

Les siphonophores : des colonies prédatrices

Certains animaux transparents utilisent leur invisibilité à d'autres fins que le camouflage passif. Les siphonophores, des individus réunis en colonies, sont d'étranges cousins des méduses. La Physalie est le plus connu d'entre eux. La plupart des siphonophores sont transparents, mais certains ont des cellules urticantes regroupées en boutons clairs qui évoquent de jeunes poissons, de petites crevettes et d'autres proies attrayantes. Les animaux les poursuivent, mais, ne voyant pas l'animal transparent beaucoup plus gros auquel ils sont fixés, sont rapidement capturés. Les siphonophores de la famille des *Prayidae* sont ici (a) sous leur forme compacte qui mesure entre 10 et 12 centimètres seulement de longueur. Lorsqu'elle chasse, cette colonie s'étire jusqu'à atteindre un mètre de longueur ; ses cellules urticantes suspendues aux organes de flottaison se balancent comme un filet. Les siphonophores de la famille des *Forshalea* (b) chassent de la même façon.



La polarisation : l'arme secrète des prédateurs

Dans la course perpétuelle à l'armement engagée entre les proies et les prédateurs, ces derniers parviennent parfois à priver leurs proies de leur transparence. Dans l'océan, les molécules d'eau diffusent la lumière, produisant une lumière polarisée, dont les ondes oscillent en parallèle. L'homme ne discerne la lumière polarisée qu'au moyen de verres polarisants, mais de nombreux animaux, notamment les crustacés et les calmars, y sont naturellement sensibles. Cette aptitude les aide à chasser, car les tissus de certains des animaux transparents dont ils se nourrissent suppriment ou dévient la polarisation de la lumière qui les traverse. Détectant ces changements, les prédateurs devinent la présence de leurs proies. Un même copépode *Labidocera* est vu différemment selon que l'œil détecte les changements de polarisation (d) ou non (c).

On sait que les calmars utilisent leur aptitude à détecter la lumière polarisée pour trouver des proies transparentes et pour se transmettre des signaux. Au cours d'une expérience, on donne à des calmars le choix d'attaquer deux perles de verre. L'une des perles a un effet sur la polarisation de la lumière, l'autre non. On constate que les calmars préfèrent attaquer la perle qui modifie la polarisation de la lumière. Sous un éclairage polarisé (c'est l'état naturel de l'océan), les calmars détectent de plus loin les animaux qui agissent sur la polarisation.

yeux énormes dotés d'une rétine pâle et très mince située juste sous la cornée.

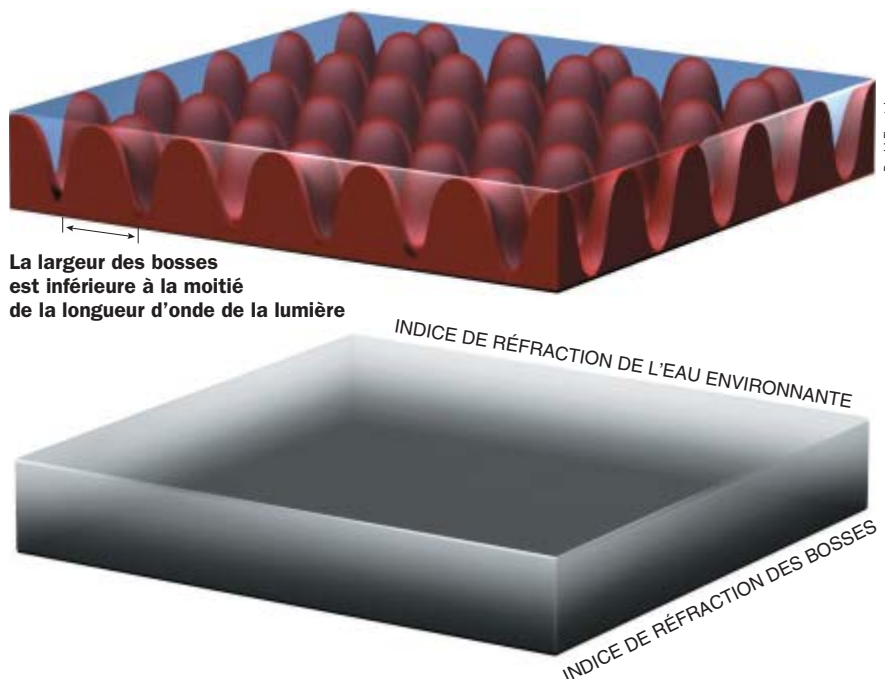
L'estomac est aussi un organe qui reste toujours visible. Non pas à cause de l'estomac lui-même, mais de son contenu (des animaux ou des végétaux en cours de digestion), qui est généralement opaque. Toutefois, chez certains animaux transparents, l'estomac est en forme d'aiguille et toujours dirigé vers le bas, quelle que soit l'orientation de l'animal. Cette méthode est efficace, car de nombreux prédateurs détectent leurs proies en cherchant les ombres qui se détachent sur la surface éclairée de l'eau (une aiguille verticale a une ombre minimale). Une autre stratégie consiste à tapisser l'extérieur de l'estomac d'un tissu réfléchissant. Comme un miroir, ce type de tissu est invisible en pleine mer, car il reflète la lumière environnante et se confond avec elle. C'est pour cette même raison que les poissons sont généralement couverts d'écailles argentées et miroitantes.

La peau est le troisième organe à poser des difficultés, car elle reflète toujours un peu de lumière. Certains animaux ont une forme simple qui minimise la surface corporelle et évite les reflets. Plus rarement, mais plus curieusement, certains animaux sont couverts de bosses microscopiques qui réduisent la réflexion de la lumière.

Cette stratégie dépend de l'indice de réfraction du matériau, qui indique à quelle vitesse la lumière le traverse. La lumière se propage plus lentement dans un matériau qui a un indice de réfraction élevé que lorsque l'indice est plus faible.

Quand une surface est couverte de bosses plus petites que la moitié de la longueur d'onde de la lumière reçue, la surface se comporte comme une substance uniforme dont l'indice de réfraction est une moyenne entre celui des bosses et celui du milieu environnant (l'eau, dans notre cas). Puisque les bosses sont plus larges à leur base qu'à leur sommet, l'indice de réfraction à la base est proche de celui du matériau (généralement supérieur à celui de l'eau), car ce matériau est sur un même plan, plus abondant que l'eau. En revanche, au sommet, où l'eau est majoritaire, l'indice est plus faible.

Ainsi, l'augmentation de l'indice de réfraction est progressive, de l'eau ambiante vers le corps de l'animal, ce qui réduit les phénomènes de réflexion. En réalité, ce système est si performant que les concepteurs de lentilles utili-



LES MINUSCULES BOSSES à la surface d'un animal transparent réduisent les reflets, ce qui améliore son camouflage. Les bosses dont la largeur est inférieure à la moitié de la longueur d'onde de la lumière qu'elles reçoivent ont un indice de réfraction intermédiaire entre celui des bosses et celui du milieu. Comme les bosses sont plus étroites au sommet, il y a davantage de matériau à la base. Ainsi, l'indice de réfraction passe progressivement de celui du matériau à celui du milieu environnant. Cette variation progressive interfère avec la capacité de la surface bosselée à refléter la lumière.

sent le même principe pour améliorer le revêtement des lentilles pour l'optique de précision. Il serait aussi employé pour réduire la réflexion des ondes radar par certains sous-marins.

Les conditions de l'invisibilité

La réduction des réflexions est une condition nécessaire, mais pas suffisante, pour qu'un animal soit invisible. La lumière doit aussi traverser le corps, ce qui nécessite que les faisceaux ne soient ni diffusés, ni absorbés sur leur parcours. Des deux phénomènes, la diffusion est le principal obstacle à la transparence animale, car très peu de molécules organiques absorbent la lumière.

La diffusion est due à des variations de l'indice de réfraction. Quand la lumière passe d'un milieu à un autre, le changement d'indice de réfraction modifie la vitesse de la lumière. En outre, à moins que le faisceau lumineux ne pénètre perpendiculairement dans le deuxième milieu, la direction de propagation du faisceau change.

Les tissus animaux présentent en général de nombreuses variations de l'indice de réfraction, parce que les différents constituants nécessaires à la vie (les cellules, les fibres, les

noyaux, les nerfs, etc.) s'y côtoient. Même les animaux gélatineux, qui contiennent beaucoup d'eau, ont des indices de réfraction qui varient. La relation entre la variation de l'indice de réfraction et la diffusion de la lumière est particulièrement compliquée, et nous ignorons les détails de la répartition des indices de réfraction dans les tissus vivants.

Néanmoins, en utilisant des modèles simplifiés, et en supposant qu'un tissu requiert certains volumes de différents constituants pour vivre, j'ai examiné comment la taille, la forme et l'indice de réfraction de ces éléments agissent sur la quantité totale de lumière diffusée. Les fabricants de peintures pour le bâtiment utilisent des méthodes identiques pour améliorer la diffusion de la lumière et augmenter le pouvoir couvrant de leurs peintures.

Les facteurs les plus importants sont la répartition et la taille des constituants. Quand une cellule a besoin d'une certaine quantité de graisse pour survivre, mais qu'elle doit diffuser le moins de lumière possible, la meilleure stratégie est de diviser la graisse en un grand nombre de minuscules gouttelettes. La pire des stratégies serait de diviser la graisse en gouttes dont la