

L'acoustique au service de la recherche halieutique

La propagation du son dans l'eau est un phénomène largement utilisé par la faune aquatique pour repérer congénères, proies et prédateurs (ligne latérale des poissons par exemple), pour les localiser avec précision (dauphins, globicéphales) ou même comme arme pour étourdir les proies (certaines crevettes et mammifères).

Chez les humains, il semble que la première utilisation de la propagation du son dans l'eau fut faite en 1490 par Léonard de Vinci. À cette époque, il écrivit : « Si vous arrêtez votre navire, plongez une extrémité d'un long tube dans l'eau et mettez l'autre extrémité à votre oreille, vous pourrez entendre des navires situés à une grande distance de vous ».

En 1870, Jules Verne encore dans « Vingt mille lieues sous les mers » décrit avec virtuosité cette capacité : « 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. [...] Des bruits profonds, nettement transmis par ce milieu liquide, se répercutaient avec une majestueuse ampleur ». Cette propriété était encore largement utilisée durant la première guerre mondiale, en améliorant simplement l'expérience de Léonard de Vinci d'abord par l'utilisation d'un second tube distant du premier, parfois orientable, et mis près de l'autre oreille : l'effet stéréo permettait ainsi d'apprécier grossièrement la direction de l'origine du son.

Un peu plus tard le système fut encore amélioré en assemblant deux systèmes d'une douzaine de tubes orientables montés à bâbord et à tribord dans les fonds des navires : ce système améliorait largement le repérage des sources de bruits qu'on localisait avec une précision de l'ordre de ½ degré.

Et l'histoire continue...

Plus tard dans le XIX^e siècle de nombreux physiciens s'intéressèrent aux problèmes de « transduction », c'est-à-dire au phénomène de conversion d'énergie électrique en énergie sonore et vice-versa. La magnétostriction, ou aptitude de certains matériaux à changer de forme quand ils sont soumis à un champ magnétique fut découverte vers 1840, découverte qui conduisit à l'invention du téléphone attribuée, dans un premier temps et après de longues procédures, en 1876 à Alexander Graham Bell, avant que soit rétablie en 2002 seulement la justice de reconnaître Antonio Meucci comme le véritable inventeur en 1860 du téléphone. Le pendant de la magnétostriction est l'effet piézo-électrique, découvert quant à lui en 1880 par Jacques et Pierre Curie. L'effet piézo-électrique est la capacité offerte par certains cristaux de charger électriquement leurs faces quand ils sont soumis à une contrainte mécanique. On avait donc avant la fin du XIX^e siècle découvert deux effets qui seront utilisés pour émettre et recevoir du son dans l'eau, amenant ainsi des éléments de réponse à la question « comment voir sous l'eau ? ».

La collision du Titanic avec un iceberg, la nuit du 14 au 15 avril 1912, conduisant à la perte de centaines de vies humaines, eut un formidable retentissement dans l'opinion publique et déclencha probablement une urgente nécessité de se doter de moyens de détection sous-marine. Le même mois, L. R. Richardson fit breveter en Angleterre une procédure de télémétrie acoustique puis le mois suivant un nouveau brevet du protocole permettant de détecter au moyen de leur écho la présence de grands objets immergés. Le 29 janvier 1913, R. A. Fessenden qui travaillait sur le même problème déposa aux États-Unis un brevet pour un prototype de source électroacoustique sous-marine et il réussit le 27 avril 1914 à détecter un iceberg distant de 2 miles.

Pendant ce temps en Europe le déclenchement de la première guerre mondiale mit en évidence le besoin absolu de pouvoir détecter les sous-marins militaires de l'ennemi. Le physicien français P. Langevin développa un transducteur assez puissant pour que l'onde sonore produite traverse la Seine à Paris : c'était durant l'hiver 1915-1916. Les alliés britanniques purent grâce à R. W. Boyle reproduire le même résultat en été 1916.

Un progrès majeur fut encore réalisé en 1917 par P. Langevin qui eut l'idée de construire une source sonore faite d'un sandwich de matériau piézo-électrique (quartz) entre deux plaques de métal et utilisa les tous récents amplificateurs à tube. La grande puissance de cette source sonore permettait une portée de 8 km et a permis pour la première fois en 1918 de détecter l'écho d'un sous-marin distant de 1 500 m.

Pendant l'entre-deux guerres les avancées dans le domaine de l'électronique furent très significatives et trouvèrent d'importantes applications dans le domaine de l'acoustique sous-marine, avec en particulier les amplificateurs et les systèmes de visualisation des informations des sondeurs/sonars pour les utilisateurs. Les fréquences ultrasonores permirent d'augmenter la directivité des systèmes tout en réduisant la taille des appareils.

Il fallut néanmoins attendre 1925 pour que soient commercialisés en Angleterre et aux États-Unis les « fathometers » destinés à mesurer la profondeur des océans. En 1929, Kimura démontra qu'un sondeur pouvait détecter des poissons dans un enclos. Au début des années 30, le capitaine anglais R. Balls a utilisé un « échomètre » pour détecter les bancs de harengs en Mer du Nord. En 1935 le Norvégien O. Sund publia un article dans Nature « Echo Sounding in Fisheries

Research » dans lequel il montre des échogrammes de morues concentrées dans une couche de 10 mètres au-dessus du fond. Il fut sans doute le premier à établir des cartes d'abondance de la morue et à informer les pêcheurs sur les zones et profondeurs où la morue était la plus abondante. En 1935 toujours, plusieurs types de sonars/sondeurs étaient opérationnels et en 1938, en prévision de la seconde guerre mondiale, débutèrent les premières productions de masse de sonars si bien qu'à l'entrée en guerre un grand nombre de navires américains était équipé à la fois en matériel d'écoute et de détection.

Pendant l'entre-deux guerre encore, les recherches scientifiques permirent d'aborder l'étude des phénomènes de propagation du son dans les océans. De remarquables différences dans les capacités de détection des sonars étaient observées au cours de la journée : de bons échos étaient détectés le matin alors que l'après-midi, ces échos étaient faibles, voire inexistantes. Après l'invention du premier bathythermographe en 1937 par A. F. Spielhaus, il devint évident qu'une faible stratification thermique provoquait une réfraction du son vers le fond des océans avec pour conséquence d'atténuer ou de supprimer la détection des cibles qui se trouvaient alors dans une « zone d'ombre ». Durant cette période fût acquise aussi une bonne compréhension des phénomènes d'absorption du son dans l'eau, et des valeurs très précises de coefficients d'absorption furent calculées.

De chaque côté de l'Atlantique, la période de la seconde guerre mondiale fut marquée par une intense activité de recherche focalisée sur les propriétés du son dans l'eau. Ainsi aux États-Unis la « National Defense Research Committee » (NDRC) finança un grand nombre de scientifiques pour qu'ils s'intéressent à tous les aspects de la propagation du son dans l'eau. Les Américains remplacèrent le nom ASDIC par celui plus compréhensible de SONAR (SOUND Navigation And Ranging). Un grand nombre des concepts actuels et des applications pratiques trouvent leurs origines à cette période.

Sachant détecter des poissons par un sondeur grâce à leurs échos, il restait à quantifier ces échos, c'est-à-dire pouvoir estimer quelle quantité de poissons ils représentaient. Middtun et Seatersdal en 1957 proposèrent les premières tentatives d'estimation d'abondance en comptant le nombre d'échos individuels de poissons sur un échogramme en papier enregistré en Mer de Barents. Richardson et al. en 1959 affinèrent la méthode en prenant en compte l'amplitude de l'écho, qui est lié à la taille des poissons, qu'ils mesuraient sur un tube cathodique. Dans les années 60 plusieurs appareils de comptage automatique d'écho couplés à un sondeur furent proposés : le compteur d'impulsions (Mitson et Wood, 1961), le compteur de cycles (Dowd, 1968), et il fallut attendre 1965 pour que Dragsund et Olsen inventent l'échointégrateur qui met à profit la relation entre la densité de poissons et le carré du voltage de leur écho, technique toujours largement utilisée à notre époque.

Dans les années 80, l'échointégration devint une technique d'usage très répandu pour les évaluations de biomasses. Les sondeurs à double faisceaux (dual beam) furent mis au point aux USA par Biosonics dans le but de compléter et d'affiner les résultats de campagnes d'échointégration par des mesures *in situ* des index de réflexion acoustique (TS : target strength) des poissons. Les sphères standard de calibration des sondeurs firent leur apparition et des protocoles standardisés de calibration adoptés par la communauté scientifique. Simrad en Norvège mit au point la technique des faisceaux scindés (split beam) apportant en plus de la mesure de TS la possibilité de repérer précisément la position des poissons dans le faisceau acoustique et par conséquent de suivre la trajectoire de ceux-ci (tracking). Les données des sondeurs devinrent numériques et la transition entre intégrateurs analogiques et numériques devint irréversible.

La grande évolution des sondeurs et sonars

Les années 90 virent progresser les techniques et méthodes d'analyse des signaux acoustiques. Les processus d'analyse de TS s'affinèrent, les paramètres morphologiques et énergétiques des bancs de poissons devinrent accessibles automatiquement. L'utilisation du sonar omnidirectionnel redevint d'usage courant dans les campagnes d'évaluation d'abondance, tant pour évaluer les biomasses très proches de la surface qui échappent aux sondeurs que pour étudier les phénomènes d'évitement des bancs à l'approche des navires. Les techniques de statistiques spatiales (géostatistique) développées pour les besoins miniers furent adaptées aux besoins de l'acoustique pour préciser les intervalles de confiance des estimations en prenant en compte les effets de distribution spatiale des biomasses et pour étudier le comportement des populations (taille et distribution géographique des agrégations).

Les années 2000 voient se développer un intérêt croissant pour la classification et l'identification des réflecteurs acoustiques (poissons, plancton...) par l'usage d'analyses multifréquentielles c'est-à-dire par l'observation et l'analyse des mesures acoustiques synchrones faites par des sondeurs opérant à différentes fréquences. L'emploi de technique « large bande », c'est-à-dire utilisant une onde acoustique balayant une grande gamme de fréquences, se développe au niveau des sondeurs et des sonars, entre autres dans le but de mieux identifier les détections.

Fréquence, amplitude, pression, vitesse... Tous les secrets de l'onde acoustique

Le principe de l'écho-localisation est simple : une impulsion sonore est émise dans l'eau, se propage, se réfléchit sur un objet (fond, poisson, plancton etc.), et revient sur l'émetteur. La vitesse de propagation du son étant connue, le temps écoulé entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la distance à laquelle se situe le réflecteur. Si l'émission est directive, on obtient aussi une indication sur la direction où se situe cette cible par rapport à l'émetteur. Si l'impulsion sonore est dirigée vers le bas, un écho est reçu du fond de la mer et la profondeur d'eau sous un navire est facile à mesurer.

La manière la plus simple de produire une onde acoustique est de faire vibrer une surface alternativement d'avant en arrière. C'est ce que l'on fait en frappant sur un tambour ou sur un gong : sa surface se met en vibration, les particules d'air à son contact se mettent en mouvement et transfèrent ce mouvement aux particules voisines et ainsi de suite, puisque le milieu (air) est compressible. On a généré une onde acoustique.

Une de ses caractéristiques est sa fréquence. Lorsque l'on frappe la surface d'un gong, sa surface quitte sa position zéro pour atteindre un maximum de déformation, puis repasse par la position zéro pour atteindre un maximum de l'autre côté et repasse à nouveau par la position zéro : un nouveau cycle commence alors et ainsi de suite... Le nombre de cycles effectués par unité de temps est appelé fréquence f de la vibration et il s'exprime en Hertz (Hz) qui est le nombre de cycles par secondes. La gamme des fréquences utilisées en acoustique sous-marine s'étale de 10 Hz à 1 MHz, et pour les applications halieutiques de 10 kHz à 500 kHz.

Une seconde caractéristique est son amplitude, qui est caractérisée par l'extension du déplacement de la surface du gong, autrement dit par la distance séparant ses deux positions atteintes lors des maxima de déformation. Cette amplitude est transmise de proche en proche aux particules du milieu et plus cette amplitude est grande, plus le son que l'on entend est fort. Cette amplitude représente un mouvement sur place autour d'une position d'origine, mouvement caractérisé par une vitesse particulière. On comprend aussi intuitivement que les vibrations de la surface du gong exercent alternativement une augmentation de la pression quand la surface s'approche des particules, suivie d'une diminution de cette pression quand la surface s'en éloigne. Cette variation de pression est une autre caractéristique des ondes acoustiques, et dans la pratique c'est la grandeur la plus utilisée en acoustique sous-marine : elle s'exprime en Pascal (1 Pa = 1 Newton par m²).

Lorsqu'un son est produit, il se propage dans toutes les directions autour de la source et forme une vague sphérique de variation de pression acoustique encore appelée onde sonore : il en résulte qu'à chaque point du milieu, la pression acoustique varie avec le temps. Au cours du temps, cette même pression se répartit sur une surface de plus en plus grande (surface d'une sphère) et à chaque instant cette pression décroît en fonction de la distance à la source sonore.

Il s'agit donc d'une atténuation de la pression par dispersion géométrique.

Autre caractéristique importante, la vitesse à laquelle l'onde acoustique se propage dans le milieu ou célérité « C ». Elle ne dépend ni de l'amplitude, ni de la fréquence du son mais est uniquement imposée par les caractéristiques mécaniques du milieu de propagation, en particulier sa densité et son module d'élasticité k (ou inverse de la compressibilité).

À titre d'illustration, la vitesse de propagation du son dans l'air est d'environ 340 m/s, dans l'eau de mer d'environ 1500 m/s, dans les sédiments de 1500 à 2500 m/s, et dans l'acier de 5000 à 6000 m/s.

La densité d'un milieu n'étant pas constante mais variant entre autres avec la température, on peut en déduire que la célérité du son dépend aussi de ce paramètre.

En fait, si l'on cherche plus de précision, il faut aussi prendre en considération que si la célérité du son dans l'eau de mer augmente avec la température, elle augmente aussi avec la salinité et la pression, ce qui signifie que la célérité change avec la période de la journée, les saisons, la profondeur, la proximité géographique d'embouchures de fleuves, etc.

Les milieux transmetteurs ne sont jamais acoustiquement parfait et l'on doit faire face, en plus de l'atténuation par dispersion géométrique à de l'absorption moléculaire.

La conséquence directe de ce phénomène est que plus la fréquence acoustique utilisée est élevée, moins la portée sera grande. Ainsi à titre purement indicatif, on peut grossièrement estimer que dans de bonnes conditions de propagation en eau de mer, un sondeur de 12 kHz aura une portée maximale voisine de 8 km, un sondeur de 38 kHz une portée voisine de 1000 m, un sondeur de 120 kHz une portée voisine de 200 m.

Pour une détection à la plus grande distance possible, il faut choisir une fréquence basse, un grand transducteur (concentration de l'énergie dans un petit faisceau), et une grande puissance d'émission.

D'autres pertes d'énergie, plus aléatoires et difficiles à prendre en compte sont les pertes liées à la présence de bulles d'air dans l'eau de mer. Ces bulles sont générées de manière naturelle dans le milieu par les vagues et l'activité biologique ou générées par l'activité humaine (sillage de bateaux, etc.). Rarement ces pertes sont prises en considération dans les calculs d'abondance d'organismes marins du fait de leur caractère imprévisible. Elles peuvent cependant atténuer considérablement le signal, voire le masquer totalement...

Les sondeurs

Dans le langage courant un sondeur est un appareil destiné à émettre verticalement des ondes sonores et à recevoir les échos.

Très schématiquement, un système sondeur se compose d'un étage d'émission, d'un étage de réception, d'une horloge qui synchronise les deux, d'un transducteur qui émet les ondes acoustiques et reçoit les échos, et d'un dispositif de restitution des échosondages (écran de visualisation, dispositif d'enregistrement des informations).

Un sondeur est donc destiné à mesurer des hauteurs d'eau (bathymétrie) et à détecter en pleine eau les organismes réfléchissant (plancton, poissons pélagiques, etc.). Ils sont donc particulièrement employés dans le domaine de la pêche. Dans le domaine scientifique, les sondeurs sont utilisés par les biologistes pour les études écosystémiques, par les éthologues pour des études comportementales, par les halieutes pour les évaluations d'abondance des ressources (pélagiques principalement), mais aussi en géosciences marines qui utilisent des outils spécialisés comme les sondeurs de sédiments ou la géosismique.

Il ne faut pas considérer qu'un sondeur peut tout détecter. Il existe en effet des « zones d'ombre » ou « zones aveugles » dont le volume dépend de la configuration du fond et de la forme du faisceau.

Les sonars

Les sonars, toujours dans le langage courant, présentent les mêmes principes de fonctionnement que les sondeurs mais contrairement (ou complémentaiement) au sondeur qui travaille verticalement, les émissions et réception des sonars se font dans des plans obliques. Ils sont donc adaptés à l'observation du milieu autour d'un bateau, soit de façon directionnelle (frontale ou latérale par exemple) soit de façon omnidirectionnelle, soit encore en utilisant un mixage des deux possibilités.

Le traitement des données sonar est plus complexe que celui des données de sondeurs. En effet, le trajet des ondes acoustiques n'est plus linéaire si les conditions du milieu sont hétérogènes, principalement dans le cas de gradients thermiques.

Les sondeurs multifaisceaux halieutiques

Les sondeurs multifaisceaux halieutiques sont des systèmes hybrides sonars-sondeurs dans la mesure où ils comprennent des faisceaux travaillant selon un axe vertical et d'autres travaillant latéralement par rapport aux premiers.

Ces systèmes représentent la toute dernière génération des sondeurs scientifiques principalement destinés aux évaluations de ressources. Les premiers essais du premier modèle ont été faits en octobre 2005 sur la « Thalassa », navire de recherches de l'Ifremer.

Les sonars 3D et caméras acoustiques

Ce sont en fait des sonars haute définition qui utilisent un très grand nombre de faisceaux. Les plus élaborés d'entre eux produisent des images ou des films similaires à ceux qui sont obtenus à l'aide d'une caméra vidéo sous-marine. Dans le principe, il s'agit de transmettre une impulsion sonore selon un angle important à partir de quelques éléments du transducteur et à la réception d'utiliser l'ensemble des éléments de ce transducteur pour recevoir les échos selon des angles très fins. Il est alors possible de construire une image en 3D des réflecteurs acoustiques. Leur portée est généralement faible en eau de mer du fait des fréquences élevées utilisées qui permettent une bonne résolution. Leurs applications sont multiples en halieutique, avec des aptitudes marquées pour les analyses de comportement, l'étude de la topographie des bancs et les observations en petits fonds.

Les marques acoustiques

Les marques acoustiques sont de petits émetteurs dont typiquement la taille varie de 15 mm à 150 mm pour des poids respectifs de 1 à 80 g. Elles sont placées soit dans la cavité abdominale des poissons, soit fixées sur leur dos. Plus les marques sont petites et moins elles possèdent de capteurs et par conséquent moins elles peuvent transmettre d'informations sur leur milieu environnant (température, pression) et moins elles ont d'autonomie.

On considère qu'il existe deux grandes catégories de marques, celles qui émettent un signal à intervalle constant et qui sont adaptées au suivi de poissons se déplaçant rapidement et celles qui émettent un signal d'identification qui peuvent être utilisées en grand nombre dans une même zone et qui sont idéales pour détecter la présence/absence d'un poisson particulier dans une zone déterminée. Ces dernières sont particulièrement utiles pour étudier le comportement des

poissons autour des dispositifs concentrateurs de poissons et sont par exemple utilisées dans le programme européen **FADIO** mené dans l'Océan Indien par l'IRD. Elles ont également dans un passé récent été largement utilisées dans le programme ECOTAP mené fin des années 90 en Polynésie Française par l'IRD, l'EVAM et l'Ifremer.

L'acoustique halieutique au service de la pêche et de l'écologie aquatique

Le domaine d'utilisation de l'acoustique halieutique est extrêmement vaste, s'étendant des rivières, lacs, retenues de barrages, estuaires, plateaux continentaux, milieux hauturiers, etc.

Il s'adresse donc à des milieux profonds de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres, à de l'eau douce, de l'eau salée, hyper-salée. Il s'adresse aussi bien aux mesures sur des organismes de tailles millimétriques (plancton), centimétriques (poissons mésopélagiques), décimétriques (poissons habituels des plateaux continentaux), métriques (thonidés et poissons à rostre du grand large).

ACAPELLA – Unité de Service de l'IRD – travaille actuellement en acoustique sur les petits fonds en milieu estuarien comme dans les bolons du Sine-Saloum ou dans le fleuve Gambie, mais encore dans les retenues des barrages de Sélingué au Mali et de Manantali au Sénégal dans le cadre de l'UR RAP (« Réponses Adaptatives des populations et des peuplements de Poissons aux pressions de l'environnement »).

Les applications de l'acoustique sur les plateaux continentaux européens sont historiquement les plus anciennes et dirigées vers l'évaluation et la cartographie des biomasses de poissons exploités ou exploitables.

Des campagnes similaires, effectuées principalement dans le cadre d'évaluation de ressources, furent très nombreuses à l'IRD, avec, pour ne citer que les plus nombreuses les campagnes des navires océanographiques « Capricorne » en Afrique de l'Ouest, « Laurent Amaro » et du « Louis Sauger » au Sénégal, les campagnes N'DIAGO en Mauritanie, celles des navires océanographiques « André Nizery » et « Antéa » dans le golfe de Guinée et au Vénézuéla, celle du « Bawal Putih 1 » en Mer de Java...

En milieu pélagique hauturier les objectifs sont plus ambitieux : il s'agit d'étudier les habitats des grands pélagiques hauturiers (thons et poissons à rostre) décrits par leurs caractéristiques biotiques et abiotiques. Ce fut le cas lors des campagnes PICOLO menées dans les années 1993-1995 par l'IRD en zone Atlantique équatoriale, des campagnes ECOTAP menées par l'IRD en ZEE française de Polynésie et plus récemment en ZEE française du Canal du Mozambique lors des campagnes ECOTEM de l'IRD menées par l'UR THETIS en collaboration avec l'US ACAPELLA.

En Polynésie française, grâce à l'emploi combiné de sondeur scientifique, de marques acoustiques et de pêches (palangres et chalutages), l'habitat et le comportement alimentaire des thons ont pu être décrits.

L'acoustique halieutique en plein essor

L'utilisation de l'acoustique continue son extraordinaire croissance dans le monde scientifique, mais aussi civil et militaire. C'est actuellement le seul moyen aisé d'explorer le monde sous-marin car faibles sont les contraintes de pénétration du son dans l'eau. Les avancées méthodologiques et technologiques rendent sondeurs et sonars de plus en plus performants, ouvrant ainsi de nouvelles voies applicatives pour la recherche, et c'est le cas des études multifréquentielles qui connaissent un développement croissant dans le monde scientifique.

L'acoustique halieutique est aussi de plus en plus utilisée dans le monde, plus spécialement pour évaluer les biomasses de poissons. Cette technologie basée sur l'intégration des échos offre de nombreux avantages dont une bonne couverture bathymétrique, une production rapide des résultats, une indépendance des données de la pêche commerciale, et de plus c'est une méthode non-intrusive, ne détruisant ni les milieux biotiques ni abiotiques et donc respectant l'environnement.

Les préoccupations de sauvegarde de l'environnement, de préservation des écosystèmes ayant un poids social croissant, l'acoustique halieutique a complété son éventail applicatif en s'intéressant aux études des écosystèmes puis aux nouvelles approches écosystémiques de gestions des pêcheries.

La nécessité d'une telle approche, qui prend en compte le maximum de paramètres ayant une influence sur les écosystèmes :

- activités humaines : pression de pêche, autres activités humaines (pétrole, loisirs, militaire, pollutions, etc.)
- environnement abiotique (substrat, physicochimie, évolutions climatique)
- environnement biotique (production primaire et secondaires, prédateurs de différents niveaux trophique que ce soient des invertébrés, des poissons, des oiseaux, des mammifères etc.),

est maintenant largement intégrée dans les préoccupations scientifiques et très fortement souhaitée par les politiques et les usagers.

Les enjeux sont nombreux. Il s'agit d'améliorer la précision des estimations d'abondance d'espèces exploitées ou non, de mieux chiffrer les capacités des milieux à supporter des agressions et à se reconstituer. Il s'agit aussi de mettre en place des politiques d'aménagement du milieu. Il s'agit encore de mettre en place des politiques et des réglementations de gestions des ressources et des pêcheries sur du moyen ou long terme, par opposition aux pratiques actuelles d'attribution de quotas année après année qui ne laissent ni aux politiques ni aux entrepreneurs de vision dans la durée sur leurs activités. Ces enjeux qui chez nous prennent une dimension et un poids chaque jour plus importants, sont à l'évidence encore plus cruciaux dans les pays du sud.

Les enjeux sont donc nombreux et d'importance capitale ; nul doute que l'acoustique, et notamment l'acoustique halieutique, occupera un terrain croissant dans le futur. L'IRD y tiendra sa place.

Contact auteurs :

Jean-Jacques Levenez [jean.jacques.levenez@ird.fr]

Erwan Josse [erwan.josse@ird.fr]

Anne Lebourges Dhaussy [anne.lebourges.dhaussy@ird.fr]