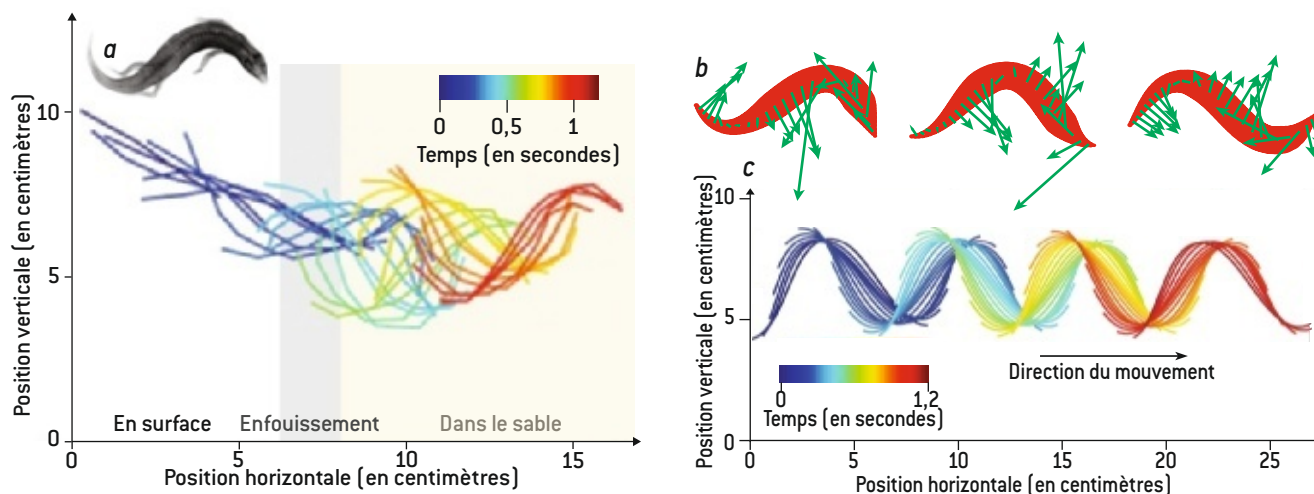




6. LES MOUVEMENTS DU DOS D'UN POISSON DES SABLES filmé à l'aide d'une caméra rapide à rayons X (a) et de son homologue virtuel (b-d). Après un déplacement très rapide en surface, le reptile s'enfouit tout aussi vite, puis commence à onduler sous le sable en ralentissant (a). Le mouvement d'un lézard simulé dans un bac contenant environ 150 000 perles de verre de trois millimètres de diamètre ressemble à celui d'un animal réel (c). Les forces de frottement (b, en vert) sont principalement perpendiculaires à l'axe du corps : ce sont elles qui propulsent le reptile. Le milieu est quant à lui solide (d, en bleu foncé), sauf dans une petite zone autour du lézard (particules plus rouges).

et la prédiction d'une nage optimale tentante. Toutefois, ne concluons pas trop vite. L'approche choisie présente quelques inconvénients. D'une part, changer les paramètres du modèle, tels que la taille des grains de sable, nécessite à chaque fois de nouvelles mesures empiriques. D'autre part, rien ne prouve que nos hypothèses (comme celle selon laquelle les différents segments du lézard n'influencent pas les uns sur les autres) sont judicieuses, de sorte que la concordance n'est peut-être que fortuite.

Des reptiles virtuels aux robots

Nous avons donc adopté une autre approche utilisant les techniques de dynamique moléculaire décrites plus haut. Après avoir montré que ce modèle présentait une bonne capacité prédictive du comportement du sable pour tout un éventail de conditions expérimentales, nous avons créé un poisson des sables virtuel qui combinait les caractéristiques de déplacement expérimentales et les forces de frottement calculées dans le modèle de dynamique moléculaire.

Nous avons trouvé une bonne concordance avec l'efficacité de l'onde expérimentale et celle prédite dans notre premier modèle : la dynamique moléculaire confirme l'existence d'une nage optimale du poisson des sables. De plus, elle donne accès à des

informations à l'échelle de la particule : nous avons visualisé l'écoulement des particules autour du poisson des sables et estimé la force s'exerçant sur différents éléments. Des travaux complémentaires avec ce modèle nous permettront d'étudier en détail les lois physiques qui déterminent la poussée et la traînée pour lesquelles l'efficacité de l'onde et la compacité deviennent indépendantes.

Test ultime, nous avons conçu, à l'aide des données de la dynamique moléculaire, un modèle physique du poisson des sables, un robot qui nage dans un matériau granulaire. Ce robot est une chaîne de sept segments de cinq centimètres de long, chacun contenant un servomoteur dont l'oscillation est ajustée pour que l'ensemble se déplace en ondulant. Nous avons aussi augmenté la taille des particules granulaires à six millimètres, pour éviter qu'elles pénètrent dans les moteurs et simplifier la modélisation (le poisson des sables se déplace par ailleurs avec la même efficacité d'onde dans des particules plus grosses, et les simulations obtiennent aussi le même résultat). Nous avons obtenu un bon accord entre l'expérience avec le robot et sa simulation. Lui aussi présente une efficacité optimale de l'onde, tant dans la simulation que dans l'expérience, mais de 0,3 et non 0,5 comme le poisson des sables. Ce résultat est probablement dû au nombre fini de segments du robot : dans la simulation, quand on aug-

mente le nombre de segments de façon à ce que le corps soit presque lisse, l'efficacité optimale de l'onde avoisine 0,5.

Nous avons étudié deux environnements distincts où la locomotion par ondulation est efficace. Chez les serpents se déplaçant sur le sol, un frottement anisotrope du ventre engendre une poussée qui surpasse la traînée, alors que dans le sable, l'animal engendre une poussée en exploitant avec ses flancs les frottements de type liquide des milieux granulaires. Bien que les lois de traînée soient différentes dans ces deux régimes, les techniques de modélisation de la force de résistance, issues de l'hydrodynamique, s'appliquent avec succès dans les deux cas.

Ces travaux soulèvent plusieurs questions : d'abord, nous n'avons exploré les mouvements que dans deux dimensions. Qu'apporte la troisième ? Ensuite, que se passe-t-il si la forme de l'animal ou de l'onde change ? Quelles sont les limites métaboliques et musculaires des animaux étudiés ? Que se passe-t-il dans un matériau mouillé ? Avec des modèles améliorés des environnements et des organismes, ainsi que de leurs interactions, notre approche aiderait à trouver des conceptions de dispositifs robotiques sans membres, capables de se déplacer sur un terrain complexe plus vite et plus efficacement que leurs homologues naturels. ■

Des livres à offrir ou à s'offrir à découvrir et à commander sur www.pourlascience.fr



À contre-idées • Didier Nordon

Trouver du comique dans une idée sérieuse (et inversement), du local dans une idée générale (et inversement), de l'absurde dans une idée sensée (et inversement), de l'esprit littéraire au sein des sciences (et inversement). Au fil de ses billets d'humeur, Didier Nordon s'ingénie à bousculer les idées reçues et tout ce qui semble évident et... qui ne l'est pas. Un livre décapant, pour jouer avec les mots... et les idées.

224 pages • 19 euros • 075110

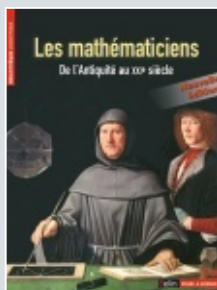


Au nom de l'infini • Jean-Michel Kantor, Loren Graham

Peut-on parler de mathématiques, de religion, de politique dans un même ouvrage ? Oui, et c'est le défi qu'ont relevé le mathématicien Jean-Michel Kantor et l'historien des sciences Loren Graham, du MIT.

Ce livre touchera même ceux que les mathématiques laissent indifférents, voire effraient. Les auteurs éclairent les liens étroits entre la vie – avec ses plaisirs et ses drames – et l'œuvre de ces hommes et ces femmes qui ont marqué le XX^e siècle par leur créativité en mathématiques.

288 pages • 24 euros • 075107



Les mathématiciens • Collectif

Autant artistes que scientifiques, les mathématiciens sont en proie à leurs passions, leurs interrogations, leurs doutes, leurs tourments, leurs angoisses, et la hantise de la beauté. « Nul ne peut être mathématicien s'il n'a une âme de poète », disait Sophie Kowalevskaja. Les mathématiciens doivent faire preuve de rigueur et de ténacité, mais surtout d'inventivité. Maudissant chaque jour leur impuissance à faire reculer les frontières du savoir, ils s'émerveillent pourtant, regardant derrière eux, de l'ampleur du chemin parcouru.

280 pages • 24 euros • 075109



La physique buissonnière • Jean-Michel Courty, Édouard Kierlik

La nature est pleine de surprises pour qui veut bien s'aventurer hors des sentiers battus. Passionnés de physique et curieux de sciences, les auteurs vous invitent à une promenade sur ces chemins de traverse. Avec eux, laissez-vous surprendre par un phénomène que vous avez déjà côtoyé sans même le remarquer. Suivez-les pour découvrir et comprendre cette physique du quotidien.

160 pages • 22 euros • 075105

La supraconductivité à l'ère industrielle

Certains matériaux perdent toute résistance électrique au-dessous d'une certaine température. Ce phénomène découvert il y a tout juste 100 ans a des applications méconnues, mais de plus en plus présentes.

Pascal Tixador et Philippe Lebrun

L'ESSENTIEL

- ✓ En ce mois d'avril 2011, la découverte de la supraconductivité a 100 ans.
- ✓ Les applications de la supraconductivité sont limitées par le coût et la complexité de la cryogénie requise.
- ✓ La découverte en 1986 des premiers supraconducteurs à haute température critique a fait croire à une révolution technologique imminente.
- ✓ Cette révolution a pris du retard, mais les applications de la supraconductivité (imagerie médicale, électrotechnique, etc.) se multiplient.

© Shutterstock/Levent Konuk

Dans le monde, plus de 26 000 appareils d'IRM (imagerie par résonance magnétique) fournissent de précieux diagnostics médicaux. L'IRM est maintenant familière au grand public (*voir la figure 1*), mais combien savent qu'une bobine supraconductrice fonctionnant à -269°C , près du zéro absolu (0 kelvin ou $-273,15^{\circ}\text{C}$), est à la base de ce remarquable équipement médical ?

Plus généralement, les applications de la supraconductivité, phénomène extraordinaire découvert il y a 100 ans, restent méconnues, car discrètes. C'est l'occasion de passer en revue quelques-unes des utilisations les plus importantes des matériaux supraconducteurs : imagerie médicale, puissants aimants pour la physique des particules, détection et mesure de champs magnétiques infimes, transport de l'électricité, conception de circuits quantiques.

Mais commençons par rappeler ce qu'est la supraconductivité, comment elle a été découverte et quelles sont les principales propriétés des matériaux supraconducteurs. Cela nous permettra de comprendre les difficultés qui ont can-

tonné la supraconductivité à des niches particulières.

L'histoire commence dans une petite ville universitaire des Pays-Bas, Leyde, qui devint le 10 juillet 1908 l'endroit le plus froid au monde. Heike Kammerlingh Onnes (1853-1926) y avait réussi, le premier, à liquéfier de l'hélium, donc à atteindre la température record de 4,2 kelvins (-269°C). La liquéfaction de ce gaz découvert en 1895 faisait l'objet d'une compétition internationale : c'était le dernier des « gaz non condensables » qui résistait à la liquéfaction, après celle de l'hydrogène en 1898.

En ayant accès à l'hélium liquide, Kammerlingh Onnes pouvait étudier la résistivité des métaux aux très basses températures. Or le 8 avril 1911, Gilles Holst, un étudiant de Kammerlingh Onnes, qui sera l'un des fondateurs du Centre de recherche de *Philips* et son premier directeur, constata que la résistance électrique du mercure placé dans un capillaire en verre devenait brusquement non mesurable au-dessous de 4,15 kelvins. Après de multiples et méticuleuses vérifications, tant le phénomène paraissait extraordinaire, le mercure