

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

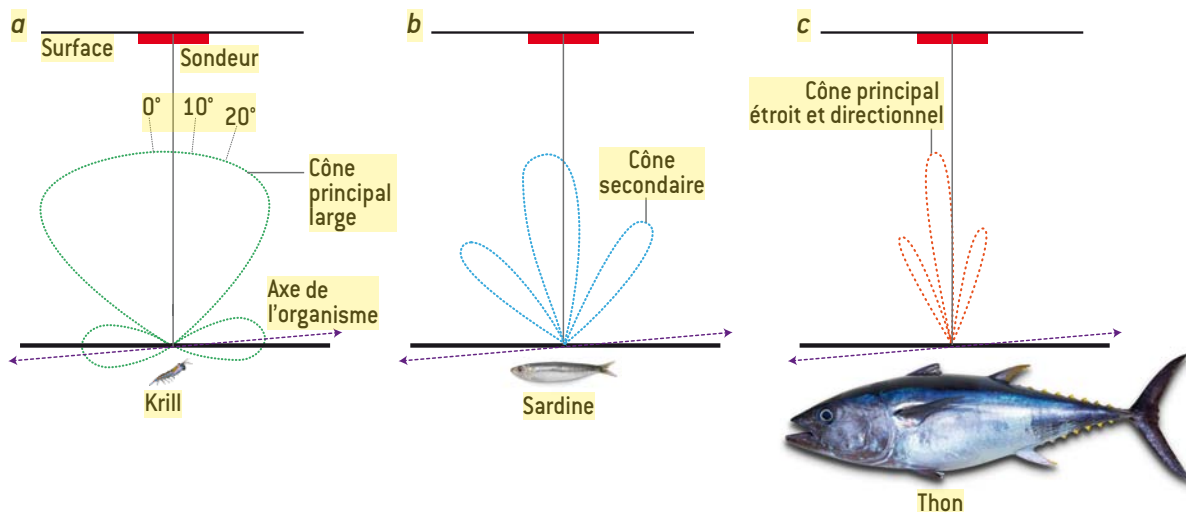
poisson qui sert de réflecteur modifie l'onde de différentes façons. Par exemple, si l'organisme marin (krill par exemple) est petit par rapport à la longueur d'onde, l'onde est réfléchie de façon très peu directionnelle. Il se comporte comme un point diffusant et sa forme réelle a peu d'influence (a). 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

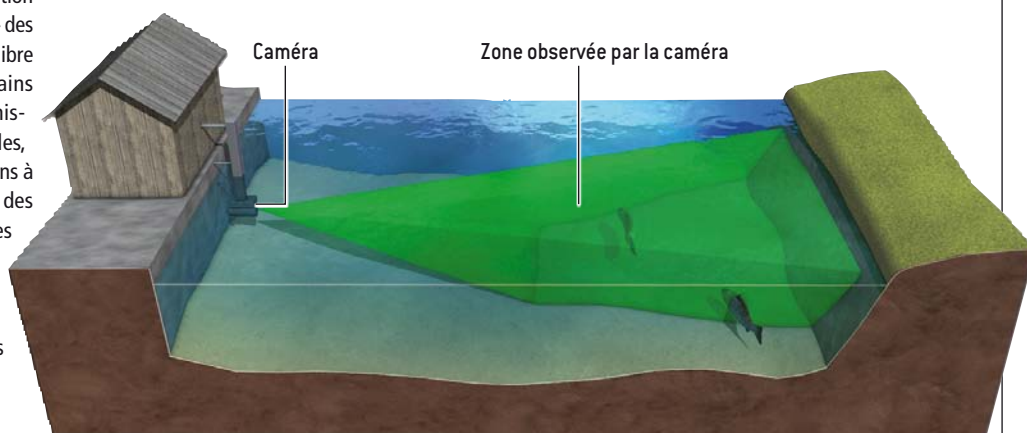
Comment les poissons s'adaptent-ils aux perturbations de l'homme et aux altérations de leur environnement ? C'est une question qui se pose par exemple lorsqu'une rivière est aménagée. Des systèmes d'imagerie acoustique, offrant un résultat proche de celui de vidéos, assurent un suivi des poissons.

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).

