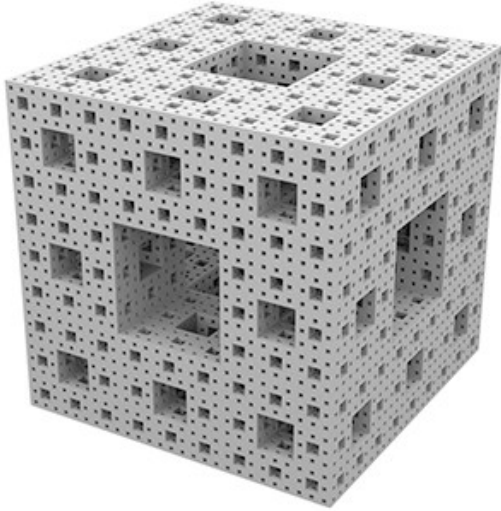


Qu'y a-t-il de commun entre nos poumons, le béton high-tech et certains murs antibruit sur le bord de l'autoroute ? Réponse : « l'éponge de Menger ». Il s'agit d'un concept mathématique tout droit sorti de l'imagination féconde d'un certain Karl Menger (1902-1985), un mathématicien américain d'origine autrichienne. Sa forme n'est pas sans rappeler celle de son homonyme ménager : un cube percé d'une multitude de pores, tous connectés les uns aux autres. Une curiosité née au début du siècle, qui inspire aujourd'hui pneumologues, constructeurs d'automobiles ou encore compagnies de travaux publics.



Dernière en date de ces applications: un hexaèdre de 2,7 centimètres de côté.

Réalisé par des chercheurs japonais, il est capable d'**absorber certaines ondes électromagnétiques, lumineuses notamment**.

« En augmentant le nombre de cavités, nous devrions accroître les capacités d'atténuation de notre cube, précise Yoshinari Miyamoto, directeur du Smart Processing Research Center (université d'Osaka). De nombreuses utilisations sont envisageables: par exemple, **bloquer des appels téléphoniques importuns** ou améliorer la performance d'équipements militaires furtifs. »

A l'origine de ce pavé poreux, une recherche de l'impossible : **peut-on obtenir une surface infinie dans un volume fini** ? Oui, a répondu le mathématicien viennois.

Si l'on considère un cube, la superficie qui lui est associée est celle des six côtés qui le composent. A volume plus grand, surface plus étendue, l'argument semble entendu. Comment augmenter l'une sans toucher à l'autre? Karl Menger propose une recette infailible: si l'on partage chacune des arêtes en trois parties égales, chaque face sera formée d'un damier de neuf carrés. Commençons par vider celui du milieu. En ajoutant les parois de cette partie évidée, la superficie de la structure est plus grande que celle du cube d'origine. De ce fait, nous augmentons la surface, sans faire varier le volume... Continuons l'opération: chacun des huit carrés restants est divisé en un minuscule damier de neuf, dont la figure centrale est à nouveau évidée... et ainsi de suite, jusqu'à atteindre des portions microscopiques. A force de creuser dans le volume de départ, la surface ne cesse d'augmenter, certes d'une quantité de plus en plus petite, mais... sans aucune limite. Au final, c'est une dentelle tridimensionnelle qui ne déborde pas du cube d'origine.

Lorsque Menger annonce sa découverte, **les physiciens n'ont que faire de ces élucubrations intellectuelles**. En effet, l'étude des formes ne semble pas avoir une quelconque emprise sur les lois de la physique. L'éponge de Menger reste donc chasse gardée des mathématiciens, qui lui ont trouvé une foule de propriétés biscornues. A commencer par sa dimension, qui ne serait ni de 1, ni de 2, ni même de 3... mais plutôt comprise entre 2 et 3 ! Plus précisément, environ 2,726 833...

Le père des fractales, celui qui a ressuscité cette branche des mathématiques appliquée aux objets familiers, est un Français, américain d'adoption, né à Varsovie. Benoît Mandelbrot, né en 1924 et mort le 14 octobre 2010, avait une renommée internationale. Dans son dernier ouvrage, il développait **un outil mathématique inspiré de la géométrie fractale pour expliquer les marchés boursiers**.

Au début des années 1970, Benoît Mandelbrot donne une dimension nouvelle à ces différentes démarches en les intégrant dans une théorie globale, dite des « fractales » (du latin *fractus*, brisé). Celles-ci foisonnent **dans la nature**, depuis la **structure en double hélice des brins d'ADN** jusqu'aux montagnes, ou encore **la côte naturelle de Bretagne, un nuage, un fleuve** ou **la répartition des galaxies**.

Dans la nature, les objets de dimensions décimales constituent la règle générale. Il n'y a que la volonté humaine - tracer une frontière en ligne droite, entre deux États américains par exemple - qui déroge à cette loi. Cette belle leçon d'esthétisme et d'universalité semblait pourtant stérile aux physiciens... jusqu'à ce que des expérimentateurs démontrent que ***de nombreuses propriétés physiques dépendent étroitement de la forme des objets***.

Ainsi, ***la diffusion de la chaleur est plus efficace lorsque le volume est petit mais la surface importante***.

Les échanges entre deux milieux biologiques séparés par une membrane sont également conditionnés par la surface de contact.

Commence alors la deuxième vie des fractales : les physiciens s'en sont emparés pour inventer des objets de la vie quotidienne, améliorer le rendement d'une foule d'autres et comprendre le fonctionnement de quelques organes humains...

Le laboratoire de physique de la matière condensée (PMC) de l'Ecole polytechnique a vu naître quelques-unes de ces inventions. Comme l'explique Jean-François Gouyet, théoricien dans cette entité, « ces figures géométriques n'ont pas cessé de nous inspirer. Ce qui a suscité de nombreuses collaborations avec les industriels ».

Première réalisation : ***un mur antibruit***, qui borde déjà quelques portions d'autoroute.

Son concepteur, Bernard Sapoval, ancien directeur du laboratoire, a passé un contrat avec la firme de travaux publics Colas. Le principe est simple: lorsqu'une onde sonore atteint une paroi, elle se réfléchit, à la manière d'un rayon lumineux sur un miroir. A chaque réflexion, elle perd une partie de son énergie. Si cette surface est poreuse, l'onde peut s'engouffrer au cœur du matériau et subir, au sein d'une des innombrables petites cavités, plusieurs réflexions successives... et une sérieuse atténuation !

Mais l'inventeur des murs antibruit se passionne aujourd'hui pour un autre sujet, qui relève à la fois des mathématiques des formes, de la physique des échanges et de la biologie des tissus vivants.

Il s'agit du ***fonctionnement des poumons***, sujet de la thèse de son étudiant russe Denis Grebenkov.

« Nos bronches renferment ***une superficie équivalente à celle d'un terrain de tennis pour un volume de six litres seulement***. Les alvéoles pulmonaires sont l'exemple type de structure fractale », précise-t-il.

Une très grande surface pour un volume limité : l'équation rappelle justement l'éponge de Menger.

En étudiant les lois de la diffusion à travers une surface aussi irrégulière, l'équipe tente de comprendre l'oxygénation du sang.

Autre application étonnante : ***les gratte-ciel***.

Des tours de 500 mètres de hauteur pourront être érigées grâce à un ciment de structure fractale, imaginé au sein du laboratoire PMC par Jean-Pierre Korb et développé par le groupe des Ciments Lafarge.

« Un béton traditionnel a des grains de différentes tailles et peut supporter 30 MPa, c'est-à-dire le poids de 3 millions de kilos par mètre carré. Un critère qui détermine l'épaisseur d'un pont, par exemple », précise le chercheur. Le béton dit « de poudre réactive » - la toute dernière nouveauté - peut résister à plus de dix fois cette charge... Le secret de ce matériau hyper-résistant ? Sa structure fractale : les grains qui le composent ont tous la même taille, ce qui lui octroie la propriété de présenter la même forme à différentes échelles.

Avec ce béton high-tech, place aux ouvrages d'art effilés comme des lames d'acier tendues entre deux rives et aux gratte-ciel susceptibles de s'élever à des hauteurs dix fois supérieures à celles de nos bâtiments d'aujourd'hui.

Les fractales n'ont pas fini d'enflammer l'imagination des mathématiciens et des physiciens.

Mais, aujourd'hui, elles ont un prolongement surprenant : dans l'art. En effet, plusieurs peintres font de ces extraordinaires formes le fondement de leur esthétique.