

LOGIQUE & CALCUL

Vie ou intelligence : comment en repérer les traces ?

Les erreurs commises à propos de l'identification de traces de vie ou d'intelligence font comprendre pourquoi il est important de savoir mesurer la complexité.

Jean-Paul DELAHAYE

Il semble naturel de distinguer trois catégories de structures sur Terre et dans l'Univers :

– les structures physiques (galaxies, rochers, fleuves, molécules d'eau, étoiles, trous noirs, cristaux, planètes, atomes d'hydrogène, glaciers, dunes...);

– les structures vivantes ou provenant d'organismes vivants (arbres, cellules, alvéoles des ruches d'abeilles, organes, biomatériaux, neurones, réseaux sanguins, chromosomes, protéines, squelettes d'homínidés, paramécies, insectes...);

– Les structures provenant d'êtres doués de raison, que nous qualifierons d'« intelligentes » (livres, ordinateurs, réseaux routiers, sonates de piano, démonstrations de théorèmes, avions, firmes industrielles, molécules de plastique, programmes de jeu d'échecs, gravures anciennes...).

Ces trois catégories peuvent être insuffisantes, notamment s'il existe des formes de vie inconnues différentes de la nôtre, ou des êtres superintelligents qui produisent des objets dont nous ignorons la nature, voire dont nous ne percevons pas qu'ils sont structurés. Il se peut aussi qu'il y ait continuité entre les trois types de structures envisagées – physiques, vivantes et intelligentes – et que notre distinction soit chimérique.

La musique des baleines nous incite à la prudence : qui, en entendant ces sons sans savoir comment ils ont été enregistrés, aurait compris qu'ils venaient d'animaux intelligents en train de communiquer et non d'un

phénomène physique ? Nous supposons dans la suite que les trois niveaux sont distincts, non ambigus et que tout s'y range bien. Vous pouvez tester cette hypothèse en vous demandant si vous changeriez de catégorie certains exemples donnés entre parenthèses où si vous en connaissez qui n'appartiennent à aucune des trois catégories.

Se pose alors une question : comment identifier le type d'une structure vue sur Terre ou ailleurs, et est-ce toujours possible ?

Le problème est important dans plusieurs domaines et pourtant cette identification des origines n'est l'objet d'aucune discipline cataloguée. Il est intéressant et amusant de voir comment, lorsqu'elle se pose, on la résout (pas toujours, toutefois !) dans les disciplines qui y sont confrontées.

Les hypothèses de SETI

Le projet SETI (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*) recherche des signaux incontestablement d'origine intelligente.

Les travaux de SETI consistent principalement à examiner des ondes enregistrées par des radiotélescopes et à y rechercher des signaux à faible largeur de bande (c'est-à-dire dont la gamme de fréquences est étroite), éventuellement pulsés (c'est-à-dire périodiques). L'idée est que les signaux à faible largeur de bande ne se trouvent habituellement pas dans la nature et donc que si l'on en reçoit, ils proviendront d'une émission produite par une intelligence

extraterrestre. Celle-ci, pour émettre loin, aura choisi d'émettre sur une faible largeur de bande, moins gourmande en puissance, et qu'elle jugera identifiable par les radiotélescopes d'autres civilisations avancées pour qui les signaux à faible largeur de bande seront les mieux identifiables ! Le raisonnement est fondé sur l'hypothèse que si l'on détecte un signal à bande étroite et, mieux encore, s'il est pulsé, il provient d'une source intelligente, car la nature (le monde physique où aucun être intelligent n'intervient) ne produit aucun signal de ce type.

Cette hypothèse est discutable. On peut contester qu'un signal à bande étroite, ou périodique, soit nécessairement le résultat d'une activité intelligente. Lors de la découverte des pulsars, en 1967, on a cru, à cause de la période très stable d'émission, avoir capté un signal extraterrestre. Aussi les découvreurs Jocelyn Bell et Antony Hewish baptisèrent LGM1 le signal, pour *Little Green Man 1*. Après discussions et spéculations, les spécialistes conclurent que l'émission provenait d'une étoile à neutrons en rotation rapide sur elle-même. Il y avait bien un signal périodique rapide... mais pas de petits hommes verts.

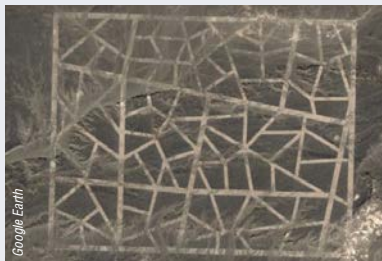
Une autre hypothèse est implicite : une structure vivante, mais non intelligente (n'ayant pas évolué jusqu'à une civilisation technologique), ne peut pas émettre un signal (pulsé ou non) à faible largeur de bande. Or il pourrait exister des formes de vie dont les organismes auraient des modes de fonctionnement très différents et soient capables,

Des images énigmatiques, mais d'origine humaine



© John Kerstner/shutterstock.com

À la surface de la Terre, des formes étranges sont vues de satellites. Dans le désert du sud du Pérou réside l'une des grandes énigmes de l'humanité : les dessins ou géoglyphes de Nazca (*ci-dessus*), longs de plusieurs kilomètres, dont on ne connaît ni les auteurs, ni la signification en dépit de nombreuses études depuis leur découverte en 1927. D'étonnantes structures en Chine (*ci-contre, en haut*) ont été photographiées en 2011 par Google Earth. Personne ne doute qu'elles résultent de constructions intentionnelles humaines. Mais à quoi servent-elles ? Les cercles de culture comme ceux du Wiltshire en Angleterre (*ci-contre, en bas*) ont longtemps été mystérieux et les hypothèses les plus folles ont circulé, notamment une origine satanique qui était déjà évoquée dans une gravure sur bois de 1678 (*à droite*).



Google Earth



Lacey Pringle doc. Crop Circles



Folger Shakespeare Library

même s'ils n'ont pas atteint un niveau d'intelligence élevé, d'émettre les signaux que nous recherchons. Il s'agit là de spéculations difficiles à préciser, mais n'oublions pas que l'Univers n'est pas aussi simple que ce nous croyons en savoir. Souvenons-nous par exemple du temps où les savants refusaient l'idée qu'il puisse tomber des pierres du ciel. C'est seulement au début du XIX^e siècle que les physiciens Ernst Chladni et Jean-Baptiste Biot ont montré que les météorites provenaient vraiment de l'espace.

Il est donc sage de formuler le projet SETI et ses analogues de manière prudente : on recherche un signal à bande étroite et si possible pulsé, et si nous en trouvons un, il faudra l'analyser attentivement avant de le rattacher à une source intelligente.

Henry Lin, du Harvard College aux États-Unis, Gonzalo Abad et Abraham Loeb, du centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian, ont proposé récemment une méthode de détection de la vie extraterrestre fondée sur l'analyse spectrale de l'atmosphère des

planètes de type terrestre. Des traces de photosynthèse dans l'analyse spectrale de la lumière provenant de ces planètes seraient un indice suggérant une forme de vie.

Détecter de la pollution sur une exoplanète

Pour aller plus loin, il faudrait repérer des indices en faveur de la présence d'une société industrielle, et donc d'une forme d'intelligence. Ces auteurs suggèrent de s'intéresser aux CFC (chlorofluorocarbures) qui trahiraient la présence d'une civilisation avancée polluante. Si ce sont des CFC à courte durée de vie, nous aurons affaire à une civilisation active (au moment où la lumière a été émise). Si ce sont des CFC à longue durée de vie, cela signifiera qu'une telle civilisation polluante a existé dans les 100 000 ans qui précèdent l'émission de cette lumière (100 000 ans est la durée de vie estimée des CFC les plus persistants). Les auteurs pensent que les télescopes de la prochaine

génération seront capables d'effectuer ces analyses spectrales.

Les signaux extraterrestres ne sont pas nécessairement dans le ciel, ils pourraient être dans le génome des êtres vivants. Dans un article de la revue d'astronomie *Icarus* paru en 2013, le mathématicien Vladimir Shcherbak et l'astrophysicien Maxim Makukov, d'Almaty au Kazakhstan, affirment que les caractéristiques du code génétique en démontrent l'origine intentionnelle et intelligente : pour eux, le code génétique serait trop parfait pour être apparu spontanément et aurait été introduit sur Terre par des êtres intelligents.

Malgré l'arsenal statistique déployé dans leur article, l'argumentation est faible : les défenseurs de ce « SETI génomique » s'émerveillent de la simplicité du code et non de sa complexité. Or l'apparition spontanée de structures simples et performantes par le jeu des contraintes du monde physique, ici de la sélection naturelle au cours de plus de trois milliards d'années, ne doit pas nous étonner, car la simplicité et certaines formes de perfection ne sont pas rares chez les organismes vivants (pensons aux perles dans les huîtres). Par ailleurs, les régularités arithmétiques que les auteurs présentent comme extraordinaires ressemblent aux coïncidences que les numéologues voient dans la Bible ou dans les décimales de π , et ne pourraient résulter, selon ces crédules, que d'une inscription délibérée par un être intelligent !

L'argument de ces chercheurs est proche de celui des créationnistes et des tenants de *l'Intelligent Design* : les êtres vivants sont trop bien organisés pour émerger des dynamiques physico-chimiques et des processus darwiniens de type variation-sélection. La réponse à ces élucubrations est simple : si les processus de la sélection naturelle engendrent des êtres aussi parfaits et délicats que les chats, les moustiques ou les orchidées, alors pourquoi la sélection naturelle ne pourrait-elle pas aussi aboutir au code génétique, quelle que soit la perfection qu'on croit y déceler ?

La recherche de vie extraterrestre primitive, et non plus d'intelligence extraterrestre, est aussi soumise au problème de l'identification du type de structures (physiques, biologiques ou intelligentes). De vives controverses portent sur la météorite

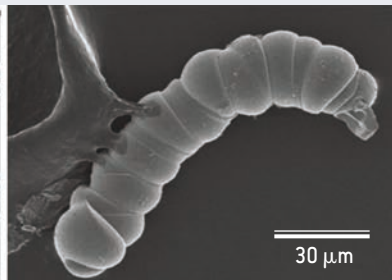
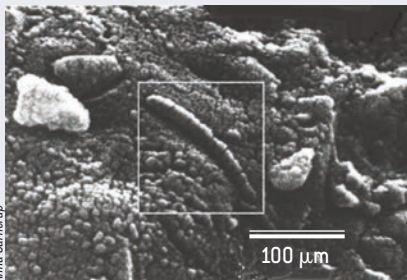
Des fossiles provenant de Mars ?

D'après sa composition, la météorite ALH84001 trouvée en Antarctique proviendrait de Mars, où elle aurait été arrachée par un choc de la planète avec une autre météorite et projetée dans l'espace avant d'arriver sur Terre. Des formes tubulaires (photographie de gauche) à sa surface ressemblent à des bacilles.

David McKay de la Nasa et plusieurs de ses collègues conclurent de l'analyse de ces formations qu'il s'agissait de fossiles d'une forme primitive de vie martienne. Depuis, cette

thèse a été contestée. Outre de savantes considérations géochimiques et cristallographiques, l'incertitude provient de ce que les formes martiennes étranges ressemblant à ce

qui pourrait être des bacilles ne sont pas structurellement assez complexes pour que l'origine biologique s'impose de toute évidence, cela d'autant plus qu'on a appris à créer en laboratoire des formes (photographie de droite) assez proches de celles trouvées sur ALH84001 sans avoir à faire intervenir aucune action biologique directe ou indirecte.



ALH84001, découverte en 1984 dans l'Antarctique. D'après leurs analyses chimiques, les spécialistes affirment depuis 1993 qu'elle provient de Mars où elle se serait formée, il y a 4 milliards d'années, puis une collision avec une météorite l'aurait éjectée il y a 15 millions d'années, avant qu'elle n'arrive sur Terre il y a 13 000 ans. L'examen au microscope électronique montre sur la météorite des structures tubulaires qui seraient, selon certains, des fossiles de formes bactériennes. Ces structures sont plus petites que les formes terrestres analogues, ce qui éliminerait l'idée d'une contamination.

Des traces contestées

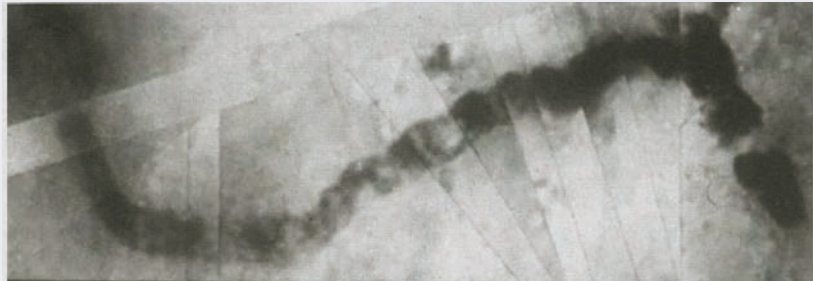
L'événement fut jugé si important que le président américain Bill Clinton en fit l'annonce à la télévision. En août 1996, un article de la revue *Science* signé par David McKay, de la Nasa, fournit des photos et l'analyse de la découverte. Aujourd'hui, il semble que ce sont les doutes qui l'emportent quant à la nature biologique des structures trouvées sur ALH84001. Des structures assez proches ont été obtenues en laboratoire par des processus physiques, sans impliquer une forme de vie. Par ailleurs, les critères qui démontreraient une origine biologique ne sont pas tous satisfaits. Les opposants argumentent que la nature chimique des parties structurées et les processus de fossilisation laisseraient des traces qui sont absentes.

La ressemblance morphologique est un argument délicat : si l'on exige que les traces trouvées et tout ce qui les entoure ressemblent à ce qu'on a déjà trouvé pour certains fossiles terrestres, ne risque-t-on pas de passer à côté d'une forme de vie différente de celle qu'on connaît ? Le paléobiologiste anglais Martin Brazier, qui ne croyait pas à la nature biologique des tubules de la météorite martienne, a exprimé une réserve sous une forme plus générale : « La complexité seule n'est pas un signal fiable de l'origine biologique. »

Pourtant, le seul moyen de ne pas passer à côté des formes de vie éloignées de la nôtre n'est-il pas au contraire de se fixer un critère

Première trace de vie sur Terre ?

Découverts par William Schopf en Australie en 1987 dans une roche dénommée Apex Chert, ces filaments de carbone sont datés d'il y a 3,5 milliards d'années. Pendant un moment, ils furent considérés comme les plus anciennes traces de vie sur Terre. Leur nature biologique est aujourd'hui contestée.



lié à la complexité ? Seule la vie et ses longs processus d'élaboration progressive produisent des structures finement organisées. La physique peut certes conduire à certaines formes ressemblant à des bacilles (cela a été réalisé en laboratoire), mais jamais elle n'est en mesure de donner rapidement des structures hiérarchisées comme celles d'un tissu vivant organisé en couches, chacune constituée de formes cellulaires elles-mêmes composées de sous-structures.

Les formes identifiées sur la météorite ALH84001 ne sont pas très complexes et un pur critère de complexité ne permet pas de conclure à une forme de vie. Même si, ici, les critères formulés par Brazier aboutissent à la même conclusion négative, il faut rester prudent et ne pas fixer des exigences que seules les formes de vie identiques à la nôtre pourraient satisfaire : la complexité reste le meilleur critère absolu qui ne nous ferme pas les yeux.

Est-il plus simple de repérer les premières formes de vie terrestres ? Ce n'est pas certain, comme en atteste une autre controverse sur des filaments de carbone découverts dans

une roche dénommée *Apex Chert*, en Australie. Ces structures repérées en 1987 par William Schopf, de l'université de Californie à Los Angeles, sont vieilles de 3,5 milliards d'années. Elles ont été un temps considérées comme les plus anciens fossiles terrestres.

Les cyanobactéries fixent le carbone en utilisant l'énergie de la photosynthèse. La preuve que les filaments retrouvés sont des fossiles de tels organismes – hypothèse proposée par William Schopf – aurait constitué une avancée déterminante dans notre compréhension de l'apparition de la vie sur Terre. Or les partisans d'une origine biologique de ces filaments semblent en mauvaise posture. Bien qu'un article de 2012 signé par William Schopf et Anatoliy Kudryavtsev proclame la résolution définitive de la controverse en faveur de l'hypothèse biologique, plusieurs articles publiés depuis défendent la thèse inverse ! En particulier, en 2015, David Wacey, de l'université de Bristol, et ses collègues se fondent sur l'examen à l'échelle nanométrique des roches concernées et concluent que les filaments ne présentent pas une « morphologie

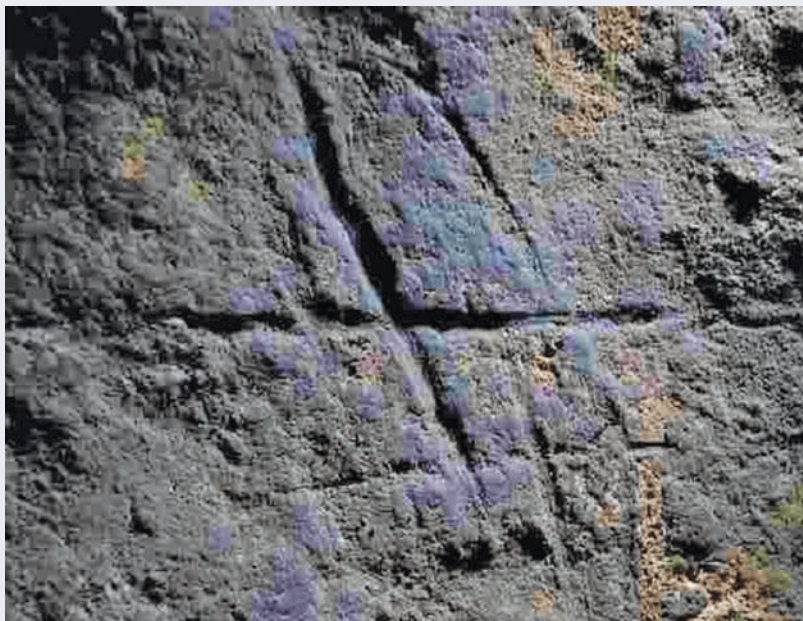
Premières œuvres d'art ?

Dans des endroits où l'étude des couches géologiques et les méthodes de datation ne laissent aucun doute, les paléontologues sont amenés à découvrir des objets ayant été entre les mains d'hominidés (ici des Néandertaliens) bien identifiés ou résultant de leurs activités.

C'est le cas de cette pierre trouvée dans une grotte à Gibraltar. Joaquín Rodríguez-

Vidal et ses collègues interprètent les traces qu'elle porte comme les premières

marques de dessins symboliques et artistiques. Même si l'étude microscopique révèle que les traces résultent de l'action répétée d'un objet pointu, doit-on vraiment considérer comme établi que ces croix très approximatives résultent d'une action intelligente intentionnelle ?



Stewart Finlayson, Gibraltar Museum

biologique». Leur article propose aussi l'hypothèse que les filaments se sont formés dans les écoulements d'une source hydrothermale, et qu'il s'agit d'artefacts minéraux.

Là encore, les arguments échangés dans le débat sont délicats et oscillent entre des remarques liées à la complexité des structures en jeu, dont on prétend qu'elle est trop grande pour provenir d'un simple processus chimique ou minéral (affirmations des défenseurs d'une origine vivante), et des assertions que rien de ressemblant n'existe vraiment dans le monde vivant connu ou que la relativement faible complexité morphologique des structures ne permet pas d'exclure une origine abiotique, qu'on réussit d'ailleurs plus ou moins à reconstituer

en laboratoire (arguments des opposants à l'origine biologique).

Les raisonnements sont incertains, presque subjectifs. En se fondant sur ce qu'on sait de la vie terrestre, on peut certes fixer des critères drastiques qui rejettent l'hypothèse d'une origine biologique des formes étranges rencontrées, mais ce sera en prenant le risque d'éliminer des formes de vie que l'on n'imagine pas. Avant qu'on découvre de la vie autour des sources hydrothermales profondes en 1977, on jugeait impossible qu'une vie ne repose pas sur l'énergie solaire, et que des bactéries utilisent à la place le sulfure d'hydrogène.

On rencontre des affirmations controversées dans un autre domaine encore : la

paléontologie. Le problème est de reconnaître sur un caillou ou un coquillage qu'une trace a été faite par un humain avec l'intention d'y graver un signe ou un dessin.

Donnons un seul exemple. En juin 2014, PNAS, la revue de l'Académie des sciences des États-Unis, a publié un article de Joaquín Rodríguez-Vidal et d'autres préhistoriens, qui analysent des marques découvertes dans une grotte et affirment qu'il s'agit de la première trace d'une « pensée abstraite s'exprimant par l'usage de formes géométriques ».

La gravure, d'une vingtaine de centimètres, sur laquelle se fonde cette affirmation comporte plusieurs entailles. Elle a été trouvée dans la grotte de Gorham, à Gibraltar, qui a abrité des Néandertaliens. Sous une couche de sédiments permettant d'affirmer que les traces datent d'au moins 39 000 ans est apparue une sorte de croix en creux dans la roche (voir l'encadré ci-contre). L'analyse microscopique montre que ces tracés résultent d'un mouvement répété plusieurs dizaines de fois, vraisemblablement à l'aide d'une pierre.

De l'art néandertalien ?

L'origine humaine n'est pas douteuse, mais l'affirmation qu'il s'agit d'un dessin délibéré de nature symbolique ou artistique est difficile à admettre. Est-ce qu'un instrument utilisé pour travailler du bois, de la peau ou une pierre ne pourrait pas avoir laissé, sur une sorte de plan de travail, des traces de ce type qui ne seraient donc ni intentionnelles ni symboliques ? D'autres causes ne pourraient-elles pas produire de telles marques en creux ?

À nouveau, il semble que ce soit la simplicité des motifs gravés qui pose problème. Quand on découvre la pierre de Rosette en Égypte, ou le disque de Phaistos en Crète, même si l'on n'arrive pas à en comprendre le sens (c'est toujours le cas pour le disque), la complexité et la richesse des structures qu'on y observe conduisent à la conclusion incontestable qu'il s'agit d'un objet ayant une origine intelligente et intentionnelle. Ici, on en est loin et y voir la naissance de l'art ou de la pensée symbolique apparaît précipité. L'analyse en

termes de simplicité et de complexité est importante et parfois décisive. Mais dans les cas incertains, les conclusions ne peuvent provenir que d'observations et de raisonnements complémentaires : datations, objets environnants, connaissances chimiques ou autres... La simple prise en compte de la taille des structures analysées est parfois un élément capital pour formuler une conclusion.

Considérons par exemple la forme cubique. Il ne fait aucun doute que si l'on découvre un objet parfaitement cubique de 10 mètres ou de 1 000 kilomètres de côté, on considérera comme presque certain qu'elle est due à l'action d'une forme d'intelligence (c'est l'idée du monolithe $1 \times 4 \times 9$ du film *2001, l'Odyssée de l'espace*), alors que le même cube parfait de moins d'un centimètre de côté existe dans la nature sous forme naturelle cristalline. Découvrir un cube parfait ne doit donc pas être interprété de la même façon selon sa taille. La raison de nos interprétations différentes provient de ce que la simplicité n'est jamais un critère concluant (un cube est simple).

La forme sphérique parfaite aussi conduirait à des conclusions différentes selon la taille. Il est cependant assez amusant de remarquer que les conclusions obtenues ne sont pas les mêmes que pour le cube : une forme naturelle sphérique parfaite très petite est possible (goutte d'eau, perle d'huître), très grande aussi (planète, étoile), alors qu'en revanche une taille moyenne – un mètre de rayon par exemple – signifierait presque certainement une action intelligente.

La complexité, critère primordial

Les erreurs les plus ennuyeuses commises dans l'identification d'une structure se sont toujours produites en considérant que la structure appartenait à une catégorie dont elle n'avait pas la complexité de ses représentants typiques. Les signaux LGM1 étaient simplement périodiques, ce qui n'est pas caractéristique des signaux intelligents (les cristaux sont périodiques, la trajectoire des planètes est périodique, etc.). Les structures sur la météorite martienne étaient arrondies, certes, et semblables superficiellement à

des bacilles, mais les formes arrondies existent aussi dans le monde minéral. La complexité des pseudobacilles n'était pas bien grande et certainement pas autant que peut l'être une cellule ou un organe ; ils ne pouvaient donc pas sans risque être rattachés à une forme de vie.

Mesurer la complexité : des outils insuffisants

Les trois catégories envisagées sont liées à trois niveaux différents de complexité structurelle, dont la théorie du calcul nous suggère qu'elle doit être conçue comme un contenu en calcul (voir dans cette rubrique « Qu'est-ce qu'un objet complexe ? ». Pour la Science, mai 2013). Les structures les plus complexes sont liées à l'intelligence, au niveau intermédiaire on a affaire à des structures vivantes ou intelligentes (les structures produites par l'intelligence sont parfois simples), et à un niveau inférieur on a affaire à des structures physiques, biologiques ou intelligentes.

Face à une structure simple, l'identification du bon niveau ne peut se faire qu'en prenant en compte d'autres informations telles que les couches géologiques où l'objet a été trouvé, l'échelle de la structure, ce qu'on sait de la physique, de la chimie, etc.

Malheureusement, les outils pour mesurer la complexité structurelle sont aujourd'hui insatisfaisants. Cette évaluation de complexité se fait directement et s'appuie sur notre jugement – nous savons par exemple qu'un dessin est complexe en y reconnaissant un arbre ou un animal –, mais c'est là une méthode subjective et difficile à quantifier.

Les autres méthodes d'évaluation de complexité structurelle sont soit trop particulières et *ad hoc*, par exemple quand on compte le nombre de symboles différents sur ce qui ressemble à un texte, soit générales mais peu fiables, comme celles utilisant les algorithmes de compression. Même si aucune solution générale automatique et sûre n'est disponible aujourd'hui, on doit adopter des points de vue clairs et raisonnables qui évitent des conclusions précipitées : il nous faut raisonner prudemment en oubliant nos rêves. ■

■ 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

S. T. Hyde, *Crystals : animal, vegetable or mineral ?*, *Interface Focus*, vol. 5, 20150027, 2015.

J. Rodríguez-Vidal *et al.*, *A rock engraving made by Neanderthals in Gibraltar*, *PNAS*, vol. 111, pp. 13301-13306, 2014.

H. W. Lin *et al.*, *Detecting industrial pollution in the atmospheres of Earth-like exoplanets*, *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 792(1), L7, 2014.

J.-P. Delahaye, *Mesurer la complexité des objets numériques*, *Bull. de la Société Informatique de France*, vol. 1024, pp. 35-53, 2013 (<http://1024.labri.fr/1024-numero-1-delahaye.pdf>).

Références supplémentaires sur www.pourlascience.fr



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