

Vous allez surprendre vos amis avec ces expériences étonnantes :
retournez votre verre de vin sans secousses, transformez l'eau en vin, créez une bouteille invisible, mettez une olive en lévitation !
Toutes faciles à réaliser et enrichies d'une explication simple et compréhensible des phénomènes.

en perdre une goutte, transformez l'eau en vin, créez un nuage dans une bouteille, mettez une olive en lévitation ! Des expériences très faciles à réaliser et enrichies d'une explication simple et compréhensible des phénomènes scientifiques en jeu.

168 pages – 18,90 euros – ISBN 978-2-7465-0544-5

Comment LA VIE
a commencé

RAYMOND BRADLEY

D'où vient la vie ? Comment est-elle apparue sur Terre ? Cette nouvelle édition tient compte de la découverte en 2010 au Gabon de fossiles apportant la preuve de l'existence d'une vie organisée et complexe il y a plus de 2,1 milliards d'années. Une découverte qui déplace le curseur de 1,5 milliard d'années et remet en cause nos connaissances sur l'apparition de la vie.

d'années et remet en cause nos connaissances actuelles sur l'apparition de la vie.

432 pages – 19,00 euros – ISBN 978-2-7011-5911-9

La vie et l'œuvre d'un mathématicien hors norme. Chassé de l'École normale pour ses discours politiques, il est incarcéré à l'âge de 20 ans pour diverses prises de position violentes. Libéré au bout de six mois, il ne sort que pour tomber amoureux et meurt lors d'un duel engagé pour sa belle. La nuit précédant le combat, il rédige son grand mémoire aux idées encore fécondes aujourd'hui. Le lecteur suivra ce génie tourmenté dans les méandres de l'histoire.

144 pages – 18,00 euros – ISBN 978-2-8424-5112-7

L'arpenteur babylonien mesure les parcelles agricoles, le jardinier d'Ératosthène donne de la grâce au jardin de son maître, le maçon picard voyage dans la France gothique où l'architecture défie la pesanteur... et Léonard de Vinci nous explique comment tromper l'œil, comment simuler la profondeur et la lumière... Tous mettent en scène des pratiques vivantes de la géométrie.

288 pages – 27 euros – ISBN 978-2-7465-0585-8

ou en renvoyant le bon de commande ci-dessous.

* Pour commander les titres édités par *Le Pommier* : www.editions-belin.fr

Virus & hommes, un destin commun ?

Éditions le Pommier 2011
408 pages – 27 euros
ISBN 978-2-7465-0512-4
Réf. 090512

Éditions le Pommier 2011
264 pages – 22 euros
ISBN 978-2-7465-0552-0
Réf. 090552

Éditions Belin/Pour la Science 2011
224 pages – 19 euros
ISBN 978-2-8424-5110-3
Réf. 075110

à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • Tél. : 0 808 655 255 • e-mail : pourlascience@daudin.fr

☐ **Oui, je commande les livres présentés dans la sélection de *Pour la Science*.** Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger)		+ €
Total à régler		= €

☐ par mandat administratif

Signature obligatoire

HISTOIRE DES SCIENCES

Les dinosaures nains de Transylvanie

Au début du XX^e siècle, le baron Nopcsa, un aristocrate hongrois, déduisit de l'étude de fossiles transylvaniens des hypothèses sur l'évolution des dinosaures.

Il était en avance sur son temps de plusieurs décennies.

Gareth DYKE

Un matin de printemps 1906, dans le hall d'entrée du *British Museum*, à Londres, un petit homme en tenue chic, coiffé d'un chapeau melon et muni d'une canne, marche près du squelette géant d'un diplodocus. Il dégage avec précaution un des os géants de l'orteil du dinosaure de son armature en fer, le bascule davantage, puis le remet en place. Jetant un coup d'œil autour de lui, il constate que sa manœuvre n'est pas passée inaperçue : les gardiens du musée fondent sur lui de tous côtés. Quelques minutes plus tard, ils jettent le visiteur pimpant dans la rue.

L'homme qu'ils viennent d'expulser est Franz Nopcsa (prononcé « nopcha »), baron de Szacsal, en Transylvanie. Cet aristocrate hongrois fait alors autorité en matière de dinosaures et autres fossiles. Ayant noté que l'orientation de l'orteil du diplodocus était incorrecte, le baron avait simplement essayé de le replacer. L'histoire lui a été bien plus reconnaissante que les gardiens du musée : pour les paléontologues actuels, il est celui qui a découvert et décrit certains des premiers dinosaures d'Europe centrale.

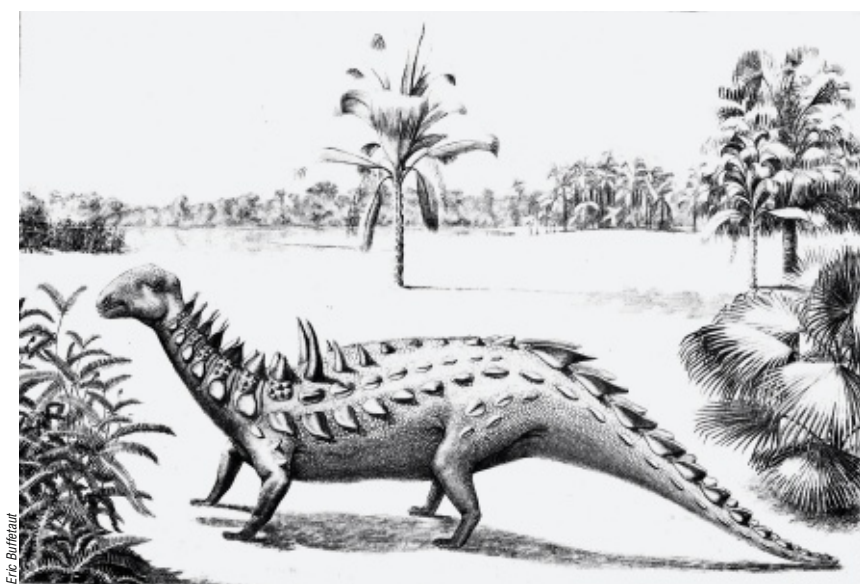
Néanmoins, les détails de la vie personnelle de Nopcsa ont souvent éclipsé son héritage intellectuel. Aventurier, excentrique et

ambitieux, Nopcsa était un personnage haut en couleur. Il servit comme espion pendant la Première Guerre mondiale et tenta de devenir roi d'Albanie. Il était également ouvertement homosexuel.

Il y a cependant bien plus à dire sur sa collection de fossiles que sur ses affaires personnelles et politiques. D'une part, il a inventé des techniques d'analyse de fossiles qui sont toujours de rigueur pour la recherche paléontologique. D'autre part, selon des recherches récentes, ses théories sur l'évolution des dinosaures avaient plusieurs décennies d'avance sur leur temps. Nopcsa insistait sur le fait que ses dinosaures transylvaniens permettaient de comprendre l'évolution des dinosaures à l'échelle mondiale. Grâce à la découverte de nouveaux fossiles, les scientifiques mesurent aujourd'hui à quel point il avait raison.

Nanisme insulaire

Nopcsa toucha des fossiles pour la première fois en 1895 quand sa sœur, Ilona, découvrit de grands os dans l'un des domaines de la famille, en Transylvanie, qui faisait alors partie de l'Autriche-Hongrie. Il se précipita sur les vestiges et les emporta à Vienne, où il faisait ses études, pour les montrer à l'un de ses professeurs de géologie. Le professeur lui indiqua qu'il s'agissait de dinosaures et lui offrit l'aide d'un technicien du département pour collecter davantage de restes et préparer une description formelle. Mais, malgré sa formation succincte en paléontologie, le jeune Nopcsa décida, à 18 ans, d'agir seul et travailla jour et nuit pour apprendre l'anatomie des grands rep-



1. RECONSTITUTION SUIVANT LE BARON NOPCSA (page ci-contre) d'un des dinosaures de Transylvanie, l'ankylosaure *Struthiosaurus* (réalisée en 1929, cette reconstitution est aujourd'hui quelque peu surannée).

tiles. Il fut rapide : en deux mois, il rédigea un article décrivant les os trouvés par Ilona comme étant ceux d'une nouvelle espèce d'ornithopode de Transylvanie, qui sera nommée plus tard *Telmatosaurus*.

Cet article marqua le début d'une carrière longue et productive : au cours des 35 années suivantes, Nopcsa écrivit plus de 100 articles scientifiques sur des fossiles, dont bon nombre étaient innovants. Il fut l'un des premiers à rechercher comment l'anatomie d'animaux éteints et la façon dont ils avaient été fossilisés ensemble pouvaient aider à comprendre leurs interactions de leur vivant ; il a soutenu l'idée selon laquelle les oiseaux étaient une sorte de dinosaures et non de lointains cousins des reptiles – un point de vue aujourd'hui partagé par la majorité des paléontologues ; il a également établi la carte géologique de vastes régions d'Europe centrale.

Les recherches de Nopcsa l'amènèrent à voyager loin, mais son résultat le plus important fut le fruit de découvertes effectuées sur ses terres. Le baron nota que le *Telmatosaurus*, le sauropode nain *Magyarosaurus* (décrit et nommé par le paléontologue allemand Friedrich von Huene), et d'autres dinosaures trouvés sur ses domaines étaient plus petits que d'autres espèces étroitement apparentées. Le *Magyarosaurus*, par exemple, mesurait six mètres de long, alors que les autres sauropodes atteignaient 15 à 20 mètres.

Géologue accompli, Nopcsa savait que le *Magyarosaurus* vivait en Transylvanie à la fin du Crétacé, il y a environ 70 millions d'années, alors qu'une mer chaude et peu profonde nommée Téthys recouvrait une grande partie de l'Europe du Sud, ne laissant que quelques îles aux animaux terrestres. Il savait aussi qu'au fil de l'évolution, certains mammifères insulaires, tel l'éléphant de Méditerranée récemment éteint, avaient rapetissé, vraisemblablement en raison d'une adaptation à la diminution des ressources alimentaires disponibles dans leur environnement. En faisant le rapprochement, Nopcsa émit l'hypothèse, en 1914, que ses dinosaures avaient vécu sur une île née de l'inondation de l'Europe par la Téthys – île qu'il nomma Hâtszeg : selon lui, la petite taille de ces dinosaures était le résultat du nanisme insu-

laire qu'avaient subi leurs espèces sur cette île hypothétique au fil de leur évolution.

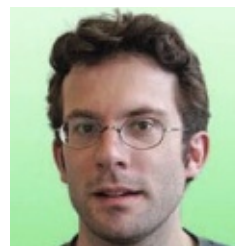
Bien que les contemporains de Nopcsa aient eu connaissance des éléphants nains de Crète et d'autres îles méditerranéennes, personne n'avait imaginé qu'une telle diminution de taille avait pu se produire chez les dinosaures. La théorie audacieuse du baron fut en grande partie ignorée. Ce n'est qu'à la fin des années 1970, lorsque les animaux de Transylvanie du Crétacé suscitèrent de nouveau l'intérêt, que la théorie du nanisme de Nopcsa refit surface. Depuis lors, elle a été confirmée, en partie par les dimensions des dinosaures découverts ultérieurement : ceux de Hâtszeg étaient bien de taille réduite par rapport à leurs homologues du reste de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique du Nord.

Dinosaures petits ou juvéniles ?

Notamment, mes travaux ont récemment soutenu les idées de Nopcsa. Dans une collection d'os fossiles de la fin du Crétacé mise au jour dans les années 1970 dans une mine de bauxite de Transylvanie, j'ai étudié des restes d'oiseaux et de ptérosaures de petite taille datant du début du Crétacé, il y a 120 millions d'années. D'après les éléments d'aile préservés, ces animaux étaient probablement capables de voler sur de longues distances – une caractéristique que l'on pourrait s'attendre à trouver sur une île isolée. En fait, à l'instar de celles trouvées à Hâtszeg, à plusieurs dizaines de kilomètres à l'Est, les espèces préservées dans la mine de bauxite semblent avoir été insulaires. La mine faisait sans doute partie d'une autre île de l'archipel créé par la Téthys au Crétacé.

Un point faible de la théorie de Nopcsa sur les dinosaures nains, quand il la proposa pour la première fois, était qu'il ne pouvait exclure la possibilité que ses dinosaures étaient petits simplement parce qu'ils étaient jeunes. Il disparut avant d'avoir pu résoudre cette difficulté. Pourtant, il avait entre-temps mis au point une technique histologique remarquable qui, appliquée aux ossements fossiles du *Magyarosaurus*, aurait levé l'incertitude : dans un article révolutionnaire des années 1930, il explique comment, à partir de la structure

L'AUTEUR



Gareth DYKE est paléontologue à l'Université de Southampton, en Angleterre.

✓ À ÉCOUTER

Jeudi 5 janvier 2012, Eric Buffetaut évoquera Nopcsa dans la partie « Actualités » de l'émission **La marche des sciences**, sur France Culture de 14h à 15h.
www.franceculture.com



microscopique de l'os – son histologie –, il a prouvé qu'un fossile d'une soi-disant nouvelle espèce de dinosaure de type bec-de-canard d'Amérique du Nord n'était en réalité qu'un spécimen juvénile d'une espèce déjà connue. Sa méthode consiste à estimer l'âge d'un animal à sa mort grâce à l'étude de coupes minces d'os observées au microscope, un peu comme on compte les cernes de croissance d'un arbre pour déterminer son âge.

Récemment (en 2010), un groupe de paléontologues allemands, américains et roumains a entrepris de telles études histologiques sur le *Magyarosaurus*. Il en a conclu que le fameux sauropode était complètement développé, confirmant l'interprétation de nanisme insulaire de Nopcsa. De même, la méthode de Nopcsa m'a permis de montrer que les restes d'oiseaux et de ptérosaures que j'avais étudiés provenaient bien d'animaux adultes.

Les études histologiques des os, aujourd'hui courantes en paléontologie, ont éclairé d'autres sujets chers à Nopcsa, dont l'évolution des oiseaux. Par exemple, en 2009, des chercheurs allemands et américains ont rapporté que quelques oiseaux primitifs – tel l'archéoptéryx, vieux de 140 millions d'années – présentent des structures osseuses révélant une croissance jusqu'à trois fois plus lente que celle des oiseaux actuels, plus proche de celle des reptiles à sang froid. Ainsi, certaines caractéristiques des oiseaux actuels, telle la rapidité de leur croissance, ont sans doute évolué plus lentement qu'on ne le pensait.

Pour Nopcsa, les dinosaures transylvaniens avaient une signification plus profonde encore que d'apporter une preuve du nanisme insulaire des dinosaures. Il avait raison. Les spécimens transylvaniens ont fourni des pistes pour comprendre les déplacements

des dinosaures à la fin du Crétacé, une période où la majeure partie de l'Europe était recouverte par la Téthys. Plusieurs espèces retrouvées dans cette région – tel le *Telmatosaurus* de Hátszeg – n'ont d'homologues qu'en Asie ou en Amérique du Nord, et aucun dans l'hémisphère Sud. Cette répartition suggère que la Transylvanie formait un pont important entre l'Europe et le bloc continental qui, à la fin du Crétacé, comportait l'Asie et l'Amérique du Nord. Les dinosaures européens pouvaient traverser la Téthys et rejoindre ce bloc, et réciproquement, en passant par Hátszeg et les autres îles qui formaient un archipel entre les Alpes européennes et l'Asie du Sud-Ouest (voir la figure 2). Des travaux géologiques publiés en 2010 confirment cette hypothèse, montrant que l'île de Hátszeg a constitué une étape pour les animaux qui se déplaçaient d'Est en Ouest à la fin du Crétacé. Ainsi, les dinosaures de Transylvanie, et ceux

Visite en Normandie

En janvier 1911, Nopcsa, de retour d'une de ses fréquentes visites en Angleterre, fait halte au Havre. Il a été invité à y décrire les restes d'un dinosaure conservés au Muséum de cette ville. Ils ont été découverts en 1898 dans des couches du Jurassique supérieur, vieilles d'environ 155 millions d'années, visibles dans

les falaises bordant la Manche à Octeville, à quelques kilomètres au Nord du Havre.

L'auteur de la découverte, Émile Savalle, un géologue amateur, avait aussitôt averti Gustave Lennier, directeur du Muséum. Les fouilles entreprises alors avaient mis au jour un squelette incomplet, qui s'était

avéré appartenir à un dinosaure. Mais à cette époque, peu de paléontologues français s'intéressaient à ce groupe d'animaux, et aucune étude détaillée n'avait été réalisée jusqu'à ce que Nopcsa entrât en scène, neuf ans après la mort de Savalle et six ans après celle de Lennier.

Fort de son expérience, le chercheur hongrois constate vite qu'il s'agit d'un dinosaure cuirassé du groupe des stégosaures. Dès la fin 1911, il fait paraître une description du squelette, qu'il attribue au genre *Omosaurus*, décrit précédemment en Angleterre. Il y voit une nouvelle espèce, qu'il nomme *Omosaurus lennieri* à la mémoire de Lennier.

Durant son séjour au Havre, Nopcsa est invité à donner une conférence sur les dinosaures, ce qui lui fournit l'occasion d'évoquer la sélection naturelle. Il conclut par ces mots : « Et si maintenant, en sortant dans la rue, vous voyez la lutte quotidienne, ne soyez pas attristés, car c'est la lutte pour l'existence qui a développé chaque espèce, qui a en-

nobli la race humaine, et c'est la lutte pour l'existence qui fait que la France marche à la tête de la civilisation et du progrès. » Dans son autobiographie, il ajoute ces remarques quelque peu désobligeantes : « Ces paroles absurdes déchainèrent chez les Français, vaniteux et facilement excitables, une tempête d'enthousiasme, d'autant plus qu'elles semblaient faire allusion aux conditions sociales des travailleurs et de la ville portuaire du Havre. Le maire du Havre me demanda de répéter ma conférence au théâtre, devant un public plus large, mais j'eus l'intelligence de refuser. »

Le squelette de stégosaure d'Octeville fut détruit, comme une grande partie de la ville du Havre, par les bombardements aériens alliés de septembre 1944. Il n'en subsiste plus que la description et les illustrations publiées par Nopcsa en 1911.

Eric Buffetaut
CNRS, Laboratoire de Géologie, École normale supérieure, Paris



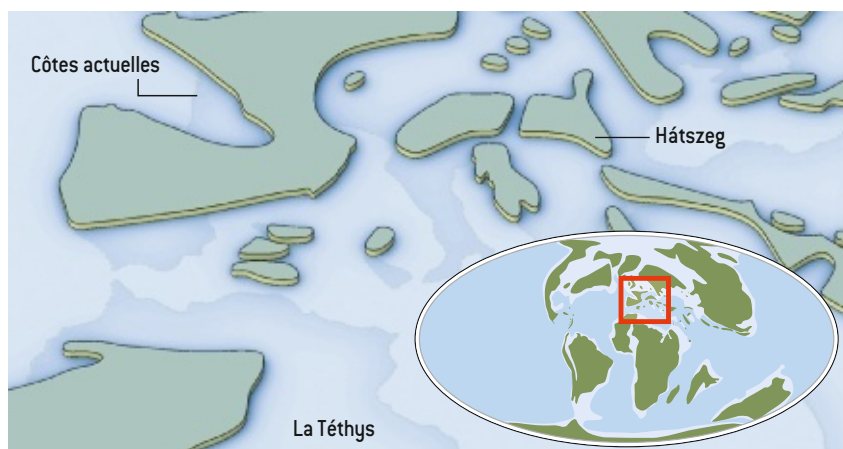
LES RESTES DU DINOSAURE D'OCTEVILLE, PRÈS DU HAVRE, que Franz Nopcsa étudia en 1911 (planche extraite de l'article qu'il publia, en français, sur cette étude).

de Hâtszeg en particulier, seront probablement déterminants pour comprendre la répartition globale des dinosaures juste avant leur apogée, il y a 65 millions d'années.

Forgées à une époque où la paléontologie et la géologie étaient encore des sciences jeunes, et où la théorie de l'évolution faisait l'objet de vives discussions, les théories de Nopcsa étaient étonnamment avant-gardistes. Nul doute qu'elles ont bénéficié de son statut d'aristocrate. De par sa richesse, Nopcsa profitait d'énormes avantages par rapport au chercheur moyen. Il effectuait librement, dans tout l'empire, ses expéditions de chasse aux fossiles et visitait les grands musées européens. Il semble qu'il aimait ces escapades, troquant volontiers sa parure de noble viennois pour la tenue grossière du berger des Balkans. Parlant plusieurs dialectes albanais, Nopcsa disparaissait des mois, voire des années, dans les collines de l'Albanie, avec pour seule compagnie son secrétaire et amant, l'Albanais Bajazid Elmasz Doda.

Une mort tragique

Pendant plus de dix ans, Nopcsa a ainsi accumulé une énorme quantité de données géologiques, météorologiques et ethnographiques, en grande partie publiées dans les principaux journaux scientifiques de l'époque. Les événements mondiaux le rattrapèrent cependant. Après la défaite, en 1918, de l'Allemagne et de ses alliés – dont l'Autriche-Hongrie –, la Transylvanie fut cédée à la Roumanie. Nopcsa, qui avait perdu ses domaines, et donc ses revenus, s'inquiéta de la façon dont il pourrait poursuivre sa vie de scientifique ambulant. Pour s'en sortir, il accepta le poste de directeur de l'Observatoire géologique de Hongrie et s'installa à Budapest. Mais la vie institutionnelle ne convenait pas à son caractère indépendant. Le baron quitta bien vite son poste pour reprendre ses voyages avec Doda, à moto dans les Balkans et en Italie, recherchant des fossiles et effectuant des relevés géologiques. Pour subvenir à leurs besoins, il vendit la majeure partie de sa collection de fossiles – y compris ses chers dinosaures de Transylvanie – au *British Museum*, qu'il avait souvent visité par le passé en tant que scientifique invité.



Quelques mois avant sa mort, Nopcsa fut invité à la Société géologique d'Anvers, en Belgique. Il fit le voyage en dépit d'une forte fièvre, mais tomba très malade la nuit qui précédait son intervention. Néanmoins, sans préparation, il tint sa conférence, en français, sur la géologie de l'Albanie, devant une assemblée enthousiaste. « À chacune de mes conférences, écrivit-il à un ami une fois rentré à Budapest, la salle est remplie de dames qui espèrent plus des récits d'aventure que des explications scientifiques. » Un exercice auquel le « baron dinosaure » se pliait volontiers.

La vie de Nopcsa s'acheva par une tragédie. Le 25 avril 1933, le chasseur de fossiles, indigent et déprimé, servit à Doda une tasse de thé drogué, puis tua son amant d'une balle dans la tête avant de retourner l'arme contre lui. Dans une lettre laissée à la police, il expliquait : « La raison de mon suicide est mon système nerveux, qui est à bout. J'ai tué dans son sommeil mon vieil ami et secrétaire, M. Bajazid Elmasz Doda, sans lui laisser entrevoir ce qui allait se passer, car je ne voulais pas l'abandonner à la maladie, la misère et la pauvreté, il aurait trop souffert. »

L'héritage scientifique de Nopcsa n'a cependant pas disparu avec lui. Les dinosaures de Transylvanie font l'objet de recherches depuis une bonne trentaine d'années, réalisées par des paléontologues roumains nombreux et actifs. Leurs recherches ont permis d'augmenter de façon spectaculaire la liste des vertébrés fossiles transylvaniens connus du Crétacé supérieur, et de mieux comprendre leurs relations paléogéographiques.

2. SELON NOPCSA, l'inondation d'une grande partie de l'Europe du Sud par la mer, à la fin du Crétacé, il y a 70 millions d'années, laissa émergé un archipel d'îles, qui auraient servi d'étapes aux dinosaures. Ceux qui y seraient restés auraient évolué vers des tailles inférieures, en s'adaptant aux ressources restreintes des îles. Une de ces îles, nommée Hâtszeg par le baron, aurait été située sur ses terres.

✓ BIBLIOGRAPHIE

E. Buffetaut, *Chercheurs de dinosaures en Normandie*, Ysec, 2011.

G. Dyke *et al.*, Early cretaceous (Berriasian) birds and pterosaurs from the cornet bauxite mine, Romania, *Paleontology*, vol. 54, n°1, pp. 79-95, 2011.

European island faunas of the Late Cretaceous – The Hateg island, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 293, n°3-4, 2010.

K. Stein *et al.*, Small body size and extreme cortical bone remodeling indicate phyletic dwarfism in *Magyarosaurus dacus* (sauropoda : titanosauria), *PNAS*, vol. 107, n° 20, pp. 9258-9263, 2010.

G. Erickson *et al.*, Was dinosaurian physiology inherited by birds ? Reconciling slow growth in *Archaeopteryx*, *PLoS ONE*, vol. 4, n° 10, e7390, 2009.

LOGIQUE & CALCUL

L'autoréplication maîtrisée ?

Les astucieux travaux pour perfectionner et simplifier le modèle d'autoréplication de von Neumann nous font réfléchir à ce qu'est l'autoreproduction du vivant.

Jean-Paul DELAHAYE

Les êtres vivants sont des agrégats compliqués de composants simples et, selon toute théorie probabiliste ou thermodynamique raisonnable, ils sont très improbables. La seule chose qui explique ou atténue ce miracle est le fait qu'ils se reproduisent : si, par accident, il en apparaît un seul, alors les principes des probabilités ne s'appliquent plus et il s'en produit beaucoup.

John von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata*, 1966.

Un des grands sujets de la science-fiction est l'autoreproduction (ou autoréplication) : la réalisation de robots qui pourraient se dupliquer, sans que, après lancement du processus, il faille intervenir autrement que par apport de matière première et d'énergie.

À la fin des années 1940 et au début des années 1950, le mathématicien américain d'origine hongroise John von Neumann mena une série de travaux sur le sujet. À sa mort en 1957, ses travaux furent repris par Arthur Burks qui, en 1966, les regroupa dans un livre célèbre : *Theory of Self-Reproducing Automata*. L'ouvrage a donné naissance à une multitude de projets de recherche.

Von Neumann cherchait à démontrer la possibilité d'un robot autoréplicateur et Stanislas Ulam lui suggéra d'étudier le problème dans un monde abstrait simplifié. Le modèle retenu, aussi élémentaire que possible, fut celui des automates cellulaires. Ces calculateurs abstraits élémentaires pavant un damier infini (voir la figure 2) ont contribué à l'essor d'une discipline scientifique à la charnière des mathématiques et de l'informatique.

L'autoreproduction, dont von Neumann prouva la possibilité logique, a été étudiée sous des angles théoriques et pratiques. En robotique, on s'intéresse à la mise au point de dispositifs autoreproducteurs de grande taille ; dans les nanotechnologies, on envisage des systèmes microscopiques aptes à se multiplier spontanément, par exemple des circuits.

La configuration autoreproductrice décrite par von Neumann est extraordinairement complexe et si, mathématiquement, elle est bien définie, le texte de von Neumann reste théorique et n'explique pas, cellule par cellule, comment on pourrait la réaliser.

Il a fallu attendre 1995 pour qu'une configuration complète soit mise au point par Renato Nobili et Umberto Pesavento. Pour en faciliter la réalisation, le modèle italien modifiait légèrement celui de von Neumann : les cellules avaient 32 états au lieu de 29. La configuration autoreproductrice comporte alors 6 329 cellules et un ruban de codage (une sorte de génome définissant sa constitution interne) long de 145 315 cellules. Sa duplication (ruban de codage compris) exige 63 milliards d'étapes. Longtemps, la puissance informatique disponible n'a pas permis de répliquer leur construction sur écran d'ordinateur, mais ce fait d'armes a été réalisé récemment.

La programmation complète d'une configuration autoreproductrice suivant exactement l'automate cellulaire à 29 états de von Neumann a enfin été réalisée en 2008 par William Buckley. Elle comporte 18 589 cellules, le ruban de codage en compte 294 844 et il faut 261 milliards d'étapes pour que s'opère la réplication. En quelques dizaines de minutes, nos ordinateurs permettent l'exécution complète du processus d'autorepro-

