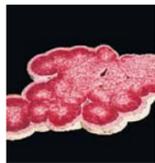




Comment Alzheimer se propage
Selon des travaux américains, les lésions s'étendent d'un neurone à l'autre comme une infection. C'est la diffusion d'une protéine anormale, dite tau, qui est en cause. Une piste pour de nouvelles cibles thérapeutiques. **PAGE 2**



Des bijoux sans écrin
Des centaines de milliers de minéraux, objets précieux et échantillons du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris – hérités de trois siècles et demi d'expéditions scientifiques –, attendent, faute de moyens, d'être exposés au public. **PAGE 3**



Lascaux pourra partir en voyage
Une copie en kit de la grotte (Dordogne) est en cours, utilisant des techniques de relevés et de reproduction d'une rare précision. Après une exposition à Bordeaux, à l'automne, elle s'envolera pour une tournée internationale. **PAGE 7**

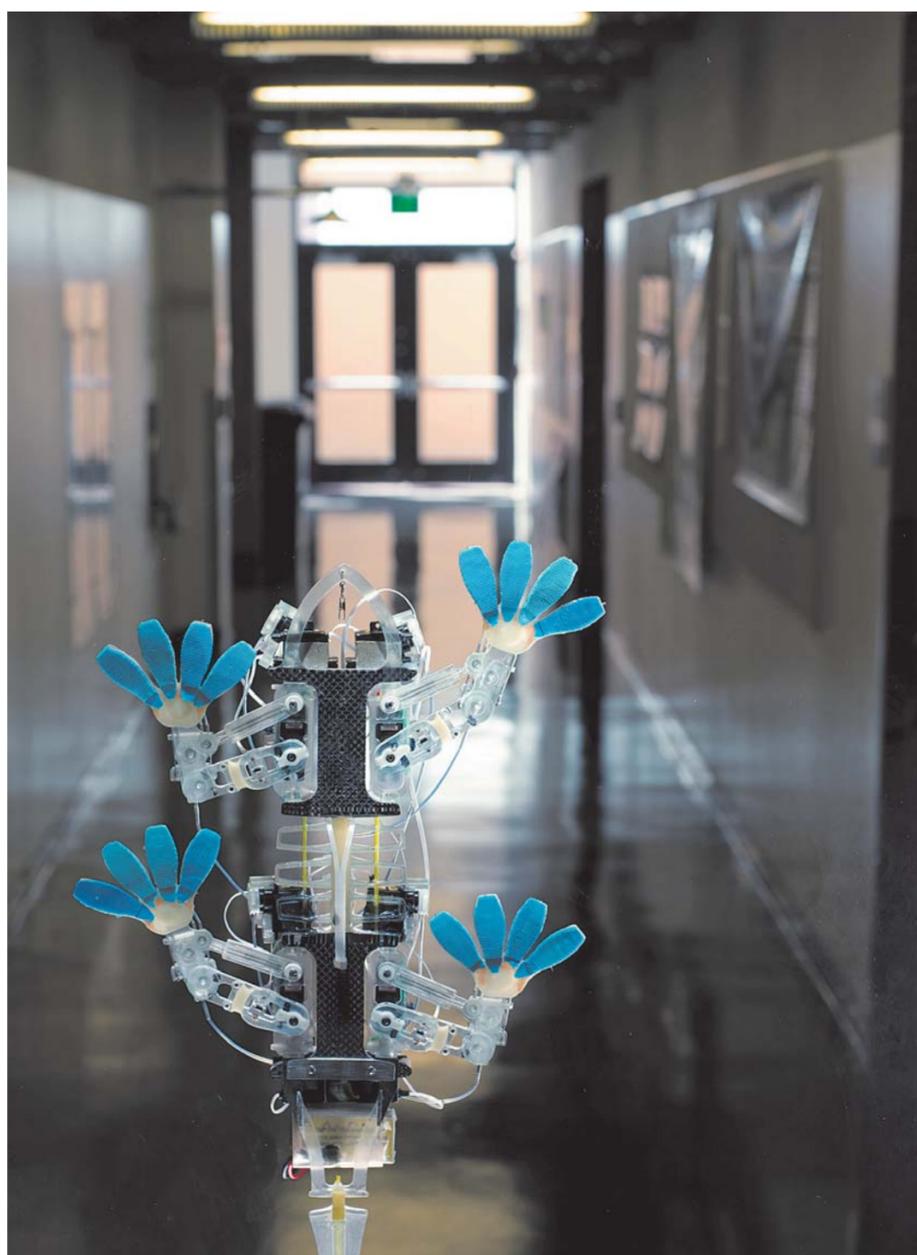
Quand la science imite la nature

Léonard de Vinci, avec ses machines copiant le monde vivant, est le saint patron des biomiméticiens. Ces chercheurs s'inspirent de ce que l'évolution a mis au point pour en tirer des procédés, des objets innovants. Tour d'horizon des derniers « plagiats » en cours

PAGES 4 - 5



Le robot d'escalade Stickybot, créé à l'université Stanford, a des semelles spécialement conçues, inspirées par la surface du pied du gecko, qui lui permettent de grimper sur des surfaces lisses.
ROBERT CLARK/INSTITUTE



CARTE BLANCHE

Angela Sirigu

Neuroscientifique, directrice de recherche Centre de neuroscience cognitive (CNRS-université Lyon-1)
(PHOTO: MARC CHAUMEIL)

Mon cerveau, cet incorrigible optimiste

Nombre de neuroscientifiques pensent que, pour prédire des événements au caractère incertain, la machinerie cérébrale opère suivant les principes de l'inférence statistique. D'après leurs modèles, inspirés du mathématicien anglais Thomas Bayes, certains neurones de notre cortex se comportent comme des accumulateurs d'information, ajustant leur activité en fonction de la quantité et de la fiabilité des indices en faveur de l'hypothèse qu'un événement X surviendra. Le taux d'activité neuronale serait la mesure de la probabilité de X, continuellement ajustée par l'expérience et les éventuelles erreurs de prédiction, et tendrait in fine vers une estimation « optimale », c'est-à-dire la meilleure prédiction possible de sa survenue. Or il semble qu'optimalité ne rime pas toujours avec objectivité. En effet, notre système cognitif prédit souvent des événements sur la base d'estimations biaisées. Un biais systématique intéresse particulièrement les chercheurs : l'optimisme. Tali Sharot, de University College London, travaille sur ce biais, qu'elle définit comme la différence entre

attente et réalité objective. On parle de biais optimiste lorsque les attentes sont plus avantageuses que la réalité et, à l'inverse, d'un biais pessimiste lorsque la réalité est supérieure aux attentes. Dans son laboratoire, Tali Sharot demande à des participants d'estimer la probabilité que certains événements de la vie se produisent dans le mois à venir (par exemple : rester bloqué dans la circulation, tomber malade, faire une rencontre, recevoir un cadeau). Puis les participants reviennent pour rapporter ce qui s'est réellement passé. Il ressort de cette étude, et de plusieurs autres, que les sujets tendent systématiquement à surestimer la probabilité des événements positifs. Pire, Tali Sharot montre que ce biais résiste à la confrontation avec les statistiques objectives : nos estimateurs bayésiens internes se mettent à jour de manière très sélective et poussent à l'optimisme, pondérant tout à la fois plus fortement les informations montrant une réalité meilleure que nos attentes et plus faiblement les informations qui nous sont désavantageuses. Une région du cortex préfrontal, le gyrus frontal infé-

rieur, s'active lorsqu'existe un décalage entre nos prévisions et l'arrivée d'informations contraires, mais ce signal d'erreur semble être atténué chez les individus les plus optimistes. Alors, pourquoi notre cerveau maintient-il une estimation incorrecte du futur, au point d'ignorer les données qui sont en notre défaveur ? Selon les cognitivistes Ryan McKay et Daniel Dennett, ce biais aurait une fonction adaptative et contribuerait à la santé mentale. La pathologie dépressive apparaît d'ailleurs comme l'antithèse de l'optimisme, et les estimations que font les patients déprimés dans des tests comme ceux de Tali Sharot présentent toujours un écart entre leurs attentes et la réalité, mais leur biais est pessimiste. Estimations et prévisions vont bon train en cette période de campagne présidentielle. Les candidats déclarés et présumés, lorsqu'on les écoute bien, font clairement preuve du biais optimiste, et on peut penser que le futur président est celui qui saura le mieux attacher son nom à l'optimisme des électeurs. Néanmoins, la seule certitude, c'est que candidats et électeurs devront tôt ou tard réajuster leurs attentes. ■

La nature, ingénieuse en chef

BIOMIMÉTISME

Les êtres vivants ont mis au point, au fil de l'évolution, des mécanismes, des procédés, des molécules que les chercheurs tentent de reproduire. Reportage à Strasbourg, où plusieurs disciplines se sont associées pour tirer profit de ces modèles biologiques

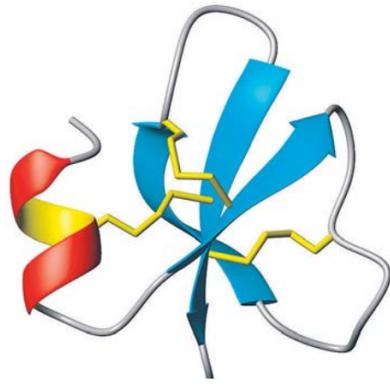
RÉMI BARROUX

Strasbourg, envoyé spécial

Passer d'un papa manchot qui nourrit son petit sur les terres glacées des îles Crozet, dans la région antarctique, à la découverte d'une molécule aux propriétés antibactériennes et antifongiques dans un laboratoire strasbourgeois, cela s'appelle la biomimétique. L'affaire n'est pas aussi simple et, de l'observation à la découverte, les péripéties sont nombreuses. Mais cette recherche est typique de la discipline, à savoir l'observation de la nature afin d'adapter ses trouvailles techniques ou chimiques à nos contingences humaines.

C'est donc dans la capitale alsacienne, à l'Institut pluridisciplinaire Hubert-Curien (IPHC), que la défensine (une protéine antimicrobienne) du manchot royal a été identifiée. Ici, sur le campus de Cronenbourg, 400 chercheurs de trois laboratoires qui ont fusionné en 2006, représentant trois disciplines différentes (chimie, physique et biologie), travaillent ensemble. « Cette interdisciplinarité est un atout formidable et la condition d'une approche biomimétique », explique Yvon Le Maho, l'un des chercheurs de l'IPHC et ancien directeur du laboratoire de biologie. Il y a moins de contraintes administratives, le biologiste que je suis peut travailler directement avec des chimistes. » Dans les couloirs de cet institut, les chercheurs parlent de manchots, d'ours, de cigognes, de blaireaux ou de rats-taupes autant que de molécules, de peptides – des protéines découpées en petits morceaux – ou encore de physique des particules.

Retour aux îles Crozet, où la molécule est, d'une certaine manière, née, et où Yvon Le Maho a fait de nombreux séjours. Quand la femelle manchot part pêcher pour nourrir le futur poussin, le papa prend le relais et couve l'œuf. Avec le réchauffement climatique, la femelle part de plus en plus loin de la colonie, les 300 à 400 kilomètres sont devenus 500 à 600, et de plus en plus longtemps, de deux à trois semaines. Résultat, elle revient en retard et, durant sept à dix jours, le mâle doit nourrir le nouveau-né avec de la nourriture conservée dans son estomac à une température de 38 °C. Des morceaux de poulpes étaient régurgités entiers. L'étude du contenu stomacal du manchot a permis d'isoler une molécule anti-



La défensine, une protéine antimicrobienne tirée de l'estomac du manchot royal.

LONDON/CNRS

microbienne, une défensine appelée sphéniscine ou encore AvBD103b.

Celle-ci s'est révélée très efficace contre des souches microbiennes associées à des maladies nosocomiales, notamment des staphylocoques dorés ou *Aspergillus fumigatus*, responsable de l'aspergillose. « Elle peut aussi devenir très utile dans la conservation des aliments »,

« Il s'agit de prendre au sérieux les limites de la planète et d'en tirer toute la créativité possible »

DOMINIQUE DRON
commissaire générale
au développement durable

explique Yvon Le Maho. La découverte de cette défensine est donc d'une grande valeur scientifique... et économique.

Celle-ci fait l'objet d'un nouveau projet déposé, fin décembre 2011, auprès de l'Agence nationale de recherche. Ce travail auquel participe entre autres M. Le Maho doit permettre d'étudier la meilleure façon d'utiliser la sphéniscine. « Un des intérêts majeurs de notre molécule, une de ses spécificités, est de rester très active en milieu salin », détaille Yvon Le Maho. Et on

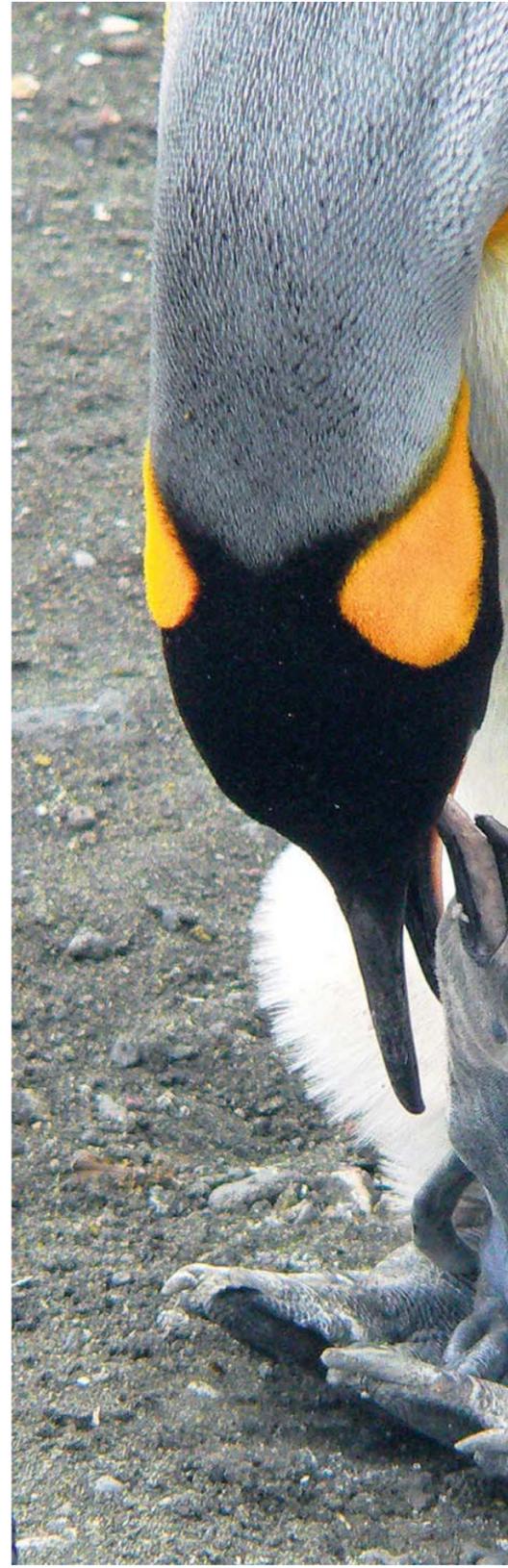
manque justement de ces molécules antibactériennes qui pourraient être utiles pour lutter contre les infections des yeux et, par exemple, protéger les lentilles. »

Dans les couloirs de l'IPHC, le manchot royal n'est pas le seul à intéresser les chercheurs. Les ours sont une autre cible. Comment font-ils pour passer l'hiver dans un état léthargique sans se nourrir et ne pas mourir, pour perdre de la graisse et pas des muscles ? La question intéresse la médecine et l'industrie pharmaceutique. Stéphane Blanc, physiologiste à l'IPHC, s'est rendu en Suède durant l'été 2011 pour prélever des cellules dans les tissus musculaires d'une quinzaine d'ours. Il doit y retrouver, durant l'hiver, les plantigrades en semi-hibernation, se rendre dans leurs cavernes et effectuer les mêmes prélèvements sur les mêmes muscles. En parallèle, des hommes ont été mis en restriction calorique et en inactivité à Düsseldorf, en Allemagne.

« On ne sait absolument pas ce que cela va donner, si on isolera une molécule, si on découvrira quelque chose dans cinq, dix ans, si cela sera applicable à l'homme, mais on cherche », énonce Fabrice Bertile, biologiste et chimiste à l'IPHC. Au départ, les entreprises pharmaceutiques peuvent lancer des études sur 1 000 molécules et en abandonner 999 pour une seule molécule intéressante. »

Le biomimétisme peut apporter des solutions à moyen terme. Commissaire générale au développement durable, Dominique Dron ne cache pas son intérêt. « Il ne s'agit pas d'affirmer a priori que tout pourrait être produit à partir de processus ou matériaux naturels, et sans rejets toxiques, mais de prendre au sérieux les limites de la planète et d'en tirer toute la créativité possible, en transposant ces performances naturelles pour obtenir une production ou un effet à bonne échelle. C'est pourquoi nous nous intéressons à ce sujet dans le cadre d'une économie verte et durable », explique M^{me} Dron.

Ayant travaillé sur ce dossier pour le Commissariat général au développement durable, Hermine Durand, de l'École normale supérieure, l'illustre : « Les enjeux sont considérables si l'on prend, par exemple, la photosynthèse artificielle. Des plantes convertissent l'énergie chimique issue de la photosynthèse [qui transforme l'énergie solaire en énergie chimique] en énergie électrique. De quoi théoriquement révolutionner la production d'énergie, en se basant sur un processus 100 % naturel. » ■



« Imaginez les économies d'énergie potentielles »

Gauthier Chapelle, ingénieur agronome et biologiste, dirige le bureau d'études Greenloop à Bruxelles. Spécialiste du biomimétisme, il a signé l'introduction du livre de la naturaliste américaine Janine M. Benyus, *Biomimétisme. Quand la nature inspire des innovations durables* (Rue de l'échiquier, 2011).

Qu'est-ce que le biomimétisme ?

Il s'agit de notre capacité à nous inspirer du vivant pour innover. Mais cela ne suffit pas. Le biomimétisme (en anglais *biomimicry*), selon moi, doit intégrer la notion de durabilité, surtout depuis 1997 et le livre de Janine M. Benyus. Répondant aux préoccupations sur le réchauffement climatique, il proposait des solutions de bon sens.

Le point de départ est simple. Toutes les espèces qui nous entourent ont maîtrisé leur durabilité. Pourquoi ne pas régler alors nos problèmes en les inter-

rogeant ? En fait, biomimétisme n'est pas le terme le mieux adapté car il peut laisser entendre qu'il s'agirait de copier bêtement la nature. Ce n'est pas le cas : il s'agit, avec nos sciences et notre intelligence, d'adapter les solutions de la nature à nos propres contingences.

Cette inspiration n'est pas récente, si l'on se réfère aux esquisses d'un Léonard de Vinci au XV^e siècle...

Les peuples premiers ont toujours pratiqué cela. Par exemple, les Inuits se sont inspirés de la tanière de l'ours polaire, de ses proportions, pour concevoir leur igloo. La civilisation industrielle nous a ensuite coupés de la nature. Il y a bien eu Léonard de Vinci, précurseur dans le domaine scientifique, mais c'était marginal. La redécouverte, récente, date de la fin du XX^e siècle.

Quels sont les obstacles au développement du biomimétisme ?

Ils tiennent beaucoup au mode de formation. Quand vous vous destinez à être ingénieur ou concepteur, vous ne faites pas de biologie. Et vice versa. Or le biomimétisme est transversal, entre biologie, physique et ingénierie-conception. Dans quelques domaines comme le spatial et le médical, des complémentarités ont augmenté les performances. Mais les cultures scientifiques restent très cloisonnées.

Quels sont les exemples les plus probants de biomimétisme ?

Le biomimétisme m'intéresse par sa capacité à développer la durabilité des espèces, tout en préservant l'environnement. La bande Velcro, conçue à partir des particularités de la fleur de bardane, c'est du biomimétisme, mais remplacer des lacets par un Velcro ne change pas le bilan carbone. Modifier génétiquement des chèvres pour que leur poil présente les mêmes incroya-

bles particularités que le fil de soie d'araignée ne m'intéresse guère plus, mais c'est aussi du biomimétisme.

Dans quels secteurs travaillez-vous ?

Le biomimétisme trouve des applications dans trois secteurs. D'abord, les formes : par exemple, l'étude d'une termitière et de son système d'aération en architecture ; ou le nez d'un martin-pêcheur pour un train à grande vitesse japonais, ce qui réduit sa consommation et en fait un élément de durabilité. Il y a aussi l'étude des écosystèmes, du bio-organisationnel. Par exemple, dans la nature, chaque déchet devient une matière première pour une autre espèce. L'écologie industrielle est basée sur ce principe.

Il y a enfin le secteur des matériaux, qui présente des potentiels industriels énormes. Les nôtres proviennent pour la plupart de la pétrochimie. Des espèces en fabriquent, elles, à des tempéra-

tures et à des pressions ambiantes, avec des solvants compatibles avec la nature. Cette haute technologie est très difficile à reproduire. Des chercheurs sont arrivés à fabriquer, aux États-Unis, de la fibre de verre sans monter en température (1 000 °C sont normalement nécessaires) en étudiant les éponges qui produisent cette fibre dans la mer, à quelque 4 °C. Vous imaginez les économies d'énergie potentielles.

Pourquoi ne va-t-on pas plus vite ?

Il est probable que l'énergie fossile n'est pas encore assez chère. Tant qu'un processus de production industrielle est encore rentable, vous n'êtes pas incités à en changer. Le biomimétisme est une rupture, une innovation radicale. En ces temps de crise, des choix qui remettraient en question la chaîne industrielle font peur. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR
R. BX

En l'absence de la femelle, partie pêcheur, le manchot mâle alimente le nouveau-né avec de la nourriture conservée dans son estomac à une température de 38°C. L'étude du contenu stomacal de l'oiseau a permis d'isoler une molécule antimicrobienne.

CLAIRE SARAUX/CNRS-IPEV



La chèvre-araignée

L'armée américaine veut en faire ses gilets pare-balles ou encore des ponts. Le fil de soie de l'araignée, extensible, souple, cinq fois plus résistant que l'acier, a toujours fasciné. Mais la production de ce fil en grande quantité ne pouvait venir de l'araignée, difficile à élever en batterie car ne goûtant guère la promiscuité. Alors, pour fabriquer les protéines à l'origine de la toile, des chercheurs ont transféré des gènes d'araignée dans des cellules de chèvre. Au Canada, la firme québécoise Nexia élève des chèvres transgéniques dont le lait contient les protéines convoitées qui, filtrées, prennent la forme d'un fil. (PHOTO: JOE KLAMAR/AFP)



Le SOS du maïs

Ted Turlings, professeur d'entomologie à l'université de Neuchâtel (Suisse), travaille sur les modes de défense du maïs. Lorsqu'une chenille attaque les feuilles de la plante, celle-ci émet des substances odorantes qui attirent une guêpe. Ce scénario est identique quand des larves d'un coléoptère attaquent les racines du maïs. Les molécules à base de caryophyllène émises par le maïs appâtent des petits vers qui viennent dévorer les larves. Plus récemment, Ted Turlings et son équipe ont établi que ces molécules volatiles alertaient les plantes voisines qui peuvent se préparer à l'attaque. « L'enjeu, en analysant la molécule, explique Ted Turlings, est d'aider les fabricants de semences à sélectionner les variétés émettant le plus de caryophyllène et pouvant donc mieux se défendre. » (PHOTO: INSTITUTE OF BIOLOGY, UNIV. OF NEUCHÂTEL)

Le martin-pêcheur TGV

Le martin-pêcheur plonge dans l'eau pour y chercher ses proies. La forme de son bec lui permet de passer sans risque de l'air à l'eau, malgré un changement de pression important. Il maintient sa vitesse en piqué et peut atteindre une profondeur d'un mètre, dans un milieu aquatique plus résistant que l'air, pour y attraper les poissons. Ingénieur sur la ligne Tokyo-Hakata, au Japon, une ligne parsemée de tunnels, Eiji Nakatsu est aussi ornithologue.

Observateur attentif du monde des oiseaux, l'exemple du martin-pêcheur s'est imposé à lui pour résoudre un problème, celui du changement de pression subi par un Shinkansen, le train à grande vitesse japonais, entrant ou sortant d'un tunnel. L'enchaînement des tunnels entraîne en effet des désagréments répétés pour les voyageurs, essentiellement au niveau des oreilles, et pour les riverains, qui perçoivent une forte détonation à chaque sortie. Le train, pénétrant dans le tunnel, comprime l'air. L'onde de surpression se déforme et finit par former une sorte de mur, devenant une onde de choc.

Après le temps de l'observation, Eiji Nakatsu a conçu sur son ordinateur le profil idéal pour le nez du train, en imitant la forme du bec et de la tête de l'oiseau. Le résultat a permis de réduire les vibrations et le bruit pour les voyageurs. Il a surtout entraîné une réduction de 15% de la consommation électrique, tout en obtenant un gain de vitesse de 10%. Une application favorable à l'environnement, expliquent les défenseurs du biomimétisme durable.

(PHOTO: KYODO/REUTERS)



La glisse du requin

Le petit monde de la natation découvre, à partir des Jeux olympiques de Sydney en 2000, qu'il est possible d'améliorer les records grâce à des combinaisons inspirées de la peau des requins, selon son premier fabricant Speedo. Les surfaces de ces maillots ne sont pas lisses mais recouvertes de stries de quelques dizaines de micromètres de hauteur, séparées de plusieurs centaines de micromètres. Ces motifs (ci-dessus en microscopie électronique) sont censés imiter ceux de la peau des requins, qui ressemblent en fait plutôt à des très petites dents, collées les unes aux autres (et d'une centaine de micromètres de large). Mais les raisons de l'efficacité de ces combinaisons, dont certains modèles ont d'ailleurs été interdits depuis, restent assez floues.

L'équipe de George Lauder de l'université d'Harvard vient ainsi de publier dans le *Journal of Experimental Biology* du 9 février des résultats surprenants, en contradiction avec de précédents travaux. Il a fait battre dans l'eau et dans son laboratoire une sorte de nageoire recouverte de différents revêtements (vraie peau de requin, combinaison Speedo, ou surface striée par ses soins). Selon lui, le maillot commercial n'augmente pas la vitesse, alors que la peau de requin l'augmente de 12% en comparaison d'une surface lisse. En fait les chercheurs, contrairement aux études précédentes, ont innové en n'étudiant pas des nageoires rigides mais flexibles. La peau du requin serait donc adaptée à sa nage oscillante.

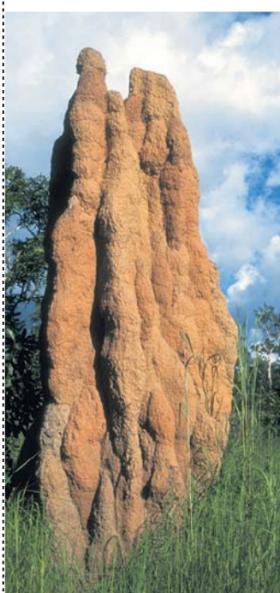
Les chercheurs postulent même que la peau du requin ne se contente pas de diminuer la traînée dans l'eau (ce qui accroît les performances) mais apporte une poussée supplémentaire due à des tourbillons qui s'accrochent à la peau. Les fabricants sont finalement encore loin de pouvoir imiter les prouesses des squalos. Cependant, leurs combinaisons ont d'autres avantages : le corps est rigidifié par le maillot pour une meilleure pénétration dans l'eau et les matériaux, le polyuréthane par exemple, augmentent la flottabilité... (PHOTO: BIOSPHOTO/EYE OF SCIENCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY)

Le scorpion coriace

Androctonus australis subit sans dommage les vents de sable abrasifs du Sahara et d'Arabie. Des chercheurs chinois de l'université de Jilin ont eu l'idée d'étudier la surface de sa carapace dorsale. Ils ont modélisé les écoulements d'air et de particules à son contact, et ont constaté que ses microstructures cannelées réduisent considérablement les frottements par rapport à une surface plane. Il y a là un modèle pour les structures (hélices, turbines, tuyaux...) soumises à l'érosion, écrivent-ils dans la revue *Langmuir* de janvier. (PHOTO: MICHEL GUNTHER/BIOSPHOTO)



Le termite architecte



Ne dites pas aux personnes qui pénètrent dans l'immeuble Eastgate, à Harare, au Zimbabwe, qu'elles entrent dans une termitière. Pourtant, l'architecte américain de ce bâtiment qui abrite 31 000 m² de bureaux et de commerces, Mike Pearce, s'est inspiré de l'ingéniosité des termites africains. Leurs nids sont de formidables régulateurs de température, avec un système de ventilation centrale qui permet de garder la termitière au frais durant les jours les plus chauds et de fournir de l'humidité. Le soir, la chaleur du sol est ventilée dans les « étages » supérieurs. Mike Pearce a donc adapté ces techniques aux nécessités de ses immeubles au Zimbabwe, mais aussi à Londres. L'Eastgate utilise notamment des méthodes de refroidissement passif, rendues possibles par un espace aéré au centre avec des bassins et 48 cheminées installées sur le toit. Résultat : 90% d'économies d'énergie. (PHOTO: J.-L. KLEIN/M.-L. HUBERT/BIOSPHOTO)



La pale de la baleine

La baleine à bosse nage cinq fois plus vite que les humains les plus rapides, en partie grâce à ses nageoires pectorales. Celles-ci sont pourvues, sur leur partie avant, de petites bosses qui diminuent les turbulences (décrochage). Le Centre aérospatial allemand (DLR) de Göttingen veut s'en inspirer pour réduire les turbulences induites par les pales du rotor de l'hélicoptère. Il vient de commencer des essais avec un appareil doté de pastilles de caoutchouc mimant les protubérances de *Megaptera novaeanaliae*. (PHOTO: BIOSPHOTO/J.-L. KLEIN/M.-L. HUBERT)