

L'image de synthèse en quête de réalisme

Que ce soit un paysage montagneux obscurci par la brume, la croissance d'une plante ou le mouvement des vagues se brisant sur une plage, les phénomènes naturels suscitent un intérêt croissant aux yeux des « infographistes ». Ces informaticiens, qui utilisent l'ordinateur pour synthétiser des images, tentent en effet de recréer des scènes de la nature avec le plus de ressemblance possible. Ainsi, au forum Imagina de Monte-Carlo qui a eu lieu en février dernier, les images de synthèse dites « réalistes » tenaient le haut du pavé ; la plupart d'entre elles seront également présentes au Siggraph 1987, le congrès international qui fera le point des derniers développements en matière d'images de synthèse au mois de juillet, à Los Angeles. Il apparaît, au gré de ces manifestations, que la production d'images réalistes fait de plus en plus appel à une modélisation qui repose elle-même sur des lois physiques ou biologiques décrivant les phénomènes représentés.

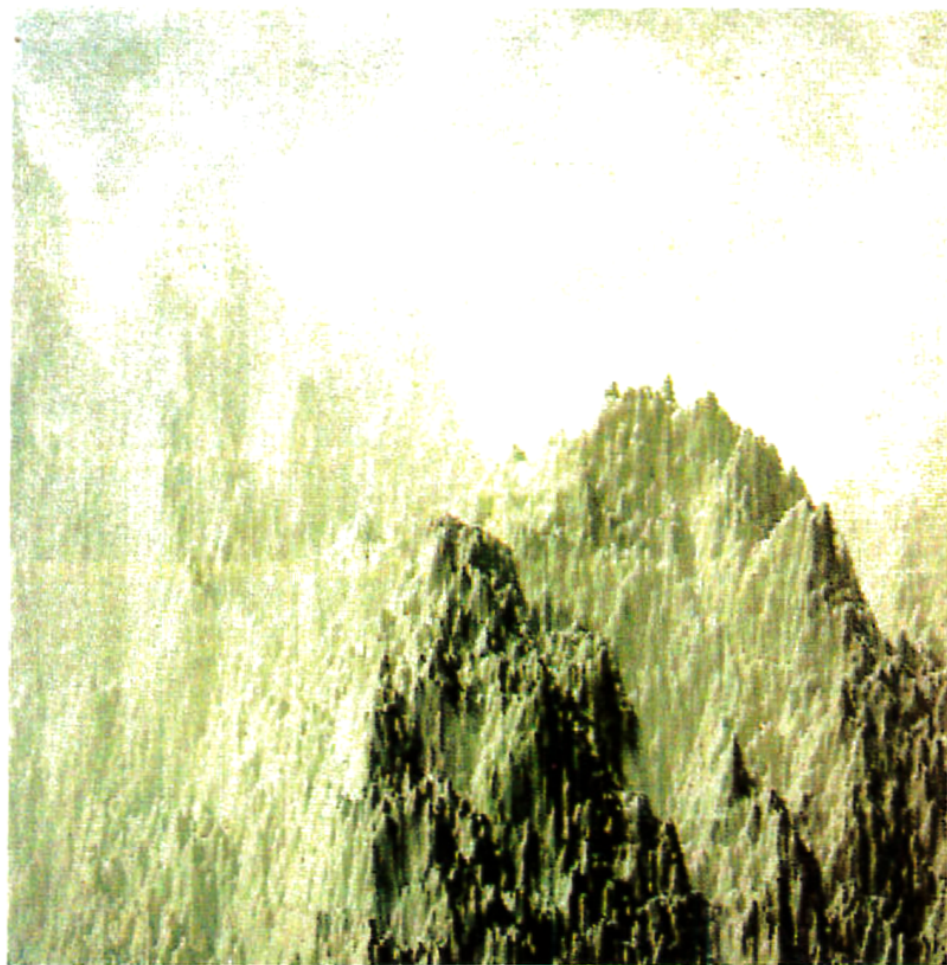


Figure 1. En 1975, Richard Voss créait chez IBM les premières images de synthèse de montagnes à l'aide d'un modèle mathématique dit « fractal » que l'on doit au mathématicien Benoît Mandelbrot. Nous voyons ici un paysage synthétisé par ordinateur signé Jean-François Colonna, qui dirige le GSV-Lactamme à l'Ecole polytechnique, où montagnes et nuages sont fractals. Un tel modèle permet d'obtenir des images très réalistes, c'est-à-dire qui abusent l'œil de l'observateur. En revanche, si l'on veut simuler le déplacement des nuages sous l'action du vent, il faudra certainement faire appel à des lois de la mécanique des fluides et les adjoindre au modèle fractal. Pour nombre de phénomènes naturels, l'image de synthèse réaliste passe désormais par des modèles s'appuyant sur des lois physiques décrivant l'objet et son comportement. (Cliché J.F. Colonna, GSV-Lactamme).



Figure 2. Cette image de synthèse est extraite d'un court film d'animation réalisé par Alain Fournier et Bill Reeves. Ces derniers se sont appuyés sur un modèle qui fait largement appel à l'océanographie. Le mouvement des vagues, leurs distances respectives en fonction de la proximité de la côte, respectent le comportement de la mer tel qu'il a été modélisé à la fin du siècle dernier. (Cliché Bill Reeves, Pixar, droits réservés)

La course au réalisme.

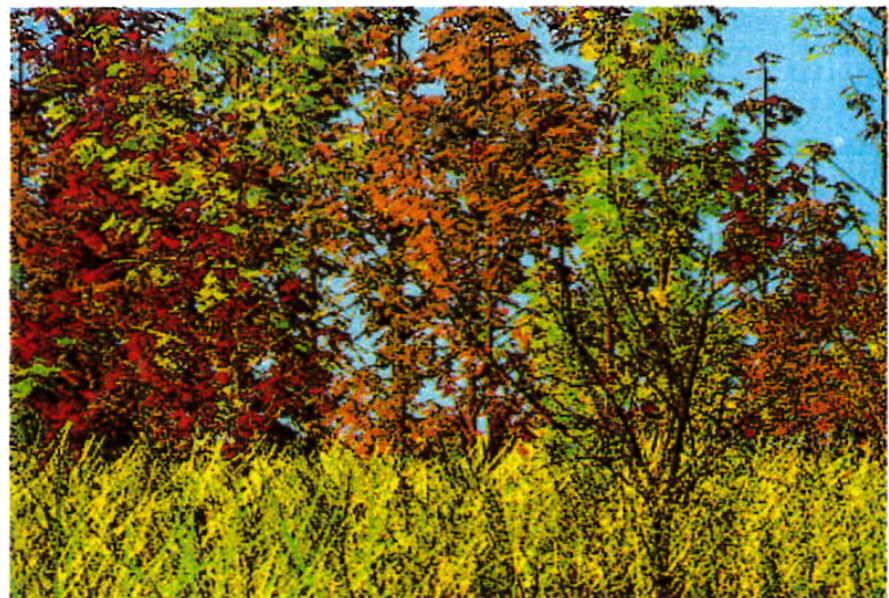
L'image de synthèse est née au début des années 1960. De fixe et bidimensionnelle, elle s'est très vite animée et a acquis dans la foulée la troisième dimension (3D). Des techniques ont vu le jour, désormais bien maîtrisées, pour éliminer les parties cachées des objets représentés, créer des ombres et des reflets. Le degré de « finition » s'est amélioré par la mise au point

d'algorithmes de lissage ou de textures et par la mise sur le marché de machines dédiées à la synthèse d'images, ou de cartes graphiques très performantes adaptables sur micro-ordinateurs.

D'abord utilisée pour créer des scènes de fiction ou d'imaginaire, l'image de synthèse est alors apparue comme un outil puissant pour reproduire les phénomènes naturels, c'est-à-dire créer des images tendant à donner une illusion parfaite de cer-

tains fragments de la réalité. Il est vrai que l'enjeu est important. Certes, curiosité scientifique, recherche artistique et défi de calculer une image qui abuse le commun des mortels se côtoient intimement. Mais surtout, l'image de synthèse réaliste présente, par rapport à des images obtenues par exemple par photographie d'objets réels, l'avantage considérable de reposer sur un ensemble de formules mathématiques décrivant l'objet à visuali-

Figure 3. Peter E. Oppenheimer a choisi un modèle fractal pour créer cette image de synthèse d'arbre (A). Un résultat superbe mais qui ne correspond à aucun arbre réel. Pour représenter et animer un végétal tel qu'on peut le trouver dans la nature, il faut recourir à un modèle qui s'appuie sur l'observation directe et l'étude de la croissance des plantes. C'est ce qu'a fait le Cirad de Montpellier en collaboration avec plusieurs universités. Le logiciel Amap permet de faire « croître » sur ordinateur une plante en 3D ; en B, on voit un peuplier âgé de 2, 5 et 10 ans, et en C un paysage composé de plantes et d'arbres divers. Plus généralement le réalisme, pour les images de synthèse d'êtres vivants, passe par une modélisation fondée sur des lois physiques ou biologiques. On remarquera cependant que l'arbre « fractal » a une apparence plus réaliste que celui de l'Amap, tout simplement en raison de meilleures textures sur le tronc. La puissance de calcul des ordinateurs, la puissance des algorithmes de finition et la qualité du support graphique jouent aussi un grand rôle en matière de réalisme. (Clichés Peter E. Oppenheimer (droits réservés), NYIT et Cirad)



ser. C'est ce « modèle » mathématique que l'ordinateur manipule ; les possibilités de modifier l'image sont donc immenses et l'audiovisuel y fait largement appel.

Par ailleurs, l'image réaliste évolue dans un marché de l'image de synthèse en pleine expansion. En 1986, le marché mondial a atteint 7 milliards de dollars, dont plus de la moitié pour les Etats-Unis, et le quart pour l'Europe. Au niveau français, les deux sociétés qui se partagent

le gros du marché, Sogitec, filiale de la société Avions Marcel Dassault-Breguet Aviation et Thomson Digital Image (TDI), filiale de l'INA et de Thomson, voient leur chiffre d'affaires croître de plus de 30 % chaque année !...

Le besoin spécifique de disposer d'images réalistes se fait clairement sentir dans de nombreux domaines. Dans le secteur industriel, tout d'abord, la CAO (conception assistée par ordinateur) exige, au

niveau de la finition des objets qu'elle élabore, un réalisme toujours plus grand ; elle demande également d'intégrer ces objets dans un contexte lui-même réaliste. La médecine commence à faire appel à la synthèse d'images pour l'enseignement assisté par ordinateur ; l'université d'Ohio tente notamment de modéliser le corps humain le mieux possible. Enfin, la simulation de vol, de conduite sur route ou de pilotage de navire nécessite des paysages proches de la réalité. Il n'est donc pas étonnant que, chaque année, des pans entiers du réel tombent sous la coupe des infographistes.

Un modèle avant toute chose.

Créer une image de synthèse réaliste, c'est créer une image « quelconque » avec une infinité d'acteurs : animaux, hommes, végétaux, nuages, montagnes... Cette image est numérique, constituée par un ensemble de points appelés « pixels », ou « éléments d'image ». Le calcul des pixels repose sur un modèle qui, rappelons-le, est un ensemble de formules mathématiques décrivant l'objet à visualiser, et que l'ordinateur manipule.

Or si modéliser un objet artificiel, comme une voiture ou une lampe de bureau est chose relativement aisée, car l'objet peut être représenté par des formes géométriques simples telles que polygone, ligne droite, etc. et donc décrit par des formules mathématiques simples, modéli-

ser un phénomène naturel est plus difficile. En effet, les objets naturels ne peuvent pas être décrits par des courbes régulières. De plus, certains d'entre eux, comme un corps humain ou animal, ont des propriétés particulières, notamment leur faculté de se mouvoir, qui sont difficiles à modéliser. L'informaticien peut cependant puiser dans une boîte à outils très fournie. C'est ainsi qu'il peut modéliser un solide par approximation à l'aide de facettes planes ou de morceaux de surfaces non planes qu'il raccordera ensuite. Il peut aussi constituer des ensembles avec des volumes de base, tels que cylindre ou sphère, à l'aide d'opérations de réunion, intersection ou complémentation. L'infographiste a aussi la possibilité de mettre en œuvre un modèle dit « particulier » qui consiste à lancer des particules suivant certaines lois, ce qui permet d'obtenir des images de feu d'artifice ou de brins d'herbe par exemple. Il peut inclure dans le modèle des propriétés concernant la couleur et la « réflectance » des objets ; il dispose aussi d'outils pour modéliser les lois de l'optique, dont la méthode dite du « lancer de rayon » qui revient à éclairer la scène avec des sources lumineuses dont on définit la position, la longueur d'onde, l'angle solide sous laquelle elle éclaire, etc.

De la mer à la montagne.

Bien souvent, les modèles utilisés n'ont rien à voir avec ceux mis en œuvre par les physiciens pour décrire les objets. Ainsi certains objets naturels, comme une montagne, un nuage, un poumon, une galaxie, une rivière, un rivage, etc., ont la caractéristique de posséder des structures similaires à des échelles différentes. Le mathématicien Benoît Mandelbrot a le premier observé en 1962 cette « invariance par changement d'échelle » ou « auto-similarité » (voir « Comment j'ai découvert les fractales » dans notre numéro de mars 1986). Richard Voss, d'IBM, fut le premier en 1975 à visualiser par ordinateur ces objets dits fractals, et aujourd'hui encore ce modèle permet d'obtenir de superbes images en 3D de montagnes embrumées (fig. 1). Force est cependant de reconnaître que cet outil est insuffisant pour réaliser une scène complète : l'absorption de la lumière en fonction de l'altitude, par exemple, suit des lois barométriques qui devront être adjointes au modèle fractal. « Par ailleurs, l'évolution du nuage au cours du temps devra fort probablement faire appel à la mécanique des fluides et aux physiciens spécialistes de la turbulence », insiste Jean-François Colonna, qui dirige le GSV-Lactamme (Groupe synthèse-vidéo) à l'Ecole polytechnique. En fait, il apparaît clairement que la création d'images réalistes, si elle veut être étendue à des scènes plus riches, passe par la mise au point de modèles de phénomènes naturels qui s'appuient sur les propriétés physiques, voire biologiques décrivant les objets et leur comportement.

Le problème de la représentation de la mer en mouvement et en 3D, qui a longtemps tracassé les infographistes, trouve ainsi sa solution dans un modèle en grande partie fondé sur l'océanographie. Certes des tentatives intéressantes ont été faites, notamment en France par la firme TDI : une surface plate perturbée de façon stochastique par des sources lumineuses constitue un trompe l'œil subtil, mais qui ne permet pas de restituer les trains de vagues, qui sont cycliques, l'écume sur les plages ou l'intersection avec des coques de navire.

Alain Fournier de l'université de Toronto, en collaboration avec Bill Reeves de la firme américaine Pixar⁽¹⁾, a exploité un modèle relativement simple de mécanique des fluides, connu des océanographes et élaboré par Gerstner en 1802⁽²⁾ puis repris par Rankine en 1863. Ces derniers avaient constaté que les particules d'eau situées à la surface de la mer, qui dessinent la forme des vagues, décrivent en fait une courbe périodique appelée cycloïde, courbe répondant à une expression mathématique simple : il s'agit de la trajectoire d'un point situé sur un cercle « roulant » sur lui-même. Ils avaient également observé que ces orbites circulaires deviennent elliptiques lorsque la profondeur diminue, entraînant une diminution de la longueur d'onde de la vague, ce qui fait que les crêtes se rapprochent les unes des autres lorsqu'on atteint la plage. Ce modèle, traduit par les infographistes américains, donne un résultat saisissant et fait l'objet d'un film de douze secondes intitulé « Synthèse de vagues en infographie », qui a enthousiasmé les participants au forum Imagina de Montè-Carlo (fig. 2).

Et la réalité botanique ?

C'est cependant la réalisation d'images de synthèse d'êtres vivants qui plaide le plus vigoureusement en faveur d'une modélisation fondée sur des lois de la nature. Prenons le cas des végétaux. Certes, ici aussi l'utilisation d'objets mathématiques abstraits peut aboutir à des images de synthèse de plantes d'une grande beauté. Mais, comme nous allons le voir, ces plantes ne reflètent pas la réalité botanique.

Peter E. Oppenheimer, du Computer Graphics Laboratory rattaché au New York Institute of Technology, a en effet synthétisé des images de plantes et d'arbres fractals en 3D, grâce à un programme qui peut tout aussi bien générer des feuilles, un système capillaire ou des systèmes non organiques tels que des rivières⁽³⁾. On retrouve l'« auto-similarité » caractéristique de l'objet fractal : le motif de base est constitué par un nœud, duquel partent trois branches. Lorsqu'une branche atteint une certaine longueur, un autre nœud se crée et fait apparaître trois autres branches plus petites, etc. pour donner naissance à des fleurs.

En fait, un arbre n'est pas strictement auto-similaire mais comporte une certaine

irrégularité. On fait donc varier très légèrement la géométrie de chaque branche, à l'aide d'une perturbation générée aléatoirement. Le résultat est superbe (fig. 3)..., mais ne donne pas l'image d'un arbre réel.

Un jardin sur votre ordinateur.

Si l'on veut « faire pousser » sur un ordinateur des plantes vraisemblables, il faut passer par des modèles bâtis sur l'observation directe. C'est ce qu'a fait le Cirad de Montpellier (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), qui s'est associé avec des équipes d'informaticiens et de botanistes de l'université Louis Pasteur de Strasbourg, l'université d'Orsay, la rue d'Ulm et l'université des sciences et techniques du Languedoc. Fruit de ce travail, un logiciel baptisé Amap (Atelier pour la modélisation de l'architecture des plantes) simule en 3D la croissance des végétaux, plantes, arbres ou fleurs. D'après les travaux de Philippe de Reffye et de Marc Jaeger du Cirad⁽⁴⁾, chaque végétal croît selon un modèle architectural, dont une trentaine ont été dénombrés à ce jour : les bourgeons jouent un rôle de « moteur de croissance », et possèdent une probabilité de pause, de ramification et de mort. La détermination de ces probabilités à partir de l'observation de certaines d'individus a permis d'établir des modèles de croissance, et de créer un logiciel correspondant. Ainsi, il est possible de connaître par exemple l'évolution d'un peuplier à divers stades de sa vie, de prévoir sa surface foliaire en fonction de l'ensoleillement ou de créer des scènes composites avec plusieurs variétés de plantes et d'arbres (fig. 3). Le Cirad voit dans l'Amap un outil puissant à la disposition des botanistes et des sylviculteurs, ainsi qu'un moyen d'introduire des images réalistes de végétaux dans des logiciels de CAO d'architecture ou de simulation de vol (fig. 3). La SESA, société spécialisée dans la production de logiciels de synthèse d'images, commercialise une version de l'Amap qui tourne sur station de travail IRIS de Silicon Graphics.

Au-delà des enjeux économiques déjà évoqués, il y a dans cette course au réalisme un aspect scientifique important. « D'une part, affirme Peter E. Oppenheimer, en imitant la logique de la nature, la simulation par ordinateur capture l'essence même des objets naturels ». Cette simulation peut ensuite devenir un outil pour la science elle-même, comme l'est l'expérimentation numérique (voir « L'expérimentation numérique par ordinateur » dans notre numéro d'avril 1987). Par ailleurs l'image de synthèse réaliste incite le chercheur à jeter un regard nouveau sur le monde qui l'entoure, à mieux observer certains objets, voire à observer des phénomènes dont la science actuelle ne permet pas de prédire le comportement.

Michel Fantin