

RENCONTRE AVEC L'INVENTEUR DES FRACTALES

UN GÉNIE NÉ DANS LES CHOUX

Quoi de commun entre un chou-fleur, la tour Eiffel et la côte bretonne ? Leur structure fractale. C'est-à-dire une forme dont chaque détail reproduit la partie et la partie le tout, quelle que soit l'échelle... Benoît Mandelbrot est celui qui a découvert ce monde mathématique vertigineux. A 80 ans, il revient sur son itinéraire original, de son éducation libre dans la Pologne d'avant guerre à ses recherches pluridisciplinaires aux Etats-Unis en passant par l'Ecole polytechnique. *Pierre Barthélémy*

Les fractales naissent dans les choux-fleurs. Considérons un instant, avec l'œil géométrique d'un Pythagore de potager, l'inflorescence charnue de cette plante crucifère. Rompons-la: chacun des morceaux obtenus est comme un chou-fleur miniature, qui lui-même peut à son tour se décomposer en choux-fleurs plus petits. Photographiés de très près, ceux-ci pourraient donner l'illusion d'un légume entier. Une fractale n'est rien d'autre, une forme dont le détail reproduit la partie

et la partie le tout, quelle que soit l'échelle. Cela peut sembler simplissime ou bête comme chou, mais un nouveau monde mathématique, une nouvelle description de la nature se cachaient derrière cette presque décevante idée d'autosimilarité. Les images fractales, dans lesquelles s'emboîtent et s'autorépliquent à l'infini de délicates structures, ont fait le tour du monde et tapissent quantité d'écrans d'ordinateur, mais rares sont ceux qui connaissent celui qui en inventa les formules et le

nom, Benoît Mandelbrot. Ce Français natif de Varsovie, américain d'adoption, il faut aller le chercher dans une banlieue tranquille et arborée de New York, où avec son épouse il occupe « depuis plus de trente ans une maison tarabiscotée dont personne ne voulait ». Plantée sur une colline, la demeure présentait l'avantage de se trouver non loin de la « Grosse Pomme », non loin du centre de recherche d'IBM pour lequel le mathématicien a travaillé pendant trente-cinq ans et non loin de l'université Yale, dans



Benoît Mandelbrot, un chou romanesco et une fractale de l'artiste Mark Townsend intitulée *Fossilized...*

D. DAILLEUX/VU. F. GILSON/BIOS.
M. TOWNSEND/FRACTAL
DIMENTIA

Le Monde²

16 AU 22 MAI 2004
numéro 18

sciences

60 UN GÉNIE NÉ DANS LES CHOUX Quand la partie reproduit le tout et le tout la partie, c'est fractal. Une découverte due à Benoît Mandelbrot, dans les années 1960. Rencontre avec un mathématicien original et touche-à-tout.

le Connecticut, où, à 80 printemps cette année, Benoît Mandelbrot enseigne toujours.

A disséquer son parcours dans les détails ou à le survoler d'un seul coup d'ailes, on a l'impression de voir à chaque fois se dessiner le même motif – ce qui serait le propre d'une vie fractale, si toutefois une vie pouvait acquérir ce caractère –, motif pour lequel Benoît Mandelbrot est outre-Atlantique caractérisé par un américanisme sans véritable équivalent en français, « *maverick* ». Le patronyme de Samuel Augustus Maverick (1803-1870), figure du Texas naissant, est passé, aux Etats-Unis, dans le langage courant – et à la postérité – pour désigner les veaux non marqués au fer rouge que ce propriétaire terrien laissait errer librement. Benoît Mandelbrot fut ce genre d'animal, farouchement indé-

pendant, traçant à l'écart des sentiers battus un itinéraire non fléché qui devait le conduire à consacrer sa vie à un phénomène que personne avant lui n'avait choisi d'étudier: la rugosité de la nature.

L'homme écrit ses Mémoires et, à n'en pas douter, une place de choix sera dédiée à cette éducation si particulière sans laquelle il ne serait pas devenu – lâchons le mot malgré tout ce qu'il a de galvaudé – un génie. Benoît Mandelbrot naît le 20 novembre 1924 dans une famille d'origine lituanienne. De peur des épidémies, sa mère, médecin, ne l'envoie pas à l'école et c'est un premier oncle qui lui sert de tuteur, avec des préceptes pour le moins originaux puisqu'il n'oblige pas l'enfant à mémoriser l'alphabet ou les tables de multiplication, ce qui pose encore parfois de légers problèmes à l'éminent

mathématicien... Comme celui-ci l'écrivit bien plus tard, le jeune Mandelbrot passe le plus clair de son temps « à jouer aux échecs, à lire des cartes et à apprendre comment ouvrir [ses] yeux sur tout ce qui [l']entourait ». Un apprentissage à la fois visuel et intellectuel du monde, probablement propice au développement de l'extraordinaire don pour la géométrie qui va se révéler plus tard.

La Pologne des années 1930 ne présentant pas tous les gages d'un futur radieux, entre la dépression d'un côté et, de l'autre, les menaces que faisaient planer les voisins allemand et soviétique, la famille Mandelbrot décide d'émigrer en France, à Paris, pour rejoindre un autre oncle: « *Le plus jeune frère de mon père, Szolem Mandelbrojt, qui nous avait précédés des années auparavant, y était* »

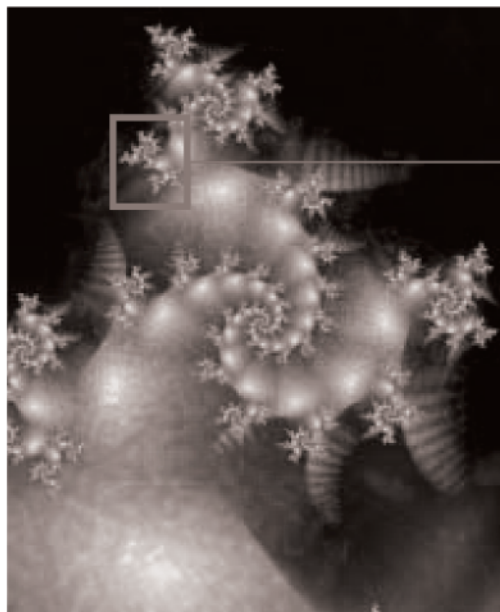
mathématicien, professeur au Collège de France. Grâce à lui, j'ai toujours su que les mathématiques étaient une discipline vivante. C'était aussi un peintre du dimanche qui admirait l'art. Pour moi, l'art et les mathématiques, qui sont une forme de prose soumise à mille règles, sont liés comme sont liés l'image et le verbe. Or, dans l'enseignement français de l'époque, l'image était honnie. Dans des conditions normales, comme tout jeune doué pour les mathématiques, j'aurais suivi un cursus classique et mon goût pour les formes n'aurait pas été encouragé mais plutôt altéré ou détruit. Cependant les circonstances n'ont pas été normales... »

Lorsque éclate la guerre, en 1939, les Mandelbrot, estimant préférable de ne pas rester à Paris, partent à Tulle, où l'oncle professeur possédait une maison. Leur fils obtient son baccalauréat en 1942 mais l'Occupation se durcit. « *Etant étranger et juif, ma position devint très difficile*, résume Benoît Mandelbrot. *Aller en "taupe" [classe préparatoire scientifique] ou à la fac était impensable. Ma vie a été très aventureuse à cette époque. Pendant un an et demi, je ne suis pas allé à l'école mais j'avais des livres. J'ai donc appris les mathématiques de façon solitaire et bizarre.* »

« DEUX GROS LOTS »

En janvier 1944, Benoît Mandelbrot parvient cependant à entrer en « taupe » au lycée du Parc, à Lyon. « *Tout le monde était d'accord pour ne pas trop regarder mes papiers... On me disait simplement qu'il valait mieux rester à l'internat, ne pas trop sortir car dehors il y avait un certain Klaus Barbie, même si je ne connaissais pas son nom à l'époque. Pendant les deux premières semaines de cours, je n'ai rien compris du tout. Puis, un jour, le professeur de mathématiques, le "père Coissard", écrit un problème d'algèbre au tableau. Et, comme mû par une force extérieure, je me suis levé pour dire : "C'est la même chose que le problème de géométrie que voici. Et que ces autres problèmes de géométrie que voilà!" Il apparut alors que j'avais ce don, que pour moi tout était géométrique. Plus tard, j'ai revu le père Coissard alors qu'il était à la retraite. Il me confia que, cet hiver-là, il avait passé avec son père, qui avait aussi enseigné les mathématiques, toutes ses fins de semaine à chercher des problèmes pour lesquels je ne trouverais pas en un instant une solution géométrique...* »

Avec le Débarquement et la Libération, la France est sens dessus dessous. Les



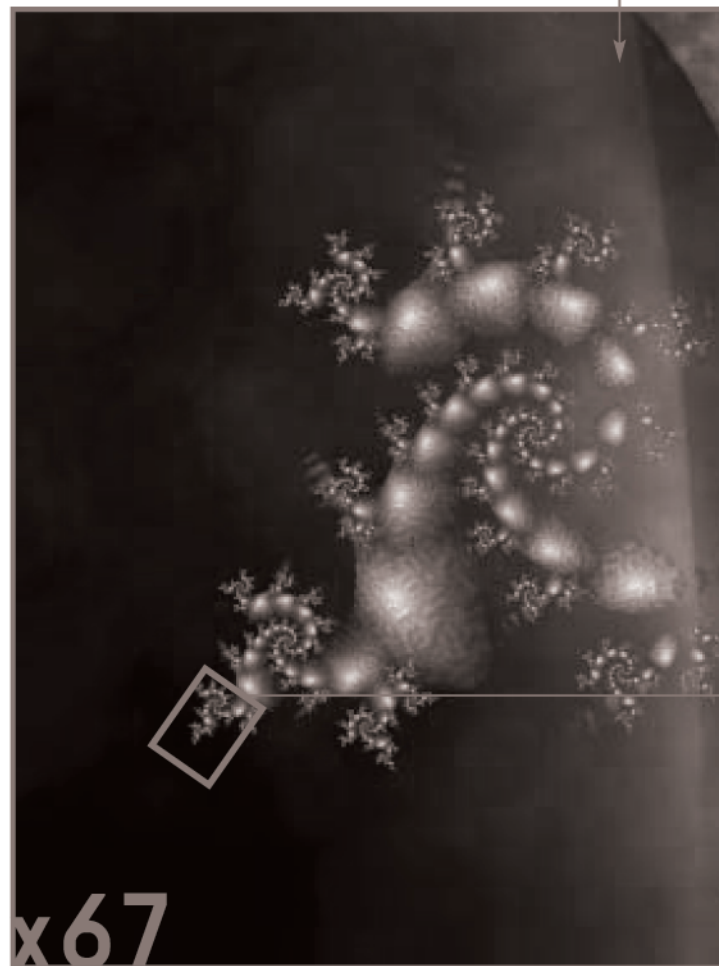
x7



concours d'entrée aux grandes écoles pour 1944 sont reportés à décembre et à janvier 1945. En septembre 1944, Benoît Mandelbrot, de retour à Paris, les prépare au lycée Louis-le-Grand. Avec succès. « *C'est ainsi qu'en quelques mois je suis passé d'une situation où je tâchais de garder mon corps et mon âme ensemble à celle où je devais choisir entre l'Ecole normale supérieure et Polytechnique!* »

Un choix royal, mais un choix cornélien : d'un côté la perspective d'une carrière scientifique dans la lignée avunculaire ; de l'autre, vers lequel tirait son père, l'assurance ferme d'un métier concret. En bon « maverick » anticonventionnel, Benoît Mandelbrot choisit Normale-Sup, le temps de s'apercevoir que l'école allait être prise en main par le fameux cartel de mathématiciens regroupés sous le nom collectif de Nicolas Bourbaki. « *Or Bourbaki avait sur les mathématiques une vue aussi éloignée des miennes que possible : c'était un mouvement tendu vers l'abstraction avec un ton très formel, alors que je m'intéressais au réel. Et surtout, l'image, que j'adorais, était honnie et méprisée. Par conséquent, le lendemain de mon entrée à l'Ecole normale supérieure, j'en suis parti pour Polytechnique. Cela a beaucoup impressionné et m'a valu des inimitiés farouches.* »

Son goût pour le réel et la description des choses compliquées, troubles, son vœu d'indépendance, le poussent à soutenir en 1952 une thèse dont le Prix Nobel de physique Alfred Kastler dira que la première moitié portait sur un sujet qui n'existait pas encore et la seconde sur un sujet qui n'existait plus. En 1953-1954, Benoît Mandelbrot est convié au prestigieux Institute for Advanced Stu-



x67

INIT : $Z = \#PIXEL$ LOOP : $Z = Z^{\text{@POWER}} + \text{@SEED}$ BAILOUT : $|Z| \leq \text{@BAILOUT}$

Agrandie successivement, cette fractale révèle que chacun de ses détails a la même forme que le tout, quelle que soit l'échelle... Intitulée *Foggy Notion* par son auteur, l'Australien Marc Townsend (dont les œuvres sont visibles sur le site www.fractalus.com/fdementia), elle est basée sur une formule (ci-dessus), qui décrit l'ensemble dit de Julia. M. TOWNSEND / FRACTAL DIMENTIA

dies de Princeton par John von Neumann. Auteur des fondements mathématiques de la mécanique quantique et père de l'informatique, celui-ci avait perçu chez le jeune Français un amour du risque égal au sien. Après quatre années passées à Genève et en France, Benoît Mandelbrot est invité en 1958 par IBM à travailler dans son tout nouveau laboratoire de recherche. Venu pour un été, le mathématicien ne repartira

plus, ayant trouvé ce qu'il ne pouvait trouver en France, une structure prête à parier sur des « mavericks ».

En quelques années, Benoît Mandelbrot va toucher « deux gros lots ». Le premier, au début des années 1960, en s'intéressant aux... courbes des variations des cours de Bourse et surtout à leurs discontinuités. Il s'aperçoit que la structure générale des courbes décrivant ces variations était semblable quelle que fût la période d'observation, un jour, un mois ou dix ans : « Jusque-là, les gens se moquaient de cela. Pour eux, c'était du folklore mais, après vérification, cette invariance d'échelle était bien là et avait des conséquences majeures. » Après ce premier gros lot en théorie de la finance, qui est couramment exploité aujourd'hui par les

analystes boursiers, vient un second jackpot en physique, où les propriétés statistiques du bruit sur les liai-

sons téléphoniques entre ordinateurs, sujet qui intéresse particulièrement IBM, montrent aussi leur « fractalité ».

Par la suite, Benoît Mandelbrot découvre des fractales partout, non seulement dans les cours de Bourse, mais aussi dans les écoulements turbulents, dans la forme de la côte bretonne, dans la distribution des galaxies dans l'Univers, dans les variations de l'activité sur Internet et... dans les choux-fleurs. Une omniprésence qui met à mal le paradigme d'une nature lisse, tendue par la simplicité. « Les fractales, définit-il, promettent une nouvelle science, celle de la rugosité. Toutes les sensations que nous avons ont à tour de rôle été domptées par la science : le poids par la mécanique, le chaud et le froid par la thermodynamique, le brillant par l'optique, le son par l'acoustique. Il n'y avait pas de mesure numérique de la rugosité, perçue par l'œil et la main, jusqu'à ce que j'en publie une en 1984. J'ai trouvé dans les fractales l'objet fondamental de la rugosité comme la sinussoïde est l'objet fondamental de la lumière et du son. »

« UNE NOUVELLE SCIENCE »

« Comment se fait-il, s'étonne-t-il encore, que j'aie pu inventer cette corne d'abondance ? Des gens auraient dû le voir avant. La tour Eiffel est fractale. La grande vague d'Hokusai est fractale. » Sans doute la réponse se trouve-t-elle dans son caractère de franc-tireur et de touche-à-tout : « Il faut être prêt à ne pas tenir compte des frontières. Les murs psychologiques sont les plus hauts qui soient. J'en ai traversé d'innombrables. Maintenant, cela paraît naturel... maintenant que ces murs n'existent plus. »

Depuis 1982 et la publication de son œuvre majeure, *The Fractal Geometry of Nature*, Benoît Mandelbrot accumule récompenses et honneurs. Cette année, celle de ses 80 ans, est l'occasion de nombreux colloques, consacrés à l'utilisation des fractales en mathématiques, en biologie, en sciences de la terre, en architecture... « C'est à la fois satisfaisant pour moi, explique-t-il, mais aussi décevant parce que je reste bien seul à incarner la synthèse. » De folklorique, le monde des fractales est devenu respectable et, suivant l'exemple du Monsieur Prudhomme de Verlaine, « son faux-col engloutit son oreille ». Les murs de l'ultraspécialisation, de la parcellisation de la science continuent de se rehausser. « Il serait presque impossible à quiconque de commencer aujourd'hui une orbite semblable à la mienne », déplore Benoît Mandelbrot. Toutefois, son optimisme reprend aussitôt le dessus et le mathématicien compte bien que, dans ce sombre paysage, les « mavericks » interdisciplinaires de demain sauront guetter et saisir « les rares éclaircies favorables ». ■

sons téléphoniques entre ordinateurs, sujet qui intéresse particulièrement IBM, montrent aussi leur « fractalité ».

Par la suite, Benoît Mandelbrot découvre des fractales partout, non seulement dans les cours de Bourse, mais aussi dans les écoulements turbulents, dans la forme de la côte bretonne, dans la distribution

x760