La vie sous l'eau révélée par l'acoustique

L'écho des profondeurs

Dans l'eau, le regard se perd en quelques mètres : comment observer dans leur milieu les animaux qui peuplent les lacs et les océans ? Depuis quelques décennies, les progrès incessants de l'acoustique aident les scientifiques à y « voir plus clair » dans cet univers mystérieux…

Contenus scientifiques
E. Alfonsi (UBO, BioGeMME/Océanopolis)
L. Berger (Ifremer, IMN/NSE/Acoustique et Sismique)
A. Bertrand (IRD, EME/DISCOH)
P. Brehmer (IRD, Lemar)
B. Gobert (IRD, IUEM)
J. Guillard (Inra, Carrtel)
A. Lebourges-Dhaussy (IRD, Lemar)
G. Roudaut (IRD, Lemar)

Maquette et infographies
S. Hervé (UBO, IUEM/Lemar)

Coordination
B. Gobert (IRD, IUEM)

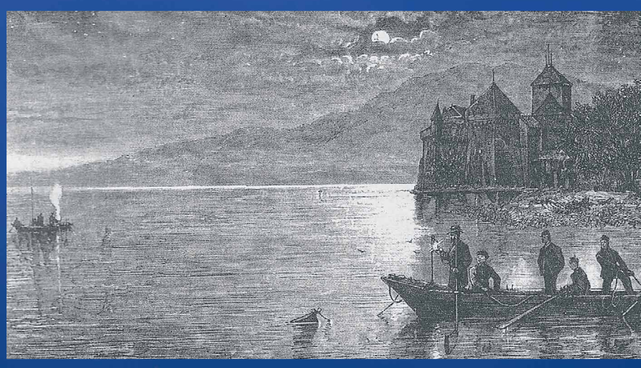
Remerciements à N. Behagle (IRD), L. Chauvaud (CNRS), N. Copley (WHOI), M. Doray (Ifremer), J. Habasque (IRD), I. Jaffrès (UBO), R. Laë (IRD), H. Le Gall (Shom), H. Lecornu (Shom), H. Masski (INRH), B. Poupin (IRD), L. Provost (Genavir), M.-L. Sabrié (IRD), M. Schmidt (LFV Hydroakustik GmbH), G. Simonin (Inra), Y. Stéphan (Shom), L. Tito de Morais (IRD)

Des sons dans l'eau ?

Plus d'un siècle avant J.-Y. Cousteau, le monde subaquatique était déjà bien connu pour ne pas être « le monde du silence ».

Même si Aristote le pressentait il y a près de 2 500 ans, l'idée que des sons puissent se propager dans l'eau a mis très longtemps à s'imposer. Léonard de Vinci écoutait les bruits sous-marins des bateaux, et à partir du XVIIIe siècle, tout s'accélère : l'abbé Nollet prouve que le son se propage dans l'eau (1740), Laplace établit les formules donnant sa vitesse (1816), puis des expériences sur le terrain confirment ces mesures.

Deux Suisses, Colladon et Sturm, mesurent en 1826 la vitesse du son dans l'eau du lac Léman. Sur un bateau, un dispositif actionne la combustion de poudre et donne simultanément des coups sur une cloche immergée ; sur un autre, un observateur déclenche un chronomètre lorsqu'il voit l'éclair et l'arrête lorsqu'il entend le son dans l'eau. Avec cette méthode ingénieuse, la vitesse ainsi mesurée (1435 m/s) est très proche de la vitesse réelle. Le son se propage tellement bien dans l'eau qu'à 51 km de distance, l'observateur ne voit plus le signal lumineux mais entend encore nettement la cloche…

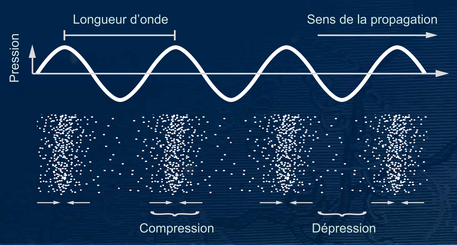


► *Expérience de Colladon et Sturm.*
J. Rambosson, 1878. Les harmonies du son et l'histoire des instruments de musique.

Pouvait-on alors imaginer alors que le son permettrait un jour de «voir» sous l'eau comme la lumière d'une lampe torche dans l'obscurité ? Que les objets sous-marins pourraient être « éclairés » par des sources sonores et signaler leur présence en en renvoyant l'écho ?

► *« Les moindres bruits se transmettaient avec une vitesse à laquelle l'oreille n'est pas habituée sur la terre. En effet, l'eau est pour le son un meilleur véhicule que l'air et il s'y propage avec une rapidité quadruple. »*
J. Verne, 1871. Vingt mille lieues sous les mers.

Le son est une onde de compression qui se propage dans tout milieu élastique solide, liquide ou gazeux.



A 20°C, la vitesse du son est de 343 m/s dans l'air et de 1480 m/s dans l'eau.

Deux crêtes sont séparées par une longueur d'onde.

La fréquence (Hz) varie en fonction de la longueur d'onde.

L'intensité sonore est liée à l'amplitude des variations de pression.

Les particules (molécules) ne subissent que de très petits déplacements alternatifs autour de leur position moyenne.

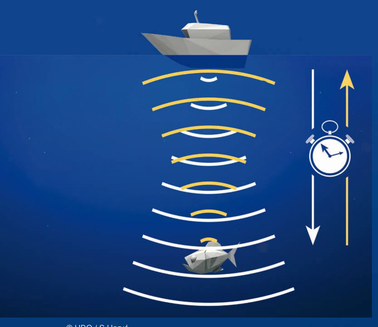
Naufrages, icebergs et guerre navale

Les premiers sondeurs à ultrasons sont nés au début du XXe siècle de l'urgence de sécuriser un trafic maritime en plein essor.

Traumatisé par le naufrage du Titanic (1912) et la guerre sous-marine (1914-1918), le monde maritime de ce début de siècle est confronté au besoin vital d'assurer sa sécurité et fait appel à toutes les connaissances scientifiques et techniques.

▲► *Le naufrage du Titanic précipita les travaux sur l'utilisation des propriétés acoustiques de l'eau pour la sécurité des navires, déjà présente dans les projets de cloches sous-marines.*

L'acoustique active (écouter l'écho d'un son qu'on a émis) est expérimentée en 1914 pour détecter un iceberg, sans avenir immédiat car la guerre nécessite surtout d'écouter les sous-marins ennemis (acoustique passive). Mais deux Français continuent d'y travailler et produisent en 1918 un appareil capable de détecter l'écho d'ondes ultrasonores dans un bassin de l'arsenal de Toulon, puis celui d'un sous-marin distant de 500 m.



© UBO / S.Hervé

▲ *Un sondeur acoustique calcule la distance d'une cible (fond, poisson, objet,…) à partir du temps écoulé entre l'émission du son et le retour de son écho, en tenant compte de la vitesse du son dans l'eau.*

Imaginé par Arago un siècle auparavant, le principe du sondeur restait sans concrétisation faute d'une technique d'émission et de réception. Cet obstacle est levé avec la découverte en 1880 de la piézoélectricité, propriété de certains matériaux liant courant électrique et déformation mécanique. Grâce à elle, un cristal de quartz traversé par un courant alternatif vibre et émet un son ; inversement, s'il reçoit un son, sa vibration génère un courant électrique. Ce principe d'émetteur-récepteur est toujours utilisé sur les « transducteurs » des sondeurs modernes.

© NOAA Photo Library

© IRD / P. Brehmer

◄▲ *En 1915, l'Américain R.A. Fessenden et son « oscillateur », ancêtre des transducteurs modernes.*

En 1925, le premier sondeur commercialisé est conçu pour mesurer la profondeur ; seuls quelques esprits audacieux imaginent alors qu'il peut aussi détecter des poissons…

© R. J. Welch

La pêche s'empare de l'acoustique

Pêcheurs et scientifiques ont rapidement su tirer profit des sondeurs pour repérer ou étudier les poissons.

Entre les deux guerres, les sondeurs destinés à mesurer la profondeur se répandent peu à peu ; outre la sécurité de la navigation, ils permettent aux pêcheurs de localiser les bancs favorables à la pêche. Mais au fil des années, de plus en plus d'observations attestent de la possibilité de repérer les poissons eux-mêmes.

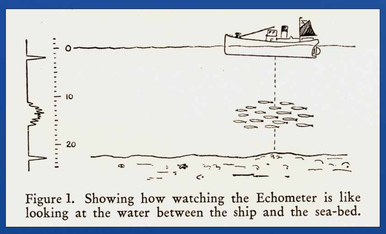


Figure 1. Showing how watching the Echometer is like looking at the water between the ship and the sea-bed.

Les sondeurs les moins onéreux comportent un oscilloscope qui traduit la force de l'écho par le déplacement d'un point lumineux sur un écran. C'est avec cet affichage rudimentaire qu'a lieu, à partir de 1933, la première utilisation de l'acoustique pour une pêche commerciale.

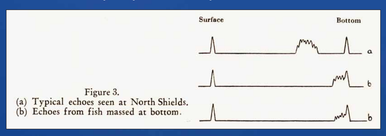


Figure 3.
(a) Typical echoes seen at North Shields.
(b) Echoes from fish massed at bottom.

◄ *Les traces des échos, relevées à la main (et sans échelle de profondeur ni d'intensité) par le patron du fileyeur harenguier Violet and Rose au sud de la mer du Nord.*

Les navires scientifiques et militaires utilisent des sondeurs plus perfectionnés dont ils peuvent conserver les enregistrements, obtenus par le déplacement d'un stylet sur un papier.

▲ *Les relevés bathymétriques de la Marine (1926) montrent bien le principe de l'enregistrement de l'écho sur le papier.*

source Annales Hydrographiques, 1929, © SHOM

En 1935 la revue *Nature* publie des échogrammes de bancs reproducteurs de morue. Peu après, les Norvégiens organisent les premières campagnes acoustiques pour cartographier la répartition des bancs de hareng et suivre leurs déplacements tout au long de la saison.

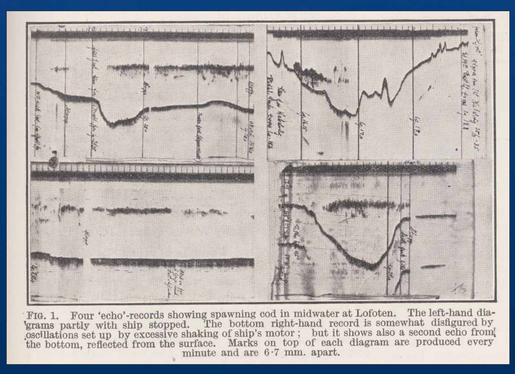


FIG. 1. Four 'echo'-records showing spawning cod in midwater at Lofoten. The left-hand diagrams partly with ship stopped. The bottom right-hand record is somewhat disfigured by oscillations set up by excessive shaking of ship's motor; but it shows also a second echo from the bottom, reflected from the surface. Marks on top of each diagram are produced every minute and are 6·7 mm. apart.

► *Les premiers échogrammes de morue publiés, recueillis dans un fjord des îles Lofoten par le navire de recherche Johan Hjort.*

À la fin des années 1930, l'intérêt halieutique de l'acoustique est établi, qu'il s'agisse de l'utilisation des sondeurs sur les bateaux de pêche ou de l'apport d'informations globales par les navires scientifiques. Dix ans et une guerre mondiale plus tard, les immenses progrès des sondeurs et sonars en ont fait des outils indispensables pour tous les pêcheurs du monde.

© IRD / C. Peignon

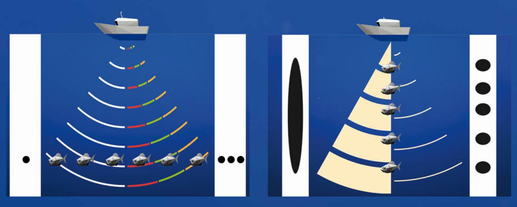
Les sondeurs deviennent scientifiques

Les scientifiques n'ont eu de cesse d'améliorer les performances des sondeurs pour mieux interpréter les échos.

Tirer une information quantitative des échos nécessite de mieux comprendre comment le signal reçu dépend des caractéristiques d'émission des sondeurs puis, afin d'analyser toujours plus finement les échos, d'en améliorer les performances.

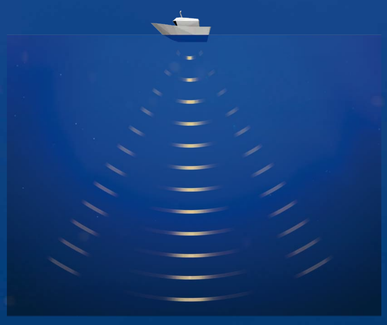
Il est impossible de distinguer les échos de cibles atteintes simultanément par l'impulsion sonore ; l'écho du plancton peut être masqué par celui d'un poisson, ou celui d'un poisson par celui du fond. La résolution des sondeurs est donc un paramètre essentiel.

► *La résolution latérale est liée à la largeur du faisceau d'émission. Grâce à leurs nombreux transducteurs, les sondeurs multi-faisceaux modernes ont une couverture plus large mais plus précise que les sondeurs classiques.*

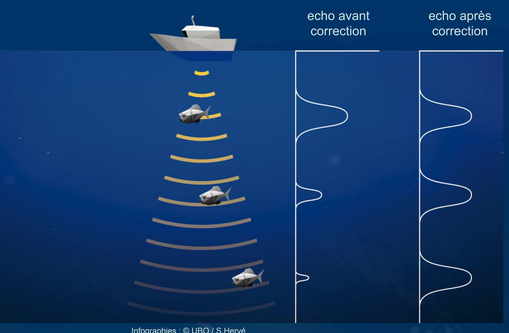


◄ *La résolution verticale est directement liée à la brièveté de l'impulsion sonore.*

Un transducteur n'émet pas un faisceau sonore homogène : l'énergie est maximale dans l'axe puis selon certains angles. L'écho d'une cible dépend donc de sa distance à l'axe d'émission. En recevant l'écho par quatre secteurs indépendants, les sondeurs dits « à faisceaux scindés » calculent cette distance et corrigent le signal.



Du fait de l'atténuation de l'onde sonore, le signal devient négligeable au-delà d'une certaine distance, appelée portée. À puissance égale, la portée varie en sens inverse de la fréquence : 4200 m à 18 kHz, mais 120 m seulement à 333 kHz. L'atténuation implique aussi de corriger le signal pour que l'écho d'un poisson profond ne soit pas plus faible que celui d'un poisson proche.



Infographies : © UBO / S.Hervé

Enfin, les sondeurs doivent être calibrés régulièrement avec une bille de métal dont on connaît très précisément les propriétés acoustiques.

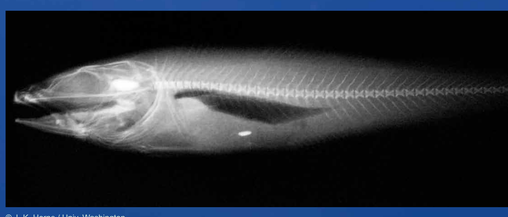
© IRD-Ifremer Fadio / L. Dagorn

De l'écho à la biomasse

Mesurer par l'acoustique l'abondance des poissons a rapidement tenté les scientifiques ; c'est désormais une méthode courante d'évaluation des stocks.

Alors que, dans les années 1950, l'évaluation scientifique des stocks est en plein essor, les progrès des sondeurs suscitent de nouvelles attentes : comment passer de la simple détection du poisson à la mesure de son abondance ? À l'idée initiale de compter les échos succède celle de quantifier leur intensité.

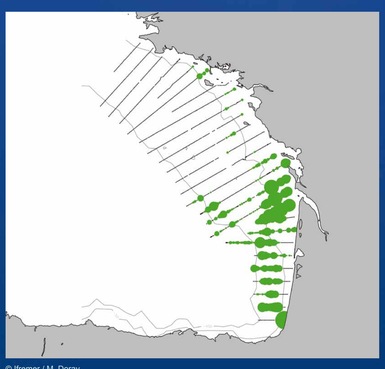
Pour cela, il faut corriger l'atténuation des ondes sonores et cumuler les échos sur une tranche de profondeur et un intervalle de temps : c'est l'écho-intégration. Il faut ensuite convertir en biomasse l'intensité cumulée, ce qui nécessite de connaître les propriétés acoustiques des poissons selon l'espèce, la taille, l'orientation, etc.



© J.-K. Horne / Univ. Washington

► *La plupart des espèces de poissons ont une vessie gazeuse (en sombre sur cette radiographie de morue) qui représente 90% de l'écho.*

L'écho-intégration a entraîné une profonde évolution dans les pratiques d'évaluation des ressources et ouvert un nouveau champ de recherches. Elle fournit des estimations de l'ensemble d'un stock dans des délais très courts, contrairement aux méthodes reposant sur des pêches scientifiques ou, encore plus, sur les captures des pêcheurs.



© Ifremer / M. Doray

► *Cartographie acoustique de l'abondance d'anchois dans le golfe de Gascogne en 2013.*

Cependant elle soulève de nombreuses questions qui font encore l'objet de recherches, comme l'impact du bruit généré par le navire sur l'évitement du poisson. Elle n'est donc jamais utilisée comme seule méthode d'évaluation, même pour les espèces qui s'y prêtent. En particulier, l'identification des espèces à partir de leur seule signature acoustique est encore hors de portée : des pêches de contrôle restent indispensables.

© Ifremer / O. Dugornay

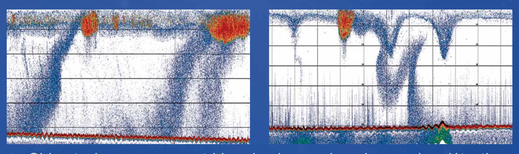
▲ *Identification et échantillonnage biologique sur une pêche de contrôle.*

© Ifremer

L'écho du plancton

Après celle du fond et des poissons, l'étude acoustique du plancton est désormais à la portée des scientifiques.

Il y a longtemps qu'on sait que le fond et les poissons ne sont pas les seuls à renvoyer des échos. De fait, observé à l'aide des ultrasons, le monde sous-marin est plein de formes étranges dessinées par le plancton animal.



▲ *Si les taches rouges sont bien des bancs de poissons, les détections bleues et grises sont renvoyées par des couches de zooplancton.*

Reconnaître et interpréter ces échos est devenu essentiel pour les scientifiques, car le plancton est à la base des chaînes alimentaires aquatiques et marque souvent les limites des masses d'eau. C'est au cours des années 1980 que les travaux théoriques sur les propriétés acoustiques du zooplancton, associés aux progrès de l'électronique, ont permis d'en faire un objet d'étude à part entière.

La force de l'écho renvoyé par ces organismes très divers dépend de leurs caractéristiques : taille, forme, présence d'une coquille dure (réfléchissant le son) ou d'une bulle gazeuse (entrant en résonance). On peut les classer en quelques grandes catégories d'après ces propriétés acoustiques.

© Wikimedia / U. Kils

▲ *Forme cylindrique courbée, écho produit par des tissus mous peu réfléchissants.*

© R. Hopcroft / Univ. Alaska

► *Forme ovoïde, écho produit par des tissus mous peu réfléchissants.*

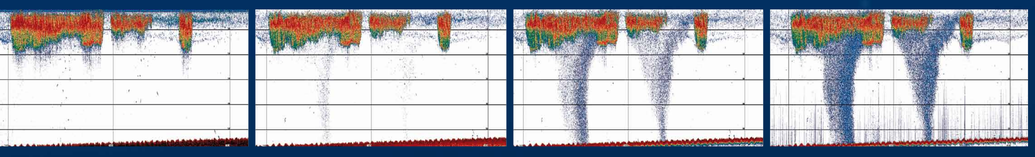
© R. Hopcroft / Univ. Alaska

◄ *Echo surtout produit par une coquille dure réfléchissante.*

© L. Madin / WHOI

► *Echo surtout produit par une bulle ou une vessie gazeuse très réfléchissante.*

Le choix de la fréquence utilisée est important car elle influence aussi l'écho renvoyé par une cible. Grâce à la miniaturisation des équipements électroniques, certains sondeurs scientifiques peuvent émettre à plusieurs fréquences : le traitement de ces données acquises simultanément permet d'analyser très finement le signal et d'en extraire les différentes composantes : poisson, plancton, « bruit », etc.



▲ *Les couches de zooplancton apparaissent souvent lorsque l'on utilise une fréquence de détection élevée alors qu'elles semblent ne pas exister à une fréquence de travail plus basse. De gauche à droite : 38, 70, 120 et 200 kHz.*

© L. Madin / WHOI ; R. Hopcroft / Univ. Alaska

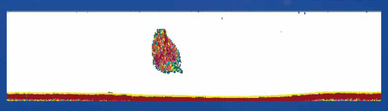
À la conquête des « petits fonds »

Les progrès technologiques ont permis à l'acoustique d'étendre son champ d'application aux écosystèmes aquatiques peu profonds.

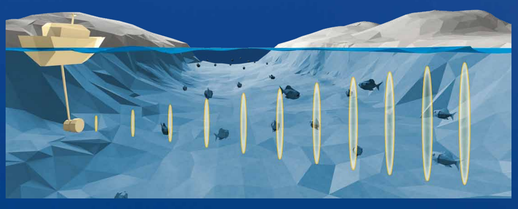
Jusqu'au début des années 1990, les sondeurs n'étaient pas assez performants pour détecter des poissons situés près du fond ou de la surface, ce qui excluait leur usage en faible profondeur (moins d'une dizaine de mètres).

La diminution des coûts et la miniaturisation des instruments ont levé ces obstacles et ouvert la voie à l'étude acoustique des zones côtières, lagunes, lacs peu profonds, estuaires, rivières, etc. Ces écosystèmes, qui jouent un rôle majeur dans les cycles biologiques de nombreuses espèces, subissent une forte variabilité environnementale à différentes échelles spatiales et temporelles. Leur étude est d'autant plus importante qu'ils ont souvent été profondément modifiés par l'activité humaine.

© IRD / R. Laë

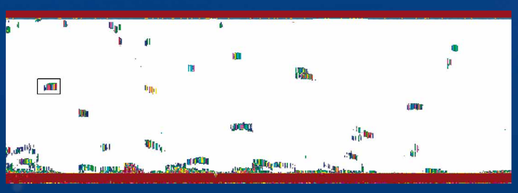


► *Banc de poissons entre 3 et 5 mètres de profondeur dans l'estuaire du Saloum (Sénégal). On trouve dans les petits fonds les mêmes structures qu'au large.*



© UBO / S. Hervé

Les sondeurs peuvent y être utilisés en position fixe et/ou émettre horizontalement. Leur capacité à détecter des cibles individuelles permet de déterminer le nombre et la taille des poissons, ainsi que la direction de leur déplacement. On peut donc étudier les migrations et leur déterminisme sans impacter ces populations souvent fragiles.



L'émission horizontale se prête peu à l'écho-intégration car les poissons sont détectés sous des angles très différents et très variables selon leurs mouvements.

◄ *Echos d'aloses et de mulets observés au sondeur à faisceau horizontal dans une écluse du Rhône.*

Les outils les plus récents permettent de quantifier par exemple les migrations entre la mer et des lagunes (sondeur multifaisceaux) ou de discriminer plus précisément les espèces (caméra acoustique).

© IRD / J. Panfili

▲ *Le matériel acoustique peut être mis en œuvre à partir d'embarcations de toutes tailles (estuaire du Saloum au Sénégal).*

© IRD / A. Lemasson-Chauvin

Comportement des poissons et acoustique

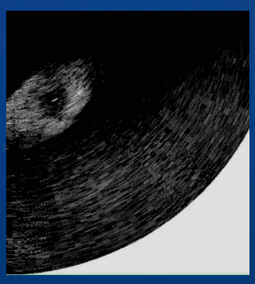
Détecter ou quantifier les poissons ne suffit plus : il est de plus en plus nécessaire de comprendre leur comportement.

De l'individu à la population en passant par les groupes et les bancs, les comportements des poissons sont fonction de l'environnement et des activités telles que la recherche d'habitat favorable, la capture des proies, l'évitement des prédateurs, les migrations, etc. Alors qu'il est devenu crucial de les prendre en compte pour évaluer et gérer des ressources de plus en plus exploitées, l'acoustique est désormais un outil privilégié pour les étudier. Elle a notamment beaucoup fait progresser la compréhension des comportements agrégatifs, un des aspects les plus étudiés depuis les années 2000.

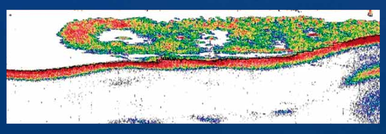
Un banc permet aux poissons de se protéger des prédateurs, détecter des proies, disposer de partenaires reproductifs ou réduire leur dépense en énergie. Résultant de dynamiques d'agrégation et désagrégation, cette structure complexe se déplace, se déforme, comporte des trous ou des noyaux…

▲ *Banc de thons dans le Pacifique.*

© IRD-Ifremer / Fadio / M. Taquet

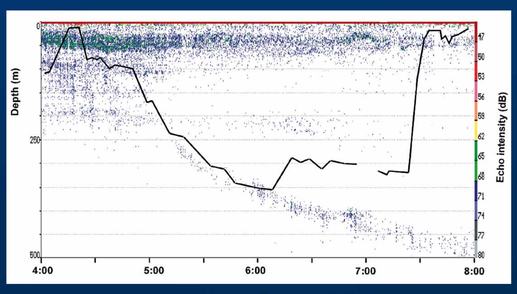


Seule l'acoustique, en particulier grâce aux récents sonars multi-faisceaux, permet de les étudier dans le milieu naturel. L'enjeu est important car la structuration en bancs peut biaiser certains indicateurs d'abondance utilisés pour l'évaluation des stocks.



◄ *À la Réunion (à gauche) comme dans le lac d'Annecy (à droite), l'acoustique « voit » la vacuole résultant de l'entrée d'un prédateur à l'intérieur d'un banc de poissons.*

Connue depuis longtemps mais encore mal comprise, l'attraction des thons par les objets flottants est désormais utilisée à très grande échelle par les pêcheurs, non sans impact sur les ressources. Divers outils acoustiques sont mis en œuvre pour l'étudier : bouées instrumentées munies de sondeurs, marques transmettant des données par acoustique, etc.



► *Dans le Pacifique, le marquage acoustique a permis de suivre la plongée d'un thon obèse à près de 400 m.*

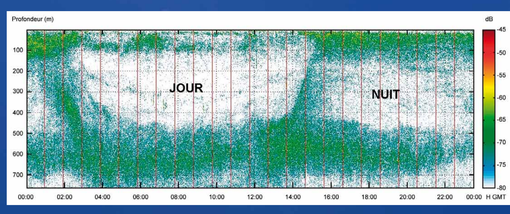
© IRD / P. Laboute

Un outil pour comprendre l'écosystème

Au début du XXIe siècle, l'acoustique est désormais un outil complet pour comprendre certains écosystèmes aquatiques.

Au fil des décennies, les applications de l'acoustique se sont étendues au plancton et aux structures hydrologiques. Elle est ainsi devenue un outil précieux pour une approche écosystémique des milieux aquatiques, notamment dans le domaine pélagique (la colonne d'eau) qui recèle d'importantes ressources. Cette approche intégrée de la complexité des écosystèmes est désormais considérée comme le fondement de la gestion halieutique.

Comme dans tous les écosystèmes pélagiques (marins ou continentaux), un véritable bouleversement se produit deux fois par jour dans le canal du Mozambique. Des organismes de 1 à 10 cm effectuent d'amples migrations verticales au lever et au coucher du soleil, assurant l'échange d'énergie et de matière entre des masses d'eau séparées par des frontières hydrologiques (variations brutales de température ou d'oxygène).

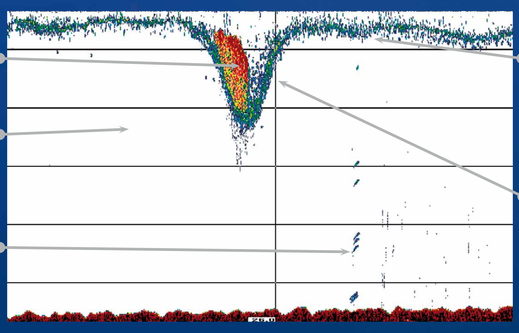


Au large du Pérou, l'acoustique révèle la physique et la biologie :

Les bancs d'anchois se nourrissent du zooplancton là où il est concentré donc facile à capturer.

Très peu d'organismes peuvent vivre en permanence dans les eaux pauvres en oxygène, qui affleurent parfois en surface.

Des échappements gazeux en provenance du fond se traduisent par des chapelets de bulles très réfléchissantes.



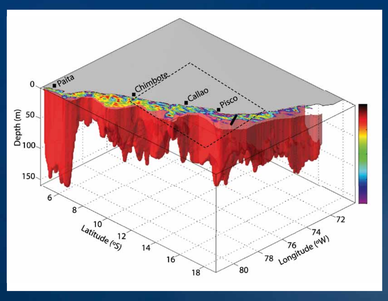
Le zooplancton est concentré le long d'une frontière hydrologique (diminution brusque de la concentration en oxygène).

Les échos du plancton trahissent la présence d'ondes internes, grandes ondulations affectant parfois la limite entre deux masses d'eau.

Au Pérou comme dans le lac Kivu (Afrique de l'est), la détection acoustique a permis de déterminer la profondeur de la couche riche en oxygène. Cartographier le volume d'habitat ainsi disponible pour les poissons est utile pour gérer les pêcheries, notamment celle de l'anchois du Pérou, la plus grande du monde.

© Inra / J. Guillard

▲ *Pirogues de pêcheurs sur le lac Kivu.*



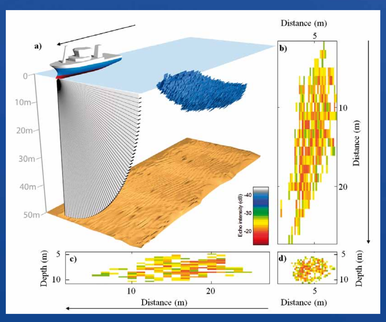
▲ *En rouge, habitat favorable aux anchois au large des côtes péruviennes.*

© IRD / A. Bertrand

L'acoustique de demain

Des données de qualité croissante, une utilisation de plus en plus souple : les techniques acoustiques ont de l'avenir !

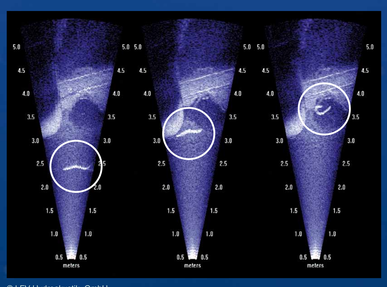
Les performances des sondeurs classiques sont maintenant dépassées par celles d'instruments issus des progrès de la physique, de l'électronique, de l'informatique, du traitement du signal, etc...



Les sondeurs multifaisceaux émettent jusqu'à 75° de chaque côté du navire, mais sont munis d'un grand nombre de récepteurs. Chaque signal correspond ainsi à un faisceau angulaire très étroit, ce qui fournit une image détaillée du fond (profondeur et nature) mais aussi, suivant les fréquences, de la distribution des poissons ou du plancton, de la structure des bancs, etc. La nouvelle génération qui vient de voir le jour comporte 800 éléments pilotés indépendamment en émission comme en réception.

◄ *Observation au sondeur multifaisceaux d'un banc de poissons juvéniles dans le lac d'Annecy : l'intensité des échos est représentée selon les trois dimensions du banc.*

D'autres imageurs produisent des résultats prometteurs pour l'identification d'espèces sur des courtes distances : ces « caméras acoustiques » sont des sondeurs multifaisceaux d'ouverture angulaire voisine de 0,5° et utilisant des lentilles acoustiques. Leurs fréquences élevées (entre 1 et 2 MHz) se réfléchissent sur l'ensemble des tissus des poissons et plus seulement sur la vessie natatoire, générant des images de qualité spectaculaire.



© LFV Hydroakustik GmbH

► *Ces images obtenues avec une caméra acoustique montrent une anguille se rapprochant d'une dérivation à proximité d'un barrage hydro-électrique.*

© IRD-Ifremer Fadio / L. Dagorn

Des perspectives nouvelles s'ouvrent : « observatoires acoustiques », utilisation de plateformes variées (bouées, animaux), exploitation d'autres sources acoustiques, etc. En à peine un siècle, l'acoustique a ainsi pris une place de choix parmi les outils nécessaires à l'étude des écosystèmes aquatiques.

► *Radeau instrumenté utilisé pour étudier le comportement d'attraction des poissons autour d'un objet flottant.*

© IRD-Ifremer Fadio / L. Dagorn

Une histoire naturelle très ancienne

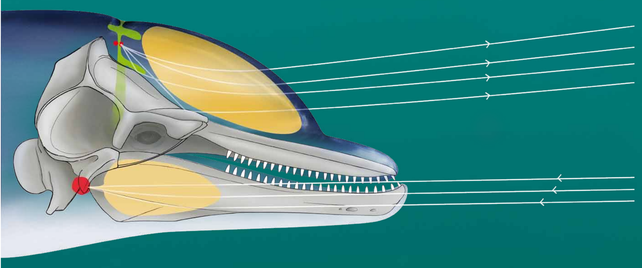
L'évolution a doté une partie des cétacés de sonars naturels leur permettant de vivre dans un milieu où la lumière est rare.

Plus de trente millions d'années avant nos sondeurs, l'acoustique active était déjà une pratique courante chez des mammifères évoluant dans l'obscurité de la nuit (chauve-souris) ou des profondeurs marines (cétacés).

© Wikimedia / R. Pittman

Parmi les cétacés, seuls les Odontocètes (dauphins, marsouins, orques, cachalots, etc.) sont capables d'émettre des sons et d'en analyser l'écho pour percevoir leur environnement, éviter les obstacles et détecter proies ou prédateurs. Pour cette « écholocation », ils émettent des « clics » très brefs (moins d'un dix millième de seconde) à une cadence pouvant atteindre 600 clics par seconde.

◄ *Comme tous les cétacés à dents, les orques ont un front bombé abritant le « melon », organe utilisé pour l'écholocation.*



© UBO / S.Hervé

Le son n'est pas émis par des cordes vocales mais par les « lèvres phoniques », organe spécialisé dérivé des narines. Il est dirigé en un faisceau très étroit par la réflexion sur des os et des sacs d'air (effet de parabole) et surtout par la déviation à travers les tissus adipeux du « melon » (effet de lentille et de guide d'onde acoustique).

La réception de l'écho n'est pas assurée par une oreille s'ouvrant à l'extérieur mais par une partie très fine de la mandibule, qui transmet sa vibration à l'oreille interne via un canal adipeux.

Le fonctionnement de ce « biosonar » est loin d'avoir livré tous ses secrets, mais ses performances sont exceptionnelles. À la différence d'un sondeur électronique, un dauphin ajuste l'émission (fréquence, largeur et direction du faisceau) en fonction de la distance et la forme de la cible, et distingue des cibles séparées par un angle inférieur à un degré.

© UBO / S.Hervé

© Wikimedia / G. Barathieu

Cinq semaines en mer

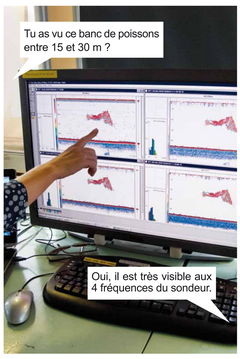
Minutieusement préparée longtemps à l'avance, une campagne en mer fournit les données scientifiques qui seront analysées pendant des mois.

Au large de l'Afrique de l'ouest, une remontée d'eaux profondes riches en éléments nutritifs crée un écosystème très productif, mais soumis à la surpêche, aux changements climatiques et aux pollutions. Dans le cadre de programmes de recherche destinés à mieux en comprendre le fonctionnement, des campagnes océanographiques ont lieu du Maroc au Sénégal.

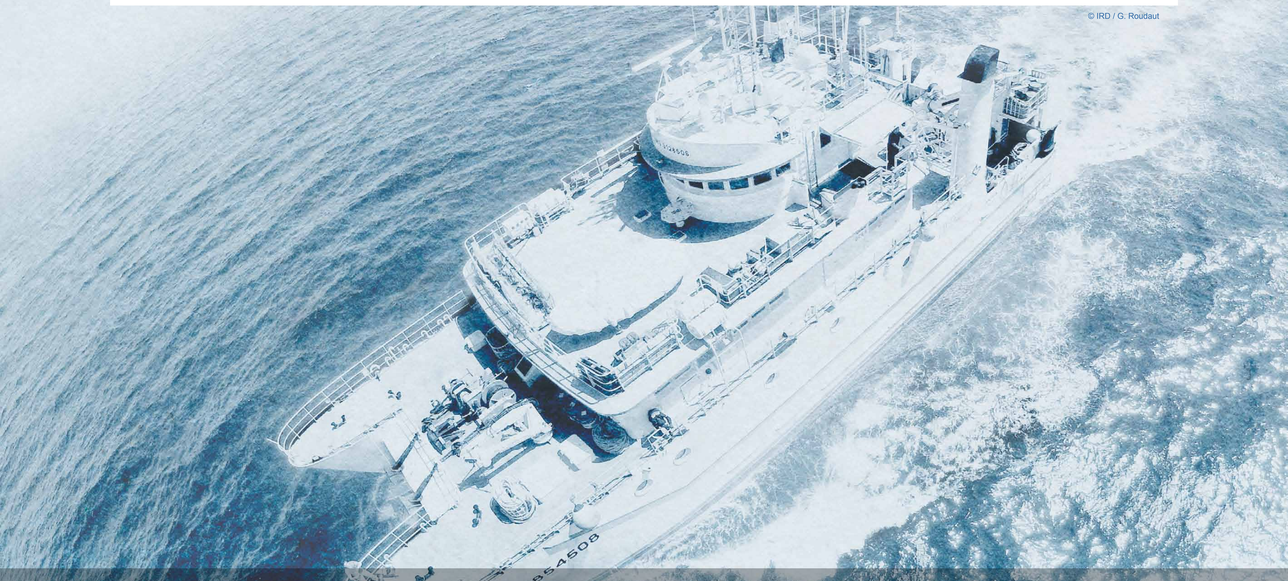
© IRD / B. Gobert, UBO / S. Hervé, panoramic-bretagne.fr, IRD / G. Roudaut

Cinq semaines en mer

Sur un navire de recherche, le temps est précieux et on travaille en continu : nuit et jour, les équipes se succèdent au PC scientifique, sur le pont et dans les labos.



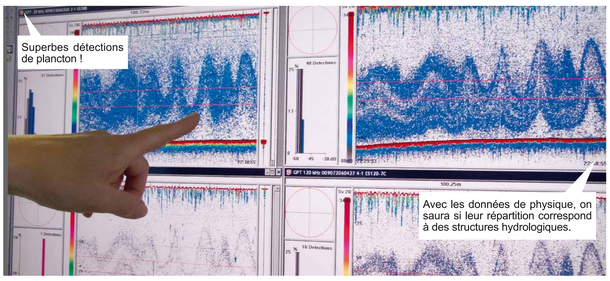
© IRD / G. Roudaut



Cinq semaines en mer

Quart après quart, les données s'accumulent dans les cahiers, les disques durs et les flacons. Le programme ne sera véritablement achevé qu'à la publication des résultats.

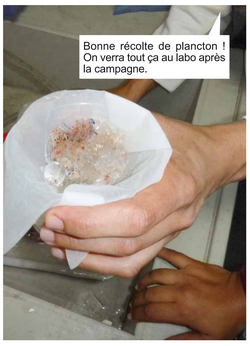
On va bientôt arriver à la station prévue pour l'hydrologie et le plancton.


Superbes détections de plancton !

Avec les données de physique, on saura si leur répartition correspond à des structures hydrologiques.

Grâce à ce filet à plancton multiple, on peut échantillonner indépendamment chaque tranche de profondeur.

Tous nos collecteurs sont pleins : l'ouverture et la fermeture des filets aux différentes profondeurs a bien fonctionné.


Bonne récolte de plancton ! On verra tout ça au labo après la campagne.

Après cinq semaines en mer, soit près 3000 km de radiales, 69 stations, 44 pêches au chalut et 190 prélèvements aux filets à plancton, plus de 7000 échantillons prélevés sur 1387 poissons,…

Ca y est, j'ai presque fini de copier toutes les données de la campagne sur mon portable.

De toutes façons, il y a une sauvegarde sur le réseau informatique du bord.

La campagne s'est parfaitement bien passée, mais ça va faire du bien de retrouver la terre ferme !

Reste à traiter les données : des mois de boulot…

Brest, trois mois plus tard

Les résultats sur le poisson montrent bien des différences entre nos trois zones d'étude.

Ceux du plancton et de la physique nous aideront pour l'interprétation.

Oui. On peut envisager de publier les premiers résultats en début d'année prochaine.

Et les autres équipes, ça avance aussi ?

Vous aurez terminé votre projet pour le congrès international d'acoustique, l'année prochaine ?

Oui, on y présentera une synthèse de l'ensemble des résultats.

© UBO / S. Hervé, IRD / G. Roudaut

Ecouter l'océan pour le comprendre

Une approche scientifique innovante et prometteuse tente d'étudier l'océan par l'écoute et l'analyse de son « paysage sonore ».

Alors que les sondeurs et sonars trouvaient sans cesse de nouvelles applications, l'écoute passive de l'océan restait cantonnée à un objectif militaire : détecter, localiser et identifier les autres navires sans dévoiler sa présence. Mais elle intéresse de plus en plus les scientifiques.

Le « monde du silence » est en effet d'une très grande richesse sonore ; les éléments naturels, les êtres vivants et les activités humaines y composent un chorus intense et permanent. Cette gigantesque masse d'informations, facile à recueillir au moyen d'hydrophones mais dont le décryptage nécessite des traitements très complexes, est encore largement inexploitée.

Bruits d'animaux du fond (dizaines à centaines de mètres)

Pluie, vagues

Clics d'écholocation de cétacés (kilomètres)

Moteurs de navires (dizaines de kilomètres)

Prospection et exploitation pétrolières (centaines de kilomètres)

Séismes ou volcans sous-marins, Chants et cris de cétacés (milliers de kilomètres)

© UBO / S.Hervé

Elle intéresse notamment les biologistes. Les émissions sonores des cétacés sont connues depuis longtemps, mais leur analyse s'affine et s'ouvre à des interprétations nouvelles, en lien avec le déclin des populations ou l'impact des bruits d'origine anthropique. Un autre champ de recherche très récent porte sur les organismes vivant sur le fond, dont les bruits (claquements, frottements, stridulations,…) trahissent l'activité, elle-même dépendante des conditions environnementales.

L'« écologie acoustique » qui naît actuellement dans les laboratoires débouche sur la perspective prometteuse d'observatoires acoustiques capables de fournir en temps quasi-réel, sur le long terme et sans perturber le milieu, des indicateurs sur l'état des populations et de leur environnement.

© CNRS / E. Amice

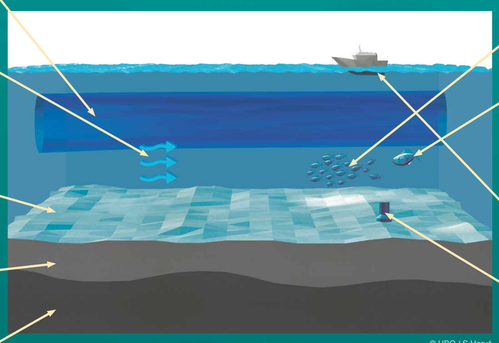
Une boîte à outils pour l'océan et les lacs

Les sondeurs et sonars des biologistes ne sont qu'une des nombreuses applications de l'acoustique en milieu aquatique.

Contrairement aux ondes électromagnétiques (lumière, radio, radar…), les ondes de compression se propagent très bien dans l'eau : les ondes sonores peuvent donc y véhiculer de l'information sur de grandes distances. De ce fait, les techniques acoustiques sont utilisées dans les principaux domaines de l'océanographie et parfois de la limnologie (étude des lacs et des cours d'eau).

Océanographie physique
Tomographie acoustique
(Tourbillons et structures hydrologiques de grande taille : tourbillons, fronts,...)
Courantométrie à effet Doppler
(Profils de vitesse et de direction du courant)

Géosciences marines
Sonars latéraux et sondeurs multifaisceaux
(Imagerie haute résolution de la bathymétrie et de la nature du fond)
Sondeurs profileurs de sédiments
(structure du sédiment, sur des épaisseurs de plusieurs dizaines de mètres)
Sismique sous-marine
(structure profonde des fonds marins sur plusieurs dizaines de kilomètres)



© UBO / S.Hervé

Ecologie et halieutique
Sondeurs et sonars halieutiques
(ressources halieutiques, plancton et écosystème)
Marques acoustiques
(déplacement et comportement individuels)

Intervention sous-marine
Transmission d'informations
(envoi de données scientifiques, commande à distance, communication, etc.)
Positionnement acoustique
(Positionnement précis d'engins autonomes ou de capteurs)

Le contenu en information des données acoustiques est très large, au point que des données recueillies par une discipline peuvent s'avérer intéressantes pour une autre, démultipliant ainsi la couverture des observations : les courantomètres à effet Doppler pourraient fournir des données sur le plancton, les données sismiques des géophysiciens pourraient être exploitées par des hydrologues.

© IRD / G.Roudaut

◀ *Parmi tous ses appareils de mesure et de prélèvement d'eau, ce châssis emporte un courantomètre à effet Doppler et un sondeur de plancton à 6 fréquences.*

Les sons émis par ces techniques ont des fréquences et des puissances, donc des portées, différentes. Certains peuvent être perçus par les animaux aquatiques ou même les perturber. Ainsi la sismique sous-marine émet des sons très intenses dans les basses fréquences utilisées par les cétacés pour communiquer. Dans l'état actuel des connaissances, les sondeurs halieutiques ont un impact nul ou négligeable sur les poissons ou les mammifères marins.

© UBO / C.Pierrard