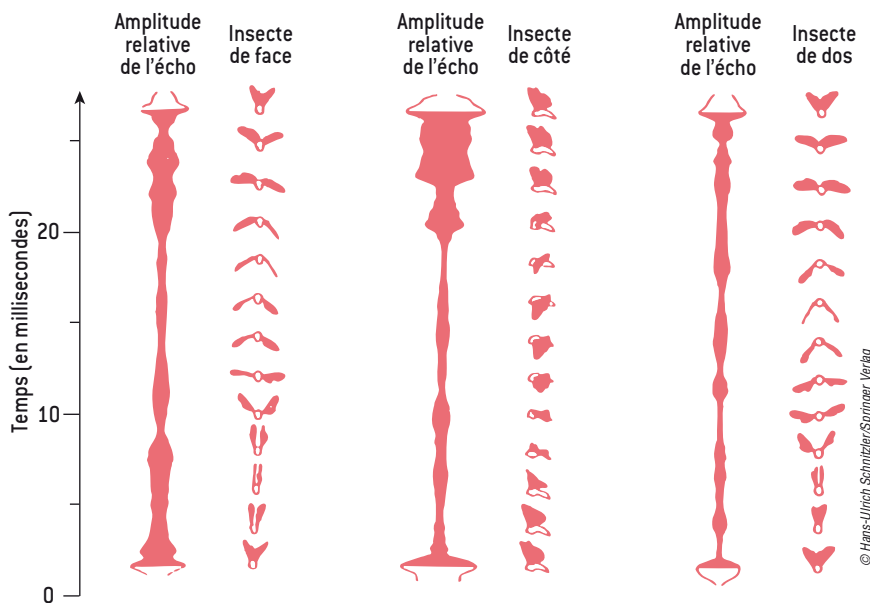


5. LA VITESSE DU SON DANS L'Océan varie en fonction de la profondeur. Par conséquent, les ondes acoustiques sont focalisées dans des canaux naturels. Celles émises par un sous-marin se courbent vers la surface et se propagent sur de longues distances via une succession de rebonds [à gauche]. Cependant, pour les

ondes qui plongent en dessous d'un rayon limite, la courbure s'inverse à partir d'une certaine profondeur, ce qui crée une zone d'ombre où aucun signal ne pénètre. Un mammifère marin nageant à plus grande profondeur peut envoyer ses cris dans un autre canal, nommé SOFAR, dont la profondeur varie avec la latitude [à droite].



6. L'AMPLITUDE DE L'ÉCHO RENVOYÉ PAR UN INSECTE varie suffisamment au cours de son battement d'ailes pour que certaines chauves-souris détectent ces changements, ce qui leur permet de déterminer le type de proie. L'écho capté dépend aussi de l'orientation de l'insecte par rapport au prédateur ou au dispositif d'enregistrement.

que les écailles recouvrant les ailes des papillons de nuit absorbent les cris des chauves-souris, diminuant ainsi l'amplitude des échos renvoyés et compliquant la détection. Ces écailles font plus que doubler le coefficient d'absorption des ailes pour les fréquences comprises entre 40 et 60 kilohertz, ce qui se traduit par une baisse d'intensité de l'écho allant jusqu'à deux décibels. Les mécanismes d'absorption du son restent à préciser, mais ils pourraient être voisins de ceux des matériaux antibruit fabriqués par l'homme : les écailles sont souvent séparées par des espaces et recouvertes de micropores et de lacunes (des espaces oblongs) ressemblant à ceux des matériaux artificiels. Les éthologistes commencent juste à mettre en évidence ces cas de furtivité

naturelle, où les proies se dissimulent à l'écholocation des prédateurs, et de nombreux autres exemples restent probablement à découvrir.

Outre la furtivité, une autre façon d'échapper aux sonars et aux radars consiste à interférer avec la réception ou le traitement des échos, autrement dit à utiliser des techniques de brouillage. Aux débuts de ces dispositifs de détection, deux organisations en particulier se sont illustrées dans cette guerre électronique : les *Skunk Works*, de l'entreprise *Lockheed Martin*, et une organisation internationale à but non lucratif nommée *Association of old crows* (en référence aux équipes radar alliées de la Seconde Guerre mondiale, qui portaient le nom de code *Raven*, *crow* et *raven* signifiant tous deux « corbeau » en anglais). Ces

deux groupes ont développé des contre-mesures électroniques et des « contre-contre-mesures » pour des applications militaires.

Les méthodes de brouillage peuvent être soit passives soit actives. Les méthodes passives incluent les leurres, des matériaux (tels de fines bandes d'aluminium ou des fibres de verre métallisées) largués par un appareil afin de masquer sa position précise et ses mouvements aux radars ennemis. Les méthodes actives consistent à envoyer des signaux électroniques pour aveugler ou tromper le radar. Ainsi, les brouilleurs dits à bruit submergent le récepteur radar de bruit électronique, ce qui complique la détection de l'écho relativement faible de la cible. Les brouilleurs-répéteurs fournissent une copie de l'écho réel, mais dans un délai fictif, ce qui conduit le récepteur à détecter un objet fantôme allant dans la mauvaise direction. Le brouillage actif est à double tranchant, car le brouilleur risque de livrer un signal à un récepteur radar qui n'avait rien détecté.

Les insectes, experts en brouillage

De telles techniques pourraient sembler hors de portée des insectes, mais leur course aux armements avec les chauves-souris dure depuis 65 millions d'années, assez longtemps pour que prédateurs et proies développent des mesures et contre-mesures élaborées. Des chercheurs de mon laboratoire ont découvert que les papillons de nuit tigres équatoriens du genre *Bertholdia* (de la famille des *Erebidae*) produisent une cacophonie de clics quand ils sont ciblés par une chauve-souris pratiquant l'écholocation. Les insectes détectent les signaux sonar du prédateur en approche grâce à leur appareil auditif sensible aux

hautes fréquences. Ils produisent alors les clics grâce à des morceaux de cuticule striés nommés timbales et situés de part et d'autre du thorax. Chaque timbale présente une trentaine de bandes successives, que l'insecte déforme l'une après l'autre, produisant une succession de clics. La timbale émet une seconde série de clics en reprenant sa forme initiale. La fréquence atteint 4500 clics par seconde. C'est un exemple typique de brouilleur de sonar, dont le principe est identique à celui des brouilleurs de radar. Les timbales sont caractéristiques des papillons du genre *Bertholdia* et de leurs cousins, et leur distribution taxonomique suggère que ces organes représentent une parade ancienne au sonar des chauves-souris.

Mon étudiant Aaron Corcoran a montré que les clics émis par les papillons empêchent les chauves-souris de les attraper, en laboratoire comme sur le terrain. Comment ce brouillage sonore modifie-t-il la perception des chauves-souris ? Certains chercheurs ont suggéré que si les clics du papillon ont des caractéristiques spectrales et temporelles assez semblables à celles des échos que renverraient des proies, les chauves-souris les interpréteraient comme des échos produits

BIBLIOGRAPHIE

W. Conner et A. Corcoran, *Sound strategies : The 65-million-year-old battle between bats and insects*, *Annual Review of Entomology*, vol. 57, pp. 21-39, 2012.

L. Jakobsen *et al.*, *Convergent acoustic field of view in echolocating bats*, *Nature*, vol. 493, pp. 93-96, 2012.

L. Kloepper *et al.*, *Active echolocation beam focusing in the false killer whale, Pseudorca crassidens*, *Journal of Experimental Biology*, vol. 215, pp. 1306-1312, 2012.

W. Conner, *Tiger Moths and Woolly Bears : Behavior, Ecology and Evolution of the Arctiidae*, Oxford University Press, 2008.

D. Nguyen, *La communication chez les dauphins et les baleines*, *Dossier Pour la Science*, n° 34, 2002.

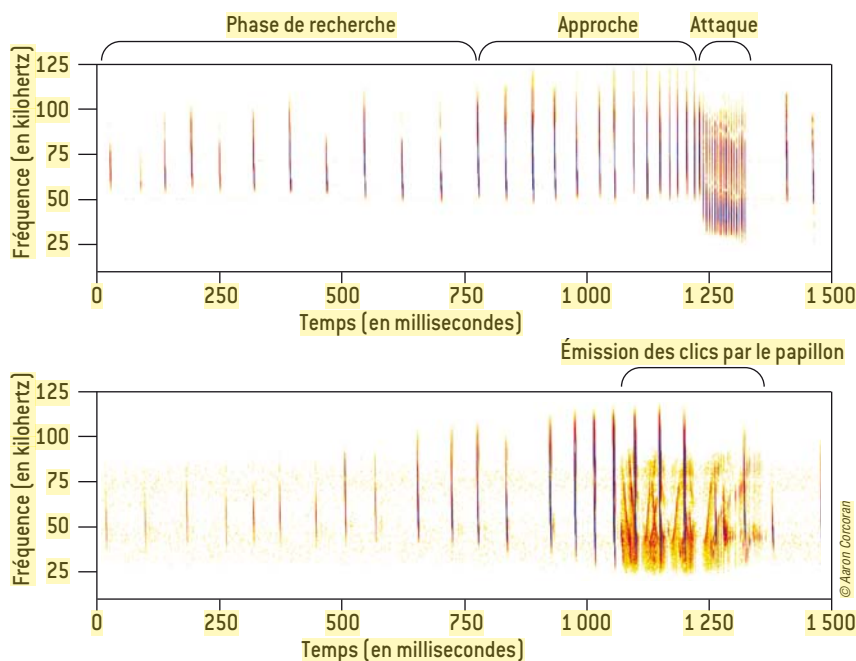
par des « cibles fantômes ». Deuxième hypothèse, des clics assez nombreux et intenses pourraient masquer les véritables échos, rendant la cible invisible. Enfin, des clics qui se superposent aux échos ou les précèdent de peu diminueraient la précision avec laquelle le prédateur détermine la distance de la proie. Les trois hypothèses se distinguent par ce que perçoit la chauve-souris : de multiples objets entourant le papillon pour l'hypothèse des cibles fantômes, aucune cible pour celle du masquage et une cible floue dans le cas d'interférences avec les indications de distance. Les travaux d'A. Corcoran accréditent pour l'instant cette dernière hypothèse, qui prédit de façon fidèle l'écart avec lequel la chauve-souris manque sa proie.

A. Corcoran a aussi montré que les papillons brouilleurs ne produisent leurs signaux que lorsqu'ils sont menacés par une chauve-souris (voir la figure 7). Quand celle-ci a repéré sa proie et se met en chasse, elle augmente l'intensité de ses cris et diminue l'intervalle qui les sépare. Le papillon détecte ces modifications et déclenche alors son brouillage.

Des chauves-souris furtives

Les chauves-souris ne sont pas en reste dans la course aux armements : en 2010, Holger Goerlitz et ses collègues de l'Université de Bristol, au Royaume-Uni, ont découvert que certaines d'entre elles sont furtives. Ainsi, les cris d'écholocation de la chauve-souris *Barbastella barbastellus*, qui chasse les insectes en vol, sont 10 à 100 fois moins intenses que ceux de ses consœurs. En conséquence, elle n'est détectée par les papillons dotés d'un système auditif que lorsqu'elle fonce sur eux et que leur sort est déjà scellé.

Ces stratagèmes et contre-stratagèmes constituent ce qu'on nomme une course aux armements diffuse, où de multiples espèces de chauves-souris mènent une lutte évolutionniste contre de multiples espèces de papillons. Les découvertes devraient se multiplier : on compte environ 11 000 espèces de papillons tiges dans le monde et 200 000 autres espèces de papillons de nuit, auxquels s'ajoutent des insectes variés (coléoptères, sauterelles, criquets, mouches, mantes, etc.). Tous doivent se protéger des chauves-souris, le plus redoutable des prédateurs nocturnes. ■



7. CERTAINS INSECTES BROUILLENT LES SIGNAUX SONAR des chauves-souris en émettant de nombreux clics parasites. Les deux spectrogrammes ci-dessus ont été enregistrés lors d'attaques d'une chauve-souris du genre *Myotis* sur un papillon de nuit entravé. Quand la proie n'émet pas de clics (en haut, cas d'un papillon de la famille des Noctuidae), la chauve-souris l'attrape. En revanche, quand le papillon émet des clics (en jaune et rouge sur le spectrogramme du bas, obtenu avec un papillon de l'espèce *Bertholdia trigona*), le prédateur manque sa cible.