatif des anguilles en aval et en amont du barrage de Poses est effectué pour la première fois cette année.

1.6.1. Objectif

L'objectif premier de ce suivi est de mettre en évidence la présence d'individus de petites tailles en aval du barrage, qui ne sont pas présentes dans le piège, ou des individus de tailles identiques mais dans des proportions plus importantes dans les classes plus petites qui montrerait une éventuelle discrimination de la passe sur les plus jeunes individus, en l'occurrence de l'année. Le second objectif

est un suivi qualitatif des individus en amont du barrage, qui, selon les classes de taille d'anguillettes retrouvées, démontrera ou non une hypothétique franchissabilité du barrage par les anguilles autre que par les rampes à anguilles.

1.6.2. Choix de l'outil utilisé: le Flottang

Ce suivi se concentrant principalement sur la capture d'individus de petites tailles, l'outil utilisé est ici le flottang (Fig.13) (Schall, 2014). Il s'agit d'un piège passif développé en 2014 par le Groupement des fédérations de pêche de Poitou-Charentes basé sur le principe d'un habitat artificiel propice aux plus jeunes stades d'anguilles. Le principe repose sur l'assemblage de treillis tridimensionnels composé de 10 carrés de treillis en PVC de 50*50cm joints par un flotteur à chaque coin. L'intérêt de cet outil est qu'il permet de capter différentes tailles d'anguilles, majoritairement inférieures à 15cm. En effet, le flottang est installé au niveau de la berge et les anguillettes se glissent entre les carrés de treillis pour se cacher et se reposer avant de reprendre la migration vers l'amont.

Figure 13: Photographies d'un flottang pêchant sur la Seine.

1.6.3. Protocole

Au préalable, la disposition des flottangs sur la Seine a été choisie sur une vue aérienne comme suit (Fig.14 ; Tab.1):

Figure 14: Localisation de départ des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses.

Tableau 1: Localisation de départ des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses.

Nombre de flottangs	Code (emplacement)	Localisation par rapport au barrage	Rive	Intérêt
4	1 , 2 , 3 , 4	Aval	Gauche	Tous les 200m pour suivre la progression des anguilles sur un intervalle régulier
3	5 , 8 , 9	Aval	Droite	Tous les 200m pour suivre la progression des anguilles sur un intervalle régulier
1	10	Sur la petite île du barrage	/	Si les anguilles arrivent au pied du barrage sans être sur les berges ou si elles peuvent passer d'une rive à une autre
1	11	Amont Sur la grande île	Droite	Si les anguilles traversent le barrage sans passer par le dispositif en place
1	7	Amont	Gauche	Si les anguilles traversent le barrage sans passer par le dispositif en place
1	6	Amont	Droite	Si les anguilles traversent le barrage sans passer par le dispositif en place

Total = 11

Ensuite, une prospection terrain a été effectuée pour se rendre compte de l'accessibilité des zones. Au final la disposition des flottangs se fait comme suit (Fig.15 ; Tab.2):

Figure 15: Localisation finale des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses

Tableau 2: Localisation finale des flottangs en aval et en amont du barrage de Poses

Localisation de départ conservée	Nombre de flottangs final	Code (emplacement)	Localisation par rapport au barrage	Rive	Raison
OUI	**4**	1 , 2 , 3 , 4	Aval	Gauche	/
NON	~~3~~ **1**	5	Aval	Droite	Seul 1 flottang sera installé, les deux autres zones étant inaccessible
NON	~~1~~ **0**	/	Sur la petite île du barrage	/	Contraignant et dangereux: uniquement accessible sous la surveillance des ouvriers du site et muni d'un harnais
NON	~~1~~ **0**	/	Amont Sur la grande île	Droite	Non autorisé à aller sur place
OUI	**1**	7	Amont	Gauche	/
OUI	**1**	6	Amont	Droite	/
	Total = 7				

Les premiers flottangs ont été installés le 8 juillet 2016 en aval du barrage de Poses/Amfreville-sous-les-monts. Dans un premier temps, une surveillance de ces flottangs a été effectuée pour prévenir des vols et contrôler que les flottangs soient en permanence pêchant. En effet, la Seine en aval du barrage est encore soumise à des phénomènes de marnage et le risque pour les flottangs est qu'ils restent échoués sur la berge après une marée descendante. Les flottangs volés ne sont pas

remplacés car susceptible d'être dérobés une seconde fois. Un calendrier de relève (Tab.3) a été établi en prenant en compte différents points:

- Relève entre une basse mer et une pleine mer à un niveau d'eau moyen (les flottangs en aval du barrage étant susceptible d'être échoués à basse mer et les zones trop dangereuse à marée haute)
- Relèves à des coefficients de marée différents (petit, moyen, gros)
- Relèves à marée montante et à marée descendante

En revanche, au vu des horaires de marée, les relèves n'ont pu se faire qu'en marée descendante.

Tableau 3: Calendrier de relève des flottangs.

Jour de relève	Heure	Coefficient de marée	Marée montante/descendante
22/07/2016	14h00	91	Descendante
25/07/2016	15h30	77	Descendante
26/07/2016	15h30	68	Descendante
01/08/2016	11h00	78	Descendante
02/08/2016	10h30	86	Descendante
05/08/2016	14h00	90	Descendante
09/08/2016	09h00	59	Descendante
11/08/2016	10h30	35	Descendante
16/08/2016	09h00	64	Descendante

La relève des flottangs se fait selon le protocole suivant (Annexe 4): les flottangs sont pêchés grâce à une épuisette de 60cm de diamètre pour permettre au flottang de glisser à l'intérieur sans que les anguilles puissent s'échapper. Les flottangs non accessible à hauteur d'homme sont relevés grâce à une balance rectangulaire de 60*80 cm. Une fois le flottang hors de l'eau, il est placé verticalement sur dans un bac pour permettre aux anguilles d'y tomber par gravité. Tous les individus présents sont alors mesurés à l'aide d'un ichtyomètre après avoir été au préalable anesthésiés dans une solution d'eugénol.

1.7. Capture-Marquage-Recapture

Le C.M.R. (Capture-Marquage-Recapture) est opérationnel depuis 2015. 2016 est donc la seconde année de mise en place de cette méthode.

1.7.1. Objectifs

La technique du C.M.R. est un outil nécessaire pour les études de reconnaissance des espèces sur le terrain, permettant d'évaluer le succès de stockage du milieu, la taille du stock, la survie, la croissance des individus sur une période donnée, étudier la migration des poissons et la dynamique des populations (Simon, 2007).

Les objectifs d'utiliser la technique du C.M.R. dans cette étude sont d'évaluer l'efficacité de la passe à anguilles (taux de franchissement) puis de déterminer le temps nécessaire aux anguilles pour franchir le dispositif de piégeage.

1.7.2. Choix du type de marquage: VIE (Visible Implant Elastomer)

La méthode utilisée pour marquer les animaux dans cette étude de C.M.R. doit être soigneusement sélectionnée et doit répondre à plusieurs exigences. Elle ne doit pas affecter la croissance, la survie, le comportement et la probabilité de capture des individus marqués. Aussi, les marques doivent être visibles et lisibles, puis être conservées au moins pour la durée de l'étude et de préférence plusieurs années car les anguilles peuvent retarder leur migration jusqu'aux années suivantes. De plus, la méthode doit être adaptée aux conditions de terrains et de faible coût (Imbert *& al*., 2007; Otis *& al*., 1978, Vollestad *& al*., 1994).

Le marquage sur de petits poissons est difficile en raison de leur longueur et de leur vulnérabilité. Ainsi, les techniques conventionnelles telles que l'injection de produits chimiques sous-cutanée, le fin clipping ou le Carlin tags ne peuvent être utilisées pour les petits individus d'*Anguilla anguilla*. En revanche, le marquage d'immersion utilisant des produits tels que l'OTC (OxyTétraCycline) ou des composés alizarine comme l'ARS (Alizarine Red S) sont utilisés avec succès pour le marquage en masse de civelles (Simon *& al*., 2009). Ces dernières méthodes sont rentables et nécessitent de peu de temps mais le poisson doit être tué et disséqué pour pouvoir vérifier la marque. L'utilisation du VIE (Visible Implant Elastomer) et du CWT (Coded Wire Tag) permettent une détection facile sur les poissons vivants (Simon & Dörner, 2011). En revanche, le CWT peut avoir un impact sur la croissance des poissons marqués (Bumguardner *& al*., 1990).

L'utilisation du VIE (NorthWest Marine Technology Inc., Shaw Island, WA, USA) est alors le plus adapté à notre étude. Cette méthode a été développée pour marquer des animaux aquatiques, dans le cadre des techniques de capture-marquage-recapture, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain (Delcourt, 2011). De plus, le VIE a plusieurs avantages:

- Il est constitué d'un matériau en élastomère avec un large panel de possibilité de couleurs dans le spectre visible (Delcourt, 2011)
- Certaines couleurs sont fluorescentes aux rayons ultraviolets (UV): rouge, orange, vert, jaune, rose et bleu (Delcourt, 2011)
- Il est stable dans le temps (Delcourt, 2011)
- Il est injecté dans une zone du corps ou le tégument est encore relativement translucide chez les jeunes individus pour permettre une identification externe (Delcourt, 2011)
- Aucun effet n'est observé sur le comportement, la mortalité et la croissance des individus (Imbert *& al*., 2007; Simon & Dörner, 2011)
- C'est une méthode fiable pour le marquage individuel des petites anguilles et il est utile pour les études sur le terrain (Imbert *& al*., 2007)
- C'est une méthode simple, rapide et de faible coût (Simon, 2007)

1.7.3. Protocole

Un protocole (Annexe 5) a été élaboré pour la première année de marquage en 2015 et a été suivi cette année.

Dans un bécher sont mélangés le colorant et le durcisseur (1/10ème du volume du colorant). Ce mélange est transféré dans une seringue d'injection (0,3mL) qui va être placée dans un injecteur manuel, ce qui va permettre de faciliter l'injection. Le VIE est injecté en sous-cutanée entre l'anus et la queue de l'anguille, sur la partie inférieure de l'individu qui est la moins pigmentée (Fig.16).

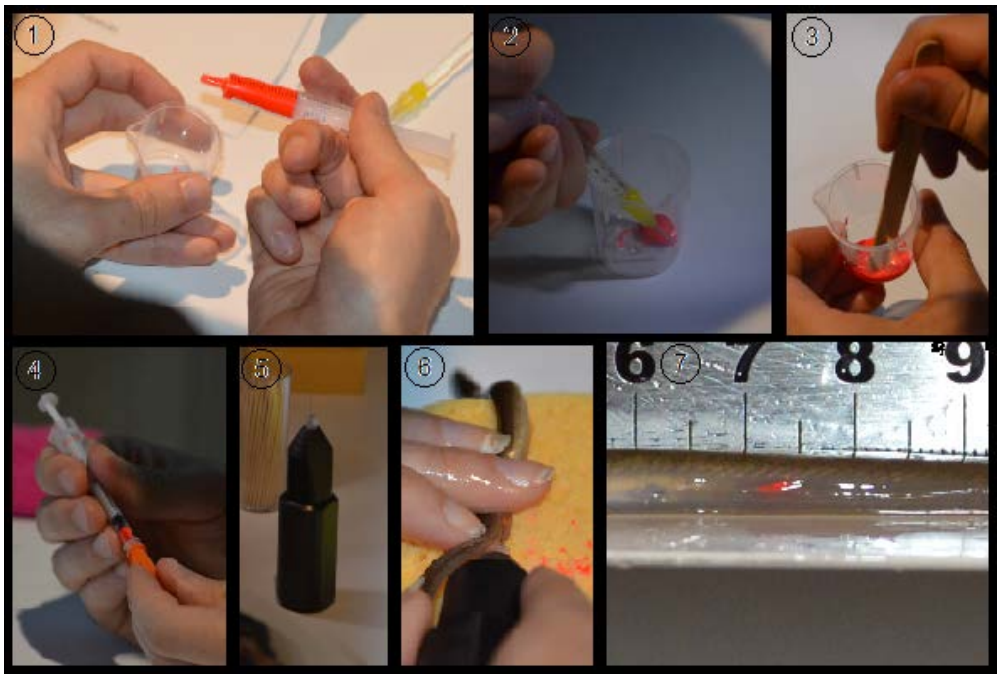


Figure 16: Photographies du déroulement d'une séance de marquage.

Au préalable, les anguilles sont anesthésiées dans une solution d'eugénol puis mesurées. La visibilité de la marque dépend de la pigmentation de la peau et de la profondeur de l'injection (Imbert *& al.*, 2007). Pour ces raisons, les anguilles sélectionnées doivent avoir une taille inférieure à 150 cm car au-delà la pigmentation du corps devient trop importante.

Deux campagnes de marquages ont été réalisées (Tableau 4). Au vu de la proximité des dates de marquages et du fait que quelques couleurs de colorant de VIE sont difficiles à distinguer les unes des autres une fois injectées, comme le rouge avec le rose et le vert avec le jaune (Delcourt, 2011), les couleurs utilisés ont été le jaune et le rouge.

La première campagne a eu lieu le 08 juillet 2016. 200 anguilles ont été marquées au VIE rouge puis relâchées 200 mètres à l'aval du barrage. Cette campagne a pour objectif d'évaluer l'efficacité de la passe à anguilles en évaluant le taux de franchissement.

La deuxième campagne a eu lieu le 12 juillet 2016 et consiste en un suivi sur 24 heures. Les jeunes anguilles ont un comportement photonégatif (Bardonnet *& al.*, 2005), c'est-à-dire qu'elles sont actives la nuit et se cachent le jour (Baisez, 2001; Tesch, 2003). Le dispositif de passe à anguilles pourrait, de par sa longueur importante, ralentir la dynamique de migration des anguilles et les individus arriveraient dans le vivier dans la journée plutôt que pendant la nuit. L'objectif ici est donc de déterminer le rythme de migration nycthémérale de l'anguille au niveau du barrage de Poses, puis d'évaluer l'efficacité du dispositif. 100 individus ont été marqués au VIE jaune puis relâchés directement dans le dispositif de la passe à anguilles, dans le premier collecteur, à 12h le 12 juillet 2016. Le suivi sur 24 heures s'est donc déroulé du 12 juillet 2016, 12h00, jusqu'au 13 juillet 2016, 12h00. Le piège a été relevé toutes les heures où les individus ont été mesurés et vérifiés s'ils avaient une marque de VIE jaune ou non. Pour ce suivi quatre binômes ce sont partagés quatre créneaux horaires de 6 heures: 12h00/18h00; 18h00/00h00; 00h00/06h00; 06h00/12h00.

Tableau 4: Récapitulatif des deux campagnes de marquage au VIE.

Date	Couleur VIE	Nombre d'anguilles marquées	Zone de lâcher
08 juillet 2016	Rouge	200	200 mètres en aval du barrage de Poses
12 juillet 2016	Jaune	100	1er collecteur du dispositif de passe à anguilles

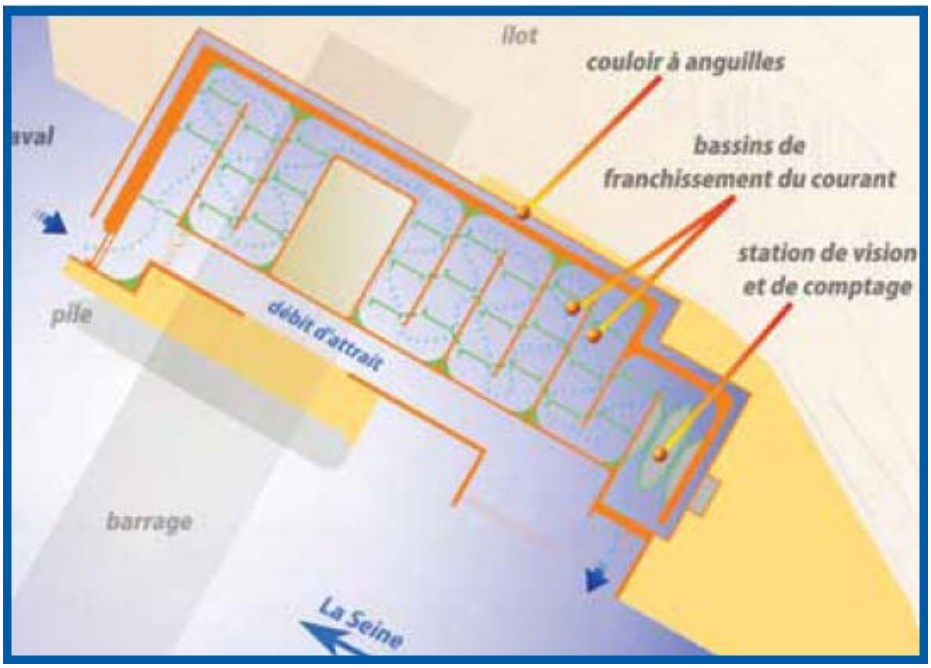
2. Rive droite – Amfreville-sous-les-monts

En complément de la passe à poissons installées en rive gauche du barrage de Poses depuis 1991, une deuxième passe est actuellement en construction, rive droite, à Amfreville-sous-les-monts. En effet, l'arrêté ministériel du 04 décembre 2012, en cohérence avec la Directive Cadre Européenne sur l'Eau de 2000 et conforté par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de 2006, impose que les

barrages sur la Seine soient équipés d'une passe à poissons. La construction de ce dispositif est assurée par VNF (Voies Navigables de France), avec le soutien financier de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (à 60%) et de l'Union Européenne (à 11%) (VNF, 2014).

2.1. Dispositif de franchissement et de piégeage

La passe à poissons, rive droite, est d'une longueur de 60 mètres pour 28 mètres de large. Elle est constituée de 28 bassins de 4 mètres sur 4,5 mètres. La puissance volumique dissipée par le bassin sera de 100 à 160 W/m^3, le débit moyen d'environ 1,6 m^3/s et le débit d'attrait de 2,6 m^3/s à 5 m^3/s (VNF, 2014). Deux chambres de vision sont construites et permettent d'effectuer un vidéo-comptage, dont le dépouillement des vidéos sera un complément du vidéo-comptage déjà effectué en rive gauche depuis 2007 (Fig.17).



<u>Figure 17</u>: Schéma de la passe à Poissons, rive droite - Amfreville-Sous-les-Monts. Source: VNF, 2014.

Une passe à anguilles est insérée à la passe à poissons. A l'aval des écluses, une rampe permet aux anguilles d'arriver dans un canal de liaison qui la relie à un local où les anguilles doivent franchir une deuxième rampe avant d'arriver dans le vivier qui permettra la collecte des anguilles pour effectuer la biométrie conformément au protocole mis en place pour la passe à anguilles en rive gauche du barrage.

2.2. Objectifs et retard des travaux

Au niveau du barrage de Poses/Amfreville-sous-les-monts, la Seine est d'une largeur de plus de 200m. La construction d'une nouvelle passe à poissons sur la rive opposée à celle déjà en place permettra aux espèces un franchissement plus aisé du barrage. Dans cette étude, une comparaison

du taux de franchissement pour les anguilles entre les deux rives aurait dû être effectuée, avec une évaluation de l'efficacité des deux dispositifs de franchissement. Ainsi, l'analyse du recrutement de la Seine en anguille européenne aurait été améliorée. La passe à poisson aurait dû être mise en fonctionnalité avant le début de l'étude mais un retard dans les travaux n'a pas permis d'effectuer les observations.

En effet, les travaux ont débutés en septembre 2013 et auraient dû s'achever fin 2014 (Tableau 5). Ayant eu plusieurs problèmes dès les fondations, la mise en service du dispositif a été initialement reculée d'un an. Finalement, la passe à poissons (et donc de la passe à anguilles) ne sera pas en eau avant septembre 2016.

Tableau 5: Calendrier prévisionnel des travaux. Source: VNF, 2014.

Date	Avancement des travaux
Septembre 2013 - Mars 2014	Travaux préparatoires et mise en place du batardeau
Avril-Mai 2014	Terrassements et fondations
Juin-Août 2014	Génie-Civil
Août-Octobre 2014	Pose des équipements
Fin 2014	Mise en service

3. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées sous R (version 3.0.1).

Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée. L'ACP consiste à réduire le nombre de dimensions de l'espace dans lequel évoluent les individus, afin d'obtenir un espace à dimensions réduites qui contient le maximum d'informations contenues dans l'espace initial (Bouroche & Saporta, 1978). Dans cette étude, l'ACP a permis de mettre en évidence l'incidence des paramètres environnementaux sur la migration des anguilles européennes. Les variables choisies ont été la température de la Seine, la température de l'air, le débit, le coefficient de marée et le pourcentage de recouvrement de la lune.

Cette analyse a été renforcée par des analyses de corrélation qui ont mis en évidence l'effet ou non des paramètres environnementaux sur la migration des anguilles.

Enfin, des analyses statistiques univariées ont permis d'effectuer des tests de comparaison. Pour les analyses de variances, le test de Kruskall et Wallis (test non-paramétrique, dans le cas où la normalité et l'homoscédasticité des données ne sont pas vérifiées) a été utilisé. Pour les statistiques inférentielles, le test U de Mann et Whitney (test non-paramétrique, dans le cas où la normalité et l'homoscédasticité des données ne sont pas vérifiées) a été réalisé.

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA CINQUIEME PARTIE

- Pour la troisième année d'étude, le dispositif a été suivi du 1er avril au 30 septembre 2016
- Les résultats présentés dans ce rapport représentent les cinq premiers mois, soit du 1er avril jusqu'au 19 août 2016
- Un phénomène de crue au début du mois de juin a occasionné quelques jours d'arrêt des pompes
- 8920 individus ont été capturés au total
- La première anguille a été capturée le 25 avril 2016, lorsque la température de la Seine a dépassée les 14°C
- Deux pics de migration observés: le premier sur la période de 3 au 10 juin (phénomène de crue) et le deuxième le 28 juillet
- Le phénomène de crue, causant une augmentation du niveau de l'eau en aval du barrage et dans la passe à poissons, a permis aux anguilles de rentrer dans cette dernière, et ainsi une partie de ces individus s'est fait aspirée par la pompe amont puisant dans l'ancien piège
- 1116 individus de l'année ont été capturés avec une proportion de 62% de civelles et 38% d'anguillettes pigmentées
- Le premier individu de l'année a été retrouvé dans le vivier le 2 juin
- En dessous de 75 mm ce sont les civelles qui dominent, en dessus de 81 mm ce sont les anguillettes pigmentées qui dominent et entre 76 et 80 mm la proportion entre civelles et anguillettes pigmentées est quasiment égale
- Les flottangs ne mettent pas en évidence la présence d'individus plus petits/jeunes en aval du barrage, en revanche la proportion d'individus plus petits est plus importante dans les flottangs que dans le vivier
- 72% d'individus marqués relâchés directement dans le dispositif sont revenus dans le vivier contre 3% des anguilles marquées relâchées 200 mètres en aval du barrage
- Les anguilles franchissent le dispositif majoritairement entre 00h00 et 04h00
- C'est en 2014 que l'effectif en anguille européenne était le plus important au 19 août et c'est en 2015 qu'il a été le plus faible
- Sur les 3 années, un pic a été mis en évidence à la fin du mois de juillet
- En 2014 la plus grande partie des anguilles avaient une taille inférieure à 100mm alors qu'en 2015 et en 2016 la moitié des anguilles étaient comprises dans une classe de taille entre 100 et 150mm

Résultats

1. Fonctionnement du dispositif de piégeage

Le piège a été relevé tous les jours hors week-end et jours fériés, du 1er avril 2016 jusqu'à la fin du suivi le 30 septembre 2016. Les résultats présentés ci-après représentent les cinq premiers mois, soit du 1er avril 2016 au 19 août 2016. Au cours de cette période, 8920 individus ont été capturés (Fig.18). La première anguille retrouvée dans le vivier l'a été le 25 avril 2016.

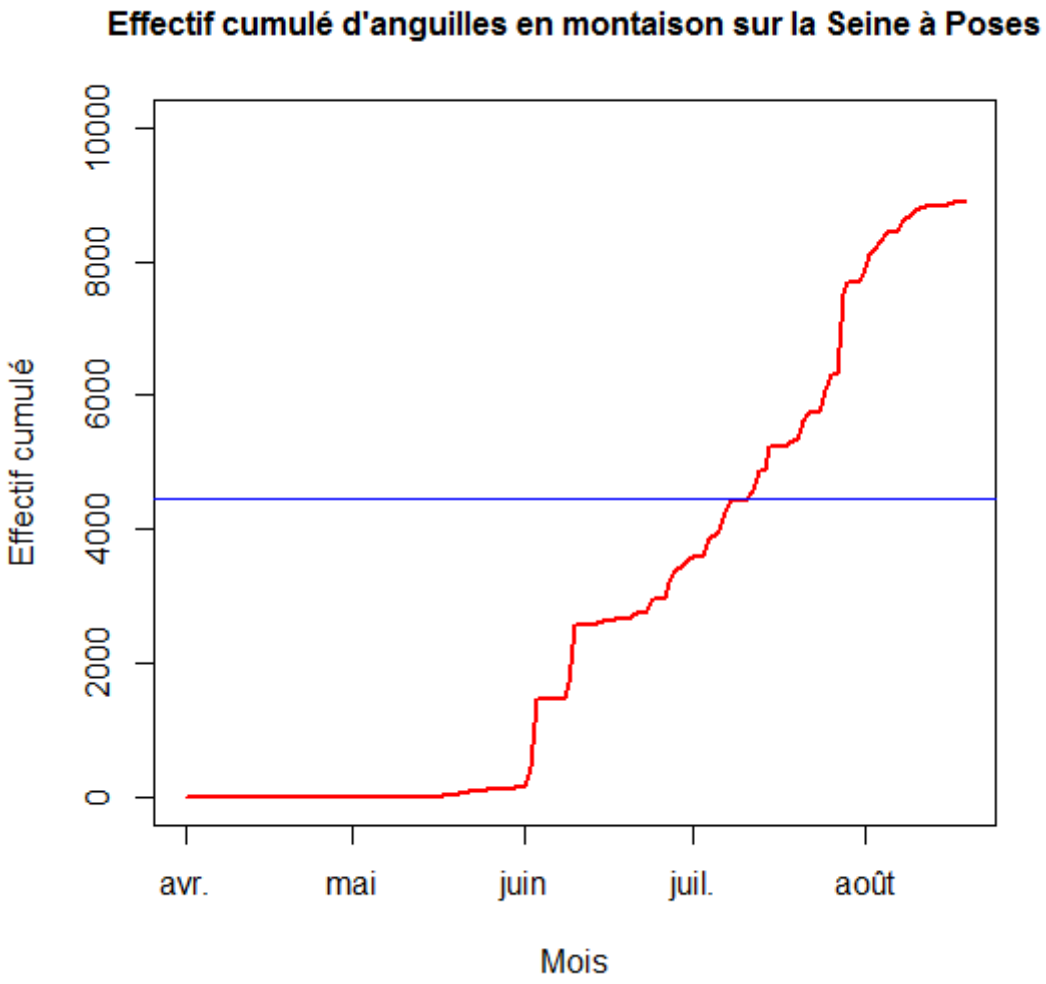
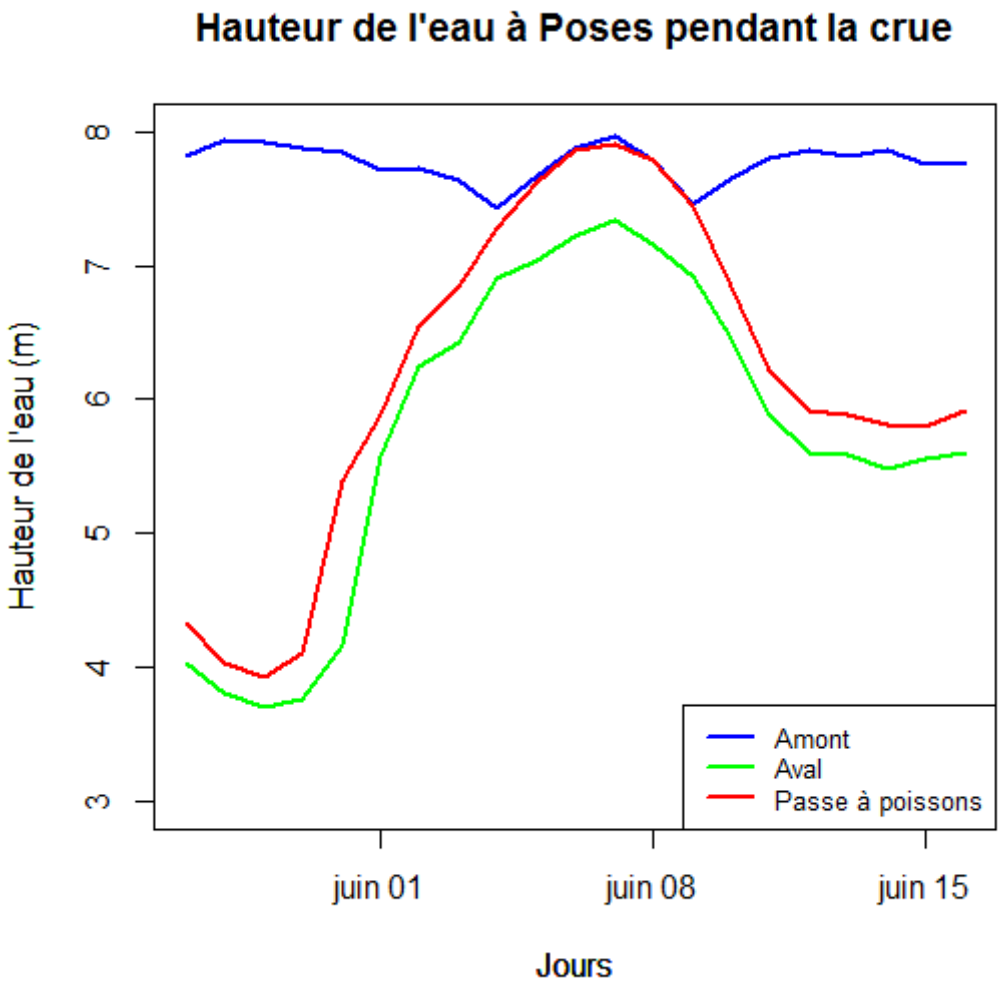


Figure 18: Graphique de l'effectif cumulé d'anguilles en montaison sur la Seine à Poses. En bleu: 50% de la migration le 11 juillet 2016.

Sur l'ensemble du suivi, le dispositif a été fonctionnel 130 sur 141 jours. En effet, le phénomène de crue qu'a connu la Seine au mois de juin a eu un impact sur le bon fonctionnement de la passe à anguilles (fig.19). En temps normal, le niveau de l'eau en amont du barrage de Poses est beaucoup plus haut que la hauteur d'eau en aval du barrage. Le niveau de l'eau dans la passe à poissons est

pratiquement égal à celui de l'aval dans le premier bassin et il monte progressivement au fur et à mesure des bassins jusqu'à être égal à la hauteur de l'eau en amont de l'usine hydroélectrique. Hors, pendant le phénomène de crue, le niveau de l'eau en aval du barrage et dans la passe à poissons est monté jusqu'à rejoindre le niveau d'eau en amont. Ainsi l'usine hydroélectrique n'était plus en fonctionnement pendant cette période, les turbines étaient arrêtées ainsi que les pompes alimentant le dispositif de rampes à anguilles et une partie du dispositif a été inondée (Annexe 6). De plus, les anguilles ont pu passer par la passe à poissons pour rejoindre l'amont (Annexe 7).



<u>Figure 19</u>: Graphique représentant la hauteur d'eau de la Seine à Poses pendant le phénomène de crue. Les données vont du 27 mai 2016 au 16 juin 2016. En bleu: Niveau d'eau en amont du barrage de Poses. En vert: Niveau d'eau en aval du barrage de Poses. En rouge: Niveau d'eau dans le premier bassin de la passe à poissons après l'aval.

2. Evolution des paramètres environnementaux

2.1. Température

Au cours du suivi, la température de l'air, de la Seine et de l'eau du vivier et du collecteur a augmenté, avec une légère diminution à partir du 25 juillet (Fig.20). Une différence significative est notée pour toutes les températures entre chaque mois (Test de Kruskall et Wallis, p-value < 0.05), sauf entre les mois de juin et mai, et les mois de juillet et août (Fig.21) (Annexe 8).

Aucune différence significative n'est relevée entre la température de l'air, de la Seine, du vivier et du collecteur (Test de Kruskall et Wallis, p-value > 0.05) (Annexe 9).

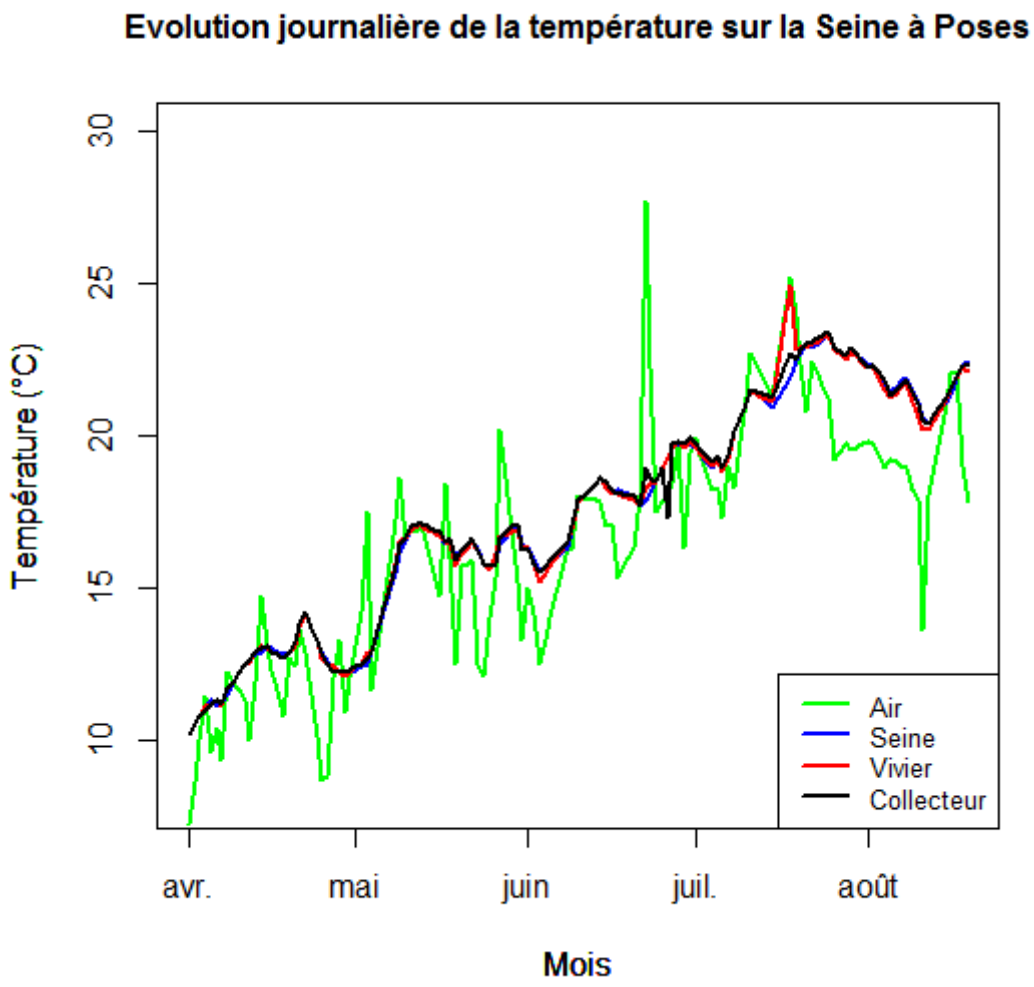
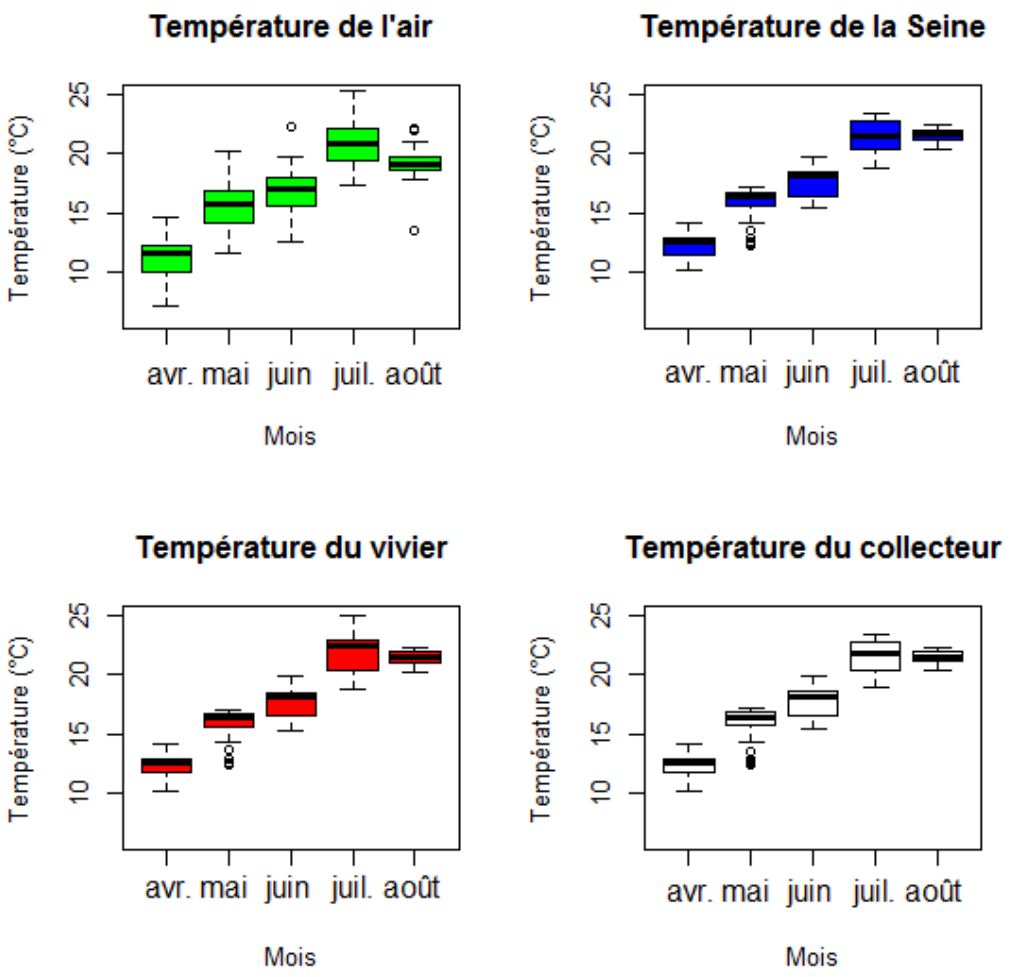


Figure 20: Graphique représentant l'évolution journalière de la température sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En vert: Température de l'air. En bleu: Température de la Seine. En rouge: Température du vivier. En noir: Température du collecteur.

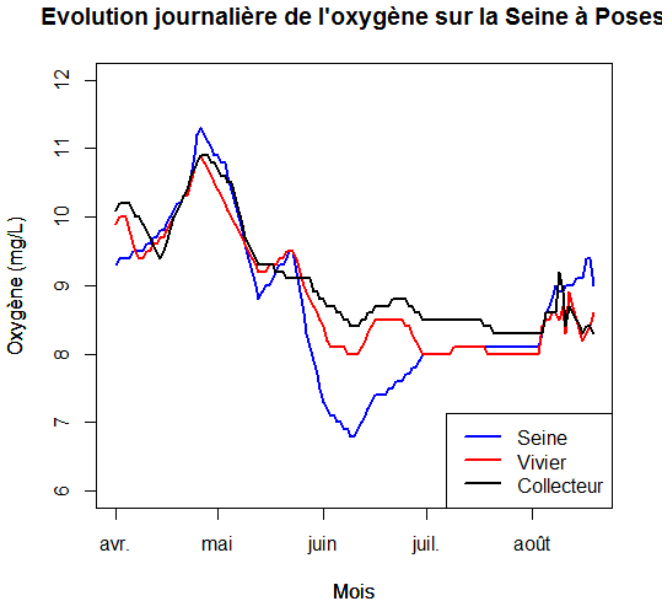


<u>Figure 21</u>: Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la température sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En vert: Température de l'air. En bleu: Température de la Seine. En rouge: Température du vivier. En blanc: Température du collecteur.

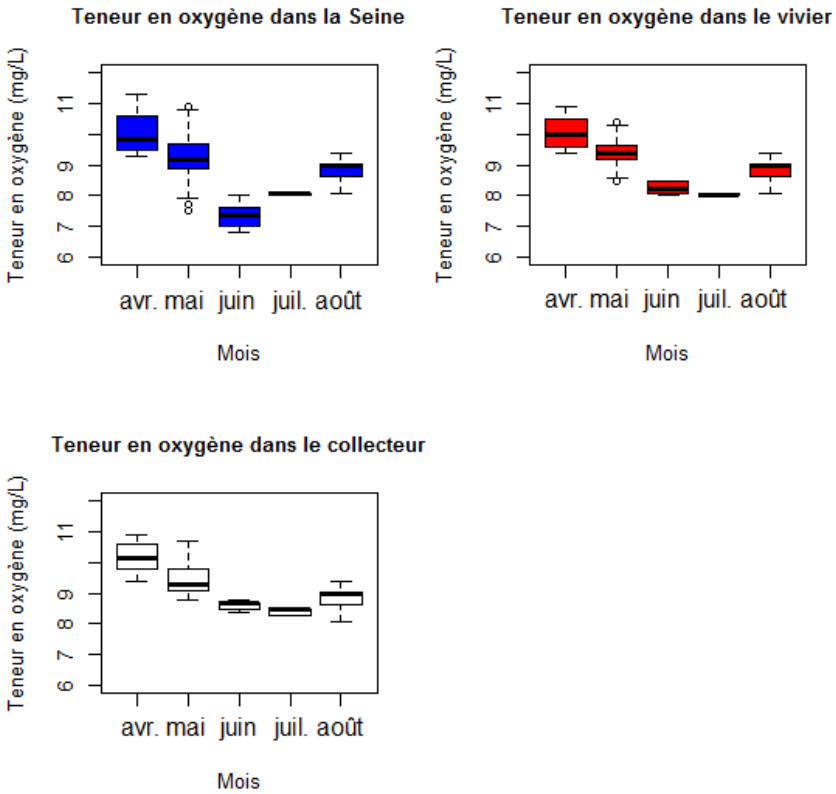
2.4. Oxygène

La teneur en oxygène dans la Seine, le vivier et le collecteur diminue au cours des mois (Fig.22). Une différence significative de la teneur en oxygène est relevée entre l'eau du collecteur avec l'eau de la Seine et du vivier (Test de Kruskall et Wallis, p-value < 0.05). En revanche, il n'y a aucune différence significative entre l'eau de la Seine et du vivier (Annexe 10).

Des différences significatives de la teneur en oxygène des différents compartiments entre les mois sont notées (Test de Kruskall et Wallis, p-value < 0.05) (Fig.23). En revanche, en ce qui concerne la Seine, aucune différence significative n'est mise en évidence entre les mois d'avril et mai, mai et août, puis juillet et août. Pour le vivier, il s'agit des mois d'avril et mai, juin et juillet puis juin et août. Enfin, pour le collecteur, il n'y a pas de différence significative entre les mois d'avril et mai, juin et août, et enfin des mois de juillet et août (Annexe 11).



<u>Figure 22</u>: Graphique représentant l'évolution journalière de l'oxygène sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En bleu: Teneur en oxygène de la Seine. En rouge: Teneur en oxygène du vivier. En noir: Teneur en oxygène du collecteur.



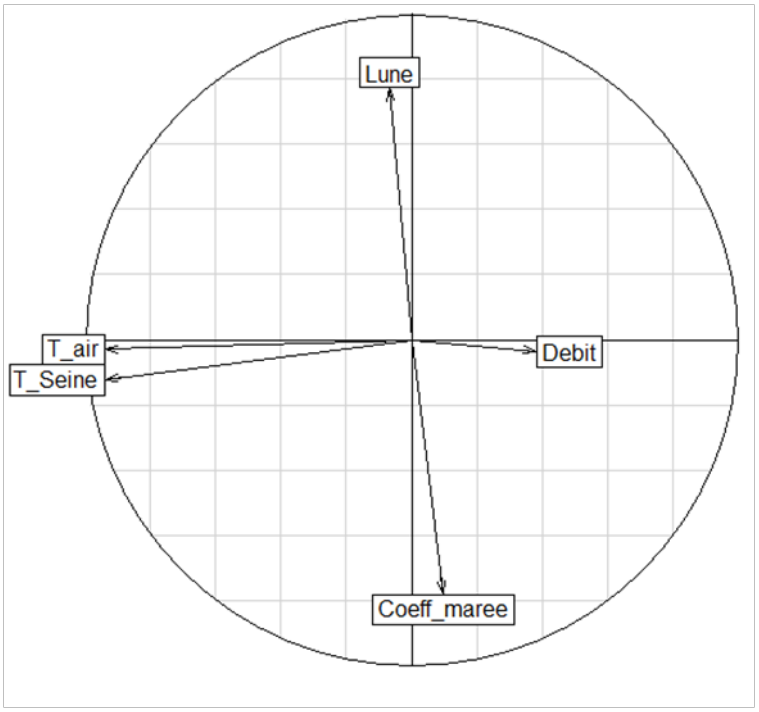
<u>Figure 23</u>: Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la teneur en oxygène sur le dispositif de rampe à anguilles de Poses. En bleu: Teneur en oxygène de la Seine. En rouge: Teneur en oxygène du vivier. En blanc: Teneur en oxygène du collecteur.

2.5. Incidence des paramètres environnementaux sur la migration des individus

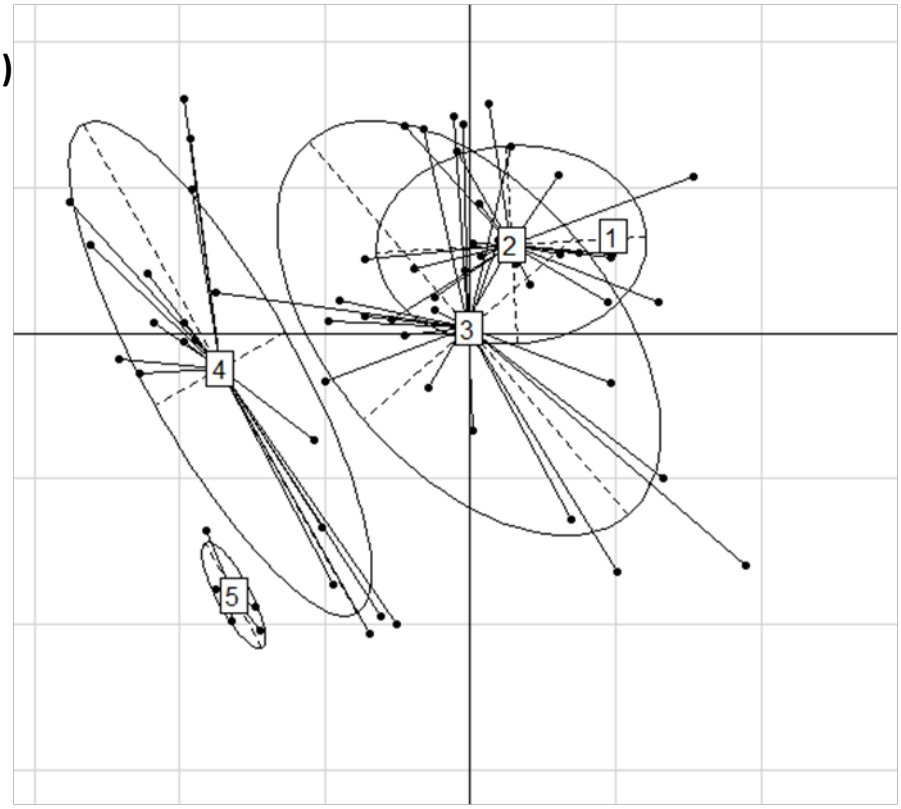
Le premier axe de coordination est fortement associé aux variables de température de l'air et de la Seine (qui sont fortement corrélées entre elles), puis de débit. Cette dernière variable est moins bien représentée que les deux variables précédentes. Le second axe est corrélé plus étroitement au coefficient de marée et au pourcentage de recouvrement de la lune, qui sont corrélées négativement l'une à l'autre (Fig.24a).

Les individus ayant franchi le dispositif les trois premiers mois, soit en avril, mai et juin, ne sont pas plus influencés par une variable que par une autre (Fig.24b). Les variables jouent toutes un rôle. En revanche, en avançant dans les mois de juillet et août, la température et le coefficient de la marée semblent avoir une influence plus forte que les autres variables.

a)



b)



<u>Figure 24</u>: Représentation d'une ACP sur l'influence des paramètres environnements par rapport à la migration des anguilles européennes selon les mois. Légende: a)= Cercle de corrélation. b)= Projection des individus selon les mois; 1 = avril ; 2 = mai ; 3 = juin ; 4 = juillet ; 5 = août.

3. Suiui de la migration des anguilles européennes en 2016

3.1. Déroulement de la migration

En 2016, la première anguille a été capturée le lundi 25 avril 2016 (Fig.25). Peu d'individus ont franchi le dispositif les jours suivants (0 à 3 anguilles par jour), jusqu'au 16 mai où 7 individus ont été piégés, date à partir de laquelle les effectifs ont commencé à légèrement augmenter. Un premier pic de migration est observé sur la période du 3 juin au 10 juin (1017 et 855 individus respectivement). Ce laps de temps correspond à une forte montée des eaux engendrée par un phénomène de crue. Une fois les hauteurs d'eau revenues à un niveau normal, l'effectif en anguille européenne a fortement diminué pour ensuite augmenter tout le long des mois de juin et de juillet. Un deuxième pic de migration est mis en évidence le 28 juillet avec 1182 anguilles retrouvées dans le vivier. Suite à ce pic et tout le cours du mois d'août les effectifs en anguilles ont diminué.

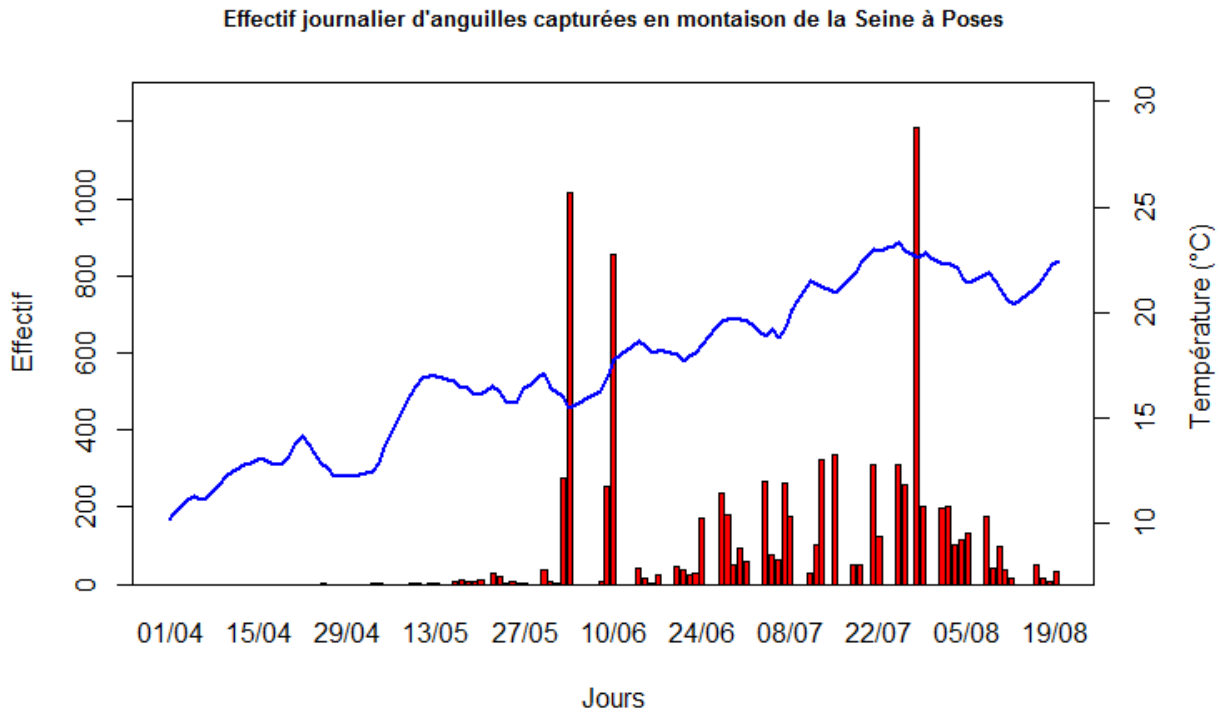
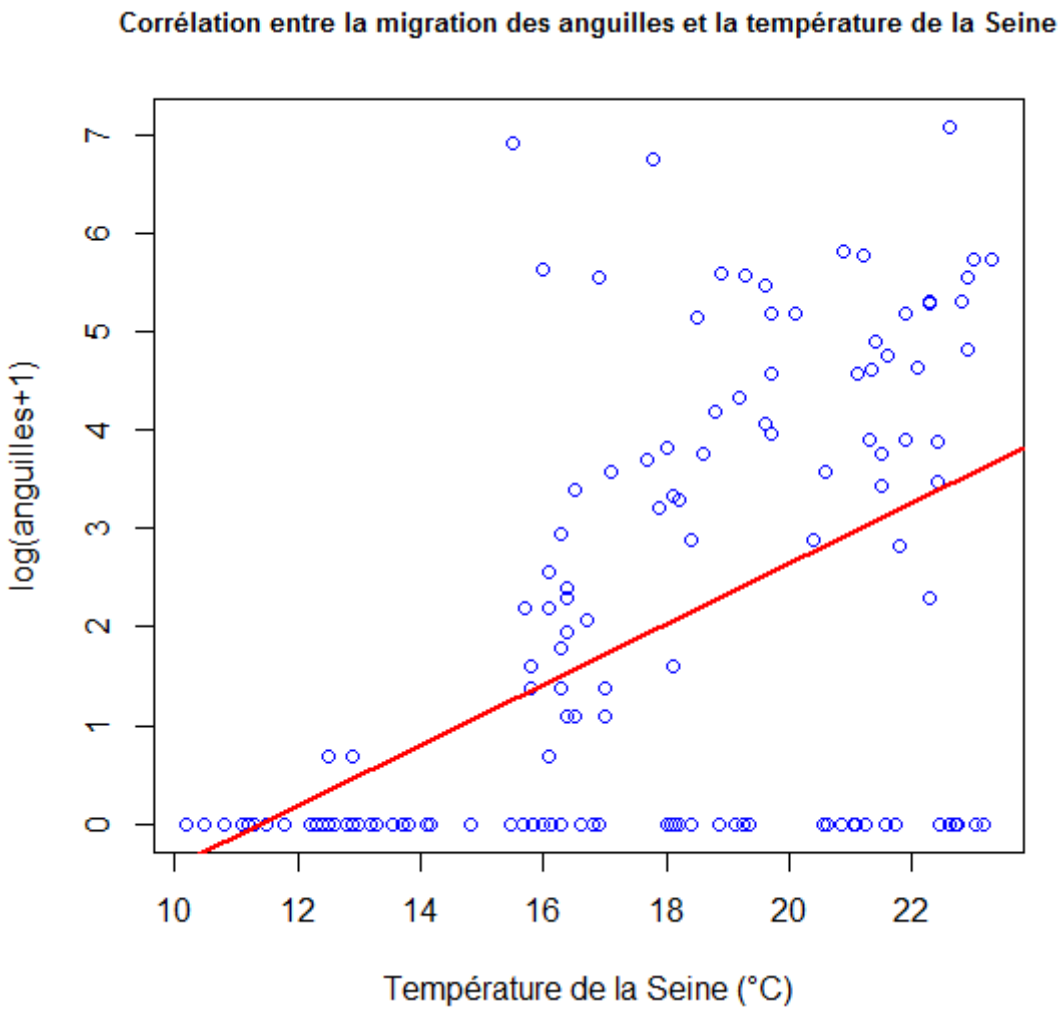


Figure 25: Graphique représentant l'effectif journalier d'anguilles capturées en montaison de la Seine à Poses en fonction de la température. En bleu: Température de la Seine.

3.2. Influence des paramètres environnementaux

- **Température**

Le premier individu a été capturé, le lundi 25 avril, avec une température de la Seine de 12.9°C. Le vendredi précédent, la température de l'eau était de 14°C et était la plus chaude depuis le début du suivi. Le deuxième pic a eu lieu lorsque la température de la Seine était à 22.6°C le jour même et à 23.3°C trois jours plus tôt, soit la température la plus chaude sur toute la période du suivi. La température a augmenté jusqu'à la fin du mois de juillet et a diminué au cours du mois d'août, ce qui a été suivi par la tendance des effectifs en anguille européenne. En effet, une corrélation moyenne entre la montaison des anguilles sur la Seine et la température est mis en évidence (cor=0.5147229 , p-value < 0.05) (Fig.26). Il faut tout de même noter que d'autres paramètres non environnementaux non constants dans le temps ont également un impact sur la montaison, comme un mauvais fonctionnement des pompes, un problème d'attractivité de la passe, etc., ce qui explique quelques jours avec aucun individu piégé et donc une corrélation avec la température moins marquée.



<u>Figure 26</u>: Corrélation entre la migration des anguilles et la température (°C) de la Seine.

- **Teneur en oxygène**

Les anguilles ont été relevées dans le piège lorsque la teneur en oxygène dans la Seine était inférieure à 11 mg/L. Plus la teneur en oxygène était basse, plus les anguilles étaient abondantes. Il existe alors une corrélation entre la teneur en oxygène dans la Seine et la montaison des anguilles (cor= -0.05218233 , p-value < 0.05) (Fig.27). Une relation inverse entre la température de la Seine et la teneur en oxygène dans la Seine est mise en évidence (corrélation positive et corrélation négative respectivement).

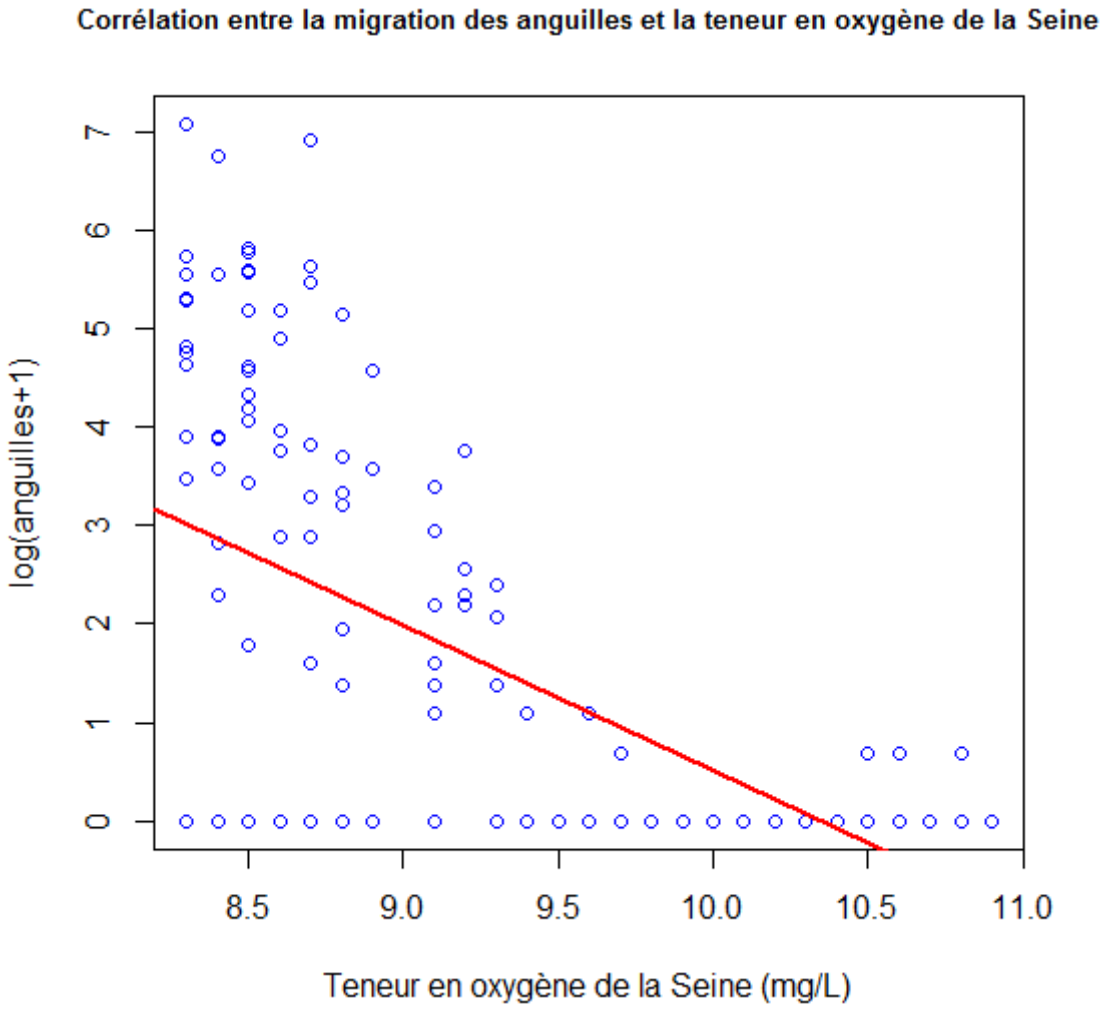


Figure 27: Corrélation entre la migration des anguilles et la teneur en oxygène (mg/L) de la Seine.

- **Autres paramètres**

Il n'y a aucune corrélation significative entre la montaison des anguilles sur la Seine et le débit (cor=-0.03555534 , p-value > 0.05), le coefficient de marée (cor=0.002623716 , p-value > 0.05) et le pourcentage de recouvrement de la lune (cor=-0.01224146 , p-value > 0.05).

4. Distinction du suivi de la migration des anguilles européennes selon leur âge

4.1. Individus de l'année (âgés de moins d'un été)

Les individus de l'année sont issus du recrutement annuel. Ils regroupent:

- des civelles au stade VIB : ce sont des civelles totalement pigmentées mais qui gardent une certaine transparence du corps
- des anguillettes pigmentées issues du recrutement de l'année : ce sont des individus totalement pigmentés mais plus fin que les individus âgées d'un été au moins. Ils ont achevés leur développement en tant que civelle.

4.1.1. Déroulement de la migration

Le premier individu de l'année a été retrouvé dans le vivier le 2 juin (Fig.28). L'abondance en anguilles issues du recrutement de l'année est restée faible tout le long du mois de juin ainsi que pendant une grande partie du mois de juillet (0 à 6 individus). A partir du 25 juillet une augmentation de l'effectif des individus de l'année s'est fait remarquer jusqu'à la date du 11 août à partir de laquelle l'effectif a diminué. En revanche, aucun pic de migration ne peut être mis en évidence.

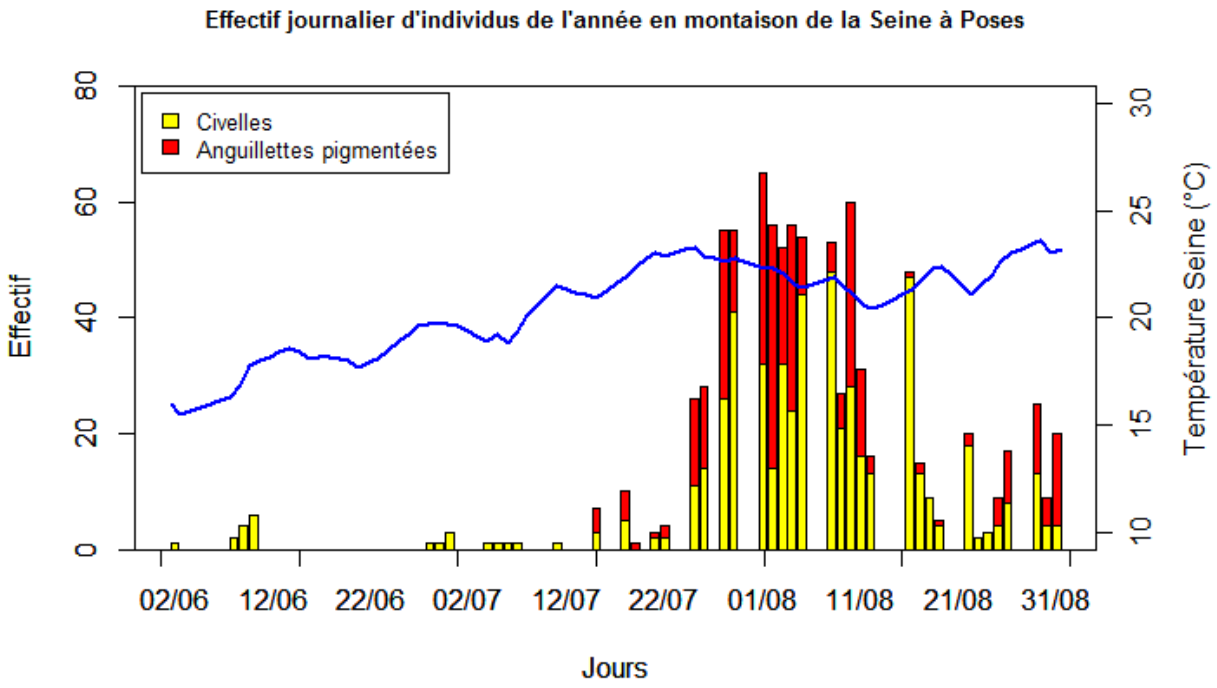


Figure 28: Effectif journalier des individus de l'année en montaison sur la Seine à Poses. En rouge: Anguillettes pigmentées. En jaune: Civelles stade VIB. En bleu: Température (°C) de la Seine.

Du 2 juin au 15 juillet, aucune anguillette pigmentée n'a été capturée, cette période correspond uniquement au recrutement de civelles. Ces premières ne sont arrivées dans le piège qu'à partir du 15 juillet. Elles n'ont été présentes que sur une période de moins d'un mois (fin juillet à mi-août).

Au cours du suivi, les individus de l'année se découpent ainsi: 62% de civelles et 38% d'anguillettes pigmentées. Il y a une différence significative de l'abondance en individus de l'année entre les mois (Test de Kruskall et Wallis, p-value < 0.05), sauf entre les mois de juin et juillet (Annexe 12).

4.1.2. Influence des facteurs environnementaux

- **Température**

La première civelle est arrivée à une température de la Seine à 16°C et la première anguillette pigmentée est arrivée à une température de la Seine de 20.9°C. Cependant, l'abondance en individus de l'année est devenue plus importante lorsque la température de la Seine a dépassé les 23°C. Il existe une corrélation entre la migration des individus de l'année et la température de la Seine (cor=0.4438714 , p-value < 0.05) (Fig.29).

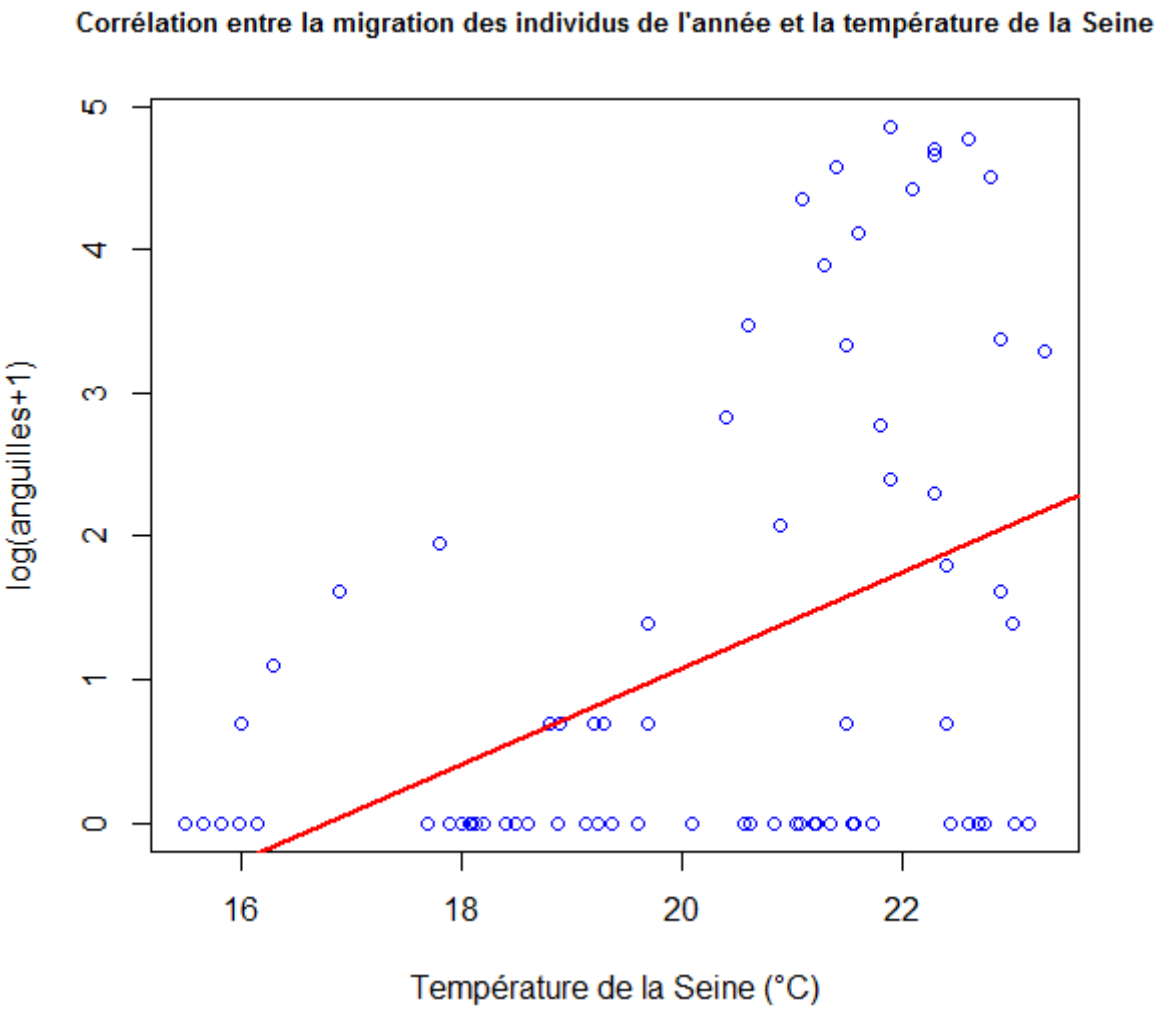


Figure 29: Corrélation entre la migration des individus de l'année et la température de la Seine.

- **Teneur en oxygène**

Une corrélation significative est notée entre la teneur en oxygène dans la Seine et la migration des individus de l'année (cor= 0.4263019 , p-value < 0.05) (Fig.30). Les individus de l'année retrouvés dans le vivier sont arrivés à des teneurs en oxygène dans la Seine inférieures à 9,5 mg/L. En revanche, plus cette teneur est basse plus l'abondance en individus issus du recrutement annuel diminue, notamment au-dessous de 8,0 mg/L.

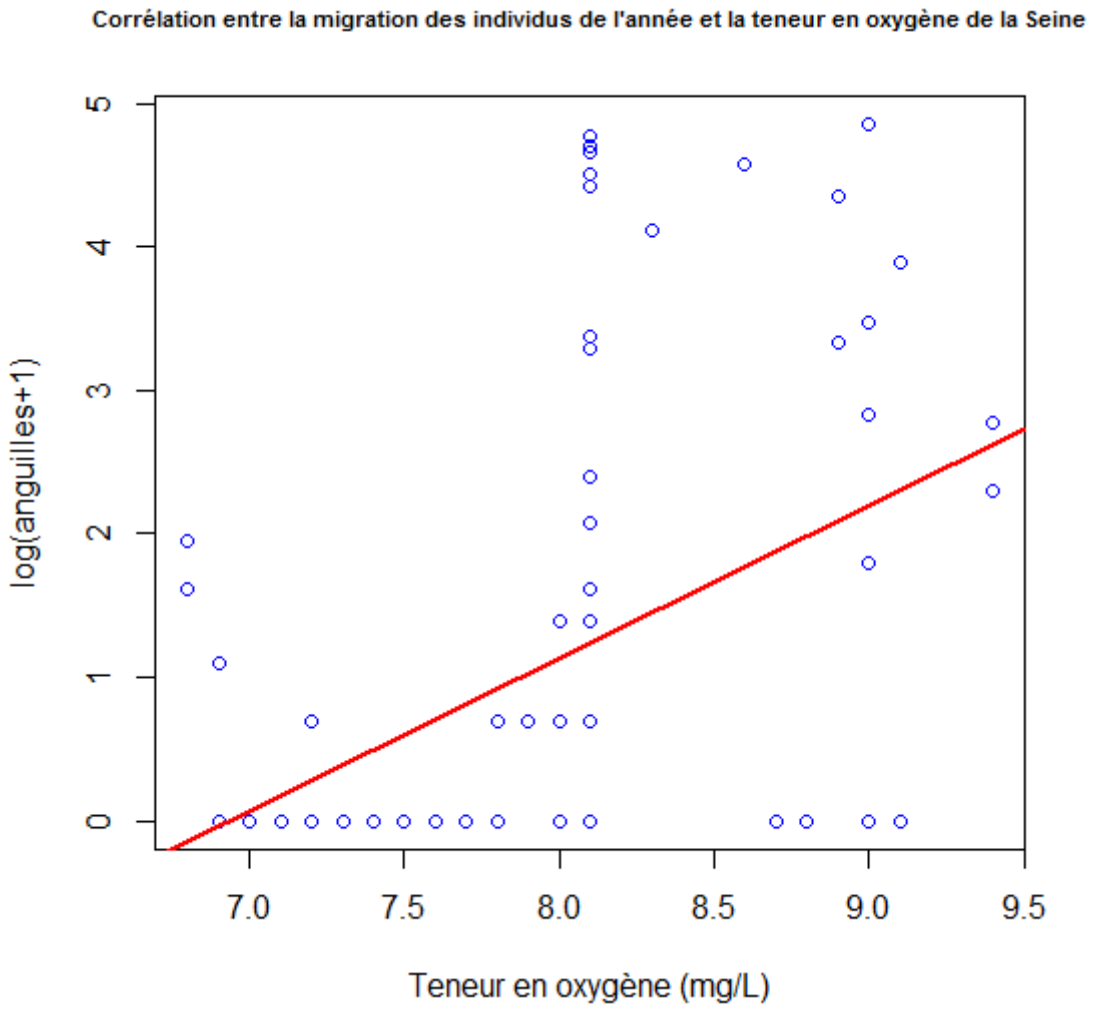
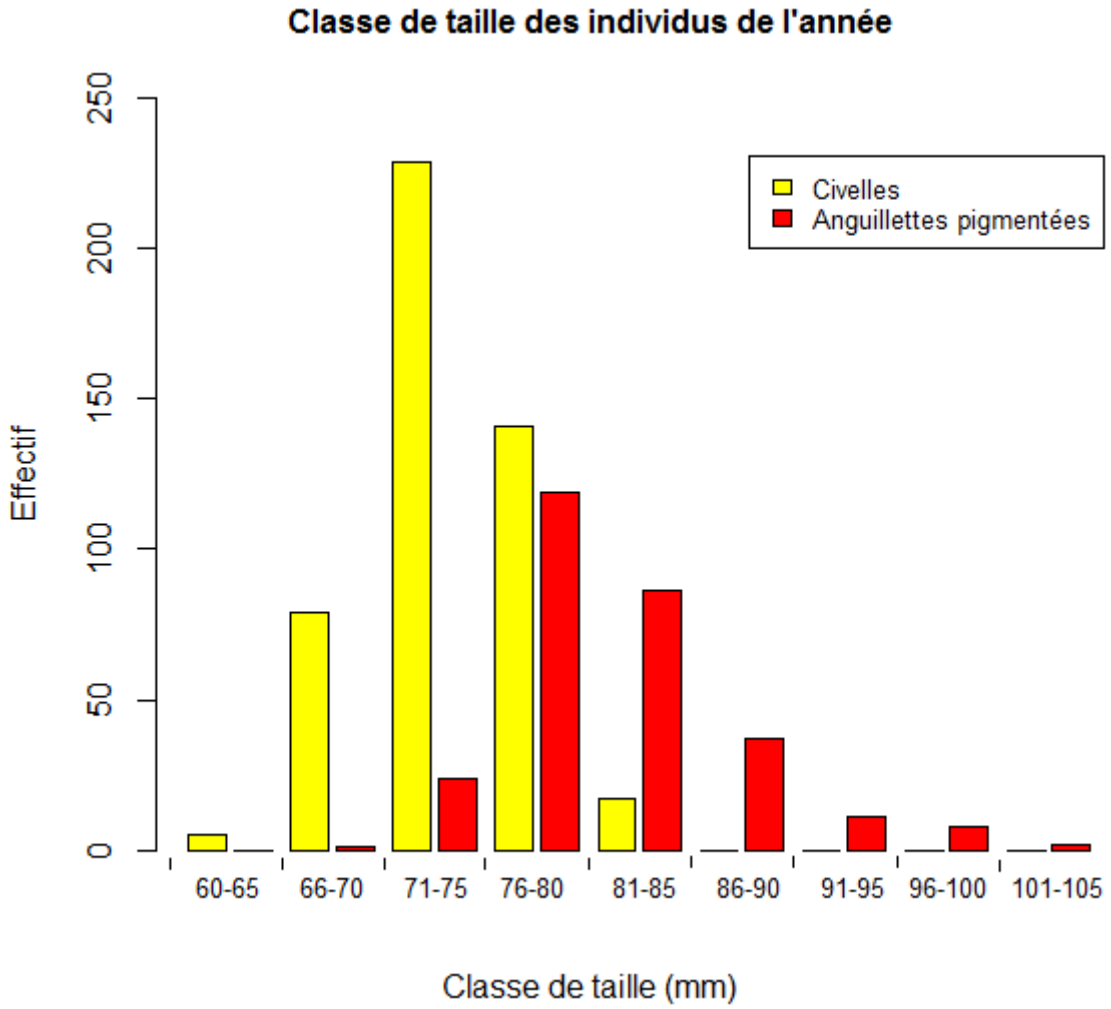


Figure 30: Corrélation entre la migration des individus de l'année et la teneur en oxygène dans la Seine.

4.1.3. Caractéristiques de la population

La plus petite civelle à avoir utilisé le dispositif de rampes à anguilles a une taille de 64mm et la plus grande 83 mm. La majorité des civelles ont une taille comprise entre 71 et 75mm (plus de 48% des civelles) (Fig.31). Entre 76 et 80mm, la répartition entre civelles et anguillettes pigmentées est pratiquement similaire (54% et 46% respectivement pour cette classe de taille). Au-delà des 80mm, ce sont les anguillettes pigmentées qui dominent (90% d'anguillettes pigmentées au-delà des 80mm contre seulement 10% de civelles). Il existe une différence significative entre la taille des civelles et la taille des anguillettes pigmentées (Test U de Mann et Whitney, p-value < 0.05).



<u>Figure 31</u>: Structure en classe de taille des individus de l'année. En jaune: civelles. En rouge: anguillettes pigmentées.

L'abondance en civelles et en anguillettes pigmentées tend à augmenter au cours des mois de juin, juillet et août (Fig.32). La part en civelle reste également toujours supérieure à celle en anguillettes pigmentées.

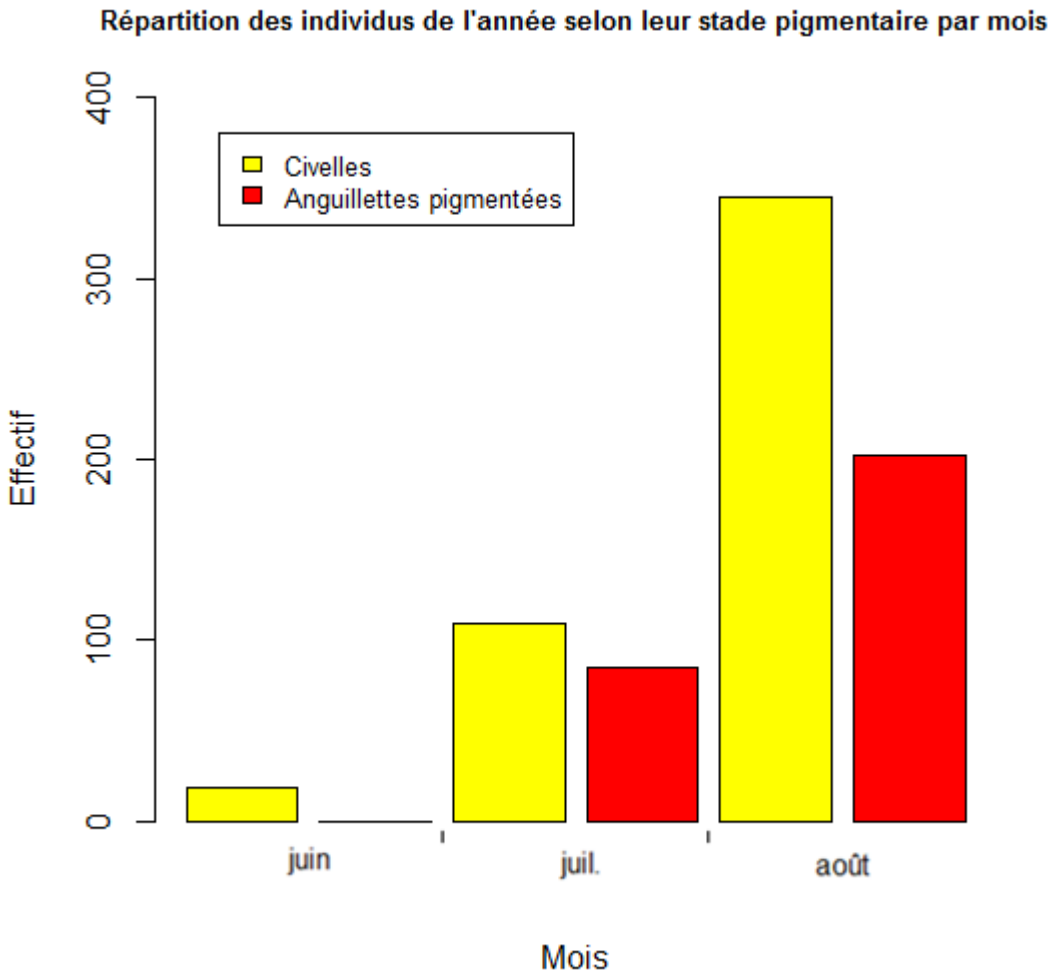


Figure 32: Répartition des individus de l'année selon leur stade pigmentaire par mois. En jaune: civelles. En rouge: anguillettes pigmentées.

Il n'existe aucune différence significative de la taille des individus de l'année entre les mois de juin, juillet et août (Test de Kruskall et Wallis, p-value > 0.05) (Fig.33 ; Annexe 13). Une absence de différence significative est également observée entre le poids des individus de l'année entre les mois de juin, juillet et août (Test de Kruskall et Wallis, p-value > 0.05) (Fig.34 ; Annexe 14). Pourtant, une diminution du poids au cours des mois tendrait à être observée.

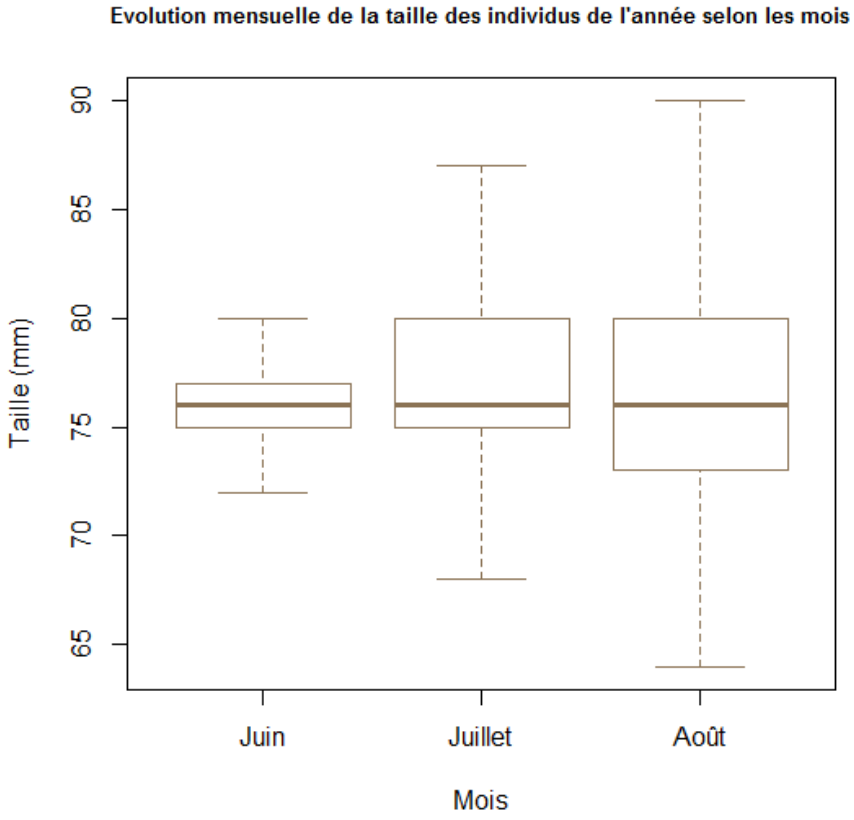


Figure 33: **Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la taille des individus de l'année selon les mois.**

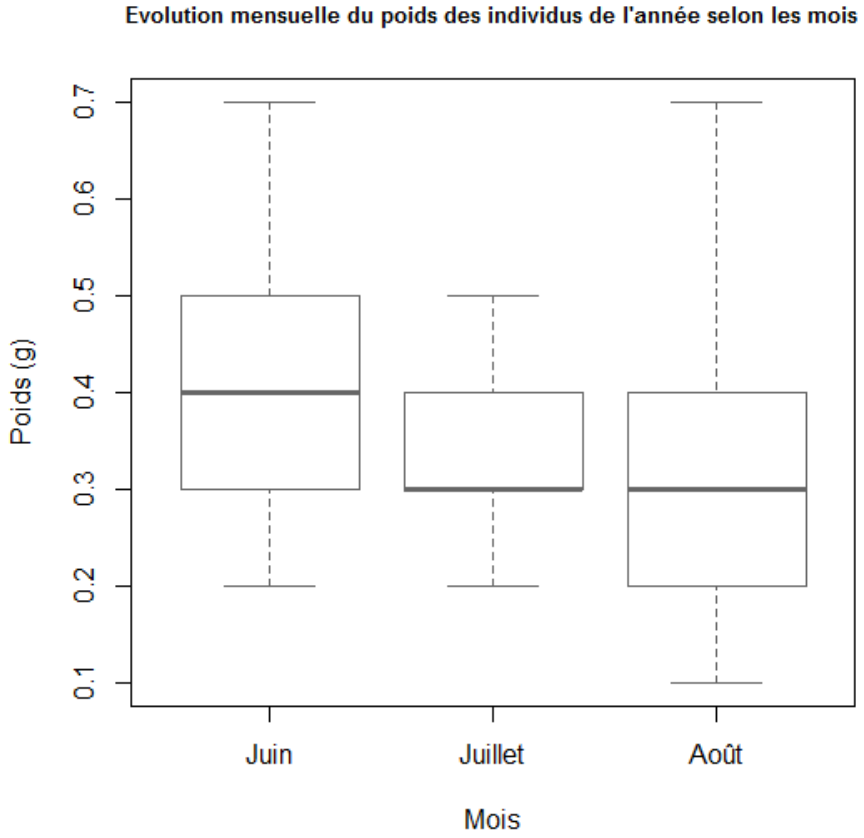


Figure 34: **Boxplot représentant l'évolution mensuelle du poids des individus de l'année selon les mois.**

4.2. Anguillettes (âgées d'un été au moins)

Les anguillettes âgées d'un été au moins sont issus du recrutement des années précédentes. Elles sont totalement pigmentées et sont au stade pigmentaire jaune.

4.2.1. Déroulement de la migration

Au total, les anguillettes jaunes représentes 87% des individus capturées, contre seulement 13% d'individus de l'année. C'est pour cette raison que leur distribution (Fig.35) suit celle de la totalité des anguilles européennes retrouvées dans le vivier.

Le premier individu a été capturé le 25 avril, puis l'abondance est restée faible jusqu'au 2 juin où a eu lieu le premier pic de migration, avec un total de 2395 anguillettes jaunes relevées sur la période du 2 juin au 10 juin (intervalle de temps sur lequel les impacts du phénomène de crue ce sont fait le plus ressentir). L'effectif en anguillette jaune est ensuite redevenu bas puis a augmenté progressivement jusqu'au deuxième pic de migration noté le 28 juillet, avec 1065 anguillettes jaunes arrivées dans le vivier. Puis, l'abondance a diminuée progressivement.

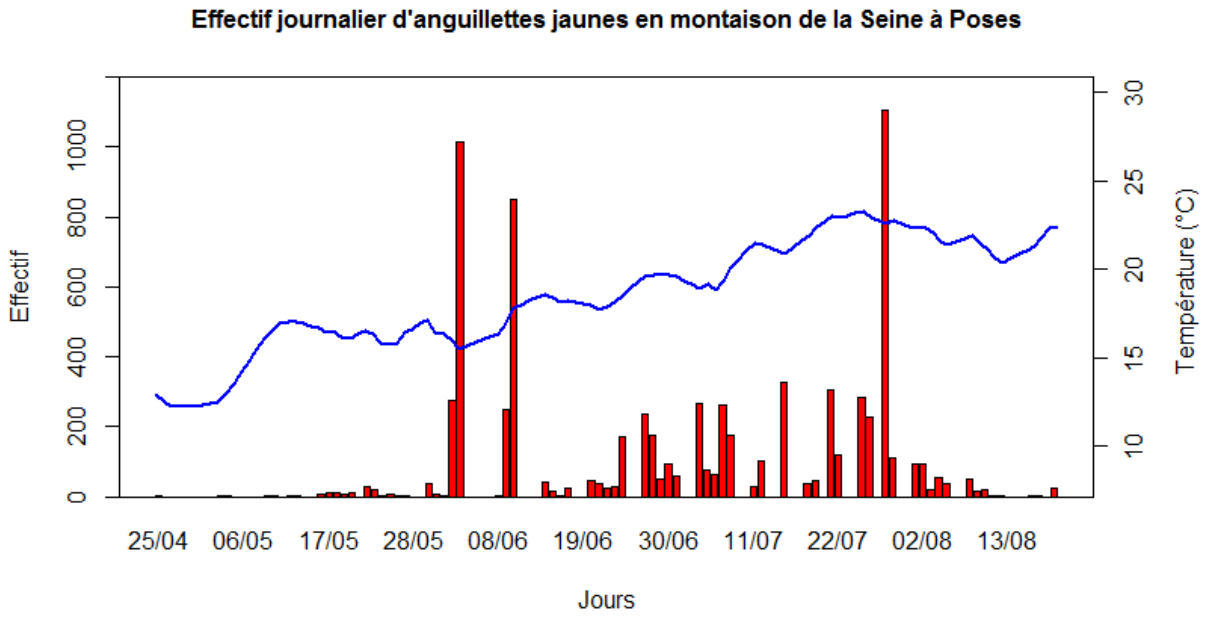


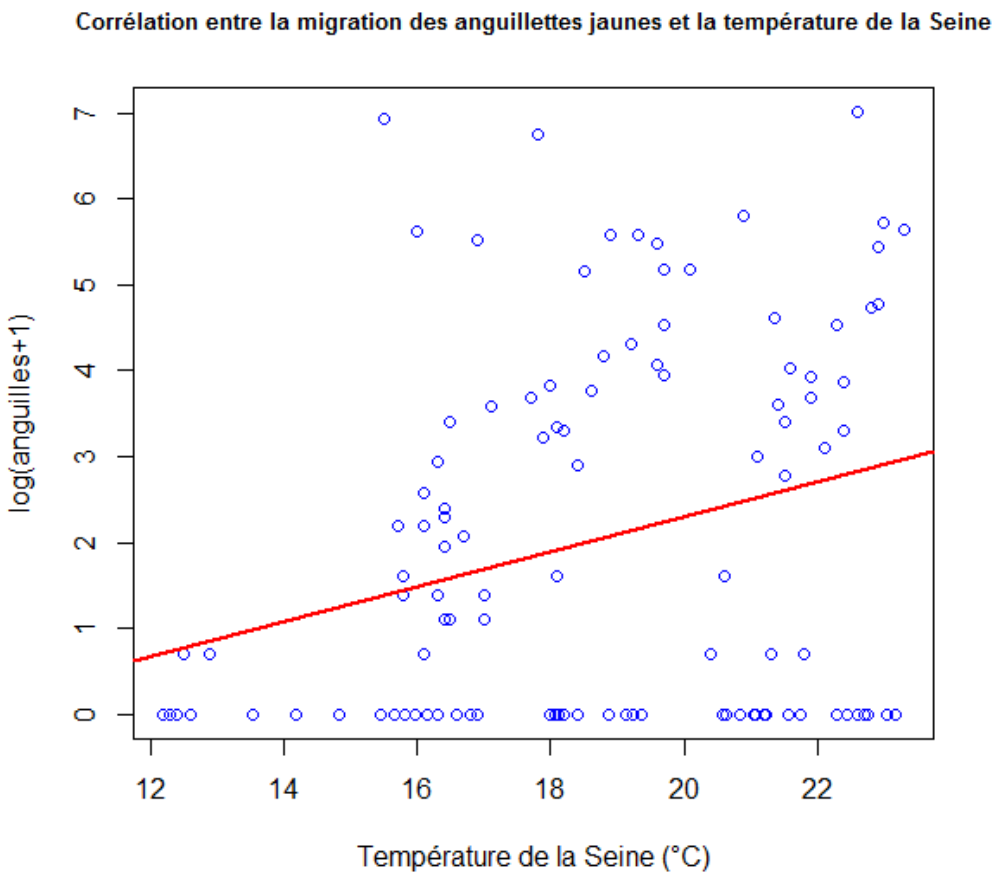
Figure 35: Graphique représentant l'effectif journalier d'anguillettes jaunes âgées d'un été au moins capturées en montaison de la Seine à Poses en fonction de la température. En bleu: Température de la Seine.

4.2.2. Influence des facteurs environnementaux

- **Température**

La première anguillette jaune a été retrouvée dans le vivier à une température de la Seine de 12,9°C. Hors ce jour était un lundi, il est donc probable que cet individu ait franchi le dispositif de rampes à anguilles pendant le week-end à des températures plus élevées, sachant que le vendredi la

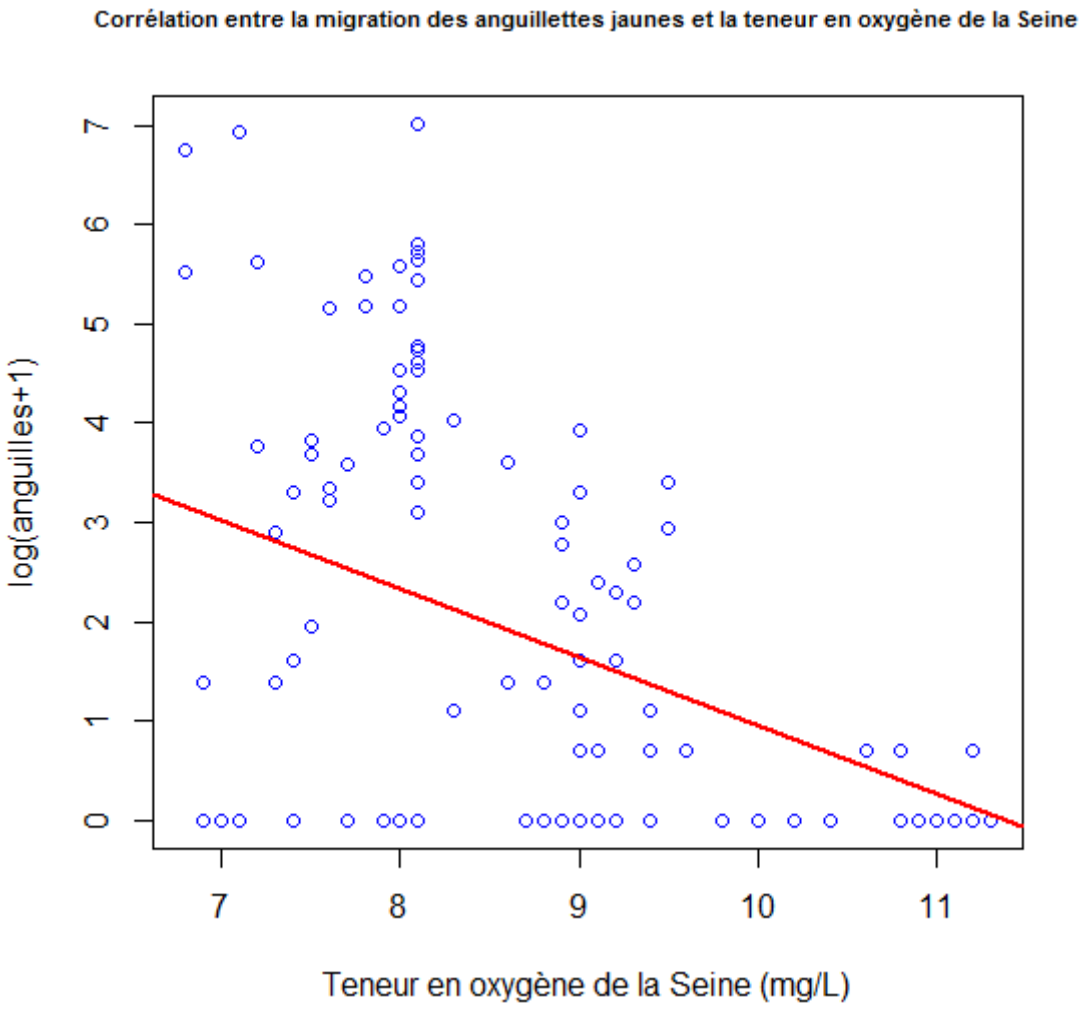
température de la Seine était à 14°C. Plus la température de la Seine est élevée, plus l'abondance en anguillettes jaunes remontant la Seine est importante. Il y a une corrélation entre la migration des anguillettes jaunes et la température de la Seine (cor= 0.2950065 , p-value < 0.05) (Fig.36). En revanche, il s'agit d'une corrélation assez faible.



<u>Figure 36</u>: Corrélation entre la migration des anguillettes jaunes âgées d'un été au moins et la température (°C) de la Seine.

- **Teneur en oxygène**

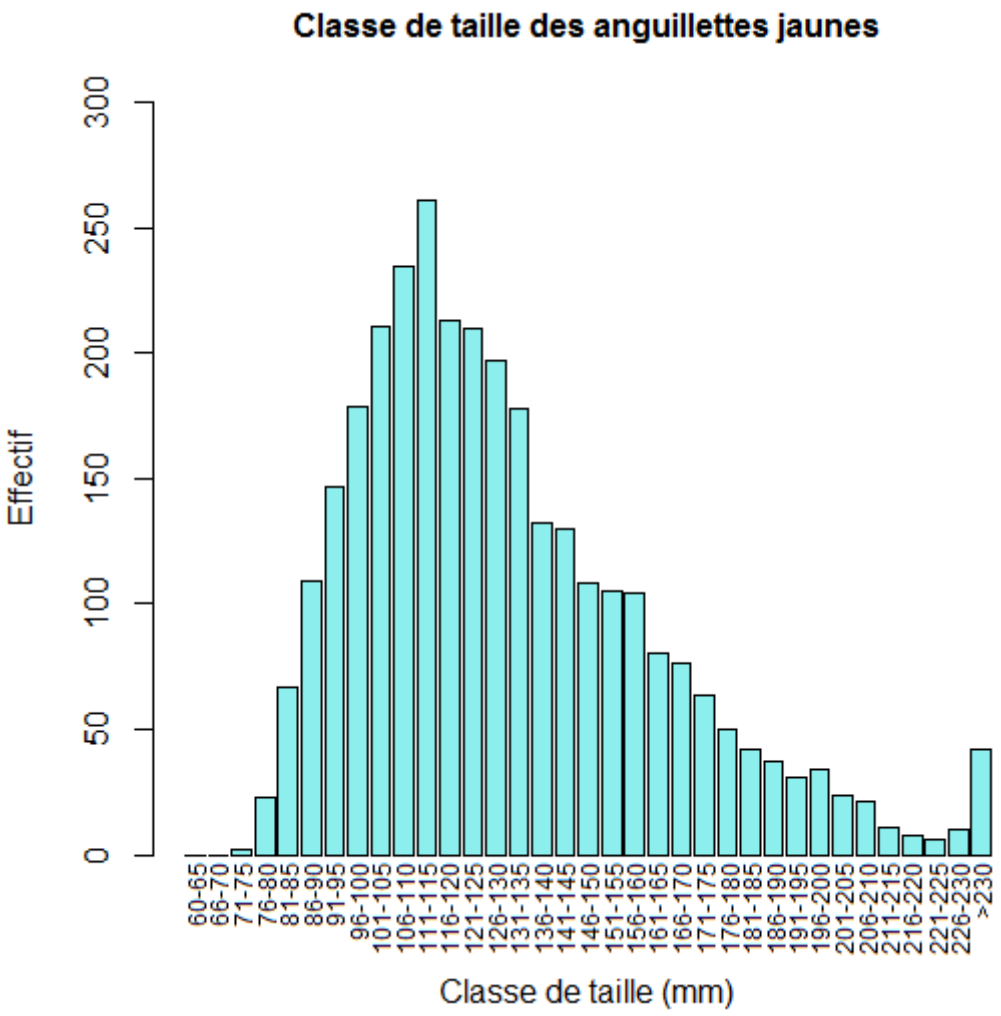
Les anguillettes jaunes ont franchi le dispositif de rampes à anguilles à des teneurs en oxygène de la Seine inférieure à 11 mg/L. Une corrélation négative significative est notée entre la migration des anguillettes jaunes dans la Seine et la teneur en oxygène de l'eau (cor=-0.353688 , p-value < 0.05) (Fig. 37). Plus la teneur en oxygène est faible, plus l'abondance en individus âgés d'un été au moins est forte.



<u>Figure 37</u>: Corrélation entre la migration des anguillettes jaunes âgées d'un été au moins et la teneur en oxygène (mg/L) de la Seine.

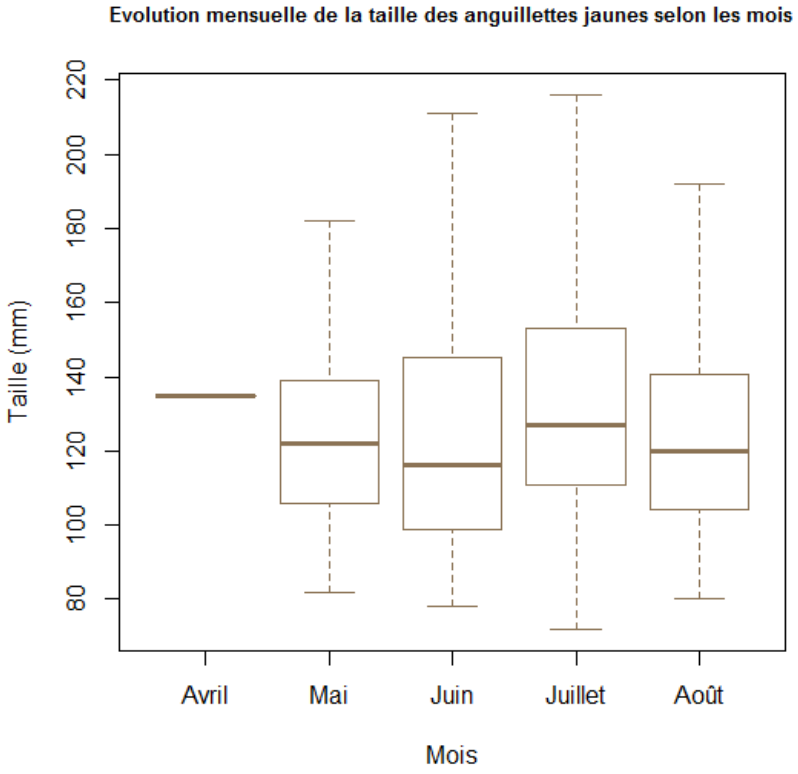
4.2.3. Caractéristiques de la population

La plus grande anguillette jaune à avoir franchi le dispositif de rampes à anguilles fait 340 mm et la plus petite 74 mm. En revanche, les individus âgés d'un été au moins avec une taille inférieure à 80 mm sont très peu nombreux car il s'agit le plus souvent de civelles. 54% des anguillettes jaunes capturées ont une taille comprise entre 95 mm et 135 mm avec une majorité des individus compris entre 111 mm et 115 mm (261 anguilles sur 3147, soit 8% des individus totaux) (Fig.38).

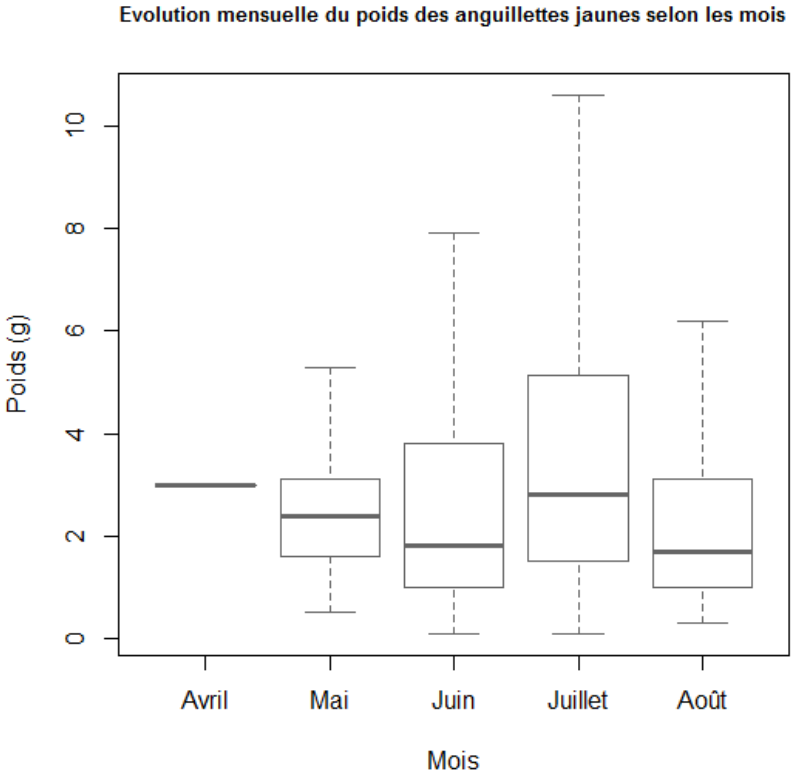


<u>Figure 38</u>: Structure en classe de taille des anguillettes jaunes âgées d'un été au moins.

Il existe une différence significative, entre le mois de juillet et les mois de mai, juin et août, de la taille des anguillettes jaunes (Test de Kruskall et Wallis, p-value < 0.05) (Fig.39 ; Annexe 15). En revanche, ce n'est pas le cas pour les autres mois. Egalement, une différence significative du poids des anguillettes jaunes entre le mois de juillet et les mois de juin et août, puis entre les mois de mai et août, est mis en évidence (Test de Kruskall et Wallis, p-value < 0.05) (Fig.40 ; Annexe 16).



<u>Figure 39</u>: Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la taille des individus âgés d'un été au moins selon les mois.



<u>Figure 40</u>: Boxplot représentant l'évolution mensuelle du poids des individus âgés d'un été au moins selon les mois.

5. Phénomène de crue

L'augmentation du niveau de la Seine a débuté le jeudi 02 juin. La hauteur de l'eau en aval du barrage de Poses est montée progressivement jusqu'à atteindre le niveau en amont du barrage (Annexe 17). Ainsi, le niveau de l'eau dans la passe à poissons a également augmenté, diminuant ainsi les effets de chute et les turbulences qui empêchent les anguilles de migrer en amont de la Seine en passant par la passe à poissons. Ce même jour, 276 anguilles ont été retrouvées dans le vivier. Le lendemain correspond au premier pic de migration avec 1017 individus capturés. En revanche, il a été supposé qu'une grande partie des anguilles arrivées dans le filet n'ont pas franchi le dispositif de rampe à anguilles mais qu'elles ont été aspirées par la pompe amont. En effet, l'augmentation du niveau de l'eau a permis aux anguilles de pouvoir rentrer dans la passe à poissons, leurs évitant ainsi de devoir monter les rampes pour rejoindre l'amont du barrage. Cependant, à ces dates, le niveau d'eau aval n'était pas encore au niveau d'eau amont, expliquant donc que les chutes d'eau dans les derniers bassins de la passe à poissons étaient encore présentes. Ainsi, les anguilles étaient bloquées au milieu de la passe à poissons et elles se sont réfugiées dans l'ancien piège où les turbulences de l'eau sont les plus faibles et où la pompe amont est installée.

Pour éviter que les individus s'accumulent dans le piège le week-end et s'asphyxient, les pompes ont été arrêtées pendant le week-end. De plus, de nombreux individus morts ont été retrouvés dans le vivier, ce qui peut s'expliquer par le fait que les individus aspirés par la pompe amont ont de grandes chances de se blesser et de mourir, en plus du risque d'asphyxie par l'accumulation d'anguilles dans le filet.

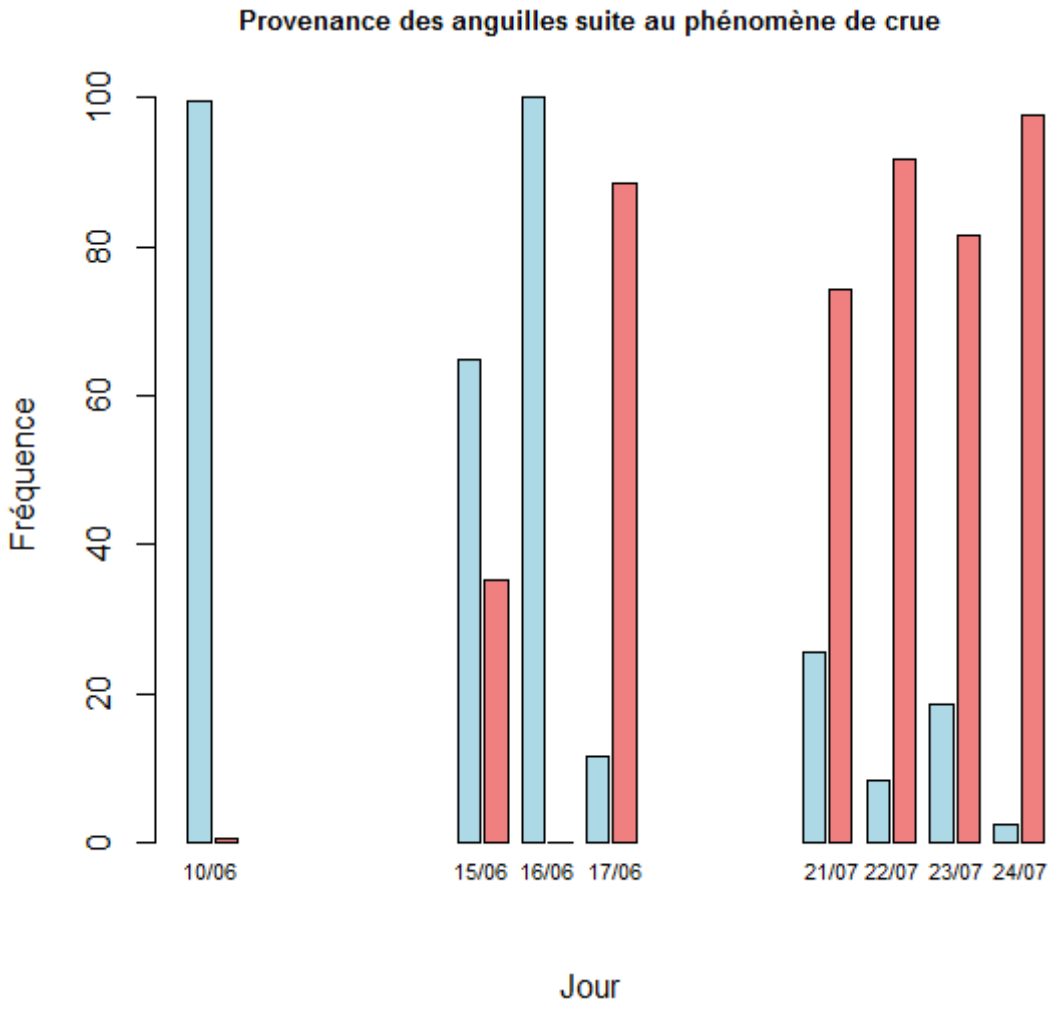
Dès le dimanche, les niveaux d'eau se sont rejoints, provoquant une inondation. Le collecteur était complètement recouvert par les eaux (Annexe 6). L'alimentation électrique a été coupée par l'usine hydroélectrique, empêchant ainsi l'utilisation des pompes. De plus, les quatre turbines ont été en même temps arrêtées, et ce jusqu'au mardi 14 juin. Le lendemain, et pendant une semaine, deux turbines sur les quatre ont été remises en fonctionnement.

Le 8 juin, l'alimentation a été acheminée au système et les niveaux d'eau ont légèrement diminués, permettant une reprise du fonctionnement du dispositif de rampe à anguilles avec la remise en fonctionnement des pompes. Deux jours plus tard, l'effectif était de 855 anguilles.

Les jours suivant le phénomène de crue ont été fructueux en abondance d'anguilles mais de très nombreux individus ont été retrouvés morts.

Pour savoir d'où venaient les anguilles (en passant par les rampes ou aspirées par la pompe amont) un filet a été placé au bout du canal de liaison reliant le premier répartiteur au second collecteur

(Annexe 18), pendant deux semaines. Ainsi, les anguilles retrouvées dans le filet ont traversé le dispositif de rampe à anguilles et les individus présents dans le vivier ont été aspirés par la pompe amont. Cette technique n'a pas été réalisée le week-end pour éviter que trop d'anguilles s'accumulent dans le filet et risquent de mourir asphyxiées, ainsi il n'a pas été possible de faire une distinction le lundi entre les individus provenant de l'aval de barrage et ceux provenant de la passe à poissons (Fig.41).



<u>Figure 41</u>: Provenance des anguilles européennes suite au phénomène de crue. En bleu: individus aspirés par la pompe amont. En rose: Individus ayant franchi le dispositif de rampes à anguilles.

Jusqu'au 16 juin, soit deux semaines après le début du phénomène de crue, la majorité des anguilles retrouvées dans le vivier ont été aspirées par la pompe amont. Le 10 juin, 99% des individus venaient de la passe à poisson (850 anguilles sur 855). Le 16 juin l'effectif n'était que de 4 individus. A partir du 17 juin, ce sont les anguilles ayant traversées le dispositif de rampes à anguilles qui prédominaient avec toujours plus de 75%.

6. Suiui qualitatif en aual et en amont du barrage de Poses

6.1. Suiui qualitatif en aual du barrage de Poses

Au total, cinq flottangs ont été déposés en aval du barrage. Quatre en rive gauche et un en rive droite. Trois d'entre eux ont été volés, le premier quelques jours après la pose (il n'a donc pas été sujet aux relèves) et les deux autres environ un mois après. Un quatrième flottang, au pied de la passe piège, n'est plus fonctionnel car il s'est emmêlé autour du dispositif de rampes à anguilles. L'emplacement étant propice au flottang, il a aussitôt été remplacé mais le nouveau flottang s'est fait retenu sous la surface de l'eau par un corps dérivant et perdu au moment de la relève. Au final, un seul des cinq flottangs est encore aujourd'hui en place (Tab.6).

Tableau 6: Récapitulatif du nombre de relevé des flottangs posés en aval du barrage.

Code (emplacement)	Nombre de relevés (rendu sur place)	Nombre de relevés réel	Raison	Nombre total d'individus capturés
1	6	2	Echoué à trois reprises puis volé	1
2	8	6	Echoué à deux reprises	5
3	1	0	Flottang volé	0
4	9	5	Usine fermée à 2 reprises puis flottang HS à deux reprises	1841
5	2	0	Echoué puis volé	0

La totalité des flottangs sur lesquels au moins une relève a pu être effectuée ont été pêchant. En revanche, ils se sont montrés peu efficaces, sauf celui présent au pied de la passe à poissons. La fonctionnalité de ce dernier s'explique par le fait qu'il est présent au pied du barrage de Poses qui constitue un obstacle à la migration des anguilles et où l'accumulation d'individus est importante. En effet, deux relèves ont dévoilées plus de 800 individus (Tab.7).

Tableau 7: Efficacité du flottang situé au pied de la passe (code 4).

Jour de relève	Nombre d'individus capturés dans le flottang	Nombre d'individus ayant franchi le dispositif de rampe à anguilles
22/07/2016	62	122
25/07/2016	856	309
26/07/2016	888	256
01/08/2016	35	197
09/08/2016	0	42

Les deux jours où les abondances dans le flottang étaient importantes (>800) correspondent au 25 juillet et au 26 juillet. Il est intéressant de noter que ces forts effectifs interviennent quelques jours avant le second pic de migration qui a eu lieu le 28 juillet avec 1182 anguilles ayant franchi le dispositif de rampes à anguilles.

Le plus petit individu retrouvé faisait une taille de 62 mm et le plus grand 131 mm. 83% des anguillettes piégés sont comprises dans une classe de taille de 71 à 95mm. Seules cinq individus avaient une taille inférieure ou égale à 65mm (Fig.42).

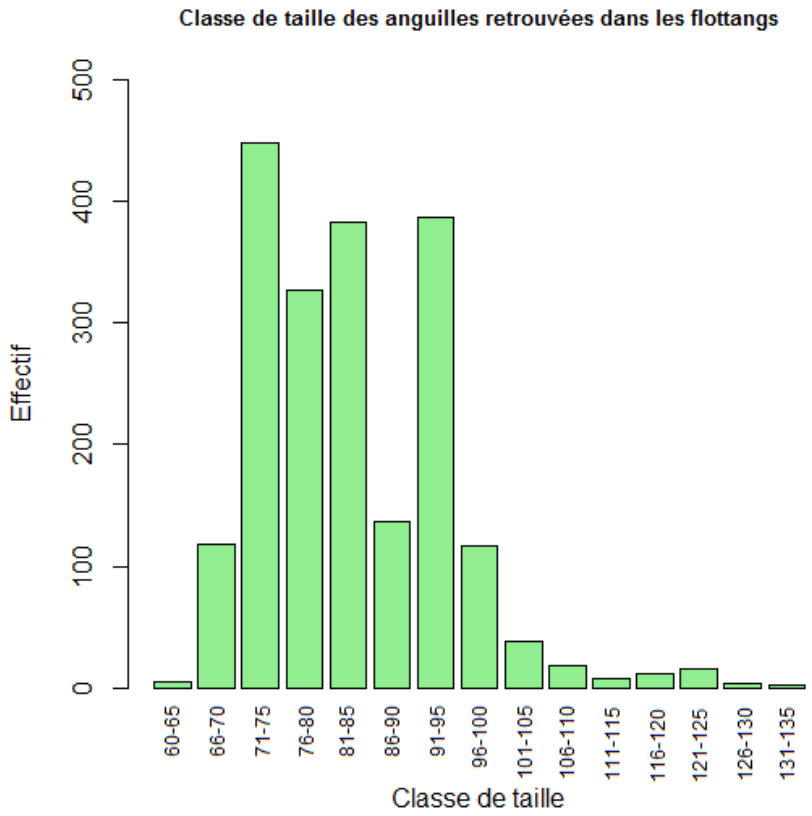


Figure 42: Structure en classe de taille des anguilles européennes retrouvées dans les flottangs.

6.2. Suivi qualitatif en amont du barrage de Poses

Deux flottangs ont été posés en amont du barrage de Poses, un en rive gauche et un en rive droite.

Tableau 8: Récapitulatif du nombre de relevé des flottangs posés en amont du barrage.

Code (emplacement)	Nombre de relevé (rendu sur place)	Nombre de relevé réel	Raison	Nombre total d'individus capturés
6	5	5	RAS	1
7	5	5	RAS	14

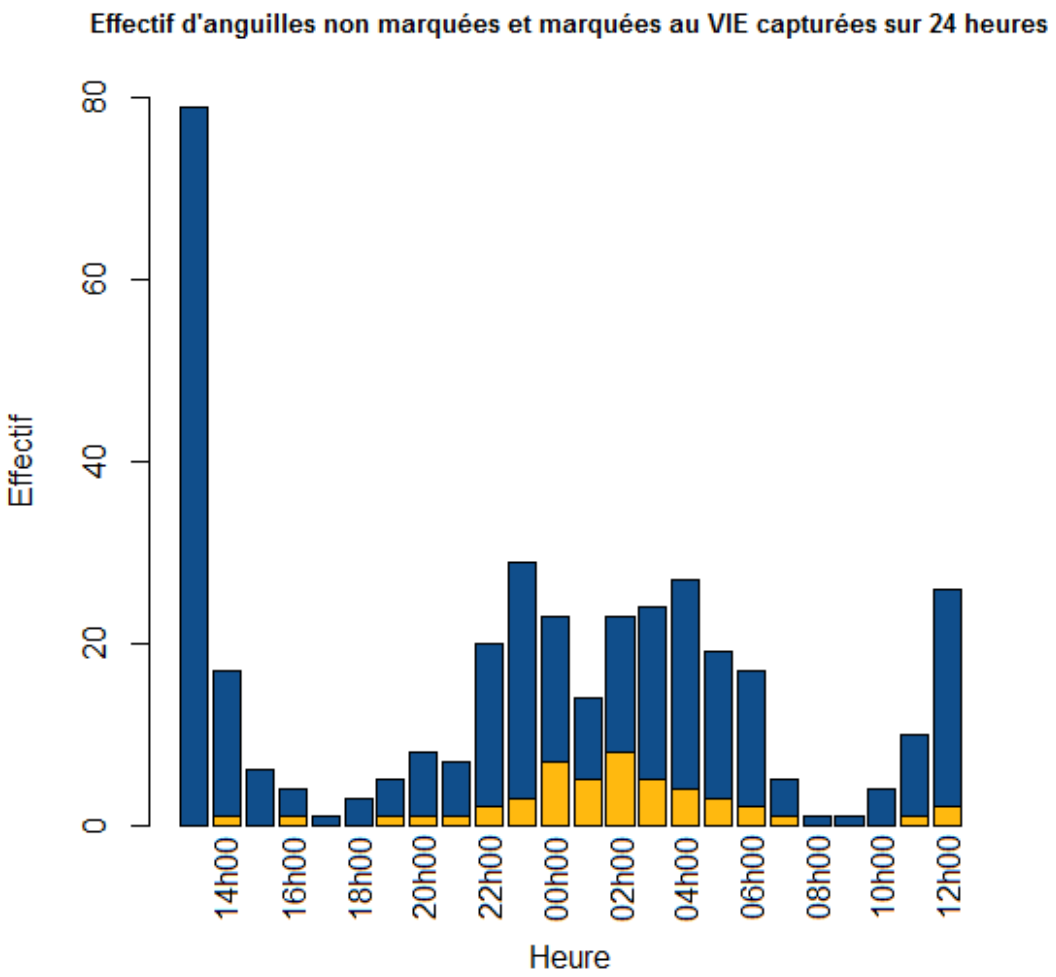
Le flottang rive droite n'a permis de capturer qu'une seule anguille. En revanche, sa présence indique une capacité des anguilles à franchir le barrage au niveau des écluses.

14 individus ont été capturés grâce au flottang disposé en rive gauche. Deux hypothèses s'ouvrent alors quant à leur présence. Soit les anguilles peuvent franchir le barrage autre que par le dispositif de rampes à anguilles mis à cet effet (notamment par la passe à poissons), soit quelques individus relâchés plus en amont après la biométrie effectuée lors de la relève du piège redescendent légèrement la Seine avant de ré-entamer leur migration.

7. Capture – Marquage – Recapture

7.1. Suivi sur 24 heures

Pendant le suivi sur 24 heures, 373 anguilles ont été relevées dans le vivier. 79 individus sont arrivées dès la première heure, mais s'agit très certainement pour la majorité d'individus qui étaient déjà engagés dans le dispositif (Fig.43). L'abondance a ensuite diminué jusqu'à 17h où seule une anguille a été retrouvée dans le vivier. L'effectif a ensuite augmenté jusqu'à atteindre un pic à 23h (29 individus) qui a stagné jusqu'à 4h (27 individus), puis il a diminué jusqu'à 8h pour ensuite encore augmenter.



<u>Figure 43</u>: Effectif d'anguilles européennes capturées pendant le suivi sur 24 heures. En bleu: individus non marqués. En jaune: individus marqués au VIE jaune.

100 anguilles ont été marquées au VIE jaune puis relâchées directement dans le premier collecteur du dispositif de rampes à anguilles. Au total, 72 individus sont revenus dans le vivier. Pendant le suivi sur 24 heures, 48 anguilles ont été retrouvées (Fig.44). La première anguille marquée est revenue au bout de deux heures. La majorité des individus sont revenues entre 23h et 5h, soit 11 à 17h après les avoir relâchées. Un pic est observé à 2h avec 8 anguilles capturées.

23 autres anguilles marquées au VIE jaune ont été retrouvées deux jours après le suivi, puis le dernier individu recapturé l'a été cinq jours après (sachant qu'il y a eu un week-end entre deux).

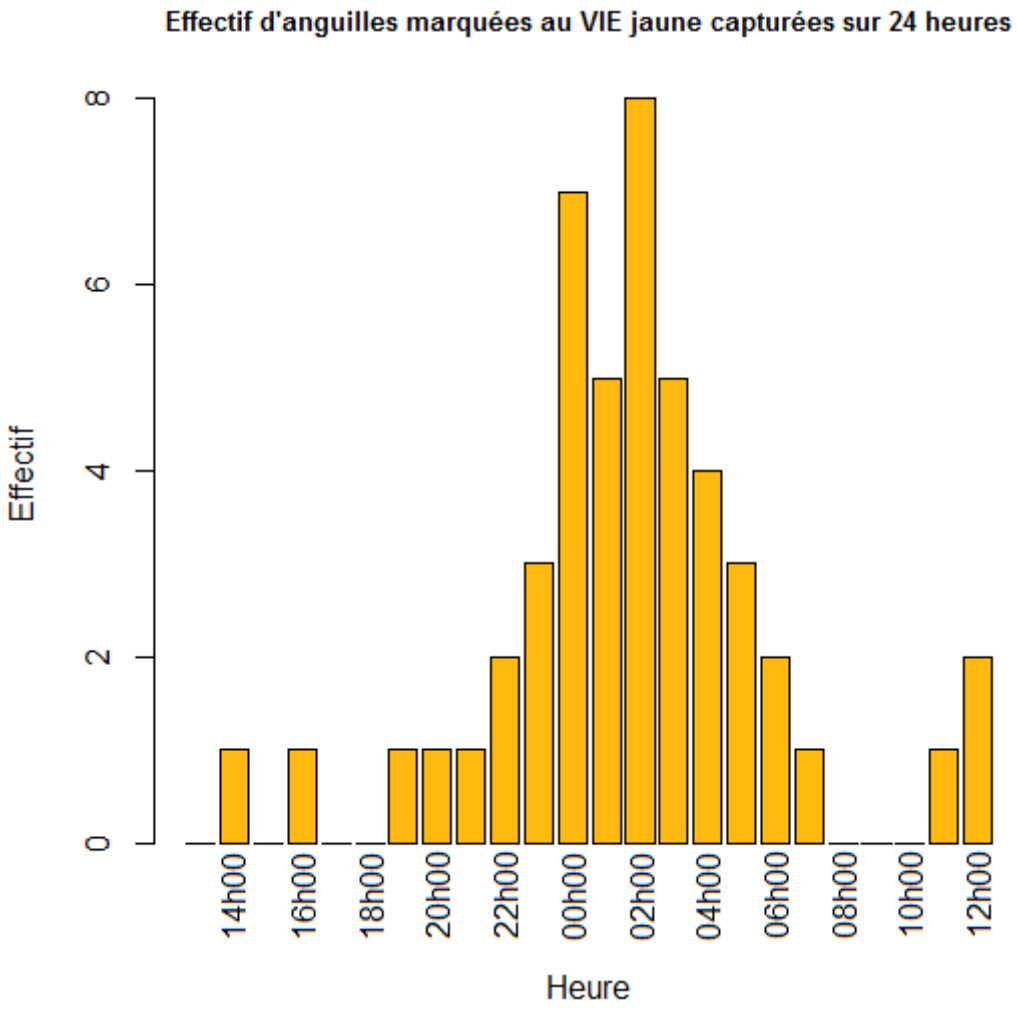


Figure 44: Effectif d'anguilles européennes marquées au VIE jaune capturées pendant le suivi sur 24 heures.

7.2. Efficacité de la passe piège

200 individus ont été marqués au VIE rouge puis relâchés 200 mètres en aval du barrage de Poses le 8 juillet. Seules 6 anguilles ont franchi à nouveau le dispositif, correspondant à 3% de taux d'efficacité de la passe.

Le premier individu est revenu le 12 juillet et le dernier le 11 août, soit plus d'un mois après le marquage.

Il faut également noter qu'aucun individu marqué n'a été retrouvé dans les flottangs.

8. Comparaison des suivis 2014, 2015 et 2016

2016 correspond à la troisième année de suivi de l'anguille européenne sur la Seine.

La première année, 11762 ont été capturées du 1er avril 2014 au 19 août 2014. La deuxième année, seuls 4657 ont franchi le dispositif pendant cette période, correspondant à 40% de l'effectif de 2014. Cette année, 8920 anguilles sont arrivées dans le piège, soit pratiquement deux fois plus que l'année précédente et 76% de l'effectif de 2014 (Fig.45).

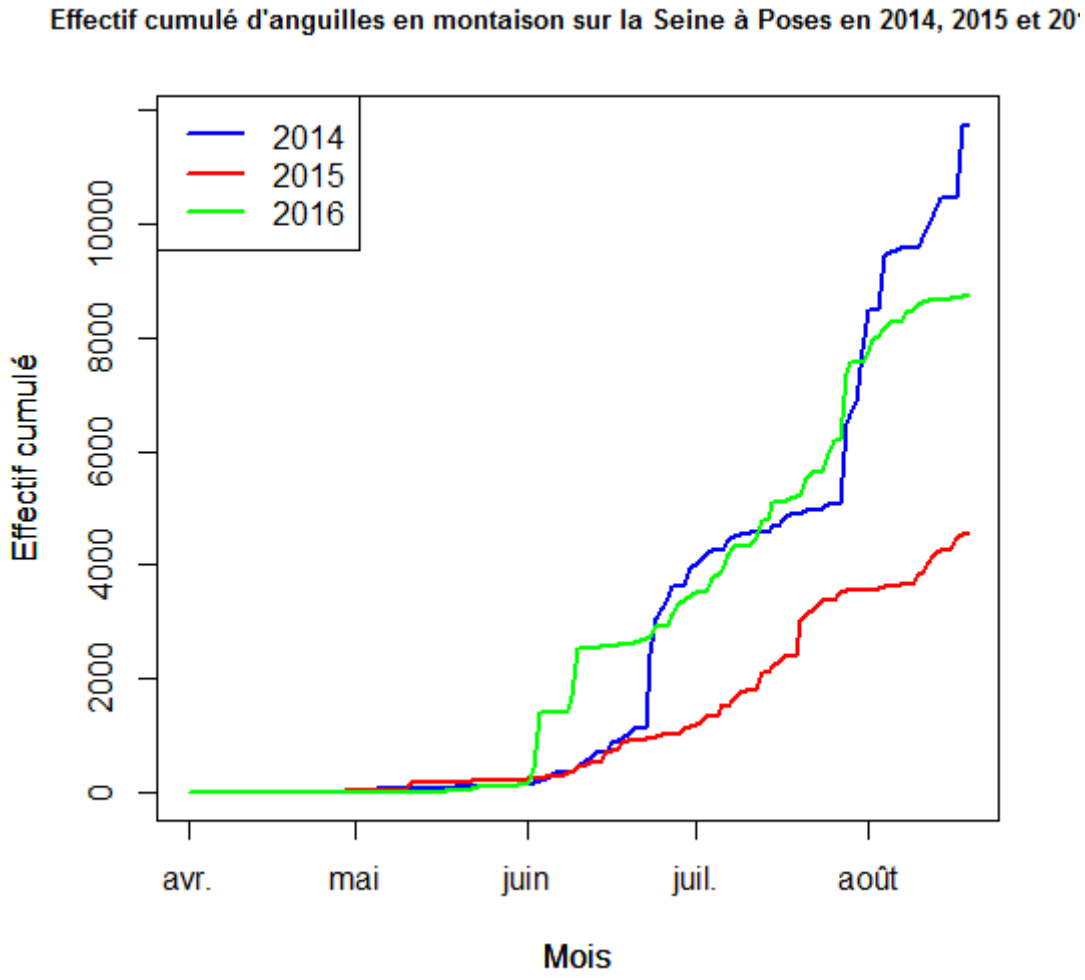


Figure 45: Comparaison de l'effectif cumulé d'anguilles européennes en montaison sur la Seine à Poses sur les trois années d'études. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En rouge: 2016.

En 2014, deux premiers individus sont arrivés le 9 avril (Fig.46). L'effectif est cependant resté faible pendant les deux premiers mois du suivi. Deux pics de migration sont observés. Le premier le 10 juin (1275 individus), il faut cependant noter qu'il apparait pendant un arrêt de turbinage. Le second pic a eu lieu le 28 juillet (1393 individus).

En 2015, la première anguille a été capturée le 16 avril, soit une semaine plus tard que l'année précédente. Deux pics de migrations sont également mis en évidence, avec des abondances cependant beaucoup plus faibles. Le premier pic correspond au 13 juillet avec 310 individus capturés, puis le second pic au 20 juillet avec 644 anguillettes.

Pendant cette troisième année de suivi, la première anguille est arrivée le 25 avril. Les deux pics de migration datent du 3 juin (phénomène de crue, 1017 individus) et du 28 juillet (1182 individus). Les deux pics mis en évidence cette année concorde avec les pics de migration de 2014.

Cependant, aucune différence significative de l'abondance des individus entre les trois années n'est notée (Test de Kruskall et Wallis, p-value > 0.05) (Annexe 19).

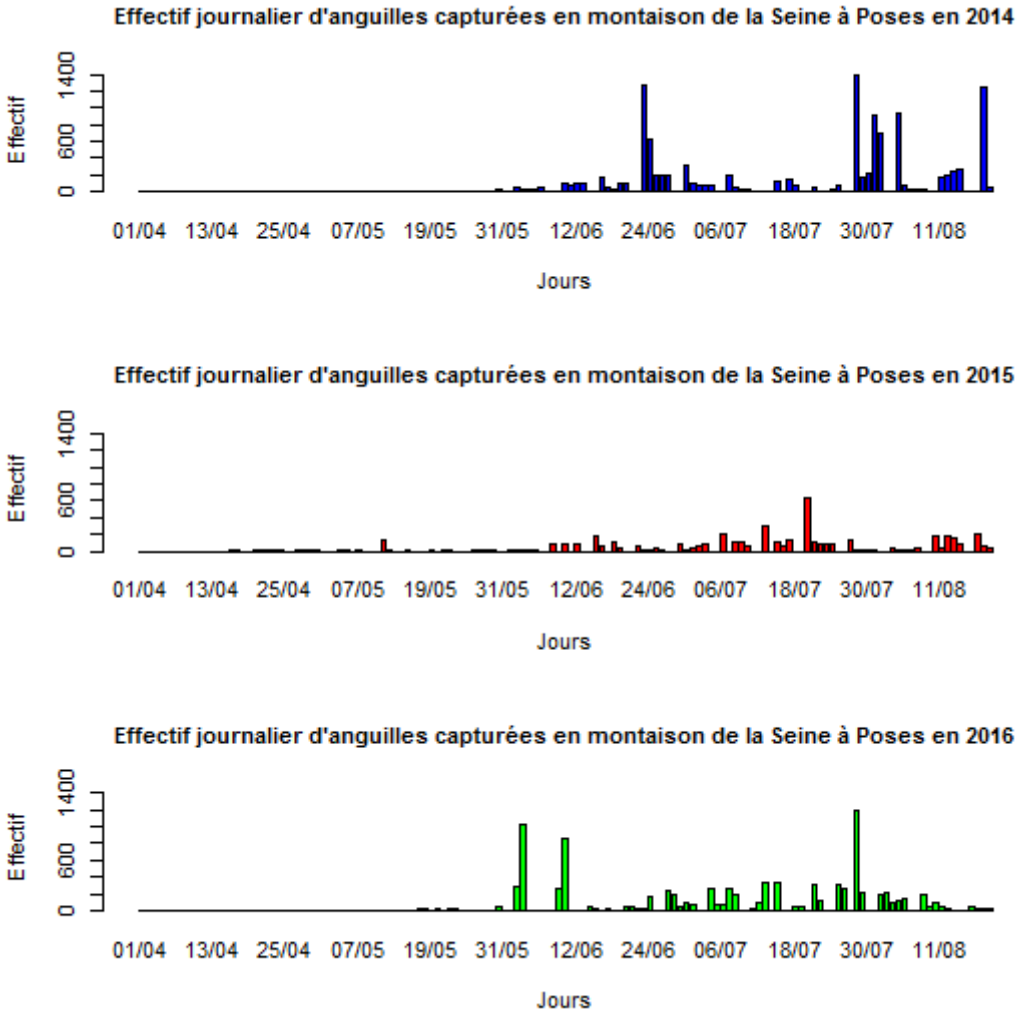


Figure 46: Comparaison de l'effectif journalier d'anguilles européennes capturées pendant les trois années de suivi. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016.

8.1. Migration des individus de l'année

En 2016 le premier individu de l'année est apparu le 2 juin. En 2014, la première civelle est arrivée le 10 juin et en 2015 le premier individu de l'année a été capturé un mois plus tard, soit le 8 juillet (Fig.47). Malgré une arrivée plus précoce des individus issus du recrutement annuel cette année, l'effectif est resté très faible et n'a commencé à augmenter qu'à la fin du mois de juillet pour atteindre 1116 individus au total. En 2014, l'effectif a augmenté à partir de la fin du mois de juin, mais une augmentation plus importante avait été mise en évidence à la fin du mois de juillet. Au total, 3573 individus de l'année ont été capturés en 2014. Pendant la deuxième année de suivi, en 2015, l'effectif a augmenté au début du mois de juin, puis, contrairement aux deux autres années, a stagné dès la fin du mois de juillet pour atteindre 657 individus de l'année au total (Fig.48). En revanche, aucune différence significative n'est relevée entre la migration des individus de l'année entre les différentes années (Test de Kruskall et Wallis, p-value > 0.05) (Annexe 20).

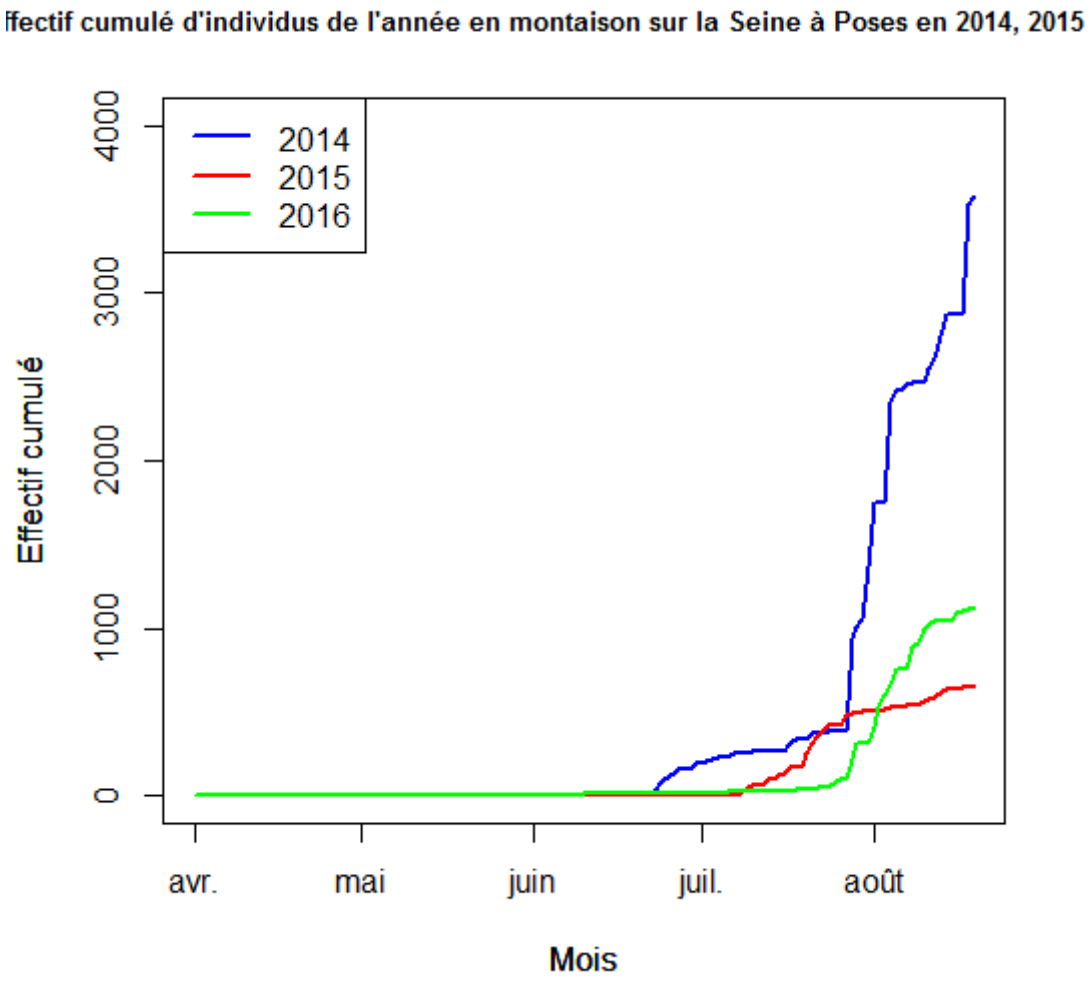
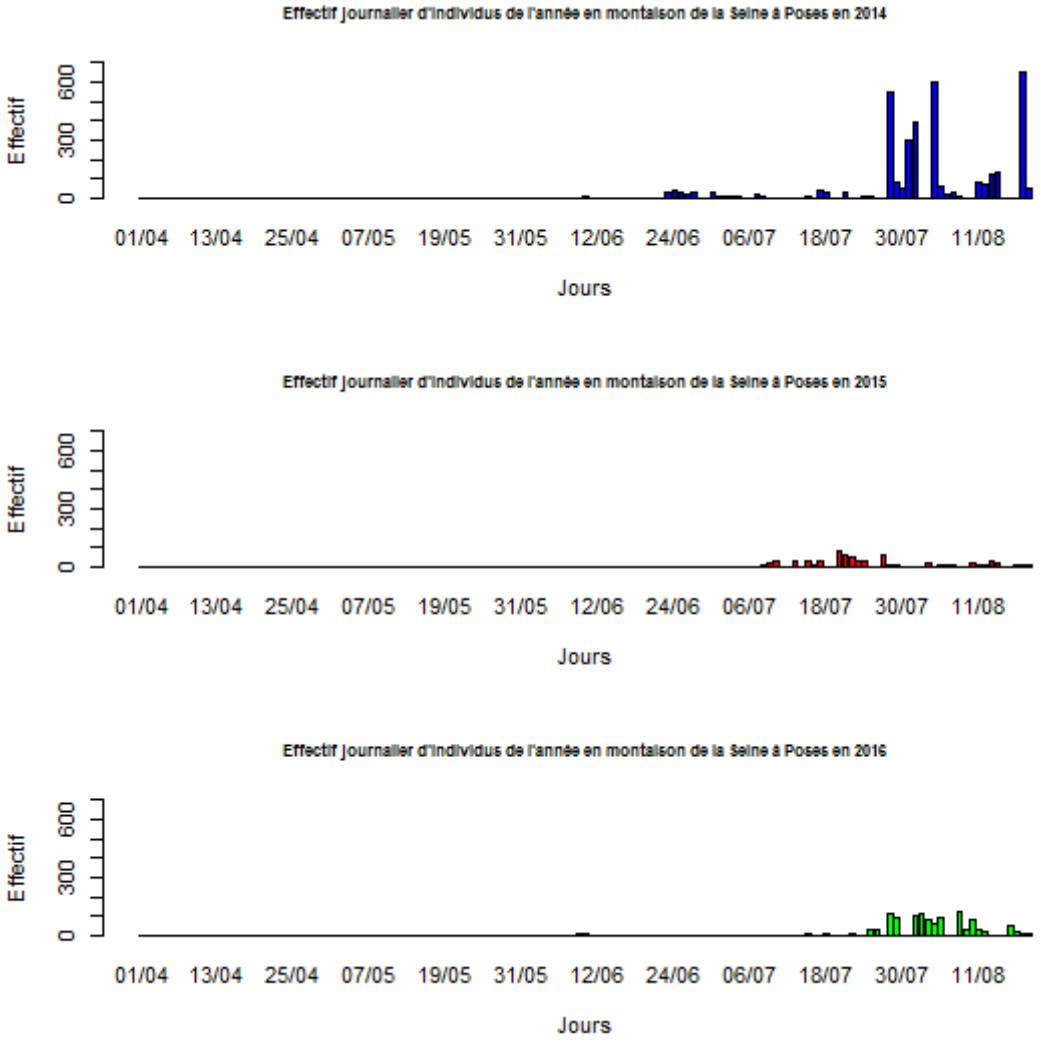


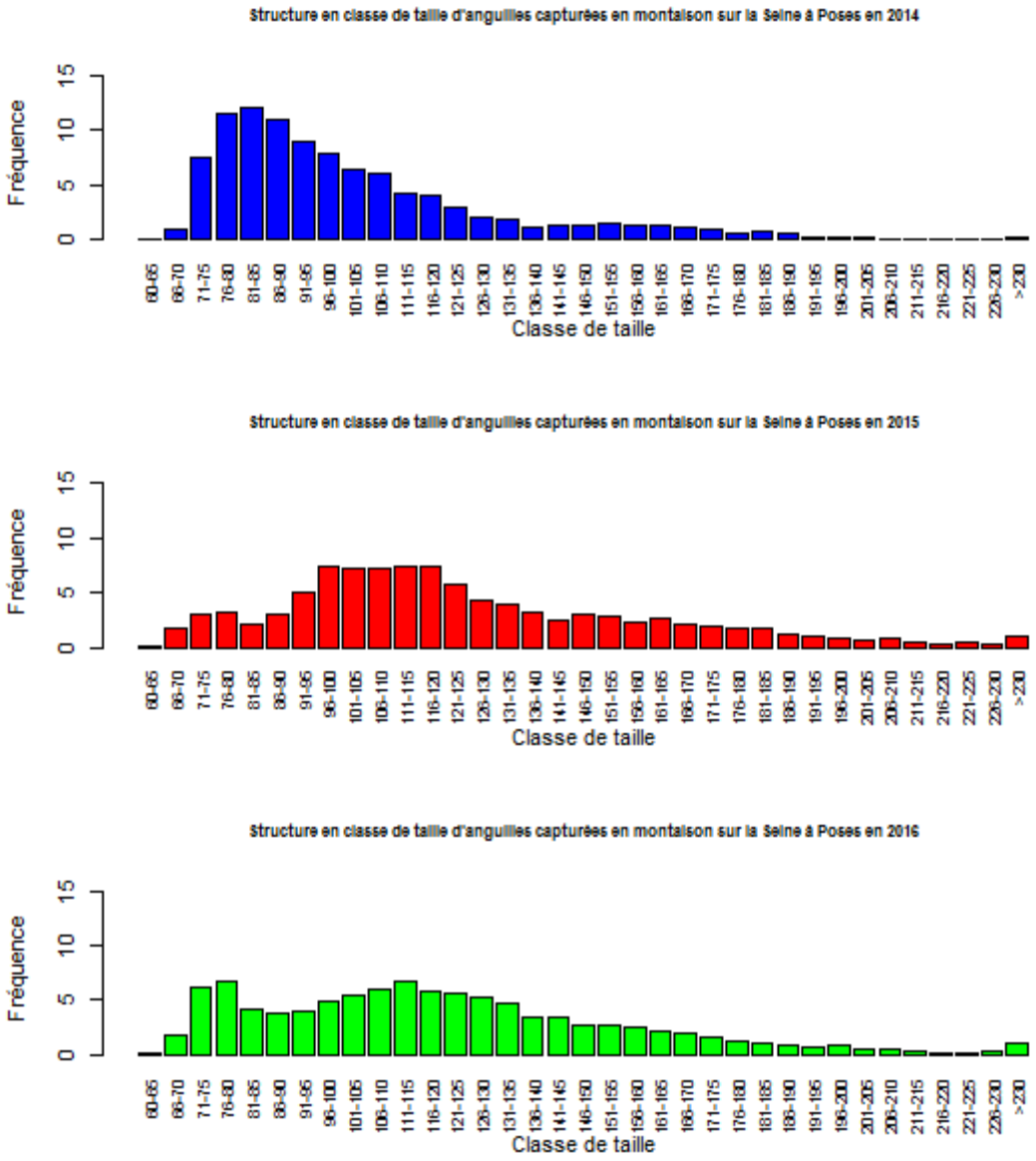
Figure 47: Comparaison de l'effectif cumulé des individus de l'année en montaison sur la Seine à Poses sur les trois années d'études. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016.



<u>Figure 48</u>: Comparaison de l'effectif journalier individus de l'année capturées pendant les trois années de suivi. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016.

8.2. Structure en classe de taille

En 2014, la classe de taille la plus représentée était celle entre 81 et 85 mm. Les deux années suivantes, les individus capturés étaient plus grands, avec une dominance des individus entre 96 et 120 mm en 2015, puis entre 111 et 115 mm en 2016 (Fig.49). Il n'y a pas de différence significative entre les classes de tailles des anguilles capturées entre les trois années (Test de Kruskall et Wallis, p-value > 0.05) (Annexe 21).



<u>Figure 49</u>: Structure en classe de taille d'anguilles européennes capturées en montaison sur la Seine à Poses. En bleu: 2014. En rouge: 2015. En vert: 2016.

Discussion

- **Recrutement de la Seine en anguilles européennes**

Cette année a été la troisième année du suivi du recrutement de la Seine en Anguille Européenne (*Anguilla anguilla*). Au total, 8920 anguilles ont été retrouvées dans le vivier dont à priori seulement 13% d'individus de l'année. La densité de population est de 0,094 individus par km², ce qui est relativement faible à l'échelle du bassin versant de la Seine (94500km²). Cependant, cette faible densité est mise en évidence depuis 2014 où 11762 anguilles ont franchi le dispositif de rampes à anguilles à la même date, correspondant à 0,124 individus par km². En 2015, seules 4657 anguilles sont arrivées dans le vivier, soit 0,049 individus par km². Pourtant, la passe du Pas de Bouc, sur le bassin versant des Lacs Médocains (1000km²) a recruté 176000 anguilles en 2015 (Brunet, 2015), soit près de 20 fois plus que le recrutement en anguilles dans la Seine cette année, et 38 fois plus que le recrutement de la même année. Pourtant, le bassin versant des Lacs Médocains est 95 fois plus petit que le bassin versant de la Seine. La densité de population dans ce bassin versant est donc de 176 individus par km². Sur la Bresle, 4320 anguilles ont été capturées pour 750 km² de cours d'eau, soit 5,7 anguilles par km² (ONEMA, 2015). Plusieurs autres exemples montrent une abondance en anguilles européennes sur de petits bassins versants plus importante que sur le bassin versant de la Seine (Briand *& al*., 2013 ; Fédération de Vendée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 2012).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la faible densité en anguilles européennes retrouvées dans le vivier. Dans un premier temps, une mauvaise attractivité de la passe pouvant être causée par les turbulences créées par la centrale hydroélectrique au niveau des rampes avals qui annuleraient l'effet du débit d'attrait. Aussi, ces turbulences associées à la vitesse du courant et à la présence de palplanches le long des berges, pourraient ralentir la progression des anguilles vers l'amont, voire épuiser les individus avant qu'ils ne puissent accéder à la première rampe. Dans un second temps, il est également important de noter qu'il existe plusieurs problèmes techniques qui pourraient également jouer un rôle quant à ce faible effectif. Premièrement, il y a eu, 127 jours sur les 141 jours de ces quatre premiers mois et demi, un débordement du deuxième collecteur situé au pied de la dernière rampe, à cause du colmatage des crépines créé par une eau de la Seine trop chargée en sédiments. Des anguilles présentes dans ce collecteur pouvaient alors passer par ce débordement pour rejoindre la passe à poissons et ainsi éviter la dernière rampe qui mène au bac piège. Deuxièmement, le colmatage des pompes et des canaux de liaisons est aussi un point important à mettre en évidence. Des corps dérivants (cadavres de poissons, débris, etc.) peuvent être aspirés par

les pompes et ainsi les obstruées, ce qui coupe l'alimentation en eau. Aussi, des limons peuvent s'accumuler dans le canal de liaison reliant la partie aval à la partie amont du dispositif, pouvant bloquer l'avancée des anguilles et causant leur mort (Annexe 22). Enfin, des problèmes techniques sur la partie aval du dispositif sont réguliers. En effet, le débit d'attrait sur la première rampe n'est pas toujours en fonctionnement et les rampes s'assèchent lorsque le débit de l'eau devient faible à cause des pompes ou des canaux obstrués par exemple. Hors, cette partie n'est pas toujours accessible car elle est présente dans la partie privée de l'usine hydroélectrique. Dans un troisième temps, il faut aussi noter que ce dispositif de passe à anguilles n'est accessible que par les individus arrivant en rive gauche du barrage, et que l'estimation du recrutement en anguilles dans la Seine ne se fait qu'à partir de ces individus. En septembre devrait normalement s'ouvrir la passe à poissons en rive droite du barrage de Poses/Amfreville-sous-les-monts qui est surmontée par une passe à anguilles. Ainsi, dans les années à venir, le recrutement en anguille européenne et sa quantification sur la Seine, en amont du barrage de Poses, devraient être optimisés.

Cette année, le premier individu est arrivé le 25 avril, lorsque la température de la Seine a dépassé les 14°C. L'influence de la température a déjà été mise en évidence dans différentes études, avec un déclenchement de la migration à des températures minimales de l'eau de 10 à 14°C (Gascuel, 1986). Il existe, en effet, une corrélation positive significative entre la température de la Seine et l'arrivée des anguilles dans le vivier. Les premiers temps du suivi, seules des anguillettes jaunes ont pu être observées. La première civelle n'est arrivée que le 2 juin. Alors qu'elle a franchi le dispositif à une température de 16°C, l'effectif en individu de l'année a augmenté lorsque la température a dépassé les 23°C. Aussi, elles ne sont apparues que lorsque la teneur en oxygène de l'eau était inférieure à 9,5 mg/L, mais l'effectif diminue lorsque cette teneur descend en dessous des 8 mg/L. Une corrélation positive significative existe entre l'arrivée des individus de l'année avec la température de l'eau et la teneur en oxygène dans la Seine. Il est également possible de noter que la majorité des individus de l'année passe sur une période de 3 semaines environ. Il a été mis en évidence qu'il y a une diminution rapide du taux de civelles près des limites de marée dynamique (Laffaille *& al*., 2000 ; Feunteun *& al*., 2003 ; Legault *& al*., 2004 ; Briand *& al*., 2005). Les anguillettes jaunes sont quant à elles présentes sur l'ensemble du suivi, avec des abondances plus ou moins importantes.

Deux pics de migration sont également observés. En effet, la pénétration des civelles dans l'estuaire ne se fait pas de manière continue, mais par vagues (Elie & Rochard, 1994; De Casamajor *& al*., 2000). Le premier pic est observé sur la période du 2 juin au 10 juin, en revanche cet intervalle de temps correspond également au phénomène de crue qu'a connue la Seine, ce qui est un événement en faveur des pics migratoires (Durif, 2003). Les niveaux d'eau en aval du barrage et dans la passe à poissons ont rejoint la hauteur de l'eau en amont, annulant ainsi les différentes perturbations et

permettant aux anguilles de passer par la passe à poissons pour rejoindre l'amont. Hors, certains individus sont restés coincés dans l'ancien piège et se sont fait aspirés par la pompe amont. L'effectif en anguilles a donc été plus important mais énormément d'individus ont également été retrouvés morts en raison de la violence de l'aspiration et des traumatismes infligés par le mécanisme de la pompe. Le deuxième pic de migration est intervenu le 28 juillet. En 2014, les deux pics de migrations étaient à des périodes similaires. Cependant, ils sont apparus lors de l'arrêt des turbinages. En 2015, les deux pics sont apparus fin juillet, à une semaine d'intervalle, et ils étaient peu perceptibles. Il semblerait donc qu'il y ait un pic évident de migration à la fin du mois de juillet, en revanche il est encore trop tôt pour conclure sur un pic dès le mois de juin, étant donné qu'il n'est apparu que deux fois lors d'événements exceptionnelles.

Ce dernier pic de 2016, le 28 juillet, aurait pu être prévu grâce au flottang installé au pied de la passe et qui renfermait plus de 800 individus deux à trois jours avant le pic (les autres relèves de ce flottang ne mettent en évidence que 40 à 60 individus). Cependant, l'objectif premier des flottangs étaient de mettre en avant la présence de petits individus en aval du barrage qui ne seraient pas capables de franchir le dispositif de passe à anguilles. Hors la plus petite civelle retrouvée dans un flottang faisait 62 mm et dans le vivier 64 mm. Les autres individus capturés par les flottangs avaient une taille supérieure à 64 mm, soit des classes de tailles qui franchissent les rampes à anguilles. En revanche, la classe de taille entre 70 et 95 mm retrouvé dans les flottangs est en proportion plus grande que dans le piège, ce qui insinuerait une certaine sélection et difficulté de ces plus petits individus à s'engager dans la passe.

En ce qui concerne les individus de l'année, la classe dominante est comprise entre 71 et 75 mm pour les civelles, ce qui est confirmé par la littérature (De Casamajor *& al*., 2003 ; Adam *& al*., 2008), et 76 à 80 mm pour les anguillettes pigmentées. En dessous des 75 mm, ce sont les civelles qui dominent et à partir de 80 mm ce sont les anguillettes pigmentées qui prennent la place. En revanche, la proportion de ces dernières est plus faible que la proportion de civelles. Pour les anguillettes jaunes, âgées d'un été au moins, c'est la classe de 111 à 115 qui dominent, ce qui correspond à des individus étant dans leur première ou deuxième année de vie continentale (Adam *& al*., 2008). De part et d'autre de cette classe, l'effectif en anguillettes jaunes diminue progressivement. Seuls 9 individus d'une taille supérieure à 300 mm ont été observé au cours de ce suivi, ce qui concorde avec les relevées effectuées sur les différents dispositifs de franchissement existant (Tesch, 1977 ; Laffaille *& al*., 2000 ; Legault *& al*., 2004).

- **Taux d'efficacité du dispositif de rampes à anguilles**

Pour rappel, les individus marquées au VIE jaune ont été relâchés directement dans le dispositif et les anguilles marquées au VIE rouge ont été déposées 200m en aval du barrage.

Pendant le suivi sur 24 heures, 48% des individus marqués au VIE jaune sont revenus dans le vivier. Au total, 72% des anguilles marquées sont remontées, la dernière étant revenue une semaine après le marquage. La majorité des anguilles sont arrivées à partir de 23h avec un pic à 2h puis l'effectif a diminué après 5h. En effet, les anguilles sont sensibles au rythme nycthéméral et à la luminosité perçue dans la masse d'eau, ce qui influe sur leur migration (Gascuel, 1986; Baisez, 2001 ; Tesch, 2003 ; Bardonnet *& al*., 2005). En revanche, un individu est revenu deux heures après le lâcher, soit à 14h. Effectivement, même si la migration se fait en général la nuit, il est possible qu'elle se fasse en plein jour lorsque les eaux sont turbides (Laffaille *& al*., 2007). De plus, quelques individus relâchés étaient peut-être encore en activité et ont donc repris directement leur migration. Le dispositif est alors franchissable en 2h.

En revanche, pour ce qui est des 200 individus marqués au VIE rouge puis relâchés 200m en aval du barrage, seuls 6 sont revenus, soit uniquement 3%.

Au total, il y a donc 28% de non-retour d'individus qui avaient été déposés directement dans le premier collecteur du dispositif de passe à anguille, puis 97% de non-retour d'anguilles relâchées 200 m en aval. Pour ces premières, soit elles sont redescendues ou soit elles sont mortes ou sont passées par-dessus le collecteur en considérant les différents problèmes évoquées au début de la discussion. Pour les anguilles marquées au VIE rouge, deux hypothèses s'ouvrent à nous: soit elles sont mortes, malgré le fait qu'il s'agisse d'une méthode de marquage dont aucun effet n'est observé sur le comportement, la mortalité et la croissance des individus (Imbert *& al*., 2007; Simon & Dörner, 2011), ou soit il y a eu un réajustement dans la localisation des anguilles au sein des habitats (Rodriguez, 2002). L'année dernière, qui correspond à la première année de marquage, seul 25% sur les 51 individus marqués au VIE jaune sont remontés, en revanche 13% d'anguilles sur 152 individus marquées au VIE rouge sont revenu. Globalement, les individus marqués et relâchés aux pieds des passes n'optent pas tous pour une reprise de la migration (Baran *& al*., 2012). En revanche, les taux de recaptures ne sont pas en général aussi faibles. Par exemple, une expérience de capture-marquage-recapture a été réalisé sur le site du Pas du Bouc (Pyrénées) où 600 individus ont été marqués selon trois lots dont un a été déposé au pied du barrage et les deux autres à une cinquantaine de mètres en aval, en rive droite et en rive gauche. Pour les trois sites, la plus grande partie des recaptures s'est fait en dix jours. 50% des anguilles déposées au pied de la passe ont franchi le dispositif et 15 à 25% des individus redéposés 50 m en aval sont revenus (Rigaud *& al*.,

2012). Cependant, le type de marquage n'est pas précisé, ni le type de l'ouvrage et s'il y a des turbulences. Il est tout de même possible de mettre en évidence une relation inverse entre la distance à laquelle sont relâchés les individus par rapport au pied de la passe et le nombre total d'individus revenant.

Si le taux d'efficacité de la passe à anguilles était de 100%, alors le recrutement en anguilles européennes dans la Seine pourrait être de 297333 individus au lieu des 8920. En effet, seul 3% des anguilles marquées au VIE rouge sont revenues au piège, ce qui correspondrait à 288413 anguilles qui n'auraient pas pu accéder à l'entrée de la première rampe. De plus, cette donnée ne correspondrait qu'au recrutement par la rive gauche, sans prendre en compte les anguilles qui pourront prochainement passer par la nouvelle passe à anguilles en rive droite.

Conclusion

Le recrutement en anguilles européennes dans la Seine, en amont de Poses, est faible, avec uniquement 8920 individus ayant réussi à passer le barrage cette année, 4358 l'année dernière puis 11762 en 2014. Cependant, le taux d'efficacité de la passe à anguilles a été estimé entre 3 et 13% en fonction des deux années de suivi.

Si le taux d'efficacité du dispositif de rampes à anguilles était de 100%, alors le recrutement en anguilles européennes serait compris entre 68615 et 297333 individus. Il faut cependant rester très prudent sur cette estimation car les individus marqués au VIE sont susceptibles d'avoir arrêté leur migration pendant au moins un an après avoir être relâchés. Malgré tout, une large gamme de classes de tailles d'anguilles européennes peut utiliser le dispositif, allant cette année de 64mm à 340mm. Des individus de l'année (dont des civelles) jusqu'à des individus âgés de plusieurs étés peuvent franchir les rampes. La passe à anguilles ne semble donc pas complètement sélective mais une proportion plus importante de petits individus est retrouvée dans les flottangs que dans le piège, ce qui tendrait à dire que ces individus sont au moins retardés et donc en séjournant plus longtemps au pied de la passe ils sont soumis à davantage de prédation et d'épuisement.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer le faible taux d'efficacité de la passe piège. Dans un premier temps il y a les conditions au pied de l'ouvrage qui ne sont pas optimales, c'est-à-dire des turbulences importantes, des palplanches le long des berges qui créent des contre-courants et une progression difficiles des anguilles à cause de surfaces lisses, puis des courants importants qui ne sont pas optimals pour les poissons à capacité de nage restreinte comme les jeunes anguilles. Ensuite, l'entretien des rampes n'est pas toujours parfait ni même évident, ce qui peut limiter la reptation des anguilles. La partie avale est difficilement accessible puis des problèmes avec le débit de l'eau surviennent souvent.

En septembre ouvrira une passe à poissons qui intègrera une passe à anguilles en rive droite du barrage. Le suivi des deux rives permettra d'avoir une meilleure estimation du recrutement en anguilles européennes dans la Seine. De plus, les conditions en rive droite semblent meilleures avec moins de turbulence du fait de l'absence de turbines puis une berge qui est plus naturelle avec la présence d'enrochements facilitant la reptation en berge des plus jeunes anguilles jusqu'au pied de la passe.

Afin de confirmer l'hypothèse de l'impact des turbines sur la possibilité de franchissement des anguilles européennes à Poses, il serait intéressant dans les années à venir de pouvoir provoquer plusieurs arrêts de turbinages.

Bibliographie

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

Acou A., Boury P., Laffaille P., Crivelli A.J. & Feunteun E., 2005. Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla*, L.). Archiv für Hydrobiologie, 164, p237-255.

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

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

Amilhat E., Aarestrup K., Faliex E., Simon G., Westerberg H. & Righton D., 2016. First evidence of European eels exiting the Mediterranean Sea during their spawning migration. Scientific Reports 6, Article number: 21817.

Anonyme, 1984. Rapport de synthèse et programme quinquennal. Groupe national anguille. 60p.

Anonyme, 1998. Extract of the report of the advisory committee on fishery management to the European Commission: European eel. 14p.

Anonyme, 2003. Réseau de surveillance de l'anguille européenne dans les réseaux de canaux du marais poitevin. Rapport parc interrégional marais poitevin, Cemagref Bordeaux, CSP, 80p.

Baillie J.E.M., Hilton-Taylor C. & Stuart S.N., 2004. 2004, IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. xxiv, 191p.

Baisez A., 2001. Optimisation des suivis d'abondances et des structures de taille de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) dans un marais endigué de la côte atlantique: relation espèce - habitat. Thèse de doctorat, Université de Toulouse III.

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

Baran P., Basilico L., Larinier M., Rigaud C. & Travade F., 2012. Plan de sauvegarde de l'anguille. Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages? Les rencontres-synthèses. ONEMA. 82p.

Bardonnet A., Bolliet V. & Belon V., 2005. Recruitment abundance estimation: Role of glass eel (*Anguilla anguilla* L.) response to light. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 321, p181-190.

Bevacqua D., Melià P., Gatto M. & De Leo G.A., 2015. A global viability assessment of the European eel. Global Change Biology, doi:10.1111/gcb.12972. 13p.

Bertin L., 1951. Les anguilles: variation, croissance, euryhalinité, toxicité, hermaphrodisme juvénile et sexualité, migrations, métamorphoses. Bibliothèque scientifique edn. Paris: Payot.

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

Boubée J.A., Mitchell C.P., Chisnall B.L., West D.W., Bowman E.J. & Haro A., 2001. Factors regulating the downstream migration of mature els (*Anguilla spp.*) at Aniwhenua Dam, Bay of Plenty, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Reasearch, 35, p121-134.

Bouroche J.M. & Saporta G., 1978. L'analyse des données. Pour la Science, 5, p23-35.

Briand C., Fatin D., Fontenelle G., Feunteun E., 2003. Estuarine and fluvial recruitment of the European glass eel, *Anguilla anguilla*, in an exploited Atlantic estuary. Fisheries Management and Ecology, 10, p377-384.

Briand C., Fatin D. & Lambert P., 2004. Effets de la température et de la salinité sur le développement de la pigmentation des civelles (*Anguilla anguilla*). Cybium, 28, p247-254.

Briand C., Fatin D., Fontenelle G. & Feunteun E., 2005. Effect of the re-opening of a migratory pathway for eel (*Anguilla anguilla* L.) at a watershed scale. Bulletin Français de la Pêche et de la Protection, 379, p67-86.

Briand C., 2009. Dynamique de population et de migration des civelles en estuaire de Vilaine. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, agro-alimentaires, horticoles et du paysage. AgroCampus Ouest, Rennes. 208p.

Briand C., Sauvaget B. & Eriau G., 2013. Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine - 2013. 40p.

Brunet L., 2015. Suivi de la migration de montaison de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) sur la passe du Pas du Bouc: caractérisation du recrutement fluvial sur le Bassin Versant des Lacs Médocains. Rapport de stage Master 2 - Université de Bordeaux. Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des milieux Aquatiques de Gironde. 45p.

Bruslé J., 1994. L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bull. Fr. Pêche Piscic., 335, p237-260.

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

Bumguardner B.W., Colura R.L., Maciorowski A.F. & Matlock G.C., 1990. Tag retention, survival, and growth of red drum fingerlings marked with coded wire tags. Am. Fish. Soc. Symp., 7, p286-292.

Chancerel F., 1994. La répartition de l'anguille en France. Bull. Fr. Pêche Piscic., 335, p289-294.

Cieri M.D. & McCleave J.D., 2000. Discrepancies between otoliths of larvae and juveniles of the American eel: is something fishy happening at metamorphosis? Journal of Fish Biology, 57, p1189-1198.

COGEPOMI - COmité de GEstion des POissons MIgrateurs du bassin Seine-Normandie, 2011. Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie, 2011-2015. 115p.

Conseil de l'Union Européenne, 2007. REGLEMENT (CE) N° 1100/2007 DU CONSEIL du 18 septembre 2007 instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. Journal officiel de l'Union européenne. 22.9.2007. I.248/17. Bruxelles. 7p.

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.

Daverat F., Limburg K.E., Thibault I., Shiao J.C., Dodson J.D., Caron F., Tzeng W.N., Iizuka Y. & Wickström H., 2006. Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate eel species *Anguilla anguilla, A. japonica, A. rostrata*. Marine Ecology-Progress Series, 308, p231-241.

De Casamajor M.N., Prouzet P. & Lazure P., 2000. Identification des flux de civelles (*Anguilla anguilla*) à partir des relations d'allométrie en fonction des conditions hydroclimatiques de l'estuaire de l'Adour. Aquat. Living Resourc., 13, p411-420.

De Casamajor M.N., Lecomte-Finiger R. & Prouzet P., 2003. Caractéristiques biologiques des civelles (*Anguilla anguilla*) lors de la transition en estuaire. Bull. Fr. Piscic., 368, p109-124.

Dekker W., 1987. Preliminary assessment of the Ijsselmer eel fishery based on length frequency samples. ICES Council Meeting, 14p.

Dekker W., 2000. The fractal geometry of the European eel stock. ICES Journal of Marine Science, 57, p109-121.

Dekker W., 2003a. Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? Fisheries Management and Ecology, 10, p365-376.

Dekker W., 2003b. Status of the European eel stock and fisheries. In: Aida K., Tsukamoto K. and Yamauchi K. (eds.), Eel Biology. Springer-Verlag, Tokyo, p237-254.

Delcourt J., Ylieff M. & Bolliet V., 2011. Video tracking in the extreme: A new possibility for tracking nocturnal underwater transparent animals with fluorescent elastomer tags. Behav Res, 43, p590-600.

Durif C., 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*: Caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Thèse de doctorat en écologie aquatique. Université Toulouse III. 348p.

Elie P., Lecomte-Finiger R., Cantrelle I. & Charlon N., 1982. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* (L.). Vie Milieu, 32, p149-157.

Elie P. & Rochard E., 1994. Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla L.*) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. Bull. Fr. Pêche Piscic., 335, p81-98.

FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2014. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2014, Possibilités et défis. 275p.

Fédération de Vendée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 2012. Suivi des passes à anguilles installées sur les axes de la Vie et du Jaunay. 19p.

Feunteun E., Acou A., Laffaille P. & Legault A., 2000. European eel (*Anguilla anguilla*): prediction of spawner escapement from continental population parameters. Canadian Journal f Fisheries and Aquatic Sciences, 57, p1627-1635.

Feunteun E., 2002. Restoration and management of the European eel: an impossible bargain? Ecological Engineer, 18, p575-591.

Feunteun E., Laffaille P., Robinet T., Briand C., Baisez A., Olivier J.M. & Acou A., 2003. A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Towards a general theory. In: Aida K., Tsukamoto K., & Yamauchi K. (eds), Eel Biology. Tokyo: Springer-Verlag. p191-213.

Fish-Pass, 2013. Passe piège à anguilles - Station du barrage de Poses - Fleuve Seine. 20p.

Fisson, 2014. Qualité des eaux de l'estuaire de la Seine. Fascicule Seine-Aval 32, 52p.

Garot G., 2012. Programme de Monitoring (Surveillance) du plan de gestion anguille français - Evaluation du stock d'anguilles jaunes en place sur l'Unité de Gestion Anguille Seine-Normandie - Année 2012. Rapport de suivi. Seine Normandie-Nord Migrateurs (SEINORMIGR), 222p.

Gascuel D., 1986. Flow-carried and active swimming migration of the glass eel (*Anguilla anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. Helgolander Meeresuntersuchungen, 40, p321-326.

Germain L., 1927. La distribution géographique des anguilles. Bulletin de la Société d'Océanographie de France, 35, p678-682.

Ginneken V., Durif C., Balm S.P., Boot R., Verstegen M.W., Antonissen E. & Van Den Thillart G., 2007. Silvering of European eel (*Anguilla anguilla* L.): seasonal changes of morphological and metabolic parameters. Anim. Biol., 57, p63-77.

Greenhalgh M., 2003. Poissons d'eau douce de France et d'Europe. Octopus. 192p.

Groupe National Anguille, 1984. Rapport de synthèse et programme quinquennal. 60p.

ICES, 2015. EU request on criteria for CITES non-detriment finding for European eel (*Anguilla anguilla*). In Report of the ICES Advisory Committee, 2015. ICES Advice 2015, Book 9, Section 9.3.10. 5p.

Imbert H., Beaulaton L., Rigaud C. & Elie P., 2007. Evaluation of visible implant elastomer as a method for tagging small European eels. Journal of Fish Biology, 71, p1546-1554.

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

Jackson J.B.C., Kirby M.X., Berger W.H., Bjorndal K.A., Botsford L.W., Bourque B.J., 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. Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. Science, New Series, Vol. 293, pp. 629-638.

Kettle A.J. & Haines K., 2006. How does the European eel (*Anguilla anguilla*) retain its population structure during its larval migration across the North Atlantic Ocean? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63, p90-106.

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. Patrimoines naturel, Tome 10. 120p.

Kleckner R.C. & McCleave J.D., 1987. The northern limit of spawning by Atlantic eels (*Anguilla spp.*) in the Sargasso Sea in relation to thermal fronts and surface water masses. Journal of Marine Research, 46, p647-667.

Koie M., 1988. Parasites in eels, *Anguilla anguilla* (L.) from eutrophic Lake Esrum (Denmark). Acta Parasitol. Pol., 33, p89-100.

Laffaille P., Feunteun E., Acou A., Lefeuvre J.C., 2000. Role of European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the transfer of organic matter between marine and freshwater systems. Verhandlungen Internationale Vereinigung für Limnologie, 27, p616-619.

Laffaille P., Feunteun E., Baisez A. Robinet T., Acou A., Legault A. & Lek S., 2003. Spatial organisation of European eel (*Anguilla anguille* L.) in a small catchment. Ecology of Freshwater Fish, 12, p254-264.

Laffaille P., Baisez A., Rigaud C. & Feunteun E., 2004. Habitat preferences of different European eel size classes in a reclaimed marsh: a contribution to species and ecosystem conservation. Wetlands, 24, p642-651.

Laffaille P., Caraguel J.M. & Legault A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*). at the Couesnon estuarine dam. Estuarine, Coastal and Science, 73, p81-90.

Lambert P., 2005. Exploration multiscalaire des paradigmes de la dynamique de la population d'anguilles européennes à l'aide d'outils de simulation. Thèse de doctorat en sciences du vivant - géosciences - sciences de l'environnement. Discipline: Océanographie. Cemagref. Université Bordeaux I. 219p.

Lecomte-Finiger R., 1983. Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille, *Anguilla anguilla*, L. 1758, des milieux lagunaires méditerranéens du golfe du Lion: Narbonnais et Roussillon, Université de Perpignan. 203p.

Legault A., Laffaille P., Guillouët J. & Acou A., 2004. Importance of specific fish passes for European eel (*Anguilla anguille* L.) recruitment. In De Jalon Lastra D.G., Martinez P.V. (Eds), Proceedings of the Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid, Aquatic Habitat: Analysis & Restoration. Madrid, IAHR, p937-941.

Lobon-Cervia J., Utrilla C.G. & Rincon P.A., 1995. Variations in the population dynamics of the European eel *Anguilla anguilla* (L.) along the course of a Cantabrian river. Ecology of Freshwater Fish, 4, p17-27.

Minchin D., 2008. *Anguillicola crassus*. Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe. 3p.

Möller H., Holst S., Lüchtenberg H. & Peterson F., 1991. Infection of eel *Anguilla anguilla* from the river Elbe estuary with two nematodes, Anguillicola crassus and Pseudoterranova decipiens. Diseases of Aquatic Organisms, 20, p163-170.

Moriarty C. & Dekker W., 1997. Management of the European eel. Fish Bull, 15, 110p.

Nilo P. & Fortin R., 2001. Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*), Université du Québec à Montréal, Département des Sciences

biologiques pour la Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, Québec, 298p.

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

Oliveira K., 1999. Life history characteristics and strategies of the American eel, *American rostrata*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56, p795-802.

ONEMA, 2015. *Communication personnelle*.

Otis D.L., Burnham K.P., White G.C. & Anderson D.R., 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. Wildlife Monographs, 62, p9-11.

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.

Pecl K., 1991. Poissons d'eau douce. Gründ. 223p.

Peters G. & Hartmann F., 1986. Anguillicola, a parasite nematode of the swimbladder spreading among eel populations in Europe, Diseases of Aquatic Organisms, 1, p229-230.

Prouzet P., Lazure P., Amara M., Capatina D., Trujillo D., Puiseux P., Arino O., Boussouar A., Marquet C., Pardo O., Bru N., Drouilhet R., d'Aubigny G., Lejeune M., d'Aubigny C., Truong-Van B., Frisou T., Sanchez F., M. Lissardy, De Casamajor M.N., Castelnaud G., Marty A., Malvezin S., Marty S. & Barracou D., 2002. Historique des captures de civelles, intensité de leur exploitation, variation de leur capturabilité par la pêche professionnelle maritime et indices de colonisation sur le bassin versant de l'Adour. Rapport final du contrat EC/DG FISH (DG XIV) n°99/023, 149p.

Prouzet P., 2003. Etude sur la civelle (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour: Pêche, biologie, comportement. Modélisation hydrodynamique et comportementale. Estimation des flux de civelles en estuaire. Rapport final du contrat Ifremer/DRV/RH-LA - Agence de l'Eau Adour-Garonne - MEDAD - Institution Adour, 295p.

République Française, 2010. Plan de Gestion Anguille de la France - Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007 - Volet National 3 février 2010. 120p.

République Française, 2015. Plan de Gestion Anguille de la France - Rapport de mise en œuvre - juin 2015 - Article 9 du R(CE) n°1100/2007. 124p.

République Française, non daté. Plan de Gestion Anguille de la France - Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007 - Volet Local de l'Unité de Gestion Seine Normandie. 47p.

Rigaud C., Baran P., Drouineau H., Roqueplo C., Lamarque E., Fabre R., Alric A., Laharanne A., Rouet M. & Der Mikaelian S., 2012. Marquage-recapture et évaluation de l'efficacité d'un dispositif de franchissement sur un ouvrage estuarien ou proche de la limite de marée. Rapport Pôle Eco-hydraulique - Programme R&D Anguilles/Ouvrages.

Robinet T. & Feunteun E., 2002. Sublethal effects of exposure to chemical comprounds: a cause for the decline in Atlantic eels? Ecotoxicology, 11, p265-277.

Robins C.R., Cohen D.M. & Robins C., 1979. The eels, *Anguilla and Histiobranchus*, photographed on the floor of the deep Atlantic in the Bahamas. Bulletin of Marine Science, 29, p401-405.

Rodriguez M.A., 2002. Restricted movement in stream fish: the paradigm is incomplete, not lost, Ecology, 83, p1-13.

SDAGE, 2014. Documents d'accompagnement du SDAGE 2016-2021 Bassin Seine et cours d'eau côtiers normands - Présentation synthétique relative à la gestion de l'eau, Synthèse de la récupération des coûts,

Résumé du programme de mesures, Résumé du programme de surveillance de l'état des eaux, Etat des eaux du Bassin ,Dispositif de suivi de la mise en œuvre du SDAGE - Comité de bassin du 8 octobre 2014. 81p.

Schaal A., 2014. Colonisation de l'anguille: recherche et mise en place d'une méthode de suivi par piégeage sur le bassin Charente. Rapport de stage Master 2 - Université de Grenoble. Groupement des Fédérations de pêche du Poitou-Charentes - Cellule Migrateurs Charente Seudre. 43p.

Schmidt J., 1922. The breeding places of the eel. Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B-Biol. Sci., 211, p179-208.

Schmidt J., 1923. The breeding places of the eel. Philosophical Transactions of the Royal Society London Series B: Biological Sciences, 211, p179-208.

Schmidt J., 1925. The breeding places of the eel. Annual report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, report for 1924, p279-316.

Simon J., 2007. Evaluation of marking European silver eels with visible implant elastomer tags and alcian blue. Journal of Fish Biology, 70, p303-309.

Simon J., Dörner H. & Richter C., 2009. Growth and mortality of European glass eel *Anguilla anguilla* marked with oxytetracycline and alizarin red. Journal of Fish Biology, 74, p289-295.

Simon J. & Dörner H., 2011. Growth, mortality and tag retention of small *Anguilla anguilla* marked with visible implant elastomer tags and coded wire tags under laboratory conditions. Journal of Applied Ichthyology, 27, p94-99.

Strubberg A.C., 1913. The metamorphosis of elvers as influenced by outward conditions. Medd. Komm. Havund. Fisk. Copenhagen, Ser Fisk., 4, p1-11.

Tesch F.W., 1977. The Eel. London: Chapmanand Hall.

Tesch F.W., 1982. The Sargasso Sea Eel Expediction 1979. Helgolãnder Meeresunters, 35, p263-277.

Tesch F.W., 2003. The Eel. Blackwell Science Ltd, Oxford.

Tsukamoto K. & Aoyama J., 1998. Evolution of freshwater eels of the genus *Anguilla*: a probable scenario. Envirionmental Biology of Fishes, 52, p139-148.

UICN France, MNHN, SFI & ONEMA, 2010. La liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France. 12p.

Vecchio Y. & Roussel C., 2010. Sauvegarde de l'anguille - Le plan de gestion français. Onema. 24p.

VNF - Voies Navigables de France, 2014. Direction Territoriale Bassin de la Seine - VNT construit une passe à poissons au barrage de Poses-Amfreville (Département de l'Eure). Juillet 2014. 3p.

Vollestad L.A., Jonsson B., Hvidsten N.-A. & Næsje T.F., 1994. Experimental test of environmental factors influencing the seaward migration of European silver eels. Journal of Fish Biology, 45, p641-651.

Winter H.V., Jansen H.M. & Bruijs M.C.M., 2006. Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the River Meuse. Ecol. Freshw. Fish 15, p221-228.

Wirth T., & Bernatchez L., 2001. Genetic evidence against panmixia in the European eel. Nature, 409, p1037-1040.

Wirth T. & Bernatchez L., 2003. Decline of North Atlantic eels: a fatal synergy? Proc. R. Soc. Lond., 270, p681-688.

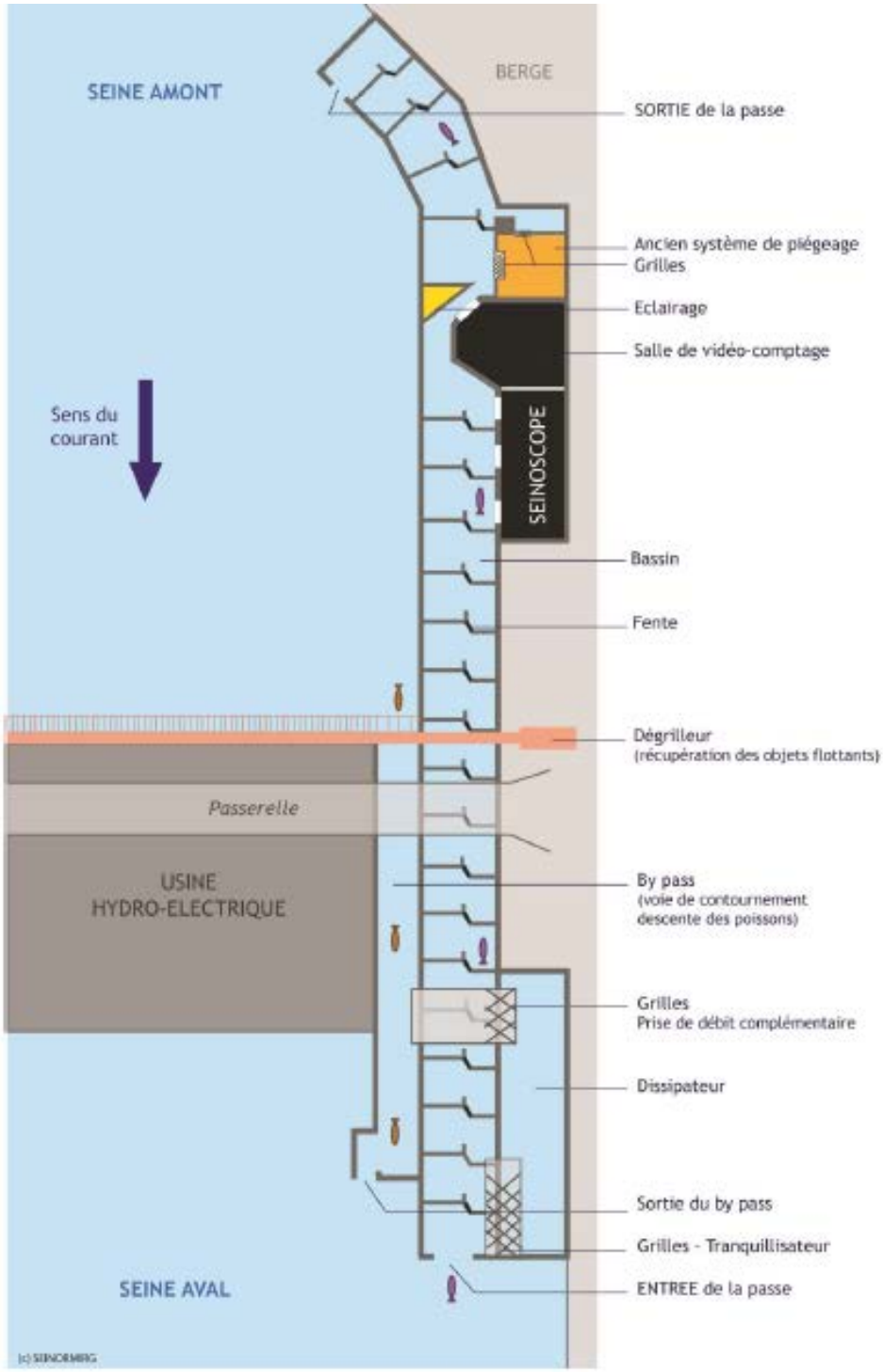
Site du Comité National de la Pêche Professionnelle en Eau Douce - Le Pêcheur Professionnel Continental et Estuarien: http://www.lepecheurprofessionnel.fr/index.php/le-coin-de-l-anguille/civelles-2015-2016

Annexes

<u>Annexe 1</u>: Tableau récapitulatif sur la distribution des différents stades de civelles

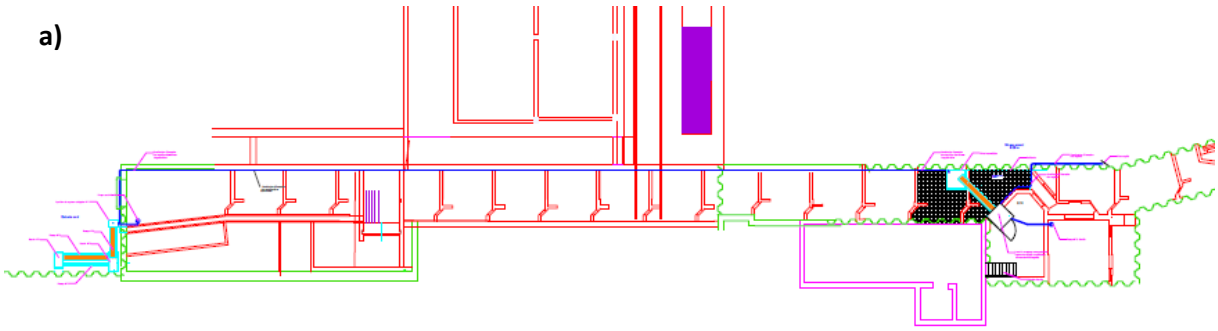
STADE (Strubberg, 1913 ; Elie & al., 1982 ; Lecomte-Finiger, 1983	
V_A	– Civelle arrivant dans l'estuaire – Transparente – Ne s'alimentant pas
[...] (Plusieurs stades intermédiaire	
VI_{A4}	– Nombreux changements – Exemple: la civelle commence à l'alimenter
V_B	– Des tâches pigmentaires cérébrales et caudales apparaissent et sont distinctes
VI_B	– Civelle totalement pigmentée
VII	– = Anguillettes – Apparition des pigments jaunes – Développement d'un comportement de plus en plus benthique

<u>Annexe 2</u>: Schéma de la passe à poissons de Poses. Source: Seinormigr.

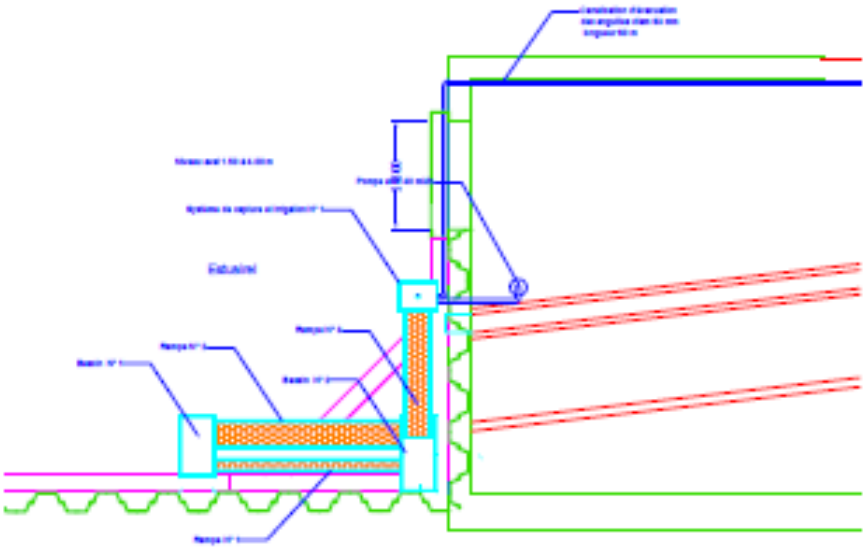


<u>Annexe 3</u>: Schéma du dispositif de passe piège à anguilles. a) = Vue aérienne générale du dispositif. b) = Vue aérienne de la partie aval. c) = Vue aérienne de la partie amont. Source: FishPass.

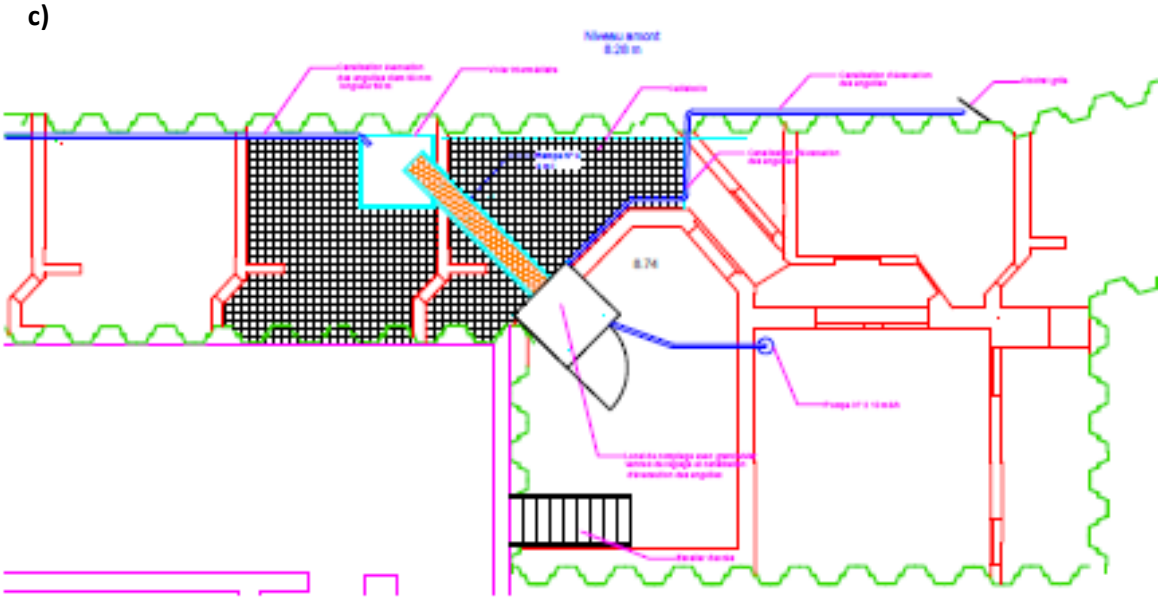
a)



b)



c)



<u>Annexe 4</u>: Protocole de construction et de relève d'un flottang.

- **Historique**

Le flottang a été construit et utilisé pour la première fois en 2014 par le Groupement des Fédérations de Pêche de Poitou-Charentes, dans le cadre d'un stage de fin d'étude mené par Alexandre SCHALL qui avait pour problématique: "Colonisation de l'anguille: Recherche et mise en place d'une méthode de suivi par piégeage sur la bassin Charente". Dans cette étude, plusieurs types de piège sont testés et le flottang ressort comme le plus efficace en ce qui concerne les individus d'une taille inférieure à 15cm.

- **Objectif**

Le flottang est un piège passif permettant de capturer différentes tailles d'anguilles, majoritairement inférieures à 15cm. Il permet donc un suivi qualitatif (anguilles < 15cm) ou quantitatif (présence/absence) et suffit d'un ou deux opérateurs. De plus l'échantillonnage se fait rapidement.

- **Adaptation du dispositif sur la Seine**

En aval du barrage de Poses, le phénomène de marnage se fait encore ressentir. Les coefficients de marée et les horaires de basse et haute mer sont donc à prendre en compte lors de la relève du flottang (risque d'échouage ou de non accessibilité du site). Plusieurs vérifications et surveillances des flottangs mis en eau sont donc conseillées pour estimer au mieux les horaires auxquelles relever les flottangs et remettre en eau si nécessaire un flottang échoué ou accroché à un arbre par exemple.

- **Avantages**

- Echantillonnage dans de nombreux milieux
- S'affranchit de la hauteur d'eau
- Sélectif (anguilles < 150 mm)
- Habitat artificiel: zone de repos et de refuge
- Peu onéreux (environ 15€)
- 1 ou 2 opérateurs suffisent
- Echantillonnage rapide

- **Inconvénient**

- Contraintes naturelles:
  - **x** Marnage (dans le cas de la Seine en aval du barrage de Poses par exemple)
  - **x** Destruction par de petits animaux
- Contraintes anthropiques:
  - **x** Vol (notamment pour les flotteurs)
  - **x** Délinquance

Etape 1: Construction (Schéma 1)

- Superposer 10 carrés de treillis (maille de quelques millimètres) en PVC de 50*50cm
- Joindre l'ensemble de ces carrés grâce à des colliers plastiques
- Attacher un flotteur à chaque coin (4) grâce aux colliers plastiques
- Disposer au moins un collier plastique sur un côté qui servira de point d'attache

➢ On obtient ainsi un treillis en PVC tridimensionnel (50*50*10cm)

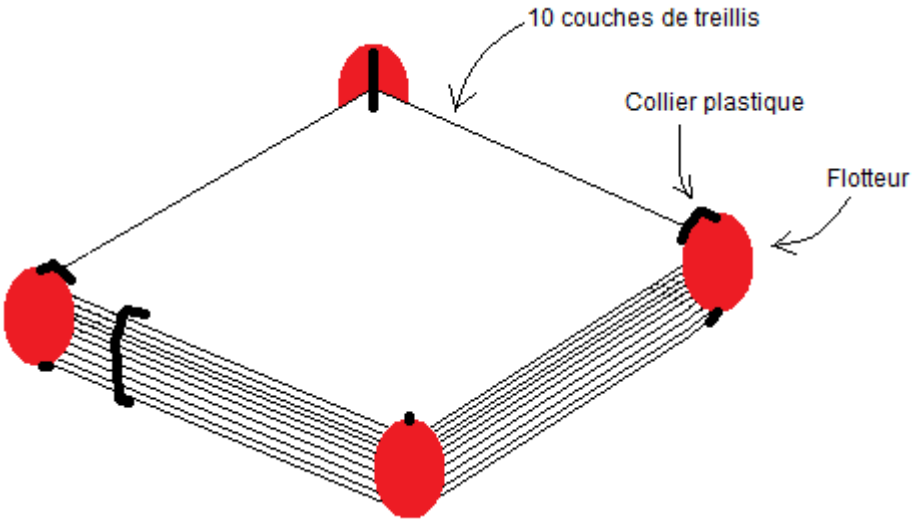


Schéma 1: Schéma d'un flottang

Etape 2: Pose du flottang

- Disposer le flottang en berge: il doit être attaché à un élément de la berge comme par exemple un arbre ou à l'aide d'un poids au fond de la rivière (Photo 1)

Lorsque la station est soumise à des phénomènes de marnages (comme c'est le cas en aval du barrage de Poses (Seine)) : prendre en compte la hauteur d'eau à marée basse et à marée haute afin d'éviter que le flottang se retrouve échoué ou immergé

- Laisser flotter le flottang au moins 24 heures sur le fleuve afin qu'il s'imprègne des dépôts organiques et qu'il devienne plus attractif

Photo 1: Pose d'un flottang en aval du barrage de Poses.

Etape 3: Relève du flottang

- Mettre en place un calendrier de relève du flottang en ciblant les objectifs
- Flottang facilement accessible: utiliser une épuisette d'au moins 60cm de diamètre à maille fine pour éviter que les individus puissent s'échapper (Photo 2)
- Flottang non accessible à hauteur d'homme: utiliser un carrelet ou une balance (maille 1,5)
- Placer le flottang sur un bac de manutention afin que les anguilles y tombent par gravité (Photo 3)
- Anesthésier les anguilles (Solution d'Eugénol diluée) puis les mesurer (Ichtyomètre).
- Placer les anguilles dans un bac de réveil avant de les relâcher dans la rivière

SI le flottang doit être changé de station : le rincer et le sécher afin d'éviter le transport d'espèces envahissantes.

Photo 2: Relève d'un flottang à l'aide d'un filet.

Photo 3: Flottang dans bac de manutention.

Annexe 5: Protocole de marquage au Visible Implant Elastomer (Lenoir, 2015).

Etape 1:

- Vérifier et préparer le matériel (Photo 1)
- Anesthésier les anguilles par balnéation: **eau + 0,2 ml/L** de solution d'eugénol

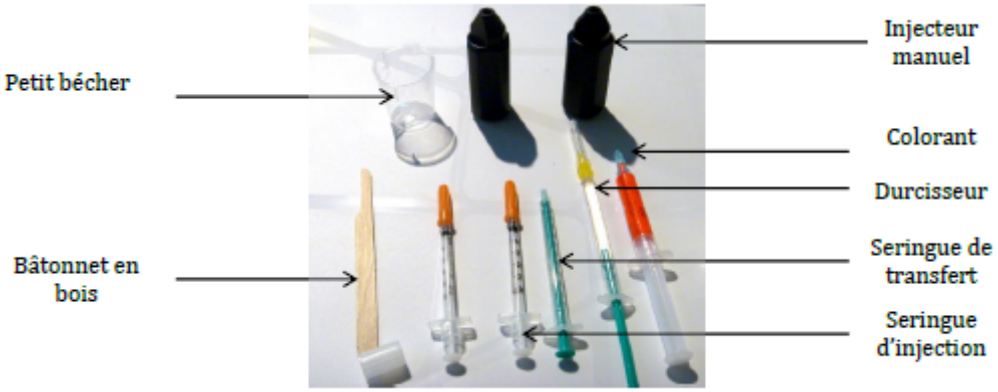


Photo 1: Matériels. Source: Seinormigr.

Etape 2:

Préparer les seringues de VIE pendant que les anguilles commencent à s'anesthésier (ou préalablement pour les premières fois).

1) Dans un petit bécher en plastique, mettre la quantité désirée (Tableau 1) de produit coloré et 1/10 de ce volume de durcisseur :
    - Produit coloré = élastomère (grosse seringue A, Photo 2)
    - Produit transparent = durcisseur (grosse seringue B, Photo 3)

Tableau 1: Volume d'élastomère et de durcisseur nécessaire pour le marquage

Volume d'élastomère	Volume de durcisseur	Nombre d'anguilles marquées
0,1 ml	0,01 ml	20 - 50
0,5 ml	0,05 ml	100 - 250
1 ml	0,1 ml	200 - 500

Grosse seringue A

Grosse seringue B

Photo 2: Elastomère. Source: Seinormigr. **Photo 3: Durcisseur. Source: Seinormigr.**

Toujours respecter cet ordre pour ne pas risquer de contaminer la grosse seringue d'élastomère avec le durcisseur (durcissement de l'élastomère dans la seringue sinon).

2) Avec un bâtonnet en bois, mélanger avec précaution en raclant bien les bords et le fond du bécher pendant d'**une minute** chronométrée (pas plus) (Photo 4).

Photo 4: Mélanger. Source: Seinormigr.

Une fois le mélange terminer, l'utilisateur disposera de **1 heure** (températures chaudes) à **2 heures** (températures froides) de travail pendant lesquelles les marques pourront être injectées.

3) Retirer le capuchon ainsi que le piston de plusieurs seringues d'injection de 0,3 ml (seringues à insuline orange).
Utiliser une seringue de transfert d'1 ml (seringue verte neuve) pour récupérer un peu de mélange coloré du bécher, essuyer la pointe. L'extrémité de cette seringue de transfert verte d'1 ml s'adapte parfaitement à l'arrière de la seringue d'injection orange de 0,3 ml.

Transférer le mélanger VIE dans la seringue d'injection orange sans dépasser **un tiers** de sa capacité, soit **0,1 ml** (Photo 5). Remplir d'avantage la seringue rend son utilisation plus difficile par la suite en risquant de casser le piston.
Replacer le piston jusqu'à faire sortir du VIE à déposer sur un bout de papier ; éviter les poches d'air entre le piston et l'élastomère.

Replacer le capuchon de la seringue d'injection et la placer dans le réfrigérateur ou dans de la glace pour allonger son temps d'utilisation.
Remplir ainsi plusieurs seringues à injection jusqu'à utilisation de tout le mélange coloré.

Photo 5: Mélange VIE dans la seringue d'injection. Source: NMT, Inc.

4) Placer la seringue dans l'injecteur manuel lorsque les anguilles sont prêtes à être marquées (Photo 6).

Photo 6: Injecteur manuel. Source: NMT, Inc.

5) Conserver le petit bécher qui a servi au mélange, ainsi que le bout de papier avec du VIE **pendant 24 heures**. Vérifier ainsi que le VIE a bien durci, sinon vérifier les conditions d'utilisation et contacter le fournisseur.

ETAPE 3:

1) Lorsqu'une anguille est anesthésiée, la mesurer et la peser avant de la marquer.
2) Placer le VIE dans une partie de l'anguille ne risquant pas d'endommager ses organes, **entre l'anus et la queue** par exemple.

   Injecter le VIE en sous cutané, en faisant attention de maintenir l'aiguille bien parallèle au corps de l'animal pour rester juste dessous de la peau et ne pas « plonger » dans le muscle de l'animal (Photo 7). Dans le cas de petites anguilles ou de civelles, attention à ne pas toucher la colonne vertébrale.

Photo 7: Position de l'anguille. Source: Seinormigr.

3) Enfoncer l'aiguille sur 8 mm puis appuyer sur le piston en retirant doucement l'aiguille sur 4 mm. Déposer ainsi une marque VIE de 4 mm en retirant délicatement l'aiguille.

Il faut interrompre l'injection plusieurs millimètres avant de sortir l'aiguille pour éviter que la marque VIE ne ressorte de l'animal.

Placer l'anguille marquée dans un bac de réveil contenant de l'eau oxygénée.

Etape 4:

Vérifier la présence de la marque (Photo 8) et le réveil complet des anguilles avant de les remettre dans leur milieu naturel.

Photo 8: Marques VIE. Source: Seinormigr.

Le composant élastomère peut être utilisable pendant au moins 1 an.

Le mélange élastomère + durcissant n'a quant à lui qu'une faible durée de vie (maximum 3 jours au freezer).

<u>Annexe 6</u>: Photographie de l'inondation survenue lors du phénomène de crue (photographie datant du 06/06/2016). Le niveau dans la passe à poissons est égal au niveau d'eau en amont de l'usine hydroélectrique. Le collecteur est complètement recouvert par les eaux.

<u>Annexe 7</u>: Photographie d'anguilles accumulées dans la passe à Poisson. Ce jour, la passe a été vidée pour cause de nettoyage des vitres du seinoscope et du local de vidéo-comptage.

<u>Annexe 8</u>: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la température de l'air (a), de la Seine (b), du vivier (c) et du collecteur (d) par mois.es effectifs d'anguillettes capturés par mois (a), de la taille des anguillettes (b) et du poids des anguillettes (c).

a)	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	39.30484	29.36528	TRUE
Avril-Juin	54.80000	29.60500	TRUE
Avril-Juillet	99.75645	29.36528	TRUE
Avril-Août	83.23947	33.61796	TRUE
Mai-Juin	15.49516	29.36528	FALSE
Mai-Juillet	60.45161	29.12359	TRUE
Mai-Août	43.93463	33.40705	TRUE
Juin-Juillet	44.95645	29.36528	TRUE
Juin-Août	28.43947	33.61796	FALSE
Juillet-Août	16.51698	33.40705	FALSE

b)	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	31.7424731	29.36528	TRUE
Avril-Juin	54.7833333	29.60500	TRUE
Avril-Juillet	98.4521505	29.36528	TRUE
Avril-Août	98.2271930	33.61796	TRUE
Mai-Juin	23.0408602	29.36528	FALSE
Mai-Juillet	66.7096774	29.12359	TRUE
Mai-Août	66.4847199	33.40705	TRUE
Juin-Juillet	43.6688172	29.36528	TRUE
Juin-Août	43.4438596	33.61796	TRUE
Juillet-Août	0.2249576	33.40705	FALSE

c)	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	32.300000	29.36528	TRUE
Avril-Juin	55.083333	29.60500	TRUE
Avril-Juillet	100.009677	29.36528	TRUE
Avril-Août	96.405263	33.61796	TRUE
Mai-Juin	22.783333	29.36528	FALSE
Mai-Juillet	67.709677	29.12359	TRUE
Mai-Août	64.105263	33.40705	TRUE
Juin-Juillet	44.926344	29.36528	TRUE
Juin-Août	41.321930	33.61796	TRUE
Juillet-Août	3.604414	33.40705	FALSE

d)	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	31.908065	29.36528	TRUE
Avril-Juin	54.866667	29.60500	TRUE
Avril-Juillet	99.553226	29.36528	TRUE
Avril-Août	97.018421	33.61796	TRUE
Mai-Juin	22.958602	29.36528	FALSE
Mai-Juillet	67.645161	29.12359	TRUE
Mai-Août	65.110357	33.40705	TRUE
Juin-Juillet	44.686559	29.36528	TRUE
Juin-Août	42.151754	33.61796	TRUE
Juillet-Août	2.534805	33.40705	FALSE

Annexe 9: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la température de l'eau entre la Seine, le vivier et le collecteur.

	Différence observée	Différence critique	Différence
Air-Seine	36.319149	51.20304	FALSE
Air-Vivier	37.404255	51.20304	FALSE
Air-Collecteur	39.581560	51.20304	FALSE
Seine-Vivier	1.085106	51.20304	FALSE
Seine-Collecteur	3.262411	51.20304	FALSE
Vivier-Collecteur	2.177305	51.20304	FALSE

Annexe 10: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la teneur en oxygène de l'eau entre la Seine, le vivier et le collecteur.

	Différence observée	Différence critique	Différence
Seine-Vivier	17.67376	38.41361	FALSE
Seine-Collecteur	61.37943	38.41361	TRUE
Vivier-Collecteur	43.70567	38.41361	TRUE

Annexe 11: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la teneur en oxygène de la Seine (a), du vivier (b) et du collecteur (c) entre les différents mois.

a)	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	27.12258	29.36528	FALSE
Avril-Juin	103.61667	29.60500	TRUE
Avril-Juillet	69.44516	29.36528	TRUE
Avril-Août	40.98421	33.61796	TRUE
Mai-Juin	76.49409	29.36528	TRUE
Mai-Juillet	42.32258	29.12359	TRUE
Mai-Août	13.86163	33.40705	FALSE
Juin-Juillet	34.17151	29.36528	TRUE
Juin-Août	62.63246	33.61796	TRUE
Juillet-Août	28.46095	33.40705	FALSE

b)	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	21.02742	29.36528	FALSE
Avril-Juin	73.25000	29.60500	TRUE
Avril-Juillet	98.93065	29.36528	TRUE
Avril-Août	62.27105	33.61796	TRUE
Mai-Juin	52.22258	29.36528	TRUE
Mai-Juillet	77.90323	29.12359	TRUE
Mai-Août	41.24363	33.40705	TRUE
Juin-Juillet	25.68065	29.36528	FALSE
Juin-Août	10.97895	33.61796	FALSE
Juillet-Août	36.65959	33.40705	TRUE

c)	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	20.11075	29.36528	FALSE
Avril-Juin	63.45000	29.60500	TRUE
Avril-Juillet	94.17527	29.36528	TRUE
Avril-Août	83.90702	33.61796	TRUE
Mai-Juin	43.33925	29.36528	TRUE
Mai-Juillet	74.06452	29.12359	TRUE
Mai-Août	63.79626	33.40705	TRUE
Juin-Juillet	30.72527	29.36528	TRUE
Juin-Août	20.45702	33.61796	FALSE
Juillet-Août	10.26825	33.40705	FALSE

<u>Annexe 12</u>: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de l'abondance en individus de l'année entre les différents mois.

	Différence observée	Différence critique	Différence
Juin-Juillet	18.10512	20.00957	FALSE
Juin-Août	54.15563	22.86056	TRUE
Juillet-Août	36.05051	22.56677	TRUE

Annexe 13: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la taille des individus de l'année entre les différents mois.

	Différence observée	Différence critique	Différence
Juin-juillet	56.57700	158.3904	FALSE
Juin-Août	13.33399	153.9561	FALSE
Juillet-Août	43.24301	53.8079	FALSE

Annexe 14: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples du poids des individus de l'année entre les différents mois.

	Différence observée	Différence critique	Différence
Juin-juillet	74.74014	154.30496	FALSE
Juin-Août	114.56140	149.08468	FALSE
Juillet-Août	39.82126	54.77195	FALSE

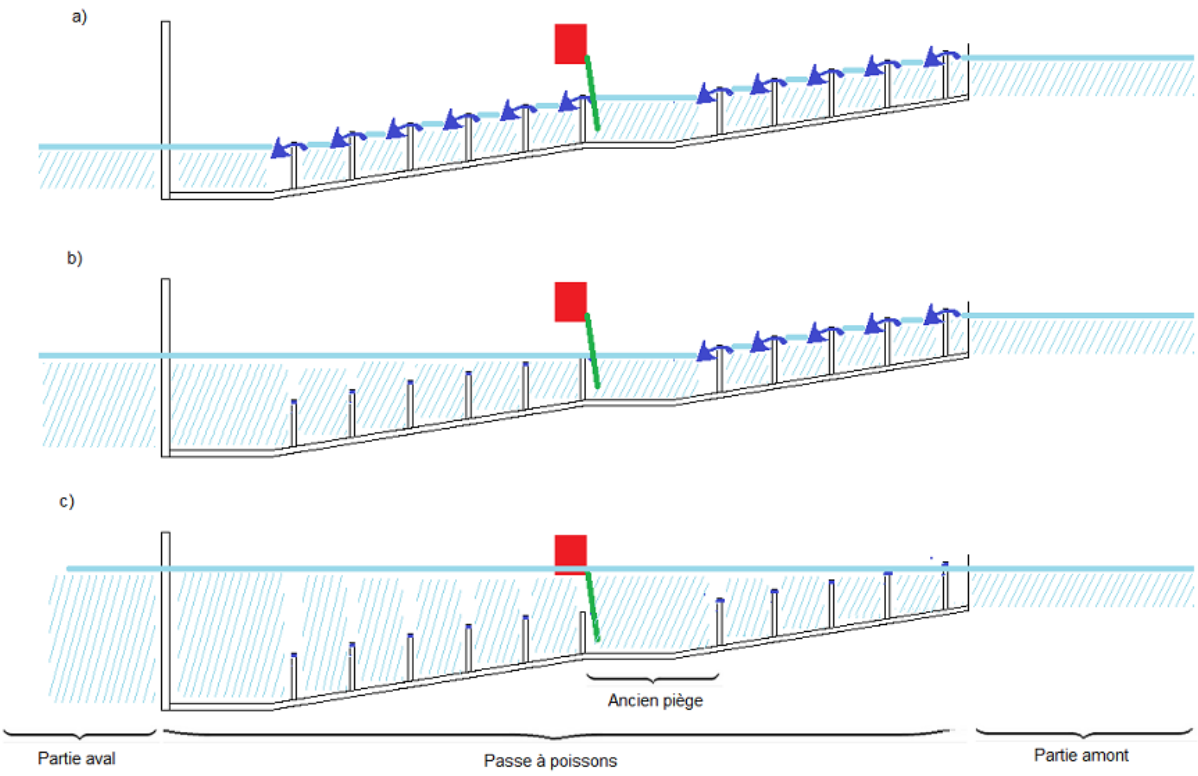
Annexe 15: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de la taille des anguillettes jaunes entre les différents mois.

	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	575.08385	2675.2064	FALSE
Avril-Juin	628.44044	2668.3938	FALSE
Avril-Juillet	311.00570	2667.6970	FALSE
Avril-Août	557.86392	2671.1533	FALSE
Mai-Juin	53.35659	227.9268	FALSE
Mai-Juillet	264.07815	219.6187	TRUE
Mai-Août	17.21993	258.2352	FALSE
Juin-Juillet	317.43474	108.7581	TRUE
Juin-Août	70.57651	174.0154	FALSE
Juillet-Août	246.85822	162.9820	TRUE

<u>Annexe 16</u>: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples du poids des anguillettes jaunes entre les différents mois.

	Différence observée	Différence critique	Différence
Avril-Mai	284.87888	1962.95129	FALSE
Avril-Juin	425.73169	1957.95246	FALSE
Avril-Juillet	158.47434	1957.95130	FALSE
Avril-Août	486.35918	1959.97731	FALSE
Mai-Juin	140.85281	167.24287	FALSE
Mai-Juillet	126.85281	167.22921	FALSE
Mai-Août	201.48030	189.48187	TRUE
Juin-Juillet	267.25735	91.46414	TRUE
Juin-Août	60.62748	127.68500	FALSE
Juillet-Août	327.88483	127.66711	TRUE

<u>Annexe 17</u>: Schéma simplifié de la montée des eaux lors du phénomène de crue. En rouge: Cuve piège ; En vert: Pompe amont ; Flèche bleu: Chute d'eau ; Trait bleu: Niveau d'eau ; a) = Niveau d'eau normal ; b) = Montée des eaux intermédiaire ; c) = Montée des eaux maximale, le niveau aval a rejoins le niveau amont.



<u>Annexe 18</u>: Filet attaché au canal de liaison pour permettre de faire la différenciation entre les individus ayant franchi le dispositif et ceux aspirés par la pompe amont.

<u>Annexe 19</u>: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de l'abondance en anguilles européennes entre les trois années d'études.

	Différence observée	Différence critique	Différence
2014-2015	9.017730	34.85687	FALSE
2014-2016	7.737589	34.85687	FALSE
2015-2016	1.280142	34.85687	FALSE

<u>Annexe 20</u>: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples de l'abondance en individus de l'année entre les trois années d'études.

	Différence observée	Différence critique	Différence
2014-2015	17.517730	34.85687	FALSE
2014-2016	11.439716	34.85687	FALSE
2015-2016	6.078014	34.85687	FALSE

<u>Annexe 21</u>: Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples des classes de taille des anguilles européennes entre les trois années d'études.

	Différence observée	Différence critique	Différence
2014-2015	3.671429	17.42844	FALSE
2014-2016	12.700000	17.42844	FALSE
2015-2016	9.028571	17.42844	FALSE

<u>Annexe 22</u>: Photographie d'anguilles retrouvées mortes dans le collecteur après avoir désobstrué le canal de liaison reliant la partie aval à la partie amont du dispositif.