Master 2 Sciences des Environnements Continentaux et Côtiers
spécialité Exploitation des Ressources Vivantes Côtières

Université de Caen Basse-Normandie

Année 2013-2014

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

Valentin Mullet

Encadrant :

Geoffroy Garot
SEINORMIGR
Association Seine Normandie-Nord Migrateurs

Partenaires financiers :

Ce rapport doit être cité comme suit:

Mullet, V; 2014. *Suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne (Anguilla anguilla).* Mémoire de master en sciences des environnements continentaux et côtiers, Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France.

Remerciements

Je tiens à remercier Geoffroy Garot, mon maître de stage, pour m'avoir confié ce stage au sein de l'association SEINORMIGR, de m'avoir encadré tout au long du stage et permis de participer aux pêches électriques du suivi anguille.

Je remercie également la base de loisirs troislacs pour le prêt temporaire d'un bureau au sein de leurs locaux pour effectuer mes recherches et rédiger mon rapport.

Merci à Bertrand Paplorey pour ses explications sur le fonctionnement du système de vidéo-comptage installé dans la chambre d'observation et ses interventions sur le dispositif de franchissement le week-end.

Enfin, merci à la Fédération des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de l'Eure de m'avoir invité à participer au suivi des frayères de lamproies marines sur l'Andelle.

Résumé

L'année 2014 constitue la première année de suivi de la migration de l'anguille en rive gauche de la Seine au niveau du barrage de Poses. Cette étude, fait suite à la mise en conformité de la passe à poisson vis à vis de l'anguille, avec l'installation au cours de l'année 2013 d'un dispositif de franchissement spécifique de l'espèce. L'objectif est tout d'abord, de tester la fonctionnalité du dispositif de franchissement et d'analyser d'un point de vue quantitatif et qualitatif la migration de l'anguille sur la Seine.

Pour cette première année de suivi, 12082 anguilles ont été capturées dont 3769 individus de l'année 2014. Du point de vue qualitatif, la population d'anguille migrante sur la Seine est quasi exclusivement composée d'individus d'une taille inférieure à 300mm avec une part prépondérante des individus inférieurs à 150mm (90% des effectifs). La reprise de l'activité migratrice est initiée par les individus plus âgés (1 été au moins) au début du mois d'avril. Les individus de l'année sont observés plus tard dans la saison au début du mois de juin, avec les passages les plus abondants à la fin du mois de juillet et au début du mois d'août.

Ce premier suivi a permis de mettre en évidence un recrutement fluvial annuel très faible, ce qui soulève la question concernant la configuration du site en rive gauche. A l'avenir, l'installation d'un dispositif de franchissement en rive droite pour l'année 2015 devrait permettre une meilleure estimation de ce recrutement annuel et fournir des indications précieuses concernant l'attractivité du dispositif de franchissement en rive gauche.

Mots clés: Anguille, *Anguilla anguilla*, migration, recrutement fluvial, Seine

Abstract

This year, is the first year of eel migration monitoring at Poses weir on the left bank of the Seine. In 2013, an eel ladder installed to ensure compliance of the fish pass. This study aim to, test the effectiveness of the eel ladder and estimate the fluvial recruitment of glass eels in the Seine river.

In 2014, 12082 eels were caught which 3769 elvers. Most of eels measure less than 300mm with a large part of young individuals (< 150mm). Migration began at the beginning of April with older individuals. Elvers were scarce early in the season, they had a shorter migration period from end july to mid august.

This first monitoring of eel migration show a very low fluvial recruitment, which raises issues about configuration of the eel ladder on the left bank of the Seine. In the future, installation of a new eel ladder on the right bank should allow a better estimation of the fluvial recruitment and provide useful information about attractiveness of the fish-pass.

Keywords: Eel, *Anguilla anguilla*, migration, fluvial recruitment, Seine river.

Table des matières

Remerciements **1**

Résumé **2**

Abstract **3**

Remerciements **1**

Résumé **3**

Abstract **5**

Table des matières **7**

Tables des illustrations **10**

Structure d'accueil: Association Seine Normandie-Nord Migrateurs **14**

Contexte **16**

Objectifs de l'étude **20**

L'anguille européenne **22**

I. CLASSIFICATION 22

II. AIRE DE DISTRIBUTION 22

III. CYCLE BIOLOGIQUE 24

IV. MENACES SUR L'ESPECE 27

1. Les changements globaux 27

2. La détérioration de la qualité des eaux et des habitats 27

3. Les obstacles à la migration 29

4. La surpêche 29

5. Les pathologies 29

6. La prédation 31

Le bassin Seine -Normandie **31**

I. DESCRIPTION HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN SEINE-NORMANDIE 31

1. Présentation du bassin Seine-Normandie 31

2. Qualité de l'eau du bassin 33

3. Continuité écologique du bassin 33

II. LES ACTIONS DE L'UNITE DE GESTION ANGUILLE SEINE-NORMANDIE 33

1. Encadrement de la pêche professionnelle et repeuplement 33

2. Mise en conformité des ouvrages prioritaires ... 35

3. Programme de monitoring ... 37

Site d'étude : le barrage de Poses ... 39

I. PRESENTATION DU BARRAGE ... 39

II. LA PASSE A POISSON ET LA CHAMBRE D'OBSERVATION ... 39

III. SYNTHESE HYDROLOGIQUE ... 41

Matériels et méthodes ... 43

I. DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT ET DE PIEGEAGE ... 43

II. FREQUENCE DE SUIVI DU PIEGE ET ENTRETIEN ... 45

III. BIOMETRIE ... 47

IV. PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX ... 47

V. ANALYSES STATISTIQUES ... 49

1. Test de comparaison ... 49

2. Analyse de corrélation ... 49

Résultats ... 51

I. FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE PIEGEAGE ... 51

1. Période et fréquence de suivi ... 51

2. Evolution des paramètres environnementaux ... 53

II. SUIVI DE LA MIGRATION DES ANGUILLES ... 55

1. Suivi de la migration des individus de l'année: individus <100 mm âgés de moins d'1 été ... 57

a. Déroulement de la migration ... 57

b. Influence des facteurs environnementaux ... 59

c. Caractéristiques de la population ... 59

2. Suivi de la migration des anguillettes: individus >100mm âgés d'1 été au moins ... 65

a. Déroulement de la migration ... 65

b. Influence des facteurs environnementaux ... 67

c. Caractéristiques de la population ... 69

Discussion ... 71

Conclusion ... 74

Bibliographie ... 77

Annexes ... 85

Tables des illustrations

Figures

Figure 1. Aire de répartition de l'anguille européenne. La zone de reproduction est représentée en rouge. (Hélène Imbert, 2008) 12
Figure 2. Cycle biologique de l'anguille européenne (dessin : S. Gros, Ifremer, projet Indicang - Adapté de Schmidt, 1922; Klechner et Mac Cleave, 1985). 13
Figure 3. Larve leptocéphale d'anguille *Anguilla anguilla* .(photo : Y. Desaunay, Ifremer). 13
Figure 4. Civelles de l'opération de repeuplement 2014 sur le Cailly . (© Geoffroy Garot-SEINORMIGR). 14
Figure 5. Anguille jaune observée dans son milieu (estuaire de la Seine-commune d'Aizier). (© Germain Sanson-FAAPPMA 27) 14
Figure 6. Anguille jaune (en bas) colonisant le milieu continental. Anguille argentée (en haut) à la fin de la croissance et après le début de la maturation sexuelle (© Arnaud Richard-ONEMA). 14
Figure 7. Anguilles argentées tuées lors de leur migration de dévalaison. (©Angling Trust) 16
Figure 8. Prédateurs se nourrissant d'anguilles. Le Grand Cormoran (a), la loutre (b). (©R. Austin(a), ©L. Campbell(b)) 17
Figure 9. Etat écologique global des cours d'eau (avec polluants spécifiques et hors HAP). 18
Figure 10. Vue aérienne du site d'étude: le barrage de Poses 21
Figure 11. Débit journalier de la Seine à Poses pour l'année 2014 22
Figure 12. Photographies du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine à Poses. Système aval (a), système amont (b). (© Geoffroy Garot-SEINORMIGR) 23
Figure 13. Individus récupérés à l'aide des tamis de 3mm et 6mm. Civelles stade VIB (a), anguillettes pigmentées (b), anguillettes > 100mm (c). (© Geoffroy Garot-SEINORMIGR) 25
Figure 14. Montées cumulées d'anguilles sur la rampe de montaison du barrage de Poses. 27
Figure 15. Boxplot représentant l'évolution journalière de la température de l'eau sur la Seine, le vivier et le bac collecteur (a), évolution mensuelle de la température de la Seine (b). 28
Figure 16. Evolution de la teneur en oxygène sur la Seine, le vivier et le bac collecteur. 28
Figure 17. Effectifs journaliers d'anguilles capturés en montaison sur la Seine à Poses en fonction de la température de l'eau pour l'année 2014 29
Figure 18. Effectifs journaliers des individus de l'année capturés en montaison sur la Seine à Poses pour l'année 2014 en fonction de la température (a), de la hauteur d'eau (b). 30
Figure 19. Boxplot représentant l'évolution mensuelle des captures des individus de l'année à Poses. 31
Figure 20. Relation entre les captures des individus de l'année et la température de la Seine. 31
Figure 21. Structure en classes de taille des individus de l'année. 32
Figure 22. Répartition des individus de l'année selon le stade de pigmentation en fonction du temps pour l'année 2014. 32
Figure 23. Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la taille des individus de l'année (a), du poids des individus de l'année (b). 33

Figure 24. Evolution des effectifs d'anguillettes en montaison en fonction de la température (a), de la hauteur d'eau (b)..... 34
Figure 25. Boxplot représentant les effectifs d'anguillettes capturés mensuellement sur le piège du barrage de Poses..... 35
Figure 26. Relation entre les captures d'anguillettes et la température de la Seine. 35
Figure 27. Structure en classes de taille des anguillettes capturées à Poses..... 36
Figure 28. Boxplot représentant l' évolution mensuelle de la taille des anguillettes (a), du poids des anguillettes (b). 36

Tableaux

Tableau 1. Dysfonctionnements de la passe piège sur les 6 mois de suivi 27

Annexes

Annexe 1. Schéma de la passe à poisson en rive gauche de la Seine. 45
Annexe 2. Plan détaillé du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine. Partie aval (a), partie amont (b)..... 46
Annexe 3. Tableau récapitulatif des test de comparaisons multiples des paramètres environnementaux. Température de la Seine entre les mois (a) et teneur en oxygène au sein du dispositif de piégeage (b)... 47
Annexe 4. Graphique lissé des effectifs journaliers d'anguilles capturés en montaison sur la Seine à Poses en fonction de la température de l'eau pour l'année 2014. 47
Annexe 5. Graphiques lissés des effectifs journaliers des individus de l'année capturés en montaison sur la Seine à Poses en fonction de la température de l'eau pour l'année 2014 (a) et des anguillettes (b)..... 48
Annexe 6. Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples des effectifs d'individus de l'année capturés par mois (a), de la taille des individus de l'année (b) et du poids des individus de l'année (c). ... 49
Annexe 7. Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples des effectifs d'anguillettes capturés par mois (a), de la taille des anguillettes (b) et du poids des anguillettes (c)..... 50

Structure d'accueil: Association Seine Normandie-Nord Migrateurs

L'association migrateurs SEINORMIGR a été créée en 2007 sous l'impulsion du Président de la Fédération de la Seine-Maritime pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA). L'association SEINORMIGR regroupe par adhésion les Fédérations Départementales présentent sur les bassins Seine-Normandie et Artois-Picardie afin de créer une seule et même continuité dans le suivi et la gestion des populations de poissons migrateurs présentes ou en phase de recolonisation de ces cours d'eau.

L'association compte aujourd'hui 3 salariés, un chargé de missions, un technicien hydrobiologiste ainsi qu'un technicien piscicole. Depuis 2011, l'association 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.

A ce jour, l'association SEINORMIGR réunie 16 Fédérations Départementales pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique réparties sur 19 départements. Cet ensemble représente une superficie de 90 000 km², soit 26 200 km de linéaire de cours d'eau. SEINORMIGR réalise de nombreuses missions sur l'ensemble des deux bassins hydrographiques; Seine-Normandie et Artois-Picardie :

- Contribuer à l'évaluation et au suivi des populations piscicoles amphihalines sur les bassins Seine-Normandie et Artois-Picardie.
- Favoriser la valorisation et la gestion de la ressource piscicole, notamment pour la rendre visible et accessible à tous.
- Participer et s'investir techniquement et/ou financièrement dans les projets de restauration des axes de circulation des poissons migrateurs.
- Assister les maîtres d'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 oeuvre des objectifs de restauration des populations de poissons migrateurs au sein du CO.GE.PO.MI

Contexte

On observe depuis les dernières décennies, une diminution importante des stocks mondiaux de poissons. L'état de la ressource halieutique est influencé par de nombreux facteurs agissant en synergie tels que le taux d'exploitation de la ressource, les caractéristiques des habitats (quantitatives et qualitatives), la modification des cours d'eau, les pathologies, les changements globaux, etc. On estime à l'heure actuelle que 30 % des stocks sont surexploités (FAO, 2012). Néanmoins, la mise en œuvre de plans de gestion efficaces pourrait permettre la conservation et la restauration des populations surexploitées.

Depuis 1994, des plans de gestion des poissons migrateurs (PLAGEPOMI) sont établis à l'échelle des grands bassins hydrographiques suite au décret n°94-157 du 16 février 1994. Au niveau du bassin Seine-Normandie, la restauration des populations de migrateurs s'effectue selon quatre axes. Premièrement, rétablir la continuité écologique au niveau des axes de migration, renforcer les connaissances sur les migrateurs, encadrer la pêche des migrateurs et enfin, protéger et restaurer les habitats de production. En effet, les poissons migrateurs représentent des espèces emblématiques dont la présence est souvent associée au bon état et au bon fonctionnement de l'écosystème. De plus la majorité des poissons migrateurs sont menacés et apparaissent sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN. Sept espèces sont concernées par ces mesures, le saumon atlantique (*Salmo salar*), la truite de mer (*Salmo trutta, f. trutta*), la grande alose (*Alosa alosa*), l'alose feinte (*Alosa fallax*), la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), la lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et enfin l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dont le stock a gravement diminué depuis la fin des années 70 (Adam et al., 2008).

L'anguille européenne est un poisson migrateur catadrome, elle effectue sa croissance dans les eaux continentales, puis effectue une migration de plus de 6000km pour rejoindre son aire de reproduction dans la mer des Sargasses (Ginneken et Maes, 2005; Schoth et Tesch, 1982). L'anguille est l'une des espèces occupant la plus grande diversité d'habitats, allant des eaux marines et saumâtres aux eaux douces, mais également dans des milieux plus fermés comme les marais lacs et étangs, ainsi on estime que plus des 3/4 du territoire français serait utilisable par l'espèce (Chancerel, 1994). Au niveau écologique, l'anguille représente un véritable bioindicateur sur l'état de santé des hydrosystèmes autant

au niveau du fonctionnement que de la qualité de ces hydrosystèmes (Feunteun, 2002). Sa présence, garantie le rétablissement de la continuité écologique des cours d'eau ainsi que, la restauration des habitats propices au développement de l'espèce. De plus l'anguille est une espèce bioaccumulatrice notamment vis à vis des PCB stockés dans les réserves lipidiques au moment de l'argenture (Robinet et Feunteun, 2002), ainsi l'anguille constitue une espèce de référence pour la surveillance de la qualité des eaux (Buet et al., 2006; van der Oost et al., 1996). Elle représente en plus de sa valeur écologique, une ressource économique importante. L'anguille (Anguilla anguilla) est une espèce très exploitée à tous les stades de son cycle biologique, sur l'ensemble de son aire de répartition, par les pêcheurs professionnels, les amateurs aux filets et engins, les amateurs aux lignes et les braconniers (Adam et al., 2008). La civelle est principalement exploitée dans la partie sud de l'Europe, notamment au niveau du golfe de Gascogne qui représente 87 % des captures de civelles au niveau de l'Europe. En revanche, en Europe du nord, la pêche est plutôt dédiée à l'exploitation des anguilles argentées en dévalaison (Dekker, 2000). En France, cette espèce intéresse environ 2 millions de pêcheurs amateurs dont 7000 aux engins (Baisez et Laffaille, 2005). Elle fait l'objet d'une pêche professionnelle pour environ 647 pêcheurs pour la civelle et 708 pêcheurs pour la pêche de l'anguille jaune et de l'anguille argentée.

On observe depuis la fin des années 70, une diminution notable du recrutement en anguille européenne partout en Europe (Dekker, 2003; Moriarty et Dekker, 1997). En France les captures de l'ensemble des stades exploités ont été divisées par plus de la moitié entre 1978 et 1998 (ICES, 2002). En 1990, l'anguille européenne a été déclarée comme "espèce vulnérable" en France par le Ministère de l'environnement (Keith et al; 1992). En 1999, le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) déclare l'espèce "en dehors de ses limites biologiques de sécurité". Le CIEM recommande en 2002, la mise en place d'un programme international de reconstitution du stock d'anguille (CCE, 2003), visant à restaurer les habitats propices à l'espèce et à réduire l'exploitation de l'anguille sur tout son cycle de vie. Elle est aujourd'hui considérée comme "espèce en danger critique d'extinction" et figure depuis le 13 mars 2009 à l'annexe II de la convention sur le commerce international des espèces de la faune et de la flore sauvages menacées d'extinction.

Le 18 septembre 2007, le Conseil de l'Union européenne, adopte un Règlement européen instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguille européenne (R(CE) n°

1100/2007). L'ensemble des états membres ont du présenter avant le 31 décembre 2008 un plan de gestion de l'anguille comprenant des mesures de réduction des principaux facteurs de mortalité. L'objectif de chaque plan de gestion, défini par l'article 2.4 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 correspondant à la meilleure estimation possible du taux d'échappement qui aurait été observé si le stock n'avait subi aucune influence anthropique. En France le plan de gestion de l'anguille est divisé en deux parties, un volet national adapté localement en unité de gestion anguille (UGA).

L'anguille est présente au niveau du bassin Seine-Normandie, cependant la colonisation des cours d'eau est souvent limitée par des aménagements hydrauliques. Le barrage de Poses situés à 160 km depuis la limite transversale de la mer représente le premier obstacle à la montaison des anguilles. Il fait partie des 420 ouvrages à aménager dans la zone d'actions prioritaires de niveau 1. En effet, une étude menée par l'ONEMA montre des densités d'anguille relativement élevées à l'aval du barrage de Poses (1.4 ind/100m²). En revanche, on a pu observer une chute importante des densités à l'amont immédiat du barrage traduisant les difficultés de franchissement de cet obstacle pour l'espèce. Afin d'assurer la franchissabilité de l'ouvrage par l'anguille européenne en montaison, une rampe de reptation spécifique à l'espèce fut rajoutée en 2013 sur le seul dispositif de franchissement déjà présent en rive gauche du barrage.

Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est dans un premier temps, de tester la fonctionnalité du dispositif de franchissement. Estimer le recrutement de la Seine en anguille européenne sur le plan quantitatif et qualitatif. Suivre l'évolution temporel de l'activité migratrice de l'espèce et identifier les pics de migration. Enfin évaluer l'effet potentiel des facteurs environnementaux, température, cycle de marée, sur la migration de l'espèce.

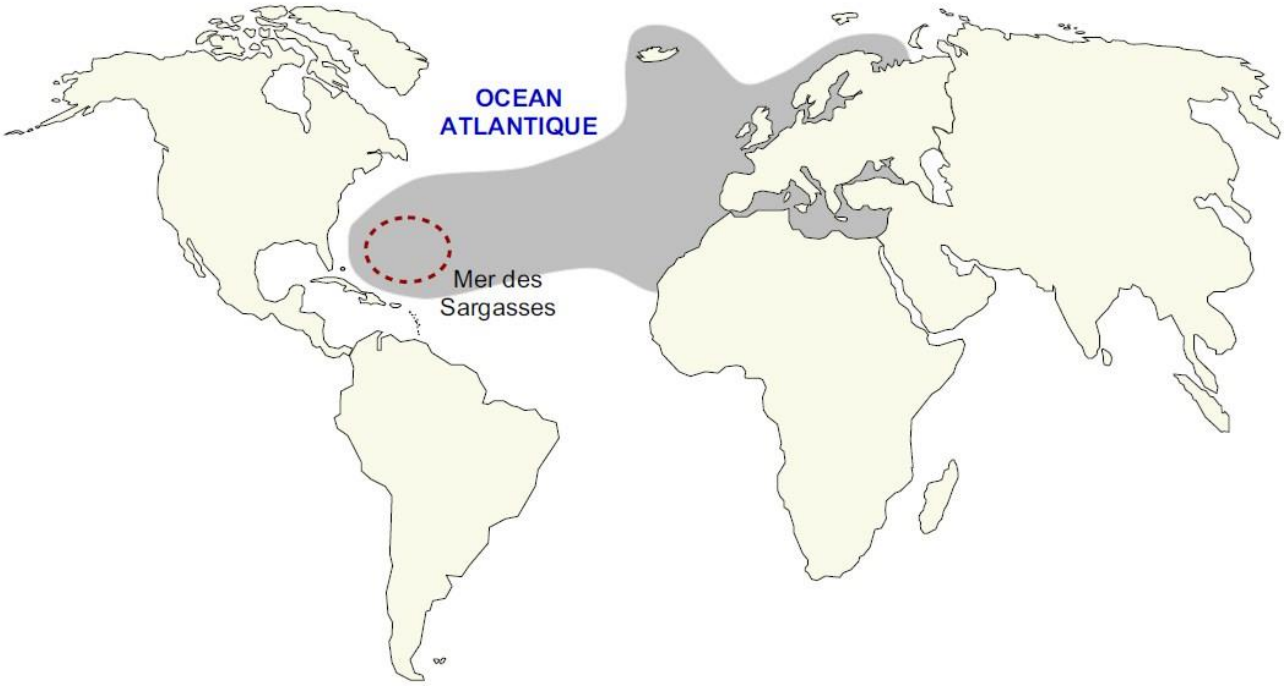


Figure 1. Aire de répartition de l'anguille européenne. La zone de reproduction est représentée en rouge. (Hélène Imbert, 2008)

L'anguille européenne

I. Classification

Les anguilles font partie de la super-classe des Poissons, de la classe des Osteïchthyens, de la sous-classe des Actinoptérygiens. Elle appartient au super-ordre des Elopomorphes, caractérisé par un stade larvaire leptocéphale présentant une morphologie et des adaptations originales (Pfeiler, 1999). On retrouve dans ce groupe, plus de 800 espèces de poissons réparties dans quatre ordres, dont l'ordre des Anguilliformes. Grâce à l'analyse des critères morphologiques et génétiques, on dénombre aujourd'hui quinze espèces (Watanabe et al., 2005) appartenant au genre *Anguilla* qui constitue le seul représentant de la famille des *Anguillidae*.

II. Aire de distribution

L'anguille européenne possède une distribution géographique très large, séparée en deux zones distinctes (Figure 1).

- La zone de reproduction située dans la mer des Sargasses dans l'océan Atlantique nord (Schmidt, 1923). Cependant, la présence d'individus reproducteurs en mer des Sargasses n'a jamais été observée à ce jour (Tesch, 2003). A l'éclosion, les larves leptocéphales sont transportées passivement par les courants océaniques, principalement par le *Gulf Stream* puis la dérive nord atlantique pour arriver sur les côtes européennes et nord africaines après une migration de 7 mois à 2 ans (Adam et al., 2008).
- La zone de croissance située dans les eaux côtières et les cours d'eau d'Europe et d'Afrique du nord. Elle est retrouvée, du Cap Nord à la côte de Mourmansk au nord, et jusqu'au îles Canaries au sud (Tesch, 2003). A l'ouest, sa distribution se limite aux îles Atlantiques tels que l'Islande, les Açores et les Canaries, à l'est, l'espèce est présente sur l'ensemble de la Méditerranée et de la Mer Noire.

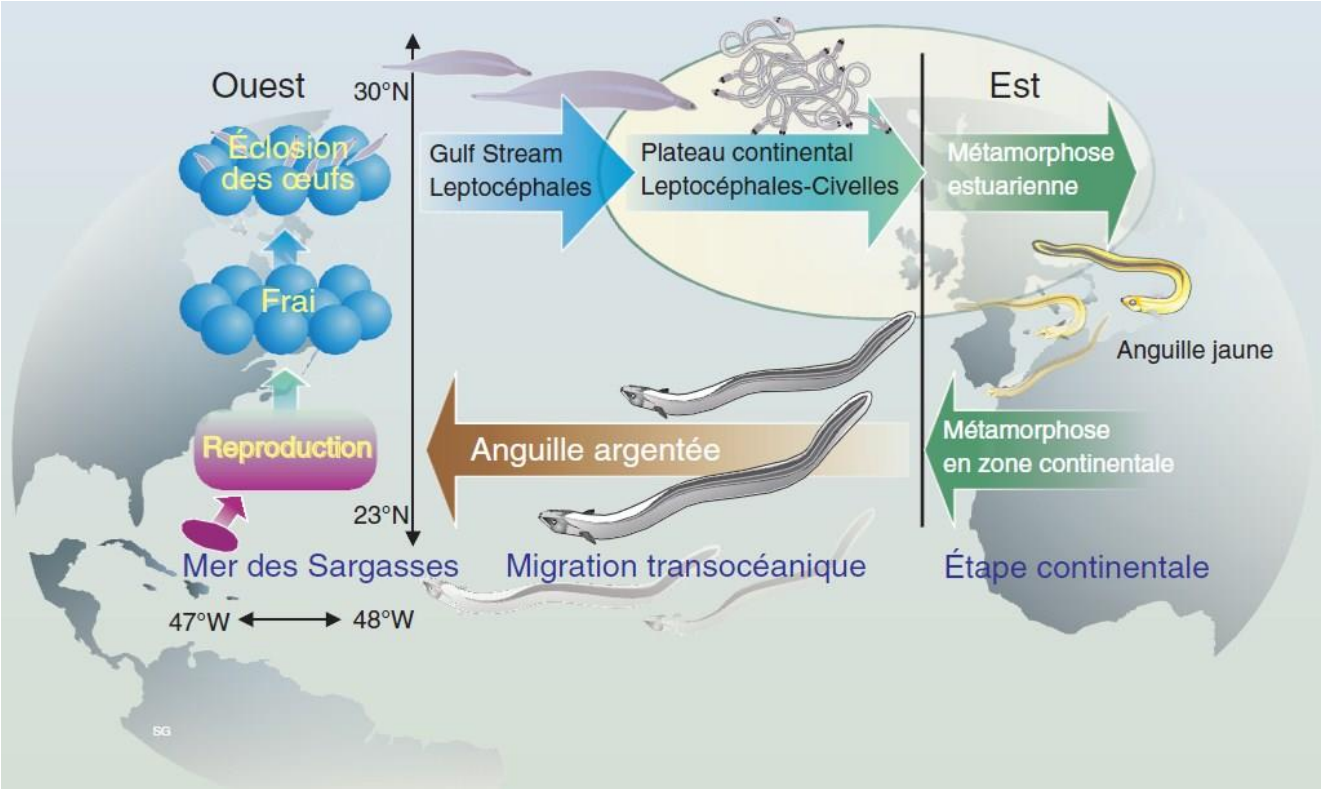


Figure 2. Cycle biologique de l'anguille européenne (dessin : S. Gros, Ifremer, projet Indicang - Adapté de Schmidt, 1922; Klechner et Mac Cleave, 1985).

III. Cycle biologique

Le cycle de vie de l'anguille a été découvert au vingtième siècle grâce aux travaux de Schmidt, c'est un cycle long et complexe qui soulève encore aujourd'hui de nombreuses questions. Le cycle est caractérisé par deux migrations transocéaniques entre la zone de reproduction et la zone de croissance ainsi que deux métamorphoses (Figure 2).

- La larve leptocéphale: phase de migration transocéanique

La période de ponte s'étale de novembre à juillet avec un pic en janvier (Wang et Tzeng, 2000) pour donner naissance à une larve leptocéphale, cependant nous disposons de peu d'informations sur le passage de l'œuf à la larve . Aucun œuf n'a été récolté jusqu'à présent dans le milieu naturel. Les larves leptocéphales possèdent un corps comprimé latéralement (Pfeiler, 1999) (Figure 3). Le corps est constitué d'une matrice acellulaire gélatineuse jouant un rôle de structure en l'absence de colonne vertébrale. A ce jour, les plus petites larves capturées sur l'aire de reproduction mesurent environ 5 mm (Lecomte-Finiger, 1994; Schmidt, 1923). Les larves sont portées par les courants océaniques de manière passive vers les côtes européennes, on observe au cours de cette migration un changement dans la distribution verticale des leptocéphales en fonction de la taille des individus (Castonguay et McCleave, 1987). De plus certains individus sont capables d'effectuer des migrations verticales journalières pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres (Castonguay et McCleave, 1987; Ginneken et Maes, 2005). Au niveau du talus continental les larves se métamorphosent en civelles. La durée de la migration entre la mer des Sargasses et les côtes européennes varie selon les auteurs, entre 7 mois et 9 mois (Lecomte-Finiger, 1994), et jusqu'à 2 à 3 ans (McCleave et al., 1998; Schmidt, 1923).

Figure 3. Larve leptocéphale d'anguille *Anguilla anguilla* .(photo : Y. Desaunay, Ifremer).

Figure 4. Civelles de l'opération de repeuplement 2014 sur le Cailly . (© Geoffroy Garot-SEINORMIGR).

Figure 5. Anguille jaune observée dans son milieu (estuaire de la Seine-commune d'Aizier). (© Germain Sanson-FAAPPMA 27).

Figure 6. Anguille jaune (en bas) colonisant le milieu continental. Anguille argentée (en haut) à la fin de la croissance et après le début de la maturation sexuelle (© Arnaud Richard-ONEMA).

- Stade civelle: Métamorphose et pénétration dans les estuaires

Le passage de la larve à la civelle correspond à la première métamorphose du cycle de vie de l'anguille, de nombreux changements morphologiques, physiologiques et comportementales apparaissent au cours de cette métamorphose (Elie et Rochard, 1994). Elles arrivent près de nos côtes en septembre, cependant les arrivées sont plus tardives en remontant vers le Nord. Après une phase de transition au niveau de la zone littorale, les civelles migrent vers l'amont en remontant les estuaires, dans un premier temps de manière passive par l'intermédiaire des courants de marée (Edeline, 2005; Gascuel, 1986) puis de manière active avec l'apparition du comportement de nage. Les civelles d'abord transparentes en arrivant au niveau des estuaires (Figure 4) se pigmentent au fur et à mesure de leur remontée dans l'estuaire pour devenir des anguillettes (Elie et al., 1982).

- Stade anguille jaune: phase de colonisation des eaux continentales et sédentarisation.

Les jeunes anguilles appelées anguillettes sont généralement associées au stade d'anguille jaune, ce sont des individus totalement pigmentés mesurant une dizaine de centimètres. Néanmoins, il convient de différencier l'anguillette de l'anguille jaune. En effet, on peut qualifier le stade anguillette comme une phase du cycle de vie continentale durant laquelle l'anguille pigmentée poursuit sa migration vers l'amont et n'est pas sexuellement différenciée (Adam, 1997). L' anguille jaune correspond véritablement à la phase de sédentarisation et de croissance des individus (Figure 5) (Laffaille et al., 2005). De manière générale les mâles sont plutôt présents dans les parties basses des bassins versants alors que les femelles remontent plus en amont (Adam et al., 2008).

- Stade anguille argentée: Métamorphose et retour vers la mer

A la fin de sa croissance, l'anguille va subir une deuxième métamorphose pour se transformer en anguille argentée. Au cours de cette phase apparaissent de nombreuses modifications anatomique, physiologiques et comportementales (Durif, 2003; Ginneken et al., 2007) dont l'apparition de la coloration argentée de la peau (Figure 6). La migration d'avalaison à lieu en automne, les individus dévalent les cours d'eau pour atteindre la mer et migrer jusqu'à la zone de reproduction en mer des Sargasses.

IV. Menaces sur l'espèce

L'espèce doit faire face depuis la fin des années 70 à une diminution importante du stock d'anguille européenne, de nombreux facteurs anthropiques et naturels semblent être à l'origine de l'effondrement des populations d'anguille (Baisez et Laffaille, 2005; ICES, 2002; ICES, 2012; Moriarty et Dekker, 1997; Robinet et Feunteun, 2002), lesquels agissant le plus souvent en synergie.

1. Les changements globaux

L'arrivée des civelles sur les côtes européennes est largement dépendante des courants océaniques, lesquels peuvent être modulés par les changements climatiques. La déviation de certains courants marins tel que le *Gulf Stream* pourrait contribuer à diminuer le flux de civelles arrivant sur nos côtes. De même le réchauffement des eaux océaniques depuis les années 80 a pu entrainer une diminution du taux de survie des stades précoces de l'espèce (Bonhommeau et al., 2007).

2. La détérioration de la qualité des eaux et des habitats

Le développement de l'industrie et l'utilisation massive des pesticides dans le domaine agricole ont fortement contribué à la détérioration de la qualité des eaux continentales. En effet, le temps de persistance de ces molécules est souvent très long et certains de ces polluants sont capables de s'accumuler dans les organismes et le long de la chaine alimentaire (PCB, métaux lourds, HAP ...). L'anguille est une espèce très sensible aux pollutions (Bruslé, 1994), qui accumule très facilement ces polluants en raison de son comportement benthique et de l'accumulation de graisses juste avant sa métamorphose en anguille argentée (Tapie et al., 2006; Robinet and Feunteun, 2002). L'effet des contaminants sur la physiologie et la reproduction est encore très peu documenté aujourd'hui. Néanmoins ces contaminants pourraient avoir des effets négatifs sur le succès reproducteur de l'espèce, avec un déclenchement précoce de la migration d'avalaison avant la mise en réserve des graisses nécessaires pour la migration transocéanique (Robinet and Feunteun, 2002).
De plus la dégradation de la qualité des habitats lié à l'aménagement des cours d'eau et la diminution de la surface des zones humides a entrainé un réduction importante des habitats disponibles pour l'espèce (Feunteun, 2002; Laffaille et al., 2004).

Figure 7. Anguilles argentées tuées lors de leur migration de dévalaison. (©Angling Trust)

3. Les obstacles à la migration

Les obstacles à la migration représentent l'une des causes majeures de la diminution de l'espèce. Ces obstacles ont contribué à limiter l'aire de répartition continentale de l'anguille. En effet, les civelles se concentrent à l'aval de ces édifices, parfois situés très proches de l'embouchure, entrainant une augmentation du prélèvement par la pêche et la prédation. Le maintien de la connectivité des habitats pour l'anguille est alors fonction du nombre d'obstacles à franchir et du degré de franchissabilité de ces obstacles pour l'espèce (Baisez et Laffaille, 2005). L'impact négatif de ces barrages est aussi visible pour les anguilles argentées lors de la migration de dévalaison. Au niveau des turbines des centrales hydroélectriques, les anguilles subissent des dégâts importants pouvant induire des forts taux de mortalité (Figure 7), et ainsi limiter la biomasse d'anguille retournant en mer (Buysse et al., 2014; Pedersen et al., 2012; Winter et al., 2006).

4. La surpêche

L'anguille est une espèce exploitée à tous les stades de développement, dont le niveau d'exploitation et le stade exploité varie en fonction des bassins versants. Cependant la pêche ne constitue pas le facteur déclenchant de la chute des effectifs, mais plutôt comme un facteur ayant amplifié ce phénomène. En effet, l'effort de pêche est resté constant alors que la biomasse du stock a diminuée. La civelle représente le stade le plus exploité en raison de leur prix élevé, de plus elle fait l'objet d'opérations de braconnage régulières à l'aval des barrages estuariens. L'exploitation des anguilles jaunes à tendance à réduire les stocks locaux et par conséquent la biomasse d'anguilles argentées en dévalaison (Dekker, 2004). Néanmoins, la pêche de l'anguille est de plus en plus réglementée, en effet la mise en place du plan de gestion anguille au niveau européen prévoit un encadrement très strict de la pêche de l'anguille pour l'ensemble des stades biologiques.

5. Les pathologies

On rencontre de nombreux pathogènes chez l'anguille, toutefois il semblerait que seuls les parasites allochtones soient responsables d'épizooties graves dans les milieux naturels (Bruslé, 1994). Parmi ces parasites introduits, on retrouve *Anguillicola crassus* un nématode, *Pseudodactylogyrus anguillae et Pseudodactylogyrus bini*. L'agent pathogène *Anguillicola crassus* responsable de l'anguillicolose semble être l'espèce la plus problématique ces dernières années. Il a été introduit dans les années 80 suite à

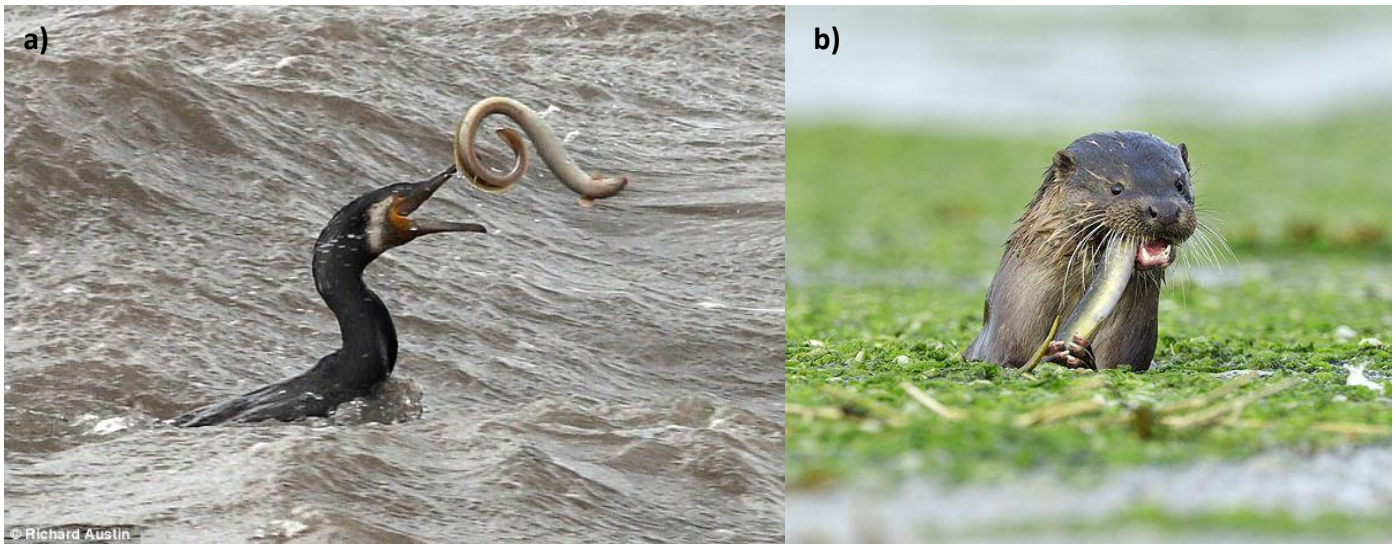


Figure 8. Prédateurs se nourrissant d'anguilles. Le Grand Cormoran (a), la loutre (b). (©R. Austin(a), ©L. Campbell(b))

l'importation d'anguilles japonaises (*Anguilla japonica*) destinées à l'élevage (Bruslé, 1994). Ce nématode provoque des lésions au niveau de la vessie natatoire, pouvant entrainer a terme une réduction des capacités de nage et une augmentation de la consommation d'énergie pour les individus infestés (Palstra et al., 2007), réduisant ainsi la capacité des individus à pouvoir migrer sur le site de reproduction en mer des Sargasses.

6. La prédation

Il est difficile d'évaluer la pression exercée par les prédateurs sur le stock d'anguilles, elle est évaluée à 4-6 kg/ha/an selon Dauster (1987). Les stades précoces sont essentiellement consommés par les poissons marins (Bruslé, 1994). En revanche les anguilles jaunes et argentées sont essentiellement victimes de prédation aviaire (cormorans, hérons, grèbes et mouettes) et dans une moindre mesure par les mammifères (Figure 8), notamment la loutre au niveau du marais poitevin (Bruslé, 1994).

Le bassin Seine -Normandie

I. Description hydrographique du bassin Seine-Normandie

1. Présentation du bassin Seine-Normandie

La bassin Seine-Normandie est constitué de deux grands ensembles, le bassin de la Seine et l'arc normand. D'une superficie de 94 500 km², il regroupe plus de 18 millions d'habitants. Le réseau hydrographique est composé de 55 000 km de linéaire de cours d'eau et 640 km de façade maritime. La majeure partie du réseau converge vers la Seine qui draine un bassin versant d'environ 78 000 km², soit 82.5% du bassin Seine-Normandie. La façade maritime comprend une trentaine d'exutoires principaux, cependant il ne reste qu'une dizaine d'estuaires fonctionnels (baie du Mont Saint-Michel et baie des Veys, l'Orne, l'ensemble Seine-Risle, la Touques, la Dives...) (COGEPOMI; 2011).

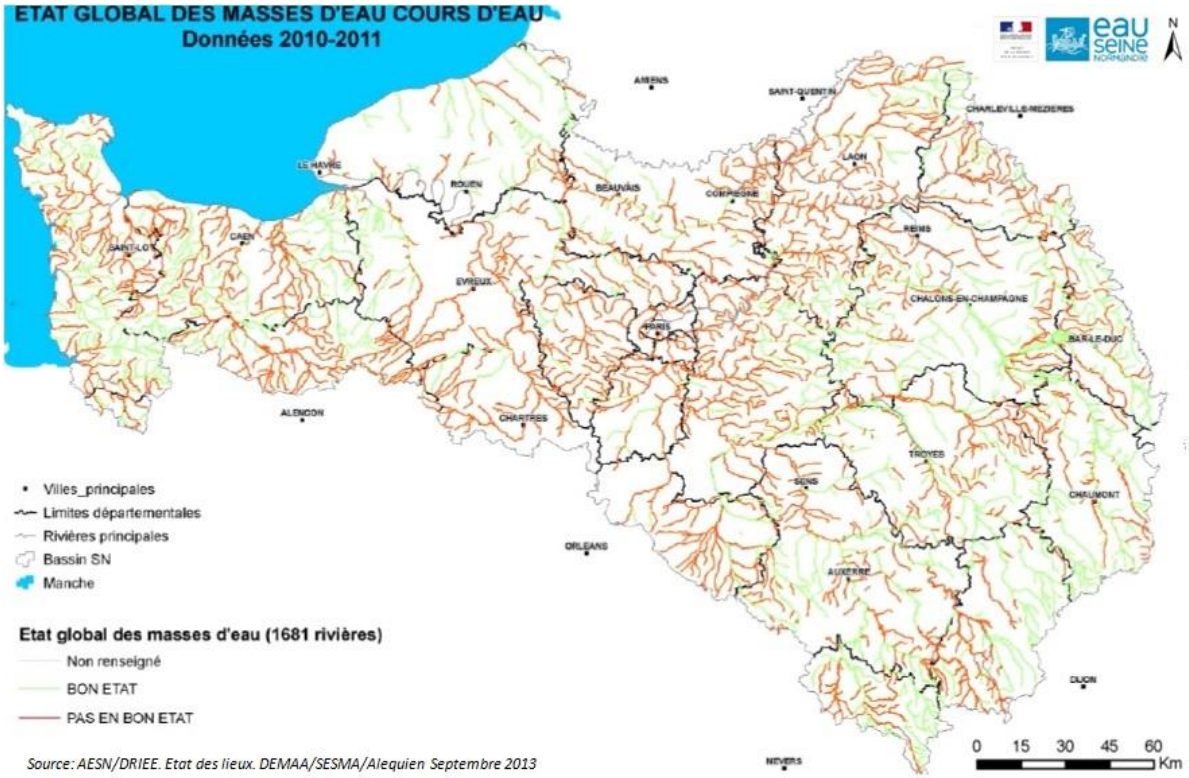


Figure 9. Etat écologique global des cours d'eau (avec polluants spécifiques et hors HAP).

2. Qualité de l'eau du bassin

En réponse à la directive cadre-européenne sur l'eau (DCE), le SDAGE vise comme objectif d'atteindre le bon état écologique pour 2/3 des masses d'eau de surface. Aujourd'hui 38% des masses d'eau sont en bon état ou très bon état écologique (Figure 9). Ce sont essentiellement les cours d'eau situés en tête de bassin et au niveau des fleuves côtiers normands, en revanche les zones les plus impactées sont plutôt situées au centre du bassin. Au niveau des masses d'eau côtières et de transition, 57 % des masses d'eau sont actuellement en très bon état ou bon état écologique.

3. Continuité écologique du bassin

Onze espèces de poissons amphihalins sont originellement présentes dans le bassin Seine-Normandie. Cependant ces espèces ont connu un déclin important lié essentiellement à l'aménagement des cours d'eau. Le bassin Seine-Normandie comporte de très nombreux obstacles à la libre circulation des migrateurs, on estime à 8 000 le nombre d'ouvrages hydrauliques sur le bassin Seine-Normandie, dont une très faible proportion a encore un usage économique aujourd'hui. La majorité des ouvrages ont des hauteurs de chute modestes, cependant la présence de ces ouvrages réduit de manière significative les potentialités d'accueil et de production des espèces amphihalines sur le bassin. De plus, malgré la mise en place de dispositifs de franchissement sur de nombreux ouvrages, la succession des obstacles le long des cours d'eau tend à retarder la montaison des espèces.

II. Les actions de l'unité de gestion anguille Seine-Normandie

1. Encadrement de la pêche professionnelle et repeuplement

La mise en place du plan de gestion anguille a permis un encadrement de la pêche de l'anguille sur l'ensemble de ces stades biologiques. La pêche professionnelle de la civelle est

désormais soumise à des quotas de capture, répartis en deux sous-quotas. Une partie est destinée à la consommation et une partie au repeuplement, de manière à atteindre un objectif de 60 % destiné au repeuplement depuis 2013. Au niveau de l'UGA Seine-Normandie le quota de capture en 2013 et 2014 était respectivement de 1 020 kg et 1 275 kg dont 60% destiné au repeuplement en 2014 (765 kg). La pêche professionnelle et amateur de l'anguille jaune est encadrée par une saison de pêche d'une durée de 5 mois, du 15 février au 15 juillet. Cependant, la pêche de l'anguille sur l'estuaire de la Seine est interdite du fait de la

contamination des anguilles par les PCB. Concernant l'anguille argentée, la pêche professionnelle et amateur est interdite sur le bassin Seine-Normandie dans la zone maritime et fluviale.

Des opérations de repeuplement sont mises en œuvre chaque année depuis 2011 sur chaque U.G.A. La première opération a eu lieu sur le bassin amont de l'Aure en raison de la présence d'habitats très favorables. De plus les populations d'anguilles sur l'Aure sont déficitaires du fait de l'accès limité du bassin. Ainsi, 134 kg correspondant approximativement à 400 000 individus ont été déversés en 2011. Un suivi à 6 mois et 1 an, estime que les individus de l'opération de repeuplement représentent respectivement 34.4% et 36,4% du peuplement en place (Mazel et al; 2011; Mazel et al; 2012). En 2012, l'opération d'alevinage a été réalisée sur le Thar et ses affluents avec 113 kg de civelles déversées (Mazel et al; 2012). En 2013, seulement 53 kg de civelles ont été déversées pour l'opération de repeuplement sur la Calonne en raison d'une capacité d'accueil plus réduite. Pour l'année 2014, l'opération de repeuplement s'est déroulée sur le Cailly où la population d'anguille a été fortement réduite en raison d'une pollution chimique. Ainsi, un peu plus de 120 kg de civelles ont été déversées cette année.

2. Mise en conformité des ouvrages prioritaires

Afin d'assurer la libre circulation des anguilles sur le bassin Seine-Normandie, 420 ouvrages ont été identifiés comme prioritaires pour garantir une perméabilité maximale des obstacles à la montaison et à la dévalaison. Les ouvrages équipés ou arasés en priorité sont ceux :

- en aval desquels il n'y a pas d'ouvrage posant des problèmes à la dévalaison des géniteurs ou à la montaison des juvéniles.

- qui permettent d'obtenir les gains les plus importants en terme de surface en eau, de linéaire de cours d'eau ou de bassin versant accessible.

Les premiers résultats concernant la mortalité liée aux ouvrages présents sur les cours d'eau indiquent que les installations hydroélectriques semblent être les ouvrages les plus pénalisants pour l'augmentation du taux d'échappement des géniteurs. Afin de réduire la

mortalité des anguilles en dévalaison, un programme de recherche et développement au niveau national a été lancé.

3. Programme de monitoring

Le programme de monitoring a pour objectif, d'estimer le stock d'anguilles jaunes en place et suivre son évolution pendant la durée du plan de gestion. Le suivi du stock d'anguilles jaunes s'articule autour de deux axes. Premièrement, un suivi renforcé sur la Bresle (Seine-Maritime, 76) qui est la rivière index du bassin. Deuxièmement, un suivi de plusieurs cours d'eau choisis comme zones d'actions prioritaires. Aujourd'hui, le réseau de surveillance anguille de l'UGA Seine-Normandie compte 179 stations réparties sur 23 cours d'eau. Parmi ces stations, 20 stations sont suivies chaque année sur les quatre cours d'eau de la zone d'action prioritaire 1 (ZAP 1), la Vire et l'Orne sur la région Basse-Normandie et la Risle et l'Andelle sur la région Haute-Normandie. Les stations appartenant à la zone d'action prioritaire 2 (ZAP 2) sont prospectées à deux reprises sur une fréquence de 3 ans jusqu'à la fin du premier plan de gestion en 2015.

- ✓ ZAP 1: Les cours d'eau prioritaires et leurs affluents qui feront l'objet d'une programmation de travaux pendant la durée du premier plan de gestion pour les années 2009 à 2015.
- ✓ ZAP 2: Les cours d'eau prioritaires et leurs affluents sur lesquels l'anguille est fortement présente, ne faisant pas l'objet d'actions programmées, mais sur lesquels des actions devront être menées en fonction des opportunités du premier plan de gestion.

Les premiers résultats du programme de monitoring en 2010 mettent en avant les problèmes de libre circulation des anguilles sur les cours d'eau échantillonnés. Les jeunes individus en migration s'accumulent à l'aval des ouvrages difficilement franchissable, ces obstacles contribuent à limiter par la même occasion l'aire de présence de l'anguille sur l'ensemble du bassin. On estime sur les 6 cours d'eau échantillonnés en 2010, que seulement 50% de la fraction de ces linéaires de cours d'eau sont colonisés activement par l'anguille (individus dont la taille est inférieure à 300mm) (Garot, 2011).

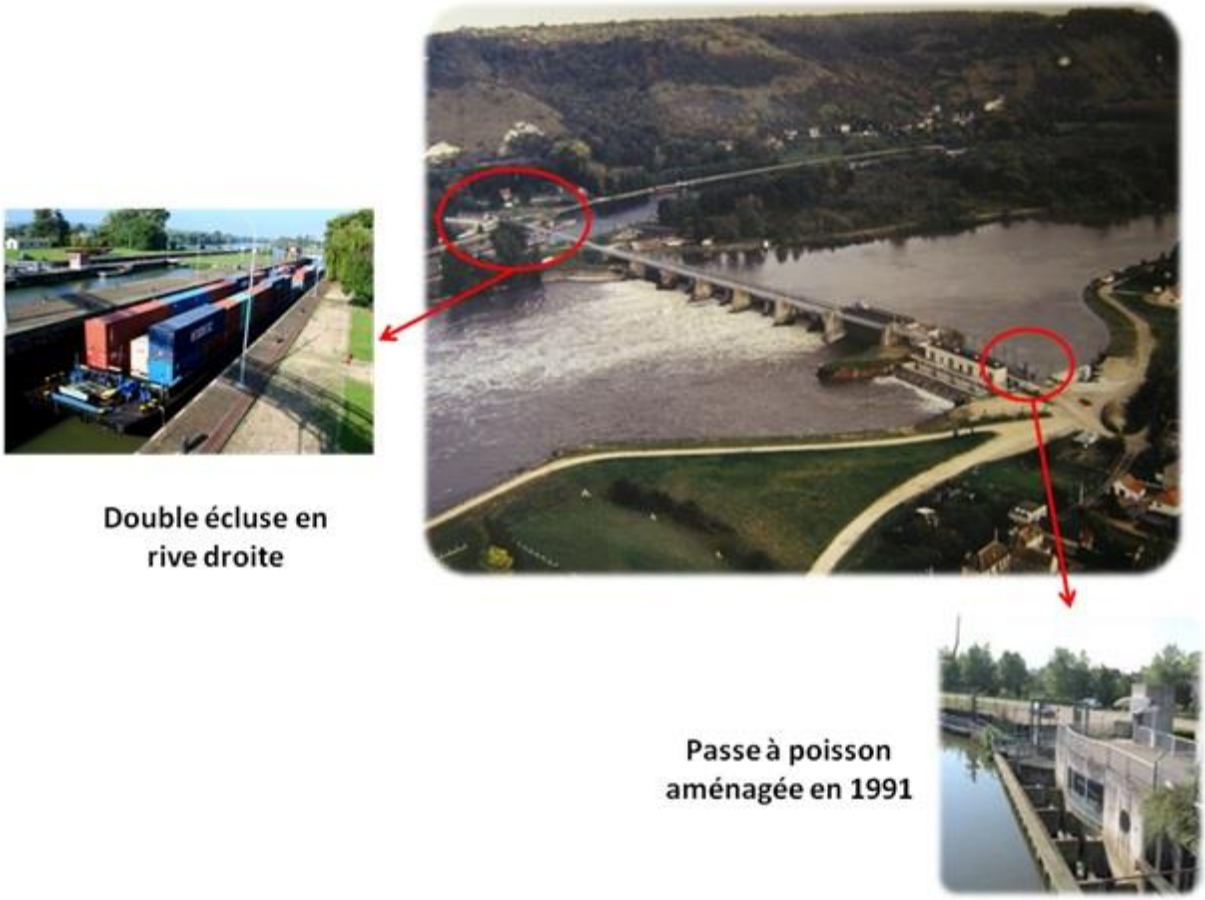


Figure 10. Vue aérienne du site d'étude: le barrage de Poses

Site d'étude : le barrage de Poses

I. Présentation du barrage

Le barrage de Poses a été crée en 1885, il est situé dans le département de l'Eure entre les communes de Poses sur la rive gauche et Amfreville-sous-les-Monts sur la rive droite. Le barrage est situé en fond d'estuaire à 160 km de l'embouchure, le pied de l'ouvrage matérialise la limite de la marée dynamique. Malgré sa localisation éloignée par rapport à l'embouchure, le barrage représente le premier obstacle à la migration des anguilles sur la Seine. Depuis 1991, une usine hydroélectrique (HYDROWATT) s'est implantée au niveau du barrage. La même année mise en conformité de l'usine et création de la passe à poissons et de la chambre d'observation. En rive droite, deux écluses parallèles assurent le passage des bateaux sur la Seine (Figure 10).

II. La passe à poisson et la chambre d'observation

L'installation d'une passe à poisson au niveau du barrage de Poses a été imposée comme mesure d'accompagnement, afin d'améliorer la libre circulation des poissons. C'est une passe à bassins successifs d'une longueur totale de 86 m, elle est constituée de 23 bassins avec un dénivelé de 30 centimètres entre les bassins (Syndicat mixte de la base de plein air et de loisirs de Léry-Poses; s.d). La passe dispose d'une chambre d'observation munie de trois baies vitrées , ainsi qu'un système de vidéo comptage depuis 2007 (Annexe 1). Les objectifs de l'installation de se système sont multiples. Tout d'abord un aspect pédagogique et récréatif avec l'accueil du grand public, mais aussi un aspect scientifique afin de renforcer les connaissances sur les communautés piscicoles de la Seine. Le barrage de Poses fait partie des ouvrages prioritaires a aménager, notamment pour la dévalaison des géniteurs dans le cadre du plan de gestion anguille. Afin d'assurer la mise en conformité de l'ouvrage, une passe piège à anguille a été construite en 2013 par le bureau d'études FishPass. L'installation de ce dispositif à un double objectif. Premièrement, assurer la franchissabilité de l'ouvrage par les anguilles en montaison. Deuxièmement, fournir des données qualitatives et quantitatives sur la migration de l'espèce afin d'estimer le recrutement fluvial de l'anguille sur la Seine.

III. Synthèse hydrologique

Le module de la Seine à la station de Poses est égale à 574 m^3/s. Les débits minimaux sont généralement observés entre août et octobre et les débits maximaux entre janvier et mars. L'année 2014 offre des mois de janvier, février et mars avec un débit supérieur aux normales saisonnières. A l'inverse, les débits des mois d'avril, mai, et juin sont inférieurs aux normales (Figure 11). Du fait de l'aménagement de la Seine en voie navigable, le débit de la Seine constitue un paramètre non limitant pour la migration des poissons, notamment en période estivale.

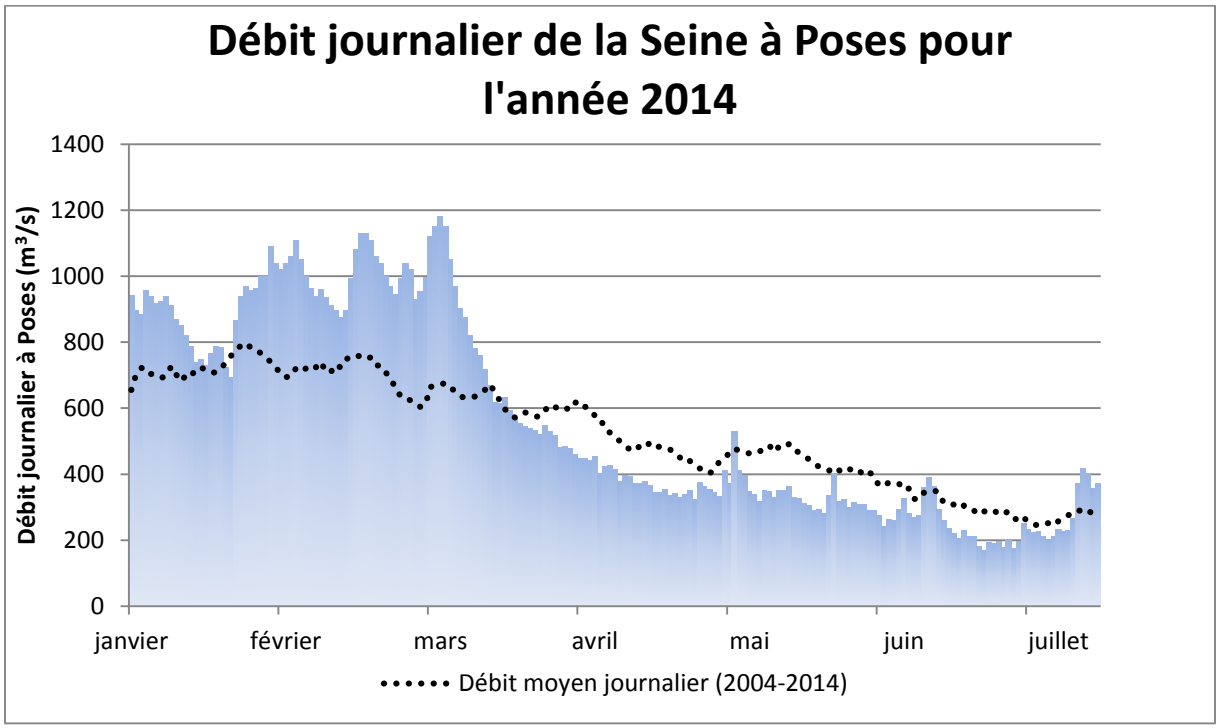


Figure 11. Débit journalier de la Seine à Poses pour l'année 2014

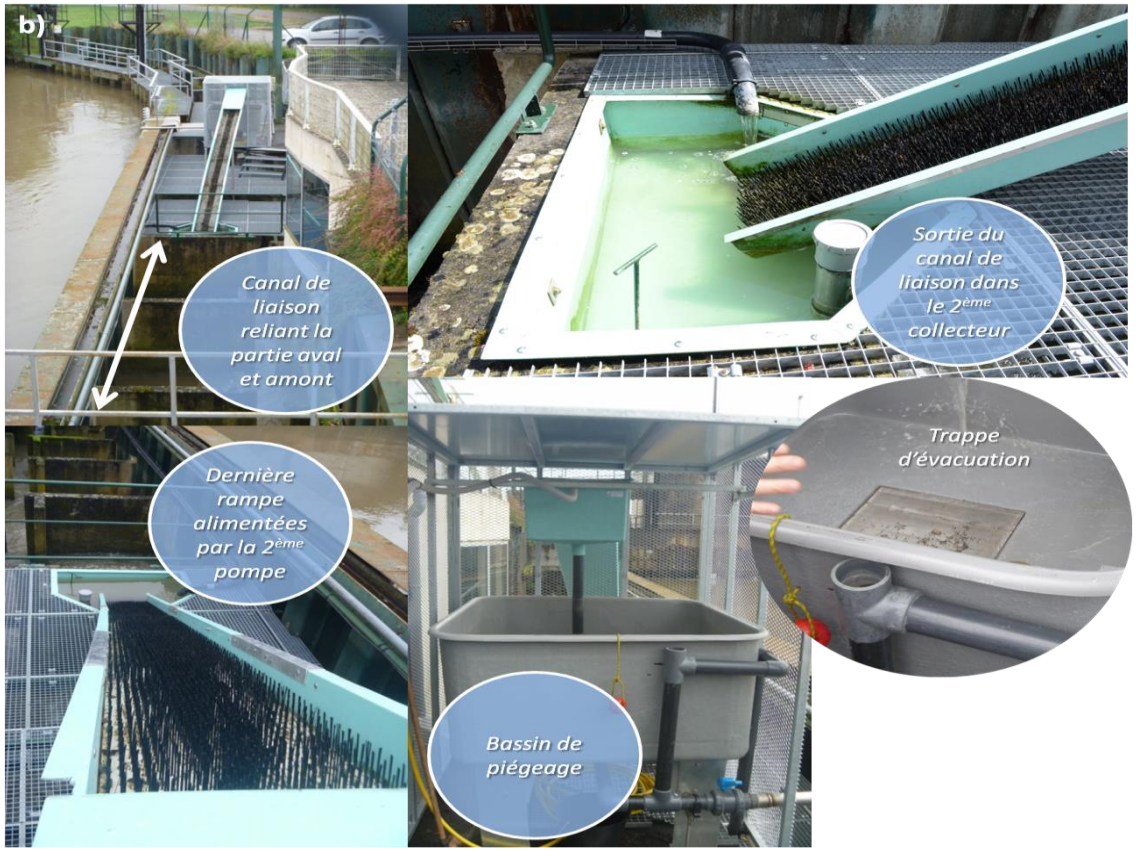


Figure 12. Photographies du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine à Poses. Système aval (a), système amont (b). (© Geoffroy Garot-SEINORMIGR)

Matériels et méthodes

I. Dispositif de franchissement et de piégeage

La dispositif est implanté sur la rive gauche du barrage et se découpe en trois parties (plan détaillé Annexe 2), le système aval (Figure 12a), la canalisation de liaison et le système amont (Figure 12b).

Le système aval est constitué de trois rampes inclinées à 45° recouvertes d'un substrat de type mixte, permettant le passage d'une large distribution de taille des anguilles. L'espacement resserré entre les brosses au centre favorise le passage des petits individus, alors que les bords présentent un espacement plus grand favorisant le passage des plus gros individus (Fish-Pass; 2013). La rampe n°1, la plus en aval est située à la cote de 1.40 m ngf (Nivellement général de la France), qui permet une immersion constante de la rampe même lors des marées d'équinoxe. Une gouttière de débit d'attrait est placée au-dessus de la rampe pour orienter les anguilles vers la rampe. Les rampes 1, 2 et 2, 3 sont séparées par un bassin de repos pour permettre à l'anguille de récupérer. Au sommet de la troisième rampe, les anguilles arrivent au niveau d'un bassin de capture et d'irrigation qui assure la répartition des eaux et l'entraînement des anguilles vers le canal de liaison. Une pompe immergée située dans la passe à poisson assure l'alimentation en eau de l'ensemble du système aval.

Un canal de liaison assure le passage des anguilles entre le système aval et amont. D'une longueur de 56 m et pente négative (2cm/m), il débouche au niveau d'un bac collecteur intermédiaire.

Le système amont est constitué d'une seule rampe à 35° recouverte d'un substrat de type mixte. Au sommet de cette rampe, un bassin de capture et d'irrigation assure la répartition des eaux et la capture des anguilles. Les anguilles tombent ensuite dans le vivier pour être stockées (opération de suivi) ou bien sont orientées dans une canalisation sous le vivier, qui débouche en amont du barrage (sans suivi). Une pompe immergée située dans l'ancien bassin de piégeage alimente le vivier et la rampe de montaison.

II. Fréquence de suivi du piège et entretien

L'année 2014 constitue la première année de suivi de la passe à anguille sur le barrage de Poses, par conséquent peu de données sont disponibles sur la montaison des anguilles à Poses. L'analyse des enregistrements de vidéo-comptage 2012 par l'association SEINORMIGR montrent que les premières anguilles en migration active sont observées à partir de la deuxième semaine du mois d'avril. Cependant les vitesses d'écoulement élevées au niveau de la chambre d'observation empêchent la visualisation des individus de l'année. Par conséquent le suivi de l'activité de montaison a démarré le 01 avril 2014, en effet sous nos latitudes l'apparition des civelles en estuaire coïncide avec la période des grandes marées d'avril.

Ne disposant que de très peu de données sur la montaison des anguilles sur la Seine, le piège sera relevé tous les jours. Afin de simplifier la récupération des anguilles dans le vivier, un filet sera suspendu sous la canalisation du bassin de capture amont.

Un entretien et une vérification du dispositif de piégeage est effectué à chaque relevé afin d'assurer le bon fonctionnement du système.

- L'alimentation en eau des rampes aval et amont
- Le bassin de capture et d'irrigation situé à l'amont de la rampe n°3
- L'arrivée d'eau au niveau du canal de liaison
- L'évacuation du bac collecteur intermédiaire à l'aval de la rampe n°4
- L'évacuation de l'eau du vivier par débordement et par la trappe de vidange
- Le bon fonctionnement de l'armoire électrique

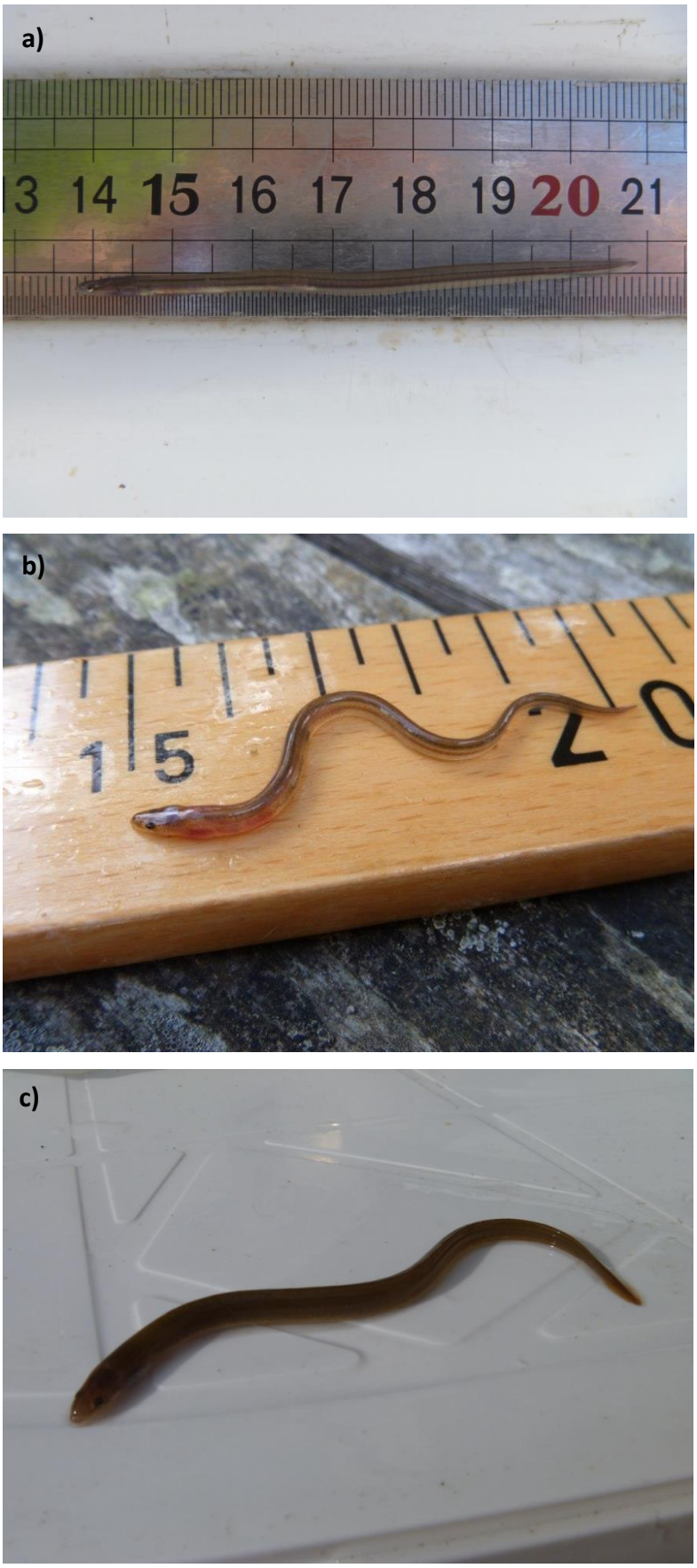


Figure 13. Individus récupérés à l'aide des tamis de 3mm et 6mm. Civelles stade VIB (a), anguillettes pigmentées (b), anguillettes > 100mm (c). (© Geoffroy Garot-SEINORMIGR)

III. Biométrie

Lors de chaque relevé, les individus capturés dans le dispositif de piégeage sont séparés en trois groupes (Figure 13) à l'aide de deux tamis (maille de 3 et 6mm).

- Individus de l'année < 100mm

  - Civelles stade VIB (Dernier stade pigmentaire)
  - Anguillettes pigmentées (jaune)

- Anguillettes 100 << 150 mm

  - Individus âgés d'1 été dans la 2ème année de vie continentale

- Anguillettes > 150mm

  - Individus âgés de 2 étés au moins

Pour chaque groupe, une pesée du poids total des individus capturés est effectuée à chaque relevé. Concernant la biométrie, suivant le nombre d'individus capturés, deux scénarios sont envisagés.

N < 50 individus/groupe:

La biométrie est effectuée sur l'ensemble des individus du groupe. La longueur totale de chaque individu est mesurée à l'aide d'un itchtyomètre (précision à 1mm) et le poids individuel est relevé à l'aide d'une balance de précision (précision à 0.1g) après anesthésie dans une solution d'eugénol.

N > 50 individus/groupe:

La biométrie est effectuée sur un lot de 50 individus échantillonnés au hasard. Les individus restant dans chaque groupe sont ensuite dénombrés avant d'être relâcher dans le vivier.

IV. Paramètres environnementaux

Les facteurs environnementaux jouent un rôle majeur sur la montaison des anguilles dans les estuaires. A chaque relevé, plusieurs paramètres du milieu sont enregistrés afin d'évaluer l'effet de ces facteurs sur la migration des anguilles.

Le paramètre température est suivi par l'intermédiaire de deux sondes thermiques enregistreuses, la première située dans l'ancien bassin de piégeage à côté de la pompe amont et la seconde dans le bac collecteur intermédiaire. De plus, lors de chaque intervention, la température de l'air, du vivier, du bac collecteur intermédiaire et de la Seine sont mesurées par l'opérateur via un thermomètre Hanna Checktemp 1.

La teneur en oxygène et le pourcentage de saturation en oxygène sont mesurés une fois par semaine au niveau du vivier, du bac collecteur intermédiaire et de la Seine via un oxymètre Handy Polaris.

A chaque relevé, les données concernant les hauteurs d'eau au niveau du barrage de Poses sont récupérées via le système d'information sur le risque de crues (Vigicrues, www.vigicrues.gouv.fr). De même, les coefficients des marées sont récupérés chaque jours via METEO CONSULT (marine.meteoconsult.fr).

V. Analyses statistiques

1. Test de comparaison

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé pour l'ensemble des tests de comparaisons multiples. En effet les données correspondant aux effectifs capturés ne répondent pas aux conditions d'applications des tests paramétriques, à savoir la normalité des données (testé par un test de Shapiro-Wick) et homogénéité des variances (testé par un test de Bartlett). Au sein des individus de l'année, le test non-paramétrique de Wilcoxon Mann Whitney a été utilisé pour comparer la taille des civelles (stade VIB) et des anguillettes pigmentées (jaune)

2. Analyse de corrélation

Afin de mettre en évidence l'effet des facteurs environnementaux sur l'activité de migration des anguillettes et des individus de l'année, le test du coefficient de Spearman a été utilisé. Le premier test de corrélation a été réalisé entre les effectifs d'anguilles capturées et la température de la Seine afin d'évaluer l'effet de la température. Le second entre les effectifs d'anguilles capturées et la hauteur d'eau au niveau du barrage de Poses pour tester l'influence de la marée.

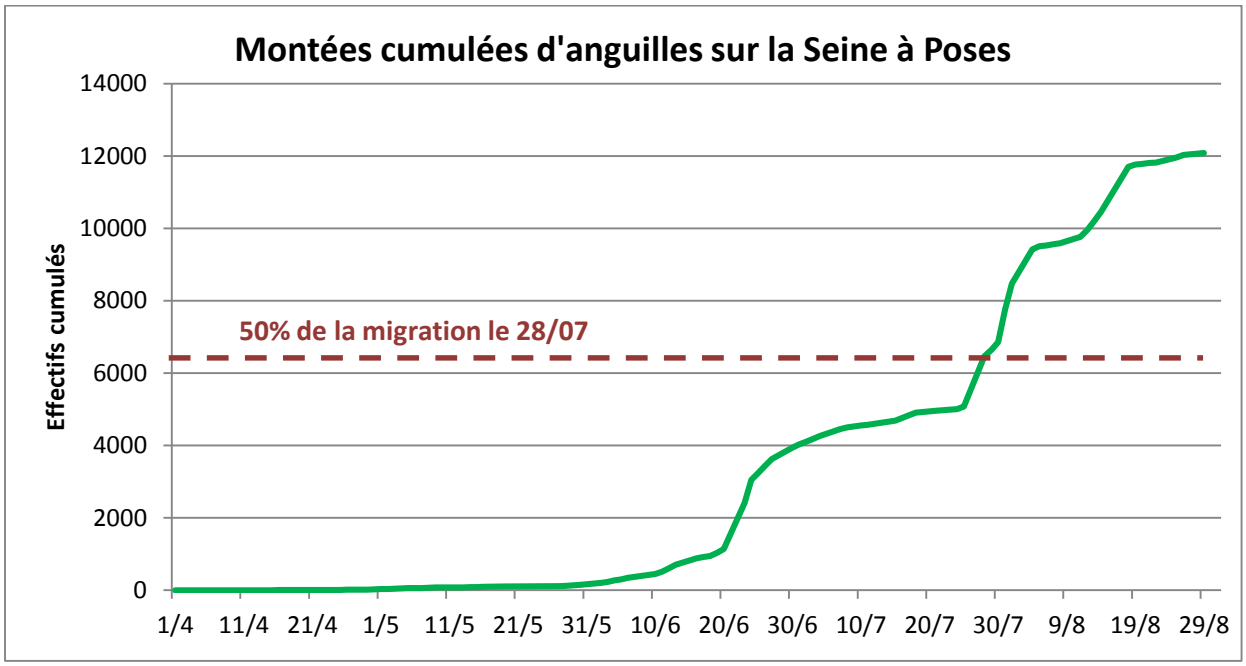


Figure 14. Montées cumulées d'anguilles sur la rampe de montaison du barrage de Poses.

Résultats

I. Fonctionnement du dispositif de piégeage

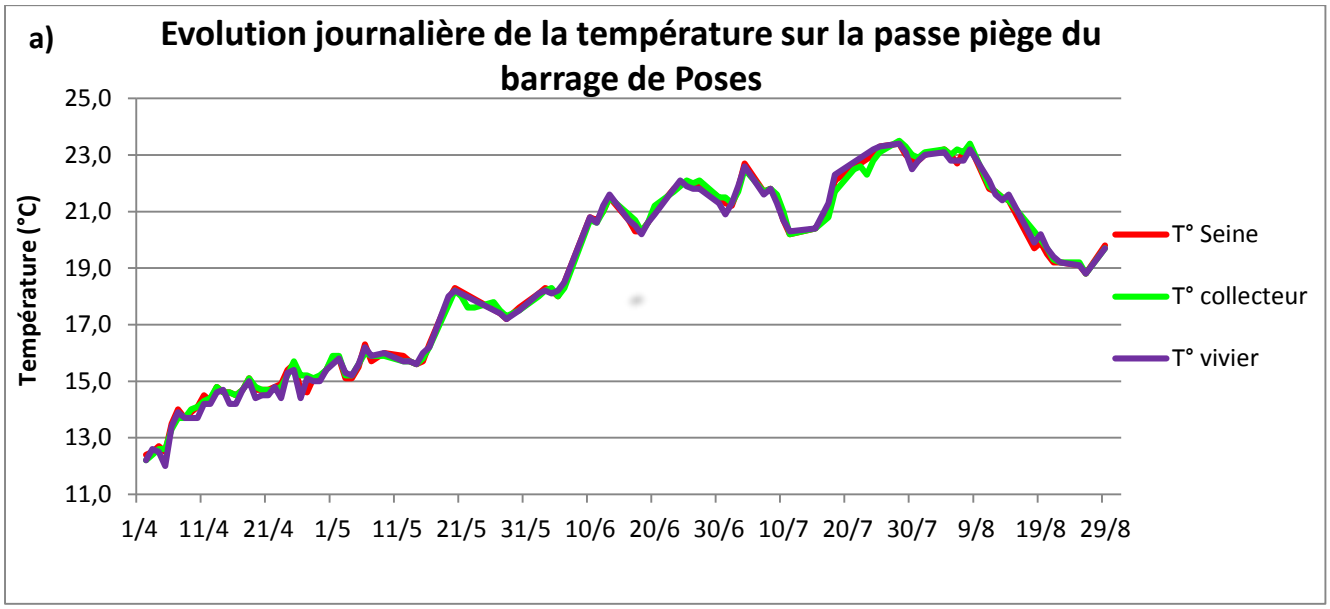
1. Période et fréquence de suivi

Pour l'année 2014, correspondant à la première année de suivi, la passe-piège à anguilles a été suivi du 1 avril 2014 au 26 septembre 2014 . Durant le premier mois du suivi et jusqu'au 4 mai 2014 la passe a été relevée tous les jours. Cependant, au vue des effectifs capturés, le piège à anguilles a ensuite été relevé quotidiennement hors week-end et jours fériés à partir du 5 mai 2014 et jusqu'à la fin du suivi. Les résultats présentés ci-dessous ne tiennent compte que des cinq premiers mois du suivi. Au cours de cette période 12082 anguilles ont été capturées (Figure 14), dont 3769 individus de l'année 2014.

Sur l'ensemble du suivi, la passe-piège a été fonctionnelle 160 jours sur 179. Sur les 19 jours de dysfonctionnement (Tableau), on notera trois arrêts supérieurs à une journée. On notera deux arrêts prolongés, premièrement du 19 mai au 26 mai 2014 suite à un défaut de la pompe aval, laquelle a été remplacée par une pompe neuve. Deuxièmement du 19 juillet au 23 juillet 2014 suite à un dysfonctionnement de l'alimentation au niveau de la centrale hydroélectrique à cause de la foudre.

Date	Cause
08/04/2014	Réglages
12/04/2014	Réglages
21/04/2014	Réglages
19/05/2014 au 26/05/2014	Pompe aval HS
09/06/2014	Alimentation éléctrique
21/06/2014 au 22/06/2014	Maintenance
19/07/2014 au 23/07/2014	Alimentation éléctrique

Tableau 1. Dysfonctionnements de la passe piège sur les 6 mois de suivi



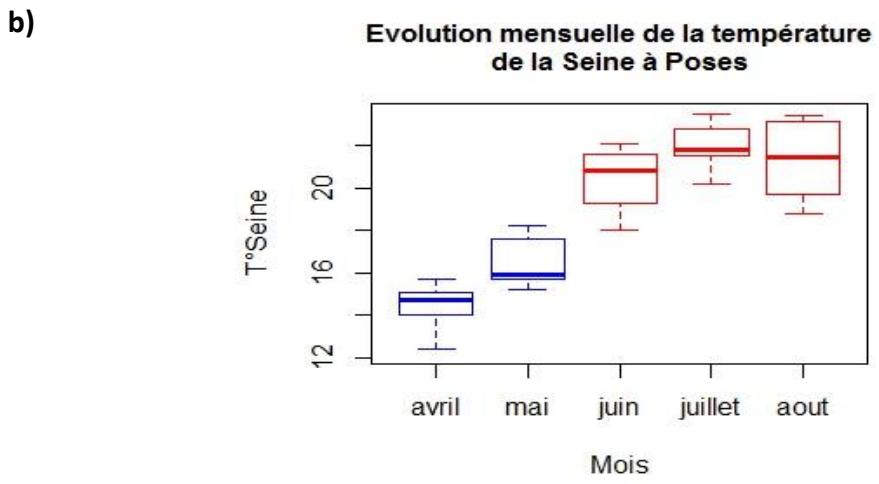


Figure 15. Boxplot représentant l'évolution journalière de la température de l'eau sur la Seine, le vivier et le bac collecteur (a), évolution mensuelle de la température de la Seine (b).

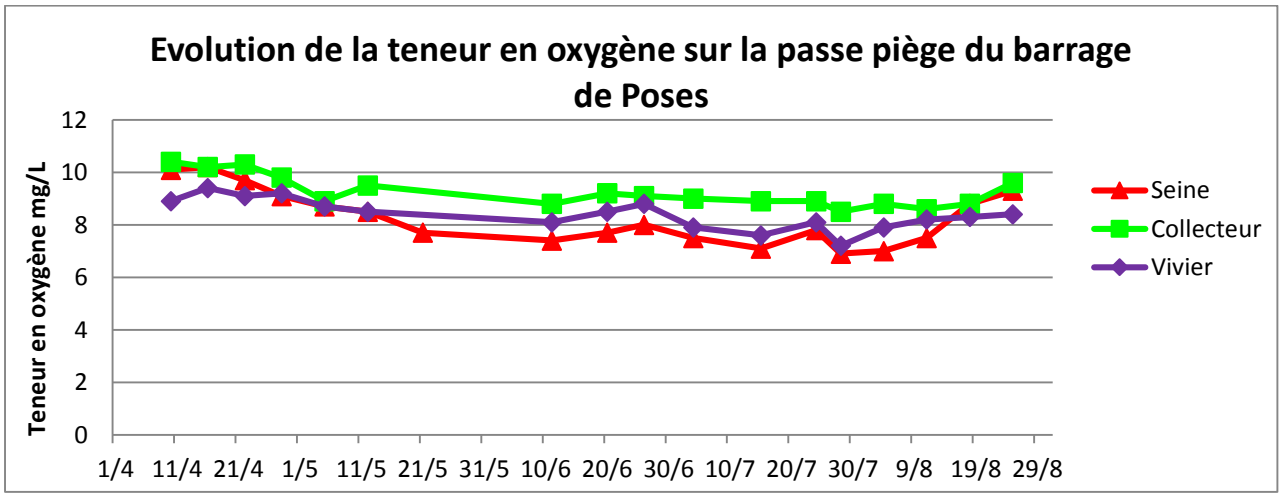


Figure 16. Evolution de la teneur en oxygène sur la Seine, le vivier et le bac collecteur.

2. Evolution des paramètres environnementaux

✓ Température

Au niveau de la température, on observe une augmentation progressive de la température de la Seine au cours des mois (Kruslal-Wallis, p-value < 0.001) (Figure 15). La température est la plus fraîche au mois d'avril (14.4°C), puis augmente progressivement jusqu'au début du mois d'août. En revanche on observe à partir du 10 août une chute rapide de la température de l'eau jusqu'à la fin du suivi. On peut toutefois noter qu'il n'existe pas de différence statistique entre la température dès le mois de juin, juillet et aout (Annexe 3).

Au niveau du dispositif de montaison des anguilles, on peut noter qu'il n'existe pas de différence entre la température de la Seine, du vivier et du bac collecteur (Kruskal-Wallis, p-value = 0.902).

✓ Oxygène

On observe une diminution de la teneur en oxygène au cours du suivi, en effet il existe une relation inverse entre la température et la teneur en oxygène (Figure 16). Cependant les teneurs en oxygène relevées sur la Seine, le vivier et le bac collecteur sont nettement supérieures à la teneur minimale en oxygène dissous nécessaire pour la survie de l'anguille (2-3 mg/L pour les civelles et 0.5mg/L pour les adultes). Si on s'intéresse au fonctionnement du dispositif de piégeage, on peut noter qu'il existe une différence significative de la teneur en oxygène au sein de la passe piège (Kruskal-Wallis, p-value = 0.001). En effet, la teneur en oxygène dans le bac collecteur est supérieure à la teneur en oxygène dans le vivier et la Seine, en revanche aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre la Seine et le vivier (Annexe 3).

II. Suivi de la migration des anguilles

Au cours de l'année 2014, les premières anguilles ont été capturées le 9 avril (2 anguillettes capturées) (Figure 17). Les niveaux de captures sont restés faibles durant les deux premiers mois du suivi avec des captures d'anguillettes exclusivement (individus d'1 été au moins). A partir du mois de juin, on observe l'apparition des premiers individus de l'année (individus de moins d'1 été). La migration s'effectue par vagues, la première à la fin du mois de juin avec principalement des captures d'anguillettes (94% des captures totales), on peut noter que ce premier pic de migration fait suite à une arrêt de turbinage durant le week-end. Ensuite, deux vagues successives à la fin du mois de juillet et à la mi-août contenant une proportion plus importante des individus âgés de moins d'1été (> 50% des captures totales). A noter que le pic de migration observé fin juillet fait suite à un arrêt de l'alimentation électrique de la centrale (voir Tableau 1). On constate par la suite une diminution des captures journalières associées à a chute de température observée à la fin du mois d'août. Les niveaux de captures élevés sont majoritairement observés le lundi du fait de l'accumulation des individus capturés le week-end. Néanmoins, on conserve une dynamique de migration similaire en répartissant les captures du lundi sur le week-end (Annexe 4).

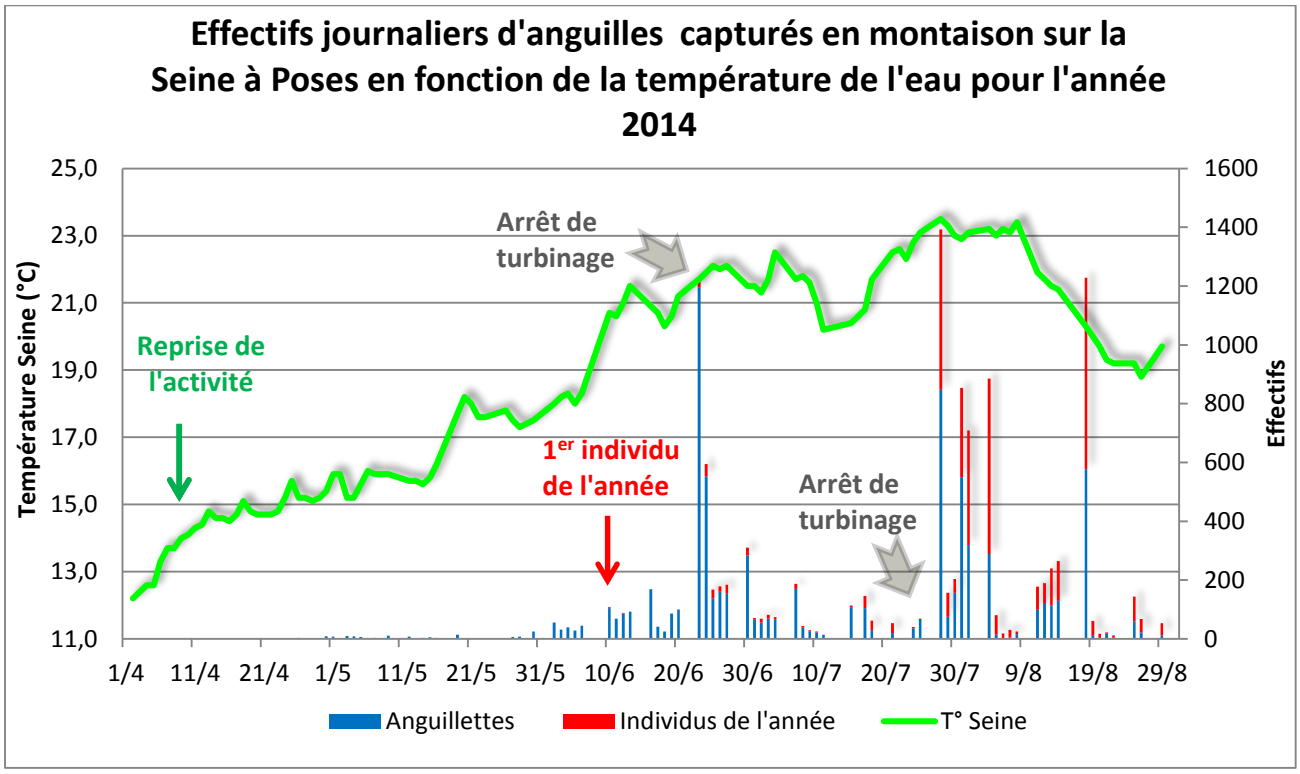
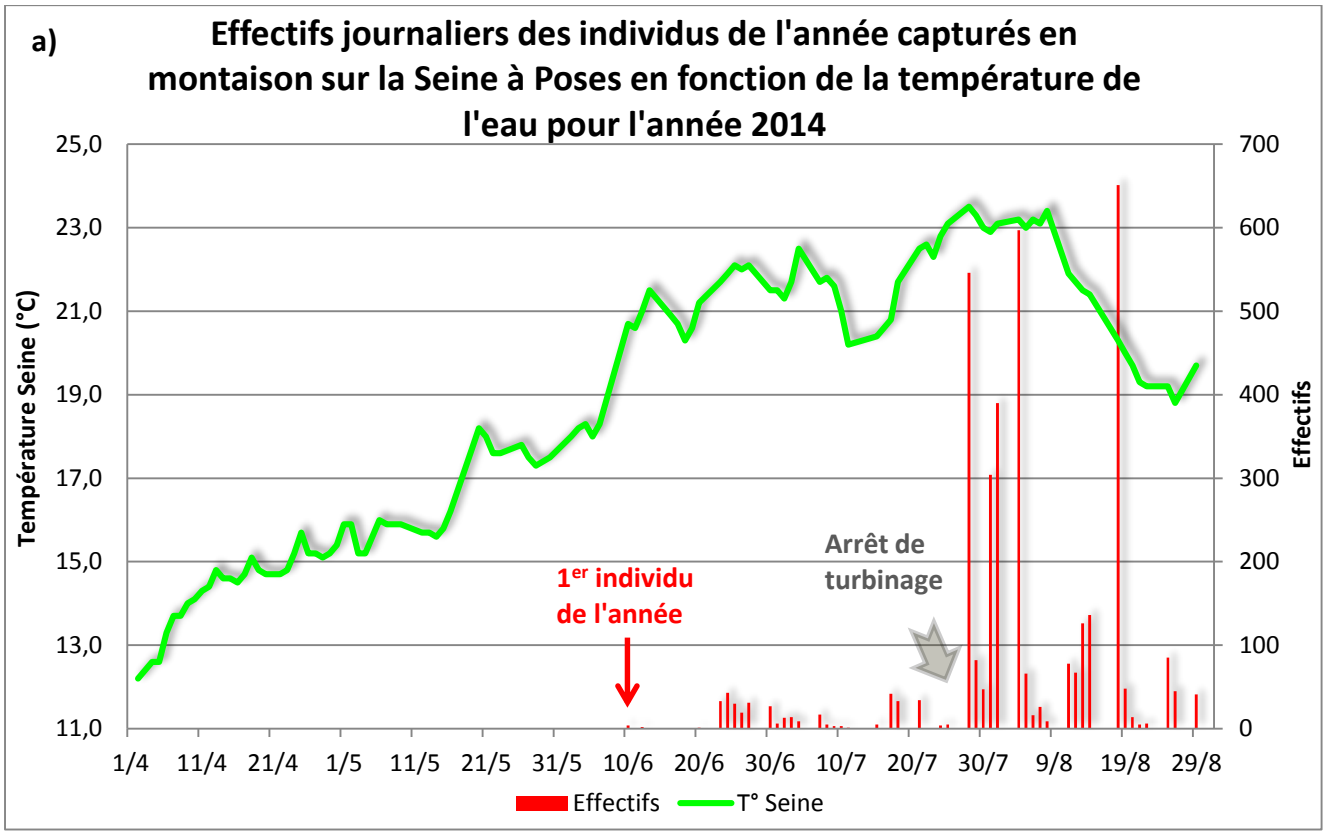


Figure 17. Effectifs journaliers d'anguilles capturés en montaison sur la Seine à Poses en fonction de la température de l'eau pour l'année 2014



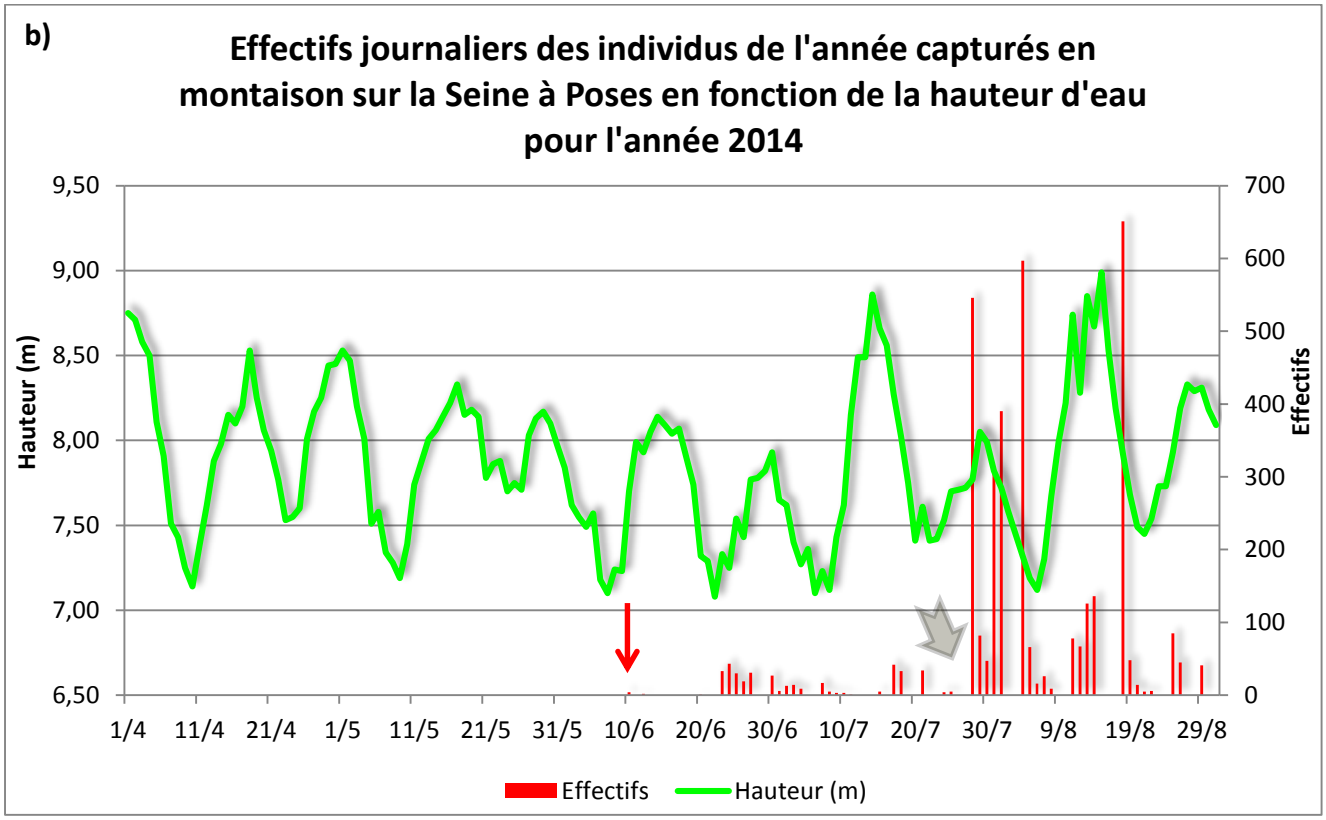


Figure 18. Effectifs journaliers des individus de l'année capturés en montaison sur la Seine à Poses pour l'année 2014 en fonction de la température (a), de la hauteur d'eau (b).

1. Suivi de la migration des individus de l'année: individus <100 mm âgés de moins d'1 été

a. Déroulement de la migration

Les premiers individus de l'année ont été capturés au début du mois de juin (4 civelles capturées le 10 juin 2014) (Figure 18). Les captures sont restées très faibles jusque la fin du mois de juillet (0 à 43 individus par relevé). Néanmoins, on peut noter une légère augmentation des effectifs capturés à partir du 23 juin, qui correspond au pic de migration des anguillettes. En revanche, on observe à partir du 28 juillet jusqu'au 4 août des arrivées plus importante avec un pic le 4 aout 2014 (597 individus capturés, soit 63% des captures totales). A noter que le pic de migration observé le 28 juillet quelque jours après un arrêt du turbinage suite à un problème d'alimentation électrique de la centrale. Comme pour les anguillettes, on remarque les jours suivants ce pic d'abondance une diminution importante des effectifs capturés, en effet seulement 66 individus capturés le lendemain. On observe un second pic dans la migration des individus de l'année le 18 août 2014 avec 651 individus capturés. Par la suite, les effectifs relevés sont restés faibles jusqu'à la fin du suivi. Les niveaux de captures élevés sont majoritairement observés le lundi du fait de l'accumulation des individus capturés le week-end. Néanmoins, on conserve une dynamique de migration similaire en répartissant les captures du lundi sur le week-end (Annexe 5).

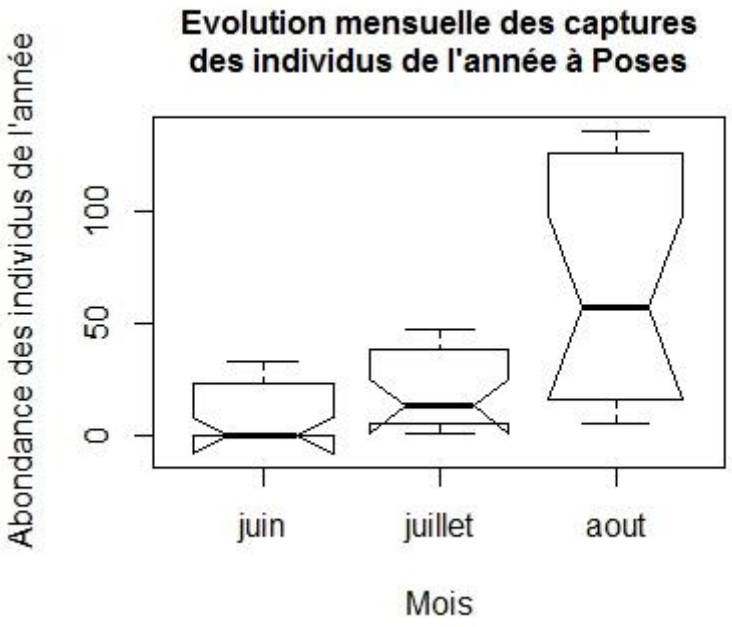


Figure 19. Boxplot représentant l'évolution mensuelle des captures des individus de l'année à Poses.

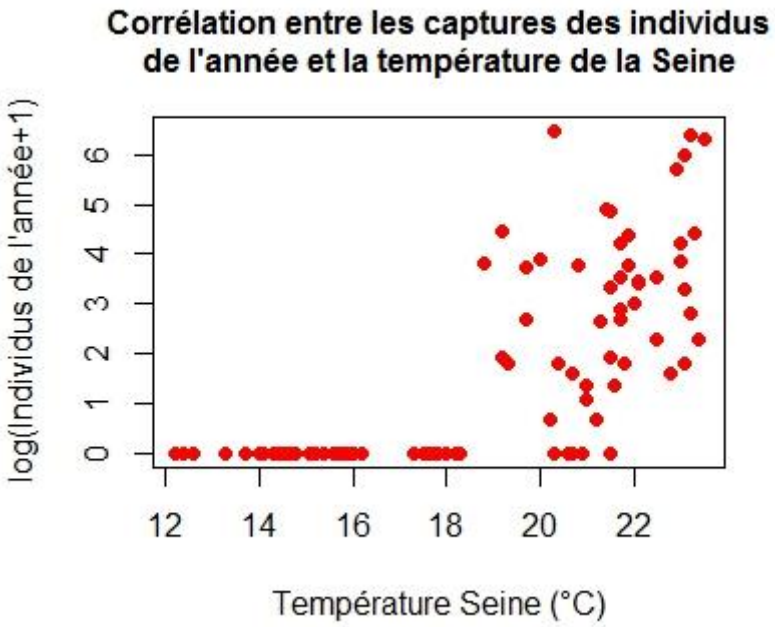


Figure 20. Relation entre les captures des individus de l'année et la température de la Seine.

Si on s'intéresse au niveau de capture mensuel (Figure 19), on peut noter qu'il existe une différence significative entre les effectifs capturées par mois (Kruskal-Wallis, p-value < 0.001). D'après le test de comparaison multiple (Annexe 6), on remarque qu'il existe une différence statistique entre les effectifs capturés au mois de juin et ceux du mois de août (p-value <0.001), en revanche aucune différence n'a pu être établie avec le mois de juillet.

b. Influence des facteurs environnementaux

✓ Facteurs physico-chimiques

Les premiers individus de l'année 2014 ont été capturés lorsque la température de l'eau était égale à 20.7°C. Cependant très peu d'individus de l'année ont été capturés jusqu'à la fin du mois de juillet lorsque la température était inférieure à 23°C. Les pics de captures à la fin du mois de juillet et au début du mois d'août ont eu lieu lorsque la température était la plus chaude (> 23°C). Une corrélation significative a été trouvée entre les captures d'individus de l'année et la température (Rs=0.798; p-value <0.001) (Figure 20).

✓ Facteurs hydrodynamiques

On sait que les facteurs hydrodynamiques jouent un rôle important dans le processus de migration des anguilles, notamment chez les jeunes individus. En effet, les marées de vives eaux, durant plus longtemps, transportant plus d'eau à des vitesses plus importantes que les marées de mortes eaux, constituent de meilleurs vecteurs de transport pour les jeunes anguilles. Cependant aucune corrélation significative n'a pu mettre en évidence entre les captures des individus de l'année et la hauteur d'eau au niveau du barrage de Poses (Rs = -0.129; p-value = 0.189).

c. Caractéristiques de la population

Au cours de chaque relevé de piège, les individus de l'année ont été mesurés, pesés et discriminer selon deux stades. Le stade civelle VIB correspondant au dernier stade pigmentaire et le stade anguillette pigmentée correspondant à des individus issus du recrutement annuel ayant achevés leur pigmentation. Ainsi pour l'année 2014 les mesures de biométrie ont été réalisées sur 1167 individus de l'année.

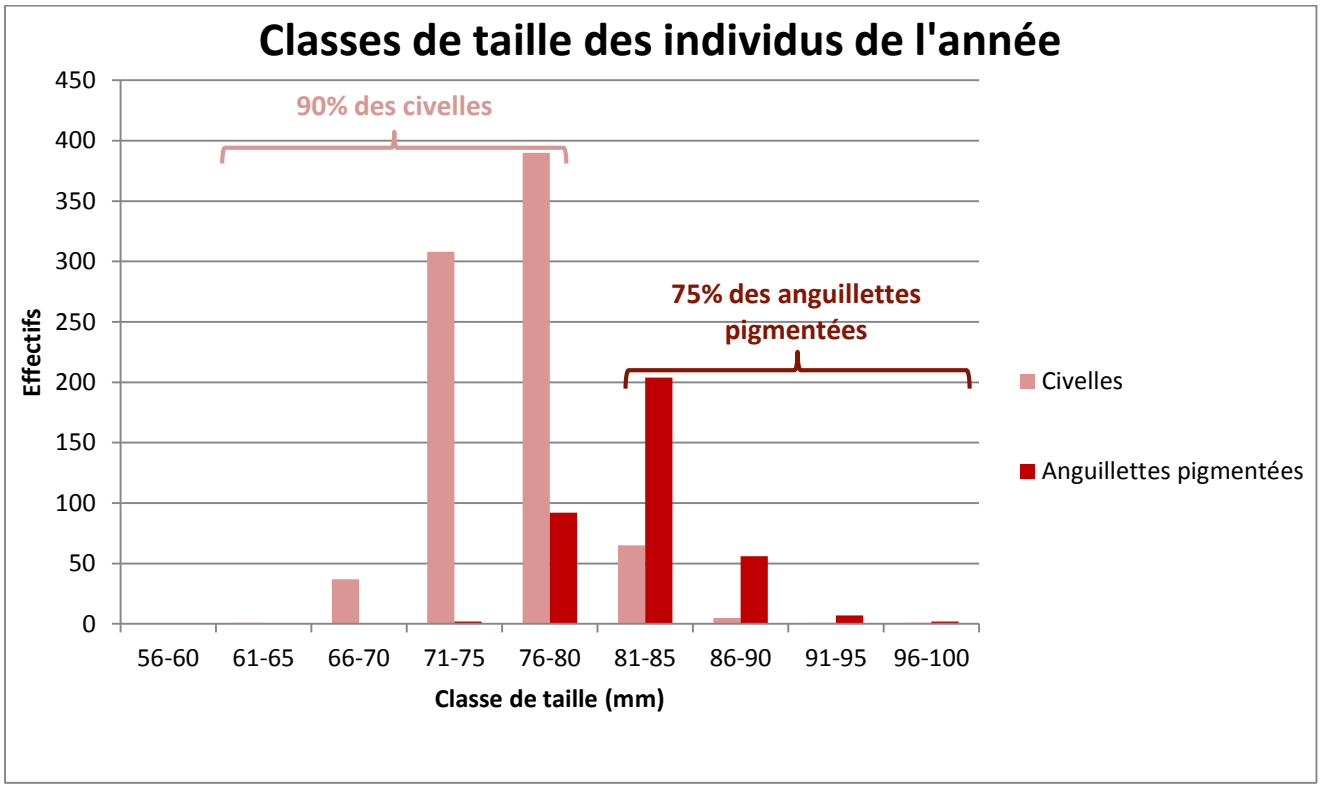


Figure 21. Structure en classes de taille des individus de l'année.

✓ Classes de taille des individus de l'année

On peut noter que toutes les individus de l'année capturés en 2014 sont inférieurs à 100 mm. La taille de l'ensemble des individus capturés est comprise entre 65 et 99 mm avec une classe modale 76-80 mm (41% des captures) (Figure 21). Les stades les plus jeunes (<65mm) sont absents, de même les civelles inférieures à 70 mm sont peu représentées. On peut facilement séparer les civelles et les anguillettes pigmentées âgées de moins d'1 été en fonction de la taille, statistiquement il existe une différence significative entre la taille des civelles et des anguillettes pigmentées (Wilcoxon Mann Whitney, p-value <0.001). La majorité des civelles sont représentées par les individus inférieurs à 80 mm (90% des civelles) à l'inverse les anguillettes pigmentées de l'année sont essentiellement représentés par les individus supérieurs à 80 mm (75% des anguillettes pigmentées).

On observe au cours du suivi, une évolution du stade pigmentaire des individus de l'année. En effet, la part des anguillettes pigmentées tend à augmenter au cours des mois de juin, juillet et août, à l'inverse la part des civelles tend à diminuer au cours du suivi (Figure 22). Néanmoins, la proportion de civelles capturée reste toujours supérieure à celle des anguillettes pigmentées

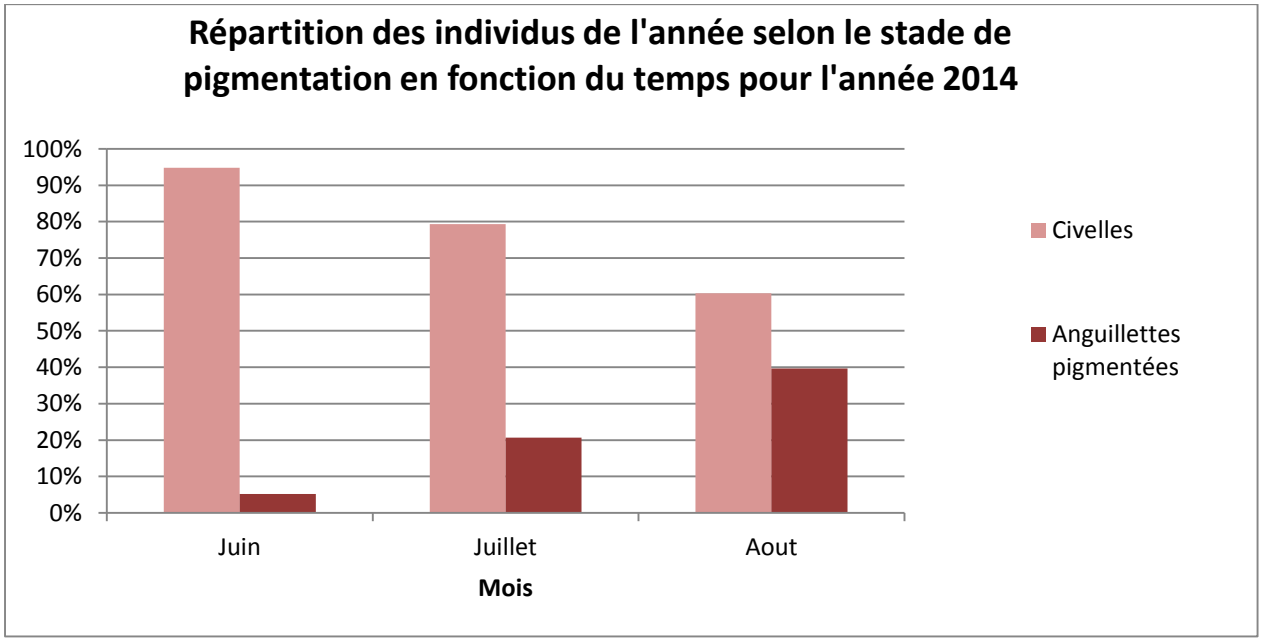


Figure 22. Répartition des individus de l'année selon le stade de pigmentation en fonction du temps pour l'année 2014.

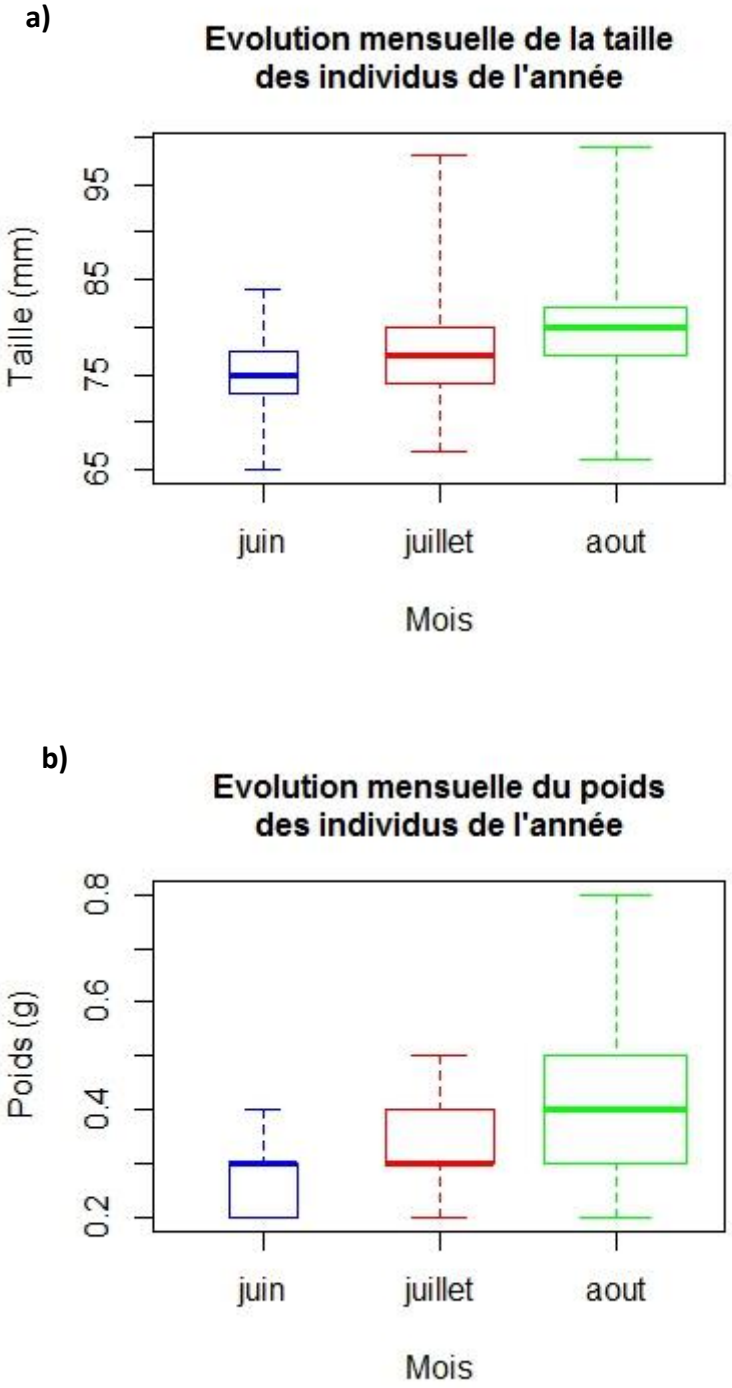
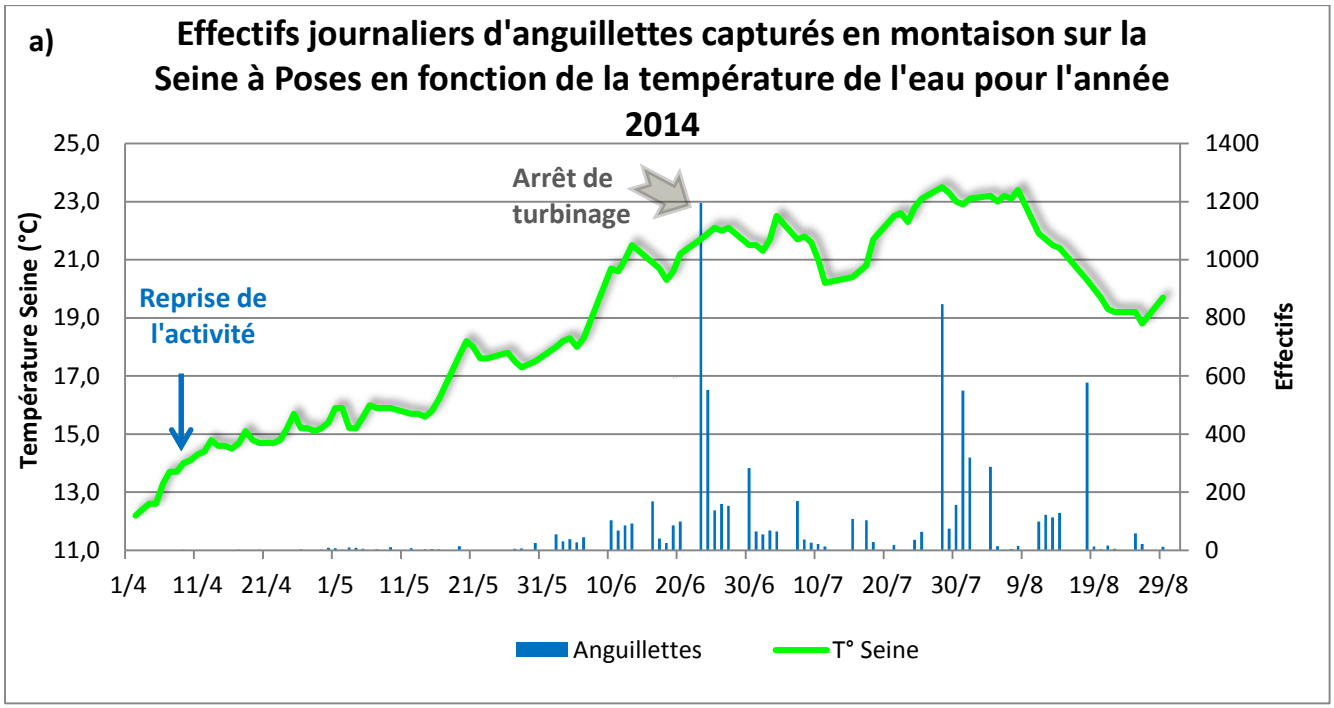


Figure 23. Boxplot représentant l'évolution mensuelle de la taille des individus de l'année (a), du poids des individus de l'année (b).

- ✓ Tailles et poids moyens des individus de l'année

Après l'apparition des premiers individus au mois de juin, on observe une augmentation de la taille moyenne des anguilles de l'année capturées au cours des mois de juillet et aout (Kruskal-Wallis, p-value < 0.001) (Figure 23). En effet d'après le test de comparaison multiple (Annexe 6), il existe une différence significative de la taille des individus issus du recrutement de l'année 2014 entre les mois de juin, juillet et août.

Au niveau du poids moyen, on observe une tendance similaire avec un augmentation du poids au cours des mois (Krukal-Wallis, p-value < 0.001) (Figure 23). D'après le test de comparaison multiple (Annexe 6), il existe une différence significative entre le poids des individus du mois de juin, juillet et août.



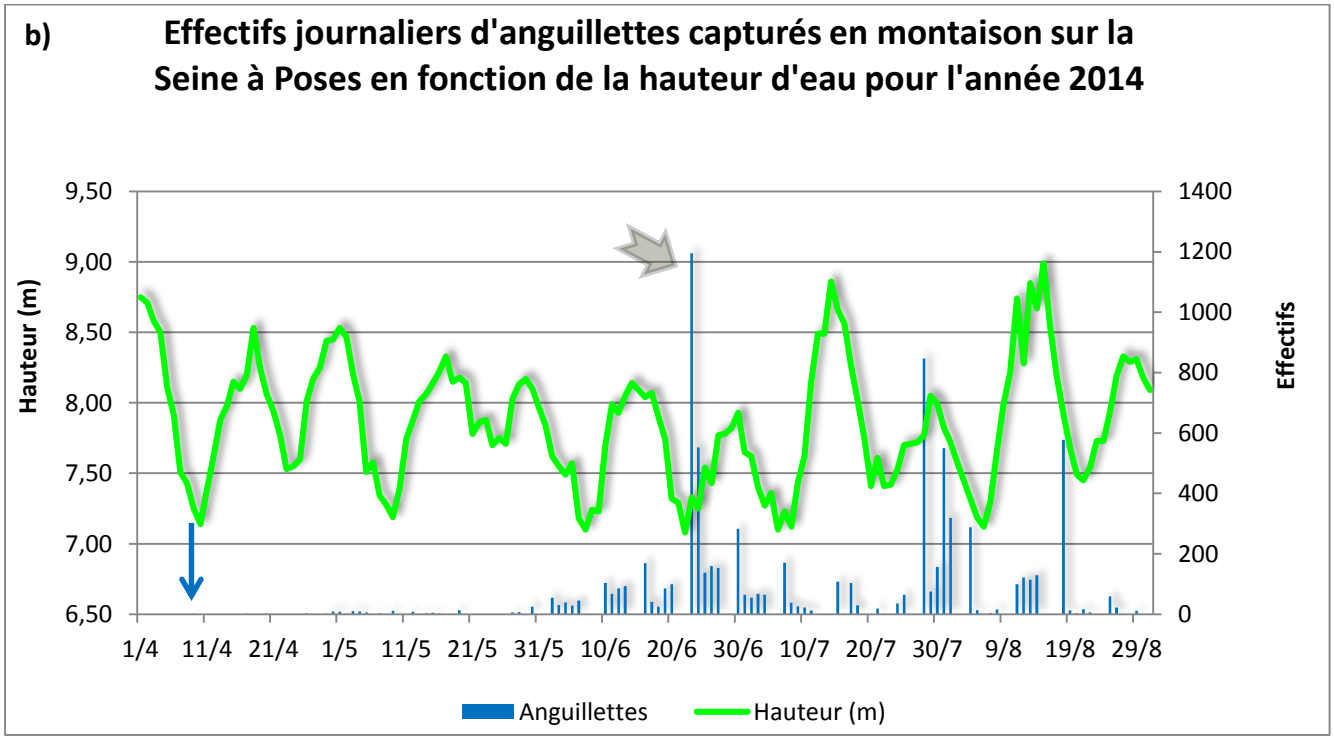


Figure 24. Evolution des effectifs d'anguillettes en montaison en fonction de la température (a), de la hauteur d'eau (b).

2. Suivi de la migration des anguillettes: individus >100mm âgés d'1 été au moins

a. Déroulement de la migration

Au cours de l'année 2014, les premières anguillettes ont été capturées le 9 avril (2 anguillettes capturées) (Figure 24). Au cours des deux premiers mois de suivi, les captures journalières sont très faibles (0 à 25 individus par relevé). En revanche à partir du mois de juin, on observe une augmentation des effectifs capturés au fil des semaines jusqu'à un pic le 23 juin 2014 avec un total de 1275 individus capturés dont 1195 anguillettes (94% des captures totales). On peut noter que ce premier pic de migration fait suite à une arrêt de turbinage durant le week-end. On observe après ce pic d'abondance, une diminution importante et rapide des anguillettes capturées sur la passe-piège. En effet, dès le lendemain, le nombre d'individus capturés à été divisé par deux avec 552 anguillettes, puis 138 anguillettes deux jours après le pic. On peut noter par la suite, une diminution progressive des anguillettes capturées au cours des semaines suivantes jusqu'au 25 juillet 2014. On observe le 28 juillet, un second pic de migration pour les anguillettes, mais moins important que le précédent avec 847 individus capturés le 28 juillet. Comme précédemment, on observe après ce pic une diminution progressive des effectifs capturés les semaines suivantes. On peut noter un dernier pic de migration le 18 août, moins important que les deux précédents (3 jours sans relève du piège) avec 577 anguillettes récupérées. Par la suite les effectifs capturés sont restés très faibles jusqu'à la fin du suivi. Les niveaux de captures élevés sont majoritairement observés le lundi du fait de l'accumulation des individus capturés le week-end. Néanmoins, on conserve une dynamique de migration similaire en répartissant les captures du lundi sur le week-end (Annexe 5).

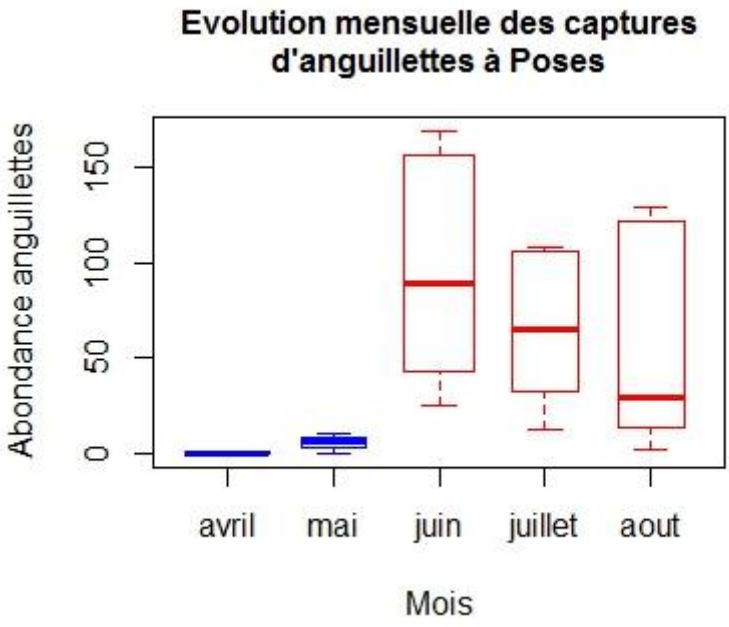


Figure 25. Boxplot représentant les effectifs d'anguillettes capturés mensuellement sur le piège du barrage de Poses.

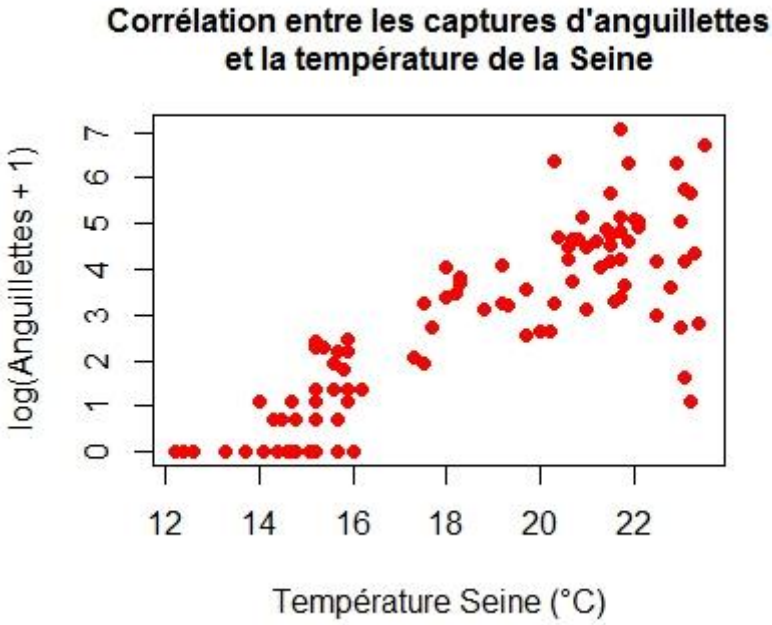


Figure 26. Relation entre les captures d'anguillettes et la température de la Seine.

Si on s'intéresse au niveau de capture mensuel (Figure 25), on peut noter qu'il existe une différence significative entre les effectifs d'anguillettes capturées par mois (Kruskal-Wallis, p-value < 0.001). D'après le test de comparaison multiple (Annexe 7), on remarque qu'il existe une différence statistique entre le mois d'avril et les mois de Juin, juillet et août (p-value <0.001), en revanche aucune différence n'a pu être établie entre ces trois mois . De même, on observe que les effectifs capturés entre le mois de mai et les mois de Juin et Juillet et août sont statistiquement différents (p-value < 0.05).

b. Influence des facteurs environnementaux

✓ Facteurs physico-chimiques

Les premières captures de l'année 2014 ont été réalisées lorsque la température de l'eau était égale à 14°C. Cependant très peu d'anguillettes ont été capturées lorsque la température était inférieure à 17.5°C (mois d'avril à mai). Les pics de captures d'anguillettes au mois de juin et à la fin du mois de juillet ont eu lieu lorsque la température était comprise entre 20.2°C et 23.5°. Une corrélation significative a été trouvée entre les captures d'anguillettes et la température, (Rs = 0.826; p-value <0.001) (Figure 26).

✓ Facteurs hydrodynamiques

On sait que les facteurs hydrodynamiques et notamment les cycles de marées, jouent un rôle important dans le processus de migration des anguilles. Cependant aucune corrélation n'a pu mettre en évidence entre les captures d'anguillettes et la hauteur d'eau au niveau du barrage de Poses (Rs = -0.161; p-value = 0.107).

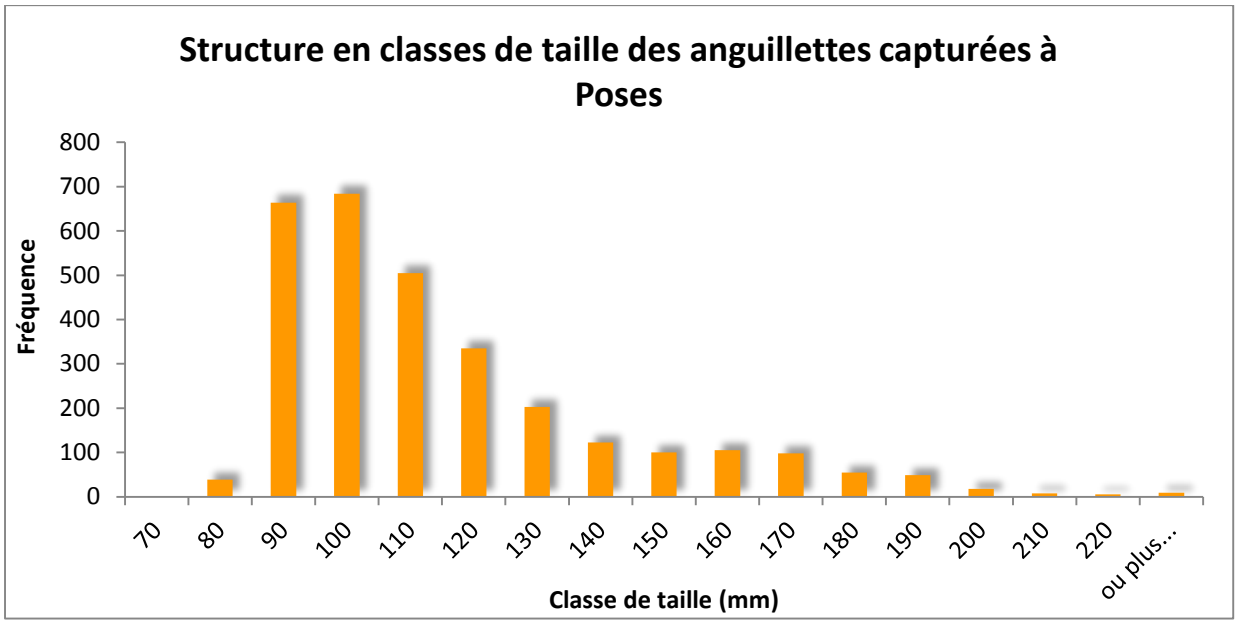


Figure 27. Structure en classes de taille des anguillettes capturées à Poses.

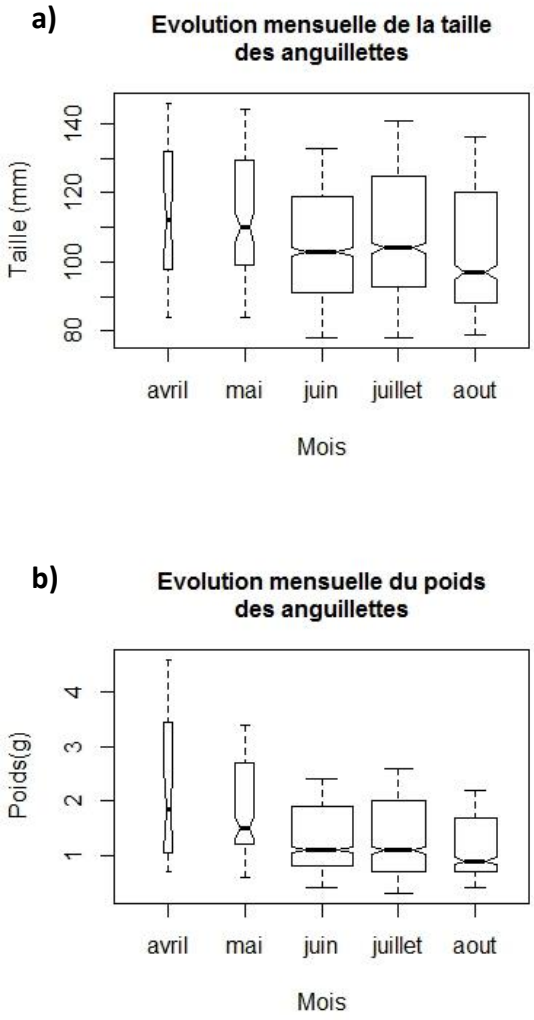


Figure 28. Boxplot représentant l' évolution mensuelle de la taille des anguillettes (a), du poids des anguillettes (b).

c. Caractéristiques de la population

Au cours de chaque relevé de piège, les anguillettes ont été mesurées et pesées. Ainsi pour l'année 2014 les mesures de biométrie ont été réalisées sur 3001 anguillettes.

✓ Classes de taille des anguillettes

Les anguillettes capturées sur l'année 2014 sont essentiellement des anguillettes inférieures à 200 mm (99.23%). La taille de l'ensemble des individus capturés est comprise entre 76 et 339 mm avec une classe modale 91-100 mm (22.79%), ce qui correspond à des individus d'un ou deux étés continentaux (Figure 27). Les petites anguillettes (<80mm) sont peu représentées, en effet la majorité des individus inférieurs à 80 mm correspondent à des stades civelles. De même pour les individus supérieurs à 200 mm représentent une très faible proportion des captures. On peut noter que 3 individus d'une taille supérieure à 300 mm, correspondant à des individus sédentaires on franchit l'ouvrage cette année.

✓ Tailles et poids moyens des anguillettes

On observe au sein de chaque mois une variabilité importante de la taille des individus, allant de 80 mm à plus de 150 mm. Néanmoins, on peut noter que la taille des individus diminue au cours du suivi hormis pour le mois de juillet ou la taille des individus augmente par rapport au mois précédent (Kruskal-Wallis, p-value < 0.001) (Figure 28). En effet d'après le test de comparaison multiple (Annexe 7), il existe une différence significative entre la taille des anguillettes du mois de mai et celles des mois de juin et août, de même entre le mois de juillet et le mois d'août. En revanche aucune différence n'a pu être mise en évidence avec le mois d'avril en raison du faible nombre d'observations.

Au niveau du poids moyen des anguillettes, on observe une tendance similaire avec un diminution du poids des anguillettes au cours des mois (Krukal-Wallis, p-value < 0.001) (Figure 28). D'après le test de comparaison multiple (Annexe 7), il existe une différence significative entre le poids des anguillettes du mois d'avril et celles des mois de juillet et août. De même, on observe une différence significative entre le poids des anguillettes du mois de mai et celles des mois de juin, juillet et août, ainsi qu'entre le mois d'août et les mois de juin et juillet. En revanche il n'existe pas de différence entre le poids des anguillettes du mois de juin et de juillet.

Discussion

- ✓ Déroulement de la migration: aspects quantitatifs

Pour cette première année de suivi de la migration des anguilles en rive gauche de la Seine 12082 anguilles ont été capturées. Cependant le recrutement fluvial annuel correspondant aux individus de l'année ne représente que 31% des captures totales soit 3769 individus. On constate ici que les effectifs capturés sont relativement faibles par rapport à l'échelle du bassin versant en amont de Poses (64 000 km²) avec un indice de recrutement annuel très faible de 0.06 individus par km². En effet, des suivis réalisés sur des bassins versants plus petits montrent des niveaux de captures beaucoup plus élevés. Sur la Vilaine les captures de civelles varient de 11 258 à 2 902 018 entre 1996 et 2013 (Briand et al; 2013), de même sur la Vie au niveau du barrage des vallées les captures varient de 48 137 à 3 552 144 entre 2006 et 2012 (Fédération de Vendée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique; 2012). Néanmoins au vue de la surface du bassin versant de la Seine, on pouvait s'attendre à un recrutement fluvial cinq fois plus important par rapport à celui constaté pour l'année 2014. Face à ce constat on peut émettre l'hypothèse d'un problème d'attractivité de la passe au niveau de plusieurs points. Premièrement, les turbulences créées par la centrale hydroélectrique au niveau de rampe aval masqueraient l'attractivité du dispositif de franchissement. Deuxièmement, la progression vers l'amont des anguilles par l'intermédiaire des rampes de montaison s'effectue principalement en berge (Piper et al., 2012). Cependant les palplanches placées le long de la berge associées avec des vitesses de courant élevées à l'aval de la centrale hydroélectrique limiteraient la progression vers l'amont des jeunes individus en empêchant leurs fixation le long des berges.

D'autres facteurs peuvent participer à limiter le recrutement fluvial observé au niveau de la passe piège. En effet, l'estimation du recrutement de la Seine s'effectue à partir d'un seul dispositif de franchissement installé en rive gauche. De plus, il est possible qu'une proportion non négligeable d'anguilles remonte la Seine par les écluses situées en rive droite de la Seine.

- ✓ Déroulement de la migration: aspects qualitatifs

Si on s'intéresse aux aspects qualitatifs concernant la migration des anguilles sur la Seine. Au niveau de l'activé migratoire de l'espèce, on observe une reprise de la migration

des anguilles au début du mois d'avril lorsque la température est supérieur à 14°C. Des résultats similaires ont déjà été obtenus sur d'autres suivis avec une reprise de l'activité migratrice pour des températures comprises entre 10 et 14°C (Briand et al; 1998; Campton et al; 2012; Fédération de Vendée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique; 2012). En effet certains auteurs ont pu mettre en évidence le rôle majeur des variations significatives de la température sur ce déclenchement (White et Knights; 1997). On a pu constaté que la reprise de l'activité est notamment initié par les anguillettes correspondant à des individus âgés d'un été au moins, ce qui a également été observé par Moriarty (1986) sur la rivière Shannon en Irlande. L'arrivée des individus de l'année correspondant au stade civelle intervient plus tard dans l'année au début du mois de juin. On observe ici que la migration de l'anguille s'effectue par vagues. Une première vague au mois de juin majoritairement représentée par les anguillettes, puis deux vagues successives à la fin du mois de juillet et à la mi-août contenant une proportion plus importante de jeunes individus âgés de moins d'1 été. On a pu constaté que les passages les plus importants pour les individus de l'année ont été observés sur une période courte de 3 à 4 semaines.

Au niveau des facteurs environnementaux, on a pu mettre en évidence une corrélation positive significative entre les captures d'anguilles et la température, ce qui concorde avec les résultats obtenus sur d'autres passes à anguilles (Alamelle et al; 2011; Campton et al; 2009; Lechevalier et al; 2012). Néanmoins d'autres facteurs sont à prendre en considération avant d'établir une relation de causalité entre ces deux événements, tel que la distance du dispositif à la mer. En effet, il serait intéressant de pouvoir prendre en compte, le temps nécessaire aux jeunes individus de l'année (âge < 1 été) pour arriver au pied de l'ouvrage depuis la mer. Au niveau des facteurs hydrodynamiques, des travaux anciens ont déjà mis en évidence une corrélation positive entre les coefficients de marées et les captures d'anguilles (Elie et Rochard, 1994). Cependant, aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence ici entre les coefficients de marée et les captures d'anguilles. Ceci pourrait provenir de l'atténuation progressive de l'influence de la marée vers l'amont, en effet Rochard (2001) a montré que la corrélation entre l'activité migratoire de l'alose et les coefficients de marée et trois fois plus faible dans le secteur amont par rapport au secteur aval.

La population d'anguille migrante sur la Seine est quasi exclusivement composée d'individus d'une taille inférieure à 300mm (3 anguilles > 300mm). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus sur les dispositifs de franchissement en zone aval des bassins versants (Legault, 1994; White et Knights; 1997). Les anguilles capturées sont majoritairement des individus dont la taille est inférieure à 150mm (90% des effectifs), correspondant à des individus dans leur première ou deuxième année de vie continentale (Adam et al., 2008). Néanmoins, les anguillettes représentent la majorité des captures cette année, les captures des individus de l'année, correspondant au recrutement estuarien annuel ne représentant que 31% des captures totales. On peut faire l'hypothèse qu'avant l'installation de la rampe de montaison, le individus provenant du recrutement annuel étaient bloqués au pied de l'ouvrage. Ainsi la dominance des captures d'anguillettes observée cette année notamment au mois de juin serait due à la reprise de la migration de ces individus incapable de franchir l'ouvrage les années précédentes. Cette hypothèse coïncide avec la diminution de la taille des anguillettes au cours du suivi (Figure 28), on a dans un premier temps le passage des individus plus âgés en aval immédiat de l'obstacle, suivi de celui des anguillettes venant de plus loin en aval (Adam et al., 2008). En revanche, on constate une tendance à l'augmentation de la taille et du poids au cours du suivi pour les individus de l'année (Figure 23). Cette augmentation de la taille et du poids s'explique par l'augmentation de la part des anguillettes pigmentées (âge < 1été) au cours des mois de juillet et août dans les captures des individus de l'année.

Conclusion

Du point de vue quantitatif, il semble évident que le recrutement fluvial de la Seine mesuré au niveau de la rampe de montaison installée en rive gauche ne reflète qu'une partie du recrutement annuel de la Seine. La configuration du dispositif, pourrait être à l'origine de ce faible niveau de recrutement observé cette année. Notamment à cause de la nature des berges à l'aval de la rampe et des turbulences générées par la centrale hydroélectrique, limitant l'attractivité de la rampe. L'installation et la mise en service d'un dispositif de franchissement en rive droite pour l'année 2015 devrait permettre une meilleure estimation de ce recrutement annuel. En effet les berges de la rive droite en enrochements offrent un substrat plus propices à la progression des jeunes individus, de plus le site localisé en rive

droite semble offrir des conditions hydrodynamiques plus favorable pour assurer l'attractivité de la rampe. Au niveau qualitatif, les individus migrants sont essentiellement des jeunes individus (< 150mm) avec une reprise de l'activité initiée par les individus plus âgés (1 été au moins) au début du mois d'avril. Les individus de l'année sont observés plus tard dans la saison au début du mois de juin, avec les passages les plus abondants à la fin du mois de juillet et au début du mois d'août.

Pour conclure, le dispositif de franchissement rive gauche ne semble pas fournir une bonne estimation du recrutement fluvial annuel de la Seine au vue de sa configuration. Néanmoins, il parait nécessaire de maintenir un suivi annuel du dispositif durant les prochaines années, afin d'évaluer d'éventuelles variations quantitatives du recrutement annuel. L'installation d'une rampe de montaison en rive droite fournira un outil de comparaison idéal, pour répondre à la question concernant l'attractivité du dispositif en rive gauche. A l'avenir, la mise en place de suivis qualitatifs en rive gauche tels que, du marquage-recapture, des suivis sur 24h, fourniraient des informations intéressantes concernant la dynamique de migration de l'espèce.

Bibliographie

Adam, G., 1997. L'anguille européenne (Anguilla anguilla L. 1758) : dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. Paul Sabatier, Toulouse.

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

Alamelle, B; Le Gurun, L; Lebel, I; 2011. Suivi de la passe-piège à anguilles du barrage E.D.F de Mallemort sur la Durance-Campagne 2010-Synthèse des résultats 2004-2010. 65p.

Baisez, A., Laffaille, P., 2005. UN OUTIL D'AIDE Á LA GESTION DE L'ANGUILLE : LE TABLEAU DE BORD ANGUILLLE DU BASSIN LOIRE. Bull. Fr. Pêche Piscic. 115–130. doi:10.1051/kmae:2005007

Bonhommeau, S., Chassot, E., Rivot, E., 2007. Fluctuations in European eel (Anguilla anguilla) recruitment resulting from environmental changes in the Sargasso Sea: Fluctuations in glass eel recruitment. Fish. Oceanogr. 17, 32–44. doi:10.1111/j.1365-2419.2007.00453.x

Briand, C; Boussion, D; 1998. Suivi des passes estuariennes de la Vilaine. Rapport d'étude, Institution d'Aménagement de la Vilaine. 121p.

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

Bruslé, J., 1994. L'anguille européenne Anguilla anguilla, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bull. Fr. Pêche Piscic. 237–260. doi:10.1051/kmae:1994015

Buet, A., Banas, D., Vollaire, Y., Coulet, E., Roche, H., 2006. Biomarker responses in European eel (Anguilla anguilla) exposed to persistent organic pollutants. A field study in the Vaccarès lagoon (Camargue, France). Chemosphere 65, 1846–1858. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.03.074

Buysse, D., Mouton, A.M., Stevens, M., Van den Neucker, T., Coeck, J., 2014. Mortality of European eel after downstream migration through two types of pumping stations. Fish. Manag. Ecol. 21, 13–21. doi:10.1111/fme.12046

Campton, P., Crivelli, A.J., Lebel, I., Abdallah, Y., Vanel, N., 2009, L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans le canal d'Arles à Bouc, Etat des lieux et premiers resultats de la passe piège installée sur le barrage à sel, Campagne 2007/2008., rapport MRM, 27p.+annexes.

Campton, P; Crivelli A.J; Lebel, I; 2012. L'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans le canal d'Arles à Bouc. État des lieux et premiers résultats de la passe-piège installée sur le barrage à sel. Campagne 2011/2012. 70p.

Castonguay, M., McCleave, J.D., 1987. Vertical distributions, diel and ontogenetic vertical migrations and net avoidance of leptocephali of *Anguilla* and other common species in the Sargasso Sea. J. Plankton Res. 9, 195–214. doi:10.1093/plankt/9.1.195

CCE; 2003. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen, Développement d'un plan d'actions communautaire concernant la gestion des anguilles européennes. [en ligne]. [Consulté le 18/04/14]. Disponible à partir de : http://eur-lex.europa.eu.

Chancerel, F., 1994. La répartition de l'Anguille en France. Bull. Fr. Pêche Piscic. 289–294. doi:10.1051/kmae:1994017

COGEPOMI; 2011. Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie 2011-2015. 115p.

Dekker, W., 2000. A Procrustean assessment of the European eel stock. ICES J. Mar. Sci. 57, 938–947. doi:10.1006/jmsc.2000.0581

Dekker, W., 2003. Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, Anguilla anguilla? Fish. Manag. Ecol. 10, 365–376. doi:10.1111/j.1365-2400.2003.00352.x

Dekker, W., 2004. Slipping through our hands: population dynamics of the European eel. s.n.], S.l.

Durif, C., 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne Anguilla Anguilla : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Paul Sabatier, Toulouse.

Edeline, E., 2005. Facteurs du contrôle de la dispersion continentale chez l'anguille. Université Paul Sabatier, Toulouse.

Elie, P., Lecomte-Finiger, R., Cantrelle, I., Charlon, N., 1982. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'Anguilla anguilla L. (poisson téléostéen anguilliforme). Vie Milieu 32, 149–157.

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. 81–98. doi:10.1051/kmae:1994006

FAO; 2012. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2012. 241p.

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., 2002. Management and restoration of European eel population (Anguilla anguilla): An impossible bargain. Ecol. Eng. 18, 575–591. doi:10.1016/S0925-8574(02)00021-6

Fish-Pass; 2013. Passe piège à anguilles, station du barrage de Poses, fleuve Seine. 20p.

Gascuel, D., 1986. Flow-carried and active swimming migration of the glass eel(Anguilla anguilla) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. Helgoländer Meeresunters. 40, 321–326. doi:10.1007/BF01983739

Garot, G; 2011. 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 2010. Rapport de suivi. Seine Normandie-Nord Migrateurs (SEINORMIGR). 160p

Ginneken, V., Durif, C., Balm, S.P., Boot, R., Verstegen, M.W.., Antonissen, E., Van den Thillart, G., 2007. Silvering of European eel (Anguilla anguillaL.): seasonal changes of morphological and metabolic parameters. Anim. Biol. 57, pp 63–77.

Ginneken, V.J.T., Maes, G.E., 2005. The European eel (Anguilla anguilla, Linnaeus), its Lifecycle, Evolution and Reproduction: A Literature Review. Rev. Fish Biol. Fish. 15, 367–398. doi:10.1007/s11160-006-0005-8

ICES; 2002. Report of the ICES Working Group on Eels, Nantes, France, 2-6 september 2002. ICES CM 2003/ACFM: 06. 84p.

ICES; 2012. Report of the 2012 Session of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels, Copenhagen, Denmark, 3-9 september 2012. ICES CM 2012/ACOM: 18. 824p.

Keith, P., Allardi, J., Moutou, B., 1992. Livre rouge des espèces menacées de poissons d'eau douce de France. Collection « Patrimoines naturels », 10, MNHN, CSP, CEMAGREF, Ministère de l'Environnement, Paris – 111 p.

Laffaille, P., Acou, A., Guillouet, J., 2005. The yellow European eel (Anguilla anguilla L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. Ecol. Freshw. Fish 14, 191–196. doi:10.1111/j.1600-0633.2005.00092.x

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, 642–651. doi:10.1672/0277-5212(2004)024[0642:HPODEE]2.0.CO;2

Lechevalier, M; Der Mikaelian, S; 2012. Suivi 2012 de la migration anadrome des civelles dans le marais poitevin. Bilan 2010-2012 Coefficients de marée et débits fluviaux. 69p.

Lecomte-Finiger, R., 1994. Contribution de l'otolithométrie à l'étude de la dynamique de la migration larvaire de l'anguille européenne (Anguilla anguilla). Bull. Fr. Pêche Piscic. 17–31. doi:10.1051/kmae:1994002

Legault, A., 1994. Étude préliminaire de recrutement fluvial de l'anguille. Bull. Fr. Pêche Piscic. 33–41. doi:10.1051/kmae:1994003

Mazel V., Charrier F., Troger F., Kneabel B., Caraguel J.-M., Legault A., 2011. Suivi de l'opération d'alevinage réalisée sur l'Aure et la Drôme, (Rapport 2) Rapport du suivi à 6 mois, FISH PASS, pour le Comité Régional des Pêches de Basse Normandie 91p.

Mazel V., Charrier F., Troger F., Kneabel B., Caraguel J.-M., Legault A., 2012. Suivi de l'opération d'alevinage réalisée sur l'Aure et la Drôme, (Rapport 3) Rapport du suivi à 12 mois, FISH PASS, pour le Comité Régional des Pêches de Basse Normandie. 104p.

Mazel V., Charrier F., Troger F., Caraguel J.-M., Legault A., 2012. Suivi de l'opération d'alevinage réalisée sur le Thar et ses affluents, (Rapport 1) Rapport du déversement, FISH PASS, pour le Comité Régional des Pêches de Basse Normandie. 37p.

McCleave, J.D., Brickley, P.J., O'Brien, K.M., Kistner, D.A., Wong, M.W., Gallagher, M., Watson, S.M., 1998. Do Leptocephali of the European Eel Swim to Reach Continental Waters? Status of the Question. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 78, 285. doi:10.1017/S0025315400040091

Moriarty, C., Dekker, W., 1997. Management of the European eel. Fish. Bull. 1–110.

Palstra, A.P., Heppener, D.F.M., van Ginneken, V.J.T., Székely, C., van den Thillart, G.E.E.J.M., 2007. Swimming performance of silver eels is severely impaired by the swim-bladder parasite Anguillicola crassus. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 352, 244–256. doi:10.1016/j.jembe.2007.08.003

Pedersen, M.I., Jepsen, N., Aarestrup, K., Koed, A., Pedersen, S., Økland, F., 2012. Loss of European silver eel passing a hydropower station: Loss of European silver eels. J. Appl. Ichthyol. 28, 189–193. doi:10.1111/j.1439-0426.2011.01913.x

Pfeiler, E., 1999. Developmental physiology of elopomorph leptocephali. Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol. 123, 113–128. doi:10.1016/S1095-6433(99)00028-8

Piper, A.T., Wright, R.M., Kemp, P.S., 2012. The influence of attraction flow on upstream passage of European eel (Anguilla anguilla) at intertidal barriers. Ecol. Eng. 44, 329–336. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.04.019

Robinet, T., Feunteun, E., 2002. Sublethal Effects of Exposure to Chemical Compounds: A Cause for the Decline in Atlantic Eels? Ecotoxicology 11, 265–277. doi:10.1023/A:1016352305382

Schmidt, J., 1923. The Breeding Places of the Eel. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 211, 179–208. doi:10.1098/rstb.1923.0004

Schoth, M., Tesch, F.-W., 1982. Spatial distribution of 0-group eel larvae (Anguilla sp.) in the Sargasso Sea. Helgoländer Meeresunters. 35, 309–320. doi:10.1007/BF02006139

Syndicat mixte de la base de plein air et de loisirs de Léry-Poses; s.d. La chambre d'observation de la passe à poissons de Poses. [en ligne]. [Consulté le 14/05/14]. Disponible à partir de : https://www.espace-prive.eau-seine-normandie.fr.

Tapie, N; Budzinski, H; Elie, P; Gonthier, P; 2006. Contamination en polychlorobiphényles (PCB) des anguilles du système fluvio estuarien de la Gironde. 58p.

Tesch, F.-W., 2003. The eel. Blackwell Science.

Van der Oost, R., Goksøyr, A., Celander, M., Heida, H., Vermeulen, N.P.E., 1996. Biomonitoring of aquatic pollution with feral eel (Anguilla anguilla) II. Biomarkers: pollution-induced biochemical responses. Aquat. Toxicol. 36, 189–222. doi:10.1016/S0166-445X(96)00802-8

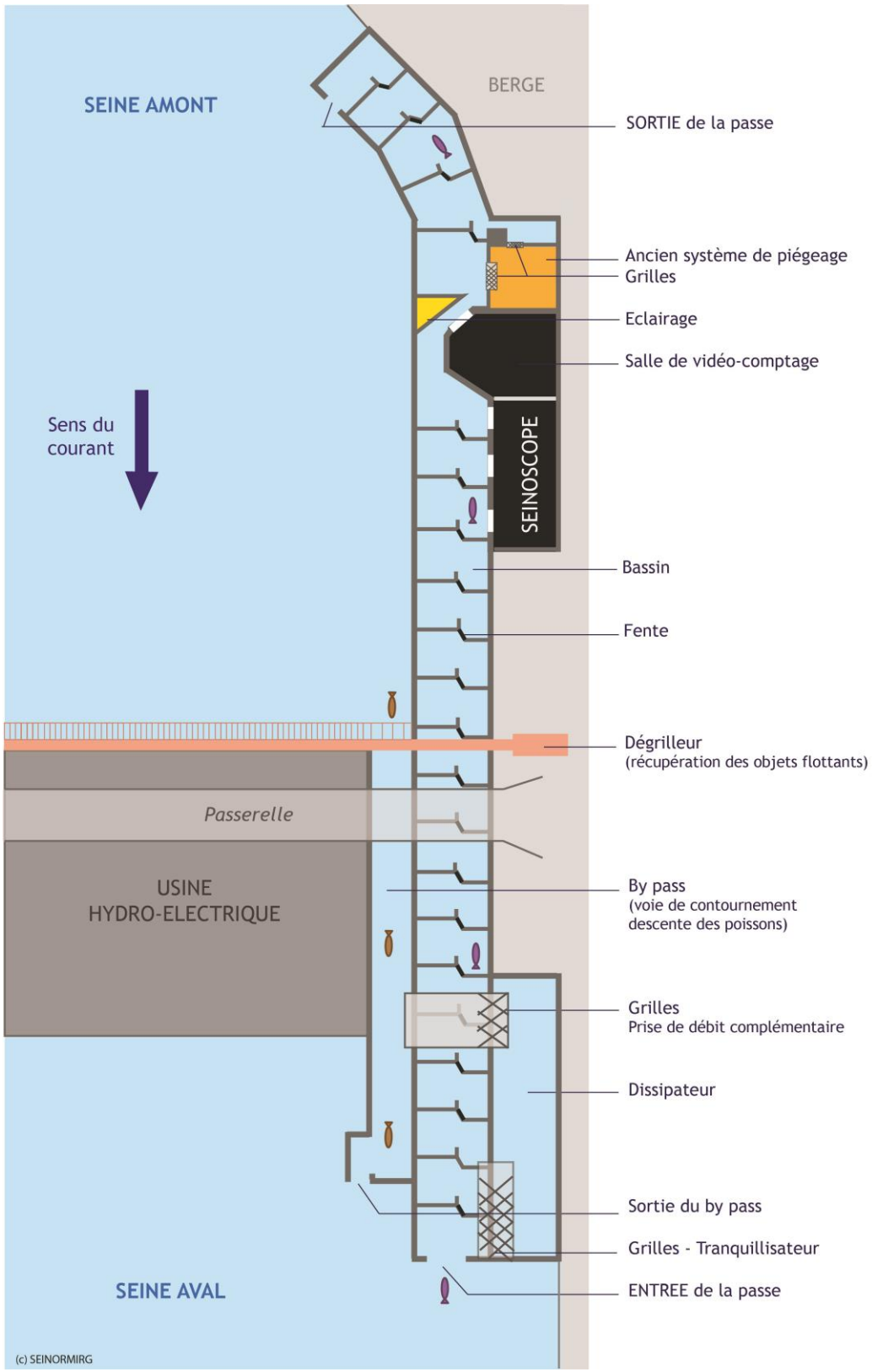
Wang, C.H., Tzeng, W.N., 2000. The timing of metamorphosis and growth rates of American and European eel leptocephali: Fish. Res. 46, 191–205. doi:10.1016/S0165-7836(00)00146-6

Watanabe, S., Aoyama, J., Nishida, M., Tsukamoto, K., 2005. A molecular genetic evaluation of the taxonomy of eels of the genus Anguilla (Pisces: Anguilliformes). Bull. Mar. Sci. 76, 675–690.

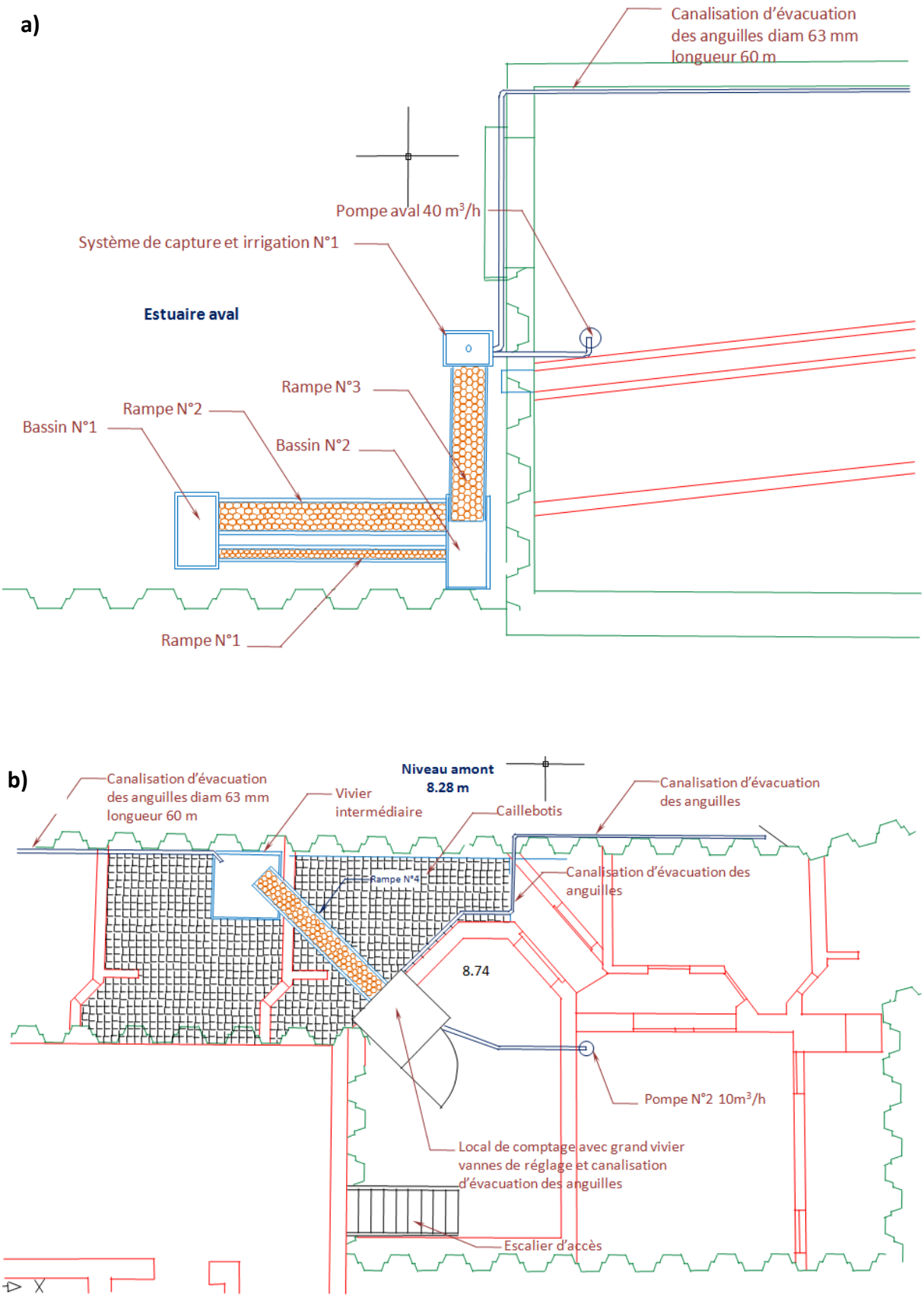
White, E.M., Knights, B., 1997. Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. J. Fish Biol. 50, 1104–1116. doi:10.1111/j.1095-8649.1997.tb01634.x

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, 221–228. doi:10.1111/j.1600-0633.2006.00154.x

Annexes



Annexe 1. Schéma de la passe à poisson en rive gauche de la Seine.



Annexe 2. Plan détaillé du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine. Partie aval (a), partie amont (b).

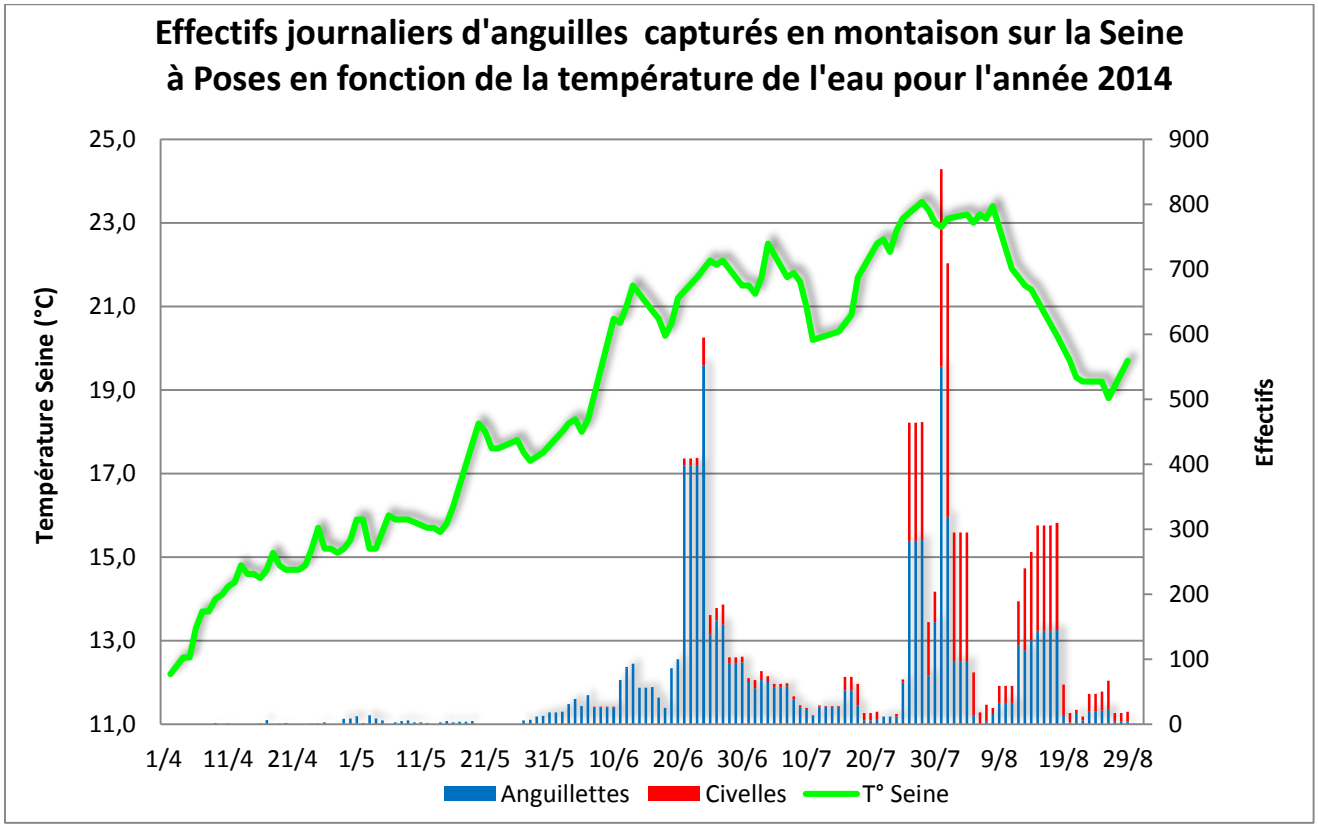
a)	Différence observée	Différence critique	Différence
avril-mai	24.779781	25.31568	FALSE
avril-juin	57.12069	36.07173	TRUE***
avril-juillet	73.834975	35.55979	TRUE***
avril-aout	65.287356	37.23888	TRUE***
mai-juin	32.340909	27.66388	TRUE*
mai-juillet	49.055195	37.86135	TRUE***
mai-aout	40.507576	39.44258	TRUE***
juin-juillet	16.714286	27.97578	FALSE
juin-aout	8.166667	29.09078	FALSE
juillet-aout	8.547619	28.76082	FALSE

Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

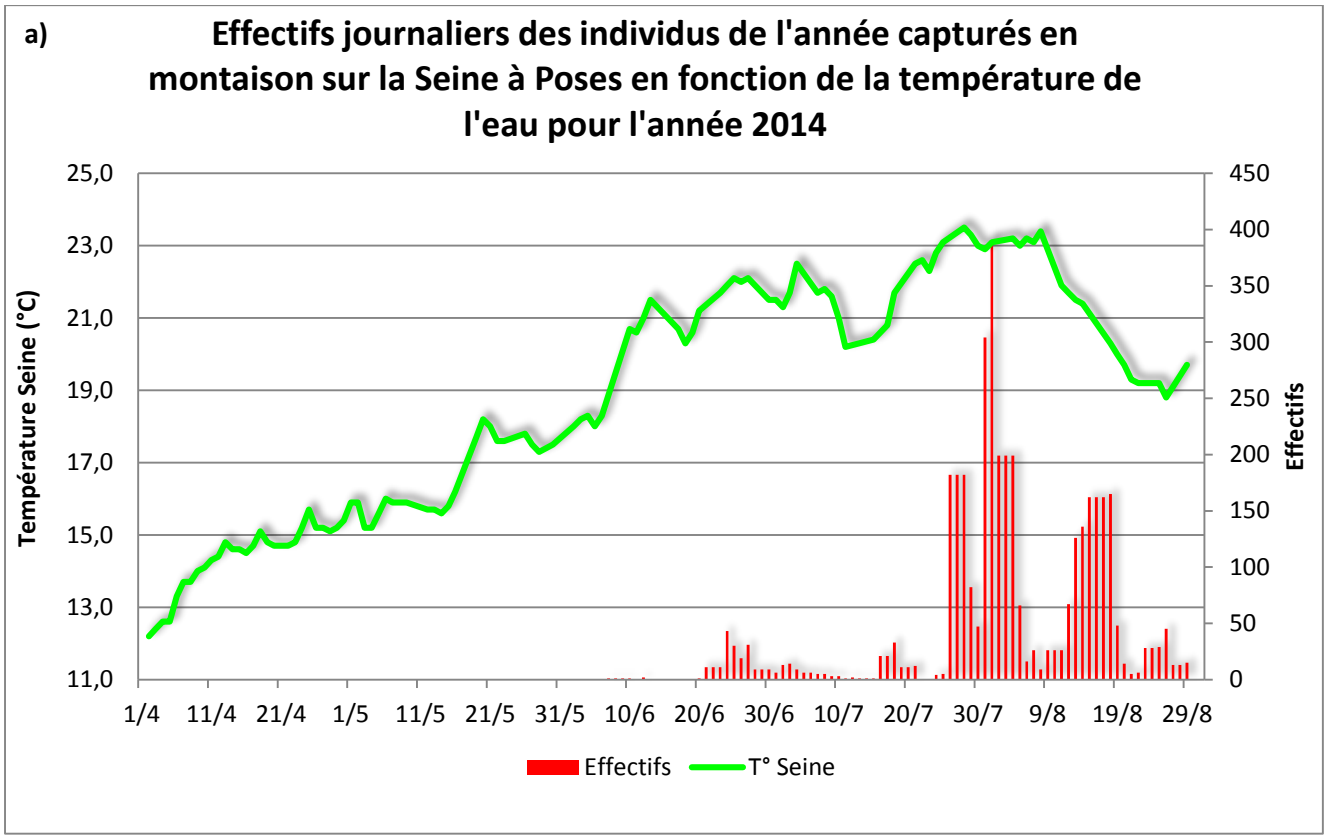
b)	Différence observée	Différence critique	Différence
collecteur-Seine	16.995098	12.26995	TRUE**
collecteur-vivier	15.382353	12.444	TRUE**
Seine-vivier	1.612745	12.26995	FALSE

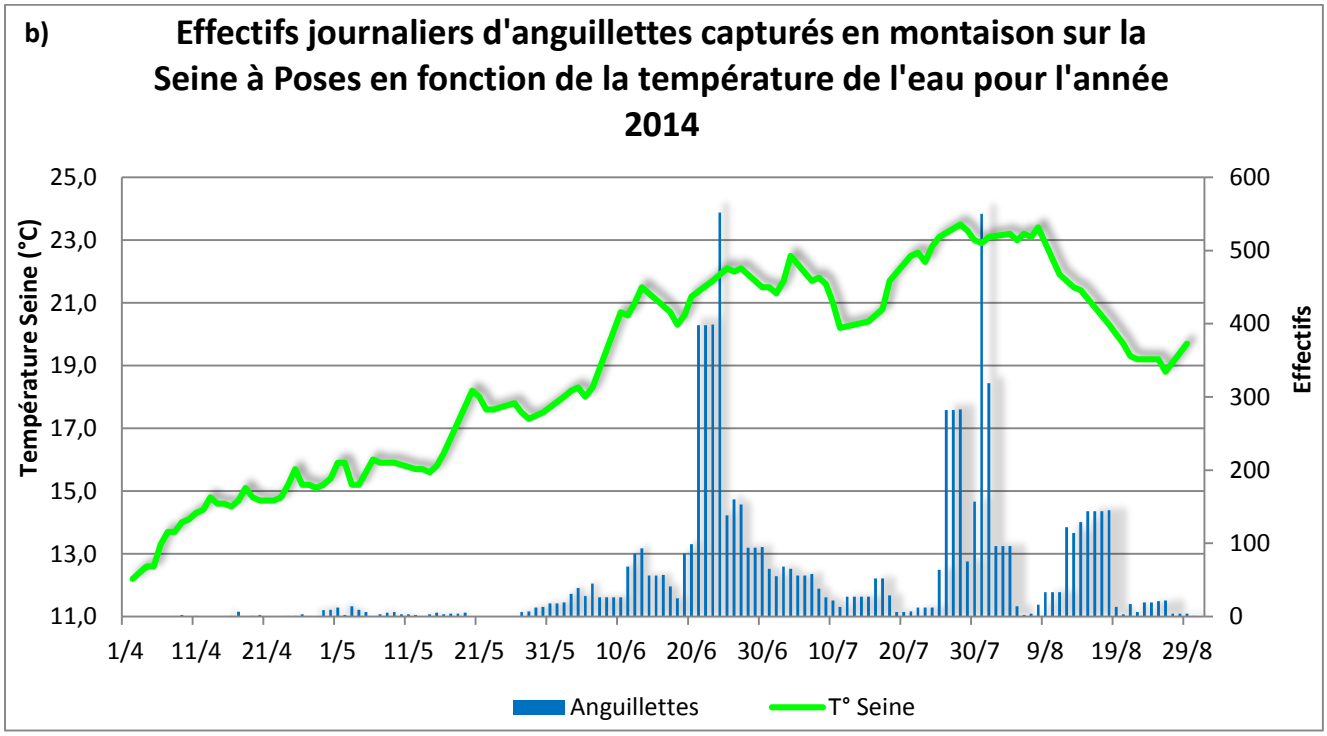
Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

Annexe 3. Tableau récapitulatif des test de comparaisons multiples des paramètres environnementaux. Température de la Seine entre les mois (a) et teneur en oxygène au sein du dispositif de piégeage (b).



Annexe 4. Graphique lissé des effectifs journaliers d'anguilles capturés en montaison sur la Seine à Poses en fonction de la température de l'eau pour l'année 2014.





Annexe 5. Graphiques lissés des effectifs journaliers des individus de l'année capturés en montaison sur la Seine à Poses en fonction de la température de l'eau pour l'année 2014 (a) et des anguillettes (b)

a)	Différence observée	Différence critique	Différence
juin-juillet	14.01711	14.92619	FALSE
juin-aout	25.34167	20.98056	TRUE***
juillet-aout	11.32456	15.32485	FALSE

Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

b)	Différence observée	Différence critique	Différence
juin-juillet	155.1481	116.36216	TRUE***
juin-aout	339.765	109.07602	TRUE***
juillet-aout	184.6169	78.72622	TRUE***

Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

c)	Différence observée	Différence critique	Différence
juin-juillet	138.7747	116.36216	TRUE***
juin-aout	320.7797	109.07602	TRUE***
juillet-aout	182.005	78.72622	TRUE***

Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

Annexe 6. Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples des effectifs d'individus de l'année capturés par mois (a), de la taille des individus de l'année (b) et du poids des individus de l'année (c).

a)	Différence observée	Différence critique	Différence
avril-mai	20.466667	25.70586	FALSE
avril-juin	63.816667	33.88018	TRUE***
avril-juillet	57.914035	34.41098	TRUE***
avril-aout	50.661111	34.9913	TRUE***
mai-juin	43.35	38.71665	TRUE***
mai-juillet	37.447368	33.13875	TRUE**
mai-aout	30.194444	28.63793	TRUE*
juin-juillet	5.902632	27.12744	FALSE
juin-aout	13.155556	27.51116	FALSE
juillet-aout	7.252924	27.85198	FALSE

Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

b)	Différence observée	Différence critique	Différence
avril-mai	2.525833	534.7105	FALSE
avril-juin	299.055581	491.1265	FALSE
avril-juillet	222.620123	492.6199	FALSE
avril-aout	446.084924	496.6517	FALSE
mai-juin	296.529748	272.1054	TRUE**
mai-juillet	220.094289	235.2669	FALSE
mai-aout	443.55909	337.6278	TRUE***
juin-juillet	76.435459	103.1523	FALSE
juin-aout	147.029342	141.783	TRUE**
juillet-aout	223.464801	175.8548	TRUE***

Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

c)	Différence observée	Différence critique	Différence
avril-mai	79.25	543.6703	FALSE
avril-juin	500.73808	500.8963	FALSE
avril-juillet	526.25424	502.3597	TRUE*
avril-aout	666.511	593.52	TRUE**
mai-juin	421.48808	321.6198	TRUE***
mai-juillet	447.00424	325.9748	TRUE***
mai-aout	587.261	337.5153	TRUE***
juin-juillet	25.51616	103.1179	FALSE
juin-aout	165.77292	141.7357	TRUE**
juillet-aout	140.25676	126.8357	TRUE*

Probabilité: *0.05; **0.01; ***0.001

Annexe 7. Tableau récapitulatif des tests de comparaisons multiples des effectifs d'anguillettes capturés par mois (a), de la taille des anguillettes (b) et du poids des anguillettes (c).