

> beaucoup plus faible que celle des hommes de tailles médiocres; sinon, à augmenter sans mesure sa hauteur, on le verrait plier sous son propre poids et s'écrouler. À l'inverse, on observe que, quand le corps diminue, les forces ne diminuent pas dans le même rapport, la résistance des corps très petits devenant même proportionnellement plus grande; ainsi je crois qu'un petit chien pourrait porter sur son dos deux ou trois chiens de la même taille, mais je ne pense pas qu'un cheval puisse porter un seul cheval, ayant la même taille que lui.»

Pour quantifier les conséquences de la modification des dimensions du corps sur sa résistance, considérons deux organismes de mêmes proportions mais de tailles différentes, deux éléphants par exemple, l'un grand et l'autre deux fois plus petit.

Ce sont bien sûr les os des membres qui soutiennent la masse corporelle de nos éléphants (on parle d'ailleurs d'animaux gravipor-teurs). Le poids que peuvent supporter les os dépend de deux quantités: la résistance de la matière osseuse et l'aire de leur section. Il est aisé de comprendre que des os plus résistants ou de plus grande section seront capables de soutenir un poids plus important. Le poids est proportionnel au volume, donc au cube de la taille. La masse du grand éléphant est ainsi $2^3=8$ fois supérieure à celle du petit, car ses trois dimensions (longueur, largeur et hauteur) sont le double de celles du petit éléphant.

En revanche, les os du grand éléphant ne pourront supporter des charges que $2^2=4$ fois plus importantes que ceux du petit, la section de l'os ayant une aire qui varie comme le carré de la taille. Ainsi, la pression subie par les os des membres du grand éléphant, rapport du poids de l'animal à l'aire de la section des os, sera le double de celle subie par les os du plus petit.

Autrement dit, les os d'un organisme de petite taille subissent une contrainte plus faible que ceux d'un géant: ce dernier est donc mécaniquement moins résistant. Cette caractéristique d'origine géométrique implique qu'il existe une taille maximale à partir de laquelle un tétrapode (animal possédant des vertèbres et généralement deux paires de membres) a une masse si élevée que son squelette interne devient incapable de le soutenir: il s'effondre alors sous son propre poids. Dans le cas d'un tétrapode terrestre, cette taille maximale est de l'ordre d'une trentaine de mètres.

Pour repousser cette limite, la solution la plus évidente est d'avoir un squelette constitué d'une matière plus résistante que l'os. Galilée l'avait déjà compris. Autre solution: vivre dans l'eau liquide. En effet, la poussée d'Archimède compense alors le poids de la partie immergée du corps et diminue d'autant la contrainte subie par le squelette. Il est d'ailleurs manifeste que le plus gros mammifère marin, le rorqual

QUELLE EST LA HAUTEUR MAXIMALE DES ARBRES?



Pour qu'un arbre vertical ne s'écrase pas sous son propre poids, il faut que la pression exercée par son poids sur une section basse de son tronc soit inférieure à la contrainte maximale supportée par le bois. Le calcul montre qu'un arbre vertical ne peut dépasser deux kilomètres, une valeur bien supérieure à la réalité... Il faut aussi prendre en compte le fait que l'arbre ploie sous le vent. Le poids exerce alors un couple qui accentue la déformation. Un équilibre s'établit avec le couple de la force de rappel élastique du bois si le diamètre du tronc est suffisant. L'action du vent élimine ainsi les arbres dont la taille est supérieure à une cinquantaine de fois le diamètre de leur tronc. Mais ce qui fixe la hauteur maximale des arbres, c'est leur capacité à pomper l'eau jusqu'aux feuilles du sommet. Cette limite résulte d'une compétition entre la gravité, qui tire l'eau vers le bas, et la transpiration foliaire qui «aspire» l'eau. Il en résulte une limite estimée à environ 100 mètres, atteinte par le séquoia à feuilles d'if et par *Eucalyptus regnans*.

bleu, est bien plus massif que l'éléphant d'Afrique: le premier pèse 150 tonnes, environ 30 fois plus que le second. Le rorqual est même plus massif que certains dinosaures géants (du groupe des sauropodes, à longue queue et long cou), dont la masse estimée n'est que quelques fois supérieure à celle d'un éléphant.

ATTENTION AU COUP DE CHAUD

La gravité n'est pas le seul facteur limitant pour la taille. Un autre processus physiologique des organismes de grande taille peut aussi poser problème: la régulation de leur température interne. Les animaux à sang chaud (dits homéothermes) perdent de l'énergie, car ils sont généralement plus chauds que le milieu dans lequel ils évoluent. Ces pertes se faisant par la surface externe du corps, elles sont proportionnelles à l'aire du corps.

Ainsi, pour garder le même exemple, un éléphant perd plus d'énergie qu'une musaraigne étrusque (*Suncus etruscus*, de longueur comprise entre 5,4 et 8,4 centimètres avec la queue), environ 100^2 fois plus si leur rapport de taille est de l'ordre de 100. Par ailleurs, l'énergie nécessaire au maintien de la température interne est

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