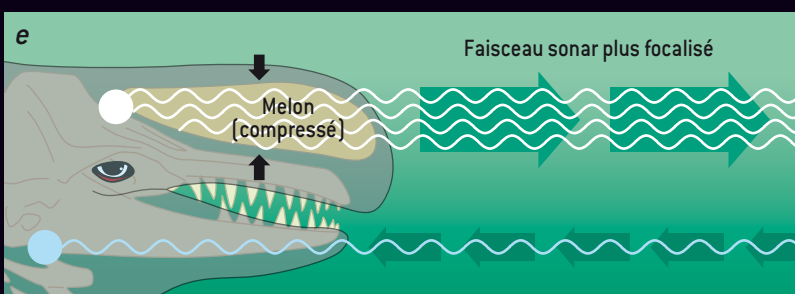
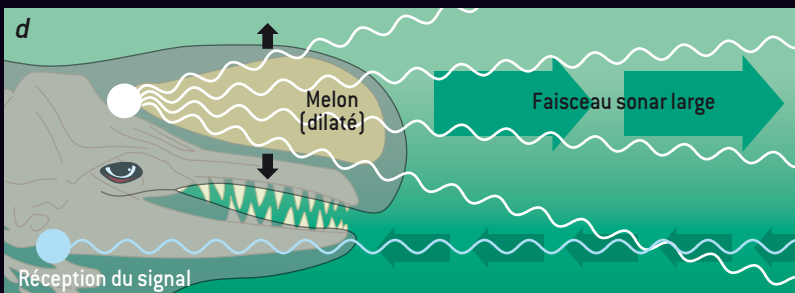




© Rolf Mueller, Virginia Tech



© Doug Perrine/Nature Picture Library/Corbis



**3. PLUS LE FAISCEAU SONAR EST FOCALISÉ**, plus il porte loin et est précis, mais moins la zone balayée est large. Les chauves-souris du genre *Rhinolophus* [a, b] émettent leurs signaux par le nez. Celui du rhinolophe de Bourret [b] a une structure permettant de bien focaliser le faisceau. La fausse orque *Pseudorca crassidens* [c] peut faire varier cette focalisation en modifiant la forme d'une lentille acoustique naturelle – une structure remplie de fluide située dans son front et nommée melon [d, e].

glaneuses, qui chassent souvent des proies au sol ou à la surface de l'eau (tandis que d'autres attrapent les papillons de nuit en vol), et utilisent l'écoute passive pour trouver leurs cibles. Elles peuvent entendre le battement des ailes d'un papillon ou les pas d'un mille-pattes qui marche dans le voisinage. Les pavillons auriculaires jouent aussi un rôle important dans la localisation de l'émission sonore. Chacun sert d'antenne acoustique directionnelle et les différences entre les signaux qu'ils reçoivent, notamment entre les intensités et les temps d'arrivée, permettent de localiser la source.

Comme celle des autres mammifères, la cochlée de la chauve-souris comporte une « membrane basilaire ». Il s'agit d'une structure rigide où sont fixées les cellules ciliées internes, qui transforment les vibrations en signaux électriques. Chaque partie de cette membrane vibre en réponse à une plage particulière de fréquences. Via le nerf auditif, les cellules ciliées transmettent alors l'information au cerveau, qui finit de traiter le signal.

## Déterminer la distance et la vitesse de la cible

La chauve-souris détermine l'éloignement de sa cible grâce à la mesure précise du moment d'arrivée de l'écho. Ce dernier est difficile à extraire du bruit de fond, dont l'intensité peut être mille fois plus puissante. Le cerveau de l'animal effectue un traitement qualifié de corrélation croisée, c'est-à-dire qu'il conserve une copie du signal perçu au moment de son cri et compare en continu ce qu'il entend à cette copie, jusqu'à ce qu'il obtienne une bonne correspondance. Cette méthode est encore plus efficace chez les chauves-souris qui modulent la fréquence de leur cri.

La cible localisée, une information importante manque encore : sa vitesse relative. Pour la déterminer, la chauve-souris évalue le décalage Doppler. Imaginez une chauve-souris qui vole au-dessus de la végétation. Tous les éléments du fond, tels le sol, les arbres et les buissons ont une vitesse relative égale à la vitesse de la chauve-souris. Imaginez maintenant un papillon de nuit solitaire qui vole vers le prédateur. Sa vitesse relative – et donc le décalage Doppler du son qu'il renvoie – est différente. En conséquence, son écho n'a pas la même fréquence que ceux renvoyés par le fond, dont il se démarque.

Certaines chauves-souris qui émettent un cri de fréquence constante atteignent une telle précision dans la mesure des décalages Doppler qu'elles peuvent détecter le mouvement des ailes d'un papillon, une information intéressante pour distinguer le type de proie. C'est ce qu'a montré l'équipe de Han-Ulrich Schnitzler, de l'Université de Tübingen, en Allemagne, sur le murin à moustaches (*Pteronotus parnellii*). Les chauves-souris mobilisent alors une part significative de leurs ressources cérébrales pour mesurer les décalages Doppler. Une portion importante de leur membrane basilaire est consacrée à l'étroite bande entourant la fréquence qu'elles émettent. Cette portion de la membrane est surnommée fovéa auditive, par analogie avec la fovéa de l'œil (la partie centrale de la rétine, qui contient une grande concentration de récepteurs lumineux). Grâce à elle, la résolution spectrale est maximale autour de la fréquence émise. Notons que le mouvement des ailes peut aussi être détecté à partir des variations d'amplitude de l'écho (voir la figure 6).

La détection sonar ou radar est notablement gênée par le nuage d'échos, c'est-à-dire la réception d'échos parasites, renvoyés par des objets non ciblés. Les échos indésirables sont par exemple produits par la pluie ou par diverses surfaces. Ainsi, le même problème se pose à un radar positionné à haute altitude qui tente de détecter un avion survolant un fond urbain en rase-motte et à une chauve-souris qui traque un papillon volant près d'un buisson : les bâtiments et les feuilles renvoient une multitude d'échos complexes et perturbants. Là encore, les chauves-souris exploitent les décalages Doppler. Certaines utilisent aussi un second stratagème : elles émettent des sons par paires, chaque cri ayant une fréquence différente, ce qui leur permet de trier plus efficacement les échos et de mieux les distinguer des parasites.

## Mesures et contre-mesures

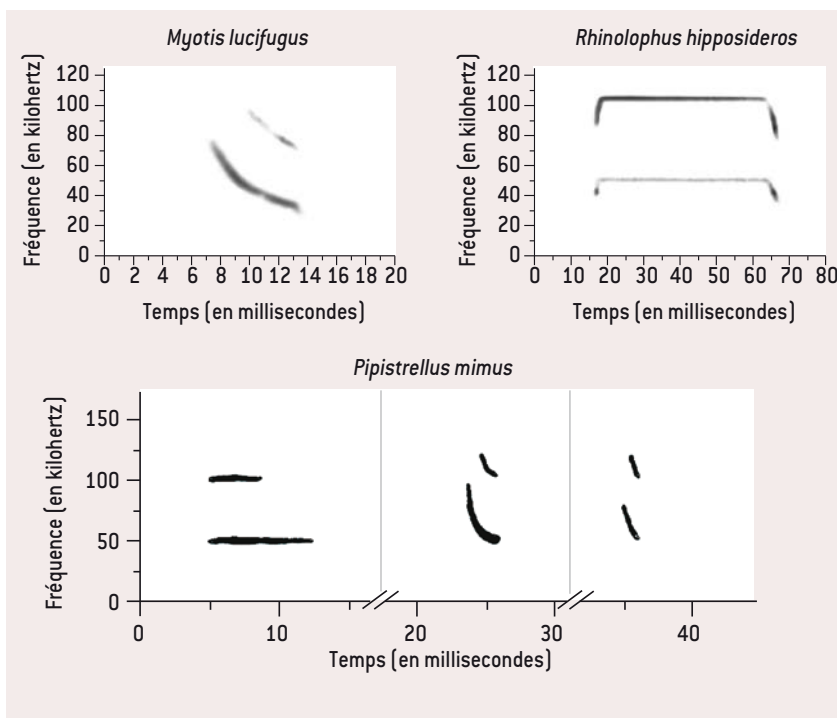
Malgré tout, certains insectes parviennent à se dissimuler dans le nuage d'échos. Les papillons de nuit *Hepialus humuli* se cachent aux chauves-souris en s'accouplant juste au-dessus de la végétation (à moins de 50 centimètres d'elle), de sorte que leur écho se fond dans ceux des feuilles et des tiges avoisinantes. De nombreux

**Les écailles qui recouvrent les ailes des papillons de nuit absorbent les cris des chauves-souris, diminuant ainsi l'amplitude des échos renvoyés et compliquant la détection.**

autres insectes utilisent probablement cette stratégie de camouflage.

Chez l'homme, chaque progrès des systèmes de radar et de sonar donne lieu à des efforts pour mettre au point une contre-mesure. Les ingénieurs ont ainsi conçu des avions dits furtifs, en réduisant notablement leur « surface équivalente radar » (ou RCS, pour *radar cross section*) : ce paramètre, exprimé en mètres carrés, quantifie la propension d'un objet à renvoyer le rayonnement électromagnétique vers le radar, et mesure donc sa détectabilité. Selon certaines rumeurs, les bombardiers furtifs B-2 auraient une RCS de la taille d'un timbre postal. Elle aurait été obtenue en cachant les réacteurs et les gouvernes à l'intérieur des ailes, en accentuant les angles des composants qui dévient les ondes radar hors du champ des récepteurs et en utilisant des matériaux composites et des peintures qui absorbent les ondes incidentes ou atténuent leur réflexion.

Les insectes sont aussi lancés dans une course à la furtivité. Certains, appréciés des chauves-souris, atténuent l'écho qu'ils produisent. En 2011, Jinyao Zeng et ses collègues de l'Université normale de la Chine de l'Est, à Shanghai, ont suggéré



**4. LA FRÉQUENCE DU CRI** varie chez certaines chauves-souris, dites à modulation de fréquence (*spectrogramme en haut à gauche*), tandis qu'elle reste constante chez d'autres espèces (*en haut à droite*). Une fréquence constante permet de mieux déterminer la vitesse de la proie, mais un balayage de fréquences améliore la résolution. Certaines chauves-souris sont capables de passer d'un mode à l'autre selon les besoins (*en bas*).

© Paul Faure/Journal of Experimental Biology - image du bas : © G. Neuweiler, 1983/Springer Verlag