

QUELS POUVOIRS cachent ces cristaux ? Dans *Celui qui hantait les ténèbres*, de H. P. Lovecraft (1935), le trapézoèdre rutilant est une fenêtre sur l'espace-temps.

© 2016 Marc Boulay, marcboulay.fr, cossima-productions.com



dans les gravures de l'époque, réalisées par Édouard Riou, sous la forme de gypses. Sa vision est peut-être plus réaliste car, près de deux siècles plus tard, en 1999, des mineurs ont découvert la fameuse *cueva de los Cristales* (grotte des Cristaux) dans la mine de Naica, au Mexique. Considérée comme l'une des plus belles merveilles souterraines du monde, cette grotte abrite des cristaux de gypse de plus de 11 mètres de haut, 1 mètre de diamètre et 55 tonnes ; le temps nécessaire à leur formation est estimé à 600 000 ans !

Les cristaux peuvent aussi apparaître isolément, auquel cas on parle de monocristaux. C'est le cas des grands quartz translucides qui émergent des paysages fantastiques du dessinateur Jean Giraud *alias* Moebius, et qui évoquent d'étranges monolithes plantés au milieu de nulle part. Pour un minéralogiste inspiré, les grands monolithes de *2001, L'Odyssée de l'espace* (Stanley Kubrick et Arthur C. Clarke, 1968), des bornes informant les extraterrestres de l'évolution humaine, pourraient être des monocristaux géants de muscovite, sorte de mica noir. Ils rappellent ceux du roman *Cristal qui songe* (Theodore Sturgeon, 1950), où un cruel misanthrope étudie de mystérieux cristaux – en fait des êtres extraterrestres – à de sombres fins puisqu'il s'agit non plus de guider l'humanité, mais de la détruire.

L'origine d'un cristal n'est pas toujours géologique. Certains organismes vivants en fabriquent. C'est le cas avec l'aragonite des

mollusques (présente dans la coquille ou dans une structure interne nommée rostre), ou encore avec l'apatite dans les dents de vertébrés. Ces cristaux logés à l'intérieur même du corps rappellent ceux implantés sous la peau dans *L'Âge de cristal* (William Nolan et George Johnson, 1967) : dans ce roman à l'origine d'un film et d'une série, les humains habitent des villes-bulles où ils mènent des vies confortables, mais limitées à trente ans pour éviter la surpopulation. Pour contrôler leur durée de vie, des cristaux sont implantés dans la paume de la main et changent de couleur lorsqu'arrive l'anniversaire fatidique.

Des cristaux liquides font le jour et la nuit

Encore plus étonnant, un cristal peut être liquide : cet état très particulier de la matière combine les propriétés d'un liquide et celles d'un cristal. Ces propriétés varient beaucoup selon la nature des composés mais aussi selon leur température, leur pression et leur concentration. Une telle « plasticité » cristalline est utilisée dans plusieurs domaines. En particulier, les cristaux liquides sont à la base des écrans LCD (*liquid crystal display*) aujourd'hui omniprésents. En médecine, certains cristaux liquides dits cholestériques sont utilisés pour cartographier des anomalies thermiques du corps que la radiographie ne détecte pas et qui peuvent signaler des tumeurs.

Sur la planète Omale, du livre-univers éponyme de Laurent Genefort (2001), des sortes de cristaux liquides phototrophes (variant avec la lumière) sont présentes dans la haute atmosphère où ils régulent astucieusement, en fonction de leur cycle de polarisation, l'alternance du jour et de la nuit.

Enfin, les propriétés optiques des cristaux sont sans doute à l'origine de leur statut de talismans, objets aux pouvoirs surnaturels ou aux « énergies » diverses qui nourrissent superstitions, paramédecine et autres pseudosciences. Par exemple, le terme « améthyste » viendrait du grec ancien pour désigner une sorte de dégrisement, de désintoxication. Au Moyen Âge encore, des gobelets d'améthyste étaient supposés protéger des boissons empoisonnées !

L'idée fausse selon laquelle les cristaux seraient « énergétiques » reste tenace. Dans la fiction, elle est un prétexte inoffensif – source d'énergie pour le sabre laser des Jedi de *Star Wars* ou source de vie pour les êtres du monde de *Dark Crystal* (Jim Henson et Frank Oz, 1982). Dans la réalité, en revanche, il faut s'inquiéter de certaines pratiques comme la « géobiologie » ou la radiesthésie, qui se définissent comme sciences sans en utiliser la démarche et qui affirment, par exemple, que les cristaux ont un pouvoir de guérison. ■

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

ART & SCIENCE

Bienvenue en Floride !

Pour élaborer ses œuvres, l'artiste canadien Étienne Saint-Amant utilise des fonctions chaotiques, des tractogrammes d'imagerie cérébrale, le mouvement brownien... : la science est bel et bien un instrument de création.

Loïc MANGIN

Les habitués des longs couloirs de correspondance de la station Montparnasse-Bienvenue ont peut-être pris le temps, fin 2015, d'admirer les 134 mètres de la gigantesque et bien nommée fresque *Le couloir du temps*. Grâce à la RATP et au CNRS, les usagers du métro parisien pouvaient découvrir le rôle des mathématiques, de la chimie, de la biologie, de l'informatique... dans les processus par lesquels un objet, une pratique ou un lieu se transforment en un élément du patrimoine. Au milieu des robots, satellites, carottes de glaces, enluminures, fossiles, spécimens d'insectes, on pouvait admirer *La nature cristalline de la matière et de l'espace*, du Québécois Étienne Saint-Amant.

L'œuvre, créée en 2015, résulte de la collaboration de l'artiste avec le Laboratoire nanotechnologies et nanosystèmes et l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique, deux institutions canadiennes. Ce n'est pas une première et, de fait, la science a la part belle dans les tableaux d'Étienne Saint-Amant. Quelques exemples suffisent à s'en convaincre.

Autoportrait II ressemble à un arbre ou à une chevelure (*ci-contre, a*). Il s'agit plutôt d'un tractogramme de substance blanche ! Expliquons. Le peintre a suivi une formation en imagerie cérébrale et a eu l'occasion de donner un peu de son corps à la science. En l'occurrence, il a subi une IRM par tenseur de diffusion, une méthode qui met en évidence les faisceaux de fibres de la ma-

tière blanche (constituée essentiellement des axones des neurones du cerveau, elle s'oppose à la matière grise). De la sorte, on accède aux câblages entre les différentes régions cérébrales. L'image obtenue, ici avec les équipes du Laboratoire d'imagerie de la connectivité de Sherbrooke, au Canada, est un tractogramme qui a ensuite été modifié artistiquement. *Autoportrait II* révèle bien la personnalité intime de son auteur !

Le tableau *Elles tiennent (b)* s'appuie non pas sur la biologie, mais sur des mathématiques. Cette composition est constituée de plusieurs couches géométriques superposées,

En 2010, Étienne Saint-Amant représentait le Canada à l'Exposition universelle de Shanghai, en Chine

chacune étant décrite mathématiquement sur le plan complexe. Les couleurs sont déterminées en fonction d'une propriété donnée selon une règle d'association pouvant varier d'une couche à l'autre.

Parexemple, les séries de bandes jaunâtres sont fondées sur une généralisation de la fonction dite de la tente (*Tent map* en anglais). Cette fonction s'exprime ainsi : $x_{n+1} = f_{\mu}(x_n)$, où $f_{\mu}(x) = \mu \min(x, 1-x)$, c'est-à-dire le produit d'un paramètre μ par la plus petite valeur parmi x ou $1-x$. Derrière cette simplicité se cache un comportement chaotique semblable à celui observé avec la fonction logistique

définie par $x_{n+1} = rx_n(1-x_n)$ où r est également un paramètre fixé. Selon les valeurs du paramètre μ (ou r), la suite converge, oscille ou devient chaotique. La généralisation de la *Tent map* est utilisée pour créer des fractales, par exemple la *General Tent Julia*.

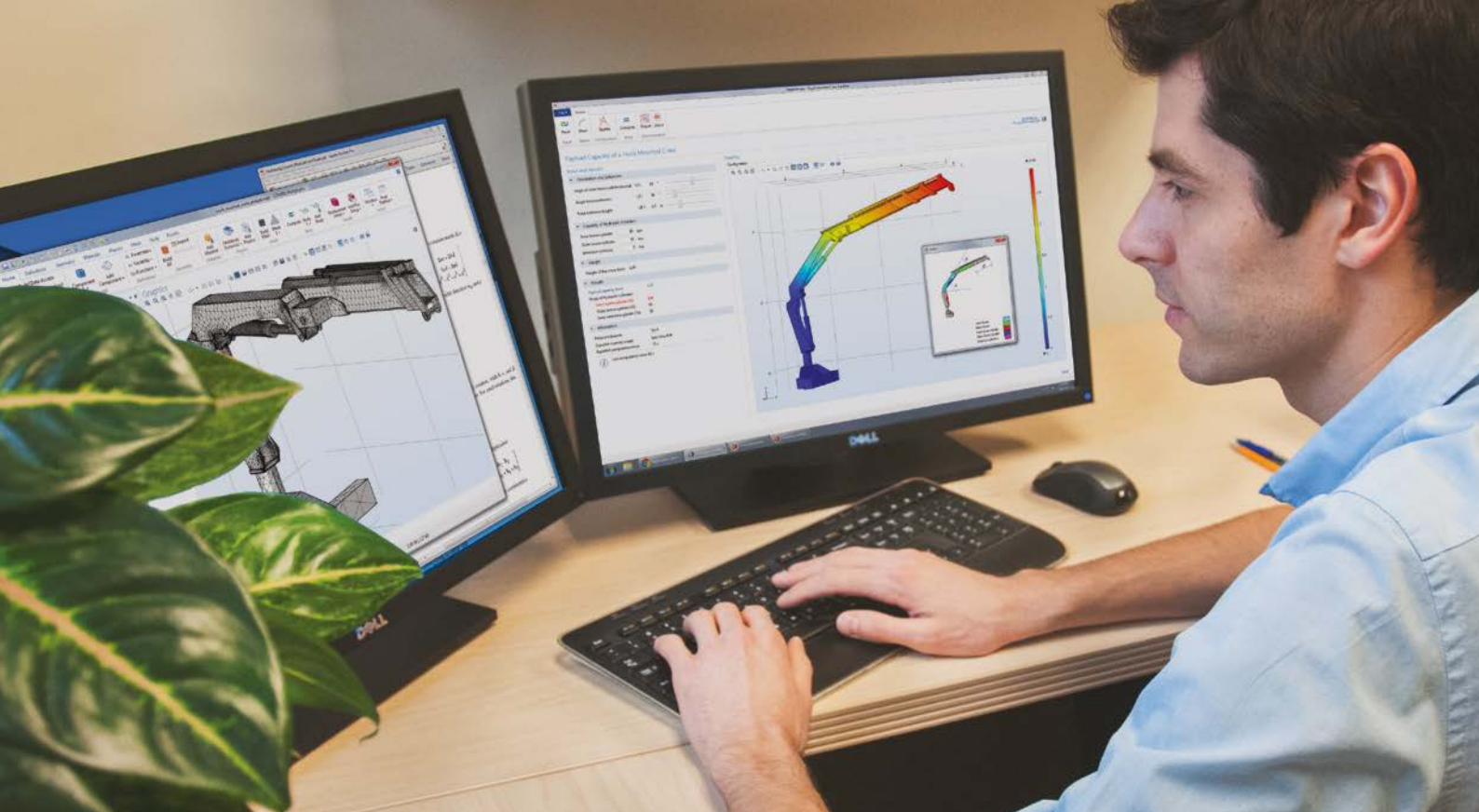
De là, Étienne Saint-Amant joue sur les paramètres de coloration pour obtenir le rendu souhaité, par exemple les petites lames qui se fondent dans le bleu turquoise en bas de l'œuvre. Toujours dans *Elles tiennent*, les nuages centraux résultent d'un système de mouvement brownien.

The Key (ci-contre, c) est un hommage à la lumière et aux paysages de l'archipel des Keys, au sud de la Floride. La méthode générale mise en œuvre ici ressemble beaucoup à celle de *Elles tiennent*, avec néanmoins une utilisation plus importante des réflexions pour accentuer les effets d'eau.

Dans d'autres œuvres, c'est par exemple la distance de Levenshtein qui préside à la création. Cette notion mathématique est notamment utilisée pour comparer des séquences d'ADN. Ainsi, outre les couleurs, l'artiste a élargi sa palette en y intégrant des outils venus des mathématiques, de l'imagerie médicale, de la physique... C'est un nouvel exemple où la science devient un instrument de création artistique. ■

Toutes les œuvres d'Étienne Saint-Amant figurent sur son site : <http://chaoscopia.com>
La version interactive du *Couloir du temps* : <http://bit.ly/PLS-CNRS-Couloir>





LA MULTIPHYSIQUE POUR TOUS

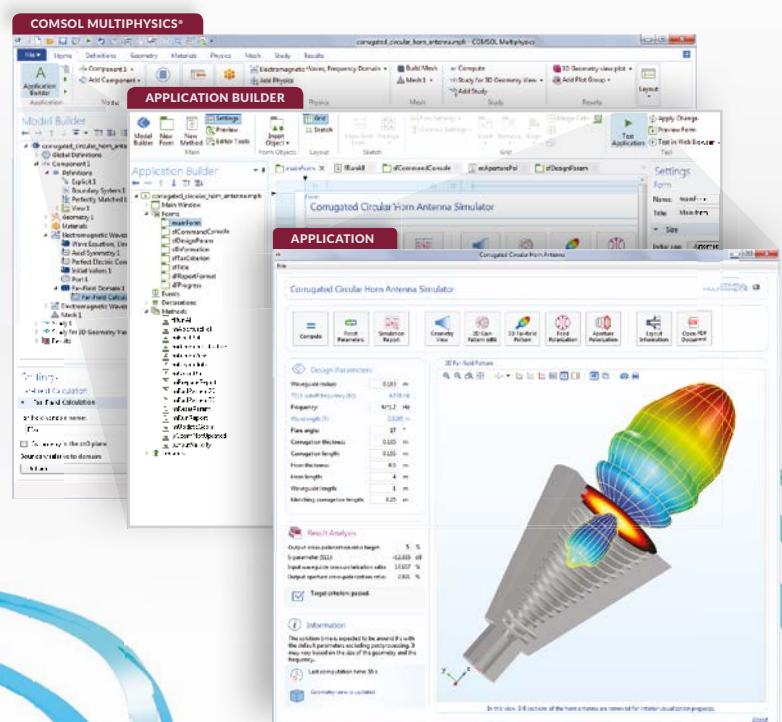
L'évolution des outils de simulation numérique vient de franchir un cap majeur.

Des applis spécialisées sont désormais développées par les spécialistes en simulation avec l'application Builder de COMSOL Multiphysics®.

Une installation locale de COMSOL Server™, permet de diffuser les applis dans votre organisme et dans le monde entier.

Faites bénéficier à plein votre organisme de la puissance de l'outil numérique.

comsol.fr/application-builder



IDÉES DE PHYSIQUE

L'énergie du sel

L'osmose entre eau douce et eau salée séparées par une membrane imperméable au sel peut être la source d'une nouvelle énergie renouvelable.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Gâce à son sel, chaque mètre cube d'eau de mer a le potentiel de fournir une énergie de près de un kilowattheure !

Comment ? En mettant à profit la pression dite osmotique qui naît lorsqu'on met en contact de l'eau douce et de l'eau de mer à travers une paroi ne laissant passer que l'eau. La récupération de cette énergie liée au phénomène d'osmose n'en est qu'à ses balbutiements, mais les perspectives sont alléchantes : compte tenu des énormes quantités d'eau déversées dans les océans par les fleuves, on évalue le potentiel mondial pour cette énergie à deux térawatts, soit l'équivalent de 2 000 cœurs de réacteur électronucléaire. Mais au fait, qu'est-ce que l'osmose ?

Pression osmotique

Nous avons tous rencontré ce phénomène à une occasion ou une autre. Par exemple, on saupoudre souvent de sel les concombres ou les aubergines pour les faire dégorger, c'est-à-dire pour qu'ils se vident d'une partie de leur eau. Inversement, en plaçant dans de l'eau pure des fleurs aux tiges ramollies, celles-ci absorbent de l'eau et se raffermissent.

Pourquoi ces mouvements d'eau, que l'on peut reproduire très simplement avec une pomme de terre (voir ci-contre) ? Ils apparaissent lorsque la concentration en sel de l'intérieur

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique/

des cellules végétales (9 grammes par litre) diffère de la concentration du liquide ambiant, sachant que les membranes cellulaires sont « hémiperméables » : elles laissent passer l'eau, mais pas le sel. L'eau s'écoule alors dans le sens qui permet de diminuer la différence des concentrations en sel.

Pour comprendre comment agissent ces membranes, considérons un récipient ouvert, séparé en deux compartiments par une paroi hémiperméable dans sa partie inférieure. L'un des compartiments contient un solvant pur, de l'eau par exemple, tandis que l'autre contient le solvant et, en faible concentration, un soluté incapable de traverser la paroi – du sel par exemple. Cela signifie que la paroi exerce d'une façon ou d'une autre une force très répulsive sur les molécules du soluté quand elles s'en approchent. Ainsi seul le solvant peut traverser la paroi hémiperméable, dans un sens comme dans l'autre.

Cette dissymétrie des forces exercées par la paroi sur le solvant et le soluté a deux conséquences. La première concerne la situation d'équilibre. Faisons dans ce cas un bilan des forces de part et d'autre de la cloison. Du côté du solvant pur, la force totale est celle exercée par la paroi sur les molécules du solvant. Dans l'autre compartiment, certaines molécules du solvant sont remplacées par des molécules de soluté ; or pour celles qui sont proches de la paroi, la force est, en moyenne, répulsive



L'OSMOSE EN PATATES. Creusons deux cavités dans une moitié de pomme de terre, l'une qu'on remplit d'eau pure, l'autre où l'on met un peu de sel. Quelques heures plus tard, la première cavité s'est vidée, tandis que la seconde s'est remplie d'eau. C'est la manifestation de l'osmose, qui tend à égaliser les concentrations en sel de part et d'autre d'une membrane perméable à l'eau mais imperméable au sel.

Dessins de Bruno Vicario