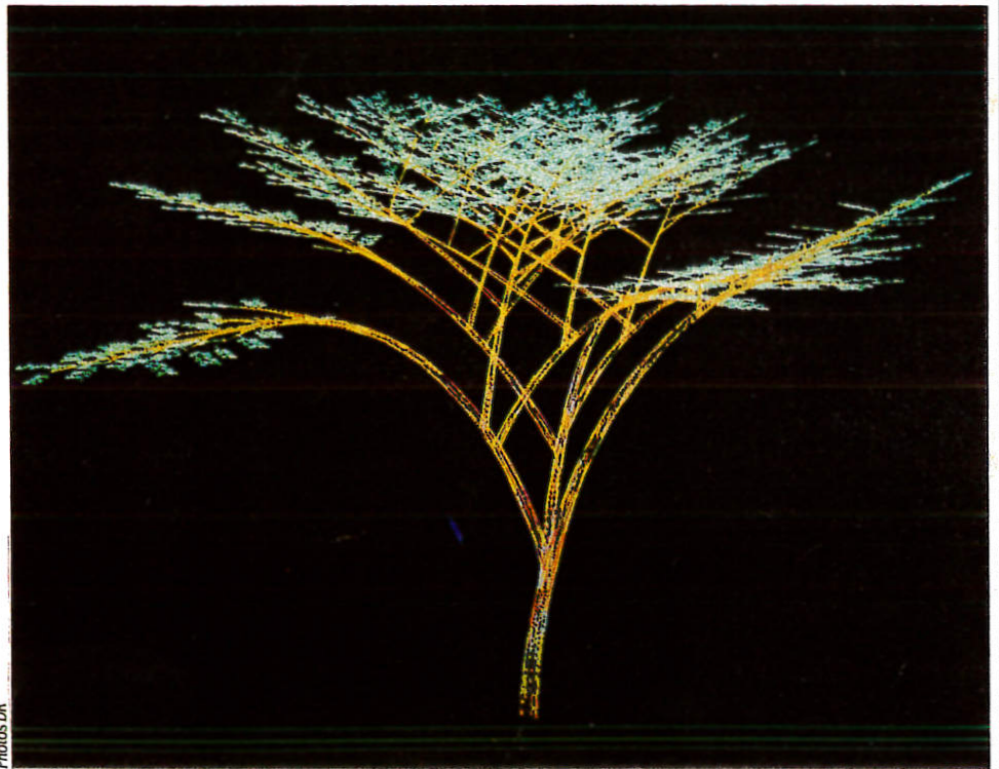


ET EN PLUS,

Parmi les images de synthèse créées par ordinateur, les plus difficiles à produire sont celles qui sont à la fois en trois dimensions et animées.

C'est sur ce domaine que se concentrent les chercheurs les plus en pointe. En France, l'un des pays les plus avancés dans l'image artificielle, deux étapes importantes sur le chemin de l'image animée en trois dimensions viennent d'être franchies : la réalisation d'un surprenant logiciel qui simule la croissance des plantes, et la mise au point d'une machine dite « à lancer de rayon » qui crée des images très réalistes 1 500 fois plus vite qu'un mini-ordinateur courant. A l'occasion d'un récent colloque qui a réuni à Saint-Etienne quelques-unes des sommités mondiales de l'imagerie de synthèse, nous avons voulu faire le point, à travers quelques exemples, sur les principales techniques actuellement explorées par les chercheurs pour atteindre l'animation en trois dimensions.

Le défi des images synthétiques animées en trois dimensions



PHOTOS DR

ELLES BOUGENT !

TOUT D'ABORD, QUE SIGNIFIE EXACTEMENT image de synthèse animée en trois dimensions ? Une image est dite de synthèse quand elle a été créée à partir de zéro sur un ordinateur, en général une machine spécialisée munie d'un logiciel approprié, manipulée par un opérateur qui rassemble souvent des compétences informatiques et artistiques. Cela exclut notamment

les images simplement numérisées : si vous donnez à « lire » à un ordinateur, via une caméra vidéo, une photo ou une scène réelle, il peut la restituer à l'écran après l'avoir inscrite en mémoire sous forme de uns et de zéros ; il peut même l'agrandir, l'inverser, la colorier, la dédoubler, bref lui faire subir toutes sortes de modifications d'après les instructions d'un artiste. Mais il ne s'agit pas là à

proprement parler d'images de synthèse, puisque l'ordinateur s'est contenté de recopier bêtement la réalité.

On pourrait commencer à parler d'image de synthèse avec les logiciels de dessin comme Mac Paint, qui vous permettent, sur des micro-ordinateurs même peu puissants, de dessiner à main levée avec une souris ou une manette de jeu, d'assembler des formes géométriques créées au sein de la machine et de leur faire subir toutes sortes de modifications. Dans la pratique, le terme image de synthèse n'est pas censé englober ce type de logiciel, trop rudimentaire. Avec la CAO, en revanche, on se rapproche du cœur du sujet. La conception assistée par ordinateur permet aux ingénieurs, dans l'industrie ou le bâtiment, de dessiner dans leurs moindres détails leurs futurs produits (voitures, immeubles, bielles...) avant de les fabriquer réellement. La plupart de ces produits peuvent être décomposés en formes géométriques simples, et ce sont les cotes des différents points qui importent aux concepteurs, plus que l'aspect esthétique de l'image. D'où les formes les plus rudimentaires de CAO, où l'ordinateur se contente de dessiner le squelette de l'objet sous forme de traits, comme s'il s'agissait d'une maquette en fil de fer : c'est pourquoi on parle de représentation filaire. Cette technique est, dès à présent, disponible sur des micro-ordinateurs un tant soit peu puissants, comme l'IBM PC-AT. D'autres systèmes plus avancés représentent les couleurs et les surfaces des objets, qui prennent ainsi un aspect plus réaliste. Mais les images de synthèse les plus spectaculaires, les plus difficiles à produire aussi, sont celles qui sont réalisées à la fois dans un but esthétique et de recherche. Ce sont ces exercices de virtuosité technique qui sont montrés au grand public dans les spots publicitaires, ou projetés aux professionnels dans les congrès spécialisés comme celui qui s'est tenu en avril dernier à Saint-Etienne. Voilà pour la synthèse.

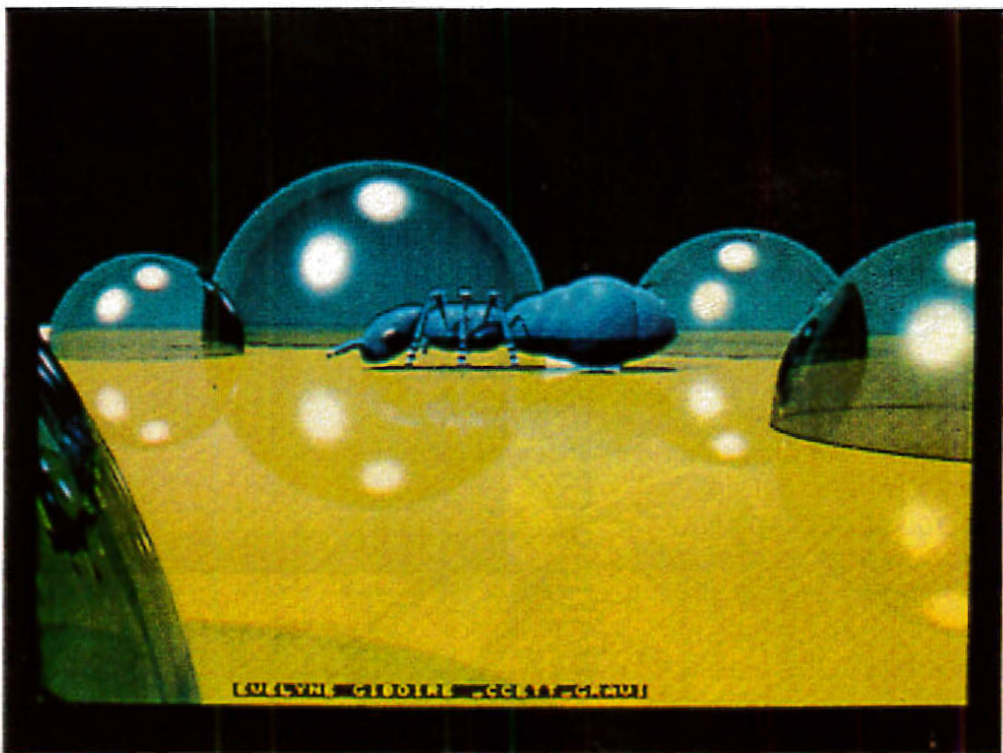
Distinguer le vrai du faux

Et les trois dimensions ? Il faut ici se méfier. Il ne suffit pas qu'un logiciel soit capable de représenter à l'écran un objet en perspective pour qu'il soit classé dans cette catégorie. Les spécialistes parlent de « faux 3D » ou même de « 2 D et demi » pour décrire ces systèmes capables de restituer le relief, mais non de faire tourner un objet sur lui-même sous n'importe quel angle. Il faut pour cela que la machine stocke en mémoire les trois coordonnées de chaque point (x, y, z , c'est-à-dire position horizontale, verticale, en profondeur). A noter que la plupart des palettes graphiques, ces ordinateurs spécialisés disponibles sur le marché et destinés aux peintres et aux graphistes (la Paint Box de Quantel, le Graph 9 de X-Com, l'Artron de Djin Tronic...) sont des machines « 2 D et demi ».

Enfin, l'animation. Le terme s'explique de lui-même, il désigne des images dont les éléments sont capables de se mouvoir suffisamment vite pour, mises bout à bout, réaliser un film, par exemple. Un film fort court, la plupart

du temps, puisqu'on touche ici à l'une des principales difficultés de l'image de synthèse : la puissance requise est tellement énorme qu'il faut faire des compromis entre le réalisme de l'image et la qualité de l'animation. A plus forte raison, la durée du mouvement est limitée. Chez TDI (Thomson Digital Image) ou Sogitec, deux des plus importantes sociétés françaises de création d'images de synthèse, il en coûte de 15 à 20 000 F la seconde pour un film « moyen » ; ce prix peut grimper jusqu'à 60 000F pour certains délires hyper-réalistes. Pour limiter ces coûts fabuleux, on se contente de 12 images par seconde, au lieu des 25 images par seconde du cinéma traditionnel. Pour donner une idée de la puissance mise en œuvre, William W. Armstrong, un chercheur de l'université d'Alberta au Canada, qui a simulé en temps réel les mouvements du bras manipulateur de la navette spatiale, a expliqué au colloque de Saint-Etienne avoir relié par un bus Ethernet d'un débit de 10 mégabits pas moins de quatre Vax 780 (de puissants mini-ordinateurs de Digital Equipment) et quatre super-micro-ordinateurs Sun dotés de microprocesseurs 68000,

niques connues, l'apparence de divers végétaux à diverses étapes de leur croissance. On sait que les feuilles des arbres n'apparaissent pas au hasard, à n'importe quel endroit ; on sait que chaque branche d'un arbre reproduit la forme qu'avait l'arbre entier à un stade antérieur de sa croissance ; on sait qu'à chaque branche correspond une racine. A partir de constatations comme celles-ci, Philippe de Reffye est capable de faire pousser n'importe quelle plante en accéléré sur son écran (voir notre photo page 73). Il peut aussi prendre en compte les facteurs extérieurs : l'influence du vent, par exemple. Parmi les premières applications de ce logiciel, deux études sur la taille des cotonniers et des platanes : si l'on taille la plante de telle façon à telle époque de sa croissance, à quoi ressemblera-t-elle cinq ans plus tard ? Voilà le genre de questions auxquelles on peut ainsi répondre. En rassemblant plusieurs arbres grâce à un logiciel de composition de scène, un sylviculteur peut étudier l'évolution d'une forêt ; en ajoutant le moteur de croissance à un logiciel de CAO classique, un architecte peut juger de l'effet d'un massif de sapins planté à côté d'une de



le 16-32 bits de Motorola. L'ensemble possède une capacité de calcul supérieure à celle d'un Cray One, qui était il y a encore peu de temps l'ordinateur le plus puissant du monde, et dont il n'existe que quelques exemplaires en France.

Les nouveaux botanistes

A quoi sert l'image de synthèse animée en trois dimensions ? Commençons par un exemple un peu atypique, celui du moteur de croissance de plantes qui vient d'être mis au point par Philippe de Reffye à Montpellier, au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). Le logiciel mis au point par ce chercheur permet de simuler, à partir de lois botan-

ses maisons, dix ans après sa construction. De fait, l'architecte de renom Ricardo Bofil prévoit d'utiliser ce logiciel pour un bâtiment qu'il doit construire à Manhattan.

Un tel logiciel (du moins dans sa version complète) ne peut tourner sur un micro-ordinateur. Il « consomme » la respectable puissance de 3,7 Mips (millions d'instructions par seconde), soit le tiers des capacités du centre de calcul universitaire de Montpellier. S'il constitue un cas un peu particulier dans le cadre de cette étude, c'est d'abord qu'il n'est pas graphiquement parfait. Son concepteur s'est d'abord soucié d'applications agronomiques et non d'esthétique. C'est pourquoi seuls sont représentés, dans l'état actuel des choses, les contours des troncs et des feuilles. Si ceux-ci sont exacts aux yeux d'un bota-

niste, ils n'offrent pas un aspect très réaliste au profane. D'où la nécessité d'ajouter une couche graphique à ce logiciel, qui remplirait les contours, montrerait les textures de l'écorce... La méthode qui sera employée pour cela (nous vous exposerons les trois principales plus loin) n'a pas encore été choisie.

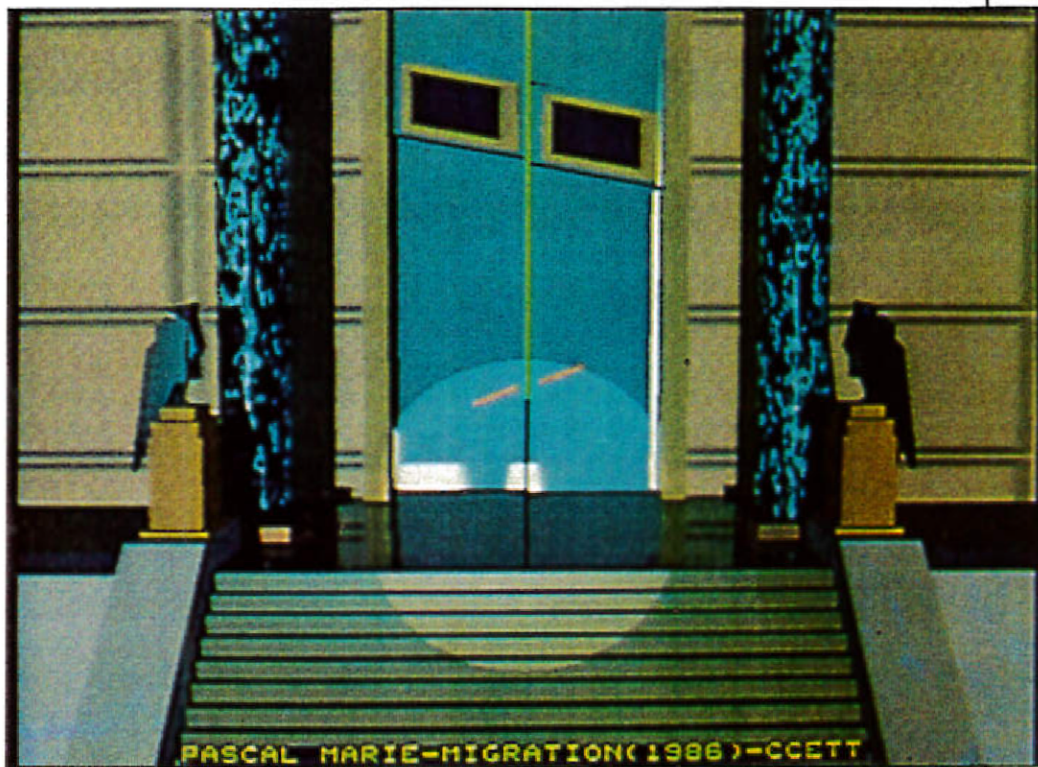
Ensuite, l'animation : aujourd'hui, ce logiciel n'est pas à proprement parler animé. Il est capable de montrer successivement, à l'écran, l'état d'un végétal donné à une date choisie, mais non d'enchaîner ces images en une séquence où l'on verrait croître la plante en direct. Son concepteur affirme cependant que cela pourrait être réalisé sans problème : il suffirait de stocker un nombre suffisant d'images successives.

A la recherche du réalisme

Parmi les grandes méthodes utilisables pour créer une image de synthèse animée en trois dimensions, la plus simple est la représentation géométrique. Dans un premier temps, on divise l'objet à représenter en éléments géométriques élémentaires (polyèdres, prismes, sphères, tores... voire points). Dans un deuxième temps, on fait bouger ces briques géométriques les unes par rapport aux autres. C'est le procédé choisi par Michel Bret, de la section Art et technologie de l'image de l'université de Paris VIII. Le logiciel Traj qu'il a mis au point tourne sur un ordinateur d'une puissance relativement modeste dans le monde de l'image de synthèse, le SM 90 conçu au CNET (Centre national d'études des télécommunications). C'est un super-micro, doté de 1 à 4 Mo de mémoire vive, et de 50 à 240 Mo de mémoire de masse sur disque dur. Il est relié à un synthétiseur d'images Colorix 90 conçu à l'INRIA (Institut national pour la recherche en informatique et automatique). Pour créer l'image, Traj utilise la méthode de décomposition que nous venons de décrire. Pour l'animer, plusieurs voies sont possibles. La plus simple consiste à nommer des objets (telle ou telle partie de l'image), à leur assigner un point de départ, un point d'arrivée et une durée de déplacement : le mouvement sera linéaire. C'est très bien si l'on se contente de déplacer un volume rigide au sein d'un décor : mais comment créer des vagues sur la mer, par exemple ? Dans ce cas, on divise la surface à animer en un damier de cases semblables, et l'on associe à chaque point de la case une fonction répétitive qui l'animerait suivant l'axe des x et celui des z. Il faut pour cela tenir compte de la position de chaque point à l'origine, et trouver une loi qui reproduise de façon satisfaisante le mouvement de la houle. Autre problème fréquent : comment associer plusieurs mouvements dépendants les uns des autres ? Par exemple, imaginons un personnage qui marche le long d'une rue en agitant la main pour saluer un ami. Il est relativement facile de décrire à l'ordinateur le mouvement de va-et-vient de la main qui salue ; relativement facile de décrire celui du buste qui avance dans la direction de la marche. Mais comment expliquer à la machine

que puisque le buste se déplace, la main doit aussi le suivre dans la direction de la rue ? Traj fait cela automatiquement : il suffit de lui indiquer le mouvement propre de chaque objet, puis de lui montrer les points d'ancrage des objets entre eux. Dans notre exemple, il suffit de dire que l'ensemble main-avant-bras est relié au buste, pour que l'ordinateur combine les deux mouvements (dans la réa-

matique fait appel à des courbes, définies par un ensemble de points de contrôle et par une suite de nombres qui déterminent la vitesse de parcours de la courbe. Toujours à Paris VIII, Monique Nahas et Hervé Huitric utilisent ce procédé non seulement pour améliorer les textures, mais aussi pour obtenir des effets de brume, des jeux de lumière, des fusions d'objets entre eux, des déformations style pâte à



Ces trois images ont été créées à l'aide du Cristal TPX, l'ordinateur à lancer de rayon imaginé au CCETT. C'est la machine de ce type la plus puissante du monde. La technique utilisée permet un réalisme poussé mais consomme, pour l'instant, trop de puissance pour réaliser des images animées.



lité, les combinaisons sont naturellement beaucoup plus complexes).

Il manque à la méthode géométrique un atout important pour mimer la réalité : le monde qui nous entoure n'est pas fait de cubes et de tores lisses comme un miroir. Il est fait de plages de sable granuleux, de tissus tramés, de chevelures fibreuses, bref de textures. Si l'on pouvait représenter automatiquement ces textures, on ferait un grand pas en avant dans le réalisme. C'est ce que fait la méthode dite des B-splines. Sans entrer dans les détails, disons que cette méthode mathé-

modeler. Ils ont notamment réalisé une séquence où une tête humaine sort progressivement d'une montagne, et une autre où un corps humain émerge d'un lac. Le réalisme étant plus grand que dans la méthode géométrique utilisée par Michel Bret, la puissance requise est également supérieure : c'est un Vax 780 de 4 Mo de mémoire vive (le mini-ordinateur de référence dans les milieux scientifiques) qui est mis à contribution.

Le lancer de rayon

Mais la méthode la plus réaliste est encore la plus simple. Au lieu de décrire l'image comme un ensemble d'objets géométriques, se sont dit ses promoteurs, pourquoi ne pas la considérer d'abord comme la résultante d'un ensemble de rayons lumineux ? S'il était possible de calculer le trajet de chaque rayon lumineux (fictif, bien entendu) censé parvenir à l'œil de l'observateur qui regarde l'image sur son écran, on serait capable de reconstituer précisément la réalité. C'est la méthode de lancer de rayon, où l'on suit à l'envers le trajet de chaque rayon, en partant de chaque point de l'écran pour remonter vers la source lumineuse fictive, via de nombreuses réflexions sur les objets qui composent la scène. Pour créer l'image, on décrit donc les propriétés optiques de chaque point des objets présents (sa couleur, la quantité de lumière qu'il renvoie, la façon dont il la diffuse...) et celles des sources lumineuses. Les

calculs qui en résultent sont simples : ce sont des formules d'intersection de droites avec des surfaces (puisque le premier point rencontré par le rayon qui « remonte » de l'écran est un point visible), ainsi que des changements de repère. L'inconvénient, c'est qu'ils sont prodigieusement nombreux.

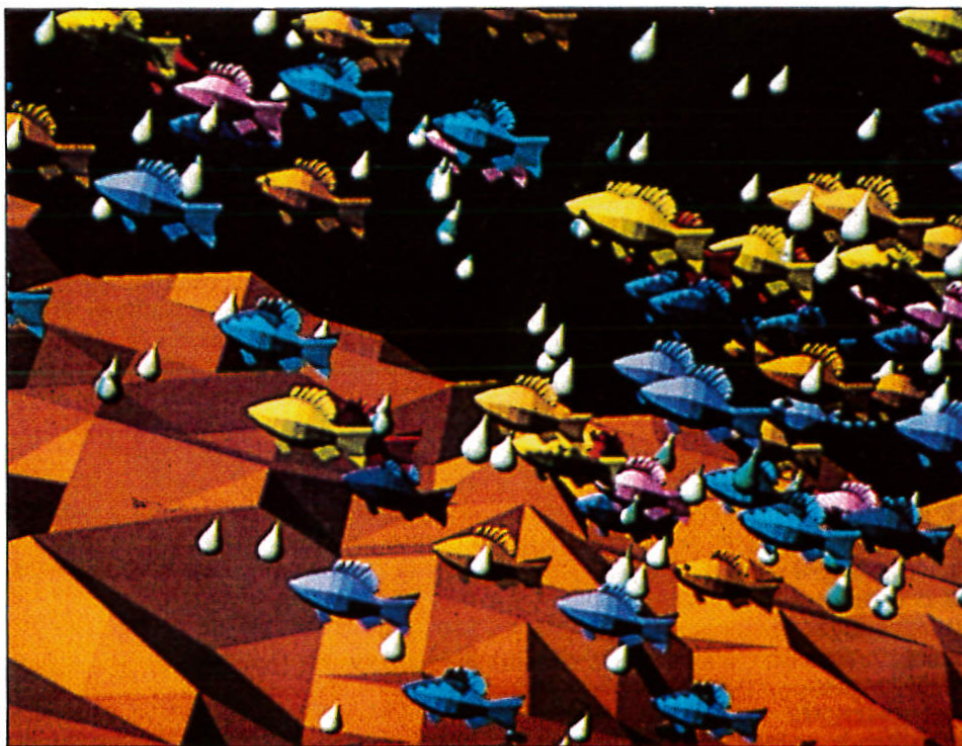
Pour obtenir plus facilement les effets d'ombre, de transparence et de réflexions multiples qui font l'attrait des images « à lancer de rayon » (encore dites photométriques), Christian Bouville et Roger Brusq, chercheurs au CCETT (Centre commun d'étude de télécommunication et de télévision), viennent de mettre au point un ordinateur spécialisé, le Cristal

TPX. Cette véritable machine à lancer de rayon, construite par la société Télématique à Grenoble, est capable de calculer en 10 à 20 secondes une image qui aurait demandé 9 heures de travail sur un Vax. Elle fonctionne à 15 mégaflops (millions d'opérations en virgule flottante par seconde), ce qui en fait, d'après son constructeur, la machine de ce type la plus puissante du monde. Le Cristal TPX utilise le principe des processeurs parallèles, de plus en plus répandu dans les domaines de pointe de l'informatique (reconnaissance vocale, calcul scientifique...) : au lieu de gonfler démesurément la puissance d'un processeur central, on divise la tâche à effectuer

entre de multiples processeurs qui fonctionnent en même temps. C'est ainsi que la brique de base de la machine française à lancer de rayon est une carte CPIX (calculatrice de pixels) possédant à elle seule la moitié de la puissance d'un Vax 750. Un Cristal, c'est 6 à 128 cartes CPIX fonctionnant en parallèle. En pratique, le graphiste-informaticien passe deux ou trois jours pour décrire la scène qu'il



Deux images de synthèse animées en trois dimensions présentées au colloque de Saint-Etienne...



... En haut, une œuvre de La Chapelle, Bergeron, Robidoux et Langlois et, ci-dessus, une création de Vibeke Sorensen.



Ces colonnes ont été conçues par Sabine Porada à l'aide d'un logiciel mis au point par Michel Bret à l'université de Paris VIII.

veut réaliser à un mini-ordinateur classique type Vax : emplacement des objets, propriétés optiques, emplacement des lampes... Quand ce travail est terminé, les données stockées sont transférées d'un seul coup sur le Cristal, qui calcule l'image en quelques secondes.

Pour artistes « branchés »

Hélas ! Pour le moment, la méthode de lancer de rayon est tellement gourmande en calcul qu'elle ne permet que la création d'images fixes. Bernard Guimier, le P-DG de Télématique, espère arriver à l'animation d'ici deux ans, grâce à un progrès simultané des algorithmes et de l'architecture à multi-microprocesseurs. Même pour des images fixes, cependant, les performances de Cristal sont impressionnantes : alors que le lancer de rayon se compte en secondes, l'une des méthodes les plus connues et les plus réalistes de création de paysages naturels fixes tels que des montagnes, la méthode des fractales, peut prendre jusqu'à 40 heures par image. Dans la pratique, de nombreuses images utilisent une combinaison de plusieurs méthodes. Par exemple, on peut relier un Cristal à un Cubi 7, conçu au CCETT par l'équipe de Pascal Leray, pour mêler lancer de rayon et méthode géométrique classique.

Pour que les images de synthèse animées en trois dimensions deviennent d'usage courant, il ne suffira pas que la technologie s'améliore, que l'on dispose de processeurs toujours plus rapides et d'algorithmes toujours plus efficaces ; il faudra aussi que les machines de création graphique deviennent suffisamment simples d'emploi pour être accessibles à tous les artistes, et non plus seulement, comme c'est le cas aujourd'hui pour les plus puissantes d'entre elles, à des créateurs contraints de posséder de solides bases informatiques.

Rosalie HURTADO
et Petros GONDICAS