



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI.

Optimisation d'une méthode non intrusive de l'étude des populations de poissons en lac : l'hydro-acoustique

Jean GUILLARD^{1,2}, Jean-Marc BAUDOIN^{2,3}, Chloé GOULON^{1,2}

¹ Univ. Savoie Mont Blanc, INRAE, CARTEL, Thonon-les-Bains, France.

² Pôle ECLA, OFB-INRAE-USMB, Aix-en-Provence, France.

³ Office français de la biodiversité (OFB), Aix-en-Provence, France.

Correspondance : Jean GUILLARD, jean.guillard@inrae.fr

L'hydro-acoustique est une méthode non intrusive d'échantillonnage des populations de poissons en écosystèmes lacustres qui permet d'estimer leur abondance et d'étudier leurs relations avec l'écosystème. Des travaux menés dans le cadre du partenariat OFB-INRAE ont permis de valider et préciser les recommandations de la norme européenne de méthode d'échantillonnage de poissons lacustres par hydro-acoustique, et d'apporter des éléments d'amélioration vis-à-vis des protocoles recommandés. En parallèle, plusieurs projets ont utilisé les données acoustiques générées afin de répondre à des enjeux de gestion ou des questions d'écologie.

Introduction

L'étude des populations de poissons en milieux lacustres est principalement basée sur la méthodologie standard européenne (NF EN 14757) utilisant des filets maillants pour capturer des individus et procéder à des mesures biométriques. Ces méthodes demandent des ressources humaines importantes durant plusieurs jours sur le terrain et conduisent à la mort ou la mutilation des animaux prélevés, ce qui est de moins en moins acceptable dans le cadre d'une surveillance écologique. Par ailleurs, les études réalisées pour la standardisation des pêches aux filets maillants montrent une importante sélectivité des espèces et des tailles prélevées, en fonction des engins utilisés, ce qui conduit à une vision partielle des peuplements de poissons, et notamment des structures en taille et de la biomasse. L'hydro-acoustique est une méthode reconnue (Simmonds et MacLennan, 2005) pour l'évaluation des populations de poissons et pour l'étude de leurs relations avec l'écosystème, aussi bien dans le milieu marin que dans les lacs, les réservoirs et les cours d'eau (Rudstam *et al.*, 2012). Cette méthode, non intrusive, fait partie intégrante des procédures d'échantillonnage des peuplements de poissons utilisables pour la surveillance des lacs et des grands cours d'eau qu'impose la directive cadre sur l'eau (DCE) et a fait l'objet d'une normalisation par le Comité européen de normalisation

(CEN). Les recherches réalisées par l'UMR CARTEL¹ dans le cadre des projets de l'Office français de la biodiversité (OFB) puis au sein du Pôle R&D ECLA² doit permettre de disposer d'une nouvelle méthode standardisée pour l'échantillonnage des peuplements de poissons lacustres (tailles et biomasse), à la fois non impactante pour les espèces suivies et peu consommatrice de moyens humains pour les structures la déployant. Cela s'avère particulièrement intéressant dans le cadre des programmes de surveillance DCE, mais aussi pour tout autre suivi scientifique ou réglementaire sur des milieux aquatiques profonds. Ces travaux méthodologiques réalisés à partir des protocoles inscrits dans la norme, mais aussi le développement et la mise en œuvre d'un engin autonome de surface, en collaboration avec la société CT2MC, ainsi que des approches novatrices utilisant les performances de la nouvelle génération de sondeurs, permettent notamment des avancées pour améliorer le déploiement de la méthode hydro-acoustique à des fins de gestion et de projets de recherches.

Protocoles d'utilisations et normalisation

Dans le cadre de la standardisation des méthodes européennes pour la surveillance des masses d'eau, la méthode hydro-acoustique a fait l'objet d'une norme

1. Unité mixte de recherche INRAE-USMB CARTEL : Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques et les écosystèmes limniques.

2. Pôle de recherche et développement « Ecosystèmes Lacustres » OFB-INRAE-USMB.

élaborée en 2014 (prEN 15910, *Water quality – Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods*). Ce document décrit les protocoles à mettre en place pour échantillonner et évaluer les populations de poissons dans les grandes rivières et les lacs en utilisant un équipement hydro-acoustique. Les méthodes d'acquisition, les paramètres à choisir ainsi que le traitement des données sont explicités. Nos travaux avaient pour objectif de préciser les conditions d'acquisition de certains paramètres inscrits dans la norme afin que les données issues de l'utilisation de ces méthodes puissent être comparées entre elles avec fiabilité, que ce soit entre écosystèmes ou au sein d'un même écosystème. La norme est accompagnée de références de travaux publiés. Les travaux présentés ci-après ont approfondi la connaissance de l'influence potentielle sur la qualité des données de la variabilité de certains paramètres des protocoles d'acquisition de la norme. Les résultats de ces travaux ont pour vocation à être inclus dans sa prochaine révision.

Comparaison jour-nuit

La norme CEN, au même titre que les procédures publiées pour les grands lacs nord-américains, recommande que les campagnes d'hydro-acoustique soient effectuées de nuit. En effet, la nuit, les poissons se dispersent dans la colonne d'eau permettant ainsi la détection des échos individuels et donc l'estimation des tailles des poissons. *A contrario*, le jour, le comportement grégaire des poissons empêche d'obtenir des estimations fiables des tailles. Cependant, l'échantillonnage de jour est plus sûr et moins coûteux que celui de nuit. Par ailleurs, les références sur lesquelles la norme s'appuie sont souvent anciennes et la plupart du temps centrées sur un seul écosystème.

Le travail d'analyse effectué par Girard *et al.* (2020) a utilisé des données acquises de jour et de nuit provenant de quatorze lacs naturels de différentes tailles. Les données sont issues de deux strates de profondeur, définies en

fonction de la thermocline qui structure la distribution des communautés dans les lacs de région tempérée. Les trois métriques les plus utilisées de la méthode hydro-acoustique ont été comparées : un proxy de densité de poissons (l'énergie rétrodiffusée par les cibles), les distributions en taille (à partir de l'énergie renvoyée par les cibles isolées) et finalement les estimations de biomasse par unité de surface, issues de ces deux premières métriques. Les analyses ont montré une corrélation significative entre les résultats diurnes et nocturnes, mais la biomasse estimée dans la couche supérieure est surestimée pour les campagnes de jour en raison des estimations incorrectes de la taille des poissons. Pour la couche la plus profonde, les estimations de la biomasse diurne ou nocturne ne différaient pas significativement. Cette étude réalisée à l'échelle de quatorze lacs confirme que l'échantillonnage hydro-acoustique dans les lacs tempérés doit être effectué la nuit pour obtenir des estimations précises des biomasses de poissons. Cette étude confirme le protocole inscrit dans la norme mais l'approche multi-lacs lui donne une portée plus générale.

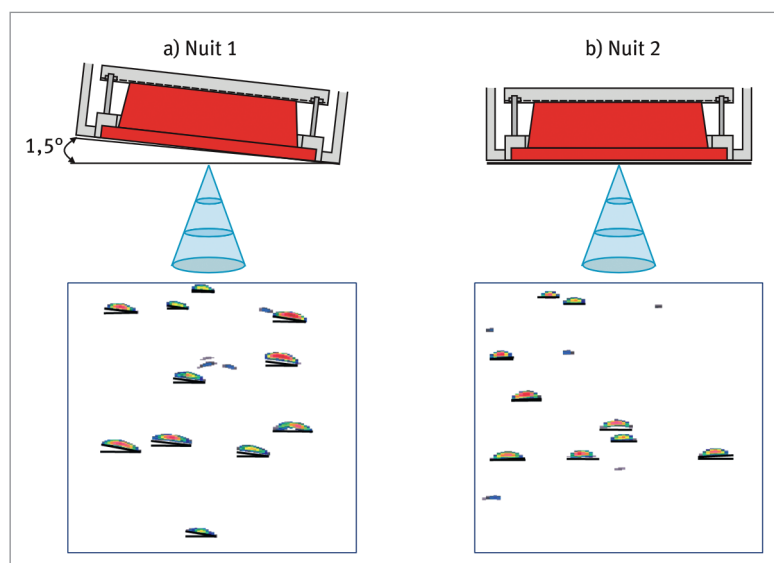
Influence du positionnement du transducteur

Le travail suivant effectué par Blanluet *et al.* (2020) a concerné une spécificité méthodologique des suivis en milieu d'eau douce. En effet, les campagnes hydro-acoustiques en eau douce, mis à part dans les grands lacs nord-américains ou d'Afrique de l'Est, sont la plupart du temps effectuées à partir de petites embarcations. Sur ce type de bateaux, le transducteur qui est l'appareil qui génère les ondes sonores et les réceptionne, est en général positionné sur une perche fixée sur le côté du bateau. Du fait d'une installation la plupart du temps artisanale, à l'opposé des installations pérennes sur les navires de recherche, le transducteur peut être mal aligné avec l'axe horizontal, en particulier lorsque le bateau navigue. Les réponses acoustiques des poissons étant fortement directionnelles, l'angle du transducteur, quand il n'est pas positionné horizontalement, peut impliquer une atténuation des énergies rétrodiffusées par les cibles individuelles. Le calcul des tailles étant basé sur ces valeurs, se posait la question du biais pouvant en résulter en termes de sous-estimation des tailles et donc des biomasses. Pour tester *in situ* l'influence d'un léger décalage de l'orientation du transducteur et donc les conséquences sur les résultats, nous avons comparé les estimations hydro-acoustiques provenant de deux nuits consécutives d'échantillonnage sur le lac d'Annecy, donc similaires en termes de résultats, sauf que la première a été réalisée avec un angle de transducteur d'environ $1,5^\circ$ par rapport à l'horizontal et que pour la seconde, le transducteur était parfaitement positionné. Nous avons montré que l'effet d'un tel angle était négligeable sur les estimations des distributions en tailles et donc sur les évaluations de la biomasse. En conclusion, un faible décalage de l'horizontalité du transducteur ($\sim 1,5^\circ$) ne dégrade pas la qualité des données acoustiques, permettant aux utilisateurs de ces méthodes en eau douce d'être confiants sur leur installation, même en cas de positionnement imparfait.

Influence de la fréquence d'acquisition

En Europe, les campagnes hydro-acoustiques sont effectuées en utilisant différentes fréquences selon les pays. Il était donc nécessaire d'évaluer si les résultats ainsi

Figure 1 – Positionnement du transducteur avec un angle de $1,5^\circ$ en nuit 1 (a) et horizontal en nuit 2 (b). Source : figure modifiée de Blanluet *et al.* (2020).



obtenus avec ces différents paramètres d'acquisition pouvaient être considérés comme similaires. La fréquence de 38 kHz, très utilisée dans les grands lacs nord-américains et en Scandinavie, n'avait jamais été comparée aux autres fréquences en eau douce. Mouget *et al.* (2020) ont donc comparé *in situ* la fréquence de 38 kHz avec deux autres fréquences (70 et 200 kHz), couramment utilisées et qui avaient déjà été comparées entre-elles dans des travaux précédents. Ainsi, de nouvelles données ont été acquises dans les lacs d'Annecy et du Bourget avec un protocole déjà publié de comparaison des fréquences. Cette étude a montré que les estimations de densité, de distributions en taille et de biomasse étaient similaires quelle que soit la fréquence, pour des densités de poissons de faibles à modérées. Par contre, pour des densités de poissons élevées, supérieures à 600 poissons/ha, les résultats étaient plus variables (même entre les fréquences de 70 et 200 kHz) et doivent faire l'objet de travaux supplémentaires pour comprendre à partir de quels seuils les données divergent. En pratique, les différences observées sont suffisamment faibles, même pour les densités élevées, pour pouvoir être considérées comme négligeables pour des travaux de recherche ou dans le cadre de suivis réglementaires de populations de poissons. Ces résultats ont vocation à être pris en compte lors de la révision de la norme CEN.

Continuité des séries chronologiques

Le dernier travail réalisé par Rautureau *et al.*, (2022) sur les protocoles d'acquisition a eu pour but de comparer l'écho-sondeur scientifique le plus fréquemment utilisé en Europe, l'EK60 (Simrad Kongsberg Maritime AS, Horten, Norvège) au nouveau modèle (EK80) récemment développé et commercialisé par la même société. La question de la similarité des données obtenues par ces deux générations d'écho-sondeurs est d'une importance majeure dans le contexte de la continuité des séries temporelles et de la comparaison d'écosystèmes. Des travaux récents effectués dans le milieu marin ont déjà abordé cette comparaison en se focalisant sur le proxy de densité mais sans avoir analysé avec précision les divergences possibles sur les tailles individuelles, métriques très utilisées en eau douce et nécessaires pour les calculs de densité numérique ou pondérale. Le projet a donc visé à tester l'hypothèse selon laquelle, à une fréquence donnée, les proxys des tailles individuelles enregistrés *in situ* simultanément par un EK60 et un EK80 étaient statistiquement similaires, après avoir vérifié que les proxys de densités étaient bien semblables, conformément aux travaux effectués en mer. Les données ont été enregistrées dans deux lacs périalpins en utilisant les deux générations d'écho-sondeurs de façon simultanée. Les proxys de densités étaient bien similaires et si des différences ont été trouvées entre les deux générations d'écho-sondeurs pour les distributions en tailles, les différences n'étaient pas assez importantes pour affecter les calculs de biomasse utilisés dans le cadre de suivis des peuplements par les scientifiques, ni dans le cadre de la gestion des pêches ou de travaux de surveillance réglementaire. La continuité des séries temporelles et la comparaison d'écosystèmes sont donc assurées quand on utilise l'un ou l'autre écho-sondeur.

Très ancrés dans des approches méthodologiques de validation de paramètres d'acquisition, ces travaux

permettent de contribuer à l'amélioration des méthodes et à consolider la norme européenne. En outre, ils s'avèrent particulièrement importants dans le cadre des programmes de surveillance de la DCE, dont l'un des

Figure 2 – Comparaisons des valeurs d'énergie rétrodiffusée en S_A ($m^2 \cdot ha^{-1}$), proxy de la densité de poissons, pour les couches inférieures à la thermocline dans les lacs du Bourget et d'Annecy. Les boîtes à moustache montrent la médiane, le premier et le troisième quartile pour la boîte centrale. Les lignes externes représentent l'amplitude des données. Les points correspondent aux valeurs extrêmes. Les valeurs sont comparées entre elles (38 vs 70, 38 vs 200, 70 vs 200 kHz) : « o » indique qu'il n'y a pas de différence statistique entre les résultats ; une et deux étoiles sur le graphique indiquent une différence significative aux niveaux de signification de 10 % et 5 %, respectivement, entre le grand axe (en noir) et la ligne 1:1 (en pointillés). Source : figure modifiée de Mouget *et al.* (2019).

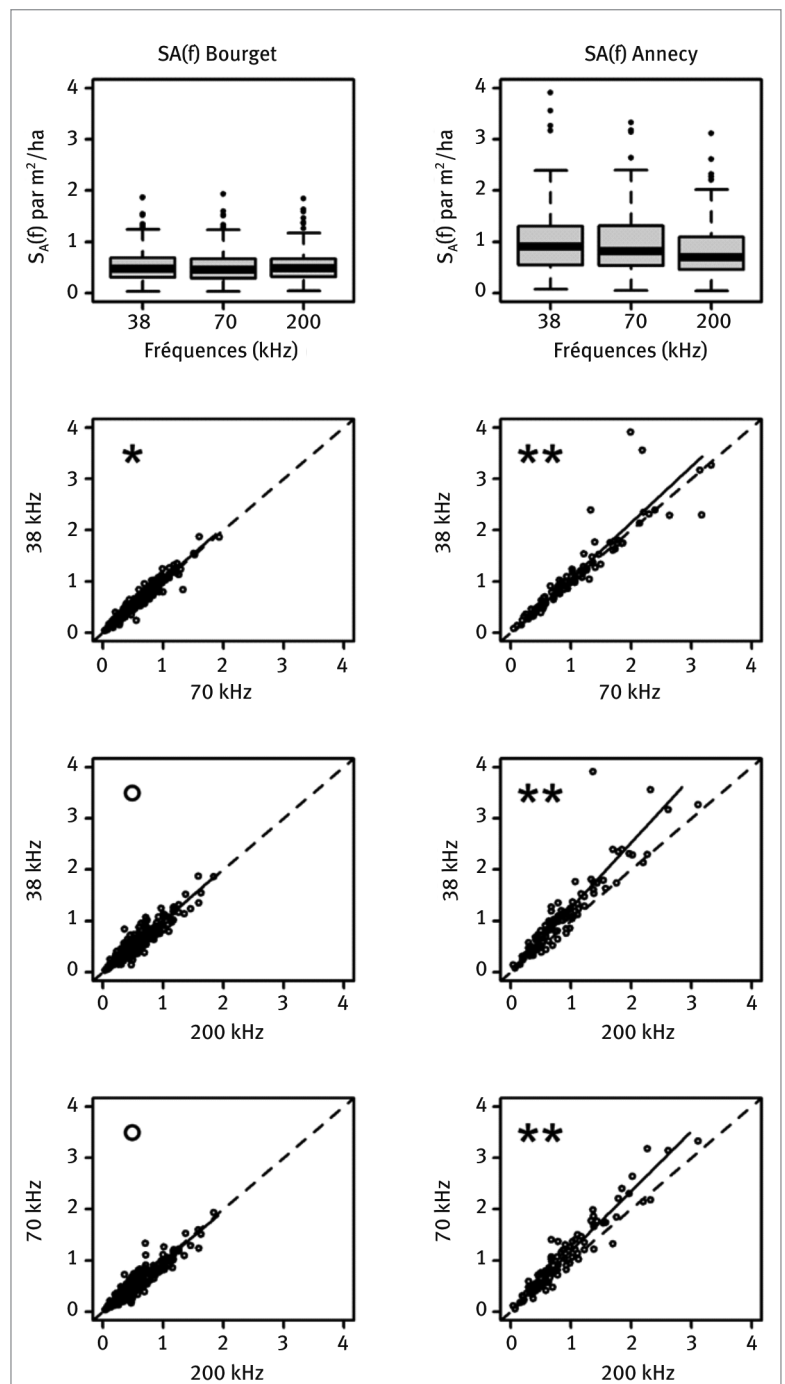
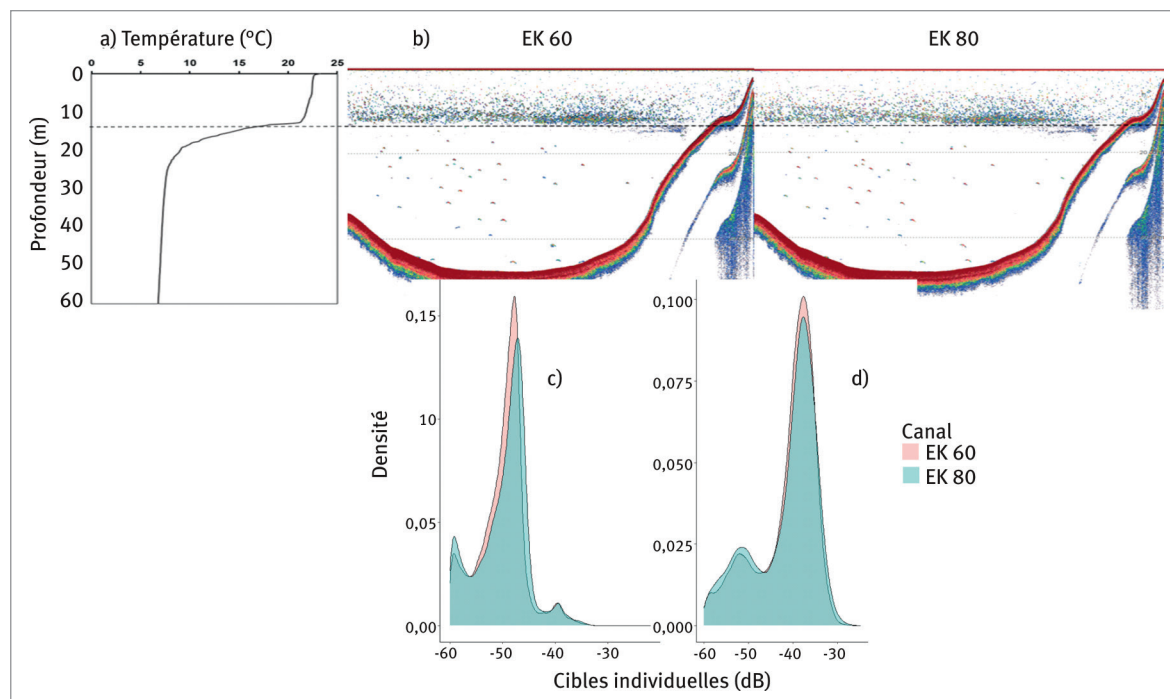


Figure 9 – (modifiée de Rautureau *et al.*, 2022). a) Profil de température acquis dans le lac d'Annecy (14 septembre 2020) ; b) Échogrammes enregistrés dans le lac d'Annecy, à gauche EK60 et à droite EK80, en utilisant un seuil de -66 dB ; la ligne pointillée montre la séparation entre les couches. Données de l'Observatoire des lacs (<http://www6.inra.fr/soere-ola%20@SOERE%20OLA-IS>) ; c) et d) Distributions de densité des cibles individuelles (écho unique) (en dB) pour les deux couches ; (c) couche de surface : le mode principal correspond majoritairement aux percidés et cyprinidés de l'année, à environ -48 dB ; (d) couche profonde : le mode principal correspond aux salmonidés adultes, à environ -37 dB ; le deuxième mode correspond aux salmonidés juvéniles, environ -50 dB (rose pour les valeurs EK60, vert pour les valeurs EK80).



objectifs est la recherche constante d'innovations en termes de suivis écologiques, afin d'améliorer la robustesse et la précision des méthodes, la réduction des coûts de la surveillance ou bien encore l'impact de la surveillance sur les communautés biologiques indicatrices utilisées.

Arbres et poissons, l'apport de l'écho-sondeur large bande

À l'échelle mondiale, la demande croissante d'hydro-électricité fait que le nombre de réservoirs connaît une augmentation considérable, ouvrant aussi de nouvelles zones potentielles de pêche. Cependant, ces réservoirs ont souvent été mis en eau sans que les forêts n'aient été coupées au préalable et donc de nombreux arbres immergés restent présents, particulièrement en zone tropicale. Ces arbres empêchent de réaliser des évaluations des densités des populations de poissons avec les méthodes standardisées : l'échantillonnage aux filets maillants est très difficile et les arbres submergés sont confondus avec des bancs de poissons sur les échogrammes. En effet, les échos renvoyés par les deux types de cibles sont très souvent similaires en termes de formes et d'énergie renvoyée lorsqu'on utilise des sondeurs classiques en bande étroite comme par exemple l'EK60. Pour surmonter cette difficulté, Blanluet *et al.* (2022) ont utilisé les propriétés large bande des nouveaux sondeurs EK80 (les ondes sonores sont émises sur un large spectre de fréquence, par exemple de 90 à 150 kHz pour un transducteur centré sur 120 kHz) pour mettre au point

une méthode originale permettant de distinguer les bancs de poissons des arbres submergés. Un algorithme de classification a été utilisé pour trier les écho-traces sur les échogrammes acquis par le sondeur EK80 en mode à large bande centré sur deux fréquences 120 et 200 kHz. Le taux de discrimination atteint un niveau supérieur à 90 % de classement entre des arbres et des bancs. Il est ainsi possible de distinguer de façon satisfaisante les bancs de poissons des arbres submergés dans les réservoirs, ouvrant la possibilité d'utiliser plus largement les méthodes hydro-acoustiques dans ces lacs artificiels afin de mieux connaître les populations de poissons et leurs évolutions. Cela s'avère aussi particulièrement intéressant pour les programmes de surveillance réglementaires de la DCE. En effet, en France, les masses d'eau lacustres sont très majoritairement représentées par des retenues artificielles où les arbres immergés sont fréquents. C'est notamment le cas sur la plus grande masse d'eau lacustre artificielle du territoire de l'Union européenne. Il s'agit de la retenue hydroélectrique de Petit-Saut en Guyane française où la masse d'eau résulte de l'immersion de plus de 350 km² de forêt tropicale.

Embarcation autonome de surface équipée d'écho-sondeurs

Les véhicules de surface sans pilote (*Unmanned surface vehicles*, USV) sont de plus en plus utilisés dans les environnements marins et d'eau douce pour permettre la collecte de données. Ils offrent aux scientifiques la possibilité d'effectuer des surveillances rapides, d'augmenter la

fréquence d'échantillonnage et de façon moins onéreuse. On peut ainsi obtenir des observations dans des zones difficiles à atteindre, répéter les acquisitions pour accroître le nombre d'informations, tant sur le plan spatial que temporel. Avec la collaboration de la société CT2MC, dans le cadre d'un projet financé par l'ADEME³, l'UMR CARRTEL a conçu un engin entièrement autonome appelé HARLE : *Hydroacoustic Autonomous boat for Remote fish detection in Lake* (Goulon *et al.*, 2021). L'engin est alimenté électriquement et équipé de la dernière génération de sondeurs scientifiques (EK80). Pour le valider, le HARLE a été utilisé en parallèle d'une campagne hydro-acoustique conventionnelle, avec un bateau, dans un lac périalpin. Les données de base et les valeurs de biomasse de poissons obtenues par les deux approches, engin entièrement autonome ou bateau, ont été analysées et sont similaires. Nous avons montré que le HARLE a un grand potentiel comme outil de suivi des populations de poissons en eau douce. Depuis cette première version prototype, des améliorations tant sur le plan de l'autonomie que du pilotage et de la précision spatiale ont été apportées avec l'aide du partenariat avec l'OFB, avec en particulier l'ajout d'un transducteur supplémentaire pour échantillonner les zones proches de la surface. L'engin a pu être testé et déployé dans plusieurs projets pour répondre à différents objectifs tels que : cartographier et quantifier dans un petit lac l'émission de bulles de méthane issues de la dégradation de la matière organique, effectuer des suivis de populations de poissons dans le Rhône et mesurer l'impact de tirs sismiques sur les poissons du Léman. L'opérationnalisation de ces engins autonomes offre également d'importantes perspectives pour la surveillance réglementaire, à la fois pour réduire le coût des suivis écologiques sans dégrader la qualité de l'information, mais aussi pour accéder à des zones difficiles non navigables ou protégées réglementairement.

Conclusion

Ces travaux ont permis de conforter la validation et préciser les recommandations de la norme européenne de méthode d'échantillonnage de poissons lacustres par hydro-acoustique et d'apporter des éléments d'amélioration vis-à-vis des protocoles recommandés. Publiés dans des revues internationales, ces travaux ont aussi vocation à être intégrés dans les textes réglementaires lors de la prochaine révision de cette norme. De plus, des travaux originaux ont pu être menés utilisant les capacités de la nouvelle génération de sondeurs d'émettre en large bande, ouvrant ainsi des perspectives pour améliorer le suivi des populations de poissons en réservoirs ou d'autres milieux aquatiques dont le fond serait marqué par la présence d'arbres submergés. Enfin, le développement d'un engin autonome a pu être conforté par le soutien de l'OFB, permettant de passer d'un prototype à un outil fonctionnel qui a ainsi pu être déployé dans plusieurs projets scientifiques avec des perspectives d'application à des fins de gestion de la pêche et des

Photo 1 – Le HARLE en action sur le Rhône.
Crédit photographique : © Clément Rautureau.



populations de poissons. En parallèle, ces méthodes ont été utilisées dans le cadre de projets de recherche en écologie halieutique afin de mieux cerner l'impact des fluctuations annuelles des populations de perches sur le réseau trophique d'un lac oligotrophe, l'effet de tirs sismiques sur les populations de poissons du Léman et d'identifier les facteurs environnementaux responsables de la variabilité du recrutement de la perche dans deux lacs périalpins. Elles ont également été utilisées en réservoir tropical afin d'étudier l'impact des forçages anthropiques sur les populations de poissons face à une pêche intensive et au changement climatique. Enfin, des propositions de gestion visant à limiter les conséquences de vidanges de barrage sur les populations de poissons ont été faites, basées sur les estimations des populations de poissons par hydro-acoustique. Enfin, l'hydro-acoustique, dont l'usage dans les écosystèmes d'eau douce s'intensifie (Pollom et Rose, 2016), en complément de l'utilisation de l'ADN-E, pourrait à terme limiter l'utilisation des méthodes destructives, comme les filets maillants, pour l'étude des populations de poissons lacustres. Le couplage de ces deux innovations technologiques ouvre ainsi des perspectives opérationnelles prometteuses, notamment pour une surveillance écologique DCE du futur, à la fois robuste, précise, moins consommatrice de moyens humains, et beaucoup plus respectueuse des espèces animales utilisées pour la bio-indication.

3. Agence de la transition écologique.

RÉFÉRENCES

- Blanluet A., Gastauer S., Cattaneo F., Goulon C., Grimardias D., Guillard J., 2022. Discrimination between schools and submerged trees in reservoirs: A preliminary approach using narrowband and broadband acoustics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 79(5), 738-748, <https://doi.org/10.1139/cjfas-2021-0087>.
- Blanluet A., Goulon C., Lebourges-Dhaussy A., Eymar-Dauphin P., Guillard J., 2020. Effect of a transducer horizontality default on lake fish stock assessment. *Acoustics Australia*, 48(3), 473-479. <https://doi.org/10.1007/s40857-020-00206-1>.
- Girard M., Goulon C., Tessier A., Vonlanthen P., Guillard J., 2020. Comparisons of day-time and night-time hydroacoustic surveys in temperate lakes. *Aquatic Living Resources*, 33(9), <https://doi.org/10.1051/alr/2020011>.
- Goulon C., Le Meaux O., Vincent-Falquet R., Guillard J., 2021. Hydroacoustic Autonomous boat for Remote fish detection in Lake (HARLE): an unmanned autonomous surface vehicle to monitor fish population in Lakes. *Limnology and Oceanographic Methods*, 19(4), 280-292. <http://doi.org/10.1002/lom3.10422>.
- Simmonds J., MacLennan D., 2005. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice (Fish and Aquatic Resources)*, 2e édition, Wiley-Blackwell, 472 p.
- Mouget A., Goulon C., Axenrot T., Balk H., Lebourges-Dhaussy A., Godlewska M., Guillard J., 2019. Including 38 kHz in the standardization protocol for hydroacoustic fish surveys in temperate lakes. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 5(4), 332-345, <https://doi.org/10.1002/rse2.112>.
- Pollom R. A., Rose G. A., 2016. A global review of the spatial taxonomic and temporal scope of freshwater fisheries hydroacoustics research. *Environmental Reviews*, 24(3), 333-347. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0017>.
- Rautureau C., Goulon C., Guillard J., 2022. In situ TS detections using two generations of echo-sounder, EK60 and EK80: the continuity of fishery acoustic data in lakes. *Fisheries Research*, 249, 106237, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106237>.
- Rudstam L. G., Jech J. M., Parker-Stetter S. L., Horne J. K., Sulliva P. J., Mason D. M., 2012. Fisheries hydroacoustics, in: A.V. Zale, D.L. Parrish, T.M. Sutton (eds.), *Fisheries Techniques*, Third Edition, Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, p. 40, <https://doi.org/10.47886/9781934874295>.