

Chapitre 3. Où sont et combien y a-t-il de poissons dans la mer ?

L'acoustique active pour évaluer les organismes marins

Anne Lebourges-Dhaussy

- 1 Afin de mettre en place un usage équilibré entre les utilisateurs d'un espace maritime, la première étape est de connaître cet espace : ses caractéristiques abiotiques et leurs dynamiques ; ses composants biotiques, leurs distributions et dynamiques ; les zones vulnérables et les zones riches ; les habitats des ressources par la cartographie (LE PAPE *et al.*, 2014) ; les environnements humain et économique, etc. Ce diagnostic initial passe nécessairement par la détermination de la distribution des ressources vivantes exploitées ou non. Pour cela, l'usage de l'acoustique active s'est développé dans les années 1970 et cette méthode d'évaluation et d'observation du milieu marin est depuis devenue courante dans de nombreux pays à travers le monde (en Europe, en Australie, aux États-Unis, mais aussi au Sénégal, Maroc, Mauritanie, Pérou, Mexique, etc.). Son usage s'est ensuite étendu à l'étude des écosystèmes aquatiques dans leur ensemble, les fluctuations des populations de poissons ne pouvant être expliquées sans prendre en compte leurs environnements. Cette méthode non intrusive et non destructive est par ailleurs adaptée à l'étude des zones protégées où les échantillonnages biologiques ne sont pas autorisés.

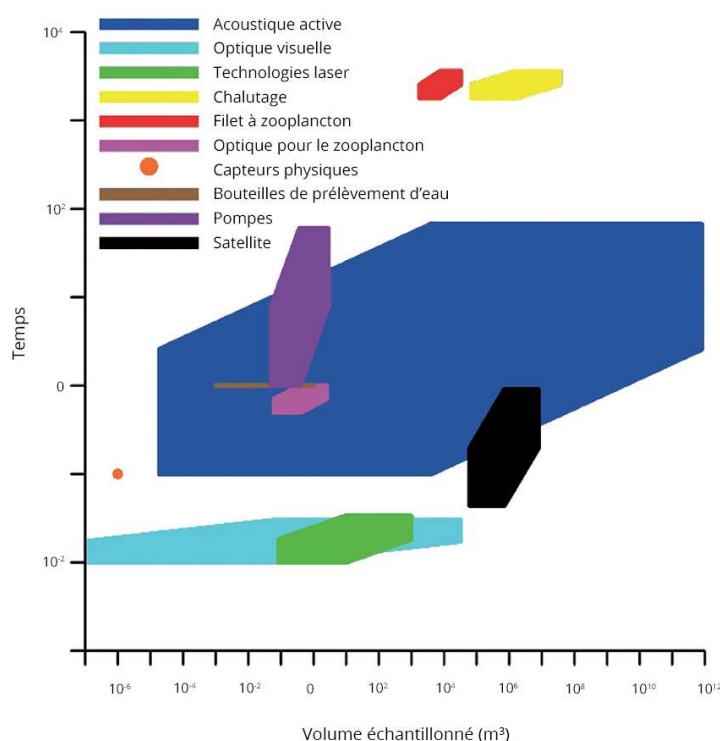
Intérêt de l'acoustique active

- 2 Les données acoustiques sont une source d'informations pour un ensemble de composants de la biocénose et, parfois, du biotope. Les données sont acquises en général en continu tout au long de campagnes océanographiques, depuis la surface jusqu'à 1 000 m de profondeur voire plus. Ceci permet d'obtenir une vision de l'écosystème avec une résolution inégalée par d'autres approches (de l'ordre du décimètre verticalement et de quelques mètres horizontalement). En outre, par

l'utilisation de plusieurs fréquences d'émission, les différents composants de l'écosystème peuvent être détectés :

- la présence de forts gradients physicochimiques (de température, d'oxygène, de densité) ;
 - le fond marin et sa composition géologique ;
 - les organismes zooplanctoniques (crustacés et gélatineux), en bancs ou en couches ;
 - les poissons (de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres), dispersés ou agrégés ;
 - les prédateurs supérieurs (ex. thons, mammifères marins) ;
- 3 Les données acoustiques informent également sur le comportement des organismes (migrations verticales, modification de la structuration des organismes entre le jour et la nuit, en bancs ou dispersés, en couches, etc.).
 - 4 L'information obtenue est essentielle et unique de par la couverture spatio-temporelle qu'elle procure par rapport à d'autres méthodes d'observation (fig. 1).
 - 5 Les données acoustiques sont indispensables pour évaluer les stocks de poissons exploités ou non ainsi que leur environnement trophique, comprendre leurs comportements nycthéméraux, saisonniers ou les variations interannuelles ainsi que les relations prédateurs/proies, définir des habitats préférentiels, etc., c.-à-d. toutes connaissances qui pourront éclairer les choix nécessaires à la planification spatiale marine (PSM).

Figure 1. Couverture spatio-temporelle d'une unité d'observation pour différentes méthodes *in situ*



La résolution minimale de la mesure est indiquée par le coin inférieur gauche de chaque polygone et son extension maximale par le coin supérieur droit.

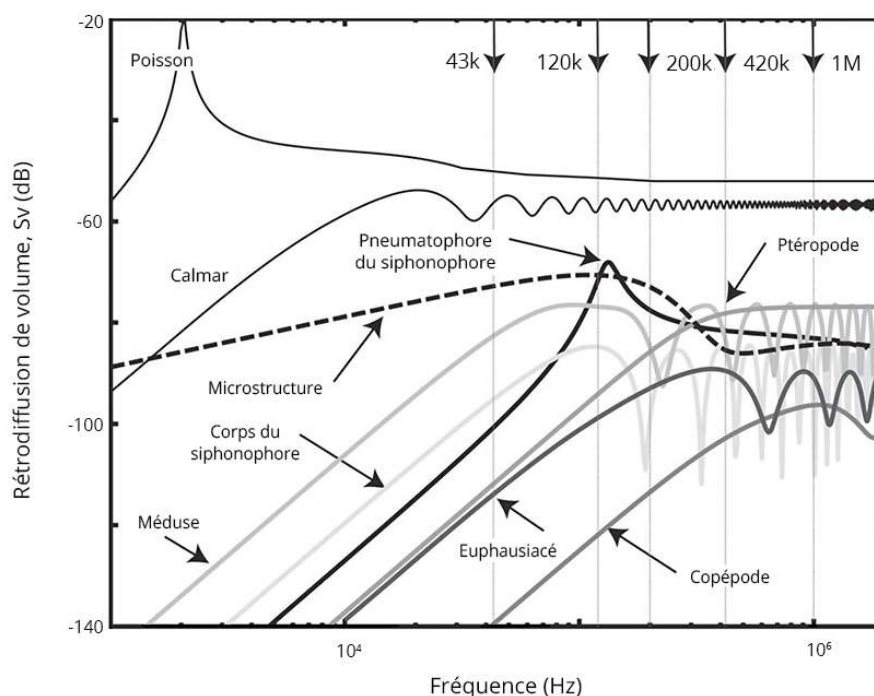
Source : TRENKEL *et al.* (2011)

Méthode

Principes

- 6 Le principe physique de l'acoustique active se fonde sur la propagation des ondes dans l'eau et les composants biotiques présents dans le milieu marin. La propagation se traduit par une succession de compressions-dilatations du milieu, qui prennent appui sur les particules qui le constituent. Une onde acoustique ne peut pas se propager dans le vide, elle a besoin d'un support particulaire. Chaque particule transmet à sa voisine une anomalie locale de pression, qui va ensuite se propager aux suivantes. Lorsqu'un changement de densité survient dans le milieu, l'obstacle présente une résistance plus ou moins forte au déplacement de la particule, modifiant la façon dont se fait la transmission de l'anomalie de pression. Ainsi, une part de l'énergie qui se transmet par l'onde acoustique est réfléchie vers la source (écho) et l'autre part poursuit sa propagation au-delà de l'obstacle.
- 7 La capacité d'une cible à réfléchir une onde acoustique est surtout déterminée par sa différence de densité avec le milieu environnant, l'eau de mer ou l'eau douce dans ce cas, ainsi que par le contraste de vitesse de propagation de l'onde entre le milieu et la cible. Les échos seront forts qu'ils proviennent de cibles plus denses que l'eau (roches) ou moins denses (bulles gazeuses, interface eau-air). Les organismes marins contenant une inclusion gazeuse, comme certains organismes planctoniques (siphonophores à pneumatophores), ou une vessie natatoire gazeuse, comme beaucoup de poissons pélagiques (sardines, anchois, thons, etc.), sont de très bons réflecteurs.
- 8 Les propriétés réfléchissantes des cibles sont fonction de leur densité, taille, forme, de leur orientation par rapport à la direction de l'onde et de sa fréquence. Pour un certain nombre d'espèces de poissons très étudiées et bien documentées, des équations quantifient la relation entre l'indice de réflectivité d'un poisson et sa longueur totale (SIMMONDS et MACLENNAN, 2005). Pour d'autres espèces, comme les balistes présents autour de Fernando de Noronha (Brésil), la documentation n'existe pas et il a été nécessaire de calculer ces relations à partir de données issues des missions de terrain (SALVETAT *et al.*, 2022).
- 9 Dans la gamme des fréquences ultrasonores utilisées, de 18 à 400 kHz environ, les organismes peuvent avoir des réponses très variables selon la fréquence (fig. 2). Des systèmes multifréquentiels sont alors utilisés de façon à pouvoir exploiter les caractéristiques des cibles (poissons, crustacés, gélatineux, etc.) afin de mieux les classer. Ainsi, les poissons exploités, leurs prédateurs et leurs proies, peuvent être observés simultanément au travers des données acoustiques.

Figure 2. Niveaux d'écho en fonction de la fréquence pour les principaux groupes biologiques, pour une densité d'un organisme/m³ d'eau



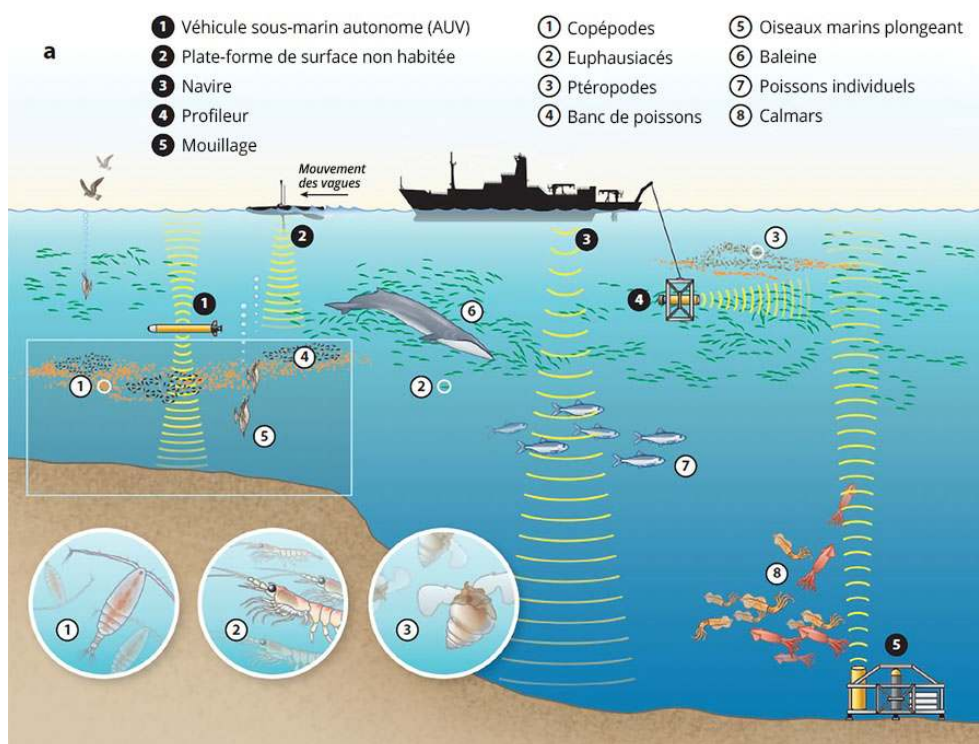
Microstructure : changement de densité du milieu ; siphonophore et méduse : cnidaires ; euphausiacé et copépode : crustacés ; ptéropode : mollusques.

Source : LAVERY *et al.* (2007)

Mise en œuvre

- 10 Il existe une grande variété d'équipements acoustiques. Les plus couramment utilisés sont installés sur la coque des navires de recherche. Toutefois, ils fournissent des données au moment de la campagne de terrain uniquement et ne détectent les cibles qu'à partir de la surface. Afin de s'approcher des cibles profondes (plusieurs centaines de mètres parfois), à des distances où les équipements de coque n'offrent pas assez de résolution ou/et fournissent des données pour lesquelles le rapport signal/bruit devient trop faible, il existe des sondeurs autonomes pouvant être acheminés à proximité des cibles d'intérêt afin d'obtenir des mesures de meilleure qualité et beaucoup plus fines spatialement. D'autres dispositifs sont conçus pour fournir des séries temporelles et sont installés sur des mouillages. Certains équipements, à très hautes fréquences, utilisés en profileurs, sont plutôt dédiés à la détection du zooplancton (fig. 3).
- 11 Un sondeur (cf. le cercle n° 3 noir de la figure 3) est utilisé en continu pendant toute la durée d'une campagne classique. Couramment, il émet dans l'eau une onde chaque seconde : à 10 nœuds, cela correspond à une émission tous les 5 m. L'onde se propage jusqu'à des profondeurs qui sont d'autant plus grandes que la fréquence utilisée est basse. Typiquement, à 38 kHz, il est possible de détecter des poissons jusqu'à environ 1 000 m de profondeur. La résolution verticale est de quelques centimètres. Les données sont quasi-continues aussi bien verticalement qu'horizontalement.

Figure 3. Dispositifs acoustiques utilisés pour les études écosystémiques



SOURCE : BENOIT, BIRD ET LAWSON (2016)

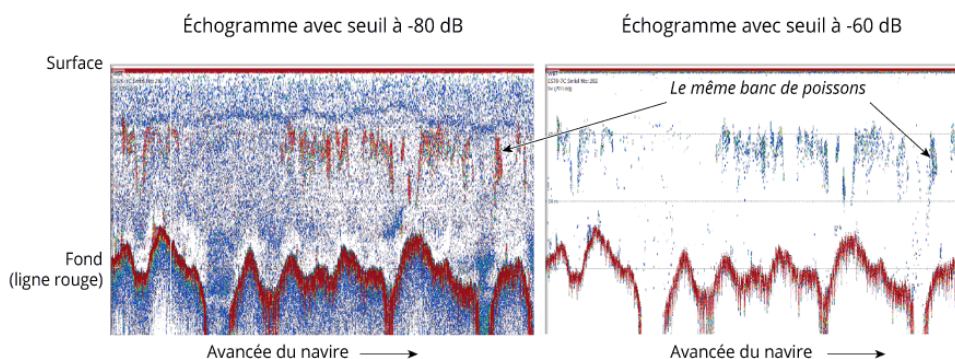
Évaluer les organismes marins

- 12 Les outils et méthodes d'acoustique active ont été développés, au départ, pour déterminer la profondeur du fond océanique sous un navire au début du xx^e siècle (le premier sondeur a été commercialisé en 1925), notamment après le naufrage du Titanic (JUHEL, 2005). Ensuite, la première mention de l'utilisation d'un sondeur pour évaluer des organismes marins date de 1935 dans un article sur la détection de bancs de morues dans un fjord norvégien avec un échosondeur de la revue *Nature* (SUND, 1935). Cette approche est en effet la seule qui permette de « voir », depuis la surface jusqu'au fond marin, en continu le long du trajet du bateau, les organismes réflecteurs présents dans la colonne d'eau. Les réflecteurs étant variés et de toutes tailles, selon la ou les fréquences utilisées, il est possible d'obtenir une représentation assez exhaustive du « paysage » sous-marin. Toutefois, les scientifiques se sont intéressés tout d'abord aux poissons, répondant ainsi aux besoins d'évaluer les stocks d'intérêts commerciaux afin de mieux les gérer.
- 13 Les évaluations de stocks sont basées sur le principe de l'écho-intégration qui lui-même est sous-tendu par un principe de linéarité : pour un volume échantillonné donné, l'énergie acoustique réverbérée résulte de la combinaison linéaire des contributions individuelles des organismes présents dans ce volume. L'énergie acoustique est donc d'autant plus élevée que la concentration de poissons est dense ou/et que les poissons sont grands. « Écho-intégrer » consiste à faire la somme des échantillons verticaux d'énergie acoustique reçue dans une cellule d'intégration, à savoir une hauteur d'eau

donnée (par exemple la colonne d'eau) pour une distance parcourue donnée (typiquement 1 mille nautique en mer).

- 14 Dans cette cellule d'intégration, il peut se trouver des poissons de plusieurs espèces, des organismes zooplanctoniques, gélatineux, etc. Une première étape est alors de sélectionner la part des poissons dans l'énergie acoustique totale reçue. Appliquer un seuil d'analyse des données à -60 dB (comme sur l'exemple de la figure 4) peut parfois suffire à séparer les poissons (énergie acoustique supérieure au seuil) des autres organismes constituant son environnement trophique (énergie acoustique inférieure au seuil). Dans certains cas, un algorithme de classification basé sur les réponses fréquentielles différenciées des poissons et des autres organismes, permet de mieux prendre en compte les poissons (MORENO *et al.*, 2007 ; FERNANDES, 2009 ; BALLÓN *et al.*, 2011 ; KORNELIUSSEN *et al.*, 2016 ; KORNELIUSSEN, 2018).

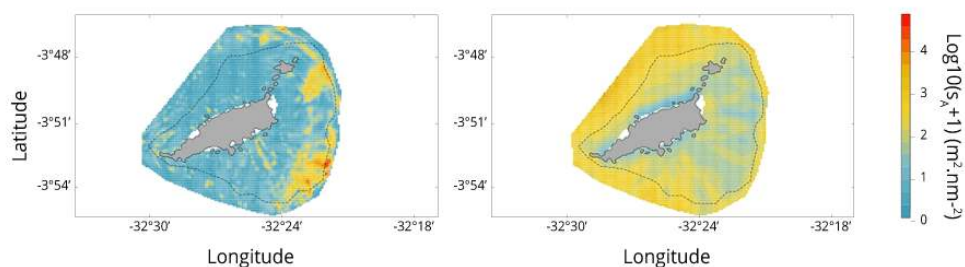
Figure 4. Exemple d'un échogramme issu de la campagne Farofa2 (laboratoire mixte international « Tropical Atlantic Interdisciplinary Laboratory on physical, biogeochemical, ecological and human dynamics », LMI Tapioca) autour de Fernando de Noronha avec deux seuils différents (-80 dB à gauche et -60 dB à droite).



Source : A. Lebourges-Dhaussy

- 15 Une fois la part de l'énergie acoustique due aux poissons identifiée, une carte de leur répartition peut être réalisée, ainsi qu'une carte de distribution des autres types d'organismes (fig. 5).

Figure 5. Distribution spatiale des poissons (à gauche) et des autres organismes (à droite) autour de l'île de Fernando de Noronha au Brésil, par interpolation géostatistique de la densité acoustique de surface s_A (cf. MCLENNAN *et al.*, 2002 pour la définition des grandeurs acoustiques).



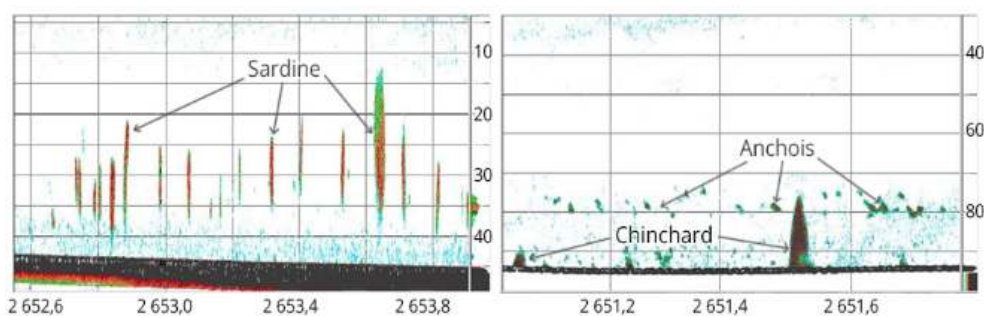
L'isobathe 50 m est indiquée par le pointillé noir.

SOURCE : SALVETAT *et al.* (2022)

- 16 L'évaluation des stocks se fait idéalement par espèce. Au sein de la part d'énergie renvoyée par les « poissons » dans la détection, il s'agit alors de répartir cette énergie

selon les espèces présentes, certaines étant commercialisées, d'autres non. Des chalutages d'identification réalisés sur différents types de détections et l'expertise de l'équipe scientifique sur l'allure des détections par espèce en fonction de la zone géographique et de la saison permettent cette répartition de l'énergie mesurée entre les espèces (fig. 6).

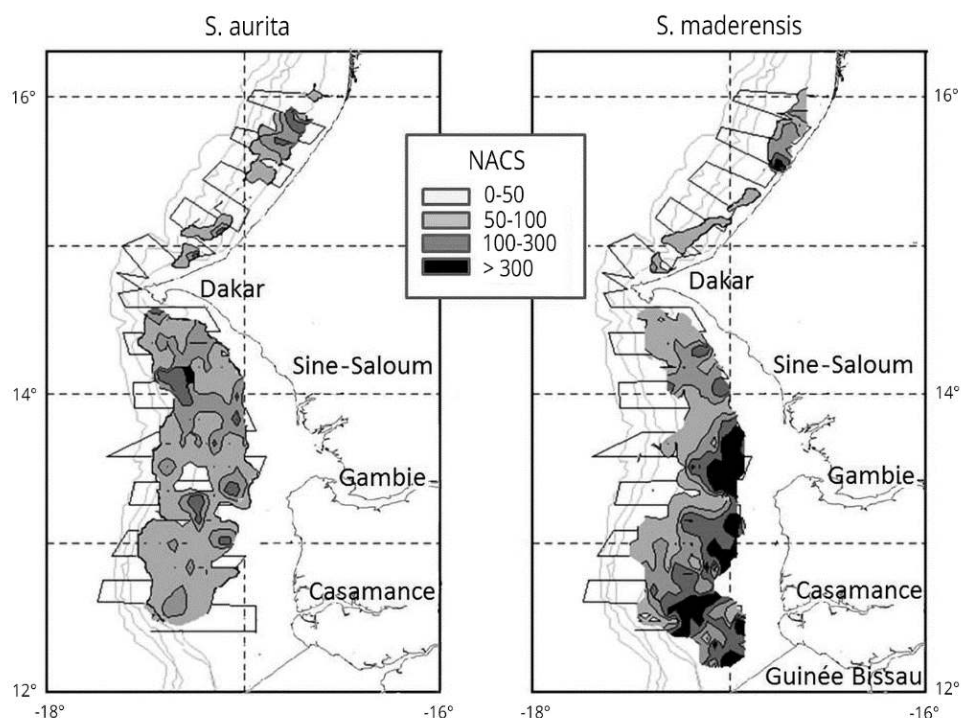
Figure 6. Détections de bancs de poissons typiques du golfe de Gascogne (France) au printemps : sardines (gauche), anchois et chinchards (droite), confirmés par des chaluts d'identification. L'énergie acoustique de chaque banc est calculée et affectée à l'espèce correspondante.



Source : Noël Diner, communication personnelle

- 17 La distribution de chaque espèce est ainsi cartographiée en termes de densité acoustique de surface ou NASC (exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{nmi}^{-2}$, MCLENNAN *et al.*, 2002) (fig. 7). Sur la base des distributions de tailles issues des chaluts, les équations reliant d'une part l'écho individuel d'un poisson à sa taille, d'autre part sa taille et sa masse, permettent d'estimer une masse de l'espèce par unité de surface. Cette masse, affectée à l'aire de distribution de l'espèce, fournit in fine, une estimation de la biomasse totale de l'espèce.

Figure 7. Distributions des densités acoustiques (NASC, en $m^2.nmi^{-2}$) de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *S. maderensis*) sénégalaises obtenues par les campagnes acoustiques du navire de recherche Itaf Deme 2005-2006-2007



SOURCE : SARRÉ *et al.* (2018)

- 18 Un certain nombre d'incertitudes sont associées à cette méthode d'évaluation (SIMMONDS et MACLENNAN, 2005). La météo joue un rôle important : le mauvais temps (vent, houle) génère des bulles en surface qui atténuent le signal propagé dans une proportion difficile à quantifier, et induit des mouvements du navire qui empêchent la bonne détection des échos (l'orientation du bateau change entre les moments de l'émission et de la réception). La classification des espèces, sur la base des détections acoustiques, est également une source d'erreurs potentielles : l'affectation des détections à une espèce donnée (ex. fig. 6) se fait à « œil d'expert » dans une zone et pour une saison pour lesquelles les types d'agrégation des espèces sont connus. Cela suppose leur stabilité, hypothèse qui peut être mise à mal en cas d'épisode de vent fort par exemple. Dans des régions peu documentées et multi-spécifiques, les chalutages identifient souvent des assemblages d'espèces et il est difficile d'être plus fin que ces assemblages dans la répartition de l'énergie acoustique. Le facteur de conversion des densités acoustiques en quantité puis en masses de poissons n'est pas connu pour toutes les espèces, notamment en milieu tropical ; on utilise alors des équations issues de la littérature, qui ne sont pas forcément optimales pour le milieu étudié. Le comportement des poissons est un autre facteur important : le bruit occasionné par les navires, selon la profondeur des organismes visés et la fréquentation des zones étudiées, peut engendrer des comportements d'évitement du bateau par les poissons qui ne sont alors plus détectés par le sondeur vertical. Des dispositifs comme les sonars omnidirectionnels peuvent détecter des bancs de poissons autour du bateau, mais ils ne permettent pas l'analyse quantitative des observations, nécessaire à l'évaluation. Ils informent toutefois sur la présence de bancs non détectés par le sondeur vertical sous

le bateau. Malgré ces incertitudes et ces biais (étudiés et connus), l'évaluation des stocks de poissons pélagiques avec l'approche acoustique est au moins aussi bien – et sans doute meilleure – qu'avec les autres méthodes existantes (SIMMONDS et MACLENNAN, 2005). La combinaison des méthodes est, de toute façon, préférable.

Autres applications d'intérêt pour la PSM

Approche écosystémique

- 19 L'approche écosystémique de la gestion des ressources est actuellement considérée comme la plus pertinente pour aboutir à un développement soutenable ; cette approche est ainsi l'un des maillons essentiels de la planification spatiale marine (ANSONG *et al.*, 2017).
- 20 Dans le cas de l'acoustique active, passer de l'approche halieutique à l'approche écosystémique se traduit par un choix assez simple. En effet, comme le montre la figure 4, baisser le seuil de visualisation et d'analyse des données acoustiques permet de prendre en compte l'environnement biotique du poisson. Celui-ci, constitué notamment de couches planctoniques, a une distribution beaucoup plus contrainte par les conditions physiques du milieu (ondes, stratification, courants, etc.), que le necton qui est bien plus mobile, excepté lorsque les conditions environnementales incluent des paramètres limitant sa survie. L'observation par acoustique de la distribution des organismes permet ainsi d'extraire des informations sur les caractéristiques hydrodynamiques de la colonne d'eau pourvu que l'on utilise un seuil assez bas. Dans le cas du Pérou par exemple, la distribution verticale des anchois (*Engraulis ringens*) est particulièrement contrainte par la disponibilité en oxygène. La détection acoustique des bancs d'anchois informe de la profondeur de l'oxycline (là où le niveau d'oxygène chute rapidement par rapport à la couche superficielle de l'océan), avec la résolution très fine des données acoustiques (fig. 9A, BERTRAND *et al.*, 2010).
- 21 Outre ces données fournies par l'acoustique sur la distribution des poissons et de leur environnement biotique, voire abiotique avec les structures hydrodynamiques, l'approche écosystémique prend également en compte la production primaire, les courants, la topographie, etc., provenant d'autres capteurs (cf. encadré 1 sur le biologging pour la mégafaune marine) et vise à en comprendre les interactions.

Encadré 1. Comment les données de *biologging* sur la mégafaune peuvent-elles être utilisées pour la planification spatiale marine ?

Sophie LANCO BERTRAND

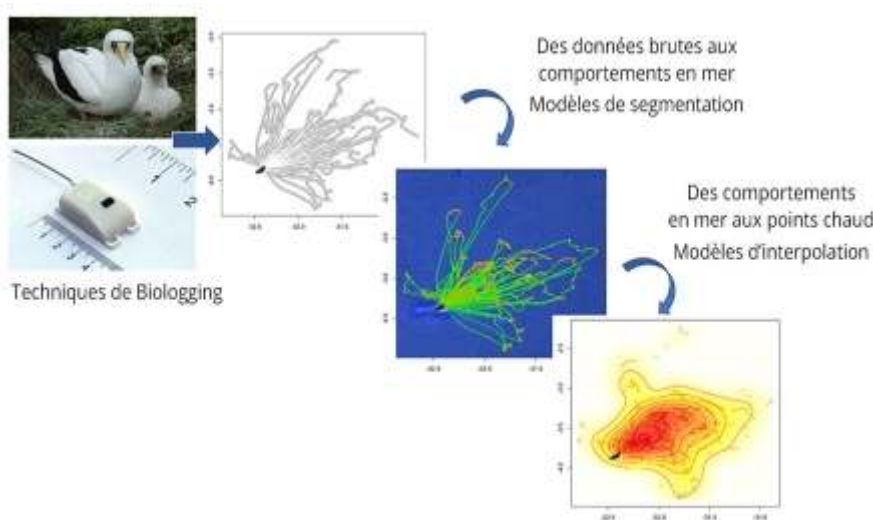
Les systèmes marins présentent un certain nombre d'attributs qui les rendent particulièrement difficiles à délimiter à des fins de gestion. Ils sont tridimensionnels par essence, opaques par rapport aux systèmes terrestres et de nombreux systèmes (tels que les fronts et les tourbillons) sont dynamiques dans l'espace et dans le temps. La fusion et la mise à l'échelle des données océanographiques et écologiques seront nécessaires pour observer, gérer de manière dynamique et conserver les espèces intégrées dans une mosaïque dynamique de paysages marins.

La mégafaune marine, par exemple (oiseaux de mer, mammifères marins, grands

poissons, etc.), rassemble des animaux très mobiles qui se déplacent sur de grandes étendues marines pour s'alimenter, se reproduire, se reposer ou migrer. Ainsi, une compréhension cohérente des causes, des schémas, des mécanismes et des conséquences des mouvements de la mégafaune est essentielle pour restaurer et gérer les activités humaines dans les paysages marins soumis à de multiples pressions, par exemple par le biais de la planification spatiale marine. Pourtant, mesurer l'utilisation des habitats en mer et définir les niches et les corridors critiques a longtemps été un défi.

Au cours des dernières décennies, des progrès considérables ont été réalisés grâce à une série de technologies d'enregistrement. Le terme « *biologging* » fait référence à l'utilisation de balises miniaturisées fixées sur les animaux pour enregistrer et/ou transmettre des données sur les mouvements, le comportement, la physiologie et/ou l'environnement d'un animal. Aujourd'hui, les écologistes ont accès à un arsenal de capteurs (accéléromètres tri-axiaux, magnétomètres, systèmes de positionnement global GPS, caméras, capteurs de plongée, etc.) qui peuvent mesurer en continu la plupart des aspects de l'état d'un animal (par exemple, sa localisation, son comportement, sa dépense calorique, ses interactions avec d'autres animaux) et de son environnement externe (par exemple, la température, la salinité, la profondeur). Ces technologies permettent aux écologistes de répondre à de nouvelles questions sur les performances physiologiques, l'énergie, la recherche de nourriture, la migration, la sélection de l'habitat et la socialité des animaux sauvages, ainsi que de recueillir des données sur les environnements dans lesquels ils vivent. Associées à une modélisation statistique de pointe en écologie du mouvement, les technologies de *biologging* fournissent des informations essentielles sur les niches écologiques dynamiques des espèces de mégafaune. Il s'agit d'une étape clé pour délimiter les points chauds et les points froids de la biodiversité, ce qui peut contribuer à une meilleure définition des problèmes de conservation dans un cadre d'aménagement de l'espace marin (fig. 8).

Figure 8. Données de *biologging* collectées sur des oiseaux marins (*Sula sula*) de l'archipel de Fernando de Noronha (Brésil) dans le cadre du projet Paddle

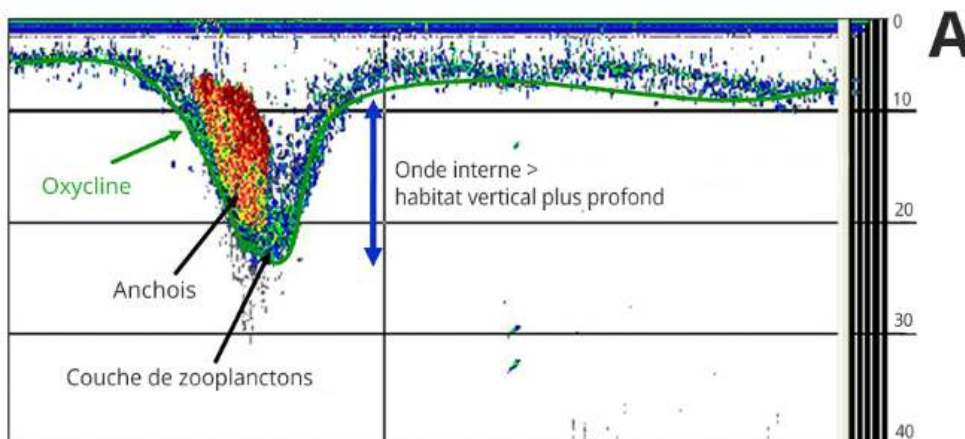


Les données GPS brutes ont été traitées par différents modèles statistiques pour identifier les zones d'alimentation et en déduire les zones critiques (*hotspots*) pour cette espèce.

Habitat potentiel, habitats à préserver

- 22 En allant plus loin à partir de l'exemple péruvien, la résolution des données acoustiques permet de cartographier en trois dimensions la profondeur de la zone de minimum d'oxygène. On détermine ainsi un volume d'habitat potentiel des anchois, dans lequel ils trouvent suffisamment d'oxygène pour leur survie (fig. 9B, BERTRAND *et al.*, 2010).

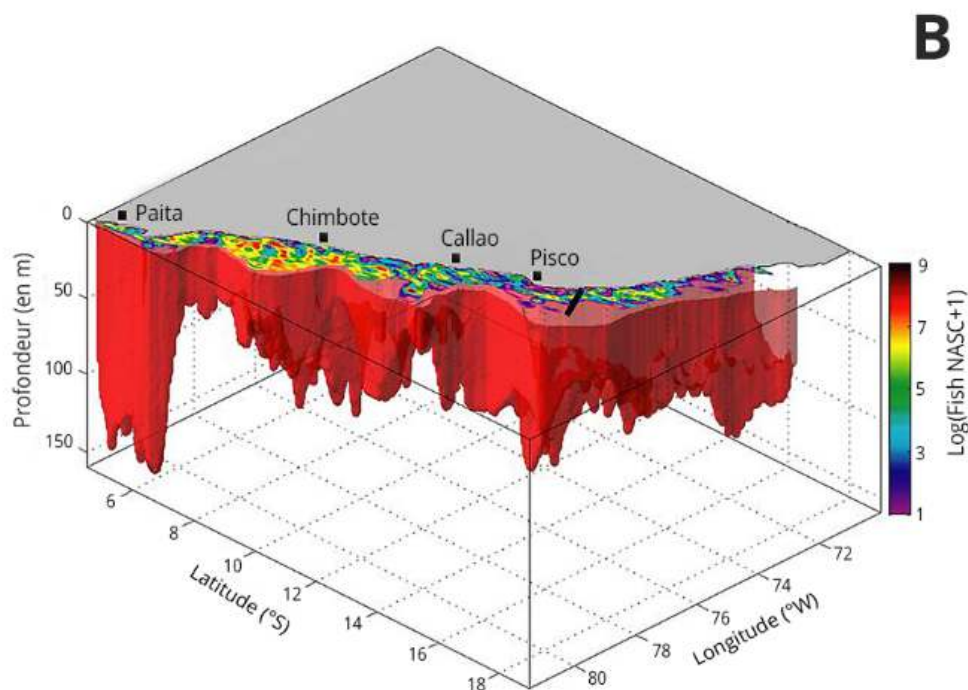
Figure 9 A. Extrait d'échogramme montrant un banc d'anchois concentré sur une couche de plancton, agrégée le long de l'oxycline, profondeur à laquelle le niveau d'oxygène chute brutalement par rapport à la couche superficielle de l'océan



La présence d'une onde interne, soit une vague dans la colonne d'eau, fait plonger l'oxycline et apporte ainsi un volume d'habitat plus élevé pour les anchois. Exemple pris le long de la côte du Pérou.

Source : BERTRAND *et al.* (2008)

Figure 9 B. Habitat potentiel de l'anchois (volume en rouge) d'après la position de l'oxycline issue des données acoustiques de la campagne d'évaluation des petits pélagiques de l'Instituto del Mar del Perú, Imarpe (Lima, Pérou, février-avril 2005)



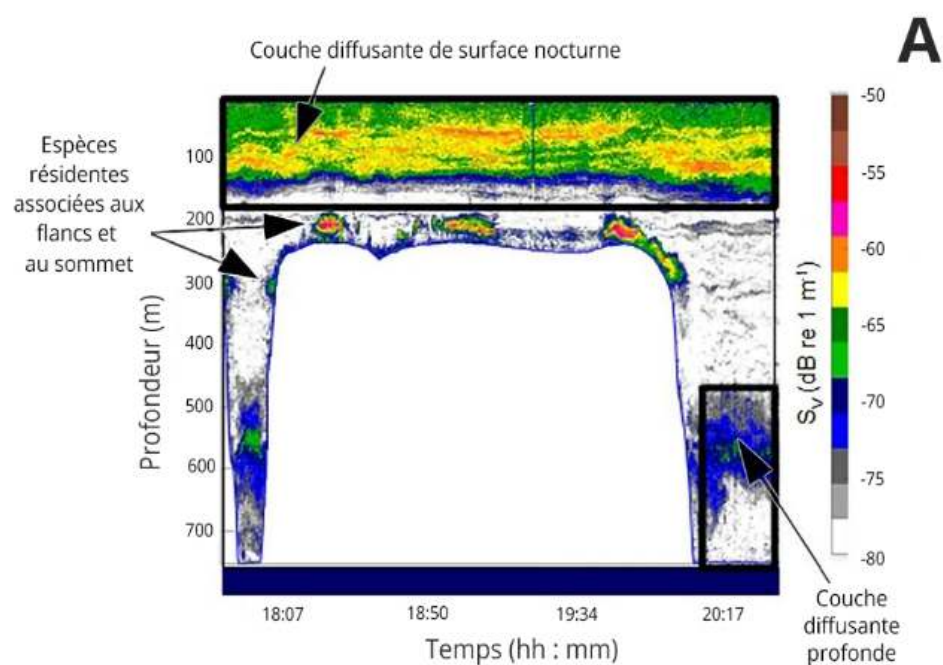
L'abondance acoustique en anchois est indiquée en échelle logarithmique au-dessus du volume d'anchois.

SOURCE : BERTRAND *et al.* (2010)

- 23 Les milieux hauturiers tropicaux, essentiellement oligotrophes (pauvres en nutriments et en ressources), sont encore très mal connus. Cependant dans de telles zones, la présence d'îles océaniques ou de monts sous-marins modifie localement le flux des courants formant des oasis plus productives (MARSAC *et al.*, 2019). De grands prédateurs sont présents dans ces zones tels que les thons, coryphènes, mammifères marins, etc., qui se nourrissent d'organismes de 2 à 20 cm, qui constituent le macrozooplancton et le micronecton. De par leur constitution, ces organismes sont détectables par acoustique (les crustacés, méduses, calmars et autres siphonophores de la figure 2). Ainsi l'étude de la répartition des organismes autour de structures topographiques particulières en milieux hauturiers, permet d'en déterminer l'intérêt comme aire de distribution de mammifères ou de grands poissons et de proies pour ces grands prédateurs. Il a été mis en évidence des concentrations d'organismes sur les flancs et au sommet de monts sous-marins, notamment la nuit dans l'exemple du Mont Cross dans le Pacifique central à quelques centaines de kilomètres des îles hawaïennes (JOHNSTON *et al.*, 2008). Des espèces peuvent être associées aux sommets ou aux flancs des monts comme, par exemple, les proies potentielles de grands prédateurs associées au sommet et aux flancs du mont MAD-Ridge, au sud de Madagascar dans l'océan Indien (ANNASAWMY *et al.*, 2019 ; fig. 10 A et B). Associer acoustique active et acoustique passive (qui consiste à écouter les sons émis par les animaux marins) peut aider à relier la présence des grands prédateurs et les concentrations de leurs proies (JOHNSTON *et al.*, 2008) et, ainsi, fournir des observations quantitatives spatialisées déterminantes pour la prise de décision de protéger ou non un espace.

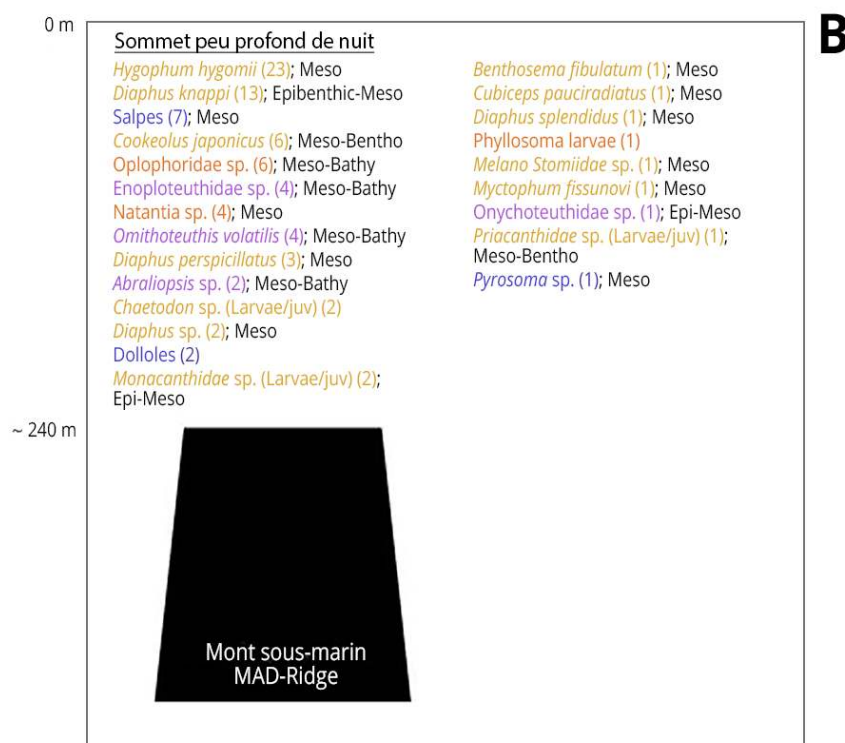
- 24 La présence de structures tourbillonnaires fortes, comme il en existe dans le canal du Mozambique, peut avoir un effet enrichissant plus important que les structures topographiques (ANNASAWMY *et al.*, 2020).

Figure 10 A. Détections acoustiques au sommet du mont sous-marin MAD-Ridge au sud de Madagascar, de nuit



Source : ANNASAWMY *et al.* (2019)

Figure 10 B. Espèces dominantes associées au sommet du mont d'après les chalutages



Catégories d'habitat : Epi : épipélagique ; Meso : mésopélagique ; Bentho : benthopélagique ; Bathy : bathypélagique ; épibenthiques ou l'association de plusieurs habitats
 Source : ANNASAWMY *et al.* (2019)

- 25 À l'échelle de la zone économique exclusive (ZEE) autour de la Nouvelle-Calédonie par exemple, la zone pélagique est entièrement intégrée dans le parc naturel de la mer de Corail depuis 2014 ; des réserves intégrales ont été mises en place en 2018 autour de certains récifs éloignés, mais les surfaces protégées restent limitées. Une série de campagnes couvrant la ZEE a fourni les densités acoustiques, leurs distributions horizontales et verticales. Des modèles statistiques permettant d'étudier ces densités au regard des paramètres environnementaux d'une part, de la distribution des grands prédateurs d'autre part, peuvent aider à délimiter d'autres zones d'intérêt prioritaire à préserver, pour la conservation des espèces ou de l'écosystème en général (RECEVEUR *et al.*, 2020, 2021).

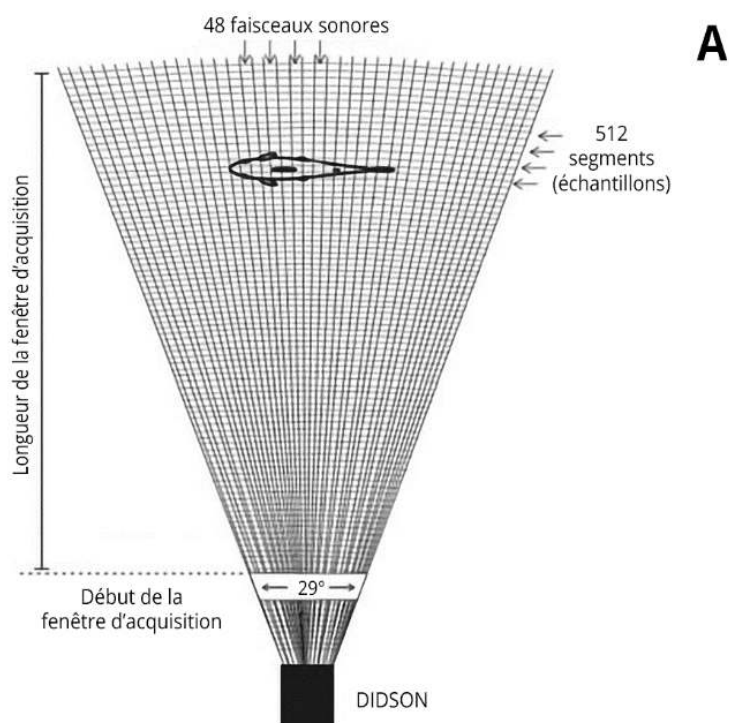
Observations sur le long terme en milieux peu profonds

- 26 Réaliser l'état des lieux d'un écosystème à un moment donné fournit une connaissance synoptique initiale. Cependant, les effets de la mise en place de nouveaux usages ou de mesures de préservation doivent être évalués au travers de suivis sur le moyen ou le long terme. Dans le cas des aires marines protégées (AMP), des suivis sont réalisés et des échantillonnages expérimentaux renseignent sur l'évolution de la diversité spécifique, des tailles, de l'âge à première maturité, des niveaux trophiques, etc. L'étude réalisée dans l'AMP de Bamboung au Sénégal dans l'estuaire du Sine-Saloum (ECOUTIN, 2013) en est un exemple. La détermination de la densité des organismes par acoustique verticale y est difficile du fait de la très faible profondeur du milieu. En effet, le

fonctionnement de l'équipement ne permet pas d'exploiter les deux premiers mètres sous la surface. De plus, l'écho du fond étant beaucoup plus fort que ceux des organismes biologiques, ces derniers ne sont détectables que s'ils sont à 50 cm environ au-dessus du fond. Toutefois, cela apporte un éclairage complémentaire (BÉHAGLE *et al.*, 2018) et sans le biais de la sélectivité des filets expérimentaux. Dans le cas de ces travaux au Sénégal, la variabilité du milieu, la petite taille de l'AMP et des difficultés pratiques à assurer un protocole parfaitement régulier sur la série temporelle, ont rendu difficile une synthèse claire des résultats, et ont mis en évidence le besoin d'une autre méthodologie, notamment la nécessité de privilégier le principe de stations fixes sur des périodes pertinentes (cycles nyctéméraux, saisonniers, de marée, annuels), pour surveiller la dynamique des poissons en des points stratégiques du milieu étudié. Des stations fixes ont été utilisées dans le cadre d'une étude menée au nord du Brésil dans la région de Bragança, associant acoustique et échantillonnage biologique. Les résultats sont la description des schémas de migration des poissons de mangrove, selon leurs tailles, en fonction de la marée. Ces travaux pointent également l'intérêt de combiner les données issues de sondeurs installés en émissions verticales et en émissions horizontales (KRUMME et SAINT-PAUL, 2003) pour mieux quantifier les passages des poissons, quand le milieu est homogène sur la verticale et dominé par des espèces épibenthiques (KRUMME, 2004).

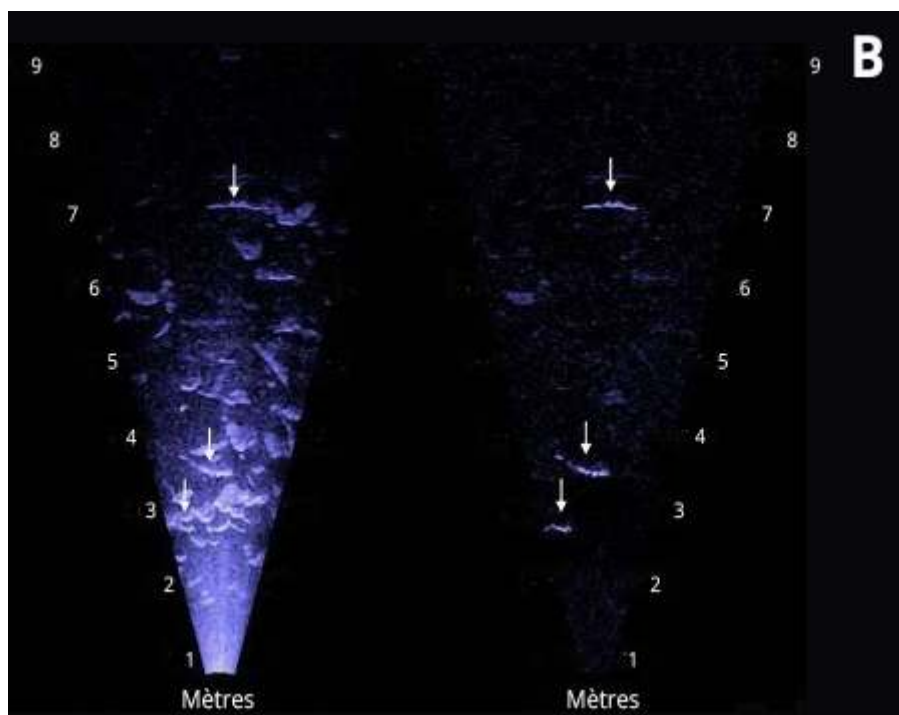
- 27 En milieux très peu profonds, comme indiqué plus haut, les possibilités des sondeurs sont limitées, même utilisés horizontalement : en effet, dès que le faisceau unique de détection (cône de faible ouverture, classiquement $\sim 7^\circ$ ou elliptique de $2^\circ \times 10^\circ$) rencontre la surface ou le fond de l'eau, les autres détections, plus faibles, sont masquées. Les caméras acoustiques, constituées d'un ensemble de faisceaux beaucoup plus fins dans les deux directions et qui fonctionnent comme des échographes médicaux, apportent dans ces milieux d'autres possibilités : si une partie des faisceaux rencontre le fond ou la surface, les autres faisceaux orientés différemment peuvent détecter les cibles biologiques, de plus bas niveaux. De plus, la résolution de l'image, assurée par l'emploi de très hautes fréquences et la vision du mouvement de nage des cibles, permettent dans certains cas de reconnaître les types de cibles. Ces caractéristiques en font un équipement bien adapté aux travaux sur cibles individuelles dans des milieux peu profonds, notamment les suivis de migrations de poissons (fig. 11, MARTIGNAC *et al.*, 2013).

Figure 11 A. Présentation schématique des faisceaux d'une caméra acoustique (DIDSON)



Source : MARTIGNAC *et al.* (2013)

Figure 11 B. Détection de trois poissons (indiqués par les flèches) nageant au-dessus d'un fond rocheux (gauche) et les mêmes poissons après suppression du fond statique par post-traitement (droite) (MAXWELL et GOVE, 2004)



Source : MARTIGNAC *et al.* (2013)

Conclusion

- 28 Dans ce chapitre, le champ des informations fournies par l'acoustique active a été décrit, ainsi qu'une partie des applications pour lesquelles cette approche est indispensable. L'évaluation des stocks des ressources exploitées a été l'une des premières préoccupations de ses utilisateurs, mais les finalités se sont largement étendues depuis la fin des années 1990 avec les progrès technologiques des équipements. Ainsi l'acoustique est devenue un outil incontournable de l'approche écosystémique : elle fournit des informations quantitatives et qualitatives sur les divers composants biotiques d'un écosystème, plancton et necton, et, parfois, sur ses structures physiques. Il s'agit d'une approche privilégiée pour les études en milieux protégés, étant non destructive et non intrusive. La diversité des équipements disponibles permet de les utiliser dans des milieux turbides, encombrés, etc., ou au contraire dans des milieux hauturiers où elle est l'unique méthode donnant une coupe de la colonne d'eau depuis la surface jusqu'au fond. Les connaissances écologiques spatialisées obtenues avec une haute résolution sont précieuses pour répondre à des questions de planification en milieu liquide.
-

BIBLIOGRAPHIE

- ANNASAWMY P., TERNON J.-F., COTEL P., CHEREL Y., ROMANOV E., ROUDAUT G., LEBOURGES-DHAUSSY A., MÉNARD F., MARSAC F., 2019
Micronekton distributions and assemblages at two shallow seamounts of the south-western Indian Ocean: insights from acoustics and mesopelagic trawl data. *Progress in Oceanography*, 178 : 102161.
- ANNASAWMY P., TERNON J.-F., LEBOURGES-DHAUSSY A., ROUDAUT G., COTEL P., HERBETTE S., MÉNARD F., MARSAC F., 2020
Micronekton distribution as influenced by mesoscale eddies, Madagascar shelf and shallow seamounts in the south-western Indian Ocean: an acoustic approach. *Deep-Sea Research II*, 176 : 104812.
- ANSONG J., GISSI E., CALADO H., 2017
An approach to ecosystem-based management in maritime spatial planning process. *Ocean & coastal management*, 141 : 65-81.
- BALLÓN M., BERTRAND A., LEBOURGES-DHAUSSY A., GUTIÉRREZ M., AYÓN P., GRADOS D., GERLOTTO F., 2011
Is there enough zooplankton to feed forage fish populations off Peru? An acoustic (positive) answer. *Progress in Oceanography*, 91 (4) : 360-381.
- BÉHAGLE N., GUILLARD J., ECOUTIN J.-M., LAË R., SOW I., TITO-DE-MORAIS L., LEBOURGES-DHAUSSY A., 2018
Acoustic survey of an estuarine marine protected area and of its close vicinity: analysis and monitoring prospective. *Journal of Aquaculture and Fisheries*, 2 (2) : 011.

BENOIT-BIRD K., LAWSON G., 2016

Ecological insights from pelagic habitats acquired using active acoustic techniques. *Annual Review of Marine Science*, 8 : 463-490.

BERTRAND A., GERLOTTO F., BERTRAND S., GUTIÉRREZ M., ALZA L., CHIPOLLINI A., DÍAZ E., ESPINOZA P., LEDESMA J., QUESQUÉN R., PERALTILLA S., CHAVEZ F., 2008

Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: an analysis across multiple spatial scales. *Progress in Oceanography*, 79 : 264-277.

BERTRAND A., BALLON M., CHAIGNEAU A., 2010

Acoustic observation of living organisms reveals the upper limit of the oxygen minimum zone. *PLoS ONE*, 5 (4) : e10330.

ECOUTIN J.-M. (éd.), 2013

L'aire marine protégée communautaire de Bamboung (Sine-Saloum) : synthèse 2003-2011. Dakar, IRD, 157 p. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010060105>

FERNANDES P. G., 2009

Classification trees for species identification of fish-school echotracers. *ICES Journal of Marine Science*, 66 : 1073-1080.

JUHEL P., 2005

Histoire de l'acoustique sous-marine. Paris, Vuibert, coll. Inflexions.

JOHNSTON D.W., MCDONALD M., POLOVINA J., DOMOKOS R., WIGGINS S., HILDEBRAND J., 2008

Temporal patterns in the acoustic signals of beaked whales at Cross Seamount. *Biology Letters*, 4 : 208-211.

KORNELIUSSEN R. J. (ED.), 2018

Acoustic target classification. *ICES Cooperative Research Report*. 344. 104 p.

KORNELIUSSEN R. J., HEGGELUND Y., MACAULAY G. J., PATEL D., JOHNSEN E., ELIASSEN I. K., 2016

Acoustic identification of marine species using a feature library. *Methods in Oceanography*, 17 : 187-205.

KRUMME U., 2004

Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove channel as revealed by a split-beam echosounder. *Fisheries Research*, 70 : 1-15.

KRUMME U., SAINT-PAUL U., 2003

Observations of fish migration in a macrotidal mangrove channel in Northern Brazil using a 200 kHz split-beam sonar. *Aquatic Living Resources*, 16 : 175-184.

LAVERY A. C., WIEBE P. H., STANTON T. K., LAWSON G. L., BENFIELD M. C., COPLEY N., 2007

Determining dominant scatterers of sound in mixed zooplankton populations. *J. Acoust. Soc. Am.*, 122 (6) : 3304-3326.

LE PAPE O., DELAVENNE J., VAZ S., 2014

Quantitative mapping of fish habitat: a useful tool to design spatialized management measures and marine protected area with fishery objectives. *Ocean & Coastal Management*, 87 : 8-19.

LILJA J., ORELL P., 2011

Use of Didson to estimate spawning run of Atlantic salmon in the River Karasjohka, the tributary of the River Tana. *Finnish Game and Fisheries Research Institute*, 25 p.

MARSAC F., GALLETTI F., TERNON J.-F., ROMANOV E. V., DEMARCQ H., CORBARI L., BOUCHET P., ROEST W., JORRY S., OLU K., LONCKE L., ROBERTS M. J., MÉNARD F., 2019

Seamounts, plateaus and governance issues in the southwestern Indian Ocean, with emphasis on fisheries management and marine conservation, using the Walters Shoal as a case study for implementing a protection framework. *Deep-Sea Research II-Topical Studies in Oceanography*, 176 : 104715.

MARTIGNAC F., DAROUX A., BAGLINIERE J.-L., OMBREDANE D., GUILLARD J., 2013

The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of Didson technology. *Fish and fisheries*, 16 (3) : 486-510.

MAXWELL S. L., GOVE N. E., 2004

The feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar (Didson). Regional Information Report1, N° 2A04-05, Alaska Department of Fish and Game Division of Commercial Fisheries. 88 p.

MCLENNAN D.N., FERNANDES P.G., DALEN J., 2002

A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science*, 59 (2) : 365-369.

MORENO G., JOSSE E., BREHMER P., NØTTESTAD L., 2007

Echotrace classification and spatial distribution of pelagic fish aggregations around drifting fish aggregating devices (DFAD). *Aquatic Living Resources*, 20 : 343-356.

RECEVEUR A., MENKES C., ALLAIN V., LEBOURGES-DHAUSSY A., NERINI D., MANGEAS M., MÉNARD F., 2020

Seasonal and spatial variability in the vertical distribution of pelagic forage fauna in the Southwest Pacific. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography*, 175 : 104655.

RECEVEUR A., ALLAIN V., MÉNARD F., LEBOURGES-DHAUSSY A., LARAN S., RAVACHE A., BOURGEOIS K., VIDAL E., HARE S., WEIMERSKIRCH H., BORSA P., MENKES C., 2021

Modelling marine predator habitat using the abundance of its pelagic prey in the tropical south-western Pacific. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00685-x>

SALVETAT J., LEBOURGES-DHAUSSY A., TRAVASSOS P., GASTAUER S., ROUDAUT G., VARGAS G., BERTRAND A., 2019

In situ target strength measurement of the black triggerfish *Melichthys niger* and the ocean triggerfish *Canthidermis sufflamen*. *Marine and Freshwater Research*, 71 (9) : 1118-1127.

SALVETAT J., BEZ N., HABASQUE J., LEBOURGES-DHAUSSY A., LOPES C., ROUDAUT G., SIMIER M., TRAVASSOS P., VARGAS G., BERTRAND A., 2022

Comprehensive spatial distribution of tropical fish assemblages from multifrequency acoustics and video fulfils the island mass effect framework. *Scientific Reports*, 12 : 8787. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12409-9>

SARRÉ A., KRAKSTAD J.-O., BREHMER P., Mbye E. M., 2018

Spatial distribution of main clupeid species in relation to acoustic assessment surveys in the continental shelves of Senegal and The Gambia. *Aquatic Living Resources*, 31 (9).

SIMMONDS J., MACLENNAN D., 2005

Fisheries acoustics. Theory and practice. Second edition. New Jersey, Wiley-Blackwell, 456 p.

STANTON T. K., CHU D., JECH J. M., IRISH J. D., 2010

New broadband methods for resonance classification and high-resolution imagery of fish with swim bladders using a modified commercial broadband echosounder. *ICES Journal of Marine Science*, 67 : 365-378.

SUND O., 1935

Echo sounding in fishery research. *Nature*, 135 (3423) : 953.

TRENKEL V. M., RESSLER P. H., JECH M., GIANNOULAKI M., TAYLOR C., 2011

Underwater acoustics for ecosystem-based management: state of the science and proposals for ecosystem indicators. *Marine Ecology Progress Series*, 442 : 285-301.

AUTEUR

ANNE LEBOURGES-DHAUSSY

Écologue marin, acousticienne, Lemar, IRD, France.

Sous la direction de
Marie Bonnin
Sophie Lanco Bertrand

Planification spatiale marine en Atlantique tropical

D'une tour de Babel
à l'organisation d'une intelligence collective




Éditions