



L'architecture inspirée par le vivant

A Heilbronn, en Allemagne, le squelette d'un oursin plat a servi de modèle au pavillon BUGA, créé par l'ICD et l'ITKE, deux instituts rattachés à l'université de Stuttgart. ROLAND HALBE

Formes et fonctions inventées par la nature ont souvent été copiées par les architectes. A l'heure où la crise environnementale exige des solutions durables, le biomimétisme peut-il vraiment aider le bâtiment, et la planète avec lui, à aller mieux ?

FLORENCE ROSIER
STUTTART (ALLEMAGNE) - envoyée spéciale

Un ciel d'automne, des nuages qui filent, un vent félon. Et l'eau, partout aux alentours, qui reflète ce ciel mouvant. Un pâle soleil filtre par éclairs. Dans ce clair-obscur, deux étranges pavillons se détachent. L'un d'eux, tout en bois, dessine une vague déliée d'une rare élégance. Approchons-nous. Ce pavillon – un savant mariage de

trois arches – est une curiosité : c'est un emblème d'architecture inspirée du vivant. Son modèle ? Un animal marin. Plus exactement, le squelette d'un oursin plat – nous verrons comment.

Nous sommes en Allemagne, au cœur d'une ville moyenne, Heilbronn (Bade-Wurtemberg), à une cinquantaine de kilomètres de l'université de Stuttgart. Là même où cette construction biomimétique a été conçue. Car, en matière d'architecture bio-inspirée et assistée par ordinateur, cette université fait figure de référence. Elle invente aussi des matériaux innovants, et les robots pour les produire.

Mais, surtout, l'université de Stuttgart est célèbre pour les pavillons modèles qu'elle expose chaque année depuis dix ans. Des féeries. Fabriqués sur mesure, ils sont façonnés en réseaux d'alvéoles, tissés de farandoles de fils, percés d'étranges ouvertures « vivantes »... Les fruits d'une fantaisie débridée ? En réalité, ces édifices à l'esthétique futuriste sont issus de recherches parmi les plus poussées au monde sur le biomimétisme en architecture, saluent les experts. Squelettes d'oursins, élytres de scarabées, toiles d'araignée, pommes de pin... autant de structures du vivant qui les ont inspirés.

« Utiliser moins de matériau en mettant plus de formes » : tel est le mantra du professeur Achim

Menges, architecte et théoricien, un des pionniers du domaine. A l'université de Stuttgart, il a fondé en 2008 un institut consacré à cette approche, l'ICD (Institute for Computational Design and Construction), qu'il dirige. Ce centre s'adosse à l'ITKE (Institute of Building Structures and Structural Design), fondé dans cette même université au XIX^e siècle. Main dans la main, ces deux instituts ont créé ces fameux pavillons.

« L'analyse des structures naturelles nous pousse à sortir de nos modes de pensée figés. Elle déverrouille la pensée créative et favorise l'innovation », se réjouit Jan Knippers, professeur d'ingénierie, qui dirige l'ITKE à Stuttgart. Prendre les êtres vivants comme modèles ? Oui, car le vivant doit sans cesse s'adapter aux fluctuations de son environnement. Pour survivre, il doit innover. « Mais il le fait avec une grande parcimonie d'énergie, sans créer de nouvelles substances qu'il ne sait dégrader, comptant toujours un "acheteur pour ses déchets" », écrit Gilles Bœuf, ancien président du Muséum national d'histoire naturelle, dans la préface du livre *Biomimétisme & Architecture* (Rue de l'échiquier, 230 pages, 26 euros). Ce livre est signé d'un autre pionnier du domaine : l'architecte britannique Michael Pawlyn, fondateur de l'agence Exploration Architecture Ltd.

→ LIRE LA SUITE PAGES 4-5

Alcool « Janvier sec » lancé sans le gouvernement

PASCALE SANTI

Les associations d'addictologie et de promotion de la santé, dont la Fédération Addiction, Aides, la Ligue contre le cancer... ne baissent pas les bras, loin de là. Elles ont annoncé dans un communiqué commun, mardi 3 décembre, qu'« il y aura bien » une campagne de « Dry January » en France, « malgré les efforts du lobby alcoolier, malgré l'annulation, sous pression de l'Élysée, de l'opération "Mois sans alcool" initialement prévue par Santé publique France ». France Assos Santé, qui regroupe 85 associations de patients et usagers, veut encore y croire. Dans un communiqué, lundi 2 décembre, intitulé « Monsieur le Président, clarifiez votre position », elle appelle Emmanuel Macron à dissiper cet « affreux malentendu » et demande que « ce soit bien à l'agenda de janvier 2020 ». En attendant, France Assos Santé soutient le Dry January à la française.

A l'instar du concept britannique, lancé en 2013 par l'association Alcohol Change UK, ces associations invitent à relever « le défi de janvier », et à faire une pause d'un mois sans alcool, afin d'en « ressentir les bienfaits » et de se questionner sur sa propre consommation. Une sorte de bonne résolution pour bien démarrer l'année, de détox après la période de fin d'année.

Les associations s'appuient sur des expériences qui fonctionnent depuis plusieurs années dans le monde. Quatre millions de personnes ont relevé le défi du Dry January britannique en 2019, ils n'étaient que 4 000 la première fois. En Belgique, en février 2020, ce sera la quatrième édition de la Tournée minérale, qui avait compté plus de 120 000 participants un an auparavant. Les bénéficiaires sont nombreux. Ainsi, « neuf participants sur dix ont ressenti au moins un de ces effets après un mois : reprise d'énergie, perte de poids, teint plus frais, meilleur sommeil, économies... », explique Sophie Adam, de la Fondation belge contre le cancer, qui a créé l'opération et en finance la moitié. « Réticents au départ, des restaurants et même des marques de bière participent à l'opération en proposant plus de boissons sans alcool. »

Même constat des bienfaits au Royaume-Uni : ne pas boire d'alcool pendant un mois améliore certains paramètres, comme la tension artérielle, la résistance à l'insuline, la glycémie, le cholestérol sanguin, les niveaux de protéines liées au cancer dans le sang, etc., selon une étude menée en 2018 par le Royal Free Hospital, publiée dans le *British Medical Journal*, qui a porté sur 141 buveurs, de modérés à lourds.

→ LIRE LA SUITE PAGE 2



Entretien Mettre fin au hold-up sur les data

Le chercheur en intelligence artificielle Michael Jordan estime que les géants du numérique ne peuvent continuer à exploiter les données personnelles sans contreparties

PAGE 8

Alcool : « Janvier sec », malgré l'opposition de l'Élysée

SANTÉ PUBLIQUE - Les associations de promotion de la santé font valoir les bienfaits d'initiatives similaires au Royaume-Uni et en Belgique

► SUITE DE LA PREMIÈRE PAGE

Une autre évaluation montre que les participants n'ayant pas bu d'alcool en janvier remarquent une meilleure concentration, un sommeil de meilleure qualité (pour 71 % d'entre eux), plus d'énergie. Autre effet, 88 % ont économisé de l'argent ; 71 % ont réalisé qu'ils n'ont pas besoin d'un verre pour s'amuser, note Richard de Visser, de l'École de psychologie de l'université du Sussex, qui a conduit ces travaux auprès de 2 821 personnes à partir de sondages en ligne. Autant d'éléments qui incitent selon lui à participer.

À l'instar de la Tournée minérale belge, l'effet le plus important du Dry January britannique est la baisse significative de la consommation, qui se mesure encore six mois après l'événement : un verre de moins par jour et un jour de plus sans consommer par semaine, selon les études, et un meilleur autocontrôle sur le refus de consommer.

« Un challenge non moralisateur »

En France, l'opération lancée par le monde associatif et la société civile « est un challenge motivant, positif, non moralisateur et en aucun cas une injonction médicale », rappelle Mickaël Naassila, président de la Société française d'alcoologie. « On a du mal à parler d'alcool en France, c'est aussitôt manichéen », regrette-t-il. « Ce type de campagne ne vise pas les malades alcooliques, mais plutôt des personnes qui surconsument de temps à autre, notamment sous la pression sociale », précise l'addictologue Jean-Pierre Couteron. Sont concernées les personnes qui boivent généralement en dépassant les repères sanitaires – soit maximum 2 verres par jour, pas plus de 10 par semaine, et au moins deux jours dans la semaine sans consommation. notons que 23,6 % des personnes dépassaient ces recommandations en 2017.

Alors, pourquoi les pouvoirs publics n'ont-ils pas soutenu cette campagne dont les effets sont prouvés en Belgique et au Royaume-Uni ? L'opération suscitait depuis plusieurs semaines l'opposition des lobbys de l'alcool. « C'est une réalité, les lobbys ont eu raison de ce défi, puis les arbitrages politiques les ont suivis », dénoncent la plupart des addictologues. L'opération devait en fait être lancée par Santé publique France (SPF) le 14 novembre, tout était prêt, comme l'indique un document révélé par Europe 1. Le dossier de presse était bouclé, signé par le ministère de la santé.

Hasard du calendrier ou pas, Emmanuel Macron a déjeuné ce même jour avec les coprésidents du comité Champagne et leur aurait dit, comme l'a rapporté le site spécialisé Vitisphère, « il n'y aura pas de Janvier sec ». Si l'Élysée n'a pas confirmé cette version, l'opération n'a en tout cas pas obtenu le soutien des pouvoirs publics. Guylaine Benech, consultant en santé publique et auteure du livre *Les Ados et l'alcool* (Presses de l'EHESP, 204 pages, 22 euros), ne mâche pas ses mots : « L'absence de soutien des pouvoirs publics à cette campagne est un scandale de santé publique. C'est aussi un grand révélateur de la puissance des lobbys alcooliers sur le gouvernement. »

Pour toute réponse, Agnès Buzyn avait indiqué sur Franceinfo, le 21 novembre : « Ce format n'est pas aujourd'hui validé par mon ministère. » Pour-

tant, SPF y travaillait depuis des mois. Revenons en arrière. « J'espère que nous aurons, dès 2020, une première année d'un Dry January à la française », avait déclaré Nicolas Prisse, président de la mission interministérielle de lutte contre les drogues et les conduites addictives (Mildeca), en juin, lors du congrès de la Fédération Addiction. La ministre de la santé elle-même avait signé le 6 août un arrêté fléchissant les montants alloués par le Fonds Addictions, dont 8,9 millions d'euros pour la prévention de l'alcool par SPF.

« Courant septembre, les équipes de SPF partent sur l'idée du "Janvier zéro degré", épaulées par un comité d'appui technique, composé d'une quinzaine d'acteurs du monde associatif et de l'addictologie », nous relate un des participants. Dans un document que nous avons pu consulter, SPF anticipe même l'amalgame avec le Mois sans tabac en novembre et les actions des alcooliers pour décrédibiliser l'initiative en accusant les pouvoirs publics d'être « dans une position hygiéniste, une société sans plaisir »... Surprise, quelques semaines plus tard, l'appellation Mois sans alcool est préférée, un sondage mentionnant que les gens comprennent mieux ce message. Certains y voient la victoire des partisans d'une ligne sanitaire dure. « Stratégiquement, il aurait été plus avisé de ne pas évoquer le "mois sans" ; les alcooliers s'en sont emparés », déplore un participant.

Pour preuve, les nombreux courriers émanant des industriels du vin adressés à des députés, dès début novembre, demandant au gouvernement de renoncer à l'opération. « Le fait est que l'Etat n'arrive pas à trouver les bonnes réponses à la prévention de l'alcool, à équilibrer les enjeux économiques, de santé et sociaux d'usage d'alcool », insiste Nathalie Latour, déléguée générale de la Fédération Addiction. Les promoteurs du Dry January en France se défendent d'être des hygiénistes forcenés : pour eux, l'idée n'est pas et n'a jamais été d'interdire de consommer de l'alcool, mais de responsabiliser les Français.

Côté belge, pour le directeur de la Fondation contre le cancer, Didier Vander Steichel, « la décision du gouvernement français est surprenante, nous y voyons l'influence plus que probable des lobbys vinicoles et la déplorons. D'autant qu'il ne s'agit pas d'exclure définitivement la consommation d'alcool, mais plutôt d'amener les consommateurs à réfléchir à son impact et à mieux la contrôler. Je suis surpris de voir un chef d'Etat se prononcer contre une initiative de promotion de la santé publique ! »

L'alcool est un fardeau de santé publique, martèle Amine Benyamina, président de la Fédération française d'addictologie, qui rappelle les 41 000 décès liés à l'alcool, la banalisation des « bitures express » chez les jeunes. Sans compter le

fardeau sanitaire et social associé : accidents, violences, suicides, passages aux urgences. Bien que le volume d'alcool pur diminue depuis les années 1960 (il est de 11,5 litres par habitant en 2018), la France reste parmi les pays les plus consommateurs du monde, au 6^e rang des 34 pays de l'OCDE.

Autre opération qui peut semer la confusion, Janvier sobre a été lancée en septembre par Laurence Cottet, patiente experte en addictologie. « L'objectif est de se questionner sur sa consommation, chacun adaptant ce défi à sa manière, en respectant les repères », souligne-t-elle. Quasiment le même argument que le Dry January à la française. « Ce n'est pas la même chose, explique Michel Reynaud, président du Fonds Actions Addictions, cette opération est dangereuse, car, en incitant à respecter les repères de consommation, cela laisse entendre que c'est la norme. » « Ce sujet est bien trop grave pour qu'il ne soit pas clivant », insiste Laurence Cottet, rappelant qu'elle n'a aucun lien avec l'industrie. Pour Guylaine Benech, « ces deux opérations n'ont rien à voir. Le message de Janvier sobre est grosso modo celui des acteurs de la filière économique, consistant à promouvoir une consommation d'alcool dite "responsable" ». Pourtant, le risque de développer certaines pathologies existe dès le premier verre, souligne l'Organisation mondiale de la santé. ■

PASCALE SANTI



Emmanuel Macron, accompagné du président de la Nouvelle-Aquitaine, Alain Rousset (à gauche), est venu goûter des produits locaux, à Anglet, le 24 août, lors du premier jour du G7, à Biarritz. IAN LANGSDON/AFP

Bébés secoués : les recommandations sanitaires mises en cause

PÉDIATRIE - Une association et un avocat ont saisi la Haute Autorité de santé pour abroger les critères de diagnostic de ce type de maltraitance

C'est une nouvelle étape dans la controverse scientifique et médico-légale à propos du syndrome du bébé secoué (SBS). Un avocat, Grégoire Etrillard, et une association de familles, Adikia, ont écrit à la Haute Autorité de santé (HAS) pour demander l'abrogation des recommandations relatives à ce « traumatisme crânio-cérébral non accidentel », publiées en 2011 et actualisées en 2017.

« Il est urgent que ces recommandations, beaucoup trop affirmatives, et sur certains points fausses, soient abrogées », a résumé maître Etrillard, lors d'un point presse, lundi 2 décembre, à Paris. Dans son argumentaire de 25 pages, l'avocat, qui défend une cinquantaine de familles « faussement accusées », constate que « les excessives certitudes exprimées par ces recomman-

dations ont envahi la sphère judiciaire au point d'en être régulièrement le fondement unique ». Or, poursuit-il, les conséquences sont dramatiques puisque cela aboutit, « à cause d'un diagnostic présenté comme "certain" et que nul ne peut remettre en cause, au placement d'enfants, à la séparation d'avec la famille et à la condamnation d'innocents à de lourdes peines ».

« Ce sont des vies brisées, des couples qui se séparent, des personnes qui ont tenté de mettre fin à leurs jours. C'est un enfer, on apprend à vivre avec, mais on ne s'en remet pas », a témoigné lors du point presse Emeline Hautœur, vice-présidente de l'association Adikia, qui représente 300 familles.

Forme de maltraitance dans laquelle un nourrisson est secoué violemment, entraînant des lésions cérébrales, le SBS concerne

surtout des bébés de moins de 1 an. Ce traumatisme peut être mortel dans 10 % à 20 % des cas, ou laisser des séquelles à vie. En France, le nombre de cas serait de plusieurs centaines par an.

D'autres causes possibles

Sujet très sensible en raison de sa gravité potentielle, et du contexte de protection de l'enfance, le SBS est cependant au cœur d'une controverse scientifique qui dépasse largement la France. Au Royaume-Uni, aux États-Unis, au Canada, ou encore en Suède, des médecins et des publications remettent en question la façon dont est porté le diagnostic de secouement, qui serait devenu trop systématique, sans tenir compte d'autres causes possibles des lésions observées. En Suède, en 2016, un rapport de l'agence équivalente à la HAS a

ainsi conclu que les critères classiques de SBS (une triade constituée d'hémorragies sous-durales, rétinienne et de lésions cérébrales) présentent un niveau de preuves faible ou très faible.

Dans son courrier envoyé à la présidente de la HAS, M^e Etrillard souligne d'abord que les recommandations sur le SBS sortent de la compétence de cette autorité. « Présentées comme étant adressées aux praticiens dans le cadre de leur démarche de soins, elles sont en réalité une injonction de signalement et un manuel d'expertise à destination du monde judiciaire », écrit-il. L'avocat estime aussi que les recommandations « se montrent affirmatives sur de nombreux sujets non démontrés ou controversés, ne présentant ainsi pas les gages d'impartialité attendus d'une telle publication sur le plan scientifi-

que ». Il souligne au passage qu'elles ont été éditées « par un groupe de travail dont ni la présidente ni les chargés de projet ne sont spécialistes en neurologie pédiatrique ».

Ainsi, un trouble de résorption du liquide céphalorachidien (nommé « expansion des espaces sous-arachnoïdiens » ou « hydrocéphalie externe »), une chute de faible hauteur, ou des maladies rares comme le syndrome d'Ehlers-Danlos, reconnus dans d'autres pays comme des diagnostics différentiels du « bébé secoué », ne sont pas ou à peine mentionnés par les recommandations de la HAS, déplore M^e Etrillard.

Des critiques que pointe aussi le docteur Jean-Claude Mselati, pédiatre, réanimateur, et expert agréé par la Cour de cassation. « Ces recommandations de la HAS s'appuient sur une large bibliogra-

phie, mais celle-ci est assez malhonnête, car elle occulte quasiment toute la littérature scientifique qui ne va pas dans le sens des rédacteurs », indique au Monde le médecin expert, gêné par ce document « rigide », qui fait pour ainsi dire « force de loi ».

« Aujourd'hui, tout nourrisson avec un peu de sang autour du cerveau est considéré comme secoué par la dernière personne qui était avec lui quand les symptômes sont apparus. Il n'y a plus aucune réflexion ni nuance », regrette le docteur Mselati.

Sollicitée par *Le Monde*, la HAS se donne le temps d'étudier le document. Elle a deux mois pour réagir à la demande d'abrogation. A défaut, M^e Etrillard et l'association Adikia prévoient de porter le dossier devant le Conseil d'Etat. ■

SANDRINE CABUT

L'Europe investit dans la science spatiale

RECHERCHE - Le budget de 14,4 milliards d'euros décroché par l'Agence spatiale européenne va financer de nombreuses missions, dont plusieurs liées à la « sécurité de l'espace »

Jeudi 28 novembre à Séville (Espagne), au sortir d'un jour et demi de négociations entre les ministres responsables des questions spatiales venus des 22 pays membres de l'Agence spatiale européenne (ESA), son directeur général, l'Allemand Jan Wörner, a semblé se délecter en annonçant un budget record « de 14,4 milliards d'euros. Quatorze virgule quatre. Quatorze virgule quatre. Je dois le répéter. Pour vous, c'est trivial, juste un nombre avec trois chiffres, pour moi c'est une surprise. C'est même plus que ce que j'ai proposé! »

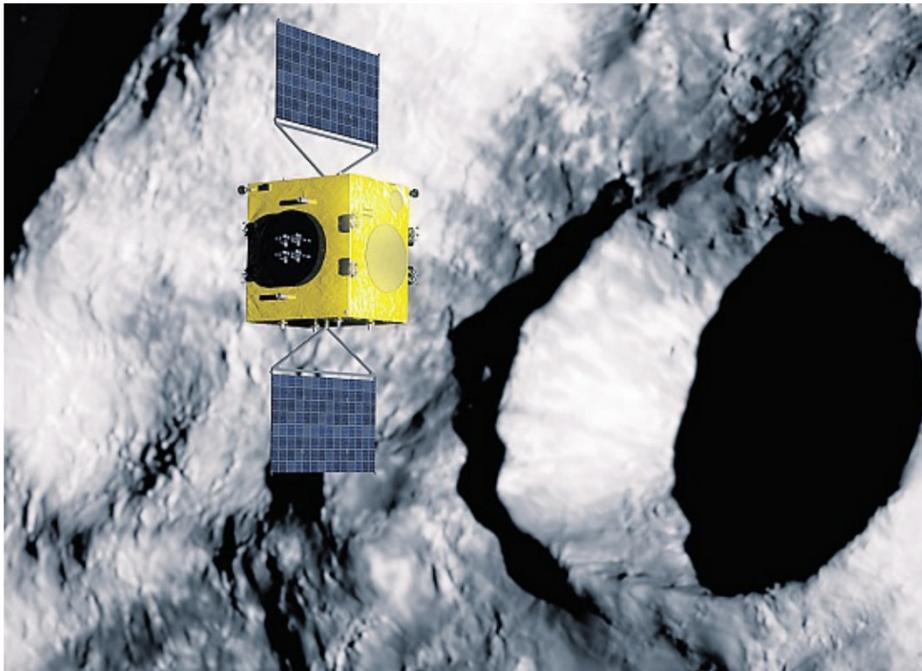
L'objectif initial étant d'obtenir 14,3 milliards d'euros, l'ESA repart de Séville avec 100 millions d'euros de plus. Nicolas Bobrinsky, chef du département Ingénierie et innovation de l'agence, salue « un succès, un résultat assez impressionnant. Ce montant record témoigne d'un grand intérêt pour le spatial en Europe ».

L'observation de la Terre (2,541 milliards), le transport spatial (2,238 milliards), l'exploration humaine et robotique (1,953 milliard), les télécommunications (1,511 milliard d'euros) vont recevoir de belles enveloppes pour les trois années à venir. Quant aux grandes missions spatiales scientifiques, elles seront aussi très bien dotées, avec 1,671 milliard d'euros jusqu'en 2022, auquel il faut ajouter 1,152 milliard garanti pour les deux années suivantes.

Menu gourmand

Günther Hasinger, le directeur scientifique de l'ESA, n'a certes pas obtenu la très ambitieuse hausse de 20 % qu'il avait demandée, mais les 10 % décrochés suffisent à son bonheur : « Nous avons eu ce que nous voulions, résume-t-il, ce qui va nous permettre de lancer toutes les grandes missions que nous avons prévues. »

L'ESA s'est en effet préparée un menu gourmand pour les trois prochaines années : la mission Solar Orbiter, dont le lancement est prévu pour février 2020, étudiera le Soleil ; après maints reports, le télescope spatial James Webb, présenté comme le successeur du célèbre Hubble et développé en collaboration avec la NASA et l'Agence spatiale cana-



Vue d'artiste de la sonde Hera, qui ira mesurer les effets de l'impact du satellite américain DART sur la lune de l'astéroïde Didymos. ESA

diennne, devrait prendre son envol en 2021 ; enfin, en 2022, deux missions sont censées décoller, Juice qui partira explorer trois des quatre principaux satellites de Jupiter, et Euclid qui, en observant les galaxies, tentera d'apporter une réponse au mystère de l'énergie noire qui accélère l'expansion de l'Univers.

Günther Hasinger souligne également que l'accroissement de son budget « permettra, au cours des prochaines années, de développer de nouvelles missions, comme Athena et LISA ». La première deviendra l'observatoire spatial le plus performant jamais réalisé dans le domaine des rayons X tandis que la seconde sera le premier dispositif capable de détecter les ondes gravitationnelles créées par les objets massifs et lointains que sont les trous noirs géants.

Pour l'heure, Athena est prévue pour 2031, trois ans avant le décollage de LISA. « Mais ce serait bien que les deux observent les mêmes phénomènes, pour se compléter », ajoute Günther Hasinger qui sou-

haïte « mettre en œuvre ces deux grandes missions en parallèle, de façon à ce qu'il n'y ait qu'un an d'écart au décollage ».

Débris spatiaux

Parmi les enveloppes moyennes distribuées à Séville, une était très attendue, celle, de 432 millions, attribuée au programme de « sécurité de l'espace ». Plusieurs réalités – et donc plusieurs projets – se cachent derrière cette expression. Tout d'abord le risque qu'un astéroïde percute la Terre. Contrairement à ce qui s'était passé à Lucerne (Suisse) en 2016 lors de la précédente réunion ministérielle, il a été décidé de financer la mission Hera qui ira mesurer les effets de l'impact du satellite américain DART sur la lune de l'astéroïde Didymos.

Comme nous le confiait récemment Patrick Michel, responsable scientifique d'Hera, « l'idée est de pouvoir valider les simulations numériques d'impact sur un astéroïde à l'échelle réelle et de mettre au point un modèle de déviation, de façon à savoir quelle énergie

transmettre à un tel corps menaçant la Terre, afin de lui faire changer de trajectoire ».

Autre risque, celui des débris spatiaux, dont la prolifération en orbite met en péril l'accès à l'espace. La décision a donc été prise de lancer « la mission Adrios, une petite sonde qui récupérera un débris de quelques centaines de kilos et lui donnera une impulsion pour le faire redescendre plus vite dans l'atmosphère terrestre », explique Nicolas Bobrinsky.

Le troisième et dernier risque est celui des éruptions solaires, qui menacent aussi bien les satellites, les réseaux électriques terrestres, que les astronautes. Ici se trouve le seul bémol de cette conférence ministérielle de Séville : l'Allemagne ayant souhaité mettre ses « billes » dans Hera, elle ne financerait pas la mission Lagrange qui devait faire de la météo de l'espace. Pour l'heure, seul le développement de ses instruments a trouvé son budget. Pour le vaisseau, il faudra attendre la prochaine réunion, dans trois ans. ■

PIERRE BARTHÉLÉMY

TÉLESCOPE

MÉDECINE

Le chirurgien Paolo Macchiarini condamné en Italie

Jadis star de la médecine régénérative, désormais soupçonné d'avoir traité de façon inappropriée des patients décédés après des greffes de trachées, le chirurgien italien Paolo Macchiarini vient d'être condamné à seize mois de prison ferme en Italie pour avoir falsifié des documents et abusé de sa position. L'affaire concerne une bronchoscopie réalisée gratuitement, en 2012, dans un hôpital de Florence au profit d'un ami qui aurait dû s'acquitter des frais d'examen. Le chirurgien a l'intention de faire appel, note le *British Medical Journal*. La procédure ne concerne pas les vingt cas de greffes de trachées réalisées dans des conditions suspectes par Macchiarini dans divers pays. Les révélations de la presse avaient conduit l'institut Karolinska, à Stockholm, à ne pas renouveler son contrat de chirurgien en 2016. Selon le bloqueur Leonid Schneider, au moins seize des receveurs étaient décédés en novembre 2018.

ESPACE

Thomas Pesquet pourra repartir dans l'espace en 2021

Le Français Thomas Pesquet, astronaute de l'Agence spatiale européenne (ESA), pourra repartir dans l'espace à bord de la station spatiale internationale (ISS). L'agence projette aussi de faire voler un nouvel Européen, l'Allemand Matthias Maurer. Le financement de l'ISS sur les trois années à venir, qui vient d'être voté par l'ESA, « va permettre à Thomas Pesquet de partir dans l'espace prochainement », a assuré Frédérique Vidal, ministre française de la recherche, à l'issue, jeudi 28 novembre, de la réunion des 22 pays membres de l'ESA à Séville, qu'elle coprésidait. Ce vol de longue durée, prévu pour fin 2021, serait le deuxième pour l'astronaute français, qui avait effectué une première mission à bord de l'ISS entre novembre 2016 et juin 2017. (AFP) (PHOTO: HANDOUT/AFP)



GÉNÉTIQUE

Le prognathisme des Habsbourgs est bien d'origine consanguine

Le menton en galoche des Habsbourgs, qui ont régné pendant deux siècles sur l'Espagne et l'Autriche, aurait pour origine la consanguinité. C'est la conclusion d'une étude combinant le diagnostic des difformités faciales visibles sur 66 portraits historiques de quinze membres de la famille avec une analyse génétique de leur degré de parenté. Le niveau de consanguinité a été calculé sur la base d'un arbre généalogique comprenant 6 000 individus répartis sur 20 générations. Plus la consanguinité était élevée, plus forts étaient l'avancée du menton et de la lèvre inférieure et le nez tombant. Roman Vilas, de l'université de Saint-Jacques-de-Compostelle, qui a mené l'étude, voit dans cette dynastie « une sorte de laboratoire humain pour étudier les effets de la consanguinité ». > Vilas et al., « *Annals of Human Biology* », 1^{er} décembre.

A Paris, le Centre du don des corps fermé

MÉDECINE - « L'Express » a révélé des conditions indignes de conservation des cadavres

Le scandale a été révélé par une enquête d'Anne Jouan dans *L'Express* du 27 novembre : jusqu'en 2018, et peut-être au-delà, le Centre du don des corps (CDC) de l'université Paris-Descartes a accueilli pendant des années, dans des conditions indignes, des défunts ayant fait don de leur corps à la science. Non seulement les règles d'éthique sur le respect dû aux corps étaient bafouées, mais les locaux, situés au 5^e étage de la faculté de médecine de la rue des Saints-Pères (6^e arrondissement) se sont enfoncés dans le délabrement et l'insalubrité. Des « pièces anatomiques » (membres, organes) étaient vendues, pour une bonne part à des organismes privés, pour servir à des tests divers.

Par un Tweet publié à la suite de la parution de l'article, la ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche, Frédérique Vidal, annonce avoir « ordonné la fermeture du centre et lancé, en accord

avec [la ministre de la santé] Agnès Buzyn, une inspection afin d'établir la réalité des faits et de proposer des moyens d'action plus efficaces ». Déclaration qui a suscité quelques sarcasmes, Frédéric Dardel, conseiller spécial dans le cabinet de M^{me} Vidal depuis un arrêté du 28 juin 2019, ayant été président de l'université Paris-Descartes de 2011 à 2019.

Membres épars, putréfaction...

Dans un communiqué, l'établissement « tient à présenter ses excuses aux familles (...) ». L'université souhaite apporter des précisions et réaffirme son engagement plein et entier au respect de la dignité des donneurs et de leurs familles ». Tout en retenue, le texte précise : « Après plusieurs décennies d'activité, certaines installations du centre sont devenues vétustes. Dans le même temps, les pratiques se sont transformées et les exigences sociétales en matière de respect de la

dignité et de la transparence ont renforcé nos devoirs éthiques. Cela a nécessité de revoir en profondeur les procédures et installations du site. » Et l'université de rappeler qu'une réhabilitation du site est en cours « depuis début 2018 », avec un « vaste plan de travaux », qui « prendra fin à l'horizon 2023 ».

S'appuyant sur un rapport assorti de photographies, adressé en 2017 par le nouveau directeur du centre au président de l'université, la description que publie *L'Express* est moins aseptisée : puanteur, corps empilés, membres épars, corps en proie à la putréfaction du fait de la détérioration des chambres froides non sécurisées et attaqués par les rats, locaux sans ventilation ni climatisation...

Plusieurs responsables du centre et membres de son comité d'éthique ont démissionné à l'automne 2017 « face à l'inertie des pouvoirs publics », écrit Anne Jouan. La journaliste cite un courrier adressé à

Frédéric Dardel par la présidente démissionnaire du comité d'éthique, la professeure Brigitte Maury : « Quand j'ai pris mes fonctions en 2015, j'ai découvert avec effarement que les rats couraient dans les couloirs et que les conditions de conservation des corps étaient déplorables (...) ». L'histoire se souviendra que vous avez fossoyé la plus grande structure anatomique de France. »

Outre la mise en place, votée en 2011, d'une tarification pour l'accès aux locaux et aux corps, *L'Express* précise que la vente de cadavres a été votée sous la présidence de Frédéric Dardel, qui la justifie ainsi : « Les corps représentent un coût marginal, il est normal que ceux qui les utilisent paient. Et les prix ne sont pas scandaleux. » L'hebdomadaire révèle également un trafic de vente de pièces anatomiques qui a perduré pendant des années. ■

PAUL BENKIMOUN

12

C'est le nombre de médicaments que la revue *Prescrire* vient d'ajouter à sa liste des molécules à écarter « car les effets indésirables auxquels ils exposent sont disproportionnés par rapport à leur faible efficacité ou à la bénignité de la situation clinique dans laquelle ils sont autorisés ». Dans cette liste en accès libre sur le site de *Prescrire* figurent notamment l'alpha-amylase (Maxilase ou autre), le ginkgo biloba (Tanakan ou autre), le ténoxicam (Tilcotil). En raison de « la contamination par du plomb des argiles médicamenteuses utilisées dans divers troubles intestinaux dont les diarrhées », *Prescrire* recommande également de ne pas recourir à l'actapulgit, la diosmectite (Smecta ou autre), la monmectite (Bedelix ou autre) ou le kaolin (en association dans Gastropax et Neutroses). > « *Prescrire* », décembre.

Bâtir selon la nature

► SUITE DE LA PREMIÈRE PAGE

« En appliquant le biomimétisme, nous tirons parti d'une mine d'idées issues de 3,8 milliards d'années de recherche et développement : cette source, ce sont les multiples espèces qui ont survécu à la sélection naturelle », écrit Michael Pawlyn. En architecture, cette approche entend répondre à un enjeu de développement durable. Il s'agit bien de « rechercher des solutions durables dans la nature, sans vouloir en répliquer les formes, mais en identifiant les règles qui les gouvernent », résume Natasha Heil, architecte, chercheuse en stratégie biomimétique pour l'architecture au CNRS (MAP-MAACC) à Paris.

Economie de matériaux, allègement des structures, ventilation passive, confort thermique, gestion optimisée de l'énergie... les enjeux sont multiples. Avec l'espoir qu'à terme ces bâtiments novateurs imitent le fonctionnement d'un écosystème. Ils rempliraient alors un maximum de services : purification de l'air, recyclage de l'eau et des déchets, limitation de l'érosion des sols, production de biomasse, stockage du carbone, optimisation énergétique... Un cercle vertueux, en somme, pour une empreinte positive de l'habitat et de quartiers entiers. Utopie ou légitime attente ? L'avenir le dira.

Revenons à BUGA, le nom donné à cet élégant pavillon de l'université de Stuttgart. D'avril à octobre, la ville d'Heilbronn accueillait un salon de jardinage et d'architecture urbaine très couru en Allemagne, le Bundesgartenschau (BUGA). Près de 2,5 millions de visiteurs s'y sont pressés, 376 concerts y ont été donnés. Au bord du Neckar, sa place était stratégique, entre le jardin botanique et un quartier d'immeubles flambant neufs. Entre nature et architecture : tout un symbole. « Ce pavillon nous montre l'architecture du futur, à la fois efficiente, économe, écologique et expressive », dit Oliver Toellner, architecte-paysagiste.

L'édifice se révèle être un puzzle de pièces de bois polygonales (376 en tout). Toutes sont des

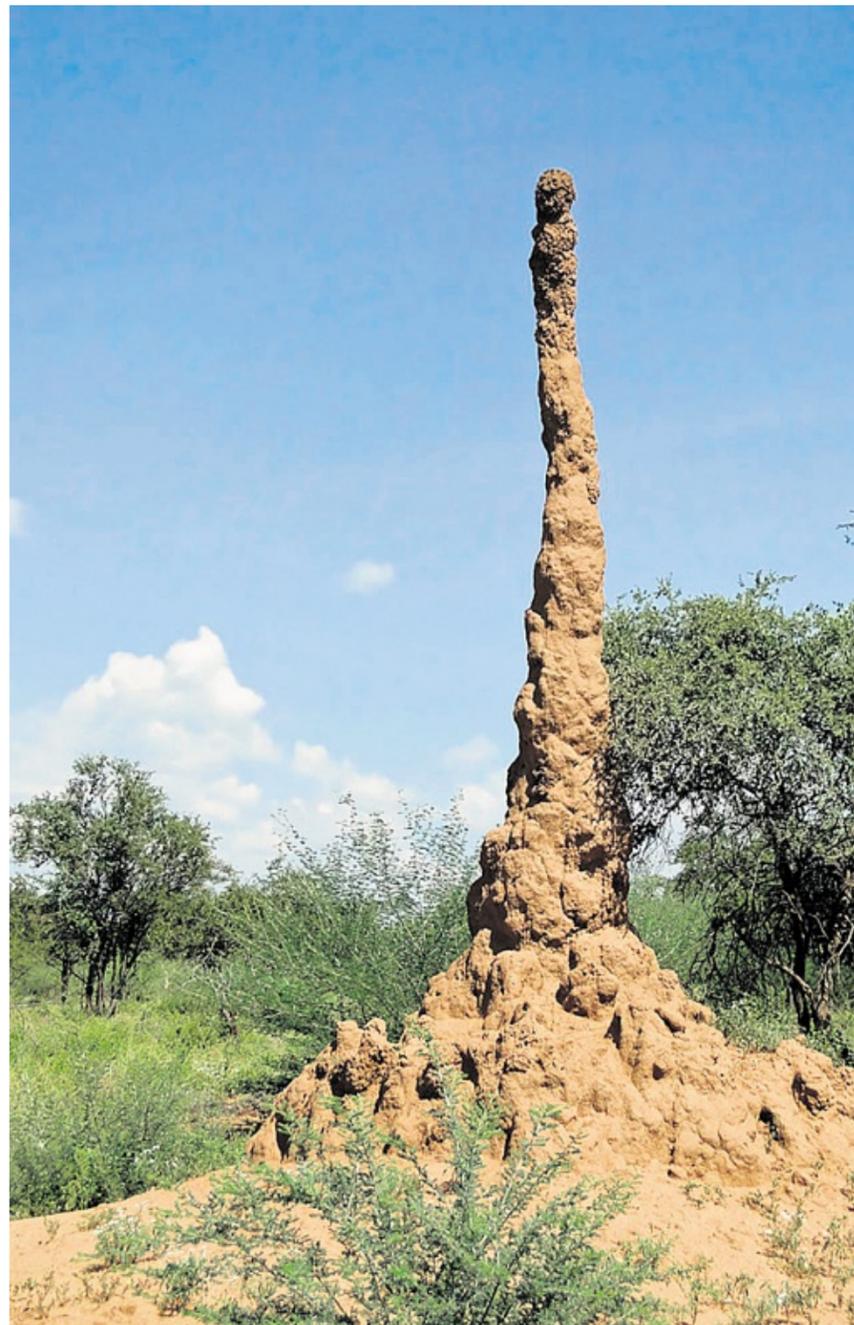
polygones de cinq ou six côtés, parfois sept. Mais toutes diffèrent les unes des autres. Les arches du pavillon, ouvert sur ses côtés, reposent sur trois pieds. Pénétrons maintenant sous son toit doublement incurvé, qui culmine à 7 mètres de hauteur, pour 25 à 32 mètres de largeur. Chaque pièce de bois apparaît creusée de larges trous plus ou moins elliptiques, tous de formes différentes. Illuminés, ils donnent au bâtiment une grâce singulière, entre années pop et futurisme.

L'ordinateur, un outil précieux

Approchons-nous maintenant jusqu'à toucher l'édifice. Chaque pièce du puzzle, découvre-t-on, est reliée à sa voisine par un jeu de joints en forme de doigts : un assemblage « à entures », disent les experts. « Pour concevoir les pièces de bois polygonales de ce pavillon et leurs joints en forme de doigts, nous avons observé les principes de la structure du squelette d'oursins plats », raconte Monika Göbel, architecte et chercheuse à l'université de Stuttgart.

Cette démarche impose un étroit partenariat entre architectes, ingénieurs et biologistes. Pour ce pavillon BUGA, le squelette de ces oursins, nommés « dollars des sables » (*Clypeasteroidea*), a été décortiqué à l'université de Tübingen, en Allemagne. Sa structure intime a été révélée par microscopie électronique et par tomographie aux rayons X, une technique qui permet la reconstruction d'images en coupe d'un objet à trois dimensions. Verdict : il est formé d'un maillage de plaques calcaires polygonales. Pas une n'est identique à l'autre.

Ces plaques sont assemblées entre elles par des excroissances de calcite qui s'interpénètrent. Le tout confère à ces squelettes « une solidité et une résistance élevées », résume Tobias Grun, auteur de ces travaux, ainsi qu'une forte capacité portante. Dans un bâtiment classique, les charges sont réparties dans un réseau de colonnes et de poutres. Ici, les charges sont disséminées sur l'ensemble de la structure modulaire. C'est un exemple de « structure à forme active » : des



**ÉCONOMIE DE MATÉRIAUX,
ALLÈGEMENT
DES STRUCTURES, CONFORT
THERMIQUE, GESTION
OPTIMISÉE DE L'ÉNERGIE...
LES ENJEUX SONT MULTIPLES**

structures tendues de type toiles, arches à double courbure – où la courbure et la précontrainte de l'édifice assurent sa stabilité.

« Dans la nature, les formes sont peu coûteuses à produire mais les matériaux le sont. Pour économiser les matériaux, nous devons « mettre plus de forme active » dans nos structures », explique Monika Göbel. Rappelez-vous : c'est le credo d'Achim Menges. « Dans les structures biologiques ou biomimétiques, il y a une unité entre la forme, la structure et le matériau. Si nous les trouvons belles, c'est parce que nous percevons cette unité », poursuit l'architecte.

Mais la bio-inspiration seule ne suffit pas. Pour innover, elle s'appuie sur un outil précieux : la

LES FRÈRES VERNOUX, CONSTRUCTEURS BIO-INSPIRÉS

L'architecture, pour les frères Vernoux, est d'abord une affaire de famille. Leur fascination pour les formes a pris deux voies qui ont divergé, avant de se rejoindre. L'aîné, Teva, 46 ans, se passionne pour l'architecture des plantes depuis toujours. « Selon la légende familiale, le premier mot que j'ai prononcé a été « fleur », avant même « maman ». » Il suivra opiniâtement cet élan, étudiant la biologie à l'École normale supérieure de la rue d'Ulm, à Paris. Depuis 2016, il dirige le laboratoire Reproduction et développement des plantes du CNRS, à l'ENS de Lyon (université Claude-Bernard). Sa spécialité : la phyllotaxie, qui explore les structures végétales. Pourquoi les bourgeons, les feuilles ou les fleurs sont-ils disposés selon une géométrie précise – le plus souvent en spirale – sur la tige d'une plante ? Cet agencement répond à des règles mathématiques et biologiques très précises.

Nicolas Vernoux-Thélot, son cadet de deux ans, s'enthousiasme pour le design des bâtiments. « J'avais une sensibilité artistique, mais aussi un attrait pour les sciences. L'architecture conciliait

ces deux aspects. » En 2008, il a fondé sa propre agence, In Situ Architecture, à Paris.

Très proches, les deux frères pouvaient-ils manquer de faire confluer le cours de leurs intérêts ? Voilà plus de dix ans qu'ils mènent une réflexion commune, mais les prémices de ce rapprochement ont été précoces. Pendant que Nicolas étudiait à l'École nationale supérieure d'architecture de Versailles, Teva venait souvent l'aider à finir ses maquettes. « C'est là que j'ai développé un intérêt pour l'esthétisme des bâtiments. » Nicolas, lui, a fait le chemin inverse. Une fois établi comme architecte, il s'est mis à étudier en parallèle... la botanique ! Il a suivi une formation au Muséum national d'histoire naturelle à Paris.

« Maison spirale »

Ces affinités pour les formes étaient-elles inscrites dans les gènes ? À l'évidence, l'influence parentale a joué. « Notre mère enseignait les sciences naturelles. Notre père, lui, est professeur émérite de biochimie à l'université de Caen, raconte Nicolas. Ils nous ont transmis une vision de la nature où l'homme ne trône pas au

sommet mais forme une chaîne avec l'ensemble du vivant. »

Les deux frères entament un dialogue peu commun. « Les sciences universitaires fonctionnent en silos, ce qui est un frein majeur à l'essor de la conception bio-inspirée en architecture, regrette Nicolas. Notre lien fraternel a permis un décloisonnement. » Leurs premiers échanges se traduisent assez vite en réalisations concrètes.

« Soucieux de développement durable, nous nous sommes demandé comment faire des bâtiments vertueux en termes d'empreinte écologique. En 2007, notre réflexion s'est cristallisée sur un premier projet : une « maison spirale » à Malakoff [Hauts-de-Seine]. L'objectif : surélever sur deux niveaux une maison existante. La réponse : une forme spirale mimant la phyllotaxie, pour favoriser au mieux la récupération de la lumière solaire.

Second jalon : en 2012, In Situ Architecture livre un projet de 49 logements à Vitry-sur-Seine (Val-de-Marne). Là encore, « sa conception a été fortement influencée par la phyllotaxie, explique Nicolas. Les logements se décalent les uns des autres en pivotant et

selon un système en gradins. De cette façon, ils captent la lumière naturelle et bénéficient au mieux de l'énergie passive du soleil. »

Troisième étape : le duo formalise sa démarche. « En 2017, nous avons modélisé le gain énergétique d'un tel agencement de logements, inspiré de la morphogénèse des plantes », dit Nicolas. A cette fin, les deux frères ont conçu un algorithme qui calcule la disposition de chaque logement sur une parcelle, comme s'il s'agissait d'une feuille ou d'une fleur le long d'une tige. Ce qui aboutit, là encore, à une géométrie imitant le développement en spirale des organes végétaux, en vue de capter le maximum de lumière naturelle. « Cet algorithme devient intéressant quand on veut créer une densité d'habitats », indique l'architecte. Résultat : sur un projet de résidence à Senlis (Oise), le gain calculé sur le poste chauffage est de 20 %. Malheureusement, ce projet n'a pas encore abouti. Mais l'algorithme, fruit d'un contrat de collaboration entre l'ENS de Lyon et le cabinet In Situ Architecture, pourrait être commercialisé. Clients visés : mairies et collectivités.

Sur sa lancée, le duo développe une « double peau » sensible à la température, pour un projet de bureaux dans le 15^e arrondissement, à Paris. La forme de ce système s'inspire de la feuille de charme, dont le pliage présente un déploiement optimal. « Ici, nous utilisons un tissu plié et tendu sur des baleines qui se déforment selon la température », explique Nicolas.

Climatisation des termitières

Autre réalisation bio-inspirée : au printemps 2019, In Situ Architecture a livré une église au Sénégal, dont la ventilation s'inspire de celle des termitières. Ce projet a valu à l'agence un prix international, l'Architecture MasterPrize 2019. Pour autant, cette église n'est pas le premier bâtiment conçu de la sorte : en 1996, l'architecte zimbabwéen Mick Pearce avait déjà construit un immeuble de 7 étages, le fameux Eastgate Center, à Harare (capitale du Zimbabwe), en reproduisant le principe de climatisation des grandes termitières. Le bâtiment, sans air conditionné, est très économe en énergie.

Autre enjeu de développement durable : minimiser l'emploi de

matériaux. Le duo a ainsi réfléchi à une structure en bois qui répond à cet enjeu. Ce travail l'a mené aux structures polygonales (pentagones ou hexagones, le plus souvent) si répandues dans le monde vivant. Alvéoles des nids d'abeilles, squelette calcaire des coraux ou des oursins, trame des cellules végétales produisant la chlorophylle... : les mailles polygonales sont légion au sein des espèces animales ou végétales. « Quand un même processus ou une même structure sont retrouvés chez un grand nombre d'espèces vivantes, il peut s'agir d'une solution performante. Cela nous montre une voie à explorer », souligne Teva.

« Les solutions du vivant sont une réponse à un écosystème donné », poursuit le biologiste. Mais sûrement pas à toutes les contraintes du bâtiment ! « Il arrive que le concept de biomimétisme soit survenu, admet-il. En réalité, il faut tester chaque source d'inspiration avant de dire : « C'est la solution à mon problème. » Grande avancée, « les modèles informatiques permettent d'évaluer rapidement la pertinence de ces systèmes ». ■



Pour l'église de l'Épiphanie, à Nianing, dans l'ouest du Sénégal, l'architecte Nicolas Vernoux-Thélot, de l'agence française In Situ Architecture, s'est inspiré de la forme d'un coquillage répandu dans la région et du système de ventilation des termitières (à gauche).

RÉGIS L'HOSTIS/IN SITU
À GAUCHE: IN SITU

conception assistée par ordinateur. « Notre chance tient à notre capacité de créer ces formes actives par codesign : nous explorons les nouvelles possibilités du design, de l'ingénierie et de la production, par le biais d'un processus informatique itératif en boucles, au sein d'une équipe interdisciplinaire. »

Pour autant, une construction biomimétique n'est jamais la copie conforme de la biologie. Pour ce pavillon BUGA, certaines innovations doivent tout à l'imagination humaine. Ainsi, pour minimiser la consommation de bois et alléger encore la structure, chaque plaque est creuse : elle est formée de deux fines planches en sandwich qui enrobent un anneau de bois périphérique. De plus, chaque planche inférieure est creusée d'un large trou, pour permettre l'assemblage des plaques par des boulons.

Au total, il n'aura fallu que treize mois entre le début de la conception et l'assemblage de ce pavillon. Une tête de robot spécifique a été conçue pour l'encollage et le fraisage sur mesure de chaque plaque. « Cette préfabrication robotique offre une extrême précision [de 300 micromètres], de sorte que l'assemblage du pavillon a été très rapide », explique Jan Knippers. Dix jours ont suffi, sans recours à un vaste système d'échafaudage.

Comment adapter à la « vraie vie » ce pavillon de démonstration ? « Ces enveloppes de bois segmentées pourraient être utilisées de diverses manières, indique Achim Menges. La plus immédiate est d'ajouter des façades en verre aux ouvertures du pavillon, afin de créer un bâtiment entièrement clos. Seconde perspective : utiliser ces enveloppes très légères pour surélever des bâtiments existants. » L'université de Stuttgart développe deux projets pour rehausser des parkings, dans deux villes moyennes d'Allemagne. Le but : créer des espaces pour des activités sportives en salle.

Le risque de l'écoblanchiment

Ces recherches sont emblématiques d'une véritable démarche de conception biomimétique. Mais il faut l'admettre : une telle approche reste rare. Pourtant, les illustres pionniers n'ont pas manqué. « L'architecte du futur construira en imitant la nature, parce que c'est la méthode la plus rationnelle, la plus durable et la plus économique », notait un visionnaire, l'architecte espagnol Antoni Gaudí (1852-1926), père de la Sagrada Família à Barcelone. Sa devise : « Copier le grand livre toujours ouvert de la nature. » Parmi ses célèbres prédécesseurs, Filippo Brunelleschi (1377-1446) s'inspira de la coquille d'œuf pour réaliser le dôme de la cathédrale de Florence. Quant à Léonard de Vinci (1452-1519), il aurait déclaré à ses élèves : « Va prendre tes leçons dans la nature, c'est là qu'est notre futur. »

IL FAUT L'ADMETTRE, UNE TELLE APPROCHE RESTE RARE. POURTANT, LES ILLUSTRÉS PIONNIERS N'ONT PAS MANQUÉ : GAUDI, VINCI...

Autre personnalité d'avant-garde : l'architecte et ingénieur allemand Frei Otto (1925-2015). Lui aussi a travaillé à l'université de Stuttgart ! Il est « l'architecte qui a certainement le plus contribué à l'étude des formes structurelles naturelles », estime le Centre européen d'excellence en biomimétisme de Senlis (Ceebios) dans son rapport « Habitat bio-inspiré » (2018). Frei Otto est célèbre pour avoir conçu le toit du stade de Munich, qui a accueilli les Jeux olympiques de 1972. Inspirée de la structure de la toile d'araignée, combinant force et légèreté, cette toiture met à profit la notion de surface minimale.

Ces illustres pionniers faisaient du biomimétisme sans le savoir. Le terme aurait été forgé dans les années 1950 par un autre Otto, l'universitaire américain Otto Schmitt (1913-1998). Ensuite, le concept a été développé par le biologiste allemand Werner Nachtigall. Et popularisé par la biologiste américaine Janine Benyus. En 1997, dans son livre *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (Biomimétisme. Quand la nature inspire des innovations durables, Rue de l'échiquier, 2011), elle insiste sur l'enjeu de développement durable.

Et aujourd'hui ? « Le biomimétisme est une science encore très jeune, il n'y a pas beaucoup de réalisations abouties », observe Xavier Marsault, du laboratoire MAP (CNRS-ministère de la culture), à Lyon, qui étudie les applications et recherches en informatique pour l'architecture. Mais, depuis cinq ans, le nombre de publications dans ce domaine grimpe. « A mon sens, cette croissance va décoller d'ici deux ou trois ans. »

De fait, le cercle des architectes engagés dans une authentique démarche biomimétique est restreint. Pourtant, ils peuvent, en théorie, s'appuyer sur les progrès accomplis dans deux domaines. « Aujourd'hui, nous sommes en mesure de revisiter les avancées en biologie avec d'énormes atouts : une connaissance scientifique qui ne cesse de s'étendre, et des outils numériques jusqu'à présent inimaginables », écrit Michael Pawlyn dans *Biomimétisme & Architecture*. De plus, notre sens de l'esthétique « s'est émancipé des conventions stylistiques ».

Cet architecte londonien a conçu un immeuble de bureaux selon cette démarche : « Les plantes et

les ophiures [créatures marines proches des étoiles de mer] ont influencé l'élaboration de solutions d'éclairage naturel. Les crânes d'oiseaux, les os de seiche, les oursins et des nénuphars géants d'Amazonie ont inspiré la structure. Les termites, les plumes de pingouin et la fourrure d'ours polaire ont été étudiés pour mettre au point le système de régulation thermique », écrit-il dans son livre. Mais cet immeuble, qui devait voir le jour en Suisse, à Zurich, reste à ce jour virtuel.

Quid des réalisations effectives ? Elles se contentent sur les doigts des mains. Les grandes références internationales sont les deux immeubles de bureaux de l'architecte zimbabwéen Mick Pearce : l'Eastgate, édifié en 1996 à Harare, et le CH2, construit en 2005 à Melbourne. Leur ventilation naturelle ascendante, combinée à une ventilation traversante nocturne, est en partie inspirée des termitières.

Plus nombreux sont les projets concernant l'enveloppe ou la façade des bâtiments. Par exemple, le projet français de l'agence Art & Build, à Paris : une façade « brise-soleil » qui réagit comme un organisme vivant, donc sans moteur, de manière autonome, grâce à ses seules propriétés physiques. « La bio-inspiration est venue en deux temps, explique Steven Ware, le directeur de l'agence. Nous nous sommes d'abord intéressés aux cellules des stomates, ces orifices présents dans l'épiderme des végétaux. Ces cellules ont des parois d'épaisseur inégale. Grâce à quoi, elles s'ouvrent quand l'atmosphère s'humidifie. Et la feuille respire. Pour leur système de protection solaire, les ingénieurs ont eu recours à deux lames d'alliages différents, souples, soudées l'une à l'autre par laminage à froid. Le coefficient de dilatation des deux métaux diffère : du coup, ce « bilame » se déforme avec les variations de température. Il contrôle ainsi le passage de lumière passivement. »

Dans un second temps, l'équipe s'est inspirée des mouvements de certaines plantes, en réponse à la variation de lumière ou de température. « La façon dont les feuilles de l'Oxalis triangulaires s'ouvrent et se referment a inspiré la forme de nos protections solaires. » Après un prototypage, ce projet entre en phase d'essais en laboratoire. Première réalisation prévue : la façade du nouveau siège du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), à Lyon.

Revenons aux bâtiments qui revendiquent une forme bio-inspirée. Sont-ils vraiment issus d'une conception bio-inspirée ? Ou s'agit-il de « verdir » leur image ? Quid, par exemple, du toit de la gare de Waterloo, à Londres, bâti en 1990 sur « le modèle des écailles du pangolin », selon ses concepteurs ? Ou du stade national de Pékin, censé avoir été inspiré par un nid d'oiseau, pour les Jeux olympiques de 2008 ? Même les hommes de l'art s'y perdent.

Et ce secteur du centre de recherche et développement Skolkovo, la Silicon Valley russe, près de Moscou, qui se veut inspiré du système de régulation thermique des manchots empereurs ? Destiné à accueillir des familles de chercheurs, il compte une centaine de villas regroupées par dizaines. Livré en 2017, il a été conçu par l'agence française Bechu & Associés. Son agencement « permet d'économiser 5 °C de température. En se serrant les uns contre les autres en groupes très denses et en ne présentant que le haut de leur dos au vent froid, les manchots limitent les pertes de chaleur », indique l'agence.

Le biomimétisme, au vrai, se prête à l'écoblanchiment (ou *greenwashing*, « verdissage »). « La référence à la nature sert très souvent d'alibi pseudo-scientifique pour justifier des choix conceptuels architecturaux », regrette Jan Knippers, à la tête de l'ITKE, à Stuttgart. « Un *greenwashing* qui se contente de métaphores », déplore l'architecte Nicolas Vernoux-Thélot, de l'agence In Situ Architecture. Clémence Bechu, de l'agence Bechu, est moins sévère. « Si *greenwashing* il y a, pourquoi pas ? Cela peut participer à une prise de conscience globale. »

Les freins actuels ? « Cette approche n'est guère mise en pratique pour trois raisons, analyse Natasha Heil, l'architecte et chercheuse au CNRS. Les collaborations avec les biologistes restent difficiles. La prise en compte des connaissances biologiques dans la conception des bâtiments est chronophage. Et les contraintes propres au monde de la construction sont nombreuses. » D'où ce projet en cours porté par l'équipe du laboratoire MAP-MAACC (CNRS) à Paris : les chercheurs développent une plate-forme numérique visant à favoriser les collaborations interdisciplinaires. « Nous voulons en faire un outil pratique pour que les architectes s'en emparent ! »

L'évolution reste « un bricolage »

Pour favoriser l'essor du biomimétisme en France, le Ceebios a été créé en 2014. Estelle Cruz, architecte-ingénieure chargée de mission habitat bio-inspiré au sein de ce réseau, mène une thèse sur les enveloppes et façades bio-inspirées (avec le Muséum national d'histoire naturelle, le Ceebios et le cimetière Vicat). « Nous cherchons à classifier les enveloppes biologiques existantes », dit-elle, pour faciliter l'accès aux données permettant la conception des enveloppes adaptatives.

Autre initiative : le 22 octobre, à l'occasion du salon Biomim'expo, à Paris, un collectif d'une dizaine d'acteurs a été créé, le Biomim'City Lab (il réunit le Ceebios, des agences d'architectes, l'industriel Renault, le constructeur Eiffage, le groupe immobilier Icade) pour « mutualiser les compétences et développer les bonnes pratiques autour du biomimétisme », résume Estelle Cruz.

D'autres projets se développent. « En France, en Suisse, en Allemagne, plusieurs équipes s'efforcent de construire de grands catalogues de solutions du vivant, en réponse à un problème donné », souligne Xavier Marsault. La nature aurait-elle réponse à tout ? Il serait naïf de le croire. « Il existe une multitude de défis architecturaux auxquels la nature ne peut répondre », reconnaît Jan Knippers. Comme il serait simpliste de penser que la nature fournit toujours des réponses optimales. Certes, elles ont été éprouvées par des dizaines ou centaines de milliers d'années d'évolution. Mais, pour le biologiste François Jacob (1920-2013), l'évolution reste un « bricolage » ! « La métaphore renvoie à une vision darwinienne de l'évolution. Donc gouvernée par le hasard », relève Teva Vernoux, biologiste au CNRS-ENS de Lyon.

Reste l'enjeu de développement durable. « Depuis quelques années, la prise de conscience de l'accélération du changement climatique rebat les cartes. Le biomimétisme me semble ouvrir une nouvelle voie », estime Nicolas Vernoux-Thélot. Mais il faut nuancer. Certes, les critères d'évolution biologique sont très similaires à ceux d'une architecture durable. « Pour autant, il importe d'évaluer au cas par cas si une structure dite « biomimétique » répond vraiment aux enjeux d'un développement durable », juge Jan Knippers. ■

FLORENCE ROSIER
(STUTTGART, ALLEMAGNE, ENVOYÉE SPÉCIALE)

LE LIVRE

Les invariants de la mort

Eric Crubézy, anthropologue surnommé le « Sherlock Holmes du monde des morts », décrypte les rites funéraires à travers le temps

Eric Crubézy a une rare familiarité avec la mort. Non pas qu'il soit entrepreneur de pompes funèbres, médecin légiste, spécialiste des catastrophes ou des zones de conflits... Professeur d'anthropologie à l'université de Toulouse et directeur du laboratoire anthropologie moléculaire et imagerie de synthèse, il est, comme on l'avait écrit dans ces colonnes à l'occasion d'une rencontre en 2002, le « Sherlock Holmes du monde des morts ». De la France à la Sibérie orientale, de l'Égypte à la Bolivie, cet archéologue a, pendant plus de trois décennies, fouillé des sépultures et des nécropoles sur presque tous les continents, décryptant à partir des dépouilles la vie des humains et les sociétés dans lesquelles ils avaient vécu. Il lui est aussi arrivé, comme il le raconte, de rendre visite « aux morts et à leurs familles dans les villages et les hôpitaux, où [il donnait] parfois un coup de main pour préparer les corps ».

Dans son dernier livre, Eric Crubézy s'attache à décortiquer les rites funéraires à travers le temps et l'espace, la manière dont *Homo sapiens* s'occupait jadis et s'occupe aujourd'hui des cadavres. « On peut les inhumer, les brûler, les dépecer, les décharner, les articuler comme des pantins, les faire sécher au vent ou à la fumée, les embaumer, les manger, les exposer sur des tréteaux ou les abandonner », écrit-il en introduction. Une variété de traitements derrière laquelle se cache, devine le chercheur, un fond commun à toutes les pratiques. Des invariants de la mort.

Trois étapes systématiques

Les rites funéraires doivent résoudre de nombreux problèmes, certains très pragmatiques (ne pas s'exposer à la putréfaction du cadavre), d'autres d'ordre psychologique (gérer la douleur, voire la sidération des proches), d'autres, enfin, à caractère plus symbolique comme le devoir de mémoire envers le disparu. Ils ont tous en commun de séparer le mort du monde des vivants. Qu'il y ait sépulture ou pas, que le mort soit mangé par ses proches ainsi que le faisaient les Fore en Nouvelle-Guinée il y a encore quelques décennies, ou que son cadavre soit mis en scène, assis et emmaillotté de bandelettes, comme chez les Fali du Cameroun, trois étapes reviennent systématiquement.

Tout d'abord voir la dépouille, ce qui permet aux proches de prendre conscience que la personne est décédée. Puis cacher le mort, le congédier en quelque sorte, afin d'enclencher le processus de deuil chez ceux qui restent. « Si le "voir" et le "cacher" sont tant ritualisés, souligne Eric Crubézy, c'est que les rites, grâce à leur portée symbolique, facilitent l'élaboration psychologique de la perte. Ils apportent un soutien en balisant l'affliction et en fournissant des schémas de conduite. » Enfin, vient la troisième et ultime étape, une métamorphose que l'auteur nomme « sacralisation » – sans qu'il y ait dans ce mot de connotation religieuse –, la création d'un autre monde pour le mort qui est transformé en défunt, quittant le statut d'être. ■

PIERRE BARTHÉLÉMY

« Aux origines des rites funéraires. Voir, cacher, sacraliser », d'Eric Crubézy (Odile Jacob, 256 p., 22,90 €).

LIVRAISON

ZOOLOGIE

« Humains et autres animaux »

Le Muséum national d'histoire naturelle s'engage de nouveau dans le débat public au moyen d'un court « Manifeste » bilingue, le troisième du genre. *Quel futur sans nature ?*, se demandait un premier opuscule, en 2017, suivi l'année suivante par un volume consacré aux migrations. Le troisième s'intitule *Humains et autres animaux*, pour rappeler que notre espèce, malgré ses spécificités, fait partie du règne animal. > Collectif (Reliefs, 102 p., 7,50 €)

UNE ODYSSEE AU MICROSCOPE

Un David Bowie de la taille d'un grain de sable, qui prend vie dans le microsillon d'un disque vinyle. Tel est le synopsis, minuscule, d'un court-métrage qui défie les lois cinématographiques en plongeant dans le presque infini : *Stardust Odyssey*, réalisé par Tibo Pinsard, a été homologué par le Guinness World Record, celui du plus petit personnage animé en volume. Les figurines de résine photosensible imprimées en 3D au laboratoire ULB-TIPS de Bruxelles ne font que 0,3 mm de haut – 33 fois plus petit que le précédent record établi en 2010 par Nokia et le Studio Aardman, père de Wallace et Gromit. Il a fallu créer plus de 250 figurines, en diverses positions, pour pouvoir donner l'illusion du mouvement grâce à des prises de vue successives (stop motion) réalisées à l'institut FEMTO-ST de Besançon. « Nous avons développé de la robotique de précision pour manipuler des composants sous vide en microscopie électronique, encore plus petits – 10 micromètres – que ce David Bowie, explique Michaël Gauthier, chercheur à Femto-ST. Mais il aura fallu trois ans pour réaliser ce projet hors norme, un ovni scientifique et cinématographique. » (PHOTO: HANDOUT/ AFP)



DIX MILLE PAS ET PLUS

LE SPORT-SANTÉ, FUTUR HÉRITAGE DES JEUX OLYMPIQUES DE 2024 À PARIS

Par SANDRINE CABUT

Une séance matinale collective de marche avec bâtons dynamiques (*bungypump*) le long de l'océan, une série de quiz où le public est invité à répondre en faisant des mouvements, une pause yoga-santé d'une heure... Dans un colloque sport-santé, la lutte contre la sédentarité et l'incitation à bouger ne sont pas seulement omniprésents dans les discours. Ainsi, ce vendredi 29 novembre, lors des 10^{es} rencontres de Biarritz, l'une des villes emblématiques du sport-santé en France, c'est assis sur des ballons d'exercice que Tony Estanguet, président du Comité d'organisation des JO 2024 à Paris, et Marie Barsacq, sa directrice « impact et héritage », ont présenté leur stratégie pour faire bouger plus la population.

« Je pense que, dans ce pays, le sport n'occupe pas la place qu'il devrait », a regretté le triple champion olympique de canoë, soulignant les chiffres alarmants de l'inactivité. Si les données synthétisées par l'Observatoire national de l'activité physique et de la sédentarité (Onaps) pour Paris 2024 ne sont pas inédites, elles devraient nous faire bondir de notre chaise : un adulte sur deux ne déclare aucune activité physique, et un sur deux est en surpoids. Quant aux ados, 20 % sont

en surpoids et 87 % sont inactifs, plus que la moyenne mondiale. L'activité physique est pourtant médaille d'or des traitements, réduisant par exemple de 58 % les risques de diabète de type 2, de 30 % ceux de dépression, de 25 % ceux de cancer du sein et d'accidents vasculaires cérébraux.

Au-delà des JO 2024, pendant lesquels des *mass event* permettront au public de participer à des épreuves telles que le marathon, l'ambition du Comité d'organisation des Jeux olympiques et paralympiques est de mettre plus de sport et d'activité physique dans le quotidien des Français. Un défi qui nécessite des actions à tous les niveaux et un travail en réseau. Ainsi, toutes les collectivités territoriales qui souhaitent participer à la dynamique et faire plus bouger leurs habitants peuvent candidater à un label : Terre de Jeux 2024. Il s'agit aussi d'accompagner les clubs sportifs pour qu'ils sortent de leurs terrains habituels et aillent vers les écoles, les entreprises, l'espace public...

Les enfants sont une cible prioritaire. « Un jeune qui n'a pas reçu d'éducation au sport avant l'adolescence ne s'y mettra pas. L'école est le meilleur endroit pour toucher tous les enfants, c'est le lieu où on doit apprendre à lire, à écrire, à compter mais aussi à bouger », insiste Tony Estanguet. Alors que les trois heures hebdoma-

dares obligatoires de sport en primaire sont loin d'être une réalité, il souhaite une pratique quotidienne de trente minutes. Dès la rentrée 2020, une expérimentation en ce sens, « Classe active », sera menée dans 200 classes, avec une évaluation des effets sur la forme de ces 5 000 élèves. Le patron des JO prévoit aussi des sessions de découverte de disciplines sportives dans les écoles, organisées par les clubs.

Les adultes, eux, sont invités et incités à bouger plus au travail, dans la ville, et plus généralement dans leur vie quotidienne. A partir de 2020, septembre sera le Mois de l'activité physique et sportive, avec une grande campagne, « Bouger plus », qui diffusera les recommandations et donnera de la visibilité à des actions exemplaires.

La lutte contre la sédentarité pourrait-elle même devenir une grande cause nationale ? Portée par le collectif Pour une France en forme, cette démarche est désormais soutenue par Paris 2024 et par la ministre des sports, Roxana Maracineanu, également présente aux rencontres de Biarritz. L'ancienne championne de natation, qui s'est dite effarée de découvrir que l'inactivité tue dix fois plus que les accidents de la route, l'a martelé : « Chaque euro investi pour l'activité physique et sportive est un investissement durable. » ■

AFFAIRE DE LOGIQUE – N° 1123

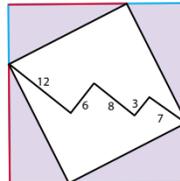
Le miroir brisé

Alice est désolée : son beau miroir, de forme carrée, entouré d'un cadre, carré lui aussi, fait de panneaux précieux violets en améthyste, vient de se briser en deux morceaux, le long de la ligne...brisée (en noir).

Elle ne peut s'empêcher de mesurer la taille des éclats sur cette ligne : 12, 6, 8, 3 et 7 cm (voir dessin), qui font tous entre eux des angles droits.

Les bordures rouges du cadre mesurent le double des bordures bleues.

1. Quelle est la taille du cadre ?
2. Quelle est, en cm², l'aire du plus petit des deux morceaux du miroir ?



LE PALMARÈS DES TROPHÉES TANGENTE 2019

Les Trophées Tangente 2019 ont été remis samedi dernier au Palais du Luxembourg. Comme chaque année, ils ont récompensé l'alliance des mathématiques avec la littérature et avec l'informatique.

• PRIX TANGENTE DU LIVRE

Le Prix Tangente du livre, qui récompense un ouvrage grand public (paru en 2018 ou au début 2019) qui « donne envie d'en savoir plus sur les mathématiques », a été décerné à Antoine Houlou-Garcia pour le livre *Mathematikos* paru aux Belles Lettres. On y découvre des textes des plus grands savants de l'Antiquité concernant les mathématiques. Une mention a été décernée au livre de Clara Grima *Je fais des maths en lançant*

mes chaussures, paru aux Arènes, un livre joyeux pour faire aimer les maths.

Trois autres livres avaient été nommés : *Généalogie des mathématiques*, d'Alain Ségué-Duclot, aux éditions Spartacus, *Les Oscillations de Joseph Fourier*, d'Emmanuel Cerisier et Emmanuel Marie, aux éditions Petit à Petit, et *Vivre avec la main d'un homme mort*, de Ronan Quarez, aux éditions Le Pommier.

• PRIX TANGENTE DES LYCÉENS

Le prix Tangente des lycéens récompense aussi un livre autour des mathématiques. Décerné par des élèves, il a été attribué à *La suite de Skolem*, une BD de Jean-François Kierzkowski (scénariste) et Marek Charlier (dessinateur) paru aux éditions Pirates. Des mentions ont été attribuées à *Toute résistance serait futile* de Jenny Colgan

(Bragelonne) et *La Théorie des jeux en images* de Ivan et Tuvana Pastine (EDP Sciences).

• PRIX BERNARD-NOVELLI

Le prix Bernard-Novelli, parrainé par CASIO, qui récompense de jeunes auteurs d'un programme informatique de jeux mathématiques, a été attribué à deux collégiens, Côme Trossat et Valentin Moguerou, élèves de 3^e au collège Jules-Simon de Vannes. Un lycéen, Raphaël Fromentin, a obtenu une mention.

• PRIX DU MEILLEUR ARTICLE

Ce prix, qui récompense un article autour des mathématiques écrit par un auteur non professionnel, a été remis à Antoine Rolland, statisticien à l'université de Lyon.

Information sur www.tropheestangente.com

CARTE
BLANCHEL'apprentissage
automatique sous
l'égide d'Asimov

Par NOZHA BOUJEMAA

Des chercheurs des universités Stanford et du Massachusetts ont publié, le 22 novembre, dans la revue *Science* une nouvelle approche en apprentissage automatique permettant de prévenir les comportements indésirables éventuels de l'intelligence artificielle. Ils ont montré leurs résultats dans deux cas applicatifs : la discrimination du genre et la gestion du diabète. Le cadre proposé permet de mettre en place des algorithmes dits « seldoniens », en référence au personnage de Hari Seldon, créé par l'auteur de science-fiction Isaac Asimov. Ce dernier avait inventé les « robots positroniques », gouvernés par trois lois protégeant les êtres humains, connues depuis comme les « lois d'Asimov ».

En réalité, il s'agit d'une famille d'approches qui intègrent, dans leurs fonctions objectives à optimiser, des contraintes à respecter pour éviter de causer des dommages à l'humain. Ainsi, le respect de son intégrité physique est transféré au concepteur de l'algorithme d'apprentissage plutôt qu'à celui qui l'utilise ou le déploie. Il s'agit d'algorithmes « responsables par conception », dont la publication a été bien théâtralisée par l'équipe américaine avec la référence à Seldon et à Asimov. Cela nous renvoie vers un imaginaire de science-fiction qui éveille à la fois curiosité et étonnement. L'idée essentielle est d'anticiper la responsabilité dans la conception plutôt que de contrôler a posteriori le comportement de l'algorithme par un mécanisme d'auditabilité. Ces approches s'opposent à l'école de pensée considérant que les biais viennent uniquement des données et que les algorithmes sont irréprouvables.

Intégrité physique et mentale

Ce qui prime par-dessus tout, c'est la préservation de l'intégrité physique et mentale de l'humain. C'est bien la règle d'or pour tout développement technologique incluant l'intelligence artificielle. Si on regarde de près ses implications, on y trouve la sécurité physique (par exemple pour les véhicules autonomes), la protection des données personnelles, mais aussi la préservation du libre arbitre et l'évitement du *nudging* (l'« influence d'opinion »). Nous avons vu récemment que ce dernier, dans le cas du marketing politique, a des impacts préjudiciables sur nos démocraties, alors qu'il n'est pas illégal. C'est un bel exemple du fossé entre le droit et la responsabilité et l'éthique.

Il est crucial d'avoir une interprétabilité du comportement algorithmique et de disposer des moyens de contrôle (a priori ou a posteriori) de leurs capacités à respecter les règles éthiques, morales et juridiques. L'explicabilité est aussi essentielle : c'est la capacité de justifier le processus de décision d'un algorithme. Cette explicabilité, qui a été popularisée par le programme Explainable AI (XAI) de la Defense Advanced Research Projects Agency, est multiforme et pas toujours réalisable d'un point de vue technique.

Plusieurs chemins mènent à Rome : l'auditabilité des algorithmes et la responsabilité par conception (*responsible by design*). Dans ce dernier cas, c'est du « contrôle a priori », avec une nouvelle génération d'algorithmes (des fonctions objectives à optimiser) qui intègrent dès leur conception les garde-fous à respecter incluant les valeurs éthiques et les règles juridiques.

Dès 2016, une approche algorithmique en apprentissage supervisé a permis d'incarner l'équité par construction, ou conception (*equity by design*). Le modèle mathématique identifie les variables porteuses d'informations potentiellement discriminatoires pour réduire, voire éliminer, leurs contributions au processus de décision finale, évitant ainsi les discriminations. Cette approche pionnière ne faisait pas référence à Asimov. Pourtant, elle était dans la même lignée que l'étude récente sur les algorithmes seldoniens. ■

Nozha Boujemaa

Directrice science et innovation
chez Median TechnologiesRisques environnementaux : une nécessaire
politique de remise à niveau de la recherche

TRIBUNE - Face à l'accumulation des dangers sanitaires, un collectif de 200 chercheurs attire l'attention du gouvernement sur la nécessité d'expertises transparentes et solides

L'incendie de l'usine Lubrizol, à Rouen, a mis en avant l'importance de pouvoir s'appuyer sur une expertise neutre et de haut niveau scientifique dans l'évaluation des risques chimiques pour l'homme et l'environnement afin de répondre aux préoccupations légitimes de la population. Cela est tout aussi vrai en situation d'urgence accidentelle que pour des expositions chroniques via des milieux de vie ou des produits de consommation contaminés. La difficulté de communiquer en situation d'incertitude favorise l'apparition de polémiques et engendre une perte de confiance envers les décideurs, les agences et les scientifiques. Les controverses sur les pesticides tels que le glyphosate et récemment sur les fongicides SDHI, sur les perturbateurs endocriniens, les ondes électromagnétiques, les nanoparticules, les microplastiques dans l'environnement et l'alimentation se multiplient et attendent des réponses claires. Elles appellent des recherches et expertises scientifiques robustes et transparentes pour permettre aux autorités de prendre les meilleures décisions et pour couper court aux fausses nouvelles diffusées sur certains réseaux sociaux et dans certains médias.

Afin de disposer d'une expertise crédible, un engagement affiché et effectif de l'Etat auprès des équipes de recherche, des agences publiques d'évaluation des risques et instituts d'expertise se doit d'être à la hauteur de ces enjeux civilisationnels dans une société en plein doute. C'est d'ailleurs ce que recommande l'Office parlementaire d'évaluation des choix

scientifiques et technologiques dans un rapport déposé en mai, « Evaluation des risques sanitaires et environnementaux par les agences : trouver le chemin de la confiance ».

Ces recommandations ne sont pas suivies d'effet, au contraire. La réduction du budget 2020 du ministère de la transition écologique et solidaire destiné au soutien aux activités d'expertise et de recherche sur les risques environnementaux va entraîner une réduction des postes – une centaine – et des moyens dans les instituts et agences dépendant de ce ministère, en particulier l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Pourtant, les chercheurs et les experts de ces organismes sont en première ligne dans l'évaluation et la gestion des risques liés à l'environnement !

Les équipes des grands organismes de recherche et des universités travaillant dans ces mêmes domaines voient également leur budget diminuer depuis plusieurs années et rencontrent de grandes difficultés à financer leurs recherches. Les appels à projets (APR) de l'Agence nationale de la recherche sur les contaminants, l'environnement et la santé, qui avaient permis au milieu des années 2000 de redynamiser une communauté scientifique, ont été supprimés depuis plusieurs années. Le dernier appel « Contaminants et environnement » a pris fin en 2014. Son financement représentait 50% des

UN ENGAGEMENT
AFFICHÉ ET EFFECTIF
DE L'ÉTAT
SE DOIT D'ÊTRE
À LA HAUTEUR
DE CES ENJEUX
CIVILISATIONNELS
DANS UNE SOCIÉTÉ
EN PLEIN DOUTE

crédits contractuels de la recherche en santé environnementale et en écotoxicologie. Une disparition très regrettable. De même a disparu l'APR « Cancer et environnement » du plan cancer. Seul l'APR « Santé, environnement, travail » de l'Anses est aujourd'hui spécifiquement consacré à ces recherches. Ce soutien, ciblé sur des thématiques en lien avec celles de l'agence, est très important pour permettre aux équipes françaises de tenter de se maintenir dans la compétition internationale, mais il n'a pas vocation à financer les recherches plus fondamentales et prospectives – par exemple sur les mécanismes d'action des polluants et les nouvelles approches d'évaluation.

Par ailleurs, les chercheurs compétents dans ces domaines et qui acceptent de participer à des commissions d'experts au sein d'instances publiques sont parfois critiqués dans les médias et sur les réseaux sociaux si leurs conclusions, toujours collégiales, ne vont pas dans le sens de l'opinion géné-

rale ou de celle de parties prenantes militantes. Il n'est pas rare qu'on les accuse de collusion avec les lobbys industriels, alors qu'ils participent souvent bénévolement ou avec de très faibles indemnités à ces évaluations collectives, et doivent remplir des déclarations d'intérêts consultables par tous. Les progrès en matière de transparence ont été considérables au cours des dix dernières années et doivent se poursuivre. Malgré cela, la méfiance se diffuse et conduit certains chercheurs à se retirer de l'expertise publique. Qui, alors, tire bénéfice de cette situation ?

Si les pouvoirs publics souhaitent que la connaissance des dangers et la prévention de ces risques soient à la hauteur des devoirs d'un grand pays industriel vis-à-vis de ses citoyens, pour un environnement de vie sain, pour réduire les inégalités de santé, et pour que la France tienne sa place dans les discussions européennes sur l'innovation comme sur la protection de l'environnement et de la santé, une politique de remise à niveau ambitieuse de la recherche scientifique et de l'expertise publique est indispensable. A commencer par l'annulation des pertes d'emplois et diminutions de crédits sur le budget 2020. Un premier pas dans le rétablissement de la confiance du public... ■

Premiers signataires :
Francelyne Marano, professeure émérite (université Paris-Diderot) ;
Denis Zmirou, professeur honoraire (université de Lorraine). Liste complète des signataires sur Lemonde.fr

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

UN GANT POUR DONNER UNE VOIX À CEUX QUI NE PARLENT PAS

ENREGISTREMENT D'UNE BIBLIOTHÈQUE DE SONS PERSONNALISÉS

Usager

Aidant

REC

L'utilisateur doit créer, avec un aidant, une « bibliothèque » de ses propres signes et des sons ou mots correspondant. Cette bibliothèque est localisée dans un smartphone.

UTILISATION GRÂCE AU SMARTPHONE OU AU BOÎTIER CONNECTÉ

Enceinte

Capteurs

Bibliothèque de sons

Il faut répéter de trois à cinq fois un geste pour que l'algorithme de l'intelligence artificielle y associe le son ad hoc. Plus l'utilisateur utilise le gant, plus la précision de celui-ci augmente.

Bouton On/Off évite les émissions de sons intempestives

Puce Bluetooth basse consommation

Mini-écran de contrôle qui affiche le texte dit

Mini-haut-parleur

Des capteurs sensoriels, 1 placés sur un mini-gant transparent, envoient par la technologie Bluetooth 2 des signaux à un algorithme d'intelligence artificielle qui « lit » cette position, consulte la bibliothèque préenregistrée 3 et commande l'émission d'un son émis par une mini-enceinte ou par le smartphone 4.

Infographie : Audrey Lagadec

Source : BrightSign

S'exprimer en langage des signes avec ses mains et entendre, quelques secondes plus tard, une voix informatisée dire la phrase distinctement : le *smart glove* (littéralement « gant intelligent ») permet à toute personne n'ayant pas ou plus l'usage

de la parole – qu'elle soit muette, souffrant d'autisme ou des conséquences d'un AVC – de communiquer oralement.

Le gant a été conçu par Hadeel Ayoub, encore doctorante à Goldsmiths, université de Londres en art

et technologie informatique, qui a parallèlement créé la start-up BrightSign. « La fiabilité du gant est de 97% », précise l'entrepreneuse soutenue notamment par le Central Research Laboratory, accélérateur financé sur fonds européens. Le gant, qui coûte

entre 800 et 1000 euros, est actuellement utilisé par six écoles spécialisées au Royaume-Uni. 32 langues et 180 voix (femme, homme, fillette et garçon, différents accents pour certaines langues) sont proposées. ■

LAURE BELOT

« Les données numériques des usagers, tout comme leur créativité, sont volées »

ENTRETIEN - Pionnier du big data, le chercheur américain Michael Jordan condamne la captation des données personnelles pour alimenter les algorithmes d'intelligence artificielle

Michael I. Jordan, professeur et chercheur en informatique à l'université de Californie à Berkeley, est l'auteur de travaux pionniers et majeurs en apprentissage statistique (*machine learning* en anglais). Il collabore avec les géants du numérique et a intensifié, depuis mars, ses relations avec Amazon.

Votre domaine de recherche, l'intelligence artificielle, a connu, ces cinq dernières années, un recrutement massif et à prix fort de chercheurs par des plates-formes numériques. Comment analysez-vous cette tendance ?

Je ne suis pas sûr que cela puisse économiquement durer longtemps. Prenez juste DeepMind (racheté par Google en 2014). A grands traits, le laboratoire emploie environ 700 personnes et, en comptant la masse salariale (salaires et primes), les actifs matériels et autres charges, son budget annuel devrait avoisiner le milliard de dollars. Pour autant, je n'ai pas encore vu sortir de grands résultats, mais plutôt nombre d'articles dans les conférences et opérations de communication... D'ailleurs, si ses chercheurs obtiennent un résultat, il ne sera pas juste publié mais aussi diffusé largement dans les médias, etc.

Cette inflation a été rendue possible parce que Google et Facebook ont gagné beaucoup d'argent grâce à leur modèle économique fondé sur les revenus publicitaires. A l'heure des bilans, d'ici trois à cinq ans, quand les dirigeants évalueront l'apport économique réel de ces larges dépenses, notamment pour élaborer quelque chose qui leur permette d'être encore présents dans cinquante ans, je serais très surpris qu'ils veuillent continuer ainsi.

Ne croyez-vous pas à ce modèle de recherche ?

Avec ces recrutements et ces milliards de dollars, les dirigeants de Google et Facebook, par exemple, espèrent faire une grande découverte qui va tout changer, d'un coup. C'est un grand espoir, mais je ne crois pas trop à cette approche. Prenons le cas de la voiture autonome. Certains ont promis qu'elle arriverait en 2020, mais ce ne sera pas le cas. Cela va prendre dix, vingt ans, car c'est sérieux, c'est dur, et c'est normal. Envoyer un homme sur la Lune ne s'est pas fait en quelques années, mais parce qu'une équipe importante, consacrée à cet objectif, y a travaillé ardemment et longtemps.

En revanche, je peux très bien comprendre que de jeunes et brillants chercheurs, par opportunité professionnelle et salariale, aient envie de rejoindre ces équipes pour en profiter un temps. Notamment les chercheurs académiques français, qui sont vraiment très peu payés.

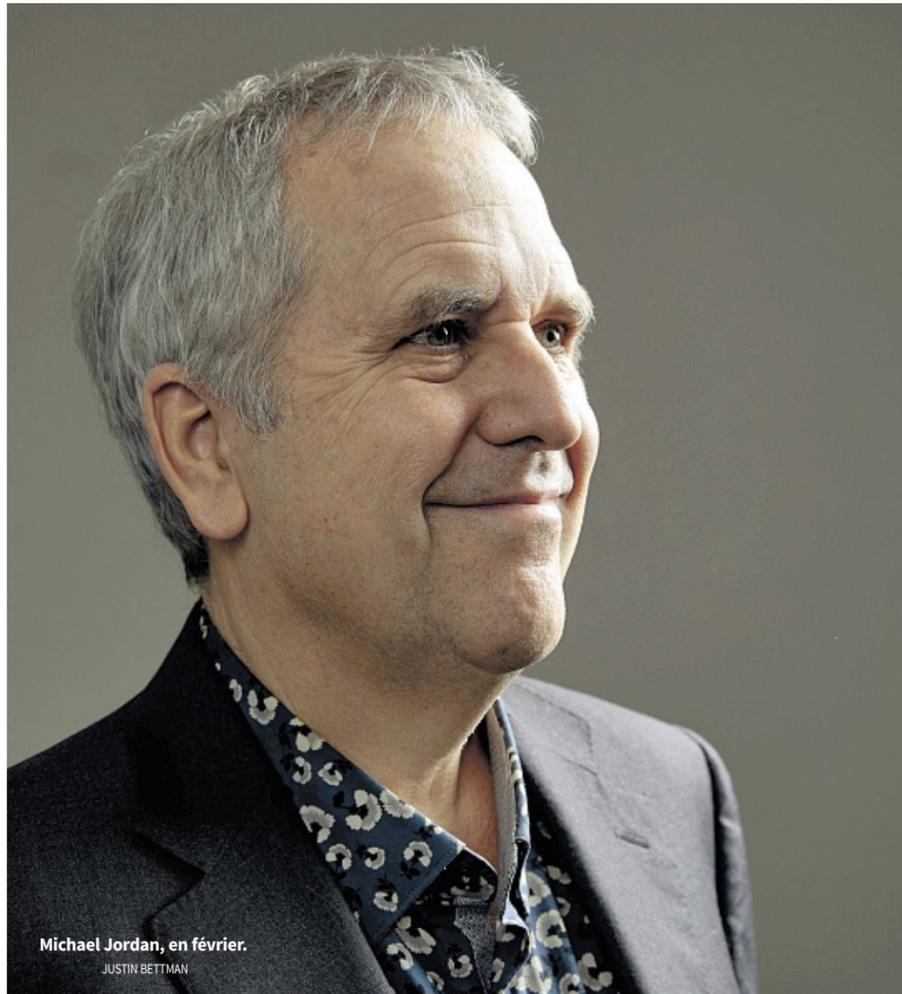
Quelles sont vos relations avec ces grandes entreprises ? Il y a quatre ans, vous nous aviez dit qu'AMPLab, votre laboratoire à Berkeley, était soutenu par les GAFA...

Je suis content d'avoir eu de nombreux rapports avec ces acteurs, mais au bout de quatre ans je vois que certains sont en train de créer certaines valeurs (économiques, sociales...) intéressantes pour les citoyens et d'autres moins. J'ai décidé de m'associer de façon préférentielle en termes de recherche avec Amazon. L'entreprise a installé un petit labo à Berkeley. J'y travaille un jour par semaine.

Amazon est aussi décrié pour différentes raisons (environnementales, sociales...). En tant que chercheur utilisant des données massives, quelle distinction faites-vous au sein des GAFA ?

Amazon est une entreprise puissante qui, d'une certaine façon, a changé le monde. Une grand-mère dans un village éloigné peut avoir son colis, son livre sans se déplacer. Il me semble important d'éviter une analyse dichotomique, totalement négative ou positive, et de prendre en compte tous les paramètres.

Dans le monde du numérique, je distingue deux types d'industries. Celles qui lient producteurs et consommateurs (telles Amazon, Alibaba en Chine, Uber) et les autres... Le modèle économique des premières cherche à créer des marchés nouveaux, avec, on peut l'espérer, de nouveaux emplois : une personne qui a une voiture veut gagner sa vie en la conduisant, un auteur veut vendre un livre, etc. Ces activités produisent de nombreuses données mais pas seulement sur les activités personnelles des utilisateurs (*speech perception*, ana-



Michael Jordan, en février.

JUSTIN BETTMAN

lyse du langage naturel). Il s'agit de données sur les chaînes logistiques, les fraudes... qui génèrent des recherches intéressantes si elles sont croisées avec d'autres données économiques et statistiques.

Et les autres plates-formes ?

Leur modèle économique est différent. En musique par exemple, les sociétés de streaming n'essaient pas de mettre en contact le musicien avec celui qui écoute. Si je suis musicien et que j'apprends que des milliers de personnes m'écoutent à Poitiers, je peux aller y faire un concert. Or ces entreprises n'essaient pas de créer cette opportunité, elles coupent la relation, prennent la chanson, la stockent et font du streaming. Je trouve cela moins intéressant.

Les entreprises comme Facebook et Google, elles, ont créé de bons services, réseau social et moteur de recherche, mais comme personne n'était prêt à les payer, elles ont imaginé un modèle fondé sur la publicité. C'était créatif à l'époque, mais ce modèle ne peut plus continuer ainsi car, à des fins publicitaires, les données des usagers, tout comme leur créativité, sont volées. Un marché économique a, certes, été créé entre ces plates-formes et les annonceurs publicitaires, mais les producteurs et consommateurs en sont exclus.

C'est un vrai problème sociétal car cette activité, très rémunératrice pour certaines personnes, ne crée pas de liens. Ce qui est d'ailleurs assez paradoxal dans le cas de Facebook notamment, qui parle beaucoup de liens sans que l'entreprise soit prête à rémunérer ceux-ci. Aucune relation économique n'a été mise en place avec les utilisateurs.

La captation de données, pourtant, ne cesse de s'accroître, des assistants personnels aux compteurs connectés à domicile...

Il n'est pas simple de faire changer le système mis en place car ces acteurs numériques sont devenus puissants. Mais cela ne durera pas. Les citoyens vont se réveiller – cela viendra peut-être de la jeune génération, d'ailleurs. Ils vont exiger autre chose, mettre en avant leurs droits. Une entreprise ne peut pas prendre des données, les vendre à qui elle veut ou en faire ce qu'elle veut.

Il ne s'agit pas de réglementer à outrance, mais d'une certaine façon, on peut imaginer que, si un acteur économique veut utiliser des données personnelles, il doit le payer. Ou au minimum, faire en sorte que les utilisateurs

sachent quelles données sont captées et quel but recherche l'entreprise. A eux, ensuite, de donner, ou pas, leur accord, sans devoir lire une multitude de pages écrites très serrées. Si la situation ne change pas, je pense que les gens en auront marre et s'en iront. Ces grandes plates-formes peuvent s'écrouler rapidement faute d'utilisateurs.

Par la vente de tests ADN, 23andMe a constitué la plus grande collection de génomes humains au monde, cédée à des laboratoires pharmaceutiques. Le projet Nightingale de Google – une collecte de données médicales auprès de cliniques privées – inquiète la justice américaine. Que dire de ces offensives dans le secteur de la santé ?

Il faut qu'il y ait une transparence dans l'utilisation des données personnelles. Que les usagers soient au courant du type d'exploitation envisagée et puissent l'accepter ou pas en fonction de leurs propres intérêts. Si une entreprise, telle 23andMe, annonce vouloir aider à la fabrication de médicaments nouveaux, je peux décider d'y participer... ou pas, mais il faut être informé au préalable. Personnellement, si quelqu'un veut connaître ma séquence ADN, je refuserai probablement, mais si un médecin travaillant sur une maladie familiale me le demande, j'accepterai peut-être et les lui donnerai partiellement.

Pour donner un sens aux données, les mondes des sciences dures et humaines vont-ils se rapprocher ? Historiquement, les relations n'ont pas été si bonnes...

C'est en train de changer, en effet. On voit apparaître, notamment dans certaines plates-formes, de nouvelles collaborations entre informatique, statistique, mathématique et sociologie, psychologie... Au départ grâce à la constitution d'équipes mixtes, mais cette pluridisciplinarité amène chacun à découvrir qu'il peut penser de façon différente.

A Berkeley, nous avons créé une nouvelle discipline avec, depuis 2018, une formation appelée Computing Data and Information. Autour des matières informatiques et statistiques sont proposés 24 mini-cours : sociologie, droit, biologie, linguistique, sciences cognitives... Le premier cours, appelé « Data 8 », est devenu le plus populaire de l'université, suivi par 2 500 étudiants, soit la moitié de Berkeley. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE BELOT ET DAVID LAROUSSIERE



ZOOLOGIE

Chez le bousier, c'est l'aile ou la corne

Les scarabées émerveillent les naturalistes. Leur force, leurs mœurs, leur apparence. Le grand Charles Darwin, déjà, invitait ses contemporains à observer « la cote de mailles, brillante et bronzée » de l'animal, son « vaste réseau de cornes » et à imaginer « à la taille d'un cheval, ou même d'un chien : ce serait l'un des animaux les plus impressionnants du monde ». Lui avait fait de ces coléoptères et de leur corne un des modèles d'étude de sa théorie de la sélection sexuelle.

Un siècle et demi plus tard, une équipe américaine s'est de nouveau penchée sur les appendices du scarabée, et plus particulièrement sur ceux de trois des quelque 2400 espèces de bousiers regroupées dans le genre *Onthophagus*. L'objectif cette fois ne consistait pas à en observer l'utilité mais l'origine.

Ces cornes thoraciques constituent en effet un modèle d'innovation évolutive : un caractère apparu dans une lignée, sans correspondance – la science parle d'« homologie » – avec une structure présente chez son ancêtre ou à l'intérieur d'elle-même. L'aile des chauves-souris n'est pas une innovation, car elle est homologue aux membres antérieurs de tous les tétrapodes. Mais l'œil des vertébrés, le placenta des mammifères, les plumes des oiseaux peuvent revendiquer ce titre. Et les cornes des scarabées, donc.

« Sauf qu'en biologie on sait que tout ce qui est neuf doit d'une façon ou d'une autre provenir du vieux », rappelle Armin Moczek, professeur au département de biologie de l'université de l'Indiana. Au terme d'une étude particulièrement minutieuse, publiée le 22 novembre dans *Science*, il vient de trouver la clé de l'énigme, que son collègue Yonggang Hu résume : « Les cornes thoraciques partagent la même origine développementale que les ailes. » Elles proviennent de l'expression du même réseau de gènes. *Fight and flight* (« vol »), même combat, aurait pu s'amuser à constater le père de la théorie de l'évolution.

Pour en apporter la preuve, les biologistes ont d'abord inactivé les gènes impliqués dans la formation des ailes. Ils ont constaté que le développement des cornes s'en trouvait lui aussi affecté. Puis ils sont allés plus loin en situant précisément l'origine des deux structures : les trois segments dorsaux du thorax. Deux d'entre eux génèrent les ailes, le troisième, la corne. Mais en modifiant l'expression d'un des gènes, baptisé « Scr », une troisième paire d'ailettes est apparue en lieu et place de l'arme de combat du bousier. Mieux : ils ont pu montrer, par de nouvelles manipulations de l'expression des gènes, que



Un scarabée bousier. CSIRO/CC BY 3.0

les mêmes tissus se trouvaient engagés dans la formation des deux organes.

De précédentes études avaient déjà laissé supposer que le prothorax des insectes pouvait constituer un point chaud de l'innovation évolutive. S'y rattachent, par exemple, les petites ailes des tingides, l'étonnant casque des membracides et la fameuse corne des bousiers. « Mais jamais autant de marqueurs n'avaient été étudiés, de preuves fonctionnelles n'avaient été rassemblées », salue le biologiste Benjamin Prud'homme (CNRS, Marseille), auteur en 2011 d'une étude voisine sur les membracides.

Faut-il dès lors sortir les cornes thoraciques du club très fermé des innovations évolutives ? Ou plutôt revoir ses règles d'admission ? Benjamin Prud'homme plaide pour la seconde solution : « François Jacob [1920-2013] nous a dit il y a déjà longtemps que l'évolution est un grand bricolage. Cet article le rappelle avec élégance et robustesse : rien ne se crée, tout se transforme. » Armin Moczek et Yonggang Hu sont du même avis. Mais, plutôt qu'entamer une bataille sémantique, ils préfèrent élargir les points de friction, observer d'autres cornes, celles situées sur le crâne de l'animal. « Sans doute une tout autre histoire, qui pourrait nous permettre de montrer qu'il existe différents chemins pour innover. » ■

NATHANIEL HERZBERG