



Êtres vivants et lois d'échelle

Qui, lisant les exploits de Gulliver ne s'est interrogé sur la réalité des performances de ces êtres fabuleux que sont géants et nains ? Ou bien, observant dans la forêt une fourmilière, a été surpris par les dimensions et masses des

charges transportées par les fourmis eu égard à leur taille. Un géant ou un homme aux muscles d'acier tels que nous les voyons dans les films d'anticipation, est-il capable de soulever des objets tels qu'un avion, ou même une vedette rapide de la douane par exemple qui peut peser plusieurs tonnes ?

À partir d'hypothèses simples nous allons essayer de donner des réponses à ces questions.

Rappelons ce qui se passe quand la taille d'un individu s'accroît.

D'abord constatons qu'un corps solide aussi compliqué soit-il, par exemple le corps humain, peut se décomposer, par addition soustraction, en un certain nombre d'unités de cubes élémentaires.

Pour simplifier notre raisonnement nous assimilerons ainsi la forme d'un être vivant à un cube, nous supposerons que tous les êtres vivants ont la même densité, nous nous bornerons à ceux qui sont à sang chaud. Pour vivre cet animal doit se nourrir et maintenir la température constante dans le milieu où il évolue.

Si nous multiplions la dimension de l'arête d'un cube par 10, la surface du cube est multipliée par 100, et le volume du cube et sa masse sont multipliés par 1000. Ainsi accroissant la dimension linéaire la surface croît notablement, mais le volume et la masse croissent encore plus que la surface.

Divisons l'arête du cube par dix, la surface du cube est divisée par 100, et le volume du cube et sa masse, sont divisés par 1000. Ainsi réduisant la dimension linéaire, la surface décroît, mais le volume et la masse décroissent encore plus vite.

Chez les êtres vivants, et plus particulièrement chez les mammifères, la force développée par un muscle dépend du nombre de fibres présentes dans le muscle, donc de la section du muscle et non de son volume. L'expression populaire de "gros bras", indique bien que, plus la section du bras est importante, plus la "bête" est forte. C'est pourquoi certains culturistes, ou même les haltérophiles, les lanceurs de poids ou de marteau, pour se doter d'une anatomie d'athlète, en plus d'entraînements forcenés, absorbent anabolisants et autres drogues qui accroissent la grosseur de leurs muscles.

Compte tenu de ces considérations multipliant la taille d'un individu par 10, nous multiplions sa masse par 1000, mais sa force seulement par 100.

Si un homme de 1,80 m pèse 80 kg, alors un géant dix fois plus grand que lui pèserait 80 x 1000 kg soit 80 tonnes ! Mais supposer qu'il puisse porter son propre poids reviendrait, pour un homme normal à soulever 80 tonnes / 100 soit 800 kg soit dix fois son propre poids, ce qui est invraisemblable ! Muscles et tendons n'y résisteraient pas !

Les géants des "Voyages de Gulliver" sont donc des créatures incompatibles avec les lois de la physique.



Êtres vivants et lois d'échelle

Divisons la taille d'un individu par 10, sa masse est divisée par 1000, mais sa force seulement par 100. Un homme dont la taille est 2 m verrait celle-ci divisée par 200 soit 1 cm. Soulevant 100 kg il verrait sa force divisée par $200 \times 200 = 40000$ et pourrait soulever $100 \text{ kg} / 40000 = 2,5 \text{ g}$ (2500 mg). Ainsi une grosse fourmi de 1 cm qui pèse environ 25 mg porte $2500 / 2,5 = 100$ fois son poids ! Dans cette même transformation, le rapport surface taille est dix fois plus grand que pour l'homme. Les échanges thermiques qui ont lieu essentiellement par la peau, sont toutes proportions égales, beaucoup plus élevés. Ce qui explique qu'une souris (25 g) consomme en nourriture l'équivalent du tiers de sa masse par jour.

Mais dans le sens où la taille s'accroît, les échanges thermiques donc les besoins énergétiques pour vivre sont relativement beaucoup moins élevés, ainsi un éléphant qui pèse trois tonnes ne consomme en végétaux qu'un centième de sa masse chaque jour.

Toutes ces considérations ont été observées il y a déjà fort longtemps. Elles ont donné naissance à ce que l'on appelle les « lois d'échelle », et un physiologiste suisse Kleiber a mis en évidence en 1932 que la puissance en Watts nécessaire à un mammifère pour simplement survivre (métabolisme) est de la forme : **$P = 4 \times M^{1/4}$**

Compte-tenu que le volume sanguin d'un mammifère de masse M est environ proportionnel au volume de son corps, on montre que le rythme cardiaque et pulmonaire est à peu près proportionnel à $M^{-1/4}$, cette loi est vérifiée quand on passe d'un mammifère à un autre.

Par exemple :

- Une souris de 25 grammes a un rythme cardiaque d'environ 600 battements par minute,
- Un homme de 80 kg a un rythme cardiaque d'environ 60 battements par minute,
- Tandis qu'un éléphant de 3,5 tonnes a un rythme cardiaque d'environ 32 battements par minute.

La longévité des mammifères correspond à peu près au tableau suivant qui montre qu'elle croît avec leur masse :

| Espèce | Masse (kg) | Durée de vie T (ans) |
|----------|------------|----------------------|
| Souris | 0,025 | 3,5 |
| Cobaye | 0,300 | 7,5 |
| Renard | 3,000 | 14,0 |
| Chèvre | 30,000 | 18,0 |
| Homme | 65,000 | 70,0 |
| Gorille | 200,000 | 35,0 |
| Éléphant | 3 500,000 | 70,0 |

De ce tableau et des relations précédentes on peut déduire que le nombre de battements de cœur, dont un mammifère dispose dans sa vie, est limité à environ 10^9 (un milliard).

Ainsi la physique démontre hélas que notre durée de vie est limitée, que nous sommes mortels !

BIBLIOGRAPHIE

- 1- "L'Univers Mécanique" - Luc Valentin – Hermann.
- 2- "D'où viennent les pouvoirs de Superman ?" - Roland Lehoucq – EDP Sciences.
- 3- [Site d'Henri Broch](#)