

Utilisation de la caméra acoustique DIDSON pour le suivi en rivière des poissons migrateurs

Aurélie Daroux¹, François Martignac¹⁻³, Jean Guillard²

Résumé. La Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000) prescrit une libre circulation des poissons migrateurs sur les cours d'eau. Dans ce contexte, de nombreuses techniques d'échantillonnage sont utilisées (piégeage, filets, télémétrie, hydroacoustique,...) pour suivre l'abondance des stocks des populations et étudier la recolonisation de bassins versants par ces espèces. Parmi ces techniques, l'hydroacoustique, méthode non intrusive, permet l'observation et la description des populations de poissons en utilisant les propriétés physiques du son dans l'eau et est adaptée à une visualisation de nuit et en eaux turbides. Le DIDSON (dual-frequency identification sonar), un sonar haute fréquence, initialement mis au point en 1999 pour l'industrie militaire américaine est utilisé depuis une dizaine d'années dans le cadre d'études en écologie. La résolution des images enregistrées se rapproche de celle d'un enregistrement vidéo, permettant la visualisation de la morphologie du poisson, la description de son comportement et donc son identification spécifique.

Mots clés : hydroacoustique, poissons migrateurs, caméra acoustique, restauration écologique, sonar

Introduction

Malgré leur valeur patrimoniale reconnue, les populations de poissons migrateurs subissent depuis plusieurs décennies un déclin continu (Limburg et Waldman, 2009). La perte et le fractionnement de leurs habitats, la pollution, la baisse de qualité des eaux et la surexploitation due à la pêche sont notamment en cause (Ransom et al., 1998 ; Limburg and Waldman, 2009). En particulier, le saumon atlantique (*Salmo salar*) (**Figure 1**), l'anguille (*Anguilla anguilla*) ou l'alose (*Alosa alosa* et *Alosa fallax*), poissons à forte valeur patrimoniale (Baglinière et al., 2003 ; Lackey, 2009), font partie des espèces en danger. Il est donc primordial de connaître leur abondance et d'évaluer l'évolution de leurs stocks dans le temps. De plus, la présence et l'abondance des poissons migrateurs sont des indicateurs du bon fonctionnement écologique des écosystèmes aquatiques (Karr, 1991 ; Rose, 2000). Le bon état écologique des cours d'eau et des milieux aquatiques, visé par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000), intègre la notion de restauration de la continuité écologique des cours d'eau.



Figure 1. Photographie d'un saumon atlantique capturé à la station INRA du Moulin de Cerisel gérée par l'Unité expérimentale d'écologie et d'écotoxicologie aquatique (photo : François Martignac, INRA Rennes).

Ainsi, pour répondre à ces exigences, deux barrages vont être arasés à l'horizon 2020 sur la rivière Sélune (baie du Mont Saint-Michel). Un projet de recherche pluridisciplinaire est en place afin de suivre la perturbation écologique causée par cet arasement et d'étudier les mécanismes de restauration des milieux et de recolonisation des espèces. Dans le cadre de ce projet, une caméra acoustique DIDSON (dual frequency identification sonar) a été installée sur le fleuve Sélune par l'UMR ESE (Ecologie et Santé des Ecosystèmes, INRA Rennes) et l'UMR CARRETEL (Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et les Ecosystèmes

¹ INRA, UMR 985 Ecologie et Santé des Ecosystèmes (ESE), 65 rue de St Briec, CS 84215, 35042 Rennes Cedex, France. aurelie.daroux@rennes.inra.fr

² INRA, UMR Centre Alpin de Recherches sur les Réseaux Trophiques et Ecosystèmes Limniques (CARRETEL), 75 avenue de Corzent, 74203 Thonon-les-Bains cedex, France.

³ ASCONIT Consultants, 3 impasse Sirius, 44470 Carquefou, France.

Limniques, INRA Thonon- les- Bains) afin d'estimer l'abondance des populations de poissons migrateurs avant et après arasement. L'hydroacoustique est une technique qui utilise les propriétés du son dans l'eau et qui présente une utilisation diversifiée et croissante. Encore très peu utilisée en cours d'eau en France, cette méthode est non intrusive : elle permet d'observer les poissons dans leur milieu naturel sans perturber leur comportement. Les sondeurs émettent des ondes acoustiques puis captent, localisent et caractérisent les échos renvoyés par les poissons présents dans le faisceau de détection. A la différence des sondeurs utilisés couramment, la caméra acoustique DIDSON émet des ondes à haute fréquence qui permettent ainsi une observation visuelle de la morphologie et du comportement des poissons.

Description de la caméra DIDSON

Le DIDSON est un sonar à haute fréquence avec un système acoustique à lentille unique (**Figure 2**) conçue pour concentrer le faisceau afin de créer des images hautes résolutions. Développé initialement par l'Applied Physics Lab (APL) de l'Université de Washington pour permettre aux plongeurs d'identifier des mines dans des eaux turbides, le DIDSON crée des images semblables à des vidéos (Belcher et al., 2001; Belcher et al., 2002). Ces images sub-aquatiques (**Figure 3**) permettent de discerner la morphologie et les comportements de nage des poissons insonifiés et de mesurer leur taille réelle

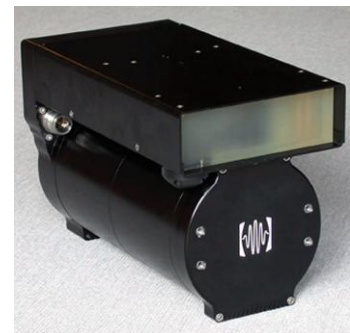


Figure 2. Photographie de la caméra acoustique DIDSON (photo : <http://www.act-us.info>).

(Martignac et al., 2014).

Le DIDSON possède deux fréquences : 1,8 et 1,1 MHz. Le faisceau haute-fréquence est divisé en 96 faisceaux de 0,3° par 14° avec une portée maximale de 10 mètres. Le faisceau de 1,1 MHz est divisé en 48 faisceaux de 0,5° par 14° avec une portée maximale de 40 mètres.

Le champ de vision du DIDSON s'étale sur 29° horizontalement et 14° verticalement pour les deux fréquences (Maxwell, 2007). La lentille acoustique peut se focaliser dès la distance d'un mètre. Le défilement maximal est de 21 images/secondes. Les données du DIDSON sont collectées dans deux dimensions, avec une résolution dans les dimensions X et Y (axe horizontal et profondeur), mais pas dans la dimension verticale Z (Hughes, 2012). Ainsi, utilisé horizontalement et le faisceau perpendiculaire à la berge, le DIDSON permet de connaître la distance entre le poisson et le sonar, ainsi que le sens de déplacement de celui-ci, mais pas sa position dans la colonne d'eau.

Le logiciel constructeur (Sound Metrics Corp.) permet l'enregistrement et le traitement des vidéos. D'autres logiciels spécialisés dans les traitements des données acoustiques tels que Sonar5 Pro® et Echoview® permettent également une visualisation et un traitement des vidéos.

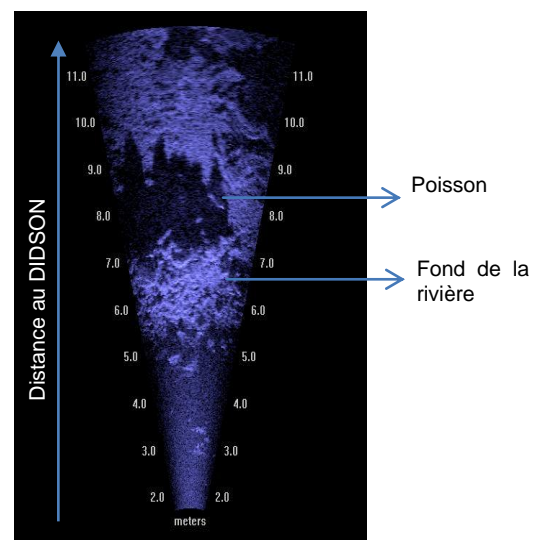


Figure 3. Visualisation d'un poisson traversant le faisceau de détection de la caméra DIDSON (photo : Aurélie Daroux et François Martignac, export du logiciel Sound Metrics)

Applications et recommandations

Recommandations d'utilisation et limites de la caméra acoustique DIDSON

Le DIDSON est principalement utilisé en position fixe pour des études de comptage de poissons en milieu lotique. Par exemple, l'*Alaska Department of Fish and Game* (ADFG) utilise le DIDSON pour suivre les populations de saumons sur de nombreuses rivières (Maxwell and Gove, 2004). L'Environment Agency du Royaume-Uni utilise depuis près d'une dizaine d'année cet outil, notamment pour suivre les dévalaisons d'anguilles sur des rivières (Hateley and Gregory, 2006). Il peut également être utilisé de façon mobile installé sur un bateau ou sur un chalut en milieu côtier et lacustre (Belcher et al., 2002).

Dans le cadre d'un suivi de poissons migrateurs, plusieurs conditions indispensables à l'utilisation de la caméra DIDSON ont été définies (Maxwell, 2007) :

- les poissons doivent se déplacer dans le faisceau de la caméra et doivent migrer activement et directionnellement. Si les poissons vont et viennent devant la caméra, ils peuvent être comptés plusieurs fois et biaiser les résultats ;
- le profil du fond du cours d'eau doit être le plus linéaire possible, avec un courant laminaire ;
- si l'espèce ciblée n'est pas la seule présente dans le système, une méthode alternative doit être développée pour estimer l'abondance relative des différentes espèces. Néanmoins, si les autres espèces présentes disposent de comportements ou de gammes de tailles suffisamment distinctes de l'espèce cible, l'observation de ces traits peut permettre la discrimination.

La caméra acoustique DIDSON a des limites dont il faut tenir compte lors de son utilisation. Cet outil a une portée maximale limitée à 10 mètres en haute fréquence et à 40 mètres en basse fréquence : les rivières de grandes largeurs (supérieure à 40 mètres) ne peuvent donc être échantillonnées directement par cette méthode, à moins d'utiliser un barrage déflecteur qui assurerait le passage des poissons dans le faisceau de détection de la caméra. Le site de suivi doit être situé en aval des zones de reproduction et des principaux affluents (Pipal et al., 2010) et en amont de la zone d'influence de marée (Daum et Osborne, 1998). D'un point de vue plus fonctionnel, le site doit relativement proche de la localisation des personnes en charge de la caméra pour pouvoir intervenir rapidement en cas d'événements exceptionnels (crues, fortes précipitations) (Pipal *et al.*, 2010) et pour l'entretien du matériel (Lilja et al., 2010).

Le DIDSON est principalement utilisé pour détecter des organismes de plus de 20 cm (**Figure 4**).

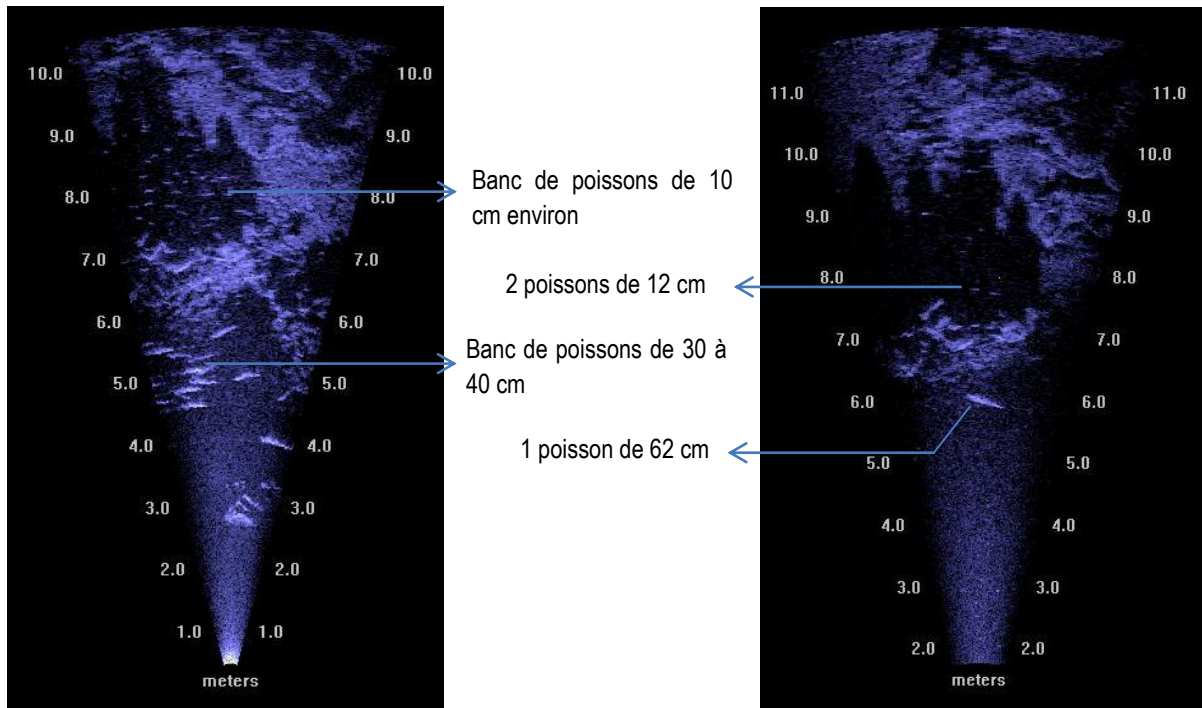


Figure 4. Illustration de différentes tailles d'individus sur des images enregistrées avec une caméra acoustiques DIDSON (photo : Aurélie Daroux et François Martignac, export du logiciel Sound Metrics).

En effet, si la caméra est capable de détecter des organismes de quelques centimètres (**Figure 4**), la mesure de la longueur d'un individu n'est pas fiable pour des organismes mesurant moins de 10 cm compte tenu de la taille du pixel sur les images obtenues. Le DIDSON n'enregistre pas la distribution verticale des poissons (Hughes, 2012), la profondeur à laquelle se trouve les poissons détectés dans la colonne d'eau reste inconnue. Enfin, les fichiers créés par le DIDSON sont lourds (environ 20 Go pour 24 h d'enregistrement continu) ce qui exige des capacités de stockage informatique importante et peut conduire à la mise en œuvre d'une stratégie de sous-échantillonnage.

Le traitement des données avec le logiciel constructeur est très chronophage. Afin de comptabiliser de façon la plus complète possible (en prenant en considération les biais dus au volume échantillonné, aux passages de poissons dans des zones où ils ne peuvent pas être détectés ...) les individus de l'espèce cible et de décrire la composition du peuplement pisciaire, l'intégralité des enregistrements peut être visionnée à vitesse accélérée et chacun des poissons mesuré manuellement (**Figure 5**). Mais cette méthode manuelle n'est pas adaptée à un suivi à long terme et la procédure de pistage automatique du logiciel constructeur est limitée (Martignac et al., 2014).

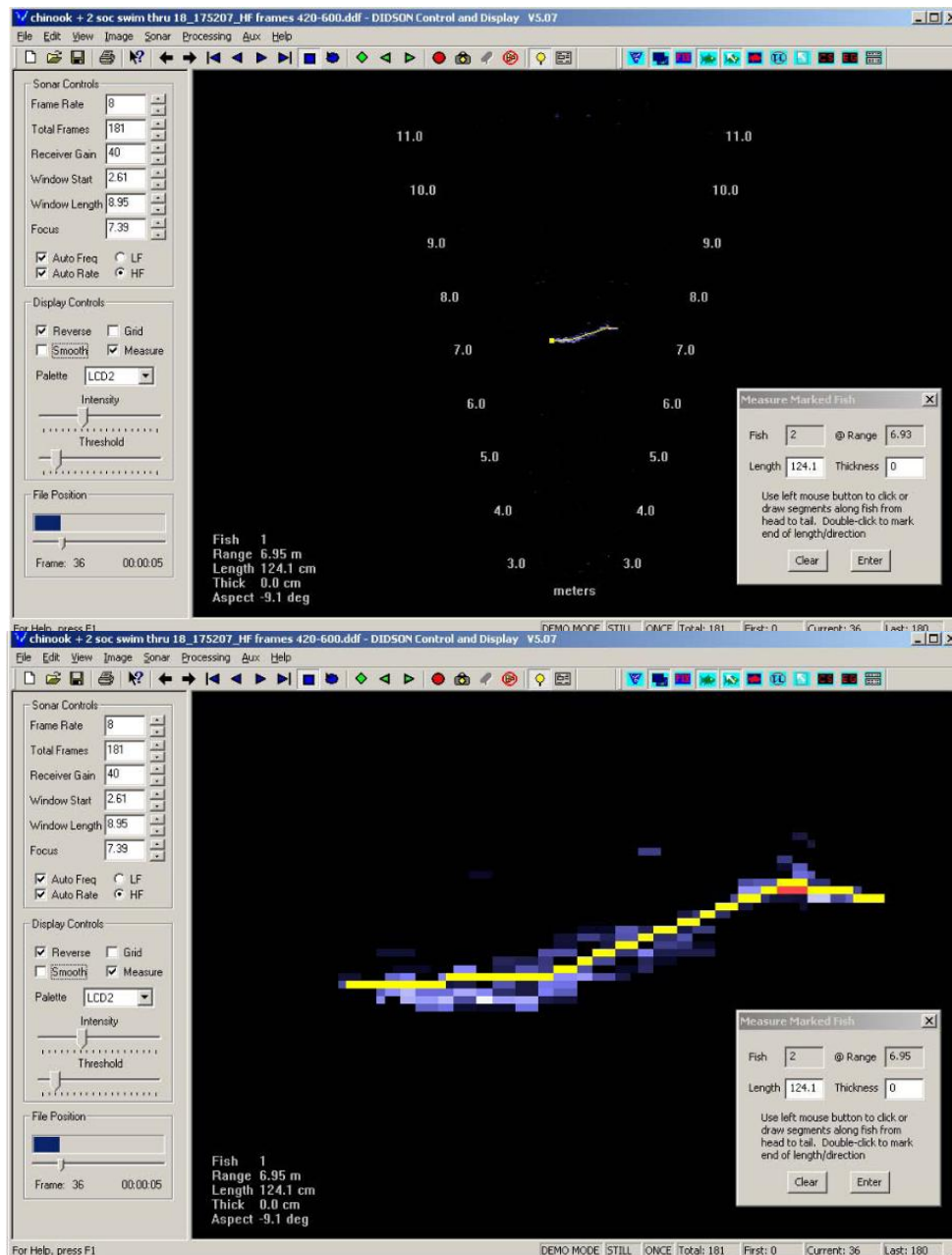


Figure 5. Illustration de l'outil du logiciel constructeur du DIDSON permettant la mesure manuelle des poissons (Burwen et al., 2007).

Le logiciel de traitement Sonar5Pro® initialement conçu pour le post-traitement des données acoustiques issues d'échosondeurs possède un module spécifique au DIDSON. Au sein de ce module, un outil de pistage automatique basé sur de nombreux critères (Figure 6) est disponible (Balk et Lindem, 2002; Balk et al., 2009) et permet de réduire par trois le temps de traitement des fichiers par rapport à la méthode manuelle avec le logiciel constructeur.

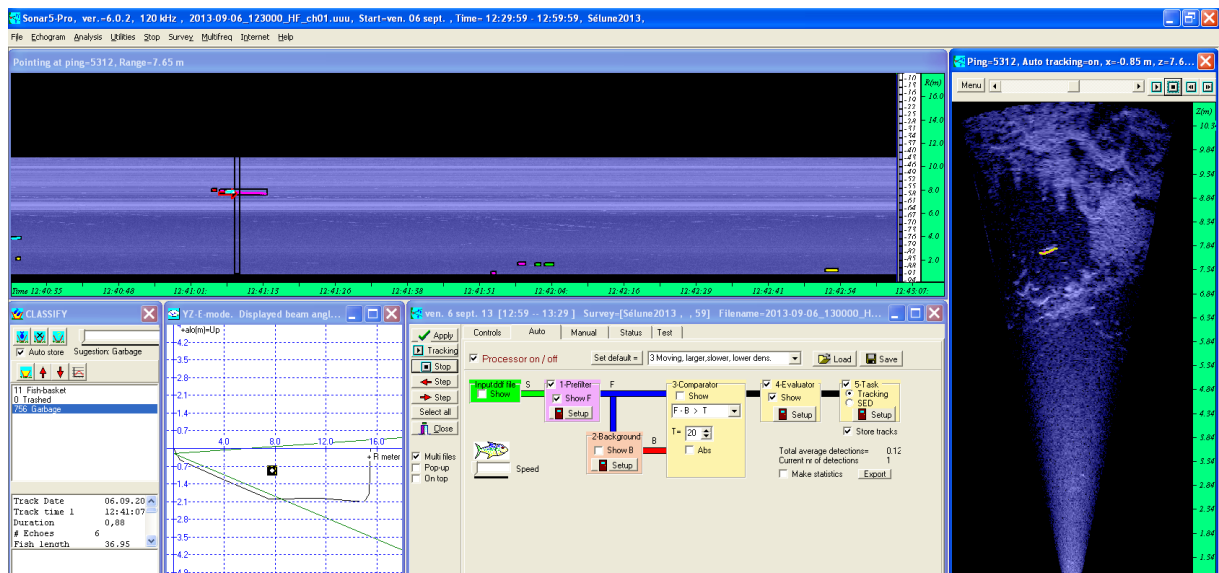


Figure 6. Illustration du module de pistage automatique du logiciel Sonar5 Pro.

Exemple d'application sur le fleuve Sélune

Afin d'estimer l'abondance des populations de poissons migrateurs dans la Sélune, une caméra acoustique DIDSON y est installée depuis fin juillet 2013 (Figure 7). La Sélune est l'un des cours d'eau qui alimentent la baie Saint-Michel et sur lequel deux grands barrages vont être arasés d'ici 2020. Les poissons migrateurs (saumons atlantiques, truites de mer, aloses, anguilles et lamproies), remontant à partir de la mer, sont stoppés sur la Sélune par ces barrages infranchissables, et ne disposent par conséquent que d'environ 30% de la surface du bassin versant pour se reproduire. La caméra DIDSON enregistre en mode haute fréquence, de façon continue, tous les passages de poissons qui passent dans le volume de détection.

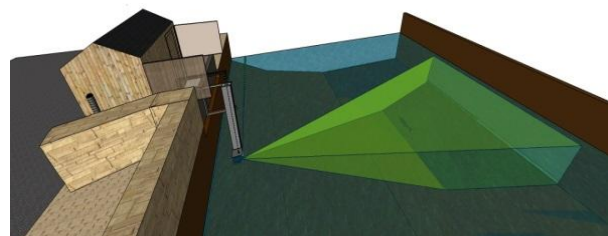


Figure 7. Panorama du site de suivi sur la Sélune (haut) et représentation 3D du site de suivi (bas). Le faisceau de détection de la caméra DIDSON est représenté en vert (photo : François Martignac, et Aurélie Daroux, INRA Rennes).

Dans le cadre de ce suivi de populations de poissons migrateurs, une thèse CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la Recherche, partenariat ASCONIT Consultants-INRA) travaille prioritairement sur la discrimination des saumons atlantiques, espèce à fort intérêt patrimonial. Des critères tels que la taille (individus mesurant plus de 50 cm), la vitesse de nage (supérieur à $0,4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), le comportement et la direction du poisson (déplacement franc vers l'amont de la rivière) permettent de sélectionner (à l'aide du logiciel Sonar5Pro) les saumons. Une vérification visuelle est réalisée afin de confirmer que la cible sélectionnée par le logiciel est bien un saumon. Des données environnementales (température, vitesse du courant, hauteur d'eau) sont également enregistrées en continu afin de relier les passages et les comportements migratoires des saumons avec les conditions locales du milieu.

Conclusions et perspectives

Les résultats de la première campagne de suivi nous ont permis d'extraire de nombreuses informations sur les poissons de la Sélune. Plusieurs comportements propres aux espèces locales ont été observés, le site de suivi sur la Sélune constituant un habitat à part entière. Prédation, interaction entre individus, comportement erratique, reproduction d'alse, fouille du sédiment par des carpes, passage de bancs de juvéniles, ont été observés et serviront à caractériser les populations détectées.

La méthodologie utilisée avec le logiciel Sonar5Pro est efficace pour détecter les saumons, avec un gain de temps important par rapport à l'utilisation du logiciel de comptage propre à la caméra, et peut être adaptée à la détection d'autres espèces d'intérêt comme les lamproies marines ou les anguilles. Entre août et décembre 2013, 215 passages de saumons ont été enregistrés et décrit. Les informations extraites de ces passages (abondance, rythme de migration, courbe de taille, ...) alimentent nos connaissances sur l'ichtyofaune de la Sélune dans les conditions actuelles. Le suivi, avant et après arasement, des barrages permettra de mettre en relation les informations extraites de ces enregistrements avec les changements engendrés par cette perturbation écologique.

Le traitement des données est chronophage, notamment l'identification d'une espèce en particulier lorsque la diversité spécifique de l'ichtyofaune locale est importante. Cependant, des méthodologies optimisées et adaptées de traitement des données sont en train d'être développées, en exploitant les outils de logiciels alternatifs, tels que Sonar5Pro.

En conclusion, la caméra acoustique DIDSON est un outil non intrusif susceptible d'apporter de nombreuses informations dans le cadre d'études de suivi écologique. Le DIDSON permet d'évaluer les populations de poissons et d'étudier leur comportement de nuit et en eau turbide où les systèmes optiques sont inefficaces. Cet outil ne supplante pas les autres techniques d'estimation de population (piégeage, pêche électrique ...), notamment en ce qui concerne l'étude des traits d'histoire de vie ou la génétique des populations de poissons, mais s'avère être un outil complémentaire permettant d'acquérir des données comportementales et morphologiques sur les populations de poissons sur des chroniques longues sans perturber leur activité naturelle.

Références bibliographiques

Balk H, Lindem T (2002) Fish detection in rivers with split-beam sonars. (Proceedings of the 25nd Scandinavian Symposium on Physics Acoustics, Ustaoset, Norway. 6 p.

Balk H, Lindem , Kubecka J (2009) New Cubic Cross Filter detector for multi-beam data recorded with DIDSON acoustic camera. (Proceedings of the Underwater acoustic measurements, Technologies & results, Heraklion, Greece, 2009). J.S. Papadakis, L. Bjorno, eds. Foundation for Research & Technology. 1461-1468.

Baglinière JL, Sabatié MR, Rochard E, Alexandrino P, Aprahamian MW (2003) The allis shad (*Alosa alosa*): Biology, Ecology, Range, and Status of Populations. In *Biodiversity, Status and Conservation of the World's Shad. American Fisheries Society Symposium. Vol. 35.* (Eds. KE Limburg, JR Waldman), 85-102.

Belcher EO, Matsuyama B, Trimble GM (2001) Object identification with acoustic lenses. (*Proceedings of the MTS/IEEE oceans, Vol 1, session 1.*, Honolulu, Hawaii, 2001). 6 p.

Belcher EO, Hanot W, Burch J (2002) Dual-frequency identification sonar. (*Proceedings of the 2002 International Symposium on underwater technology, Tokyo, Japan, 2002b*), 187-192.

Aurélie Daroux, François Martignac, Jean Guillard

Daum DW, Osborne BM (1998) Use of fixed-location, split-beam sonar to describe temporal and spatial patterns of adult fall chum salmon migration in the Chandalar River, Alaska. *North Am J Fish Manag* **18**, 477- 486.

Hateley J, Gregory J (2006) Evaluation of a multi-beam imaging sonar system (DIDSON) as Fisheries Monitoring Tool: Exploiting the Acoustic Advantage. Technical report, environment Agency. 7 p.

Hughes JB (2012) Combining count data from Split-beam and multiple DIDSON sonar techniques to estimate spawning run abundance of anadromous fishes in the Roanoke River, NC. Master of Science, Graduate Faculty of North Carolina State University, 127 p.

Karr JR (1991) Biological integrity : a long-neglected aspect of water resource management. *Ecol App* **1**, 66-84.

Lackey RT (2009) Challenges to sustaining Diadromous fishes trough 2100 : Lessons learned from Western North America. *Am Fish Soc Symposium* **69**, 609-617.

Lilja J, Romakkaniemi A, Stridsman S, Karlsson L (2010) Monitoring of the 2009 salmon spawning run in River Tornionjoki/Torneälven using Dualfrequency IDentification SONar (DIDSON), A Finnish-Swedish collaborative research report. 43 p.

Limburg KE, Waldman JR (2009) Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes. *BioScience* **59**, 955-965.

Martignac F, Daroux A, Bagliniere J L, Ombredane D, Guillard J (2014) The use of acoustic cameras in shallow waters : new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish and Fisheries*. doi: 10.1111/faf.12071

Maxwell SL (2007) Hydroacoustics: Rivers. In *Salmonids Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*. (Eds. DH Johnson, BM Shrier, JS O'Neal, JA Knudzen, X Augerot, TA O'Neil, TN Peasons), American Fisheries Society, 133-152.

Maxwell SL, Gove NE (2004) The feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar (DIDSON) Alaska Department of Fish and Game Regional Information Report No. 2A04-05. Anchorage. 88 p.

Pipal K, Jessop M, Holt G, Adams P (2010) Operation of Dual Frequency identification sonar (DIDSON) to monitor adult steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) in the central California coast, in: COMMERCE, U.S.D.O., Administration, N.O.a.A., Service, N.M.F., Center, S.F.S. (Eds).

Ransom BH, Johnston SV, Steig TW (1998) Summary of the use of hydroacoustics for quantifying the escapement of adult salmonids (*Oncorhynchus* and *Salmo spp.*) in rivers. (*Proceedings of the International Symposium and Workshop on Management and Ecology of River Fisheries*, University of Hull, England, 1998). 25 p.

Rose KA (2000) Why are quantitative relationships between environmental quality and fish populations so elusive? *Ecol Appl* **10**, 367-385.

Remerciements

Cet appareil a été financé par l'Agence de l'Eau Seine Normandie dans le cadre du Programme scientifique "Effacement des barrages de la Sélune". Nous remercions nos collègues de l'U3E (Unité expérimentale d'écologie et d'écotoxicologie aquatique) pour l'aide apporté pendant les différentes expérimentations réalisées avec la caméra acoustique DIDSON.