

À LIRE AUSSI...

Destination Systèmes dynamiques avec Poincaré

Aurélien Alvarez (Dir.)
Réf. 74650707*

Prévoir l'avenir, calculer le futur... Vraiment ? ! Prédire le devenir d'un système en évolution au cours du temps n'est pas chose facile ! Henri Poincaré s'est très tôt passionné pour les systèmes dynamiques.

Aujourd'hui, les mathématiciens étudient beaucoup de systèmes dynamiques de natures bien différentes les uns des autres...

Éditions Le Pommier 2013 – 160 pages
19 euros – ISBN 978-2-7465-0707-4

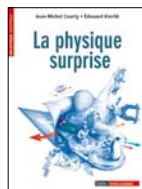
se voiler la face. Tempêtes, tremblements de terre et autres tsunamis ont certes une origine naturelle, mais les dégâts considérables qu'ils provoquent sont à mettre au crédit des sociétés humaines. Nous sommes des fabricants de catastrophes, pour le coup plus si « naturelles » que ça...

Éditions Le Pommier 2014 – 312 pages
23 euros – ISBN 978-2-7465-0679-4

La physique surprise

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlick

Réf. 84245121



Passionnés de physique et curieux de tout, Jean-Michel Courty et Édouard Kierlick vous invitent à une nouvelle promenade sur ces chemins de traverse dans un langage accessible, simple et imagé, sans jargon ni formules. Avec eux, laissez-vous surprendre par un phénomène physique que vous avez déjà côtoyé sans même le remarquer.

Éditions Belin-Pour la Science 2013
184 pages – 24 euros
ISBN 978-2-8424-5121-9

Mathémagic !

David Acheson
Réf. 70117686



De pi au pendule chaotique, de Pythagore à Andrew Wiles, embarquez pour une fascinante balade au pays des mathématiques ! De savoureuses illustrations achèveront de convaincre le profane comme l'initié qu'il s'agit là d'un des livres les plus réjouissants jamais écrits sur le sujet.

Éditions Belin 2013 – 176 pages
15 euros – ISBN 978-2-7011-7686-4

Des catastrophes... « naturelles » ?

Virginie Duvat
et Alexandre Magnan
Réf. 74650679*

Xynthia, Katrina, Fukushima... Penser que les catastrophes naturelles sont la conséquence des colères de la nature et que nous n'y pouvons rien, c'est

Les énigmes mathématiques du 3^e millénaire

Keith Devlin
Réf. 74650704*

Éditions Le Pommier 2013
416 pages – 12 euros
ISBN 978-2-7465-0704-3



La complexité, vertiges et promesses

Réda Benkirane
Réf. 74650703*

Éditions Le Pommier 2013
416 pages – 12 euros
ISBN 978-2-7465-0703-6



Le cannabis ?

Marina Julienne
Réf. 70116380

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros
ISBN 978-2-7011-6380-2



La procréation assistée ?

Lise Barnéoud
Réf. 70116144

Éditions Belin 2013
80 pages – 19 euros
ISBN 978-2-7011-6144-0



BON DE COMMANDE

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 : pourlascience@daud.fr

POUR LA SCIENCE

☐ Oui, je commande les livres présentés dans la sélection de Pour la Science. Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90€ France – 12€ étranger)		+
Total à régler		= €

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____
C.P. : _____ Ville : _____
Pays : _____ Tél. : _____
E-mail : _____
@ _____
*pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscules).

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

Tous ces livres sont également disponibles en librairie.

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 ☐.

SCIENCE & FICTION

Le retour des Titans

Quand les scientifiques se penchent sur certaines productions cinématographiques, ils montrent que la science fait parfois la part trop belle à la fiction !

Roland Lehoucq et Jean-Sébastien Steyer

Si vous vous êtes un jour demandé à quoi ressemblerait une confrontation entre Goldorak et Godzilla, vous avez sans doute adoré *Pacific Rim*, film de Guillermo del Toro sorti sur les écrans durant l'été 2013. Des monstres géants issus d'un autre univers – les kaijus – piétinent sans vergogne les plus grandes cités du monde tandis que des robots titanesques – les jaegers – leur donnent la réplique, utilisant des cargos en guise de gourdin. Si jaegers et kaijus sont d'incontestables réussites esthétiques, nul n'est dupe quant à leur caractère plausible. Essayons de quantifier l'écart qui sépare nos techniques de celles nécessaires pour réaliser de tels Titans.

Le jaeger : un poids lourd

Le principal jaeger du film, Gipsy Danger, a des dimensions impressionnantes. Il mesurerait 88 mètres de hauteur et pèserait 6 400 tonnes. Ces caractéristiques sont-elles cohérentes ? Si l'on considère qu'il est environ 50 fois plus haut qu'un humain, et qu'il en a grossièrement les proportions, il est 50 fois plus large, plus haut, plus profond, soit un volume $50 \times 50 \times 50$ fois plus important. Pour déterminer la masse du jaeger, il faut aussi connaître sa densité, qu'on imagine sans aucun doute plus élevée que celle d'un corps humain. Pour s'en faire une idée, rappelons que le robot humanoïde Asimo élaboré par la Société Honda et dont

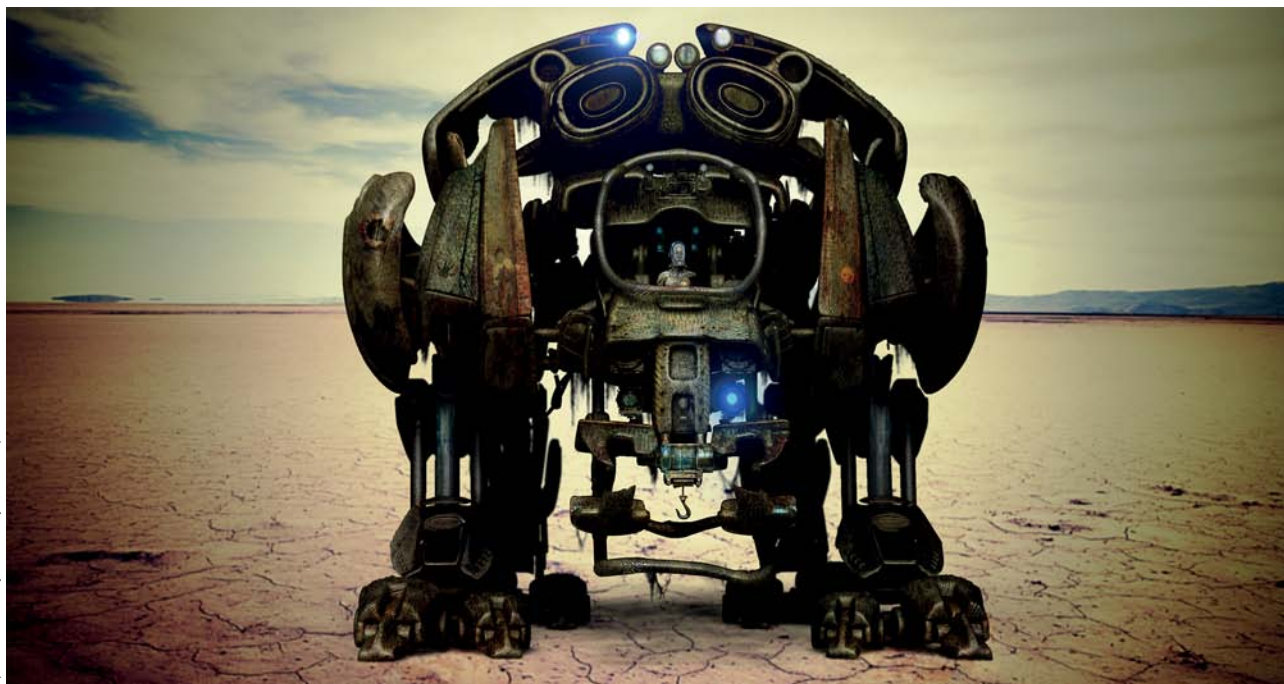
la première version date de 2000, mesure 1,3 mètre et pèse 54 kilogrammes, quasiment le double d'un jeune humain de cette taille. Ayant un volume voisin de celui d'un humain de sa taille, Asimo a donc une densité double. Mais la structure d'un jaeger devant être très résistante, et donc riche en métaux, une densité au moins trois fois supérieure à celle d'un humain paraît raisonnable.

Ainsi, la masse de Gipsy Danger serait au moins égale à 26 000 tonnes. Par conséquent, la masse annoncée pour ce jaeger ne correspond pas à la hauteur, que l'on peut évaluer lors d'une scène de combat à Hong Kong : quand il passe près d'un immeuble, le sommet de la tête de Gipsy Danger atteint facilement le 25^e étage. Les jaegers sont donc des monstres de métal, en comparaison desquels le plus gros robot marcheur du monde fait figure de nain : Tradinno est un robot-dragon de 15 mètres de long pesant 11 tonnes et dont les ailes font 12 mètres d'envergure. Il est visible au Drachenstich, une fête folklorique qui se tient chaque année dans le village de Furth im Wald, en Bavière. Bien que capable de cracher du feu, il ne ferait pas le poids face à un jaeger !

Avoir un robot géant ne suffit pas. Encore faut-il le conduire sur les lieux du combat. Compte tenu des dimensions d'un jaeger, la tâche n'est pas aisée. Au début du film, Gipsy Danger sort d'un hangar qui ressemble beaucoup au VAB (*Vehicle Assembly Building*), le grand bâtiment (160 mètres de hauteur pour 218 mètres de longueur et



1. LE FILM *PACIFIC RIM* met en scène des robots géants, qui auraient bien des difficultés à se mouvoir dans la réalité !



2. CET EXOSQUELETTE de taille modeste est moins gourmand en énergie et donc plus réaliste que les robots géants de *Pacific Rim*. Dans un futur plus ou moins lointain, il pourrait servir à explorer les fonds marins, des milieux hostiles pour les humains ou avoir des applications militaires.

158 mètres de largeur] du Centre spatial Kennedy de la NASA où étaient assemblées les fusées *Saturn V* du programme *Apollo*. Le jaeger repose d'ailleurs sur un véhicule à chenilles qui ressemble à l'engin massif (2 700 tonnes !) utilisé pour le transport des lanceurs spatiaux américains jusqu'au pas de tir. Durant le combat qui a lieu à Hong Kong, la solution adoptée est différente : les jaegers sont transportés par voie aérienne, grâce à des hélicoptères porteurs. Plusieurs plans montrent huit hélicoptères emportant un jaeger, ce qui paraît un peu optimiste... Le plus gros hélicoptère de transport – le Mil Mi-26 russe – étant capable d'emporter 20 tonnes de charge utile, il faudrait... 320 hélicoptères si Gipsy Danger pèse les 6 400 tonnes annoncées, et 1 300 si notre estimation de sa masse est correcte !

Un géant handicapé

Le gigantisme du jaeger pose un curieux problème : le simple fait de soulever un de ses bras est un exploit. En se fondant sur les proportions d'un humain, dont le bras fait 40 pour cent de la hauteur, celui de Gipsy Danger doit mesurer environ 35 mètres. De plus, un bras humain pèse à peu près six pour cent de la masse du corps, ce qui donne au jaeger un bras pesant plus de 1 500 tonnes, plus du double de la masse d'un Airbus A380 à pleine charge. On comprend mieux que ses coups de poing soient dévastateurs.

Encore faut-il qu'il soit capable de mettre ce bras en mouvement. En effet, un calcul simple montre que le couple nécessaire pour simplement soulever ce bras est de l'ordre de 260 millions de newtons-mètres. On peut calculer que lever le bras de Gipsy Danger nécessiterait l'équivalent de 215 000 moteurs d'un bolide telle la Bugatti Veyron. Reste à espérer que si jamais la Terre est un jour attaquée par des monstres géants, nous aurons eu le temps d'inventer des moteurs capables de mettre ces robots en mouvement...

Quant à l'énergie nécessaire à mouvoir un jaeger, elle soulève une autre question. Dans le film, il est dit que Gipsy Danger dispose d'un réacteur nucléaire à « double cœur ». En la matière, la comparaison adéquate est à faire avec les réacteurs nucléaires maritimes utilisés sur les porte-avions, les sous-marins, les brise-glaces ou certains navires marchands. L'avantage de la propulsion nucléaire est de ne pas nécessiter d'oxygène.

Ainsi, les sous-marins classiques sont contraints de remonter en surface après quelques dizaines d'heures de plongée pour alimenter leurs moteurs diesel en oxygène, ce qui leur permet de recharger leurs batteries électriques. Comme un sous-marin à propulsion nucléaire, Gipsy Danger peut donc se déplacer longuement sous l'eau, ce qui lui sera bien utile lorsqu'il interviendra pour détruire la brèche au fond de l'océan Pacifique, par laquelle sortent les kaijus. De plus, ces réacteurs sont beaucoup plus

compacts que les réacteurs classiques, car ils fonctionnent avec un combustible plus enrichi en uranium 235 que le combustible d'une centrale classique (de 20 à plus de 96 pour cent, au lieu de 4 pour cent dans une centrale nucléaire). Selon la taille du navire, la puissance varie de 50 à près de 500 millions de watts. Est-ce suffisant pour alimenter Gipsy Danger ? Pour soulever un kaiju de 8 000 tonnes à 50 mètres de hauteur en une seconde, il doit disposer d'une puissance de près de quatre milliards de watts ! L'équivalent d'une petite dizaine de gros réacteurs nucléaires maritimes.

On l'aura compris, les robots géants de *Pacific Rim* ne sont guère raisonnables : ils sont trop grands, trop lourds, trop gourmands en énergie. On ne peut en faire le reproche à Guillermo del Toro qui, après tout, produit du divertissement sans prétention. L'intérêt de l'analyse scientifique de son film est ailleurs : comprendre que, grâce aux sciences, nous pouvons décoder le monde, fût-il imaginaire ! ■

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

Ils donneront une conférence au Palais de la Découverte, à Paris, le jeudi 22 mai 2014 à 14 heures.

Retrouvez les articles de J.-S. Steyer et R. Lehoucq sur www.pourlascience.fr



ART & SCIENCE

La jupe des derviches : et pourtant, elle tourne...

Jean-Léon Gérôme s'est attaché à rendre compte de la forme qu'adopte la jupe des derviches tourneurs lorsqu'ils dansent. Des physiciens ont récemment mis en évidence les forces qui façonnent la jupe en rotation. La scène représentée par le peintre est-elle compatible avec leur modélisation ?

Loïc MANGIN

En 1852, le peintre Jean-Léon Gérôme (1824-1904) est sollicité par Alfred Émilien, le Surintendant aux Beaux-Arts de l'empereur Napoléon III, pour une toile monumentale qui sera exposée lors de l'Exposition universelle de 1855. Le tableau, qui représente l'instauration de la *Pax Romana* par Auguste et la naissance du Christ, est aujourd'hui visible au Musée d'Amiens où il a été transféré en 1864.

Ce *Siècle d'Auguste et la naissance du Christ* reçut un accueil mitigé de la part de la critique, mais il rapporta au peintre une somme assez confortable (20 000 francs de l'époque) pour lui permettre de s'offrir une escapade en Orient, notamment à Constantinople, en Turquie, dès 1853. Il voyagea avec l'acteur français Edmond Got. Le peintre retourna en Turquie l'année suivante et, en 1856, gagna l'Égypte.

Ces séjours pendant lesquels il remplit de nombreux carnets de dessins, inspirèrent notamment Gérôme qui consacra de nombreuses toiles « orientalistes » à divers aspects de la religion musulmane, à des scènes de genre, ainsi qu'à des paysages nord-africains. Citons le *Bain turc*, le *Charmeur de serpents*, le *Marchand de tapis au Caire*...

Sur l'une de ces peintures, *Le Derviche tourneur* (1889), il représente un

des membres de l'ordre Melveli, un ordre musulman soufi fondé à Konya (Turquie) au XIII^e siècle par Jalal al-Din Rumi. Cette confrérie se développa essentiellement dans l'Empire ottoman jusqu'en 1920 et s'étendit notamment aux Balkans, en Syrie et en Égypte. L'ordre fut déclaré hors-la-loi en Turquie en 1925, puis fut de nouveau légalisé en 1950.

Le terme « derviche » (*pauvre* ou *mendiant* en persan) désigne un individu qui suit la voie ascétique soufie, tandis que

La forme de la jupe n'apparaît dans les simulations qu'en tenant compte de la force de Coriolis, celle qui explique la formation des cyclones.

l'épithète *tourneur* renvoie à la danse rituelle de l'ordre, le *samâ'* (ou *sema*). Lors de celle-ci, les disciples, les bras croisés, les mains sur les épaules, se mettent à tourner lentement, puis étendent les bras, la main droite tournée vers le ciel et la main gauche tournée vers la terre. Dans cette position, le derviche symbolise l'axe de l'Univers. Tout en tournant sur eux-mêmes, les danseurs tournent autour de la salle.

Deux premières danses sont effectuées en commun, puis sont suivies d'une troisième individuelle : c'est vraisemblablement celle que l'on distingue sur le tableau de

Gérôme. Précisons que l'islam orthodoxe ne reconnaît pas cette pratique qui a été inscrite au patrimoine culturel immatériel de l'humanité par l'UNESCO en 2008.

Pendant la rotation des danseurs, leurs jupes blanches tournent et dessinent un cône parcouru d'ondes du tissu. De ce point de vue, le tableau est-il réaliste ? Des éléments de réponse sont apportés par les travaux de Martin Michael Müller, de l'Université de Lorraine, à Metz, de Jemal Guven, de l'Université autonome de Mexico et de James Hanna, de l'Institut polytechnique de Virginie, aux États-Unis. Ils ont étudié la forme que prennent les jupes lors du mouvement giratoire des danseurs.

En mouvement (on trouve de nombreuses vidéos sur Internet), ce vêtement adopte une forme stable constituée de trois faces légèrement concaves (elles sont parfois quatre, voire plus) et séparées par des crêtes allant de la ceinture au bord de la jupe. Ces plis sont comme les arêtes d'une pyramide (le plus souvent un tétraèdre) dont le sommet coïncide avec le ventre du danseur. Les danseurs et donc les jupes font environ un tour par seconde, tandis que la forme pyramidale tourne à une fréquence inférieure.

Pour comprendre cette forme, les physiciens ont étudié un modèle simplifié où l'on néglige la gravité, la rigidité de la

matière de la jupe, son interaction avec l'air environnant... Ils ont alors découvert que cette forme n'apparaît dans leurs calculs que si l'on tient compte de la force de Coriolis, une force d'inertie subie par tout corps en mouvement dans un système en rotation. La force de Coriolis associée à la rotation de la Terre explique par exemple le sens de rotation de courants atmosphériques et océaniques de grande ampleur, tels les cyclones.

Elle intervient également dans la forme des jupes. De fait, quand cette force de Coriolis est supprimée du modèle des physiciens, la forme pyramidale s'évanouit !

Revenons au tableau de Gérôme. La jupe représentée est-elle conforme aux résultats des physiciens ? C'est difficile à dire, mais la forme pyramidale ne semble pas respectée. Toutefois, selon M. M. Müller, pour répondre avec précision, on aurait besoin d'informations sur les

mouvements du danseur qui ont précédé l'« instantané » peint. Il est possible que le derviche n'ait pas tourné à une vitesse constante auparavant, ce qui expliquerait la perturbation observée du motif en tétraèdre. À la décharge du peintre, on imagine mal faire poser un derviche en pleine action ! ■

J. Guven *et al.*, *Whirling skirts and rotating cones*, *New Journal of Physics*, vol. 15, 113055, 2013.

