

D'autre part, la différence de potentiel transmembranaire engendre une force électrique qui fait également migrer les ions à travers la membrane dans un sens qui dépend à la fois du champ électrique membranaire et de la charge de l'ion. Ce flux est dirigé vers l'intérieur pour les ions Na^+ et K^+ et vers l'extérieur pour les ions Cl^- .

Au total, les flux dus aux effets physiques sont la somme des flux dus à la différence de concentration et de ceux qui sont dus au champ électrique. Ces flux s'équilibrent pour les ions Cl^- et le flux global de cet ion est quasiment nul. Pour les ions K^+ , le flux global est très faible et dirigé vers l'extérieur (ces ions sont hors équilibre), alors que le flux d'ions Na^+ est grand et dirigé vers l'intérieur de l'axone. Ainsi, en prenant uniquement en compte les effets physiques, l'axone se viderait de K^+ et se remplirait de Na^+ (voir la figure 2). Quel mécanisme contrebalance ces flux, incompatibles avec les concentrations constantes au repos et avec une différence de potentiel transmembranaire constante ? La «pompe Na-K». Ce mécanisme biologique agit à l'inverse de l'effet physique : il transporte les ions Na^+ vers l'extérieur de l'axone et les ions K^+ vers l'intérieur.

Ce pompage est assuré par une protéine membranaire, et son énergie résulte de l'hydrolyse de l'adénosine triphosphate. Si la membrane était également perméable aux ions Na^+ et aux ions K^+ , il ne serait pas possible d'obtenir un état permanent pour lequel les ions K^+ sont assez peu hors équilibre et les ions Na^+ très loin de l'équilibre. En pratique, la membrane est environ 25 fois plus perméable aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ . Il est donc possible de pomper efficacement les ions Na^+ hors de l'axoplasme, leur retour étant inhibé par la mauvaise perméabilité de la membrane à ces ions. Au final, dans la fibre nerveuse au repos, les mécanismes biologiques et physiques agissent conjointement pour assurer les concentrations d'équilibre. Que se passe-t-il lorsque l'on excite cette fibre par un courant électrique ?

L'EXCITATION

L'axone ne réagit à une excitation électrique que si celle-ci est supérieure à 20 millivolts. À partir de ce seuil, il se produit une impulsion de tension dans la membrane, nommée potentiel d'action, qui dure environ une milliseconde et durant laquelle le potentiel transmembranaire passe de sa valeur de repos de -70 millivolts (chez l'homme) à +40 millivolts, avec un retour rapide à la situation antérieure. Ce potentiel d'action se propage

le long de la membrane. La forme et la vitesse du potentiel d'action sont indépendantes de l'amplitude de la tension excitatrice, pourvu qu'elle dépasse le seuil de 20 millivolts.

Lorsque la membrane est soumise au potentiel d'action, sa perméabilité aux ions Na^+ augmente brusquement : cet ion entre dans l'axone, ce qui engendre une charge positive à l'intérieur. Ensuite, les «portes» du sodium se ferment et la membrane devient très perméable au potassium (K^+), qui sort de l'axone : l'intérieur de l'axone redevient négatif et la différence de potentiel transmembranaire retrouve sa valeur au repos.

Ainsi, en même temps que le potentiel d'action se propage le long de la membrane, un signal électrique se propage à l'intérieur de l'axoplasme qui ne correspond pas à un déplacement de charges, mais au déplacement d'un surcroît de densité de charges positives. Ce signal ressemble à une onde mécanique qui se déplace le long d'une corde : au bout de la corde, on reçoit un signal, même si les atomes de la corde ne se sont pas déplacés à l'intérieur de celle-ci. La vitesse de propagation de ce signal est proportionnelle à la racine carrée de son diamètre. Par exemple, le long d'une petite fibre de cinq micromètres de diamètre, elle est voisine de quatre mètres par seconde et elle est dix fois supérieure pour une fibre de 0,5 millimètre de diamètre. De tels axones existent chez les invertébrés, mais ne constituent pas la solution idéale au problème de la propagation rapide.

ISOLER LA MEMBRANE

Chez les vertébrés, la membrane de la plupart des axones est entourée d'une gaine de myéline, une sorte de graisse, interrompue environ tous les millimètres en des points nommés nœuds de Ranvier. Cette épaisse couche de myéline rend impossible la propagation de proche en proche par variation de la perméabilité de la membrane, comme dans le cas sans myéline, car les espèces chargées ne peuvent traverser cette graisse. En revanche, la myéline est un bon isolant, qui multiplie par 300 la résistance membranaire. Autrement

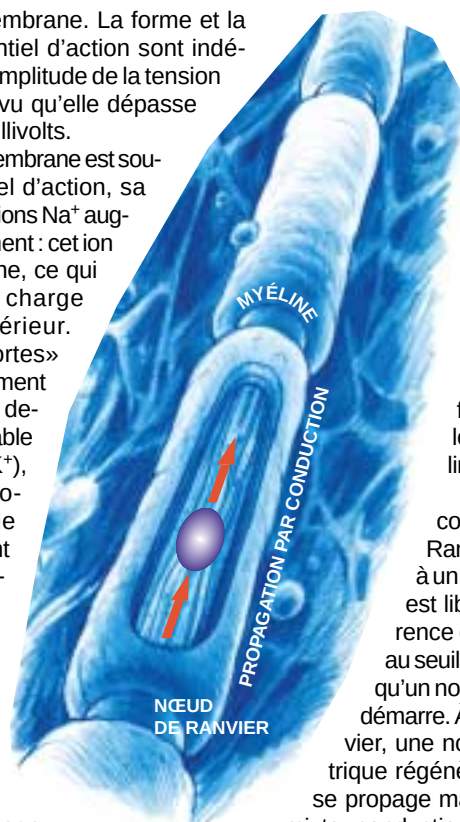


Figure 3

dit, le câble conducteur est bien meilleur que sans myéline et la conduction dans l'axoplasme peut se faire sur une dizaine de millimètres. Sur cette longueur, le signal électrique se propage comme dans un câble électrique, quasiment à la vitesse de la lumière. De surcroît, le signal n'est que faiblement atténué le long d'un segment myélinisé.

Cette atténuation est compensée au nœud de Ranvier : le signal qui arrive à un nœud, où la membrane est libre, possède une différence de potentiel supérieure au seuil de 20 millivolts, de sorte qu'un nouveau potentiel d'action démarre. À chaque nœud de Ranvier, une nouvelle excitation électrique régénère le signal. Le signal se propage maintenant sur un mode mixte : conduction classique avec déplacement de charges dans les segments de fibre recouverts de myéline et propagation d'un potentiel d'action aux nœuds de Ranvier. La vitesse de propagation est désormais proportionnelle au diamètre de la fibre, ce qui permet d'atteindre des vitesses de propagation de plusieurs dizaines de mètres par seconde pour un encombrement réduit.

L'efficacité des axones myélinisés s'illustre par une expérience simple : en contact avec un objet chaud, la main se retire vivement en raison d'une violente sensation de douleur et non à cause d'une sensation de forte chaleur. La raison en est que les cellules thermoréceptrices de la peau sont connectées à la moelle épinière par l'intermédiaire de fibres nerveuses sans myéline, alors que les cellules sensibles à la douleur le sont par des fibres myélinisées. Dans les premières, la vitesse de propagation est de quelques mètres par seconde, 50 fois moindre que dans les secondes. C'est pourquoi on a mal avant d'avoir chaud !

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA.

P.F. BAKER, *The Nerve Axon*, in *Scientific American*, p. 74, mars 1966.

R.K. HOBBIÉ, *Nerve Conduction in Pre-medical Physics Course*, in *American Journal of Physics*, vol. 41, p. 1176, 1973.

A.C. SCOTT, *The Electrophysics of a Nerve Fiber*, in *Reviews of Modern Physics*, vol. 47, p. 487, avril 1975.

Zoologie

Dictionnaire du règne animal

Sous la direction de Simon Tillier.
Éditions Larousse, 1999
(509 pages, 130 francs).

L'encyclopédie de la nature

Doris Kinderley. Éditions Milan, 1999
(304 pages, 198 francs).

Nombreux sont les ouvrages que l'on trouve en librairie ou en grandes surfaces, dont les titres annoncent qu'ils familiariseront leurs lecteurs avec la diversité de la nature et le vocabulaire qui la décrit. En voici deux récemment parus : l'un est un dictionnaire, un peu austère d'aspect, l'autre est une encyclopédie, thématique, illustrée de belle façon. L'un fut confectionné sous l'autorité de scientifiques du Muséum d'histoire naturelle de Paris, l'autre par son pendant d'outre-Manche, le Natural History Museum, anciennement British Museum. Ils ont des buts différents et trouveront sans doute chacun des clients.

Tout scientifique qui consulte un dictionnaire «ordinaire» a assez régulièrement les bras qui lui tombent, et ce n'est pas le poids de l'ouvrage qui est en cause : l'indigence des définitions qui sont proposées pour les mots de la nature et les erreurs grossières sont à chaque tour de page. Pis encore, le vocabulaire qui figure est en général assez pauvre. Il est vrai que, depuis deux siècles, les scientifiques ont proposé de nombreux néologismes pour décrire la diversité du monde animal et tenter de le classer ; de surcroît, au fur et à mesure que s'approfondissaient les recherches, bien des définitions ont été modifiées. C'est là l'une des difficultés majeures que l'on rencontre lorsque l'on veut rédiger un dictionnaire de la nature : des concepts à première vue aussi simples que mammifères ou oiseaux sont compris bien différemment de l'acception qu'ils avaient voici seulement quelques années. Il ne serait donc pas superflu que paraissent régulièrement des mises à jour d'un *Grand dictionnaire de la nature*. Contentons-nous pour l'heure de ce petit *Larousse*.

J'ai remarqué que la plupart des textes que propose cet abécédaire de la nature sont issus du remaniement d'un précédent ouvrage paru chez un autre éditeur (*Encyclopédie du règne animal*, Bordas, 1992), mais avec un découpage

différent et quelques amendements, mais, surtout, sans aucune des illustrations contenues dans la précédente édition. Les changements concernent en particulier les nombreux articles qui détaillent ces mammifères dont nous sommes. Cette mise à jour n'est pas toujours bien venue. Ainsi apprend-on que la famille des Gliridés (loirs et lérôts) a été rayée des cadres au bénéfice de celle des Myoxidés : faux, car la rigoureuse et sévère Commission de nomenclature zoologique a rendu voici deux ans son verdict, et officialisé les Gliridés. Pour expliciter les principaux concepts classificatoires on trouve des arborescences à la mode cladiste, mais il n'est fait nulle part allusion à la philosophie de cette démarche, ni à son champ d'application. Ainsi le lecteur n'a-t-il aucune chance de décoder ces arborescences et de réellement pouvoir les lire. À propos des mammifères en particulier, il ne saura pas que le cladogramme présenté à la page 279 est né, pour l'essentiel, de l'étude de quelque 4 000 genres fossiles, dont les plus anciens ont 200 millions d'années d'âge. Ici on ne nous présente qu'une classification tronquée, puisque ne sont pris en compte que les mammifères actuels (un millier de genres). De surcroît, on ne retrouve pas d'allusion, dans les définitions des ordres de mammifères qui sont données dans l'abécédaire, aux relations de parenté qui justifient le cladogramme général : au paragraphe «Lagomorphes» il n'est pas dit que cet ordre est le groupe frère des rongeurs, comme montré page 279, alors que le raccourci qui traduit les ressemblances des deux ordres est singulièrement réducteur, puisqu'il ne fait allusion qu'au nombre différent d'incisives que portent les uns et les autres.

En conclusion, et alors que l'utilité et la nécessité d'un tel glossaire sont évidentes, on peut regretter que, pour le confectionner, on ait choisi un court chemin. Regrettons aussi qu'il ne soit complété d'aucune bibliographie, même sommaire.

Passons maintenant à l'*Encyclopédie de la nature*. Son introduction commence par une présentation de la biosphère, de l'origine de la vie et de l'évolution : dès la page 14, le lecteur consultera avec profit l'ouvrage précédent pour apprendre qui sont les géospizes (faussement nommés pinsons de Darwin, sic) ! Biologie, écologie, classification, végétaux et animaux sont les cinq grandes rubriques qui organisent le livre. Dans chacune, une double page est l'occasion de présenter en quelques phrases et, surtout, par des illustrations, un milieu, un groupe animal ou végétal, une fonction. Des renvois en bas de page, un glos-

saire et un index facilitent la consultation. Il n'est pas certain que l'âge minimum requis pour le consulter soit huit ans, comme le prétend le dos de couverture, mais peut-être les cobayes qui me furent confiés pour expérimenter la question n'étaient-ils pas dans la moyenne.

Ouvrage traduit, il en a les défauts. C'est ainsi que, page 140, il est expliqué longuement que beaucoup utilisent le terme «animal» pour désigner les seuls mammifères, mais que, de fait, ce mot a une acception beaucoup plus large, puisqu'il désigne aussi bien les éponges que les vertébrés. Cette remarque est parfaitement fondée s'il s'agit du mot anglais *animals*, mais de notre côté de la Manche, «animaux» désigne bien tous les êtres vivants qui bougent. Dans l'ensemble, l'ouvrage n'est pas pédant, et il évite les termes diaphoriques (aux géospizes près, bien sûr). Il n'hésite pas à utiliser des mots communs tels reptiles, ou poissons, honnis, comme on le sait, des scientifiques huppés.

La lecture de certains entrefilets désarçonne parfois, par exemple lorsqu'on apprend, photographie à l'appui que «les crottes d'éléphant renferment des déchets issus de la digestion des aliments». Ou que l'on présente comme une «extinction naturelle» la mort de ces deux millions d'oiseaux, poissons et mammifères tués par l'éruption du mont Saint Helens. Ces raccourcis ravageurs sont aussi, en quelque sorte, la rançon d'un propos compacté à l'extrême : chaque double page illustre un sujet présenté en dix lignes, illustré par une bonne douzaine de photographies, cartes ou diagrammes légendés d'une ligne, et commenté de quelques paragraphes de trois à quatre phrases. Pour revenir à l'exemple cité précédemment, le contenu de l'encadré «Extinction naturelle», fait partie d'un chapitre «L'homme et la nature». Une courbe de croissance démographique, extrapolée à l'horizon 2050, propose que les populations humaines friseront alors les dix milliards d'individus. Un texte rappelle que la vie sur Terre existe depuis 3,5 milliards d'années, que de «nombreux êtres vivants se sont éteints, suite à des phénomènes naturels, comme des éruptions volcaniques et des pluies de météorites» (il semble que, pour les auteurs, les causes d'extinction ne sont pas multiples, et, surtout, ils n'évoquent pas la principale : la compétition entre espèces). Dans les lignes qui suivent, l'éruption du mont Saint Helens est évoquée à titre d'exemple, précisant qu'elle tua deux millions d'oiseaux de reptiles et de mammifères. Et les mouches ? Et les papillons, pourrait-on demander, alors qu'en regard de ce texte on trouve une photographie