

L'ESSENTIEL

> Dinosaures, éléphants et girafes atteignent de grandes tailles, mais ne rivalisent pas avec les êtres imaginaires de la science-fiction.

> Plusieurs phénomènes physiques limitent la taille des organismes. Ainsi, le poids exerce une pression sur les os, dont la résistance doit être adaptée au poids de l'animal.

> Un animal géant risquerait la surchauffe. Son métabolisme produirait beaucoup de chaleur qui s'échapperait trop lentement de son corps.

> Le réseau de neurones et la vitesse de transmission des signaux sont aussi des facteurs limitants. Un animal trop grand ne réagirait pas assez rapidement.

LES AUTEURS



ROLAND LEHOUCQ
astrophysicien
au CEA, à Saclay



J.-SÉBASTIEN
STEYER
paléontologue
au CNRS-MNHN,
à Paris

Des géants trop grands

LES ŒUVRES DE FICTION REGORGENT D'ÊTRES GIGANTESQUES. POURQUOI NE PEUT-IL EXISTER D'ANIMAUX AUSSI GRANDS ? GALILÉE SE POSAIT DÉJÀ LA QUESTION.

Cthulhu, King Kong, Godzilla, Shai-Hulud, Kaijus, les monstres géants de la science-fiction sont légion et leurs tailles hors du commun font de ces organismes des êtres particulièrement effrayants et puissants. Nous ne sommes pas naïfs au point de croire à l'existence de tels êtres, mais il est permis de s'interroger sur la pertinence de leur taille. Après tout, de gigantesques dinosaures, comme le *Diplodocus* ou le *Brontosaurus* (respectivement 35 et 22 mètres de long environ), n'ont-ils pas arpenté la surface de la Terre il y a plusieurs dizaines de millions d'années ?

Dans l'Univers, l'échelle des tailles varie d'environ 10^{-15} mètre, pour le proton (et probablement moins pour les particules élémentaires), jusqu'à 10^{26} mètres, le rayon de l'Univers observable. Dans ces 41 ordres de grandeur, la vie telle que nous la connaissons est confinée dans un intervalle de seulement 8 ordres de grandeur – des bactéries, mesurant de l'ordre du millionième de mètre, aux arbres, dont les plus hauts atteignent 100 mètres (voir l'encadré page 72).

Après la disparition des dinosaures non-aviens et d'autres espèces de grandes tailles,

c'est l'éléphant de savane d'Afrique (*Loxodonta africana*) qui détient le record du plus gros animal terrestre vivant : entre 6,5 et 7,5 mètres de long, 3 à 4 mètres de hauteur au garrot et une masse de 5 à 8 tonnes. En hauteur, il est dépassé par la girafe qui culmine à environ 5,7 mètres. Quels sont les critères qui sélectionnent la taille des êtres vivants ? Pourquoi ne pourrait-on voir un singe, comme King Kong, rivaliser de taille avec des gratte-ciel ? Si la gravité semble être la contrainte principale, elle n'est pas la seule. Il y a aussi la chaleur produite par le corps de l'animal et la durée de propagation de l'influx nerveux.

LA GRAVITÉ IMPOSE SA LOI

La question de la taille des espèces vivantes n'est pas nouvelle. Dans la deuxième journée de ses *Discours concernant deux sciences nouvelles*, publiés en 1638, Galilée l'aborde dans le cadre plus général de la résistance mécanique des structures. Il écrit : « Il apparaît clairement que, si l'on voulait conserver chez un géant particulièrement grand la proportion qu'ont les membres chez un homme ordinaire, il faudrait soit trouver une matière bien plus dure et plus résistante pour en constituer les os, soit admettre que sa résistance serait proportionnellement »





LE ROI DES GÉANTS

Dans la version du film de 1933, King Kong change de taille d'une scène à l'autre. Il mesure ainsi entre 5 et 18 mètres de hauteur. Il est même exagérément agrandi sur les affiches du film (ci-dessous).

➤ 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