



5. DES SUBTILITÉS VISUELLES

demandant une grande puissance de calcul peuvent être nécessaires pour un rendu réaliste. La lumière qui traverse une surface telle que la peau est diffusée, et l'éclaire de l'intérieur, créant un effet translucide. Un algorithme reproduit cet effet en propageant des rayons lumineux et en suivant leurs chemins, d'après les propriétés matérielles assignées à l'objet 3D. Les peintres de la Renaissance répondaient au même défi du réalisme avec la technique du glacis : ils appliquaient des couches de pigments translucides pour capter et diffuser la lumière.

cette architecture ne sera pas, comme prévu, un produit grand public. Au lieu de cela, le matériel sera une plateforme de développement logiciel. *Intel* et d'autres concepteurs l'exploiteront pour explorer le potentiel des applications multicœur. C'est une étape classique du développement de l'informatique graphique : les souhaits des consommateurs entraînent la mise au point de matériels plus performants, et ce développement fait à son tour progresser les applications logicielles, tel le lancer de rayons en temps réel, qui peuvent être implantées dans les nouvelles architectures matérielles.

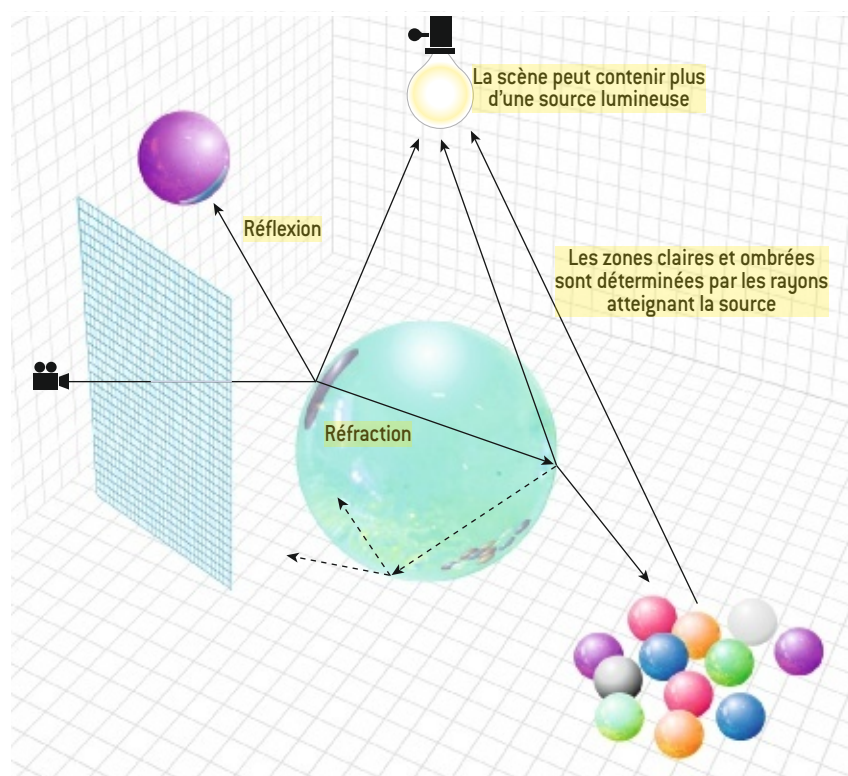
La roue de la réincarnation

Le passage de processeurs graphiques à fonction fixe aux processeurs programmables, et maintenant aux architectures aux fonctions fixes réduites, est le signe d'une évolution que Todd Myer et Ivan Sutherland, de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), ont nommée, en 1968, la « roue de la réincarnation » : on transfère une fonctionnalité de l'unité centrale à un matériel spécialisé susceptible d'améliorer les performances, après quoi ce périphérique évolue à son tour pour devenir de plus en plus gourmand en puissance de calcul. Les deux chercheurs écrivaient ainsi : « Nous avons tenté [de créer un processeur graphique] en partant d'un dispositif simple et en ajoutant des commandes et des caractéristiques dont nous sentions qu'elles renforceraient la puissance de la machine. Progressivement, le processeur est devenu plus complexe. Cela ne nous perturbait pas vraiment puisque, après tout, l'infographie

elle-même est complexe. Finalement, le processeur graphique en est arrivé à ressembler à un ordinateur à part entière... »

Pour échapper à ce cycle de la réincarnation, T. Myer et I. Sutherland suggéraient que si une architecture a besoin d'augmenter sa puissance de calcul, on devrait l'ajouter au cœur du système, plutôt que de créer des unités matérielles spécialisées. C'est en un sens ce à quoi nous assistons avec l'émergence de processeurs multiples, de cœurs multiples au sein des processeurs, et d'architectures adaptées qui, de plus en plus, prennent en charge un traitement en parallèle.

Où en sommes-nous donc ? Le matériel d'informatique graphique actuel est capable de traiter des dizaines de millions de rayons par seconde. Pour impressionnante qu'elle soit, la performance est encore loin de ce qu'exige un jeu vidéo moderne. Un affichage à 60 images par seconde en haute résolution, soit $1\,920 \times 1\,080$ pixels et 16 rayons par pixel pour tous les effets



6. DANS LE LANCER DE RAYONS, l'algorithme lance, à travers chaque pixel de l'image, un rayon lumineux depuis le point de vue de l'observateur [la caméra] vers la vue 3D, à l'inverse du cheminement normal des rayons lumineux. Le point d'intersection du rayon avec une unité géométrique de la scène définit l'objet concerné par le pixel traversé par ce rayon. Un avantage important du lancer de rayons par rapport à la rasterisation est sa capacité à représenter la réflexion et la réfraction. Pour cela, des rayons sont lancés depuis les points d'intersection et on suit leur trajectoire dans le reste de la scène 3D. Ces rayons peuvent être lancés en direction des sources de lumière pour déterminer la façon dont l'objet est éclairé. Pour une vue 3D très détaillée, des millions de rayons peuvent être nécessaires.

de lumière, nécessite deux milliards de rayons par seconde ($60 \times 1\,920 \times 1\,080 \times 16$), soit approximativement 100 fois plus que ce dont le matériel actuel est capable.

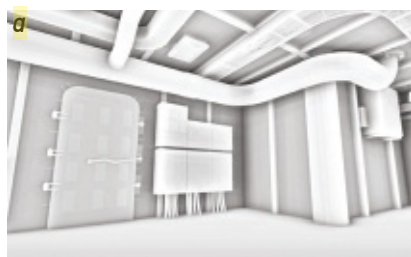
Pour relever ce défi, on peut augmenter la capacité de calcul du matériel. L'un des gros avantages du lancer de rayons est d'être un algorithme hautement parallèle, dans lequel chaque rayon peut être tracé indépendamment. Cela permet d'exploiter le fait que les processeurs graphiques peuvent travailler en parallèle ; là où 100 processeurs en parallèle ne parviennent pas à traiter un grand nombre de rayons assez vite, 1 000 en seront peut-être capables.

Calculs parallèles

NVIDIA, AMD/ATI et Intel parient tous sur le calcul parallèle. Les derniers processeurs graphiques en date contiennent des centaines d'unités de calcul, chacune étant capable de tracer des rayons. L'architecture *Larrabee* d'Intel utilise une stratégie hybride dans laquelle de multiples processeurs dérivés du x86 utilisent un traitement vectoriel pour tracer simultanément des lots de rayons. Cette approche est difficile à programmer, et l'on ne sait pas encore si le lancer de rayons peut tirer parti de tout le potentiel du matériel, mais des travaux prometteurs ont été réalisés sur les processeurs centraux actuels.

Ne sous-estimons pas néanmoins le défi que cela représente. D'après la loi de Moore, qui prédit les progrès de puissance des ordinateurs depuis 40 ans, les ordinateurs doublent leurs performances tous les 18 mois. Mais il faudra environ dix ans avant que les machines grand public soient capables de tracer les quelques milliards de rayons nécessaires pour donner un rendu réaliste aux configurations de jeux actuellement disponibles. Et dans dix ans, les exigences pour les jeux et le graphisme en temps réel en général pourraient avoir changé, appelant peut-être des résolutions plus grandes ou de nouveaux algorithmes.

Les sceptiques pourront soutenir, non sans raison, que le lancer de rayons en temps réel est une chimère qui restera à jamais hors de notre portée, les processeurs restant toujours trop lents. Et même si le matériel devient suffisamment rapide pour gérer 16 rayons par pixel dans une image à résolution maximale, cela ne suffira pas forcément pour obtenir tous les effets de lumière nécessaires à un rendu



7. DE NOMBREUX EFFETS DE RENDU de scènes 3D nécessitent de procéder à un affichage en plusieurs passes, les informations de chaque passe étant combinées pour produire l'image finale. Un algorithme spécialisé, qui détermine l'information sur les ombres, donne une vision de la profondeur de la scène (a). Une deuxième passe donne la couleur diffuse sans les ombres (b). Les deux images sont combinées (c) et complétées par des informations sur l'éclairage telles que l'aspect brillant (la spécularité, d), ce qui améliore le réalisme.

réaliste. Sur cette base, on tend de plus en plus, comme nous l'avons déjà signalé, à une approche hybride combinant rasterisation et lancer de rayons.

Une telle association n'est pas une idée neuve en infographie. L'approche de base utilise la rasterisation pour décider quels polygones peuvent être vus sur l'écran, et se sert ensuite du lancer de rayons pour calculer l'éclairement. On peut mettre en œuvre cette méthode avec les processeurs graphiques actuels, en employant sélectivement le lancer de rayons pour ajouter réflexions et réfractions aux endroits stratégiques. Sans aucun doute, les générations à venir de l'infographie en temps réel pour les jeux adopteront cette approche aussi longtemps que le lancer de rayons pur et dur restera trop gourmand en calcul pour le matériel disponible.

Un avenir hybride

Pour créer ses films 3D, Pixar utilise une technique hybride reposant sur l'algorithme REYES (*Render Everything You Ever Saw*, faites le rendu de tout ce que vous avez vu), une forme avancée de rasterisation. Cet algorithme produit des micropolygones : la géométrie de la scène est alors une mosaïque de triangles ou de quadrilatères de la taille d'un pixel. Des « cartes de déplacements » reposant sur cette mosaïque de micropolygones permettent de créer des effets géométriques complexes. Voisines des cartes de rugosité évoquées précédemment, elles reconstruisent des éléments géométriques localisés à la surface des objets, plutôt que de donner une impression de relief.

Puissante pour créer des détails tels que les pores de la peau humaine, l'approche par micropolygones peut produire une géométrie sensiblement plus complexe que ce que les algorithmes de lancer de rayons actuels sont capables de traiter. Si les jeux devaient utiliser ce type de rendu, la qualité visuelle pourrait être comparable à celle du film *Toy Story*.

Cependant, le rendu par micropolygones ne parvient pas à simuler les effets de lumière qui limitent la rasterisation. Pour remédier à cet inconvénient, les studios Pixar ont couplé le lancer de rayons au rendu par micropolygones. Le temps de calcul devient alors très important. Mais, contrairement au cas des jeux vidéo, exigeant un affichage en temps réel de