

est inévitable, car elle est due à la différence d'indices optiques des deux milieux. L'indice optique de la matière biologique étant plus proche de celui de l'eau que de celui de l'air, il est plus facile de limiter les réflexions – et donc de devenir invisible – dans l'eau que dans l'air.

C'est le cas de certains organismes marins, tels que les méduses ou les poissons des abysses : ils passent *incognito*, d'une part car leurs tissus sont transparents et d'autre part car la lumière est faible à grande profondeur. D'autres espèces – manchots, cétacés ou requins – ont le dos beaucoup plus sombre que le ventre, de sorte que leur corps se confond soit avec la surface de l'océan quand ils sont observés de dessus, soit avec le ciel quand on les voit de dessous.

Les réflexions étant évitées, il reste à se prémunir contre la diffusion de la lumière. Pour ce faire, un tissu biologique doit être organisé de façon homogène sur des distances comparables aux longueurs d'onde de la lumière visible. C'est rare, mais possible, comme l'illustre la cornée de l'œil, qui est transparente grâce à un arrangement parfaitement régulier des fibres de collagène qui la composent.

UN CERVEAU TRANSPARENT

En biologie, pour étudier un squelette ou des tissus, la technique classique consiste à tremper l'animal dans différents bains, afin de rendre les chairs invisibles et de colorer les tissus que l'on souhaite observer. Une équipe américaine de l'université Stanford a réussi à rendre transparent le cerveau d'une souris en le plongeant dans un bain d'hydrogel, une substance similaire à celle dont sont constituées les lentilles jetables. Les molécules de ce gel ont pénétré dans les tissus, formant une armature souple et transparente ; les lipides cellulaires opaques à la lumière ont été éliminés.

Il existe d'autres façons de créer l'invisibilité. Si vous branchez une *webcam* qui filme très précisément l'arrière-plan de votre écran d'ordinateur, et si vous adaptez précisément l'image à la taille de votre écran, vous aurez l'impression que celui-ci est devenu invisible ! Malheureusement, ce procédé ne fonctionne que selon la direction perpendiculaire à l'écran. Kazutoshi Obana, de l'université de Tokyo, a perfectionné l'idée. Une caméra filme l'arrière-plan d'une personne et l'image obtenue est projetée sur l'avant de l'individu. Pour que l'illusion soit parfaite, il faut que

le sujet porte un manteau couvert de milliers de minuscules réflecteurs sphériques dont la partie postérieure est réfléchissante. En renvoyant chaque rayon lumineux dans sa direction d'arrivée, ce manteau donne l'illusion que celui qui le porte est transparent. Là encore, ce camouflage n'est efficace que dans une seule direction.

En octobre 2006, David Smith et ses collègues de l'université Duke ont réussi à rendre un objet réellement invisible. Pas invisible à la lumière du Soleil, mais dans la gamme des microondes. D'habitude, les engins furtifs absorbent l'énergie électromagnétique incidente ou la renvoient grâce à la forme particulière de leur fuselage. Les Américains ont utilisé des métamatériaux (dont l'indice de réfraction est négatif) pour construire un dispositif capable de forcer les rayons lumineux à contourner un objet, un peu comme l'eau s'écoule autour d'un galet. Les rayons ne sont ni absorbés ni renvoyés par l'objet, de sorte qu'il devient invisible. En raison des contraintes de fabrication, l'équipe américaine a dû utiliser des microondes. Mais, les recherches s'orientent aujourd'hui vers des matériaux invisibles dans la partie visible du spectre lumineux.

On le voit, la science rattrape une fois encore la fiction, et la voiture invisible de James Bond sera peut-être un jour accessible à tous. Mais cela ne deviendrait intéressant que si son conducteur était, lui aussi, invisible !

— Les auteurs —

- > **Roland Lehoucq**
est astrophysicien au CEA, à Saclay.
- > **Jean-Sébastien Steyer**
est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris.

— À lire —

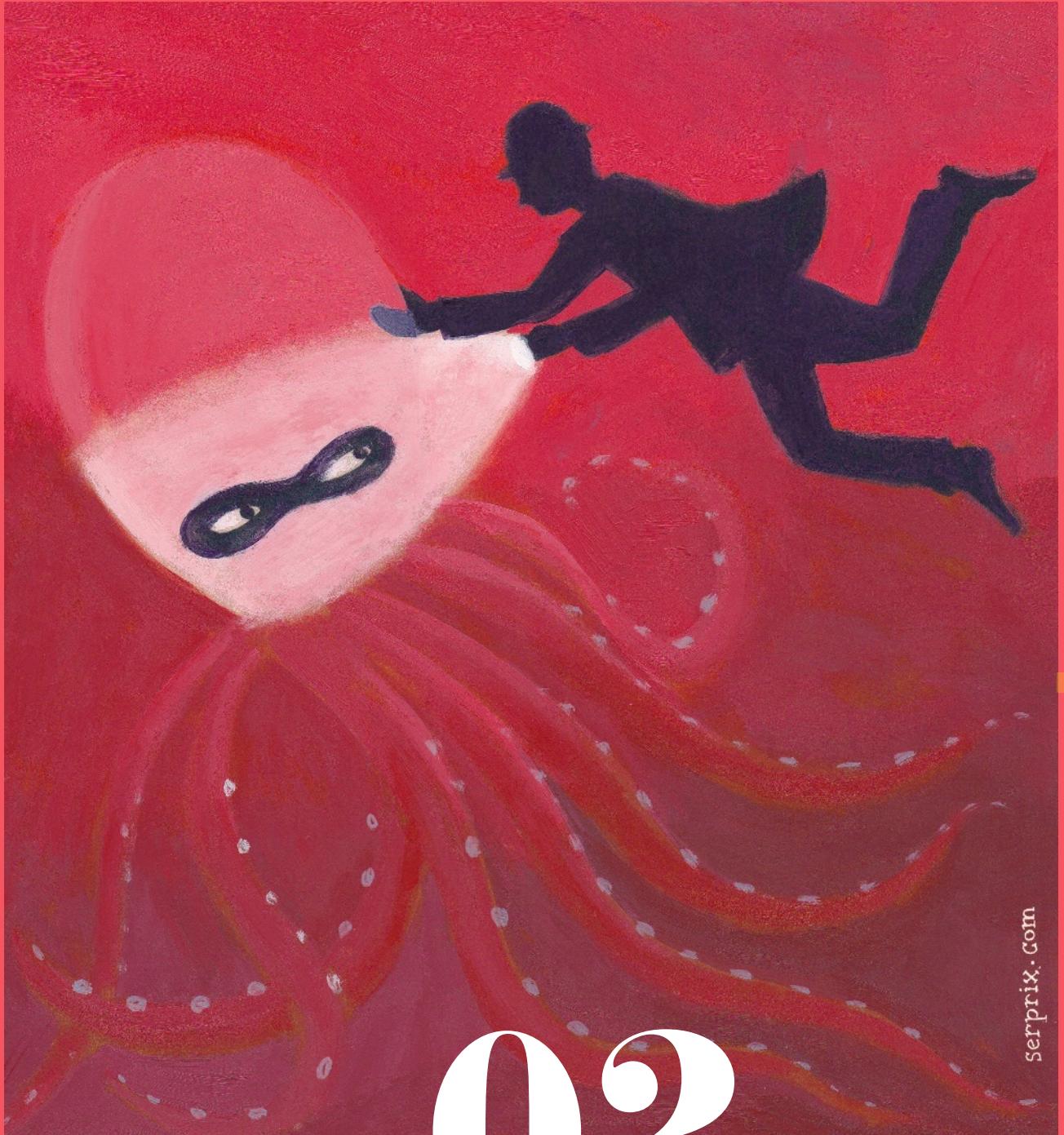
- > **K. Chung et al.**, Structural and molecular interrogation of intact biological systems, *Nature*, vol. 497, pp. 332-337, 2013.
- > **D. Schurig et al.**, Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies, *Science*, vol. 314(5801), pp. 977-980, 2006.

Vivre en toute discrétion

« Pour vivre heureux, vivons cachés », dit l'adage.

De nombreuses espèces animales l'ont bien compris et ont acquis au cours de l'évolution des caractéristiques grâce auxquelles elles échappent aux prédateurs. Ou, au contraire, surprennent leurs proies plus facilement. Dans l'eau ou sur terre, les as du camouflage rivalisent d'ingéniosité pour se fondre dans le décor. Et même dans notre corps des parasites multiplient les stratégies pour échapper à la vigilance du système immunitaire.

Mieux ! Notre planète Terre ne serait pas ce qu'elle est sans l'action d'êtres invisibles, les microbes. La nature est décidément le royaume de l'invisibilité.



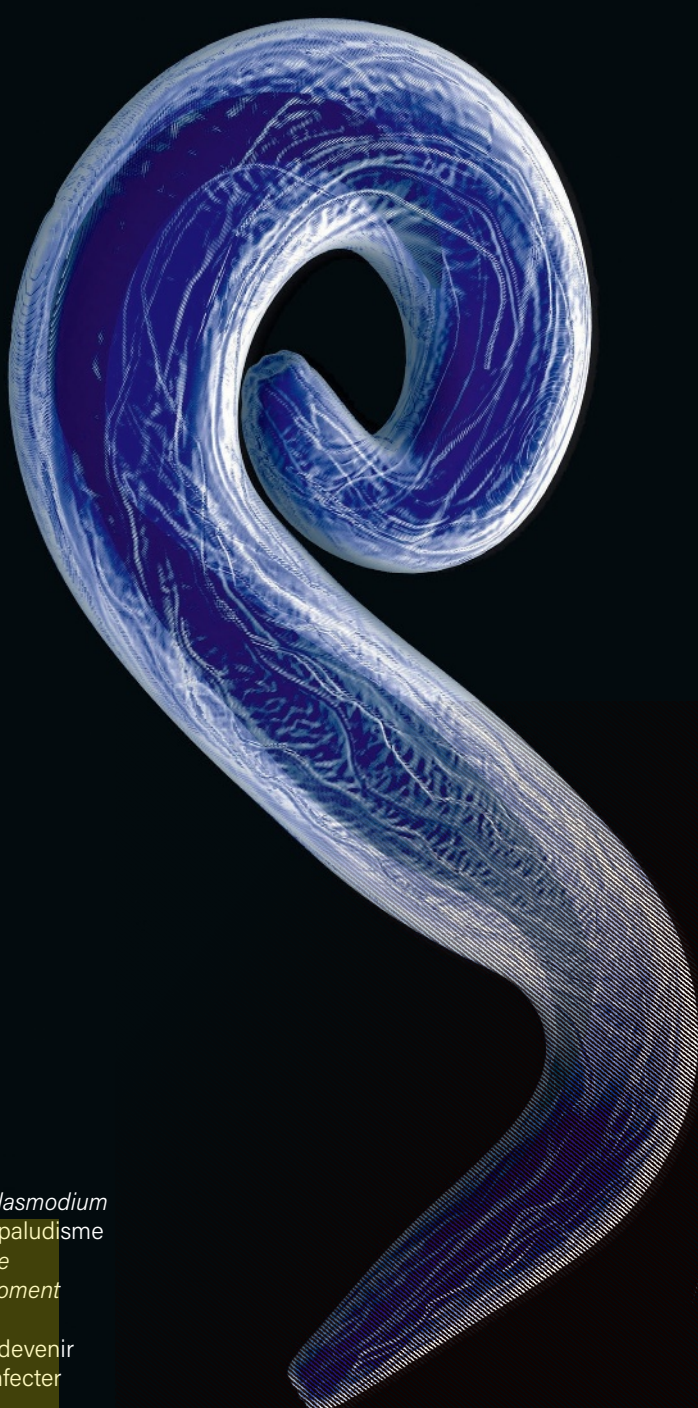
02

Rois de la stratégie, de nombreux parasites se soustraient à la vigilance de leurs hôtes, au point même parfois de devenir invisibles aux « yeux » de leur système immunitaire.

52

Pour vivre heureux vivons cachés

Sophie Beltran-Bech



Quoi de mieux pour
un parasite, comme *Plasmodium
falciparum*, l'agent du paludisme
(ici représenté au stade
dit « sporozoïte » au moment
de la transmission par
le moustique), que de devenir
invisible pour mieux infecter
un hôte ?

Nous-mêmes, nos enfants ou des proches avons tous été confrontés aux poux, ces parasites qui prospèrent et prolifèrent sur le cuir chevelu et parfois en d'autres endroits du corps. Tenaces, ils ont néanmoins un point faible : ils sont visibles, et on peut leur faire la chasse facilement pour s'en débarrasser. Ce n'est hélas pas le cas de tous les parasites, tant s'en faut. Certains s'ingénient en effet à se rendre invisibles jusqu'à même se rendre indétectables par le système immunitaire de l'hôte. C'est un peu le stade ultime du parasitisme ! Mais de quoi parle-t-on précisément ?

L'interaction d'un hôte et d'un parasite est une symbiose durable et intime, un passage obligé pour le parasite qui en tire un bénéfice pour accomplir au moins une partie de son cycle de vie. Du côté de l'hôte, cette association, tout sauf indispensable, est au mieux neutre et s'avère le plus souvent synonyme de coûts qui se traduisent parfois en maladies. Le parasite est considéré comme du non-soi par l'hôte, qui met en place des stratégies de protection. En réponse, le parasite adopte des mécanismes de défense pour contrer l'arsenal défensif de son hôte.

C'est une course aux armements au long cours, celui de l'évolution, théorisée par Leigh Van Valen dans les années 1970 avec son concept de la Reine rouge, une référence à un épisode de *De l'autre côté du miroir*, le roman de Lewis Carroll, où Alice court avec la Reine d'un jeu d'échecs (dans les pays anglo-saxons, les pièces sont blanches et rouges) à la même vitesse que le paysage ! L'idée est schématiquement que toutes les espèces évoluent en parallèle, aucune ne pouvant prendre le pas

En bref

> Pour au moins une partie de leur cycle de vie, les parasites dépendent de leur hôte pour qui, à l'inverse, cette relation est souvent néfaste.

> Les parasites mettent donc en œuvre des stratégies pour éviter leur neutralisation et leur élimination.

> L'une d'elles est le mimétisme : en ressemblant à leur hôte jusqu'aux molécules produites, celui-ci ne repère pas l'intrus.

> Plus encore, par diverses stratégies, des parasites parviennent à se rendre invisibles au système immunitaire de leur hôte.

sur une autre, chaque individu cherchant juste à survivre.

Cette course aux armements entre hôtes et parasites se situe à plusieurs échelles, de celle du comportement à celle de la molécule avec des mécanismes spectaculaires mis en place par les deux belligérants, hôtes et parasites. Ajoutons que, généralement, les parasites ont un atout de taille, un taux de réplication bien supérieur à celui de leur hôte, ce qui confère aux mutations et donc aux adaptations une probabilité plus grande d'apparaître chez les parasites !

Dans ce contexte, le parasitologue Claude Combes a proposé un cadre théorique pertinent fondé sur l'existence de deux filtres : la rencontre et la compatibilité. Une interaction hôte-parasite n'a lieu que si ces deux filtres sont ouverts. Les stratégies des hôtes visent alors à fermer au moins un des deux filtres, tandis que celles des parasites ont pour but d'ouvrir ou contourner ces filtres.

UNE QUESTION DE FILTRES

À l'échelle des comportements, c'est souvent le filtre de rencontre qui est visé, que ce soit par l'hôte ou le parasite. Au cours de l'évolution, en guise de contre-offensive, certains hôtes ont appris à reconnaître, par des signaux olfactifs ou autres, leurs congénères parasités et ont mis en place des mécanismes d'évitement de ces individus, en privilégiant un partenaire de reproduction non parasité quand le choix leur est donné. Ainsi, la souris domestique femelle détecte chez le mâle la présence de parasites intestinaux à l'odeur de l'urine et s'en détourne.

À l'inverse, des parasites ont mis en place des mécanismes favorisant la rencontre avec leur hôte. De fait, plusieurs espèces de schistosomes (des vers parasitaires responsables des bilharzioses) ciblant les humains (environ 280 000 décès par an), les bovins et les rongeurs quittent au stade larvaire de cercaire leur hôte intermédiaire, en l'occurrence des mollusques d'eau douce, aux heures où la probabilité de rencontre des hôtes vertébrés est maximale, par exemple lorsqu'ils vont boire : le matin pour les bovins, en milieu de journée pour les humains et le soir pour les rongeurs. Les cycles de vie sont ainsi synchronisés.

Par ailleurs, des parasites sont doués pour manipuler le comportement de leur hôte, le