

SciLogs

La nouvelle communauté de
blogueurs scientifiques francophones

Grâce à **Scilogs.fr**, dialoguez avec des chercheurs et acteurs du monde des sciences aux points de vue riches et variés. De blog en blog, explorez la science avec ceux qui la font, la décryptent, l'analysent : résultats de recherche, applications pratiques, perspectives insolites, débats éthiques et politiques... Pour vivre la science au quotidien !

Signal sur bruit

Richard Taillet
Astrophysicien,
professeur
chercheur
au LAPTh

Ecoblog

Vincent Devictor
Chercheur au CNRS
en écologie et biologie
de la conservation

Best of Bestioles

Loïc Mangin
Rédacteur en chef
adjoint
Pour la Science

Complexités

Jean-Paul Delahaye
Mathématicien, informaticien,
et auteur de la rubrique
Logique et calcul
dans *Pour la Science*

Retrouvez
aussi les autres
communautés
« SciLogs » : déjà
plus de 140 blogueurs
scientifiques
à l'international !

Psycho Info

Jérôme Palazzolo
Médecin psychiatre, à Nice
et à l'Université Internationale
Senghor, à Alexandrie,
en Égypte

L'actu sur le divan

Sébastien Bohler
Rédacteur
à *Cerveau & Psycho*

Alterscience

Alexandre Moatti
Polytechnicien, chercheur
en histoire des sciences
au laboratoire SPHERE



Connectez-vous
maintenant
pour découvrir
www.Scilogs.fr !



Suivez les dernières actualités
des blogueurs également
sur les réseaux sociaux

Proposé par **POUR LA SCIENCE**

À l'écoute des bancs de poissons

Jean Guillard et Anne Lebourges-Dhaussy

**Comment préserver le fragile équilibre qui lie
la ressource halieutique, le milieu aquatique et l'homme ?
En précisant le comportement des poissons, au moyen
notamment d'ondes acoustiques.**



L'ESSENTIEL

- Les ondes acoustiques sont un moyen efficace pour étudier les poissons. Les sonars sont non invasifs et plus précis que d'autres techniques.
- Les chercheurs étudient le comportement des poissons et évaluent l'évolution des stocks.
- De nouveaux dispositifs acoustiques répertorient mieux les espèces et reconstruisent les bancs de poissons en trois dimensions.
- L'hydroacoustique est un outil polyvalent qui permet une étude globale de l'écosystème.

© Dray van Beek/shutterstock.com

L'homme est en mer. Depuis l'enfance matelot,
Il livre au hasard sombre une rude bataille.
Pluie ou bourrasque, il faut qu'il sorte, il faut qu'il aille,
Car les petits enfants ont faim. Il part le soir
Quand l'eau profonde monte aux marches du musoir.
Il gouverne à lui seul sa barque à quatre voiles.
[...]

Lui, seul, battu des flots qui toujours se reforment,
Il s'en va dans l'abîme et s'en va dans la nuit.
Dur labeur ! Tout est noir, tout est froid ; rien ne luit.
Dans les brisants, parmi les lames en démente,
L'endroit bon à la pêche, et, sur la mer immense,
Le lieu mobile, obscur, capricieux, changeant,
Où se plaît le poisson aux nageoires d'argent...

Les pauvres gens, Victor Hugo

Les poissons sont une ressource alimentaire notable pour de nombreuses populations. Mais aujourd'hui, la surpêche, le réchauffement climatique et la pollution les menacent. Pour savoir comment les protéger, pour gérer le renouvellement de cette ressource, pour réduire l'impact des facteurs nuisibles, il faut notamment comprendre leur mode de vie, leur comportement et savoir évaluer les stocks de façon précise.

Pour cette évaluation, nous examinerons comment l'hydroacoustique, qui consiste à émettre des sons sous l'eau et à recueillir les échos, a atteint une précision telle qu'il est aujourd'hui possible d'étudier le comportement des poissons et de reconstruire un banc en trois dimensions pour en suivre la dynamique et l'évolution. De surcroît, nous verrons que les spécialistes des ressources halieutiques ne s'intéressent plus seulement à la quantité des poissons qui ont un intérêt commercial, mais que leurs modèles prennent en compte les poissons dans leur environnement. Ces analyses écosystémiques incluent notamment les relations proies-prédateurs.

L'utilisation intensive des méthodes hydroacoustiques a commencé dès les années 1970, les chercheurs voulant obtenir des informations fiables sur l'abondance des poissons. Jusqu'alors on utilisait des méthodes classiques consistant à inventorier et observer les poissons d'après les statistiques de pêche. Mais cette pratique présente de nombreux biais ou des difficultés de mise en œuvre. En milieu lacustre et estuarien, on utilise des méthodes de capture passive (avec des filets verticaux statiques, nommés filets maillants) qui fournissent des estimations d'abondance relative et non une estimation du stock global. Selon la dimension

des mailles, la taille des poissons capturés change. Et les petits poissons (de l'ordre de sept à huit centimètres) sont mal recensés, alors que leur rôle et leur impact sur le milieu sont importants. Les techniques de pêche actives, tels le chalut ou la senne (des filets qui encerclent les poissons de surface), fournissent des estimations d'abondance locales, mais les prélèvements doivent être répétés de nombreuses fois pour tenir compte de la répartition hétérogène des poissons. Les statistiques de pêche lorsque les prises sont déchargées à quai apportent une information sur les populations exploitées dans les zones de pêche, mais elles ne donnent pas une image globale des populations.

L'hydroacoustique n'est pas soumise à ces limites et, de surcroît, c'est une méthode non invasive. C'est ainsi qu'elle est devenue au cours des 40 dernières années un outil incontournable de l'étude de la ressource halieutique. En outre, cette méthode s'adapte à tous les milieux aquatiques. Elle peut être mise en place aussi bien en eaux douces peu profondes qu'en haute mer. La richesse des données acoustiques sur les répartitions spatiales et temporelles des poissons, ainsi que sur leur abondance, leurs comportements et sur l'environnement, fait désormais partie des programmes scientifiques et du suivi des milieux aquatiques.

Écouter dans l'eau

Ainsi, cette méthode apporte de précieuses informations. Elle n'est devenue efficace que récemment, même si les premières tentatives de détection du bruit sous-marin remontent à la fin du XV^e siècle : Léonard de Vinci écoutait des bateaux éloignés en plongeant un tube dans l'eau et en collant son oreille à l'extrémité. Mais c'est surtout durant la Première Guerre mondiale que ces techniques utilisées pour repérer les sous-marins ont connu un développement important. En 1917, le physicien français Paul Langevin a notablement amélioré la technique en construisant une source sonore à partir de couches de matériau piézoélectrique (tel le quartz) confinées entre deux plaques de métal. La puissance de cette source sonore a alors permis de détecter pour la première fois en 1918 l'écho d'un sous-marin distant de plus de 1 500 mètres.

Rappelons qu'un cristal piézoélectrique produit une tension électrique lorsqu'il est soumis à une déformation mécanique et, inversement, soumis à une tension élec-



1. CE DISPOSITIF hydroacoustique est constitué de trois sondeurs émettant chacun à une fréquence spécifique (200, 120 et 38 kilohertz, de gauche à droite). Ils sont installés au plus près les uns des autres pour sonder le même volume d'eau.

LES AUTEURS



Jean GUILLARD est ingénieur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) et directeur adjoint du Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques et écosystèmes limniques à Thonon-les-Bains.

Anne LEBORGES-DHAUSSY est ingénieur de recherche à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et directrice adjointe du Laboratoire des sciences de l'environnement marin à Plouzané.

trique, il se contracte ou se dilate. Ainsi, quand une tension alternative est appliquée, les plaques de métal qui enserrent le cristal vibrent. Au contact de l'eau, le dispositif, nommé sondeur, provoque des compressions et des dilatations du fluide. Ces perturbations se propagent dans le milieu sous forme d'ondes acoustiques. Ces dernières se transmettent d'autant mieux et plus vite dans un milieu que celui-ci est dense : les ondes se propagent donc lentement (à environ 300 mètres par seconde) dans l'air, plus rapidement dans l'eau de mer (à environ 1 500 mètres par seconde) et encore plus vite dans les milieux solides (jusqu'à plusieurs milliers de mètres par seconde). Quand elle rencontre un obstacle, l'onde est en partie réfléchi. Le dispositif récepteur est activé par l'écho et le signal est converti en une tension électrique mesurable. En pratique, le système hydroacoustique, ou sondeur, est utilisé alternativement comme émetteur et comme récepteur d'ondes acoustiques. Le temps mis par l'onde pour revenir au sondeur est lié à la distance de l'objet, qu'il s'agisse d'un sous-marin ou d'un poisson.

Premières applications halieutiques

En 1927, le navigateur français Raymond Rallier du Baty a utilisé un appareil acoustique pour observer des bancs de poissons en mer. Deux ans plus tard, le Japonais K. Kimura a repéré des grandes dorades nageant dans un bassin. En 1935, le Norvégien Oscar Sund a, en particulier, enregistré la répartition verticale de morues au large de la Norvège. L'industrie des pêches maritimes a alors commencé à s'intéresser à cette technique. Durant la Seconde Guerre mondiale, les sondeurs sont devenus plus puissants et précis, mais ils restaient encombrants et chers. Il fallut attendre la période d'après-guerre pour que les outils de détection acoustique deviennent plus accessibles.

À partir de 1963, le biologiste britannique David Cushing et d'autres ont suggéré que s'il était possible de localiser un poisson à l'aide d'un sondeur, on devait aussi pouvoir utiliser cette méthode de façon quantitative en comptant le nombre d'échos obtenus au cours d'une émission. C'était le début de l'évaluation acoustique de l'abondance des poissons. Il est aussi possible de mesurer l'intensité du signal au lieu de compter le nombre d'échos. On obtient alors une mesure de la densité de poisson, et donc

de la biomasse. Cette méthode a l'avantage d'être applicable aussi bien aux poissons dispersés qu'aux bancs, ce que ne permet pas le seul comptage des échos.

D. Cushing a aussi étudié le phénomène de réflexion des ondes acoustiques sur les poissons. Les grands poissons produisent un signal plus élevé que les petits. Des relations de proportionnalité entre l'écho renvoyé par un poisson et sa taille ont été définies de façon expérimentale pour la plupart des espèces européennes depuis les années 1980. L'anatomie des poissons influe aussi sur le signal par l'intermédiaire de l'impédance acoustique. Celle-ci est, pour un milieu ou un matériau donné, le produit de la densité du milieu par la vitesse du son dans ce milieu. Et plus la différence (ou contraste) entre l'impédance de l'eau et celle du poisson est élevée, plus la réflexion est importante. Les tissus durs d'un poisson – os et arêtes – réfléchissent

bien les ondes acoustiques. Mais la vessie natatoire, organe rempli d'air indispensable à la flottaison de nombreux poissons, offre un meilleur contraste. Tous les organismes ne sont pas pourvus de vessie mais ils peuvent néanmoins être détectés : zooplancton, méduses (quand elles sont rassemblées en colonies denses), etc.

Par ailleurs, la fréquence de l'onde émise par le sondeur influe sur ce qui est détecté. Elle est choisie en fonction de la portée de détection souhaitée et des organismes visés. En effet, la détection des poissons se fait en général avec des fréquences comprises entre 10 et 300 kilohertz. Mais des organismes plus petits sont quasiment invisibles à de telles fréquences. On utilise des fréquences plus élevées : entre 100 et 3000 kilohertz pour détecter le plancton. Il faut aussi tenir compte du fait que les ondes de fréquences les plus élevées sont plus atténuées lors de leur

propagation et ont donc une portée limitée (plusieurs kilomètres à 10 kilohertz, environ 100 mètres à 300 kilohertz, quelques mètres à 3000 kilohertz). Pour interpréter les résultats d'un signal réfléchi, on applique des méthodes perfectionnées de traitement du signal (voir l'encadré ci-dessous).

Dès les années 1990, les chercheurs ont utilisé des sondeurs numériques, ce qui a facilité l'analyse du signal. Aujourd'hui, les sondeurs peuvent être couplés afin d'émettre de façon synchrone plusieurs ondes de fréquences différentes. La combinaison des informations qu'offre l'analyse multifréquentielle assure une meilleure classification des organismes détectés.

Les biologistes utilisent ces dispositifs pour étudier le comportement du poisson et ses interactions avec son environnement. Ils ont, par exemple, observé les différences de répartition des espèces entre le jour et la nuit (voir la figure 3) ou

PROPAGATION ET RÉFLEXION DES ONDES ACOUSTIQUES

L'écho reçu après la réflexion d'une onde acoustique sur un poisson nécessite un traitement spécifique pour être interprété. En effet, de nombreux facteurs influent sur l'intensité et la direction de propagation du signal.

Avant tout, la géométrie du système influe sur le signal, aussi bien celui émis par le sondeur que celui réfléchi par le poisson. Le signal émis n'est ni isotrope ni homogène ; il est constitué d'un cône principal où est concentré l'essentiel de l'énergie transportée par les ondes, et de cônes secondaires. Le

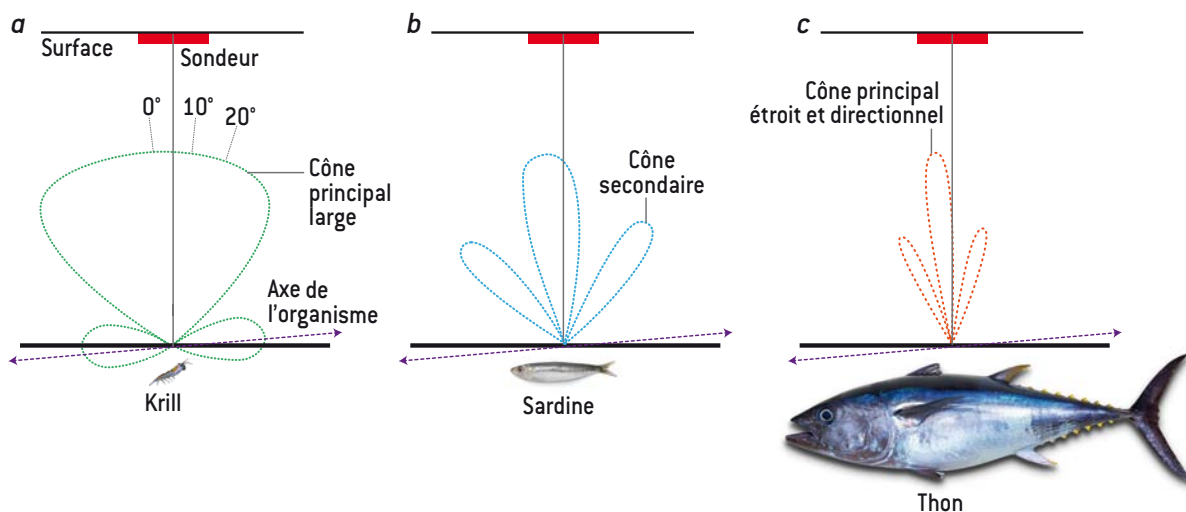
poisson qui sert de réflecteur modifie l'onde de différentes façons. Par exemple, si l'organisme marin (krill par exemple) est petit par rapport à la longueur d'onde, l'onde est réfléchie de façon très peu directionnelle. Il se comporte comme un point diffusant et sa forme réelle a peu d'influence (a). Si sa taille est plus grande que la longueur d'onde, la réflexion est directionnelle (c). Selon l'orientation du poisson, son anatomie et sa position par rapport à l'axe du signal émis, l'écho est plus ou moins déformé.

Enfin, l'intensité du signal est altérée par le milieu. La propagation du signal dépend de facteurs tels que la température et la salinité de l'eau. Il faut aussi prendre en compte le fait que le bateau se déplace à une certaine vitesse et peut être chahuté par la houle.

Les méthodes de traitement du signal prennent en compte tous ces facteurs. Par exemple, certains dispositifs actuels corrigent les données de façon à ce que la valeur modifiée corresponde à l'écho qu'aurait produit le poisson s'il avait été dans l'axe du signal incident.

Cette valeur corrigée est proportionnelle à la longueur du poisson suivant des équations qui dépendent des espèces.

Les nouveaux sondeurs multifaisceaux facilitent la reconstruction spatiale jusqu'à obtenir une image en trois dimensions d'un banc de poissons. Mais de telles mesures requièrent des outils de plus en plus puissants. Les chercheurs enregistrent séquentiellement des coupes qu'ils assemblent pour obtenir des bancs de poissons en volume ; ces outils sont similaires à ceux utilisés en imagerie du cerveau.



la présence de proies et de prédateurs dans les mêmes régions.

D'autres systèmes envoient plusieurs ondes simultanément pour augmenter la résolution spatiale – les systèmes multifaisceaux. Les chercheurs localisent mieux le poisson et déterminent la direction des déplacements. Le développement dans les années 1990 des techniques multifaisceaux a ouvert des perspectives intéressantes pour étudier le comportement des bancs de poissons. Dans de tels appareils, 60 dispositifs émettent des ondes, chacun ayant une largeur angulaire de 1,5 degré. Le dispositif sonde en continu une coupe perpendiculaire au bateau et sur un angle égal à 90 degrés (voir la figure 2). À mesure que le bateau avance, on obtient une succession de coupes qu'il est possible d'assembler pour reconstruire un volume, par exemple

un banc de poissons. Cet outil est très utile pour étudier le comportement grégaire de certaines espèces.

La structure des bancs de poissons

La forme des bancs varie selon les espèces ou les différentes phases du cycle de vie ; pour une espèce, elle peut aussi varier selon les saisons et les aires géographiques. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer la formation de tels bancs. Ces derniers auraient un rôle protecteur : la vigilance est accrue et le risque est réparti entre tous les poissons. La présence du groupe augmenterait aussi les chances de détecter des ressources alimentaires et de disposer d'un partenaire pour se reproduire. Enfin, le banc diminuerait l'effort à four-

nir pour nager, de même que les cyclistes dans un peloton sont protégés du vent et économisent de l'énergie.

Les espèces de poissons qui se constituent en bancs sont parmi les plus pêchées dans les océans. Par conséquent, la connaissance de la structure et de la dynamique de ces bancs est essentielle pour la gestion de la pêche, et serait même une des clefs de la conservation des stocks halieutiques. En effet, ce sont les interactions des bancs et des individus qui permettent le brassage des populations. Elles influent sur les processus évolutifs, la transmission des informations, mais aussi des maladies. Depuis quelques années, l'étude de la dynamique de formation et de désagrégation des bancs de poissons est devenue l'une des principales composantes de l'écologie halieutique.

CAMÉRA ACOUSTIQUE ET SUIVI DES POISSONS

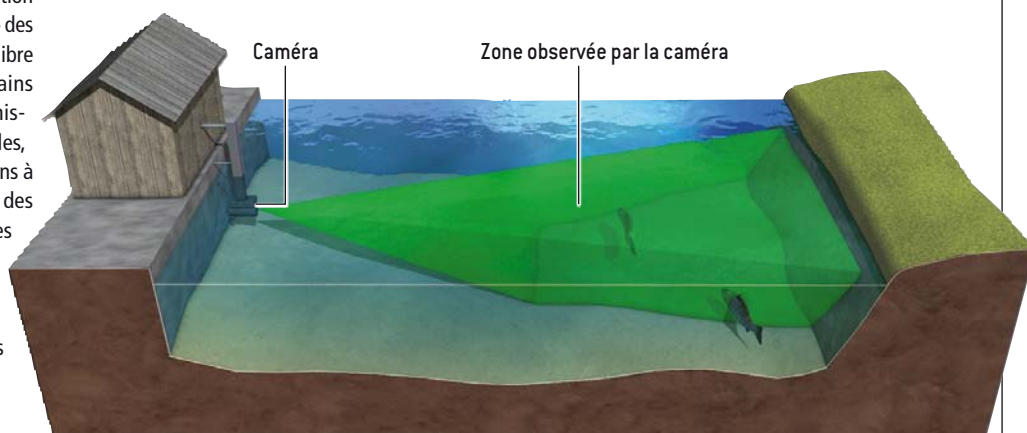
Comment les poissons s'adaptent-ils aux perturbations de l'homme et aux altérations de leur environnement ? C'est une question qui se pose par exemple lorsqu'une rivière est aménagée. Des systèmes d'imagerie acoustique, offrant un résultat proche de celui de vidéos, assurent un suivi des poissons.

Les législations européennes et nationales imposent la restauration de la « connectivité écologique » des cours d'eau afin de rétablir la libre circulation des espèces. Certains barrages et seuils non franchissables constituent des obstacles, qui réduisent l'accès des poissons à des zones vitales. Dans le cas des poissons migrateurs quittant les océans salés pour se reproduire dans des rivières d'eau douce, tel le saumon atlantique, de telles discontinuités écologiques

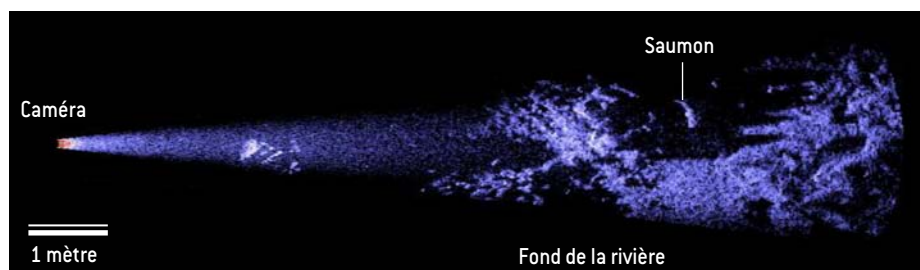
se traduisent par une limitation de l'aire de répartition et donc des effectifs de poissons. Sur la Sélune, cours d'eau qui se jette dans la baie du Mont-Saint-Michel, deux barrages infranchissables doivent être supprimés d'ici 2018 afin de rétablir cette continuité. Une caméra acoustique a été mise en place dans le cours d'eau en juillet 2013 afin

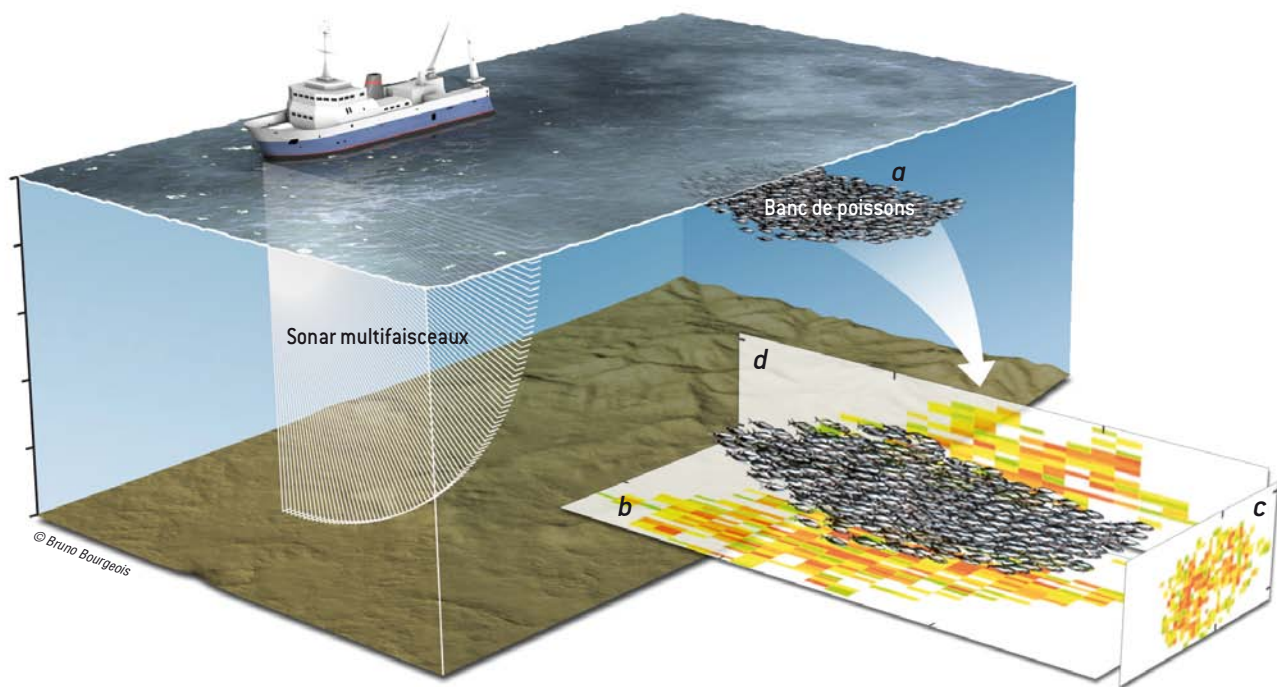
d'analyser les dynamiques migratoires des poissons sur les parties aval et estuarienne de ce fleuve. Cette caméra acoustique DIDSON (*Dual-frequency identification sonar*) est un sonar de nouvelle génération, émettant à haute fréquence (1,1 ou 1,8 mégahertz) et enregistrant huit images par seconde. La morphologie et le compor-

tement de nage du poisson sont visualisables sur les enregistrements, ce qui favorise l'identification de l'espèce. Dans le cadre de cette étude, les saumons atlantiques seront différenciés des autres poissons sur divers critères : taille, sens et vitesse de déplacement, rythme de battement des nageoires et comportement général.



La caméra immergée près d'une berge de la Sélune surveille un volume fixe dans le lit du fleuve (en vert, en haut). Les chercheurs peuvent ainsi voir le nombre, la taille et le type de poissons qui y circulent (en bas, un saumon remonte le cours d'eau pour se reproduire).





2. LE SONAR MULTIFAISCEAUX émet simultanément 60 ondes acoustiques, chaque faisceau couvrant un angle égal à 1,5 degré. La méthode permet notamment de visualiser les bancs de poissons. Les ondes acoustiques cartographient le banc, tranche par tranche, et en assemblant les différents enregistrements, on reconstruit le

banc en trois dimensions (a). On obtient également les distributions de densité horizontale (b), verticale parallèle à l'axe du bateau (c), ou dans un plan perpendiculaire (d). L'échelle de couleur permet de visualiser les variations de la densité, des zones les plus denses (en rouge) aux moins denses (en blanc).

Ce type d'étude avec les sonars multifaisceaux a mis en évidence, par exemple, que les bancs n'ont pas une structure homogène, mais qu'ils présentent des zones de densités variables. Certaines parties, nommées vacuoles, ont une densité faible. Des études hydroacoustiques en milieu lacustre ont établi les caractéristiques, tant morphologiques que spatiales et énergétiques, des bancs de deux espèces de poissons, le gardon et la perche. Nous avons constaté que plus un banc est important, plus il contient de vacuoles. Mais cette relation entre le volume du banc et le nombre de vacuoles diffère d'une espèce à l'autre et une telle observation par sonar pourrait devenir un critère pour identifier la composition des bancs.

Quel est le rôle de ces vacuoles ? Il pourrait s'agir de zones nécessaires à la flexibilité du banc lors des changements de direction. Elles représentent peut-être aussi des « réserves » d'oxygène dissous pour le banc, s'il venait à traverser une zone pauvre en oxygène.

Ainsi, les sonars multifaisceaux ont permis d'étudier de nombreux aspects du comportement des poissons. Par exemple,

quand on n'utilisait que des sonars verticaux ou les techniques classiques par chalutage, les biologistes ignoraient dans quelle mesure les poissons étaient ou non effrayés par les bateaux qui effectuaient des relevés et quelle proportion de la population de poissons les évitait. Les études sur la fuite des poissons ont mis en évidence des comportements variés qui dépendent de nombreux facteurs : les espèces sont plus ou moins farouches, plus ou moins habituées à la présence de bateaux dont le bruit varie, la fuite du poisson dépend de sa profondeur, etc. Pourtant, on veut une estimation précise des stocks de poissons et de leur évolution.

Estimation des stocks

Dans ces conditions, comme les sonars multifaisceaux ne perturbent pas les poissons, l'hydroacoustique s'est révélée être un outil idéal pour étudier le comportement des poissons et pour améliorer l'évaluation des stocks. Les biologistes réalisent des relevés systématiques, à intervalles de temps réguliers, avec une méthode bien établie sur des régions étendues et sans

avoir à prélever de grandes quantités de poissons. L'hydroacoustique est utilisée pour étudier l'évolution des populations piscicoles dans les milieux marins, mais aussi dans les grands lacs et depuis plusieurs années dans les aires marines protégées, ainsi que les milieux moins profonds, tels que les rivières, les estuaires, etc.

Lors des estimations des stocks par hydroacoustique, on cherche à établir des cartes d'abondance des principales espèces, telles que les sardinelles sur les côtes d'Afrique de l'Ouest, ou les chinchards, les maquereaux et les anchois dans l'océan Atlantique. On peut ainsi suivre les évolutions saisonnières et annuelles de ces biomasses, prévoir les schémas migratoires et évaluer les quantités exploitables par les différents pays, dans le cadre des accords de pêche.

Gérer les stocks consiste aussi à suivre à long terme les espèces les plus menacées, ainsi que l'effet des mesures adoptées pour les protéger. Mais cet aspect de la gestion est compliqué par le fait que s'y mêlent des enjeux économiques et politiques (voir l'encadré page 44). L'hydroacoustique complète les différentes techniques disponibles

pour obtenir des chiffres fiables de l'évolution des stocks halieutiques.

L'hydroacoustique est, nous l'avons évoqué, une méthode non invasive, car elle ne nécessite en principe pas de prélever des poissons, mais elle doit être complétée par des méthodes de capture (chalutage ou filets maillants) permettant d'identifier les espèces. En effet, les caractéristiques de l'écho enregistré par les sondeurs dépendent du type de poisson. Les captures fournissent la composition spécifique et la taille moyenne des poissons, et permettent d'optimiser l'analyse des signaux acoustiques. Mais les sondeurs les plus récents, qui utilisent plusieurs fréquences, limitent le nombre de chalutages nécessaires.

L'un d'entre nous (J. Guillard) participe à l'observatoire SOERE Grands Lacs périalpins qui suit en particulier l'évolution de la qualité des eaux du lac du Bourget et de ses populations de poissons. Dans les années 1960, la qualité des eaux s'est détériorée et la proportion des différentes espèces a changé. Jusque dans les années 2000, on trouvait surtout des percides et des cyprinidés,

alors que les poissons «nobles» des couches profondes froides, les salmonidés, avaient presque disparu. Avec l'amélioration de la qualité des eaux du lac depuis une dizaine d'années, la densité de poissons des strates profondes a été décuplée entre 2005 et 2012 ; les salmonidés, et notamment le lavaret, *Coregonus lavaretus*, poisson emblématique de ce lac, sont à nouveau présents en quantité. Les observations obtenues par hydroacoustique sont confirmées par les statistiques de pêche (plus de 65 tonnes de lavarets pêchés en 2012 pour moins de 7 tonnes en 2005). Cet exemple montre l'intérêt de l'hydroacoustique pour suivre les différentes populations de poissons, qu'il s'agisse de lacs ou d'océans. En outre, le lac du Bourget illustre un point crucial : on ne peut comprendre le comportement des poissons et l'évolution des populations qu'en prenant en compte les divers aspects de l'environnement. Pour le lac du Bourget, l'évolution constatée a été reliée à la qualité des eaux, à certains facteurs physico-chimiques et à la présence de plancton, animal et végétal. L'eutrophisation – un excès de nutriments

■ BIBLIOGRAPHIE

V. M. Trenkel *et al.*, **L'acoustique pour détecter et mesurer le vivant**, Édition Ifremer, collection Mers et Océans, André Monaco et Patrick Prouzet (dir.), vol. 5, à paraître en 2014.

S. Guénette et D. Gascuel, **Shifting baselines in European fisheries: the case of the Celtic Sea and Bay of Biscay**, *Ocean and Coastal Management*, vol. 70, pp. 10-21, 2012.

L. G. Rudstam *et al.*, **Fisheries Acoustics, Fisheries Techniques**, A.V. Zale, D.L. Parrish, T.M. Sutton (éds), American Fisheries Society, 2012.

E. J. Simmonds et D. N. MacLennan, **Fisheries Acoustics: Theory and Practice**, Wiley-Blackwell, 2005.

Surexploitation des ressources marines : où en sommes-nous exactement ?

En quelques années, la surexploitation des océans est devenue une préoccupation essentielle pour le grand public. Et ce à juste titre. Il est en effet établi que la pêche a conduit, sur le long terme, à une très forte diminution de l'abondance des ressources halieutiques, dans à peu près tous les océans. Les poissons les plus vieux et les espèces prédatrices ont été les plus touchés, avec pour conséquence une plus grande instabilité et une résilience moindre des écosystèmes marins.

En Europe, la diminution est ancienne. Elle est intervenue, pour l'essentiel, avant la mise en place des programmes d'observation marine, ce qui rend son évaluation difficile. Mais la compilation des statistiques de pêche et des données disponibles depuis un siècle, ainsi que les modèles de dynamique des populations confirment le mauvais état global de la ressource. La diminution de biomasse a été forte dans la période de l'entre-deux-guerres et surtout durant les décennies 1950 à 1980. Une étude récente indique que la biomasse totale

des espèces de fond aurait été divisée par six entre 1950 et 1990 dans la zone du Golfe de Gascogne et en mer Celtique, alors que la pression de pêche y était multipliée par dix. La ressource est devenue rare, et ne peut plus être exploitée qu'à grands frais. Cette évolution, répétée partout en Europe, explique la crise du secteur des pêches et son lent déclin. Les captures sont aujourd'hui moitié moindres, comparées au maximum des années 1970.

Dans d'autres régions du monde, des mesures significatives de régulation de la pêche ont été prises dès la fin des années 1970 ou dans les années 1980. L'Europe, sans doute parce qu'elle était en construction, a tardé à agir (on ne parlera pas ici des pays en développement où la situation est souvent mal connue et sans doute pire encore). L'Europe a continué à subventionner la construction de nouveaux navires, alors même que les surcapacités de pêche étaient avérées. Quant à la politique des quotas, mise en place en 1983 et censée limiter la pression de pêche, elle est restée longtemps inefficace,

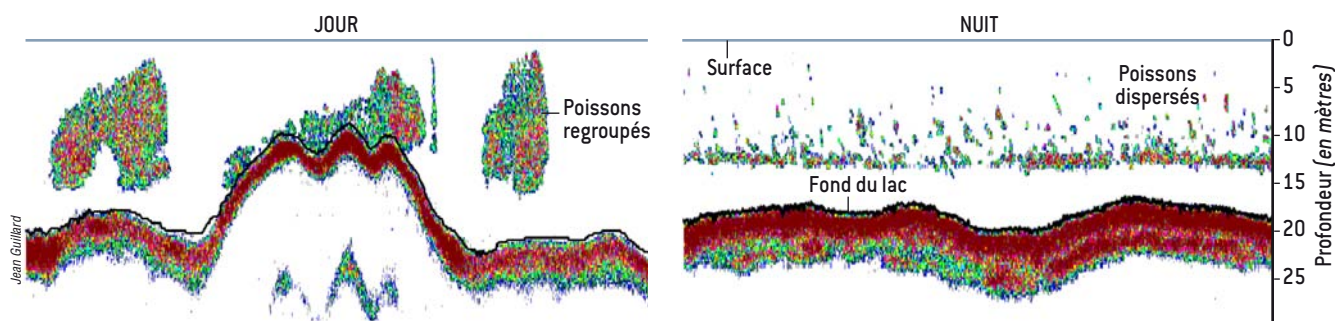
car peu restrictive. Les quotas étaient presque toujours supérieurs aux recommandations scientifiques, voire souvent supérieurs aux quantités de poissons que les pêcheurs étaient capables de trouver dans la mer ! À la fin des années 1990, plus de 80 pour cent des stocks étaient surexploités dans les eaux de l'Atlantique Nord-Est et de Méditerranée.

Depuis une dizaine d'années, les choses commencent à changer avec l'instauration de nouvelles normes et règles de gestion européennes. En particulier, les Plans de sortie de flotte ont conduit à réduire le nombre de bateaux. Et surtout, la politique des quotas est devenue beaucoup plus restrictive. Résultat : la pression de pêche moyenne – mesurée par la probabilité que chaque poisson a d'être capturé – a été divisée par deux depuis l'an 2000. Ce résultat spectaculaire, et presque inespéré, n'a cependant pas eu les effets escomptés. Quelques stocks ont vu leur biomasse augmenter. C'est par exemple le cas du merlu dont la biomasse reproductrice, inférieure à 25 000 tonnes

en 1998, a aujourd'hui rejoint la valeur escomptée de 300 000 tonnes. Mais pour la majorité des stocks, les abondances restent faibles et les quotas de pêche continuent globalement à décroître. La reconstruction des stocks semble ainsi plus lente et plus aléatoire qu'on ne l'espérait.

Un résultat inquiétant est que le nombre de jeunes poissons qui intègrent les stocks chaque année reste en diminution, malgré la baisse de la mortalité par pêche. Est-ce lié à des pertes de la diversité génétique ? À une dégradation des habitats côtiers qui servent de nurserie à de nombreuses espèces ? Au changement climatique et à une réorganisation complexe des réseaux trophiques ? À d'autres impacts anthropiques ? Quoi qu'il en soit, la recherche halieutique fait face à de nouvelles questions. Et doit, pour y répondre, s'intéresser de près au fonctionnement des écosystèmes marins dans leur globalité... et leur complexité.

Didier Gascuel
Laboratoire Écologie et santé des écosystèmes, Rennes (UMR 985)



3. LE COMPORTEMENT DES POISSONS change entre le jour et la nuit. Il peut être étudié à l'aide de sondeurs hydroacoustiques. Sur cet enregistrement dans le lac d'Annecy, le fond (la ligne noire) se trouve à environ 20 mètres de profondeur. En fonction de la densité de biomasse, l'intensité du signal enregistré change (l'intensité

croissante du vert au rouge). Durant la journée, les poissons se regroupent par bancs (à gauche). Ils se protègent ainsi contre les prédateurs. Au contraire, durant la nuit, les prédateurs sont moins dangereux, et les poissons se dispersent (à droite) pour se nourrir de zooplancton.

favorise le développement excessif d'algues, ce qui réduit la concentration en oxygène de l'eau – a été l'une des principales perturbations du lac il y a une cinquantaine d'années. Elle est en passe d'y être résolue, mais d'autres facteurs tels que la hausse de la température et des pollutions par des xénobiotiques (pesticides, médicaments...) sont susceptibles de toucher aujourd'hui les populations de poissons et nécessitent de surveiller le lac sur le long terme.

Vers une approche écosystémique

Le suivi doit être régulier, mais un autre critère est également pris en compte aujourd'hui : au lieu d'analyser les espèces indépendamment les unes des autres, on privilégie les approches écosystémiques, qui offrent une vue globale des poissons au sein de leur écosystème. Comme pour le lac du Bourget, il est important de connaître les conditions physico-chimiques de l'eau. Et l'hydroacoustique, à nouveau, apporte de nombreuses informations. Par exemple, la propagation des ondes acoustiques dépend de la densité de l'eau, qui change avec la salinité, la température ou la présence de bulles. En outre, les modifications des caractéristiques de l'eau s'accompagnent de changements dans la répartition des organismes qui peuvent alors servir de marqueurs pour les paramètres hydrologiques. Il est ainsi possible d'observer des panaches sous-marins de méthane, de détecter des thermoclines ou oxyclines (des zones de transition rapide de température ou d'oxygène dissous en profondeur) et de détecter des entrées d'eau douce dans la mer.

Un autre aspect important d'un réseau écosystémique est la relation entre les proies

et les prédateurs. Les poissons interviennent à différents niveaux dans la chaîne alimentaire, comme proies et comme prédateurs. L'hydroacoustique permet de recenser les éléments de la chaîne alimentaire en détectant les plantes immergées, les populations de phyto- et de zooplancton, ainsi que les petits poissons dont se nourrissent les poissons prédateurs. Par exemple, au centre de l'océan Atlantique équatorial, on a mis en évidence de fortes concentrations de thons (*Katsuwonus pelamis* et *Thunnus albacares*), qui ont attiré une intense activité de pêche. Cette densité s'explique par la présence de nombreux bancs de petits poissons *Vinciguerria nimbaria* (*Photichthyidae*).

Des campagnes acoustiques ont montré que, pendant l'hiver boréal, ces proies ont un comportement inhabituel dont on ignore la cause : normalement, le jour, les petits poissons restent à plusieurs centaines de mètres de profondeur, cachés dans l'obscurité, pour se protéger des prédateurs. Or, dans cette région de l'océan, les petits poissons restent présents près de la surface ; les thons, prédateurs visuels, en profitent pour s'en nourrir. Cela a été confirmé par l'étude des contenus stomacaux de thons capturés.

Les changements climatiques qui s'ajoutent à de multiples pressions anthropiques vont conduire à une évolution des écosystèmes aquatiques en termes de propriétés physico-chimiques de l'eau, de qualité des eaux, d'impacts sur le réseau trophique et, par conséquent, sur les populations de poissons. Comment ces écosystèmes et les communautés de poissons réagiront-ils face à ces changements ? L'hydroacoustique permet d'y répondre et d'évaluer les actions menées pour réduire les pressions anthropiques. On peut, par

exemple, chercher à restaurer la qualité des eaux en milieux lacustres, aménager les cours d'eau, (voir l'encadré page 42), améliorer la gestion des ressources halieutiques. Mais on ne maîtrise pas tous les paramètres, et le suivi des communautés de poissons, qui sont des indicateurs de la qualité des eaux lacustres ou marines, est donc plus que jamais indispensable pour anticiper l'évolution des écosystèmes et des réserves de poissons. La capacité de l'acoustique à fournir une vue d'ensemble du milieu, des conditions physico-chimiques au comportement des prédateurs supérieurs, en fait une source précieuse d'informations.

Une méthode incontournable

Avec les données obtenues par hydroacoustique, les chercheurs précisent leurs modèles biogéochimiques et trophiques. Ils cherchent à proposer des scénarios d'évolution des milieux et des populations de poissons en fonction des changements climatiques. Les nouveaux développements, tels que l'approche multifaisceaux ou multifréquences, devraient encore améliorer certains aspects, notamment l'identification des organismes. Au cours des 40 dernières années, l'hydroacoustique est devenue un outil important de l'évaluation des stocks halieutiques. Sa polyvalence et la précision des mesures en font un instrument incontournable pour la gestion écosystémique, car elle permet d'intégrer un grand nombre de facteurs concernant l'environnement et le comportement des poissons. Reste encore à convaincre toutes les parties concernées que les informations qu'elle fournit soient appliquées ! ■

Comment les **concepts** sont-ils codés dans le cerveau ?

Rodrigo Quijan Quiroga, Itzhak Fried et Christof Koch

L'idée d'une personne ou d'un objet connu serait codée par un petit ensemble de neurones, qui s'activeraient spécifiquement.

Akakhi Akakhievitch, brillant neurochirurgien russe, avait un patient qui ne supportait plus sa mère et voulait l'oublier. Il lui ouvrit le crâne et lui retira quelques milliers de neurones liés à la représentation de sa mère. Après l'intervention, le souvenir de la mère avait disparu. Fort de ce succès, A. Akakhievitch se mit en quête des neurones codant le souvenir de la grand-mère.

Cette histoire, bien sûr fictive, est l'œuvre du neurophysiologiste Jerry Lettvin (1920-2011), qui l'a racontée à un groupe d'étudiants de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) en 1969. Il souhaitait ainsi illustrer son hypothèse provocatrice selon laquelle environ 18 000 neurones seulement pourraient coder l'ensemble des expériences conscientes (souvenirs et pensées) liées à une personne ou un objet. Désignée ironiquement par l'expression « théorie du neurone grand-mère », cette affirmation suscite de nombreux débats depuis plus de 40 ans.

Dès la fin du XIX^e siècle, le psychologue américain William James avait émis une idée voisine, postulant que l'expérience

L'ESSENTIEL

- On identifie une personne ou un objet connu quelle que soit sa représentation (images variées, nom écrit, etc.). Autrement dit, le concept de cet objet ou de cette personne est enregistré dans le cerveau.
- Pour certains spécialistes, les concepts sont codés par un petit nombre de neurones, voire un seul. Selon d'autres, ils sont répartis sur des centaines de millions de neurones.
- Des expériences réalisées lors d'opérations chirurgicales du cerveau confortent la première théorie.

consciente de chaque objet était portée par une cellule cérébrale spécifique. Cependant, l'hypothèse du neurone grand-mère est en opposition avec la théorie dominante, selon laquelle la perception d'un individu ou d'un objet est traitée par des groupes de millions, voire de milliards de neurones. D'après cette théorie, l'activité d'un seul neurone ne crée pas de signification ; seuls de multiples neurones qui coopèrent en sont capables.

La question n'est pas tranchée : un petit nombre de neurones – quelques milliers, voire moins – suffit-il à « emmagasiner » un concept, ou bien en faut-il des centaines de millions, répartis à travers tout le cerveau ? Des études récentes apportent un nouvel éclairage sur cette question, ainsi que sur le fonctionnement de la mémoire et de la pensée consciente.

Il y a quelques années, avec Gabriel Kreiman, de la Faculté de médecine de Harvard, aux États-Unis, et Leila Reddy, du Centre de recherche sur le cerveau et la cognition, à Toulouse, nous avons découvert chez un patient un neurone qui réagissait fortement aux photographies

