

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.

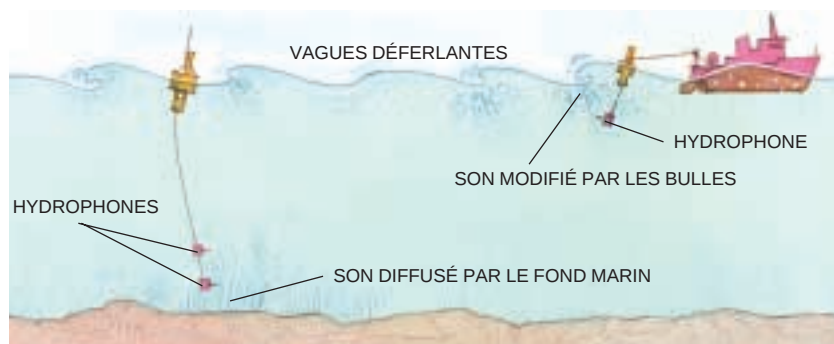
## De nouvelles utilisations du bruit de fond

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).

Les plongeurs avaient placé une source sonore au centre de la cible pour nous aider à aligner ADONIS avec les panneaux, mais c'était inutile : nous pouvions repérer la cible uniquement grâce au bruit ambiant. Nous avons alors reculé la cible à 38 mètres d'ADONIS, c'est-à-dire aussi loin que nous le pouvions sans gêner le trafic portuaire. Nous craignions que les performances ne diminuent avec la distance, mais si la taille de la cible sur l'écran se réduisit, l'océan aux alentours formait un bel arrière-plan, qui faisait ressortir la cible rectangulaire de manière spectaculaire.

ADONIS pouvait-il détecter des objets mobiles? Un moteur hydraulique monté à l'intérieur du mât de support pouvait faire tourner le réflecteur sur lui-même, d'un tour en 12 minutes. Alors que le réflecteur sphérique tournait lentement, nous avons vu la cible apparaître sur un côté de l'écran, glisser vers le centre et disparaître de l'autre côté. C'était la preuve que nous pouvions créer des images animées.

Que se passerait-il enfin si l'on changeait la forme de la cible? Les plongeurs ont remplacé la cible en forme de barre par quatre panneaux, qui formaient une croix avec un trou carré de un mètre de côté au centre. Verrions-nous le trou à une distance de 38 mètres?

Les premières images brutes de la cible cruciforme étaient confuses. Nous voyions la forme de la croix, mais l'apparence du trou central fluctuait. Depuis lors, nous avons réexaminé les données et effectué quelques traitements informatiques. Il apparaît que le spectre de puissance du bruit – l'intensité du son aux différentes fréquences – peut servir de fonction discriminatoire. Or, nous l'avons vu, les fréquences correspondent aux couleurs. Ainsi nous identifions aisément les quatre coins vides et le trou de la cible cruciforme : les panneaux de la cible apparaissent d'une «couleur» différente de celle des régions vides, y compris le trou central. C'était comme si les panneaux étaient «rouges» et le trou «bleu». Aujourd'hui, nous explorons cette technique comme moyen de renforcement des images acoustiques.

## Voir le monde marin

Ayant ainsi testé notre technique à l'aide de cibles fixes, nous avons augmenté la difficulté et cherché à suivre le déplacement d'orques dans le bassin extérieur du Parc marin de San

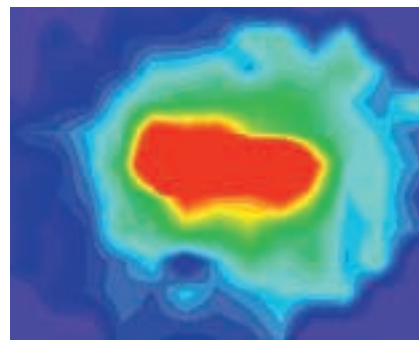
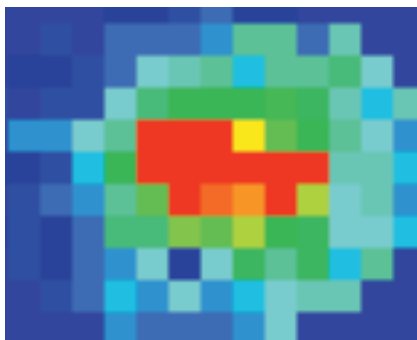
Diego. Simultanément, les biologistes du parc étudiaient leur réaction à la présence de cibles dans «leur» bassin ; les orques, semble-t-il, considèrent que tout objet placé dans le bassin leur appartient.

En février 1995, nous installions notre système dans le bassin, pendant que les orques y nageaient librement, nous portant autant d'attention que nous leur en portions. Prudents au début, ils se sont vite habitués au grand réflecteur sphérique. Les orques étaient curieuses de constater que, lorsqu'ils produisaient un cliquettement en face du réflecteur sphérique, le son leur était renvoyé plus intense en raison de son effet focalisant. Un jeune mâle, Splash, a poussé l'aventure plus loin, en prenant l'un des câbles d'électronique pleins de graisse dans sa bouche, pour le mâcher. Un autre animal a nagé rapidement vers le réflecteur sphérique

et a sauté par-dessus. Il fallait réagir : les entraîneurs ont transféré les orques dans un autre bassin, où ils pouvaient s'amuser avec leurs propres jouets en attendant que nous soyons prêts.

Après un faux départ (secoués durant le transport, tous les circuits électroniques du boîtier sous-marin étaient déconnectés), nous avons à nouveau mis l'appareil en marche, et les données ont commencé à affluer. Initialement, nous n'étions pas certains du résultat, car le bruit de fond dans le bassin pouvait être différent de celui de l'océan. Toutefois, nous avons observé que les pompes et autres machineries produisent un niveau sonore ambiant élevé, comparable à celui de l'océan.

Alors que nous regardions les données brutes (c'est-à-dire sans renforcement de l'image), une forme vague s'afficha subitement sur l'écran : pen-



**1. UNE CIBLE RECTANGULAIRE** (à gauche) était vue par ADONIS comme une forme vaguement allongée et artificiellement colorée en rouge (en haut, à gauche). Chaque «pixel» représente le signal d'un hydrophone. Un traitement de l'image a amélioré celle-ci (à droite).



**2. LES ORQUES** du Parc marin de San Diego ont été détectés par ADONIS, le premier système d'imagerie acoustique utilisant le bruit de fond. Le réflecteur, avant son immersion, apparaît à droite de la photographie.