

L'exobiologie spéculative n'a pas été en reste ; elle a envahi les écrans avec *Alien Planet* (2005), une autre série, orchestrée par le concepteur de bestiaire et illustrateur Wayne Barlowe qui imagine un monde plausible sur une autre planète. Citons aussi *Alien World* (2005) où, à la demande de la chaîne National Geographic, des scientifiques ont « construit » deux planètes (Aurelia et Blue Moon) sur lesquelles ils imaginent ensuite des formes de vie plausibles. Ces documentaires dépeignent de nouveaux astres, climats, écosystèmes, espèces etc. et nous ont donc fait passer de la planétologie à l'écologie spéculative : la spéculation est devenue multidisciplinaire !

Avec l'archéologue Jean-Paul Demoule et l'auteur de science-fiction Pierre Bordage, deux d'entre nous (R. Lehoucq et J.-S. Steyer) avons fait un pas de plus dans ce genre d'exercice en ajoutant une « histoire spéculative ». En effet, dans notre ouvrage *Exquise Planète* (2014), une espèce extraterrestre devient fortuitement assez intelligente pour créer sa propre histoire.

Cet ouvrage est proche de la catégorie « hard science fiction », un courant dans lequel les auteurs s'attachent à raconter des histoires tout en étant soucieux de respecter les connaissances scientifiques du moment – que ce soit en sciences physiques, naturelles ou humaines. C'est aussi un formidable moyen de diffusion du savoir auprès du grand public, puisque l'on met en scène les grandes avancées scientifiques récentes telles que la découverte d'exoplanètes, de plus en plus nombreuses, mais aussi celle,



CE PERROQUET SUPERPRÉDATEUR est le fruit d'une évolution spéculative. Pour l'imaginer, Marc Boulay et Jean-Sébastien Steyer se fondent notamment sur le processus de sélection naturelle. Ils ont imaginé l'extinction de certains grands mammifères terrestres, et la réoccupation de certaines niches écologiques au sol par les oiseaux. Une mutation, chez le perroquet, a réactivé des gènes qu'il a hérités de ses cousins, les dinosaures. L'oiseau exhibe des pseudo-dents acérées, un avantage certain pour ce prédateur du futur.

sur Terre, d'espèces extrémophiles ou présentant des morphologies « hors norme » (pour ne pas dire « extraterrestres »), qu'elles soient actuelles ou fossiles.

Imaginer des écosystèmes complets

Paléontologie et biologie spéculative se rejoignent sur certains aspects : si la paléontologie est bien une discipline scientifique (elle met en œuvre des méthodes testables, la phylogénie par exemple), le paléontologue souhaitant reconstruire un dinosaure (ou autre espèce disparue) doit faire preuve d'un minimum d'imagination, ne serait-ce que pour se faire une idée de sa couleur par exemple. Cette imagination est d'autant plus importante que le fossile est fragmentaire.

Pour redonner vie à une espèce, une solution consiste à travailler avec un « paléo-artiste », c'est-à-dire un artiste spécialisé dans les reconstitutions paléontologiques. Deux d'entre nous, le sculpteur (M. Boulay) et le paléontologue (J.-S. Steyer), ont combiné leurs domaines d'expertise pour transposer cette démarche appliquée aux animaux du passé à des espèces plausibles – aquatiques, amphibiens, terrestres ou volantes – qui pourraient exister sur Terre dans 10 millions d'années, à la façon de Dougal Dixon. Le livre *Demain, les animaux du futur* est le fruit de cette coopération de quinze années.

Quel type de réflexions peut-on ainsi avoir en évolution spéculative ? Nous sommes partis de l'idée que la plupart des grands mammifères terrestres disparaissent à la suite d'une extinction massive comparable à celle qu'ont connue les dinosaures non-aviens. De nombreuses niches écologiques sont alors vacantes sur la terre ferme. Les oiseaux, jusque-là souvent menacés par des prédateurs au sol, pourraient bien investir ces nouveaux territoires. Certains pourraient perdre leurs ailes au profit de puissantes pattes arrières (tels les descendants du perroquet, *ci-dessus*, ou du colibri, *page 83*). Ils gagneraient en agilité et pourraient bien être retenus par la sélection naturelle.

En outre, en faisant le choix de ne pas faire apparaître l'humanité dans ce scénario, ce livre est aussi une invitation à considérer notre impact sur la planète.

La biologie spéculative, loin d'être un exercice futile réservé à quelques adeptes, peut donc être utile pour mieux appréhender le réel. Elle est une fabrique de faux qui questionne le vrai, et l'évolution spéculative invente un futur plausible pour mieux comprendre le présent. ■

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. M. BOULAY est sculpteur animalier et sculpteur numérique. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.



ART & SCIENCE

Les paréïdolies artificielles

Les algorithmes de Google, lorsqu'ils sont livrés à eux-mêmes, font surgir d'une image des éléments (oiseaux, chiens, pagodes...) qui n'existent pas. Ce phénomène est semblable à celui qui vous fait distinguer des visages dans les nuages.

Loïc MANGIN

Connaissez-vous la paréïdolie ? Sans doute, même si le nom vous avait échappé, car ce phénomène consiste à distinguer des formes connues dans des images où elles sont pourtant absentes. Vous avez tous vu des visages ou des animaux « apparaître » dans les nuages, dans la mousse d'un café, dans un rocher... La paréïdolie expliquerait les visions de figures iconiques ou religieuses, telle cette Vierge Marie perçue sur un toast, lequel a été vendu 28 000 dollars en 2004. Ces cas extrêmes ne doivent pas faire oublier que cette tendance à créer du sens à partir de formes aléatoires est utile au cerveau qui cherche sans cesse à structurer son environnement.

La paréïdolie serait donc l'apanage des humains, ou au moins des animaux dotés d'un cerveau suffisamment complexe ? Pas nécessairement. Les ingénieurs de Google ont découvert que les machines qu'ils mettent au point pour la reconnaissance d'images identifient aussi des formes qui n'existent pas. Ils ont nommé ce phénomène « inceptionnisme », en référence au film *Inception* de Christopher Nolan dans lequel les héros modifient le subconscient d'individus via des rêves partagés.

Chez Google, l'histoire commence quand les spécialistes se penchent sur le fonctionnement interne des « réseaux de neurones » qu'ils développent pour classer les images. Les réseaux de neurones sont des algorithmes, calqués sur le fonctionnement des neurones biologiques, où des neurones

formels reçoivent des informations (venues d'autres neurones) et en émettent (vers d'autres neurones) selon des paramètres prédéfinis. Par exemple, et de façon très simplifiée, un neurone peut collecter plusieurs nombres transmis par des neurones en amont et transférer en aval la somme de ces nombres lorsqu'elle dépasse un certain seuil. Les neurones formels sont souvent agencés en couches intercalées (de 10 à 30 le plus souvent) entre les neurones d'entrée et ceux de sortie.

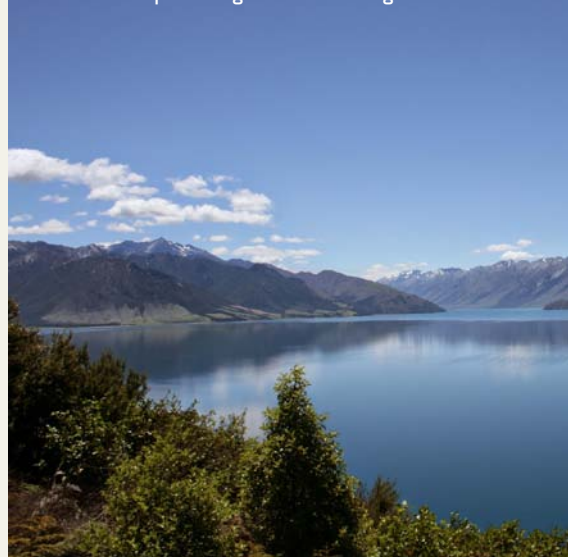
Les ingénieurs de Google ont entraîné leurs réseaux de neurones avec des millions d'images et en ajustant les paramètres de chaque neurone de façon à obtenir une classification correcte des images. Dans le mille-feuille du réseau, à mesure que l'on s'approche de la décision finale (ce que représente l'image soumise) par la dernière couche, les neurones extraient des caractéristiques toujours plus fines de l'image. Ainsi, une première couche peut repérer les coins et les bords, la suivante s'intéressera aux motifs, etc.

Pour en savoir plus sur ce qui se passe à l'intérieur du réseau, on peut le prendre à l'envers et se demander quelles images conduisent à une réponse prédéfinie, par exemple une banane. Pour répondre, on commence avec une image pleine de bruit aléatoire, puis on la modifie progressivement jusqu'à ce que le réseau y identifie une banane. On obtient en quelque sorte des images que le réseau de neurones a créées lui-même. Cette démarche renseigne

sur les caractéristiques essentielles que le réseau de neurones extrait de l'objet en question (ici la banane).

Une autre fenêtre sur le fonctionnement interne du réseau consiste à ne pas lui indiquer les caractéristiques qu'il doit repérer et amplifier pour reconnaître une image. À partir d'une image quelconque, on regarde alors ce que les couches du réseau ont détecté et retenu, puis on demande à l'algorithme d'insister sur les éléments identifiés. En d'autres termes, l'idée consiste à demander au réseau : « Quoi que tu vois, rends-le encore plus visible. » Ainsi, dès qu'un

a Un paysage naturel rempli de sérénité (a) devient une cité lacustre onirique (b) quand il est scruté par les algorithmes de Google.



Rendez-vous

élément d'une image ressemble à un oiseau, le réseau renforcera la ressemblance dans une sorte de boucle de rétroaction d'où sortira un oiseau très détaillé. Or le volatile n'existe pas : l'algorithme est victime de paréidolie.

Les exemples de ce nouveau courant artistique (l'inceptionnisme ?) sont déroutants et spectaculaires. Ici, un paysage naturel (a) se hérisse soudain de tours et se peuple d'organismes inédits (b)... Là, avec

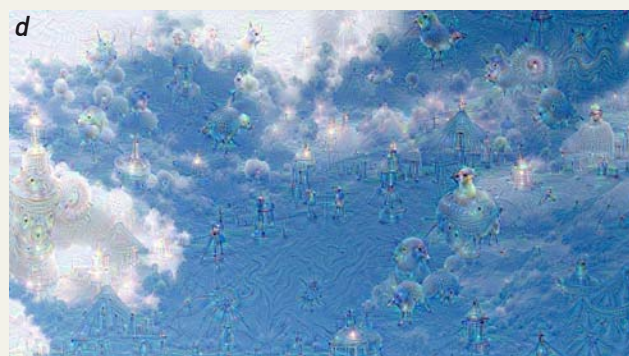
un algorithme entraîné avec des images d'animaux, des créatures chimériques surgissent d'un ciel nuageux (c et d) : un chien-amiral (e), un cochon-escargot (f), un oiseau-dromadaire (g), un poisson-chien (h)... Là encore, le personnage du *Cri* d'Edvard Munch devient un chien...

Plus étonnant, lorsque le réseau de neurones part d'une image totalement bruitée (un ensemble de pixels aléatoires), il

identifie peu à peu des éléments et construit des images oniriques.

Isaac Asimov avait publié en 1986 une nouvelle intitulée *Le Robot qui rêvait*. On sait désormais que le cerveau (un réseau de neurones) de cette machine a été fourni par Google.

Inceptionism : Going deeper into neural networks, Google Research Blog, 2015.
<http://bit.ly/PLS-Incep>



Chien-amiral



Cochon-escargot

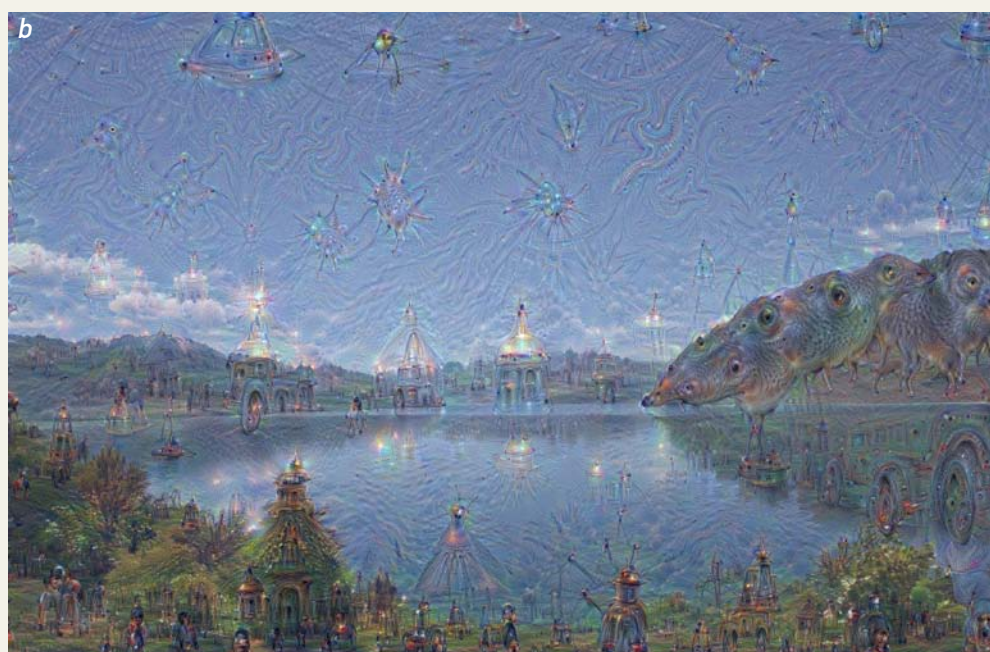


Oiseau-dromadaire



Poisson-chien

Quand, au mieux, vous ne distinguez que visages et lapins dans un ciel nuageux banal (c), les algorithmes de Google y voient un bestiaire psychédélique (d) de créatures chimériques (e à h).



Google Research Lab

DOSSIER

POUR LA

SCIENCE

Fresques, accessoires, graffitis... révèlent une sexualité différente de la nôtre



**Actuellement
en kiosque**

ROME

une civilisation
qui se pensait
éternelle



ARCHÉOLOGIE D'UN EFFONDREMENT

Le rôle des inégalités, des déficits commerciaux et des épidémies dans la chute de l'Empire romain.

N° 88 Juillet-Septembre 2015

pourlascience.fr

[illegible]

n°88 – 120 pages – prix de vente : 7.50 €

www.pourlascience.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

IDÉES DE PHYSIQUE

Le culbuto, la gömböc et la tortue

Retrouver son équilibre aussi facilement qu'un culbuto ? Ce serait l'idéal pour les tortues, dont certaines ont une carapace de forme avantageuse, proche de la gömböc.

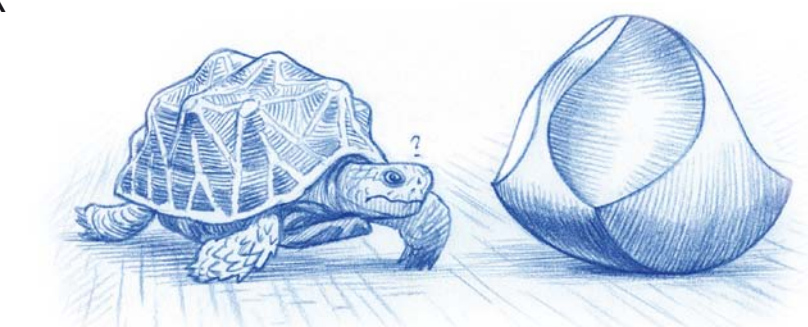
Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Posés sur le dos, de nombreux animaux à carapace, insectes ou tortues, ont toutes les peines du monde à se redresser sur leurs pattes. Ce n'est pas le cas de la tortue étoilée d'Inde (*Geochelone elegans*), qui se redresse sans trop d'effort grâce à la forme particulière de sa carapace. Elle ressemble à la gömböc, un objet remarquable construit par deux scientifiques hongrois en 2007 : il a la particularité d'être de densité homogène et de n'avoir qu'une seule position d'équilibre stable lorsqu'il est placé sur un plan horizontal (voir la figure ci-dessus). Cet objet fascinant, popularisé notamment par le mathématicien Cédric Villani, nous permet de (re)découvrir avec un œil neuf les lois de l'équilibre.

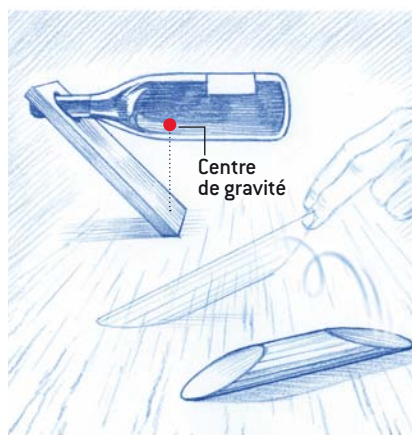
Trouver son équilibre... et le garder

Lorsque nous cherchons à tenir debout sur un seul pied, nous sentons bien ce que signifie « être à l'équilibre » : c'est rester immobile sans basculer. À cette fin, l'ensemble des forces qui s'exercent sur le corps doivent se compenser, et il doit en être de même pour l'ensemble des moments associés à ces forces (le moment d'une force par rapport à un point est, en grandeur, le produit de l'intensité de la force par la distance entre le point et la droite qui porte la force).

La situation est ici simple à analyser, car seules deux forces entrent en jeu : le poids



LA PARTICULARITÉ DE LA GÖMBÖC est d'être un solide homogène qui, posé sur un plan horizontal, n'a qu'une seule position d'équilibre stable. La carapace de la tortue étoilée d'Inde a une forme similaire, ce qui est un avantage lorsque l'animal se retrouve sur le dos : il parvient à se redresser sans trop d'efforts.



LE PORTE-BOUTEILLE ne peut pas tenir tout seul en équilibre dans cette position. En revanche, avec la bouteille enfoncée de façon appropriée, l'ensemble est en équilibre : le centre de gravité du système se trouve au-dessus du « polygone de sustentation » défini par les points de contact avec le support. Quant au polyèdre représenté, il est homogène et ne peut reposer en équilibre que sur une face bien déterminée. Les mathématiciens ont prouvé que le nombre minimal de faces pour que cette propriété soit vérifiée est 19.

et la réaction du sol. Les forces de gravité s'exercent sur l'ensemble des parties de notre corps, mais tout se passe comme si leur somme, c'est-à-dire le poids, s'appliquait en un point unique : le centre de gravité (ou centre de masse).

Quant à la réaction du sol, elle est la résultante de toutes les petites forces verticales que le sol exerce sur notre semelle, et son point d'application est le barycentre de tous ces points de contact, chacun pondéré par l'intensité de la force qui s'y exerce. Il se situe donc dans le « polygone de sustentation », la plus petite surface convexe du plan qui contient tous les points de contact avec le sol.

Pour que nous ne basculions pas, il faut que le couple (moment dû à deux forces de même intensité) créé par le poids et la réaction du sol soit nul. Ces deux forces opposées doivent donc être alignées, c'est-à-dire que le poids doit être à la verticale du point d'application de la réaction du sol. Si ce n'est pas le cas, nous perdons l'équilibre et basculons.

Une illustration saisissante de ce principe est le « porte-bouteille magique » (voir