

L'imagerie acoustique dans l'océan

MICHAEL BUCKINGHAM • JOHN POTTER • CHAD EPIFANIO

En enregistrant les réflexions et les diffusions des bruits de la mer sur les objets immergés, on forme des images en couleurs de ces objets sans recourir à des sonars.

Le cinéma nous a souvent fait entendre le bruit caractéristique des sonars : les échos indiquent au sous-marinier la position des cibles. Naguère, le bruit de fond de l'océan était considéré comme une nuisance, car il masquait les signaux intéressants : les vagues qui déferlent, les bateaux qui passent, la pluie qui tombe et les diverses espèces marines, telle la crevette, qui produisent des bruits caractéristiques, contribuent à la cacophonie de ce que l'on a mal nommé «le monde du silence». Aussi les ingénieurs ont-ils longtemps cherché à éliminer le bruit de fond pour obtenir les signaux.

Aujourd'hui, on cherche à utiliser le bruit de fond plutôt qu'à le supprimer, car les objets plongés dans l'océan modifient ce champ sonore ambiant en fonction de leur forme, de leur composition et de leur position. Le son ambiant dans l'océan est analogue à la lumière du jour dans l'atmosphère : à l'extérieur, nous voyons les objets parce qu'ils diffusent et réfléchissent la lumière du jour. De même, les sons qui emplissent l'océan jouent le rôle de «lumière du jour acoustique», et nous pouvons réaliser des images d'objets sous-marins en utilisant le bruit ambiant comme source d'«éclairage». Nos premiers résultats montrent que la nouvelle imagerie acoustique devrait être utile dans de nombreuses circonstances, de la sécurité des ports à la détection des mines sous-marines.

À ce jour, les images obtenues sont assez grossières, et leur résolution est bien inférieure à celle des images

optiques. Notre vue est précise, parce que la pupille dilatée est 10 000 fois plus grande que la longueur d'onde de la lumière visible, ce qui permet à l'œil de recevoir un grand nombre de longueurs d'onde. L'obtention d'une résolution acoustique analogue nécessiterait un récepteur de 600 mètres de diamètre ! Cependant, comme l'eau absorbe presque tout le rayonnement électromagnétique (notamment la lumière), le son est le moyen privilégié (et souvent le seul) d'obtenir des informations sur ce qui se passe dans les profondeurs océaniques.

Les Anciens se préoccupaient déjà du son dans l'eau, Aristote et Pline le Jeune se demandaient si les poissons entendaient. Dans la Chine antique, les pêcheurs localisaient les bancs de poissons en plongeant une tige de bambou dans l'eau : ils écoutaient le bruit de la mer à l'extrémité placée dans l'air. Plus tard, Léonard de Vinci développa cette idée : il écrivit dans ses études sur les propriétés de l'eau que, «si l'on se place sur son bateau immobile, et si l'on place le bout d'un long tube dans l'eau et l'autre extrémité sur son oreille, on entendra les bateaux éloignés».

Néanmoins, c'est seulement durant la Première Guerre mondiale que les inventeurs fabriquèrent les premiers systèmes de localisation sous-marine pour faire face à la menace des sous-marins. Ces appareils rudimentaires sont à la base de tous les sonars suivants, dont la mise au point s'est accélérée au cours de la Seconde Guerre mondiale. Le principe de fonctionnement des sonars les plus perfectionnés

reste identique à celui de leurs ancêtres : ils transmettent activement les sons dont ils reçoivent l'écho produit par la cible, ou bien ils reçoivent passivement les sons produits par un émetteur.

L'important rôle historique des techniques active et passive explique pourquoi on n'a cherché que récemment une manière nouvelle de «voir» dans l'océan. En comprenant, au milieu des années 1980, que la vision n'est ni active, ni passive (dans le sens de regarder des sources de lumière directe), l'un d'entre nous (M. Buckingham) posa les bases d'une visualisation acoustique sous-marine analogue à celle de l'œil. Cette nouvelle technique pallierait les principaux inconvénients des techniques classiques de détection sous-marine : l'écholocalisation révèle la présence de l'opérateur, tandis que la détection passive, indécélable, ne repère pas les cibles silencieuses.

La première expérience

En 1991, nous avons effectué les premières expériences d'imagerie acoustique dans l'océan Pacifique, au large de la Californie. Le dispositif principal était un récepteur acoustique, formé d'un réflecteur parabolique de 1,2 mètre de diamètre et d'un hydrophone (un microphone sous-marin) en son foyer.

Le réflecteur servait de lentille acoustique. L'expérience devait indiquer si un objet placé dans le «faisceau» (ou champ d'écoute) du récepteur modifiait le bruit perçu. Un panneau

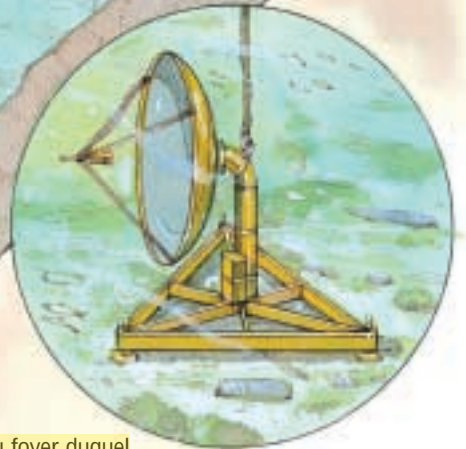
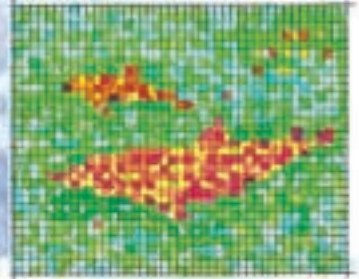
Le principe de l'imagerie acoustique

1 Les vagues déferlantes, les bateaux qui passent et la pluie qui tombe emplissent l'océan de bruits ambiants.

2 Tous les objets sous-marins modifient le bruit de fond de manière caractéristique.

3 Un réflecteur au foyer duquel se trouve un réseau d'hydrophones sert de lentille acoustique et capte les signaux du champ sonore modifié. Il transmet ensuite l'information à un ordinateur.

4 Après traitement d'image, le système de visualisation crée des images animées en fausses couleurs.



rectangulaire en contre-plaqué, d'un demi-mètre carré de surface et recouvert de néoprène (un bon réflecteur et diffuseur du son) servait de cible. Nous avons trouvé que, pour les fréquences comprises entre 5 et 50 kilohertz (la gamme de fréquences produites par les vagues qui se brisent et qui sont la source principale du bruit ambiant de l'océan), l'intensité du bruit doublait lorsque la cible était placée dans le champ d'écoute du récepteur. Ce résultat persistait lorsque la distance entre la cible et le récepteur était portée de 7 à 12 mètres. De surcroît, la cible réfléchissait certaines fré-

quences et en absorbait d'autres : elle avait une «couleur» acoustique que l'on pouvait traduire en couleur optique, de manière à créer des images acoustiques en fausses couleurs.

Après ce premier succès, nous avons perfectionné le dispositif. Le réflecteur parabolique muni d'un hydrophone en son foyer ne «regarde» que dans une direction, ce qui correspond à un seul pixel d'une image. Pour former une image plus complète, nous devons obtenir plus de pixels, en utilisant plus de «faisceaux» récepteurs (un peu comme l'œil composé de la mouche). L'intensité du son reçu par chaque récepteur

pourrait alors être transformée en un niveau de luminosité d'un pixel sur un moniteur vidéo. Comme pour les photographies dans les journaux, le contraste entre les pixels permettrait à l'œil d'interpréter le résultat comme une image à grains plus ou moins fins.

Nous avons d'abord tenté de créer des images composées d'une centaine de pixels. Au milieu de l'année 1992, nous avons commencé à concevoir une nouvelle lentille acoustique que nous avons nommée ADONIS (l'acronyme d'*acoustic-daylight, ambient noise imaging system*, soit «système d'imagerie à bruit ambiant, en lumière acoustique naturelle»). Avec la Société EDO, qui a fabriqué un réseau elliptique de 128 hydrophones pour ADONIS, nous avons construit un réflecteur sphérique de trois mètres de diamètre au foyer duquel nous avons placé les hydrophones. Ce système avait un champ total d'environ six degrés (horizontalement) sur cinq degrés (verticalement), ce qui représente un dixième de la vision angulaire d'un appareil photographique.

En août 1994, nous avons immergé ADONIS pour la première fois, au large de la Californie, à partir d'une plateforme de recherche de l'Institut Scripps. Des panneaux carrés de un mètre de côté, en tôles d'aluminium recouvertes de néoprène, constituaient les cibles. Les panneaux étaient montés en différentes configurations sur des châssis carrés placés au fond de la mer. L'ensemble de l'électronique, logé dans un caisson métallique étanche, était placé le long du mât qui supportait le réflecteur. Cet appareillage électronique devait transformer les données récoltées par ADONIS en signaux numériques. À partir de ces données, transmises vers la surface, un micro-ordinateur placé en surface affichait des images en fausses couleurs sur son écran.

Voir ou ne pas voir

Après les inévitables aléas des mises au point, nous avons utilisé ADONIS pour observer l'alignement de trois panneaux, qui formaient ainsi une cible horizontale, de un mètre de haut sur trois mètres de large, à une distance de 18 mètres d'ADONIS. Sur l'écran, nous vîmes apparaître une forme rectangulaire floue qui remplissait presque entièrement l'image elliptique (voir la figure 1). Nous contemplions la première image acoustique utilisant le bruit de fond.

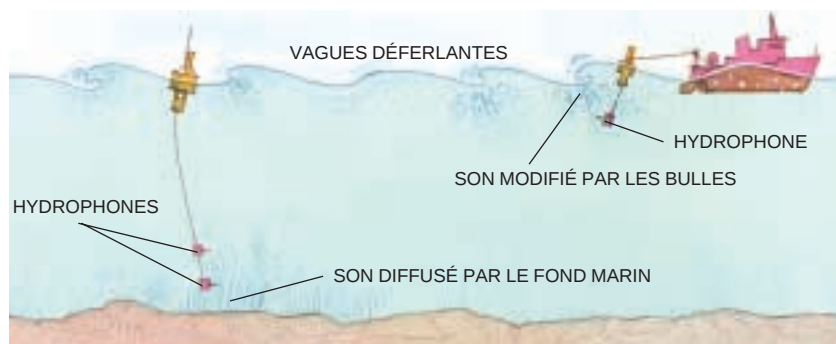
De nouvelles utilisations du bruit de fond

L'imagerie acoustique en son naturel n'est que l'une des techniques d'observation à distance fondées sur le bruit de fond dans les mers. Les océanographes ont récemment mis au point d'autres techniques semblables. Certains, par exemple, utilisent le bruit ambiant pour déterminer les propriétés acoustiques du fond de la mer et, dans une certaine mesure, sa composition. Dans les eaux peu profondes (moins de 200 mètres) des plateaux continentaux, le bruit est réfléchi par le fond de la mer. La façon dont le son est réfléchi indique la vitesse à laquelle les ondes se propagent dans le sol. On détermine ainsi la composition du fond, car le bruit se propage à des vitesses différentes dans les roches et dans le sable.

Pour réaliser ces mesures, on déploie une flotte de bouées auxquelles sont suspendus des hydrophones, ce qui permet de cartographier le fond de la mer au moyen du bruit ambiant. On cherche aujourd'hui si cette technique évite l'emploi de sonars, que l'on doit promener à la surface de la zone étudiée, afin d'enregistrer des échos.

Le bruit de fond révèle également des mécanismes qui se produisent en surface. Notamment, il indique la quantité de gaz atmosphérique que les océans absorbent. Les climatologues qui se préoccupent du réchauffement ont besoin de connaître la quantité de gaz échangée entre l'atmosphère et les océans. Le bruit ambiant peut les aider, car le déferlement des vagues, qui est le principal responsable du bruit ambiant, est également la principale cause des transferts gazeux de l'atmosphère dans l'océan. En amenant l'air dans l'eau, ce mécanisme crée une couche de bulles juste sous la surface. Ces bulles modifient le son des vagues déferlantes d'une manière caractéristique, dont la signature acoustique est détectée par l'hydrophone placé sous les bulles.

À partir d'une simple mesure acoustique, on prévoit la quantité d'air dans la couche de bulles et la profondeur à laquelle les bulles s'étendent. Ces deux quantités sont liées à la quantité de gaz qui pénètre dans l'océan. Des essais préliminaires montrent la faisabilité d'un tel système.



LE BRUIT DE FOND permet aussi bien de mesurer les propriétés acoustiques du fond de l'océan (à gauche) que la quantité de gaz absorbée par la mer (à droite).