

Merveilleux nombres premiers

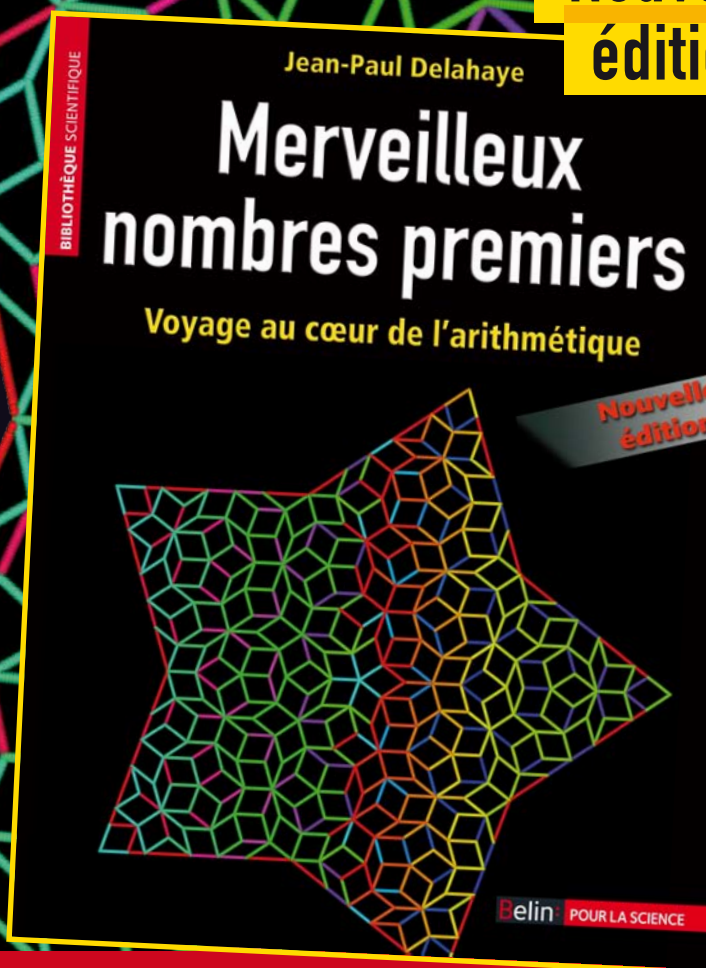
Voyage au cœur de l'arithmétique

Jean-Paul Delahaye

Nouvelle
édition

Les nombres premiers fascinent. Connus dès les débuts de l'arithmétique, ils ont excité la curiosité de milliers de mathématiciens. Ils sont au cœur de la science des nombres, car tout entier se décompose de façon unique en un produit de facteurs premiers. Dans cet ouvrage, l'auteur mêle éclaircissements théoriques et anecdotes piquantes.

Éditions Belin/Pour la Science 2013
296 pages — 28 euros
ISBN 978-2-8424-5117-2



BON DE COMMANDE

à découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • Tél. : 0 805 655 255 • e-mail : pourlasciencevpc@daudin.fr

POUR LA
SCIENCE

☐ Oui, je commande l'ouvrage **Merveilleux nombres premiers** de J.-P. Delahaye.

..... exemplaires × 28,00 € (Réf. 075117) = €
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger) + €
TOTAL À REGLER = €

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____

C.P. : _____ Ville : _____
Pays : _____ Tél. : _____
Pour le suivi client (facultatif)

Je choisis mon mode de règlement :

☐ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*
☐ par carte bancaire

Numéro _____
Date d'expiration _____
Cryptogramme _____

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

E-mail pour recevoir la newsletter *Pour la Science* (à remplir en majuscules).

@

NBRPL428

Offre valable jusqu'au 31.07.13, dans la limite des stocks disponibles.

SCIENCE & FICTION

Les vers de la démesure

De l'imagination des auteurs de science-fiction, sont nés des vers géants. Leur taille, leur poids ou encore leurs contraintes physiologiques leur permettraient-ils vraiment de vivre sur les planètes où ils sont supposés faire la loi ?

Jean-Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

Lombrics, sangsues, ténias : les vers inspirent le dégoût. Souvent associés à des milieux turbides, insalubres, ou à des corps en putréfaction, ils sont tantôt parasites, tantôt charognards. Sur Terre, les espèces vermiformes (par exemple les vers annelés – ou annélides –, et les vers ronds – némathelminthes) regroupent des dizaines de milliers d'espèces. Les vers plats ou plathelminthes comptent à eux seuls environ 20 000 espèces. Aujourd'hui, les vers rampent sur tous les continents et grouillent dans tous les milieux, du fond des océans au fond des intestins... Pas étonnant que la science-fiction ait largement puisé dans ce creuset terrifiant pour entretenir notre dégoût et focaliser nos peurs.

Et les vers de la science-fiction sont d'autant plus effrayants qu'ils sont titanesques ! Les plus connus sont les vers géants de *Dune*, le roman de Frank Herbert (1965), grand classique de science-fiction mis à l'écran par David Lynch (1984). Gigantesques (450 mètres), ces monstres hantent les sables des déserts de la planète Arrakis. Ils ont une tête en forme d'obus et une gueule énorme qui s'ouvre en trois parties, comme les pétales d'une fleur. À l'intérieur de ce gouffre digestif, des rangées de dents et de crochets laissent entrevoir une fin terrible. Ces vers fabriquent la très convoitée Épice géométrique ou « Mélange », une drogue qui prolonge la vie et permet de voyager dans l'espace.

Dans son film *Tremors* (1990), Ron Underwood met également en scène des vers géants des sables d'origine inconnue, qu'il

nomme Graboïdes. Ces féroces carnivores longs d'une dizaine de mètres, munis de tentacules, s'attaquent aux habitants d'un village du Nevada. Les Graboïdes ressemblent beaucoup aux vers de *Dune* : ils détectent leurs proies grâce aux vibrations qu'elles émettent en surface, mais ne peuvent pénétrer les roches dures du sous-sol. Ces vers ont besoin de sédiments meubles pour se déplacer, chasser et se reproduire. Cela pose diverses questions concernant leur morphologie et leur locomotion.

Une question de poids

Comment des monstres de cette taille peuvent-ils se déplacer dans un milieu granulaire ? Et s'agit-il bien de vers, c'est-à-dire d'« invertébrés » ? *A priori* oui, car ils se déplacent par contraction-extension (ou contraction péristaltique, comme les lombrics) plutôt que par reptation horizontale (comme les serpents). Notons que la reptation verticale, quant à elle, est adoptée par les chenilles (larve vermiforme de papillons) qui tordent leur corps verticalement grâce à leurs pattes accrochées au support. Le fait d'avoir un corps cylindrique mou et souple (dépourvu de squelette), constitué d'anneaux mobiles (c'est le cas des annélides) est un avantage adaptatif quand on rampe ou creuse.

Toutefois, les vertébrés vermiformes (dits anguiformes s'il s'agit de « poissons » et serpentiformes pour les tétrapodes), avec leur squelette interne, présentent également d'intéressantes stratégies : chez les serpents, orvets et apodes (un groupe d'amphibiens



1. UN DES NOMBREUX VERS qui peuplent l'imaginaire des cinéastes (Tremors, 1990).



2. CE MONSTRE IMAGINAIRE n'a rien à envier au ver microscopique *Alvinella pompejana* (polychète), découvert au fond de l'océan Pacifique.

sans pattes), les membres sont réduits – voire ont disparu –, et les vertèbres (cervicales, thoraciques ou caudales selon le groupe) sont nombreuses.

Même dotés de nombreux anneaux ou de muscles circulaires leur permettant de se mouvoir dans le sable du Nevada ou de la planète Arrakis, les vers qui y sont présents sont confrontés à un problème important : leur taille et, par conséquent, leur poids. Comment des animaux aussi lourds peuvent-ils se mouvoir dans du sable ? La densité de silice s'oppose à la pénétration du corps. Pour qu'un tube long d'environ 450 mètres et de 80 mètres de diamètre puisse se mouvoir dans le sable, il devrait déplacer plus de deux millions de mètres cubes de sédiment pour avancer de sa longueur !

Surtout que ces vers ne bavent pas... Chez les escargots et les limaces, la bave, lubrifiant naturel et thixotrope (dont la viscosité diminue avec la pression), réduit les frottements et favorise le glissement. Dès lors, il faut imaginer que la gravité sur la planète Arrakis est inférieure à celle qui règne sur Terre, ou que le sable y est composé d'un matériau beaucoup moins dense que la silice. D'aucuns imaginent que ces vers géants se déplacent comme des vis ou des toupies, la rotation le long de leur grand axe favorisant la pénétration dans ce type de substrat.

Outre cette difficulté, il en existe une autre, d'ordre plutôt géologique : pour vivre dans le sable, il en faut une quantité suffisante. Avec des vers de 80 mètres de diamètre, l'épaisseur minimale de sable doit être d'une centaine de mètres. Cette

valeur nécessite un taux d'érosion élevé et des montagnes massives susceptibles de produire un tel volume de sédiments. La planète Arrakis fut-elle naguère recouverte d'eau – comme le suggère la prophétie des Fremens, les habitants d'Arrakis ? Dès lors, les vers géants des sables auraient des ancêtres aquatiques. De fait, on imagine plus facilement de tels monstres se déplacer sous l'eau que dans le sable !

Vers sur Terre

Sur Terre, ou plutôt dans les mers, des vers géants existent aussi. Bien réels, ils se nomment *Lineus longissimus* et sont des annélides qui peuvent atteindre 55 mètres de longueur. C'est le record du plus long animal actuel, loin devant la baleine bleue (33 mètres). À cause de la pesanteur, les animaux terrestres sont aujourd'hui plus petits. Notons tout de même que par le passé, certains sauropodes – dinosaures à long cou et longue queue – devaient mesurer plus de 55 mètres ! Sur terre, le ver le plus long est le lombric avec un record de trois mètres pour certains spécimens d'Amérique centrale et du Sud. Ces annélides, qui brassent et aèrent sans cesse la terre, sont essentiels pour les sols, comme l'a bien expliqué Darwin dans son ouvrage *La Formation de la terre végétale par l'action des vers de terre* (1881).

Ils correspondent même à la biomasse terrestre la plus importante (jusqu'à cinq tonnes par hectare dans certains champs non traités). En taille cependant, les lombrics ne dépassent pas leurs cousins marins, car l'eau

limite les effets de la pesanteur et autorise certains organismes plus grands.

Les concepteurs du jeu vidéo *Last Planet* ont imaginé des vers géants originaux qui vivent dans la neige. L'eau solide (à moins qu'il ne s'agisse de neige carbonique) joue ici le rôle de substrat meuble (si la neige n'est pas trop tassée ou gelée), mais elle pose aussi des problèmes de thermorégulation : dans le froid, comment ces vers géants des neiges peuvent-ils être si actifs, rapides et agressifs ? Leur taille permet-elle de conserver par inertie une chaleur minimale, comme ce fut peut-être le cas des grands dinosaures sauropodes ?

Une question que ne s'est pas posée Georges Lucas, père de *Star Wars* : dans *L'Empire contre-attaque* (1980), le Faucon Millenium, vaisseau spatial de Han Solo, est avalé par un Exogorth, sorte de limace géante à dents broyeuses et dont la tête est estimée à 300 mètres de diamètre ! Cet improbable ver géant de l'espace vit dans un grand astéroïde transformé pour l'occasion en gruyère. En cela il rappelle les magnifiques vers géants mangeurs de pierre (les biologistes parlent de durophagie) dans *Gears of War*, autre jeu vidéo, sauf que ces derniers sont dotés de dents broyeuses à l'intérieur même du corps ainsi que de plusieurs cœurs. L'Exogorth a beau être démesuré, on est en droit de se demander comment un tel organisme peut respirer dans le vide. Décidément, *Star Wars* est une saga à couper le souffle ! ■

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

ART & SCIENCE

Un éléphant qui a de l'allure

Pour leurs œuvres animalières, les artistes modernes bénéficient des études expérimentales sur la locomotion menées depuis la fin du XIX^e siècle. Pourtant, les hommes préhistoriques les surpassaient en réalisme !

Loïc MANGIN

États-Unis, un peu avant 1878. Le Britannique Eadweard Muybridge (1830-1904) est devenu un photographe réputé, notamment grâce à son panorama à 360° de la ville de San Francisco. Ses paysages et ses reportages sont célèbres et il est sollicité par de nombreux riches clients. L'un d'eux est l'homme d'affaires et politicien Leland Stanford, fondateur de l'université éponyme, qui est en outre passionné de chevaux. Il informe le photographe d'un débat animé sur le galop du cheval. En effet, le physiologiste et photographe français Étienne-Jules Marey a affirmé en 1872 qu'à un moment du galop (une des allures du cheval avec le pas, le trot...), aucune des pattes de l'animal ne touche le sol. La communauté scientifique conteste cette idée. Muybridge s'intéresse au problème et donne raison à Marey le 18 juin 1878, grâce à des photographies prises par une série d'appareils disposés le long d'une piste.

Depuis ces travaux pionniers, la locomotion des animaux a été étudiée en détail et l'on peut imaginer que les artistes ont mis à profit ces connaissances pour s'assurer du réalisme des animaux dans leurs œuvres. Est-ce vraiment le cas ? C'est ce qu'ont voulu savoir Gabor Horvath, de l'Université Eötvös à Budapest, et ses collègues.

Pour ce faire, les chercheurs ont analysé 1 000 représentations de l'époque préhistorique jusqu'à nos jours et se sont intéressés

aux erreurs dans la disposition des membres. Étaient-elles plus fréquentes avant les travaux de Muybridge ? Étaient-elles plus nombreuses encore dans l'art de nos ancêtres ? Parmi les œuvres sélectionnées – peintures ou sculptures –, beaucoup correspondent à des chevaux, mais on trouve aussi des bovins, des cerfs, des antilopes, des girafes et même des éléphants. Parmi ces derniers figure celui du site Tadrat Acacus, à l'Ouest de la Libye (voir la figure a) qui aurait été réalisé entre le XII^e et le V^e millénaire avant notre ère.

Les artistes ont certes bien appris des progrès de la science, mais ils restent en retard par rapport aux hommes préhistoriques.

On sait aujourd'hui que la plupart des quadrupèdes se déplacent *via* des séquences de mouvements identiques pour les membres de gauche et de droite, à un déphasage près. Pour le pas, la séquence la plus répandue des membres en contact avec le sol est la suivante : postérieur gauche (PG), antérieur gauche (AG), postérieur droit (PD) et antérieur droit (AD). Elle assure le maximum de stabilité et a été adoptée par la plupart des espèces, à l'exception notable des primates.

Pour les œuvres modernes, les contacts avec le sol furent faciles à identifier. En revanche, dans le cas des représentations préhistoriques, ce fut parfois plus compliqué. Ainsi,

pour l'éléphant libyen, s'agit-il des membres PD, AD et AG (figure b), des membres PG, PD et AD (figure c) ou des membres PD et AD (figure d) ? En l'occurrence, la réponse importe peu, car les trois postures (définies par les points de contact au sol et par la position des pattes) sont incompatibles avec la marche. Étonnamment, elles pourraient correspondre à un trot, mais l'éléphant ne trotte pas : même à pleine vitesse, son allure reste celle de la marche.

L'équipe de G. Horvath a déterminé la proportion d'œuvres erronées pour trois périodes : l'époque moderne avant les travaux de Muybridge, celle ultérieure et l'ère préhistorique. Les taux d'erreurs que les chercheurs hongrois ont trouvés sont respectivement de 83,5, 57,9 et... 46,2 pour cent ! Précisons qu'une disposition au hasard des membres se traduirait, selon les auteurs, par un taux d'erreur de 73,3 pour cent. Ainsi, les artistes ont certes bien appris des progrès de la science, mais ils restent en retard par rapport aux hommes préhistoriques. Comment expliquer ces résultats ? Une hypothèse est que nos ancêtres étaient très attentifs aux animaux qu'ils côtoyaient. De fait, ils les chassaient, ce que ne font plus les artistes modernes. Dommage pour le réalisme ! ■

G. Horvath et al., *Cavemen were better at depicting quadruped walking than modern artists : erroneous walking illustrations in the fine arts from prehistory to today*, *PLoS ONE*, vol. 7, e49786, 2012.