

SCIENCE & FICTION

Des aliens pas si rapides

Les physiciens déduisent la vitesse des dinosaures et celle des aliens des lois de la dynamique. Leur conclusion est qu'un athlète humain pourrait les distancer !

Roland LEHOUCQ et Jean-Sébastien STEYER

En cas de rencontre avec un alien belliqueux, mieux vaut se diriger immédiatement dans la direction opposée, à condition d'être sûr de pouvoir distancer la créature ! S'il est généralement possible de se faire une idée des performances d'un extraterrestre en le regardant se déplacer, ce n'est pas le cas de Sebulba, le pilote de course atrabilaire de *Star Wars* (*La menace fantôme*, épisode 1, 1999). Cet être présente une bipédie encore inconnue sur Terre : il a quatre membres munis de doigts (une caractéristique des tétrapodes), mais marche uniquement sur ses pattes avant. Cette locomotion nécessite une courbure marquée du dos et des membres antérieurs plus robustes et plus longs que les membres postérieurs. Dans le vivant terrestre, c'est en général l'inverse, si l'on en juge par les dinosaures théropodes, tel le *T-rex* aux bras réduits, ou par les oiseaux coureurs aux ailes atrophiées, telle l'autruche. Mais oublions Sebulba, et concentrons-nous sur la marche « classique ».

Le modèle bipède

La jambe peut être modélisée par une tige rigide pivotant autour de la hanche. La mécanique montre qu'il existe un pas « naturel », économe en énergie. Considérons un sujet qui marche sur une surface horizontale à vitesse constante. Quelle énergie doit-il dépenser pour maintenir sa vitesse, si l'on néglige la résistance de



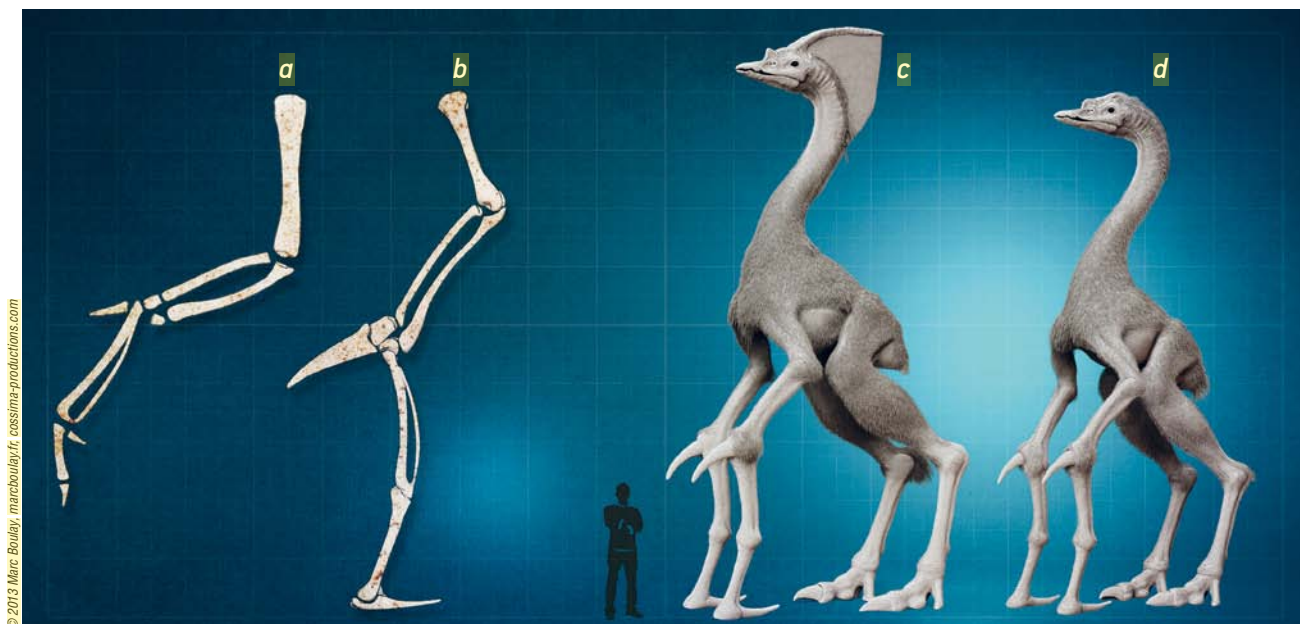
1. LE REEK, MONSTRE IMAGINAIRE de l'univers de *Star Wars*, règne sur l'arène de Géonosis. Malgré ses pattes particulièrement courtes, il court presque aussi vite qu'un rhinocéros et peut charger les jedis jetés dans l'arène.

l'air ? À chaque fois qu'un pied se pose sur le sol, il est momentanément à l'arrêt, alors que le reste du corps poursuit son déplacement. Dès lors, quand ce pied quitte le sol, il faut que toute la jambe soit accélérée vers l'avant afin de rattraper son retard. Ensuite, elle décélère jusqu'au moment où elle se pose à nouveau sur le sol. Pendant ce processus, deux ensembles de muscles antagonistes agissent successivement sur la jambe, chacun d'eux produisant un travail égal à la variation de l'énergie cinétique du membre.

De plus, la marche nécessite de se déséquilibrer vers l'avant. Quand le pied est en appui, la jambe pivote autour de la cheville et, au moment où elle bascule, la seconde jambe avance, prend le relais, et ainsi de suite. Pendant que la jambe se redresse, la vitesse de déplacement diminue et le centre de gravité du corps s'élève, atteignant sa hauteur maximale lorsque la jambe est verticale. En plus du travail nécessaire au mouvement de la jambe, les muscles doivent donc fournir aussi l'énergie gravitationnelle nécessaire à l'élévation du centre de gravité du corps entre chaque pas.

La puissance à fournir par les muscles est donc la somme de deux termes, l'un correspondant à la puissance nécessaire pour mouvoir les jambes, qui subissent une succession d'accélération et de décélération, l'autre traduisant la puissance à fournir pour vaincre la pesanteur. Si l'on allonge le pas à vitesse constante, le premier terme

Lucasfilm Ltd. & TM. Tous droits réservés. Travail numérique par ILM.



© 2013 Marc Boudry, marc.boudry.fr, cossima-productions.com

2. CES GRANDS ANIMAUX IMAGINAIRES quadrupèdes et terrestres (mâle en c et femelle en d) s'inspirent des oiseaux actuels, mais les ailes de ces derniers (squelette en a) ont été transformées par l'artiste en membres antérieurs porteurs (squelette en b).

diminue alors que le second augmente. C'est l'inverse qui se produit si le pas diminue. Le pas optimal minimise la puissance totale à fournir pour se déplacer ; il est proportionnel au produit de la vitesse du marcheur par la période de la jambe, considérée comme un pendule simple. On montre que la puissance dépensée est d'autant plus importante que l'on marche vite, mais aussi que l'on marche lentement, ce qui est plus inattendu. Pour une vitesse de cinq kilomètres par heure, le pas optimal mesure environ 75 centimètres pour un marcheur de taille moyenne et consomme une puissance de 250 watts.

Que faire face à un alien bipède ? Il faut estimer sa foulée pour se faire une idée de sa vitesse de déplacement. Et ne vous fiez pas à son apparence ! Prenons l'autruche : elle a l'air un peu burlesque avec sa tête redressée, et pourtant, elle se déplace deux fois plus vite qu'un être humain grâce à sa longue foulée.

L'autruche est encore plus rapide quand elle court. Quand la vitesse de la marche augmente, la force centrifuge subie par le corps qui tourne autour du pied d'appui augmente aussi. Cette force s'oppose au poids lorsque la jambe est verticale et, quand elle lui est égale, il n'y a plus d'appui au sol. On passe en régime de course. Cette transition est définie de façon formelle quand le rapport entre la force centrifuge et le poids, nommé nombre de Froude, est égal à un. Le déplacement passe alors de la marche à la course, allure pour laquelle c'est l'élasticité des muscles et des tendons des jambes qui prend le relais.

Que devient ce raisonnement si l'alien est quadrupède ? En étudiant les allures de nombreux animaux, le biologiste britannique Robert McNeil Alexander constata que la vitesse de course de deux animaux est identique quand le rapport de la longueur de la foulée à celle de la patte est le même. Il a établi une relation empirique entre la foulée et le nombre de Froude associé à la vitesse de déplacement, valable pour la plupart des animaux bipèdes et quadrupèdes. Cette relation fut d'abord utilisée pour déterminer la vitesse d'animaux disparus, tels les dinosaures non aviens.

Courtes pattes et grandes enjambées : danger !

Pour déterminer la valeur de la foulée relative, il suffit d'évaluer la longueur de la foulée à partir d'empreintes fossiles, et de déterminer la taille par le biais d'ossements fossiles ou de comparaisons adéquates. Nous montrons ainsi que nous aurions pu accompagner à la course un sauropode (herbivore à long cou et longue queue) de taille moyenne, voire un tyrannosaure ! Les calculs indiquent aussi que les sauropodes étaient vraisemblablement aussi agiles que... des éléphants.

En supposant que cette loi empirique soit universelle, la méthode sert aussi à déterminer la vitesse de course d'un alien, par exemple le Reek, féroce quadrupède à cornes lâché dans l'arène de Géonosis où les Jedis et la Princesse Amidala furent précipités par les séparatistes

(*Star Wars, L'Attaque des clones*, 2002). En comparant la bête à la taille des personnages, on peut estimer que la longueur de sa foulée est de l'ordre de quatre mètres, et celle de ses avant-bras de un mètre. D'après la loi empirique évoquée, sa vitesse de course serait voisine d'une trentaine de kilomètres par heure. Le Reek court donc un peu moins vite qu'un rhinocéros, et un très bon athlète humain pourrait le distancer.

Certains biologistes, s'ils ne remettent pas en cause la formule de R. McNeil Alexander, doutent de la pertinence de son utilisation pour les dinosaures (que dire alors des extraterrestres !), car la biomécanique de leur squelette était assez particulière. Il en résulte que leur vitesse réelle était sans doute inférieure à celle d'un mammifère de taille équivalente. Évidemment, pour les aliens marcheurs ou coureurs à plus de quatre pattes, il existe d'autres modèles, inspirés, par exemple, de ceux qui s'appliquent aux hexapodes, un groupe – bien réel – comprenant les insectes, les collemboles et d'autres petits organismes du sol : mais plus le nombre de pattes augmente, plus la coordination est périlleuse et plus les calculs sont complexes ! Quoi qu'il en soit, si vous pouvez espérer distancer un alien à la course, méfiez-vous de ceux qui, malgré de courtes pattes, font de grandes enjambées ! ■

R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay. J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris.