

produite par une activité métabolique qui se déroule dans le volume du corps, 100^3 fois plus important chez l'éléphant que chez la musaraigne. Finalement, le rapport entre la perte d'énergie par la surface et sa production dans le volume est 100 fois plus faible chez le pachyderme que chez le rongeur miniature. Encore un coup du rapport surface/volume...

Autrement dit, les organismes homéothermes de petite taille, affligés par une trop grande surface relativement à leur volume, doivent compenser leur plus grande perte d'énergie par une alimentation plus abondante. Ainsi, la musaraigne étrusque doit quotidiennement absorber l'équivalent de sa masse en nourriture, tandis que l'éléphant peut se contenter de seulement 5 % de sa masse. Cette constatation reçoit le renfort de la mesure de l'activité métabolique par unité de masse chez la plupart des organismes vivants : elle est proportionnelle à l'inverse de la puissance $1/4$ de leur masse. Cette loi, découverte en 1932 par le chimiste suisse Max Kleiber, confirme que les organismes de grande taille ont, relativement à leur masse, des besoins énergétiques moindres que ceux de faible taille.

Avec une masse de 1,8 gramme, la musaraigne est le mammifère actuel le plus léger et représente sans doute la limite inférieure de

leur température interne : des vaisseaux sanguins, encore visibles sur les fossiles, irriguaient ces grandes plaques en losange, ce qui suggère qu'elles jouaient probablement un rôle dans la régulation thermique.

Quant aux grands dinosaures du groupe des sauropodes, ils étaient probablement à sang « froid », mais avaient une température interne supérieure à celle de l'extérieur car leur activité métabolique produisait une chaleur qui était évacuée par une surface insuffisante au regard de leur énorme volume. Ce phénomène, envisagé pour certains grands dinosaures, est nommé « homéothermie de masse ». Même si les monstres géants de la science-fiction ont un métabolisme lent, ils doivent quand même produire une grande quantité de chaleur, car ils sont volumineux. Ils pourraient risquer la surchauffe du simple fait de se déplacer, sans parler de ce qui se passerait s'ils faisaient un petit sprint !

IL FAUT BIEN TRANSMETTRE L'INFORMATION

Les organismes vivants doivent être sensibles à leur environnement et traiter l'information reçue. Cela nous amène à un troisième facteur qui limite leur taille. Regardons d'abord comment un organisme réel gère un stimulus externe. Une morsure, une brûlure ou une coupure produit au niveau cellulaire un signal électrique qui atteint généralement le système nerveux central afin de provoquer une réaction (la fuite, le retrait ou la contre-attaque dans le cas d'un stimulus agressif).

Comment se déclenche le signal électrique ? La concentration ionique (en ions sodium, potassium, chlore, calcium, etc.) de part et d'autre d'une membrane cellulaire est naturellement différente. Cette différence de concentration est source d'une différence de potentiel électrique, nommée potentiel de repos, qui est d'environ -70 millivolts chez la plupart des animaux. Le stimulus extérieur provoque un flux d'ions au niveau de la membrane de la cellule excitée. Il s'ensuit une modification de la différence de potentiel électrique et une « dépolarisation » de la membrane. Elle revient ensuite à son état normal (repolarisation) avec éventuellement une baisse au-delà des -70 millivolts de l'état de repos (hyperpolarisation). Ces différentes phases engendrent le signal électrique, nommé potentiel d'action, en un à deux millièmes de seconde.

Sur Terre, que vous soyez une limace (mollusque), un cloporte (crustacé) ou un puma (mammifère), c'est grâce au potentiel d'action que les informations de l'environnement sont transmises en permanence au système nerveux central. Chez la plupart des animaux (sauf les éponges et les placozoaires), le potentiel d'action est transmis par ➤



En considérant le temps que le signal arrive au cerveau, un géant aurait des réflexes très lents



masse pour un animal à sang chaud vivant sur notre planète. En deçà, il serait sans doute trop difficile de maintenir une température interne constante.

S'ils sont relativement favorisés en période de disette, les organismes de grande taille peuvent avoir quelques soucis de surchauffe si aucune précaution n'est prise. Ainsi, les éléphants d'Afrique ont de grandes oreilles qui les aident à évacuer leur chaleur interne. La double rangée de plaques osseuses que portaient sur l'échine les dinosaures herbivores de type stégosaures avait probablement plusieurs fonctions. Ces plaques régulaient probablement

des cellules spécialisées, les neurones. Le nombre de neurones varie d'un organisme à l'autre: on en compte de l'ordre de 100 milliards chez l'humain – dont 500 millions environ se situent dans notre intestin – et 100 000 chez le homard ou le crabe.

À quelle vitesse l'information neuronale est-elle transmise? Cela dépend surtout de l'épaisseur et de la nature des neurones, notamment de leur partie centrale nommée axone: plus le diamètre de l'axone augmente, plus la résistance interne baisse et plus la vitesse du signal est grande. Ainsi, de grands organismes tels que le calmar géant (jusqu'à 13 mètres de long, tentacules compris) ont des neurones dont les axones sont très épais, afin de transmettre le signal assez rapidement.

Mais ce n'est pas tout. Une substance principalement composée de lipides nommée myéline peut gainer certains axones et jouer le rôle d'isolant électrique, ce qui accroît la vitesse de propagation du potentiel d'action: cette vitesse peut passer de 0,5 à 10 mètres par seconde dans des axones sans myéline à près de 150 mètres par seconde avec myéline.

Même dotés d'axones à myéline, des êtres imaginaires de grande taille et ressemblants aux organismes terrestres, comme King Kong (un primate géant) ou Godzilla (un horrible reptile mutant), seront donc très lents à réagir. En effet, le potentiel d'action mettra de l'ordre d'une seconde pour aller d'une extrémité de leur corps au cerveau. Leurs réflexes lamentables les rendent beaucoup moins dangereux qu'ils n'en ont l'air!

UN TRÈS GROS CERVEAU EST UN CERVEAU LENT

La durée de transmission de l'information neuronale limite aussi la taille du cerveau. En effet, pour qu'une pensée puisse se développer et agir utilement, il faut bien sûr un cerveau suffisamment complexe, mais aussi une «durée de pensée» suffisamment brève. La vitesse des transmissions neuronales étant de l'ordre d'une centaine de mètres par seconde, un signal nerveux traverse le cerveau humain en environ un millième de seconde. Durant sa vie, le cerveau d'un humain sera donc, selon ce modèle simpliste des pensées, traversé par plusieurs milliers de milliards d'impulsions nerveuses. Si notre cerveau était 10 fois plus gros, avec la même vitesse de propagation de l'influx nerveux et la même durée de vie, nous aurions 10 fois moins de «pensées» au cours de notre vie.

Pour être traversé par le même nombre d'impulsions que celui de l'humain, un cerveau de la taille du Système solaire et où la vitesse de transmission serait égale à celle de la lumière aurait besoin d'une durée de l'ordre de l'âge de l'Univers. Il est donc raisonnable d'affirmer que

des organismes ayant un cerveau rivalisant en complexité avec le cerveau humain ne peuvent pas être trop grands, car, sinon, ils n'auraient pas le temps de penser à grand-chose. De ce point de vue, le «nuage noir», mis en scène par l'astrophysicien anglais Fred Hoyle dans son roman éponyme (1957), n'est guère plausible: avec une taille de l'ordre de celle du Système solaire, le rythme de ses pensées doit être extraordinairement lent. Pas facile de discuter avec lui, donc.

SANS NEURONES ET SANS CERVEAU

Notons enfin que les neurones ne sont pas obligatoires, car il existe d'autres cellules capables de transmettre un potentiel d'action. C'est le cas des cellules musculaires et endocrines, mais aussi des cellules tubulaires des plantes vasculaires ou «trachéophytes» (c'est-à-dire presque toutes les plantes sauf les mousses). Comme ces dernières transmettent le signal moins rapidement que les cellules animales, les grands végétaux communiquent plus lentement. C'est peut-être pourquoi J. R. R. Tolkien, dans le *Seigneur des Anneaux* (1954-1955), imagine de grandes plantes humanoïdes, les Ents, qui parlent et agissent très lentement. Il est aussi difficile d'imaginer un réseau planétaire de plantes connectées tel que celui mis en scène sur la planète Pandora dans *Avatar* (James Cameron, 2009). Notons enfin que, sur notre planète, le plus grand organisme vivant n'est ni une plante ni un animal; il s'agit d'un champignon armillaire (*Armillaria solipides*) âgé de plusieurs milliers d'années et couvrant 9,6 kilomètres carrés dans les Blue Mountains de l'Oregon, aux États-Unis!

Revenons aux animaux. Le système nerveux central (qui centralise l'information, mais n'est pas forcément au centre de l'organisme) n'est pas obligatoire non plus! C'est le cas des échinodermes (oursins, étoiles de mer, etc.) qui ont une sorte d'anneau ramifié entourant la bouche (système nerveux péri-buccal) et d'où partent cinq cordons nerveux. Il en est de même des arthropodes (crustacés, insectes, arachnides, etc.) dont le système nerveux dessine une sorte de «corde à nœuds» dans l'ensemble du corps, avec parfois des ganglions au niveau de la tête et de l'œsophage. Faut-il imaginer Godzilla, King Kong ou d'autres monstres géants avec des systèmes nerveux d'oursins ou d'araignées géantes? Cela améliorerait sans doute leurs réflexes en distribuant les centres de commande musculaire.

Si la science-fiction met souvent en scène des êtres extraordinaires, la vie réelle explore et teste des possibles qui peuvent surprendre, voire dérouter: toutes deux nous rappellent que l'évolution est une incroyable source de questions, d'inspiration et d'émerveillement. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Purves et al.,
Neurosciences,
De Boeck, 2015.

G. W. Koch et al.,
The limits to tree height,
Nature, vol. 428,
pp. 851-854, 2004.

G. B. West et al.,
**Allometric scaling
of metabolic rate from
molecules and
mitochondria to cells
and mammals**,
PNAS, vol. 99,
pp. 2473-2478, 2002.

Galilée, **Discours
concernant deux sciences
nouvelles**, PUF, 1995.