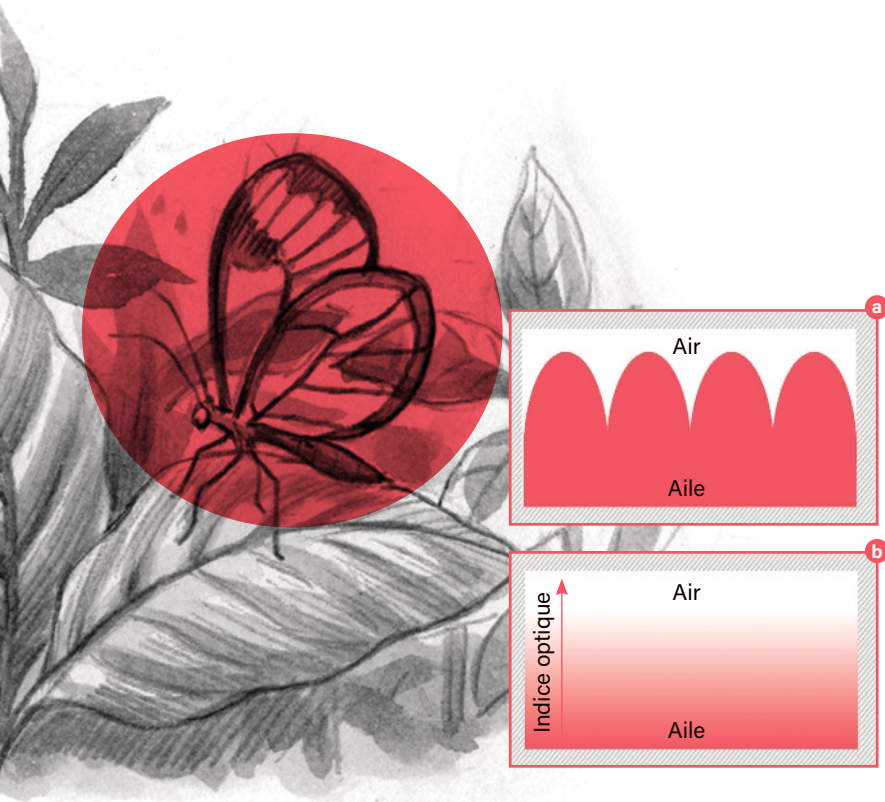




Certains papillons, notamment *Cephonodes hylas* (à gauche) et *Greta oto* (à droite), ont les ailes transparentes et sans reflets. L'atténuation des réflexions est due à des protubérances microscopiques sur l'aile (a) qui rendent progressive la transition entre un milieu, l'air, et l'autre, l'aile : la discontinuité qu'il y aurait entre l'indice optique de l'air et celui du matériau de l'aile est atténuée (b) dans la direction perpendiculaire à l'aile.

entre 2 et 5% : trop pour être invisible. Par contre, dans l'eau, dont l'indice est plus élevé (1,34), les taux de réflexion tombent entre 0,001 et 0,5%.

L'affaire semble entendue : pour être invisible, mieux vaut vivre dans l'eau et sans pigmentation, donc pas trop en surface. C'est le cas de nombre d'organismes marins (crevettes, vers, pieuvres...) qui vivent à des profondeurs allant de quelques dizaines à quelques centaines de mètres (voir le portfolio page 60).

Cependant, certains animaux terrestres présentent une invisibilité partielle. Tel est le cas de quelques papillons dont les ailes sont transparentes et sans reflets. Quel est leur secret ? Comme nous l'avons vu, la réflexion de la lumière est due à la discontinuité de l'indice de réfraction à l'interface de deux milieux. Sur les ailes transparentes des papillons en question, cette discontinuité est atténuée grâce à des protubérances microscopiques. Ces bosses étant distantes les unes des autres d'une fraction de longueur d'onde lumineuse, elles constituent un milieu optiquement homogène le long de l'aile. Parallèlement à l'aile, l'indice optique est la moyenne pondérée de l'indice du fluide environnant et de celui du matériau biologique de l'aile.

Comme ces bosses s'affinent à leurs sommets, il y a de moins en moins de matériau

à mesure que l'on s'éloigne de la surface de l'aile : l'indice optique passe progressivement de celui du matériau biologique à celui du fluide environnant (voir la figure ci-dessus). La variation de l'indice de réfraction à l'interface aile-air est suffisamment douce pour éliminer la plupart des réflexions ; c'est pourquoi l'aile, transparente, apparaît sans reflets, comme si elle était trouée.

ÉVITER LA DIFFUSION

Éviter la diffusion de la lumière est plus délicat qu'éviter sa réflexion. Pour s'en convaincre, préparons un breuvage désaltérant, quoiqu'alcoolisé, en ajoutant à cinq volumes d'eau un volume de pastis (ou d'arak, ou d'ouzo). Ces deux liquides sont parfaitement transparents, mais leur mélange est laiteux : on ne voit plus à travers. D'où vient cette soudaine opacité ?

L'anéthol, l'huile essentielle qui donne ce goût anisé, est soluble dans l'alcool ou les mélanges fortement alcoolisés, tandis qu'il est insoluble dans l'eau ou les mélanges faiblement alcoolisés. Solubles dans le pastis pur, dont la concentration en alcool dépasse les 40 %, les molécules d'anéthol sont insolubles dans le mélange eau-pastis. Elles se regroupent donc

Les yeux et le tube digestif sont le maillon faible des animaux transparents

en gouttelettes dont le diamètre est de l'ordre de 0,7 micromètre, c'est-à-dire une taille comparable aux longueurs d'onde (0,4 à 0,8 micromètre) qui composent la lumière visible.

Pour cette taille, la diffusion lumineuse est maximale. Pourquoi? Considérons d'abord le pastis pur. La situation pour les molécules d'anéthol est comparable à celle des molécules de l'air: leur répartition est aléatoire, mais relativement homogène. Une partie de la lumière est diffusée, mais trop peu pour qu'on le perçoive sur une faible épaisseur.

LE SECRET DU PASTIS

Regroupons maintenant un millier de ces molécules en un agrégat compact, de taille très inférieure aux longueurs d'onde de la lumière visible. De ce fait, les molécules reçoivent le même champ électromagnétique, et les vibrations de leurs charges sous l'effet de ce champ réémettent une lumière d'amplitude 1000 fois supérieure à celle d'une molécule unique. En concentrant en un petit paquet un millier de molécules, on obtient donc une puissance de diffusion (proportionnelle au carré de l'amplitude) 1000 fois supérieure à celle d'un millier de molécules éparpillées.

En revanche, lorsque la taille de ces paquets dépasse les longueurs d'onde du visible, les molécules d'un agrégat ne sont pas toutes soumises au même champ électromagnétique. Par interférence, les ondes lumineuses qu'elles émettent se détruisent mutuellement, sauf vers l'avant, c'est-à-dire dans la direction de la lumière incidente: la diffusion diminue.

Tout cela implique une forte contrainte sur les tissus biologiques, dont les composants varient beaucoup dans leurs proportions et leurs indices optiques. Afin d'éviter au mieux la diffusion

lumineuse, ils doivent être organisés de façon à former une structure homogène à l'échelle des longueurs d'onde optiques. C'est possible, comme l'illustre la transparence de la cornée de l'œil, constituée de fibres de collagène régulièrement espacées d'environ 0,05 micromètre.

Par ailleurs, certains organes ne peuvent être transparents. Il s'agit en particulier des yeux (car pour voir il faut absorber une partie de la lumière incidente) et du tube digestif (qui dévoile la nourriture opaque ingurgitée). Même si les espèces aquatiques multiplient les astuces physiologiques, ces organes demeurent les maillons faibles de leur camouflage. Sönke Johnsen, de l'université Duke, aux États-Unis, a même montré que l'exercice physique nuisait à la transparence, du moins chez la crevette *Ancylomenes pedersoni*: après trois battements de queue, elle devient opaque!

— Les auteurs —

> **Jean-Michel Courty**
et **Édouard Kierlik**
sont professeurs de physique
à Sorbonne Université, à Paris.
Leur blog: <http://idphys.free.fr/>

— À lire —

> **L. Bagge et al.**, Transparent anemone shrimp (*Ancylomenes pedersoni*) become opaque after exercise and physiological stress in correlation with increased hemolymph perfusion, *J. Exp. Biol.*, vol. 220(22), pp. 4225-4233 2017.

> **S. Johnsen et I. Grillo**, Small-angle neutron scattering study of a world-wide known emulsion: Le Pastis, *Colloids and Surfaces A*, vol. 225, pp. 153-160, 2003.