



Rapport de recherche



consacre

CONTinuité écologique de la Seine
et intérêt des ACTeurs pour sa REStauratIon

Nouvelles connaissances sur les flux migratoires piscicoles dans l'axe fluvial Seine, fragmenté par les ouvrages de navigation

Céline Le Pichon, Armand Michelot et al.

Le projet CONSACRE s'inscrit dans le CPIER Vallée de Seine et est soutenu financièrement par l'AESN et les régions Ile de France et Normandie.



Coordination : Céline Le Pichon



GIP Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC



2022

SCIENTIFIQUES PARTICIPANTS AU RAPPORT

INRAE, HYCAR, Antony

- Céline Le Pichon
- Armand Michelot (actuellement **INRAE, DECOD, Rennes**)
- Mathieu Girondin
- Evelyne Talès

INRAE, EABX, Cestas

- Frédérique Bau
- Eric Rochard

Seine Normandie Migrateur

- Sébastien Grall

Le projet CONSACRE s'inscrit dans le CPIER Vallée de Seine et est soutenu financièrement par l'AESN et les régions Normandie et Ile de France

Le projet PHRESQUES est labellisé Zone Atelier Seine



Table des matières

Table des matières.....	3
1 Introduction.....	4
2 Connaissances sur le passage des espèces en migration aux stations de contrôle (STACOMI) de Poses.....	5
3 Projet de cage piège pour la passe à poissons d'Amfreville RD.....	9
4 Suivi des espèces par télémétrie acoustique	10
4.1 Capture et marquage des espèces	10
4.2 Balisage/calibration et récupération des données de détections	18
4.3 Analyse des mouvements individuels	22
5 Conclusions.....	40
6 Des pistes pour améliorer la fonctionnalité des parcours migratoires des espèces et favoriser la reproduction.....	41
7 Bibliographie.....	42

1 Introduction

Compte tenu des observations récentes de recolonisation par plusieurs espèces amphihalines, le bassin de la Seine devient désormais un véritable enjeu, notamment pour l’anguille et l’alose, nécessitant des études et/ou suivis complémentaires pour connaître la dynamique temporelle des migrations et les fronts de colonisation par ces espèces. Cet axe de travail vise à estimer l’efficacité pour les poissons de la connectivité actuelle d’une partie de la Seine fluviale, qui de Poses à Suresnes compte sept barrages de navigation sur un linéaire de 185 km. Bien que progressivement équipés de dispositifs de franchissement piscicole, ils n’ont fait l’objet d’aucun suivi d’efficacité et seules deux stations de vidéo-comptage des migrations (STACOMI) fournissent actuellement des données quantitatives de passage des poissons à Poses. A ces connaissances s’ajoutent celles fournies par la StacomI de Carandeu sur l’Aisne, à 450 km de la mer, après 11 barrages de navigation.

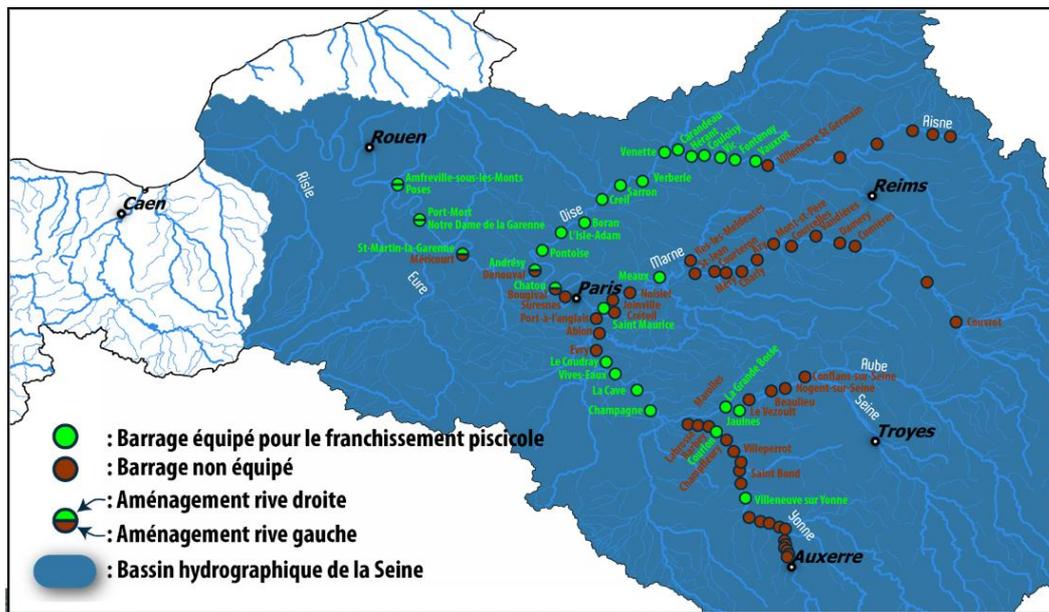


Figure 1 : Degré d’équipement des barrages de navigation pour le franchissement piscicole sur les grands axes fluviaux navigués du bassin de la Seine (Seinormigr 2022).

Parmi les méthodes existantes pour suivre l’efficacité de restauration de la continuité écologique, la surveillance à distance par bio-télémetrie s’avère précieuse pour évaluer les comportements, l’énergétique et la physiologie des animaux vivant en liberté dans leur environnement naturel (Cooke et al. 2008). La bio-télémetrie est une technologie qui consiste à fixer sur un animal un dispositif électronique qui va envoyer des données en fonction du temps à des récepteurs.

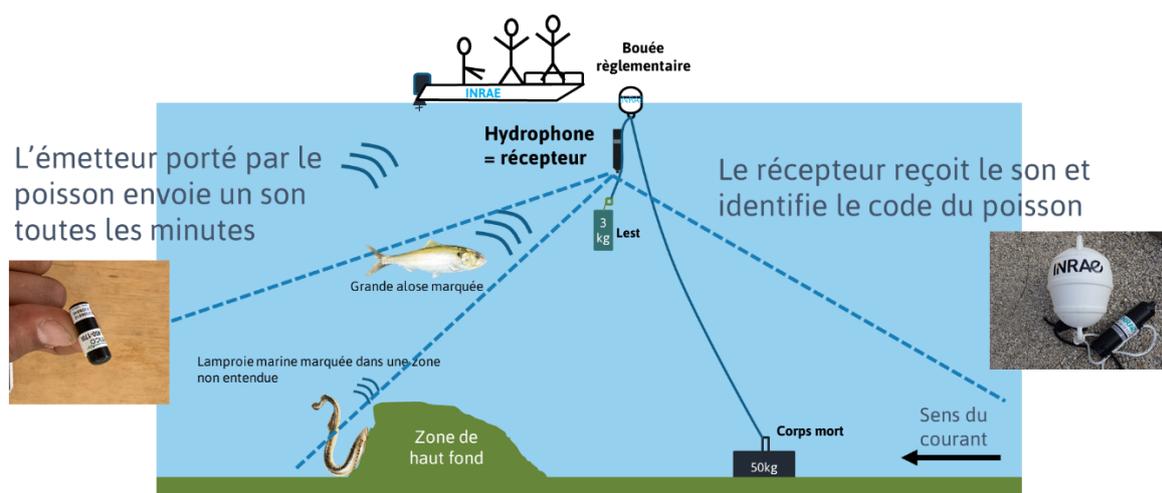


Figure 2 : Schéma de principe de la télémétrie acoustique.

L'expérimentation prévue vise à capturer les espèces ciblées au premier ouvrage bloquant venant de la mer, puis à quantifier l'étendue de leurs déplacements et leur progression sur l'axe Seine et ses affluents jusqu'aux frayères potentiellement accessibles. Ces trajectoires spatio-temporelles sont obtenues en utilisant les données de détection des individus par télémétrie acoustique. Elles permettront d'estimer la connectivité octroyée par les dispositifs de franchissement existants et l'impact cumulé des obstacles physiques sur l'accessibilité aux habitats fonctionnels.

2 Connaissances sur le passage des espèces en migration aux stations de contrôle (STACOMI) de Poses

Le barrage de Poses, situé à près de 160 km de la mer, constitue pour les espèces migratrices la limite transversale à la mer, entre les communes de Poses et d'Amfreville-sous-les-monts dans le département de l'Eure. A l'aval de cette barrière physique, les grands migrateurs s'engageant dans l'estuaire disposent de quelques affluents estuariens de la Seine où ils peuvent, en partie, se reproduire : la Risle, l'Austreberthe, l'Eure et l'Andelle. Il comporte une usine hydroélectrique en rive gauche et des écluses de navigation en rive droite. Il est le premier d'une longue série d'ouvrages de navigation répartis sur les grands axes du bassin de la Seine (Seine, Oise, Aisne, Marne, Yonne). A ce jour, deux stations de contrôle des migrations existent sur l'ouvrage : en rive gauche depuis 1991 et en rive droite depuis octobre 2017. L'association migrateurs SEINORMIGR exploite les données de vidéo-comptage et le piégeage des anguilles en montaison. L'attractivité et la fonctionnalité du dispositif de franchissement en rive droite semblent satisfaisantes pour réaliser des captures d'individus de différentes espèces compte tenu des mouvements migratoires enregistrés depuis 2018.

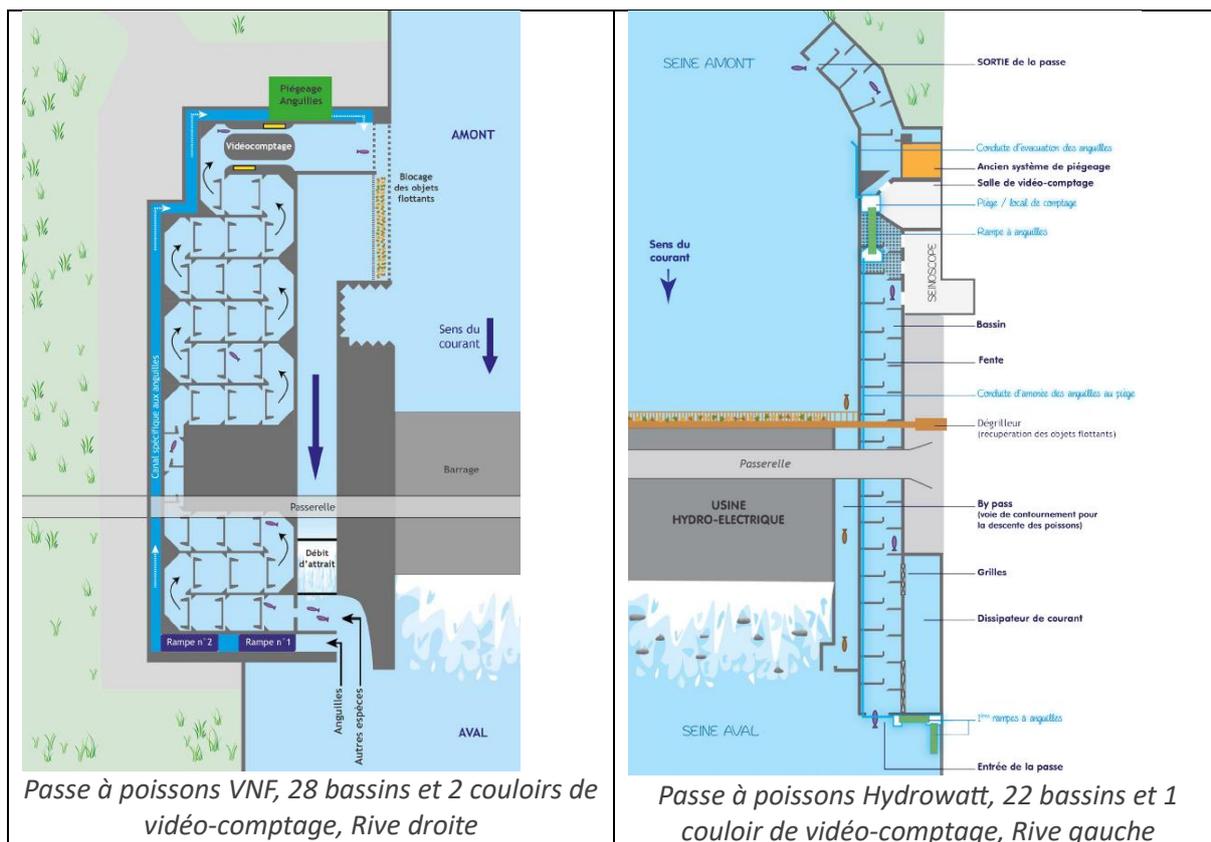


Figure 3 : Schéma des passes à poissons équipées de vidéo-comptage à Poses et Amfreville-sous-les-Monts

Les espèces migratrices amphihalines observées au barrage de Poses sont au nombre de 6 (Saumon atlantique, Truite de mer, Grande Alose, Lamproie marine, Lamproie fluviatile et Anguille européenne) ; à noter aussi la présence régulière du Mulet porc. D'autres espèces empruntent les passes à poissons du barrage de Poses pour rejoindre la Seine fluviale, notamment en 2021 la brème commune (15% des effectifs), l'Idé mélanote (2%), le silure glane (0.4%) et le barbeau fluviatile (0.2%).

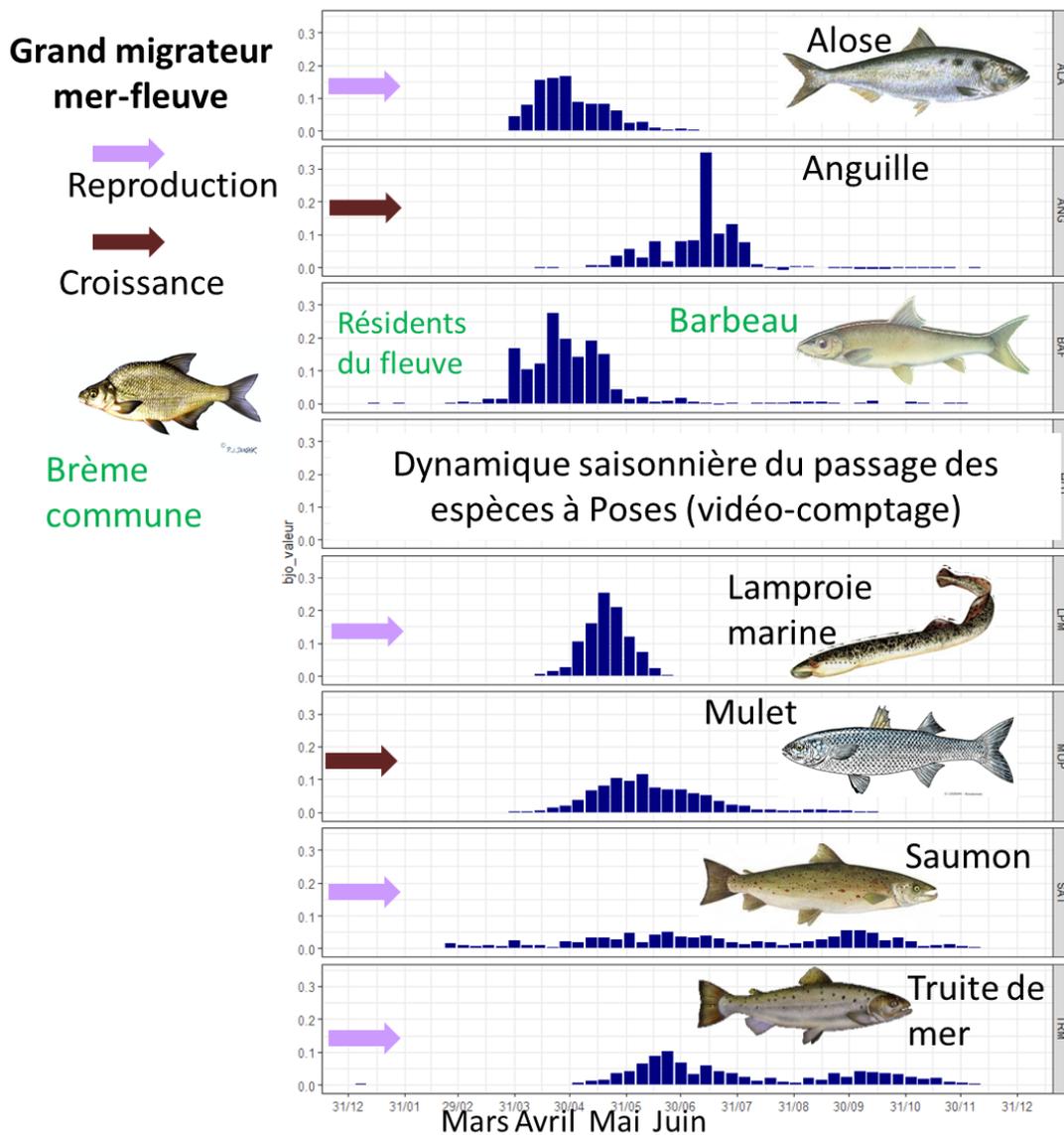


Figure 4 : Dynamique temporelle de passage des espèces à la station de vidéo-comptage

Les premiers individus se sont présentés le 01 avril 2021 et la vague de migration s'est étalée jusqu'au mois de juillet (Figure 5). L'essentiel du contingent de 896 individus a franchi l'ouvrage en avril et mai. Comprise entre 222 et 780 mm, la taille moyenne de la population atteint 544 mm. La migration des aloses est très majoritairement diurne avec une activité plus intense l'après-midi (Figure 5).

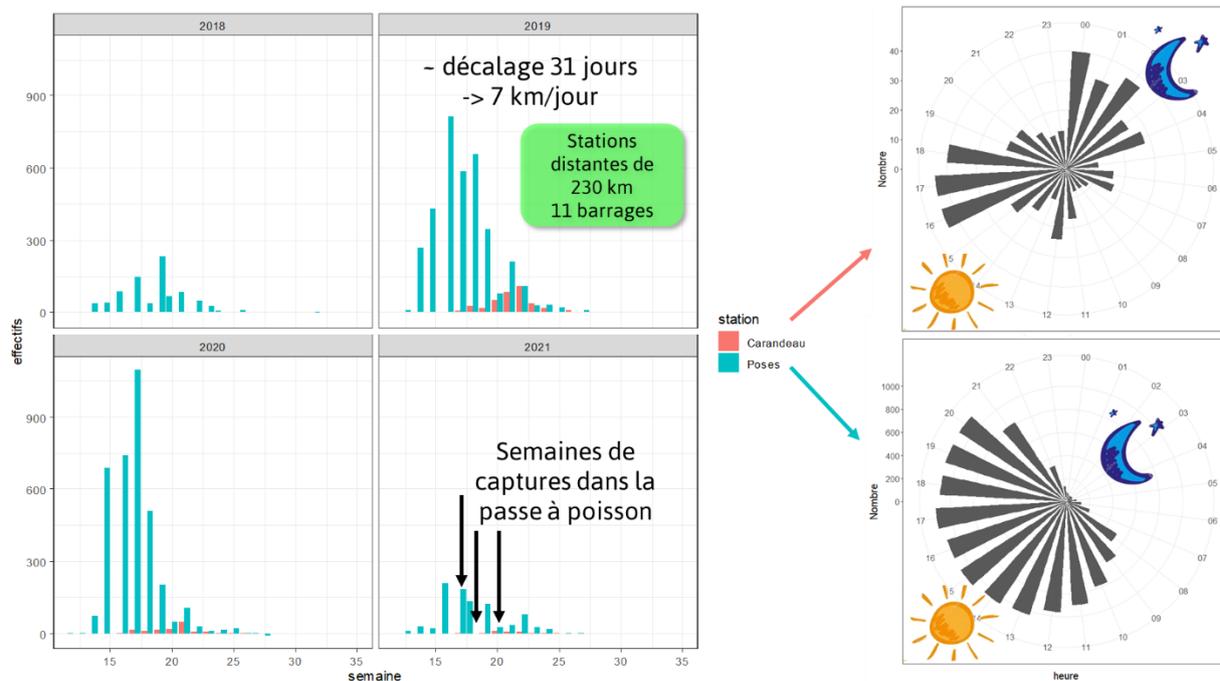


Figure 5 : Dynamique des passages d'aloise au vidéo-comptage de Poses rive droite (2018-2021) et Carandeau (2019-2021) et bilan des heures de passage.

Sur les 10 dernières années, la lamproie marine, l'aloise (Figure 6) et l'anguille représentent les espèces migratrices les plus abondantes dans les passages comptabilisés à Poses. Alors que les effectifs d'aloses fluctuaient jusqu'à quelques centaines d'individus par an, l'ouverture d'une seconde passe à poisson en rive droite a montré jusqu'à quelques milliers d'individus en 2020 et 2021 (Figure 6). Les effectifs de lamproies marine sont quant à eux en nette baisse depuis 2016. Le nombre de salmonidés (saumon atlantique et truite de mer) varie selon les années de quelques dizaines à quelques centaines d'individus, témoignant de populations au statut précaire (Figure 6).

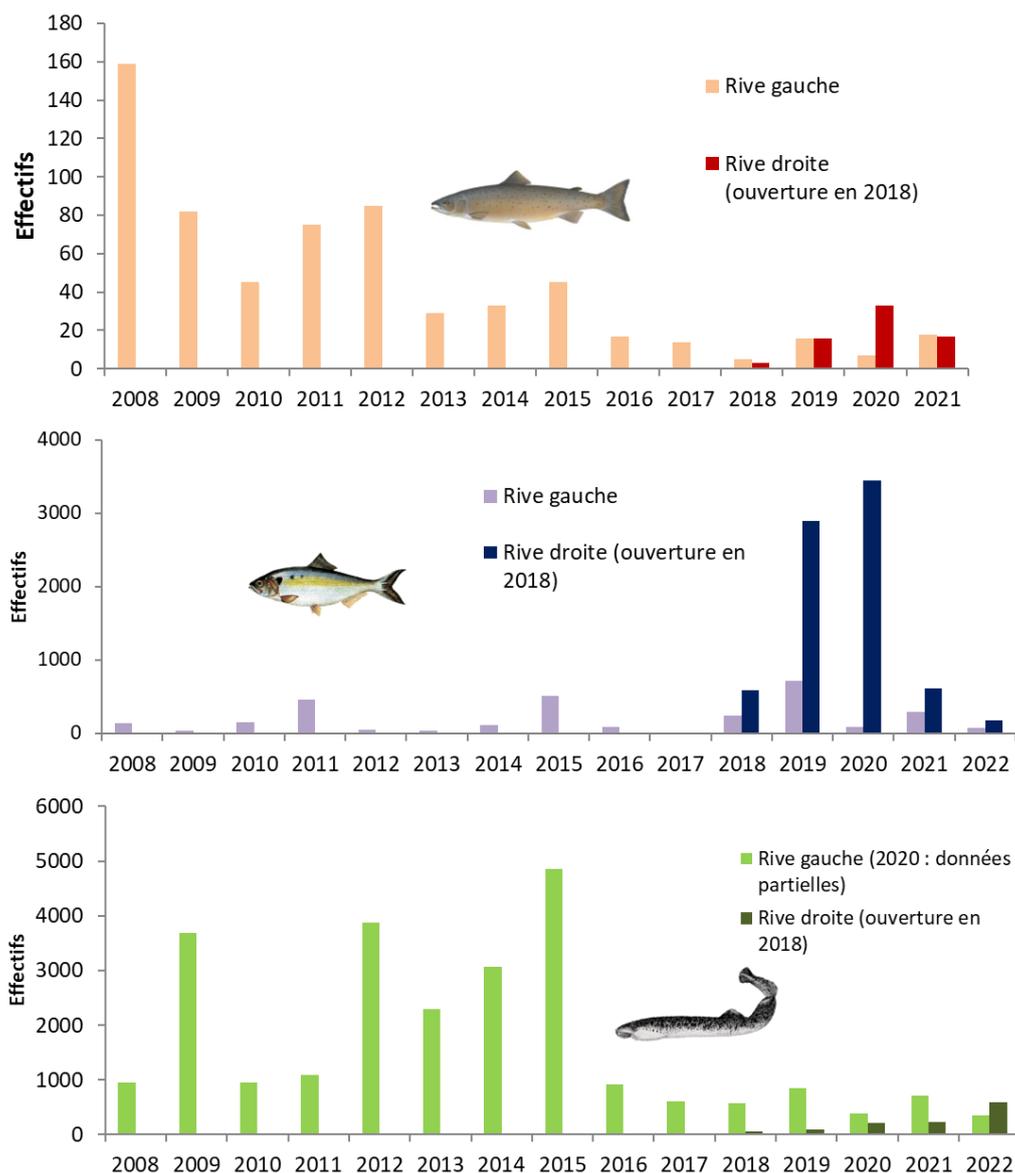


Figure 6: Evolution interannuelle des effectifs de saumon, d'aloses et de lamproie marine dénombrées aux deux stations de vidéo-comptage du barrage de Poses (Seinormigr, 2022).

3 Projet de cage piège pour la passe à poissons d'Amfreville RD

Le dispositif de piégeage sur le premier obstacle à la continuité écologique piscicole venant de la mer n'a pas été prévu lors de la conception de la passe à poissons d'Amfreville-sous-les-Monts (une cage piège non fonctionnelle existe sur la passe en rive gauche). Ce fait constitue une contrainte forte dans le design et la conception d'un piège efficace dans la mesure où celui-ci va devoir être adapté au génie civil existant et aux conditions hydrauliques rencontrées au sein de l'ouvrage. Le piège doit être conçu pour fournir le matériel biologique requis dans le cadre d'opérations de suivis scientifiques en garantissant le meilleur traitement possible des poissons, de leur entrée dans la nasse de piégeage jusqu'à leur relâcher post-marquage dans la Seine. La conception doit s'attacher à intégrer autant que possible la sensibilité des espèces (notamment les salmonidés et les aloses) en travaillant à la fois sur le volume de piégeage et le design de la cage.

C'est le bureau d'études SCIMABIO qui a été sollicité par SEINORMIGR, dans le cadre de la réalisation de l'expérimentation de suivi des mouvements par télémétrie acoustique de Consacre, pour étudier la faisabilité d'une conception et installation d'un système de piégeage pérenne sur la passe à poissons d'Amfreville-sous-les-Monts. Le piège serait localisé dans la passe à poissons rive droite, en aval immédiat du local de vidéo-comptage, dans le bassin situé en amont des premières fentes de l'ouvrage. L'idéal aurait été de positionner le piège en amont du local de comptage mais les dimensions du bassin amont, de même que la présence du portique servant au nettoyage de grilles amont de la passe à poissons rendent impossible cette hypothèse. La localisation proposée offre à proximité immédiate une large plateforme de travail permettant la mise en place des bassins de réception/tri/anesthésie des poissons et la table de biométrie/marquage, ce dans des conditions optimales de sécurité du personnel intervenant. Le piège sera distant d'environ 45 mètres du plan d'eau amont où seront relâchés les poissons.

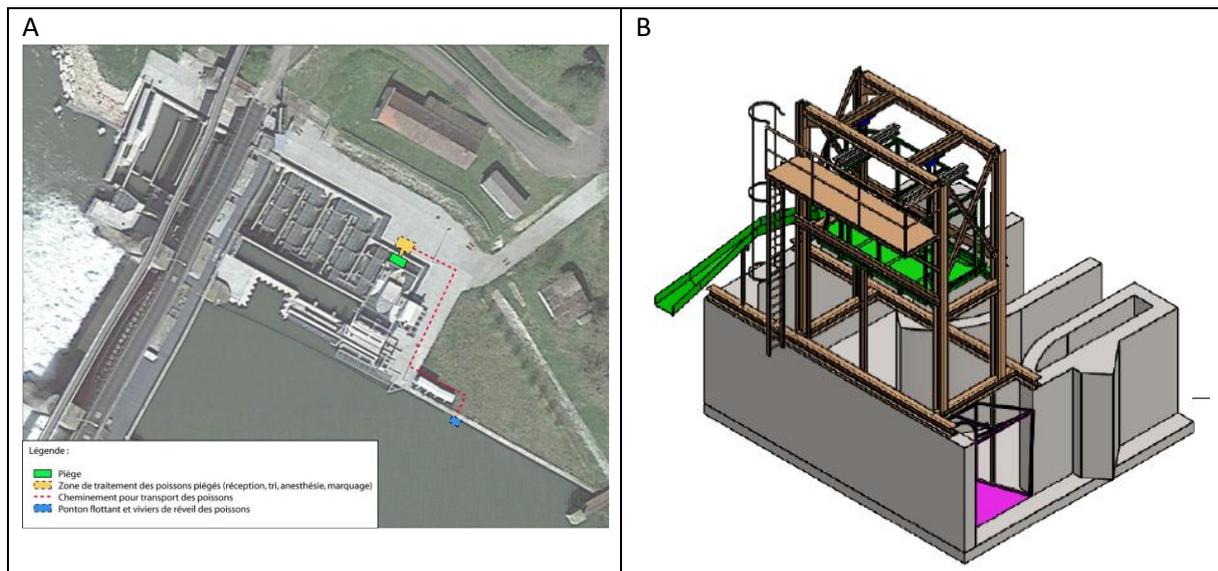


Figure 7: A : Localisation du piège et zones de travail associées à la passe à poissons de Poses rive droite. B : Faisabilité système de piégeage passe à poissons de Poses (Seine). Propositions SCIMABIO Interface/Studera. 03/05/2019

Le système de piégeage imaginé intègre une structure porteuse métallique servant au guidage de la cage, à l'accueil du système de levage et d'appui pour les échelles et passerelles d'accès aux différents éléments mécaniques du système. Le design de la cage doit permettre une stabulation des poissons dans les meilleures conditions, y compris pour des espèces sensibles comme les aloses. La tête de la cage a ainsi été dessinée de forme arrondie afin de créer des bonnes conditions de circulation des poissons au sein de la cage. Le fond de la cage sera plein afin de conserver une lame d'eau dans cette dernière durant la durée de la remontée du piège.

4 Suivi des espèces par télémétrie acoustique

4.1 Capture et marquage des espèces

Comme indiqué précédemment, la méthode de capture initialement choisie pour le projet devait être un système pérenne de cage-piège construit dans la passe à poissons de Poses-Amfreville RD au niveau du bassin de sortie vers l'amont. Cette technique aurait permis une bonne praticité de capture sans modifier les comportements des individus en montaison, et des contrôles auraient pu être effectués à

la STACOMI juste en aval pour prévenir de l'arrivée des individus à l'entrée du piège. Mais suite aux problèmes d'évaluation budgétaire de la fabrication et de la mise en place de la cage-piège et au contentieux existant entre VNF et l'entreprise qui a réalisé la passe à poissons, ce mode de capture n'a pas pu voir le jour.

Les poissons ont donc été capturés par d'autres méthodes (Figure 8), opérées par des pêcheurs professionnels (2020) et Seinormigr (2021) :

- ✓ Cage-filet installée dans la passe au niveau du bassin de sortie en amont de la STACOMI : ce système utilisé pour piéger la plupart des espèces-cibles a permis de ne viser que les poissons en montaison et de capturer les individus sans avoir de trop fort impact sur leur comportement. Mais bien que ses caractéristiques (e.g. forme, dimensions du filet, largeur des mailles) aient été optimisées pour maximiser la capturabilité tout en limitant les traumatismes physiques et les biais comportementaux, ce type de piégeage a présenté quelques inconvénients majeurs. D'abord en termes d'efficacité puisque beaucoup d'individus ont eu tendance à éviter d'y entrer (réticence à s'engager) et surtout en termes d'opérabilité. La STACOMI (par visualisation des arrivées en temps réel ou différé) devait aider à ajuster la fréquence de relevé du piège suivant l'abondance des remontées afin de limiter les temps d'attente et la densité de poissons dans le piège. Or cet ajustement fin et rapide a été rendu difficile puisque l'installation de la cage-filet dans le bassin comme son enlèvement (piège actif vs inactif) ont nécessité une vidange de la passe pour pouvoir opérer. Ainsi lors de trop grand nombre d'individus en montaison (e.g. banc d'aloses), il a fallu rendre le piège inactif pour limiter le stress et la mortalité des poissons.
- ✓ Vidange douce de la passe : bien qu'efficace, elle n'a été qu'occasionnellement appliquée comme méthode de piégeage puisqu'elle comportait le risque de modifier le comportement des poissons en migration, notamment avec l'arrêt du débit d'attrait en entrée de passe. Les vidanges de passe opérées par Seinormigr pour les besoins d'installation ou de relevé de la cage-filet ont néanmoins permis, par abaissement progressif des niveaux d'eau dans les bassins, de prélever sans dommage quelques individus (alose, lamproie, barbeau) pour les marquages. Un rythme lent de vidange de la passe s'est avéré être la condition sine qua non pour un piégeage efficace et le moins intrusif sur le comportement, certains individus risquant de se blesser lors d'une baisse trop rapide des niveaux d'eau.
- ✓ Verveux : opérés par les pêcheurs professionnels, ces filets en forme de nasse ont été posés dans la Seine, dans les annexes hydrauliques du bief à l'amont du barrage de Poses, pour capturer principalement des anguilles au stade jaune.
- ✓ Sennes de plage : ces grands filets posés par les pêcheurs professionnels à faible profondeur dans la Seine à l'aval immédiat du barrage de Poses en rive gauche ont permis principalement de capturer barbeaux fluviatiles et mulets porcs qui n'étaient pas en comportement de migration.



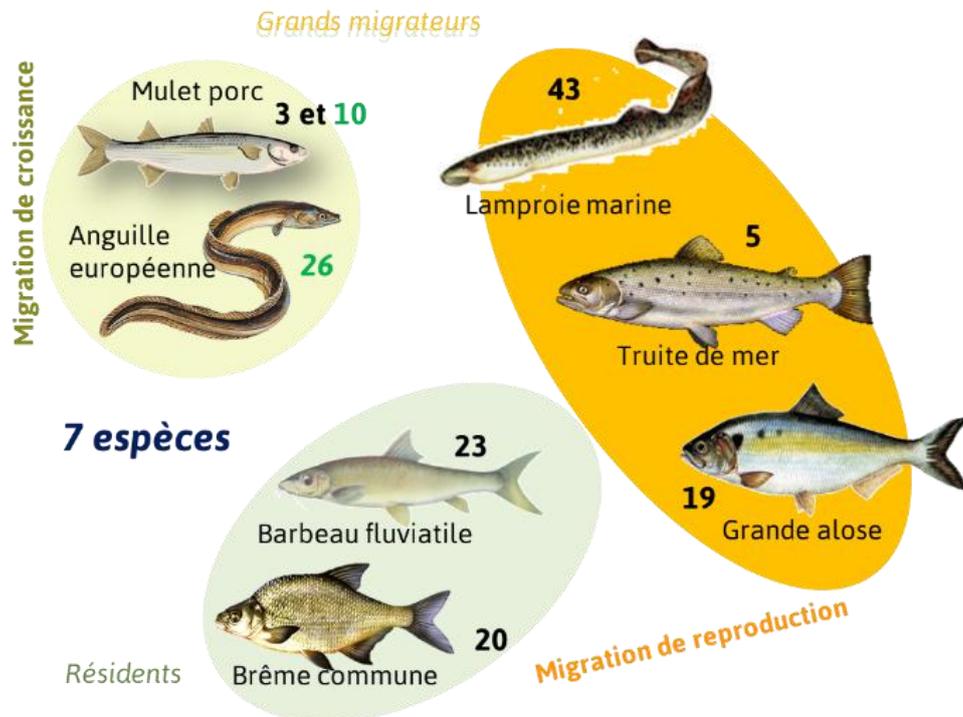
Figure 8 : Méthodes de capture utilisées (A) Cage-filet dans passe, (B) Vidange de passe, (C) Verveux, (D) Senne de plage

Une demande d'autorisation de projet (DAP) détaillant le protocole de capture et de marquage a été soumise et validée par les services compétents du MESRI après évaluation favorable par le comité d'éthique en expérimentation animale CEEA n°73 Poissons-Oiseaux de Nouvelle Aquitaine (APAFIS#23377-2019121916268879 v2). Pour poursuivre l'expérimentation en 2021 afin de compléter les effectifs suivis en 2020 (77 poissons parmi 6 espèces), un avenant au projet a été porté au CEEA 73 et validé par le Ministère (APAFIS#23377-2021011509593471 v1).

Faisant suite au projet Thalassotok sur la partie estuarienne dulçaquicole (Le Pichon et al. 2015, 2017), les espèces ont été choisies selon leur intérêt (espèce protégée, emblématique ou représentant une guilda fonctionnelle) et en tenant compte des potentialités de reconquête du bassin-versant préalablement identifiées (Rochard et al. 2009). Il s'agit de migrateurs amphihalins : grande alose (*Alosa alosa*), anguille européenne (*Anguilla anguilla*), lamproie marine (*Petromyzon marinus*), salmonidés (saumon atlantique *Salmo salar*, truite de mer *Salmo trutta trutta*), mulot porc (*Chelon ramada*) et d'holobiotiques dulcicoles : barbeau fluviatile (*Barbus barbus*), brème commune (*Abramis brama*) reconnus du bassin de la Seine, listés dans le PLAGEPOMI (2016-2021) et/ou les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE), trames bleues d'Île de France et Normandie.

Pour chaque espèce ou groupe d'espèces, l'objectif en 2020 était le marquage de 20 individus. En fonction des remontées saisonnières (données/jour STACOMI), il était prévu plusieurs campagnes hebdomadaires de piégeages quotidiens entre avril et juillet pour cibler au mieux les espèces visées sans trop affecter les autres espèces. Cependant à cause des problèmes sanitaires, les campagnes de piégeage et les sessions de marquage n'ont été lancées que tardivement (juin), ce qui n'a pas permis de prélever en 2020 toutes les espèces initialement ciblées (cas de l'alose notamment) ou d'atteindre tous les effectifs envisagés (cas de la lamproie marine ou du barbeau fluviatile). Au demeurant les

remontées annuelles de truites de mer et de saumons s'étant avérées particulièrement faibles en 2020, ces espèces n'ont plus été ciblées l'année suivante. Ainsi au vu des émetteurs restants, d'autres campagnes de piégeage ont vu le jour en 2021, avec comme objectif de marquage : 40 grandes aloses, 20 lamproies marines et 15 barbeaux fluviatiles de grande taille. Au total, ce sont donc 148 poissons issus de 7 espèces qui ont été marqués et suivis par télémétrie acoustique dans la Seine (Figure 9).



Individus capturés dans la passe et hors passe

Figure 9 : Effectifs des espèces marquées en 2020 et 2021

La procédure de marquage, qui comprend plusieurs étapes détaillées ci-dessous, a fait l'objet d'une communication utilisant la médiation scientifique par sketchnoting, dessinée par Véronique Marracci (Figure 10). Elle a permis de communiquer plus facilement autour d'une expérimentation animale complexe, en particulier auprès du jeune public à l'occasion du salon de l'agriculture 2022.

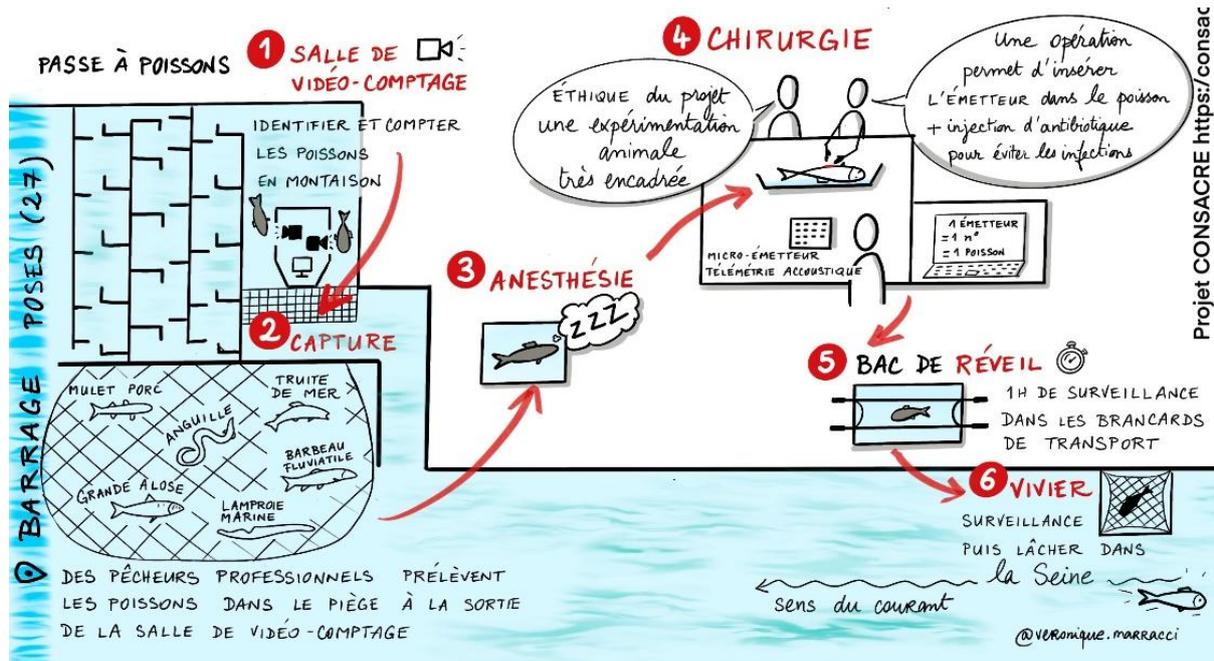


Figure 10 : La procédure de marquage des poissons illustrée par sketchnoting (Véronique Marracci).

✓ Stabulation :

Quelle que soit l'année, les poissons piégés ont été rapidement triés et ceux non retenus pour le marquage, immédiatement libérés. Concernant les poissons sélectionnés, ceux provenant des annexes hydrauliques amont (*i.e. anguilles jaunes essentiellement*) ou ceux capturés par senne à l'aval du barrage (*i.e. mulets porcs essentiellement*) ont été transportés par bateau en bac (80-100L ; eau aérée par bulleur) et hébergés à leur arrivée moins d'1h après dans un bac couvert (300L) en circuit ouvert et avec abris artificiels selon l'espèce. Ceux piégés dans la passe avec la cage-filet ou lors de vidanges douces ont été directement répartis dans des bacs couverts de grande capacité (0.9-1.6m³ ; charge maximum de 50 kg/m³ préconisée pour les espèces fragiles ; FAO 2003) en circuit ouvert, avec alimentation constante en eau de rivière fraîche (17 à 22°C maximum selon saison et année) et bien oxygénée. Tous ont été gardés le moins longtemps possible en stabulation (2-3h ; maximum 6h pour les anguilles capturées de nuit) et ont été régulièrement observés (et la physico-chimie contrôlée) dans l'attente du marquage. Peu voire aucune stabulation n'a été pratiquée pour l'alose ; l'espèce étant particulièrement fragile, les individus ont été marqués en flux tendu au fur et à mesure de leur capture.

✓ Anesthésie, biométrie et prélèvements :

Les poissons ont été anesthésiés par baignade avec une solution d'eugénol à 10% aérée en continu. Le bac d'anesthésie était préparé juste avant la capture de l'individu, avec une dose de solution d'eugénol à 10% variable selon l'espèce et la température de l'eau (Tableau 2) diluée dans un bain de 30L d'eau de rivière. Après introduction du poisson, le bac équipé d'un bulleur était systématiquement recouvert par un couvercle pour éviter les sorties et limiter le stress de l'individu. L'anesthésie étant un élément-clé du marquage, les individus étaient très surveillés pendant cette phase (posture et ventilation) (Figure 11). Une fois complètement anesthésié, l'animal était rapidement transféré dans la cuve de marquage contenant un bain de 20 à 30L d'eau et une solution d'eugénol 10% de même dosage que pour l'anesthésie ou plus faible (dose sédatrice) selon la fragilité de l'espèce ou le type de marquage. Toutes les doses ont été diminuées de 25% en moyenne avec la hausse saisonnière des températures de l'eau durant les périodes de marquage sur les 2 années (Tableau 1).

Tableau 1 : Doses d'anesthésique utilisées (Eugénol 10% en mL/L d'eau)

Espèces	T°C 18-21°C		T°C 22-24°C	
	anesthésie	sédation	anesthésie	sédation
ALA	0.15-0.2	0.1	0.1	0.1
TRM	0.3	0.1	0.2	0.1
MUP	0.3	0.3	0.2	0.2
BAF	0.3	0.2	0.2	0.15
BRE	0.3	0.2	0.2	0.15
LMP	0.5	0.2	0.4	0.15
ANG	1.1	1.1	0.8	0.8

Pour le cas spécifique de l'alose, l'anesthésie et le marquage ont été réalisés dans une même civière afin de limiter le transport et la manipulation des individus. La civière était préparée avant l'arrivée du poisson et tarée avec son contenant (solution d'eugénol 10% dans 20L d'eau) sur la zone de pesée à l'aide d'un Peson suspendu (Figure 11). Une fois l'alose dans l'anesthésiant, le brancard était fermé pour éviter de la stresser et elle partait à la pesée en cours d'anesthésie. La faible quantité d'eugénol 10% utilisée (0.15mL/L d'eau) a été systématiquement diluée en fin de marquage (Tableau 1).



Figure 11 : Méthodes d'anesthésie utilisées (A) Bac fermé avec bulleur, (B) Civière tarée à 20L (alose)

Sitôt anesthésiés, les poissons ont été pesés, mesurés et identifiés par une marque Spaghetti dorsale (sauf alose, anguille, lamproie) en cas de capture ou perte d'émetteur accidentelle (Tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques des individus marqués pour chaque espèce. LT : longueur totale, P : poids.

Espèce	Nombre	LT (cm) médiane (min-max)	P (kg) Médiane (min-max)
Mulet porc	13	55 (49-62)	1.50 (1.04-2.06)
Brème commune	20	46 (42-50)	1.14 (0.81-1.43)
Truite de mer	5	66 (53-74)	3.62 (1.40-5.00)
Lamproie marine	42	81 (66-92)	1.10 (0.68 – 1.63)
Barbeau fluviatile	23	54 (31-69)	1.95 (0.3-3.8)
Anguille européenne	26	62 (49-81)	0.47 (0.25-1.04)
Grande alose	19	59 (50-71)	2.00 (1.00-2.50)

Un prélèvement d'écaillés a été effectué (sauf anguille, lamproie) pour déterminer l'âge (analyse de la structure en âges et croissance des populations) et chez l'alose, un morceau de nageoire pelvienne a été prélevé pour déterminer leur provenance (analyse génétique populationnelle). Tous les animaux ont ensuite été équipés d'un émetteur acoustique VEMCO V9-2L (4.7g, Ø 9mm, L 29mm, durée de vie

400 jours), (ratio des poids émetteur/poisson entre 0.5% et 1.8% selon l'espèce), mais suivant une méthode qui diffère selon la fragilité de l'espèce.

✓ Marquage

- Chez l'alose, l'émetteur a été inséré dans la cavité stomacale par voie naturelle. Ce marquage intragastrique est une méthode standard éprouvée (e.g. Acolas et al. 2004) qui est peu traumatisante, rapide, ne nécessitant pas de récupération de longue durée et n'altérant ni les performances de nage ni la flottabilité ni le comportement alimentaire (Mellas & Haynes 1985, Bridger & Booth 2003). Et le risque de régurgitation est d'autant plus limité chez cette espèce anadrome qu'elle cesse de s'alimenter à son arrivée en eau douce (l'estomac rétracté permettant le maintien de la marque). Le marquage intra gastrique a été réalisé sous anesthésie légère (0.1 à 0.2mL/L d'eugénol à 10%) aérée en continu pour préserver l'oxygénation de l'eau (diffuseur à débit régulier de bulles d'air). Pour limiter l'épuisement et l'émersion, l'alose à la sortie de la cage-filet est reçue dans la civière préalablement tarée puis elle est pesée et mesurée et marquée dès que complètement séditée. L'émetteur est introduit dans la cavité stomacale par voie naturelle à l'aide de deux tubes pousseurs en plastique qui sont adaptés en taille et diamètre afin que le tube interne puisse pousser l'émetteur porté par le tube externe légèrement évasé et non abrasif. Ensuite 4 à 5 écailles ainsi qu'un petit morceau (1/10^e) de nageoire pelvienne ont été prélevés pour déterminer respectivement son âge par scalimétrie et sa provenance par analyse génétique. L'intervention d'une durée de 3 à 5 minutes en moyenne a été entièrement réalisée sous l'eau (Figure 12).

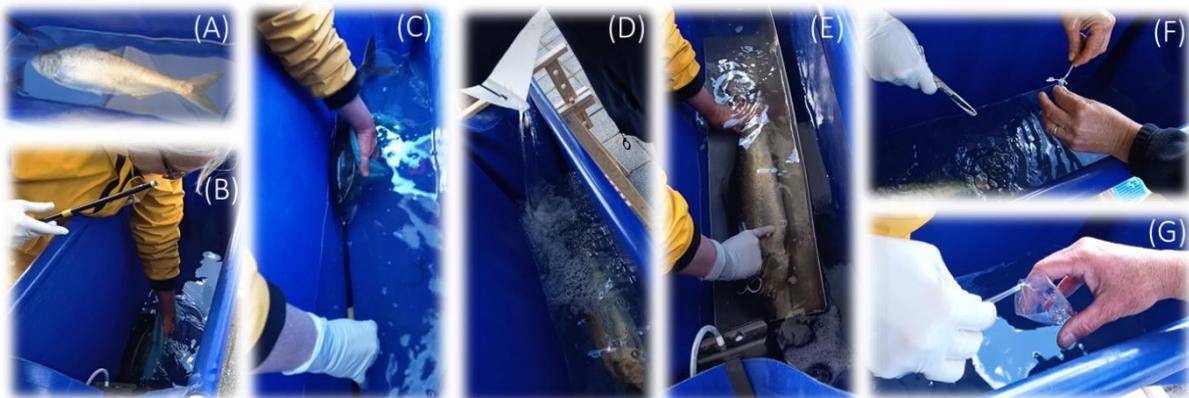


Figure 12 : Marquage intragastrique (A) Alose séditée et pesée, (B-C) Marquage sous l'eau à l'aide de 2 tubes pousseurs, (D) Dilution de l'anesthésie, (E) Biométrie, (F-G) Prélèvement d'échantillons (ADN, écailles)

- Chez les autres espèces (qui s'alimentent durant leur migration de reproduction), l'émetteur a été implanté par chirurgie dans la cavité péritonéale. C'est une méthode classique éprouvée chez plusieurs des espèces visées (Le Pichon et al. 2015, Bégout et al. 2016, Drouineau et al. 2017). Le marquage intra péritonéal a été réalisé sous anesthésie profonde stade IV (0.3 à 1.1 mL/L d'eugénol à 10% selon l'espèce ; Tableau 1). Le poisson anesthésié est pesé puis transféré du bac d'anesthésie dans la cuve de marquage (30L) remplie de solution anesthésiante (à dosage identique ou plus faible) aérée en continu. Il est ensuite mesuré et placé en décubitus dorsal dans un support réglable pour être maintenu en immersion de manière à ce que les branchies soient constamment irriguées par la solution anesthésiante et que la partie supérieure de l'abdomen soit hors d'eau. Après désinfection de la zone traitée (10% povidone iodine), une incision (15 mm) est pratiquée dans la paroi abdominale en dessous de la ceinture pelvienne et l'émetteur est introduit dans la cavité péritonéale. L'incision est suturée avec du fil monofilament absorbable (Ethicon PDS II 2-0, 3/8c vc tr 24mm Z453H) et une colle

cyanoacrylate de grade vétérinaire à effet antimicrobien (Vetbond™) est appliquée pour accélérer la cicatrisation. L'animal reçoit une injection IM d'analgésique morphinique (50µL de buprénorphine à 0.05mg/kg de poids vif ; préconisation ONIRIS 2019) pour soulager la douleur (Chatigny et al. 2018) de manière prolongée (Gräns et al. 2014) et une autre d'antibiotique (100µL de Shotapen/kg de poids vif) pour faciliter la cicatrisation et prévenir l'infection post-chirurgicale (Mulcahy 2011). L'intervention a duré en moyenne de 5 à 8 minutes (Figure 13).

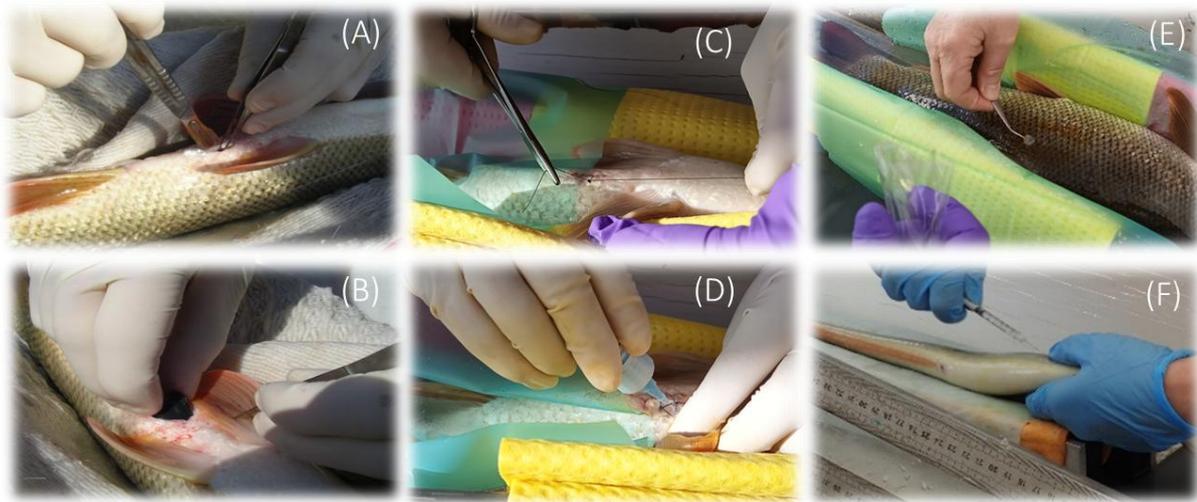


Figure 13: Marquage intrapéritonéal (A) Incision médio-ventrale sous ceinture pelvienne, (B) Introduction de l'émetteur, (C-D) Fermeture par suture 3 points et colle, (E) Prélèvement d'écailles, (F) Injections IM d'analgésique et d'antibiotique

✓ Réveil et relâcher dans le milieu naturel

- L'aloise marquée a été transportée dans sa civière de marquage (sous bain sédatif dilué d'1/3) et transférée de la civière dans une cage flottante circulaire (Ø 1m x 0.7m, 0.7m³ ; maille filet 1.5 mm) de pleine eau amarrée à un ponton à moins de 50m de la sortie de la passe. L'ouverture aménagée dans le filet permet au poisson de sortir librement de la cage lorsqu'il est réveillé, mais pour s'assurer d'une récupération complète de l'anesthésie et éviter un échappement prématuré, l'aloise a été surveillée et maintenue en captivité pendant environ 1h avant le lâcher (Figure 14).

- Chez les autres espèces, l'animal marqué est rapidement transféré dans une civière remplie d'eau claire aérée en continu, elle-même placée en bac de réveil (900L) en circuit ouvert sur l'eau de rivière (Figure 14). L'utilisation de civières-toboggans limite l'épuisement et l'émersion des poissons et facilite la remise à l'eau ultérieure. L'animal est maintenu en captivité environ 1h pour s'assurer d'une récupération complète de l'anesthésie avant d'être relâché au niveau du ponton. S'il a été capturé dans les biefs (anguille, mullet), il est directement placé en bac de réveil couvert (700L) alimenté en circuit ouvert et gardé en observation jusqu'au lâcher sur son lieu de capture.

Dans tous les cas, la captivité a été limitée au minimum nécessaire pour ne pas trop affecter la physiologie, la santé ou le comportement habituel des poissons (Lucas & Baras 2000, Jadot, 2003). Il n'y a eu aucune récupération post-marquage difficile nécessitant une captivité prolongée de 24h ni aucune mortalité post-marquage immédiate au cours des 2 années de suivi.



Figure 14 : Réveil (A) en civière (eau de Seine recirculée et bulleur) ou en nasse de pleine eau (alose)

4.2 Balisage/calibration et récupération des données de détections

L'environnement aquatique est complexe et les conditions acoustiques fluctuantes peuvent entraîner des portées de détection variables des hydrophones dans le temps, en lien avec la bathymétrie, les conditions météorologiques saisonnières, le trafic maritime. Par conséquent, la mise en place du réseau d'hydrophones est crucial pour détecter les signaux des émetteurs et interpréter avec précision le comportement des animaux marqués (Figure 15).

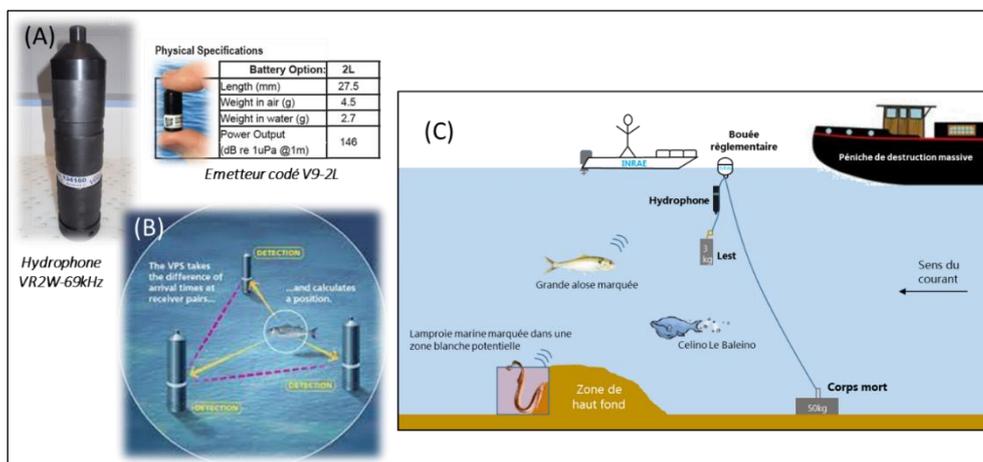


Figure 15 : Installations matérielles (A) Récepteur, émetteur utilisés, (B) principe de localisation fine des poissons par triangulation et (C) principe de positionnement des hydrophones par mouillage de fond

Un test préalable de portée de détection des hydrophones est réalisé pour établir l'espacement approprié des récepteurs. Des tests en lacs ont montré que la distance de détection était d'environ 250m pour obtenir 90% de détection. Un pré-balisage à l'aide d'un SIG fournit une localisation potentielle des hydrophones en fonction des objectifs et de la configuration du site d'étude et permet de déterminer le nombre d'hydrophones à placer. Les hydrophones situés dans le chenal sont placés en « portique » (un sur chaque rive) afin d'éviter les pertes de détections liées au passage des péniches. Pour étudier les voies de passage, les hydrophones doivent être placés en fonction du nombre de bras secondaires et du nombre de tronçons de chenaux écoutés. Dans les linéaires présentant des ouvrages ou des confluences nous mobilisons des hydrophones seulement en aval/amont des barrages de navigation ainsi que dans les entrées d'affluents.

L'étude du profil bathymétrique du cours d'eau est très utile pour la définition du placement des hydrophones. Les ondes acoustiques peuvent être stoppées par les hauts fonds, il convient donc d'éviter ces zones qui comportent des fonds trop irréguliers. Sur chaque zone de placement théorique nous avons alors dressé un profil bathymétrique (Figure 16) à l'aide d'une couche SIG comprenant les côtes altimétriques tous les 2 mètres de rive à rive fournie par Voie Navigable de France. Des critères

d'éloignement de la rive, de zones de stationnement de bateaux ou de postes de pêches ont aussi été considérés afin de limiter les problèmes de positions gênantes pour d'autres usagers de la voie d'eau.

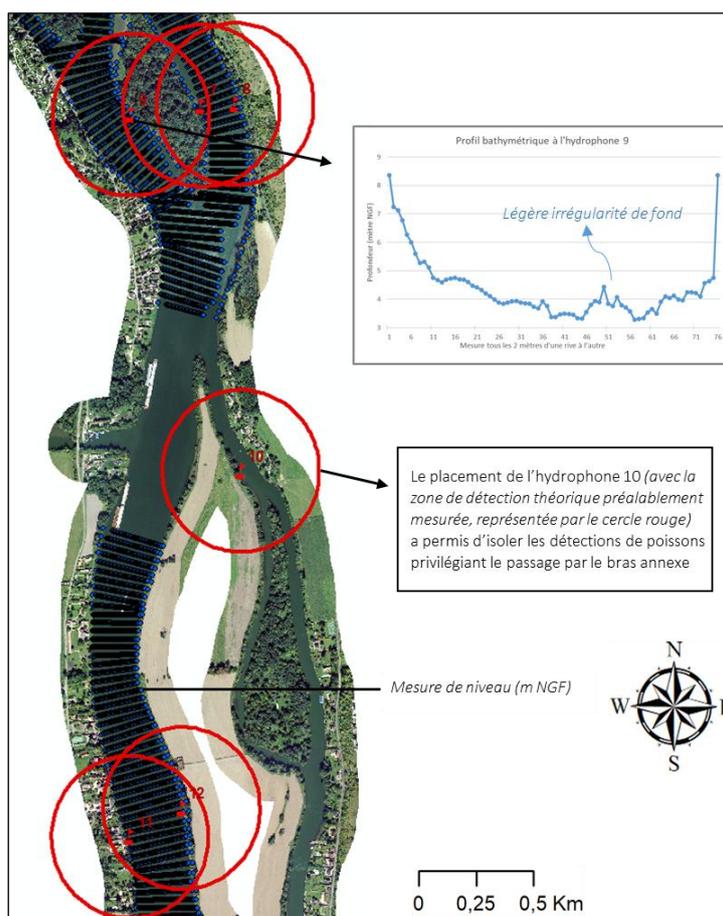


Figure 16 : Exemple d'installations d'hydrophones du réseau « habitats » (bras secondaires et bathymétrie irrégulière) (Principe : portique dans le chenal afin d'éviter les pertes de détection liées au trafic fluvial (n°11-12 en rive) ; hydrophone suppl. (n°10) différenciant les voies de passage si bras secondaire, en aval/amont si barrage et à la confluence si affluent)

La localisation des hydrophones ainsi que les détails du projet ont été soumis aux structures réglementaires (VNF, DRIEAT). Une convention d'usage temporaire du domaine public fluvial a dû être réalisée avec VNF. Des informations ont été communiquées aux principaux usagers de la voie d'eau (base de loisirs, communes concernées, fédération de pêche...). De même, il a été nécessaire en amont d'établir le contact avec certains riverains et communes afin de pouvoir accéder aux cales de mise à l'eau qui sont rares et souvent difficiles d'accès (barrière) sur la Seine. Le placement de certains hydrophones notamment dans certains affluents a nécessité de réaliser une convention avec les propriétaires riverains.

Ainsi, des réseaux d'hydrophones fixes ont été installés en 2020 et 2021 (Figure 17) à des positions stratégiques sur la Seine et ses affluents, à partir du premier barrage en venant de la mer (Poses dans l'Eure) et dans les biefs successifs jusqu'à Paris (soit un linéaire de 185 km).

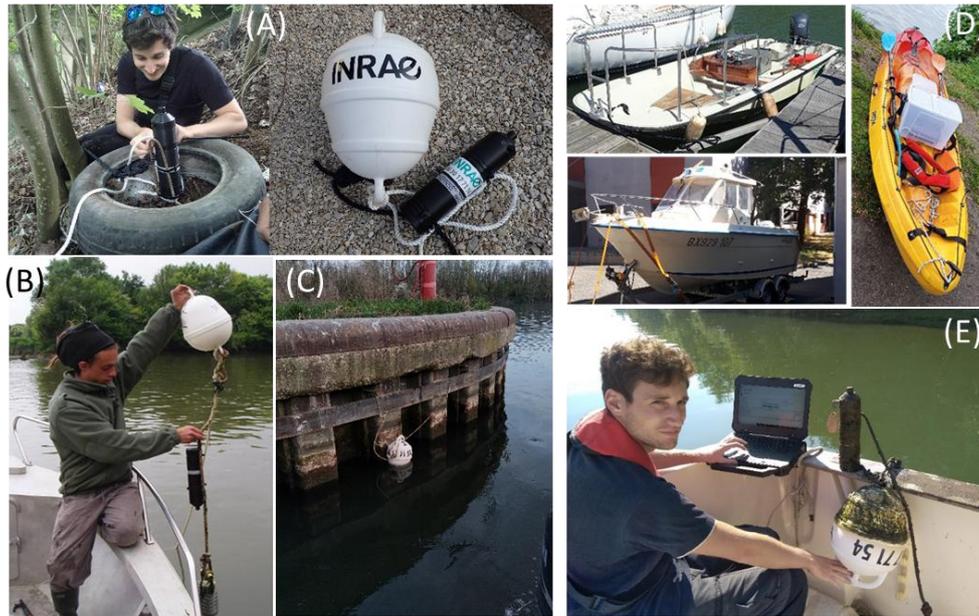


Figure 17 : Installations matérielles (A) Montage des hydrophones (corps mort, bouée de surface) pour (B) un mouillage de fond en milieu ouvert ou (C) un ancrage latéral en entrée d'écluse ; (D) Moyens nautiques ; (E) Relevé de données des stations d'écoute

Ce linéaire a été découpé en deux zones : un secteur « habitats », sur un linéaire de 40 km entre les barrages de Poses et Notre Dame La Garenne composé de nombreuses îles et bras secondaires, couvert par un réseau d'hydrophones qui a été densifié (n=33) pour étudier finement l'utilisation des habitats après le premier barrage, et un secteur « continuité », s'étendant sur tout le linéaire d'étude et ciblant principalement le franchissement des barrages, où le réseau d'hydrophones (n=32) s'est limité à couvrir l'aval et l'amont de chaque barrage ainsi que la confluence des principaux affluents.

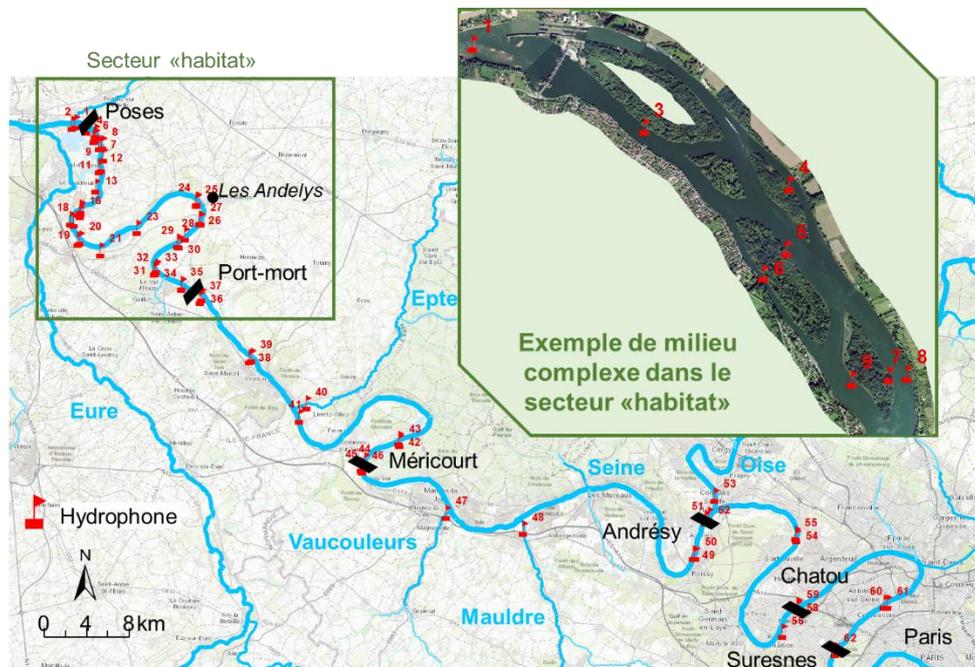


Figure 18 : Cartographie du réseau d'hydrophones déployé en 2020

En 2020, les réseaux d'hydrophones étaient associés (n=65 au total), le réseau « habitat » étant emboîté dans le réseau « continuité » (Figure 18). En 2021, seul le réseau « continuité » a été redéployé

sur l'ensemble de l'axe de Poses à Suresnes. Les capacités de détection de ces réseaux ont été validées à l'aide de tests préliminaires (Michelot et Le Pichon, 2023).

Les données de déplacements transférées des hydrophones par Bluetooth sont visualisables sous le logiciel VUE (VEMCO User Environment). La calibration des stations d'écoute au premier relevé in situ est essentielle afin d'obtenir une base de données lisible et efficace, avec géolocalisation des stations et horodatage des détections (par synchronisation de l'horloge interne et mise à jour du logiciel d'encodage MAP de chaque hydrophone). Un exemple de graphe de déplacements individuels est donné en Figure 20.

L'ensemble des données de 2020 et 2021 ont été chargées dans la plateforme FiloScience (Quinton, 2021), accessible en ligne (filo.eabx.inrae.fr). Toutes les informations des individus et leurs trajectoires, ainsi que des récepteurs sont sauvegardées et permettent divers types de requêtes. Une visualisation des trajectoires individuelles sous forme de graphe spatio-temporel, avec les périodes d'écoute des hydrophones est implémentée ainsi que le calcul de métriques globales (exemple le nombre de détection journalières, de détections par hydrophone), ainsi qu'une carte. Un exemple de l'interface Filo Science est représentée Figure 19.

The screenshot displays the FiloScience web interface. At the top, there is a navigation bar with the following items: Filo-Science - EABX, Campagnes, Télémétrie, Paramètres, Déconnexion, and a question mark icon. Below the navigation bar, the page title is "Liste des poissons suivis". A search filter section includes: "Nouveau..." (dropdown), "Projet : CONSACRE - Seine" (dropdown), "actifs ?" with radio buttons for "oui" (selected) and "non", a "Rechercher" button, "Année : Chx" (dropdown), "Espèce : Salmo trutta trutta" (dropdown), and "Intervalle (en secondes) de regroupement des détections : 3600" (input field). Below the search filters, there are four tabs: "Liste", "Détections 11 Salmo trutta trutta TRM1" (selected), "Récapitulatif journalier", "Récapitulatif par station", and "Carte des détections par station". The main content area shows a map of the Paris region with several blue location pins and a red line connecting them, representing the movement tracks of the fish. The map includes various geographical features like roads, rivers, and towns.

Figure 19 : Exemple de l'interface avec la plateforme FiloScience.

4.3 Analyse des mouvements individuels

✓ Bilan de mobilité des individus marqués

Après le lâcher des individus, les premières détections potentielles sont enregistrées par l'hydrophone placé 500 m en amont du vivier ou à l'aval du barrage. En 2021, les individus sont aussi détectés dans le vivier grâce à un hydrophone placé sur le ponton flottant. La visualisation des détections à l'hydrophone placé en amont du barrage donne les premières indications du comportement des individus relâchés. Sur la Figure 20, les aloses passent rapidement dans la zone de détection de l'hydrophone et ne sont plus entendues par la suite, indiquant une reprise rapide de leur migration (cas du BAF10 aussi). Cette figure montre aussi une lamproie marine, marquée en 2020, dont la détection est continue en 2021, indiquant sa mortalité sur la zone en 2020. On observe enfin des anguilles, marquées l'année précédente (2020), qui sont détectées avec une rythmicité jour/nuit, l'hydrophone les détectant plutôt la nuit lorsqu'elles sont actives. Ces individus sont donc résidents du secteur amont du barrage où ils ont été capturés.

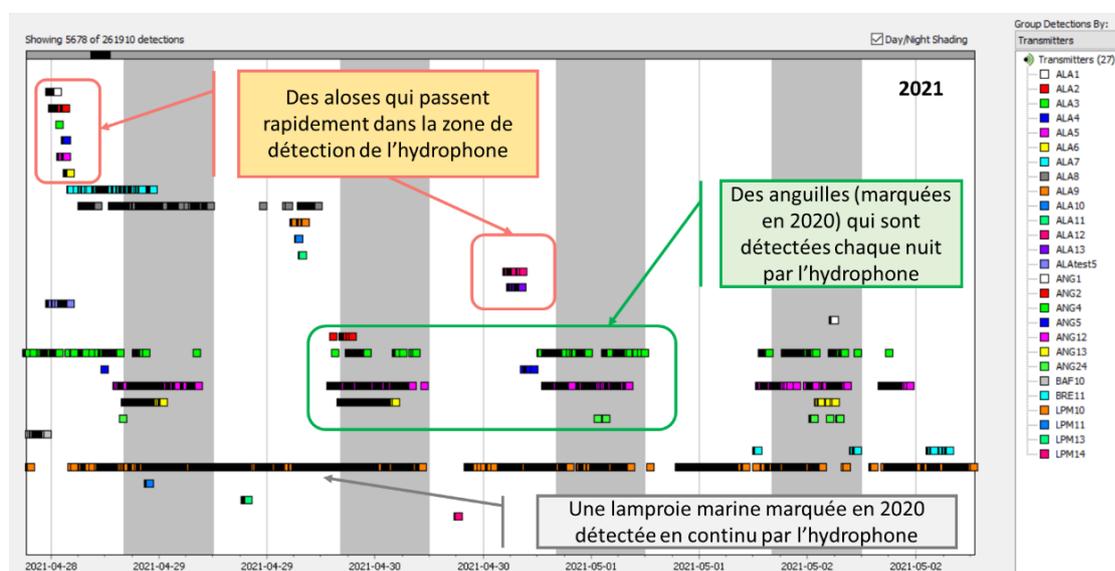


Figure 20 : Visualisation des détections à l'hydrophone placé en amont du barrage (500m du vivier) entre le 28 avril et le 2 mai 2021 (logiciel VUE, VEMCO). Les carrés de couleurs font référence à un individu : ALA=alose, ANG : anguille, BAF : barbeau, BRE : brème, LPM : lamproie marine.

Ces premiers éléments, ainsi que les détections en aval du barrage fournissent des indications sur les temps de récupération sur le site, la reprise de migration vers l'amont, la dévalaison ou une mortalité potentielle. Concernant les trois espèces de grands migrateurs étudiés pour leur migration de reproduction (truite de mer, lamproie marine et grande alose), les mobilités sont contrastées. Parmi les 5 truites de mer marquées en 2020, une a repris sa migration vers l'amont, atteignant les Andelys en 31h (hydrophone 25, Figure 18) puis sa détection reste continue sur cette zone (Figure 21), les 3 autres ont dévalé et 1 est restée entendue en amont du barrage. Le marquage tardif (juin) avec des conditions de températures en limite haute de la plage de tolérance thermique de l'espèce (Jonsson & Jonsson, 2009) a sans doute été peu favorable à la poursuite de leur montaison dans de bonnes conditions. S'ajoutent aussi les conditions de capture (piégeage et transport en brancard depuis la passe en rive gauche pour les 2 premières truites ou vidange de la passe en rive droite pour les 3 dernières) et de marquage (opéré par chirurgie à des températures de l'eau dépassant les 22°C fin juin) qui n'ont pas dû aider à limiter leur stress. Toutefois, dans la littérature sur les salmonidés anadromes, les dévalaisons ou replis ne sont pas considérés nécessairement comme une réaction négative au marquage mais comme un comportement intentionnel en réponse à l'environnement, aux obstacles

ou bien un mécanisme de repérage (Keefer et al. 2006). Par exemple, des saumons quinnats (*O. tshawytscha*) ont été classés comme "motivés" ou "hésitants" en fonction de la direction initiale du mouvement après leur lâcher (Bernard et al. 1999). Un déplacement immédiat vers l'amont peut indiquer que le besoin de frayer l'emporte sur d'autres considérations. Un déplacement immédiat vers l'aval peut indiquer un comportement migratoire modifié (Olney et al. 2006). On peut alors penser que les conditions de débit régulé de la Seine n'ont vraisemblablement pas dû inciter la truite de mer à une reprise rapide de sa migration, ce qui a déjà été observé pour d'autres migrateurs dans les canaux de navigation où l'insuffisance du courant ou la perturbation du flux d'eau accentue la désorientation des animaux et ralentit leur rythme migratoire (e.g. aloses spp. : Moser et al. 2000, Bailey et al. 2004 ; saumon atlantique : Gerlier & Roche 1998 ; Croze et al. 2008 ; anguille : Drouineau et al. 2017 ; Verhelst et al. 2018).

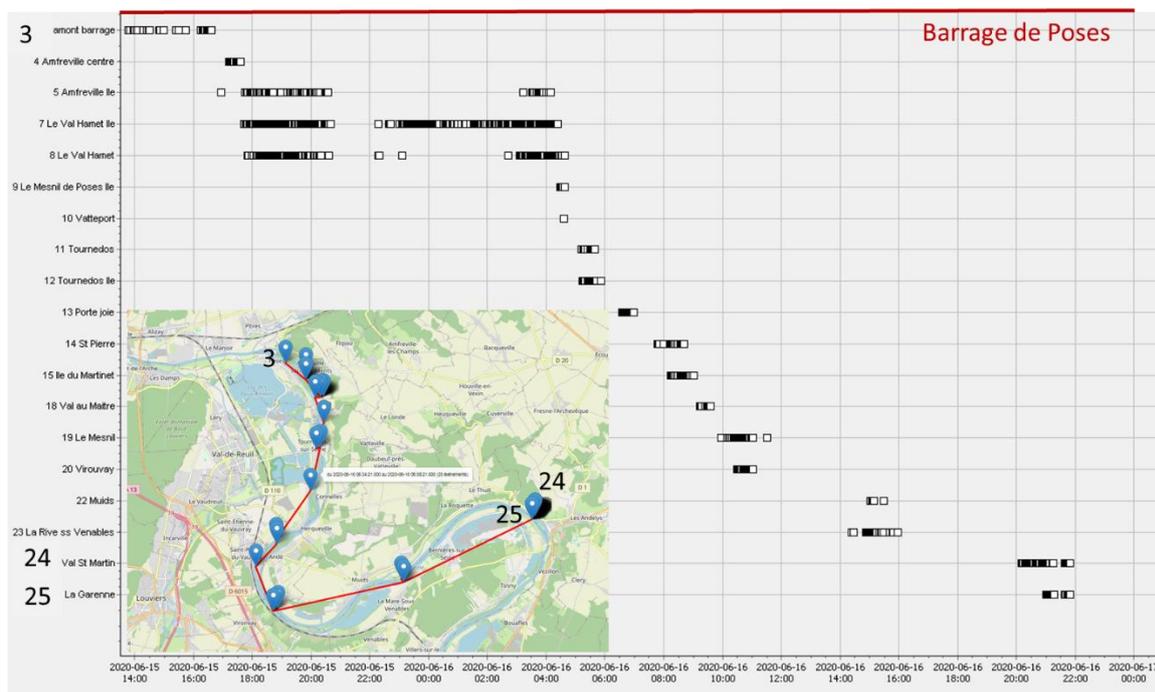


Figure 21 : Trajectoire de montaison d'une truite de mer marquée en 2020. Détections du 15 au 17 juin 2020 et carte des positions des hydrophones ayant détectés l'individu.

En 2021, 90% des aloses reprennent leur migration après la pose de l'émetteur et on a pu chiffrer à 90mn le temps moyen de « récupération » (temps entre la première détection au vivier et la dernière sur l'hydrophone 500m plus amont). Les aloses et autres clupéidés sont des espèces fragiles (Hendricks 2003) sensibles aux stress de marquage et à la manipulation (e.g., Larinier et al. 2000 ; Bolland et al. 2019 ; Eakin 2017 ; Bunch et al. 2023), notamment à l'émersion (Smith et al. 2009 ; Grote et al. 2014a). Le marquage gastrique mise en œuvre dans notre étude, pratiqué rapidement sous l'eau et sous sédation légère, ne semble pas avoir affecté significativement le comportement migratoire de la plupart des individus. Seules 2 aloses de grande taille à facteur de condition élevé ($K=1.09-1.11$) n'ont pas repris à priori leur progression. Bien qu'il soit difficile de conclure quant à leur devenir puisque leur signal a disparu après avoir été détecté pendant des durées variables (58-585mn) à 500m en amont du barrage, on ne peut pas exclure la possibilité d'une régurgitation ou d'une mortalité post-marquage due à la rupture de l'estomac (Nielsen 1992 ; Winter 1996) malgré les précautions prises et le faible poids de l'émetteur (Jepsen et al. 2005 ; Bunch et al. 2023). Toutefois, ce taux de pertes post-marquage reste inférieur à ceux trouvés dans d'autres suivis d'aloses spp. anadromes (e.g. Travade et al. 1989 ; Moser et al. 2000 ; Grote et al. 2014a ; Tétard et al. 2016 ; McCartin et al. 2019). Enfin, aucune dévalaison

post-marquage – temporaire ou définitive – n’a été enregistrée alors que ces mouvements, qui apparaissant en proportions variables selon la méthodologie de marquage et les conditions environnementales de la migration, sont bien documentés chez ces espèces (Barry & Kynard 1986 ; Moser et al. 2000 ; Acolas et al. 2004 ; Bailey et al. 2004 ; Sprankle 2005). Ces dévalaisons sont le plus souvent attribuées à des effets néfastes de la manipulation (e.g. Barry & Kynard 1986 ; Gahagan & Bailey 2020), même s’ils peuvent également faire partie de leur comportement migratoire normal (Frank et al. 2009 ; Grote et al. 2014a).

Cette reprise claire de migration vers l’amont est seulement de 37% pour les lamproies marines, qui pour la plupart sont soit détectées seulement par l’hydrophone amont du barrage, soit qui dévalent ou effectuent une courte montaison (Figure 22).

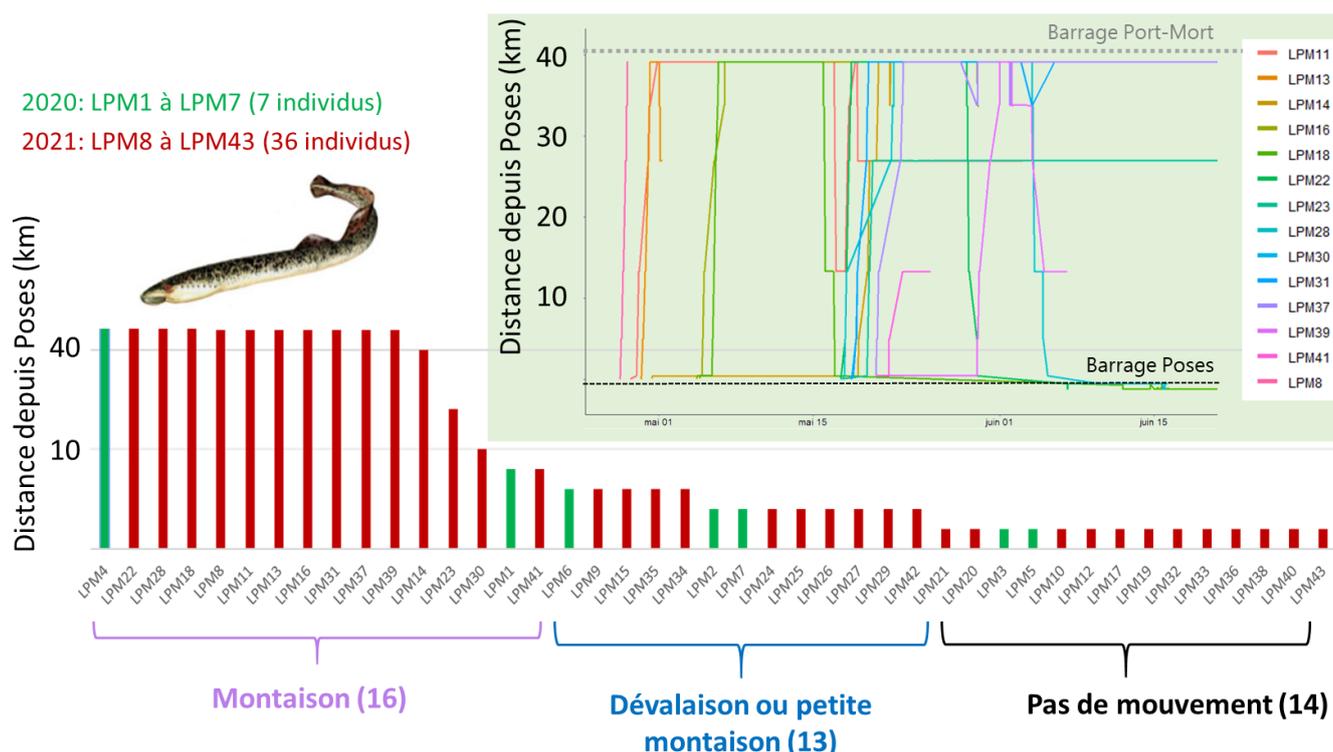


Figure 22 : Ampleur des mouvements des lamproies marines caractérisée par la distance la plus amont atteinte. Les individus sont classés par distance décroissante. En encart, les trajectoires de 14 individus marqués en 2021.

Les hypothèses qui pourraient expliquer ce résultat sont des individus arrivant trop tardivement à Poses, dont l’état de maturité sexuelle a été jugé très avancé (mâles cordés avec présence du bourrelet nuptial et femelles gravides avec œufs libres ; Grellier 1996 ; Taverny & Elie 2010) et l’état de santé moyen (blessures, tâches sur l’épiderme, œil vitreux). Ce dernier signe est symptomatique d’une dégénérescence des yeux, les lamproies spp. étant presque aveugles à l’approche du frai (Hardisty & Potter 1971 ; Applegate 1950, dans Clemens et al. 2010). Les dates d’entrée en estuaire ne sont pas connues sur la Seine, hormis pour la première fois en février 2023, une lamproie a été observé par vidéocomptage de Pont-Audemer sur la Risle (premier affluent estuarien de la Seine). Mais pour la Loire et la Garonne (bien qu’étant plus au sud), celles-ci se situent vers février/mars (Grellier 1996, Carry et al. 2017), ce qui pourrait indiquer que les lamproies marines mettent du temps à traverser l’estuaire de la Seine et à remonter jusqu’à Poses et que cela soit coûteux du point de vue énergétique. Dans l’estuaire de la Gironde, les lamproies marines se déplacent activement en pleine eau lors du flot ;

en amont du bec d'Ambès, dans la Dordogne, elles nagent à contre-courant et près du fond au moment du jusant et quittent le fond pour se laisser porter par le flot au moment de l'étape de marée (Ducasse & Leprince 1980). Les coûts énergétiques peuvent être importants étant donné que l'espèce est sémelpare et que les individus cessent de s'alimenter après avoir pénétré en eau douce et comptent donc sur les réserves d'énergie stockées pour la montaison et le frai (Araújo et al. 2013). On peut alors vraisemblablement supposer que les lamproies piégées à Poses, sans doute déjà affaiblies et dans un état de maturité sexuelle avancé, sont plus sensibles au marquage et à la prédation, notamment par le silure présent dans la passe à poissons et à l'amont du barrage. Toutes ont été capturées dans la passe à bassins de Poses, la majorité d'entre elles se retrouvant piégées, fixées aux parois lors de l'abaissement progressif du niveau d'eau. Le marquage intrapéritonéal classiquement utilisé chez les lamproies spp. (e.g. Close et al. 2003 ; Quintella et al. 2009 ; Holbrook et al. 2016) peut avoir eu une incidence plus que transitoire sur leurs performances de nage, malgré une acclimatation post-marquage d'au moins 1h pour récupérer physiologiquement de manière supposée optimale (Close et al. 2003).

Globalement sur les 2 années, un tiers des lamproies marquées ont progressé sur l'axe atteignant le barrage de Port-Mort ; un tiers n'ont effectué que des déplacements de faible amplitude (dont des replis en dévalaison pourtant rares dans les sections de rivière non obstruées ; Davies et al. 2021) et un tiers ont stoppé définitivement leur migration après le lâcher (Figure 22). Bien que la variation intrinsèque de la stratégie de migration puisse jouer un rôle, des facteurs tels que le sexe et l'état reproductif/nutritionnel/énergétique des individus peuvent aussi influencer les tendances de déplacements, comme cela a été démontré chez le saumon atlantique (Harbicht et al., 2018). On peut alors supposer que beaucoup d'entre elles décident de stopper leur montaison dans un habitat atypique sous-optimal (Davies et al. 2021 ; Moser et al. 2021) afin d'éviter une dépense d'énergie inutile, maximisant ainsi l'investissement dans le processus de reproduction (Quintella et al. 2004). Des replis ou arrêts de migration post-lâcher sont signes de lamproies en difficulté qui peuvent aussi être hésitantes-désorientées par l'écoulement (Kemp et al. 2011 ; Lewandoski et al. 2021), l'obstacle (e.g. Rooney et al. 2015) ou le manque de stimuli hormonaux (Andrade et al. 2017), la présence ou pas de congénères pouvant avoir une influence importante sur ces comportements (Okasaki et al. 2020).

Concernant les espèces migratrices en phase de croissance, on a observé (i) pour les mulets capturés en 2020 à l'aval du barrage, une dévalaison rapide après leur lâcher et (ii) pour les deux mulets capturés dans la passe, une exploration du secteur en amont du barrage (Figure 23). Tous (en bon état et de grande taille ; cf. Tableau 2) ne semblent pas avoir été très affectés par la procédure de marquage, alors que l'espèce est considérée comme sensible à l'émersion, à l'épuisement (écaillage) ainsi qu'à la translocation (Le Pichon et al. 2015). Des dévalaisons post-marquage de longue durée (2 à 6 semaines) et quasi systématiques ont été observées chez de plus petits individus capturés dans la partie eau douce tidale (dans les 40 km à l'aval de Poses) et déplacés vers de proches habitats intertidaux plus favorables (Le Pichon et al. 2017). Dans l'étude actuelle, le retour au site de capture (très proche du site de lâcher) est quasi immédiat, ce qui a été noté chez d'autres espèces dans des délais plus ou moins rapides selon la distance (e.g. Crook 2004 ; Jadot et al. 2006 ; Gardner et al. 2015 ; Carpenter-Bundhoo et al. 2019) et ce qui témoigne de leur fidélité à leur site de vasières à l'aval immédiat de Poses où ils s'alimentent activement (FC médian : 0.91 ; 0.72-1.04). Les mulets piégés dans la passe à bassins affichent une dynamique exploratoire en amont du barrage qui semble bien confirmer leur motivation à prospérer vers d'autres habitats d'alimentation plus amont (Figure 23). Cela a été aussi rapporté dans le Tage où notamment entre avril et août (migration trophique), une partie substantielle de la population estuarienne migre vers des environnements d'eau douce atteignant, dans certains cas, le barrage de Belver situé à 200 km en amont de l'embouchure du fleuve et profitant alors d'une plus grande diversité alimentaire, ingérant préférentiellement des micro-algues planctoniques plutôt que

benthiques (Almeida et al. 1993 ; Almeida 1996). Certains mulets marqués à Poses en juin 2020 ont été enregistrés durant les 2 années d'étude (cf. Figure 23). Comme cela a été observé pour le mulet-porc (Oliveira & Ferreira 1997) et le mulet rayé *M. cephalus* (Santos et al. 2005) dans le Tage, ceci pourrait indiquer qu'une partie de la population ne quitte pas les habitats d'eau douce à proximité du barrage et que leur activité saisonnière de recherche de nourriture s'amplifie pendant les mois d'été à des températures supérieures à 21°C.

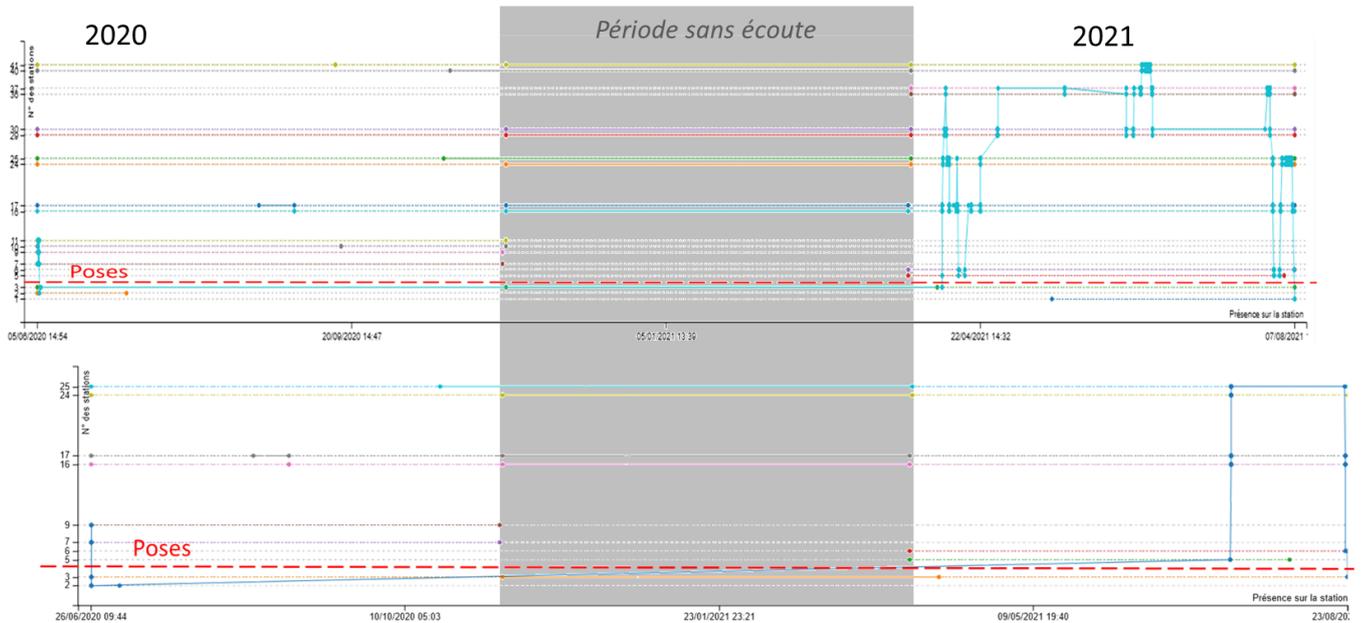


Figure 23 : Ampleur des mouvements de deux mulets porcs capturés dans la passe à poisson d'Amfreville-sous-les-Monts en 2020 (Détections en 2020-2021, base de données FiloScience).

Les anguilles, capturées en amont du barrage présentent des mouvements restreints, en lien avec la sédentarité de cette phase du cycle de vie. Effectivement même s'il y a eu une sélection des tailles d'anguille (LT ≥ 450 mm) pour le marquage, toutes ont bien été pêchées sur leurs habitats de croissance dans différentes annexes hydrauliques de la Seine. Environ 88% d'entre elles étaient encore au stade d'anguille jaune, comme en témoigne leur faible degré d'argenture caractérisé par un indice oculaire bas (IO médian : 5.2 ; 3.2-7.1 n=23). Seules 12% présentaient des caractéristiques allométriques (IO ≥ 5.6 d'après Fontaine 1994) et qualitatives (Durif 2003; Acou et al. 2005) représentatives d'anguilles plutôt au stade argenté ou tout au moins ayant déjà commencé à amorcer leur métamorphose d'avalaison (argenture) pour effectuer la migration dans l'année. Par conséquent, l'amplitude limitée de déplacements observée chez l'ensemble des anguilles marquées était attendue, que cela soit sitôt après le lâcher ou dans les mois (années) suivant(e)s (exemple Figure 24). Ceci confirme (i) l'absence d'effet significatif du marquage intrapéritonéal chez cette espèce comme cela a été constaté par ailleurs (e.g. Bau et al. 2013 ; Le Pichon et al. 2015 ; Drouineau et al. 2017) et (ii) le mode de vie très sédentaire de l'anguille jaune durant sa phase de croissance dans les zones d'eau douce. La fidélité aux sites d'origine se traduit par une mobilité quotidienne restreinte (nocturne essentiellement, voir Figure 24 la proportion relative de détection de nuit pour l'anguille 8) et des domaines vitaux réduits (3 km de linéaire pour l'anguille 8), quelles que soient la taille du bassin-versant, le type d'écoulement et la densité de peuplement (Baras et al. 1998 ; Laffaille et al. 2005 ; Ovidio et al. 2013 ; Herrera et al. 2019). Une telle fidélité de l'anguille à de petits refuges nocturnes avait aussi été observée dans les zones subtidales en aval de Poses (Le Pichon et al. 2017).

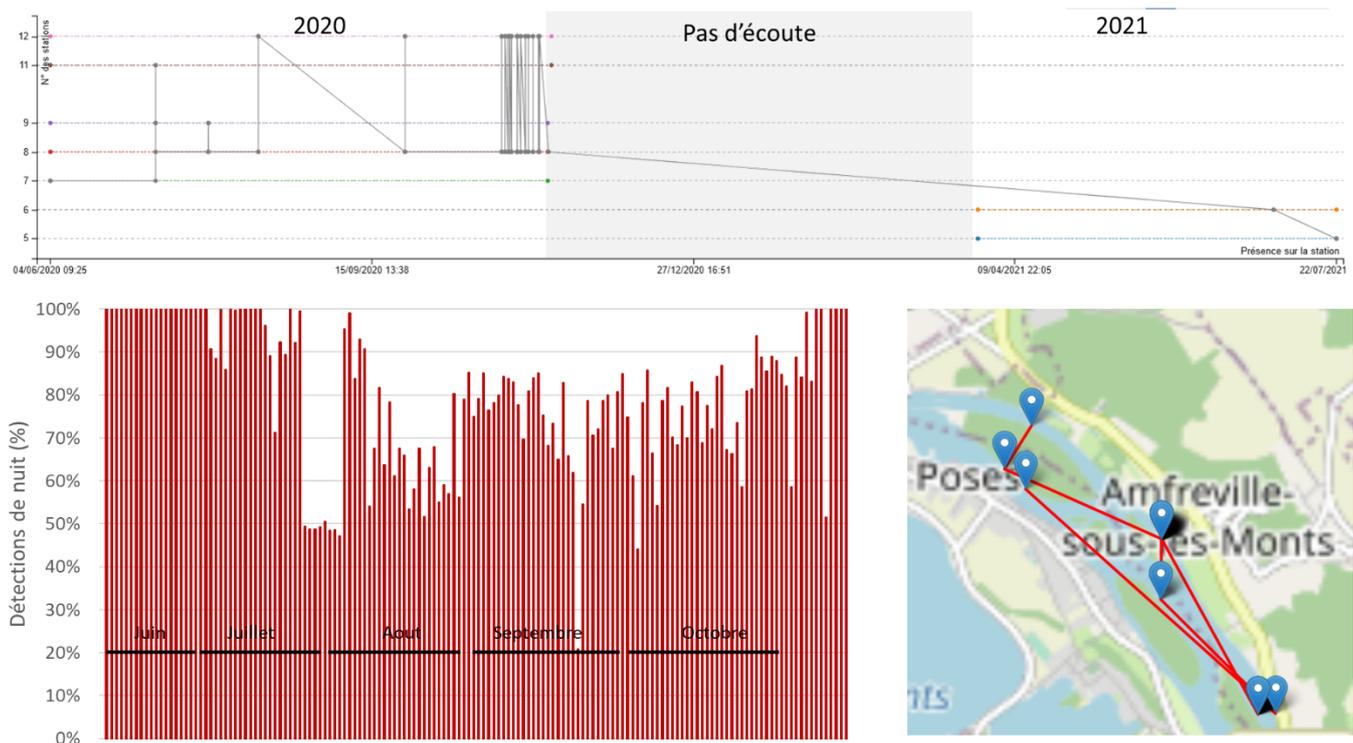


Figure 24 : Trajectoire d'une anguille, marquée en 2020 (2020-2021). Localisation des détections dans un secteur de 3 km en amont de Poses (Vue FiloScience). Graphe journalier du pourcentage de détection de nuit.

Enfin, pour les espèces potamodromes qui effectuent des migrations de reproduction importantes en eau douce, on a observé une reprise de mouvements rapide (quelques heures) après le lâcher pour 90% des barbeaux (100% pour ceux marqués en 2021) et 100% des brèmes communes (Figure 25), avec des individus tous en bonne santé globale, présentant parfois des signes de reproduction (boutons nuptiaux). Cette reprise de mouvements observée chez les 2 espèces à l'issue de courtes périodes de récupération post-opératoires confirme bien l'absence d'effet prolongé de l'implantation intrapéritonéale chez ces espèces, ce qui a déjà été rapporté pour la brème commune (e.g. Gardner et al. 2015) et le barbeau commun *B. barbus* (e.g. Lucas & Frear 1997) marqués avec la même méthodologie. De plus, comme la plupart des cyprinidés ont été marqués au plus tôt pendant leur période de frai, l'implantation chirurgicale n'a pas provoqué de mortalité chez les femelles gravides (Winter 1996 ; Bridger & Booth 2003).

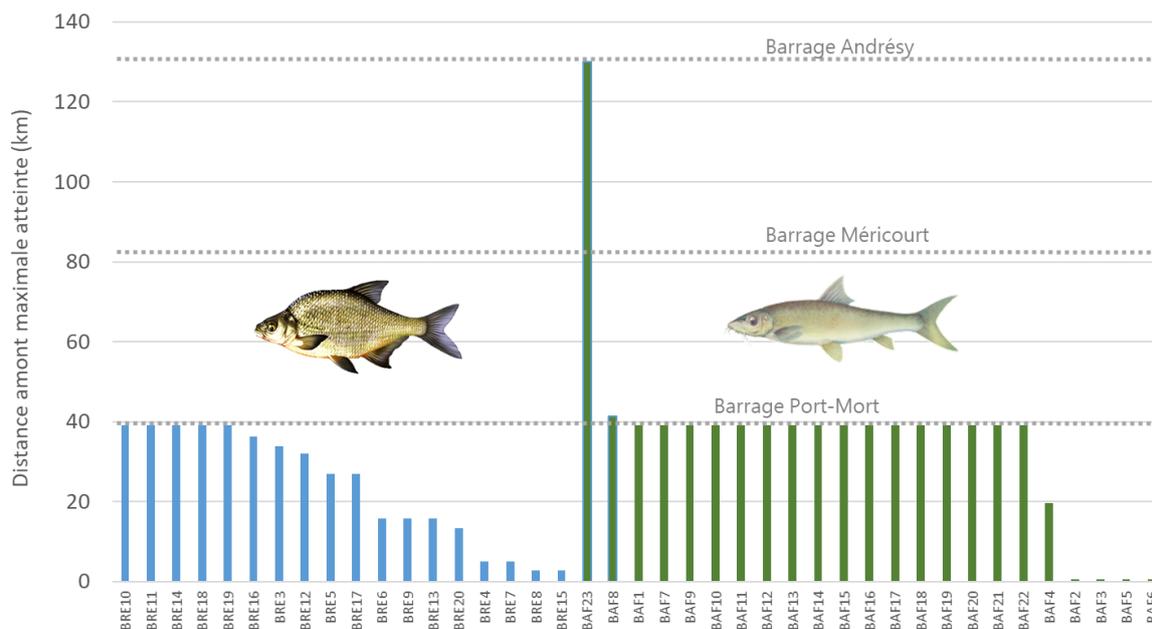


Figure 25 : Ampleur de la mobilité des brèmes communes et des barbeaux fluviatiles (2020-2021) : distance maximale atteinte. Brèmes marquées en 2020 (20 individus), Barbeaux marqués en 2020 (6) et en 2021 (17).

Seuls 4 barbeaux marqués en 2020 sont restés en amont du barrage de Poses, alors que la majorité des individus atteignaient le barrage de Port-Mort en 1-2 jours. Les brèmes sont restées dans le bief Poses-Port-Mort, effectuant diverses explorations du secteur ; seul un quart des individus sont allés au barrage de Port-Mort.

✓ Analyse des trajectoires des individus mobiles

Les trajectoires des individus les plus mobiles, ayant à minima atteint 10km ont été analysées. Ainsi, pour les grandes aloses 17 trajectoires sur 19 ont été calculées, 16 sur 43 pour la lamproie marine, 16 trajectoires sur 20 pour la brème commune, 17 sur 23 pour le barbeau fluviatile et 2 trajectoires pour le mulot-porc. Pour l'anguille, il n'y a pas eu bien sûr d'analyse possible des trajectoires à l'échelle de l'axe fluvial étant donné sa sédentarité au stade jaune, mais les mouvements à fine échelle détectés dans le bief amont grâce à la configuration du réseau d'écoute en 2020 (Figure 18) feront l'objet d'une analyse spécifique afin de comparer la dynamique d'utilisation des habitats d'eau douce fluviale à celle observée en eau douce soumise à marée (Le Pichon et al. 2017).

L'analyse des trajectoires consiste tout d'abord à réaliser des traitements adaptés aux données de détection du réseau d'hydrophones. Il s'agit de convertir les détections enregistrées à chaque hydrophone (parfois des détections simultanées sur les hydrophones placés sur chaque rive du chenal) en une localisation moyenne sur 20mn (Simpfendorfer et al. 2002) qui permet de tenir compte des enveloppes d'écoute des hydrophones (500-1500m, Michelot et Le Pichon, 2023). Ces localisations barycentrées sont utilisées pour calculer les distances entre éléments unitaires de trajectoire en suivant le chemin le plus court. Enfin, chaque élément de trajectoire ayant un horodatage, on réalise une jointure temporelle des variables environnementales pertinentes (Figure 26).

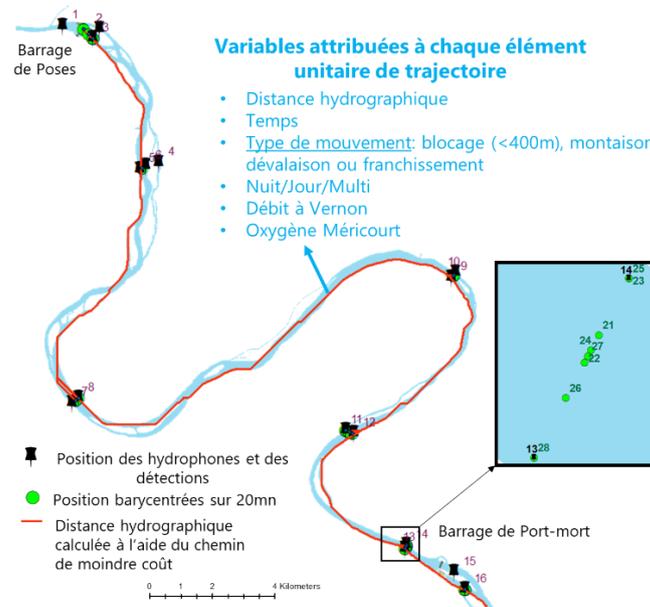


Figure 26 : Traitements des données de détection pour analyser les trajectoires

Ainsi, on peut représenter la trajectoire spatio-temporelle graphiquement avec la distance hydrographique parcourue. Ce type de graphique montre diverses caractéristiques de la trajectoire : la pente de la trajectoire entre deux barrages qui permet de calculer les vitesses de nage dans chaque bief, le temps de blocage sous les ouvrages et les périodes de montaisons et dévalaisons. Des exemples sont présentés pour les aloses (Figure 27) et les barbeaux étudiés (Figure 28). On voit clairement la phase de montaison pour l'essentiel des individus avec des périodes d'attente sous les barrages, les moments de franchissement, les périodes de replis (allers/retours). La phase de montaison des barbeaux capturés ensemble est très groupée. Pour le barbeau qui a franchi Port-Mort et Méricourt, la voie de passage est indiquée par une lettre P : passe à poissons ou E : écluse. En fin de saison (août), on n'observe pour les aloses qu'une seule dévalaison post-reproduction de grande ampleur jusqu'à Poses alors que les autres individus ne sont plus détectés (bien que l'émetteur fonctionne potentiellement encore). Cet individu fait partie de ceux qui présentent une marque de fraie (visible à la lecture d'âge sur les écailles). A l'opposé, en août et septembre on observe plus fréquemment la dévalaison des barbeaux et leur utilisation du bief de Poses à Port-Mort.

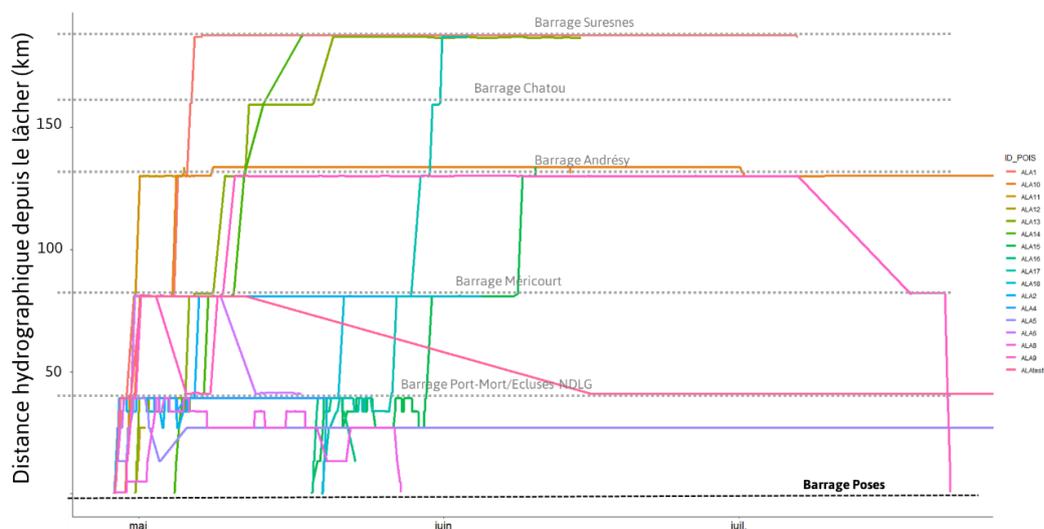


Figure 27 : Trajectoires spatio-temporelles des grandes aloses analysées.

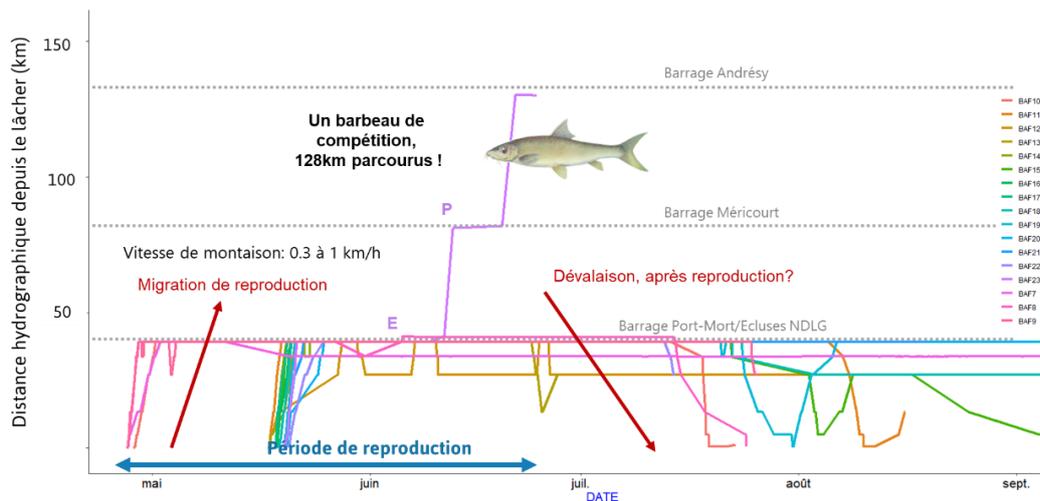


Figure 28 : Trajectoires spatio-temporelles des barbeaux analysés. E : Ecluse ; P : Passe à poisson.

L'analyse de ces trajectoires permet de calculer les vitesses individuelles de nage dans les biefs successifs parcourus par les individus. Elles varient de 0.3 à 5.6 km/h pour les aloses, avec une moyenne de 2.8 km/h, ce qui reviendrait à accomplir le parcours Poses-Suresnes en 2.7 jours (Figure 29). Cette vitesse de nage moyenne est proche de celle de 2.2 km/h observée par télémétrie dans la Loire estuarienne (Tétard et al. 2016). Globalement les vitesses sont plus rapides dans le second bief de Port-Mort à Méricourt que dans le premier de Poses à Port-Mort mais pour un individu, il n'y a pas de corrélation des vitesses dans les différents biefs. Les lamproies marines ont une vitesse de montaison comprise entre 0.7 et 2.5 km/h, comparables aux vitesses moyennes de 1 à 2.5 km/h relevées chez l'espèce en migration dans les tronçons de rivière à faible écoulement (Castro-Santos et al. 2017 ; Quintella et al. 2009). Pour le barbeau, la vitesse de montaison dans le premier bief varie de 0.3 à 1 km/h, ce qui correspond à des vitesses de croisière plus faibles que celles estimées par la formule de Pavlov (1989) utilisant la longueur de corps (Le Pichon 2006) mais bien supérieures aux vitesses de progression entre ouvrages de ~2 km/jour relevées pour le barbeau commun dans la Meuse (Ovidio et al. 2023). Le nombre d'individus qui franchissent successivement chaque ouvrage donne une indication de l'impact cumulé des obstacles, le premier ouvrage étant franchi par 12 aloses sur 19 alors que le 5^{ème} (Suresnes) n'est franchi que par 3 individus (Figure 29).

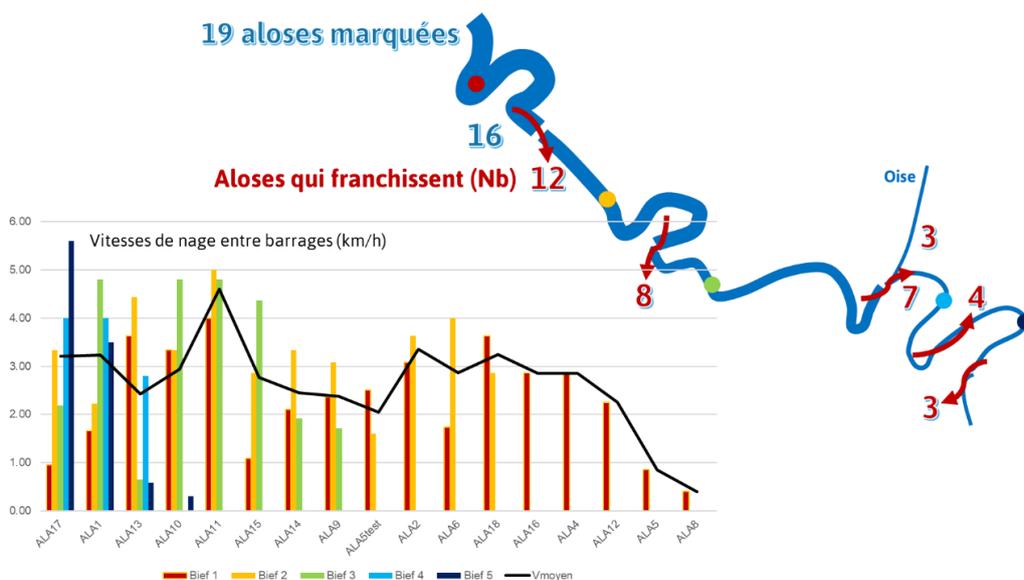


Figure 29 : Caractéristiques comportementales calculées à partir des trajectoires des grandes aloses

✓ Types de mouvements et temps passés

L'analyse des éléments de la trajectoire permet de les classer en catégories de mouvements (Figure 26). Compte tenu des distances de détection des hydrophones en aval des ouvrages (~ 500 m), on a considéré que des mouvements unitaires de la trajectoire de moins de 400 m (en 20 mn) sont de petits mouvements classés en blocage. Les mouvements de plus grande ampleur sont soit des montaisons, dévalaisons ou du franchissement. Le temps passé par chaque individu à ces différentes catégories de mouvements est calculé (Figure 30). Les temps de blocage aux ouvrages représentent 30 à 95% des trajectoires des aloses, le reste est surtout dédié à la montaison et/ou à la dévalaison. Des modèles multi-nomiaux ont été testés pour relier ces types de trajectoires aux variables environnementales, le type « blocage » étant choisi comme référence. Il s'avère que la montaison est favorisée par de bonnes conditions d'oxygénation et qu'une légère augmentation de débit augmente les risques de repli et dévalaison. Enfin, les franchissements sont clairement favorisés par la phase diurne, confirmant l'observation des passages de jour à la station de comptage de Poses (Figure 5).

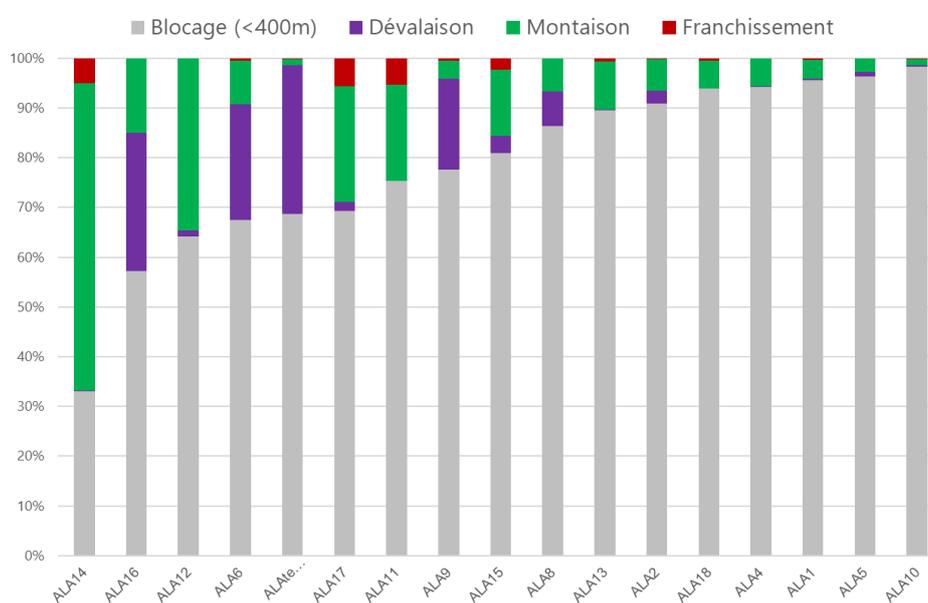


Figure 30 : Temps passé (en %) aux différentes catégories de mouvement par les grandes aloses, classée par temps de blocage croissant.

Ce constat des difficultés de passage cumulées à l'échelle de l'axe, avec des trajectoires dominées par le blocage sous les ouvrages, confirme bien l'importance des impacts directs et indirects des obstacles sur les déplacements de toutes les espèces étudiées, et en particulier sur la migration anadrome de la grande alose et de la lamproie marine dans la Seine. Beaucoup de facteurs incluant bien sûr les obstacles eux-mêmes (nombre, type, position sur l'axe, taille, hauteur de chute...), leur équipement ou pas en dispositif(s) de passage, le type de passes à poissons mises en place et leurs critères de conception, leurs gestion et entretien sur le long terme dont dépend aussi fortement l'efficacité de ces dispositifs de passage en termes d'attractivité et de franchissabilité par les espèces-cibles (Larinier 2002), dont l'alse (Larinier & Travade 2002), tous ces facteurs entrent en jeu directement et jouent sur l'optimisation du franchissement. Les problèmes récurrents des passes à poissons touchent notamment à leur attractivité et à l'écoulement de type turbulent, donc à l'énergie dépensée par les poissons, qu'elles peuvent occasionner lors du franchissement (e.g. Lewandoski et al. 2021, pour la lamproie marine). Il y a une exigence d'adéquation de la complexité physique et hydraulique dans ces dispositifs avec la capacité de nage des espèces (e.g. Larinier 2002 ; Bunt et al. 2012), leur motivation et comportement (e.g. Castro-Santos et al. 2013 ; Shi et al. 2022). Cela nécessite des critères de passage

réalistes tels qu'une vitesse d'écoulement adéquate, i.e. suffisante pour donner aux poissons un stimulus directionnel sans être rédhibitoire pour l'espèce (Clay 1995), à moduler selon l'évolution des conditions de température et de débit inhérente au changement climatique (Kemp et al. 2011).

Outre leurs effets directs sur les déplacements des espèces de par la fragmentation des habitats qu'ils occasionnent, les barrages ont également des effets négatifs indirects de par leur modification des régimes d'écoulement induisant, en autres, désorientation des individus en milieu plus lentique (Andrade et al. 2017 ; Carpenter-Bundhoo et al. 2020 ; Kerr et al. 2023) et perte d'habitat pour les poissons rhéophiles (Birnie-Gauvin et al. 2017). Les barrages dotés de passe à poissons problématique créent aussi des opportunités pour les prédateurs (Keefer et al. 2013a ; Harbicht et al. 2018 ; Boulêtreau et al. 2020) et provoquent des échecs ou retards de migration qui ont aussi des effets indirects sur la valeur adaptative des individus (e.g. Alcott et al. 2021a).

✓ Franchissabilité des ouvrages et voies de passage

La franchissabilité des ouvrages est uniquement analysée pour les grandes aloses. En effet, seuls deux barbeaux ont franchi l'ouvrage de Port-Mort (41 km à l'amont de Poses), après 20 et 76 jours de blocage, et un barbeau a franchi celui de Méricourt (à 40 km de Port Mort) après 7 jours de blocage (BAF23, Figure 28). Aucune lamproie marine, ni truite de mer, ni autre espèce-cible n'est arrivée à franchir l'ouvrage de Port-Mort. Les clupéidés anadromes (aloses spp.) savent adapter leur comportement lors des passages de barrières de courant comme c'est le cas dans les dispositifs de franchissement aux ouvrages qui nécessitent des efforts importants. Elles optimiseraient leur comportement de nage par des vitesses de fond appropriées pour maximiser l'ascension et la distance parcourue tant en mode prolongé qu'en mode sprint (Castro-Santos 2005). Une telle optimisation semblerait être moins le cas chez d'autres espèces rhéophiles telles que la truite de mer (Castro-Santos et al. 2013) ou le barbeau (Ovidio et al. 2023). Le mulet-porc est fréquemment signalé dans des habitats d'eau douce au cours de sa migration trophique (Almeida et al. 1993 ; Oliveira & Ferreira 1997) et il semblerait qu'une fraction de la population revienne chaque année sur le même tronçon de rivière (Pereira et al. 2023). Sur la Seine, 33% des mulets marqués ont été détectés l'année suivante à proximité du barrage de Poses, affichant une activité très majoritairement diurne et amplifiée à température de l'eau élevée ($\geq 20^{\circ}\text{C}$) comme observé sur le Mondego (Pereira et al. 2021). Cependant, seuls des individus à priori motivés (capturés dans la passe) ont prospecté plus largement les habitats du bief amont. Les capacités de nage et de franchissement du mulet-porc ont été peu examinées, mais il semblerait qu'un débit élevé ($>160 \text{ m}^3/\text{s}$) causant au barrage des turbulences parasites ait un impact négatif sur les remontées (Pereira et al. 2021), surtout si les vitesses d'écoulement dans les passes dépassent les 2 m/s, vitesse observée limitant la capacité des petits spécimens à franchir les obstacles (Ordeix 2016).

La lamproie marine a un mode de franchissement bien différent des autres espèces. Elle adopte un mode de nage saltatoire alternant mouvements en rafale et immobilité en s'accrochant au substrat avec sa ventouse orale ("burst and attach", Keefer et al. 2010). Ce mode est utilisé pour négocier des zones de passage difficiles (barrières de vitesse) ou surmonter des obstacles (Quintella et al. 2004, 2009). Néanmoins, sans capacité réelle de saut et avec une capacité réduite de nage, ses capacités de franchissement restent faibles lorsque l'obstacle vertical est sans point d'accroche (Scott & Crossman 1973) ou non équipé spécifiquement (Hume et al 2020). Les passes à poissons conventionnelles (e.g. à bassins, déversoirs, ralentisseurs), dédiées aux salmonidés et clupéidés anadromes, sont moins adaptées pour des nageurs anguilliformes comme les lamproies spp., ce qui réclame souvent de nombreuses tentatives de franchissement (à l'occasion de forts débits) parfois sur des périodes longues (150 jours) (Kemp et al. 2011 ; Foulds & Lucas 2013). Aussi, avec leur arrivée tardive à Poses (historiquement observée par Seinormigr), les lamproies piégées dans la passe à bassins étaient-elles

quasi toutes sur le point de pondre et n'ont pas approché le barrage amont de Port-Mort pour remonter jusqu'à la frayère la plus en amont (sur l'Epte). Certaines ont stoppé rapidement leur progression, limitant leur ponte dans le bief amont de Poses vraisemblablement à des habitats atypiques (e.g. Davies et al. 2021) ; d'autres ont dévalé au moins jusqu'en aval de Poses, peut-être jusqu'aux frayères sur l'Andelle ou l'Eure. Les mouvements des géniteurs seraient induits par la rhéotaxie liée aux odeurs (des phéromones libérées par les ammocètes et les géniteurs mâles) qui peuvent agir comme stimulus fondamental pour la lamproie marine (e.g. Andrade et al. 2017).

L'analyse de franchissabilité ne concerne que l'alose. Le temps de blocage comprend tous les individus qui se présentent en aval de l'ouvrage alors que le temps de franchissement moyen est calculé pour les individus qui franchissent. Il correspond au temps entre la première détection en aval et la première en amont de l'ouvrage ; selon la localisation des hydrophones, cela correspond à des distances entre 660 m (Suresnes) à 2280 m (Port-Mort). Les temps de franchissement sont compris entre 1 à 4 jours selon les ouvrages (Tableau 3).

Tableau 3 : Temps individuels de blocage (Tb en heure) et voie de franchissement des ouvrages (Fran) par les aloses classées par nombre d'ouvrages franchis (en rouge les individus présentant des marques de fraie). L'âge est déterminé par lecture des écailles. E : franchissement par une écluse, P : franchissement par la passe à poisson.

Individu	Age	LT (mm)	P(kg)	Port-Mort		Méricourt		Andrésy		Chatou		Suresnes	
				Tb (h)	Fran	Tb (h)	Fran	Tb (h)	Fran	Tb (h)	Fran	Tb (h)	Fran
ALA1	5	615	2.3	7	E	97	E	22	E	1	oui	18	E
ALA14	5	595	2.2	52	E	62	E	1	E	?	oui	2	E
ALA17	5	615	2	128	E	35	E	23	E	18	oui	63	E
ALA13	5	584	1.9	112	E	14	E	48	P	157	oui	600	non
ALA11	5	615	2.2	4	E	2	E	108	P				
ALA10	5	543	1.6	11	E	79	E	90	E				
ALA15	5	585	1.9	243	E	209	E	31	E				
ALA9	5	610	2	10	E	200	E	870	non				
ALA6	4	505	1	17	E	208	non						
ALA5test	5	610	1.9	26	E	258	non						
ALA18	5	542	1.6	28	E	334	non						
ALA2	6	710	2.2	184	E	470	non						
ALA5	4	527	1.6	27	non								
ALA16	4	592	1.8	61	non								
ALA8	5	575	2	79	non								
ALA4	5	555	2.3	504	non								
ALA12	5	626	1.7										
ALA3	5	565	2										
ALA7	6	612	2.5										
Franchissement moyen (h)				69		87		46		44		28	
Blocage moyen (h)				93		164		149		44		171	

La prise en compte de l'effet cumulé des ouvrages sur l'axe fluvial entre Poses et Paris peut être évalué par le calcul du retard cumulé individuel (Figure 31). On observe quelques individus qui cumulent à Port-Mort de 5 à 10 jours de retard du fait de multiples tentatives et replis, parfois de 5 à 11 km vers l'aval (Figure 27).

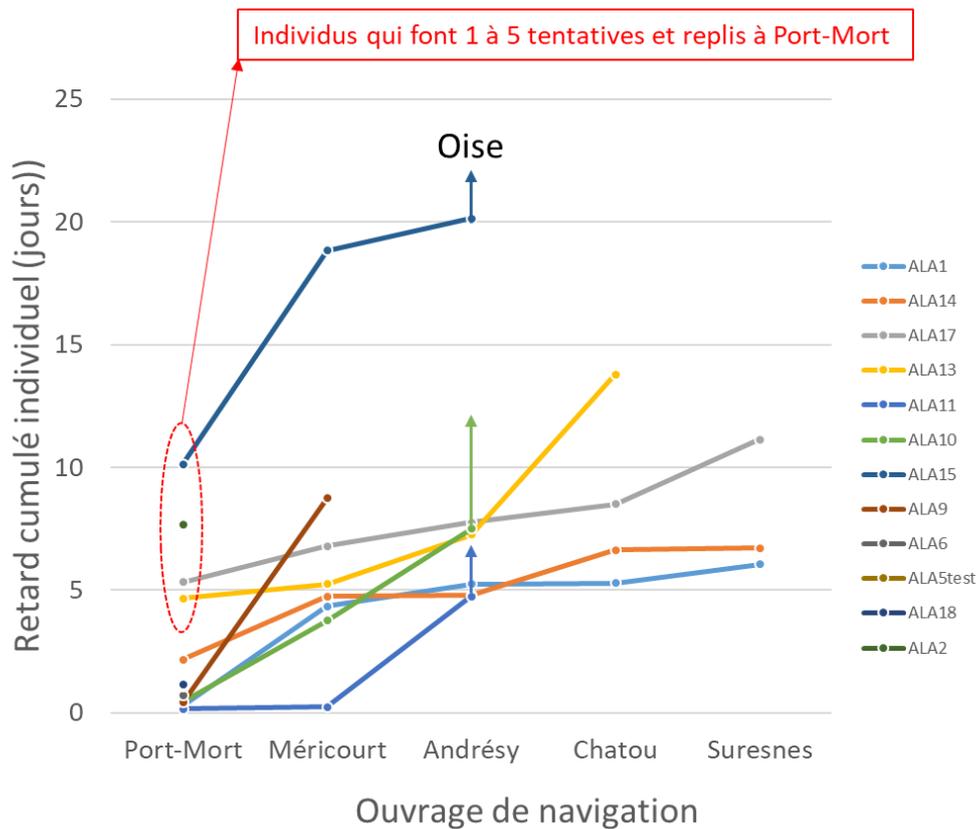


Figure 31 : Retard cumulé individuel jusqu'à Suresnes, Les flèches indiquent les trois individus qui remonte l'axe Oise

Les voies de passage aux ouvrages ont pu être évaluées après vérification des enveloppes de détection des hydrophones en amont des ouvrages (Figure 32). La configuration des sites permet généralement de dissocier les détections qui correspondent au passage par la passe à poisson de celles qui correspondent au passage par les écluses. Sur le site de Chatou, le positionnement des hydrophones n'a pas permis de distinguer la voie de passage empruntée par les individus.

Le bilan individuel des voies de passage est mentionné dans le Tableau 3. Deux aloses ont emprunté la passe à poissons d'Andrésy, qui est une rivière artificielle à seuils (construite en 2010). Autrement la grande majorité des passages s'est fait par les écluses de navigation (Figure 33). Cette espèce craintive hésite à s'engager dans les passages réduits comme les fentes des passes à poissons de type bassins successifs (Scimabio 2020) qui équipent majoritairement les autres obstacles sur la Seine, à moins que ces passes ne soient spécifiquement adaptées à ses capacités (e.g. bassins/fentes de grande largeur avec chute inter bassin de 20 cm sans jet plongeant ; Larinier & Travade 2002).

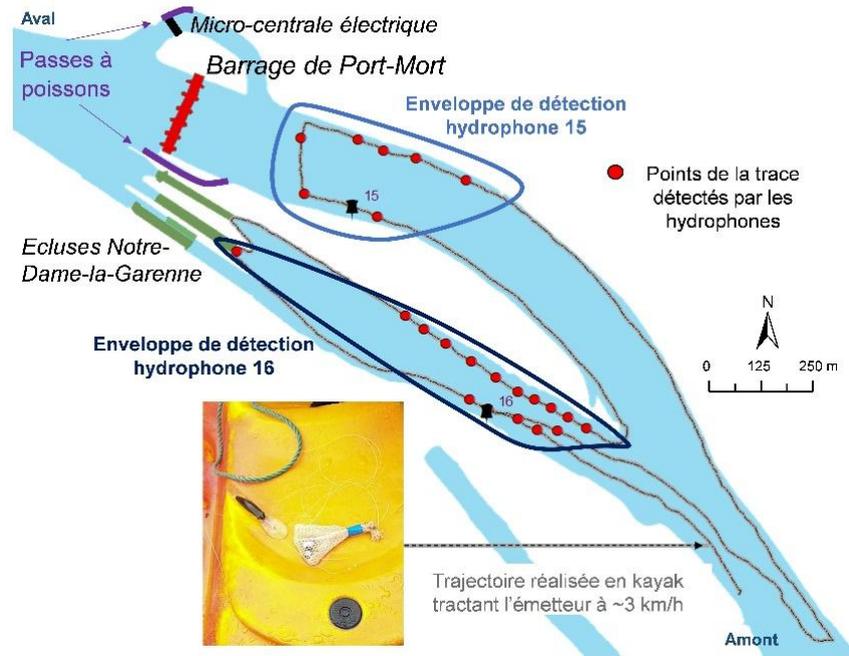


Figure 32 : Test de capacité de détection des hydrophones en amont des ouvrages de Port-Mort et Notre-Dame –la-Garenne (Michelot et Le Pichon, 2023).

Elle utilise préférentiellement les écluses lors de sa montaison (notamment sur le Rhône ; Guillard & Colon 2000 ; Lebel et al. 2001) qui sont plus favorables au passage des individus migrant en bancs, l'espèce préférant des passages larges à écoulement laminaire et se retrouvant désorientées par des écoulements turbulents (Larinier 2002 ; Groux et al. 2015).



Figure 33 : Voies de passage empruntées par les aloses qui franchissent les ouvrages d'Andrésey et choix des axes Seine et Oise.

Les fleuves ou canaux navigables peuvent offrir des voies de migration énergétiquement favorables aux poissons diadromes mais peuvent aussi faire obstacle à leur migration au niveau notamment des écluses de navigation (e.g. Buysse et al. 2008). Ces écluses, dont l'utilisation représente

une alternative peu coûteuse à la construction de passes à poissons ou d'ascenseurs aux barrages de faible chute <5m (Moser et al. 2000), posent aussi question pour les espèces envahissantes (e.g. Fritts et al. 2021). Notamment si des systèmes de dissuasion ou des mesures de gestion dissuasives appropriées (i.e. des séquences spécifiques d'éclusages calées sur leurs rythmes comportementaux) ne sont pas appliqués. Les barrages-écluses non équipés de passes à poissons sont également problématiques pour les espèces migratrices, comme en témoignent les difficultés de montaison observées sur l'Escaut (Belgique) chez l'alose feinte, la lamproie de rivière, l'anguille, le mulot-porc, l'esturgeon baerii, le saumon atlantique ou la truite de mer (Buysse et al. 2008) ou chez la lamproie du Pacifique dans les passes de barrages-écluses sur le fleuve Columbia (Keefer et al. 2013b). C'est le cas également pour les salmonidés anadromes du Rhin qui ne franchissent le barrage d'Iffezheim par les écluses de navigation que lorsque et seulement s'il y a du courant (débit) dans le canal de navigation (Gerlier & Roche 1998). C'est aussi le cas de l'anguille en dévalaison dans un canal de navigation fortement régulé, dont le rythme est ralenti à cause de la perturbation du flux d'eau et des retards occasionnés en l'absence de gestion des écluses calée sur les fenêtres migratoires saisonnières et journalières (Verhelst et al. 2018). Aussi, pour une large majorité d'espèces, les écluses ne sont-elles pas considérées comme des voies migratoires satisfaisantes (Travade & Larinier 1992).

Chez l'alose feinte du Rhône *A. fallax rhodanensis* (Lebel et al. 2001), l'alose savoureuse *A. sapidissima* (Moser et al. 2000 ; Bailey et al. 2004) et les espèces apparentées *A. aestivalis* et *A. pseudoharengus* (McCartin et al. 2019 ; Alcott et al. 2021b ; Spares et al. 2022), l'efficacité reste variable selon l'année, la saison, le sexe des individus et les conditions environnementales (marée, débit de rivière, température), et dépend fortement de la gestion des ouvertures des portes (à marée, à flots ou de l'écluse de navigation) et donc des variations de débits et de vitesses d'écoulement plus ou moins impactantes que cela occasionne. Les franchissements de *A. sapidissima* via une écluse de navigation de basse chute ont été plus nombreux (>50%) l'année à plus forte hydrologie durant le début de saison migratoire, même si de fréquentes tentatives ont été nécessaires en raison des écoulements turbulents qui ont pu perturber et éloigner les poissons de l'entrée (Bailey et al. 2004). En période de faible débit, l'efficacité de passage de *A. sapidissima* dans une écluse de navigation a été améliorée (i) en augmentant la plage de fonctionnement sur la saison migratoire et le nombre d'éclusages journaliers, (ii) en renforçant les débits d'attrait provenant de l'entrée de l'écluse et (iii) en fermant l'une des portes aval pour limiter la sortie des poissons du sas (Moser et al. 2000). Grâce à ces améliorations, le franchissement par l'écluse s'est avéré plus facile que par la passe Denil en escalier équipant le barrage, probablement en raison de défauts de conception (forte pente à 1:7, petits orifices), d'une zone de turbulences et du manque de débit d'attrait à l'entrée de la passe.

Enfin comme *A. fallax* sur le Rhône, la grande alose *A. alosa* utiliserait préférentiellement sur la Seine les écluses de navigation lors de sa montaison en amont de Poses. Probablement (i) parce que les barrages-écluses de la Seine sont équipés de passes à bassins présentant des dysfonctionnements de par conception et/ou gestion, mais aussi (ii) grâce à la gestion du trafic fluvial qui chaque jour permet le passage de 4 à 27 bateaux, avec en particulier les sassements sans bateaux (Figure 34) qui peuvent être favorables au passage des aloses.

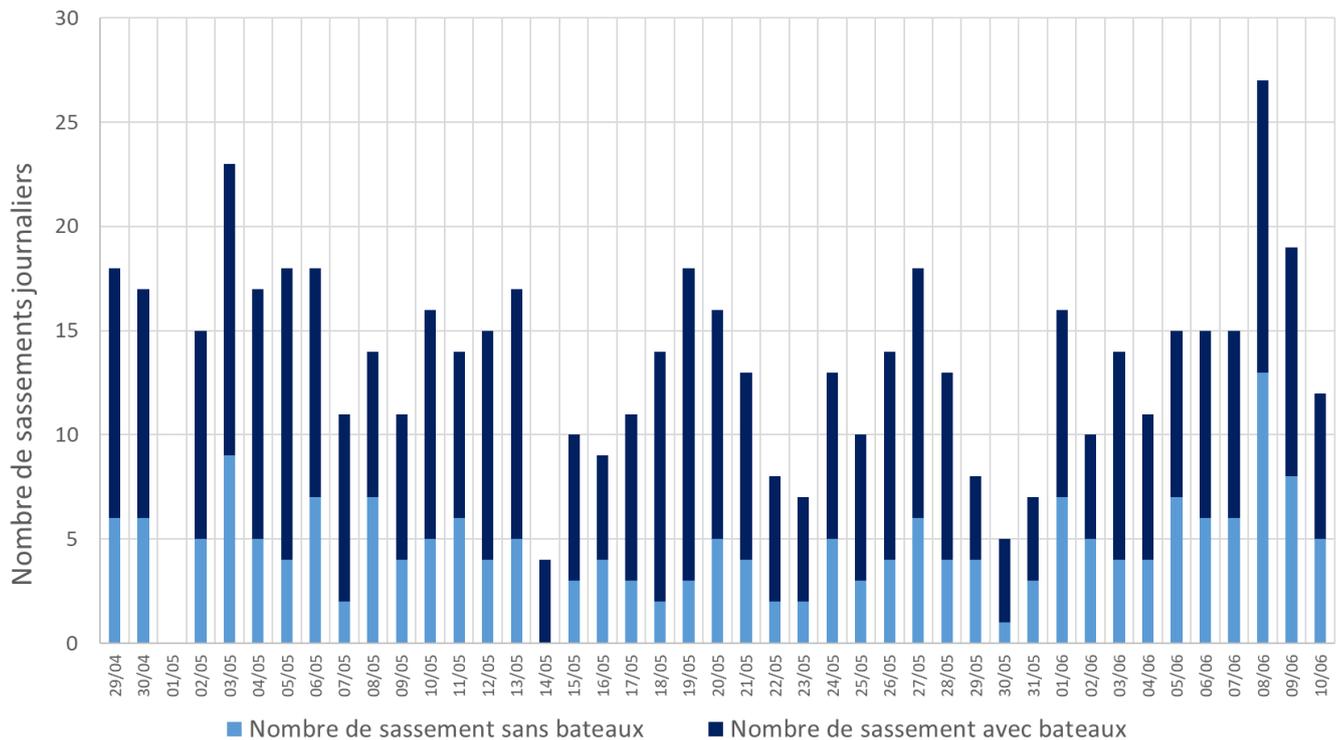


Figure 34 : Nombre de sassements journaliers aux écluses de Notre Dame La Garenne en 2021 (barrage Port-Mort) (Données UTI Boucles de la Seine, VNF ; Morel 2022, communication personnelle).

En dehors des écluses, le seul autre type de passe emprunté par l’alose est la rivière artificielle à seuils contournant le barrage-écluse d’Andresy, un type de passe qui s’avère fonctionnel pour les poissons anadromes sur d’autres cours d’eau, notamment pour le saumon atlantique (Bau et al. 2002). Les retards migratoires observés à Andresy (2 et 4.5 jours) comme ceux observés à chaque écluse (globalement entre 1 et 4 jours) sont longs, mais demeurent comparables à ceux constatés au droit d’écluses ou portes à marée chez d’autres espèces d’aloses (entre 3 et 7 jours ; Alcott et al. 2021b) voire plus brefs que ceux occasionnés chez la grande alose par des passes conventionnelles (~15 jours ; Acolas et al. 2004). De plus, les variations saisonnières et journalières de température et/ou de débit (Arahamian et al., ICES 2015) (et donc d’oxygénation) au droit des barrages ainsi que la gestion des écluses ont vraisemblablement interféré dans ses capacités de franchissement et de montaison à l’échelle de l’axe migratoire. Cependant, l’imminence de la reproduction a dû leur permettre de surmonter les perturbations induites (Baglinière et al. 2003 ; Acolas et al. 2004).

Bien que le passage des bateaux dans les écluses soit possible 24h/24h, les données de passages des bateaux montants et avalants fournies par VNF montrent plus de bateaux en journée. Nous avons ainsi superposé les dates et heures de passage des aloses par les écluses et le nombre de bateaux avalants (configuration plus favorable à l’attrait des individus et à leur sassage vers l’amont). Un certain nombre de passages de fin d’après-midi correspondent avec des nombres de 2 à 4 bateaux avalants (Figure 35). Cela confirme le caractère majoritairement diurne des déplacements chez les aloses spp. (Baglinière et al. 2003 ; Grote et al. 2014b ; Tétard et al. 2016) et que la synchronisation diurne des éclusages est essentielle au succès du passage. En effet, les aloses n’entreraient dans le sas qu’en journée et ne s’y accumuleraient pas pendant plus de 2h (Moser et al. 2000). Ces schémas d’activité diurne observés au niveau des écluses (Moser et al. 2000 ; Alcott et al. 2021b) peuvent néanmoins

varier en fonction du degré d'effort ou du risque de prédation requis pour le déplacement (Keefer et al. 2013a).

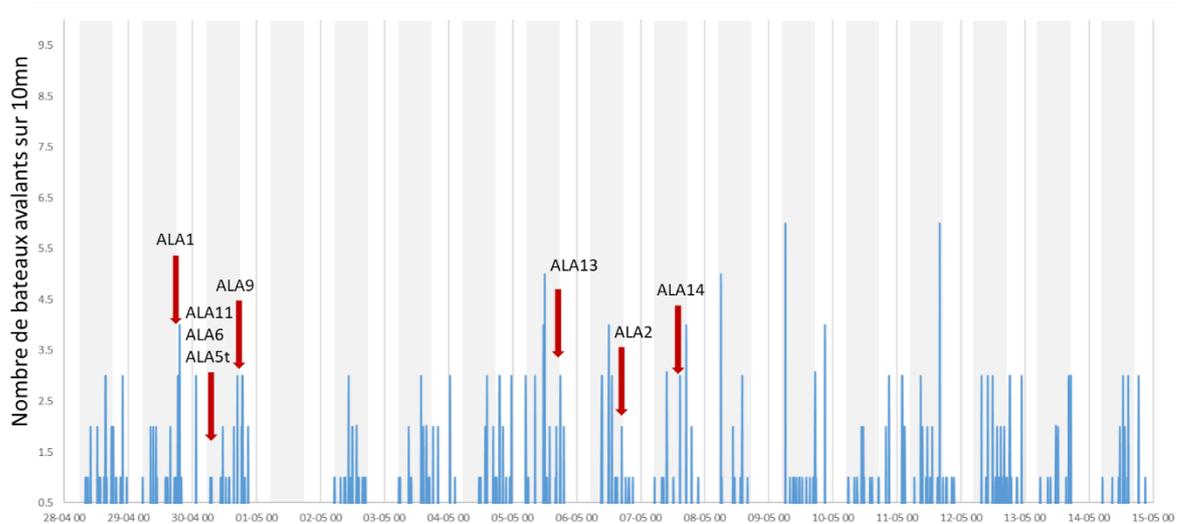


Figure 35 : Période de franchissement des écluses de ND La Garenne par quelques aloses et évolution du nombre de bateaux avalants sur 10 mn. Le grisé indique la période de jour (Données UTI Boucles de la Seine, VNF).

Afin d'estimer l'impact potentiel des ouvrages sur la trajectoire de migration des aloses, nous avons calculé un surcoût individuel à chaque voie de passage (Figure 36). Cela correspond à diviser la vitesse de franchissement (incluant le temps de blocage) par la vitesse de croisière de 5 km/h. Cette valeur correspond à une valeur haute des vitesses de nage observées dans les biefs de Poses à Suresnes (Figure 29) et aussi à la valeur haute de la vitesse de croisière proposée par Larinier et Travade (2002). La valeur moyenne du surcoût est de 30 pour l'écluse de ND La Garenne ; elle atteint 200 pour la rivière artificielle d'Andrésy (avec seulement deux individus). Ceci confirmerait que les passages par de (larges) écluses de navigation à l'occasion de fenêtres spatio-temporelles favorables comme les successions de bateaux avalants restent moins coûteux du point de vue énergétique que les franchissements par des passes à poissons, même par les rivières artificielles qui sont les plus fonctionnelles pour tout type d'espèces anadromes ou holobiotiques. On peut supposer que dans les zones où la vitesse de l'eau est rapide comme au niveau des déversoirs des seuils de la rivière artificielle d'Andrésy, l'aloise doit développer pour les traverser une nage très active ou sprint (Castro-Santos 2005) qui est la forme d'activité la plus inefficace en termes de coûts énergétiques et ne peut être maintenue que pendant de courtes périodes (Beamish 1978). D'ailleurs l'aloise ALA11, qui a mis le plus de temps (4.5 jrs) pour négocier son passage dans la passe d'Andrésy, n'a pas atteint le barrage suivant de Chatou à 28 km en amont.

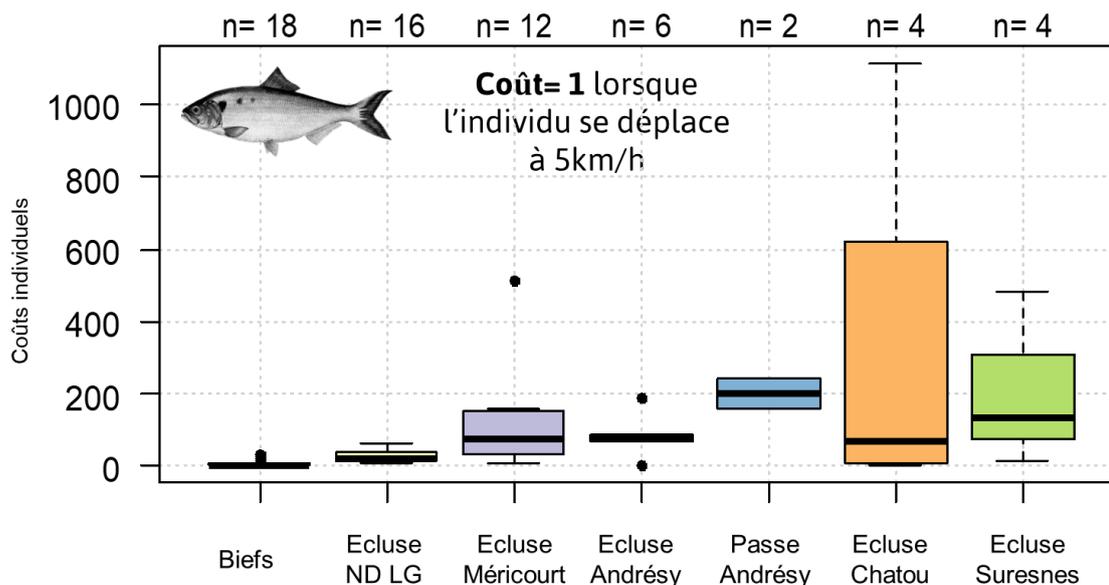


Figure 36 : Calcul des surcoûts individuels pour chaque voie de passage empruntée par les aloses ; n indique le nombre d'individus ayant utilisé la voie de passage.

Concernant les autres espèces, notamment le barbeau, le franchissement de Port-Mort s'est fait par les écluses de ND La Garenne alors que l'ouvrage de Méricourt a été franchi par la passe à poissons. L'optimisation dans ce type de dispositif de la vitesse de nage de sprint, énergétiquement coûteuse et à priori plus évidente chez l'aloise que chez le barbeau (bien que rhéophile), n'a été accomplie que par un seul individu de grande taille. En revanche, on a pu constater que la plupart des barbeaux et des brèmes marqués entre avril et juin se déplaçaient quotidiennement et activement dans le bief en amont de Poses, ce qui atteste que ces espèces potamodromes ne sont pas si résidentes que ça, notamment en période de frai. Capra et al. (2018) ont montré que deux cyprinidés d'eau douce, le barbeau commun et le chevaine présentaient une grande variabilité interindividuelle dans les déplacements, allant de poissons fortement sédentaires à des poissons très mobiles, tandis qu'il a été observé que le barbeau commun réussissait à approcher et à franchir plus ou moins facilement des passes à bassins à fentes verticales (Ovidio et al. 2017 ; Grimardias et al. 2022). Chez la brème commune, Gardner et al. (2015) ont constaté qu'après translocation, des individus étaient capables de revenir rapidement à leur site d'origine à 35 km de distance, et Ovidio et al. (2023) ont également trouvé chez la brème la meilleure performance de remontée (soit 85.7%) dans un bief de 13 km entre deux passes successives parmi les 14 espèces potamodromes et diadromes étudiées.

L'importante des mouvements dans le bief Poses-Port-Mort par la brème commune permet d'estimer des secteurs préférentiels d'utilisation des habitats, par le calcul du temps passé à l'aide de la méthode des noyaux browniens (Figure 37).

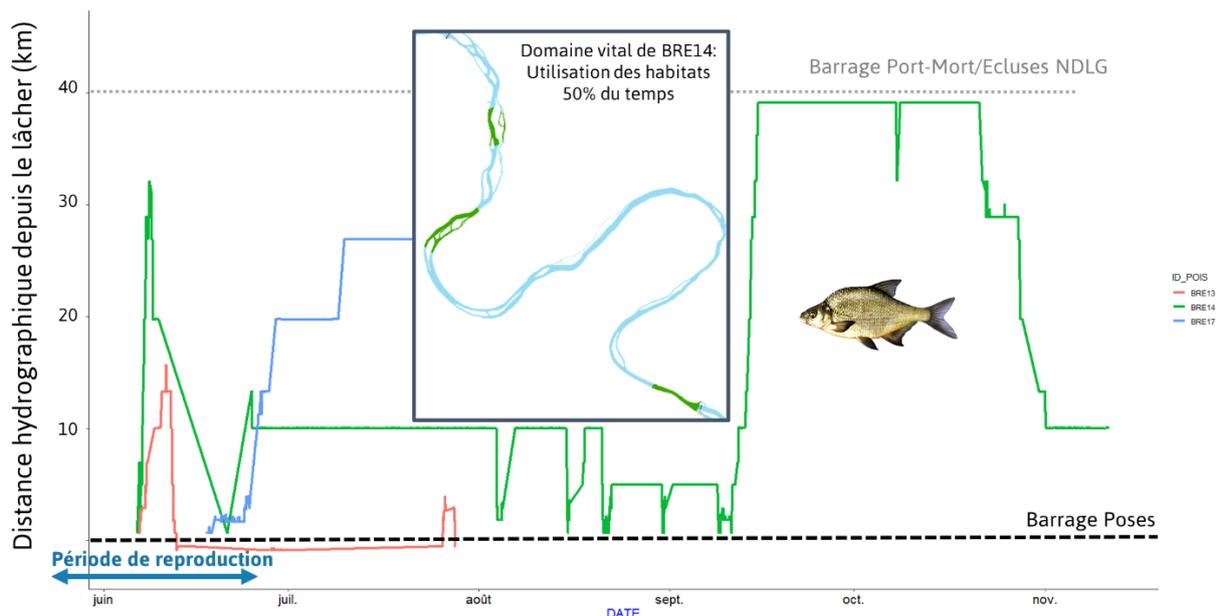


Figure 37 : Trajectoires de trois brèmes en 2020 et calcul du domaine vital à 50% du temps passé pour un individu (BRE14).

On a aussi observé sur la Seine une mobilité importante chez le mulot-porc en migration trophique puisque les deux mulots, capturés dans la passe à poissons en 2020, ont franchi Poses en 2021 par l'écluse d'Amfreville-sous-les-Monts. Les effectifs étant faibles, on peut noter que les espèces semblent emprunter diverses voies de passage mais sans quantification possible.

5 Conclusions

Deux éléments principaux émergent de ce premier suivi des espèces par télémétrie acoustique sur la Seine, à savoir une variabilité spécifique de la reprise de migration après le lâcher en amont de Poses et des variabilités du comportement face aux ouvrages. On observe que 90% des aloses, 100% des barbeaux et brèmes reprennent leur migration après la pose de l'émetteur ; alors que seulement 30% des lamproies reprennent leur migration, les autres individus sont quasi sans mouvements ou dévalent. Les trajectoires de migration qui sont observées sont souvent directes dans le bief en amont de Poses (40 km), avec par exemple, des vitesses de montaison de 0.5 à 5 km/h pour les aloses, de 0.7 à 2.5 km/h pour les lamproies marines et de 0.3 à 1 km/h pour les barbeaux fluviaux.

L'arrivée au premier ouvrage après le lâcher en amont de Poses montre généralement une phase d'attente sous l'ouvrage, voire de multiples replis vers l'aval avant d'observer un franchissement éventuel. Les espèces résidentes des eaux douces, bien que capturées dans la passe à poissons d'Amfreville sous les Monts (Barrage de Poses), ne franchissent pas le barrage suivant (à l'exception de deux barbeaux). Alors que la trajectoire directe des barbeaux vers le barrage de Port-Mort semble témoigner d'une phase active de migration de reproduction, les trajectoires des brèmes sont plus exploratoires, avec de nombreux aller retours dans le bief.

Pour les grands migrateurs qui arrivent au barrage de Port-Mort, les phases d'attente peuvent être longues et l'ouvrage reste difficilement franchissable pour de nombreux individus. Ceux qui franchissent sont essentiellement des aloses, qui ont une activité de franchissement diurne, coïncidant avec de nombreux sassements de bateaux avalants et des sassements sans bateaux, eux aussi majoritairement diurnes. Cette espèce est la seule à franchir tous les ouvrages de navigation jusqu'à Paris et à s'engager sur l'axe Oise après l'ouvrage d'Andrésy. Les aloses lâchées à Poses utilisent les

écluses et la passe de type rivière artificielle d'Andrésy, mais seules 15% d'entre elles arrivent à Paris ou s'engagent sur l'Oise. Ainsi, le trajet Poses-Suresnes (184 km) se réalise au mieux en 7 à 15 jours pour les aloses, alors que théoriquement 2.7 jours seraient nécessaires aux vitesses de nage observées dans les parties libres de l'axe fluvial. Malgré ces capacités de franchissement, le temps de blocage sous les ouvrages représente 30 à 95% des trajectoires totales. Les lamproies marines, quant à elles, présentaient une maturité avancée et malgré des trajectoire rapides et directes pour un tiers des individus, le barrage de Port-Mort est resté infranchissable. Certains individus ont montré une dévalaison jusqu'en aval du barrage de Poses, potentiellement pour rejoindre des frayères sur l'Andelle ou l'Eure où des nids sont observés chaque année par la Fédération de pêche de l'Eure.

6 Des pistes pour améliorer la fonctionnalité des parcours migratoires des espèces et favoriser la reproduction

La fonctionnalité du parcours migratoire des espèces repose sur la possibilité qu'ont les individus matures de produire des juvéniles. Les individus mâles et femelles doivent pouvoir se retrouver sur des frayères favorables au bon moment, ce qui s'avère de plus en plus complexe sur les axes fluviaux fragmentés. Pour améliorer le succès de la reproduction pour les espèces amphihalines qui viennent se reproduire en eau douce, **il faut que le parcours de migration soit facilité et que des frayères de bonne qualité existent sur ce parcours.** Ainsi, il faut abaisser les distances fonctionnelles à parcourir en améliorant les franchissements d'ouvrage sur le fleuve et les affluents, limitant ainsi les temps de blocage et les retards de migration. Ces retards pourraient conduire à des parcours migratoires qui se décalent vers des périodes où les conditions de températures et d'oxygénation sont moins favorables (estivales) et d'autant plus que les débits sont bas. Conjointement, les conditions d'oxygénation en amont des ouvrages de navigation sont cruciales et à surveiller car les individus qui (déjà) franchissent les ouvrages au prix d'un coût énergétique élevé subissent généralement une baisse importante des conditions d'oxygénation à l'amont de l'ouvrage.

Les passes à poissons sont des ouvrages complexes qui doivent être bien conçus mais aussi bien gérés sur le long terme pour constituer des voies potentielles de passage pour les diverses espèces migratrices qui n'ont pas toutes les mêmes capacités de nage et de mode de franchissement (saut, nage, ...). L'entretien, notamment l'enlèvement des embâcles, et la gestion des niveaux d'eau et vitesses de courant dans les passes à poissons sont cruciaux. Les équipes chargées de ces actions ont un rôle important de surveillance et de résolution des dysfonctionnements. La formation des équipes et l'animation de réseaux peut contribuer à une meilleure connaissance du rôle de ces structures dans la préservation des espèces de poissons et de l'appropriation des enjeux de leur gestion par les agents d'exploitation intervenant sur les passes à poissons. Dans cet objectif, après une première phase d'animation mise en place par les services régionaux de l'OFB, le service environnement de VNF met en place un plan de formation interne centré sur le rôle et la gestion des passes à poissons.

Sur les axes fluviaux navigués où se présentent transversalement à chaque ouvrage sur de grandes largeurs, un barrage, des écluses, une voire deux passes à poissons et parfois une centrale hydroélectrique, on comprend l'importance de **favoriser diverses voies de passages.** Selon l'espèce, sa capacité à utiliser les passes à fentes verticales, les passes de types rivières artificielles ou les écluses va varier selon leur position transversale sur la voie migratoire et l'attractivité de leur entrée en lien avec les débits (de la Seine et turbinés). La conception des futures passes à poissons pourra bénéficier des retours d'expérience complémentaires des services de l'OFB sur leur fonctionnement hydrodynamique et des études scientifiques du mouvement individuel des espèces de poissons. Ces études comportementales, bien qu'elles ne concernent qu'un petit nombre d'individus, montrent par

exemple l'utilisation de la passe de type rivière de contournement d'Andrésy par la grande alose et le barbeau.

L'utilisation des écluses par les espèces est une question récurrente, tout comme le bénéfice de réaliser des éclusées à poissons (e.g. sur le Rhône, Lebel et al. 2001 ; Zyberblat et al. 2010 ; Alix & Rivoallan 2020, 2022). L'utilisation de la télémétrie acoustique sur l'axe Seine a été efficace pour étudier les voies de passage sur certains ouvrages de Poses à Paris, montrant que la grande alose peut franchir les ouvrages par les écluses lors du passage des bateaux. Ce passage est sans doute favorisé lors des « sassées à vide » lorsque deux bateaux avalants se suivent ; les aloses pourraient alors profiter de cette configuration pour accéder au bief amont sans présence de bateaux dans le sas de l'écluse. Un test préliminaire d'éclusée à poissons, réalisé par VNF et la R&D d'EDF Chatou sur l'écluse de Poses, n'a pas permis de conclure mais a fourni des pistes de réflexions, comme le rôle des « sassées à vide » ou la possibilité lors de rénovation d'écluses d'avoir des portes qui puissent s'adapter à des éclusées attractives.

Favoriser la complémentarité des voies de passage à chaque ouvrage nécessite au besoin un dialogue constructif entre navigation et hydro-électricité et leur prise en considération commune des besoins de fonctionnement des passes à poissons. Il pourrait être envisagé une concertation autour de règles de gestion à mettre en place en fonction de débits seuils de la Seine et en ciblant les périodes migratoires des espèces (à l'image des négociations sur les règles de turbinage pour la dévalaison des anguilles). Ces questions sont déjà prégnantes avec l'augmentation de la fréquence des bas débits et des températures de l'eau qui vont encore dégrader les conditions et augmenter le coût énergétique de migration de reproduction ou de migration de croissance des espèces amphihalines et résidentes.

7 Bibliographie

- Acolas, M.L., Bégout Anras, M., Véron, V., Jourdan, H., Sabatié, & M.R., Baglinière, J.L. (2004). An assessment of the upstream migration and reproductive behaviour of allis shad (*Alosa alosa* L.) using acoustic tracking. *ICES Journal of Marine Science*, 61(8), 1291-1304.
- Acolas, M.L., Véron, V., Jourdan, H., Bégout, M.L., Sabatié, M.R., & Baglinière, J.L. (2006). Upstream migration and reproductive patterns of a population of allis shad in a small river (L'Aulne, Brittany, France). *ICES Journal of Marine Science*, 63(3), 476-484.
- Acou, A., Boury, P., Laffaille, P., Crivelli, A.J., & Feunteun, E. (2005). Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla*, L.). *Archiv. für Hydrobiologie*, 164, 237-255.
- Alcott, D.J., Goerig, E., & Castro-Santos, T. (2021a). Culverts delay upstream and downstream migrations of river herring (*Alosa* spp.). *River Research and Applications*, 37(10), 1400-1412.
- Alcott, D.J., Goerig, E., Rillahan, C., He, P., & Castro-Santos, T. (2021b). Tide gates form physical and ecological obstacles to river herring (*Alosa* spp.) spawning migrations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78(7), 869-880.
- Alix, F., & Rivoallan, D. (2020). Suivi quantitatif des frayères d'aloses sur le bassin rhodanien -Campagne d'Études 2019. Rapport de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 47p. + annexes.
- Alix, F., & Rivoallan, D. (2022). Suivi quantitatif des frayères d'aloses sur le bassin rhodanien -Campagne d'Études 2021. Rapport de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 15p.
- Almeida, P. (1996). Estuarine movement patterns of adult thin-lipped grey mullet, *Liza ramada* (Risso) (Pisces, Mugilidae), observed by ultrasonic tracking. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 202(2), 137-150.
- Almeida, P., Moreira, F., Costa, J., Assis, C., & Costa, M. (1993). The feeding strategies of *Liza ramada* (Risso, 1826) in fresh and brackish water in the River Tagus, Portugal. *Journal of Fish Biology*, 42(1), 95-107.
- Andrade, N., Quintella, B.R., Ferreira, J., Pinela, S., Póvoa, I., Pedro, S., & Almeida, P.R. (2007). Sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) spawning migration in the Vouga river basin (Portugal): poaching impact, preferential resting sites and spawning grounds. *Hydrobiologia*, 582, 121-132.
- Applegate, V.C. (1950). Natural history of the sea lamprey, *Petromyzon marinus*, in Michigan. U.S. Fish and Wildlife Services Special Scientific Report, Fisheries, 55, 1-237.
- Aprahamian, M., Alexandrino, P., Antunes, C., Cobo, F., King, J., Lambert, P., Martin, J., Mota, M., Nachón, D.J., Silva, S., & Rochard, E. (2015). Shads state of the art. Chap. 3, pp. 46-105. *In* Report of the ICES Workshop on Lampreys and Shads (WKLS), 27-29 November 2014, Lisbon, Portugal. ICES CM 2014/SSGEF, 13, 206p.

- Araújo, M.J., Ozório, R.O.A., Bessa, R.J.B., Kijjoa, A., Gonçalves, J.F.M., & Antunes, C. (2013). Nutritional status of adult sea lamprey (*Petromyzon marinus* Linnaeus, 1758) during spawning migration in the Minho River, NW Iberian Peninsula. *Journal of Applied Ichthyology*, 29(4), 808-814.
- Baglinière, J.L., Sabatié, M.R., Rochard, E., Alexandrino, P., & Aprahamian, M.W. (2003). The allis shad *Alosa alosa*: Biology, ecology, range, and status of populations. *American Fisheries Society Symposium*, 35, 85-102.
- Bailey, M.M., Isely, J.J., & Bridges Jr, W.C. (2004). Movement and population size of American shad near a low-head lock and dam. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133(2), 300-308.
- Baras, E., Jeandrain, D., Serouge, B., & Philippart, J.C. (1998). Seasonal variations in time and space utilization by radio-tagged yellow eels *Anguilla anguilla* (L.) in a small stream. *Hydrobiologia*, 371/372, 187-198.
- Barault, A., & Sanson, G. (2013). Suivi 2012 de la reproduction de la Lamproie marine (*Petromyzon marinus*) dans le département de l'Eure - Rivières Andelle, Epte et Eure. Rapport FDAAPPMA27, 51p.
- Barry, T., & Kynard, B. (1986). Attraction of adult American shad to fish lifts at Holyoke Dam, Connecticut River. *North American Journal of Fisheries Management*, 6(2), 233-241.
- Bau, F., Chanseau, M., & Larinier, M. (2002). Contrôle de l'efficacité de la passe à bassins de l'aménagement hydroélectrique EDF de Castetarbe sur le Gave de Pau, année 2001. Rapport GHAAPE RA02.04, CEMAGREF/CSP/INP ENSEEIHT, 40p.
- Bau, F., Gomes, P., Baran, P., Drouineau, H., Larinier, M., Alric, A., Travade, F., & De Oliveira, E. (2013). Anguille et ouvrages : migration de dévalaison. Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydro-électriques d'Artix, Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2007-2010). Rapport R&D Pôle Ecohydraulique Action n°6, 88p.
- Beamish, F.W.H. (1978). Swimming capacity. Chap. 2, pp. 101-187. *In* Hoar, W.S., & Randall, D.J. (Eds), *Fish physiology- Locomotion*, Vol. VII, Academic Press, New York.
- Bégout, M.L., Bau, F., Acou, A., & Acolas, M.L. (2016). Methodologies for Investigating Diadromous Fish Movements: Conventional, PIT, Acoustic and Radio Tagging and Tracking. Chap. 12, pp. 214-250. *In* Morais, P., & Daverat, F. (Eds), *An Introduction to Fish Migration*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Belaud, A., Carette, A., Cassou-Leins, F., & Cassou-Leins, J. (2001). Choix des sites de fraie par la grande alose (*Alosa alosa* L.) en moyenne Garonne. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 362-363, 869-880.
- Belliard, J., Marchal, J., Ditché, J.M., Tales, E., Sabatié, R., & Baglinière, J.L. (2009). Return of adult anadromous allis shad (*Alosa alosa* L.) in the river Seine, France: a sign of river recovery? *River Research and Applications*, 25(6), 788-794.
- Bernard, D.R., Hasbrouck, J.J., & Fleischman, S.J. (1999). Handling-induced delay and downstream movement of adult Chinook salmon in rivers. *Fisheries Research*, 44(1), 37-46.
- Birnie-Gauvin, K., Aarestrup, K., Riis, T.M., Jepsen, N., & Koed, A. (2017). Shining a light on the loss of rheophilic fish habitat in lowland rivers as a forgotten consequence of barriers, and its implications for management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27(6), 1345-1349.
- Boisneau, P., Mennesson-Boisneau, C., & Baglinière, J.L. (1990). Description d'une frayère et comportement de reproduction de la grande Alose (*Alosa alosa* L.) dans le cours supérieur de la Loire. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 316, 15-23.
- Bolland, J.D., Nunn, A.D., Angelopoulos, N.V., Dodd, J.R., Davies, P., Roberts, C.G., Britton, J.R., & Cowx, I.G. (2019). Refinement of acoustic-tagging protocol for twaite shad *Alosa fallax* (Lacépède), a species sensitive to handling and sedation. *Fisheries Research*, 212, 183-187.
- Boulêtreau, S., Carry, L., Meyer, E., Filloux, D., Menchi, O., Mataix, V., & Santoul, F. (2020). High predation of native sea lamprey during spawning migration. *Scientific reports*, 10:6122.
- Bouyssonnie, W., & Filloux, D. (2020). Suivi de la reproduction naturelle de la grande alose sur la Dordogne - Année 2020. Rapport MIGADO, 27p.
- Bouyssonnie, W., & Levieux, G. (2019). Etude survie grande alose : compte rendu d'activité de la production de larves 2019 et du suivi des alosons. Rapport MIGADO, 58p.
- Bridger, C.J., & Booth, R.K. (2003). The effects of biotelemetry transmitter presence and attachment procedures on fish physiology and behaviour. *Reviews in Fisheries Science*, 11(1), 13-34.
- Bunch, A.J., Henne, J.P., DeVries, D.R., Wright, R.A., Smith, D.L., & Farmer, T.M. (2023). Evaluation of double acoustic tagging techniques to track American shad *Alosa sapidissima* movements at multiple spatial scales. *Fisheries Research*, 261, 106636.
- Bunt, C.M., Castro-Santos, T., & Haro, A. (2012). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications*, 28(4), 457-478. doi:10.1002/rra.1565
- Buysse, D., Coeck, J., & Maes, J. (2008). Potential re-establishment of diadromous fish species in the River Scheldt (Belgium). *Hydrobiologia*, 602, 155-159.
- Capra, H., Pella, H., & Ovidio, M. (2018). Individual movements, home ranges and habitat use by native rheophilic cyprinids and non-native catfish in a large regulated river. *Fisheries Management and Ecology*, 25(2), 136-149.
- Carpenter-Bundhoo, L., Butler, G.L., Bond, N.R., Bunn, S.E., Reinfelds, I.V., & Kennard, M.J. (2020). Effects of a low-head weir on multi-scaled movement and behavior of three riverine fish species. *Scientific reports*, 10(1), 6817.
- Carpenter-Bundhoo, L., Butler, G.L., Espinoza, T., Bond, N.R., Bunn, S.E., & Kennard, M.J. (2019). Reservoir to river: Quantifying fine-scale fish movements after translocation. *Ecology of Freshwater Fish*, 29(1), 89-102.
- Carry, L., Filloux, D., & Caut, I. (2017). Suivi de la lamproie marine sur la Dordogne et la Garonne - Année 2017. Rapport MIGADO, 63p.

- Castro-Santos, T. (2005). Optimal swim speeds for traversing velocity barriers: an analysis of volitional high-speed swimming behavior of migratory fishes. *Journal of Experimental Biology*, 208(3), 421-432.
- Castro-Santos, T., Sanz-Ronda, F.J., & Ruiz-Legazpi, J. (2013). Breaking the speed limit-comparative sprinting performance of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(2), 280-293.
- Castro-Santos, T., Shi, X., & Haro, A. (2017). Migratory behavior of adult sea lamprey and cumulative passage performance through four fishways. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74(5), 790-800.
- Cellule Migrateurs Charente Seudre (2020). Rapport des actions 2019. EPTB Charente, MIGADO, CREA. Programme d'actions 2016-2020 pour la sauvegarde et la restauration des poissons migrateurs amphihalins sur les bassins Charente et Seudre, 197p.
- Chatigny, F., Creighton, C.M., & Stevens, E.D. (2018). Updated review of fish analgesia. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 57(1), 5-12.
- Clay, C.H. (1995). *Design of Fishways and Other Fish Facilities*, 2nd ed. CRC Press Inc., Lewis Publishers, Boca Raton, FL (USA), 241p.
- Clemens, B.J., Binder, T.R., Docker, M.F., Moser, M.L., & Sower, S.A. (2010). Similarities, differences, and unknowns in biology and management of three parasitic lampreys of North America. *Fisheries*, 35(12), 580-594.
- Close, D.A., Fitzpatrick, M.S., Lorion, C.M., Li, H.W., & Schreck, C.B. (2003). Effects of intraperitoneally implanted radio transmitters on the swimming performance and physiology of Pacific lamprey. *North American Journal of Fisheries Management*, 23(4), 1184-1192.
- Cooke, S.J., Hinch, S.G., Farrell, A.P., Patterson, D.A., Miller-Saunders, K., Welch, D.W., Donaldson, M.R., Hanson, K.C., Crossin, G.T., Mathes, M.T., Lotto, A.G., Hruska, K.A., Olsson, I.C., Wagner, G.N., Thomson, R., Hourston, R., English, K.K., Larsson, S., Shrimpton, J.M., & Van der Kraak, G. (2008). Developing a mechanistic understanding of fish migrations by linking telemetry with physiology, behavior, genomics and experimental biology: An interdisciplinary case study on adult Fraser River sockeye salmon. *Fisheries*, 33(7), 321-339. DOI: 10.1577/1548-8446-33.7.321
- Crook, D.A. (2004). Is the home range concept compatible with the movements of two species of lowland river fish? *Journal of Animal Ecology*, 73(2), 353-366.
- Croze, O., Bau, F., & Delmouly, L. (2008). Efficiency of a fish lift for returning Atlantic salmon at a large-scale hydroelectric complex in France. *Fisheries Management and Ecology*, 15(5-6), 467-476.
- Davies, P., Britton, J.R., Nunn, A.D., Dodd, J.R., Bainger, C., Velterop, R., & Bolland, J.D. (2021). Cumulative impacts of habitat fragmentation and the environmental factors affecting upstream migration in the threatened sea lamprey, *Petromyzon marinus*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(9), 2560-2574.
- Drouineau, H., Bau, F., Alric, A., Deligne, N., Gomes, P., & Sagnes, P. (2017). Silver eel downstream migration in fragmented rivers: use of a Bayesian model to track movements triggering and duration. *Aquatic Living Resources*, 30, 5.
- Ducasse, J., Leprince, Y. (1980). Etude préliminaire de la biologie des lamproies dans le bassin de la Garonne et de la Dordogne. Mémoire ENITEF-CTGREF Bordeaux, 151p.
- Durif, C. (2003). La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. 346p. Available from <http://www.theses.fr/2003TOU30011>
- Eakin, W.W. (2017). Handling and tagging effects, in-river residence time, and postspawn migration of anadromous river herring in the Hudson River, New York. *Marine and Coastal Fisheries*, 9(1), 535-548.
- FAO (2003). http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709f/x6709f13.htm Recommendations for fish stocking.
- FDAAPPMA27 (2019) [Bonnet, M.]. Etude de la reproduction de la Lamproie marine dans le département de l'Eure : Andelle, Epte, Eure, Iton, Risle - Année 2018. Rapport FDAAPPMA27, 26p.
- FDAAPPMA27 (2021) [Bonnet, M.]. Suivi partiel de la reproduction de la Lamproie marine dans le département de l'Eure. Rapport FDAAPPMA27, 20p.
- Fontaine, Y. (1994). L'argenture de l'anguille: métamorphose, anticipation, adaptation. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 335, 171-185.
- Foulds, W.L., & Lucas, M.C. (2013). Extreme inefficiency of two conventional, technical fishways used by European river lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Ecological Engineering*, 58, 423-433.
- Frank, H.J., Mather, M.E., Smith, J.M., Muth, R.M., Finn, J.T., & McCormick, S.D. (2009). What is "fallback"? metrics needed to assess telemetry tag effects on anadromous fish behavior. *Hydrobiologia*, 635, 237-249.
- Fritts, A.K., Knights, B.C., Stanton, J.C., Milde, A.S., Vallazza, J.M., Brey, M.K., Tripp, S.J., Devine, T.E., Sleeper, W., & Lamer, J.T. (2021). Lock operations influence upstream passages of invasive and native fishes at a Mississippi River high-head dam. *Biological Invasions*, 23(3), 771-794.
- Gahagan, B.I., & Bailey, M.M. (2020). Surgical implantation of acoustic tags in American Shad to resolve riverine and marine restoration challenges. *Marine and Coastal Fisheries*, 12(5), 272-289.
- Gardner, C.J., Deeming, D.C., Wellby, I., Soulsbury, C.D., & Eady, P.E. (2015). Effects of surgically implanted tags and translocation on the movements of common bream *Abramis brama* (L.). *Fisheries Research*, 167, 252-259.
- Gerlier, M., & Roche, P. (1998). A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in the upper Rhine. *Hydrobiologia*, 371(0), 283-293.
- Gräns, A., Sandblom, E., Kiessling, A., & Axelsson, M. (2014). Post-surgical analgesia in rainbow trout: is reduced cardioventilatory activity a sign of improved animal welfare or the adverse effects of an opioid drug? *PLoS ONE*, 9(4).
- Grellier, P. (1996). Caractérisation de la pêcherie de lamproie marine *Petromyzon marinus marinus*, Linné (1758) en Loire-aval pour les saisons 1988 et 1989. Rapport IFREMER, 31p.
- Grimardias, D., Chasserieu, C., Beaufile, M., & Cattaneo, F. (2022). Ecological connectivity of the upper Rhône River: Upstream fish passage at two successive large hydroelectric dams for partially migratory species. *Ecological Engineering*, 178, 106545.

- Grote, A.B., Bailey, M.M., & Zydlewski, J.D. (2014a). Movements and demography of spawning American Shad in the Penobscot River, Maine, prior to dam removal. *Transactions of the American Fisheries Society*, 143(2), 552-563.
- Grote, A.B., Bailey, M.M., Zydlewski, J.D., & Hightower, J.E. (2014b). Multibeam sonar (DIDSON) assessment of American shad (*Alosa sapidissima*) approaching a hydroelectric dam. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(4), 545-558.
- Groux, F., Therrien, J., Chanseau, M., Courret, D., & Tétard, S. (2015). Knowledge update on shad upstream migration: Fishway design and efficiency. Project LIFE09 NAT/DE/000008 - Conservation and restoration of the Allis shad in the Gironde and Rhine watersheds -Action A1. Report from WSP to ONEMA, 81p.
- Guillard, J., & Colon, M. (2000). First results on migrating shad (*Alosa fallax*) and mullet (*Mugil cephalus*) echocounting in a lock on the Rhône River (France) using a split-beam sonar, and relationships with environmental data and fish caught. *Aquatic Living Resources*, 13(5), 327-330.
- Harbicht, A.B., Castro-Santos, T., Gorsky, D., Hand, D.M., Fraser, D.J., & Ardren, W.R. (2018). Environmental, anthropogenic, and dietary influences on fine-scale movement patterns of Atlantic salmon through challenging waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(12), 2198-2210.
- Hardisty, M.W., & Potter, I.C. (1971). The general biology of adult lampreys, pp. 127-206. *In* Hardisty, M.W. & Potter, I.C. (Eds), *The biology of lampreys Vol. I.*, Academic Press, London.
- Hendricks, M.L. (2003). Culture and transplant of alosines in North America, pp. 303-312. *In* Limburg, K.E. & Waldman, J.R. (Eds), *Biodiversity, status, and conservation of the world's shads*. American Fisheries Society Symposium 35, Bethesda, Maryland.
- Herrera, M., Moreno-Valcárcel, R., De Miguel Rubio, R., & Fernández-Delgado, C. (2019). From transient to sedentary? Changes in the home range size and environmental patterns of movements of European Eels (*Anguilla anguilla*) in a Mediterranean River. *Fishes*, 4(3), 43.
- Holbrook, C.M., Jubar, A.K., Barber, J.M., Tallon, K., & Hondorp, D.W. (2016). Telemetry narrows the search for sea lamprey spawning locations in the St. Clair-Detroit River System. *Journal of Great Lakes Research*, 42(5), 1084-1091.
- Hume, J.B., Lucas, M.C., Reinhardt, U., Hrodey, P.J., & Wagner, C.M. (2020). Sea lamprey (*Petromyzon marinus*) transit of a ramp equipped with studded substrate: Implications for fish passage and invasive species control. *Ecological Engineering*, 155, 105957.
- Jadot, C. (2003). Comparaison de deux techniques de marquage pour *Sarpa salpa*: attachement externe et implantation intra-péritonéale. *Oceanologica Acta*, 26(5-6), 497-501.
- Jadot, C., Donnay, A., Acolas, M.L., Cornet, Y., & Bégout Anras, M.L. (2006). Activity patterns, home-range size, and habitat utilization of *Sarpa salpa* (Teleostei: Sparidae) in the Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 63(1), 128-139.
- Jepsen, N., Schreck, C., Clements, S., & Thorstad, E. (2005). A brief discussion on the 2% tag/bodymass rule of thumb, pp. 255-261. *In* Spedicato, M.T., Marmulla, G., & Lembo, G. (Eds), *Aquatic telemetry: advances and applications*, FAO/COISPA, Rome.
- Jonsson, B., & Jonsson, N. (2009). A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology*, 75(10), 2381-2447.
- Keefer, M.L., Peery, C.A., & Caudill, C.C. (2006). Long-distance downstream movements by homing adult Chinook salmon. *Journal of Fish Biology*, 68(3), 944-950.
- Keefer, M.L., Boggs, C.T., Peery, C.A., & Caudill, C.C. (2013b). Factors affecting dam passage and upstream distribution of adult Pacific lamprey in the interior Columbia River basin. *Ecology of Freshwater Fish*, 22(1), 1-10.
- Keefer, M.L., Caudill, C.C., Peery, C.A., & Moser, M.L. (2013a). Context-dependent diel behavior of upstream-migrating anadromous fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 96, 691-700.
- Keefer, M.L., Daigle, W.R., Peery, C.A., Pennington, H.T., Lee, S.R., & Moser, M.L. (2010). Testing adult Pacific lamprey performance at structural challenges in fishways. *North American Journal of Fisheries Management*, 30(2), 376-385.
- Kemp, P.S., Russon, I.J., Vowles, A.S., & Lucas, M.C. (2011). The influence of discharge and temperature on the ability of upstream migrant adult river lamprey (*Lampetra fluviatilis*) to pass experimental overshot and undershot weirs. *River Research and Applications*, 27(4), 488-498.
- Kerr, J., Tummers, J., Benson, T., Lucas, M., & Kemp, P. (2023). Modelling fine-scale route choice of upstream migrating fish as they approach an instream structure. *Ecological Modelling*, 478, 110210.
- Laffaille, P., Acou, A., & Guillouët, 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.
- Larinier, M. (2002). Fishways-general considerations. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 364, 21-27.
- Larinier, M., & Travade, F. (2002). The design of fishways for shad. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 364, 135-146.
- Larinier, M., Travade, F., & Dartiguelongue, J. (2000). La conception des dispositifs de franchissement, pp. 249-263. *In* Baglinière, J.L., & Elie, P. (Eds), *Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.): Ecobiologie et variabilité des populations*, Inra-Cemagref, Paris.
- Le Pichon, C. (2006). Une approche « paysage aquatique » pour une meilleure connaissance du fonctionnement des écosystèmes fluviaux et l'amélioration de la conservation des peuplements de poissons. Thèse de doctorat, spécialité écologie, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 323p.
- Le Pichon, C., & Alp, M. (2018). ANACONDHA project "Spatial analysis of functional fish habitat connectivity at the estuarine scale" Research project report from program Seine Aval 5, 101p.
- Le Pichon, C., Coustillas, J., & Rochard, E. (2015). Using a multi-criteria approach to assess post-release recovery periods in behavioural studies: study of a fish telemetry project in the Seine Estuary. *Animal Biotelemetry*, 3(1), 30.
- Le Pichon, C., Coustillas, J., Zahm, A., Bunel, M., Gazeau-Nadin, C., & Rochard, E. (2017). Summer use of the tidal freshwaters of the River Seine by three estuarine fish: Coupling telemetry and GIS spatial analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 196, 83-96.
- Lebel, I., Menella, J.Y., & Le Corre, M. (2001). Bilan des actions du plan Migrateurs concernant l'aloise feinte (*Alosa fallax rhodanensis*) sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 362-363, 1077-1100.
- Lewandoski, S.A., Hrodey, P., Miehs, S., Piszczek, P.P., & Zielinski, D.P. (2021). Behavioral responses of sea lamprey (*Petromyzon marinus*) and white sucker (*Catostomus commersonii*) to turbulent flow during fishway passage attempts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78(4), 409-421.
- Lucas, M.C., & Baras, E. (2000). Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries*, 1(4), 283-316.

- Lucas, M.C., & Frear, P. (1997). Effects of a flow-gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid. *Journal of Fish Biology*, 50(2), 382-396.
- Martin, J., Rougemont, Q., Drouineau, H., Launey, S., Jatteau, P., Bareille, G., Berail, S., Pécheyrans, C., Feunteun, E., & Roques, S. (2015). Dispersal capacities of anadromous Allis shad population inferred from a coupled genetic and otolith approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72(7), 991-1003.
- McCartin, K., Jordaan, A., Sclafani, M., Cerrato, R., & Frisk, M.G. (2019). A new paradigm in alewife migration: oscillations between spawning grounds and estuarine habitats. *Transactions of the American Fisheries Society*, 148(3), 605-619.
- Mellas, E.J., & Haynes, J.M. (1985). Swimming performance and behavior of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and white perch (*Morone americana*): effects of attaching telemetry transmitters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42(3), 488-493.
- Merg, M.L., & Le Pichon, C. (2022). Modélisation de la continuité écologique sur la Seine et ses affluents. Rapport Inrae Projet CONSACRE, 48p.
- Michelot, A. et Le Pichon, C. Déployer un réseau de télémétrie acoustique en grand fleuve navigué. Etude de l'habitat et de la libre circulation des poissons. NOVAE, Ingénierie et savoir-faire innovants, 2023. Numéro régulier #16: 11p.
- Moser, M.L., Almeida, P.R., King, J.J., & Pereira, E. (2021). Passage and freshwater habitat requirements of anadromous lampreys: Considerations for conservation and control. *Journal of Great Lakes Research*, 47, S147-S158.
- Moser, M.L., Darazsdi, A.M., & Hall, J.R. (2000). Improving passage efficiency of adult American shad at low-elevation dams with navigation locks. *North American Journal of Fisheries Management*, 20(2), 376-385.
- Mulcahy, D. M. (2011). Antibiotic use during the intracoelomic implantation of electronic tags into fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(1), 83-96.
- Nielsen L.A. (1992). Methods of marking fish and shellfish. American Fisheries Society, Special Publication 23, Bethesda, Maryland, 208p.
- Okasaki, C., Keefer, M.L., Westley, P.A., & Berdahl, A.M. (2020). Collective navigation can facilitate passage through human-made barriers by homeward migrating Pacific salmon. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1937), 20202137.
- Oliveira, J., & Ferreira, T. (1997). Abundance, size composition and growth of a thin-lipped grey mullet, *Liza ramada* (Pisces: Mugilidae) population in an Iberian River. *Folia Zoologica*, 46(4), 375-384.
- Olney, J.E., Latour, R.J., Watkins, B.E., & Clarke, D.G. (2006). Migratory behavior of American shad in the York River, Virginia, with implications for estimating in-river exploitation from tag recovery data. *Transactions of the American Fisheries Society*, 135(4), 889-896.
- Ordeix, M. (2016). Fish migration in Mediterranean rivers: a case study of the fish pass assessment in Catalonia (NE Iberian Peninsula). Doctoral dissertation, Universitat de Lleida, 232p.
- Ovidio, M., Dierckx, A., & Benitez, J.P. (2023). Movement behaviour and fishway performance for endemic and exotic species in a large anthropized river. *Limnologia*, 99, 126061.
- Ovidio, M., L Serebinski, A., Philippart, J.C., & Nzau Matondo, B. (2013). A bit of quiet between the migrations: the resting life of the European eel during their freshwater growth phase in a small stream. *Aquatic Ecology*, 47, 291-301.
- Ovidio, M., Sonny, D., Dierckx, A., Watthez, Q., Bourguignon, S., de Le Court, B., Detrait, O., & Benitez, J.P. (2017). The use of behavioural metrics to evaluate fishway efficiency. *River Research and Applications*, 33(9), 1484-1493.
- Pavlov, D.S. (1989). Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. FAO Fisheries Technical Paper, 308, Rome, FAO, 97p.
- Pereira, E., Mateus, C.S., Alves, M.J., Almeida, R., Pereira, J., Quintella, B.R., & Almeida, P.R. (2023). Connectivity patterns and gene flow among *Chelon ramada* populations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108209.
- Pereira, E., Quintella, B.R., Lança, M.J., Alexandre, C.M., Mateus, C.S., Pedro, S., Belo, A.F., Rato, A.S., Quadrado, M.F., Telhado, A., Batista, C., & Almeida, P.R. (2021). Temporal patterns of the catadromous thinlip grey mullet migration in freshwater. *Ecology*, 14(8), e2345.
- Quintella, B.R., Andrade, N.O., Koed, A., & Almeida, P.R. (2004). Behavioural patterns of sea lampreys' spawning migration through difficult passage areas, studied by electromyogram telemetry. *Journal of Fish Biology*, 65(4), 961-972.
- Quintella, B.R., Póvoa, I., & Almeida, P.R. (2009). Swimming behaviour of upriver migrating sea lamprey assessed by electro-myogram telemetry. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(1), 46-54.
- Rochard, E., Pellegrini, P., Marchal, J., Béguer, M., Ombredane, D., Lassalle, G., Menvielle, E., & Baglinière, J.L. (2009). Identification of diadromous fish species on which to focus river restoration: an example using an eco-anthropological approach (the Seine basin, France). *American Fisheries Society Symposium*, 69, 691-711.
- Rooney, S.M., Wightman, G., Ó'Conchúir, R., & King, J.J. (2015). Behaviour of sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) at man-made obstacles during upriver spawning migration: use of telemetry to assess efficacy of weir modifications for improved passage. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 115B(2), 125-136.
- Santos, J., Ferreira, M., Godinho, F., & Bochechas, J. (2005). Efficacy of a nature-like bypass channel in a Portuguese lowland river. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(5), 381-388.
- Scimabio (2020). Suivi de la migration 2019 et 2020 des aloses par vidéocomptage sur la Sèvre niortaise au niveau de la passe à poissons du barrage de la Sotterie (79). Rapport Scimabio Interface, 43p.
- Scott, W.B., & Crossman, E.J. (1973). Freshwater fishes of Canada. Fisheries Research Board of Canada Bulletin, 184, 1-966.
- Seinormigr (2021) [Grall, S., Garot, G., Lemonnier, A., Deshayes, F., Barault, A., & Potier, M.]. Contrôle des migrations des poissons grands migrateurs sur la Seine au barrage de Poses-Amfreville-sous-les-Monts - Année 2021. Rapport Seinormigr, 57p.
- Shi, X., Ke, S., Tu, Z., Wang, Y., Tan, J., & Guo, W. (2022). Swimming capability of target fish from eight hydropower stations in China relative to fishway design. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 79(1), 124-132.
- Simpfendorfer, C.A., Heupel, M.R., & Hueter, R.E. (2002). Estimation of short-term centers of activity from an array of omnidirectional hydrophones and its use in studying animal movements. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(1), 23-32.
- Smith, J.M., Mather, M.E., Frank, H.J., Muth, R.M., Finn, J.T., & McCormick, S.D. (2009). Evaluation of a gastric radio tag insertion technique for anadromous river herring. *North American Journal of Fisheries Management*, 29(2), 367-377.
- Spares, A.D., Dadswell, M.J., McLellan, N.R., & Stokesbury, M.J. (2022). Opening the door: *Alosa pseudoharengus* (alewife) passage through tide gates in two adjacent rivers on the Chignecto Isthmus, Bay of Fundy, Canada. *Northeastern Naturalist*, 29(2), 239-261.
- Sprinkle, K. (2005). Interdam movements and passage attraction of American shad in the lower Merrimack River main stem. *North American Journal of Fisheries Management*, 25(4), 1456-1466.

- Taverny, C., & Elie, P. (2010). Les lamproies en Europe de l'Ouest : Ecophases, espèces et habitats. Editions Quae, Versailles, 111p.
- Tétard, S., Feunteun, E., Bultel, E., Gadais, R., Bégout, M.L., Trancart, T., & Lasne, E. (2016). Poor oxyc conditions in a large estuary reduce connectivity from marine to freshwater habitats of a diadromous fish. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, 216-226.
- Travade, F., Bomassi, P., Bach, J.M., Brugel, C., Steinbach, P., Luquet, J.F., & Pustelnik, G. (1989). Use of radiotracking in France for recent studies concerning the EDF fishways program. *Hydroécologie appliquée*, 1/2, 33-51.
- Travade, F., & Larinier, M. (1992). Ecluses et ascenseurs à poissons. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 326-327, 95-110.
- Verhelst, P., Baeyens, R., Buysse, D., Reubens, J., Goethals, P., Pauwels, I., Vergeynst, J., Ovidio, M., Benitez, J.P., & Coeck, J. (2018). European silver eel (*Anguilla anguilla* L.) migration behaviour in a highly regulated shipping canal. *Fisheries Research*, 206, 176-184.
- Winter, J.D. (1996). Advances in underwater biotelemetry, pp. 555-590. In Murphy, B.R., & Willis, D.W. (Eds), *Fisheries techniques* 2nd edition, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Zylberblat, M., Roche, P., & Pautrat, P. (2011). Improving the Rhône River Continuum for Migratory Fish Species: a Shared Vision, *La Houille Blanche*, 97(6), 22-27, DOI: 10.1051/lhb/2011057.



Hangar C - Espace des marégraphes - Quai de Boisguilbert
76176 ROUEN

*Le Pichon C., Michelot A., Girondin M., Bau F., Talès E., Grall S., Rochard E., 2021. **Projet CONSACRE : Nouvelles connaissances sur les flux migratoires piscicoles dans l'axe fluvial Seine, fragmenté par les ouvrages de navigation.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6 et de la Zone Atelier Seine, 47 p.*

Le GIP Seine-Aval ne saurait être tenu responsable de l'utilisation et de l'interprétation des informations mises à disposition.

www.seine-aval.fr

gipsa@seine-aval.fr

Le GIP Seine-Aval est financé par

