

copies (une chez chacun de ceux qui acceptent de participer à la bonne marche du protocole), la *blockchain* d'une application particulière est indestructible et impossible à truquer.

La taille de la *blockchain* augmente à mesure qu'y sont déposés de nouveaux messages ou de nouvelles pages regroupant plusieurs messages. Les multiples copies de la *blockchain* sont toutes maintenues identiques grâce aux échanges d'informations opérés par le réseau pair à pair.

L'accroissement de taille de la *blockchain* est bien sûr un grave problème. Aujourd'hui, on peut manipuler des *blockchains* de plusieurs dizaines de gigaoctets, mais on ne peut pas en manipuler qui seraient 1 000 fois plus grandes. La technologie de demain le permettra peut-être, mais il y aura toujours une limite, certes élevée, à prendre en compte.

Bien évidemment, une *blockchain* peut servir à déposer anonymement des messages. Grâce au logiciel installé sur sa machine (le *servant*) et propre à la *blockchain*, on ira écrire tout ce qu'on souhaite. Pour éviter que les interventions sur la *blockchain* se fassent avec une trop grande fréquence (ce qui rendrait difficile la synchronisation de tous les détenteurs d'une copie), le protocole de fonctionnement pourra ajouter les messages par page, chaque page en contenant plusieurs centaines ou milliers ; ainsi, pour le bitcoin, les transactions sont regroupées et ajoutées une fois toutes les dix minutes.

Les messages qu'on ajoutera sur une *blockchain* seront anonymes ou signés. Avec les systèmes de signature à double clef, tout le monde peut vérifier l'auteur d'un message signé et il est impossible que quelqu'un signe à la place d'un autre.

Les messages ajoutés seront en clair ou chiffrés. On pourra ainsi déposer un message chiffré qu'on ne rendra lisible que plus tard en publiant la clef de déchiffrement. Ce sera utile dans le cas d'un engagement (tel qu'une reconnaissance de dette) pris vis-à-vis d'un débiteur, vous par exemple. Votre engagement est présent signé, daté et crypté sur la *blockchain*. Si vous le respectez, il reste crypté. Sinon, celui envers

qui vous êtes engagé publie la clef de déchiffrement et tout le monde voit que vous ne tenez pas votre engagement. Grâce à la signature, il n'y a pas de doute, c'est bien vous qui avez pris l'engagement. Cette publication détruit votre réputation ou même sert de preuve devant un tribunal.

Une *blockchain* peut servir à concevoir une messagerie universelle. Pour qu'il y ait confidentialité des messages et garantie sur leurs auteurs, on utilisera là aussi la cryptographie asymétrique. Celui qui veut déposer la démonstration d'un théorème qu'il a trouvée, mais sans la rendre publique, déposera la version cryptée avec une clef privée (créée pour cet usage) et il signera le dépôt. Quand, plus tard, il voudra prouver qu'il disposait bien, dès la date de dépôt, de la démonstration, il rendra publique la clef de déchiffrement. Plus besoin des enveloppes *Soleau* déposées à l'Institut national de la propriété industrielle. Bien sûr, on pourra de la même façon déposer des engagements, des testaments, des œuvres signées, etc.

Une forme numérique d'anarchisme

Insistons sur le fait qu'un tel système de *blockchains* permettant signatures, contrats, dépôt de testaments, etc. n'exige l'action d'aucune autorité centrale pour fonctionner. Tout ira bien pourvu que le fichier *blockchain* soit maintenu, c'est-à-dire qu'un minimum d'utilisateurs participe à son entretien en en gardant une copie chez eux, mise à jour en permanence (ce que leur ordinateur fait tout seul).

La complexité et la puissance de nos puces, de nos machines, de nos applications, de nos réseaux informatiques donnent naissance à de nouveaux objets numériques. Ces *blockchains* changent les règles du jeu : moins de centralisation, moins d'autorité, plus de partages sont possibles. Une forme d'anarchisme numérique qui existe déjà sur Internet va se développer et changera sans doute les rapports entre humains et entre entreprises. Le monde qui en émergera est difficile à imaginer, mais il se forme et il est imminent.

L'AUTEUR



J.-P. DELAHAYE
est professeur
émérite
à l'Université
de Lille
et chercheur

au Centre de recherche
en informatique, signal et
automatique de Lille (CRISTAL).

BIBLIOGRAPHIE

A. Back et al., *Enabling blockchain innovations with pegged sidechains*, 2014 (<http://static1.blockstream.com/sidechains.pdf>).

S. Nakamoto, *Bitcoin : A peer-to-peer electronic cash system*, 2008 (<https://www.bitcoin.org/bitcoin.pdf>).

N. Szabo, *The idea of smart contracts*, 1997 (<http://szabo.best.vwh.net/idea.html>).

J. Haight, *Beyond bitcoin : Why the block chain is what really matters*, *Computerworld*, novembre 2014, (www.computerworld.com/article/2851414/).

E. Rosenfield, *Forget currency, bitcointech is the revolution*, *CNBC*, novembre 2014 (www.cnn.com/id/102178309#).

Références supplémentaires
sur le site www.pourlascience.fr



Retrouvez la rubrique
Logique & calcul sur
www.pourlascience.fr

SCIENCE & FICTION

Trop d'extraterrestres à notre image

Deux bras, deux jambes, une symétrie gauche-droite, etc. : dans les films ou les livres, l'extraterrestre est le plus souvent un humanoïde. Pourtant, sur notre planète, le vivant présente une diversité morphologique bien plus grande !

Roland LEHOUCQ et Jean-Sébastien STEYER

Face à la diversité croissante d'espèces extraterrestres dans les films et la littérature de science-fiction, il était temps d'y mettre de l'ordre. En 2006, le cinéaste français Denis Van Waerebeke a donc réalisé un court-métrage intitulé *Classification systématique du vivant extraterrestre*. Dans ce documentaire humoristique, il classe d'après leur morphologie les extraterrestres rencontrés dans les œuvres de fiction.

Cette analyse révèle que la forme humanoïde est surreprésentée. Cela se comprend si l'on considère qu'il fut un temps où l'acteur jouant le rôle d'extraterrestre devait pouvoir enfiler son costume sans que ses mouvements soient trop limités. Autre avantage cinématographique, nous déchiffrons mieux les émotions d'un alien anthropomorphe. Imaginez un extraterrestre sphérique avec une surface quasi lisse : pas facile de savoir s'il est content ou agressif !

Cette contrainte de forme aurait pu disparaître grâce aux effets spéciaux numériques ou aux acteurs virtuels. Il n'en est rien. Dans le film *Les gardiens de la Galaxie* (James Gunn, 2014), tous les héros sont humanoïdes, même Groot, une sorte d'arbre qui exhibe malgré tout des caractères humains.

Notre anthropocentrisme est si tenace que les réalisateurs et les écrivains ne s'inspirent guère de la biodiversité terrestre. Cette dernière réserve pourtant bien des surprises, et la forme humanoïde est loin d'y dominer. Par exemple, les spongiaires, des organismes

pluricellulaires apparus dans les océans il y a au moins 580 millions d'années, n'ont pas de forme précise. Dénués d'organes ou de tissus réellement différenciés, ils adoptent des morphologies variées en fonction des courants marins. Leur forme s'organise autour d'une unique ouverture qui capte la nourriture. Les éponges présentent tout de même une polarité haut-bas, et certaines sont symétriques autour d'un axe central : on parle alors de symétrie axiale.

Reste que peu d'œuvres de science-fiction contiennent des aliens en forme d'éponges. Citons toutefois le film *The Blob* [Irvin Yeaworth Jr. en 1958 et repris par Chuck Russell en 1988], bien que cet envahisseur ressemble plus à un gel bactérien géant qu'à une éponge.

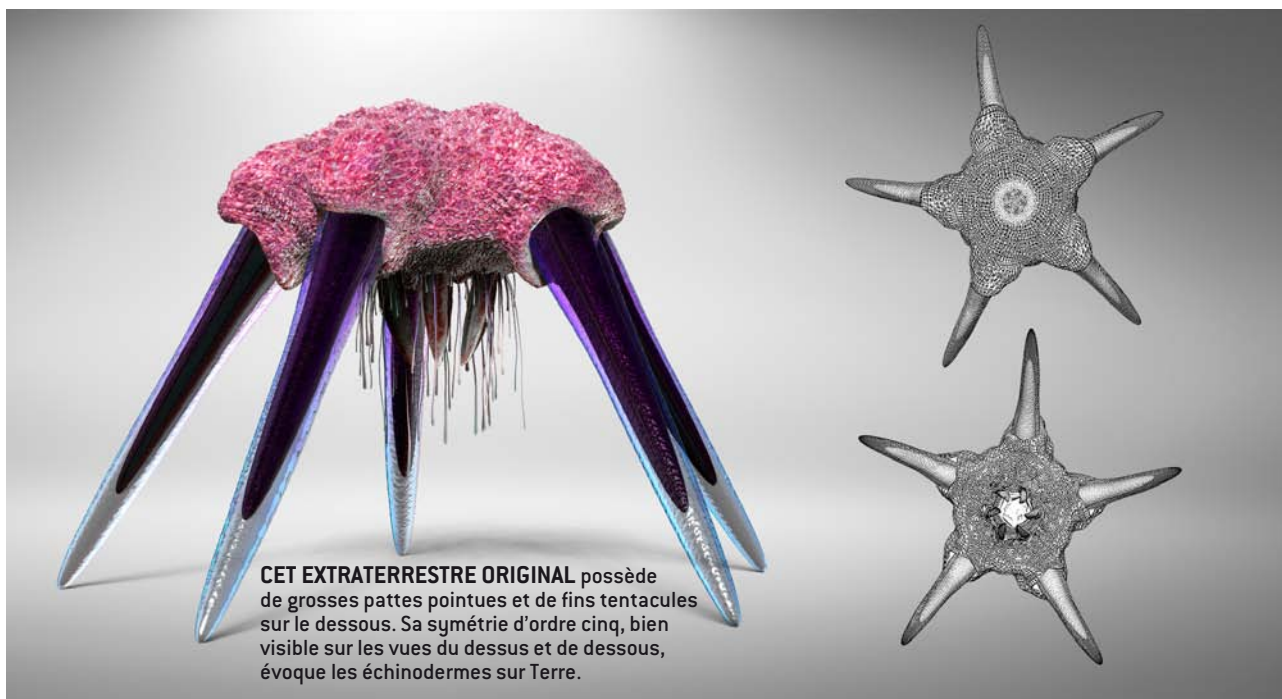
Proches cousins des spongiaires, les cnidaires constituent un groupe comprenant des formes libres (méduses) et des formes fixes (coraux et anémones), soit plus de 10 000 espèces. Ces animaux arborent des symétries radiales d'ordre quatre ou six (symétrie par rotation d'angle $2\pi/4$ ou $2\pi/6$), autour d'un orifice entouré de tentacules et faisant office à la fois de bouche et d'anus.

La structure des organismes dits bilatériens nous est plus familière, avec une symétrie qui définit un côté gauche et un côté droit selon un axe antéro-postérieur, dorso-ventral ou médio-latéral. Les bilatériens ont fait leur apparition à la même époque que les spongiaires. Ils regroupent tous les animaux autres que les cnidaires



DANS LES GARDIENS DE LA GALAXIE, tous les héros du film ont un aspect humanoïde même s'ils diffèrent par la couleur de leur peau, s'ils ressemblent à un arbre ou à un raton-laveur.

Walt Disney Studios Motion Pictures France



CET EXTRATERRESTRE ORIGINAL possède de grosses pattes pointues et de fins tentacules sur le dessous. Sa symétrie d'ordre cinq, bien visible sur les vues du dessus et de dessous, évoque les échinodermes sur Terre.

et les spongiaires, c'est-à-dire les vers, les arthropodes, les mollusques, les échinodermes et les vertébrés.

Quel est l'intérêt évolutif d'une symétrie bilatérale ? Un bilatérien n'est plus limité à une forme circulaire, ce qui rend possible des morphologies très variées et parfois plus adaptées à l'environnement. En outre, une symétrie bilatérale assure une certaine mobilité de l'animal, car elle permet d'équilibrer la traînée du côté gauche et celle du côté droit lors du déplacement, et donc de ne pas nager ou voler en rond !

En science-fiction, pour donner des repères au spectateur, on ne rencontre presque que des êtres vivants chez qui on reconnaît spontanément une symétrie bilatérale, une tête ou des yeux. C'est donc beaucoup de formes du vivant terrestre qui sont ignorées quand il s'agit d'imaginer des extraterrestres !

Or il existe de nombreuses « curiosités » terriennes. Par exemple, la plupart des échinodermes présentent une symétrie radiale d'ordre cinq, dite pentaradiée – ils perdent leur bilatéralité au cours de leur développement et exhibent cette nouvelle symétrie à l'âge adulte.

Notons que très peu d'animaux sur Terre ont développé une symétrie radiale d'ordre trois : c'est le cas des trilobozoaires, un groupe de fossiles marins, très anciens (il y a environ 550 millions d'années) et dont la plupart ressemblaient à de petits disques ornements. Dans le roman *Rendez-vous avec Rama* (1972), Arthur C. Clarke décrit l'arrivée dans

le Système solaire d'un gigantesque et énigmatique vaisseau. L'exploration de cet appareil, avant qu'il ne reparte, soulève bien des questions, mais révèle que les êtres qui en sont à l'origine ont une symétrie ternaire.

De nouvelles formes, au gré de l'évolution

La forme d'un organisme, qu'elle soit symétrique ou non, est le fruit de l'évolution des espèces : les mutations aléatoires génèrent une certaine diversité (les évolutionnistes préfèrent le terme de disparité) qui est retenue ou non selon, notamment, les conditions du milieu, c'est-à-dire les contraintes physiques.

Ainsi, sur Terre en tout cas, les plantes arborescentes adoptent presque toutes la même structure : un axe principal vertical, le tronc, qui prend racine dans le sol et porte des appendices secondaires, les branches. On peut considérer cette forme caractéristique comme une réponse aux contraintes environnementales : un arbre capte d'autant plus de lumière qu'il est haut et étendu, et puise d'autant plus de nutriments que ses racines se développent. Cette structure était déjà présente chez les fougères arborescentes du Carbonifère, il y a environ 300 millions d'années.

Autre exemple, chez les animaux cette fois, plusieurs appendices natatoires sont apparus au cours de l'évolution : chez les « poissons » bien sûr, mais aussi chez les

ichtyosaures (reptiles marins d'il y a entre 255 et 90 millions d'années), chez les oiseaux plongeurs (manchots) ou chez les mammifères aquatiques (pinnipèdes, siréniens, cétacés). Leurs formes analogues (on parle de « morphotypes »), en ogive, sont liées au fait que la résistance exercée par l'eau sur un corps en mouvement est minimale pour un tel profil. On parle de convergences évolutives.

Des chercheurs ont développé une théorie physique de la morphogenèse qui contribue à éclairer la nature des contraintes exercées sur la morphologie. Ils tentent d'expliquer la formation de l'embryon grâce notamment aux propriétés de la matière organique, en particulier sa fluidité. Obéissant aux lois de l'hydrodynamique, la matière organique serait contrainte, dans son développement, par un ensemble de lois physiques qui expliquent en partie ces convergences évolutives.

Si des espèces génétiquement très distantes peuvent parfois se ressembler, ce n'est pas parce qu'il existe un plan divin ou un ordre cosmique, c'est tout simplement parce que les organismes vivants, produits de la sélection naturelle, sont parfois soumis aux mêmes contraintes physiques. Reste à connaître ces contraintes sur les autres planètes habitables... ■

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

ART & SCIENCE

L'art au service de la vaccination

La Fondation Bill-et-Melinda-Gates a commandité 30 œuvres d'art pour célébrer les succès des vaccins, mais aussi alerter sur les efforts nécessaires afin que tous en bénéficient.

Loïc MANGIN

Dans sa XI^e lettre philosophique, intitulée *Sur la petite vérole*, Voltaire raconte : « Un évêque de Worcester a depuis peu prêché à Londres l'inoculation ; il a démontré en citoyen combien cette pratique avait conservé de sujets à l'État ; il l'a recommandée en pasteur charitable. On prêcherait à Paris contre cette invention salutaire... » Le philosophe loue ainsi les avantages de ce que l'on nomme aujourd'hui la vaccination contre la petite vérole, c'est-à-dire la variole. Ce procédé consiste à préparer un organisme à une éventuelle rencontre avec un agent pathogène en lui introduisant de quoi stimuler son système immunitaire. La substance injectée, dite antigénique, est par exemple une bactérie atténuée, ou bien un fragment de virus.

Le succès de cette méthode est incontestable. Ainsi, la variole a été éradiquée en 1977 après une campagne massive de vaccination entamée en 1958. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la vaccination évite deux à trois millions de décès par an. Elle concerne de nombreuses maladies infectieuses (la diphtérie, le tétanos, la poliomyélite, la rougeole...) et quelques cancers, notamment celui du col de l'utérus.

Cependant, il reste encore beaucoup à faire. De fait, toujours selon l'OMS, un enfant sur cinq échappe encore à la vaccination. En 2013, quelque 21,8 millions de nourrissons n'ont pas été vaccinés. Les raisons sont multiples : approvisionnement en deçà des

besoins, difficultés d'accès aux services de santé, manque d'informations sur la vaccination, soutien politique et financier insuffisant.

Engagée depuis janvier 2000 dans la diffusion des innovations en matière de santé, la Fondation Bill-et-Melinda-Gates a invité récemment une trentaine d'artistes (photographes, peintres, plasticiens...) de renommée internationale à se pencher sur le thème de la vaccination. C'est le projet *The Art of Saving a Life*. Les œuvres doivent rappeler les succès de la vaccination, les défis qu'elle doit encore relever, l'implication des scientifiques... Voyons quelques exemples.

Les fleurs évoquent la traduction chinoise du mot variole, soit tianhua, c'est-à-dire fleurs célestes...

La photographe australienne Alexia Sinclair s'est engagée dans l'aventure, notamment pour répondre aux campagnes antivaccinations qui ont cours dans son pays. Elle a composé une scène (*a*, page ci-contre) où l'on aperçoit, à gauche, une reconstitution de la première vaccination en Europe. Le 14 mai 1796, le médecin britannique Edward Jenner inocula à un garçon de huit ans, James Phipps, du pus récupéré sur une fermière infectée par la vaccine (la variole des vaches). L'enfant a été immunisé et résista à la variole humaine qu'on lui a transmise trois mois plus tard.

La femme richement vêtue, au centre du cliché, rappelle que la maladie touche toutes les classes sociales, sans distinction. Quant aux fleurs, elles évoquent la traduction chinoise du mot *variole*, soit *tianhua*. En effet, ce terme signifie *fleurs célestes*. Pour quelles raisons ? D'abord, la vaccination, ou variolisation, serait une graine de variole (une forme que l'on supposait peu virulente) semée dans le corps. Notons que la première mention indiscutable de la variolisation apparaît en Chine dès le XVI^e siècle. Ensuite, l'apparition des pustules serait un fleurissement. Enfin, la maladie ainsi déclenchée est parfois mortelle...

On retrouve des fleurs dans l'œuvre de Vik Muniz (*b*). Elles sont constituées de cellules hépatiques que l'infection par le virus de la variole rend rouges. Élaboré en laboratoire, le décor floral, microscopique, a été agrandi pour devenir une immense image.

Autre exemple : la sculptrice Katharine Dowson a gravé au laser, dans huit blocs de cristal, la structure moléculaire d'un fragment de l'enveloppe du VIH (*c*) qui pourrait conduire à la conception d'un vaccin.

Parmi les artistes invités, citons Olafur Eliasson, Sebastião Salgado, Angélique Kidjo, Chimamanda Ngozi Adichie, Luc Jacquet... Où voir leurs œuvres ? En fait, elles ne sont destinées qu'à être diffusées sur Internet, c'est-à-dire... viralement ! ■

Site du projet *The Art of Saving a Life* : <http://bit.ly/Gates-AOSAL>