

géométriques de sa surface par une carte de répartition des microfacettes. La texture reste admissible, mais les calculs sont bien moins longs. En revanche, lorsque la position de la caméra change et que la statue passe au premier plan, l'utilisation d'une carte des irrégularités s'impose (voir l'encadré ci-contre).

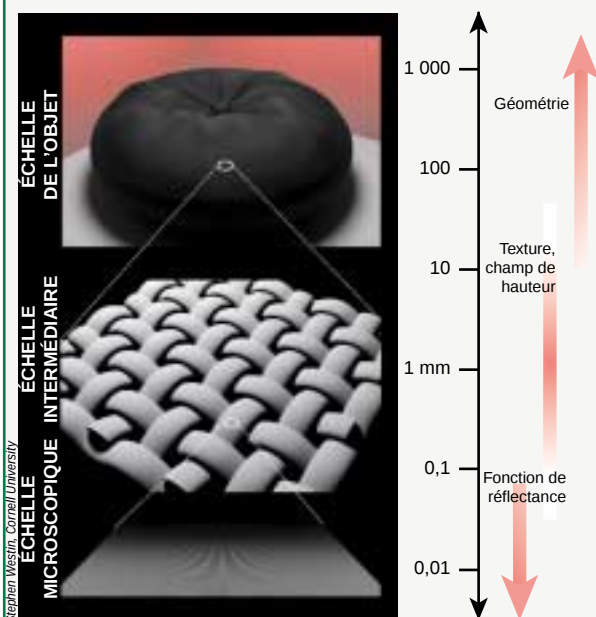
Nouveaux modèles, nouveaux rendus

La mise au point de modèles de matériaux pour l'infographie commence seulement, mais certaines questions fondamentales sur leurs limites se posent déjà. La physique décrit encore assez mal l'apparence des matériaux. La corrosion des métaux, par exemple, est très étudiée en raison de son intérêt scientifique et de son évidente importance pratique, mais les chercheurs n'en comprennent qu'imparfaitement les mécanismes. De surcroît, toutes les applications ne requièrent pas le même degré de précision du modèle. Par exemple, au cinéma, les objets doivent seulement donner l'illusion de la réalité ; peu importe que les algorithmes utilisés pour obtenir cet aspect correspondent ou non aux phénomènes physiques réels. En revanche, dans certaines applications scientifiques et techniques, l'exactitude physique est capitale. Ainsi, le modèle de peau que nous avons présenté illustre les compromis à réaliser et leurs contraintes : il convient pour de nombreuses applications, mais il ne tient pas compte des follicules pileux, des pores et des glandes sébacées, de sorte qu'il intéresse peu les dermatologues ou les biologistes.

La création de modèles de matériaux fondés sur les lois physiques et l'élucidation de leur vieillissement sont des chantiers importants en infographie. Les spécialistes cherchent une gamme plus variée de modèles de matériaux et de mécanismes qui modifient leur apparence. Le projet à long terme est la création des palettes de matériaux qu'un large public pourrait utiliser, de la même manière qu'il a aujourd'hui accès aux bibliothèques d'images. À mesure que les physiciens percent les mystères de la structure des matériaux, de nouveaux modèles informatiques apparaîtront, et les applications techniques et artistiques fleuriront. Dans la conception automobile, on pourra ainsi étudier de nombreux revêtements en les appliquant à

Différents niveaux de détail

Pour créer une seule image, les systèmes infographiques doivent parfois traiter des millions de formes géométriques et calculer des millions de fonctions de réflectance. L'utilisation de modèles de matériaux doit se faire astucieusement, sans quoi le nombre de calculs est rédhibitoire. Par exemple, on peut calculer la réflectance, ou en chercher des valeurs approchées, lors d'une phase préparatoire, et garder les résultats en mémoire pour le calcul du rendu proprement dit.



Le meilleur modèle d'une surface, ici celle d'un coussin, dépend du niveau de détail nécessaire.

sera représentée par de fines variations de l'ombrage et par l'ajout éventuel d'ombres portées. Pour des prises de vues lointaines, une description par des microfacettes est suffisante.

La détermination automatique des représentations adéquates des surfaces et des matériaux selon la distance de la caméra est un domaine de recherche actif en infographie. Comment obtenir un programme informatique qui trouve automatiquement le bon niveau de détail ? Aujourd'hui, ces scènes où l'on peut se déplacer à différentes échelles sont très complexes : elles contiennent des dizaines de millions de surfaces, de sorte que, pour l'efficacité du calcul, les approximations sont cruciales.

Une autre technique consiste à introduire une hiérarchie d'échelles et à utiliser la bonne échelle selon les circonstances. Lorsqu'une caméra s'approche d'un objet, les détails à sa surface doivent être modélisés correctement. Lorsque la caméra recule, les détails les plus fins deviennent inutiles. Par exemple, une surface rugueuse est habituellement représentée par un champ de hauteur. Pour les vues proches, ces irrégularités sont effectivement représentées par des déplacements de la surface. Pour des vues à des distances intermédiaires, seule une moyenne de la surface sera utile, et la rugosité

des voitures virtuelles, afin de connaître la structure, l'apparence et les performances des revêtements sur la durée de vie du véhicule. Les architectes et les conservateurs simuleront la durabilité à long terme des matériaux, et ils étudieront l'efficacité des différentes

méthodes de préservation. Enfin, les modèles informatiques de matériaux aideront même les stylistes à créer des apparences entièrement nouvelles, qui ne se contenteront plus d'imiter la nature, mais embelliront le monde où nous vivons.

Julie DORSEY travaille au Laboratoire d'informatique de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT). Pat HANRAHAN enseigne au département d'informatique et de génie électrique de l'Université de Stanford.

Pat HANRAHAN et Wolfgang KRUEGER, *Reflection from Layered Surfaces Due to Subsurface Scattering*, in *Proceedings of SIGGRAPH 93*, ACM, 1993.

Julie DORSEY et Pat HANRAHAN, *Modeling and Rendering of Metallic Patinas*, in *Proceedings of SIGGRAPH 96*, ACM, 1996. *Texturing and Modeling*, deuxième édition, sous la direction de D.S. Ebert et al., Morgan Kaufmann Publishers, 1998.

Julie DORSEY, Alan EDELMAN, Henrik JENSEN, Justin LEGAKIS et Hans PEDERSEN, *Modeling and Rendering of Weathered Stone*, in *Proceedings of SIGGRAPH 99*, ACM, 1999.

L'arbre du vivant : un buisson foisonnant

FORD DOOLITTLE

Depuis une dizaine d'années, les biologistes étudient l'apparition des formes de vie et cherchent un arbre généalogique des espèces vivantes.

Ayant exploré les racines de cet arbre, ils découvrent que les divers gènes racontent des histoires évolutives différentes.

Il y a plus d'un siècle, Charles Darwin supposa que les nombreuses espèces vivantes descendaient d'espèces moins nombreuses, qui descendaient elles-mêmes d'espèces encore moins nombreuses, et ainsi de suite jusqu'au moment où la vie est apparue sur la Terre. Les relations de parenté semblaient se représenter par un arbre généalogique des espèces : l'arbre du vivant.

Cette idée, longtemps controversée, est largement admise depuis dix ans, et la plupart des biologistes considèrent que l'on connaît bien les grandes lignes de l'arbre du vivant, construit à partir d'un ancêtre commun, la première cellule, qui apparut il y a 3,5 à 3,8 milliards d'années.

Aujourd'hui, à la surprise générale, de nouvelles découvertes montrent que les racines de l'arbre ne sont pas telles qu'on croyait. Il y a plus de richesse biologique à la base de l'arbre que ne le laissait supposer la simplicité des micro-organismes.

La construction de l'arbre

Il y a 35 ans, les biologistes manquaient de données pour construire l'arbre du vivant. Depuis Aristote, ils ne déterminaient le degré de parenté entre espèces qu'en comparant leur anatomie et leur physiologie. Cette méthode était relativement efficace pour les organismes complexes. Par exemple, elle a montré que les hominidés avaient un ancêtre commun avec les grands singes, qui avait lui-même un ancêtre com-

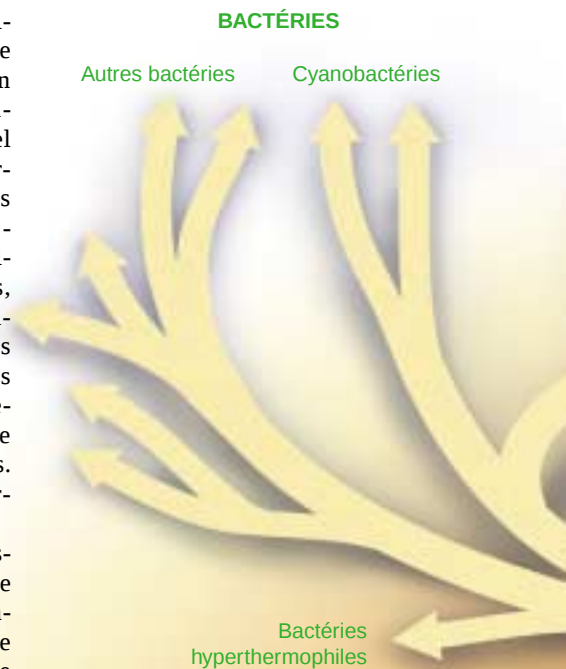
mun avec les autres singes, qui avait lui-même un ancêtre commun avec les prosimiens, etc.

Cependant, cette méthode n'était pas applicable aux micro-organismes unicellulaires. Les biologistes étaient d'autant plus contrariés que les micro-organismes avaient été les seuls habitants de la Terre pendant la première moitié, sinon les deux tiers, de son histoire. Comment les micro-organismes avaient-ils évolué? Dans quel ordre les structures internes et les particularités métaboliques des cellules étaient-elles apparues? Entre l'apparition du premier organisme unicellulaire et celle des champignons, des plantes ou des animaux pluricellulaires, les cellules sont devenues plus grosses et plus complexes : elles ont acquis un noyau et un cytosquelette (une structure interne), ainsi que la faculté d'absorber d'autres cellules. Quand ces innovations sont-elles survenues?

Au milieu des années 1960, à l'Institut de technologie de Californie, Emile Zuckerkandl et Linus Pauling inventèrent une méthode révolutionnaire pour établir les liens de parenté entre les espèces de micro-organismes : au lieu d'examiner l'anatomie ou la physiologie, ils proposèrent de comparer l'ordre des sous-unités qui constituent les gènes ou les protéines.

Cette méthode de «phylogénie moléculaire» s'est rapidement imposée. Un gène, c'est-à-dire un segment d'ADN composé d'une succession de nucléotides, code une protéine, c'est-

à-dire une molécule composée d'une succession d'acides aminés. Toutefois, les gènes mutent régulièrement : ils subissent des modifications de leur séquence qui changent parfois la protéine codée. Les mutations anodines



1. L'ARBRE DU VIVANT qui était admis naguère partait d'un ancêtre commun, une petite cellule sans noyau qui aurait engendré deux groupes procaryotes (sans noyau) : les bactéries et les archéobactéries. Ces dernières auraient elles-mêmes engendré les eucaryotes (dotés d'un noyau et d'une structure complexe). Puis les eucaryotes auraient absorbé des bactéries productrices d'énergie, qui seraient devenues des mitochondries ou des chloroplastes (chez les plantes).