

Déployer un réseau de télémétrie acoustique en grand fleuve navigué

Étude de l'habitat et de la libre circulation des poissons

Armand Michelot^{1,2}
Céline Le Pichon²

Correspondance
celine.lepichon@inrae.fr

Résumé.

Une partie des projets de l'équipe d'hydro-écologie de l'UR HYCAR a pour objectif opérationnel d'aider les gestionnaires des milieux aquatiques à mieux hiérarchiser leurs actions de restauration. En particulier, le projet CONSACRE (CONTinuité écologique de la Seine et intérêt des Acteurs pour sa Restauration) a l'objectif d'estimer l'état de la libre circulation des poissons (continuité écologique piscicole) sur l'axe Seine à partir du premier barrage venant de la mer (Poses dans l'Eure) et dans les biefs* successifs jusqu'à Paris. L'analyse de cette libre circulation repose sur l'acquisition de connaissances d'écologie comportementale indispensables à l'étude des espèces impactées par les activités humaines. Elle fait appel aux nouvelles technologies et notamment à la télémétrie acoustique qui bien que majoritairement déployée en milieu marin et estuarien peut répondre aux contraintes des grands fleuves navigués. Cet article décrit les éléments techniques de mise en place d'un réseau d'hydrophones fournissant des données fiables de détection des poissons dans un fleuve navigué complexe. Ce réseau doit répondre au double objectif d'étudier l'utilisation des habitats et les franchissements successifs de plusieurs ouvrages de navigation, en utilisant les trajectoires de 7 espèces de poissons migrateurs et résidents. Notre expérience montre l'importance de réaliser des tests de détection du réseau déployé, pour pouvoir l'adapter de façon optimale aux contraintes morphologiques et réglementaires liées à la navigation et aux usages de la voie d'eau. Les données recueillies par le réseau d'hydrophones nous ont permis d'étudier les trajectoires individuelles des différentes espèces, notamment d'évaluer la fonctionnalité des dispositifs de franchissement (passe à poissons) et l'utilisation de nouvelles voies de passage telles que les écluses.

Mots-clés

Poisson migrateur, télémétrie acoustique, fleuve navigué, continuité écologique, franchissement, barrage, écluse.

1 INRAE, HYCAR, Antony.

2 Actuellement à INRAE, DECOD, Rennes.

* Portion de cours d'eau navigué entre deux barrages.

Deploying an acoustic telemetry network in a large waterway

Study of the habitat and unhindered circulation of fishes

Armand Michelot ^{1,2}
Céline Le Pichon²

Correspondence

celine.lepichon@inrae.fr

Abstract

Some of the projects of the hydro-ecology team of the UR HYCAR unit are designed to provide operational assistance to the managers of aquatic environments to better rank their restoration activities. In particular, the CONSACRE (Ecological continuity of the Seine and interest of actors for its restoration) project is aimed at estimating the state of unhindered fish circulation (ecological fish continuity) on the Seine River as from the first dam between the river and the sea (Poses in the Eure department) and in the successive reaches until Paris. The analysis of this unhindered circulation is based on the acquisition of behavioral ecological knowledge essential for studying species impacted by human activities. It relies on new technologies and in particular acoustic telemetry which, although mostly used in marine and estuary environments, can respond to the constraints of large waterways. This article describes the technical elements involved in implementing a network of hydrophones that provide reliable detection data on fishes in a complex waterway. This network must fulfil the double objective of studying the utilization of habitats and the successive crossings of several navigation structures, by using the trajectories of 7 species of migrating and resident fishes. Our experiment shows the importance of carrying out detection tests with the network deployed to enable optimizing adaptation to the morphological and regulatory constraints linked to navigation and the uses of a waterway. The data collected by the hydrophone network have allowed us to study the individual trajectories of different species, and in particular to assess the efficiency of crossing systems (fish passes) and the use of new passageways such as locks.

Keywords

Migrating fish, acoustic telemetry, waterway, ecological continuity, crossing, dam, lock.

¹ INRAE, HYCAR, Antony.

² Actuellement à INRAE, DECOD, Rennes.

Introduction

Les travaux de recherche de l'unité de recherche HYCAR concernent les ressources en eau, les risques liés à l'eau et la restauration des milieux aquatiques soumis à une forte pression humaine. Au sein de l'unité, l'équipe d'Hydro-Écologie Fluviale (HEF) est spécialisée dans la modélisation écologique et la restauration des rivières anthropisées. Elle mène des projets avec pour objectif d'aider les gestionnaires des milieux aquatiques à hiérarchiser des actions de restauration, en particulier de la continuité écologique piscicole.

C'est dans ce cadre que le plan interrégional (CPIER) Vallée de la Seine (2015-2022) a confié à l'équipe HEF la coordination du projet CONSACRE (CONTinuité écologique de la Seine et intérêt des ACteurs pour sa Restauration, 2018-2022). Ce projet doit permettre de hiérarchiser les actions de restauration de la continuité écologique de la Seine et ses affluents. C'est pourquoi, il est important d'estimer, en amont, l'état de la libre circulation des poissons (continuité écologique piscicole) sur l'axe Seine à partir du premier barrage venant de la mer (Poses dans l'Eure) et dans les biefs successifs jusqu'à Paris.

L'analyse de la libre circulation des poissons repose sur l'acquisition de connaissances d'écologie comportementale indispensables à l'étude des espèces impactées par les activités humaines. Elle contribue ainsi à leur préservation dans un contexte d'érosion de la biodiversité. Parmi les méthodes d'écologie comportementale, la surveillance à distance permet de recueillir des informations précieuses de comportement des animaux en liberté dans leur environnement naturel. La bio-télémetrie est une technologie qui consiste à fixer sur un animal un dispositif électronique qui va envoyer des données horodatées à des récepteurs. Pour les organismes aquatiques qui ne respirent pas à la surface, comme les poissons, la télémetrie acoustique permet d'étudier le comportement sur de grandes distances (200-500 m) dans des milieux profonds, en eau douce comme en milieu marin (milieu côtier, lac, estuaire, grand fleuve). Cette technologie utilisée principalement en milieu marin, présente certains défis de mises en œuvre en grand fleuve navigué comme la Seine. Elle a été utilisée sur l'estuaire de la Seine pour étudier l'utilisation des habitats de quelques espèces de poissons migrateurs (Le Pichon *et al.*, 2017).

INSTALLER UN RÉSEAU D'HYDROPHONES ACCOUSTIQUES POUR DÉTECTER LE PASSAGE DES POISSONS DANS LA SEINE

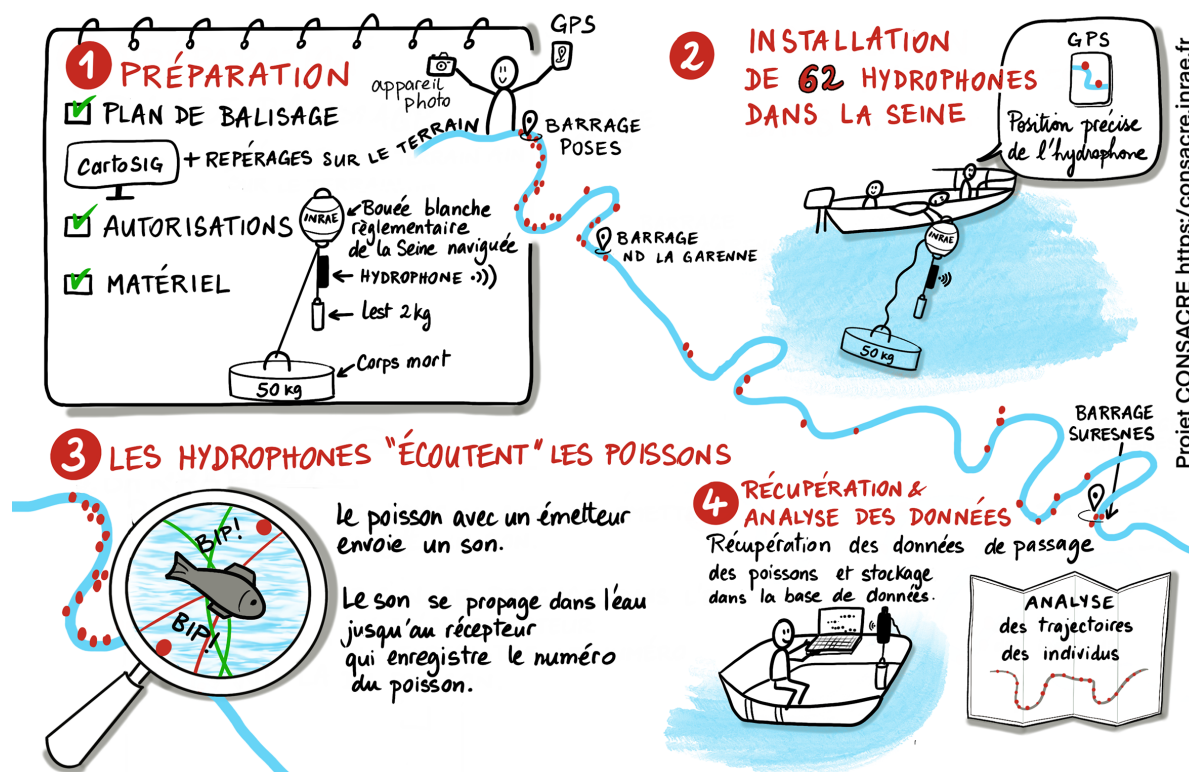


Figure 1. La procédure de balisage et récupération des données de détections des poissons (sketchnote réalisé par Véronique Marracci).

L'expérimentation réalisée dans le cadre de CONSACRE visait à marquer, au premier ouvrage bloquant venant de la mer, 7 espèces parmi les grands migrateurs et les résidents. Les objectifs sont d'étudier leur utilisation des habitats, l'étendue de leurs déplacements (trajectoires) et leur progression sur l'axe Seine et ses affluents. Ces trajectoires spatio-temporelles sont calculées en utilisant les données de détection des individus par télémétrie acoustique, d'où la nécessité de mettre en place un réseau fiable de récepteurs acoustiques (hydrophones). Cet article décrit la mise en place du réseau d'hydrophones qui fournit les données de détection des poissons dans le cadre de CONSACRE, en 2020 à 2021 : préparation du balisage et du matériel, installation des hydrophones, tests de capacité du réseau d'écoute (Figure 1).

Concevoir un réseau de télémétrie acoustique

Préparation du matériel et du réseau d'hydrophones

Matériel utilisé

La télémétrie acoustique utilise la transmission de sons à des fréquences ultrasonores (20 à 500 kHz) qui sont nettement moins absorbées en immersion que des fréquences radio (Figure 2). Parmi les fabricants existants, nous avons utilisé le système acoustique de la marque VEMCO, leader mondial avec 20 000 hydrophones déployés dans le monde. Il est conçu pour une transmission maximum de données et un minimum d'erreur et utilise les fréquences 69 et 180 kHz pour maximiser la portée de la transmission en eau douce ou salée.

Hydrophones

L'hydrophone VR2W 69 kHz est un récepteur conçu pour être installé sur une position immergée fixe (mouillage) afin de détecter la présence/absence d'émetteurs codés. Ce modèle a une grande capacité de stockage de données (1,6 millions de détections) et une autonomie moyenne constructeur de 15 mois, suffisantes pour notre étude. Il est fiable et robuste, testé dans la partie estuarienne de la Seine soumise à marée (Le Pichon *et al.*, 2017). Un nombre important d'hydrophones sont mobilisables pour notre étude (62).

Émetteurs

Les émetteurs génèrent un signal acoustique par la vibration d'un anneau en céramique compact qui ne nécessite pas d'antenne, contrairement à la télémétrie radio. Les marques acoustiques sont ainsi de petite taille et posent moins de problèmes lors de l'implantation dans le poisson. Le signal est codé et permet le suivi simultané de nombreux individus utilisant une même fréquence d'émission. Parmi les modèles d'émetteurs disponibles, nous avons utilisé le modèle V9-2L car son poids (4,7 g) est compatible avec celui des individus matures des espèces étudiées (poids supérieur à 235 g). Il est recommandé d'utiliser un poids d'émetteur dans l'eau inférieur à 1,25 % du poids du poisson dans l'air (Winter, 1996). Sa fréquence d'émission est aléatoirement comprise entre 45 et 90 s, sa durée de vie est estimée à 512 jours.

Positionnement théorique des hydrophones

L'environnement aquatique est complexe et les conditions acoustiques fluctuantes peuvent conduire à des distances de détection variables dans le temps des hydrophones. Les

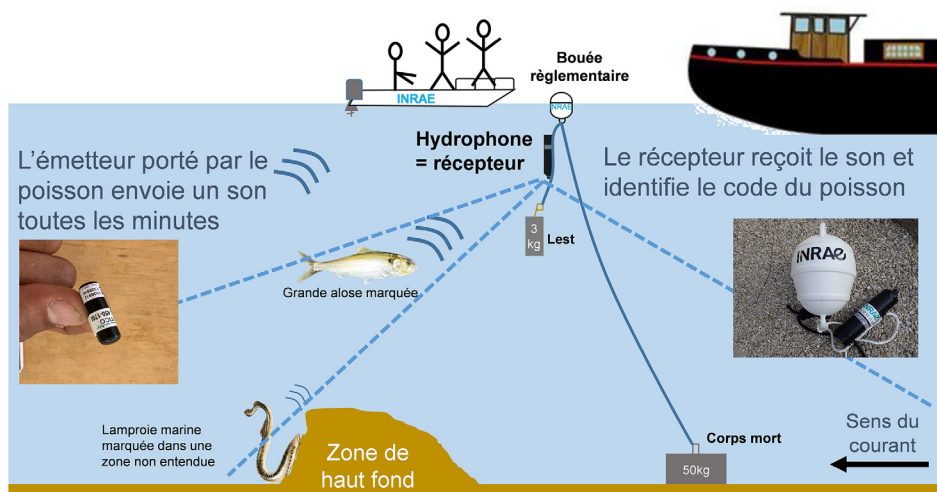


Figure 2. Schéma de principe de la télémétrie acoustique.

conditions acoustiques varient en lien avec la bathymétrie, les conditions météorologiques saisonnières, le trafic fluvial et la présence de végétaux. Aussi, les capacités de détection du réseau d'hydrophones s'avèrent-elles cruciales pour fournir des positionnements fiables et précis des individus, permettant des analyses pertinentes de leurs trajectoires spatio-temporelles.

Un test préalable de portée de détection des hydrophones a été réalisé en lac pour établir l'espacement approprié des récepteurs. Une distance de détection maximale de 250 m a été nécessaire pour obtenir 90 % de signaux détectés par rapport aux signaux émis. Cette distance de détection a été utilisée dans un SIG pour établir une carte globale de positionnement théorique des hydrophones qui permette de détecter les trajectoires des poissons selon la configuration du site. Pour détecter les poissons dans le chenal, les hydrophones sont placés en « porte », un sur chaque rive, afin d'éviter les pertes de détections liées au passage des bateaux. Pour étudier les voies de passage, les hydrophones doivent être placés en fonction du nombre de chenaux et de bras secondaires. Dans les linéaires présentant des ouvrages ou des confluences, nous avons placé des

hydrophones seulement en aval et en amont des ouvrages de navigation ainsi que dans les entrées d'affluents. Ainsi, l'ensemble des positionnements nécessaires détermine le nombre d'hydrophones à placer.

L'étude du profil bathymétrique du cours d'eau est ensuite très utile pour définir le positionnement plus précis des hydrophones. Les ondes acoustiques pouvant être stoppées par les hauts fonds, il convient donc d'éviter de positionner un hydrophone dans des zones qui constituent des barrières à la propagation des ondes acoustiques et celles qui comportent des fonds trop irréguliers (exemple figure 2). À partir des relevés bathymétriques (résolution 2 m) opérés par les Voies Navigables de France (VNF), nous avons dressé un profil bathymétrique sur chaque zone de positionnement théorique à l'aide d'une couche SIG comprenant les cotes altimétriques de rive à rive (Figure 3). Outre l'interdiction de positionnement dans les chenaux de navigation, des critères d'éloignement à la rive, aux zones de vitesses pour les sports nautiques, au stationnement de bateaux ou aux postes de pêches ont aussi été considérés afin de limiter les problèmes de positions gênantes pour d'autres usagers de la voie d'eau.

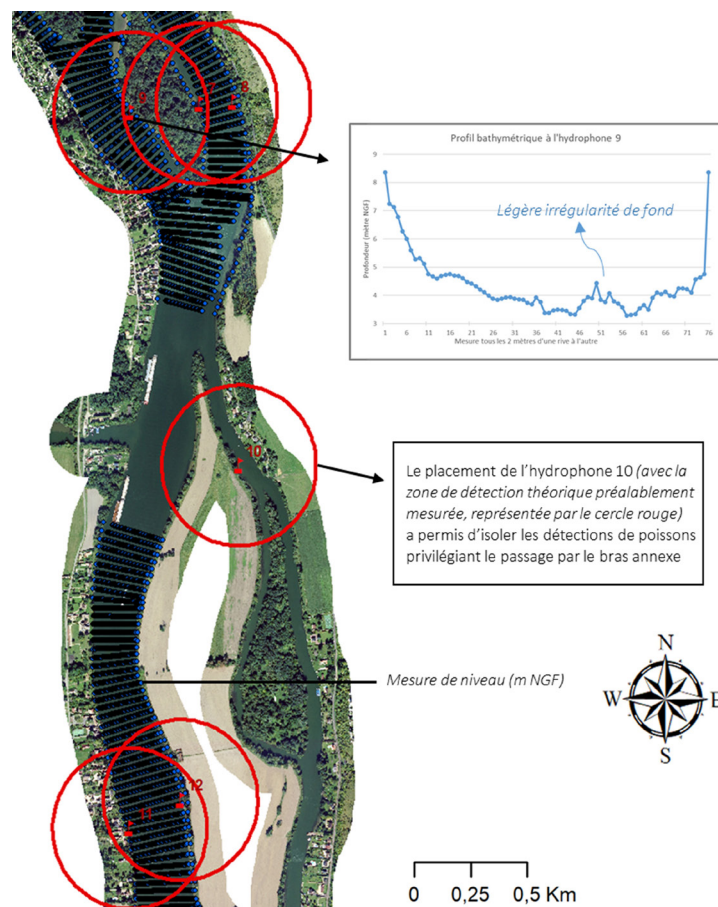


Figure 3. Exemple de positionnement théorique des hydrophones du réseau « habitats » à l'aide de la bathymétrie et de l'enveloppe théorique de détection (cercle rouge 250 m de rayon). Le profil bathymétrique à l'hydrophone 9 suit les points du transect du sondeur (m NGF).

La cartographie de positionnement théorique 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 de positionnement ont été communiquées aux principaux usagers de la voie d'eau (bateaux commerciaux via « l'avis à la batellerie », bases de loisirs et clubs nautiques, communes concernées, fédération de pêche...). De même, des autorisations ont été demandées à des riverains et des communes afin de pouvoir accéder aux cales de mise à l'eau, qui sont rares et souvent difficiles d'accès (barrières) sur la Seine. Le positionnement de certains hydrophones, notamment dans des affluents, a nécessité une convention avec les propriétaires riverains. Grâce à ces précautions, nous n'avons perdu que 10 % des hydrophones, essentiellement pour cause de collisions ou de vandalisme, ce qui est acceptable pour une expérimentation en milieu naturel soumis aux usages multiples.

Le secteur étudié s'étend sur un linéaire allant de l'aval 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 4). Ce linéaire complet, dit secteur « continuité », cible principalement l'étude du franchissement des ouvrages, où le réseau d'hydrophones (n=32) couvre l'aval et l'amont de chaque barrage ainsi que la confluence avec les principaux affluents. Le secteur « habitats », emboîté dans le secteur « continuité », s'étend sur un linéaire de 40 km entre les barrages de Poses et Port-Mort composé de nombreuses îles et bras secondaires (zoom, Figure 4). Il

est couvert par un réseau d'hydrophones qui a été densifié (n=33) pour étudier finement l'utilisation des habitats.

Installation et test du réseau d'hydrophones

Des réseaux d'hydrophones fixes ont été installés en 2020 et 2021 (Figure 5) en utilisant la cartographie de positionnement théorique réalisée et en l'adaptant aux contraintes locales rencontrées : présence de barges stationnées aux positions prévues, contraintes hydrauliques ponctuelles (courants impactants), postes de pêches repérés, trop visibles ou accessibles des riverains.

Logistique d'installation des stations d'écoute (hydrophones et mouillage)

Les hydrophones sont mouillés dans la Seine grâce à un système d'ancrage par corps-mort associé par un cordage à une bouée blanche (réglementaire sur la Seine selon le Règlement Général de Police). Sur la bouée est renseigné un numéro de téléphone et le logo INRAE. La longueur du cordage à chaque station d'écoute est calculée en fonction de la hauteur d'eau modélisée à l'aide du modèle hydrodynamique Prose-PA (Wang *et al.*, 2019). Une marge de sécurité est ajoutée en fonction de la différence entre la hauteur d'eau modélisée en crue et celle en étiage.

L'hydrophone est, quant à lui, associé à la bouée via un cordage de 2 m avec une orientation du capteur vers le fond (Figure 5B). Pour maintenir cette orientation malgré

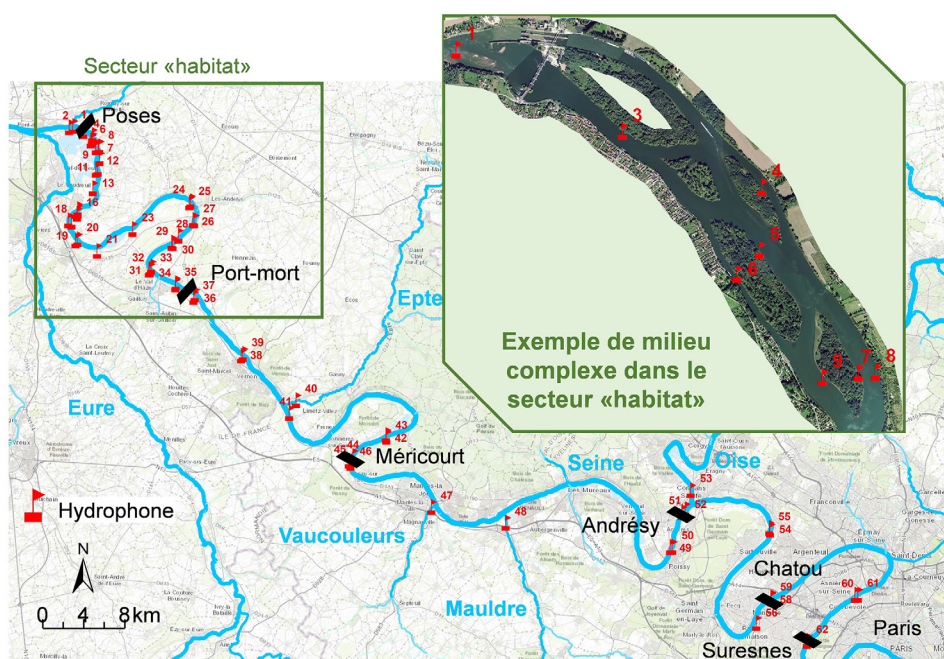


Figure 4. Cartographie du réseau d'hydrophones déployé en 2020 du barrage de Poses au barrage de Suresnes.



Figure 5. Installations matérielles : (A) montage des hydrophones dans les affluents peu profonds ; (B) mouillage de l'hydrophone dans le chenal ; (C) ancrage latéral en entrée d'écluse ; (D) moyens nautiques ; (E) relevé données des stations d'écoute

le courant un lest est attaché à l'hydrophone. Dans les affluents peu profonds, l'installation est réalisée par un positionnement au fond sans bouée, le capteur vers le haut (Figure 5A). Dans le cas particulier de l'amont des barrages, souvent très profonds, l'ancrage se fait par un cordage fixé sur le bord d'une entrée d'écluse, sans gêner les bateaux (Figure 5C).

Les corps morts, pour les deux types de montage, ont été réalisés avec des pneus usagés, remplis de béton hydrofuge (de 30 à 50 kg) et munis d'un arceau en fer à béton, auquel est accroché tout le dispositif. Leur forme permet un bon ancrage au sol, par effet ventouse, dans les conditions hydrodynamiques de la Seine. Les lests de 3 kg sont réalisés en béton coulé dans des bouteilles d'eau d'1,5 L découpés en partie haute et munis d'un anneau en fer à béton. Le bateau utilisé pour la pose du matériel, dans la Seine et l'Oise, est un Boston Whaler, bien adapté pour la pose manuelle du matériel avec un pont proche de l'eau. L'utilisation d'un sondeur lors du mouillage a permis de vérifier que la profondeur était en adéquation avec la longueur de corde.

Tests de détection du réseau d'hydrophones

Objectifs

Les tests de détection ont été réalisés pour vérifier la capacité individuelle d'écoute des hydrophones dans un milieu complexe, présentant notamment divers bras et îles, ainsi que pour déterminer l'enveloppe globale de détection du réseau. Les tests ont été réalisés en 2020 sur un linéaire de

40 km entre le barrage de Poses et celui de Notre-Dame-La-Garenne, partie « habitat » du réseau d'hydrophones (Figure 4), et en 2021 sur la partie « continuité » du réseau d'hydrophones, où l'on s'intéresse principalement au franchissement des ouvrages par les individus ainsi qu'à leur voie de passage vers l'amont.

Mode opératoire

Trois embarcations ont été utilisées, en 2020, afin de couvrir le chenal et les rives du secteur « habitat » : un zodiac motorisé, qui naviguait préférentiellement au centre du chenal, et deux kayaks longeant les deux rives (Figure 5D), afin d'évaluer l'effet potentiel du bruit du moteur sur les détections. L'allure moyenne des embarcations devait rester entre 3-6 km.h⁻¹, pour correspondre aux vitesses de pointe potentielles de certaines espèces migratrices (grande alose : 1-6 km.h⁻¹). Les tests de 2021 ont été réalisés seulement à l'amont des ouvrages, nécessitant un seul kayak. Le tractage des émetteurs par les trois embarcations s'est effectuée via un fil nylon en 50/100^e de 1 m environ, lequel était relié à un petit filet contenant l'émetteur et permettant une bonne diffusion du son. Afin de faire couler l'émetteur malgré la vitesse, nous avons utilisé du matériel de pêche de type « cranckbait » non bruiteur et flottant. Ce petit poisson leurre, possédant une grande bavette, est relié au filet de l'émetteur. Lorsque le kayak navigue, la bavette fait plonger le leurre et l'émetteur à 1 m maximum (Photo Figure 8). Nous avons enregistré les traces de nos déplacements (un point toutes les 5 s) sur un GPS Garmin et sur la version gratuite de l'application OsmAnd pour smartphone. Cette

application permet de visualiser en direct le trajet effectué et de contrôler notre vitesse.

Les détections reçues par les hydrophones ont été ensuite associées aux positions de l'émetteur (points de la trace) grâce aux horodatages. Les points de la trace les plus synchrones des détections ont été sélectionnés, en respectant un ordre chronologique où les détections sont postérieures aux émissions. La visualisation des points des trois traces (kayaks rive droite et rive gauche et zodiac dans le chenal) qui ont été détectés par chaque hydrophone a été effectuée sur le SIG (Figure 6).

Analyse des résultats

La figure 6 montre un exemple d'enveloppes de détection d'une porte d'hydrophones (19 et 20), tracées autour des positions extrêmes de détection. Les enveloppes en rouge et bleu incluent toutes les détections de chaque hydrophone ; leur recouvrement est important. Le cœur d'écoute correspond à un linéaire de 1 200 m (distance de détection : 600 m) où la fréquence de détection est élevée et proche de la période d'émission des émetteurs (45-90 s). On observe une asymétrie de détection rive droite/rive gauche lié au tracé sinueux du fleuve. L'hydrophone 20 situé dans la partie concave de la courbe aura une distance de détection plus faible sur la rive où il est placé, contrairement à son binôme sur la rive convexe.

La distance théorique de 250 m (500 m de linéaire) pour une fréquence maximale de détection s'est avérée dépassée dans tous les cas, confirmant l'efficacité des portes

d'hydrophones à détecter le passage des poissons. Ces distances sont évaluées entre 800 et 1 500 m sur un secteur avec chenal navigué et bras secondaires (Figure 7).

Sur certains secteurs, le positionnement des hydrophones, basé sur une distance de détection sous-estimée, peut entraîner des difficultés d'analyse des voies de passage. C'est le cas notamment quand un hydrophone placé dans un bras secondaire possède une enveloppe d'écoute qui peut aller jusqu'au chenal (cas hydrophone 10, Figure 3). Ces tests permettent, dans le même temps, de vérifier la fonctionnalité du matériel et de remplacer précocement un appareil défectueux.

Concernant les tests de détection des voies de passage en amont des ouvrages, ils ont été efficaces pour trois ouvrages sur les quatre testés. Les enveloppes obtenues avec ces tests au niveau des ouvrages de Port-Mort/Notre Dame la Garenne ne se chevauchent pas (Figure 8). La présence de l'île facilite la distinction des deux enveloppes de détection, l'hydrophone 15 détecte les passages par les passes à poissons, et l'hydrophone 16, les passages par les écluses. Dans le cas où les enveloppes se chevauchent après le test, un réajustement des positions des hydrophones doit être mis en œuvre.

L'efficacité des détections lors des deux types de test peut être comparée avec les détections réelles de trajectoires de poissons. L'observation de la trajectoire complète d'un individu à l'aide du logiciel VUE (VEMCO) montre l'efficacité de sa détection par chaque hydrophone (Figure 9). Chaque porte d'hydrophones (7-8, 9-10, 11-12 etc.) détecte bien le

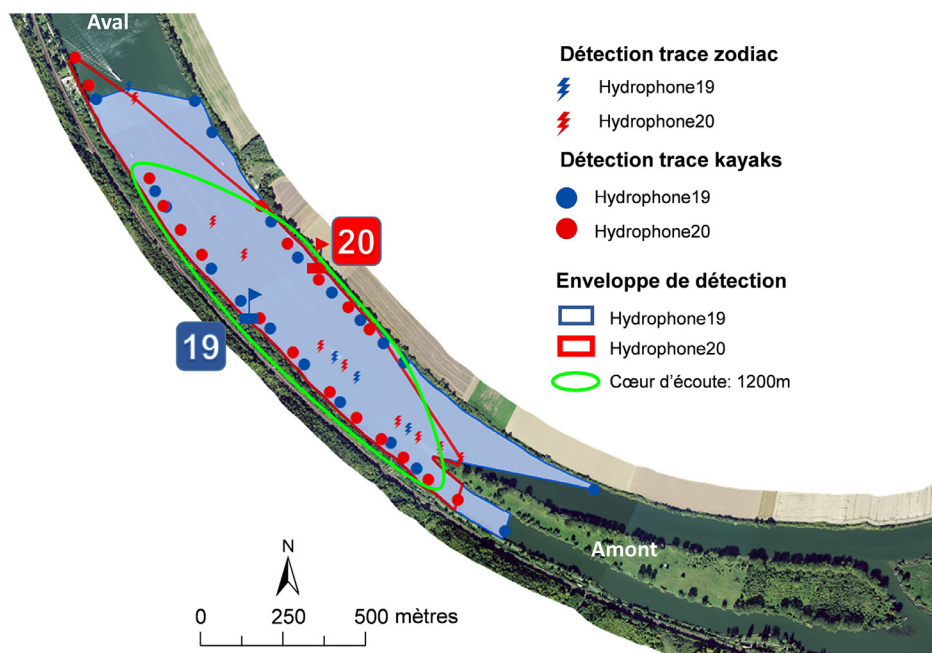


Figure 6. Exemple d'enveloppes de détection sur des hydrophones placés en porte dans le chenal de navigation.

passage des individus et une asymétrie de détection est visible sur certaines (encadré noir, Figure 9). Cet individu présente aussi un coeur de détection (14 détections en 20 mn), ce qui permet d'estimer une vitesse de nage à 1,4 km.h⁻¹.

Sur cette trajectoire, on observe aussi des détections pendant plusieurs jours sous le barrage, puis des détections indiquant un franchissement par les écluses.

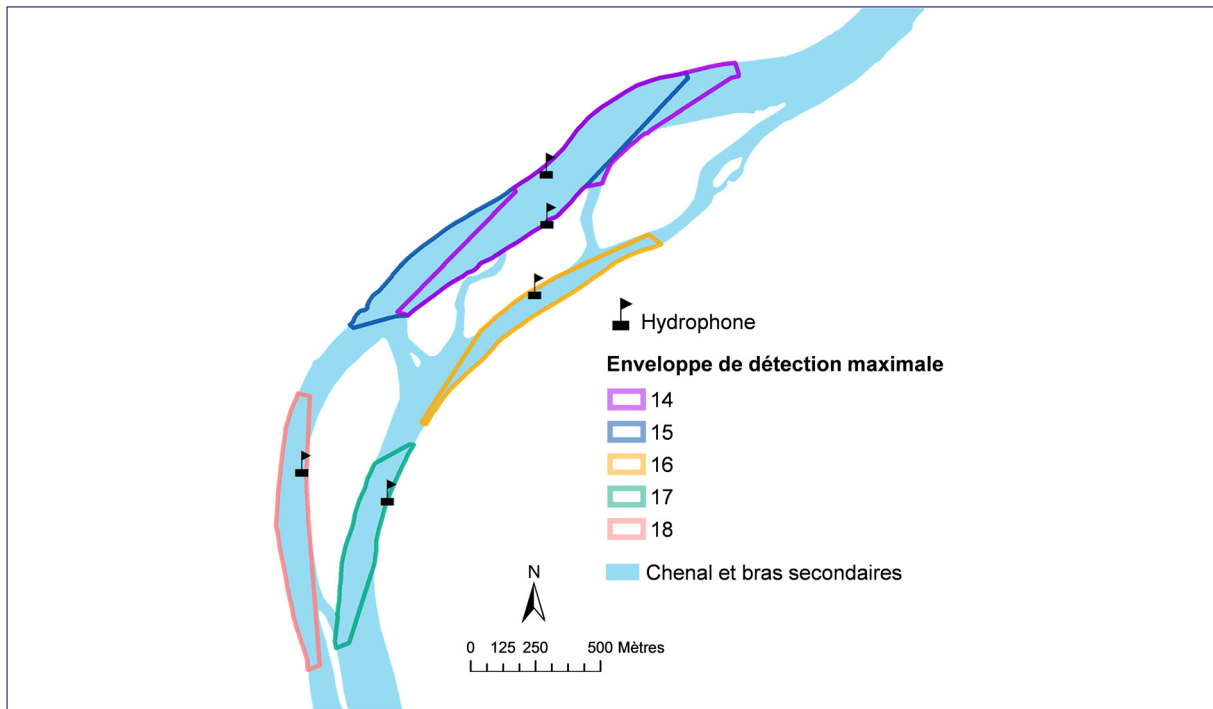


Figure 7. Exemples d'enveloppes de détection obtenues dans un secteur avec plusieurs îles.

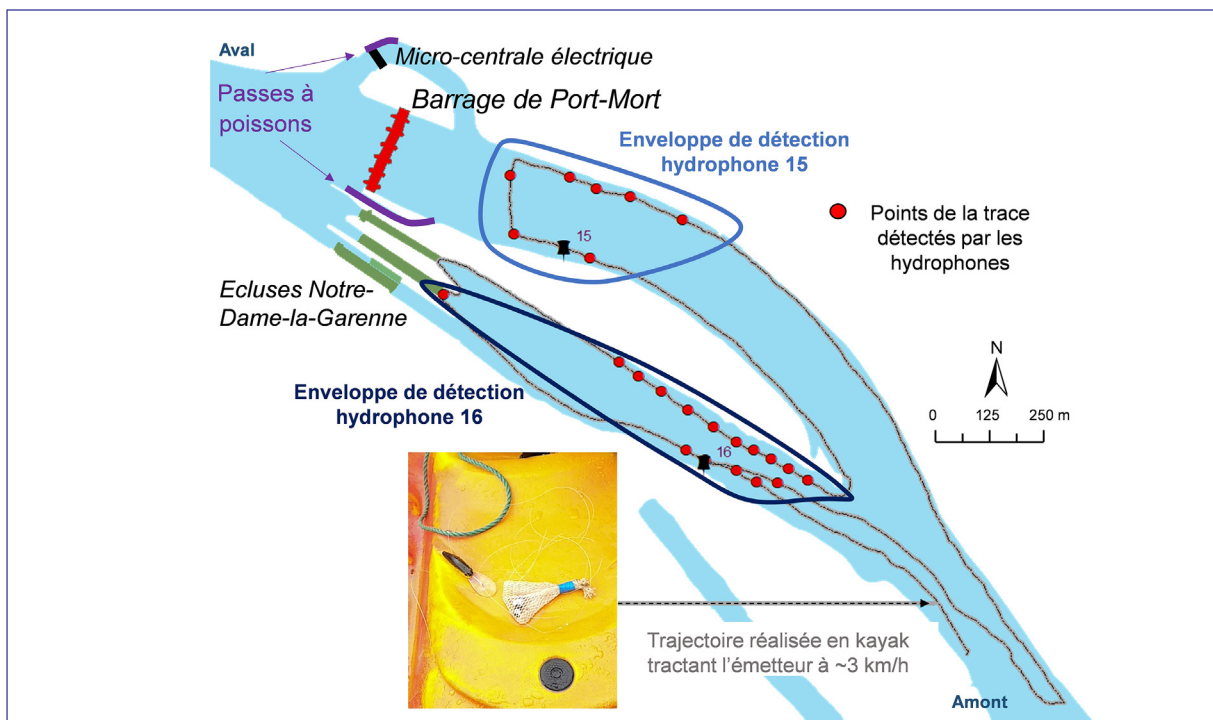


Figure 8. Test de capacité de détection des hydrophones en amont des ouvrages pour évaluer les voies de passage.

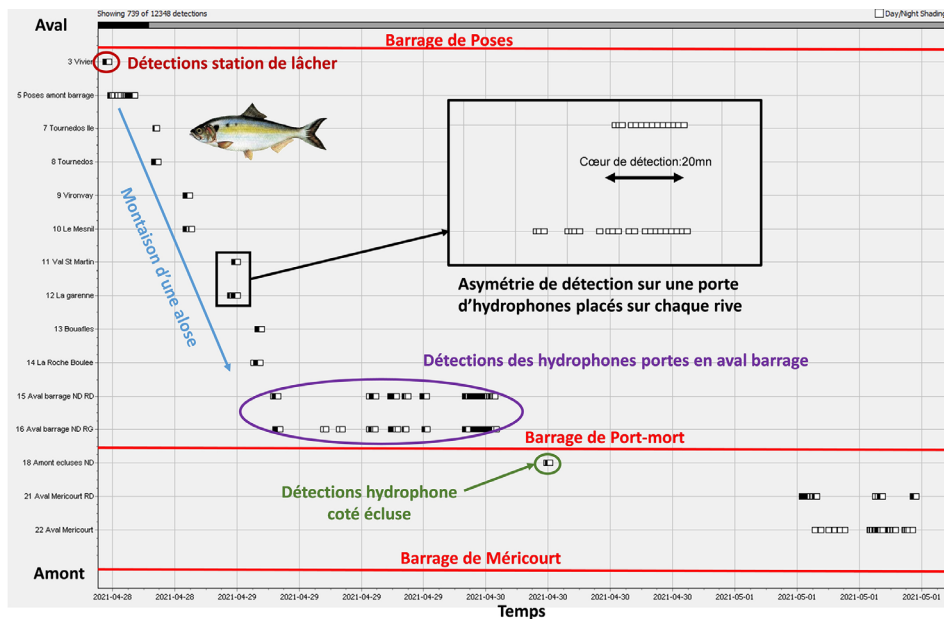


Figure 9. Visualisation spatio-temporelle des détections d'une alose (petits carrés noirs) à l'aide du logiciel VUE (VEMCO)

Difficultés rencontrées

Diverses contraintes sont apparues lors de la réalisation de ces tests. Nous avons confirmé la moindre efficacité du test avec l'utilisation du zodiac, embarcation motorisée. Les détections sont moins fréquentes car le bruit généré par le moteur crée des interférences sonores. Il faut donc utiliser, si possible, des moyens de navigation à la rame (kayak) pour être pleinement efficace même si ceux-ci ne sont pas toujours compatibles avec les conditions de navigation, en termes de sécurité et de courantologie. La navigation en kayak demande une certaine rigueur et de plus grandes précautions au niveau de la sécurité, notamment en amont des barrages. Le matériel embarqué doit être, si possible, IP68 (étanche à l'eau et à la poussière) et attaché à l'embarcation ou au pilote. De plus, le tractage de l'émetteur avec un poisson leurre flottant possédant une grande bavette

(crankbait) impose de garder une certaine vitesse pour que la bavette fasse couler l'émetteur. Ce point peut être résolu grâce à l'utilisation d'un crankbait dit « *suspending* » (qui reste dans la colonne d'eau) ou « coulant ». Cependant cela augmente le risque de perte, car le matériel ne remonte pas à la surface en cas de casse. Autre point à considérer en fonction des cours d'eau, l'encombrement en hydrophytes/algues peut amener à saturer le dispositif qu'il faudra nettoyer plus ou moins souvent en fonction des zones. Sur l'ensemble des ouvrages testés, seules les enveloppes de détection des hydrophones en amont des ouvrages de Chatou n'ont pas permis de distinguer les voies de passage (Figure 10). Les contraintes de positionnement de l'hydrophone du côté des écluses étaient fortes, compte tenu des règles de sécurité vis-à-vis du transport fluvial.

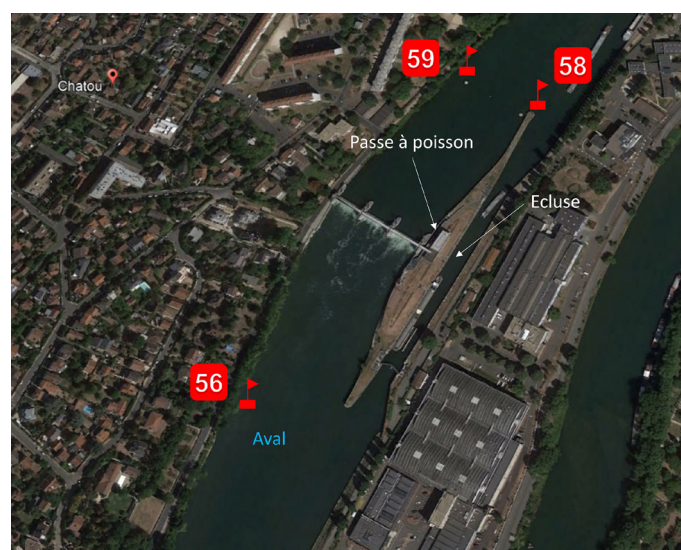


Figure 10. Vue aérienne des ouvrages de Chatou

Conclusion

La télémétrie acoustique, utilisée dans le cadre de cette expérimentation, s'est avérée efficace pour appréhender le comportement individuel de la faune piscicole en grand fleuve navigué (Le Pichon et coll., 2022). L'expérimentation et les tests de détection que nous avons réalisés se sont avérés pertinents pour étudier les déplacements des poissons, liés à l'utilisation des habitats, dans des secteurs complexes avec divers bras secondaires et des ouvrages de navigation présentant de multiples voies de passages potentielles. Grâce à une densification du réseau d'hydrophones et l'utilisation de couples d'hydrophones dans les bras navigués, nous avons ainsi pu délimiter les zones les plus utilisées par les individus (domaines vitaux). La télémétrie acoustique fournit aussi des connaissances pertinentes sur les migrations sur de longues distances, par un positionnement judicieux des hydrophones en amont des ouvrages et infrastructures de navigation. Nous avons pu, par exemple,

distinguer les franchissements des ouvrages par les individus à travers les passes à poisson ou à travers les écluses. Toutefois, la mise en place d'un tel réseau d'hydrophones, nécessite une mobilisation technique et financière importante. Notre expérience montre l'importance de réaliser des tests de détection du réseau déployé, si possible avant d'effectuer la phase de marquage, pour pouvoir l'adapter de façon optimale. Un autre point de vigilance est la communication autour de la présence du réseau d'hydrophones. En effet, il est important d'informer les usagers du fleuve et les riverains, pour éviter la détérioration du matériel, mais aussi pour sensibiliser le grand public à nos thématiques de recherche. Les données que nous avons recueillies par le réseau d'hydrophones nous ont permis d'étudier les trajectoires individuelles des différentes espèces, notamment d'évaluer la fonctionnalité des dispositifs de franchissement (passe à poissons) et l'utilisation de nouvelles voies de passage telles que les écluses (Le Pichon et coll., 2022). ■

Références

Emetteurs : <https://www.oceans-research.com/wp-content/uploads/2016/09/v9-coded-2.pdf>

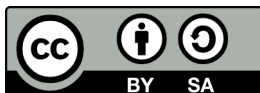
Hydrophones : <http://www.oceans-research.com/wp-content/uploads/2016/08/vr2w-manual.pdf>

Le Pichon C. *et al.* (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, pp. 83-96.

Le Pichon *et al.* (2022). Projet CONSACRE. Nouvelles connaissances sur les flux migratoires piscicoles dans l'axe fluvial Seine, fragmenté par les ouvrages de navigation. 2022 : Rapport GIP Seine Aval. 28p.

Wang S., Flipo N., Romary T. (2019). Oxygen data assimilation for estimating micro-organism communities' parameters in river systems. *Water Research*, 165, 115021.

Winter J.D. (1996) Advances in Underwater biotelemetry, in *Fisheries Techniques*, B.R. Murphy and D.W. Willis, Editors. American



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA). <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « NOV'AE », la date de sa publication et son URL.