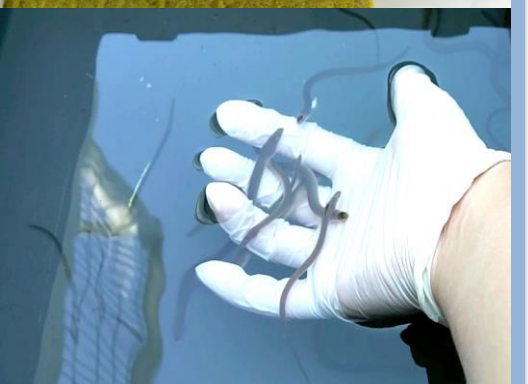


Mémoire de Master 2
Sciences des Environnements Continentaux et Côtiers
Spécialité Environnement, Sols, Eaux et Biodiversité
Parcours Biodiversité
2014 – 2015

SUIVI ET ESTIMATION DU RECRUTEMENT DE LA SEINE EN ANGUILLE EUROPÉENNE (*Anguilla anguilla*)

Marie LENOIR

Maître de stage :
Geoffroy GAROT

Stage effectué au sein de l'association SEINORMIGR

Partenaires techniques et financiers :

SEINE NORMANDIE - NORD MIGRATEURS
Association interrégionale pour la restauration et la gestion des populations de poissons migrateurs
Association Loi 1901 déclarée le 2 janvier 2007 à la Préfecture de la Seine Maritime
Agréée sur la région Haute-Normandie en qualité d'association de protection de l'environnement par arrêté préfectoral du 13 décembre 2013

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier M. Daniel Hanchard, président de l'association SEINORMIGR, ainsi que M. Geoffroy Garot, mon maître de stage, pour m'avoir offert la possibilité de réaliser cette étude.

Je suis bien évidemment plus que reconnaissante auprès de Geoffroy, pour son encadrement tout au long de ce stage, ses conseils avisés, sa patience et ses corrections apportées dans ce rapport.

Pour leurs bonnes humeurs et leurs enseignements durant les pêches électriques du suivi anguilles, mes profonds remerciements à Geoffroy, Bruno, Florian, Vincent et Jean-Philippe.

Enfin, je tiens également à exprimer mes remerciements auprès de la Fédération de l'Eure pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique pour leur aide précieuse durant le suivi sur 24 heures. Je les remercie également de m'avoir permis de participer aux suivis des frayères de lamproies marines sur l'Andelle.

RÉSUMÉ

Dans le cadre du Plan de Gestion Anguille Seine-Normandie visant à réduire les mortalités anthropiques de la population d'anguilles européennes, un dispositif de franchissement spécifique à l'espèce a été installé en 2013 sur la rive gauche du barrage de Poses. L'année 2015 constitue la deuxième année de suivi de la migration de l'anguille sur ce dispositif. Cette étude vise à répondre aux questions suivantes : le dispositif de franchissement des anguilles sur la Seine à Poses est-il fonctionnel ? Sur les plans qualitatifs et quantitatifs, quel est le recrutement de la Seine en anguille européenne ?

En 2015, 4358 anguilles ont été capturées dont 138 civelles. Ce recrutement fluvial de la Seine semble très faible. D'un point de vue qualitatif, les individus migrants sont essentiellement des jeunes individus (< 150 mm) avec une reprise de l'activité à la mi-avril initiée par des individus âgés d'un été au moins. Les individus de l'année arrivent quant à eux plus tard dans la saison, au début du mois de juillet.

Une campagne de marquage-recapture au Visible Implant Elastomer a permis d'évaluer le taux d'efficacité du dispositif à 13%. Le dispositif de franchissement en rive gauche ne semble donc pas fournir une bonne estimation du recrutement fluvial annuel au vu de sa configuration. La mise en service de la rampe de montaison en rive droite fin septembre 2015 devrait permettre une meilleure estimation de ce recrutement annuel et permettre de conclure sur l'efficacité du dispositif en rive gauche.

Mots clés : *Anguilla anguilla*, recrutement fluvial, marquage-recapture, visible implant elastomer, Seine.

ABSTRACT

Within the Seine Normandy eels Management Plan framework to reduce anthropogenic mortalities of the population of European eels, a specific crossing system was implemented in 2013 on the left bank of the Poses dam. 2015 is the second year of the migration monitoring on this system. This study aims to answer the following questions: Is this system functional? What is the recruitment of European eels in the Seine River?

In 2015, 4358 eels were captured including 138 elvers. This recruitment of the Seine River seems very low. From a qualitative point of view, migrant individuals are mainly young (<150 mm) with an activity resumption at the beginning of April composed of individuals aged at least one summer, then, elvers arrive later in the season, during the first weeks of July.

A mark-recapture in Visible Implant Elastomer campaign allowed an efficiency rate of the device at 13%. Thus the left bank crossing system does not provide a right estimate of the annual fluvial recruitment due to its configuration. The commissioning of the upstream migration ramp on the right bank by the end of September 2015 should allow a better estimate. Therefore, regarding this annual fluvial recruitment, it will help to conclude on the efficiency of the left bank system.

Keywords: *Anguilla anguilla*, fluvial recruitment, mark-recapture, visible implant eslatomer, Seine river.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS i

RÉSUMÉ ii

ABSTRACT iii

SOMMAIRE iv

TABLE DES ILLUSTRATIONS vi

STRUCTURE D'ACCUEIL : ASSOCIATION SEINE NORMANDIE-NORD MIGRATEURS viii

INTRODUCTION 1

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA PREMIÈRE PARTIE 3

PARTIE 1 _ L'ANGUILLE EUROPÉENNE 4

I. Présentation de l'espèce 4
1. Classification 4
2. Diversité 5
3. Description 6

II. Aire de répartition 8

III. Biologie de l'espèce 8

IV. Intérêts de l'espèce 10

V. Menaces sur l'espèce 11

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA DEUXIÈME PARTIE 16

PARTIE 2 _ LE BASSIN SEINE-NORMANDIE 17

I. Description hydrographique du bassin Seine-Normandie 17
1. Présentation du bassin 17
2. Qualité de l'eau du bassin 18
3. Continuité écologique du bassin 18

II. Le plan de gestion anguille 18
1. Volet national 19
a. Objectif(s) 19
b. Mesures 19
2. Volet local de l'unité de gestion Seine-Normandie 20
a. Encadrement de la pêche professionnelle et opérations de repeuplement 20
b. Mise en conformité des ouvrages prioritaires 21
c. Monitoring 21

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA TROISIÈME PARTIE 23

PARTIE 3 _ SITE D'ÉTUDE : LE BARRAGE DE POSES – AMFREVILLE-SOUS-LES-MONTS 24

I. Présentation du barrage 24

II. La passe à poissons et la chambre d'observation 25

III. Synthèse hydrologique 25

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA QUATRIÈME PARTIE 27

PARTIE 4 _ MATÉRIELS ET MÉTHODES 28

I. Dispositif de franchissement et de piégeage 28

II. Fréquence de suivi du piège et entretien 30

III. Biométrie 30

IV. Paramètres environnementaux 32

V. Suivi sur 24 heures 32

1. Objectifs 32
2. Protocole 33
VI. Capture – Marquage – Recapture 33
1. Objectifs 33
2. Choix du type de marquage : VIE (Visible Implant Elastomer) 33
3. Protocole 35
VII. Analyses statistiques 36
1. Test de comparaison 36
2. Analyse de corrélation 36
POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA CINQUIÈME PARTIE 37
PARTIE 5 _ RÉSULTATS 38
I. Fonctionnement du dispositif de piégeage 38
1. Période et fréquence de suivi 38
2. Dysfonctionnements de la passe piège à anguilles 38
3. Évolution des paramètres environnementaux 39
II. Suivi de la migration des anguilles en 2015 41
1. Suivi de la migration des individus de l'année : individus < 100 mm âgés de moins d'un été 42
a. Déroulement de la migration 42
b. Influence des facteurs environnementaux 44
c. Caractéristiques de la population 47
2. Suivi de la migration des anguillettes: individus > 100 mm âgés d'un été au moins 49
a. Déroulement de la migration 49
b. Influence des facteurs environnementaux 51
c. Caractéristiques de la population 53
III. Déroulement de la migration sur 24 heures 55
IV. Taux de recapture après marquage 56
V. Comparaison des suivis 2014 et 2015 58
DISCUSSION 61
CONCLUSION 66
BIBLIOGRAPHIE 67
ANNEXES 76

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Fig. 1 : Phylogénie simplifiée des Téléostéens, montrant la position relative des Elopomorphes vis à vis d'autres groupes importants, d'après Rousseau (2000) 4
Fig. 2 : À gauche : anguille européenne (*Anguilla anguilla*) ; à droite : anguille américaine (*Anguilla rostrata*) (©ARKIVE) 5
Fig. 3 : Anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) (©MAZZA) 6
Fig. 4 : Larve leptocéphale (©FEUNTEUN) 6
Fig. 5 : Civelles (©SEINORMIGR) 7
Fig. 6 : Anguille jaune en haut ; anguille argentée en bas (©GAROT – SEINORMIGR) 7
Fig. 7 : Aire de répartition de l'anguille européenne. La zone de reproduction est représentée en rouge. (Imbert, 2008) 8
Fig. 8 : Cycle biologique de l'anguille européenne (dessin : S. Gros, Ifremer, projet Indicang – Adapté de Schmidt, 1922 et Mc Cleave, 1985) 9
Fig. 9 : Grands Cormoran se nourrissant d'anguilles (©AUSTIN à gauche ; ©ARKIVE à droite) ..13
Fig. 10 : Anguilles argentées tuées lors de leur migration de dévalaison (©TRUST) 14
Fig. 11 : Bassin hydrographique Seine-Normandie 17
Fig. 12 : Carte des secteurs d'actions prioritaires (1 et 2) sur l'Unité de Gestion Anguille Seine-Normandie 22
Fig. 13 : Localisation et vue aérienne du barrage de Poses 24
Fig. 14 : Débit journalier de la Seine à Poses pour l'année 2015 26
Fig. 15 : Photographies du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine à Poses. Système aval (a) et amont (b) (©Garot – SEINORMIGR) 29
Fig. 16 : Civelle stade VIB (a), anguillette pigmentée (b) et anguillette > 100 mm (c) (©GAROT – SEINORMIGR) 31
Fig. 17 : Marquage d'individus au Visible Implant Elastomer (VIE) rouge et jaune 35
Fig. 18 : Effectifs cumulés d'anguilles capturées sur la Seine à Poses 38
Fig. 19 : Évolution journalière de la température sur la passe piège du barrage de Poses 40
Fig. 20 : Boxplots de l'évolution mensuelle de la température de la Seine à Poses 40
Fig. 21 : Évolution journalière de la teneur en oxygène sur la passe piège du barrage de Poses..41
Fig. 22 : Effectifs journaliers d'anguilles capturées en fonction de la température de l'eau 42
Fig. 23 : Effectifs journaliers des individus de l'année en fonction de la température de l'eau 43
Fig. 24 : Boxplots de l'évolution mensuelle des captures d'individus de l'année 44
Fig. 25 : Corrélation entre les captures d'individus de l'année et la température de la Seine 45
Fig. 26 : Effectifs journaliers des individus de l'année capturés en fonction de la hauteur d'eau .46
Fig. 27 : Corrélation entre les captures d'individus de l'année et la hauteur d'eau de la Seine 46

Fig. 28 : Distribution des tailles (mm) des individus de l'année 47
Fig. 29 : Évolution mensuelle de la taille des individus de l'année 48
Fig. 30 : Évolution mensuelle du poids des individus de l'année 49
Fig. 31 : Effectifs journaliers d'anguillettes capturées en fonction de la température de l'eau 50
Fig. 32 : Évolution mensuelle des captures d'anguillettes à Poses 50
Fig. 33 : Corrélation entre les captures d'anguillettes et le température de la Seine 51
Fig. 34 : Corrélation entre les captures d'anguillettes et la hauteur d'eau de la Seine 52
Fig. 35 : Effectifs journaliers d'anguillettes capturées en fonction de la hauteur d'eau 52
Fig. 36 : Distribution des tailles des anguillettes 53
Fig. 37 : Évolution mensuelle de la taille des anguillettes 54
Fig. 38 : Évolution mensuelle du poids des anguillettes 55
Fig. 39 : Effectifs d'anguilles capturées pendant le suivi 24 heures 56
Fig. 40 : Effectifs d'anguilles marquées et non marquées capturées pendant le suivi 24 heures 57
Fig. 41 : Effectifs d'anguilles recapturées après marquage au Visible Implant Elastomer 57
Fig. 42 : Comparaison des effectifs journaliers d'anguillettes capturées en 2014 et 2015 en fonction de la température de l'eau 58
Fig. 43 : Comparaison des effectifs journaliers d'anguillettes capturées en 2014 et 2015 en fonction de la hauteur d'eau 59
Fig. 44 : Distribution des tailles des anguilles capturées en 2014 et 2015 60

Tableau 1 : Récapitulatif des deux campagnes de marquage 36

Annexe 1 : Schéma de la passe à poisson en rive gauche de la Seine. 76
Annexe 2 : Plan détaillé du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine. Partie aval (a) et partie amont (b). 77
Annexe 3 : Protocole de marquage au Visible Implant Elastomer 78
Annexe 4 : Graphique lissé des effectifs journaliers d'anguilles capturées en fonction de la température de l'eau. 84
Annexe 5 : Graphique lissé des effectifs journaliers d'individus de l'année capturés en fonction de la température de l'eau. 84
Annexe 6 : Graphique lissé des effectifs journaliers d'anguillettes capturées en fonction de la température de l'eau. 85

STRUCTURE D'ACCUEIL : ASSOCIATION SEINE NORMANDIE-NORD MIGRATEURS

L'association migrateurs SEINORMIGR a été créée en 2007 sur l'initiative du Président de la Fédération de la Seine-Maritime pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA). Elle 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 responsable technique, un chargé d'études ainsi qu'un chargé d'études SIG. Depuis 2011, l'association siège en tant qu'invité permanent, et à titre consultatif, au Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (CoGePoMi) du bassin Seine-Normandie et contribue à la rédaction du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PlaGePoMi). Après 5 années d'activités, SEINORMIGR obtient en 2012 son agrément sur la région Haute-Normandie en qualité d'association de protection de l'environnement.

À 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 km^2, 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.

(SEINORMIGR, 2014)

INTRODUCTION

L'anguille européenne est longtemps apparue comme une espèce commune, représentative de l'ichtyofaune des milieux littoraux et des eaux continentales (Bruslé, 1994). Or, depuis le début des années 1980, l'abondance de l'anguille européenne a décliné de façon spectaculaire à travers toute son aire de répartition (Baisez & Lafaille, 2005 ; Chancerel, 1994 ; Dekker, 2000 ; ICES, 2014 ; Moriarty & Dekker, 1997). Auparavant considérée comme une espèce nuisible, cette diminution de l'abondance de l'anguille européenne (baisse de 3,4% par an depuis 1983 sur les stocks en place dans les stations de contrôle les plus favorables) a fait évoluer son statut (Imbert, 2008 ; PGA, 2010). En 1990, l'anguille européenne a donc été déclarée comme « espèce vulnérable » en France par le Ministère de l'environnement (UICN *et al.,* 2010). En 1999, le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) a reconnu l'espèce comme étant « en dehors de ses limites biologiques de sécurité » (Durif, 2003 ; Imbert, 2008). Après un minimum historique enregistré en 2001, le CIEM recommande l'année suivante l'adoption d'urgence d'un programme de reconstitution du stock d'anguille européenne. Ce programme vise à restaurer les habitats propices à l'espèce et à réduire l'exploitation de l'anguille sur tout son cycle de vie (ICES, 2002). Aujourd'hui, l'anguille européenne est considérée comme « espèce en danger critique d'extinction » sur le livre rouge des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) 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 (UICN *et al.,* 2010). Le règlement du Journal Officiel de l'Union Européenne, adopté le 18 septembre 2007, impose que chaque état membre mette en place d'ici 2009 des plans de gestion visant à reconstituer les stocks d'anguille européenne. La France met alors en place son premier plan de gestion anguille pour les années 2010 à 2015, instituant des mesures de réduction des mortalités anthropiques de la population d'anguille, et est accompagné de plans de gestion locaux par unité de gestion anguille (U.G.A) (PGA, 2010).

L'U.G.A Seine-Normandie se compose de deux grands ensembles : le bassin de la Seine et l'arc normand. Sur les 70 000 km de cours d'eau que compte le bassin Seine-Normandie, les obstacles pouvant affecter la migration des anguilles sont multiples. Le barrage de Poses, situé à 160 km depuis la limite transversale de la mer, représente le premier obstacle à la montaison des anguilles sur la Seine. En effet, les densités observées à l'aval des affluents estuariens de la Seine sont relativement élevées (138 ind./100 m^2 sur l'Austreberthe ; 42 ind./100 m^2 sur l'Andelle ; 23 ind./100 m^2 sur la Risle ; Garot, 2012), tandis qu'à l'amont du barrage, une chute de densité est particulièrement marquée, confirmant les difficultés de franchissement de cet obstacle pour

l'espèce (PGA, 2010). Afin d'assurer la franchissabilité de l'ouvrage par l'anguille européenne en montaison, une rampe de reptation spécifique à l'espèce a été installée en 2013 sur le seul dispositif de franchissement déjà présent en rive gauche.

Dans un contexte de reconstitution du stock d'anguilles européennes instituée par le plan de gestion anguille, et afin d'améliorer la collecte et la disponibilité des données de suivi et d'évaluation du stock sur le Seine, la problématique de cette étude est donc :
Le dispositif de franchissement des anguilles sur la Seine à Poses est-il fonctionnel ? Sur les plans qualitatifs et quantitatifs, quel est le recrutement de la Seine en anguille européenne ?

Pour cela, les objectifs de cette deuxième année d'étude sur le dispositif de montaison des anguilles sur la Seine à Poses sont de tester la fonctionnalité du dispositif de franchissement ; estimer partiellement le recrutement de la Seine en anguille européenne sur le plan qualitatif et quantitatif, en attendant le second dispositif complémentaire en rive droite ; suivre l'évolution de l'activité migratrice de l'espèce et identifier les pics de migration ; évaluer l'effet potentiel des facteurs environnementaux sur la migration de l'espèce. L'évaluation de l'efficacité du dispositif de franchissement sera également complétée par un suivi de la migration sur 24 heures et par une estimation du taux d'efficacité de la rampe par un processus de capture-marquage-recapture.

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA PREMIÈRE PARTIE

- Le genre *Anguilla* compte 15 espèces dans le monde
- L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) et l'anguille américaine (*Anguilla rostrata*) ont élu domicile dans l'Atlantique Nord
- L'anguille présente un squelette complétement ossifié au corps cylindrique dans sa partie antérieure et aplati latéralement dans la région caudale
- L'aire de répartition de l'espèce est très vaste : le long de la côte ouest du continent européen, au nord-ouest du continent africain, dans le bassin méditerranéen ainsi qu'en Islande
- L'anguille se reproduit en Mer des Sargasses de mars à juillet
- Quatre stades sont définis chez l'anguille ainsi que deux métamorphoses
- À l'éclosion, les **larves leptocéphales** sont entrainées par les courants chauds de l'océan Atlantique et abordent les côtes européennes et nord africaines au bout de 7 mois à 2 ans sur près de 6000 km
- Aux abords du talus continental, les larves se métamorphosent en **civelles**
- Les civelles entament une migration portée puis nagée dans les estuaires entre janvier et avril en région méditerranéenne
- Les civelles se pigmentent pour devenir des anguillettes puis des **anguilles jaunes**, stade caractérisé par une phase de croissance essentiellement sédentaire
- Les mâles restent en majorité de 3 à 9 ans dans les eaux continentales tandis que les femelles restent de 5 à 18 ans
- La préparation à la migration de reproduction entraine la deuxième métamorphose des anguilles jaunes en **anguilles argentées** au printemps
- L'anguille présente des intérêts sur les plans ichtyologique, écologique et économique
- Le réchauffement climatique, les xénobiotiques et métaux lourds, la perte des habitats spécifiques, les parasitoses, bactérioses et mycoses, la prédation naturelle, les entraves à la libre circulation ainsi que la surpêches sont les principales menaces sur l'espèce

PARTIE 1 _ L'ANGUILLE EUROPÉENNE

I. Présentation de l'espèce

1. Classification

L'anguille est un poisson qui fait partie de la classe des Ostéichthyens et qui appartient au superordre des Elopomorphes, un taxon de Téléostéens phylogénétiquement anciens (*Figure 1* ; Durif, 2003 ; Edeline, 2005 ; Imbert 2008).

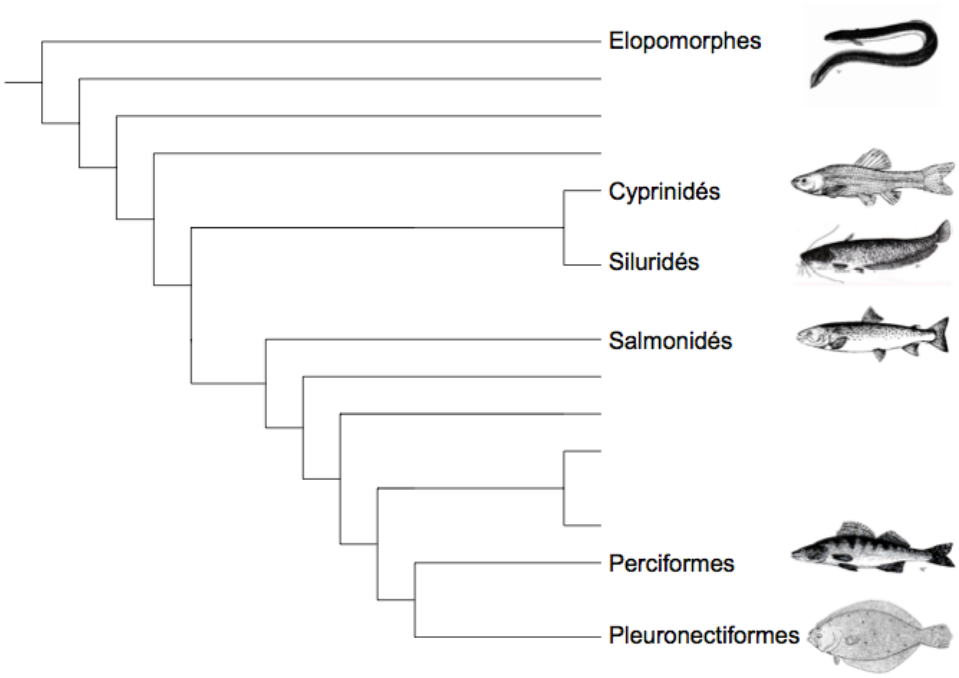


Fig. 1 : Phylogénie simplifiée des Téléostéens, montrant la position relative des Elopomorphes vis à vis d'autres groupes importants, d'après Rousseau (2000)

Selon la classification phylogénétique des Téléostéens, l'anguille se trouve dans l'ordre des Anguilliformes :

- Teleostei
  - Osteoglossomorpha
  - Elopocephala
    - Elopomorpha
      - Elopiformes
        - Albuliformes
        - Anguilliformes
          - Anguillidae

Les Elopomorphes sont principalement marins et sont caractérisés par une phase larvaire dite leptocéphale (Hulet & Robins, 1989 ; Pfeiler, 1999). Dans l'ordre des Anguilliformes (les anguilles vraies,), le genre *Anguilla* compte 15 espèces dans le monde, réparties dans tous les océans, excepté l'atlantique sud (Ege, 1939 ; Tsukamoto & Aoyama 1998). Toutes les espèces ont un cycle biologique similaire (Edeline, 2005).

2. Diversité

Le genre *Anguilla*, dont le berceau se situe dans la zone pacifique ouest, compte 15 espèces dans le monde, bien que ce chiffre soit variable selon les auteurs (Bruslé, 1994 ; Gibrat & Nielsen, 1985 ; Lecomte-Finiger, 1983 ; Lelarge, 1970). Sur ces 15 espèces, deux ont élu domicile dans l'Atlantique Nord : l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) et l'anguille américaine (*Anguilla rostrata*) (*Figure 2*).

Fig. 2 : À gauche : anguille européenne (*Anguilla anguilla*) ; à droite : anguille américaine (*Anguilla rostrata*) (©ARKIVE)

La première, bien que génétiquement différente de la seconde, ne diffère physiquement très peu de l'anguille américaine que par son nombre supérieur de vertèbres. L'anguille européenne vient coloniser les façades est de l'Islande à l'Afrique du Nord, tandis que l'anguille américaine colonise la façade ouest de l'Amérique du Nord jusqu'au Groenland. Les aires de reproduction de ces deux espèces se superposent, au moins partiellement, dans la mer des Sargasses (McCleave *et al.,* 1987).

Étroitement apparentées, elles sont par contre plus différentes des trois autres espèces qui se trouvent dans les régions tempérées ou subtropicales (*A. japonica* ; *A. dieffenbachii* ; *A. australis),* ainsi que de la dizaine d'espèces, moins étudiées, qui se trouvent dans les régions tropicales (Ege, 1939 *in* Imbert 2008).

3. Description

Le terme anguille vient du latin *anguis* qui signifie serpent (Durif, 2003). L'anguille présente un squelette complétement ossifié au corps cylindrique dans sa partie antérieure et aplati latéralement dans la région caudale (*Figure 3*). Les écailles, qui apparaissent à partir de 15-20 cm, sont petites, non recouvrantes et profondément incrustées dans le derme. La peau des anguilles est épaisse et recouverte d'un mucus abondant favorisant la reptation. Les nageoires dorsale, caudale et anale sont fusionnées en une nageoire impaire unique, allant de l'anus au milieu du dos, à mi-distance entre l'aplomb de l'anus et de l'opercule. Ainsi, les nageoires impaires forment une lame continue sur le dos et sur la queue. Les nageoires pelviennes sont absentes et les nageoires pectorales sont en arrière des branchies. L'anguille possède 110 à 120 vertèbres. Sa lèvre inférieure est débordante. Quatre stades sont définis ainsi que deux métamorphoses : larve leptocéphale ; métamorphose de larve en civelle ; anguille jaune ; métamorphose d'anguille jaune en anguille argentée.

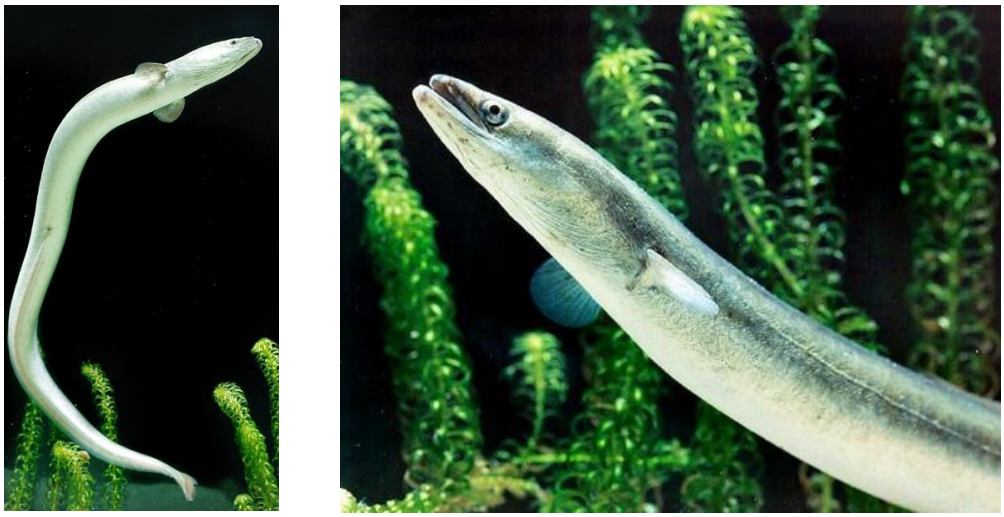


Fig. 3 : Anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) (©MAZZA)

La larve leptocéphale, comprise entre 5 et 90 mm, est en forme de feuille de saule (*Figure 4*). Elle a longtemps été considérée comme une espèce à part entière (*Leptocephalus brevirostris).*

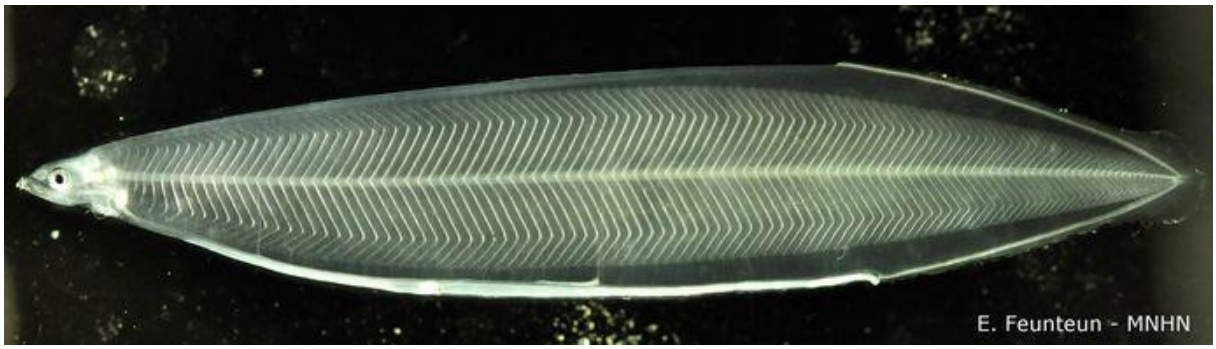


Fig. 4 : Larve leptocéphale (©FEUNTEUN)

Après une première métamorphose, la larve se transforme en civelle (*Figure 5*), comprise entre 55 et 90 mm. Elle est transparente et le corps perd environ 1/8 de sa longueur.

Fig. 5 : Civelles (©SEINORMIGR)

Après pigmentation en quelques semaines, la civelle se transforme en anguille jaune, caractérisée par un ventre jaune, un dos vert à brun olive, de petits yeux et une ligné latérale peu visible. Avant la dévalaison, l'anguille jaune subit sa deuxième métamorphose et devient argentée (*Figure 6*), caractérisée par une peau épaisse, un ventre blanc, un dos sombre, un volume oculaire qui a quadruplé et une ligne latérale bien visible (Garot, 2014).

Fig. 6 : Anguille jaune en haut ; anguille argentée en bas (©GAROT – SEINORMIGR)

II. Aire de répartition

L'aire de répartition de l'anguille européenne est très vaste. Les anguilles européennes sont distribuées le long de la côte ouest du continent européen, au nord-ouest du continent africain, dans le bassin méditerranéen ainsi qu'en Islande (Adam *et al.,* 2008 ; Imbert, 2008) (*Figure 7*).

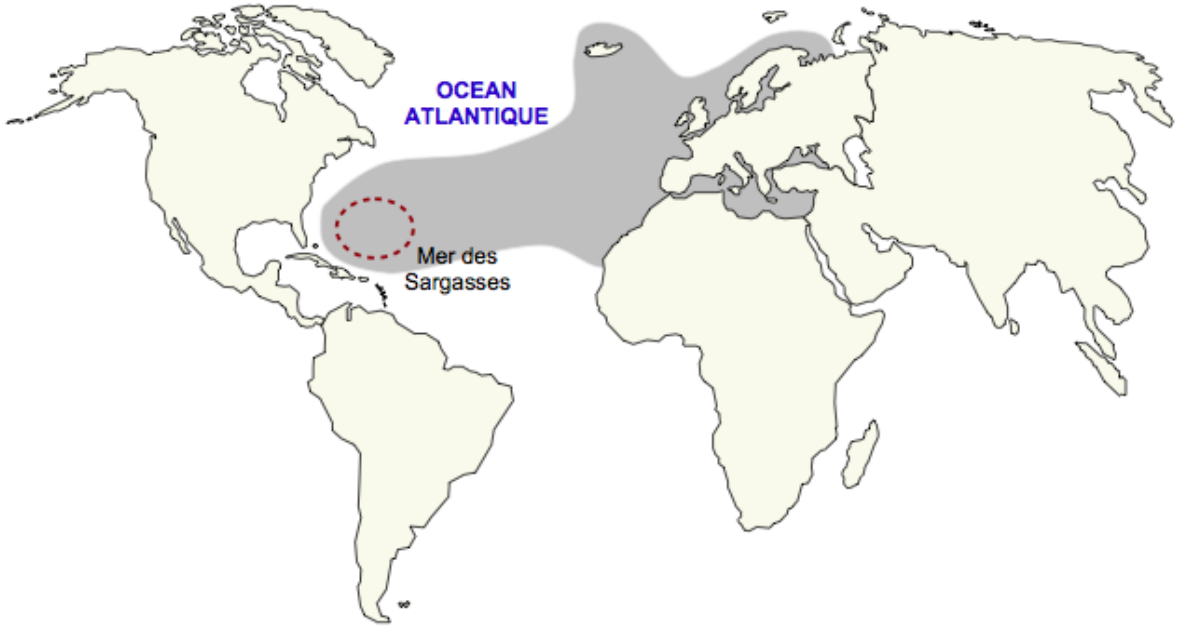


Fig. 7 : Aire de répartition de l'anguille européenne. La zone de reproduction est représentée en rouge. (Imbert, 2008)

L'anguille, espèce opportuniste et ubiquiste (Alamelle *et al.,* 2011), est caractérisée par la grande diversité des sites colonisés : depuis les eaux froides de l'Islande et de la Scandinavie jusqu'aux eaux tempérées des côtes marocaines, colonisant aussi bien les eaux purement marines et les eaux saumâtres lagunaires et estuariennes que les eaux douces fluviatiles, et à des altitudes pouvant aller jusqu'à 1000 mètres (Deelder, 1985 books).

III. Biologie de l'espèce

Le cycle vital de l'anguille (*Figure 8*), long et complexe, est encore caractérisé par de nombreuses incertitudes (Adam *et al.,* 2008 ; Durif, 2003 ; Imbert, 2008). La reproduction naturelle n'a jamais été observée et aucun œuf ou adulte n'ont été capturés dans l'aire de frai présumée (Nilo et & Fortin, 2001). Espèce vraisemblablement semelpare (une seule reproduction au cours de son cycle de vie) et panmictique (population où tous les individus peuvent se croiser au hasard)

(Crivelli, 1998 ; Schmidt, 1922 *in* Alamelle et al., 2011), l'anguille se reproduit en Mer des Sargasses de mars à juillet (Adam *et al.,* 2008).

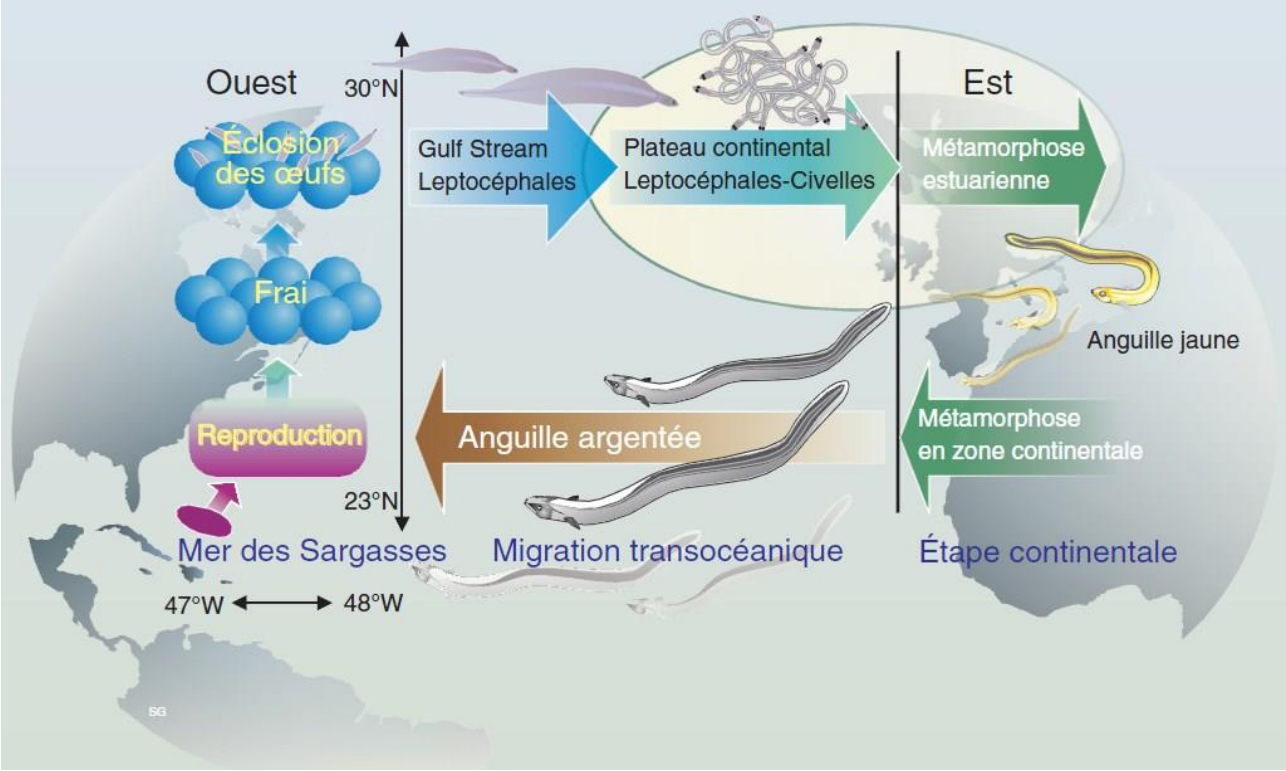


Fig. 8 : Cycle biologique de l'anguille européenne (dessin : S. Gros, Ifremer, projet Indicang – Adapté de Schmidt, 1922 et Mc Cleave, 1985)

À l'éclosion, les larves leptocéphales de forme plate sont entrainées par les courants chauds de l'océan Atlantique (courant du Gulf Stream) et abordent les côtes européennes et nord africaines après une migration de 7 mois à 2 ans sur près de 6000 km (Lecomte-Finiger, 1994 *in* Alamelle *et al.,* 2011).

Aux abords du talus continental, les larves se métamorphosent en civelles (anguilles non totalement pigmentées). Le corps passe d'une forme en feuille de saule à une forme cylindrique en section transversale. Après une courte phase de stabulation dans la zone littorale, les civelles entament une migration portée puis nagée dans les estuaires entre janvier et avril en région méditerranéenne (Lefebvre *et al.,* 2003). Afin de poursuivre leur progression, les civelles doivent nager contre les courants fluviaux (Gascuel, 1986). À ce stade, le moindre obstacle induit un très fort retard dans leur migration et augmente le taux de prédation et de mortalité du fait d'une forte concentration au pied des ouvrages. C'est pourquoi une faible proportion d'environ 20% survit à ce stade (Briand et al., 2005 ; Garot, 2014).

La métamorphose se continue jusqu'au stade anguillette (pigmentation généralisée). Les anguillettes poursuivent leur migration vers l'amont en colonisant les hydrosystèmes continentaux accessibles.

Elles vont ensuite atteindre le stade appelé anguille jaune, caractérisé par une phase de croissance essentiellement sédentaire (Alamelle *et al.,* 2011). Elles resteront en eau douce pour la plupart jusqu'au début de leur maturation sexuelle, qui survient à partir d'une taille de l'ordre de 30 cm pour les mâles et de 45 cm pour les femelles (Alamelle *et al.,* 2011 ; Durif, 2003 ; Garot, 2014). Les mâles restent en majorité de 3 à 9 ans (20 à 45 cm ; 20 à 150 grammes) dans les eaux continentales tandis que les femelles restent de 5 à 18 ans (35 à 100 cm ; 60 à 2100 grammes).
La préparation à la migration de reproduction entraine la métamorphose des anguilles jaunes en anguilles argentées au printemps. De nombreux changements physiologiques et morphologiques sont alors constatés. Les taux de graisses augmentent, le dos noircit, la tête et les nageoires s'allongent, les yeux grandissent et la pigmentation rétinienne évolue pour devenir efficace dans les luminosités restreintes. La dévalaison intervient dès la fin de l'été, lors du rafraichissement des eaux aux alentours de 9°C, et le plus souvent en automne à l'occasion d'importants mouvements d'eau comme les crues (Rigaud *et al.,* 2008). Les anguilles argentées regagnent alors la mer des Sargasses pour s'y reproduire en se laissant porter par les courants. On suppose que les anguilles partent en profondeur vers l'ouest (Garot, 2014).

IV. Intérêts de l'espèce

Sur le plan ichtyologique, l'anguille est l'une des espèces occupant la plus grande diversité d'habitats au sein du territoire français, susceptible de coloniser tous les milieux accessibles depuis la mer (Baisez & Lafaille, 2005). Plus des trois quarts du territoire français seraient ainsi potentiellement utilisables par l'espèce (Chancerel, 1994).
Au niveau écologique, l'anguille européenne représente un excellent « bio-intégrateur » de la qualité de l'environnement (Feunteun, 2002). Sa présence dans un cours d'eau indique l'existence et l'accessibilité d'habitats diversifiés, mais également une bonne qualité physico-chimique de l'eau, l'espèce étant particulièrement sensible aux pollutions diffuses (Baisez & Lafaille, 2005). En outre, l'anguille est une espèce bioaccumulatrice, notamment vis à vis des PCB stockés dans les réserves lipidiques durant sa croissance continentale. Ceux-ci vont venir bloquer la mobilisation lipidique de l'anguille argentée au moment de sa migration transatlantique (Robinet & Feunteun, 2002). L'anguille constitue ainsi une espèce de référence pour la surveillance de la qualité des eaux (Buet *et al.,* 2006 ; Van der Oost *et al.,* 1996).
Au delà de son intérêt écologique, l'anguille représente également une grande ressource économique. En effet, l'anguille est un poisson très prisé pour sa chair qui fait l'objet d'une pêcherie importante. Tous ses stades biologiques continentaux (civelle, anguillette, anguilles jaune et argentée) sont exploités. En France, cette espèce intéresse environ 2 millions de pêcheurs amateurs dont près de 7000 aux engins. La civelle est majoritairement exportée vers

l'Asie pour les élevages de grossissement tandis que les subadultes sont destinées au marché local ou national (Baisez & Lafaille, 2005 ; Dekker, 2000 ; Durif, 2003 ; Imbert 2008).

V. Menaces sur l'espèce

Le cycle biologique complexe de l'anguille la rend vulnérable à des menaces à la fois marines et continentales selon le stade de sa vie. L'effet boule de neige de la disparition qualitative et quantitative des géniteurs, combiné à la longueur du cycle biologique (certaines anguilles vivant plus de 40 ans) font que les conséquences d'une diminution des civelles mettront plusieurs années, voire des dizaines d'années, à se répercuter sur les adultes (Imbert, 2008). Les causes principales du déclin de l'espèce sont multiples et agissent le plus souvent en synergie (Bruslé, 1994 ; Castonguay *et al.,* 1994 ; Dekker, 1998 ; Feunteun, 2002 ; Haro *et al.,* 2000 ; Knigths *et al.,* 1996 ; Moriarty, 1986 ; Moriarty & Dekker, 1997 ; Robinet & Feunteun, 2002).

1. Les changements globaux

Le réchauffement climatique ayant une incidence sur les courants océaniques tel que le Gulf Stream, provoquerait une déviation (Knights *et al.,* 1996 ; White & Knights, 1994) qui entrainerait les larves vers des eaux plus froides non propices à leur développement (Imbert, 2008). Ceci engendrerait alors une diminution de la survie des stades larvaires (Bonhommeau *et al.,* 2008 ; Castonguay *et al.,* 1994 ; Dekker, 1998 ; Désaunay & Guérault, 1997), bien qu'une analyse de la relation stock/recrutement à l'échelle du stock de l'anguille européenne laisse à penser que le facteur climatique seul ne pourrait pas être à l'origine de la chute du stock de l'espèce (Dekker, 2004).

2. L'altération de la qualité de l'eau

Des études de plus en plus nombreuses s'intéressent à la présence et à l'impact des xénobiotiques, molécules créées par l'industrie chimique et les activités humaines industrielles telles que les pesticides, herbicides, retardateurs de flamme ou encore les polychlorobiphényles (PCB), auxquels s'ajoutent les métaux lourds présents à des taux anormalement élevés dans certaines zones (par exemple Bordajandi *et al.,* 2003 ; Branchi *et al.,* 2003 ; De Boer *et al.,* 1994 ; De Boer & Hagel, 1994 ; Knights, 1997 ; Moreau & Barbeau, 1982 ; Morris *et al.,* 2004 ; Robinet & Feunteun, 2002, Santillo *et al.,* 2006 ; Tapie *et al.,* 2006 ; Yamaguchi *et al.,* 2003).
En raison de la durée de vie de sa phase continentale de croissance, de son statut de carnassier, de son comportement benthique et de la forte accumulation de graisses précédant l'apparition

de l'argenture, l'anguille est malheureusement très exposée et fortement susceptible d'accumuler ces produits (Robinet & Feunteun, 2002). La diminution de ses capacités reproductrices et/ou migratoires et/ou de résistance est fortement suspectée sous l'effet de ces différents polluants présents dans la majorité des milieux aquatiques continentaux (Bruslé, 1994 ; Couillard *et al.,* 1997 ; Hodson *et al.,* 1993).

3. La perte des habitats spécifiques

Les anguilles jaunes sont particulièrement sensibles à la perte de leur habitat suite à la canalisation des cours d'eau et au drainage des zones humides. Ces aménagements de cours d'eau et de leur annexes hydrauliques ont entrainés une réduction particulièrement importante des habitats disponibles pour l'espèce (Feunteun, 2002 ; Imbert, 2008 ; Lafaille *et al.,* 2004, Lasne *et al.,* 2008).

En 2002, d'après le rapport du groupe de travail sur les anguilles, Working Group on Eels (ACFM, 2002), plus de la moitié des zones humides ont disparus ou ont fortement été dégradées au cours des 20 dernières années en Europe. Ces zones représentaient des habitats privilégiés pour les anguilles. Le déclin du stock coïncide d'ailleurs avec la période durant laquelle la détérioration de ces habitats fut la plus importante (ACFM, 2001).

4. Les pathologies

Les parasitoses, bactérioses et mycoses sont d'une manière générale révélatrices d'une dégradation de l'état de santé de l'anguille, tandis que certaines parasites (*Anguillicola crassus, Pseudodactylogyrus sp.*) et virus (Evex, Herpès Virus) sont potentiellement susceptibles de compromettre directement le succès reproducteur (Garot, 2014).

De multiples agents pathogènes peuvent interférer dans la dynamique de l'espèce (Bruslé, 1994 ; Vigier, 1990). L'anguillicolose apparaît comme l'une des parasitoses les plus problématiques de ces dernières années. En effet, au début des années 1980, le parasite *Anguillicola crassus,* responsable de l'anguillicolose, a été introduit dans nos milieux à la suite d'importations d'anguilles japonaises (*Anguilli japonica*) en Méditerranée (Peters & Hartmann, 1986).

La présence de ce nématode provoque des lésions dans la vessie gazeuse des anguilles dans laquelle il se reproduit. Ces lésions sont induites soit par les parasites adultes qui, hématophages, se nourrissent de sang à partir des capillaires sanguins qui irriguent la paroi de la vessie, soit par le passage des larves à travers la paroi qui, après ingestion d'hôtes intermédiaires (zooplancton, petits poissons), vont à leur tour migrer vers la vessie natatoire voire s'enkyster pour s'y transformer ensuite en adulte (Lefebvre *et al.,* 2003). Après plusieurs

infestations successives, la paroi de la vessie natatoire perd progressivement son élasticité et sa souplesse, la rendant alors moins fonctionnelle pour assurer l'équilibre hydrostatique lors de la migration marine de l'anguille vers la mer des Sargasses (Möller *et al.,* 1991). Adam *et al.* (2008) estiment que 15 à 20% des anguilles argentées qui quittent le bassin versant de la Loire présentent une dégradation de la vessie gazeuse telle que leur migration vers les Sargasses est quasiment impossible.

5. La prédation naturelle

Le réel niveau de prédation aviaire exercé par les espèces piscivores tels que les hérons et les cormorans (*Figure 9*) fait encore débat aujourd'hui, notamment entre les associations pour la pêche et la protection du milieu aquatique et les associations de protection des oiseaux. De part leur statut d'espèces protégées, la prédation naturelle de ces deux populations tend à augmenter (Imbert, 2008). Cependant, quel que soit ce niveau de prédation et la potentielle contribution de ces oiseaux au déclin constaté de l'anguille européenne, les cormorans font à ce jour l'objet de campagnes de régulation par arrêtés préfectoraux.

Fig. 9 : Grands Cormoran se nourrissant d'anguilles (©AUSTIN à gauche ; ©ARKIVE à droite)

La concentration massive d'espèces piscicoles, et notamment fourrages, au pied des grands obstacles fluviaux est sans doute à l'origine de la prolifération des grands cormorans. La prédation que ces derniers exercent sur les anguilles est d'autant plus spectaculaire aux abords des points de passage aménagés telles que les passes à poissons et en particulier au pied des rampes à anguillettes (Garot, 2014).

En outre, ce phénomène de prédation au pied des ouvrages est également observable pour certaines espèces de grand prédateur piscicole tel que le Silure glane (*Silurus glanis*), souvent pointé du doigt pour la prédation qu'il exercerait sur l'anguille, mais également sur d'autres

espèces piscicoles telles que la lamproie marine, la grande alose ou encore le saumon atlantique (Carry & Delpeyroux, 2013 ; Garot, 2014).

6. Les entraves à la libre circulation (montaison et dévalaison)

Les nombreux obstacles à l'écoulement, dressés à des fins de navigation et/ou de production électrique, sont à ce jour systématiquement dénoncés comme étant responsables du déclin et/ou de l'extinction des stocks continentaux locaux en Europe d'anguille européennes (Chancerel, 1994 ; Feunteun *et al.,* 1992 ; Haro *et al.,* 2000 ; Lafaille *et al.,* 2007 ; Lasne & Lafaille, 2008 ; Legault & Porcher, 1989 ; Moriarty & Dekker, 1997), et plus généralement d'espèces amphihalines. Ces obstructions à la libre circulation réduisent plus ou moins, voire suppriment, toute connectivité longitudinale des hydrosystèmes et donc l'accessibilité aux habitats situés plus en amont, parfois même dès la zone estuarienne, vis à vis des jeunes anguilles migrantes qui arrivent de la mer. Ainsi, la densité et le degré de perméabilité de ces obstacles agissent directement sur les caractéristiques (effectif, sex-ratio) du futur stock de géniteurs (McCleave, 2001 ; Moriarty & Dekker, 1997). À cela s'ajoute une mortalité indirecte sur les concentrations d'anguilles au pied des ouvrages (Lafaille *et al.,* 2004) avec les différentes prédations qui lui sont associées (Briand *et al.,* 2005 ; Voegtlé & Larinier, 2000).
Si les anguillettes en montaison, et les anguilles jaunes au sens large sont impactées par la présence de seuils et de barrages entravant la libre circulation vers l'amont des bassins versants, les anguilles argentées sont quant à elles victimes des turbines des centrales hydroélectriques (*Figure 10*) lors de leur migration de dévalaison vers la mer, pouvant induire de forts taux de mortalité et ainsi rompre définitivement la dynamique de migration génésique de l'espèce (Winter *et al.,* 2006).

Fig. 10 : Anguilles argentées tuées lors de leur migration de dévalaison (©TRUST)

7. La surpêche

Les principales victimes de la surpêche sont les civelles (excepté en Méditerranée). Leur pêche en France ne représentait pas moins de 97% des effectifs capturés en Europe en 1993 (ACFM, 1998). En outre, en raison de leur prix élevé sur les marchés internationaux, elles demeurent la cible d'opérations massives de braconnage sur toutes les façades de l'Hexagone (Manche et Atlantique).

Parallèlement, l'exploitation des anguilles jaunes à plus ou moins grande échelles à tendance à réduire les stocks locaux et donc la production d'anguilles argentées qui en découle (Dekker, 2004), et ce d'autant plus que sur certaines bassins la pêche d'anguille d'avalaison est encore autorisée, notamment sur le bassin de la Loire (Garot, 2014).

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA DEUXIÈME PARTIE

- Le bassin Seine-Normandie possède une superficie d'environ 97 000 km²
- Le bassin versant de la Seine représente 82,5% du bassin Seine-Normandie, soit 78 000 km²
- Le réseau hydrographique est composé de deux grands ensembles : le bassin de la Seine et l'ensemble « arc normand »
- Sur le bassin Seine-Normandie, l'état écologique des cours d'eau s'avère être globalement moyen
- Les ouvrages hydrauliques dans le bassin Seine-Normandie sont estimés à environ 8000 et ont un impact considérable sur les possibilités de migration
- Le plan de gestion anguille vise à réduire la mortalité anthropique afin d'assurer avec une grande probabilité un taux d'échappement vers la mer d'au moins 40% de la biomasse d'anguilles argentées
- Le plan de gestion anguille se compose d'un volet national mais également de volets par unité de gestion anguille (U.G.A), plus détaillés
- La concrétisation des points de mesures spécifiques du volet national se décline en 3 études majeures à l'échelle du bassin Seine-Normandie : l'encadrement de la pêche professionnelles et les opérations de repeuplement, la mise en conformité des ouvrages prioritaires, le monitoring

I. Description hydrographique du bassin Seine-Normandie

1. Présentation du bassin

D'une superficie de près de 97 000 km², soit environ 18% du territoire français, le bassin hydrographique Seine-Normandie s'étend sur 9 régions, 25 départements et regroupe plus de 18 millions d'habitants (*Figure 11*). Il se compose de 55 000 km de linéaire de cours d'eau et plus de 600 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.

Le réseau hydrographique est constitué de deux grands ensembles : le bassin de la Seine et l'ensemble « arc normand » constitué des cours d'eau côtiers ainsi que des affluents de l'estuaire de la Seine, de la Sélune en Basse-Normandie à la Bresle en Haute-Normandie.

Sur la trentaine d'exutoires principaux du littoral normand, il ne reste qu'une dizaine de véritables estuaires dont les principaux sont les baies du Mont Saint-Michel, des Veys, l'Orne et l'ensemble Seine-Risle (COGEPOMI, 2011).

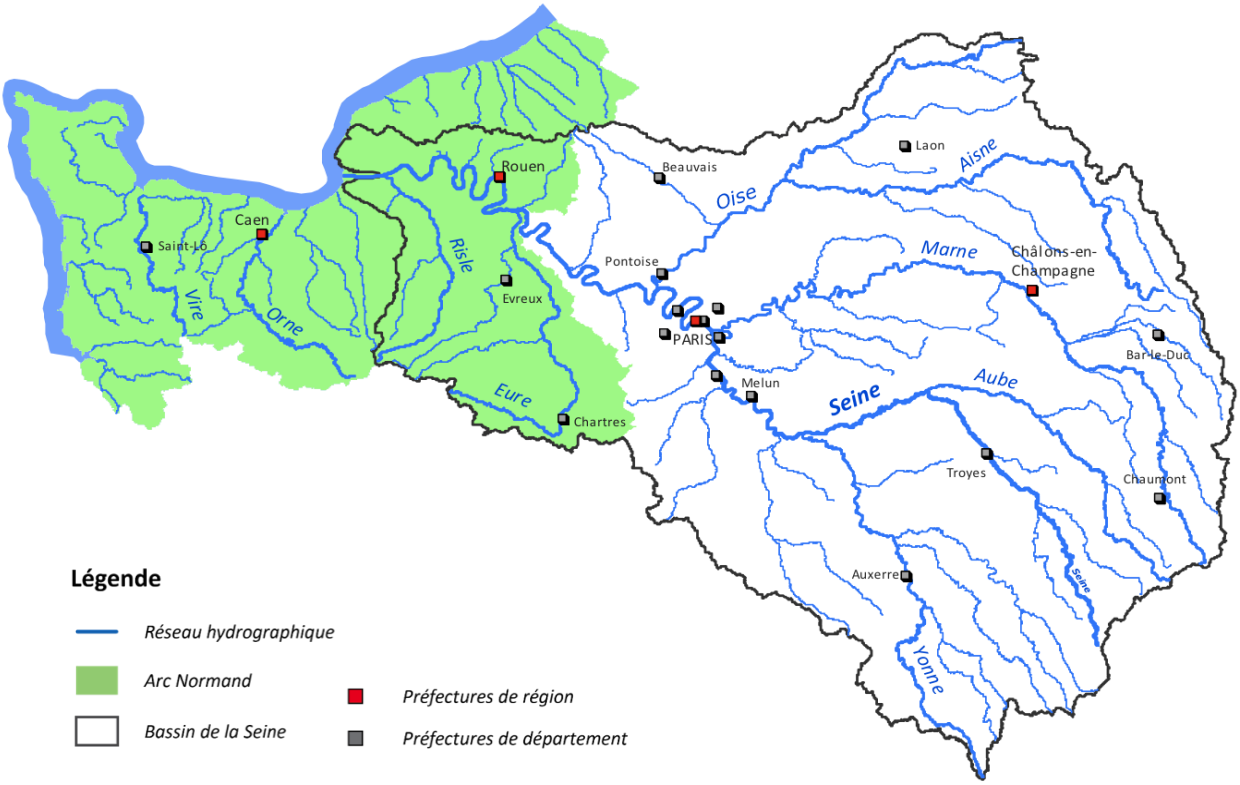


Fig. 11 : Bassin hydrographique Seine-Normandie

2. Qualité de l'eau du bassin

En application de la directive cadre-européenne sur l'eau (DCE), des objectifs environnementaux sont définis sur l'ensemble des milieux aquatiques. Ils concernent principalement l'atteinte du bon état écologique et chimique en 2015 et la non dégradation de l'existant. Le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) vise comme objectif d'atteindre le bon état écologique pour 2/3 des masses d'eau de surface.
Sur le bassin Seine-Normandie, l'état écologique des cours d'eau (hors polluants spécifiques) s'avère être globalement moyen. Les zones les plus impactées se situent au centre du bassin. Les cours d'eau en bon (25,4% du linéaire) voire très bon état écologique (1,7% du linéaire) se trouvent en tête du bassin et au niveau des fleuves côtiers normands. En ce qui concerne les masses d'eau côtières et de transition, mis à part l'estuaire de la Seine, elles ont atteint un bon ou très bon état écologique (COGEPOMI, 2011).

3. Continuité écologique du bassin

La liberté de déplacement au sein du réseau fluvial constitue le facteur primordial vis à vis des possibilité d'accessibilité des zones de production des grands migrateurs. Le nombre d'ouvrages hydrauliques dans le bassin Seine-Normandie est estimé à environ 8000, dont une très faible proportion a encore un usage économique aujourd'hui. Bien que la majeure partie des ouvrages du bassin présente des hauteurs de chute pouvant être considérées comme « faibles » au regard de l'usage hydroélectrique, ces ouvrages ont un impact considérable sur les possibilités de migration. En effet, dès 0,5 mètre les obstacles sont infranchissables par les aloses et les lamproies, et au-delà de 1 mètre, les capacités migratoires des salmonidés sont fortement réduites. Par ailleurs, même équipés de dispositifs de franchissement, le cumul des obstacles sur un même linéaire induit, à la montaison, un retard de migration allant jusqu'à compromettre la reproduction, et à la dévalaison, un impact cumulé des dommages directs et indirects. Une étude de l'ONEMA met ainsi en évidence que le risque de non évitement des turbines par les anguilles en dévalaison est quasi généralisé dans la Zone d'Action Prioritaire 1 du bassin Seine-Normandie (COGEPOMI, 2011).

II. Le plan de gestion anguille

Le règlement européen R(CE) n° 1100/2007 du 18 septembre 2007 concernant la reconstitution du stock d'anguilles européennes est un règlement ambitieux mais justifié par l'état de cette population qui connaît un effondrement depuis plus de trente ans (PGA, 2010).

1. Volet national

   a. Objectif(s)

Le principal objectif cité dans l'article 2.4 est le suivant : « *l'objectif de chaque plan de gestion est de réduire la mortalité anthropique afin d'assurer avec une grande probabilité un taux d'échappement vers la mer d'au moins 40% de la biomasse d'anguilles argentées, correspondant à la meilleure estimation possible du taux d'échappement qui aurait été observé si le stock n'avait subi aucune influence anthropique. Le plan de gestion des anguilles s'est établi dans le but de réaliser cet objectif à long terme* ».
Afin d'assurer un tel taux d'échappement, il serait nécessaire de réduire de 50% la mortalité par pêche et de 75% toutes les autres sources de mortalités anthropiques pour avoir une chance de reconstituer le stock (PGA, 2010).

   b. Mesures

Le plan de gestion français s'inscrit dans l'objectif de reconstituer la population d'anguilles fixé par le règlement européen. Les mesures spécifiques visent en particulier (Vecchio & Roussel, 2010) :

- La pêche
  L'instauration de quotas de captures de civelles sur la côte Manche-Atlantique, l'encadrement renforcé de la pêche de l'anguille jaune et l'interdiction quasi-totale de la pêche de l'anguille argentée permettent une limitation des prélèvements.

- Les ouvrages
  La définition d'une zone d'actions prioritaires – permettant la prise en compte rapide des ouvrages les plus en aval – et les procédures de classement de cours d'eau imposent d'assurer la libre circulation tant à la montaison qu'à la dévalaison. L'accès aux zones de croissance et de reproduction de l'espèce sera ainsi favorisé.

- Le repeuplement
  Le transfert de civelles péchées vers des secteurs favorables afin qu'elles puissent y croître est une disposition expérimentale pouvant contribuer au rétablissement des stocks.

- Le suivi et l'évaluation

Le programme de monitoring mis en place permettra d'accroître les connaissances, d'évaluer l'efficacité des mesures et des les ajuster au besoin.

2. Volet local de l'unité de gestion Seine-Normandie

Le plan de gestion anguille se compose d'un volet national mais également de volets par unité de gestion anguille (U.G.A), plus détaillés. En France, le plan de gestion s'appuie sur dix U.G.A : Corse, Rhône-Méditerranée, Garonne, Adour, Loire, Bretagne, Rhin, Meuse, Artois-Picardie et enfin Seine-Normandie. La concrétisation des points de mesures spécifiques du volet national se décline en 3 études majeures à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

a. Encadrement de la pêche professionnelle et opérations de repeuplement

Une réduction de la mortalité par pêche, tant professionnelle que récréative, est instaurée au sein de chaque unité de gestion. En dehors de ces unités, la pêche à l'anguille est interdite.
Des mesures de limitation de l'effort de pêche de la civelle sont alors mises en place. Elles impliquent à la fois une limitation des prélèvements, un raccourcissement de la saison de pêche et une régulation des effectifs de pêcheurs. Alors que la pêche amateur de civelle est interdite, des quotas de capture sont mis en place pour la pêche professionnelle. Une partie de ce quota est destinée à la consommation et une autre au repeuplement, de manière à atteindre un objectif de 60% destiné au repeuplement depuis 2013. Ainsi, en ce qui concerne l'U.G.A Seine-Normandie, le quota de capture en 2013, 2014 et 2015 était respectivement de 1020 kg, 1275 kg et 2251 kg dont 60% destiné au repeuplement chaque année (765 kg en 2014 et 1351 kg en 2015 ; Conapped, 2015).
La pêche professionnelle et récréative de l'anguille jaune est également encadrée par des mesures allant du raccourcissement de la durée de la saison de pêche à 5 mois, à une régulation des effectifs de pêcheurs. Cependant, la pêche de l'anguille sur l'estuaire de la Seine est interdite du fait de la contamination de celles-ci par les PCB.
La pêche de l'anguille argentée est interdite sur le bassin Seine-Normandie dans les zones maritime et fluviale, pêches professionnelle et récréative confondues (Vecchio & Roussel, 2010).

Des opérations de repeuplement sont mises en œuvre chaque année depuis 2011 sur chaque U.G.A. En ce qui concerne l'U.G.A Seine-Normandie, les projets d'alevinages ont été portés par le Comité Régional des Pêches de Basse-Normandie (CRPBN) avec le soutien de l'Association pour le Repeuplement de l'Anguille (ARA) en France. Les sites de repeuplements choisis sont à ce jour (Garot, 2014):

- 2011 : le bassin de l'Aure et son principal affluent la Drôme (département du Calvados)
- 2012 : le bassin du Thar et ses affluents (département de la Manche)
- 2013 : la Calonne, affluent de la Touques (départements du Calvados et de la Manche)
- 2014 : le bassin du Cailly et son principal affluent la Clérette (département de la Seine-Maritime)

b. Mise en conformité des ouvrages prioritaires

Dans un contexte d'enjeu réglementaire européen, la mise en conformité des ouvrages hydroélectriques vise à réduire les mortalités d'origine anthropique des anguilles, dont celles liées au passage dans les turbines.
Les 52 équipements hydroélectriques identifiés en zone d'action prioritaire du bassin Seine-Normandie ont fait l'objet d'un diagnostic du risque de non évitement des turbines par les anguilles en dévalaison. En termes de référentiel, les descriptions des prises d'eau ont été comparées avec les recommandations du guide pour la conception de prises d'eau « ichtyocompatibles » pour les petites centrales hydroélectriques, publié en 2008 (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) ; Groupe Hydraulique Appliqué aux Aménagements Piscicoles et à la Protection de l'environnement (GHAAPPE)).
Sur les 42 équipements correspondant à des turbines en activités :

- 93% des prises d'eau étudiées possèdent des grilles trop espacées,
- 56% des prises d'eau étudiées possèdent des grilles à inclinaison défavorable,
- 56% des prises d'eau étudiées ne possèdent pas d'exutoire pour la dévalaison,
- 66% des exutoires sont insuffisamment alimentés.

Dans cette situation, le risque de non-évitement des turbines par les anguilles en dévalaison est donc quasi-généralisé dans la Zone d'Action Prioritaire 1 du bassin Seine-Normandie (Garot, 2014).

c. Monitoring

Le monitoring est considéré comme un des éléments essentiels au bon déroulement du plan de gestion anguille. Le programme de monitoring, confié à l'Association Migrateurs SEINORMIGR, a pour vocation d'estimer finement le stock d'anguilles jaunes en place, de suivre son évolution sur la durée du plan de gestion et dans la mesure du possible d'en révéler les caractéristiques et dynamiques de populations spécifiques aux cours d'eau présents sur l'U.G.A Seine-Normandie.
Le monitoring anguille s'articule autour d'un suivi renforcé de la Bresle, rivière index du bassin, et d'un suivi de plusieurs cours d'eau choisis comme zones d'actions prioritaires (*Figure 12*).

Afin de prioriser l'action de l'État sur les ouvrages, deux niveaux ont ainsi été introduits dans la zone de gestion prioritaire (Garot, 2011) :

- La Zone d'Action Prioritaire 1 (ZAP 1) : cours d'eau qui feront l'objet d'une programmation de travaux pendant les années 2010 à 2015.
- La Zone d'Action Prioritaire 2 (ZAP 2) : cours d'eau sur lesquels des actions devront être menées en fonctions des opportunités.

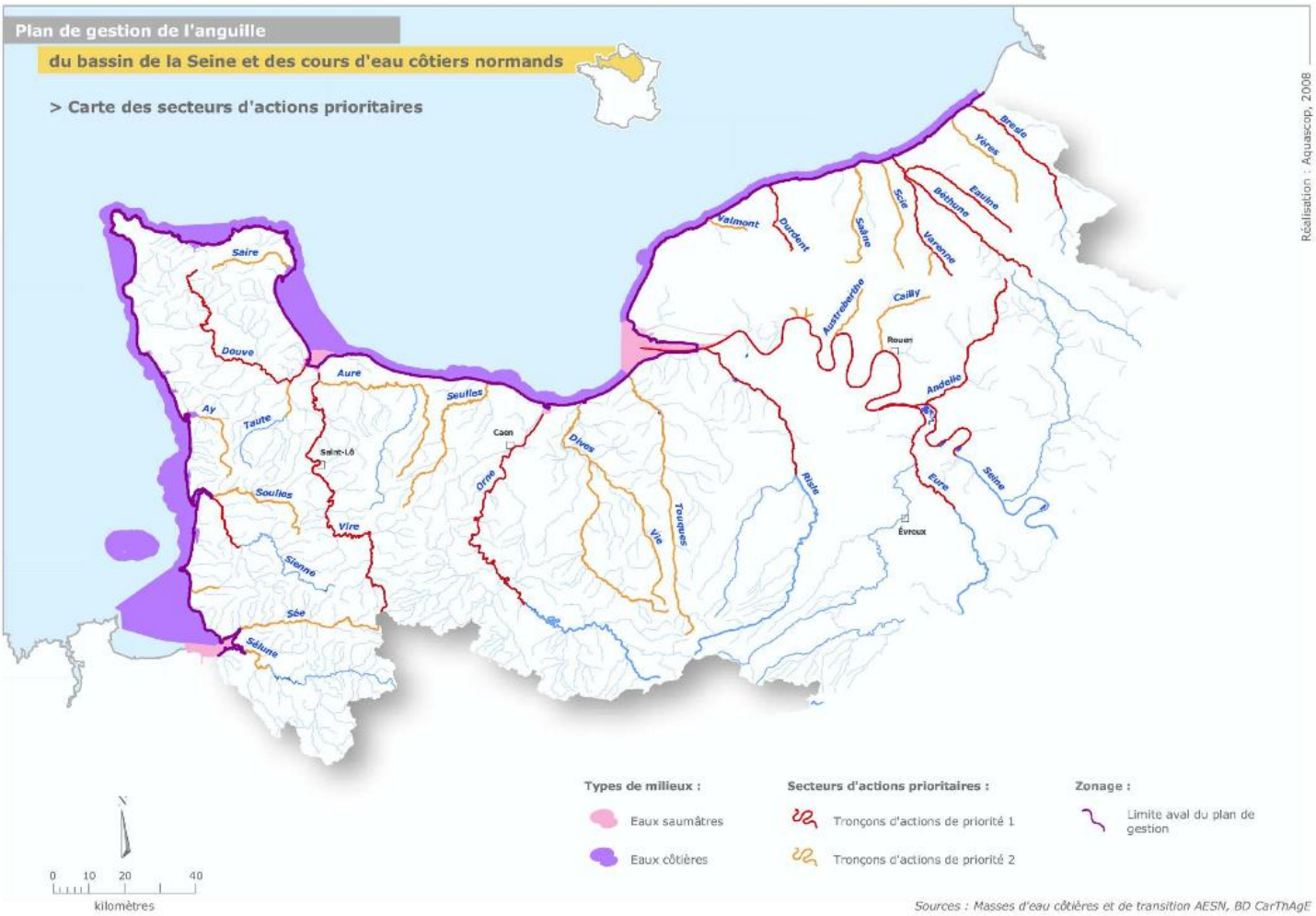


Fig. 12 : Carte des secteurs d'actions prioritaires (1 et 2) sur l'Unité de Gestion Anguille Seine-Normandie

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA TROISIÈME PARTIE

- Le barrage de Poses a été construit de 1878 à 1885 dans le département de l'Eure
- En rive gauche se trouve la commune de Poses et en rive droite la commune d'Amfreville-sous-les-Monts
- Il est situé à 160 km de l'embouchure et le pied de l'ouvrage matérialise la limite de la marée dynamique
- C'est le premier obstacle à la migration des poissons depuis la mer
- L'usine hydroélectrique HYDROWATT a été construite en 1991 sur le barrage
- Pour une mise en conformité de l'usine, une passe à poissons a été construite la même année
- C'est une passe à 23 bassins successifs, longue de 86 m
- Depuis 2007 la passe dispose d'une chambre d'observation et d'un système de vidéo comptage
- Afin d'assurer la mise en conformité de l'ouvrage, une passe piège à anguilles a été installée en 2013
- Elle permet à la fois d'assurer la franchissabilité de l'ouvrage par les anguilles en montaison et de fournir des données qualitatives et quantitatives sur la migration de l'espèce afin d'estimer le recrutement fluvial de l'anguille sur la Seine

PARTIE 3 _ SITE D'ÉTUDE : LE BARRAGE DE POSES – AMFREVILLE-SOUS-LES-MONTS

I. Présentation du barrage

Le barrage de Poses a été construit de 1878 à 1885 dans le département de l'Eure entre les communes de Poses, en rive gauche, et d'Amfreville-sous-les-Monts, en rive droite. Situé à 160 km de l'embouchure, le pied de l'ouvrage matérialise la limite de la marée dynamique et ainsi le fond de l'estuaire. Le barrage de Poses est le dernier construit sur la Seine avant la mer, il constitue le premier obstacle à la migration des poissons, notamment de l'anguille européenne (*Figure 13*).

En 1991, la création d'une usine hydroélectrique sur le barrage (HYDROWATT) a permis la construction d'une passe à poissons pour une mise en conformité de l'usine, et la mise en place d'une chambre d'observation. La migration des poissons n'étant possible jusqu'à présent que par les écluses d'Amfreville-sous-les-Monts situées en rive droite.

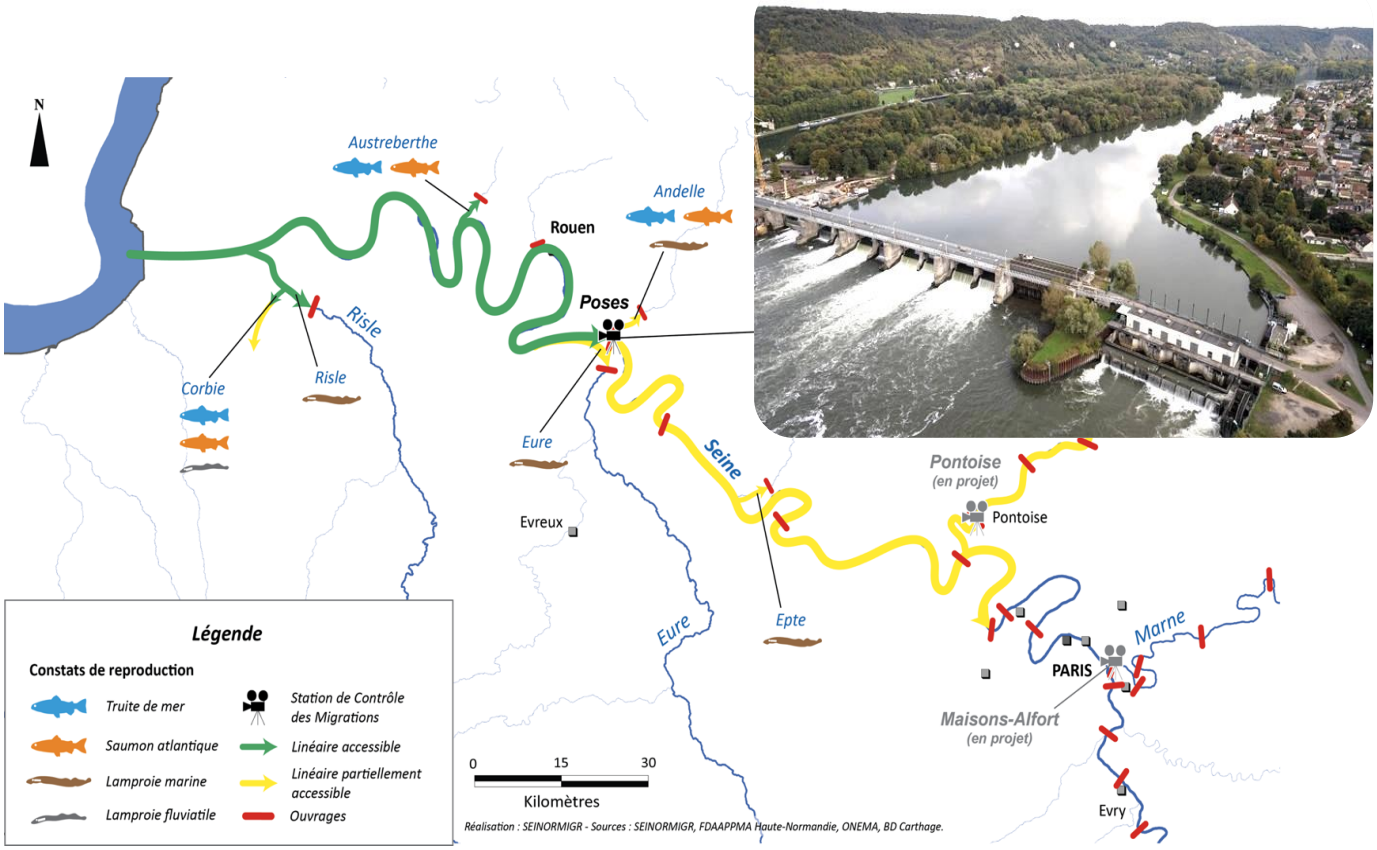


Fig. 13 : Localisation et vue aérienne du barrage de Poses

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

L'installation d'une passe à poissons au niveau du barrage de Poses a été imposée comme mesure réglementaire afin d'améliorer la libre circulation des poissons. C'est une passe à bassins successifs d'une longueur totale de 86 m, constituée de 23 bassins avec un dénivelé de 30 cm entre chaque bassin (Schéma de la passe en Annexe 1). La passe à poissons recrée au niveau du barrage un écoulement « en cascade » qui offre aux espèces des conditions similaires à celles d'un torrent. La vitesse de cet écoulement d'eau doit obligatoirement rester compatible avec les capacités de saut et de nage des poissons.

La passe dispose également d'une chambre d'observation munie de trois baies vitrées et d'un système de vidéo comptage depuis 2007. L'installation de ce système a tout d'abord un aspect pédagogique et récréatif avec l'accueil du grand public, mais également un aspect scientifique permettant le suivi des populations piscicoles sur la Seine.

Le barrage de Poses fait partie des ouvrages prioritaires à 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 anguilles a été construite en 2013 par le bureau d'étude FishPass. Ce dispositif permet à la fois d'assurer la franchissabilité de l'ouvrage par les anguilles en montaison et de fournir des données qualitatives et quantitatives sur la migration de l'espèce afin d'estimer le recrutement fluvial de l'anguille sur la Seine (Mullet, 2014).

III. Synthèse hydrologique

Les débits minimaux sont généralement observés entre août et octobre et les débits maximaux entre janvier et mars. Pour l'année 2015, les débits journaliers des mois de janvier, février, début mars mais également avril et mai sont supérieurs aux normales saisonnières observées ces dix dernières années. Pour la fin mars et les mois de juin et juillet, les débits journaliers sont au contraire inférieurs aux normales saisonnières (*Figure 14*).

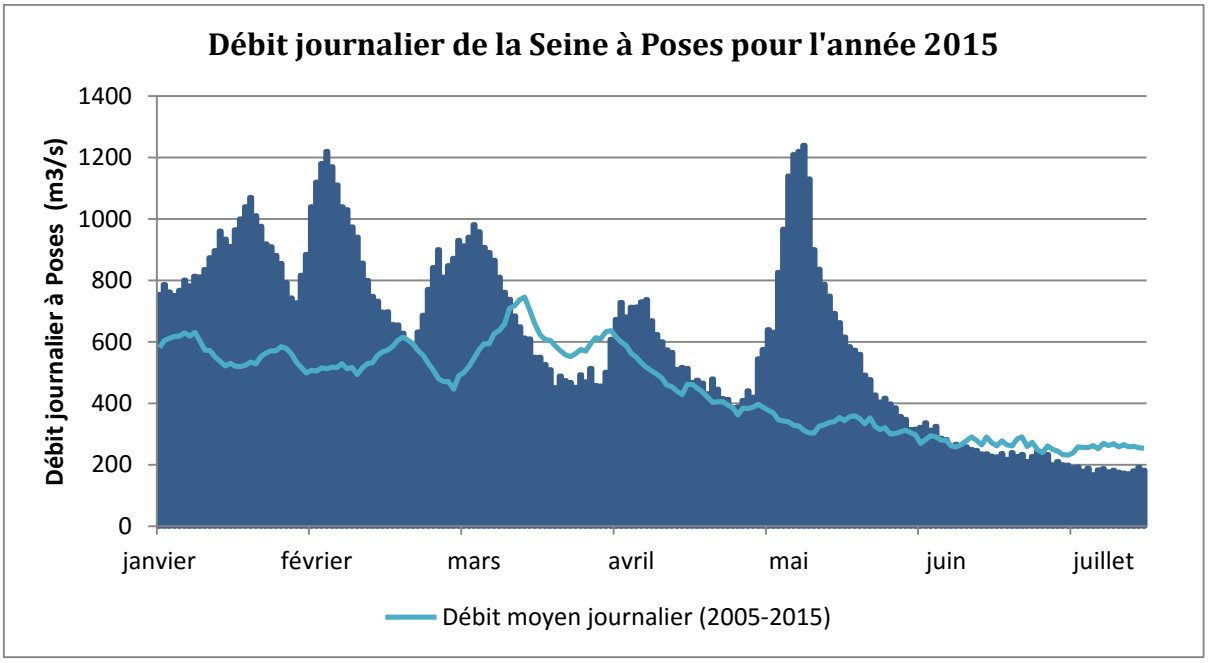


Fig. 14 : Débit journalier de la Seine à Poses pour l'année 2015

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA QUATRIÈME PARTIE

- La passe piège peut être découpée en trois parties distinctes : le système aval, le canal de liaison et le système amont
- Elle assure la capture des individus à la sortie du système de franchissement à l'amont de l'ouvrage hydroélectrique, le stockage dans un vivier en période de comptage, puis, libère les individus directement dans la retenue du barrage
- Le suivi de l'activité de montaison a démarré le 1er avril 2015
- Le piège est relevé quotidiennement hors week-ends et jours fériés
- Un entretien et une vérification du dispositif de piégeage est effectué à chaque relevé afin d'assurer le bon fonctionnement du système
- Les individus capturés dans le vivier sont séparés en trois groupes à l'aide de deux tamis : individus de l'année < 100 mm, anguillettes comprises entre 100 et 150 mm, anguillettes > 150 mm.
- Suivant le nombre d'individus capturés (< ou > à 50 individus), deux scénarios sont envisagés concernant la biométrie
- Après anesthésie, les individus sont pesés, mesurés puis relâchés en amont du barrage
- Les paramètres environnementaux étudiés sont : la température, la teneur en oxygène, la hauteur d'eau et les coefficients de marées
- Afin d'évaluer l'efficacité du système, un suivi sur 24 heures a été mis en place avec relevé du piège toutes les heures
- Dans le but de déterminer le taux d'efficacité de la passe piège, une campagne de capture-marquage-recapture a été réalisée à l'aide du marquage au Visible Implant Elastomer
- Des analyses de variances ont été réalisées pour le traitement statistique, ainsi que des tests de corrélations

PARTIE 4 _ MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Dispositif de franchissement et de piégeage

Le dispositif de franchissement et de piégeage des anguilles est implanté en rive gauche du barrage, superposé à la passe à poissons. En raison de la configuration du site, les anguilles doivent franchir plus de 61 m de passe piège afin de poursuivre leur migration vers l'amont. La passe piège à anguilles assure donc la capture des individus à la sortie du système de franchissement à l'amont de l'ouvrage hydroélectrique, le stockage dans un vivier en période de comptage, puis, libère les individus directement dans la retenue du barrage. La passe piège peut être découpée en trois parties distinctes : le système aval, la canalisation de liaison et le système amont (plan détaillé en Annexe 2).

Le système aval (*Figure 15, a*) 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 de la rampe favorise le passage des petits individus, tandis que les bords présentent un espacement plus grand favorisant le passage des plus gros individus. La rampe n°1, la plus en aval, est située à la cote de 1,40 m ngf (nivellement général de la France) permettant 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 afin d'orienter les anguilles vers cette dernière. Les rampes 1,2 et 2,3 sont séparées par un bassin de repos afin de permettre aux anguilles de récupérer. Au sommet de la rampe n°3, les individus arrivent au niveau d'un bassin de capture et d'irrigation qui assure la répartition des eaux et l'entrainement des anguilles vers le canal de liaison. Une pompe immergée dans la passe à poissons assure l'alimentation de l'ensemble du système aval et du canal de liaison.
Le canal de liaison assure le passage des anguilles entre le système aval et le système amont. En pente négative (2 cm/m) et d'une longueur de 56 m, il débouche au niveau d'un bac collecteur intermédiaire à l'amont du barrage.
Le système amont (*Figure 15, b*) 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. En effet, ces dernières tombent dans un vivier afin d'être stockées (opération de suivi) ou bien sont orientées dans une canalisation sous le vivier débouchant en amont du barrage (sans suivi). Une pompe immergée dans l'ancien système de piégeage alimente le vivier et la rampe de montaison (Fish-Pass, 2013).

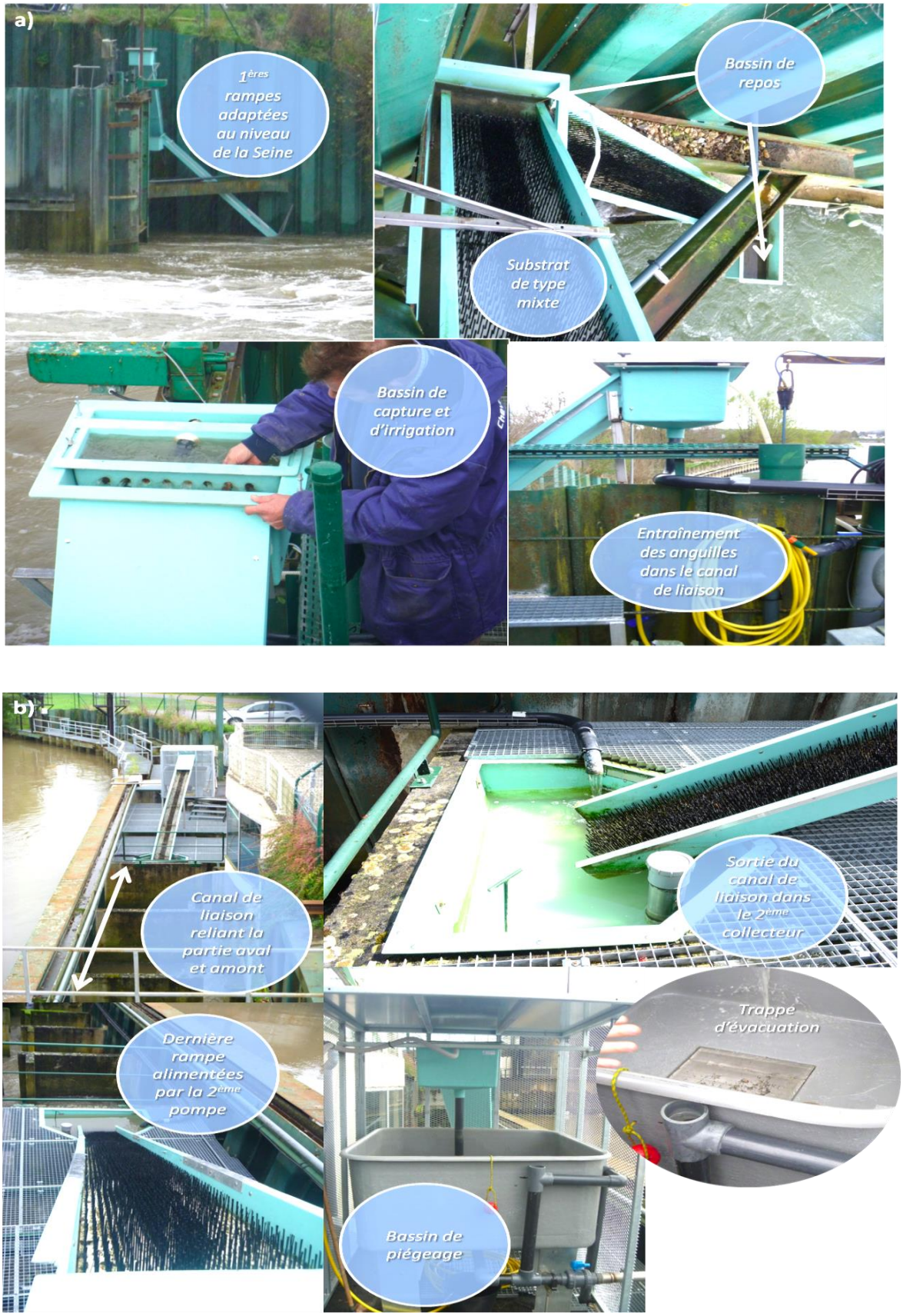


Fig. 15 : Photographies du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine à Poses. Système aval (a) et amont (b) (©Garot – SEINORMIGR)

II. Fréquence de suivi du piège et entretien

L'année 2015 constitue la deuxième année de suivi de la passe à anguilles sur le barrage de Poses. L'analyse des enregistrements de vidéo-comptage de 2008 à 2012 par l'association SEINORMIGR, incluant un bilan quinquennal des remontées, ainsi que la première année de suivi de la passe piège en 2014, montrent que les premières anguilles en migration active sont observées à partir de la deuxième semaine du mois d'avril. De plus, sous nos latitudes, l'apparition des civelles en estuaire coïncide avec la période des grandes marées d'avril. De ce fait, le suivi de l'activité de montaison a démarré cette année le 1er avril 2015.
Au vu des effectifs capturés au cours de la première année de suivi, le piège est relevé quotidiennement hors week-ends et jours fériés. Afin de simplifier la récupération des individus dans le vivier, un filet est 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 la trappe de vidange
- Le bon fonctionnement de l'armoire électrique

III. Biométrie

Lors de chaque relevé, les individus capturés dans le filet sont séparés en trois groupes (*Figure 16*) à l'aide de deux tamis (maille de 3 et 6 mm) :

- Individus de l'année < 100 mm (tamis de 3 mm)
    - Civelles stade VIB (dernier stage pigmentaire)
    - Anguillettes pigmentées (jaune)

- Anguillettes 100 ≪ 150 mm (tamis de 6 mm)
    - Individus âgés d'un été dans la 2ème année de vie continentale

- Anguillettes > 150 mm (refus de tamis)
    - Individus âgés de deux étés au moins

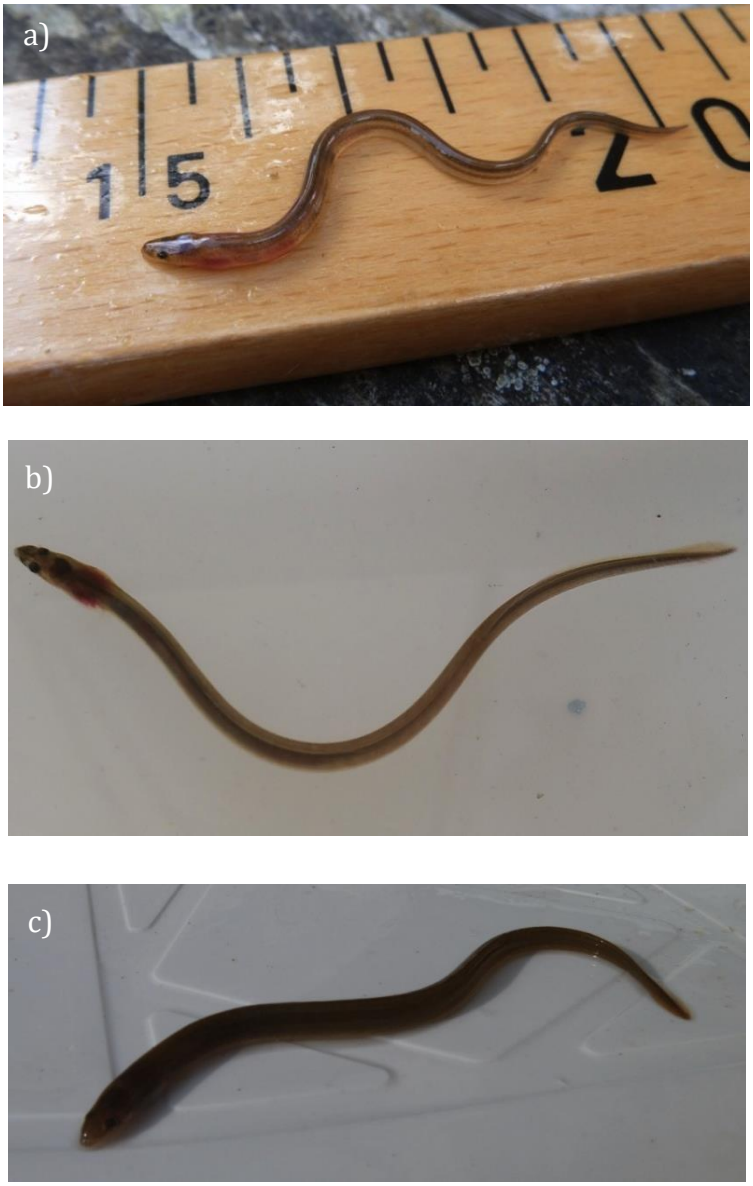


Fig. 16 : Civelle stade VIB (a), anguillette pigmentée (b) et anguillette > 100 mm (c) (©GAROT – SEINORMIGR)

Pour chacun de ces trois groupes, 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 :

- Si **N < 50 individus/groupe**, la biométrie est effectuée sur l'ensemble des individus du groupe. Chaque anguille est anesthésiée dans une solution d'eugénol avant d'être mesurée à l'aide d'un ichtyomètre (précision à 1 mm) et pesée à l'aide d'une balance de précision (précision à 0,1 g)

- Si **N > 50 individus/groupe**, la biométrie est effectuée sur un lot de 50 individus échantillonnés au hasard. À l'aide du poids total des individus capturés et du poids total des 50 individus, le poids individuel moyen peut être calculé permettant ainsi de déterminer le nombre total d'individus capturés par groupe.

Une fois la biométrie terminée, tous les individus sont relâchés en amont du barrage, à la sortie de la passe à poissons, le canal de sortie de la passe piège à anguilles étant jugé trop près de l'ouvrage hydroélectrique pour une bonne reprise de l'activité migratoire des anguilles.

IV. Paramètres environnementaux

Les facteurs environnementaux jouent un rôle majeur sur la montaison des anguilles dans les estuaires. À 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. En outre, lors de chaque intervention, les températures 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.

À chaque relevé, les données concernant la hauteur 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 via METEO CONSULT MARINE (marine.meteoconsult.fr).

V. Suivi sur 24 heures

1. Objectifs

De nombreuses études mettent en évidence le comportement photonégatif des civelles et jeunes anguilles (Bardonnet *et al.,* 2005 ; Gandolfi *et al.,* 1984 ; Gascuel, 1986 ; Elie & Rochard 1994 *in* Bardonnet *et al.,* 2005). Ainsi, les civelles adopteraient un comportement nocturne vis à vis de l'alimentation et de l'activité de nage, tandis qu'elles resteraient cachées le jour (Dou & Tsukamoto, 2003). Les anguillettes et anguilles jaunes montreraient également ce

comportement de migration nocturne (Baisez, 2001 ; Baras *et al.,* 1998 ; Bertin, 1951 ; Tesch, 2003 *in Edeline, 2005*). La luminosité jouerait donc un rôle sur le déplacement des individus (Bardonnet *et al.,* 2005 ; Edeline, 2005).
La configuration du site et la longueur de la passe piège à anguilles pourraient alors ralentir la dynamique de migration de l'espèce, ne faisant arriver les individus dans le collecteur intermédiaire et/ou le vivier que dans la matinée ou la journée.
Dans le but de déterminer ce rythme de migration nycthémérale (alternance d'un jour et d'une nuit correspondant à un cycle biologique de 24h) des anguilles sur le dispositif de piégeage et donc d'évaluer l'efficacité de ce système, un suivi sur 24 heures a été mis en place.

2. Protocole

Le suivi 24 heures a été réalisé du jeudi 23 juillet 2015 13h, au vendredi 24 juillet 2015 13h. Le piège a été relevé au préalable le jour même, dans la matinée, afin de ne pas biaiser le résultat du premier relevé à 13h.
Sur quatre créneaux horaires de 6 heures (13h00-19h00 ; 19h00-01h00 ; 01h00-07h00 ; 07h00-13h00), quatre binômes composés d'un membre de SEINORMIGR et d'un membre de la Fédération de Pêche de l'Eure se sont relayés afin de réaliser une biométrie toutes les heures sur l'ensemble des individus capturés dans le piège.

VI. Capture – Marquage – Recapture

1. Objectifs

D'une manière générale, l'étude de la biologie ou de l'écologie des poissons (migration, croissance, structure et dynamique de la population) nécessite la mise au point de méthodes de reconnaissance des animaux dans le milieu naturel. La méthode du marquage-recapture est la plus classique (Alcobendas *et al.,* 1991 ; Alcobendas *et al.,* 1992).
L'utilisation de la technique marquage-recapture a pour objectif ici, dans un premier temps, d'évaluer le temps nécessaire aux anguilles pour franchir le dispositif de piégeage et, dans un second temps, d'évaluer l'efficacité de la passe piège par un taux de franchissement.

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

Différentes techniques de marquage existent tels que le marquage externe par balnéation (Rouge Neutre, Brun Bismarck, Rhodamine B ; Briand *et al.,* 2003 ; Briand *et al.,* 2005 ; Cantrelle,

1984), le marquage externe par implant (Pit tag, Visible Implant Elastomer ; Imbert, 2008 ; Imbert, *et al.,* 2007, Rigaud et al., 2011 ; Simon, 2006, Simon & Dörner, 2010) ou le marquage vital interne (Chlorhydrate de tétracycline, Calcéine, Alizarine, Orangé de xylénol ; Alcobendas *et al.,* 1992 ; Caraguel *et al.,* 2014, Simon & Dörner, 2010), nécessitant pour cette dernière méthode de tuer l'individu après recapture, afin de pouvoir observer au microscope les marqueurs cibles qui sont généralement les vertèbres ou les otolithes des poissons.

Lors de la campagne de marquage-recapture, toutes les anguilles relevées dans le piège doivent être marquées sur le terrain. Dans ce contexte, la méthode de marquage requiert des qualités spécifiques (Imbert, 2008) :

- **Praticité** : la méthode doit être adaptée aux conditions de terrain et utilisable avec peu de matériels
- **Rapidité de marquage et de convalescence** : le temps de marquage et de convalescence de l'anguille doit être le plus court possible afin que le poisson retourne rapidement dans son milieu naturel après son réveil
- **Tenue et visibilité longue durée** : la rétention de la marque doit être de 100% et la marque doit être visible durant plusieurs mois voire plusieurs années. Le long cycle biologique de l'anguille encourage les études à long terme
- **Adaptabilité** : le nombre d'anguilles à marquer dépend du nombre d'anguilles capturées dans le piège et cette inconnue réserve parfois des surprises. Ainsi, plusieurs centaines d'individus peuvent être piégés lors d'un pic de migration et doivent alors être marquées en quelques heures. Le matériel de marquage devra donc s'adapter à ce type de situation

En respectant tous ces critères, notre choix s'est dirigé vers le marquage au VIE, Visible Implant Elastomer. Le marquage au VIE consiste à injecter un implant en élastomère dans la partie transparente de l'animal avec une seringue hypodermique. La visibilité du tag va dépendre de la pigmentation de la peau et de la profondeur de l'injection (Imbert *et al.,* 2007). Le VIE s'avère être la méthode la plus adaptée aux jeunes anguilles car les marques ne sont pas diffuses et permettent d'envisager un codage multiple (Imbert, 2008 ; *Figure 17*).

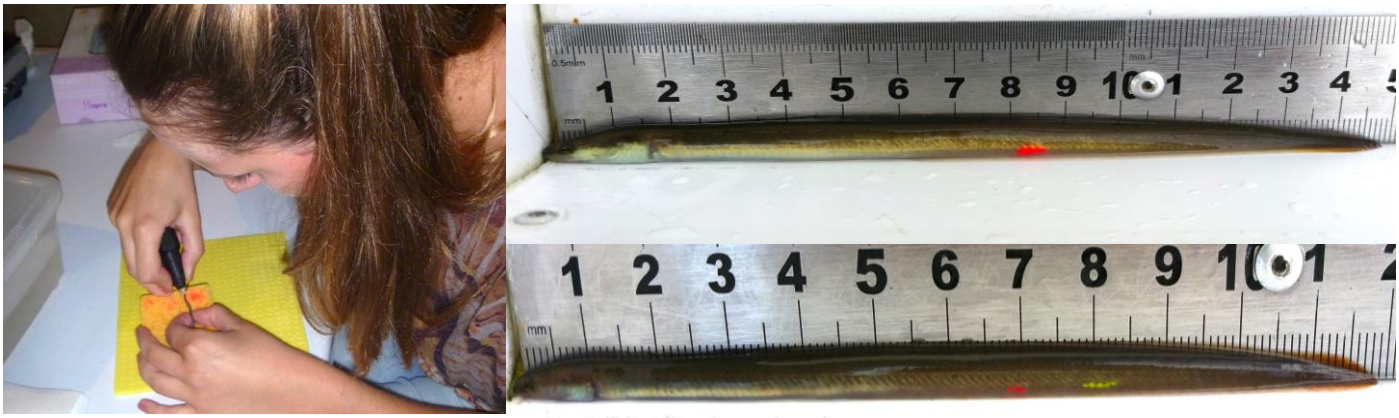


Fig. 17 : Marquage d'individus au Visible Implant Elastomer (VIE) rouge et jaune

3. Protocole

Un protocole de marquage (*Annexe 3*) a été élaboré à partir de l'étude d'Imbert (2008) et des recommandations du fournisseur du kit de marquage (Northwest Marine Technology, Inc.). Après avoir mélangé dans un bécher le volume désiré de colorant avec un dixième de ce volume de durcisseur, le mélange peut être transféré dans une seringue d'injection de 0,3 ml. La seringue est ensuite placée dans un injecteur manuel afin de faciliter l'injection. Une fois les anguilles anesthésiées, le VIE est injecté en sous cutané entre l'anus et la queue de l'individu. L'aiguille doit rester parallèle au corps de l'individu afin de ne pas plonger dans le muscle. L'injection, d'environ 4 mm, est interrompue avant la sortie de l'aiguille afin d'éviter que le VIE ne ressorte de l'individu. L'anguille est ensuite placée dans un bac de réveil avant d'être relâchée. Deux campagnes de marquage ont ainsi été réalisées (*Tableau 1*).

La première campagne a eue lieu le jeudi 23 juillet 2015 dans la matinée, avant le démarrage du suivi 24 heures. Une partie des individus relevés dans le piège le matin a été marqué au VIE jaune, soit 51 individus. Les individus marqués ont ensuite été relâchés directement dans la passe piège à anguilles, dans le premier bassin de repos à l'aval du barrage. Le lâcher a eu lieu à 13h, heure à laquelle le suivi 24 heures a démarré. Ce marquage au VIE jaune avait pour objectif de déterminer le temps nécessaire aux anguilles pour franchir le dispositif de piégeage. Le suivi 24 heures a donc également permis de déterminer l'heure d'arrivée des premiers individus dans le vivier.

La deuxième campagne de marquage a eue lieu le lundi 27 juillet 2015 dans la matinée. Tous les individus piégés dans le vivier ont été marqués au VIE rouge, soit 152 individus. Les anguilles marquées ont ensuite été relâchées à l'aval du barrage à 12h30, dans la première zone de repos accessible depuis la berge après les palplanches, à environ 180 m de l'entrée de la passe piège à

anguilles. Cette deuxième campagne de marquage avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de la passe piège pour les jeunes anguilles.

Tableau 1 : Récapitulatif des deux campagnes de marquage

Date	VIE	Nombre d'individus marqués	Heure de lâcher	Zone de lâcher
23/7/15	Jaune	51	13h00	1er bassin de repos à l'aval
27/7/15	Rouge	152	12h30	180 m à l'aval de la passe piège

VII. Analyses statistiques

1. Test de comparaison

En ce qui concerne le traitement statistique, des analyses de variances ont été réalisées.
Pour les analyses à deux facteurs, la normalité des données et l'égalité des variances ont été testées respectivement par des tests de Shapiro-Wilk et de Fisher. Si les données étaient normales, le test paramétrique de Student été effectué ; dans le cas contraire, le test non paramétrique de Wilcoxon été réalisé.
Pour les analyses à trois facteurs ou plus, la normalité des données et l'égalité des variances ont été testées respectivement par des tests de Shapiro-Wilk et de Bartlett. Si les données étaient normales, un test paramétrique été effectué : une anova ; dans le cas contraire, un test non paramétrique été réalisé : le test de Kruskal-Wallis.

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 pour 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 afin de tester l'influence de la marée sur l'activité migratoire des anguilles.

Le logiciel R (version 3.0.2, 2013) a été utilisé pour l'ensemble des analyses statistiques.

POUR UNE LECTURE RAPIDE DE LA CINQUIÈME PARTIE

- Pour la deuxième année d'étude, la passe piège a été suivie du 1er avril au 14 septembre 2015
- Les résultats ne tiennent compte que des relevés du 1er avril au 14 août 2015
- 4358 anguilles ont été capturées dont 633 individus de l'année 2015
- Les civelles ne représentent que 3% des captures totales (138 individus)
- La première anguille a été capturée le 16 avril lorsque la température de l'eau était supérieure à 14°C
- La reprise de l'activité de migration est initiée par des anguillettes âgées d'un été au moins
- Les effectifs restent faibles pendant les deux premiers mois du suivi et sont les plus forts au mois de juillet
- Les individus capturés ont majoritairement une taille inférieure à 150 mm, correspondant à des individus dans leur première ou deuxième année de vie continentale
- Une corrélation positive significative a pu être mise en évidence entre les captures d'anguilles et la température de l'eau
- Au cours du suivi sur 24 heures, 87 anguilles ont été capturées dont 55% entre 20h et 1h du matin, les effectifs maximums étant entre 23h et minuit
- 25% des anguilles marquées et relâchées dans le premier bassin de repos de la rampe aval ont été recapturées dans les 24 heures
- La première anguille marquée a été retrouvée 4 heures après dans le vivier
- 13% des anguilles marquées et relâchées environ 180 m à l'aval ont été recapturées
- Les anguilles piégées en 2015 ne représentent que 42% de l'effectif total de 2014
- Les anguillettes capturées en 2014 sont essentiellement comprises entre 70 et 110 mm tandis qu'en 2015 elles sont essentiellement comprises entre 90 et 150 mm

I. Fonctionnement du dispositif de piégeage

1. Période et fréquence de suivi

Pour l'année 2015, correspondant à la deuxième année de suivi, la passe piège à anguilles de Poses a été suivie du 1er avril 2015 au 14 septembre 2015. Le piège a été relevé quotidiennement hors week-end et jours fériés. Les résultats présentés ci-dessous tiennent compte des relevés de piège du 1er avril 2015 au 14 août 2015. Au cours de cette période, 4358 anguilles ont été capturées (*Figure 18*), dont 633 individus de l'année 2015 (individus < 100 mm).

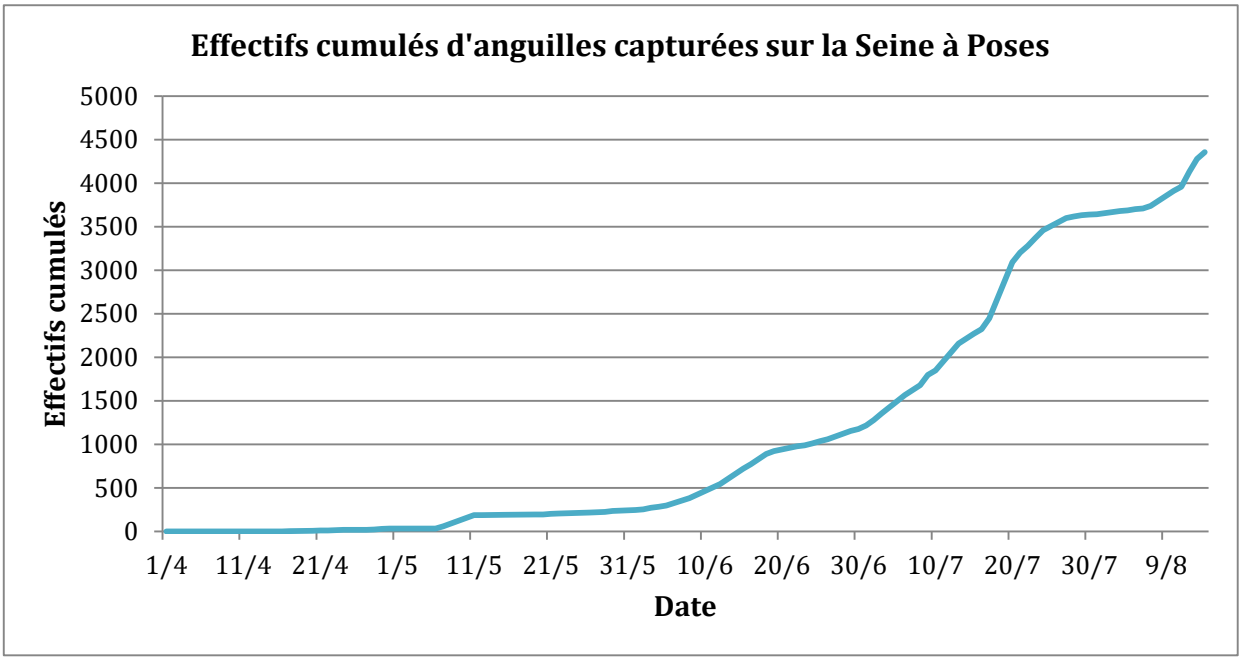


Fig. 18 : Effectifs cumulés d'anguilles capturées sur la Seine à Poses

2. Dysfonctionnements de la passe piège à anguilles

Le colmatage des pompes amont et aval est le dysfonctionnement le plus important de la passe piège à signaler, entrainant un arrêt de l'alimentation en eau du dispositif pendant quelques heures ou quelques jours au cours du suivi. Plusieurs causes sont à l'origine de ces colmatages : les eaux très chargées de la Seine aux mois d'avril et de mai, une accumulation de détritus dans les conduits du dispositif ou bien une accumulation de chair de poissons rendue possible par l'arrivée d'individus dans l'ancien système de piégeage de la passe. Les poissons sont alors piégés, meurent et se retrouvent aspirés par la pompe amont. L'arrêt des pompes pendant

quelques minutes chaque jour permet de les décolmater. Le cas contraire, la passe à poissons est vidée afin de pouvoir accéder aux pompes.

Le deuxième dysfonctionnement à noter est le débordement du collecteur intermédiaire situé au pied de la rampe, à l'amont du barrage. Lorsque les eaux sont peu à très chargées, les crépines du collecteur se colmatent, entrainant une surverse de l'eau dans la passe à poissons située juste en dessous. Les anguilles piégées dans le collecteur sont alors susceptibles de tomber dans la passe à poissons et de se retrouver à nouveau à l'aval du barrage. Un nettoyage journalier permet en partie de résoudre ce problème. Les week-ends et jours fériés, un partenariat avec le syndicat mixte de la base de plein air et de loisirs de Léry-Poses permet également l'entretien du collecteur.

3. Évolution des paramètres environnementaux

- Température

En ce qui concerne la température de la Seine, celle-ci augmente progressivement au cours des mois (*Figure 19*). La température est la plus fraiche au mois d'avril avec une moyenne de 13,6°C, et la plus chaude au mois de juillet avec une moyenne de 22,9°C. Il existe une différence significative des températures (*Figure 20*) entre le mois d'avril et les mois de juin, juillet et août, entre le mois de mai avec les mois de juillet et août, ainsi qu'entre le mois de juin et le mois de juillet (Kruskal-Wallis, p-value < 0,05). Les températures moyennes des mois d'avril, mai, juin, juillet et août sont respectivement de 13.6°C, 16.3°C, 20.1°C, 22.9°C et 22.5°C.
Au niveau du dispositif de montaison des anguilles, on peut noter qu'il n'existe pas de différence significative entre la température de la Seine, du vivier et du collecteur (Kruskal-Wallis, p-value > 0,05).

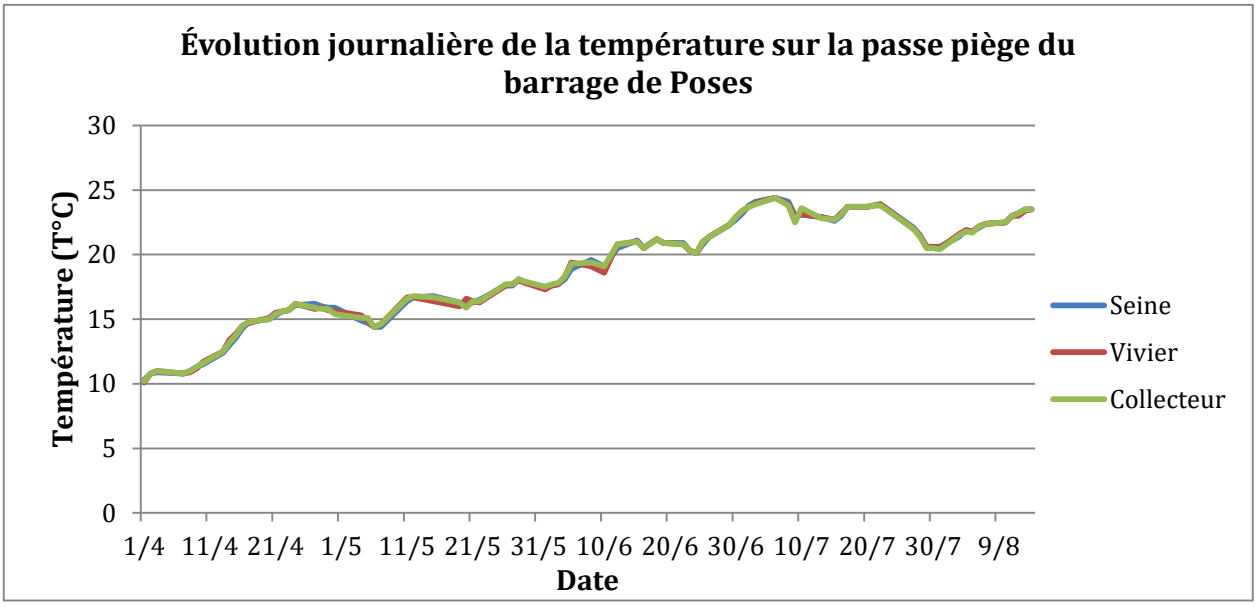


Fig. 19 : Évolution journalière de la température sur la passe piège du barrage de Poses

Fig. 20 : Boxplots de l'évolution mensuelle de la température de la Seine à Poses

➢ Oxygène

La teneur en oxygène diminue au cours du suivi et passe d'environ 11 mg/L début avril à 8 mg/L mi-août (*Figure 21*). Il existe en effet une relation inverse entre la température et la teneur en oxygène. Cependant, les teneurs en oxygène relevées sur la Seine, le vivier et le collecteur sont nettement supérieures à la teneur minimale en oxygène dissous nécessaire pour la survie des anguilles (2-3 mg/L pour les civelles et 0,5 mg/L pour les adultes ; FAO, 2014).
Au niveau du dispositif de montaison des anguilles, il existe une différence significative entre la teneur en oxygène du collecteur et les teneurs en oxygènes du vivier et de la Seine (Anova, p-value < 0,05), la teneur en oxygène du collecteur étant supérieure. Ceci peut s'expliquer par l'arrivée d'eau provenant du canal de liaison, favorisant l'oxygénation, ainsi que par la forme du collecteur dont la profondeur est plus faible que la largeur.

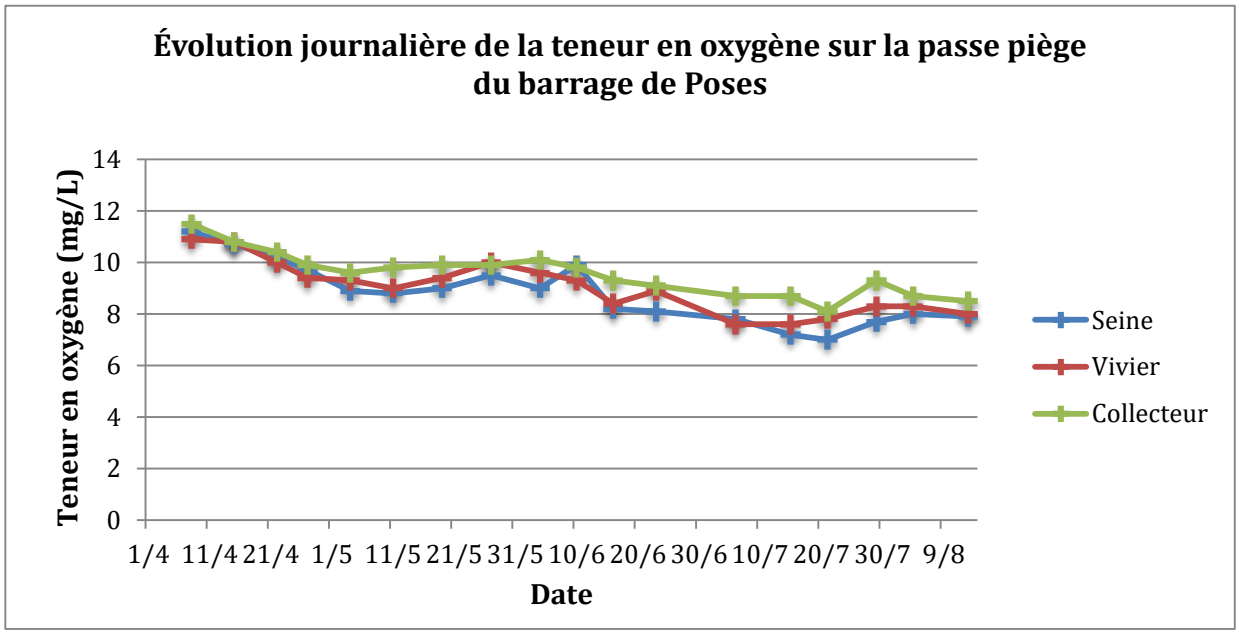


Fig. 21 : Évolution journalière de la teneur en oxygène sur la passe piège du barrage de Poses

II. Suivi de la migration des anguilles en 2015

La première anguille a été capturée le 16 avril 2015 (*Figure 22*). Il s'agissait d'une anguillette de taille supérieure à 100 mm, âgée au moins d'un été continental. Les premières civelles, individus dans leur première année de vie continentale, ont quant à elles été capturées le 8 juillet (2 individus de 66 et 69 mm). Les niveaux de captures sont restés faibles jusque début juin, excepté le 11 mai où 129 individus ont été capturés, majoritairement âgés d'un été ou plus (> 100 mm).

À partir du mois de juin, les effectifs tendent à augmenter mais reste dans l'ensemble relativement faible. On observe ainsi deux pics. Le premier pic de migration est observé le 13 juillet avec 310 individus capturés contenant une proportion plus importante d'individus âgés d'au moins un été (96% des captures totales). Le deuxième pic de migration survient une semaine après avec 644 individus capturés, dont 63 individus âgés de moins d'un été (soit 9% des captures totales). On observe par la suite une diminution des captures journalières pouvant être associée à une chute des températures de la Seine observée de la fin du mois de juillet jusque début août. Puis, jusqu'à la mi-août, on constate que la température de la Seine remonte et que les effectifs tendent à augmenter de nouveau. Les niveaux de captures plus élevés sont majoritairement observés le lundi du fait de l'accumulation des individus capturés le week-end. Néanmoins, la dynamique de migration reste similaire en répartissant les captures du lundi sur le week-end (*Annexe 4*).

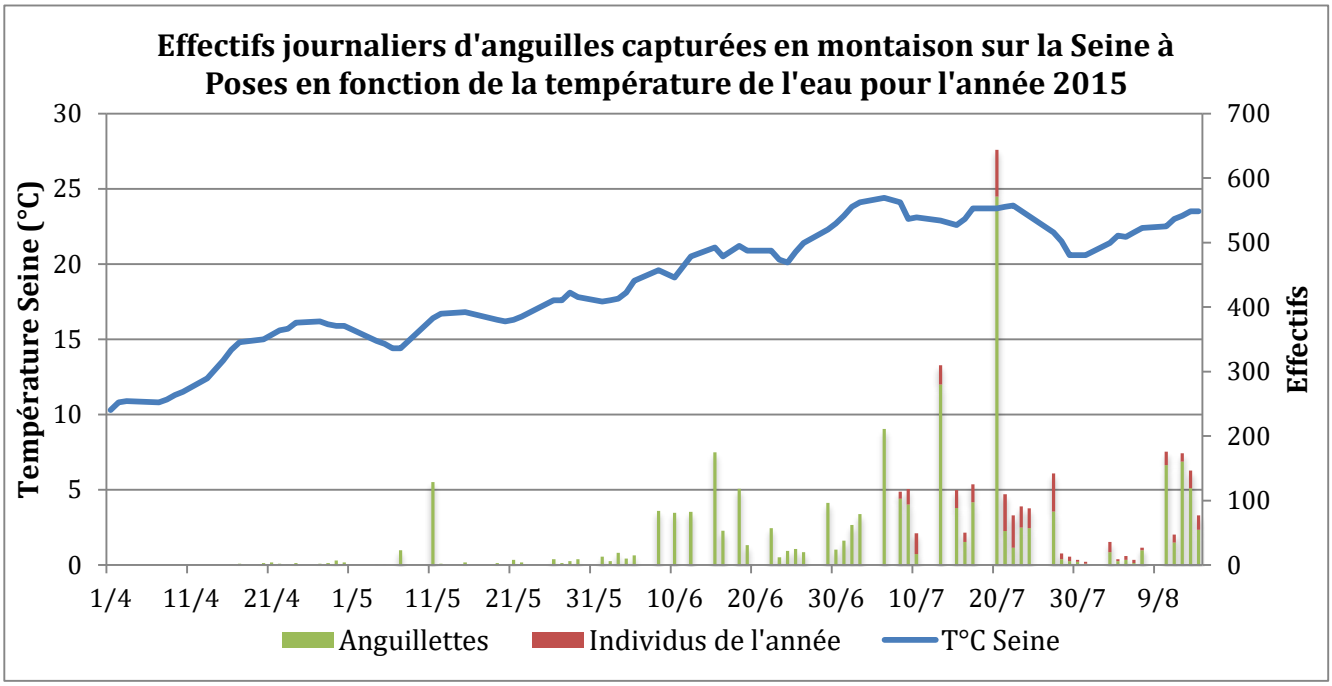


Fig. 22 : Effectifs journaliers d'anguilles capturées en fonction de la température de l'eau

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

   a. Déroulement de la migration

Au cours de l'année 2015, 633 individus de l'année ont été capturés, dont 495 anguillettes pigmentées et 138 civelles.

Les premiers individus de l'année ont été capturés le 8 juillet 2015, deux individus de 66 et 69 mm (*Figure 23*). Durant la première partie du mois de juillet, les individus de l'année capturés étaient essentiellement des anguillettes pigmentées. À partir de la mi-juillet, les effectifs ont

augmentés, avec une part plus importante de civelles capturées. Ainsi, on observe une vague de migration dans la semaine du 20 au 24 juillet avec 256 individus de l'année capturés, dont 59 civelles. Le 27 juillet, 59 individus de l'année ont été capturés, dont 28 civelles. Puis, les effectifs capturés diminuent jusque début août. Par la suite, les effectifs tendent à augmenter de nouveau mais restent relativement faibles jusqu'au 14 août. Les niveaux de captures plus élevés sont majoritairement observés le lundi du fait de l'accumulation des individus capturés le week-end. Néanmoins, la dynamique de migration reste similaire en répartissant les captures du lundi sur le week-end (*Annexe 5*).

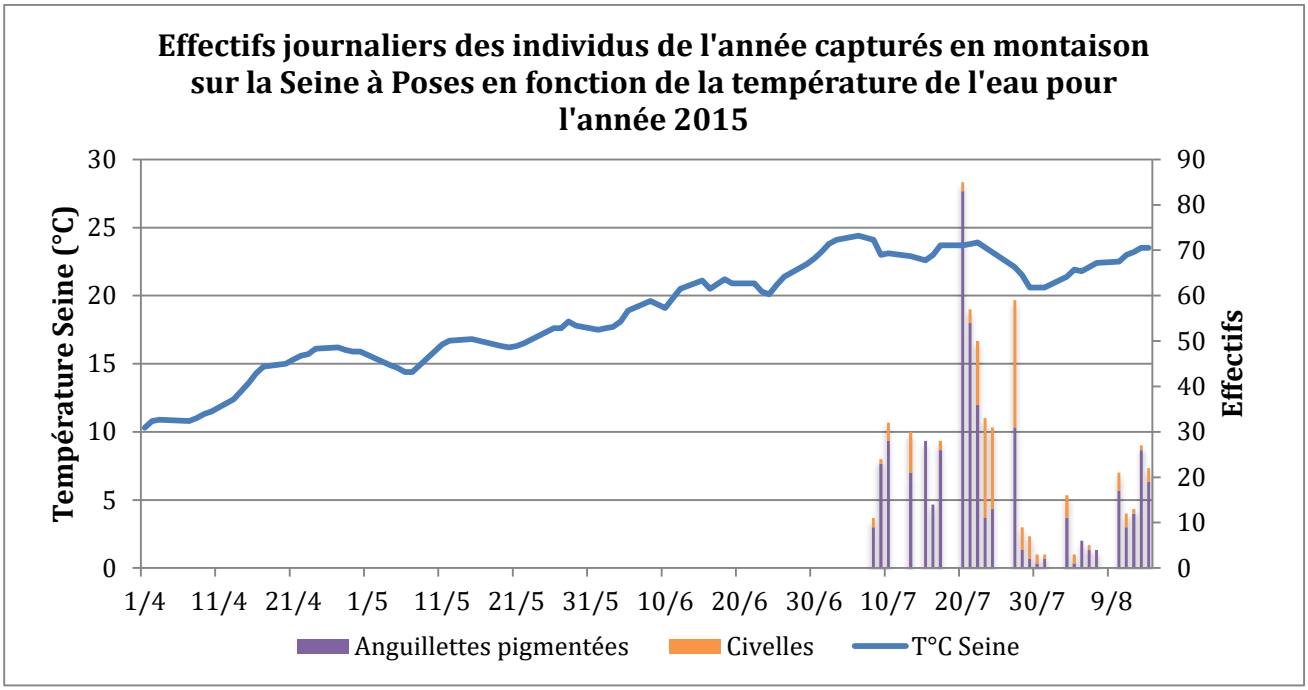


Fig. 23 : Effectifs journaliers des individus de l'année en fonction de la température de l'eau

Au niveau des captures mensuelles (*Figure 24*), on peut noter qu'il n'existe pas de différence significative entre les effectifs capturés par mois (Wilcoxon, p-value > 0,05).

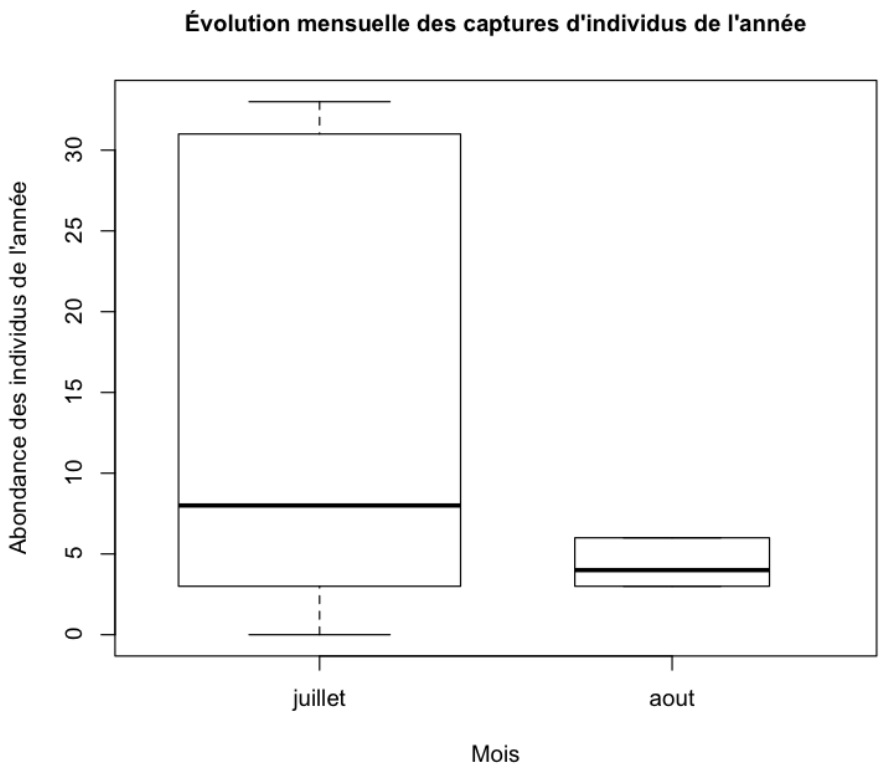


Fig. 24 : Boxplots de l'évolution mensuelle des captures d'individus de l'année

b. Influence des facteurs environnementaux

➢ Température

Les premières anguillettes pigmentées ont été capturées lorsque la température de l'eau atteignait 14,8°C, tandis que les premières civelles ont été piégées lorsque la température était égale à 24,1 °C (*Figure 23*). Cependant, très peu d'individus de l'année ont été capturés jusqu'à ce que la température de l'eau atteigne 23°C. Les pics d'individus observés fin juillet ont eu lieu lorsque la température de la Seine était entre 22 et 24°C. Une corrélation significative faible à moyenne a été établie entre les captures d'individus de l'année et la température de la Seine (Rs = 0,6114, p-value < 0,05 ; *Figure 25*). Notons que le facteur température n'explique pas à lui seul la dynamique de migration de l'espèce. D'autres facteurs sont à prendre en considération.

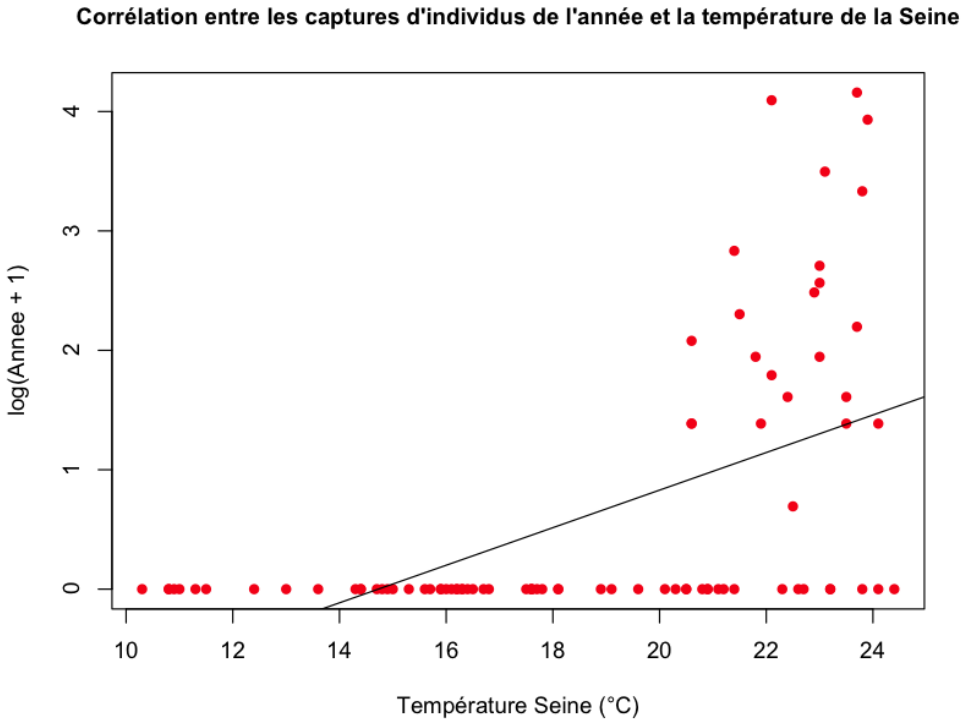


Fig. 25 : Corrélation entre les captures d'individus de l'année et la température de la Seine

➢ Hauteur d'eau

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 étant plus longues et transportant des masses d'eaux plus importantes que les marées de mortes eaux, constituent de meilleurs vecteurs de transport pour les jeunes anguilles. La vague de migration fin juillet semble être corrélée à des hauteurs d'eau de la Seine très basses (*Figure 26*). En outre, les hauteurs d'eau sont également au plus bas lorsque les effectifs tendent à augmenter de nouveau mi-août. Une très faible corrélation significative a pu être mise en évidence entre les captures d'individus de l'année et la hauteur d'eau au niveau du barrage de Poses (Rs = -0,3174, p-value < 0,05 ; *Figure 27*). Cependant, ce résultat reste très faible et incohérent vis à vis de la dynamique de migration de l'espèce pour établir un lien concret entre de faibles hauteurs d'eau et une augmentation des individus capturés.

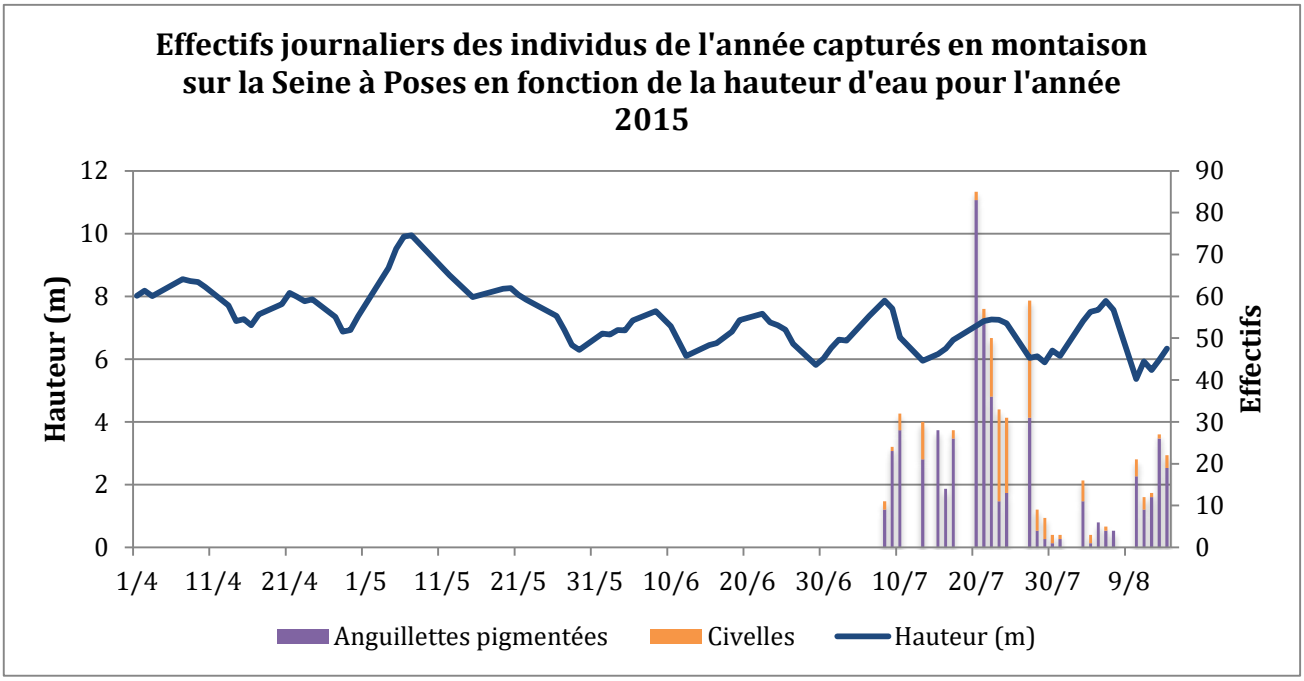


Fig. 26 : Effectifs journaliers des individus de l'année capturés en fonction de la hauteur d'eau

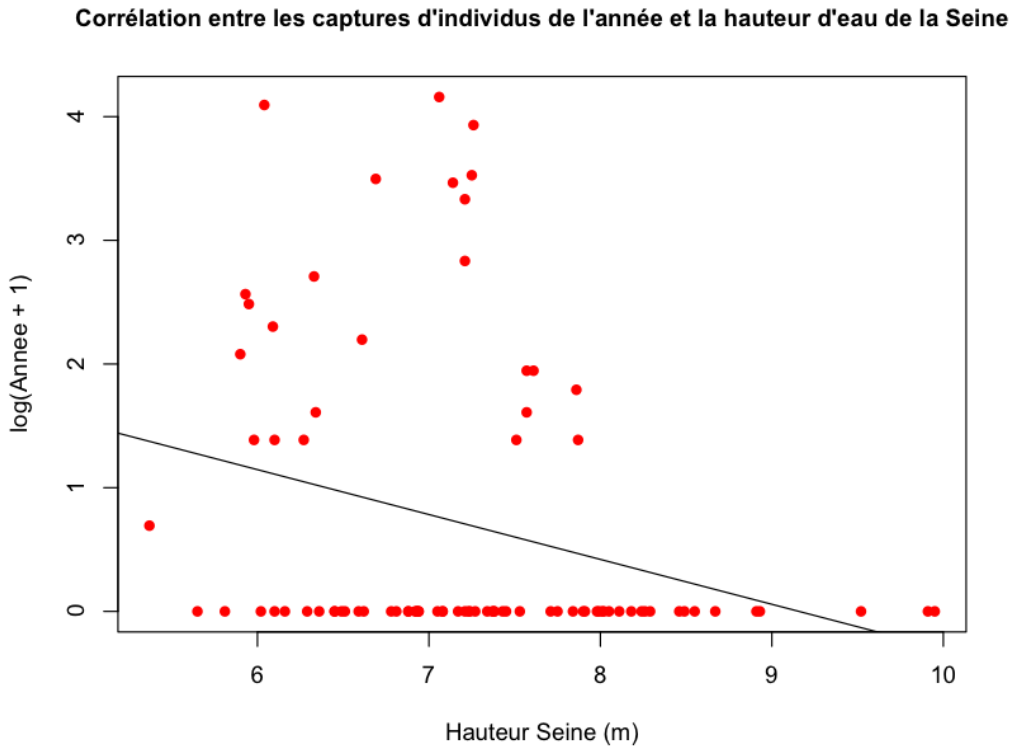


Fig. 27 : Corrélation entre les captures d'individus de l'année et la hauteur d'eau de la Seine

c. Caractéristiques de la population

Pour l'année 2015, les mesures de biométrie ont été réalisées sur 620 individus de l'année. À chaque relevé les individus de l'année ont été anesthésiés puis mesurés et pesés. Deux stades pigmentaires étaient ensuite déterminés : 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.

➢ Classes de taille des individus de l'année

La taille de l'ensemble des individus capturés en 2015 est comprise entre 60 et 100 mm, avec une classe modale de 95-100 mm (36% des individus capturés ; *Figure 28*). Les civelles et les anguillettes pigmentées âgées de moins d'un été peuvent facilement être séparées selon leur taille. En effet, la majorité des civelles sont représentées par des individus inférieurs à 80 mm (93% des civelles), tandis que les anguillettes pigmentées de l'année sont à l'inverse essentiellement représentées par des individus supérieurs à 80 mm (83% des anguillettes pigmentées). Une différence significative entre la taille des civelles et des anguillettes pigmentées a été établie (Wilcoxon, p-value < 0,05).

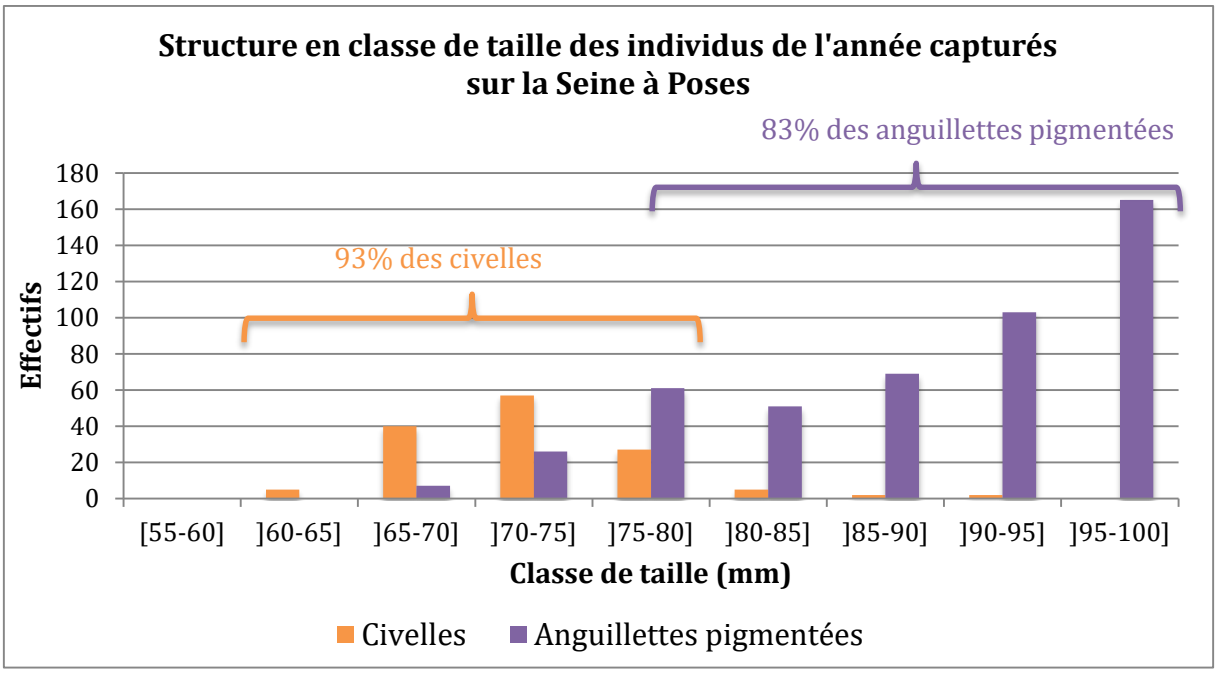


Fig. 28 : Distribution des tailles (mm) des individus de l'année

- Taille et poids des individus de l'année

Il existe une différence significative (Wilcoxon, p-value < 0,05) de la taille des individus de l'année au cours des mois (*Figure 29*). En effet, la taille moyenne des individus de l'année au mois de juillet est de 85 mm tandis qu'au mois d'août la taille moyenne est de 90 mm. Les individus de l'année sont donc plus grands en fin d'été.

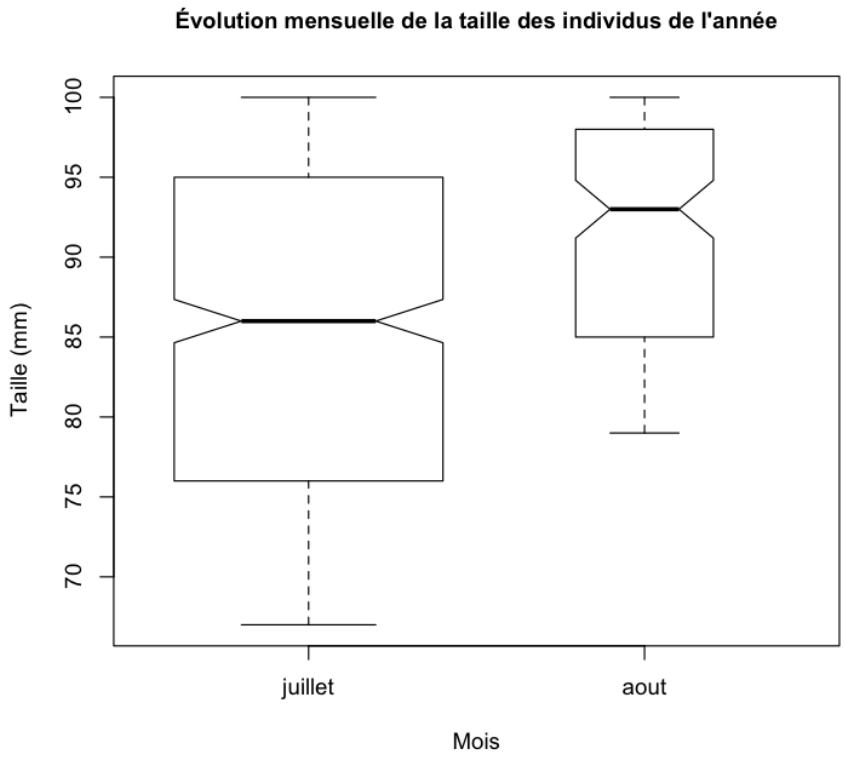


Fig. 29 : Évolution mensuelle de la taille des individus de l'année

En ce qui concerne le poids moyen, Il existe une différence significative du poids des individus de l'année en fonction des mois (Wilcoxon, p-value <0,05 ; *Figure 30*). En effet, les poids moyens des individus de l'année pour les mois de juillet et août sont respectivement de 0.77 et 0,66 g.

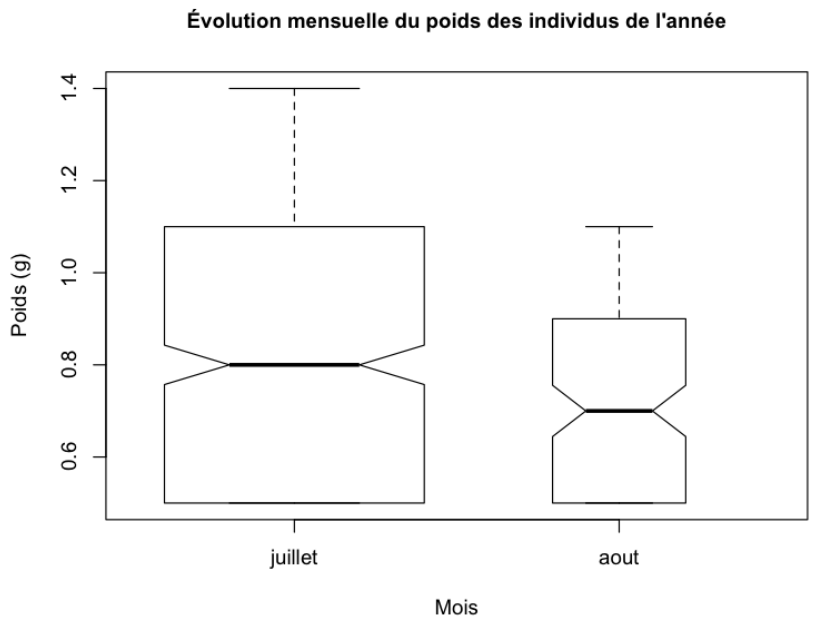


Fig. 30 : Évolution mensuelle du poids des individus de l'année

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

   a. Déroulement de la migration

Au cours de l'année 2015, 3725 individus âgés d'un été au moins ont été capturés. La première anguillette a été capturée le 16 avril (individu de 120 mm) (*Figure 31*).

Au cours des deux premiers mois de suivis, les captures journalières sont restées très faibles avec 0 à 23 individus par relevé, excepté pour le 11 mai où 126 individus ont été capturés. À partir du mois de juin, on observe une augmentation des effectifs capturés jusqu'aux pics des 13 et 20 juillet où respectivement 280 et 572 anguillettes ont été capturées. De fin juillet jusque début août on observe une diminution des effectifs, corrélée à une baisse de la température de la Seine, puis, les effectifs augmentent à nouveau jusqu'au 14 août. Les pics observables le 15 juin et 6 juillet correspondent à des relevés de piège le lundi, les niveaux de captures sont donc élevés du fait de l'accumulation des individus pendant le week-end. La dynamique de migration reste similaire et n'indique pas de pics d'individus capturés en répartissant les captures du lundi sur le week-end (*Annexe 6*).

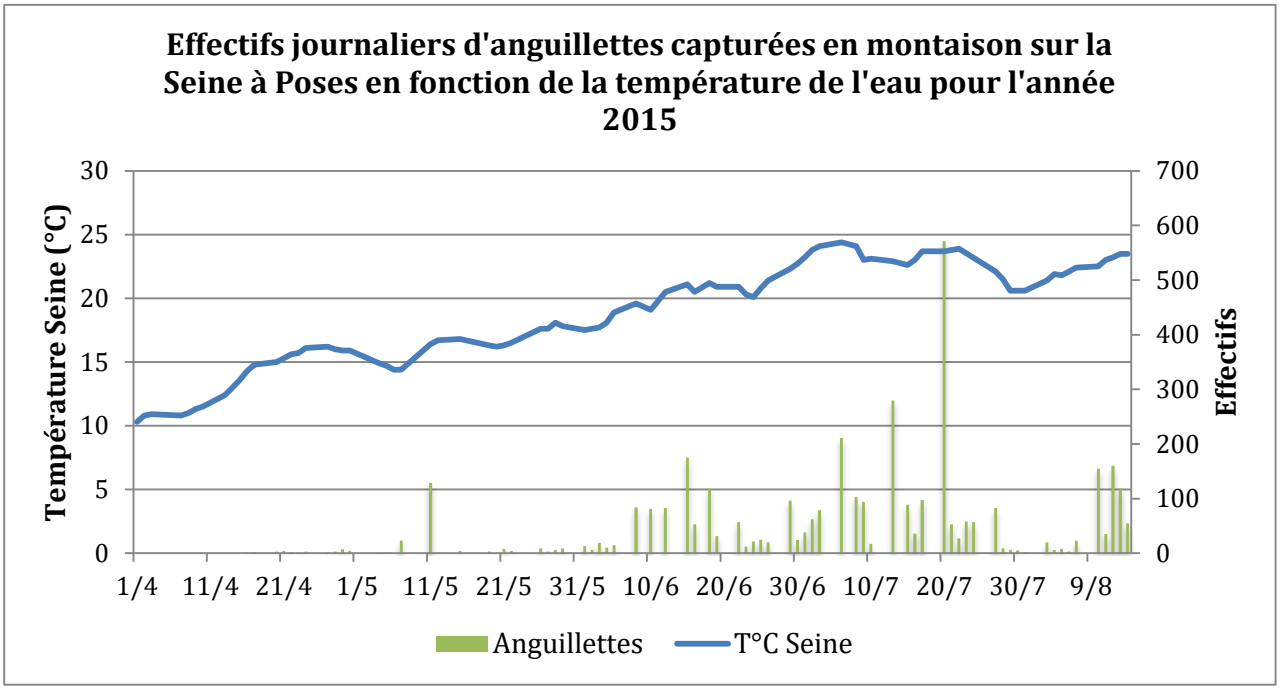


Fig. 31 : Effectifs journaliers d'anguillettes capturées en fonction de la température de l'eau

Si on s'intéresse au niveau de capture mensuel (*Figure 32*), on peut noter qu'il existe une différence significative entre les effectifs capturés par mois (Kruskal-Wallis, p-value < 0,05). D'après le test de comparaison multiple, il existe une différence statistique entre les effectifs capturés au mois d'avril avec les mois de juin, juillet et août, ainsi qu'entre le mois de mai et les mois de juin et juillet.

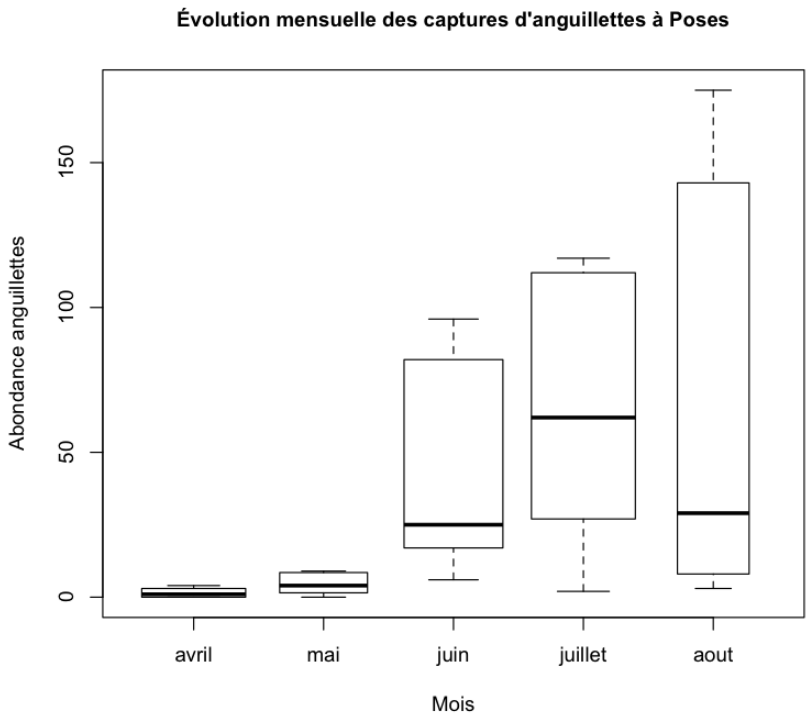


Fig. 32 : Évolution mensuelle des captures d'anguillettes à Poses

b. Influence des facteurs environnementaux

➢ Température

La première anguillette a été capturée lorsque la température de l'eau atteignait 14,3°C (*Figure 31*). Lors du premier pic d'anguillettes le 11 mai, la température de l'eau était de 16,4 °C. Cependant, très peu d'individus ont été capturés jusqu'à ce que la température atteigne les 17,7°C. Les pics d'individus des 13 et 20 juillet ont eu lieu lorsque la température de la Seine était supérieure à 23°C. Une forte corrélation significative a été établie entre les captures d'anguillettes et la température de la Seine (Rs = 0,8314, p-value < 0,05 ; *Figure 33*). Rappelons cependant que le facteur température seul n'explique pas entièrement la dynamique de migration de l'espèce.

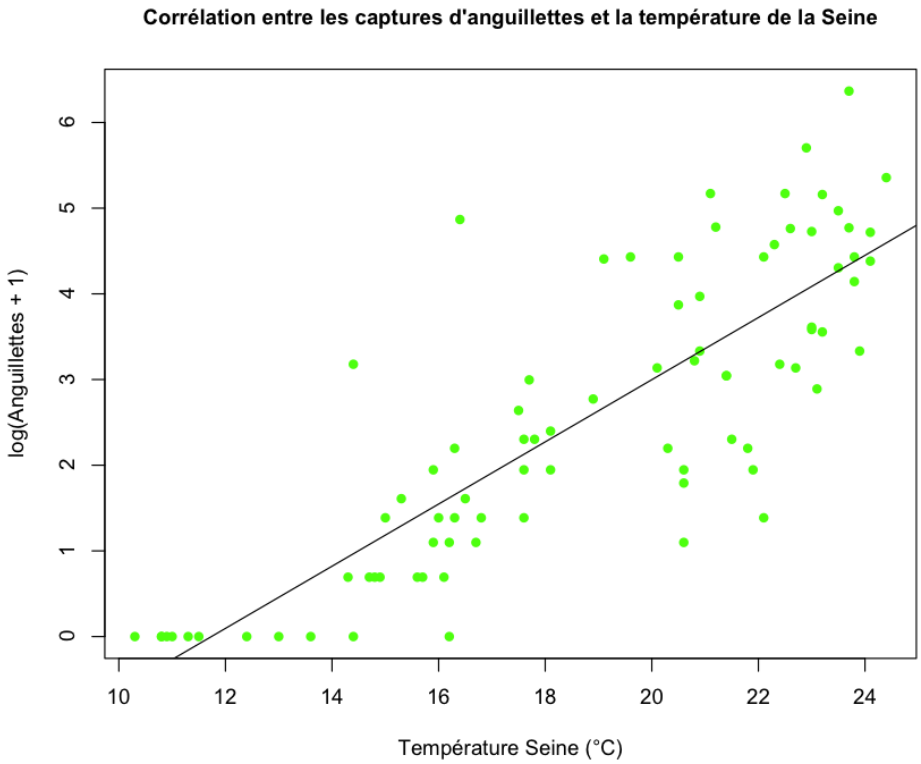


Fig. 33 : Corrélation entre les captures d'anguillettes et le température de la Seine

➢ Hauteur d'eau

Les facteurs hydrodynamiques jouent un rôle important dans le processus de migration des anguilles, notamment les cycles de marées. Une faible corrélation négative significative a pu être mise en évidence entre les captures d'anguillettes et la hauteur d'eau au niveau du barrage de

Poses (Rs = -0,5659, p-value < 0,05 ; *Figure 34*). Les anguillettes auraient alors tendance à remonter en plus grand nombre lorsque les hauteurs d'eau seraient les plus basses (*Figure 35*). Cependant, ce résultat reste très faible et incohérent vis à vis de la dynamique de migration de l'espèce pour établir un lien concret entre de faibles hauteurs d'eau et une augmentation des individus capturés.

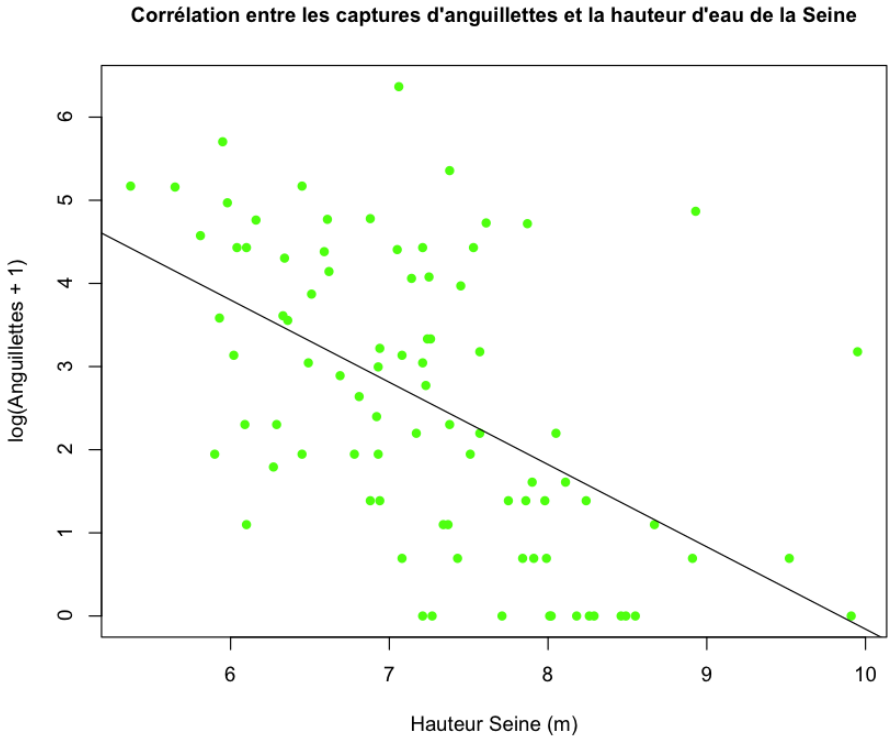


Fig. 34 : Corrélation entre les captures d'anguillettes et la hauteur d'eau de la Seine

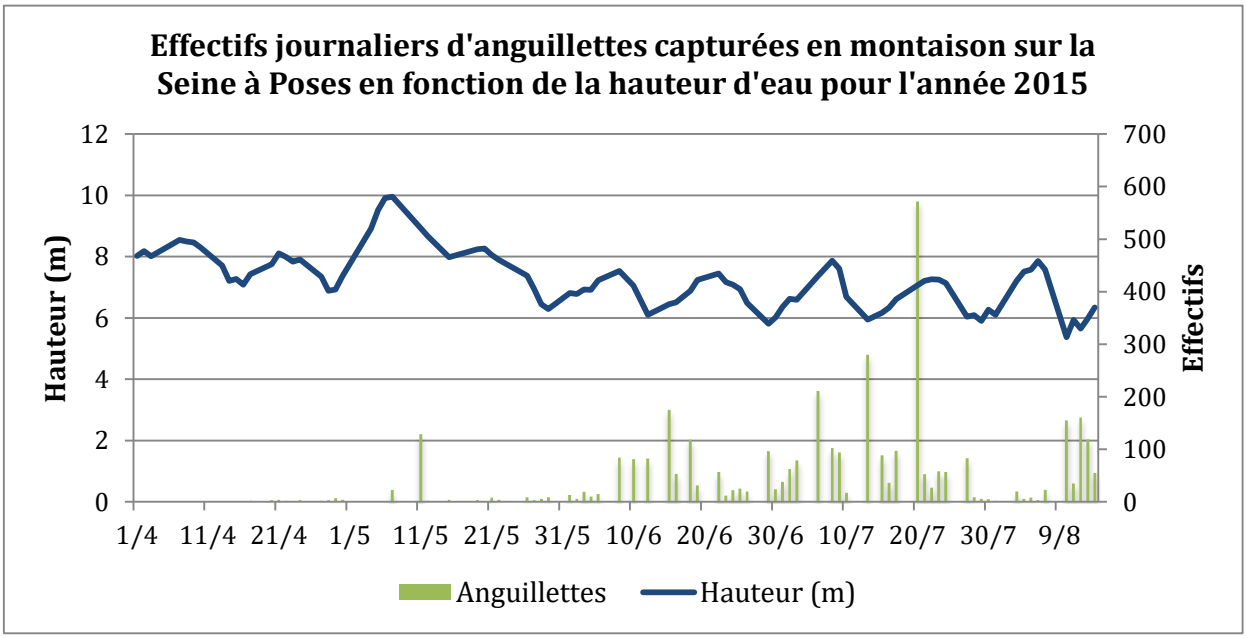


Fig. 35 : Effectifs journaliers d'anguillettes capturées en fonction de la hauteur d'eau

c. Caractéristiques de la population

Pour l'année 2015, les mesures de biométrie ont été réalisées sur 2044 anguillettes. À chaque relevé les individus ont été anesthésiés puis mesurés et pesés.

- Classes de taille des anguillettes

La taille de l'ensemble des anguillettes capturées en 2015 est comprise entre 70 et 390 mm (*Figure 36*). Les individus mesurant moins de 100 mm correspondent à de jeunes individus de l'année derrière en reprise de migration au début du suivi. Entre 100 et 150 mm, les individus sont dans leur première ou deuxième année de vie continentale. Les classes de tailles comprises entre 150 et 300 mm correspondent à des individus de deux à cinq étés continentaux, tandis que les classes comprises entre 300 et 450 mm correspondent à des individus mâles pouvant s'argenter ou des individus femelles en croissance (Garot, 2011). La classe modale est de 100-110 mm représentant 19,5% des individus capturés.

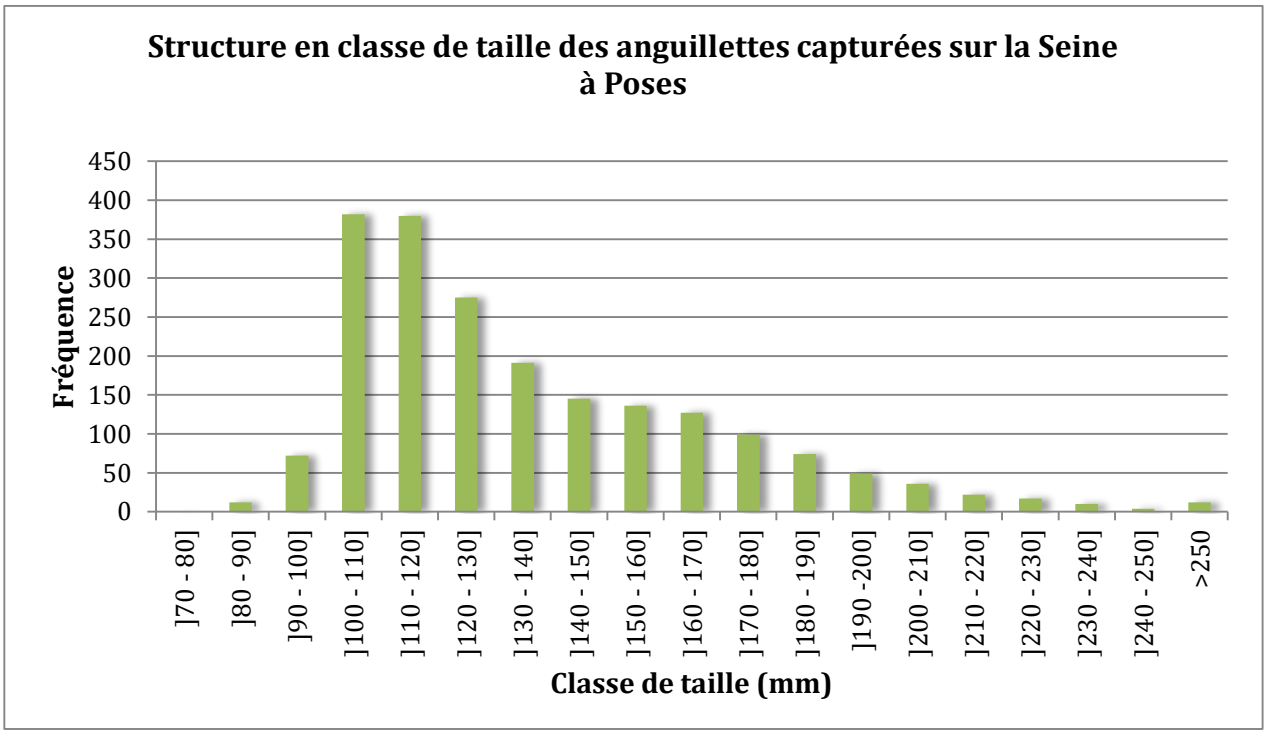


Fig. 36 : Distribution des tailles des anguillettes

- Taille et poids des anguillettes

On observe au cours du suivi une variabilité de la taille des individus (*Figure 37*). Hormis pour le mois d'avril, où les effectifs d'individus capturés sont très faibles (25 individus), on constate une diminution de la taille des individus au cours du suivi. Il existe une différence significative (Kruskal-Wallis, p-value < 0,05) de la taille des anguillettes au cours des mois. D'après le test de comparaison multiple, il existe une différence significative de la taille des anguillettes du mois de juillet avec les mois de mai et juin, ainsi que du mois d'août avec les mois de mai et juin. En effet la taille moyenne des individus des mois de mai, juin, juillet et août sont respectivement de 146, 145, 133 et 131 mm.

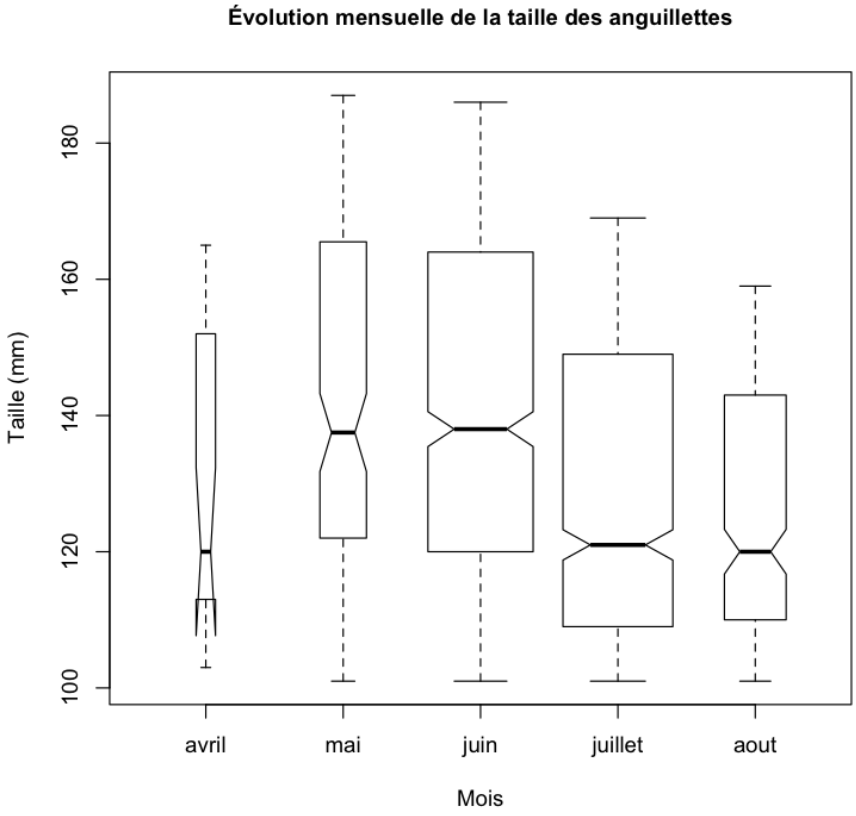


Fig. 37 : Évolution mensuelle de la taille des anguillettes

En ce qui concerne le poids moyen, on observe une tendance similaire avec une diminution du poids au cours des mois (Kruskal-Wallis, p-value <0,05, *Figure 38*). D'après le test de comparaison multiple, il existe une différence significative entre le poids des individus du mois d'août avec les mois de mai, juin et juillet, ainsi que du mois de juillet avec les mois de mai et juin. En effet, les poids moyens des anguillettes pour les mois de mai, juin, juillet et août sont respectivement de 4.9, 4.6, 3.6 et 3.0 g.

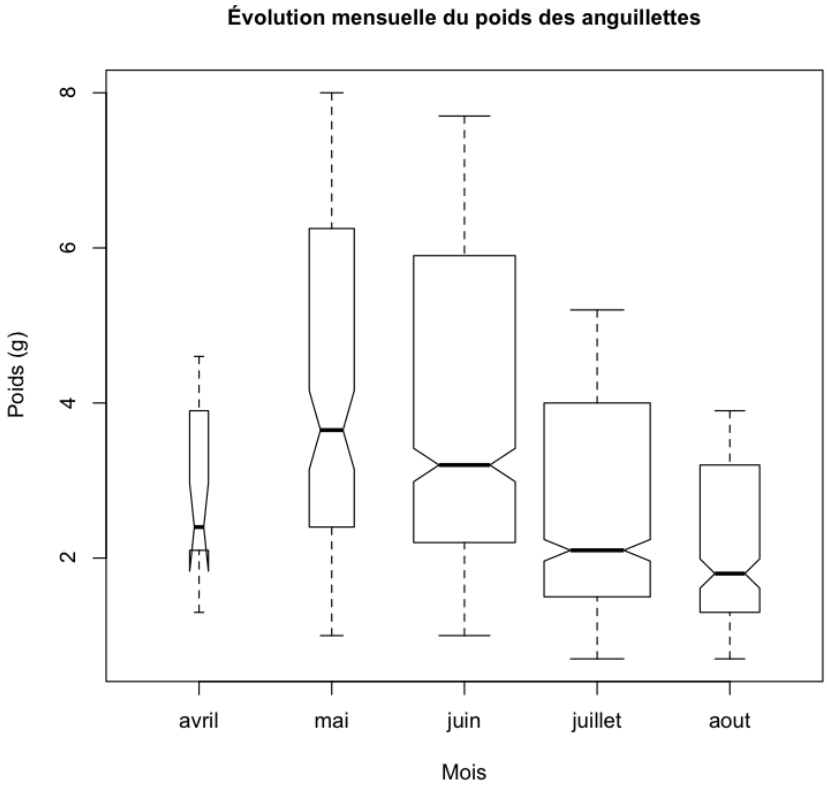


Fig. 38 : Évolution mensuelle du poids des anguillettes

III. Déroulement de la migration sur 24 heures

Au cours du suivi sur 24 heures, 87 individus ont été capturés, dont 31 individus de l'année (18 civelles et 13 anguillettes pigmentées ; *Figure 39*). On observe les plus grands taux de capture entre 20h00 et 1h00 du matin, représentant 55% des effectifs totaux capturés, les effectifs maximums étant à 23h00 et minuit (12 individus). Un « pic » à 9 anguilles, dont 6 individus de l'année, est également observable à 5h00 du matin.

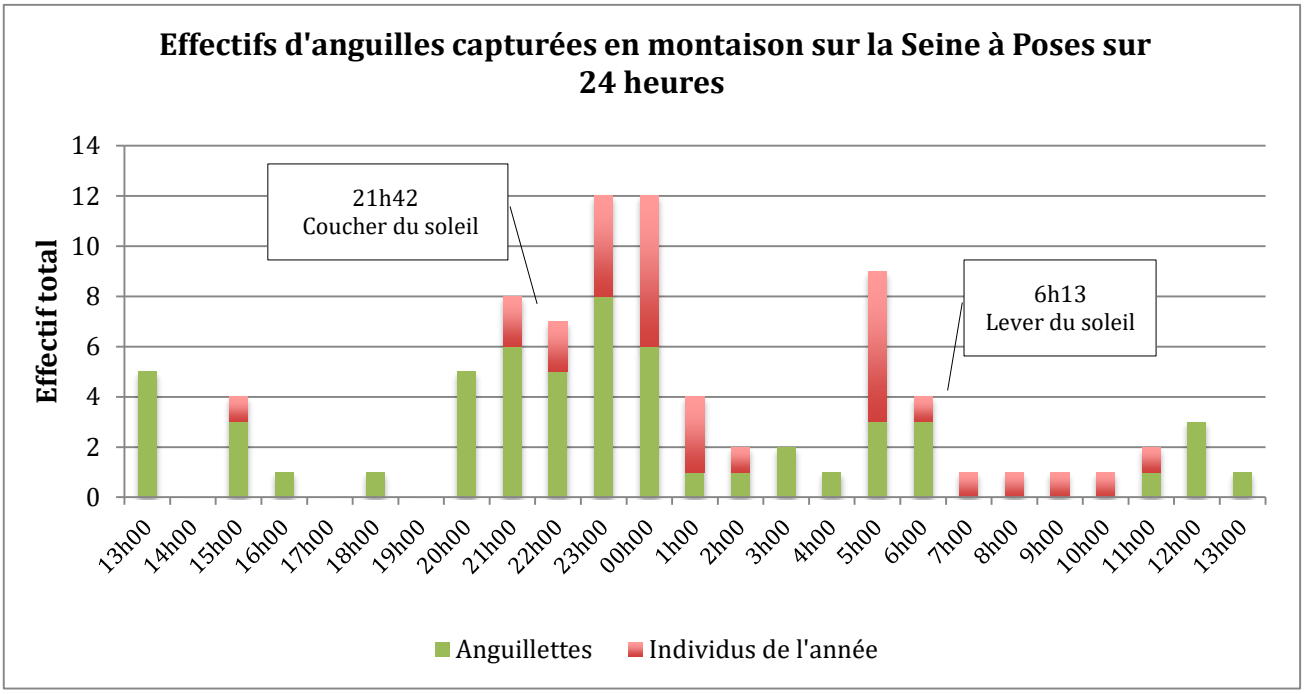


Fig. 39 : Effectifs d'anguilles capturées pendant le suivi 24 heures

IV. Taux de recapture après marquage

Pour rappel, les anguilles marquées au VIE jaune ont été relâchées le 23 juillet à 13h dans le premier bassin de repos de la passe piège à anguilles à l'aval du barrage ; tandis que les anguilles marquées au VIE rouge ont été relâchées le 27 juillet à 12h30, à 180 m environ de l'entrée de la passe piège.

Le suivi sur 24 heures a permis d'identifier l'arrivée des premiers individus marqués au VIE jaune dans le vivier (*Figure 40*). En effet, la première anguille marquée est arrivée à 17h00, soit 4 heures après le relâché des anguilles. Ainsi, pendant les 24 heures qui ont suivi le relâcher des 51 individus marqués au VIE jaune, 12 anguilles ont été recapturées. Seule une anguille marquée au VIE jaune a été recapturée une semaine plus tard (*Figure 41*). C'est donc 13 anguilles sur 51, soit 25% de l'effectif total, qui ont été recapturées.

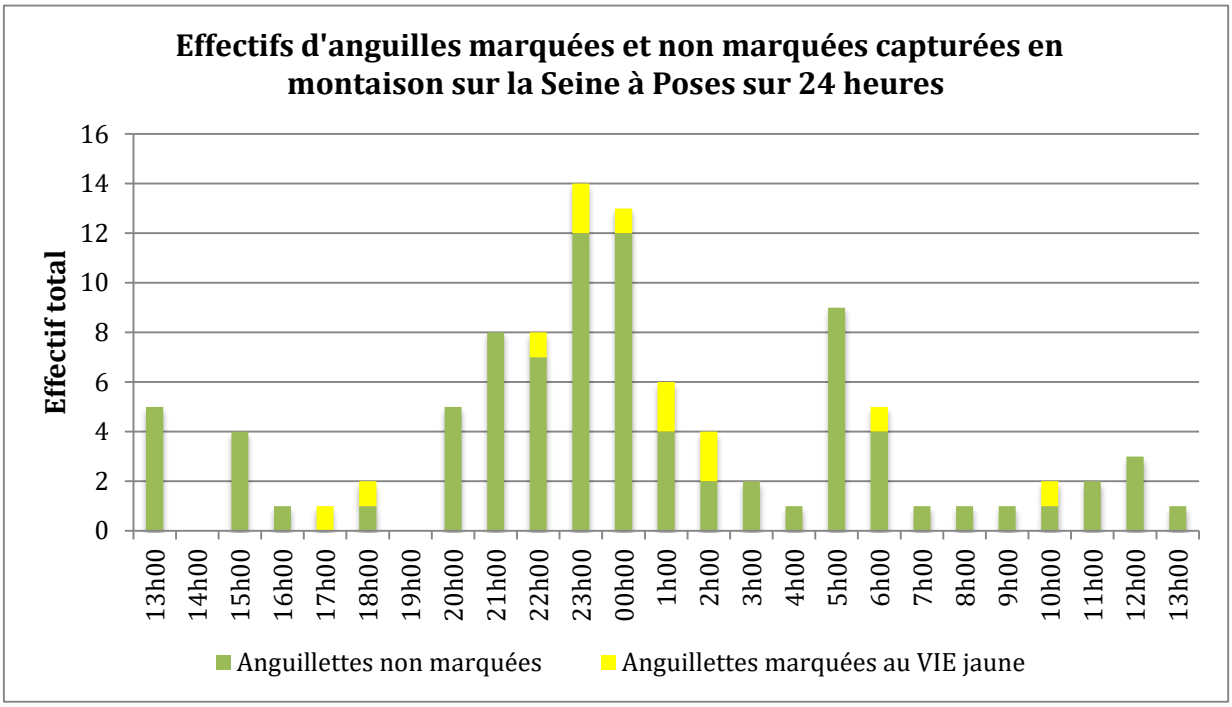


Fig. 40 : Effectifs d'anguilles marquées et non marquées capturées pendant le suivi 24 heures

En ce qui concerne les individus marqués au VIE rouge relâchés le 27 juillet, 8 individus ont été recapturés dès le lendemain dans le vivier, puis 2 le jour suivant (*Figure 41*). Le lundi 3 août, soit une semaine après le lâcher, 6 individus ont été recapturés, puis 1 individu le 4 août, 2 individus le lundi 10 août et 1 individu le 11 août. C'est au total 20 individus sur les 152 relâchés, soit 13% de l'effectif total, qui ont été recapturés.

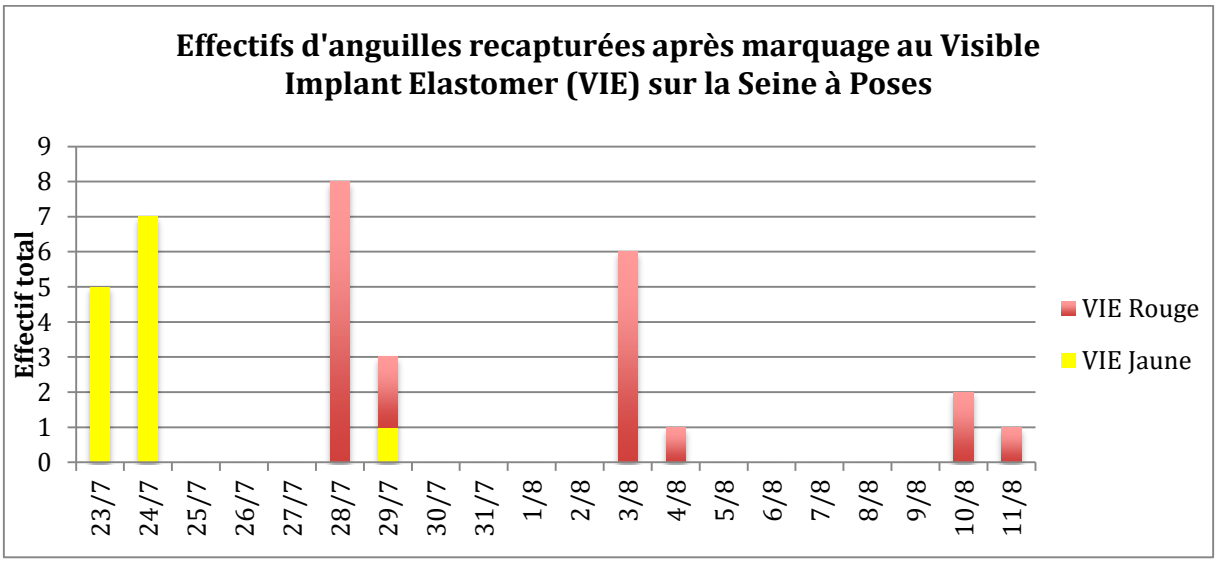


Fig. 41 : Effectifs d'anguilles recapturées après marquage au Visible Implant Elastomer

V. Comparaison des suivis 2014 et 2015

Au cours du suivi de 2014, correspondant à la première année de suivi de la migration des anguilles sur le dispositif de piégeage en rive gauche de la Seine à Poses, 10347 anguilles ont été capturées jusqu'au 14 août, dont 2874 individus de l'année. En 2015, seulement 4358 anguilles ont été capturées, dont 705 individus de l'année. Les anguilles piégées en 2015 représentent donc 42% de l'effectif total de 2014.

Les premières anguilles ont été capturées à la même période, début avril, pour les deux années de suivi (*Figure 42*). Cependant, les premières civelles ont été capturées début juin pour l'année 2014, tandis qu'en 2015 les premières captures de civelles se sont faites début juillet, soit un mois après.

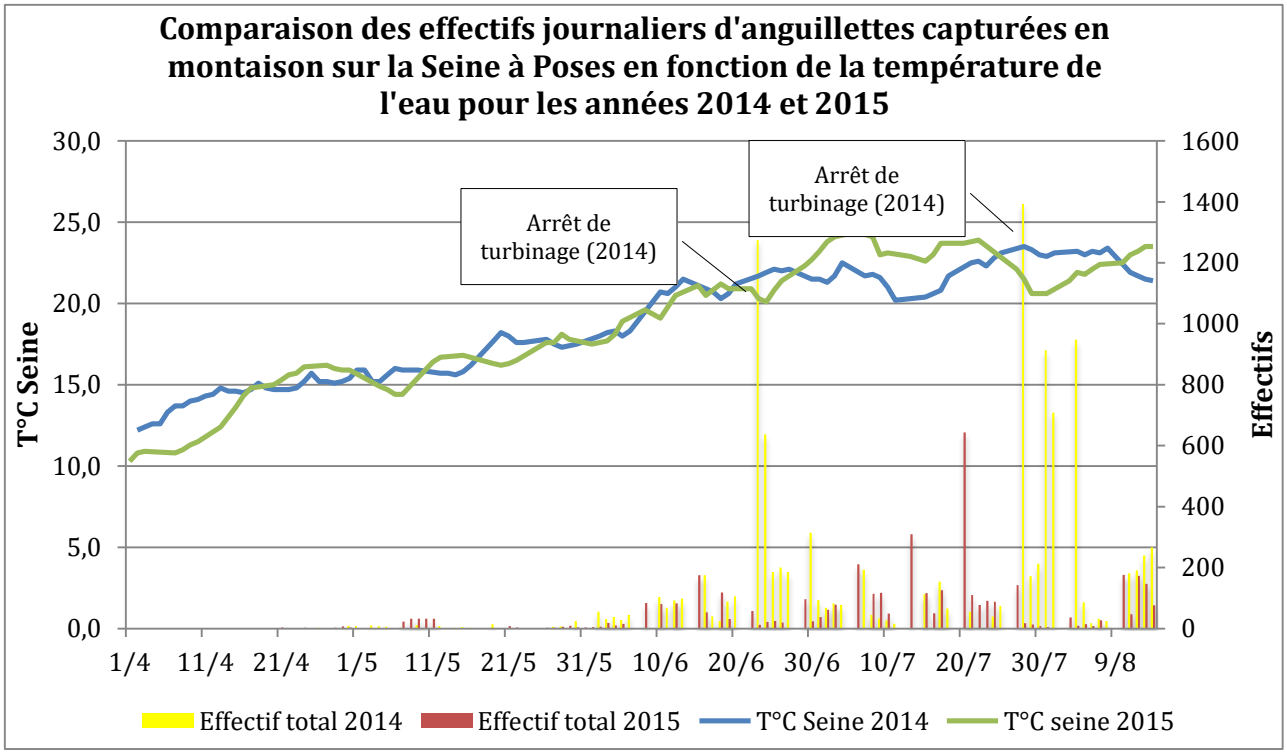


Fig. 42 : Comparaison des effectifs journaliers d'anguillettes capturées en 2014 et 2015 en fonction de la température de l'eau

En ce qui concerne le suivi de la migration des anguilles, les pics de migrations pouvant être observés fin juin et fin juillet pour l'année 2014, faisant suite à des arrêts de turbinage de l'usine hydroélectrique (Mullet, 2014), ne sont pas observables au cours du suivi de 2015. Il en est de même pour le pic observé mi-août en 2014.

Alors que les effectifs montent à 1275 et 1393 individus au moment des pics de 2014, ceux-ci n'atteignent que 309 et 643 individus en 2015. Les pics de migrations de 2015 sont très en dessous de ceux observés en 2014.

Au niveau des facteurs environnementaux, il n'existe pas de différence significative des températures de la Seine entre les années 2014 et 2015 (Wilcoxon, p-value > 0,05), cependant, une différence significative (Wilcoxon, p-value < 0,05) a pu être établie entre les hauteurs d'eau de la Seine entre les années 2014 et 2015. Les hauteurs d'eau de la Seine en 2015 sont relativement inférieures aux hauteurs d'eau de 2014 (*Figure 43*). Ceci confirme les incohérences des corrélations obtenues entre les effectifs capturés et les faibles hauteurs d'eau en 2015, puisqu'en 2014 les hauteurs d'eau étaient plus hautes et les effectifs capturés beaucoup plus importants. La hauteur d'eau de la Seine ne peut donc pas expliquer la dynamique de migration des anguilles sur le barrage de Poses pour cette année 2015.

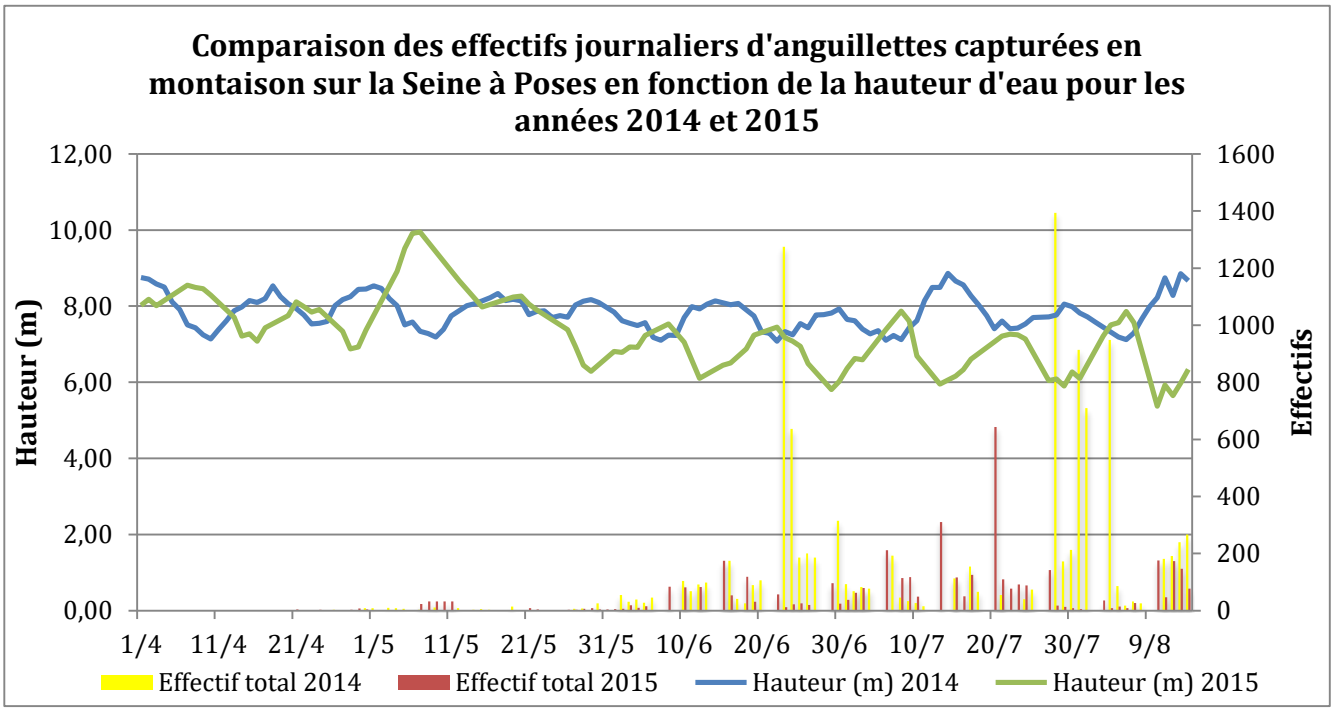


Fig. 43 : Comparaison des effectifs journaliers d'anguillettes capturées en 2014 et 2015 en fonction de la hauteur d'eau

La distribution en classe de taille de l'ensemble des individus mesurés en 2014 et 2015 est présentée en *Figure 44*. Jusqu'au 14 août, la biométrie a été réalisée sur 3731 individus en 2014 et sur 2664 individus en 2015 (71% des individus mesurés en 2014). On remarque que la structure en classe de taille de la population n'est pas identique entre 2014 et 2015. En effet, les individus mesurés en 2014 sont plus petits qu'en 2015, avec une classe modale de 80-90 mm (22%). Les anguillettes capturées en 2014 sont essentiellement comprises entre 70 et 110 mm (70%). Tandis qu'en 2015, la classe modale est de 100-110 mm (14%) et les anguillettes capturées sont essentiellement comprises entre 90 et 150 mm (64%). En outre, on remarque qu'au delà de 110 mm les individus mesurés de 2015 sont plus nombreux qu'en 2014. Environ 22% des individus mesurent plus de 150 mm en 2015 contre 9% en 2014.

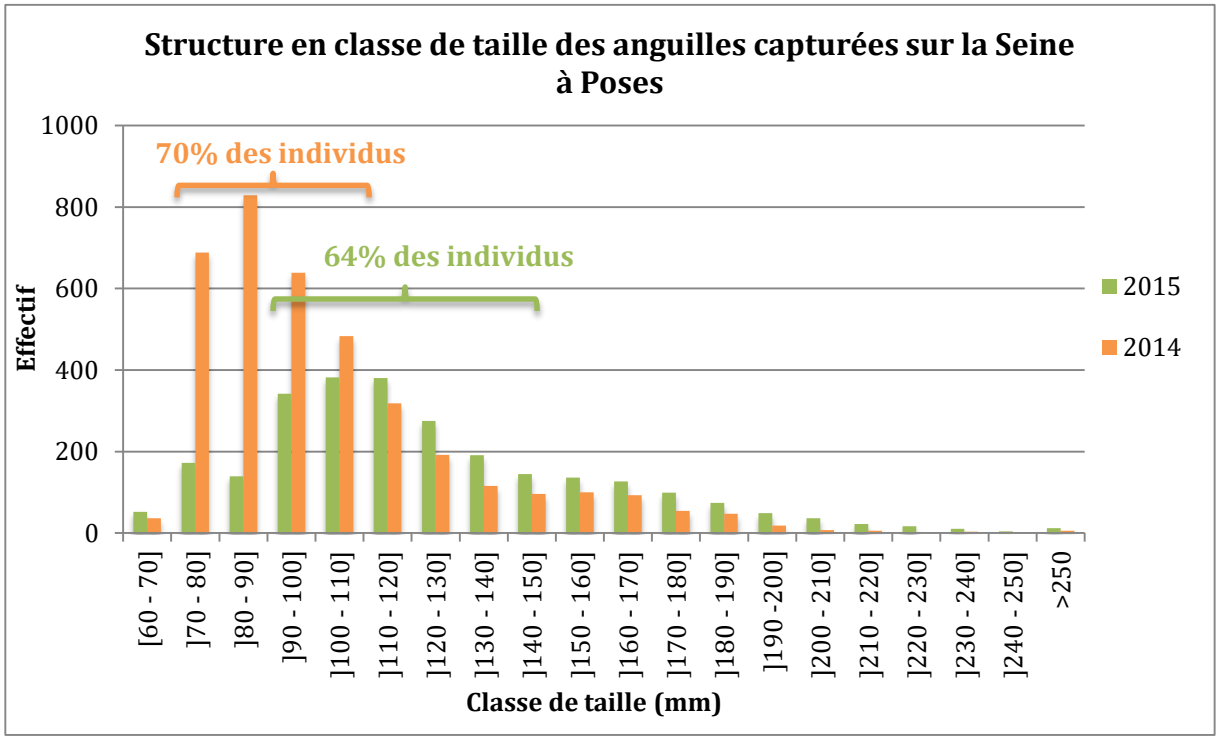


Fig. 44 : Distribution des tailles des anguilles capturées en 2014 et 2015

DISCUSSION

Déroulement de la migration : aspects quantitatifs

Au cours de cette deuxième année de suivi de la migration des anguilles en rive gauche de la Seine à Poses, 4358 anguilles ont été capturées, dont 138 civelles représentant environ 3% des captures totales. L'effectif total d'individus piégés en 2015 ne représente que 42% de l'effectif total de 2014. Les effectifs sont extrêmement faibles au vu de la surface du bassin versant de la Seine (79 000 km^2), notamment pour cette deuxième année de suivi. En effet, les effectifs de 2015 sont comparables aux effectifs observés en 2008 sur un bassin versant de seulement 127 km^2, sur une passe piège à anguilles dans le Finistère où 4082 individus ont été capturés, dont 1179 civelles (Fédération du Finistère pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 2008). Sur le bassin versant de la Vilaine (11 000 km^2), les captures de civelles varient entre 11 260 et 2 902 018 entre 1996 et 2013 (Briand *et al.,* 2014). En Vendée, sur le fleuve de la Vie (bassin versant de 780 km^2), les captures varient de 48 137 à 3 552 144 entre 2006 et 2012 (Fédération de la Vendée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 2012). Ainsi, des suivis réalisés sur des bassins versants plus petits montrent des niveaux de captures beaucoup plus élevés que sur la Seine. On pouvait donc s'attendre à un recrutement fluvial nettement supérieur à celui observé en 2015, ainsi qu'en 2014.

L'utilisation modérée de cette passe par les anguilles suggère un problème d'attractivité de celle-ci sur plusieurs points. Les turbulences créées par la centrale hydroélectrique au niveau de la rampe aval masqueraient l'attractivité du dispositif de franchissement et pourraient désorienter les individus. Les anguilles seraient alors entrainées par les remous pendant un long moment avant de pouvoir atteindre l'entrée de la rampe. En outre, l'anguille est attirée par les appels d'eau mais présente des capacités de nage à contre-courant limitées (0,1 à 0,2 m/s pour les civelles, 0,3 à 0,6 m/s pour les anguillettes). En conséquence, les déplacements vers l'amont des individus tirent parti des irrégularités présentes sur le fond ou les berges des cours d'eau. Le débit fluvial joue donc un rôle majeur dans la phase de colonisation et peut représenter un frein à la migration (Baran & Basilico, 2011). Les palplanches placées le long de la berge associées aux vitesses de courant élevées à l'aval de la centrale pourraient alors limiter la progression vers l'amont des jeunes individus en empêchant leur fixation le long des berges. Des travaux d'enrochement sur la rive gauche ont été évoqués lors d'une réunion de comité de pilotage début juillet.

L'estimation du recrutement de la Seine ne s'effectue qu'à partir d'un seul dispositif de franchissement installé en rive gauche. Il est donc important de préciser que les données

obtenues ne correspondent pas au flux migrant potentiel se présentant au pied du barrage (Alamelle *et al.,* 2011). Notons également qu'une proportion non négligeable d'individus est susceptible de remonter la Seine par les écluses situées en rive droite.

Déroulement de la migration : aspects qualitatifs

Le suivi de la migration des anguilles a débuté le 1er avril 2015 et la première anguille a été capturée le 16 avril, lorsque la température de l'eau était supérieure à 14°C. La migration des anguilles à l'aval du barrage de Poses semble être influencée par la température de l'eau. Plusieurs auteurs soulignent l'influence de ce paramètre sur la migration des anguillettes pour laquelle une hausse printanière de la température (entre 10 et 14°C) semble être l'élément déclencheur (Moriarty, 1986 ; Naismith & Knights, 1988). La reprise de l'activité est initiée par les anguillettes, correspondant à des individus âgés d'un été au moins. Les individus de l'année âgés de moins d'un été arrivent plus tard, au début du mois de juillet. Cette arrivée plus tardive des civelles peut également s'expliquer par la distance de l'ouvrage à la mer (160 km), facteur défini par plusieurs auteurs comme prépondérant dans la distribution des anguilles sur un bassin versant (Lafaille *et al.,* 2003 ; Oberdoff *et al.,* 2001). Les captures sont variables du 1er avril au 14 août mais restent faibles dans l'ensemble. La migration semble s'effectuer par vague avec deux pics notables à la mi-juillet. Ces pics se manifestent à la même période que la vague de migration observée fin juillet en 2014. Cependant, ces pics du 13 et 20 juillet 2015 ne représentent respectivement que 22 et 46% du plus gros pic observé le 28 juillet 2014. Ce dernier faisait suite à un arrêt de turbinage. Bien qu'un lien de cause à effet entre ce pic et l'arrêt de turbinage ne puisse pas être entièrement établi, on remarque que les passages les plus importants se font fin juillet, notamment pour les individus de l'année. L'arrêt de turbinage en 2014 pourrait avoir accentué les effectifs durant cette vague, en revanche, d'autres facteurs (température, hauteur d'eau, distance de l'ouvrage à la mer…) devraient jouer un rôle prépondérant dans cette dynamique de migration observée fin juillet ; l'effet de ces facteurs pourrait cependant être masqué par la faible attractivité de la rampe.

En ce qui concerne les facteurs environnementaux, une corrélation positive significative a pu être mise en évidence entre les captures d'anguilles et la température de l'eau. D'autres suivis de passe à anguilles montrent les mêmes résultats (Alamelle *et al.,* 2011 ; Campton & Crivelli*.,* 2010 ; Campton *et al.,* 2012). Comme évoqué précédemment, la distance de l'ouvrage à la mer est à prendre en considération, le facteur température n'explique pas à lui seul la reprise de la migration des anguilles. Il peut cependant expliquer cette chute des effectifs entre la fin du mois

de juillet et le début du mois d'août. En effet les conditions climatiques défavorables pendant cette courte période ont entrainé une chute de la température de la Seine de 3°C.

Au niveau des facteurs hydrodynamiques, une faible corrélation négative significative a pu être mise en évidence entre les captures d'anguilles et les hauteurs d'eau de la Seine. Ce résultat reste cependant très faible et en désaccord avec la littérature scientifique. En effet, plusieurs études mettent en évidence une corrélation positive de la migration verticale des anguilles en phase avec les marées. Les individus nagent dans les couches superficielles durant le flot, courant de marée montante, ainsi qu'au début du jusant, courant de marée descendante, jusqu'à ce que les conditions leur soit trop défavorables et qu'elles redescendent sur le fond et s'enfouissent dans le sédiment (Elie & Rochard, 1994 ; Gascuel, 1985 in Elie & Rochard, 1994 ; Lafaille *et al.,* 2007). Ce résultat démontre alors que les coefficients de marées n'ont pas d'incidence sur les captures d'anguilles au niveau du barrage de Poses. Ceci pourrait provenir de l'atténuation progressive de l'influence de la marée vers l'amont. En effet, l'intervalle de temps entre la basse mer et la pleine mer suivante se réduisent au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'amont ; à Quillebeuf le « coup de flot » dépasse les 2,5 m/s tandis qu'en amont de Rouen, le courant de flot finit par disparaître, les vitesses oscillant entre 25 et 50 cm/s à Poses (Le Hir & Jacinto, 2004).

Les anguilles capturées sont majoritairement des individus dont la taille est inférieure à 150 mm (78% des effectifs), correspondant à des individus dans leur première ou deuxième année de vie continentale (Garot, 2011). Les captures d'individus de l'année restent faibles pour cette deuxième année de suivi, les civelles ne représentant que 3% des captures totales. Cependant, un biais dans ce résultat peut être évoqué. En effet, les civelles arrivant de la mer et mesurant autour de 70 mm peuvent à la fin de l'été mesurer 100 mm ou plus au moment des captures. Au cours du suivi à 6 mois de l'opération d'alevinage en civelles sur le Cailly en 2014, la taille individuelle moyenne des individus est passée de 69,9 mm en mars/avril à 83 mm en moyenne en septembre. Cependant, une part non négligeable des individus issus du repeuplement a une taille comprise entre 90 et 130 mm (Garot, 2014). Cette classe de taille inférieure à 100 mm pour définir un individu de l'année est à remettre en cause en fin d'été. Il existe donc un biais dans les classes de taille et la pigmentation des individus à la fin de l'été dès lors que des individus ayant un stade pigmentaire plus avancé apparaissent progressivement au fur et à mesure de l'avancée dans la saison, correspondant en partie au vieillissement sur place d'une fraction de la population et éventuellement à l'arrivée d'individus ayant vieilli dans des zones situées plus à l'aval (Elie & Rochard, 1994).
Concernant la présence d'individus mesurant entre 150 et 300 mm, âgés de deux à cinq étés continentaux, l'hypothèse émise la plus probable est que ces individus soient restés bloqués au

pied de l'ouvrage avant l'installation du dispositif de montaison en 2013. Ces individus bloqués à l'aval ont commencés à reprendre leur migration l'année dernière pour la première année de mise en service du dispositif, et au vu de l'efficacité de la passe piège, ces remontées pourraient se poursuivre dans les années à venir bien qu'il est considéré que plus la taille d'un individu est élevée, plus les phénomènes de migration diminuent (Edeline, 2005 ; Lafaille *et al.,* 2005). Ceci suggère un comportement migratoire fort jusqu'à un stade de croissance avancé.

Taux d'efficacité de la passe piège à anguilles

Au cours du suivi sur 24 heures avec un relevé de piège toutes les heures, 87 anguilles ont été capturées dont 35% représentant des individus de l'année. Près de 70% des captures se sont effectuées entre le coucher et le lever du soleil, avec un pic de capture à 23h et minuit. Plusieurs études montrent en effet ce rythme de migration nycthéméral des anguilles avec une migration ayant principalement lieu la nuit (entre 22h et 6h) (Bardonnet *et al.,* 2003 ; Gandolfi *et al.,* 1984 ; Gascuel, 1986 ; Elie & Rochard, 1994 ; Travade, 2011). Durant la journée, une plus forte proportion d'individus demeure près du fond. La baisse de luminosité avec le coucher du soleil vers 20h-21h pourrait avoir déclenché la reprise de la migration des anguilles. Le temps nécessaire au franchissement du dispositif a donc pu engendrer ce pic à 23h et minuit. En effet, lors de la campagne de marquage réalisée le matin du suivi sur 24 heures, la première anguille relâchée dans la rampe aval a été retrouvée 4 heures après dans le vivier. De plus, cette première anguille marquée a pu ne pas reprendre sa dynamique de migration dans l'immédiat suite au stress provoqué par le marquage. Le franchissement du dispositif pouvant alors être effectué en moins de 4 heures, ce qui expliquerait ce pic à 23h et minuit. Cependant, sous certaines contraintes naturelles (turbidité) ou artificielles (obstacles), le phénomène de migration peut se réaliser en plein jour, voire même à l'air libre (Elie & Rochard, 1994). Les individus capturés en plein jour peuvent donc être le résultat d'une rampe difficile à trouver à l'aval et d'un dispositif trop long à franchir, ne faisant arriver les anguilles dans le piège qu'au petit matin ou dans la journée.

Les deux campagnes de marquages réalisées ont eu pour objectif d'estimer le taux d'efficacité de la rampe. La première campagne a permis de déterminer le temps nécessaire aux anguilles pour franchir le dispositif de piégeage. Sur les 51 individus relâchés dans le premier bassin de repos à l'aval du barrage, 13 individus ont été recapturés dans les 5 jours qui ont suivi (12 individus dans les 24 heures), soit 25% de l'effectif total. Le premier individu marqué a été recapturé 4 heures après le lâcher. Ceci sous-entend que les 38 individus marqués restants (75%) sont soit morts, soit retombés dans la Seine alors qu'ils étaient dans le premier bassin de repos. Une étude

sur la passe à anguille de l'usine hydroélectrique de Golfech (Garonne) a montré que 50% des anguilles marquées engagées sur une passe redescendent entre 1 et 19 fois (Travade, 2011). L'installation d'un bassin anti-retour a confirmé son utilité sur le dispositif de Golfech. Il serait donc intéressant d'envisager l'installation d'un système anti-retour sur les bassins de repos à l'aval de l'ouvrage. Si 75% des individus qui ont tentés de franchir le dispositif au cours de cette année sont retombés, ceci représente 13 074 anguilles, soit un total de 17 432 anguilles potentielles qui auraient pu être capturées cette année.

La deuxième campagne de marquage a permis d'évaluer le taux d'efficacité de la passe piège, puisque les 152 individus ont été relâchés à environ 180 m à l'aval de la passe, en bord de rive. Seulement 20 individus ont été recapturés dans les 15 jours qui ont suivi le lâcher (dont 10 dans les 48 heures), soit 13% de l'effectif total. Une campagne de marquage-recapture a été réalisée sur l'écluse du Pas du Bouc en Gironde où 600 individus ont été marqués et relâchés selon trois lots : un en pied de passe, les deux autres à une cinquantaine de mètre en aval, en rives droite et gauche. Sur les 600 individus, moins de 50% des lâchers en pied de passe ont été retrouvés dans les 15 jours suivants, et moins de 25% des lâchers à une cinquantaine de mètre à l'aval ont été recapturés (Rigaud *et al.,* 2011). Selon une autre étude de l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) sur la Bresle, les premiers individus marqués et relâchés entre 1,5 et 2 km à l'aval du dispositif de piégeage ont été recapturés le lendemain matin. Le taux de recapture de 13% sur le dispositif de franchissement de Poses est donc faible comparé à d'autres études, révélant une faible attractivité de la passe piège. Ceci pouvant s'expliquer par les turbulences créées par la centrale hydroélectrique devant l'entrée de la passe ainsi que par les 200 m berges à l'aval non favorables à la progression des anguilles vers l'amont, comme expliqué précédemment. Un taux d'efficacité de 13% sur les 4358 individus capturés cette année sous entendrait plus de 33 500 individus potentiels si le taux d'efficacité de la passe était de 100%, et ceci avec un dispositif de franchissement seulement en rive gauche. Si on ajoute à cela la même proportion d'individus en rive droite, plus un échappement probable par les écluses, cela donnerait par extension près de 100 000 individus à l'année, effectif qui serait plus en adéquation avec le gabarit de la Seine.

CONCLUSION

Dans un contexte de diminution des indices de recrutement et d'échappement des anguilles européennes sur l'ensemble de son aire de répartition depuis les années 1980, un Plan de Gestion Anguille (PGA) a été mis en place au niveau national. Ce PGA institue des mesures de réduction des mortalités anthropiques de la population d'anguille européenne. C'est dans le cadre du PGA Seine-Normandie qu'un dispositif de franchissement spécifique à l'espèce a été installé en 2013 sur le barrage de Poses, premier obstacle à la montaison des anguilles depuis la mer.

Au cours de cette deuxième année de suivi, 4358 anguilles ont été capturées dans la passe piège à anguilles, dont 138 civelles. D'un point de vue quantitatif, ce recrutement fluvial de la Seine semble très faible. Avec un taux d'efficacité de la passe de 13%, les turbulences générées par la centrale hydroélectrique et la nature des berges à l'aval de la rampe pourraient être à l'origine de ce faible niveau de recrutement observé cette année. Il est important de préciser que ces effectifs ne correspondent pas au flux migrant potentiel de la Seine puisque ces données ne proviennent que d'un seul dispositif installé en rive gauche. La mise en service d'un dispositif de franchissement en rive droite fin septembre 2015 devrait permettre une meilleure estimation de ce recrutement annuel pour les prochaines années. En effet, les berges de la rive droite en enrochement offrent un substrat plus propice à la progression des jeunes individus. Les conditions hydrodynamiques seraient également plus favorables pour assurer l'attractivité de la passe. D'un point de vue qualitatif, les individus migrants sont essentiellement des jeunes individus (< 150 mm) avec une reprise de l'activité à la mi-avril initiée par des individus âgés d'un été au moins. Les individus de l'année arrivent plus tard, au début du mois de juillet, avec les passages les plus abondants observés à la fin du mois de juillet, sur une période très courte de quelques jours. Notons également que des individus de l'année ayant un stade pigmentaire et une taille plus avancés peuvent apparaître au fur et à mesure de l'avancée de la saison, induisant un biais dans la détermination des classes de taille.

Pour conclure, le dispositif de franchissement en rive gauche semble être efficace au regard de la large gamme de taille des individus l'utilisant, mais ne semble pas fournir une bonne estimation du recrutement fluvial annuel au vu de sa configuration. Avec la mise en service de la rampe de montaison en rive droite fin septembre 2015, il serait intéressant de poursuivre ce suivi d'une part pour obtenir une meilleure estimation du recrutement fluvial annuel de la Seine et d'autre part, pour comparer les effectifs obtenus sur les deux rives afin de conclure sur l'efficacité du dispositif en rive gauche. Dans cette perspective, des opérations de capture-marquage-recapture pourraient alors être reconduites sur les deux rives.

BIBLIOGRAPHIE

ACFM, 1998. ICES cooperative research report, 229. 880-889p.

ACFM, 2001. ICES cooperative research report, 246. 790-798p.

ACFM, 2002. ICES cooperative research report, 225. 940-948p.

ADAM G., FEUNTEUN É., PROUZET P., RIGAUD C., 2008. L'anguille européenne ; indicateurs d'abondance et de colonisation. Éditions Quae. 393p.

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 2011. Synthèse des résultats 2004-2011. 62p.

ALCOBENDAS M., LECOMPTE F., CASTANET J., MEUNIER F.J., MAIRE P., HOLL M., 1991. Technique de marquage en masse de civelles (*Anguilla Anguilla* L.) par balnéation rapide dans le fluorochrome. Application au marquage à la tétracycline de 500 kg de civelles. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 321. 43-54p.

ALCOBENDAS M., LECOMPTE F., FRANCILLON-VIEILLOT H., CASTANET J., MEUNIER F.J., MAIRE P., 1992. Marquage vital en masse chez l'anguille (*Anguilla Anguilla*) à l'aide d'une technique de balnéation rapide. Otolithométrie. 93-101p.

BAISEZ A., 2001. Optimisation des suivis des indices d'abondances et des structures de taille de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans un marais endigué de la côte Atlantique: relation espèce-habitat. Thèse de doctorat en écologie aquatique. Université de Toulouse III. 396p.

BAISEZ A., LAFAILLE P., 2005. Un outil d'aide à la gestion de l'anguille : le tableau de bord anguille du bassin Loire. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 378-379. 115-130p.

BARAN P., BASILICO L., 2011. Plan de sauvegarde de l'anguille. Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages ? Séminaire du programme R&D Anguilles-Ouvrages. 81p.

BARAS E., JEANDRAIN D., SEROUGE B., PHILIPPART J.C., 1998. Seasonal variations in time and space utilization by radio-tagged yellow eels *anguilla anguilla* (L.) in a small stream. Hydrobiologia, 371-372. 187-198p.

BARDONNET A., BOLLIET V., BELON V., 2005. Recruitment abundance estimation : Role of glass eel (*Anguilla anguilla* L.) response to light. Journal of Experimental Biology and Ecology, 321. 181-190p.

BERTIN L., 1951. Les anguilles. Payot, Paris. 194p.

BONHOMMEAU S., CHASSOT E., RIVOT E., 2008. Fluctuations in European eel (Anguilla *anguilla*) recruitment resulting from environmental changes in the Sargasso Sea. Fisheries oceanography, 17 :1. 32-44p.
BORDAJANDI L.R., GOMEZ G., FERNANDEZ M.A., ABAD E., RIVERA J., GONZALEZ M.J., 2003. Study PCBs, PCDD/FS organochlorine pesticides, heavy metals and arsenic contents in freshwater species from the River Turia (Spain). Chemosphere, 53. 163-171p.

BRANCHI I., CAPONE F., ALLEVA E., COSTA L.G., 2003. Polybrominated diphenylethers : neurobehavioural effects following developmental exposure. Neurotoxicology, 28. 449-462p.

BRIAND C., FATIN D., LAFAGE D., LAFAILLE P., 2003. Gestion du stock d'anguilles du bassin versant de l'Aulne. Bilan des pêches expérimentales en estuaire et sur la bassin-versant et propositions pour la gestion. 67p.

BRIAND C., FATIN D., FEUNTEUN E., FONTENELLE G., 2005. Estimating the stock of glass eels in an estuary by mark-recapture experiments using vital dyes. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 378-379. 23-46p.

BRIAND C., SAUVAGET B., ERIAU G., 2014. Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la vilaine. Pêches électriques. Volet poissons migrateurs. Contrat de Projet Etat-Région 2007-2013. 14p.

BRUSLÉ J., 1994. L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 335. 237-260p.

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 Vaccare`s lagoon (Camargue, France). Chemospher, 65. 1846-1858p.

CAMPTON P., CRIVELLI A.J., 2010. 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 2009-2010. 53p.

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. 53p.

CANTRELLE I., 1984. Le marquage par coloration appliqué à l'étude des migrations des civelles (*Anguilla Anguilla*, pisces, anguillidae). Cybium, 8 (3). 69-78p.

CHANCEREL F., 1994. Note technique. La répartition de l'anguille en France. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 335. 289-294p.

CARAGUEL J.M., CHARRIER F., MAZEL V., FEUNTEUN E., 2014. Mass marking of stoked European glass eels (*Anguilla anguilla*) with alizarin red S. Ecology of Freshwater Fish, 24. 435-442p.

CARRY L., DELPEYROUX J.M., 2013. Étude des rythmes de migration des espèces amphibiotiques et holobiotiques de la Garonne au niveau de la station de contrôle de Golfesh au cours de l'année 2012. Migrateurs Garonne Dordogne. 51p.

CASTONGUAY M., HODSON P.V., COUILLARD C.M, ECKERSLEY M.J., DUTIL J.D., VERREAULT G., 1994. Why is recruitment of the American eel, *Anguilla rostrata*, declining in the St. Lawrence River and Gulf ? Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 51. 479-488p.

COGEPOMI, 2011. Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin Seine-Normandie. 116p.

CONAPPED, 2015. Campagne de civelles. Comité National de la Pêche Professionnelle en Eau Douce. Consulté le 16.7.15. Disponible à l'adresse : www.lepecheurprofessionnel.fr

COUILLARD C.M., HODSON P.V., CASTONGUAY M., 1997. Correlations between pathological changes and chemical contamination in American eels, *Anguilla rostrata*, from St. Lawrence River. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 54. 1916-1927p.

CRIVELLI A.J., 1998. L'anguille méditerranéenne : synthèse bibliographique. DIREN Rhônes-Alpes, délégation de bassin RMC.

DE BOER J., HAGEL P., 1994. Spatial differences and temporal trends of chlorobiphenyls in yellow eels (*A. anguilla*) from inland waters of the Netherlands. Science of Total Environment, 141. 155-174p.

DE BOER J., VAN DER VALK F., KERKHOFF M.A.T, HAGEL P., BRINKMAN U.A.T., 1994. 8-year study on the elimination of PCBs and other organochlorine compounds frome el (*A. anguilla*) under natural condition. Environment Science and Technology, 28. 2242-2248p.

DEELDER C.L., 1985. Exposé synoptique des données biologiques sur l'anguille *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). FAO, Synopsis sur les pêches n°80, Révision 1. 71 p.

DEKKER W., 1998. Long-term trend in the glasseels immigrating at Den Oever, The Netherland. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 349. 199-214p.

DEKKER W., 2000. A procrustean assessment of the European eel stock. ICES Journal of Marine Science, 57. 938-947p.

DEKKER W., 2004. Slipping through our hands. Population dynamics of the European eel. 185p.

DÉSAUNAY Y., GUÉRAULT D., 1997. Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae : a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystems productivity. Journal of Fish Biology, 51. 317-339p.

DOU S.Z., TSUKAMOTO K., 2003. Observations on the nocturnal activity and feeding behavior of Anguilla japonica glass eels under laboratory conditions. Environmental Biology of Fishes, 67. 389-395p.

DURIF C., 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Thèse de doctorat en écologie aquatique. Université Paul Sabatier – Toulouse III. 350p.

EDELINE E., 2005. Facteurs du contrôle de la dispersion continentale chez l'anguille. Thèse de doctorat en écologie aquatique. Université de Toulouse III. 144p.

EGE V., 1939. A revision of the genus Anguilla Shaw : a systematic, phylogenetic and geographical study. Dana report, 16. 256p.

ELIE P., ROCHARD E., 1994. Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 335. 81-98p.

FEDERATION DU FINISTERE POUR LA PECHE ET LA PROTECTION DU MILIEU AQUATIQUE, 2008. Suivi de la migration anadrome d'anguilles à la passe de Moulin Neuf sur la Rivière de Pont l'Abbé (Finistère). Synthèse 2002-2206. Campagne 2007. Volet poissons migrateurs. Contrat de Projet Etat-Région 2007-2013. 21 p.

FEDERATION DE LA VENDEE POUR LA PECHE ET LA PROTECTION DU MILIEU AQUATIQUE, 2012. Suivi des passes à anguilles installées sur les axes de la Vie et du Jaunay. Bilan 2012 du suivi de la passe installée sur le Barrage des Vallées. 19p.

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

FEUNTEUN E., 2002. Management and restoration of European eel population (Anguilla anguilla): An impossible bargain. Ecological Engineering, 18. 575-591p.

FEUNTEUN E., RIGAUD C., ÉLIE P., LEFEUVRE JC., 1992. Le marais doux endigué de Bourgneuf-Machecoul (Pays de Loire). Premiers éléments de connaissance du peuplement piscicole. Relation ichtyofaune-habitat et problèmes majeurs de gestion. Revue des Sciences de l'eau, 5. 509-528p.

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

GANDOLFI G., PESARO M., TONGIORGI P., 1984. Environmental factors affecting the ascent of elvers, *Anguilla anguilla* (L.), into the Arno River. Oebalia, X, N.S.17-35p.

GAROT G., 2011. Programme de monitoring (surveillance) du plan de gestion anguille français – Évaluation du stock d'anguilles jaunes en place sur l'Unité de Gestion Anguille Seine-Normandie – Année 2011. Rapport de suivi. Seine Normandie-Nord Migrateurs (SEINORMIGR). 222p.

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

GAROT G., 2014. Opération d'alevinage en civelles sur le Cailly, affluent de la Seine, étapes 1 et 2 (alevinage et suivi à 6 mois). Plan de Gestion Anguille sur l'Unité de Gestion Seine-Normandie – Année 2014. Seine Normandie-Nord Migrateurs (SEINORMIGR) pour le Comité Régional des Pêches de Basse-Normandie. 110p.

GASCUEL D., 1985. Captures, CPUE, abondance et dynamiques de migration des civelles dans l'estuaire de la Sèvre Niortaise : 1961-1983. Communication Working Group on Eel CECPI/FAO, Bristol. 12 p.

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. Helgol. Meeresunters, 40. 321-326p.

GIBRAT B., NIELSEN T., 1985. Recherches sur la nutrition des juvéniles de l'anguille (*Anguilla anguilla* L., 1758). Conditionnement alimentaire et croissance en circuit fermé. Thèse 3ème Cycle. Institut National Polytechnique, Toulouse. 323p.

HARO A., RICHKUS W.A., WHALEN K., HOAR A., BUSCH W.D., LARY S., BRUSH T., DIXON D.A., 2000. Population decline of the American eel : implications for research and management. Fisheries, 25. 7-16p.

HODSON P.V., CASTONGUAY M., COUILLARD C.M., DESJARDINS C., PELLETIER E., MCLEOD R., 1993. Spatial and temporal variations in chemical contamination of American eels, *anguilla rostrata*, captured in the esturay of St. Lawrence river. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 51. 464-477p.

HULET W.H., ROBINS C.R., 1989. The evolutionary significance of the leptocephalus larva. In: Böhlke EB (ed) Fishes of the Western North Atlantic, Vol 2. Sears Foundation for Marine Research, New Haven. 669-677p.

ICES, 2002. Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eel (WGEEL). Copenhagen. 55p.

ICES, 2014. Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL). 3-7 November 2014. Rome, Italy. 203p.

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

IMBERT H., BEAULATON L., RIGAUD C., ELIE P., 2007. Evaluation of visible implant elastomer as a method for tagging small European eels. Journal of Fish Biology, 71. 1546-1554p.

KNIGHTS B., 1997. Risk assessment and management of contamination of eels (*Anguilla sp.*) by persistent xenobiotic organo-chlorine compounds. Ecology and Chamistry, 14. 171-212p.

KNIGHTS B., WHITE B., NAISMITH I.A., 1996. Stock assessment of European eel, *Anguilla anguilla* L. In stock assessment in Inlan Fisheries (ed I. Cowx, G.), vol. 34. Fishing News Books, Oxford. 431-447p.

LAFFAILLE P., FEUNTEUN E., BAISEZ A., ROBINET T., ACOU A., LEGAULT A., LEK S., 2003. Spatial organisation of the European eel (*Anguilla anguilla*, L.) in a small catchment. Ecol. Freshwat. Fish. 12. 254-254p.

LAFAILLE 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, vol. 24, No. 3. 642-651p.

LAFFAILLE P., ACOU A., GUILLOUET J., 2005. The yellow European eel (*Anguilla anguilla* L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. Ecol. Fresh. Fish, 14. 191-196p.

LAFAILLE P., CARAGUEL J.M., LEGAULT A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam. Estuarine, Coastal and Science, 73. 81-90p.

LASNE E., LAFAILLE P., 2008. Analysis of distribution patterns of yellow European eels intérieur the Loire catchment using logistic models based on presence-absence of different size-classes. Ecology of Freshwater Fish, 17. 30-37p.

LASNE E., ACOU A., VILA-GISPERT A., LAFAILLE P., 2008. European eel distribution and body condition in a river floodplain : effect of longotudinal and lateral connectivity. Ecology of Freshwater Fish, 17. 567-576p.

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

LECOMTE-FINIGER R., 1994. Contribution de l'otolithométrie à l'étude de la dynamique de migration larvaire de l'Anguille européenne *Anguilla anguilla*. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 335. 17-34p.

LEFEBVRE F., SERGENT E., ACOU A., LECOMTE-FINIGER R., CRIVELLI A.J., 2003. Recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) sur la côte méditerranéenne française : analyse comparée des caractéristiques biométriques et pigmentaires des saisons 1975-74 et 2000-01. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 368. 85-96p.

LEGAULT A., PORCHER J.P., 1989. Distribution du peuplement d'anguille à l'échelle régionale Bretagne Basse-Normandie (France). In E.I.F.A.C., Working Party on Eel, Porto, Portugal.

LE HIR P., JACINTO R.S., 2004. Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau. 32p.

LELARGE M., 1970. L'anguille mystérieuse et diabolique. Marchés du poisson, 86. 87- 88p

McCLEAVE J., 2001. Simulation of the impacts of dams and fishing weirs on reproductive potential of silver-phase American eels in the Kennebec river basin, Maine. North American journal of fisheries management, 21. 592-605p.

McCLEAVE J.D., KLECKNER R.C., CASTONGUAY M., 1987. Reproductive sympatry of American and European eels and implications for migration and taxonomy. Am. Fish. Soc. Symp, 1. 286-297p.

MÖLLER H., HOLST S., LÜCHTENBERG H., PETERSON F., 1991. Infection of eel *Anguilla anguilla* from the river Elbe estuary with two nematodes, Anguillicola crassus and Pseudoterranova decipiens. Diseases of Aquatic Organisms, 20. 163-170p.

MOREAU G., BARBEAU C., 1982. Les métaux lourds comme indicateurs d'origine géographique de l'anguille Américaine (*A. Rostrata*). Can. Journal Fish. Aquat. Sci., 39. 1004-1011p.

MORIARTY C. 1986. Riverine migration of young eels *Anguilla anguilla* (L.). Fisheries Research, 4. 43-58p.

MORIARTY C., DEKKER W., 1997. Management of the European eel. Fish Bull, 15. 110p.

MORRIS S., ALLCHIN C.R., ZEGERS B.N., HAFTA J.J.H., BOON J.P., BELPAIRE C., LEONARD P.E.G., VAN DER LEEUWEN S.P.J, DE BOER J., 2004. Distribution and fate of HBCD and TBBP-A brominated flame retardants in North Sea estuaries and aquatic food webs. Environmental Science & Technology, 38. 549-504p.

MULLET V., 2014. Suivi et estimation du recrutement de la Seine en anguille européenne (*Anguilla anguilla)*. Mémoire de master en science des environnements continentaux et côtiers. Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France. 49p.

NAISMITH I.A, KNIGHTS B., 1988. Migrations of elver and juvenile European eels, *Anguilla anguilla* L., in the river Thames. J. Fish Biol., 33. 161-175p.

NILO P., FORTIN R., 2001. Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'anguille d'Amérique (*Anguille rostrata*). Université du Québec à Montréal, Québec. 308p.

OBERDORFF T., PONT D., HUGENY B., CHESSEL D., 2001. A probabilistic model characterising fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment. Freshwater Biol. 46. 399-415p.

PETERS G., HARTMANN F., 1986. Anguillicola, a parasite nematode of the swimbladder spreading among eel populations in Europe. Diseases of Aquatic Organisms, 1. 229-230p.

PFEILER E., 1999. Developmental physiology of elopomorph leptocephali. Comparative Biochemistry and Physiology - Part A. Molecular & Integrative Physiology, 123. 113-128p.

PGA, 2010. Plan de Gestion Anguille de la France. Volet national. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007. 120p.

RIGAUD C., LAFFAILLE P., PROUZET P., FEUNTEUN E., DIAZ E., CASTELLANO J., DE CASAMAJOR M.N., 2008. Des compléments sur la biologie, in: Adam, G. et al. (Ed.) (2008). L'anguille européenne: Indicateurs d'abondance et de colonisation. Savoir-faire. 43-86p.

RIGAUD C., DROUINEAU H., BARAN P., 2011. Marquage-recapture et évaluation de l'efficacité d'un dispositif spécifique de franchissement. Programme R&D Anguilles et ouvrage – Solution technique – Fiche 2. 4p.

ROBINET T., FEUNTEUN E., 2002. Sublethal Effects of Exposure to Chemical Compounds: A Cause for the Decline in Atlantic Eels? Ecotoxicology, 11. 265-277p.

ROUSSEAU K., 2000. Évolution phylogénétique du contrôle de l'hormone de croissance: apport des modèles téléostéens, l'anguille (*Anguilla anguilla*) et le turbot (*Psetta maxima*). Thèse de doctorat. Université de Paris VI. 296p.

SANTILLO D., ALLSOPP M., WALTERS A., JOHNSTON P., PERIVIER H., 2006. Presence of perflorinated chemicals in eels from 11 European countries. Rapport Green Peace. 31p.

SCHMIDT J., 1922. The breeding places of the eel. Phil. Trans. R. Soc. 211.179-208p.

SEINORMIGR, 2014. Les migrations en Seine. Seinormag', le magazine des poissons migrateurs sur la Seine, la Normandie et le Nord. Numéro 1 – Février 2014. 30p.

SIMON J., 2006. Evaluation of marking European silver eels with visible implant elastomer tags and alcian blue. Journal of Fifh Biology, 70. 303-309p.

SIMON J., DÖRNER H., 2010. Growth, mortality and tag retention of small *Anguilla anguilla* marked with visivle implant elastomer tags and coded wire tags under laboratory conditions. Journal of Applied Ichthyology, 27. 94-99p.

TAPIE N., BUDZINSKI H., ÉLIE P., GONTHIER P., 2006. Contamination en polychlorobiphényles (PCB) des anguilles du système fluvio-estuarien de la Gironde. LPTC Bordeaux/Cemagref Bordeaux, rapport final. 58p.

TESCH F.W., 2003. The eel. Blackwell, Oxford. 399p.

TRAVADE F., 2011. Test d'une passe à anguille « à brosses » pour un barrage de grande hauteur – Golfech (Garonne). Programme R&D Anguilles et ouvrages. Solution technique. Fiche 3. 4p.

TSUKAMOTO K., AOYAMA J., 1998. Evolution of freshwater eels of the genus Anguilla: a probable scenario. Environmental Biology of Fishes, 52. 139-148p.

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

VAN DER OOST R., GOKSOYR 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. Aquatic Toxicology, 36. 189-222p.

VECCHIO Y., ROUSSEL C., 2010. Sauvegarde de l'anguille. Le plan de gestion français. ONEMA. 24p.

VIGIER J.F., 1990. Les pathologies des anguilles. Cemagref, coll. « Étude », série « Gestion des milieux aquatiques ». 198p.

VOETGLE B., LARINIER M., 2000. Étude des capacités de franchissement des civelles et anguillettes. Site de Tuilières (Dordogne) et du barrage d'Arzal (estuaire de la Vilaine). GHAAPPE, rapport RA 00.05. 69 p.

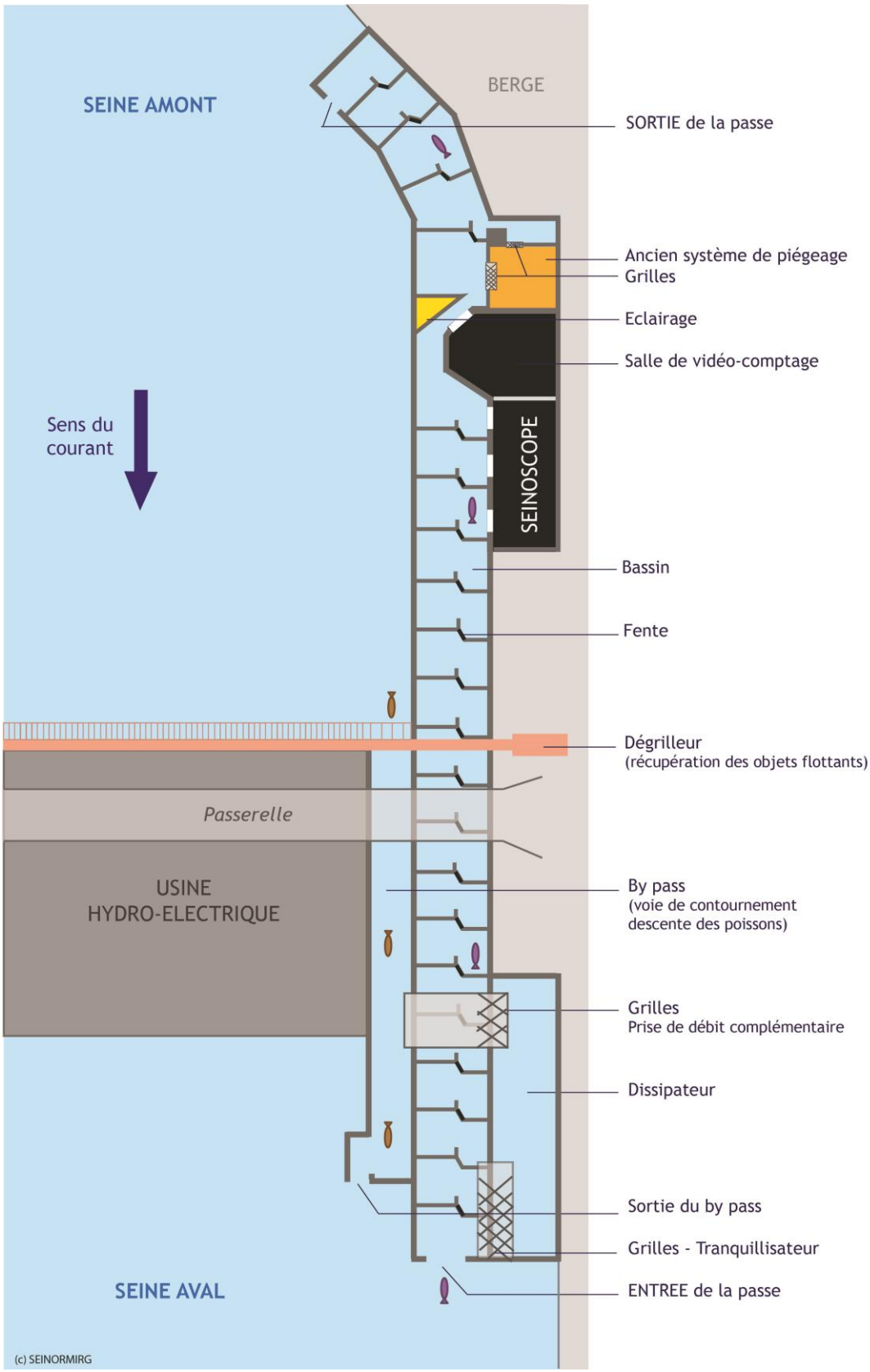
WHITE E., KNIGHTS B., 1994. Elver and eel stock assessment in the Severn and Avon. NRA R&D Project Report 256/13/ST. NRA, Newcastle-upon-tyne. 141p.

WINTER W., JANSER H.M., M.C.M B., 2006. Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the river Meuse. Ecology of Freshwater Fish, 15. 221-228p.

YAMAGUCHI N., GAZZARD D., SCHOLEY G., MAC DONALD D.W., 2003. Concentrations and hazard assessment of PCBs, organochlorine pesticides and mercury in fish species from the upper Thames. Chemosphere, 50. 265-273p.

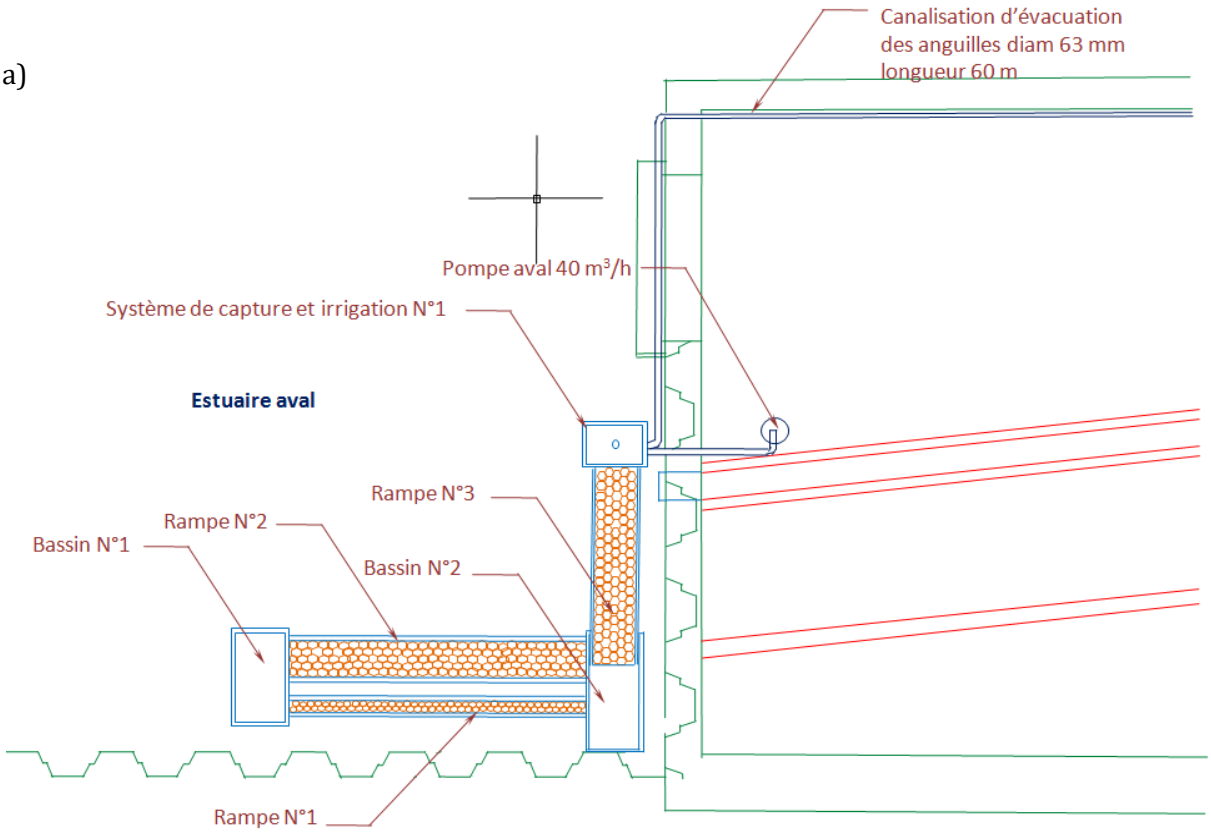
ANNEXES

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

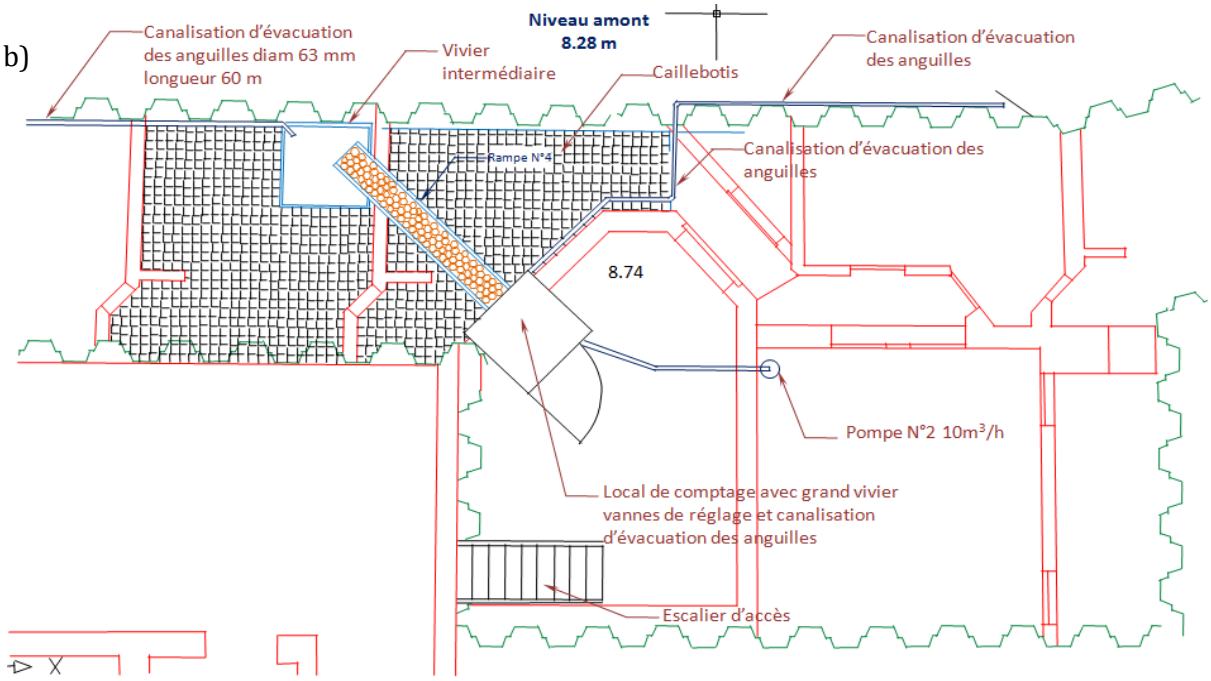


Annexe 2 : Plan détaillé du dispositif de franchissement installé en rive gauche de la Seine. Partie aval (a) et partie amont (b).

a)



b)



Protocole de marquage d'anguille au VIE (Visible Implant Elastomer)

ÉTAPE 1

Vérifier et préparer le matériel (Photo 1).

Anesthésier les anguilles par balnéation : **eau + 0,2 ml/L** de solution d'eugénol.

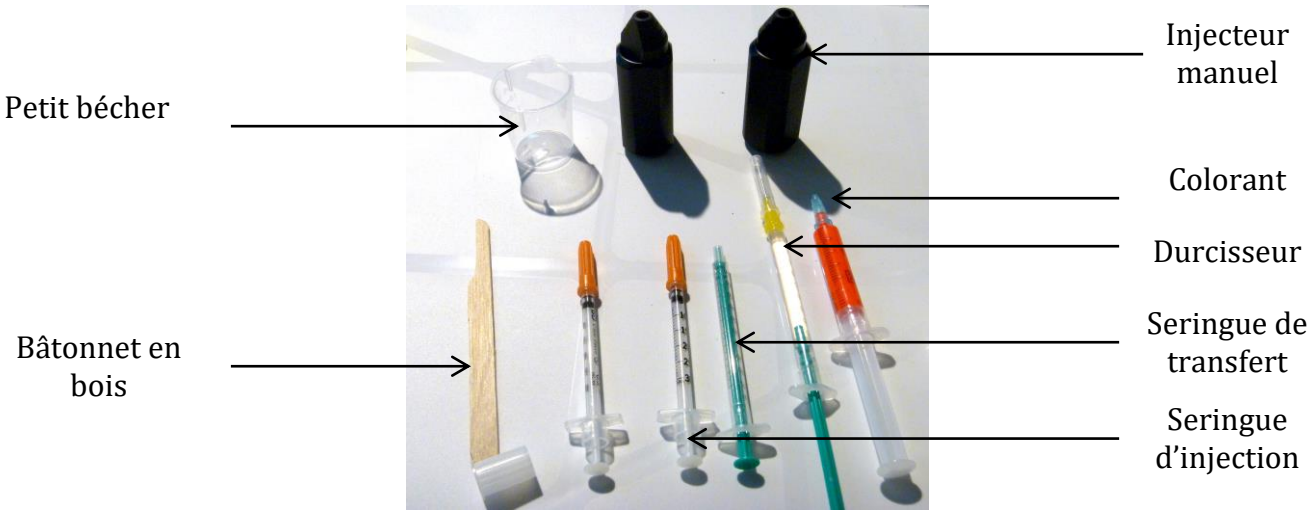


Photo 1. Matériels (©SEINORMIGR)

ÉTAPE 2

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

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

Tableau1. Volume d'élastomère et de durcisseur nécessaire pour le marquage

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

Grosse seringue A

Photo 2. Elastomère (©SEINORMIGR)

Grosse seringue B

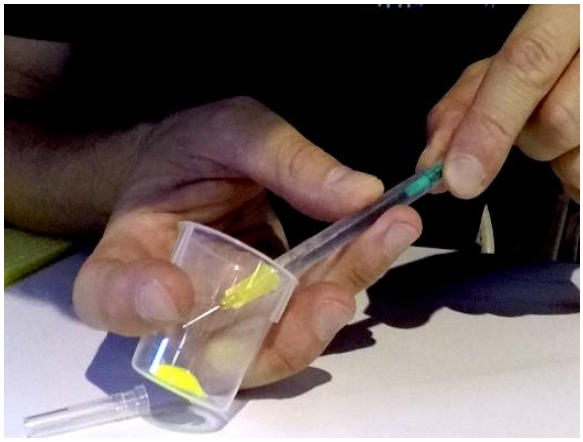


Photo 3. Durcisseur (©SEINORMIGR)

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

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

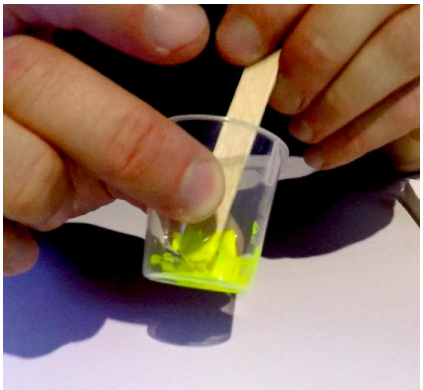


Photo 4. Mélanger (©SEINORMIGR)

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

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

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

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

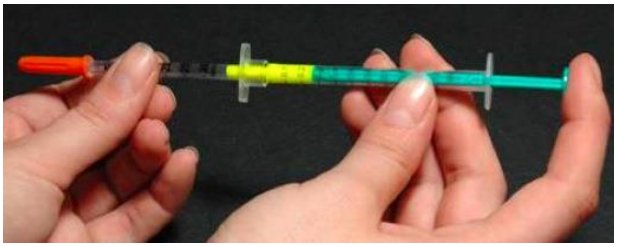


Photo 5. Mélange VIE dans la seringue d'injection (©NMT, Inc.)

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

Photo 6. Injecteur manuel (©NMT, Inc.)

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

ÉTAPE 3

1) Lorsqu'une anguille est anesthésiée, la mesurer et la peser avant de la marquer.

2) Placer le VIE dans une partie de l'anguille ne risquant pas d'endommager ses organes, **entre l'anus et la queue** par exemple.
   Injecter le VIE en sous cutané, en faisant attention de maintenir l'aiguille bien parallèle au corps de l'animal pour rester juste dessous de la peau et ne pas « plonger » dans le muscle de l'animal (Photo 7). Dans le cas de petites anguilles ou de civelles, attention à ne pas toucher la colonne vertébrale.

Photo 7. Position de l'aiguille (©SEINORMIGR)

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

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

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

ÉTAPE 4

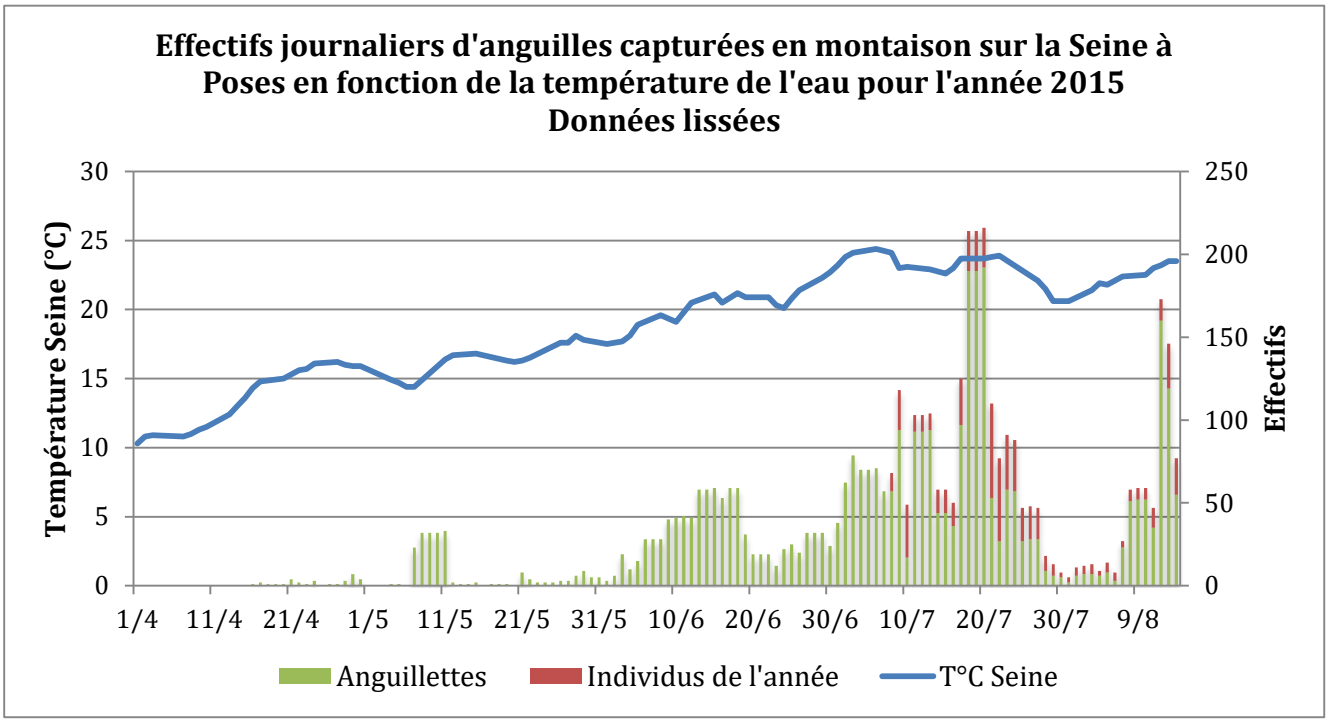
Vérifier la présence de la marque (Photo 8) et le réveil complet des anguilles avant de les remettre dans leur milieu naturel.

Photo 8. Marques VIE (©SEINORMIGR)

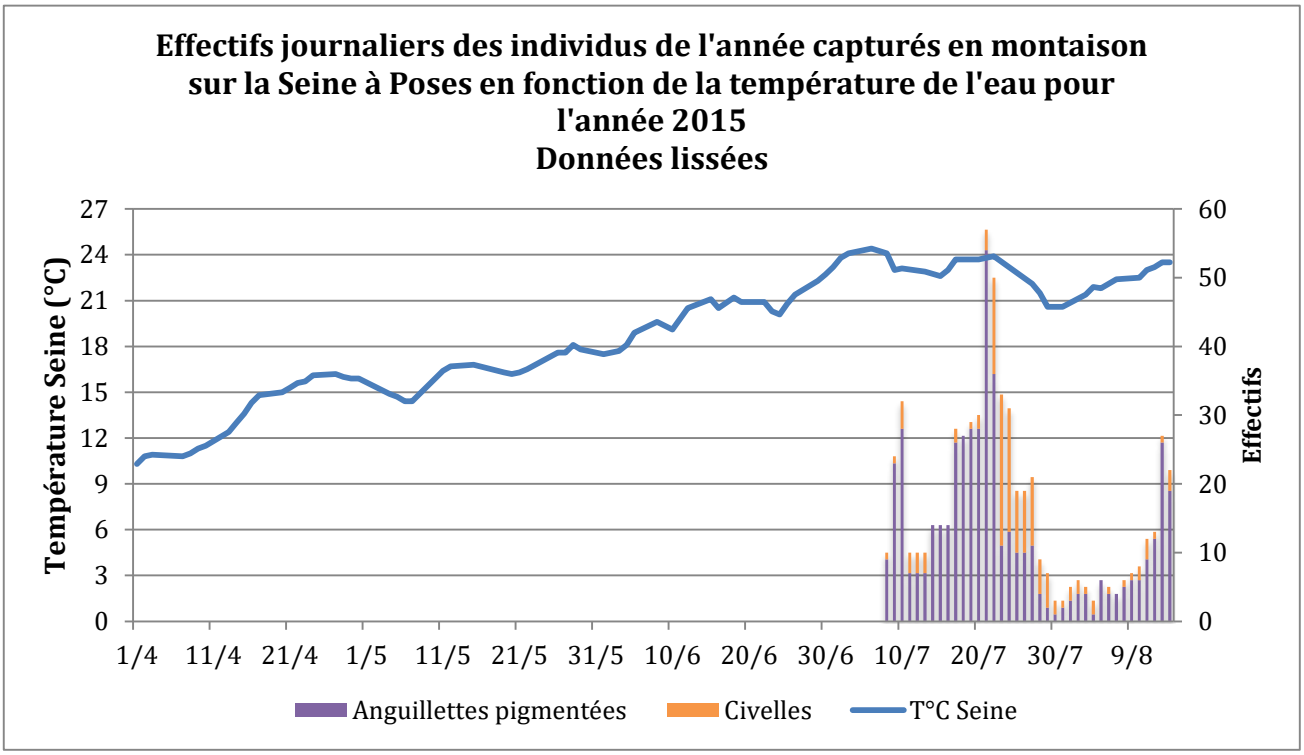
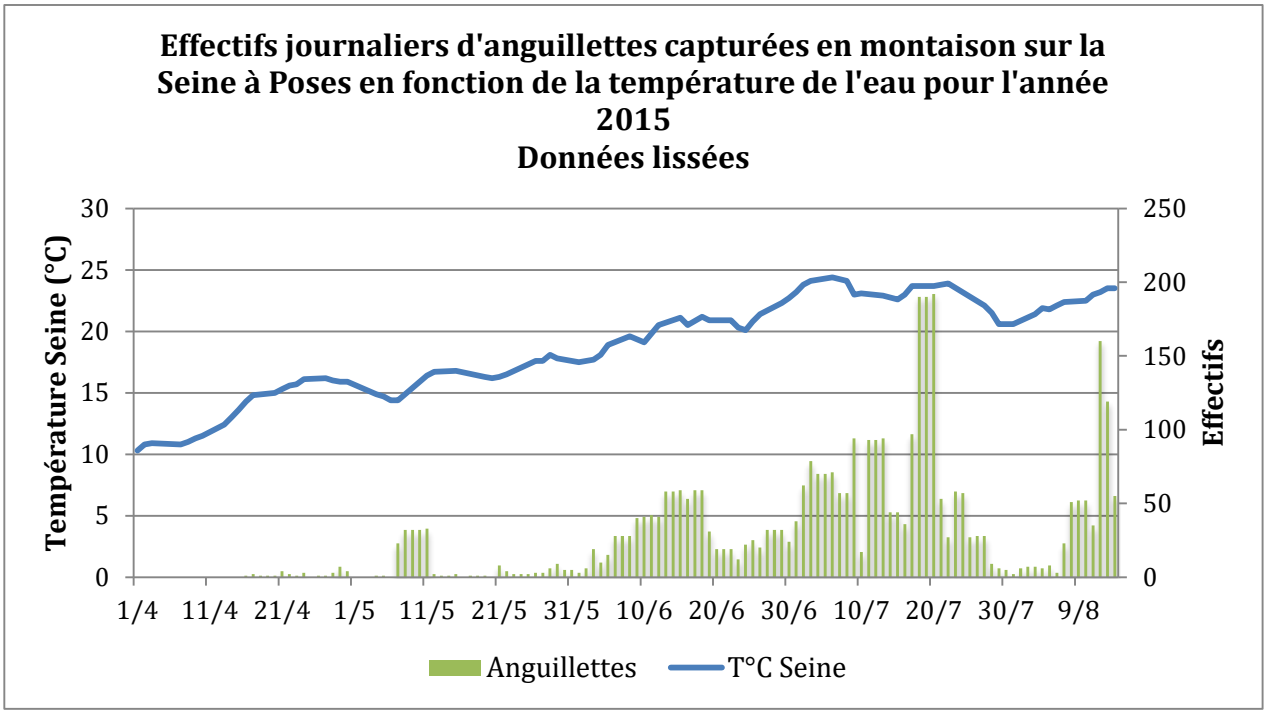
Le composant élastomère peut être utilisable pendant au moins 1 an.

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

Annexe 4 : Graphique lissé des effectifs journaliers d'anguilles capturées en fonction de la température de l'eau.



Annexe 5 : Graphique lissé des effectifs journaliers d'individus de l'année capturés en fonction de la température de l'eau.



Annexe 6 : Graphique lissé des effectifs journaliers d'anguillettes capturées en fonction de la température de l'eau.