

□ IDÉES DE PHYSIQUE

Le sens électrique des poissons

Certains poissons, tels les requins et les raies, sont très sensibles aux champs électriques. D'autres peuvent aussi en produire pour explorer leur milieu.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Beaucoup d'animaux voient dans l'ultraviolet ou entendent des ultrasons ou des infrasons. Il s'agit là d'extensions des sens humains. Ainsi, la vision du rayonnement ultraviolet étend la vision humaine à des longueurs d'onde inférieures à celles de la lumière « visible » ; il en est de même pour l'audition des ultrasons, etc. Mais certains animaux, en particulier des poissons, sont sensibles aux champs électriques et perçoivent un monde d'images électriques qui nous est inaccessible. Comment ce sixième sens fonctionne-t-il ? Qu'est-il capable de détecter ?

Tous les animaux présentent une activité électrique. En témoigne chez l'homme l'électroencéphalographie, technique qui mesure des variations de potentiel électrique liées à la propagation des influx nerveux. En général, cette activité électrique est mise en évidence par des électrodes placées à la surface ou à l'intérieur du corps ; mais elle se manifeste aussi à l'extérieur. Comme les organismes vivants sont électriquement

neutres, le champ électrique qu'ils créent à des distances comparables à leur taille peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un dipôle électrique – c'est-à-dire un couple de charges opposées et décalées l'une par rapport à l'autre.

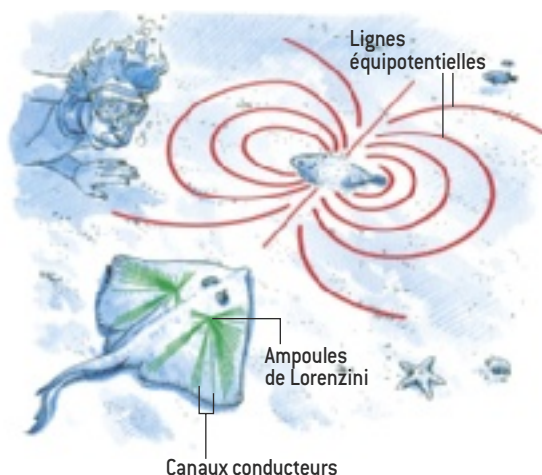
Un champ électrique dipolaire

L'intensité du champ électrique d'un dipôle décroît très vite avec la distance (comme l'inverse de son cube). De plus, les dipôles électriques des êtres vivants sont très faibles et l'eau, par rapport à l'air, divise par 80 l'amplitude du champ électrique. Il s'ensuit que les champs engendrés par un petit poisson sont extrêmement faibles : un microvolt par centimètre à dix centimètres de distance, un nanovolt par centimètre à un mètre de distance – moins du millionième du champ électrique créé par une pile électrique usuelle. Autrement dit, la perception d'un tel champ électrique doit mettre en œuvre des détecteurs ultrasensibles !

Dans les années 1960-1970, avec l'apparition d'amplificateurs de bonne qualité,

les chercheurs ont montré que les « ampoules de Lorenzini », organes présents chez les requins et les raies, détectent des champs électriques aussi faibles que cinq nanovolts par centimètre. Ces organes, qui forment des grappes au sein de l'animal, sont reliés à la peau par des canaux aux parois très isolantes et dont l'intérieur est rempli d'une gelée conductrice. Les canaux jouent le rôle de câbles électriques qui transmettent à l'ampoule le potentiel électrique de surface, l'ampoule mesurant alors la différence de potentiel entre le canal et une référence interne. Chez les raies, la plupart de ces canaux sont répartis en étoile, ce qui permet à l'animal de détecter la direction du champ électrique (l'effet de ce dernier est nul lorsque le champ est perpendiculaire au canal et maximal quand il lui est parallèle).

L'extrême sensibilité de ces organes est exploitée par des dispositifs de protection qui, en produisant un champ électromagnétique pulsé, irritent les ampoules de Lorenzini des grands requins blancs et les éloignent ainsi des plongeurs. La haute sensibilité aux champs électriques permet aussi au requin de détecter... le champ magnétique terrestre. Car en nageant, le requin déplace ses canaux conducteurs, pleins de charges libres, à travers ce champ magnétique. Ces charges subissent donc une force de Lorentz, proportionnelle au produit de la vitesse du requin par le champ magnétique terrestre. L'effet sur les charges équivaut à celui d'un champ électrique dit électromoteur. Avec des vitesses de un mètre par seconde dans un champ magnétique terrestre de quelques dizaines de microteslas, le champ électromoteur est de quelques centaines



1. UNE PETITE ACTIVITÉ ÉLECTRIQUE correspond à l'activité physiologique usuelle d'un animal. Le potentiel électrique créé par un petit poisson dans son voisinage est, en première approximation, celui d'un faible dipôle électrique [chaque ligne rouge correspond à une même valeur du potentiel]. Une raie, ou un requin, possède des organes capables de le détecter : des canaux conducteurs (en vert) transmettent le potentiel électrique régnant à la surface de la raie à une « ampoule de Lorenzini » qui mesure la différence de potentiel avec une référence interne.

de nanovolts par centimètre, ce qu'un requin peut aisément détecter. Les requins se servent-ils alors du champ magnétique terrestre pour s'orienter à travers les océans, comme avec une boussole ? Cela reste à prouver.

Électrolocalisation active

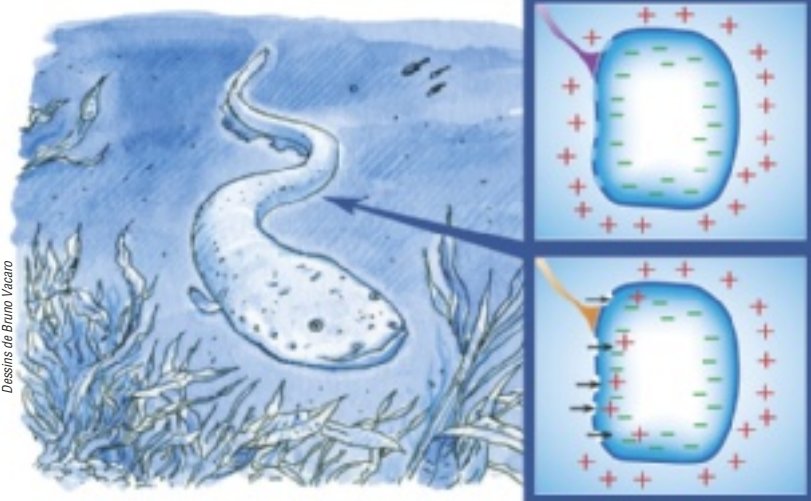
Tous les poissons ne disposent pas de détecteurs électriques aussi sensibles. Mais certains explorent leur environnement en produisant des décharges électriques et en détectant les modifications du champ électrique dues aux objets voisins – bien pratique, quand on nage comme le poisson couteau dans les eaux boueuses des rivières d'Amazonie.

Les signaux produits par les poissons électriques sont très divers et durent entre 0,1 et 100 millisecondes. Les organes émetteurs sont aussi très variés, mais la plupart sont composés d'électrocytes, des cellules musculaires qui ont perdu la capacité de se contracter.

Un électrocyte constitue une minuscule pile électrique. Au repos, la différence de potentiel entre l'intérieur et l'extérieur de l'électrocyte, due à une répartition inégale d'ions positifs et négatifs, est de -90 millivolts, mais les champs électriques des faces opposées de la cellule se compensent.

Lors d'une décharge, l'influx nerveux provoque l'ouverture des canaux ioniques de la cellule sur l'une de ses faces ; des ions positifs pénètrent et on a alors une inversion provisoire de polarité sur la face innervée, dont le potentiel est porté à +50 millivolts. Cette fois, il n'y a plus de compensation des champs électriques, ils s'ajoutent : chaque électrocyte crée localement une différence de potentiel de 140 millivolts et si quelques milliers de ces « piles » sont placées en série, comme chez l'anguille électrique, on atteint plusieurs centaines de volts !

En réalité, les poissons utilisant l'électrodétection active n'ont pas besoin de tensions aussi élevées. La détection se fait à l'aide de capteurs placés tout le long du corps du poisson. Ces capteurs sont tapissés de cellules dont les membranes agissent comme des condensateurs en série ; ils bloquent les



Dessins de Bruno Vicario

champs électriques continus ou de basse fréquence et ne laissent passer que les hautes fréquences (quelques centaines de hertz) correspondant à la pulsation du champ électrique émis par le poisson. Lorsqu'un objet est placé dans le champ électrique dipolaire du poisson, il crée en réaction, selon ses propriétés électriques [conductivité, capacité...], un champ qui vient s'ajouter, au niveau de la surface du poisson, au champ initial.

Comment le poisson électrique distingue-t-il un objet proche d'un objet lointain ? Pour un objet proche, le champ varie rapidement d'un point à un autre sur une petite zone. Pour un objet plus lointain, les variations sont plus douces. À distance fixée, plus l'objet est gros, plus les variations du champ sont importantes tout en restant localisées sur la même zone. En outre, lorsqu'il observe une proie, le poisson électrique courbe sa queue et change ainsi légèrement le champ électrique auquel est soumise la proie. Ces modifications changent l'image électrique qui s'est formée sur la peau, et le poisson électrique peut en déduire la position et la distance de sa proie.

Que se passe-t-il quand deux poissons électriques se croisent ? Si les fréquences des champs qu'ils produisent sont proches, leur superposition forme des battements temporels qui nuisent à la vision électrique. Les poissons changent alors leurs fréquences de façon à ce que la fréquence du battement soit plus rapide que leur capacité de détection. Spontanément, le poisson qui a la fréquence inférieure la diminue, tandis que celui qui a la fréquence supérieure l'augmente. Une façon électrique de s'ignorer ou de communiquer ?

2. LES POISSONS ÉLECTRIQUES sont dotés de cellules qui, excitées par un influx nerveux, produisent une petite tension électrique. Au repos (*schéma du haut*), ces électrocytes maintiennent une petite différence de potentiel électrique entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, différence qui est la même sur toutes les faces et qui, de ce fait, ne produit pas de tension globale. Sous l'effet d'un influx nerveux (*en orange, schéma du bas*), les canaux ioniques de la face innervée s'ouvrent et des ions positifs pénètrent dans la cellule ; le déséquilibre électrique entre les différentes faces de la cellule engendre une tension de plus d'une centaine de millivolts.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTUY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

✓ BIBLIOGRAPHIE,

S. Johnsen et K. J. Lohmann, **Magnetoreception in animals**, *Physics Today*, vol. 61(3), pp. 29-35, mars 2008.

D. Fields, **Le sixième sens du requin**, *Pour la Science*, n° 359, septembre 2007.

J. Bastian, **Electrosensory organisms**, *Physics Today*, vol. 47(2), pp. 30-37, février 1994.

<http://www.apteronote.com>