HAL open science

Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune [Rapport d'étape 2ème année - Décembre 2013]

Guillaume Forget, François Martignac, Frédéric Marchand, Aurélie Daroux, Laurent Thieulle, Jean Guillard, J.M. Paillisson, Anthony Acou, Eric Feunteun, Jean-Luc J.-L. Baglinière

To cite this version:

Guillaume Forget, François Martignac, Frédéric Marchand, Aurélie Daroux, Laurent Thieulle, et al.. Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune [Rapport d'étape 2ème année - Décembre 2013]. [Rapport de recherche] ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques); INRA. 2013, pp.58. hal-03385156

HAL Id: hal-03385156

https://hal.inrae.fr/hal-03385156

Submitted on 19 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Partenariat 2013- *Domaine : Fonctionnement des écosystèmes aquatiques et changements globaux*
Action : Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune

Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune

Rapport d'étape 2ème année

Guillaume Forget (INRA, UMR ESE Rennes)
François Martignac (Asconit Consultants, Agence Ouest)
Frédéric Marchand (INRA, Unité Expérimentale U3E Rennes)
Aurélie Daroux (INRA, UMR ESE Rennes)
Laurent Thieulle (Asconit Consultants, Agence Ouest)
Jean Guillard (INRA, UMR CARRTEL Thonon)
Jean-Marc Paillisson (ECOBIO, Rennes)
Anthony Acou (MNHN, Dinard)
Eric Feunteun (MNHN, Dinard)
Jean-Luc Baglinière (UMR ESE Rennes)

Décembre 2013

Contexte de programmation et de réalisation

Le bassin de la Sélune est équipé de nombreux barrages de moulins mais également de deux grands barrages hydroélectriques. Ces deux barrages arrivent bientôt en fin de concession. Le 13 novembre 2009, l'État décide de ne pas reconduire la concession au bénéfice d'EDF et d'effacer ces deux barrages de Vezins et la Roche-Qui-Boit. Leur ouverture sera totale en 2018 (progressive pour celui de Vezins à partir de fin 2015) ce qui permet d'avoir quatre ans pour caractériser l'état initial du peuplement pisciaire du bassin.

Cette caractérisation de l'état initial de la Sélune avant arasement en termes de faune pisciaire et assimilée implique :

- D'estimer les **flux de poissons migrateurs** sur un point le plus aval possible du cours principal
- De connaître le stock en place en amont et aval des barrages.

Les auteurs

Guillaume Forget
Ingénieur d'études
guillaume.forget@rennes.inra.fr
UMR 0985 INRA-AGROCAMPUS OUEST Ecologie et Santé des Ecosystèmes,
65, rue de Saint Brieuc. CS 84215 - 35042 Rennes Cedex

François Martignac
Chargé d'études
francois.martignac@asconit.com
ASCONIT Consultants
Agence Ouest, 3 impasse Sirius, 44470 Carquefou

Aurélie Daroux
Ingénieur d'études
Aurélie.Dauroux@rennes.inra.fr
UMR 0985 INRA-AGROCAMPUS OUEST Ecologie et Santé des Ecosystèmes,
65, rue de Saint Brieuc. CS 84215 - 35042 Rennes Cedex

Frédéric Marchand
Assistant Ingénieur
Frederic.marchand@rennes.inra.fr
Unité expérimentale d'écologie et d'écotoxicologie aquatique,
65, rue de Saint Brieuc. CS 84215 - 35042 Rennes Cedex

Laurent Thieulle
Chargé d'étude, Directeur d'Agence
Laurent.thieulle@asconit.com
Agence Ouest, 3 impasse Sirius, 44470 Carquefou

Jean Guillard
Ingénieur de recherches
Jean.guillard@thonon.inra.fr
INRA – Université de Savoie UMR 42 CARRTEL
75 avenue de Corzent – BP 511- 74203 Thonon-les-Bains Cedex.

Jean-Marc Paillisson
Ingénieur de recherches
jean-marc.paillisson@univ-rennes1.fr
UMR 6553 ECOBIO CNRS/Université de Rennes 1
Campus de Beaulieu - bât 25 - Avenue du Général Leclerc 35042 Rennes

Anthony Acou
Chargé de recherche
acou@mnhn.fr
Muséum National d'Histoire Naturelle
UMR CNRS 7208 BOREA
Station Marine de Dinard

Eric Feunteun
Professeur – directeur d'unité
Eric.Feunteun@mnhn.fr
Muséum National d'Histoire Naturelle
UMR CNRS 7208 BOREA
Station Marine de Dinard

Jean-Luc Baglinière
Directeur de recherches
Jean-Luc.Bagliniere@rennes.inra.fr
UMR 0985 INRA-AGROCAMPUS OUEST Ecologie et Santé des Ecosystèmes,
65, rue de Saint Brieuc. CS 84215 - 35042 Rennes Cedex

Les correspondants

Onema : *Laurent Beaulaton. laurent.beaulaton@onema.fr*

Partenaire : *Emilien Lasne UMR CARRTEL, André Berne AESN*

Droits d'usage :	*accès libre*
Couverture géographique :	***Dpt de la Manche, de la Mayenne et de l'Ile et Vilaine***
Niveau géographique **[un seul choix]** :	***régional***
Niveau de lecture **[plusieurs choix possibles]** :	***citoyens, professionnels, experts***
Nature de la ressource **[plusieurs choix possibles]** :	***document***

Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune

Rapport d'étape 2013

G. Forget, F. Martignac, F. Marchand, A. Daroux, L. Thieulle, J. Guillard, JM. Paillisson, E. Feunteun, A. Acou, J.L. Baglinière

SOMMAIRE

Résumé 5
Abstracts 6
Synthèse pour l'action opérationnelle 7
Corps du document 8

Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune

G. Forget, F. Martignac, F. Marchand, A. Daroux, L. Thieulle, J. Guillard, JM. Paillisson, E. Feunteun, A. Acou, J.L. Baglinière

Résumé

RESUME

La présence de barrages est problématique pour de nombreux écosystèmes aquatiques car elle bouleverse leur fonctionnement de différentes manières : altération des flux hydrologiques, transformation des caractéristiques physiques et biologiques des rivières et zones humides, perturbation de la continuité écologique des cours d'eau. Dans ce contexte, l'enlèvement de barrages représente un outil potentiel fort pour la restauration écologique des cours d'eau. Les travaux de démantèlement des deux barrages actuels sur la Sélune, Vezins et la Roche qui Boit, constituent un cas d'étude exemplaire et sans précédent considérant l'ampleur des ouvrages hydrauliques concernés, le linéaire de rivière actuellement ennoyé et le verrou qu'ils représentent pour la circulation des poissons sur le réseau hydrographique. Les ouvertures des barrages s'échelonneront de 2015 à 2018, laissant six années pour établir une caractérisation de l'état initial de la Sélune en termes de faune pisciaire. Ces études doivent permettre (i) d'estimer les flux de poissons migrateurs sur un point le plus aval possible à l'aide d'un échosondeur numérique DIDSON et (ii) de connaitre les stocks en place en amont et en aval des barrages.

Les premières acquisitions de données de la caméra DIDSON sont présentées dans ce rapport. Ce matériel permet d'obtenir des images haute-définition se rapprochant de la résolution d'un enregistrement vidéo et permettant la visualisation de la morphologie du poisson et de son comportement de nage. Le DIDSON représente une nouvelle génération d'outils de gestion des ressources halieutiques. Basé sur les mêmes principes que les méthodes hydroacoustiques utilisées depuis les années 1970 dans les suivis des poissons migrateurs, les meilleures capacités technologiques du DIDSON permettent une meilleure identification de l'espèce de poisson et par conséquent une plus grande efficacité du recensement des individus.

Concernant la caractérisation des stocks en place, un réseau de suivi piscicole a été mis en place sur l'ensemble du bassin versant de la Sélune. Ce travail a été réalisé en collaboration avec les acteurs locaux tels que les fédérations de pêches concernées (35, 50 et 53) et les communautés de communes. Il a permis de définir 73 stations de pêches réparties sur l'ensemble du bassin pour inventorier les anguilles, les truites, les lamproies, les communautés de poissons et les écrevisses. En 2012, les pêches de communautés et les indices d'abondance truites ont été réalisés. En 2013, nous avons complété le réseau en réalisant les pêches d'indice d'abondance anguilles et lamproies. Nous avons également effectué des piégeages d'écrevisses sur huit stations de notre réseau à l'aide de nasses. Les pêches anguilles ont permis de mettre en évidence le fort effet « blocage » des barrages sur cette espèce. Les pêches lamproies ont également confirmé l'absence totale de lamproies marines en amont de ces barrages. Les premiers piégeages d'écrevisses ont permis de constater que l'amont de la Sélune est fortement colonisé par l'écrevisse américaine considérée comme invasive.

MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE)

Peuplement pisciaire, camera DIDSON, suivi des communautés, Bassin versant de la Sélune, Mise au point de méthodes.

Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune

G. Forget, F. Martignac, F. Marchand, A. Daroux, L. Thieulle, J. Guillard, JM. Paillisson, E. Feunteun, A. Acou, J.L. Baglinière

Abstracts

ABSTRACT

Key words (thematic and geographical area)

Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune

G. Forget, F. Martignac, F. Marchand, A. Daroux, L. Thieulle, J. Guillard, JM. Paillisson, E. Feunteun, A. Acou, J.L. Baglinière

Synthèse pour l'action opérationnelle

Rappel des objectifs

L'objectif de l'action est de mettre au point les méthodes de caractérisation du peuplement de poissons dans la Sélune. Des pêches électriques sur les anguilles, des relevés d'abondances lamproies ainsi que des piégeages d'écrevisses ont ainsi été réalisés au cours de l'année 2013. Ces pêches permettent de compléter l'état initial du peuplement piscicole initié en 2012 dans le bassin de la Sélune avant l'arasement des barrages de Vezins et de la Roche-Qui-Boit.
De plus, la caméra acoustique DIDSON a été installée sur le cours principal de la Sélune, à Ducey. De premières données ont été enregistrées permettant l'exploitation de résultats dans un premier temps qualitatifs.

Livrables 2013

La synthèse bibliographique en français remise en 2012 a été amélioré et traduite afin d'être publiée dans la revue journal *Fish & Fisheries*. Les premières exploitations de données montrent les capacités d'analyses (mesures de taille, analyse des comportements, visualisation de morphologie des espèces…) du logiciel de la caméra acoustique DIDSON.

Les résultats des pêches électriques réalisées en 2013 sur l'ensemble du bassin versant de la Sélune sont réunis dans ce document. Ils concernent les pêches d'anguilles, de lamproies et les captures d'écrevisses.

En perspective

En 2014, les suivis à l'aide de la caméra DIDSON vont se poursuivre. Un nouveau logiciel (Sonar5Pro) va être utilisé afin de réduire le temps de traitement des données. Enfin, une expérimentation en condition contrôlée va être réalisée afin de comparer les tailles réelles des individus avec celles mesurées avec le logiciel du DIDSON.
De nouvelles pêches électriques seront effectuées afin de commencer un nouveau cycle de pêches pour le diagnostic de l'état initial des peuplements de poissons. Un travail sur l'estimation des surfaces d'habitats accessibles après l'arasement des barrages nous permettra également d'établir le potentiel de production de saumon de la Sélune.

Mise au point des méthodes de caractérisation de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune

G. Forget, F. Martignac, F. Marchand, A. Daroux, L. Thieulle, J. Guillard, J.L. Baglinière

SOMMAIRE

Introduction **9**

A- Utilisation de la caméra acoustique DIDSON pour suivre les populations de poissons migrateurs dans la Sélune ..... Erreur ! Signet non défini.

1) Contexte et objectifs ..... **Erreur ! Signet non défini.**

2) Installation sur le site de Ducey ..... **Erreur ! Signet non défini.**

3) Description des outils 15

4) Traitement des données 16

5) Résultats préliminaires 19

6) Conclusions et perspectives 27

B- Caractérisation du peuplement pisciaire et assimilé avant arasement des barrages 12

1) Répartition des stations 31

2) Indices d'abondances lamproies 32

3) Indices d'abondances anguilles 36

4) Suivi des populations d'écrevisses 44

5) Conclusions et perspectives 54

BIBLIOGRAPHIE 55

Introduction

Le déclin de la biodiversité à travers le monde au cours des dernières décennies est attribué en partie aux modifications du paysage (Butchart *et al.*, 2010). Les écosystèmes d'eau douce (rivières, lacs et zones humides) constituent d'importants réservoirs de biodiversité et sont, à ce titre, extrêmement sensibles au changement global (Heino *et al.*, 2009). Les rivières sont considérées comme des corridors écologiques au sein desquels les flux hydriques jouent un rôle essentiel dans la connectivité des différents patchs paysagers (Malanson, 1993 ; Ward, 1998). Les aménagements humains au sein des réseaux hydrographiques (barrages, artificialisation des berges, prélèvements d'eau, pollution, eutrophisation, sédimentation, etc.) ont eu un impact important sur leur fonctionnement. Dans la plupart des cas, ces dysfonctionnements sont susceptibles de s'amplifier en raison d'une aggravation de certains des processus liés au changement climatique, comme l'augmentation de la température de l'eau, la modification des débits ou encore la dégradation des zones humides riveraines et littorales (McCormick *et al.*, 2009 ; Scheurer *et al.*, 2009).

Les barrages sont problématiques pour de nombreux écosystèmes aquatiques, car ils bouleversent leur fonctionnement de différentes manières : altération des flux hydrologiques, transformation des caractéristiques physiques et biologiques des rivières et zones humides, perturbation de la continuité écologique des cours d'eau (Ligon *et al.*, 1995 ; Ward & Stanford, 1995 ; Stanford *et al.*, 1996 ; Poff *et al.*, 1997). L'étendue spatiale de l'impact de ces modifications dépend de nombreux paramètres relatifs aux barrages eux-mêmes (taille, type, localisation sur le réseau, etc) et aux cours d'eau sur lesquels ils ont été mis en place (présence d'affluents en aval du barrage par exemple ; Stanford & Ward, 2001 ; Poff & Hart, 2002). D'un point de vue fonctionnel, ces ouvrages sont à l'origine d'une rupture du continuum hydrologique (concept théorique du continuum en cours d'eau ou *River Continuum Concept* et ses évolutions ultérieures ; Vannote *et al.*, 1980 ; Junk *et al.*, 1989 ; Thorp & Delong, 1994 ; Benda *et al.*, 2004). De par le piégeage de sédiments et d'apports trophiques depuis l'amont associé aux modifications de l'écoulement, les barrages modifient notamment les flux biogéochimiques et la disponibilité des ressources alimentaires pour les communautés situées en aval. Cet effet diminue avec la distance en aval et peut être en partie compensé par les apports d'affluents (modèle conceptuel du *Serial Discontinuity Concept-SDC* ; Ward & Stanford, 1983 ; Stanford & Ward, 2001). Les habitats situés en amont et en aval sont très altérés par la présence d'un barrage, mais de manière fondamentalement différente. En amont des barrages, les retenues d'eau modifient les flux hydriques et les flux de sédiments et de nutriments, transformant les habitats lotiques en habitats lentiques (Petts, 1980 ; Ward & Stanford, 1989). Cette transformation diminue donc la quantité et la qualité des habitats d'espèces lotiques au profit de nouveaux habitats colonisés par des espèces lentiques. En aval des barrages, l'habitat est modifié par la réduction de l'apport en sédiments, l'érosion subséquente, les changements de température de l'eau et de variabilité des flux (Ligon *et al.*, 1995 ; Collier *et al.*, 1996). Ceci conduit régulièrement à l'éviction des espèces de poisson résidentes et à la colonisation par d'autres espèces de poisson envahissantes ou non indigènes (Martinez *et al.*, 1994 ; Quinn & Kwak, 2003).

Dans ce contexte, l'enlèvement de barrages reste actuellement un outil potentiel fort pour la restauration écologique des cours d'eau (Hansen & Hayes, 2011). Grâce à un retour à un régime hydrologique non régulé et à des habitats aquatiques naturels, une telle opération peut

permettre (1) une augmentation de la biodiversité *via* une plus forte hétérogénéité des habitats, (2) un retour à des conditions de libre circulation des organismes vivants sur l'ensemble du bassin (Bednarek, 2001). L'enlèvement d'un barrage peut également mener à un retour des espèces natives en restaurant les habitats en amont dont elles sont dépendantes. Après l'enlèvement du barrage de Woolen Mills sur la rivière Milwaukee (Wisconsin, USA), la densité initialement forte de carpes communes non-natives a fortement décliné au profit d'espèces natives (Staggs *et al.*, 1995 ; Kanehl *et al.*, 1997). Toutefois, l'enlèvement d'un barrage peut aussi avoir des conséquences écologiques non souhaitables telles que la destruction de zones de fraie, la diminution de l'abondance de certaines ressources alimentaires ou la perturbation des communautés en place (Sethi *et al.*, 2004 ; Burdick & Hightower, 2006). Il est particulièrement difficile de prédire les conséquences d'une telle modification car peu d'études à long terme ont été menées (Hart *et al.*, 2002) et la généralisation d'un site à un autre est difficile.

L'enlèvement d'un barrage constitue une perturbation écologique importante représentant une opportunité unique de recherche en sciences de l'environnement encore largement sous-exploitée (Hansen & Hayes, 2011). Certains travaux ont été menés sur cette problématique, notamment aux Etats-Unis (Kanehl *et al.*, 1997 ; Bushaw-Newton *et al.*, 2002 ; Doyle *et al.*, 2005 ; Cattalano *et al.*, 2007). Toutefois, la plupart des études concernent les modifications à court terme (moins de 5 ans) de la géomorphologie des cours d'eau (Doyle *et al.*, 2003), des communautés d'invertébrés (Stanley *et al.*, 2002 ; Pollard & Reed, 2004 ; Thomson *et al.*, 2005) ou de poissons (Kanehl *et al.*, 1997 ; Burroughs *et al.*, 2010).

En France, aucun cas d'étude d'enlèvement de barrage n'a été jusqu'à présent pleinement documenté, en raison notamment du très faible nombre d'enlèvements effectués (barrage de Maison Rouge sur la Vienne, de St Etienne du Vigan sur l'Allier et de Kernansquilliec sur le Léguer). Ainsi, les travaux de démantèlement des deux barrages actuels sur la Sélune, Vezins et la Roche qui Boit, constituent un cas d'étude exemplaire et sans précédent considérant l'ampleur des ouvrages hydrauliques concernés, le linéaire de rivière actuellement ennoyé et le verrou qu'ils représentent pour la circulation des poissons sur le réseau hydrographique. La Sélune est un cours d'eau de Basse-Normandie long de 91,4 km pour une superficie de bassin versant de 1038 km² et un débit moyen annuel de $11 m^3 .sec^{-1}$. Elle se jette dans la Baie du Mont Saint Michel et son estuaire est commun avec celui la Sée. Le réseau hydrographique de la Sélune comporte environ 900 à 1000 obstacles de classe 5 (*i.e.* non franchissables sur son bassin) mais également les deux grands barrages hydroélectriques : Vezins (36 m, le plus amont) et La Roche qui Boit (16 m) situés à une quinzaine de kilomètres de l'embouchure. Le programme d'enlèvement de ces barrages est prévu suite au non renouvellement de la concession au bénéfice d'EDF.

Ce démantèlement a pour objectif de restaurer la continuité écologique terre-mer sur ce bassin versant, mais sera aussi responsable de toute une série d'évolutions concernant la qualité physico-chimique de l'eau et la géomorphologie du chenal avec des conséquences potentielles sur les habitats. De plus, le bassin versant pourra être recolonisé par les espèces de poisson diadromes (anadromes et catadromes).

D'un point de vue pratique, l'ouverture progressive du barrage de Vezins (le plus amont) est prévue en 2015 et celui du barrage de La Roche qui Boit en 2018. Ces ouvertures décalées dans le temps permettent de disposer d'au moins six ans pour caractériser l'état initial de la partie aval du bassin (dont les deux affluents l'Oir et le Beuvron). Un suivi de l'impact de l'arasement de ces deux barrages est ensuite prévu sur dix ans.

Cette caractérisation de l'état initial de la Sélune avant arasement en termes de faune pisciaire et assimilée nécessite :

- D'estimer les flux de poissons migrateurs sur un point le plus aval possible du cours principal. Cette estimation sera réalisée à l'aide d'un échosondeur numérique (DIDSON). Cet appareil a été installé en juillet 2013 sur le cours principal de la Sélune, dans la commune de Ducey. Les premières acquisitions de données ont été réalisées et sont présentées dans ce rapport.
- De connaître le stock en place en amont et aval des barrages. L'objectif de ce suivi des stocks en place est de connaître la présence/absence des espèces, la diversité du peuplement pisciaire, d'estimer l'abondance des principales espèces cibles, notamment des espèces amphihalines (juvéniles ou adultes), ainsi que leur structure de taille/âge. Dans un premier temps, un réseau de stations a été mis en place afin de connaître le peuplement pisciaire en amont des barrages. Les premiers inventaires concernant la truite commune et l'ensemble du peuplement pisciaire ont été réalisés en 2012. Cette année, le suivi s'est focalisé sur les anguilles, les lamproies et les écrevisses.

Ce rapport articulé en deux parties présente dans un premier temps le rapport sur l'utilisation de la caméra acoustique DIDSON pour le suivi des poissons migrateurs. La deuxième partie concerne le suivi piscicole sur la Sélune avec les résultats de la campagne de terrain réalisée en 2013.

A- Utilisation de la caméra acoustique DIDSON pour suivre les populations de poissons migrateurs dans la Sélune

1) Contexte et objectifs

Le bassin versant de la Sélune abrite une communauté de poissons diadromes, espèces d'intérêt écologique et patrimonial, dont la présence et l'abondance sont des indicateurs significatifs de l'intégrité biologique d'un écosystème aquatique (Karr, 1991; Rose, 2000). Leur gestion nécessite une bonne connaissance de leur abondance et de leur niveau de colonisation liés à la fois à l'écologie des espèces (stratégie d'histoire de vie, démographie, comportement) et à des facteurs environnementaux (Waine, 2010). Dans le cadre du programme d'arasement des deux grands barrages présents sur la Sélune, il est prévu de suivre la dynamique migratoire de ces poissons diadromes et dans une première étape de réaliser un diagnostic de l'état de leurs populations en ciblant particulièrement une espèce emblématique, le saumon atlantique.
Différentes méthodes de suivi existent mais celles-ci ne peuvent pas s'adapter à tous les cours d'eau. Par exemple, les stations de vidéo-comptage sont limitées en conditions de très fortes turbidités, et les stations de piégeage demandent un fort investissement humain et matériel. Pour ces raisons, une méthode hydroacoustique, s'affranchissant ou limitant ces contraintes, a été choisie pour suivre les populations de la Sélune.
Utilisant les propriétés du son dans l'eau, les méthodes hydroacoustiques sont quantitatives, non-intrusives et synoptiques (Foote, 2009). Une impulsion acoustique est émise par un transducteur et se diffuse dans le milieu. Tous les obstacles rencontrés par ces ondes réfléchissent l'énergie transmise et leurs échos sont en partie captés par le transducteur. Les méthodes acoustiques permettent de convertir ces mesures physiques en unités écologiques pertinentes (Trenkel *et al.*, 2011), sans perturber ni le comportement ni l'intégrité des populations. Les innovations technologiques ont permis l'essor de ces méthodes dont l'utilisation en écologie se développe. Ainsi, depuis une dizaine d'années, des sonars à très haute fréquence, ou caméras acoustiques, permettent d'obtenir des images d'une résolution proche de celle des vidéos sous-marines.
Ainsi, une caméra acoustique DIDSON a été installée pour décrire quantitativement et qualitativement les populations de poissons migrateurs de la Sélune avant le début des travaux (vidanges dès 2014, arasements des ouvrages fin 2018). Un courantomètre et deux capteurs de température ont également été installés afin de mesurer en continu les paramètres environnementaux sur le site d'étude. Ce rapport décrit la phase d'installation des outils sur le site d'acquisition puis présente la méthodologie utilisée pour traiter les données collectées. Les premiers résultats seront discutés et orienteront les perspectives et objectifs pour les prochaines années de suivi.

2) Installation sur le site de Ducey

La caméra acoustique DIDSON est installée en amont immédiat du Vieux Pont de Ducey, sur le parking de l'hôtel «le Moulin de Ducey » (Figure 1). Le site se situe à 10 km en amont de l'embouchure de la Sélune, et 8,5 km en aval du premier barrage infranchissable (la Roche qui Boit).

Figure 1. Localisation du site de suivi de populations de poissons migrateurs (photographie avant travaux) et des deux barrages sur la Sélune (données IGN). En bleu : ligne pleine, le cours principal accessible aux migrateurs ; en pointillés, l'Oir, affluent rive droite de la Sélune, un des sites de l'Observatoire de Recherches en Environnement Inra Petits Fleuves Côtiers (ORE PFC).

L'installation fait l'objet d'une convention de mise à disposition à l'amiable co-signée par l'INRA et le propriétaire. Ce site a été choisi en raison d'un profil bathymétrique adapté qui permet la visualisation de près de 90% de la lame d'eau et la présence d'un seuil en aval (qui garantit une immersion constante du DIDSON). Le plan d'installation définitif (Figure 2) a été validé début mars 2013 :

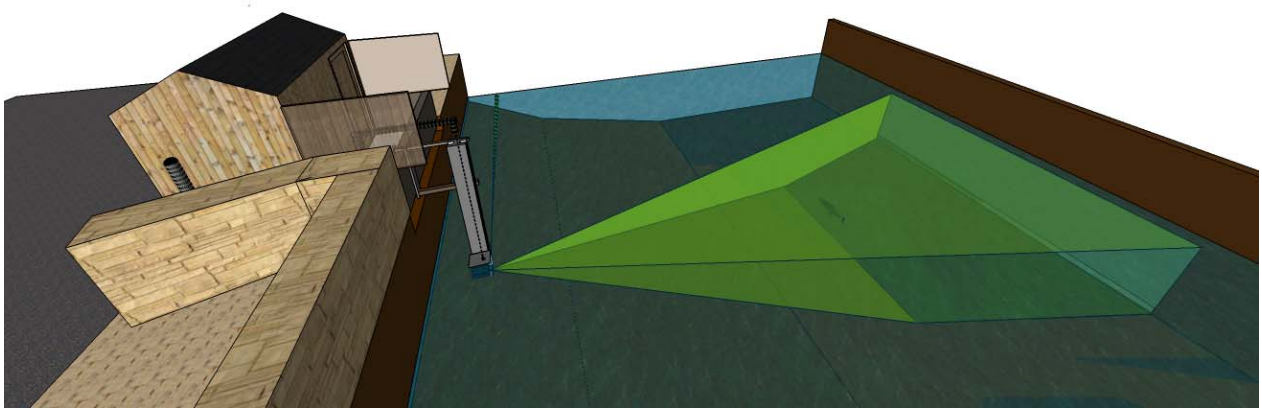


Figure 2. Représentation tridimensionnelle de l'installation du DIDSON, en vert le faisceau de détection

Un IPN (poutre métallique) placé horizontalement sous l'avancée bétonnée permet le renforcement de celui-ci. Un support galvanisé, conçu spécifiquement, permet de fixer le DIDSON, un courantomètre et deux enregistreurs de température. Deux capteurs sont installés pour pallier tout problème d'enregistrement des températures. Ce support coulisse le long d'une poutre verticale (fixé à la fois dans le fond de la Sélune et au niveau de l'IPN horizontal) grâce à l'action d'un treuil. Les trois enregistreurs peuvent donc être placés à une profondeur optimale dépendante des conditions hydrologiques.

Pour la réalisation de ces travaux, nous avons fait appel à trois artisans locaux : un maçon, un menuisier et un ferronnier. A la suite des prises de contact et des demandes de devis (mars à mai), les travaux ont débuté le 17 juin 2013 par la pose d'un IPN sous l'avancée bétonnée afin de la consolider (Figure 3A). Courant juillet, l'IPN vertical ainsi que la potence ont été mis en place (Figure 3B).

Figure 3. Site d'installation du DIDSON. A) Après la pose d'un IPN sous l'avancée bétonnée (juin 2013); B) Après la mise en place de l'IPN vertical et de la potence (juillet 2013)

Un abri d'une surface au sol inférieure à 5 m² (surface qui ne nécessite pas une autorisation administrative de la mairie) a également été installé pour permettre le stockage et la sécurisation des outils informatiques (Figure 4). Ces outils sont alimentés grâce à un raccordement à l'électricité de la ville que la mairie de Ducey nous fournit.
L'abri se trouvant à proximité du Vieux Pont de Ducey, inscrit aux Bâtiments de France, plusieurs exigences esthétiques ont dû être respectées (un bardage vertical en bois et une couverture du toit en ardoise). Après réalisation d'un dossier validé par un architecte des Bâtiments de France, nous avons reçu l'autorisation finale de la préfecture de la Manche le 27 mai 2013 pour construire cet abri.

Les travaux d'installation se sont terminés le 26 juillet 2013, jour à partir duquel la caméra acoustique DIDSON a été mise en fonctionnement. Les acquisitions du DIDSON sont depuis permanentes. Un ingénieur d'EurOcéanique, revendeur français de cette caméra acoustique, s'est déplacé sur site le 31 juillet pour valider la pertinence et la solidité de l'installation. Il a en particulier souligné que le site d'installation paraissait optimal pour le fonctionnement du DIDSON. Une pancarte « Station de comptage des poissons migrateurs » et une affiche explicative (dont une copie est jointe en annexe) ont été installées sur l'abri. Cette

communication permet d'apporter aux riverains et aux visiteurs quelques éléments de réponses sur l'utilité et l'importance de ce nouvel élément du paysage.

La relève des données (enregistrées sur un disque dur externe) et l'entretien des appareils sont réalisés chaque semaine.

Figure 4. Site d'installation fonctionnel (26 juillet 2013). A gauche, intérieur de l'abri ; à droite, vue à partir du Vieux Pont de Ducey

3) Description des outils

3.1) Un sonar haute-fréquence : une caméra acoustique

Le DIDSON (Figure 5A) est un sonar à haute fréquence multi-faisceaux, avec un système acoustique à lentille unique conçue pour concentrer le faisceau afin de créer des images hautes résolutions. Ces images d'une résolution proche de vidéos sous-marines permettent de visualiser la morphologie et les comportements de nage des poissons qui passent dans le faisceau.
Développé initialement par l'Applied Physics Lab (APL) de l'Université de Washington pour permettre aux plongeurs d'identifier des mines dans des eaux turbides, le DIDSON crée des images semblables à des vidéos (Belcher *et al.*, 2001; Belcher *et al.*, 2002). Il possède deux fréquences 1,8 et 1,1 MHz. Le faisceau haute-fréquence est divisé en 96 faisceaux de 0,3° par 14° avec une portée maximale de 10 mètres. Le faisceau de 1,1 MHz est divisé en 48 faisceaux de 0,4° par 14° avec une portée de 40 mètres.
Le champ de vision du DIDSON s'étale sur 29° horizontalement et 14° verticalement pour les deux fréquences (Maxwell, 2007). La lentille acoustique peut se focaliser à partir d'une distance d'un mètre. La largeur d'impulsion est dépendante de la portée, variant de 4 à 128 µS. Le défilement maximal est de 21 images/secondes. L'enregistrement peut être visualisé à partir du logiciel constructeur, similaire à un lecteur vidéo (Maxwell et Gove, 2004). Cependant, des logiciels spécifiques aux traitements des données hydroacoustiques ont développé des outils pour intégrer des modules propres aux enregistrements du DIDSON.
Les données du DIDSON sont collectées dans deux dimensions, avec une résolution dans les dimensions X et Y (axe horizontal et profondeur), mais pas dans la dimension verticale Z (Hughes, 2012). Ainsi, utilisé horizontalement avec le faisceau perpendiculaire à la berge, le DIDSON permet d'estimer la distance entre le poisson et le sonar, ainsi que le sens de déplacement de celui-ci, mais pas sa position dans la colonne d'eau.

Contrairement à la précédente génération d'échosondeurs émettant des ondes acoustiques à des fréquences plus faibles (communément 38, 70, 120 ou 200 kHz), les fréquences des émissions du DIDSON sont très élevées (1 100 et 1 800 kHz), permettant une visualisation concrète de l'activité biologique dans le faisceau. La résolution des données proche de celle d'une vidéo et la large ouverture du faisceau de détection (29°x14°) permettent d'observer la morphologie des poissons et de décrire leur comportement.

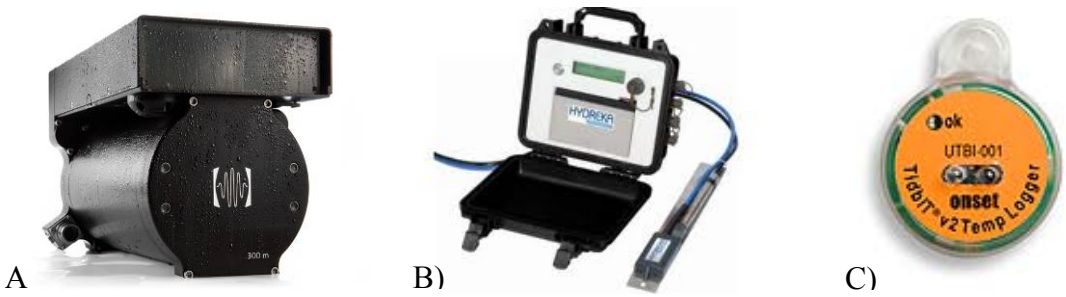
3.2) Un courantomètre à effet Doppler associé à un piézomètre

Le courantomètre Hydreka Mainstream IV (Figure 5B) est un appareil permettant de mesurer :
- la hauteur par capteur piézorésistif
- la vitesse du courant par capteur de vitesse à effet Doppler avec une résolution de 1mm/s

Cet appareil est alimenté par une batterie rechargeable et enregistre les hauteurs d'eau et les vitesses du courant toutes les minutes.

3.3) Logger de température

Ce capteur de température est un petit enregistreur de données (Figure 5C) qui mesure des températures sur une large plage avec une précision de ± 0,2 ° C. Il est conçu pour les environnements extérieurs et aquatiques. Une navette avec une interface USB permet de décharger les données en quelques secondes sur site puis de les transférer sur un ordinateur. Les capteurs enregistrent une valeur de température toutes les 10 minutes.



A B) C)

Figure 5. Dispositifs de suivi installé sur la Sélune. A) La caméra acoustique DIDSON ; B) Courantomètre Hydreka Mainstream IV ; C) Logger de température Tidbit

4) Traitement des données

4.1) Données environnementales

Les données enregistrées en continu sont collectées régulièrement sur site. Les acquisitions du courantomètre sont programmées et extraites à l'aide du logiciel Winfluid d'Hydreka. Les données issues des capteurs de températures sont programmées via le logiciel HOBOware. Ces données environnementales sont compilées dans une base de données commune.

4.2) Enregistrements du DIDSON

Les données volumineuses (250 Go par semaine) enregistrées par le DIDSON sont déchargées chaque semaine et stockées sur des disques durs externes en deux exemplaires.

Afin de rester en mode haute fréquence (résolution des images maximisée induisant des mesures de tailles les plus précises possibles) et de travailler avec des fichiers de taille réduite, la stratégie d'échantillonnage pour l'enregistrement des données est la suivante (Figure 6) :

- de HH:00 à HH:14, le DIDSON effectue un enregistrement entre 7 et 17m de « range »
- de HH:15 à HH:29, le DIDSON effectue un enregistrement entre 1 et 11m de « range »
- de HH:30 à HH:44, le DIDSON effectue un enregistrement entre 7 et 17m de « range »
- de HH:45 à HH:50, le DIDSON effectue un enregistrement entre 1 et 11m de « range »

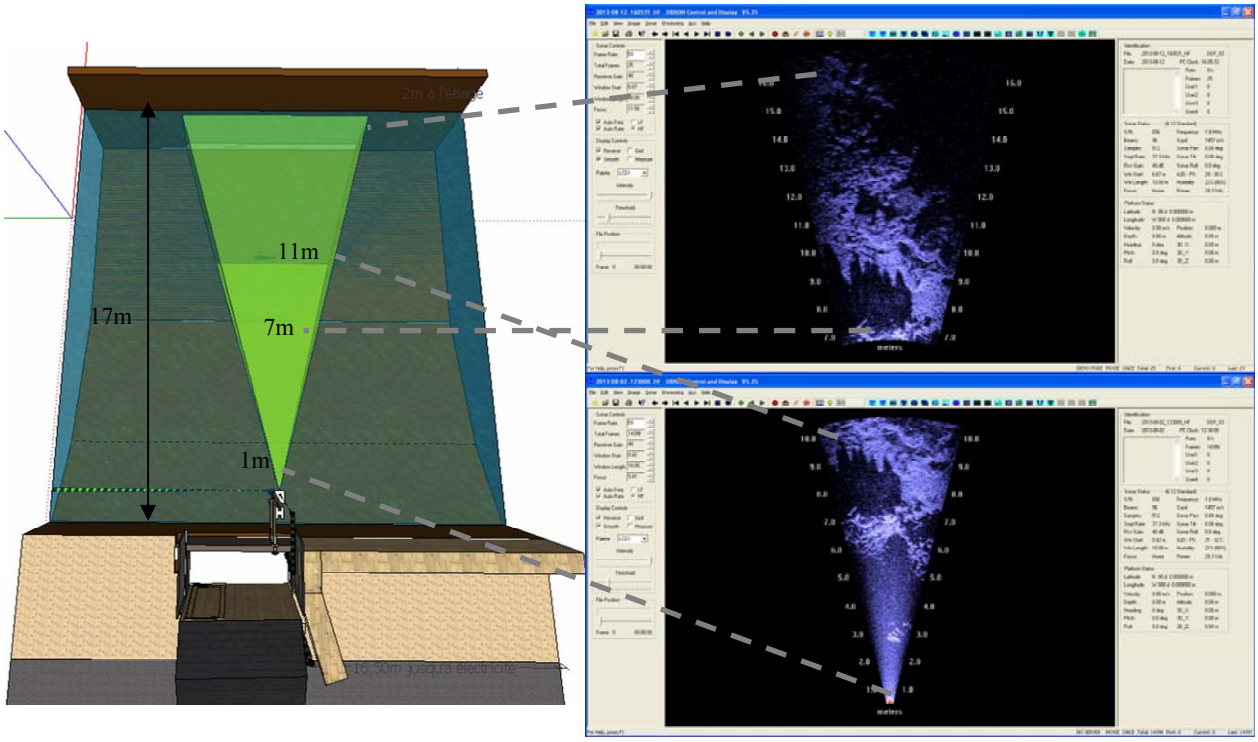


Figure 6. Représentation des différents « range » utilisés pour la stratégie d'échantillonnage (à gauche) et les images correspondantes obtenues avec le DIDSON (à droite).

Deux opérateurs sont chargés de traiter ces données via le logiciel constructeur créé par Soundmetrics.

Les limites de ce logiciel ont rapidement pu être identifiées. Les procédures de traitement automatique des données (comptage, mesure centimétrique et description du passage des poissons dans le faisceau de détection) ne sont pas adaptées et ne donnent pas de résultats cohérents. Le dépouillement des fichiers enregistrés suit donc la méthodologie suivante :

- L'opérateur visualise les vidéos enregistrées en accéléré (la vitesse de défilement dépend de la qualité des images et du nombre de poissons dans le faisceau).
- Dès qu'un poisson d'une taille supérieure à 50 cm passe dans le faisceau, l'opérateur identifie l'image la plus représentative de l'individu et stoppe le défilement. Ce seuil de taille est

un des critères utilisé pour identifier les géniteurs de grands salmonidés migrateurs (saumon atlantique et truite de mer), il est évolutif en fonction de l'espèce ciblée.

- Le poisson est mesuré manuellement en dessinant une ligne le long du corps, de la tête vers la nageoire caudale (Figure 7). Si la qualité des images est faible, plusieurs mesures du même poisson peuvent être effectuées pour s'assurer de disposer d'une estimation de la taille représentative.

- Les champs longueur du poisson et distance de l'individu par rapport au sondeur (« *Range* ») se remplissent automatiquement. L'angle du corps du poisson par rapport au faisceau est également calculé automatiquement.

- Les poissons et leur comportement peuvent être décrits : espèce (si aucun doute sur celle-ci), déplacement (migration, comportement erratique, stabulation, dérive ou posé sur le fond) et direction (amont/aval). L'opérateur peut ajouter des remarques ou commentaires sur le poisson et estimer via une classe de 1 à 5 la possibilité que ce poisson soit déjà passé dans le faisceau.

- Une fois les champs renseignés, l'opérateur valide la saisie : un fichier texte est incrémenté avec une ligne détaillant les différentes informations pour chaque poisson. Un fichier texte est créé par fichier dépouillé.

- Les fichiers textes sont intégrés à une base de données via une interface R créée par l'Institut d'Aménagement de la Vilaine pour faciliter les traitements ultérieurs.

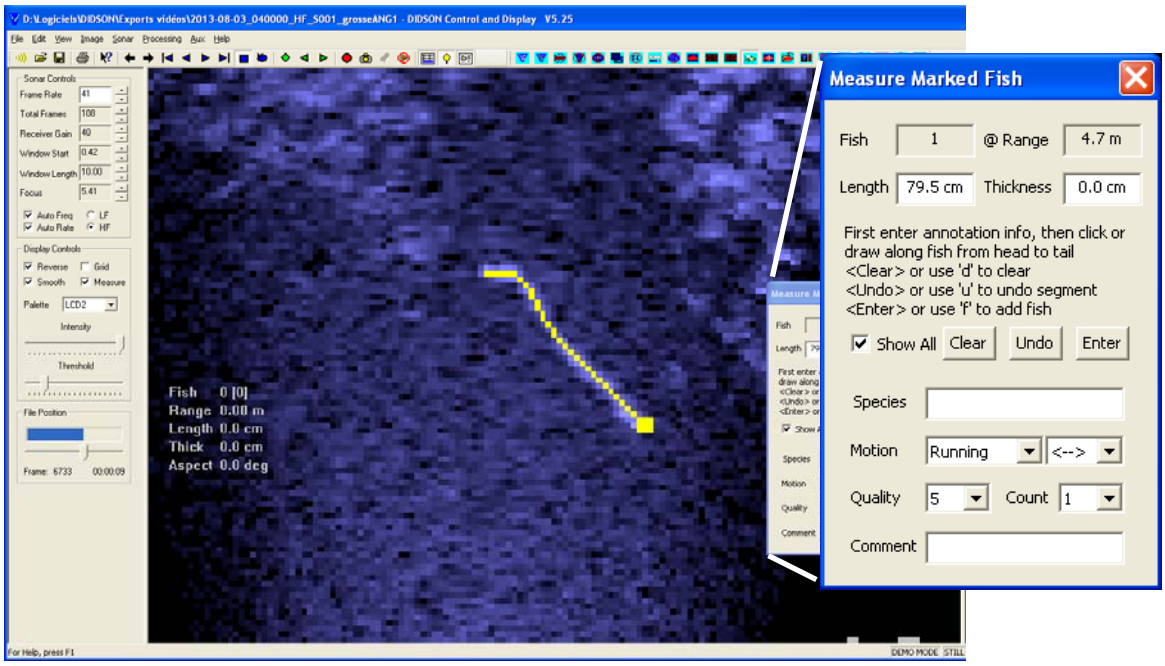


Figure 7. Capture d'écran du module « Mark Fish » du logiciel DIDSON.

Cette procédure est très chronophage, mais constitue une étape indispensable de la première année de suivi pour identifier des patterns éventuels de migration des espèces étudiées. Ces résultats devraient orienter l'optimisation de la méthodologie (sous-échantillonnage, observation sur les périodes les plus propices).

5) Résultats préliminaires

5.1) Enregistrement des conditions environnementales

Les données environnementales enregistrées depuis fin juillet permettent d'établir des chroniques sur les trois paramètres suivants : température de l'eau, vitesse du courant et hauteur d'eau (Figure 8).
Ces chroniques permettent d'identifier aisément les périodes de crue : lors de l'installation des capteurs fin juillet, et lors de la première quinzaine d'octobre.

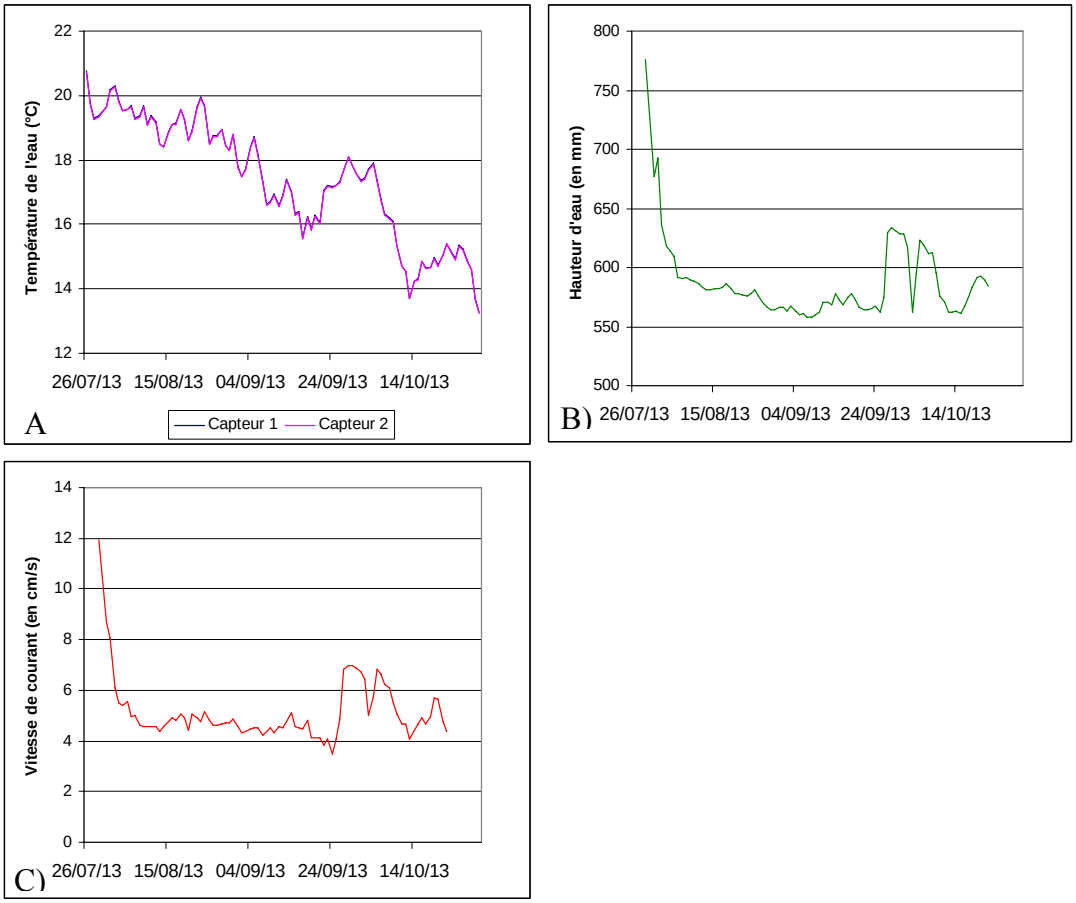


Figure 8. Chroniques des conditions environnementales de la Sélune (du 26/07 au 30/10). A) Température de l'eau (°C) ; B) Hauteur d'eau (en mm) ; C) Vitesse de courant (en cm/s)

5.2) Informations extraites des enregistrements du DIDSON

Les données collectées sont en cours de traitement. L'analyse des données est très chronophage. Néanmoins, les premières données traitées permettent d'identifier le type d'informations pouvant être extraites des enregistrements. Elles concernent la morphologie et le comportement du poisson.

5.2.1) Caractéristiques morphologiques des poissons

5.2.1.1) Forme générale

L'image retranscrite sur le logiciel étant une projection des échos perçus par le sonar en réponse à ses émissions, les poissons aux morphologies atypiques sont clairement identifiables. Ainsi, les organismes aquatiques anguilliformes peuvent être discriminés des autres poissons (Figure 9) : anguille (*Anguilla anguilla*), lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et marine (*Petromyzon marinus*) toutes présentes dans la Sélune.

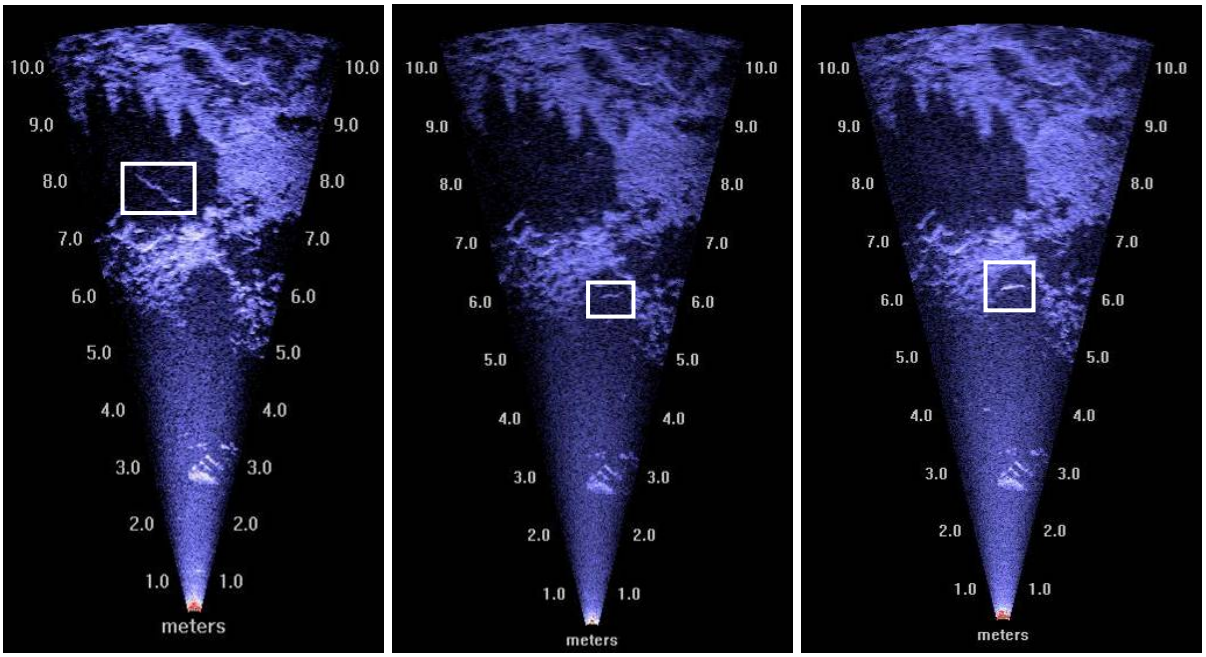


Figure 9. Visualisation des passages de lamproie marine, 88cm (A), d'anguille, 35 cm (B) ou de poisson, 37 cm (C)

L'ombre portée des poissons peut également apporter de précieuses informations (Figure 10). En effet, le corps du poisson arrête les ondes acoustique et l'ombre qui en résulte est visible plus ou moins clairement sur les images enregistrées, en fonction de l'angle du poisson dans le faisceau et de la rugosité du fond. Au-delà de la morphologie du poisson (présence et position des nageoires, forme de la nageoire caudale, hauteur du corps), l'ombre portée peut renseigner l'opérateur sur la position de l'individu dans la lame d'eau ou sur l'inclinaison du corps du poisson par rapport au fond.

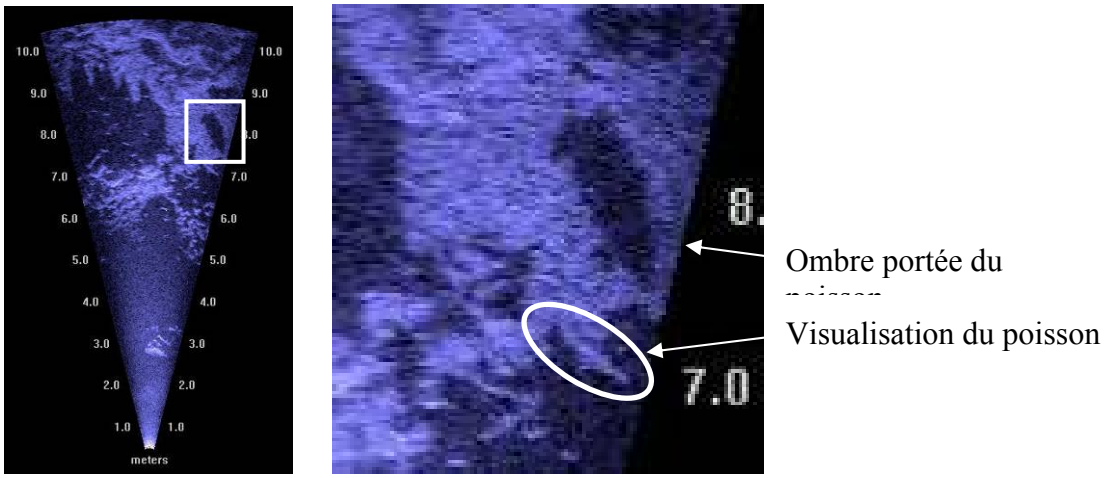


Figure 10. Visualisation d'un poisson de 75 cm et de son ombre portée

5.2.1.2) Taille mesurée

En utilisant la génération précédente d'échosondeurs, les tailles des poissons détectés étaient extrapolées à partir de l'intensité acoustique (TS) de leur écho. Cette valeur physique, exprimée en décibels, est proportionnelle à la taille de la vessie natatoire du poisson. Le DIDSON permet une mesure directe de la longueur du poisson sur les vidéos enregistrées, en s'affranchissant de la variabilité induite par la conversion des TS en taille centimétrique réelle et par la variabilité intrinsèque de cette réponse. Suivant la même logique, si l'angle de vue du poisson le permet (déplacement transversal), l'épaisseur du corps du poisson (de flanc à flanc) peut être mesurée et renseigner l'opérateur sur la forme générale de l'individu (distinction possible entre une truite de mer et un saumon adulte à taille égale).

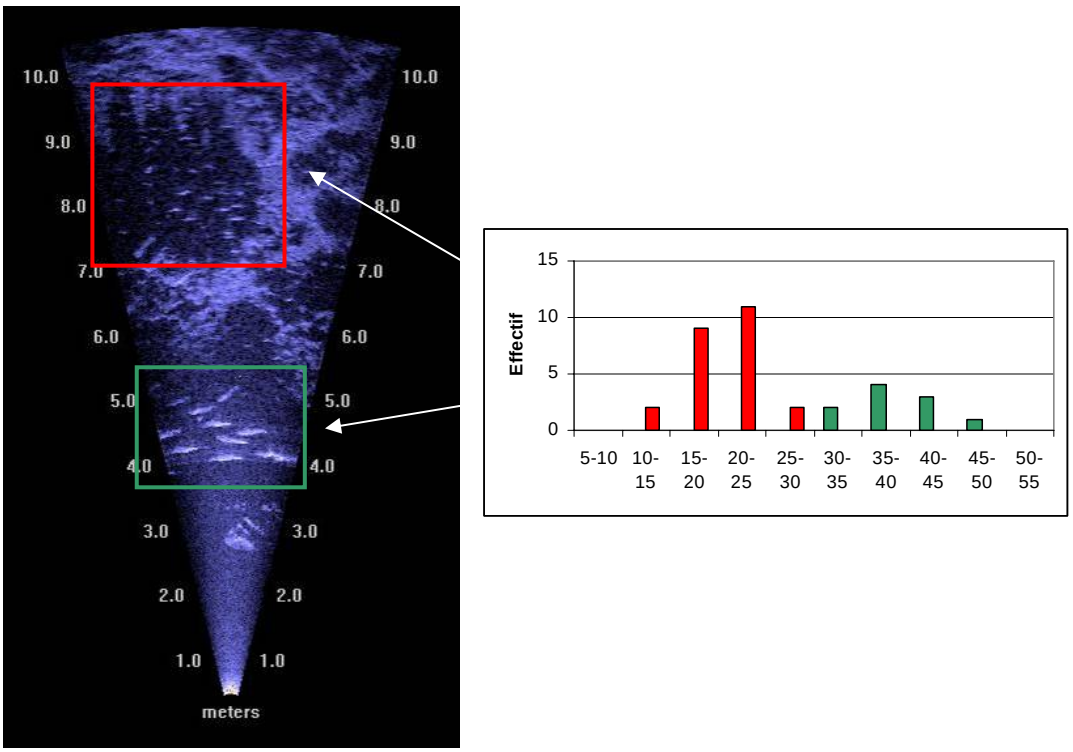


Figure 11. Observation de deux bancs de poissons de différentes tailles (en cm)

Les différences de tailles des poissons sont clairement visibles sur les images enregistrées par le DIDSON (Figure 11). D'après nos premières observations, les mesures de longueur des poissons ne peuvent être pertinentes qu'à partir d'une taille de 10-15 cm.

5.2.2) Description comportementale

5.2.2.1) Sens du déplacement du poisson

La visualisation du comportement des poissons commence par l'observation de son déplacement dans le faisceau. L'angle d'ouverture du faisceau de 29° permet de faire la différence entre un poisson qui adopte un comportement erratique, un poisson qui reste statique dans la veine d'eau (stabulation), et un poisson qui migre activement. Le sens de déplacement constitue également une information importante, particulièrement dans le cadre des espèces-cibles de cette étude. Les individus peuvent être observés en bancs (passage ou stabulation) ou se déplaçant de façon solitaire.

5.2.2.2) Rythmes d'activité

Le site de suivi installé sur la Sélune constitue un habitat à part entière pour les poissons locaux. Des peuplements résidents peuvent donc être observés dans nos enregistrements. Ceux-ci nous renseignent sur les rythmes de l'activité locale et saisonnière. Sur les premières semaines d'acquisition, une différence très nette est observée entre l'activité diurne et nocturne : si la journée (particulièrement l'après-midi), les mouvements de poissons sont très peu nombreux, l'activité est forte en fin de journée et au début de nuit (Figure 12). Des bancs de petits (10 à 15

cm) ou plus gros poissons (30 à 40 cm) stabulent dans le courant, des comportements de prédation sont observés et les effectifs recensés explosent. Dans la seconde partie de la nuit (à partir de 2 à 3h), l'activité diminue, les passages de poissons étant plus rares. Un nouveau pic de déplacement est observé à l'aube et dans les premières heures du jour.

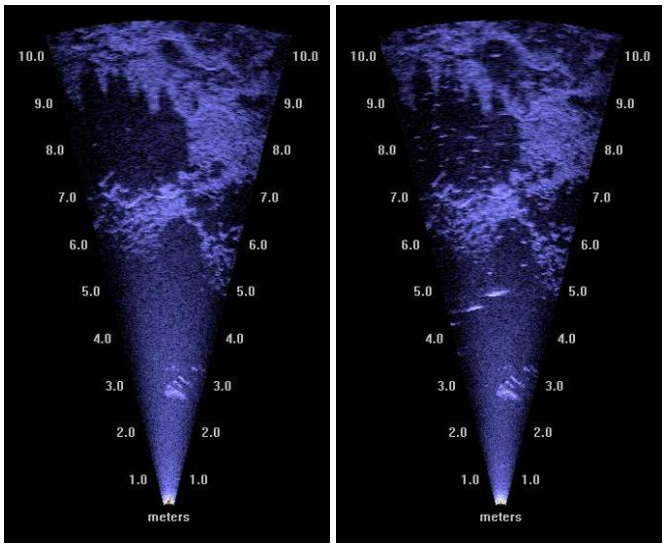


Figure 12. Visualisation représentative de l'activité des poissons dans le faisceau A) de jour, le 16/08 à 16h ; B) de nuit, le 16/08 à 23h50.

5.2.2.3) Activité trophique

Plusieurs types de comportements alimentaires ont été observés :

- Stabulation face au courant et « gobage » : comportement insectivore. Dans la majorité des cas, les poissons adoptant un comportement de stabulation dans le courant sont observés en bancs et en début de nuit. Ils peuvent être de petite taille (10-15 cm) ou plus gros (30-40 cm). Certains individus solitaires adoptent également ce comportement.
- Prédation sur poissons : comportement piscivore. Des comportements agressifs de gros individus (de 30 à 75 cm) envers des individus de taille plus réduite ont été observés (Figure 13A). Plusieurs types de chasses peuvent être décrits : certains individus stabulent, presque immobiles, pendant plusieurs minutes avant de lancer leur attaque, d'autres rodent dans la zone en provoquant un comportement d'évitement des plus petits individus, puis d'un mouvement très vif attaquent leurs proies.
- Fouissement des sédiments : comportement benthivore. Certains poissons sont observés fouillant les sédiments entraînant une remise en suspension des matières fines qui sont visibles en aval du poisson. De plus, son ombre portée montre clairement que l'individu a la tête à proximité du lit du cours d'eau et la nageoire caudale vers la surface (Figure 13B).

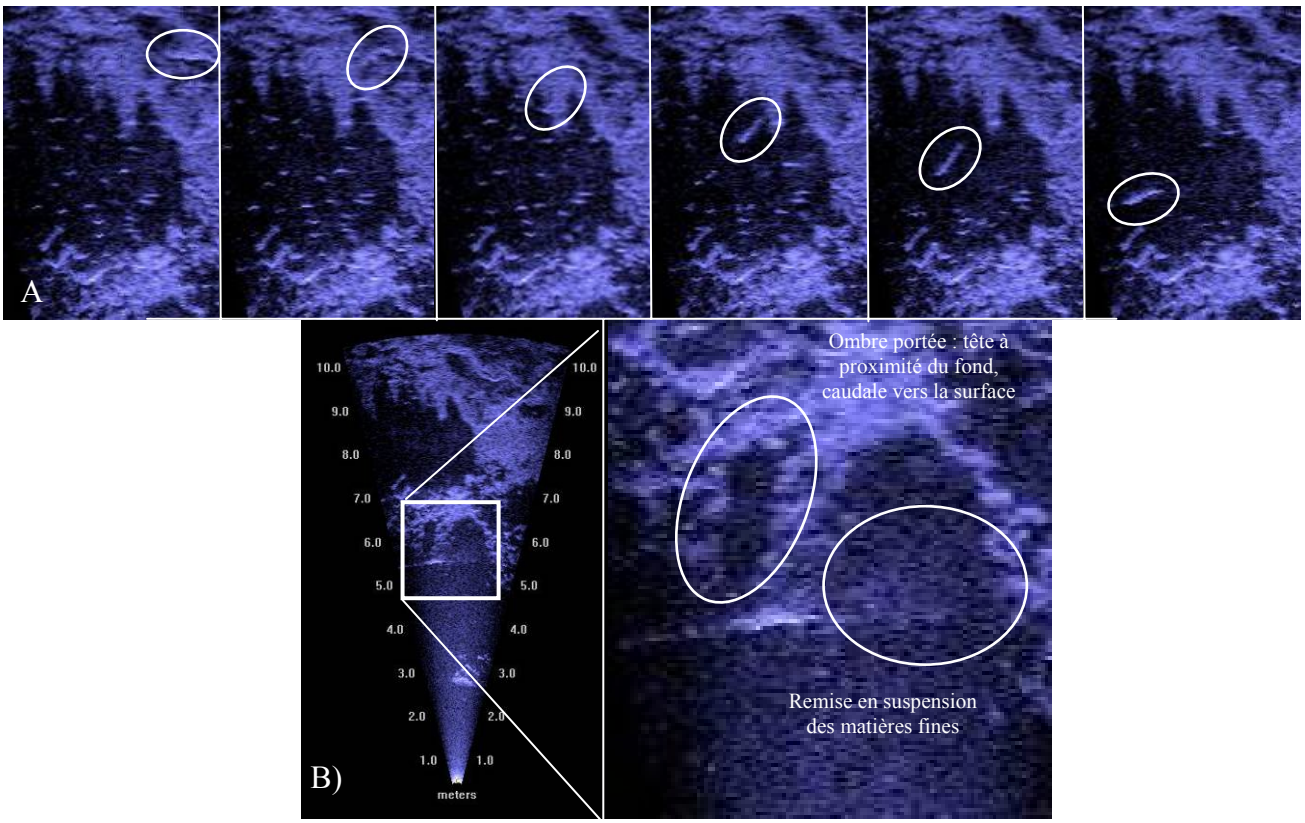


Figure 13. Visualisation de différents comportements alimentaires. A) Attaque d'un poisson piscivore ; B) Fouille des sédiments par un poisson benthivore

5.2.3) Identification des espèces

Les informations morphologiques et comportementales collectées permettent d'établir une liste de caractéristiques propre à chacun des poissons observés. La définition d'un profil type par espèce, défini à partir de connaissances bibliographiques permet 1) de favoriser l'identification des espèces-cibles migratrices présentes dans la Sélune 2) d'éliminer de notre sélection des individus appartenant à des espèces résidentes.

Le tableau 1 recense les caractéristiques des poissons migrateurs présents dans la Sélune et des espèces avec lesquelles ils peuvent être confondus. Cette base de données a été constituée à partir d'observations bibliographiques et demande à être complétée et affinée en compilant les données biologiques disponibles auprès des acteurs locaux (association de pêche locale, fédération départementale de pêche de la Manche, ONEMA, INRA…). À ces différents critères comportementaux s'ajoute un critère morphologique : la forme générale de l'individu. Les individus anguilliformes peuvent être facilement identifiés, et l'ombre portée de l'individu est susceptible d'apporter des indices supplémentaires.

Sur les premiers fichiers dépouillés, différentes espèces peuvent identifiées grâce à ces critères. Les anguilles et lamproies marines, poissons anguilliformes, sont discriminées grâce à leur forme et à leur comportement de nage particulier. L'observation des passages d'individus de ces deux espèces montre également une différence de nage (ondulation).

En ce qui concerne les espèces résidentes, des carpes ont pu être observées, révélées notamment grâce à l'épaisseur atypique de leur corps et à leur comportement de fouille des sédiments. Deux grands prédateurs sont également observés mais pour l'heure difficilement différenciés : le sandre et le brochet. Là encore, les différences morphologiques (taille, nombre et forme des nageoires sur les ombres portées des individus) et comportementales (type de chasse) de ces deux poissons peuvent orienter leur différenciation.
À l'exception de l'anguille, espèce catadrome et présente toute l'année sur le site, les poissons migrateurs de la Sélune appartiennent tous à des espèces anadromes : ils dévalent au stade juvénile en mer ou en estuaire et remontent en rivière au stade adulte pour se reproduire après un séjour en mer plus ou moins long. Les phases de remontée en eau douce sont dépendantes de plusieurs conditions et sont propres à chaque espèce. Ainsi, les adultes des espèces migratrices anadromes ne peuvent être observés qu'à des périodes précises.

L'identification des espèces, principale limite de l'utilisation des techniques hydroacoustiques, demande la mise en place d'une méthodologie précise basée sur plusieurs critères clairement identifiés pour minimiser la subjectivité des opérateurs et uniformiser les résultats obtenus.

Caractéristiques	SAT	TRM	ANG	LPM	LPF	ALA	ALF	MUP	BRO	SAN	CHE	CCO
Nom vernaculaire	Saumon atlantique	Truite de mer	Anguille européenne	Lamproie marine	Lamproie fluviatile	Grande alose	Alose feinte	Mulet porc	Brochet	Sandre	Chevaine	Carpe commune
Nom latin	*Salmo salar*	*Salmo trutta*	*Anguilla anguilla*	*Petromyzon marinus*	*Lampetra fluviatilis*	*Alosa alosa*	*Alosa fallax*	*Liza ramada*	*Esox lucius*	*Sander lucioperca*	*Leuciscus cephalus*	*Cyprinus carpio*
Type de poisson	anadrome	anadrome	catadrome	anadrome	anadrome	anadrome	anadrome	catadrome	résident	résident	résident	résident
Stade	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte
Période de présence	mars à novembre	mars à novembre	- octobre à mars (migrateur) - continue (résident)	mars à juillet	février à avril	mars à juin	avril à juin	continue	continue	continue	continue	continue
Taille minimale (cm)	54	25	- 40 (migrateur) - 15 (résident)	70	25	40	30	30	30	30	30	40
Taille maximale (cm)	100	80	100	120	35	60	45	60	110	100 (rarement plus)	50 (rarement jusqu'à 65)	80
Comportement attendu	- migration franche vers l'amont à une vitesse soutenue (≥0,4 m/s) - pas de comportement trophique	- migration franche vers l'amont	<u>Migrateurs</u> : - migration nocturne franche vers l'aval <u>Migrateurs et résidents</u> : - nage anguilliforme	- migration franche vers l'amont - pas de comportement trophique - migration nocturne - nage anguilliforme	- migration nocturne - nage anguilliforme	- migration franche vers l'amont - pas de comportement trophique - migration plutôt diurne - migration en bancs	- migration franche vers l'amont - pas de comportement trophique - migration plutôt diurne - migration en bancs	- poisson omnivore (zooplancton, invertébrés benthiques, vases et limons) - déplacement en petits bancs	- prédation (peut chasser des proies de grande taille - jusqu'à la moitié de sa taille) - activité surtout diurne - chasse en embuscade (vive et courte accélération) - chasse solitaire en cours d'eau	- prédation (poissons de petite taille : ablettes, goujons, jeunes cyprinidés…) - activité nocturne - chasse grégaire ou solitaire (grands individus)	- poisson omnivore opportuniste - poisson grégaire (banc d'individus de même taille) - été : proche des berges et de la surface ; hiver : proche du fond	- activité crépusculaire et nocturne - fouille les sédiments pour se nourrir - poisson omnivore (zooplancton, invertébrés benthiques, vases et limons)

Tableau 1. Tableau synthétique des caractéristiques de différents poissons présents dans ce tronçon de la Sélune

6) Conclusions et perspectives

Cette première année a permis la mise en application des connaissances acquises et recensées dans la synthèse bibliographique rédigée fin 2012. Elle permet de mettre à disposition de façon synthétique les connaissances, utilisations et retours d'expérience du DIDSON dans le cadre de suivi des populations de poissons migrateurs aux gestionnaires et scientifiques. Par ailleurs, elle a fait l'objet d'une publication dans une revue internationale (Fish and Fisheries, Martignac *et al.*, accepted).

La réflexion relative à l'installation du matériel dans des conditions pérennes, pertinentes et sécurisées et les travaux liés à l'installation ont occupé les sept premiers mois de l'année. Dès lors, le DIDSON et les capteurs de variables environnementales ont acquis des données en continu sans problème majeur.
Cette phase d'installation est primordiale compte du type de matériel installé et de sa durée dans le temps (16 ans).

Les premières analyses mettent en évidence le fort potentiel de cette caméra acoustique pour le suivi des populations de poissons migrateurs de la Sélune mais soulèvent également quelques facteurs limitants. Les images enregistrées révèlent un nombre important d'informations qualitatives permettant une description précise et détaillée des passages de poissons, dont quelques exemples sont présentés dans ce rapport. Néanmoins, l'outil de traitement des fichiers du DIDSON n'est pas satisfaisant dans le cadre d'un suivi à long terme. Il importe donc pour 2014 :

1 - D'optimiser le dépouillement actuellement trop chronophage. De fait, l'utilisation d'un logiciel alternatif (Sonar5 Pro) disposant d'un outil de traitement semi-automatique et permettant d'avoir accès à des informations complémentaires sur chaque cible sera testée cet hiver.

2 - D'améliorer l'identification des espèces. Cette optimisation de l'identification passe par :

* L'Amélioration de la connaissance du peuplement de l'hydrosystème

Une première base recensant les caractéristiques des poissons migrateurs présents dans la Sélune et des espèces avec lesquelles ils peuvent être confondus a été constituée. Cette base de données demande à être complétée et affinée en compilant les données biologiques disponibles sur les peuplements pisciaires de la Sélune. Doivent alors être prises en compte :

Les données collectées par les acteurs locaux (association de pêche locale, fédération départementale de pêche de la Manche, ONEMA, FDPPMA50, APPMA de Ducey). Les Indices d'Abondance Saumons collectés par la Fédération de Pêche de la Manche sur le tronçon en aval des barrages permettent d'estimer le nombre de géniteurs attendus l'année suivante. L'ONEMA réalise régulièrement une pêche électrique sur une station du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) localisée 5 km en amont du site d'acquisition. Néanmoins,

cette pêche est réalisée dans une zone prospectable à pied et minimise donc la présence des espèces inféodées aux milieux plus profonds et plus lentiques fréquentant plus fréquemment la zone d'acquisition. Enfin, les observations de l'APPMA de Ducey s'avèreront utiles pour lister les espèces fréquemment capturées par les pêcheurs le long du parcours de pêche sur le tronçon Ducey - moulin de Quincampoix. Les estimations de taille des poissons pêchés pourront également être collectées.

Les déclarations de capture de saumons à la ligne étant obligatoires, le CNICS (Centre National d'Interprétation des Captures de Salmonidés migrateurs) recueille un certain nombre d'informations par individu déclaré : taille, poids, âge de mer, date et localisation de la capture. De même, les poissons diadromes salmonidés migrateurs font l'objet d'un suivi particulier sur l'Oir, affluent rive droite en aval de Ducey, à la station de comptage Cerisel depuis plus de trente ans : abondance, tailles, poids et âge des géniteurs. Ces données récoltées permettent notamment de connaître la structure de taille des truites de mer et saumons atlantiques lors de la phase de migration et ainsi de définir une taille limite entre les deux espèces de 56 cm : 4% des saumons ont une taille inférieure et 6% des truites de mer ont une taille supérieure (Figure 14).

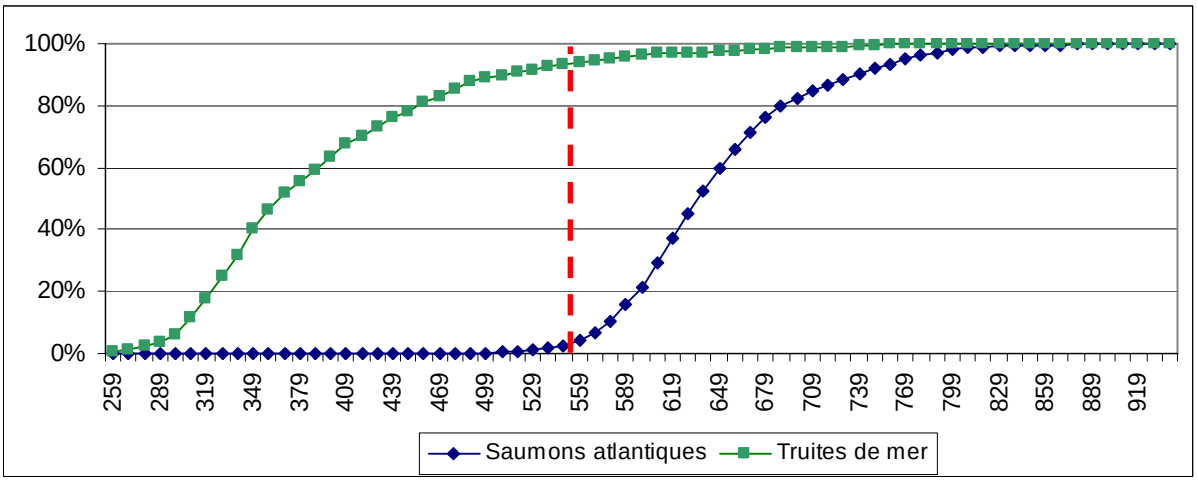


Figure 14. Fréquences cumulées des tailles en mm des individus capturés à Cerisel (données U3E, INRA sur la période 1984-2012), N_{SAT} = 4106 individus ; N_{TRM} = 1234 individus

* L'expérimentation *in situ* au Moulin de Cerisel

Des protocoles expérimentaux visant à améliorer l'efficacité du suivi hydroacoustique seront mis en œuvre à la station de comptage de Cerisel. Ainsi, courant décembre 2013, des adultes de salmonidés migrateurs capturés lors de leur remontée seront contraints à passer devant le DIDSON, installé dans le bief du moulin. Les caractéristiques morphologiques de ces poissons seront mesurées (taille réelle, taille à la fourche, hauteur du corps, épaisseur du poisson) avant d'être relâchés un à un, et de passer dans le faisceau de détection du DIDSON. La comparaison entre les données biologiques (espèce, taille etc.) et les données enregistrées pour chacun des passages viseront à répondre à plusieurs questions :

- Les mesures de taille des individus via l'outil DIDSON sont elles pertinentes et quelle est leur variabilité et leur précision? Sont-elles des estimations de la taille totale du poisson, sa taille à la fourche ou une mesure intermédiaire?

- Pour des individus de taille proche, les échos renvoyés par les truites de mer et les saumons observent ils des différences ? Comportement de nage, ondulation du corps, fréquence de battement de la nageoire caudale, épaisseur du poisson, ombres portées ?

- L'observation de certaines métriques telles que la fréquence de battement de la nageoire caudale et la forme de l'ombre portée. Mueller *et al*. (2010) ont démontré que dans des conditions de nage constante cette fréquence diffère significativement entre les deux espèces de saumons du pacifique canadiens (*Oncorhynchus nerka* et *Oncorhynchus tshawytscha*). De même, Langkau *et al.* (2012) ont mis en évidence l'intérêt de l'étude de la forme de l'ombre portée pour différencier les espèces. Des protocoles s'inspirant de ces références bibliographiques pourront être testés.

3 - De mesurer les erreurs relatives des mesures effectuées avec le DIDSON en fonction de plusieurs paramètres (range, angle du poisson, position dans le faisceau …) dans le but de connaître précisément la variabilité des mesures de tailles des poissons et de la corriger si possible.

Annexe 1. Affiche explicative de l'intérêt du suivi des poissons migrateurs avec le DIDSON, installée sur l'abri de Ducey

B- Caractérisation du peuplement pisciaire et assimilé avant arasement des barrages

1- Répartition des stations

Un total de 73 stations de pêche composent ce nouveau réseau de suivi piscicole sur le bassin versant de la Sélune : 25 sites pour la truite (trf, selon la méthode VIGITRUITE®), 22 pour l'anguille (ang), 11 pour les lamproies (lp), 7 pour toute la communauté pisciaire (PTE) et 8 pour les écrevisses. Ces 73 stations sont regroupées en 31 secteurs (plusieurs stations de pêche par secteur) dont 7 sont localisés en aval des barrages (Figure 15).
Les pêches de communautés (PTE) et les indices d'abondance truites ont été réalisés en 2012 et ont fait l'objet d'un précédent rapport (Forget *et al.*, 2012).
Cette année, les pêches d'indice d'abondance anguilles, lamproies ont été réalisées ainsi que les premiers piégeages d'écrevisses.

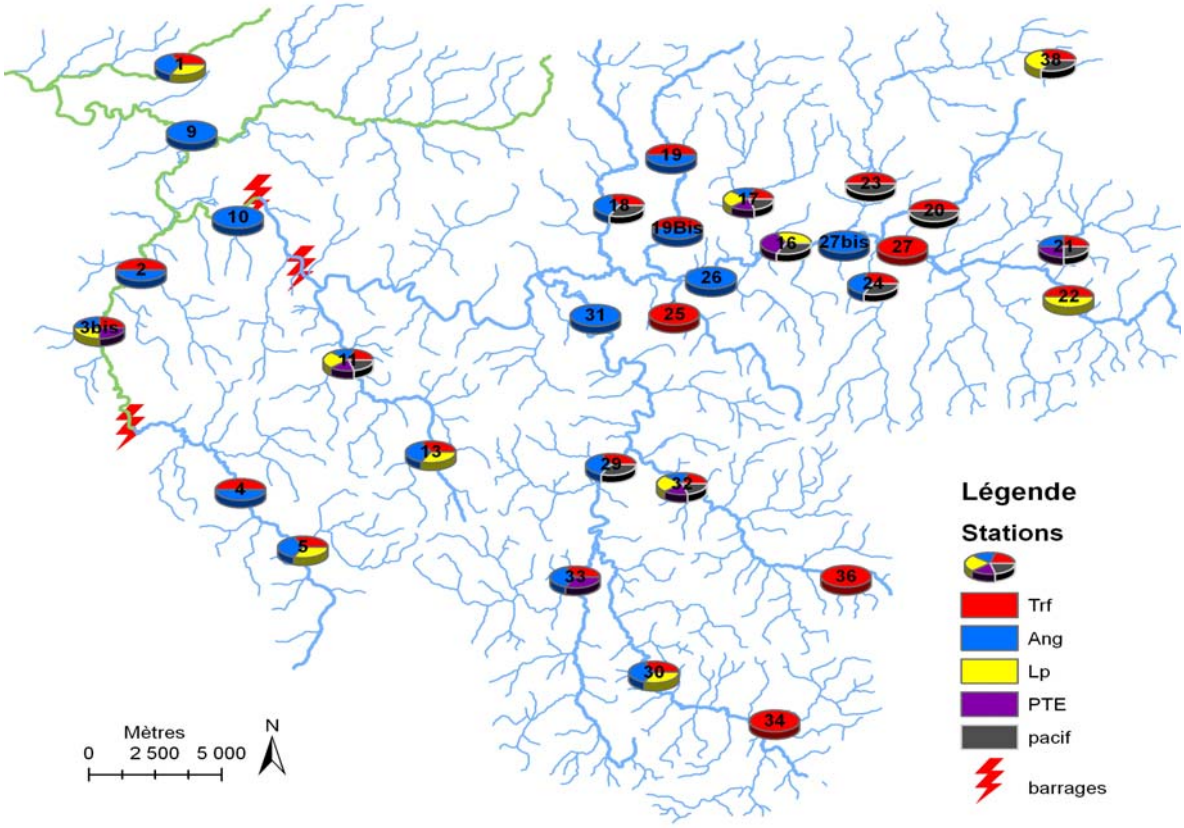


Figure 15 : Localisation des stations de pêches du réseau de suivi piscicole sur le BV de la Sélune.

2- Indices d'abondance lamproies

Ces pêches ont été réalisées entre le 9 et 13 septembre 2013 sur les stations 1, 3bis (aval barrage), 5, 11, 13, 32, 30, 17, 16, 38 et 22 (amont barrages) (Figure 16).

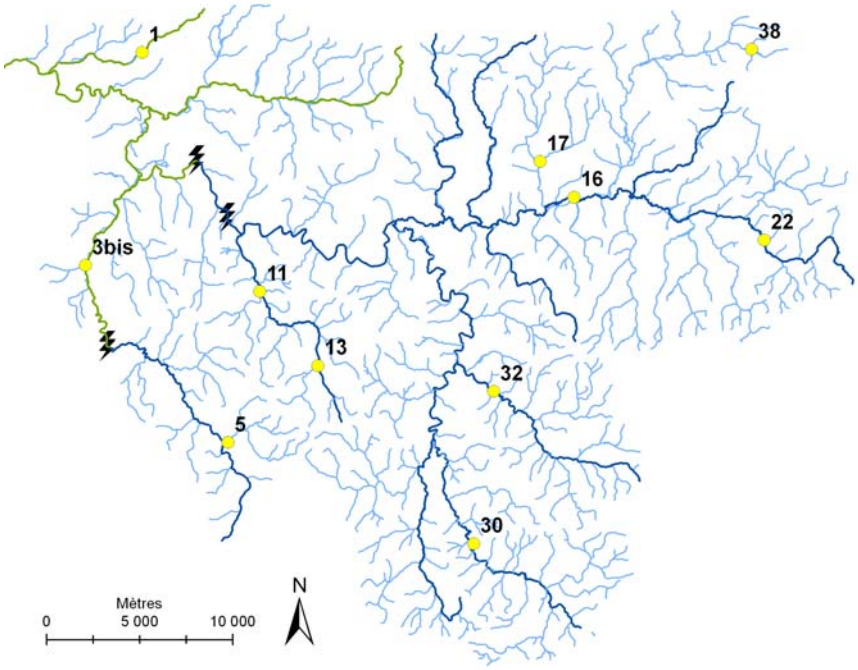


Figure 16 : Localisation des stations lamproies réalisées sur le BV de la Sélune en 2012.

2.1. Méthodes

La méthode utilisée pour échantillonner les lamproies est celle mise au point par Lasne *et al.* (2010) permettant de prélever plus efficacement les individus de très petite taille que par pêche électrique. Elle s'appuie sur l'utilisation d'un outil dérivé du filet de Surber, permettant de prélever les ammocètes de façon standardisée (figure 17).

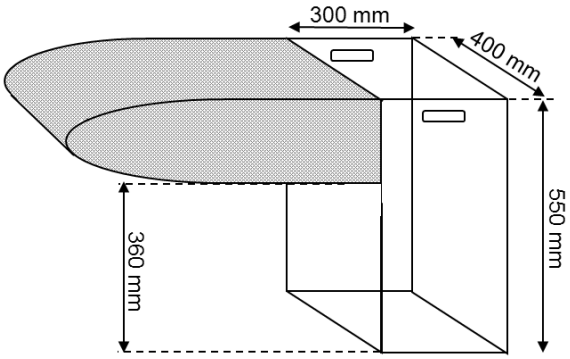


Figure 17 : Enceinte de prélèvement utilisée pour capturer les lamproies

Cette enceinte permet de réaliser des prélèvements ponctuels, à la manière des EPA. La réalisation d'un point de prélèvement se déroule en plusieurs étapes :

- Localisation d'un microhabitat favorable à l'aide d'une sonde. Différents paramètres descriptifs de cet habitat sont décrits : granulométrie, qualité du substrat, hauteur d'eau, profondeur de sédiments.
- La caisse est enfouie dans le substrat jusqu'à une profondeur d'environ 15 cm. L'opérateur prélève alors le substrat avec ses mains (protégées par des gants) et le dépose dans le filet.
- La colonne d'eau dans la caisse est alors filtrée à plusieurs reprises à l'aide d'une épuisette à maille fine afin de récupérer les larves de lamproies restantes.
- Les sédiments contenus dans le filet sont alors déposés sur un tamis à maille fine permettant, après rinçage, de récupérer les ammocètes qui sont alors stockées dans un sceau. En fin de station, elles sont mesurées et des prélèvements génétiques sont effectués lorsque leur taille le permet.

Un total de 30 prélèvements maximum est effectué par station.

2.2. Résultats

Deux espèces de lamproies ont été trouvées au cours de la campagne d'échantillonnage : la lamproie de planer (*Lampetra planeri*) et (*Petromyzon marinus*). Un total de 491 lamproies dont 13 lamproies marines ont été capturées sur l'ensemble des 11 stations de suivi (figure 20).
La lamproie marine n'est présente que dans une station à l'aval des deux grands barrages, la station 3bis située sur le Beuvron. Ceci montre clairement l'effet de blocage des deux barrages sur cette espèce migratrice.
La lamproie de Planer se retrouve sur l'ensemble du bassin versant. L'échantillonnage montre cependant un nombre plus important d'individus dans les stations situées en amont des barrages (figure 18).
Les quantités de lamproies capturées vont de 1 pour la station 32 à 156 pour la station 17. Pour toutes les autres stations, la moyenne de lamproies capturées est de 35 par station ce qui est relativement peu si l'on compare avec les données disponibles sur les pêches de l'Oir réalisée depuis 4 ans à l'aide de cette technique (plus d'une centaine de lamproies capturées par station en moyenne).

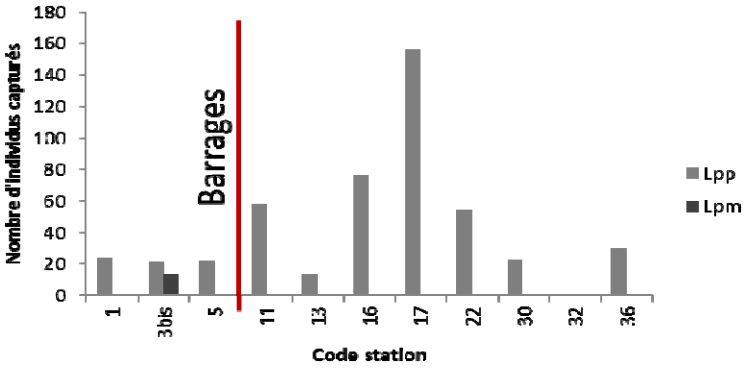


Figure 18 : Répartition des captures de lamproies sur les stations de suivi

La répartition des classes de tailles sur l'ensemble des stations montre que la méthode employée permet d'être très efficace sur les lamproies 0+ (figure 19) fournissant ainsi une bonne évaluation de l'état du recrutement en juvéniles sur les stations. Ce recrutement semble être plus important sur les stations 1, 11, 17, 16, 22 et 38 (figure 20). Une seule lamproie a été capturée sur la station 32, elle sera donc changée au cours du prochain échantillonnage.

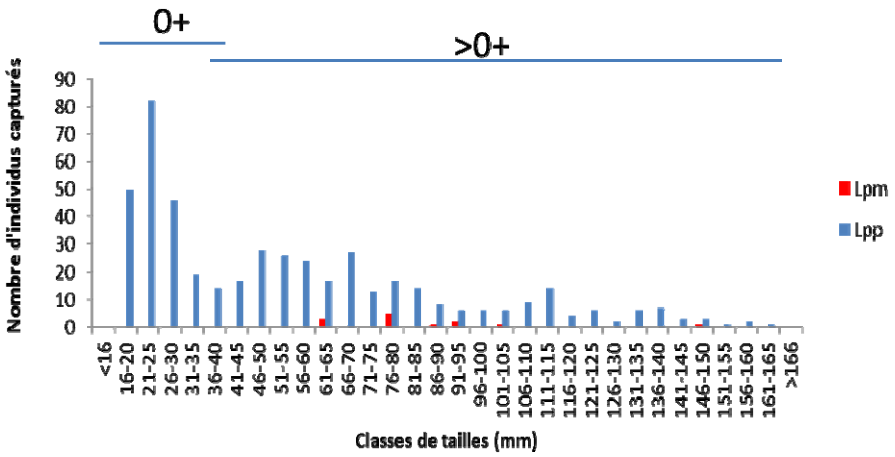


Figure 19 : Effectif de tailles des ammocètes capturées sur l'ensemble des stations de la Sélune

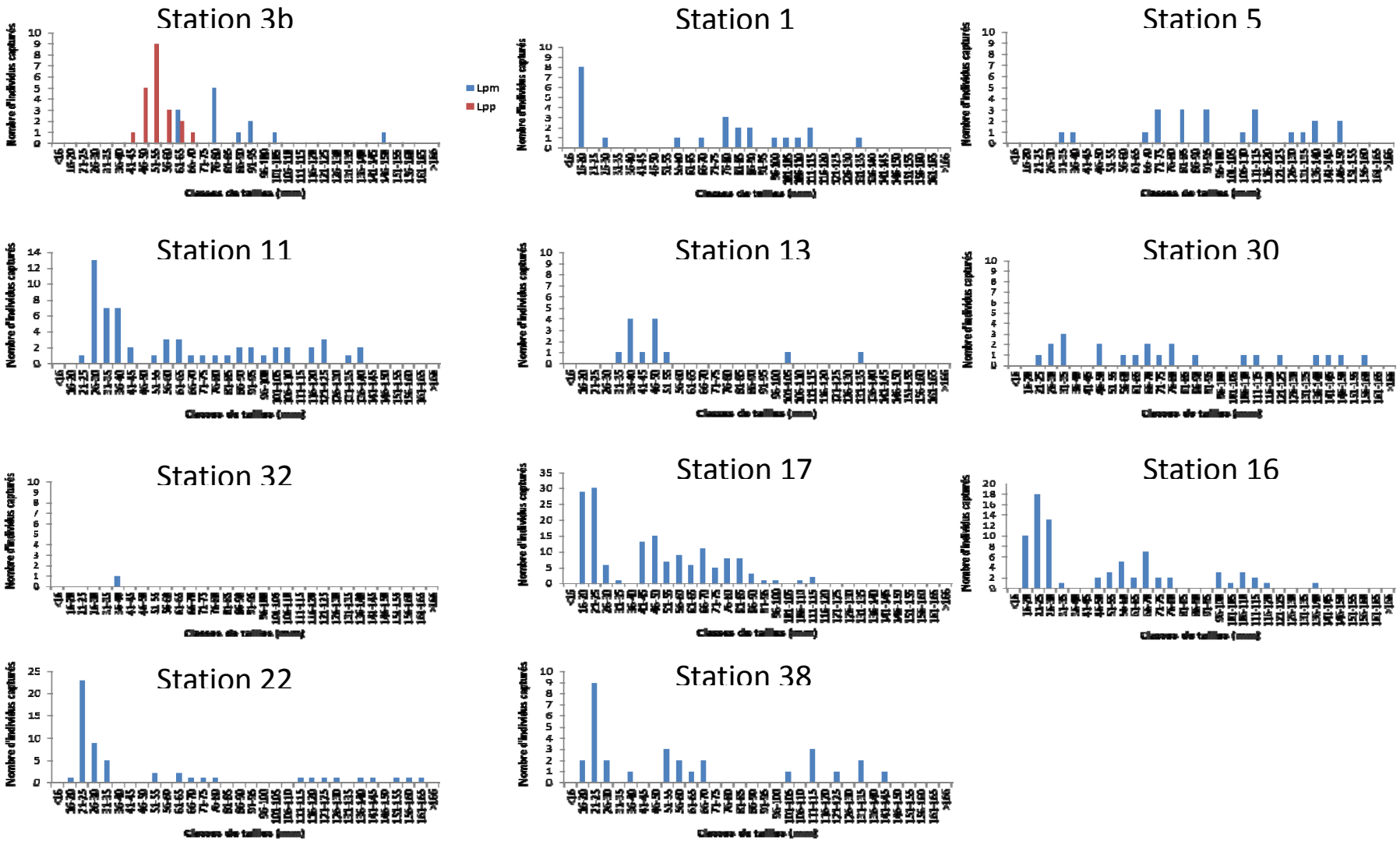


Figure 20 : Répartition des effectifs de tailles des ammocètes sur les stations de suivi.

3- Indices d'abondances anguilles

Les indices abondances anguilles ont été réalisés entre le 2 et le 5 septembre 2013 sur 22 stations (figure 21).
L'objectif principal de ce travail était d'obtenir un état initial de la distribution et structure de la population d'anguilles dans le bassin versant, en précisant l'influence des deux grands barrages sur ces deux paramètres. La question de la franchissabilité du barrage alimentant en eau la pisciculture située sur le Beuvron par les anguilles était également posée, d'où un échantillonnage sur les stations 4 et 5 en amont de cet obstacle (dont le démantèlement est prévu dans les 2 années à venir).

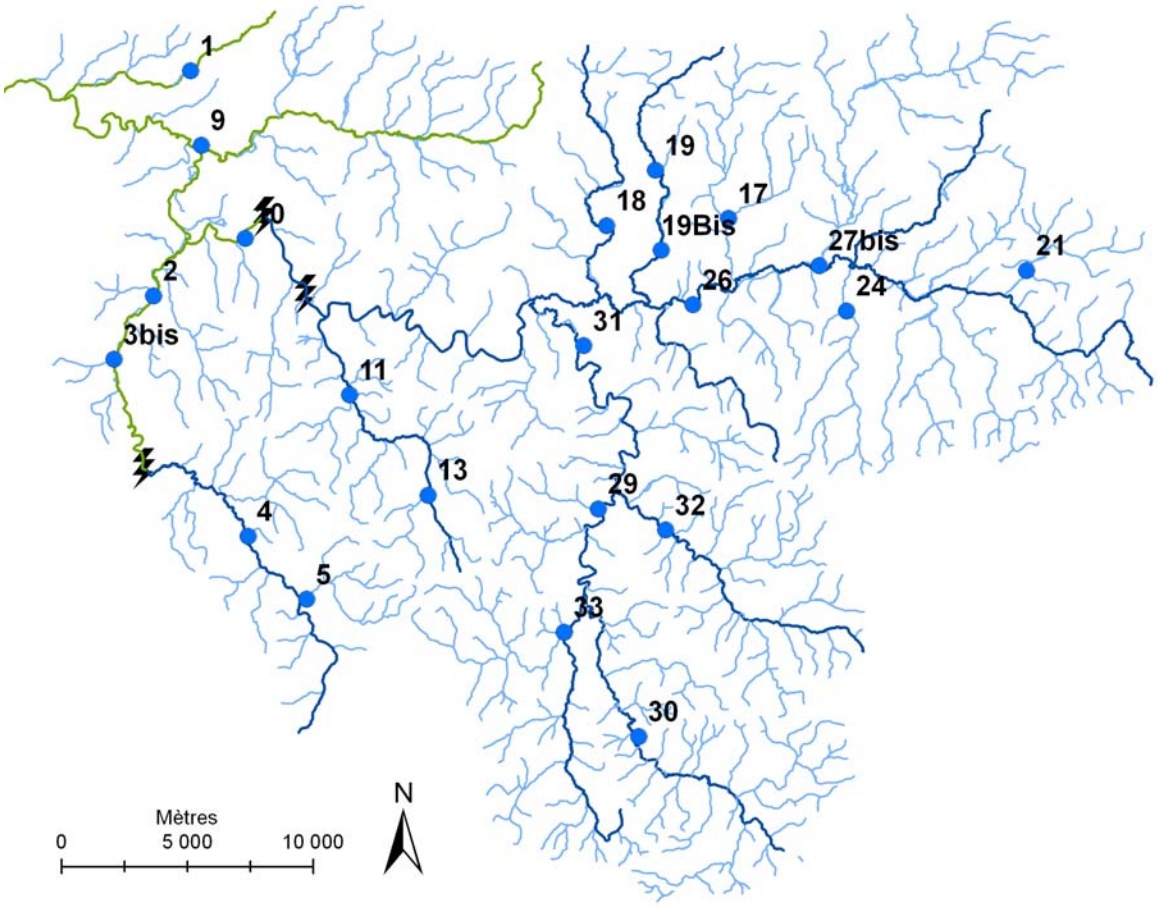


Figure 21 : Localisation des stations du réseau de suivi des populations d'anguilles sur la Sélune

3.1 Méthodes d'échantillonnage

La méthode utilisée est celle mise au point par l'Université de Rennes 1 et l'Institut d'Aménagement de la Vilaine (IAV) et développé, testé et adapté par les Fédérations de Pêche bretonnes et Bretagne Grand Migrateurs en collaboration avec l'ONEMA. L'indice d'abondance « anguille » est une méthode dérivée de la méthode des Echantillonnages Ponctuels d'Abondance (EPA ; Laffaille *et al.*, 2005). Cette méthode a déjà montré son efficacité pour la capture des anguilles dans différents milieux (Feunteun *et al.*, 2000 ; Laffaille *et al.*, 2005 ; Laffaille et Rigaud, 2008 ; Lasne *et al.*, 2008) et présente l'avantage de ne requérir que peu de personnes et de temps pour sa mise en place. La méthode, rapide et peu chère en terme de matériel mais aussi en homme/jour, fournit des échantillonnages quantitatifs et reproductibles et permet donc la comparaison spatiale et temporelle des différents point d'échantillonnage (COPP, 1989) et dans de nombreux types d'habitats. Ce protocole est donc bien adapté à la problématique Sélune qui vise à comparer dans le temps et l'espace les abondances d'anguilles dans des habitats différents sur le linéaire de la Sélune.

La méthode consiste à prospecter le cours d'eau selon un plan d'échantillonnage déterminé principalement par la largeur du cours d'eau. 30 points par station sont échantillonnés au martin pêcheur sur des secteurs où les hauteurs d'eau ne dépassent pas 60 cm. Sur chaque point, la pêche dure au minimum 30 secondes.

L'objectif de ces pêches est de déterminer un indice d'abondance et des structures en tailles d'anguilles ainsi que leur répartition sur le profil longitudinal du cours d'eau.

La personne en charge de l'anode commence au niveau où le conducteur de pêche lui indique puis alternera en prospectant de manière systématique en fonction du plan d'échantillonnage déterminé par la largeur (Figure 22).
L'anode est mise à l'eau et le courant électrique n'est ouvert que lorsque les épuisettes aval sont en place, bien calées au sol. Toutefois, le temps entre le placement des épuisettes et l'ouverture du courant électrique doit être le plus court possible afin d'éviter tout échappement d'anguilles avant l'échantillonnage. Attention de ne pas placer ces épuisettes trop loin de la zone d'influence du champ électrique, les anguillettes pourraient ressortir.
Seules les zones inférieures à 1 m de profondeur seront pêchées, au-delà la probabilité de capture est trop faible.
La grande épuisette en aval immédiat de l'anode ne doit pas être déplacée, surtout du sol, de tout l'échantillonnage.
Le mouvement de l'anode se situe dans un cercle de 1 m de diamètre. Le champ électrique est évalué dans un cercle de 3 m de diamètre autour du cercle de 1 m.
La pêche dure au minimum 30 secondes, avec deux brèves ouvertures du circuit électrique vers les 20 secondes, et aussi longtemps que des anguilles continuent à sortir. Les poissons sont capturés au voisinage de l'anode dont le périmètre d'action est de 1 mètre environ. La seconde épuisette aide à la récupération du poisson tétanisé.
L'échantillonnage se termine 5 secondes après que la dernière anguille ait été capturée.
Avant de terminer l'échantillonnage sur un point, on passe un coup d'épuisette en l'utilisant comme un troubleau si le substrat s'y prête (vase, litière, sable, végétaux). Des blocs peuvent être soulevés si nécessaire.

Toutes les anguilles capturées sont gardées dans un seau pour être mesurées à la fin des 30 EPA.
Le porteur de l'anode se déplace vers le point suivant, il avance de 5 m dans le cours d'eau et sélectionne la position dans la largeur en fonction du plan d'échantillonnage. 30 points par station seront échantillonnés que l'on trouve des anguilles ou non. 30 points par station de pêche semble en effet être une valeur raisonnable pour obtenir une densité fiable d'anguilles dans les ruisseaux de petite taille (Laffaille *et al*., 2003). La longueur d'une station doit être au minimum 100 m.
La prospection se fait de manière systématique sur le cours d'eau.
Le conducteur de l'opération en rive contrôle les déplacements de l'équipe de pêche et assure le respect du plan d'échantillonnage. Il contrôle les temps de pêche à l'aide d'un chronomètre.

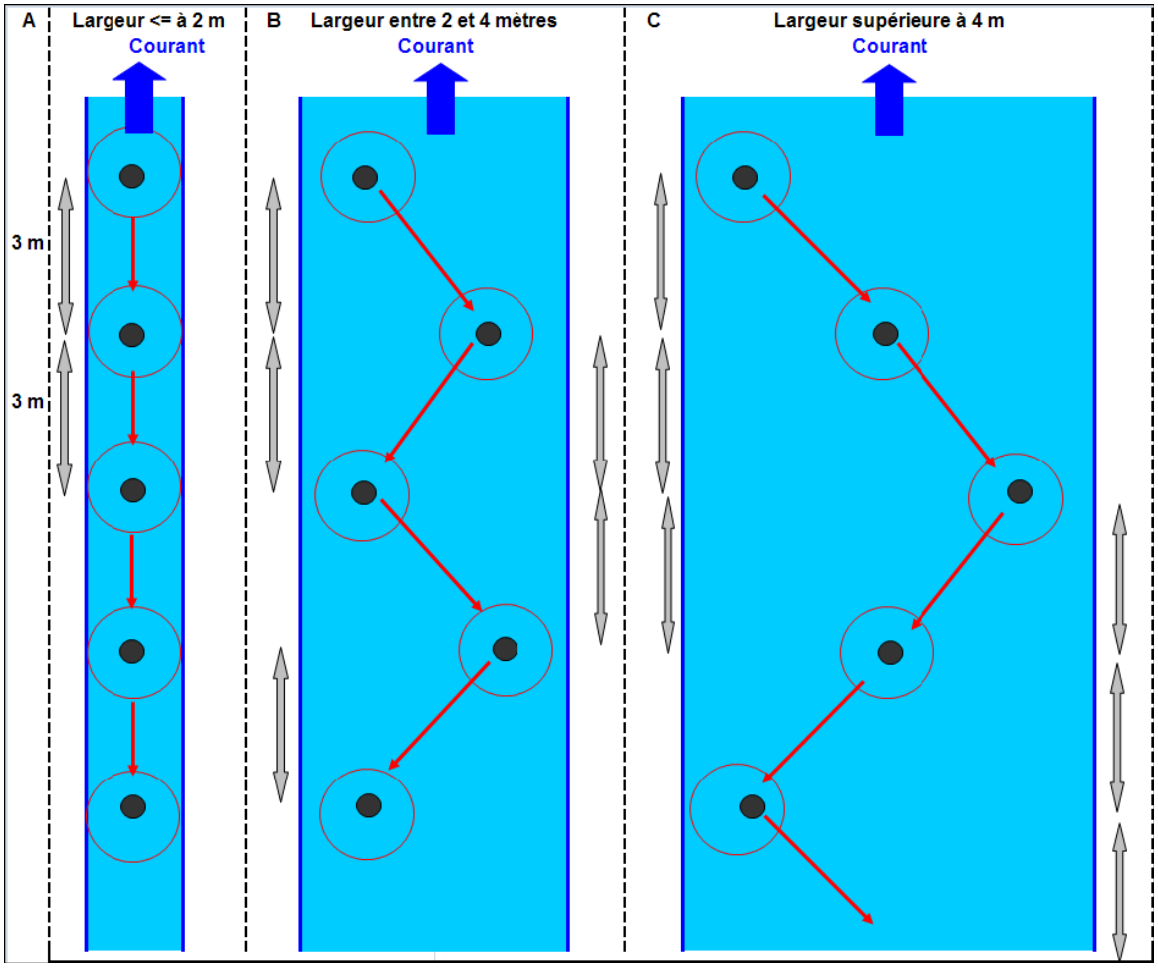


Figure 22 : Modalités de prospection en fonction de la largeur du cours d'eau (Chapon, ONEMA 2007).

3-1-2 Caractérisation morphoanatomique des anguilles

Les anguilles capturées subissent une anesthésie préalable à toute manipulation. Cette anesthésie est réalisée grâce à de l'Eugénol (extrait de clou de girofle). Les anguilles capturées sont marquées lorsqu'elles présentent une taille supérieure à 180 mm (taille limite en deçà de laquelle le marquage est difficilement réalisable compte tenu des tailles respectives de l'anguille et du marqueur). Les anguilles, encore sous anesthésie, sont marquées à l'aide de PIT-tags (« Passive Integrated Transponder »). C'est une marque magnétique qui permet l'identification individuelle des poissons marqués et autorise l'acquisition d'informations précises sur les processus comportementaux et migratoires des poissons. La marque est implantée dans la cavité abdominale par une injection avec un angle d'environ 45° à 1-2 cm de l'anus dans l'axe antéro-postérieur. L'injection du marqueur est réalisée à l'aide d'une seringue. Le code alphanumérique unique de chaque marque peut être lu de façon externe par un lecteur spécifique permettant d'identifier individuellement tout poisson. X ind. Ont été marquées pendant cette campagne.

Le stade des anguilles argentées (ag) (> 25 cm) est identifié à l'aide de 3 critères macroscopiques externes selon la méthode proposée par Acou *et al*. (2006). Ces critères sont la (1) la couleur de la livrée (dos brun, ventre blanc) (2) une différenciation nette de la ligne latérale et (3) une hypertrophie oculaire quand l'index oculaire (Pankhurst, 1982) est supérieur à 6.5. (IO > 6.5). L'IO est calculé comme suit :

$$IO = [(Dh+Dv) / 4]^2 * [\pi / L] * 10$$

avec IO: Index Oculaire
Dh: Diamètre Horizontal (en mm)
Dv: Diamètre Vertical (en mm)
L: Longueur totale de l'animal (en cm)

Si seulement un de ces trois critères vient à manquer, la plupart du temps il s'agit de la ligne latérale, l'anguille est considérée comme anguille jaune/argentée (j/ag) c'est-à-dire une anguille dont l'argenture est supposée intermédiaire entre l'anguille jaune (j) et l'anguille argentée (ag). Si un seul de ces critères, voire aucun, n'est observé, l'anguille est notée jaune.

3.2. Résultats

Un total de 192 anguilles a été capturé au cours de cette campagne dont 7 anguilles argentées et 185 jaunes (figure 23). Les tailles moyennes des anguilles argentées sont de 448.7mm et 223.7mm pour les jaunes.
Deux anguilles, dont une argentée ont été capturées sur le Lair, en amont des barrages. L'origine de ces deux anguilles est inconnue.
Toutes les autres anguilles ont été capturées sur les stations situées en aval des deux barrages de la Roche qui Boit et de Vezins. Les stations 1, 4 et 5 sont celles avec le moins d'anguilles capturées. Les stations 9 et 10, toutes deux situées sur le cours principal de la Sélune, présentent les quantités d'anguilles capturées les plus importantes (respectivement 51 et 74).

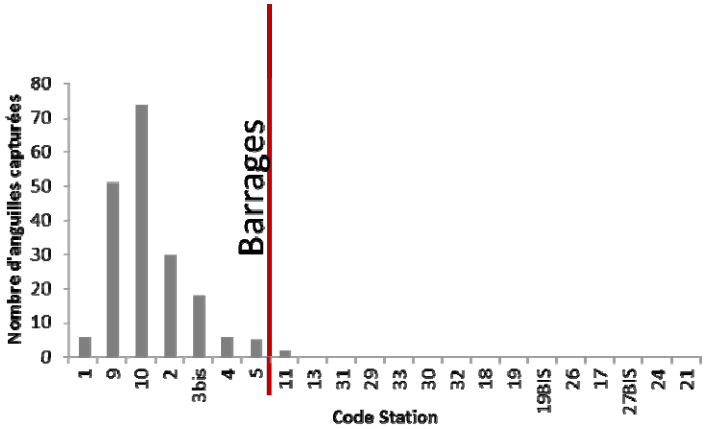


Figure 23 : Répartition des captures d'anguilles sur les stations de suivi

Les structures de tailles montrent une forte proportion d'anguille de 70 mm capturées au cours de cette campagne (figure 24). Cela traduit un bon recrutement estuarien en civelles. Sachant que les femelles sont de taille supérieure à 450mm, il apparait ici que le sex-ratio est en faveur des mâles. Ceci est confirmé par la proportion de femelles parmi les argentées capturées : 1 femelle et 6 mâles.
Ce sex-ratio en faveur des mâles correspond à des zones de fortes densité comme souvent en aval de barrages.

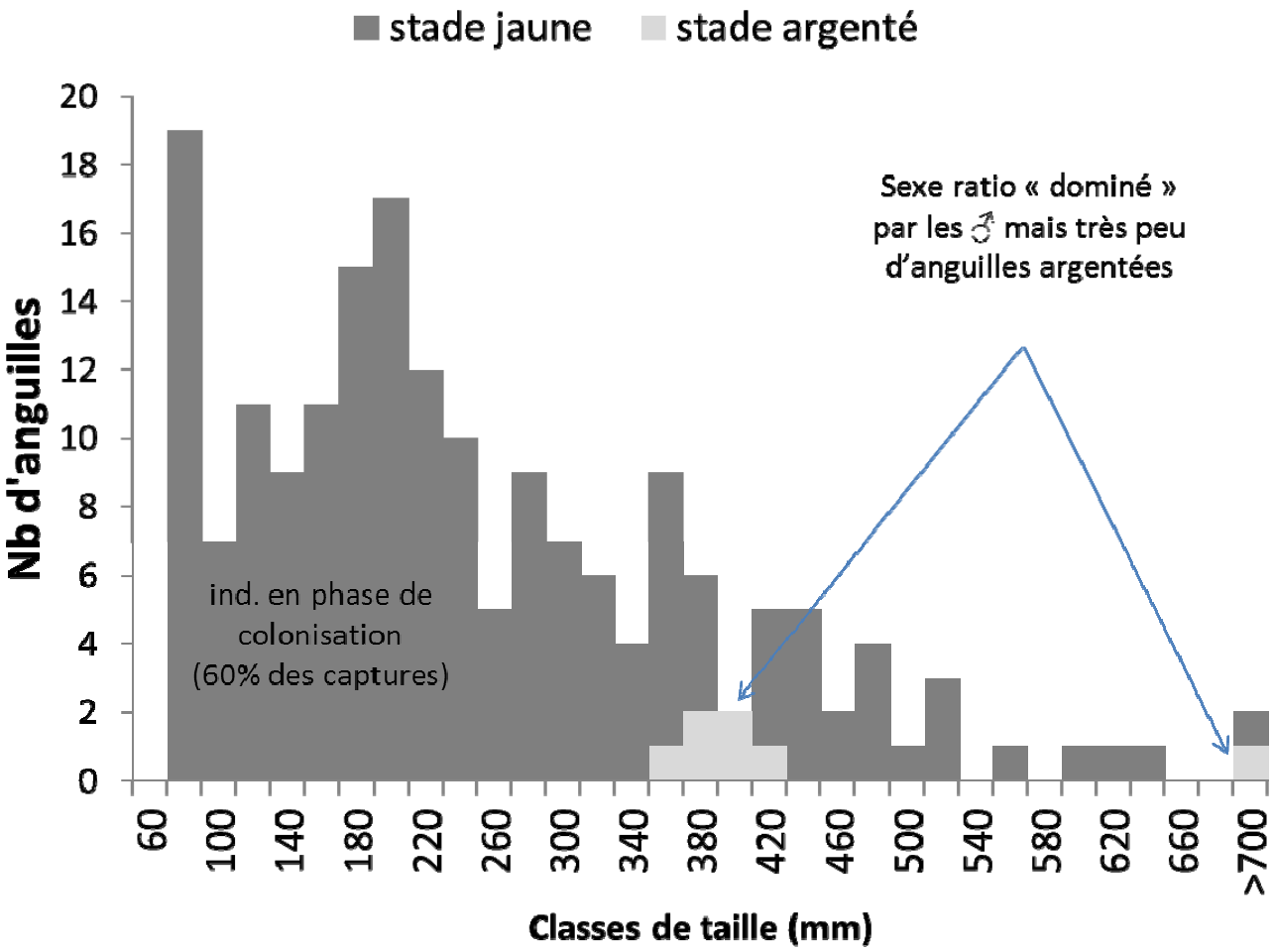


Figure 24 : Répartition des effectifs par classe de taille sur l'ensemble des stations de suivi de la Sélune

Les CPUE calculées sur l'ensemble des stations montrent des densités très fortes à l'aval des barrages et très faible à nulle à l'amont (figure 25). De plus, les densités sont beaucoup plus fortes sur le cours principal que sur les affluents.
La figure 26 montre que 100% des juvéniles (<150mm) ont été capturés en aval des trois grands obstacles. On note également la présence de deux grandes anguilles en cours d'argenture (90cm, n=2) sur le Lair (station 11), juste à l'amont du barrage de Vezins. Ceci est caractéristique d'un effet blocage des barrages.
On remarque également qu'il y a des anguilles sur les stations 4 et 5 sur le Beuvron, en amont de la pisciculture. Cet ouvrage ne semble donc pas être complètement infranchissable.

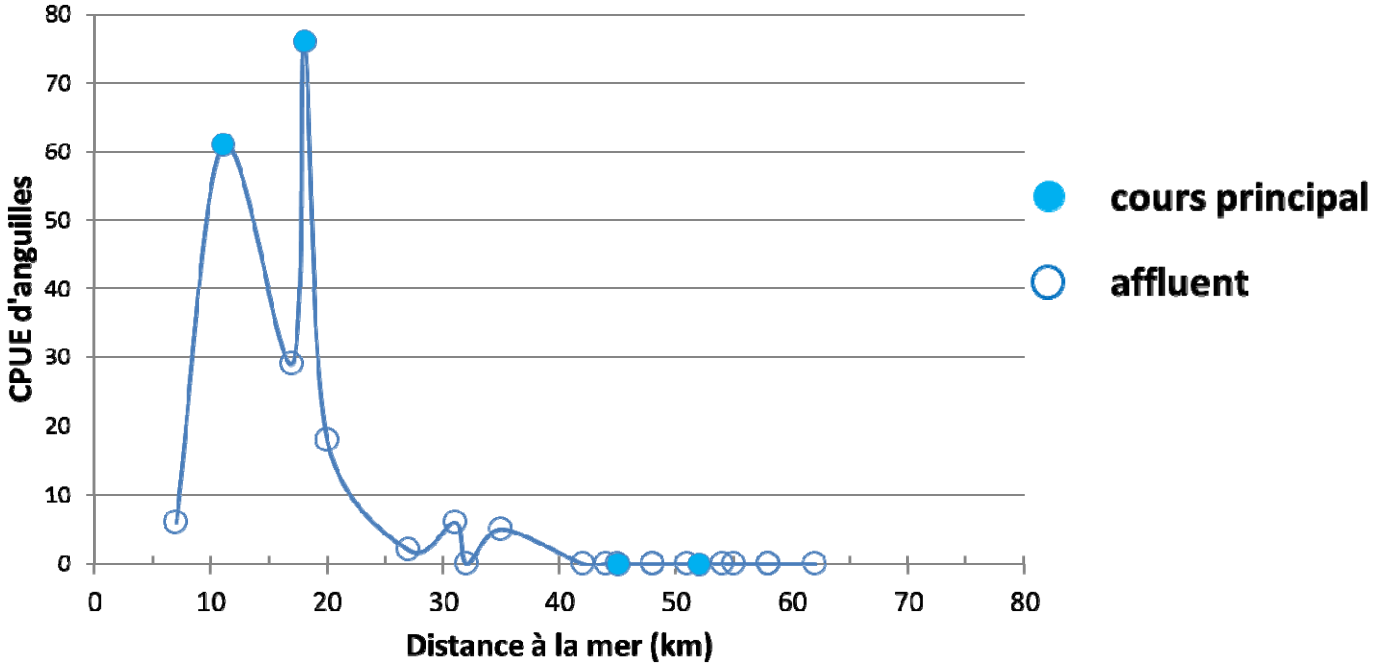


Figure 25 : Courbe des CPUE d'anguilles en fonction de la distance des stations à la mer et de leur position sur le réseau.

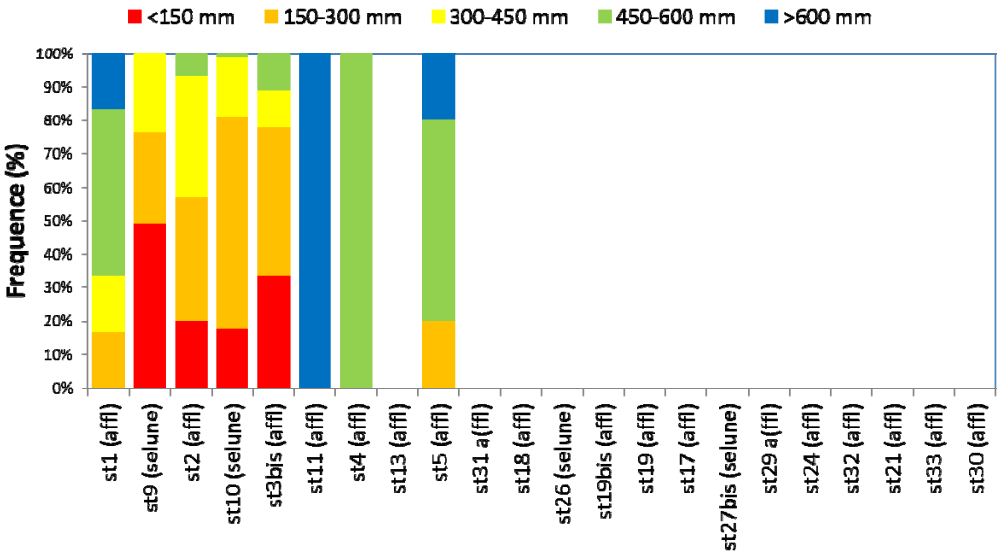


Figure 26 : Fréquences de tailles des anguilles capturées sur les stations de suivi. Les stations sont ordonnées en fonction de leur distance à la mer (les plus proches à gauche).

3.3 Conclusions

Cet état initial a permis d'identifier clairement un effet barrage sur le bassin versant de la Sélune, avec des fortes densités à l'aval et des densités faibles à nulles à l'amont. Le potentiel de recolonisation est présent comme en témoigne les densités élevées d'anguilles à l'aval et la forte proportion de juvéniles (< 150 mm). Enfin, le potentiel d'accueil (habitat) semble a priori favorable à l'amont des barrages. Ainsi, il semble que toutes les conditions requises pour observer une recolonisation des habitats par l'anguille sont présentes, si tant est que le recrutement observé pendant le programme se maintienne à des niveaux suffisants.
Il semble donc important de mettre en place rapidement un suivi annuel du recrutement des anguilles de la Sélune. Ce travail devra être mené en parallèle avec une estimation annuelle des flux d'anguilles argentées (par Didson ou capture/marquage/recapture) du bassin de la Sélune. Ce n'est qu'a cette condition que le réel bénéfice de l'arasement des barrages pour la population pourra être évalué.

4- Suivi des populations d'écrevisses

4.1 Contexte

L'objectif général de ce travail est, dans un premier temps, de fournir un état actualisé de la répartition des écrevisses sur la Sélune et ses affluents, en tirant profit de prospections de terrain « annexes » (monitoring par pêches électriques de la composante « poissons »), mais aussi de campagnes de prospection spécifiques conduites en 2013. Il est bien évident que ce travail est indispensable dans le contexte de l'arasement à venir des deux barrages implantés sur le cours de la Sélune. La continuité écologique recherchée aura, sans aucun doute, des incidences importantes quant à la colonisation aval de la Sélune et de ses affluents (Oir et Beuvron notamment, voir les résultats ci-dessous) par l'une des deux écrevisses présentes, l'écrevisse invasive du Pacifique ou écrevisse signal (*Pacifastacus leniusculus*). Le travail réalisé jusqu'à ce-jour sur le sujet des écrevisses est cependant largement incomplet et insuffisant au vu des nombreuses questions scientifiques et appliquées qui peuvent être posées. Aussi, il faut voir ce qui suit comme une synthèse livrée aux opérateurs de terrain (notamment les fédérations de pêche …) qui, nous l'espérons, seront en mesure de compléter l'état des connaissances en matière de localisation des populations actuelles d'écrevisses.

Le texte synthétique qui suit est subdivisé en trois parties largement interconnectées entre elles :

- Un point méthodologique portant sur la question des modes de prospections des écrevisses dans les petits cours d'eau et de leurs intérêts et limites selon les objectifs qu'on se fixe. Ce tour d'horizon succinct pourrait être complété, à l'avenir, par une revue plus large de la littérature scientifique afin de fournir des recommandations en vue de futures campagnes de terrain. Bien évidemment, pour des questions très précises, le recours à de nombreuses autres techniques est possible et même fortement conseillé.
- L'état actuel de la répartition des populations d'écrevisse du Pacifique, mais également des données fragmentaires sur la présence d'une seconde espèce, l'écrevisse à pattes blanches *Austropotamobius pallipes*, espèce native.
- Une troisième partie sera consacrée à l'identification de questions de recherche et appliquées pouvant découler de ce travail initial. Il ne s'agit pas d'une programmation scientifique pour les années à venir, mais plus d'un pointage de questions nous semblant d'intérêt, sans hiérarchisation des objectifs. Nous soumettons cette liste de questions à l'avis des différents partenaires du projet afin d'élargir la réflexion.

4.2 Méthodes

De premières données ont été acquises à partir d'un échantillonnage fait par pêche électrique lors du recensement de l'ensemble de la communauté pisciare (De Lury avec trois passages), des indices d'abondance truite (Vigitruite) et anguille (EPA) sur un ensemble de 31 stations. L'emploi de cette technique, relativement peu sélective, ne permet qu'une acquisition de données partielles sur les populations d'écrevisses (voir Tableau II). Le principe de passages multiples avec les PTE a sans aucun doute plus de valeur dans la validation de la présence ou non d'écrevisses dans les stations échantillonnées (Tableau II). Il convient de préciser que les pêches électriques portent sur une longueur de quelques dizaines de mètres linéaires (50-80

m) et, qu'à l'exception, de stations très proches les unes des autres sur un cours d'eau, il est tout à fait plausible qu'une ou plusieurs population(s) d'écrevisses, soi(en)t présente(s) au-delà de la station prospectée sans qu'elle soit détectée.

Tableau II. Techniques mises en œuvre, nature et pertinence des données « écrevisses » fournies.

Protocole	Nature des données obtenues			
	Présence/absence	Occurrence (%)	Abondance	Structure de populations
PTE	++	-	+	++
Vigitruite, Anguilles	+	-	-	-
Piégeage	++	+	++	+

+ et ++ : degrés de pertinence (voir la description faite dans le texte), - : impossible.

Chronologiquement, nous avons bénéficié des campagnes de pêche électrique initiées en 2012, renseignant avant tout sur la présence d'écrevisses dans le réseau de stations (voir la partie suivante). Sur la base d'une première cartographie, un échantillonnage complémentaire a été réalisé en 2013 à l'aide d'une série de pièges à écrevisses (pièges grillagés semi-cylindriques, L×l×h : 50×29×21 cm, double entrées latérales d'un diamètre de 4 cm, maille de 5,5 mm). Les pièges retenus ont montré tout leur intérêt dans la capture d'écrevisses dans le cadre d'un programme spécifique portant sur l'écrevisse de Louisiane développé dans les marais de Brière (Paillisson *et al*. 2012). L'efficacité de ces pièges a été comparée, à cette occasion, à celle d'un large panel de pièges commercialisés (Paillisson *et al*. 2011). Sans ambigüité, ces pièges spécifiques se sont avérés bien plus efficace en termes d'occurrence de captures (% de pièges installés piégeant des écrevisses), d'indices d'abondance (CPUE, capture par unité d'effort, *i.e.* le nombre d'écrevisses capturées dans les pièges) des différentes classes de taille des écrevisses, et ce dans une diversité d'habitats semi-aquatiques et aquatiques. Il est utile de se référer aux travaux précités afin d'avoir une vision plus complète sur ces différents descripteurs et sur le protocole développé.

Ces pièges n'étant pas sélectifs, ils ont été mis en pêche pendant 24h (une seule session de piégeage) dans chacune des stations retenues (voir ci-après) afin de limiter les captures annexes et les risques encourus pour ces espèces en question en cas de captures multiples associées à la présence d'écrevisses. Aucun appât n'a été employé, en raison des biais de « capturabilité » des différentes tailles d'écrevisses (voir une discussion sur ce point précis dans Paillisson *et al*. (2011)). Vingt pièges (numérotés) ont été installés, espacés d'environ 2 m les uns des autres, sur le même tronçon de cours d'eau échantillonné en 2012 par pêche électrique. La phase terrain a été réalisée du 21 au 23 août 2013. Lors de la relève des pièges, les individus capturés (écrevisses et/ou poissons) ont été identifiés, décomptés, remis à l'eau dans le cas des poissons ou conditionnés en sac étiquetés (un sac par piège) dans le cas des écrevisses du Pacifique, puis acheminés au laboratoire pour être stockés au congélateur avant d'être mesurées (longueur totale de la pointe du rostre à l'extrémité du telson) après décongélation. Les pièges et cuissardes ont été désinfectés entre chaque station afin d'éviter toute contamination par l'aphanomycose (transport de spores) d'une station à une autre (maladie transmissible par l'écrevisse du Pacifique, espèce généralement porteuse saine) aux populations d'écrevisses natives.

Les vingt pièges employés dans chaque station permettent de calculer des occurrences de capture et des CPUE moyennes. Les pêches électriques, hormis la pratique d'EPA, ne fournissent qu'une information globale de présence/absence d'écrevisses, un effectif (sans répétition et donc l'impossibilité de calculer une abondance moyenne, Tableau II). En revanche, l'analyse des structures de taille est envisageable, à condition que le nombre d'écrevisses pêchées soit suffisant.

Les stations sélectionnées pour les prospections à l'aide des pièges (un total de 8 stations) sont :

- soit des stations n'ayant pas donné lieu à l'identification de populations d'écrevisses lors des pêches électriques : stations 19b, 25, 30, 33 (amont des barrages) et 4, 10 (aval) et dont l'absence d'écrevisses semblait étonnante compte tenu de la présence de populations à proximité (le cas des stations amont),
- soit des stations colonisées par les écrevisses et pour lesquelles l'objectif était, avant tout, de comparer les données fournies par les deux techniques (stations 17 et 32).

Les données de localisation des stations d'écrevisses à pattes blanches ont été fournies par le technicien de rivière de la communauté de commune du mortanais.

2) Répartition spatiale des populations d'écrevisses

Le détail de l'échantillonnage des différentes stations est reporté dans le tableau III. La carte suivante (Figure 27) fournit un ensemble d'enseignements synthétisés ici :

- la colonisation des cours d'eau, à l'amont des barrages, par l'écrevisse du Pacifique est très nette. 62% des stations échantillonnées (n = 24) accueillent des populations d'écrevisses. A l'inverse, aucune population n'a été détectée à l'aval des barrages (n = 8) ;
- la répartition des populations est inégale en amont de barrages. Deux affluents, la Glaine (29, 33) (puis l'Airon, 30 et 34) et l'Argonce (19 et 19b) ne semblent pas colonisés par l'écrevisse du Pacifique. L'espèce est présente dans toutes les autres rivières. Deux stations (Bahan (25) et une station sur la Sélune (27)) ne comportent pas d'écrevisses, ce qui est assez surprenant. Ce sont des stations échantillonnées par le protocole Vigitruite. Par conséquent, il est fort probable, compte tenu de la densité des populations d'écrevisses dans un environnement proche, qu'elles soient aussi colonisées par l'espèce, ce qui conduirait à un taux de colonisation plus de l'ordre de 70% ;
- la majorité des stations des affluents de la Sélune, en amont des barrages, sont en position relativement aval. Il est donc difficile d'évaluer le front et le degré de colonisation du linéaire des cours d'eau. L'exemple du ruisseau du Moulin du Pré, laisse à penser que la colonisation amont des affluents de la Sélune par les écrevisses du Pacifique n'est pas systématique. Ce résultat est semblable à ce qui peut être observé sur d'autres réseaux hydrographiques comparables en France (Collas 2014) ;
- sur les huit stations pour lesquelles un double échantillonnage a été pratiqué (pêche électrique puis piégeage), six d'entre elles donnent des résultats identiques. Pour les deux autres, le piégeage a permis de détecter la présence d'écrevisses du Pacifique alors que ce n'était pas le cas lors des pêches électriques (l'une étant une station PTE et l'autre une station Vigitruite) ;
- Deux stations d'écrevisses à pattes blanches sont connues, l'une dans le bassin de l'Oir, et l'autre sur le ruisseau du Vaux Roux en position très centrale de la fenêtre

d'étude. Comme il est précisé ci-dessus, les stations d'échantillonnage sont localisées en situation relativement aval des petits cours d'eau. Là encore, en se référant à ce qu'il en est dans d'autres réseaux hydrographiques comparables à l'échelle nationale (Collas 2014), la situation actuelle de l'écrevisse à pattes blanches se traduit par un repli de l'espèce vers les têtes de bassins. Par conséquent, le plan d'échantillonnage pratiqué ici pourrait sous-estimer la présence des populations de cette espèce. Cependant, des stations parfois en position assez amont sur les affluents de la Sélune n'ont pas donné lieu à une détection de la présence de l'espèce.

Tableau III. Techniques d'échantillonnage des stations et résultats en termes de localisation de populations d'écrevisses du Pacifique.

Stations	PTE	Vigitruite	Anguilles	Piégeage	Total
1	0	0	0	-	0
9	-	-	0	-	0
6	-	-	-	-	-
10	-	-	0	0	0
2	-	0	0	-	0
3bis	0	0	0	-	0
4	-	0	0	0	0
5	-	0	0	-	0
11	X	0	0	-	X
13	-	0	X	-	X
31	-	-	X	-	X
18	-	X	X	-	X
19	-	0	0	-	0
19bis	-	0	0	0	0
17	X	X	0	X	X
25	-	0	-	X	X
26	-	-	X	-	X
16	X	-	-	-	X
27bis	-	-	X	-	X
29	-	0	0	-	0
32	X	X	X	X	X
33	0	0	0	X	X
30	-	0	-	0	0
34	-	0	-	-	0
36	-	0	-	-	0
27	-	0	-	-	0
23	-	X	-	-	X
24	-	X	X	-	X
20	-	X	-	-	X
21	X	0	0	-	X
22	-	X	-	-	X
38	-	X	-	-	X

X : présence, 0 : absence, - : non échantillonné

Un échantillonnage complémentaire du cours de la Sélune, et de ses affluents, juste en amont du second barrage (La Roche qui boit) et jusqu'à la confluence avec la Douenne serait envisageable afin de préciser la présence de populations d'écrevisses du Pacifique mais aussi afin de fournir des indications d'abondance en individus. Il s'agit en effet des populations les plus en aval du bassin de la Sélune et elles constitueront les premiers foyers à partir desquels l'espèce sera en mesure de coloniser les secteurs en aval après l'arasement des barrages.

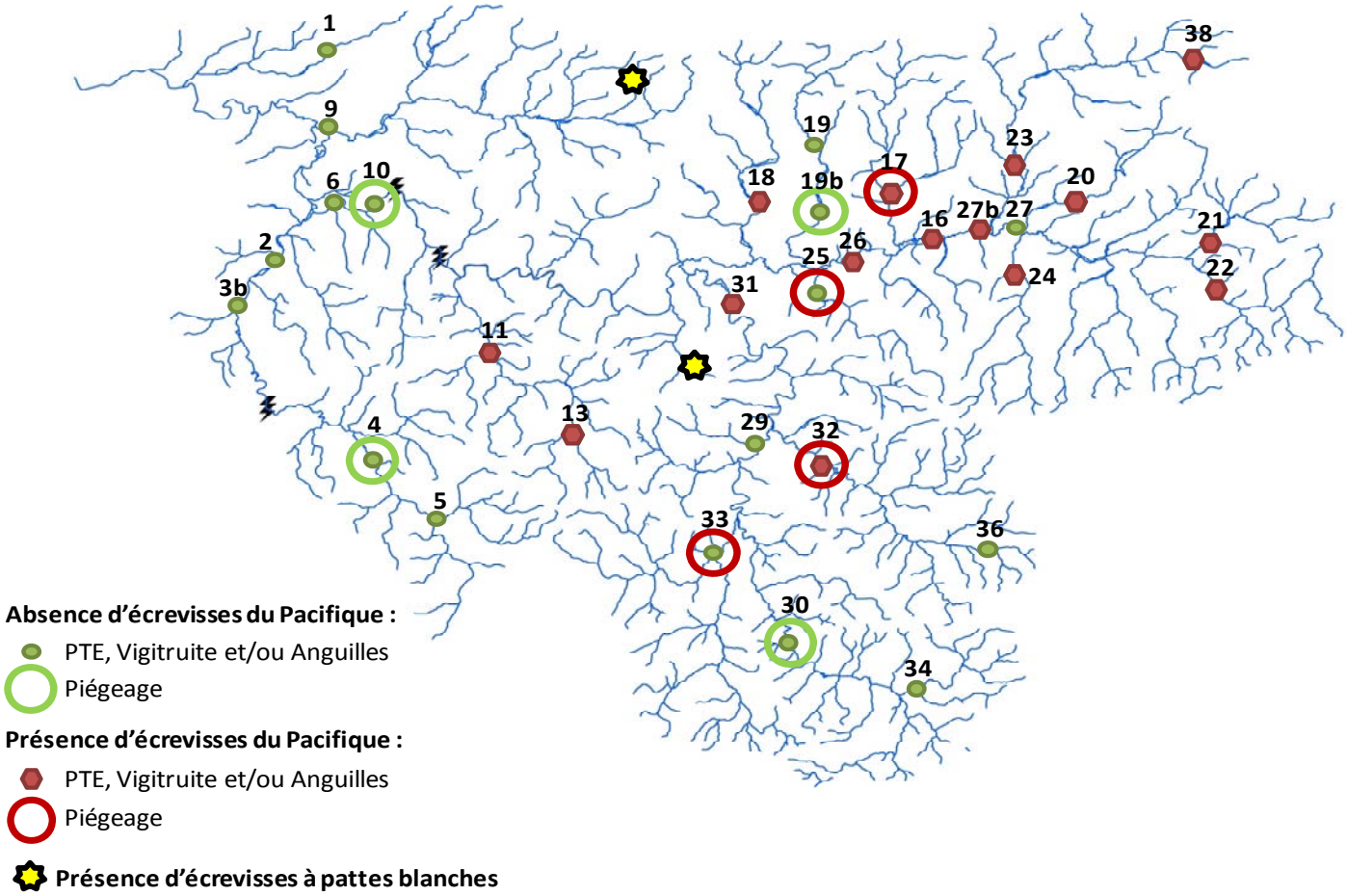


Figure 27. Répartition des populations d'écrevisses du Pacifique et d'écrevisses à pattes blanches. Voir le tableau III en complément.

Comme, il est mentionné dans le tableau II, les prospections par piégeage permettent de calculer des occurrences ainsi que des CPUE, ce qui n'est pas possible avec les protocoles de pêche électrique pratiqués dans le cadre du monitoring piscicole. Néanmoins, l'élaboration d'un protocole EPA (épuisement de stock à l'échelle du point de pêche) visant à capturer des écrevisses serait envisageable, et permettrait alors de générer des répétitions par station. Les résultats des prospections par piégeage réalisées en 2013 sont reportés sur la figure 28. Deux stations se caractérisent par des populations relativement abondantes (la Gueuche et le ruisseau du Moulin du Pré). Ces deux populations présentent des occurrences très proches (0,6 et 0,7 respectivement), mais des abondances oscillant pratiquement du simple au double (0,95 ± 0,48 et 1,70 ± 0,80 respectivement). Etant donné le nombre limité de stations accueillant des populations d'écrevisses (4 sur les 8 échantillonnées par piégeage), aucune analyse statistique n'a été entreprise, mais cela reste tout à fait possible. Ces résultats généraux montrent simplement l'intérêt du piégeage quant à la fourniture de ces deux descripteurs complémentaires des populations.

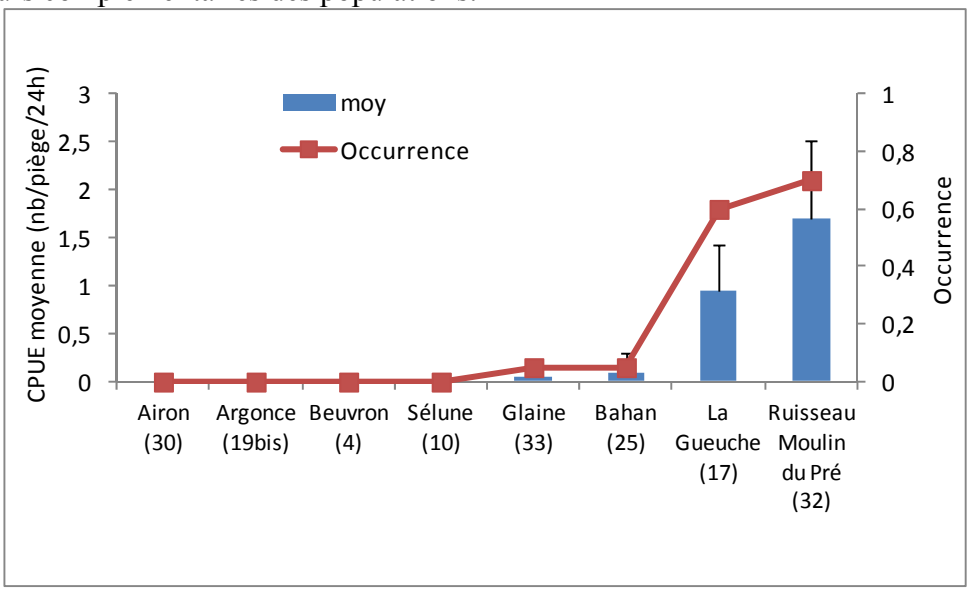


Figure 28. Abondance (CPUE) et occurrence en écrevisse du Pacifique sur les huit stations échantillonnées par piégeage en 2013 (voir la figure 1 en complément pour localiser les stations).

Contrairement à ces deux descripteurs, l'analyse des structures de taille des populations est possible à partir des pêches électriques. Là encore, l'objectif de ce qui suit est de présenter des potentialités d'analyse de données à partir des protocoles mis en œuvre, et non de conduire une étude comparative des différentes populations. Les profils de structure de taille des deux sites échantillonnés à la fois par pêche électrique (PTE, 2012) et par piégeage (2013) montrent des différences nettes selon les jeux de données (Figure 29). Outre ces différences pour lesquelles il est difficile d'en identifier les raisons (effet année, effet méthode, effet du prélèvement d'individus effectué en 2012 sur la structure de population de 2013 ou effets cumulatifs de ces différents facteurs), il est fort probable que la pêche électrique soit plus efficace dans la capture d'un grand nombre d'individus et fournisse ainsi une image plus robuste de la structure des populations.

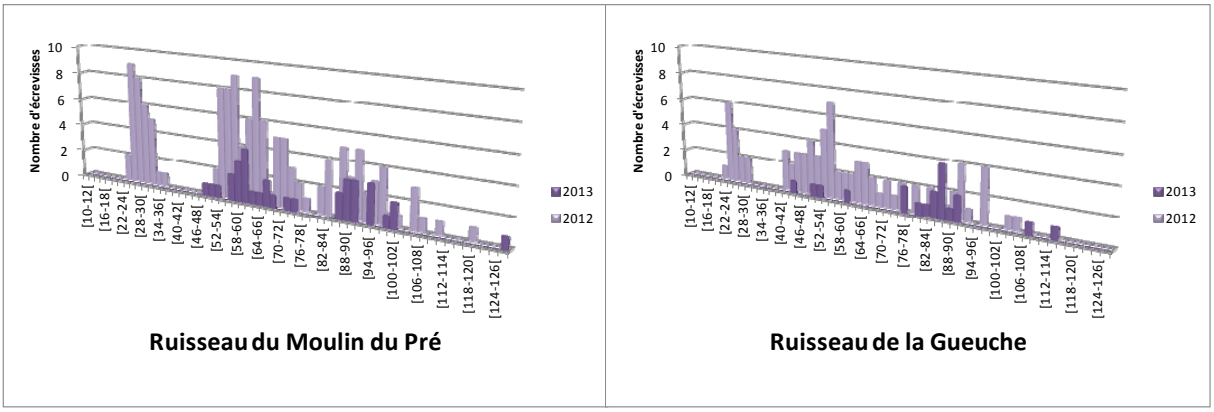


Figure 29. Profil de tailles des écrevisses du Pacifique des populations des ruisseaux du Moulin du Pré et de la Gueuche échantillonnées en 2012 (pêche électrique, PTE, n = 137 et 85 écrevisses respectivement) et en 2013 (piégeage, n = 34 et 19).

Une façon d'accroître les taux de captures par piégeage serait d'augmenter l'effort de piégeage, c'est-à-dire, soit répéter l'opération sur plusieurs jours, avec relèves quotidiennes, soit densifier le nombre de pièges par station sur une seule journée de piégeage. Il conviendrait aussi d'apprécier le biais d'une sélectivité des tailles d'individus capturés par ces pièges. Des travaux de cette nature ont été conduits en Brière sur l'écrevisse de Louisiane, où néanmoins le recours à la pêche électrique est rendu impossible en raison de la forte turbidité de l'eau. Ici, il est évident que les plus petites écrevisses (longueur totale inférieure à une taille de l'ordre de 50 mm) ne sont pas relevées dans les pièges. Cette gamme de tailles représente cependant une fraction non négligeable des capture d'écrevisse de Louisiane en Brière et ailleurs (Fonteneau & Paillisson 2013, Palier 2013, Parot & Taverne 2013). Etant donné que les prospections n'ont pas été réalisées au cours de la même année, il n'est pas impossible que la structure des populations soit réellement différente entre les deux années.

Enfin, sans rentrer dans des considérations précises d'évaluation des contraintes logistiques associées à chacune des techniques auxquelles nous avons fait référence ici, il est évident que les techniques répondent à des objectifs assez différents, qu'elles fournissent des données écrevisses là aussi très variables (présence/absence, occurrence, CPUE, structure de taille). Les sondages plus ponctuels réalisés à l'occasion des protocoles Vigitruite, voire des pêches « anguilles » ne sont pas satisfaisants dans l'optique d'acquisition de données de qualité sur les écrevisses. Les pêches PTE représentent une opportunité pour la collecte possible d'écrevisses en nombre. Enfin le piégeage, voire probablement la pratique d'EPA ciblant la capture d'écrevisses (moyennant des adaptations quant aux conditionnements des écrevisses sans compiler les captures des différents EPA) procurent des situations propices à la conduite de comparaisons entre populations. Les PTE mobilisent *a minima* 6 à 8 personnes dans le cadre du monitoring des populations piscicoles, et de l'ordre de 3 stations sont échantillonnées par jour. Le piégeage ne mobilise que 2 opérateurs de terrain et il est possible, moyennant un nombre suffisant de pièges, d'installer les pièges de 2 ou 3 sites et de relever ceux de 2 ou 3 sites par jour. Un temps supplémentaire de travail en laboratoire (mesure des écrevisses) est nécessaire consécutivement aux opérations de piégeage. Cette phase est réalisable sur site lors PTE, simultanément aux mesures de poissons. Il est impossible de combiner les données acquises lors de protocoles différents dans l'optique de comparer entre elles les populations d'écrevisses.

3) Des pistes d'études pour l'avenir

La carte de répartition des populations d'écrevisses, tout particulièrement de l'écrevisse du Pacifique, établie à ce jour, constitue une base très intéressante afin d'évaluer les conséquences directes du rétablissement de la continuité écologique programmée dans les années à venir. En effet, un monitoring régulier des stations, notamment celles situées en aval des barrages, et de leur possible colonisation à l'avenir, permettra de suivre pratiquement en direct le front de colonisation attendu. Très souvent, les données antérieures à des modifications importantes des habitats font défaut. Ce ne sera donc pas le cas dans le cadre du programme « Sélune ».

Il a été fait allusion à plusieurs reprises ci-dessus de l'intérêt d'une densification des stations qui pourrait être programmée. La définition de stations supplémentaires, directement en amont de ces ouvrages sur la Sélune, permettrait d'affiner les connaissances sur la répartition de l'écrevisse du Pacifique et aussi de caractériser ces foyers de dispersion d'écrevisses sur la Sélune (plus exactement les traits biologiques des disperseurs) d'un point de vue morphologique, génétique et plus globalement d'un point de vue populationnel (CPUE, structure de tailles). En parallèle à cette logique longitudinale (*i.e.* sur le cours de la Sélune), des stations supplémentaires pourraient être définies sur certains affluents afin de mieux évaluer le front de colonisation de l'écrevisse du Pacifique vers les têtes des sous bassins. La réflexion devrait porter sur le choix de ces affluents, pouvant se faire soit dans des situations relativement comparables ou bien, à l'opposé, dans des situations contrastées en matière de populations déjà existantes afin d'évaluer par exemple le rôle de l'abondance en écrevisses en tant que déterminants des processus d'invasion. Définir des stations supplémentaires permettrait également d'augmenter les chances de détection de nouvelles populations d'écrevisses à pattes blanches.

L'écrevisse du Pacifique est une espèce dont la longévité (de l'ordre de 10-12 ans) permet d'envisager des études de marquage, par exemple à l'aide de PIT-tag. La mutualisation avec des suivis portant sur d'autres espèces (salmonidés et anguilles) représenterait une réelle opportunité. Des études de radiopistage sur le court terme sont également envisageables afin d'apprécier l'amplitude des déplacements journaliers, certains traits et performances des individus les plus mobiles.

La phase dite de succès d'établissement des populations invasives d'écrevisses peut constituer un champ d'investigation important. L'étude des réponses populationnelles à un large panel de conditions environnementales est envisageable. La caractérisation environnementale des stations actuelles ainsi que la connaissance dorénavant de la localisation de populations d'écrevisse du Pacifique est une base intéressante à la définition d'un plan d'échantillonnage allant dans ce sens.

D'un point de vue fonctionnel et d'organisation des chaînes trophiques, il serait très intéressant d'apprécier les effets de l'arrivée de l'écrevisse du Pacifique sur les biocénoses en place. Là encore, cette démarche peut être développée sur les affluents de la Sélune avant l'arasement des barrages, mais également après le rétablissement de la continuité écologique, lorsque de nouvelles espèces seront co-occurrentes, notamment avec l'arrivée attendue de salmonidés. Des outils comme l'analyse des isotopes stables, ou plus récemment, le barcoding alimentaire permettraient d'apprécier ces questions.

L'aspect sanitaire, et plus spécifiquement, les risques de contamination des populations d'écrevisses à pattes blanches par l'aphanomycose (l'écrevisse du Pacifique étant

un agent de transfert de cette maladie) est un autre volet qui pourrait être exploré. Ces dernières années des travaux portant sur cette question se sont développées en France (Grandjean 2014) et des perspectives de recherche ont été définies. Contribuer à la dynamique autour de ce sujet, et plus généralement au développement d'une réflexion visant à isoler les populations des deux espèces constituerait un volet « appliqué » complémentaire à ceux listés ci-dessus.

5- Conclusions et perspectives

Entre 2012 et 2013, nous avons réalisé un premier état diagnostic du peuplement de poissons et écrevisses sur le bassin de la Sélune. Ces pêches ont notamment permis de confirmer l'effet blocage des deux grands barrages sur les espèces amphihalines qui sont absente de l'amont du bassin (anguille et lamproie marine). Nous avons également mis en évidence la forte colonisation de l'écrevisse américaine à l'amont du bassin.
Des améliorations doivent être envisagées pour permettre la réalisation d'un état diagnostic le plus complet possible. En premier lieu, le protocole de pêche utilisé pour les PTE doit être modifié. Il est, en effet, inadapté car demande trop de personnel et une logistique matérielle trop lourde. Un protocole de type EPA devrait donc être mis en place dès 2014.
En second lieu, le réseau de stations tel qu'il est définit actuellement nécessite quelques ajustements. Ainsi, certaines stations d'indices d'abondances doivent être déplacées : Trois pour la truite afin d'acquérir des données de recrutements des juvéniles dans cette zone du bassin et une pour les lamproies en raison d'un habitat inadéquat à la présence de ces espèces.
Enfin, nous allons doubler le nombre de stations de suivi des écrevisses afin d'acquérir plus de données sur cette espèces. De plus, il est prévu de faire quelques prospections afin de localiser d'autres populations d'écrevisses autochtones que celles déjà connues.

Au cours de ces deux années de suivi, nous avons effectué des prélèvements de nageoires sur les truites et les lamproies. Leurs analyses seront réalisées en 2014 afin d'avoir une première caractérisation génétique de ces populations

Enfin, il est prévu d'estimer la surface des zones de production en saumon sur l'ensemble du bassin versant de la Sélune. Les surfaces d'habitats seront également estimées pour la zone actuellement ennoyée. Cela permettra d'obtenir le potentiel de production en saumon de l'ensemble de la Sélune après l'arasement des barrages.

BIBLIOGRAPHIE

Bednarek, A.T., 2001. Undamming Rivers: A Review of the Ecological Impacts of Dam Removal. Environmental Management 27, 803–814.

Belcher, E.O., Matsuyama, B., Trimble, G.M., 2001. Object identification with acoustic lenses., MTS/IEEE oceans, volume 1, session 1., Honolulu, Hawaii.

Belcher, E.O., Hanot, W., Burch, J., 2002. Dual-frequency identification sonar., 2002 International Symposium on underwater technology, Tokyo, Japan.

Benda, L., Poff, N.L., Miller, D., Dunne, T., Reeves, G., Pess, G. & Pollock, M., 2004. The network dynamics hypothesis: How channel networks structure riverine habitats. BioScience 54, 413-427.

Burdick, S.M. & Hightower, J.E., 2006. Distribution of spawning activity by anadromous fishes in an Atlantic slope drainage after removal of a low-head stream. Transactions of the American Fisheries Society 135, 1290-1300.

Burroughs, B.A., Hayes, D.B., Klomp, K.D., Hansen, J.F.& Mistak, J., 2010. The effects of the Stronach Dam removal on fish in the Pine River, Manistee County, Michigan. Transactions of the American Fisheries Society 139, 1595-1613.

Bushaw-Newton, K.L., Hart, D.D., Pizzuto, J.E., Thomson, J.R., Egan, J., Ashely, J.T., Johnson, T.E., Horwitz, R.J., Keeley, M., Lawrence, J., Charles, D., Gatenby, C., Kreeger, D.A., Nightengale, T., Thoams, R.L. & Velinsky, D.J., 2002. An integrative approach towards understanding ecological responses to dam removal: the Manatawny Creek Study. Journal of the American Water Resources Association 38, 1581-1599.

Butchart Stuart, H. M., Walpole, M., Collen, B., *et al*, 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. Science. 238, 1164-1138.

Cattalano, M.J., Bozek, M.A. & Pellett, T.D., 2007. Effects of dam removal on fish assemblage structure and spatial distributions in the Baraboo River, Wisconsin. North American Journal of Fisheries Management 27, 519-530.

Collas M. 2014. La situation biologique et réglementaire des écrevisses en France. Actes du colloque « Premières Rencontres sur les écrevisses exotiques invasives », Saint-Lyphard, 19 & 20 juin 2013. Aestuaria (*sous presse*).

Collier, M., Webb, R.H., and Schmidt, J.C. 1996. Dams and rivers: primer on the downstream effects of dams. U.S. Geological Survey Circular 1126, Denver, CO 94 p. Consumers Power Company. 1994. Historical perspective: Stronach Dam, Pine River, Michigan. Consumers Power Company, Jackson, Michigan. February 1994.

Doyle, M.W., Stanley, E.H., Orr, C.H., Selle, A.R., Sehti, S.A. & Harbor, J.M., 2005. Stream ecosystem response to small dam removal: lessons from the heartland. Geomorphology 71, 227-244.

Feunteun, E., A. Acou, P. Laffaille & A. Legault. (2000). European eel (Anguilla anguilla): prediction of spawner scapement from continental population parameters. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57 : 1627-1635.

Fonteneau, F. & Paillisson, J.-M. 2013. Fonctionnalités de prairies inondables pour le Brochet *Esox lucius* à la Réserve Naturelle Régionale du lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique) et évaluation d'opérations de restauration de connectivité hydrologique. UMR Ecobio 6553 CNRS/Université de Rennes 1, Région Pays de la Loire, Fédération Départementale des Chasseurs de Loire-Atlantique, 70 p.

Foote, K.G., 2009. Acoustic Methods: Brief Review and Prospects for Advancing Fisheries Research, in: Beamish&Rothschild (Ed.), The Future of Fisheries Science in North America, pp. 313-342.

Forget, G., Martignac, F., Marchand, M., Daroux, A., Thieulle, L., Guillard, J., Baglinière, J.L.B. 2012. Mise au point des méthodes de caractérication de l'état du peuplement de poissons et espèces assimilées sur la Sélune. Rapport ONEMA.

Grandjean F. 2014. État des lieux de la recherche sur la peste de l'écrevisse en France et en Europe. Actes du colloque « Premières Rencontres sur les écrevisses exotiques invasives », Saint-Lyphard, 19 & 20 juin 2013. Aestuaria (*sous presse*).

Hansen, J.F. & Hayes, D.B., 2011. Long-term implications of dam removal for macroinvertebrate communities in Michigan and Wisconsin rivers, United States. River Research and Applications, DOI: 10.1002/rra.1540

Hart, D.H., Johnson, T.E., Bushaw-Newton, K.L., Horwitz, R.J., Bednarek, A.T., Charles, D.F., Kreeger, D.L. & Velinsky, D.J., 2002. Dam removal: challenges and opportunities for ecological research and river restoration. BioScience 52, 669-681.

Heino, J., R. Virkkala & Toivonen, H. (2009). Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. Biological Review 84, 39–54.

Hughes, J.B., 2012. Combining Count Data from Split-beam and Multiple DIDSON Sonar Techniques to Estimate Spawning Run Abundance of Anadromous Fishes in the Roanoke River, NC, Fisheries, Wildlife, and Conservation Biology. Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p. 127.

Junk, W.J., Bayley, P.B. & Sparks, R.E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In Dodge D.P. (ed.), Proceedings of the International Large River Symposium, 110-127.

Kanehl, P.D., Lyons, J. and Nelson, J.E. 1997. Changes in the Habitat and Fish Community of the Milwaukee River, Wisconsin, Following Removal of the Woolen Mills Dam. North American Journal of Fisheries Management 17:387-400.

Karr, J.R., 1991. Biological integrity : a long-neglected aspect of water resource management. Ecol. Appl. 1, 66-84.

Laffaille, P., Feunteun, E., Baisez, A., Robinet, T., Acou, A., Legault, A., Lek, S. 2003. Spatial organisation of European eel (Anguilla anguilla L.) in a small catchment. Ecology of Freshwater Fish, 12: 254-264.

Laffaille, P., Acou, A., Guillouêt, J. 2005. The yellow european eel (Anguilla anguilla L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. Ecology of freshwater fish, 14(2), 191-196.

Laffaille, P., Briand, C., Fatin, D., Lafage, D., Lasne, E., 2005. Point sampling the abundance of European eel (Anguilla anguilla) in freshwater areas. Archiv für Hydrobiologie, 162: 91-98.

Laffaille, P., Rigaud, C., 2008. Indicateurs de colonisation et de sédentarisation. In: L'anguille Européenne, indicateurs d'abondance et de colonisation. Adam G., Feunteun E., Prouzet P., Rigaud C. (eds.). QUAE, Paris : 275-330.

Langkau, M.C., Balk, H., Schmidt, M.B., Borcherding, J., 2012. Can acoustic shadows identify fish species? A novel application of imaging sonar data. Fisheries Management and Ecology.

Lasne, E, Sabatié, MR, Tremblay, J, Beaulaton, L & Roussel, JM. 2010. A new sampling technique for larval lamprey population assessment in small river catchments. *Fisheries Research* 101: 22-26.

Lasne E, Acou E, Vila-Gispert A, Laffaille P. 2008. European eel distribution and body condition in a river floodplain: effect of longitudinal and lateral connectivity. *Ecology of Freshwater Fish* 17: 30-37

Ligon, F. K., Dietrich,W.E., and Trush, W. J. 1995. Downstream ecological effects of dams. Bioscience 45(3):183–192.

Malanson G.P. (1993) Riparian Landscapes. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Martignac, F., Daroux,A., Baglinière, J.L., Ombredane, D., Guillard, J., 2013. The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. Fish and Fisheries (accepted).

Martinez, P.J., Chart, T.E., Trammell, M.A., Wullschleger, J.G, and Bergersen,E.P. 1994. Fish species composition before and after construction of a main stem reservoir on the White River, Colorado. Environmental Biology of Fishes 40: 227-239.

Maxwell, S.L., 2007. Hydroacoustics: Rivers. Protocols, 133-152.

Maxwell, S.L., Gove, N.E., 2004. The feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar (DIDSON). Alaska department of Fish and Game, p. 88.

McCormick, S. D., Lerner, D. T., Monette, M.Y, Nieves-Puigdoll, K., Kelly, J.T. & Björnsson, B.T., 2009. Taking It with You When You Go: How Perturbations to the Freshwater Environment, Including Temperature, Dams, and contaminants, affect Marine Survival of Salmon. American Fisheries Society Symposium 69, 195–214

Mueller, A.M., D.L., B., Boswell, K.M., Mulligan, T., 2010. Tail-Beat Patterns in Dual-Frequency Identification Sonar Echograms and their Potential Use for Species Identification and Bioenergetics Studies. Transactions of the American Fisheries Society 139, 900-910.

Paillisson J.M., Roussel J.M., Tréguier A., Surzur G. & Damien J.P. 2012. Préservation de la biodiversité face aux invasions de l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*), rapport de synthèse, accord cadre ONEMA/INRA, 32 p.

Paillisson J.-M., Soudieux A., Damien J.-P. 2011. Capture efficiency and size selectivity of sampling gears targeting red-swamp crayfish among multiple freshwater habitats. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 401.

Palier S. 2013. Suivi de l'évolution de la biodiversité en lien avec la gestion de l'eau dans le Marais poitevin. Suivi des écrevisses de Louisiane *Procambarus clarkii.* Cap Pêche & Nature, 12 p.

Parot I., Taverne J. 2013. L'Écrevisse de Louisiane, *Procambarus clarkii*, sur le Canal de Berry en Loir-et-Cher. Proposition d'une méthodologie pour un état initial. Fédération de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique du Loir-et-Cher, 44 p.

Petts, G.E. 1980. Long-term consequences of upstream impoundment. Environmental Conservation 7(4):325-332.

Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegaard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., and Stromberg, J.C. 1997. The natural flow regime. Bioscience 47(11):769 –784.

Poff, N.L. & Hart, D.D., 2002. How dams vary and wy it matters for the emerging science of dam removal. BioScience 52, 659-667.

Pollard, A. & Reed, T., 2004. Benthic invertebrate assemblages change following dam removal ina Wisconsin stream. Hydrobiologia 513, 51-58.

Rose, K.A., 2000. Why are quantitative relationships between environmental quality and fish populations so elusive? Ecol. Appl. 10, 367-385.

Quinn, J.W. and Kwak, T.J. 2003. Fish assemblage changes in an Ozark river after impoundment: a long-term perspective. Transactions of the American Fisheries Society 132:110-119.

Scheurer K., Alewell C., Bänninger D. & Burkhardt-Holm P.,2009. Climate and land-use changes affecting river sediment and brown trout in alpine countries-a review. Environmental Science Pollution Research 16, 232–242.

Sethi, S.A., Selle, A.R., Doyle, M.W., Stanley, E.H. & Kitchel, H.E., 2004. Response of unionid mussels to dam removal in Koshkonong Creek, Wisconsin (USA). Hydrobiologia 525, 157-165.

Staggs, M., Lyons, J., and Visser, K. 1995. Habitat Restoration Following Dam Removal on the Milwaukee River at West Bend. Pages 202-203 in *Wisconsin's Biodiversity as a Management Issue: A Report to Department of Natural Resources Managers*. Wisconsin Department of Natural Resources.

Stanley, E.H., Luebke, M.A., Doyle, M.W. & Marshall, D.W., 2002. Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal. Journal of the North American Benthological Society 21, 172-187.

Stanford, J. A., Ward, J.V.,. Liss, W.J. Frissell,C.A, N.Williams, R.,.Lichatowich J.A, and Coutant, C.C. 1996. Ageneral protocol for restoration of regulated rivers. RegulatedRivers: Research and Management 12:391–413.

Stanford, J.A. & Ward, J.V., 2001. Revisiting the serial discontinuity concept. Regulated Rivers – Research and Management 17, 303-310.

Thomson, J.R., Hart, D.D., Charles, D.F., Nightengale, T.L. & Winter, D.M., 2005. Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. Journal of the North American Benthological Society 24, 192-207.

Thorp, J.H. & Delong, M.D., 1994. The riverine productivity model: an heuristic view of carbon sources and organic processing in large river ecosystems. Oikos 70, 305-308.

Trenkel, V.M., Ressler, P.H., Jech, M., Giannoulaki, M., Taylor, C., 2011. Underwater acoustics for ecosystem-based management: state of the science and proposals for ecosystem indicators. Marine Ecology Progress Series 442, 285-301.

Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E., 1980. The River Continuum Concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 130-137.

Waine, M.W., 2010. Assessing Spawning Runs of Anadromous Fishes Using a Bayesian Analysis of Split-beam and DIDSON Count Data, Fisheries, Wildlife, and Conservation Biology. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p. 83.

Ward, J.V. and Stanford, J.A. 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In Fontaine T.D. & Bartell S.M. (eds), Dynamics of lotic ecosystems. Ann Arbor Science Publ., Ann Arbor, MI, 29-42.

Ward, J.V., and Stanford, J.A. 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation.Regulated Rivers: Research and Management 11:105–119.

Ward, J.V. (1998) Riverine landscapes, biodiversity patterns,disturbance regimes, and aquatic conservation.Biology and Conservation, 83, 269–278.

Onema
Hall C – Le Nadar
5 square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

INRA
147 rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07

01 42 75 90 00
www.inra.fr

Mise au point des caractérisations de l'état du peuplement de poisson sur la Sélune, Forget G. Martignac F. Marchand F., Daroux A., Thieulle L., Beaulaton L., Guillard J., Paillisson J.M., Acou A., Feunteun E., Baglinière J.L.