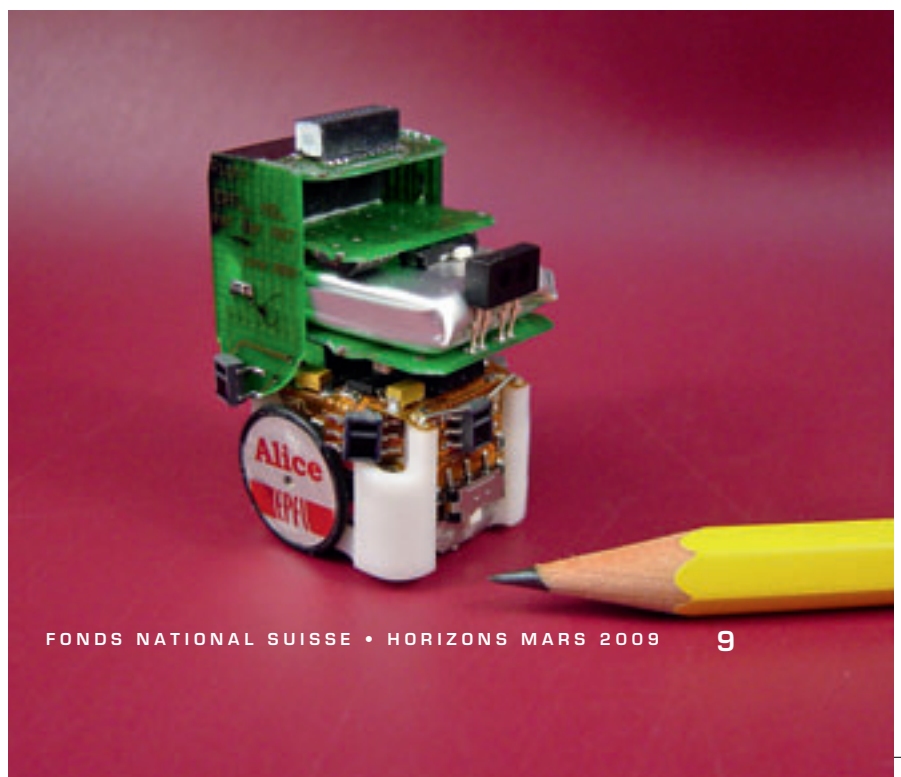
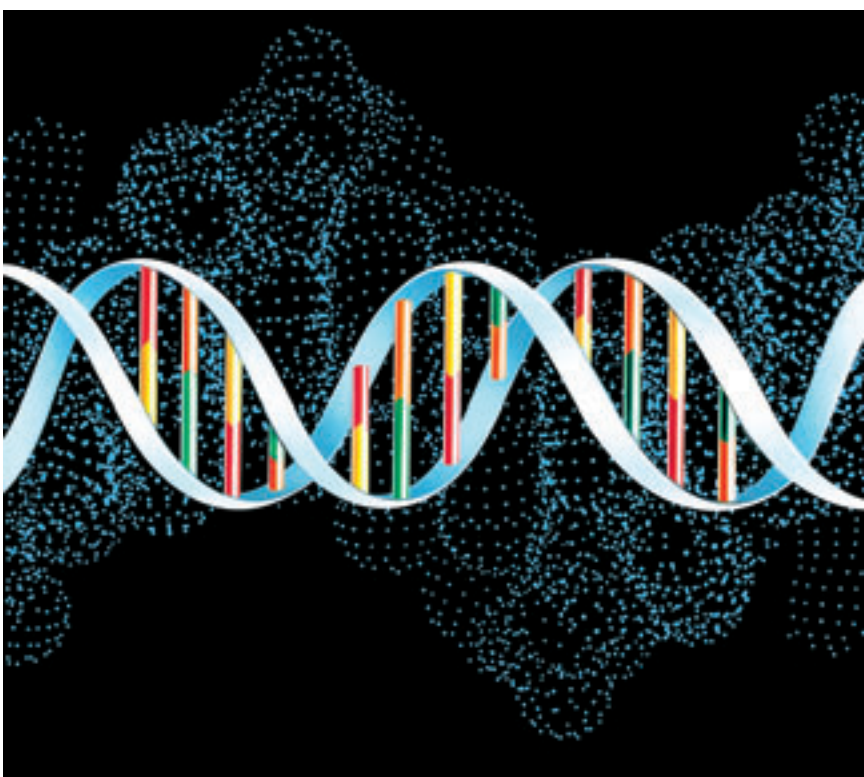


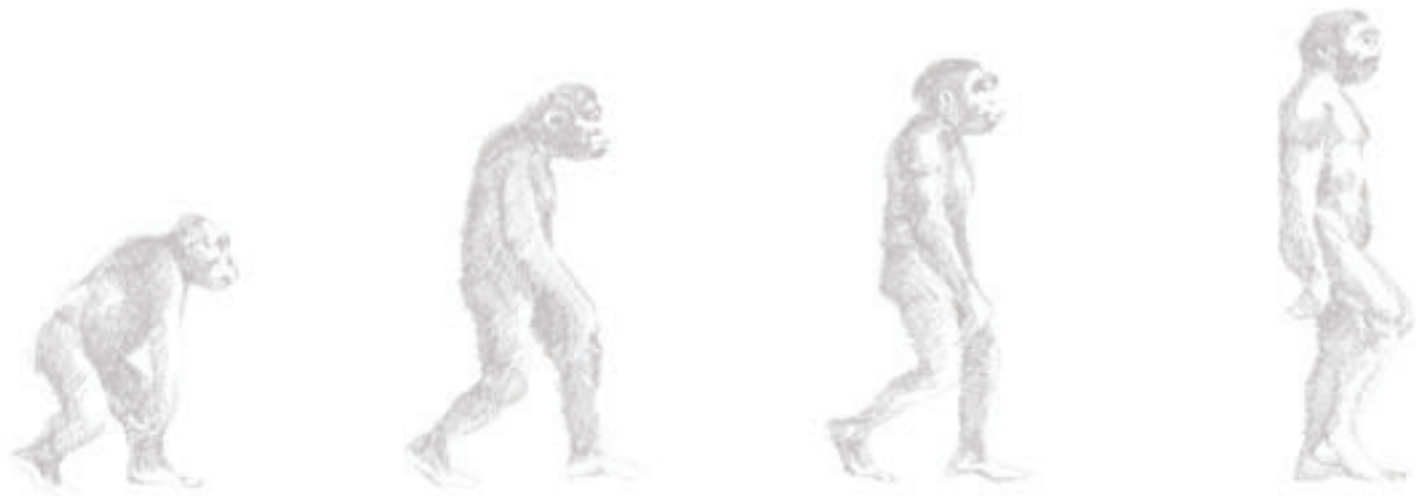
L'héritage de Darwin

La théorie de l'évolution a 150 ans, mais elle continue à alimenter de nouvelles percées scientifiques, par exemple en robotique. En sciences humaines, son apport reste en revanche controversé. Même si Darwin, là aussi, n'a peut-être pas dit son dernier mot.

Portrait de Darwin (en haut à gauche), le *Beagle* (en haut à droite), pinsons de Darwin (au milieu à gauche), bois de cerf (au milieu à droite), la double hélice de l'ADN (en bas à gauche), petit robot coopératif (en bas à droite). akg-images (2), Keystone (2), Prisma (1), EPFL (1)



Herman Schmutz



Une pensée toujours très fertile

Il y a cent cinquante ans, Charles Darwin choquait ses contemporains avec sa théorie de l'évolution. Depuis, ses idées ont donné des ailes à la biologie, réorienté notre vision du monde et elles nous ouvrent aujourd'hui encore de nouvelles portes sur la connaissance.

PAR ORI SCHIPPER

Ça fait mal! Alors que l'homme se voit depuis des milliers d'années en couronnement de la Création et créé à l'image de Dieu, voilà qu'en 1859, un érudit maladif du nom de Charles Robert Darwin prétend que rien n'est plus faux. Que l'homme et le singe descendent du même ancêtre et qu'ils sont donc apparentés. Rien d'étonnant à ce que les idées de cet homme aient rencontré (et rencontrent aujourd'hui encore dans certains cercles) une opposition acharnée.

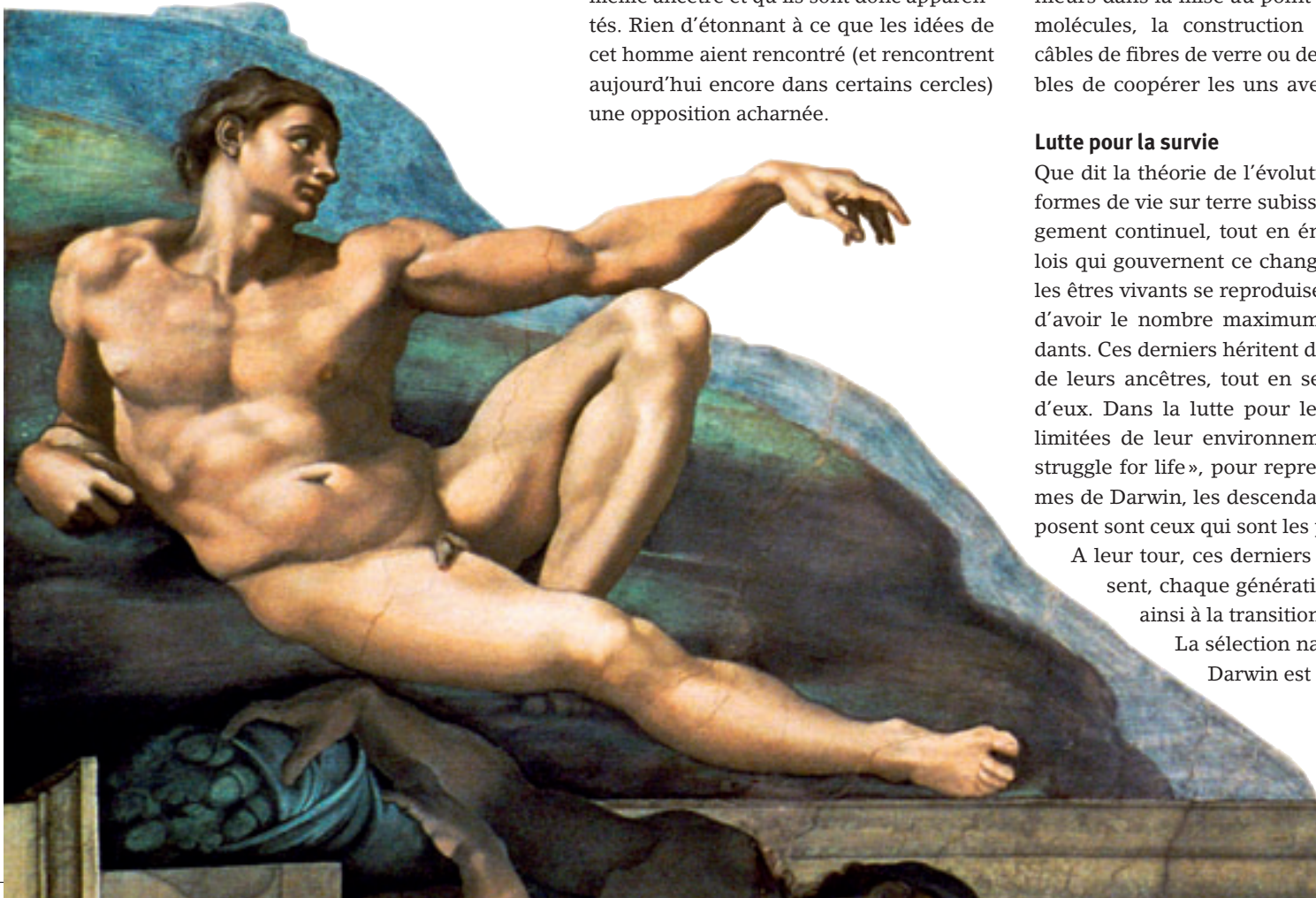
Mais les conclusions de Darwin ont montré par la suite leur énorme force explicative. «En biologie, rien n'a de sens, sauf à la lumière de l'évolution.» Il n'existe pas de formulation plus pertinente que celle de Theodosius Dobzhansky, généticien et biologiste de l'évolution. L'influence de Darwin dépasse toutefois la biologie. La théorie de l'évolution inspire aujourd'hui les ingénieurs dans la mise au point de nouvelles molécules, la construction optimale de câbles de fibres de verre ou de robots capables de coopérer les uns avec les autres.

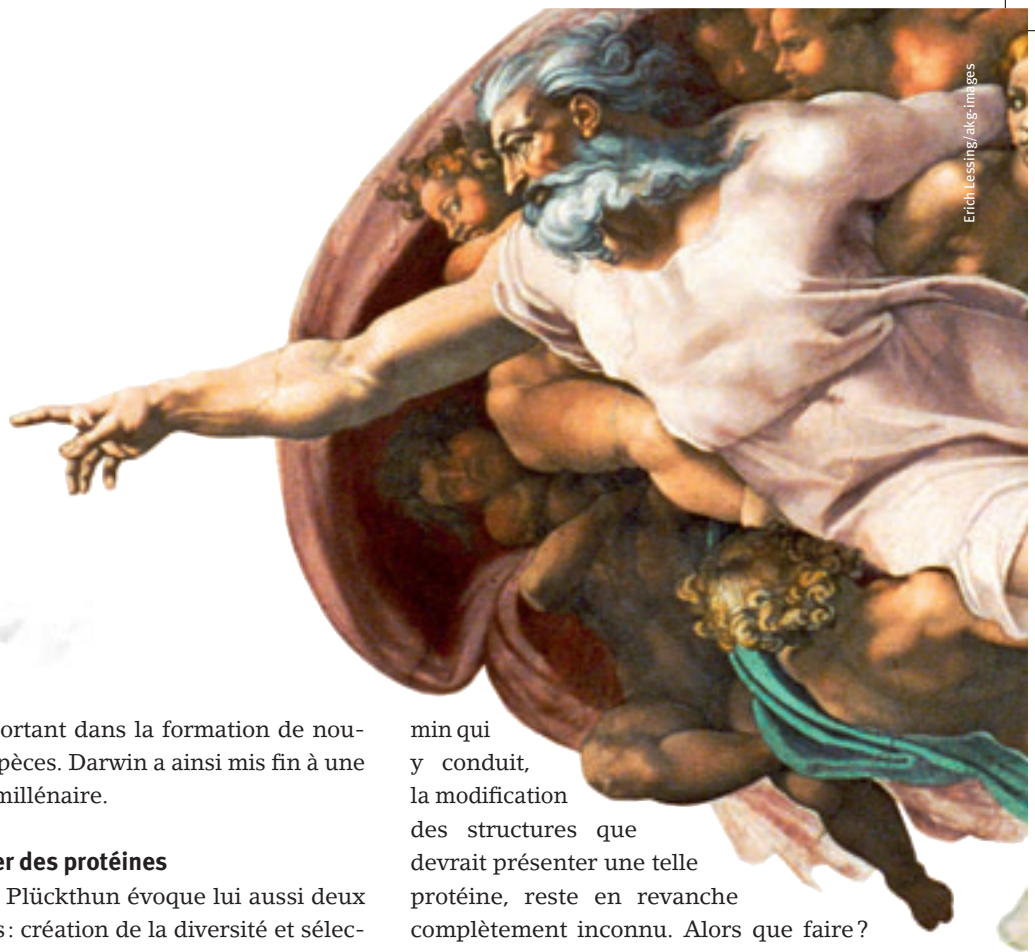
Lutte pour la survie

Que dit la théorie de l'évolution? Que les formes de vie sur terre subissent un changement continu, tout en énumérant les lois qui gouvernent ce changement. Tous les êtres vivants se reproduisent et tentent d'avoir le nombre maximum de descendants. Ces derniers héritent des propriétés de leurs ancêtres, tout en se distinguant d'eux. Dans la lutte pour les ressources limitées de leur environnement, «in the struggle for life», pour reprendre les termes de Darwin, les descendants qui s'imposent sont ceux qui sont les plus adaptés.

A leur tour, ces derniers se reproduisent, chaque génération contribue ainsi à la transition.

La sélection naturelle selon Darwin est donc un pro-





Erich Lessing/akg-images

cessus en deux parties qui se répète constamment. Dans un premier temps, il y a accumulation d'un nombre colossal de différents concurrents. Dans un deuxième temps, ce sont avant tout les plus adaptés qui réussissent à grandir et à se reproduire. Alors que le hasard règne pendant l'accumulation (il assure la variation entre les concurrents, car les mutations dans le patrimoine génétique ne sont pas prévisibles et se produisent au hasard), la sélection, en revanche, est basée sur la nécessité. Les modifications ne sont dues ni exclusivement au hasard, ni exclusivement à la nécessité. Les deux aspects jouent un

rôle important dans la formation de nouvelles espèces. Darwin a ainsi mis fin à une dispute millénaire.

Améliorer des protéines

Andreas Plückthun évoque lui aussi deux éléments : création de la diversité et sélection. Ces processus reconduits plusieurs fois sont indispensables à ses travaux à l'Institut de biochimie de l'Université de Zurich. Ce professeur développe avec son équipe de nouvelles protéines. L'objectif est souvent clair, améliorer par exemple l'aptitude d'une protéine à se fixer uniquement sur des cellules cancéreuses. Le che-

min qui y conduit, la modification des structures que devrait présenter une telle protéine, reste en revanche complètement inconnu. Alors que faire ? On commence par accumuler les différents concurrents dans une éprouvette. Ces derniers sont les produits de mutations fortuites au sein du gène de la protéine qu'il s'agit d'améliorer. Pour cette étape, il existe toute une série de techniques établies. Selon l'ingénieur, le défi réside dans la deuxième étape : « Tout l'art de l'expéri-

Qui était Charles Darwin ?



English Heritage Photo Library

Charles Darwin avec un de ses enfants.

Charles Darwin est né le 12 février 1809 : il était le cinquième d'une fratrie de six enfants. Son père Robert Darwin était un médecin fortuné de Shrewsbury, sa mère Susannah Wedgwood appartenait à une célèbre dynastie de fabricants de porcelaine. Lorsqu'elle meurt, Charles Darwin a 8 ans.

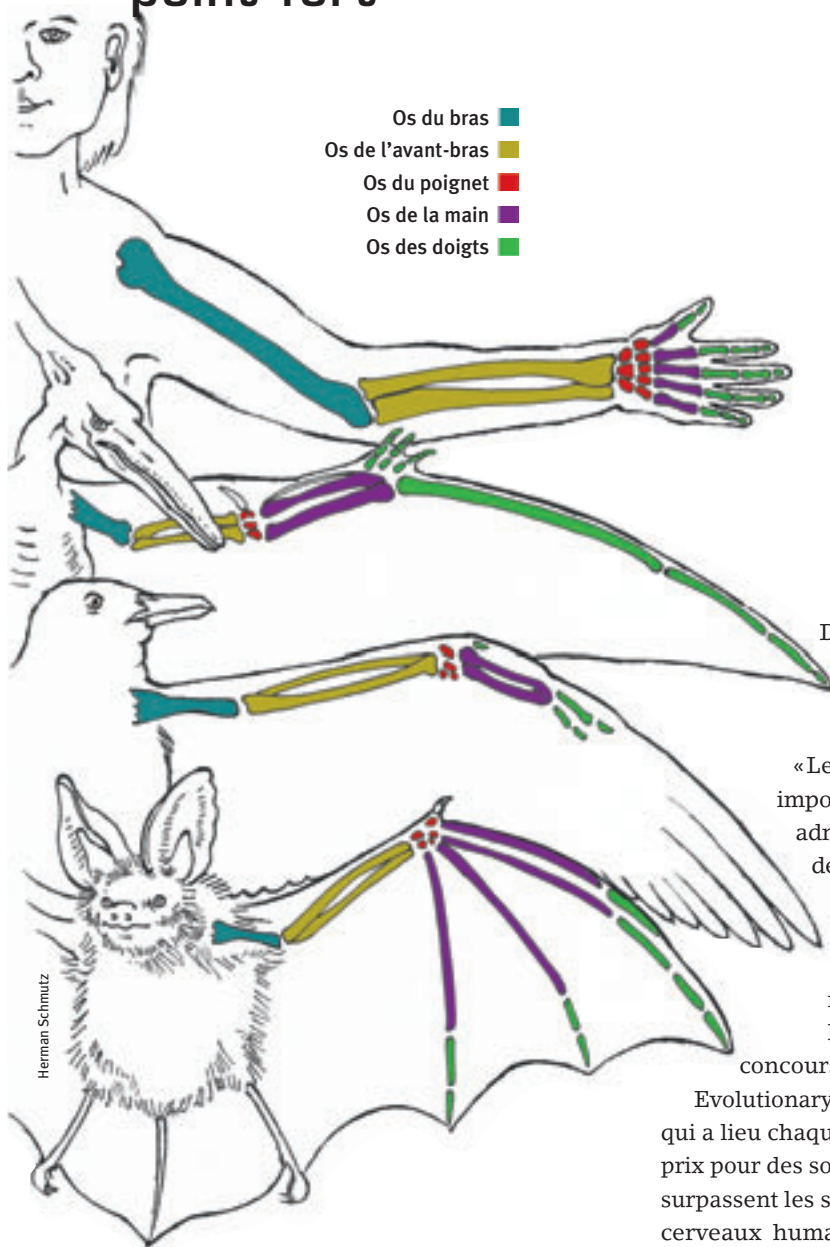
A 16 ans, il entame des études de médecine, qu'il interrompt pour se tourner à 19 ans vers la théologie. Il achève avec succès ses études au printemps 1831.

L'été suivant, le capitaine Robert FitzRoy est à la recherche d'un « gentleman companion » pour sa traversée vers l'Amérique du Sud : son prédécesseur s'est suicidé et un voyageur sur le bateau qui partagerait ses intérêts scientifiques et son repas du soir permettrait à FitzRoy de ne pas ruminer ce genre de pensées. D'abord réticent, le père de Darwin finit par consentir à payer le voyage. Charles Darwin s'embarque le 27 décembre 1831 à bord du *Beagle* pour un tour du monde à la voile qui durera presque cinq ans. Darwin passe une bonne partie de son temps sur la terre ferme,

où il mène des expéditions et procède à des observations géologiques. A son retour, il analyse toutes les pièces qu'il a rapportées et rédige plusieurs ouvrages sur son voyage. Un travail intensif qui a des répercussions sur sa santé.

A 30 ans, il épouse sa cousine Emma Wedgwood, avec laquelle il aura six garçons et quatre filles.

Cela fait presque vingt ans que Charles Darwin cogite sur ses idées au sujet de l'évolution lorsqu'il reçoit le manuscrit d'Alfred Russel Wallace, qui de son côté est arrivé à la même idée sur l'origine des espèces. Ils conviennent de publier leurs découvertes en même temps. Darwin se hâte donc de récapituler sa théorie. *On the Origin of Species* paraît en 1859, il y a cent cinquante ans, et rencontre aussitôt un énorme intérêt. Wallace rencontre un moindre écho parce que son réseau scientifique est moins important et parce qu'il séjourne à ce moment-là en Malaisie. Jusqu'à sa mort en 1882, Charles Darwin reste extrêmement productif et publie quantité d'autres ouvrages.



Herman Schmutz



Des objets qui, s'ils étaient disponibles en magasin, seraient appréciés par de nombreux petits garçons. «Les aspects ludiques sont très importants dans mon travail», admet Dario Floreano. Avant de souligner que l'évolution artificielle représente une méthode particulièrement efficace pour esquisser de nouveaux systèmes.

Le chercheur évoque le concours GECCO (Genetic and Evolutionary Computation Conference) qui a lieu chaque année. On y décerne des prix pour des solutions évolutives qui surpassent les solutions imaginées par des cerveaux humains. L'édition 2007 a été remportée par un projet australien de développement de câbles en fibres de verre. Les câbles classiques présentent de nombreux petits trous ronds, disposés symétriquement en alvéoles. Cette ordonnance complexe est-elle nécessaire ou ne serait-il pas possible d'envelopper plus

mentation réside dans la capacité à sélectionner une molécule pour les bonnes raisons», explique Andreas Plückthun. L'une des molécules qu'il a sélectionnées contre les cellules cancéreuses a été entre-temps concédée en licence à une entreprise canadienne de biotechnologie et fait actuellement l'objet d'examen cliniques avancés.

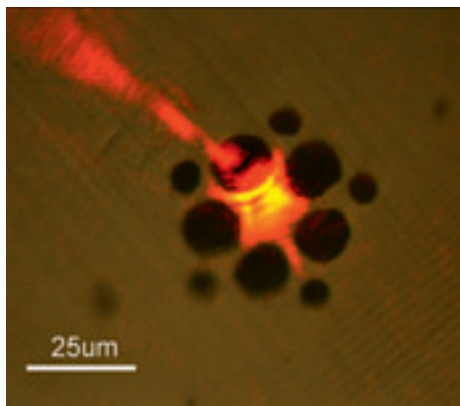
Evolution artificielle

Mais les idées de Darwin portent leurs fruits dans des domaines encore plus éloignés. Lorsque Dario Floreano parle évolution, il s'agit du développement d'algorithmes ou de systèmes de contrôle d'inspiration biologique. Au Laboratoire des systèmes intelligents qu'il dirige à l'EPFL, les robots les plus divers évoluent. Cela va de petites boîtes d'allumettes qui roulent à des avions en styropore en forme de boomerang, en passant par des disques volants.

L'unité dans la diversité

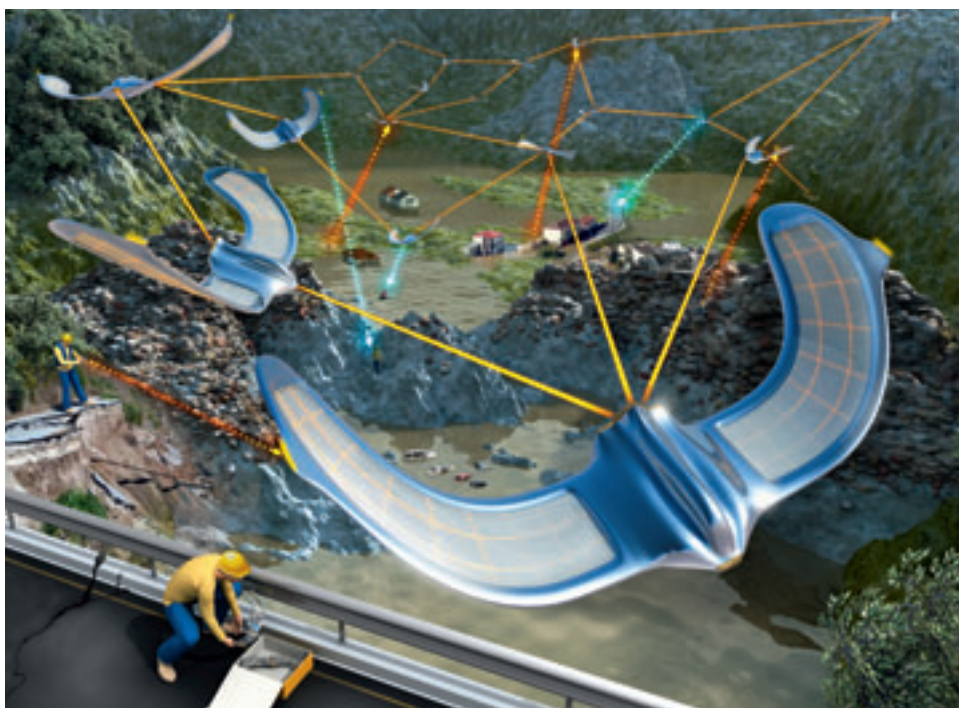
Grâce à l'étude précise de certains os de différents squelettes, ce qu'on appelle des homologues, Darwin a découvert la parenté qui unit les espèces actuelles : le poisson, la souris ou l'oiseau sont les descendants particulièrement bien adaptés d'ancêtres disparus depuis belle lurette. Comme le fait remarquer Darwin dans son étude sur l'origine des espèces : « (...) une quantité infinie de belles et admirables formes, sorties d'un commencement si simple, n'ont pas cessé de se développer et se développent encore! » Bien plus tard, alors que les idées de Darwin ont été intégrées à d'autres éléments de connaissances – issus notamment de la génétique –, l'unité de la vie dans la diversité apparaît de manière encore plus nette. Les organismes les plus divers, de la bactérie à la baleine bleue, utilisent non seulement la même molécule, l'acide désoxyribonucléique (ADN), pour transmettre leurs caractéristiques à la génération suivante, mais aussi le même codage génétique. Autrement dit, les instructions pour la fabrication d'une protéine qui sont contenues dans la séquence des bases de l'ADN sont comprises de la même manière dans toutes les cellules. En outre, nombreux sont les processus biochimiques qui présentent un fonctionnement étonnamment similaire : que ce soit dans un neurone humain ou dans une cellule de stockage d'amidon de pomme de terre.

Alors que les fonctions fondamentales sont restées largement les mêmes et témoignent ainsi de la parenté de tous les êtres vivants, au cours des millions d'années, de nouvelles adaptations et spécialisations n'ont cessé d'apparaître. De nouvelles espèces toujours différentes se sont ainsi constamment développées à partir des formes qui les ont précédées.



Steven Manos

Profil d'un câble en fibres de verre amélioré grâce à la sélection.



lis.eptfi.ch

Des essaims de robots volants devraient à l'avenir permettre à des secouristes de mieux communiquer en cas de catastrophe.

simplement les fibres de verre ? Telle est la question que se sont posée les ingénieurs, avant d'opérer une modélisation au moyen d'un algorithme génétique qui a élargi l'espace de construction en opérant des changements fortuits dans les paramètres du modèle, soit une gigantesque accumulation de concurrents différents. La sélection était basée sur une fonction de «fitness», soit une représentation mathématique du design optimal.

Après plusieurs tours ou «générations» et un renouvellement constant des variations de paramètres opéré sur la base des meilleurs profils des tours précédents, les ingénieurs ont finalement déposé un brevet pour un câble en fibres de verre qui

présentait peu de trous mais affichait le plus haut débit. La solution évolutionnaire s'est donc avérée à la fois plus simple en termes de fabrication et plus performante.

L'exemple des fourmis

Au Laboratoire des systèmes intelligents de Dario Floreano, on s'efforce d'inculquer un comportement coopératif à des robots. En étroite collaboration avec Laurent Keller, spécialiste des fourmis à l'Université de Lausanne, les chercheurs examinent dans quelles conditions des essaims de robots collaborent le mieux. Sur un champ d'essai de la taille d'une demi-table de ping-pong, de petits robots évoluent en bourdonnant.

Leur objectif est tiré d'une situation inspirée des fourmis : ramener à la maison, sur un côté précis du champ, le plus grand nombre possible de cylindres, c'est-à-dire de nourriture. Les robots peuvent pousser seuls les petits cylindres, pour les grands, ils doivent en revanche être au moins deux. Au début, les robots sont complètement désemparés. Mais cent cinquante générations plus tard, leurs systèmes de contrôle sont déjà suffisamment développés pour qu'ils soient capables de s'attaquer ensemble aux gros objets.

Robots volants

Fait intéressant : la collaboration fonctionne mieux si les systèmes de contrôle présentent des valeurs analogues au niveau des paramètres, c'est-à-dire s'ils sont «apparentés». Alors que Laurent Keller en tire des déductions sur l'organisation et le développement de la répartition du travail dans les sociétés d'insectes, Dario Floreano utilise ces connaissances pour son prochain projet : des essaims de robots volants capables de mettre en place de façon autonome un réseau radio local pour permettre, par exemple, aux secours de communiquer facilement en cas de catastrophe.

Ces robots ne cessent de se développer. Mais l'homme ne risque-t-il pas un jour de perdre le contrôle sur les machines qu'il a créées ? Dans son roman *La Proie*, Michael Crichton s'est directement inspiré des recherches du professeur Floreano pour dépeindre un tel scénario. «C'est évidemment exagéré, répond le scientifique. Techniquement, nous sommes encore très loin de développer des êtres indépendants.» Et Darwin, que dirait-il de tout cela ? ■