

*La science et la métamorphose des arts*  
Textes réunis par R Daudel, Paris, PUF, 1994,  
pages 39-52

## Les fractales, l'art algorithmique, et le test de Turing

**Benoit Mandelbrot**

Comme toute activité humaine, qu'elle soit ésotérique ou populaire, l'art dépend de l'outil. Il s'ensuit donc souvent que l'apparition d'un nouvel outil affecte les arts établis, et il arrive même quelquefois qu'elle change les formes existantes, voire conduise à la naissance d'une nouvelle forme d'art. Chaque stade dans la métallurgie du bronze a donné un exemple du premier effet. Un autre exemple fut la commercialisation du tube de peinture, qui — nous dit-on — a beaucoup contribué à la manière des Impressionnistes. Le deuxième effet est rare, très rare même, mais tout le monde connaît l'exemple de la photographie, et son impact qualitatif sur la peinture.

Il semble qu'un tel grand tournant à long terme soit en train d'être provoqué, devant nos yeux, par l'ordinateur. Nous voyons en effet apparaître une manière nouvelle de produire des images, si nouvelle même qu'elle nous force à examiner de nouveau les notions fondamentales de « création » et d'« original ». Il serait bien prématuré de se demander si cette nouvelle forme d'art égalera jamais la peinture ou la photographie, mais il est légitime et utile de s'interroger à son sujet.

Dans cet art nouveau, les mots-clés, en plus d'« ordinateur », sont « algorithme », « fractales » et « chaos ». Et, comme le titre l'indique, la suite de cet essai va y ajouter « test de Turing ».

« Ordinateur » est le plus concret de ces termes, et c'est sans conteste un outil. Il a déjà eu une influence très profonde sur l'art commercial, et surtout sur la publicité. Aussi a-t-il déjà bouleversé notre paysage visuel. Il veut même nous entraîner vers des *réalités virtuelles*. Pour l'art commercial, l'ordinateur est un outil d'avant-garde qui ne change rien aux principes. Rapide et éclectique à souhait, l'art commercial exploite l'ordinateur et les fractales comme il exploite les Grands Maîtres, c'est-à-dire qu'il mélange tous

ses outils sans se soucier de la spécificité de chacun. De plus, bien au-delà de la publicité, nous connaissons déjà des peintres qui ont ajouté l'ordinateur à la panoplie traditionnelle, comme d'autres avaient ajouté les papiers collés et les objets trouvés. C'est très important, et il n'y a aucun doute que l'ordinateur a déjà déclenché une métamorphose de l'art.

Mais ce n'est pas tout, et je crois même que ce n'est pas l'essentiel. Constatons en effet que les peintres qui utilisent l'ordinateur ne cessent pas automatiquement d'être des peintres au sens usuel. Isolé, cet outil concret aurait pu mériter d'être comparé au tube de peinture auquel nous avons fait allusion. C'est dire que l'idée de métamorphose est pour moi une question de degré. Aussi longtemps que l'ordinateur reste entièrement asservi à la volonté de l'artiste, il serait prudent de dire que la métamorphose qu'il provoque est incomplète.

En fait, ce même outil a aussi ouvert des horizons bien plus larges et plus surpassants. Pour les comprendre, l'accent doit se déplacer de l'ordinateur vers les « fractales » et le « chaos », donc vers l'« algorithme », ce terme pédant qui — en gros — veut dire « formule » ou « procédé quantitatif ». J'ai passé une vie à utiliser l'ordinateur pour rendre certains algorithmes aussi concrets que possible, et à développer la théorie du chaos et des fractales. C'est ainsi que je suis arrivé à la conclusion qui forme la thèse de cet article. La voici :

Lorsque des algorithmes engendrent des fractales qui sont perçues comme belles, l'art se voit promettre une profonde métamorphose qualitative.

Pour faire comprendre ce que je veux dire, invoquons un livre écrit et illustré par Georges Rouault, *Cirque de l'étoile filante*. Un exemplaire de ce livre a attiré mon œil dans un musée japonais, car il était ouvert à une page où on lit que « l'art suprême n'est pas quantitatif ». Cette opinion, qui ne se limite pas à Rouault, mérite d'être discutée.

Je commencerai par admettre bien volontiers qu'on ne saurait imaginer qu'un tableau de Titien, de Rembrandt ou de Picasso, ni même d'un tâcheron qui débite ses oeuvres au Prisunic, puisse être représenté quantitativement. Pour être précis, il faut exclure la description exhaustive des positions des atomes d'un tableau, ou même une description qui serait moins précise mais suffisante pour produire des copies qui tromperaient tous les experts.

Mais il ne s'ensuit nullement que je sois d'accord avec Rouault. S'il est bien vrai que l'art qu'il pratiquait ne pouvait être quantitatif, il s'ensuit tout simplement qu'un art quantitatif doit différer profondément de l'art de Rouault. Tel est le cas pour l'art algorithmique, le fruit, en train de se développer, d'une découverte que j'ai faite il y a quelque vingt-cinq ans, aussitôt que l'ordinateur avait acquis une sortie graphique. Cette découverte fut d'abord restreinte à un contexte scientifique, tantôt statistique et tantôt déterministe. Elle était inattendue, je dirais même stupéfiante, et sa portée ne cesse de croître et de s'étendre bien au-delà des sciences.

L'informatique change si vite que, vingt-cinq ans après cette découverte, et vingt ans presque après sa confirmation, toute personne ayant accès à un micro-ordinateur peut la revivre en partie grâce à des programmes tout prêts, ou presque prêts.

Les programmes tout prêts sont les moins intéressants. On les copie dans la mémoire de l'ordinateur, puis on appuie sur un bouton et une image apparaît sur l'écran. Même si l'image est surprenante, rien ne garantit son origine ; on ne sait rien de sa nature. On peut toujours craindre d'avoir été trompé ; d'avoir acheté l'enregistrement d'une image qui avait été produite de façon traditionnelle.

Bien plus intéressants sont les programmes qui exigent que l'exécutant fasse des choix et lui permettent de constater ce qui change lorsque le choix est modifié.

Les plus frappants parmi ces programmes sont ceux qui ne fixent pas à l'avance l'algorithme (la *formule*) qu'ils vont calculer et illustrer. Un tel algorithme doit donc être inséré avant que le programme ne puisse se mettre en marche. Mais il suffit pour cela de taper une formule au clavier, ou même, dans le cas qui a acquis la plus grande célébrité (celui de *l'ensemble de Mandelbrot*), cette formule peut paraître toute bête : c'est l'expression  $z \times z + c$ . Très vite (en un clin d'œil si l'ordinateur est rapide), l'écran se remplit d'images totalement abstraites (qui ne représentent rien de la nature), et dont la complication est incroyable. Beaucoup les déclarent belles, d'autres les déclarent laides et même effrayantes, mais toutes les réactions sont de caractère esthétique. S'il s'agissait de l'oreille plutôt que de l'œil, ces images mériteraient d'être qualifiées d'« inouïes », aussi bien dans le sens

originel de *jamais entendu*, que dans le sens métaphorique de tous les jours.

Il faut regarder le visage des enfants et des jeunes qui voient pour la première fois ces apparitions ; ils sont dans beaucoup de cas (même aujourd'hui) les premiers à les contempler. Quelle est donc la magie qui les rend possibles ? Il s'agit bien sûr d'une magie absolument blanche, en ce sens que tout peut en principe être expliqué ... après coup.

Nous arrivons enfin au premier mot du titre de cet essai. Que sont ces images ? En règle générale, ce sont des fractales. Etant donné leur incroyable complication, nul ne saurait les confondre avec les objets géométriques usuels, ceux de la géométrie d'Euclide et de ses descendants directs. A côté de l'ordre évident et implacable qui caractérise l'eulclidien, le fractal peut paraître, suivant les goûts, *organique* ou *chaotique*. Néanmoins, il ne s'agit pas ici d'un chaos complet, mais d'un état en quelque sorte intermédiaire entre l'ordre et le chaos complet, état qu'il est convenu de qualifier (lourdement) de « chaos ordonné ». Tout dans cet état est quantitatif, mais tout diffère fondamentalement du quantitatif euclidien dont on a l'habitude.

Le trait essentiel qui définit une fractale est que, vue de près ou de loin, elle garde la même apparence. C'est dire que toute partie d'une fractale est une image du tout, toujours réduite et en général très déformée. Le mot clé qui désigne cette propriété est « auto-similarité ». (Pour éviter l'anglicisme, j'avais d'abord essayé de dire « auto-similarité » ou « similarité interne », mais auto-similarité a prévalu.) Un autre terme, plus pédant mais à peu près synonyme, est « symétrie par dilatation ou réduction ».

Il mérite d'être souligné que les scientifiques qui prônent le terme « symétrie » préservent (peu le savent !) le sens que ce terme avait chez les Grecs préclassiques. Mais pour ceux-ci l'idée sous-jacente n'était nullement mathématique. Elle était esthétique et dénotait une sorte d'« harmonie », d'« équilibre » entre les parties et le tout. Les Grecs, et d'autres qui ont suivi, y voyaient un attribut essentiel de la beauté.

A cette symétrie-là, la auto-similarité donne une forme quantitative, sans changer l'idée centrale. Mais la quantification conserve-t-elle le lien entre symétrie et beauté ? La réponse est : *oui, mais*. En effet, nous allons citer des cas où le quantitatif est trop systématique. Mais il suffit que le quantitatif soit en quelque sorte adouci

pour confirmer la vieille idée des Grecs, qui associe symétrie et beauté.

Comment se fait-il que le mot fractales ne se soit répandu que très récemment ? La raison est tout simplement que je n'ai formé ce mot qu'en 1975, au moment où je finissais un livre sur ce sujet, livre auquel il fallait un titre : ce fut *Les objets fractals*.

Mais les objets en question étaient-ils connus avant 1975 ? Inévitablement, la réponse doit être, une fois de plus : *oui, mais*. Je préfère ne pas m'attarder ici à des considérations historiques et je répondrai en détail à la fin de cet article. En effet, j'ai hâte, au-delà de l'unité que l'auto-similarité introduit parmi les fractales, de passer vite à l'élément de diversité. Entre l'ordre excessif d'Euclide et le chaos complet, il reste une marge extraordinairement large et variée.

C'est ainsi que, en dehors du fait que toutes sont auto-similaires dans un sens ou dans un autre, les fractales ne se ressemblent aucunement. La différence la plus frappante est qu'elles offrent d'emblée une contrepartie au fait que l'art peut être représentatif ou abstrait. C'est ainsi que certaines fractales offrent des imitations surprenantes de paysages, avec leurs montagnes et leurs nuages. Mais d'autres fractales — qui exigent bien entendu des formules très différentes — ne ressemblent à rien sur terre, sauf, s'il faut croire les anecdotes, aux fantasmes induits par certains hallucinogènes.

Il n'est pas surprenant que — tout comme dans l'art au sens usuel — la distinction que je viens de faire ne soit pas absolue. Ce que nous donne un programme générateur de montagnes varie avec certains nombres (appelés paramètres), qu'on peut choisir à volonté. Mais, pour aller au delà du réalisme, il suffit de changer de paramètre ! Si l'on pousse plus loin encore, on passe au chaos complet. D'autre part, on constate que des fractales qui avaient au premier abord paru tout à fait abstraites (féeriques ou magiques) s'approprioient, si l'on peut dire, pendant qu'on les examine : même ceux qui n'ont pas tâté d'hallucinogène se surprennent à constater que ces objets en viennent vite à paraître très familiers.

Mais revenons au néophyte que nous avons abandonné devant son terminal d'ordinateur, en train d'examiner des formes jamais vues, qu'elles soient ou non réalistes. Pour provoquer l'apparition d'une de ces images, l'essentiel avait été de faire entrer une formule dans l'ordinateur. Certaines images ne demandent rien d'autre à

l'opérateur, sauf peut-être de décider s'il les préfère grandes ou petites, en noir (ou vert) sur fond blanc, ou l'inverse. Mais d'autres parmi nos images sont des projections planes d'objets situés dans l'espace. Pour éviter que ces projections ne soient complètement confuses, nous procédons comme les photographes : l'opérateur place des *sources de lumière* et ne calcule la projection qu'après que l'ordinateur a calculé les ombres sur l'objet spatial. Enfin, certaines des images sont d'une telle complexité qu'il faut que le programme laisse à l'opérateur le choix des couleurs.

Le recours aux ombres et aux couleurs est traditionnel dans les arts, mais dans le cas de l'art algorithmique, je le considère comme une entorse à la rigueur absolue. Il est donc important de rappeler ce que je viens de dire : cet aspect traditionnel est souvent absent. De plus, plusieurs des meilleurs artistes dans ce domaine (par exemple le « programmeur-paysagiste » Richard F. Voss dont l'œuvre a dominé la période classique de l'art algorithmique) ont tout fait pour se tenir en retrait, aussi loin que possible, contrôlant féroce ment tout désir de s'exprimer artistiquement. L'idéal reste de laisser toute la place possible à un essentiel qui va toujours au-delà de toute tradition. C'est un algorithme, une simple formule.

La rigueur absolue est intenable, comme je viens d'en convenir, mais tout n'est pas permis. Pour expliquer ce qui suit, il est utile de distinguer deux sortes de photographes, suivant leur attitude à l'égard des retouches. Certains, éclectiques, suivent l'exemple des peintres, et font des retouches autant qu'il leur en prend la fantaisie. À la limite, leur œuvre peut être qualifiée de peinture assistée par photographie. Mais d'autres photographes, plus purs, se refusent cette liberté, tout en restant prêts à refaire un cliché en changeant les réglages et les éclairages, ainsi que les positions de l'artiste et du sujet. Très tôt dans l'évolution des images fractales, je me suis interdit toute *retouche locale*, me permettant, par contre, tout changement global.

Nous arrivons maintenant à l'essentiel. Mon expérience, constamment répétée, est que ceux qui n'appartiennent pas eux-mêmes aux métiers d'art n'hésitent pas un instant à classer et critiquer mes dessins réalistes comme si c'étaient des œuvres d'art *normales*. Il y a même déjà de nombreux collectionneurs prêts à les acheter.

Certains proclament, spontanément et fortement, que cet art leur plaisait avant qu'ils en aient appris l'origine, et qu'il leur plaît encore plus quand ils en ont compris l'origine.

Cependant, tout cas où l'humain paraît menacé par le mécanique ne peut manquer d'inquiéter. Plus ou moins vite, tout observateur se demande ce que devient, dans le contexte de mes images, la notion de « créativité ». Cette inquiétude nous mène tout droit au mathématicien anglais Alan Turing. A l'aube de l'informatique, Turing avait imaginé le test d'intelligence que voici. Admettons qu'on sache un jour programmer un ordinateur de façon si parfaite, qu'un humain qui aurait engagé une correspondance avec cette machine pense qu'il a affaire à un autre humain. D'après Turing, il faudra admettre que la machine fait preuve d'intelligence.

Ces idées ont donné lieu à d'innombrables débats, mais les arguments pour et contre restent hypothétiques, car *l'intelligence artificielle* progresse très lentement et jusqu'à présent le « test de Turing » n'a été réussi par aucune machine. Certaines machines paraissent bien parties, mais cette impression a toujours disparu avec l'effet de surprise. Ayant affronté certains programmes d'intelligence artificielle, de façon répétée, l'humain cesse de se reconnaître dans leur comportement. Ou alors il ne s'y reconnaît que trop bien. Par exemple, les programmes spécialisés dans le jeu d'échecs ne font que reproduire ce qu'on leur a appris, à savoir les gestes des plus grands champions du passé dans leurs meilleurs moments. Quand un de ces programmes choisit le prochain mouvement, son choix est basé sur le consensus des experts. L'existence de ces programmes fait donc écho à une possibilité déjà évoquée au début de cet article : il est facile d'imaginer des *formules* exhaustives pour représenter un tableau de Grand Maître. Mais ces formules ne font pénétrer d'aucune façon dans la nature de la pensée, et ne concernent pas l'intelligence.

Digressions encore plus loin des images, pour un commentaire sur la linguistique. Je suis de ceux qui ont instantanément accepté la distinction, due — entre autres — à Ferdinand de Saussure, entre « langue » et « parole ». (Saussure parle aussi de « langage », mais ce serait un raffinement excessif que de nous y arrêter). Une langue naturelle est une collection de règles, qu'on imagine être en nombre fini, et dont la majorité restent non écrites. Idéalement, ces règles

devraient permettre de décider si une phrase donnée est grammaticalement correcte. La parole est une collection de phrases correctes. Leur nombre est infini. L'enfant qui prononce des phrases correctes qu'il n'avait jamais entendues donne la preuve qu'il a le don de reconstituer la langue à partir d'un échantillon limité de paroles. Autant que je sache, cet exploit n'est à la portée d'aucune machine.

En ce qui concerne les images, on peut attribuer au test de Turing la contrepartie que voici. Si une machine pouvait produire des images dont l'homme penserait qu'elles sont de la main d'un autre homme, l'existence de ces images prouverait la possibilité d'une créativité artistique *artificielle*, au sens que ce terme prend dans la digression précédente concernant l'intelligence artificielle.

En excluant que *l'art suprême puisse être quantitatif*, Rouault niait que la créativité artistique suprême puisse être *artificielle*. Ma réplique à Rouault impliquait que sa profession de foi n'excluait pas que les images algorithmiques conduisent à une nouvelle forme d'art, et je suis maintenant en mesure de préciser cette pensée.

Rappelons que, parmi mes images, les plus typiques sont celles où la part empruntée à l'art usuel (ombres et couleurs) est la plus limitée. Confrontés à une de ces images, les plus obtus des observateurs voient (quelquefois très vite) qu'il ne s'agit ni de peinture due à une main humaine, ni de photographie. Donc ces images échouent au test de Turing. Mais elles n'avaient pas la prétention de le réussir ! Tout au contraire, et c'est très important, elles sont enchantées d'échouer. Leur échec apparent est, en fait, un triomphe. Il s'agit d'une nouvelle forme de créativité, qui récuse toute question de *créativité artificielle*. D'ailleurs, parler d'*artificiel* implique l'existence d'un naturel à imiter. Or, mes images abstraites ne prétendent pas imiter quoi que ce soit. Elles ont la surprise et le plaisir d'offrir à l'homme une source de satisfaction esthétique qui ne consiste pas à imiter la créativité humaine.

Comment se fait-il que cette nouvelle créativité algorithmique ait le succès que l'on constate ? Certains collègues (pensant à Chomsky ou aux effets des hallucinogènes) se pressent de postuler que le plaisir qu'on trouve à regarder les fractales abstraites doit être inné, et doit avoir sa source dans les connexions de notre cerveau. Mais ce n'est pas là une explication qu'on puisse vérifier

par l'expérimentation. Par contre, je vois quelque valeur explicative à la caractéristique commune à toutes les fractales, qui — comme le lecteur s'en souvient — est l'auto-similarité. Il a déjà été observé au début de ce texte que c'est là une forme très exigeante d'harmonie interne. Parler d'harmonie, c'est parler de choses familières, plaisantes et agréables, et rien ne saurait être plus familier que les montagnes, les nuages et les arbres qui remplissent notre horizon visuel. Or ce sont justement ces objets naturels qu'on peut le plus facilement représenter au moyen de fractales réalistes. L'argument que je viens d'esquisser expliquerait donc le succès des fractales abstraites par leur proche cousinage avec les fractales réalistes.

Je viens d'affirmer que les fractales réalistes « représentent » des aspects du monde, et non pas qu'elles les « imitent ». À cet égard, un point important mérite d'être précisé. Au début de mes travaux (pendant les époques que je qualifie après coup d'« héroïque » et de « classique »), les représentations réalistes étaient le fruit de formules formant le cœur de théories scientifiques. Elles n'imitaient pas les images dont la nature nous abreuve, mais cherchaient à découvrir quelque chose sur les principes scientifiques derrière ces images (nous y reviendrons dans un instant). Mais cet âge classique s'épuisa en donnant la preuve qu'il pouvait y avoir des *formules pour les montagnes*. Bientôt, les défauts patents de ces formules commencèrent à paraître insupportables. On dut se résoudre à ce que les formules s'allongent et se multiplient, et on passa à un âge que je qualifie de « romantique ». Dans mon groupe de chercheurs, il est représenté pas le « programmeur-paysagiste » F. Kenton Musgrave.

Expliquons maintenant l'interdiction des retouches que je me suis imposée. Chez les photographes de qualité, cette contrainte reflète un idéal artistique, mais pourquoi donc l'étendre à l'art algorithmique ? Pour y répondre, il faut, une fois de plus, introduire une nouvelle idée et un nouveau thème : celui de l'« élégance » au sens que lui donnent les sciences, et du plaisir qu'éprouve le scientifique à séparer les effets de structures distinctes. S'il est largement convenu que la théorie newtonienne de la gravitation est la plus belle de toutes, c'est parce que tout dans cette théorie découle d'une seule petite formule toute simple : la force d'attraction entre deux masses est le produit de ces masses divisé par le

carré de leur distance. Cette formule est à la fois un aboutissement et un point de départ. Parti de la pensée de Galilée et de Kepler, et de leurs prédécesseurs et émules, Newton ne s'est pas simplement contenté de classer et évaluer tout ce qui était déjà connu (comme le font les programmes qui jouent aux échecs). Le génie créateur de Newton a sublimé tous ses emprunts en une formule qui en dépasse de loin la somme. À son tour, la loi d'attraction universelle portait en elle des conséquences qui se sont révélées aller au-delà de tout ce que l'homme Isaac Newton aurait pu prévoir ou rêver. On peut donc dire qu'elle s'est révélée extraordinairement créatrice, mais il faut pour cela que la notion de « créativité » soit pourvue d'un sens tout différent de celui que prônent les artistes.

De la petite formule suprême de Newton, revenons à ma petite formule  $z \times z + c$ . Les différences sautent aux yeux, et je m'empresse d'en esquisser une, qui est flagrante. Dans le cas de la loi d'attraction universelle, la tâche d'en révéler les conséquences est d'une difficulté technique féroce. Elle occupe depuis trois siècles un bon nombre des plus grands esprits de l'histoire humaine. Tout le monde peut constater le fruit de leurs efforts, par exemple quand une fusée atteint Saturne ou Jupiter. Mais une longue préparation est nécessaire pour comprendre pourquoi la fusée ne s'est pas égarée. Par contre, un seul homme a suffi pour révéler les conséquences de  $z \times z + c$  du point de vue artistique, et une fois que les résultats ont été révélés, nous savons déjà que l'idée est tombée à la portée de M. et Mme. Tout le Monde.

Vers le début de cet essai, j'avais promis de dire quelques mots de l'histoire des fractales, en revenant à une question déjà posée. Je demandais si ces objets étaient connus avant 1975, et répondais : *oui, mais*. Le fait essentiel est discuté dans le « Survol des objets fractals ». La géométrie fractale est un « langage des formes », datant de 1975, qui inclut parmi ses « caractères » des objets datant de l'époque 1875-1925, objets que j'appelle « proto-fractales » — telles la poussière de Cantor et la courbe de Peano. A leur naissance, elles ont joué des rôles importants, mais elles n'allaient survivre que comme exemples de « pathologie mathématique ». Henri Poincaré se plaignait que ces proto-fractales n'avaient été confectionnées que pour l'irriter !

La géométrie fractale a métamorphosé ces pathologies de deux façons. D'une part, elle fit de

ces objets isolés les premiers caractères d'un nouveau langage de formes. D'autre part, elle en renversa totalement le rôle. Même du point de vue mathématique, ce rôle avait surtout été négatif. Des points de vue scientifique et esthétique, ce qui caractérise ces objets était que leur auto-similarité est absolument « exacte », le terme technique étant « linéaire ». On ne peut rien y voir qui n'ait été au préalable introduit de façon très explicite, et ceci les rend trop proches de l'ordre euclidien : ni beaux ni utiles dans les sciences. Tout au contraire, la géométrie fractale montre que ce qui avait été garanti pathologique peut être à la fois utile et beau. Mais il a d'abord fallu en atténuer l'auto-similarité d'une de deux façons possibles : le hasard produit, entre autres, les montagnes, et la non-linéarité produit, entre autres, l'ensemble de Mandelbrot. Tout cela — science et art — aurait été impossible aussi longtemps que ces images ne pouvaient être « vues », regardées et examinées, et on ne peut les voir qu'avec l'aide de l'ordinateur. Un adjectif — qui allait être « fractal » — ne devint nécessaire qu'une fois les proto-fractales visualisées, utilisées et insérées dans un langage.

Arrivé à ce stade de mon exposé, permettez-moi de digresser et de décrire — en partie pour me présenter aux artistes qui lisent ce texte — les hasards d'une vie qui ont fait de moi l'homme qu'il fallait, travaillant à l'endroit qu'il fallait, pour voir et montrer ce dont  $z \mapsto xz + c$  était capable. De formation, je suis à la fois mathématicien et physicien. Si j'avais suivi l'exemple de presque tous mes collègues, je me serais pleinement consacré à une des sous-disciplines établies des mathématiques ou de la physique. Ayant eu 20 ans dans l'immédiat après-guerre, j'aurais dû nécessairement m'accommoder du formalisme qui caractérisait alors ces deux disciplines (surtout en France !). A cette époque révolue, tracer des diagrammes abstraits était une méthode acceptée, mais le vrai dessin était honni. Je ne sais pourquoi, j'ai choisi de vivre de toute autre façon. Loin de me limiter à l'un de mes intérêts très variés, j'ai choisi de couper à travers les disciplines, en me consacrant aux aspects les plus chaotiques de la nature, quel que soit leur contexte. Loin de me limiter à vivre au milieu de formules, j'ai choisi de combiner dans la mesure du possible les formules avec les images. Cette combinaison fut au cœur de la démarche qui m'a conduit à la géométrie fractale.

J'ai dit à quel point l'élégance et la brièveté sont prisées dans les sciences. Mais (sans le dire) il paraissait entendu que cette simplicité allait disparaître au-delà de l'ordonné. Ne prêtant pas attention à cette idée acquise, j'ai continué, en étudiant le chaos, à chercher à me limiter à des formules très simples, d'apparence aussi « bêtes » que possible. Ce qui est étonnant, c'est que j'ai souvent réussi à trouver de telles formules. C'est dire que j'ai démontré de façon répétée qu'une réalité en apparence si complexe qu'elle en paraît chaotique, peut très bien avoir été engendrée par des formules aussi simples que celles qu'on avait coutume de rencontrer dans l'étude du non-chaotique. Entre autres, j'ai su « imiter » les chroniques de prix, par exemple celles du coton, au moyen d'une formule toute simple. De même pour les formes des côtes, montagnes et nuages. Comme il a déjà été dit, le test de qualité d'une formule combinait de plus en plus les mesures quantitatives et les images.

J'en arrive à la fin de ma parenthèse autobiographique. Au plaisir espéré de voir mes efforts couronnés de succès, et d'entendre mes imitations décrites comme « naturelles », s'ajouta vite un autre plaisir qui, lui, était tout à fait inattendu : j'entendis dire que les images de mes *Objets fractals* étaient belles ! C'est moins clair aujourd'hui, car ces images pâlisent à côté des plus récentes. Il est nécessaire donc de ne les comparer qu'aux toutes premières photographies. Dans les deux cas, l'âge héroïque était dominé, quelquefois écrasé, par des difficultés techniques. Dans notre cas, il s'agissait de difficultés dues à l'imperfection de l'infographie. Dans les deux cas, on aurait pu craindre que, une fois ces difficultés surmontées, l'impression de beauté ne faiblisse. C'est ainsi que la photographie aurait pu devenir une plate reproduction de la réalité, sans influence possible sur la pratique de la peinture. Mais la conquête de l'outil matériel a révélé un outil immatériel. Celle évolution s'est répétée de façon encore plus claire dans le contexte des fractales.

A ce stade de mon exposé, une nouvelle question s'impose. L'art est aussi une activité sociale (et commerciale). Est-il concevable que, convenablement « lancé » et étayé par un manifeste, l'art algorithmique s'insère dans les circuits sociaux de l'art usuel ? Une telle insertion ne peut manquer de poser des problèmes. Prenons une notion chère à notre culture, celle d'« original ». Dans le cas des tableaux de Grands

Maîtres, cette notion est presque claire, mais continue à nourrir des débats de spécialistes. Dans le cas des bronzes, il s'est toujours agi d'une convention arbitraire. Le fondeur est essentiel, mais son rôle doit rester secondaire, donc un poids considérable est attribué à l'approbation finale de l'artiste. Mais que devient la notion d'original dans le cas des positifs photographiques faits avec un négatif pris par une personne depuis longtemps disparue? Quant à la notion d'original dans le cas des images algorithmiques, le flou règne et donnera du plaisir à ceux qui cherchent la controverse. Nous sommes tout près des cas des photographies, lithographies et autres multiples.

Le terrain devient encore plus glissant quand on se rappelle que l'art, comme le dieu romain Janus, a deux visages. Nous avons parlé du visage perçu par le « consommateur ». Mais que dire du visage perçu par le *producteur*? Comment faut-il, dans l'art algorithmique, départager les rôles créatifs de la formule et de la personne qui la programme ?

Je pourrais continuer ainsi, à poser plus de questions que je n'ai de réponses. On sait, en effet, que la nouveauté d'une idée se mesure en partie par le nombre de vieilles questions qui se voient rajeunies. De plus, j'attribue personnellement un très grand poids à ce qu'on appelle — très lourdement — l'interdisciplinarité dépourvue de dilettantisme. Pour terminer, qu'il suffise de dire que la naissance de la géométrie fractale et de l'art algorithmique fut une aventure exaltante, un rare cas d'unité entre les arts, les mathématiques et les sciences.