

objets tels que des navires en mer, mais ils sont moins efficaces pour les cibles plus petites. Et de fait, si les premiers radars pouvaient repérer un groupe d'avions en approche, ils peinaient à déterminer leur nombre. En revanche, avec leur sonar à courte longueur d'onde, les chauves-souris détectent des insectes aussi petits que les moustiques, coléoptères et papillons de nuit qui constituent leur alimentation. Jim Simmons, de l'Université Brown, aux États-Unis, a montré qu'elles atteignent une résolution de l'ordre du micromètre, ce qui leur permettrait de percevoir jusqu'à la texture de surface de leurs cibles.

Un radar ou un sonar produit un faisceau assez comparable à celui d'une lampe de poche. Les faisceaux étroits permettent de concentrer la puissance du signal dans une direction donnée et ainsi de détecter des cibles plus lointaines. Ils améliorent également la précision avec laquelle on détermine la direction de la cible. Les ingénieurs contrôlent la forme d'un faisceau radar en faisant varier la distance entre les éléments émetteurs de l'antenne et la longueur de celle-ci. Les animaux aussi peuvent contrôler la forme du faisceau. En 2009, Rolf Müller, de l'Université Virginia Tech, aux États-Unis, et ses collègues ont montré que les étonnantes « feuilles » nasales du rhinolophe de Bourret (une espèce de chauve-souris) lui permettent de produire un faisceau sonar très focalisé, qui optimise ses capacités de détection (voir la figure 3).

Il peut aussi être utile de contrôler dynamiquement la forme du faisceau. Certaines lampes de poche, par exemple, ont un faisceau lumineux dont la forme est modifiable. Des faisceaux étroits sont efficaces pour repérer avec précision des cibles éloignées, tandis que des faisceaux larges permettent de balayer une zone plus étendue (mais plus proche). Certains odontocètes, tels les bélugas et les fausses orques (voir la figure 3), sont capables de focaliser leur faisceau d'écholocalisation en ajustant la forme d'une « lentille acoustique » remplie d'huile, située dans leur front et nommée melon. En 2012, Lasse Jakobsen et ses collègues de l'Université du Danemark du Sud ont montré que certaines chauves-souris adaptent leur sonar au contexte. En ouvrant grand leur bouche et en augmentant la fréquence de leur cri, elles produisent un faisceau plus étroit, permettant de « voir » plus

loin ; en faisant l'inverse, elles émettent un faisceau plus large, qui sonde une zone plus étendue.

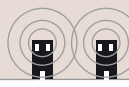
D'autres techniques sont utilisées à la fois par les ingénieurs et par leurs homologues animaux. Le balayage de fréquences, par exemple, peut augmenter de deux ordres de grandeur le pouvoir séparateur radial (qui quantifie la capacité à distinguer deux objets situés à des distances voisines). Certaines chauves-souris (parfois nommées chauves-souris FM, pour *frequency modulating*) font ainsi varier la fréquence de leurs cris. Elles chassent dans des environnements complexes, attrapant leurs proies entre des branches d'arbres ou au sommet de la végétation, voire à la surface de l'eau. D'autres chauves-souris produisent un signal de fréquence constante (elles sont qualifiées de chauves-souris CF, pour *constant frequency*). L'avantage est qu'elles peuvent alors mesurer la vitesse relative des proies grâce aux décalages Doppler (les variations de fréquence perçues quand l'émetteur du signal est en mouvement par rapport au récepteur) : de même que le sifflet d'un train paraît plus aigu quand il s'approche de vous, l'écho sur un papillon de nuit semble plus aigu à la chauve-souris quand l'insecte vole vers elle. Nous y reviendrons.

La distinction entre chauves-souris FM et CF semble aujourd'hui restrictive, car on a découvert que certaines espèces alternent les deux types d'émission. Elles utilisent des signaux à bande étroite pour la détection de proies à distance, puis passent au balayage de fréquences au moment de l'attaque, lorsque le pouvoir séparateur radial devient critique pour assurer la prise (voir la figure 4).

## L'influence du milieu

Outre la longueur d'onde et la focalisation du faisceau, les caractéristiques du milieu influent sur la distance de propagation. Les ondes électromagnétiques des radars sont peu atténuées dans l'air, tandis que le son s'y propage beaucoup moins bien et est davantage sujet aux caprices de l'environnement, tels le vent ou la pluie.

Sous l'eau, en revanche, le son est roi. Il se propage sur de grandes distances et l'énergie sonore n'est absorbée qu'à raison de un pour cent par kilomètre environ. Cela permet aux baleines de communi-

| Longueur d'onde = $\frac{\text{Vitesse de l'onde}}{\text{Fréquence}}$                           |                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                |                                                                             |
| Radar Chain Home                                                                                |                                                                             |
| 12 mètres =                                                                                     | $\frac{299\,792\,485 \text{ mètres/seconde}^*}{25\,000\,000 \text{ hertz}}$ |
|                |                                                                             |
| Chauve-souris                                                                                   |                                                                             |
| 0,0068 mètre =                                                                                  | $\frac{343,2 \text{ mètres/seconde}^{**}}{50\,000 \text{ hertz}}$           |
|              |                                                                             |
| Dauphin                                                                                         |                                                                             |
| 0,015 mètre =                                                                                   | $\frac{1\,500 \text{ mètres/seconde}^{***}}{100\,000 \text{ hertz}}$        |
| * Vitesse de la lumière<br>** Vitesse du son dans l'air<br>*** Vitesse du son dans l'eau de mer |                                                                             |

**2. LES ONDES DES PREMIERS RADARS,** ceux du réseau *Chain Home*, en Angleterre, avaient une longueur d'onde de 12 mètres. Ces radars « voyaient » loin, mais étaient peu précis. En revanche, la chauve-souris, avec ses cris de faible longueur d'onde, perçoit à courte distance et de façon très détaillée. Le sonar des dauphins porte plus loin, car l'eau de mer conduit bien le son.

quer à travers l'immensité des océans. La communication à grande distance sous l'eau est facilitée par la présence de canaux naturels de transmission sonore, que suivent les ondes : à mesure que l'on descend, la vitesse du son est modifiée par les changements de température, de salinité et de pression (voir la figure 5), et on montre qu'en raison de ces gradients de vitesse, les ondes sonores se courbent et se focalisent à certaines profondeurs particulières. Dans l'océan, l'un de ces canaux est en surface : les ondes sonores se courbent vers la surface, sur laquelle elles rebondissent, se propageant de bonds en bonds sur de grandes distances. Plus en profondeur, un deuxième canal (nommé SOFAR, pour *SOund Fixing And Ranging*, ou Extension et stabilisation du son) piège les sons. Ces canaux limitent la dispersion du son et les sous-marins comme les mammifères marins les mettent à profit pour optimiser la puissance sonore diffusée (voir la figure 5).

Le rayonnement électromagnétique, quant à lui, est tellement atténué en milieu aquatique qu'il n'y est pas très utilisé : pour la plupart des longueurs d'onde,

## L'AUTEUR



**William CONNER** est professeur de biologie et titulaire de la chaire David et Lelia Farr d'innovation, de créativité et d'entrepreneuriat à l'Université de Wake Forest, en Caroline du Nord, aux États-Unis.

Article publié avec l'aimable autorisation de *American Scientist*.

l'eau absorbe 99,99 pour cent de l'énergie du rayonnement par mètre parcouru. Notons que dans l'étroite bande de 400 à 700 nanomètres, qui correspond à la lumière visible, le rayonnement est moins atténué ; les organismes aquatiques l'exploitent pour la communication visuelle.

Les radars et les sonars détectent respectivement les signaux grâce à des antennes et des hydrophones piézoélectriques. Comme de nombreux mammifères, les chauves-souris captent les sons par les oreilles. Celles-ci comprennent un tympan, qui vibre au rythme du son porté par l'air, et un organe rempli de liquide, nommé cochlée, qui traduit les vibrations mécaniques en influx nerveux. La vibration est transmise du tympan à la cochlée par de petits os (les osselets de la chaîne ossiculaire).

Les grands pavillons mobiles des oreilles agissent comme des déflecteurs paraboliques, qui acheminent le son vers le conduit auditif. Chez de nombreuses espèces de chauves-souris, leur taille est liée à la plage de fréquences des signaux sonar produits : les oreilles sont d'autant plus petites que les fréquences sont élevées. Les plus grandes sont l'apanage des chauves-souris dites

## COMMENT LES CHAUVES-SOURIS DÉTECTENT LEUR PROIE

La chauve-souris commence par chercher sa proie avec des faisceaux directionnels d'ondes acoustiques (en violet), similaires aux faisceaux électromagnétiques des radars, jusqu'à ce qu'elle accroche une cible (en vert). Elle diminue alors l'intensité de ses cris pour maintenir les échos à un niveau sonore constant pendant la poursuite (en jaune). La reconstitution tridimensionnelle ci-contre montre le faisceau acoustique d'une chauve-souris attaquant un papillon de nuit. Elle est fondée sur les positions des protagonistes et les intensités des cris enregistrées pendant une attaque réelle d'une chauve-souris du genre *Myotis*. La forme et la direction du faisceau ont été établies à partir des données scientifiques préexistantes, et son volume correspond à celui qui serait « éclairé » par des intensités sonores d'au moins 90 décibels. Les graphiques bidimensionnels (ci-dessous) présentent la forme et l'intensité du faisceau d'écholocation (d'autant plus importante qu'il est grand), ainsi que sa direction par rapport à la cible.

