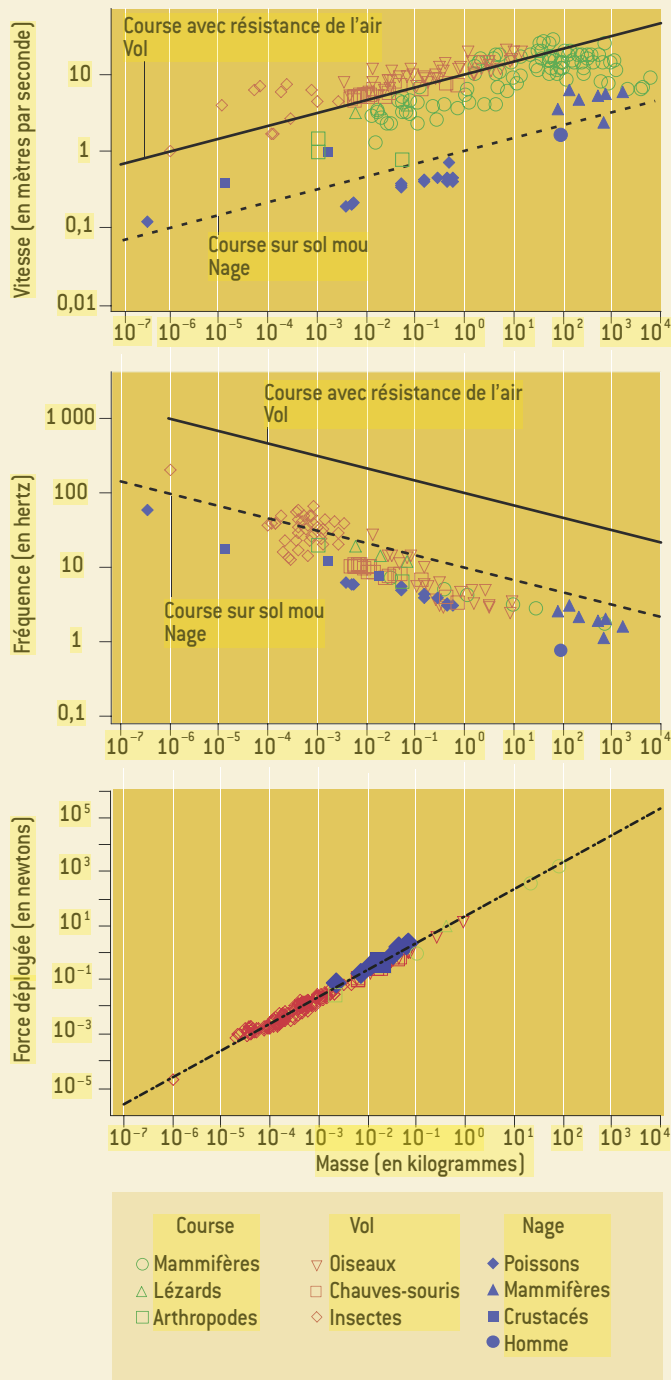


Prévisions et observations

Les données empiriques sur la locomotion des animaux sont en bon accord avec les prévisions théoriques fondées sur l'optimisation de l'énergie dépensée. Les trois graphiques ci-dessous indiquent comment, pour divers animaux et en fonction de leur masse, se comportent la vitesse, la fréquence de battement d'ailes ou de foulée, et la force déployée. Les droites figurant sur ces graphiques à échelle logarithmique représentent les prévisions théoriques et correspondent à une loi d'échelle (la grandeur en ordonnée est égale à une certaine puissance de la masse, multipliée par un coefficient constant; la pente de la droite correspond à l'exposant de la loi d'échelle, et son intersection avec l'axe des ordonnées indique le coefficient).



auraient pour des coureurs soumis principalement aux frottements avec un sol dur ou avec un sol mou déformable.

Une autre surprise nous est venue en calculant le travail fourni pour soulever le corps du sol. Comme dans le cas du vol, nous avons trouvé que la force moyenne exercée au cours du cycle de foulée devrait être égale au double du poids de l'animal. Un résultat en accord avec les mesures force-masse pour toutes les tailles d'animaux, qu'ils volent ou qu'ils courent (*voir l'encadré ci-contre*). Ainsi, notre démarche fondée sur l'optimisation de la dépense d'énergie conduit à la conclusion que la course et le vol obéissent à des relations semblables.

Qu'en est-il de la nage ? S'apparente-t-elle à la course et au vol ? La réponse qui paraît évidente est non, parce que les poissons semblent échapper à la gravité, en raison de la poussée d'Archimède exercée par le liquide environnant. La course n'est pourtant pas radicalement différente de la nage ou du vol. En dépit du fait qu'un oiseau ou un poisson ne touche pas le sol, celui-ci soutient en fin de compte le poids de tous les corps situés au-dessus. Sans lui, aucun mouvement ne serait possible.

Un poisson déplace son corps relativement au fond immobile de l'étendue d'eau. Il effectue un travail pour contrer la gravité et les frottements, exactement comme un oiseau ou une antilope. Pour avancer horizontalement sur une distance égale à la longueur de son corps, un animal immergé doit fournir un travail équivalent à celui qu'il faut pour soulever un volume d'eau de sa propre taille à une hauteur approximativement égale à la dimension de son corps (*voir la figure 5*). Pourquoi cette eau est-elle soulevée et non juste chassée sur les côtés ? Parce qu'un déplacement vertical net est le seul moyen pour l'eau de s'écouler autour d'un animal ou d'un objet évoluant dans une rivière, un lac ou une mer : l'eau étant incompressible et le fond étant solide et immobile, seule la surface libre de l'eau est déformable. Cela s'observe facilement sous la forme de la lame d'étrave qui se soulève à l'avant d'un corps immergé se déplaçant près de la surface de l'eau ; mais ce travail vertical était auparavant considéré comme négligeable, alors qu'il est fondamental dans la physique de la nage, à quelque profondeur que ce soit.

Le nageur soulève de l'eau

Pourquoi ne voyons-nous pas la déformation de la surface libre produite par chaque poisson qui soulève de l'eau lors de sa progression horizontale ? Parce que la plupart des poissons sont petits et nagent en profondeur. Le volume d'eau soulevée se répartit sur une surface d'autant plus grande que le poisson nage en profondeur, et la déformation de la surface libre est généralement imperceptible. On remarque cependant le soulèvement de la surface lorsqu'un gros poisson nage à proximité de la surface. L'élévation de la surface de l'eau a également été mise en évidence et utilisée en marine de guerre, certains systèmes de radars étant capables de détecter le passage d'un sous-marin en mesurant la variation de hauteur de l'eau.

Ainsi, même si certains animaux ne sont pas directement en contact avec le sol, ce support solide leur est nécessaire pour se mouvoir. Les battements d'ailes de l'oiseau engendrent des tourbillons d'air qui finissent par atteindre le sol et y augmenter la pression. Le déplacement d'eau dû à