

# Projet de recherche

Frédo Durand

<http://gfx.lcs.mit.edu/~fredo/>

Ma recherche porte sur les algorithmes et méthodes numériques pour la création d'images. Ce domaine a récemment connu des succès impressionnants. Le cinéma présente des images synthétiques d'un réalisme à couper le souffle et le matériel grand public permet l'affichage à une vitesse vertigineuse des mondes virtuels des jeux vidéo. Cependant, deux défis majeurs demeurent : la complexité et la richesse des scènes tridimensionnelles croissent bien plus vite que la puissance du matériel et la création d'images de qualité est toujours un long et fastidieux travail qui requiert des artistes de talent. Mon but est de créer des outils appropriés pour la synthèse efficace d'images percutantes et pertinentes.

Mes contributions illustrent ma méthodologie. Je partage mes travaux entre la recherche théorique où la quête de compréhension domine et le développement d'outils pratiques. La synthèse d'images doit s'appuyer sur deux fondements primordiaux : de solides bases mathématiques et algorithmiques d'une part et des aspects perceptifs alliés à une bonne compréhension des besoins de l'utilisateur d'autre part. Mes travaux de doctorat ont porté sur la synthèse d'images réalistes et sur le rendu temps-réel, à travers une meilleure compréhension des fondements géométriques en *visibilité*. Alors que la visibilité s'est traditionnellement intéressée au calcul de la portion de la scène visible depuis un point, les algorithmes modernes demandent le traitement de requêtes plus globales, comme la visibilité mutuelle de paires d'objets ou les limites d'ombre et de pénombre. J'ai été le premier à développer un cadre théorique qui permet d'exprimer toutes les propriétés 3D d'une scène dans une structure de données appelée le *Complexe de Visibilité 3D* [6,12]. Cela m'a permis de développer de nouveaux outils pratiques qui ont pu répondre à des problèmes non résolus comme les requêtes de visibilité entre paires d'objets [5] ou par rapport à une région de l'espace [4]. Lors de mon post-doc, j'ai ajouté à ma recherche des composantes en perception et en interaction, à travers des contributions en reproduction de ton [11,23], rendu et édition à base d'images [2,24] et rendu non-photoréaliste [9,10].

Ma recherche est en grande partie motivée par une étude multidisciplinaire que j'ai entreprise sur la création d'images. Alors que le saint Graal du photoréalisme semble à portée, l'apparition de nouvelles approches comme le rendu à base d'images ou le rendu non-photoréaliste pose la question des buts fondamentaux de la synthèse d'images. J'ai engagé une réflexion sur le sujet en m'appuyant sur la littérature de perception et des arts visuels, notamment à travers un nouveau cours multidisciplinaire que j'ai enseigné au MIT et un cours que je donnerai à la conférence SIGGRAPH. Dans un article récent, je replace le rendu dans le contexte plus large de la création d'images et j'en montre les aspects complexes souvent négligés. En particulier, les interactions et les correspondances complexes entre l'espace-objet tridimensionnel et l'espace bidimensionnel de l'image ou la nature d'optimisation du processus — l'obtention de la meilleure image étant donné un ensemble de contraintes — sont des aspects cruciaux qui soulèvent des défis de recherche passionnants. Dans ce qui suit, je décris les thèmes de recherche que je souhaite explorer, en me concentrant sur quatre sous-domaines : le rendu temps-réel, le rendu réaliste, l'édition à base d'images et le style pictural. J'expose mes buts et approches à long terme, et j'inclus pour chaque domaine plusieurs étapes concrètes qui peuvent donner lieu à des projets de doctorat.

**Rendu temps-réel** : La croissance sans fin de la taille des bases de données 3D rend l'accélération du rendu plus importante que jamais. Deux approches complémentaires s'imposent : l'élimination rapide de parties de la scène qui sont complètement cachées et la

simplification de modèles. De plus, il est important de s'attaquer à l'intégration de ces techniques et au développement de systèmes véritablement temps-réel (avec un budget de temps). Ma méthode pour l'élimination de parties complètement cachées a été la première à traiter, pour une région de l'espace, l'occultation cumulée due à des obstacles multiples [4]. La simplification d'un modèle 3D vers un maillage qui comporte beaucoup moins de primitives s'est principalement appuyée sur la décimation gloutonne de triangles, ce qui peut être vu comme une descente de gradient dans l'espace des maillages. Les solutions actuelles sont très efficaces pour simplifier des variétés connexes en une représentation qui contient toujours un nombre important de triangles (plusieurs centaines). Au contraire, la *simplification extrême* vise à produire des modèles bien plus compacts pour des entrées plus générales. Cela pose des problèmes passionnants, comme la définition de métriques appropriées ou le traitement des minima locaux dans l'espace des maillages. Je propose d'attaquer la simplification extrême par deux approches : l'utilisation de primitives différentes et de nouvelles stratégies d'optimisation. Nous avons récemment introduit une nouvelle représentation appelée nuage de posters (*billboard clouds*) qui se trouve entre la simplification géométrique et le rendu à base d'images. La construction optimale de ces nuages de posters est NP-dure, ce qui ouvre de nombreuses voies de recherche pour développer des heuristiques efficaces. Je souhaite également développer des méthodes qui s'appuient sur les nouvelles surfaces courbes polynomiales disponibles sur le matériel graphique moderne. Dans le but d'atteindre un véritable temps-réel, je veux créer des systèmes qui adaptent dynamiquement les algorithmes et représentations en fonction de la scène et du matériel graphique.

**Rendu réaliste :** Le rendu réaliste s'attaque à trois défis : des représentations plus riches, des algorithmes plus efficaces et le problème souvent négligé du contrôle de ces modèles et algorithmes. À la croisée de ces thèmes, un algorithme de rendu réaliste ne devrait dépendre que d'un seul paramètre qui contrôle le compromis entre temps et qualité. Cela requiert une meilleure compréhension des aspects numériques et perceptifs de la création d'images.

La création d'images peut être vue comme un problème d'optimisation, qu'il soit résolu par l'ordinateur ou par l'utilisateur [9]. Cela rend fondamental l'étude des espaces de paramètres. Les espaces de paramètres des algorithmes et représentations de synthèse d'images sont le plus souvent complexes et hautement non-linéaires. Je m'attelle à les rendre significatifs, uniformes et prévisibles. Cela implique des outils perceptifs comme les modèles de prédiction de différence visuelle (VDP), ainsi que des techniques mathématiques comme les jacobiens ou les plongements linéaires locaux. Je travaille en ce moment sur les paramètres des modèles de matériaux et de réflectance.

**Édition à base d'images et techniques picturales :** Le rendu et la modélisation à base d'images se trouvent à l'interface entre vision et synthèse d'images. Ils s'appuient sur des représentations échantillonnées, des images par exemple, par opposition à l'approche purement géométrique de la synthèse d'images classique. Les thèmes importants sont l'acquisition de modèles 3D à partir de photos et le développement, l'acquisition et le rendu de représentations efficaces. L'utilisation d'images permet des résultats photoréalistes avec peu de travail manuel, mais pose le problème aigu du contrôle et de la modification de telles représentations. Malheureusement, peu de travaux ont été dédiés à l'édition de ces modèles à base d'images. Nos travaux récents ont étendu les techniques d'édition de photos à une représentation où chaque pixel stocke une information de distance à la camera [2]. Nous avons montré que l'on peut construire une telle représentation à partir d'une seule photo grâce à l'ensemble d'outils interactifs que nous avons développés. Cela introduit simplicité et flexibilité dans la modélisation et la modification de scènes d'une richesse sans précédent. De manière plus générale, de nombreuses applications comme le design, l'architecture ou les effets spéciaux réclament la possibilité de manipuler de manière intuitive et interactive des représentations aussi riches. Parmi la pléthore de directions futures que ces travaux

suggèrent, je souhaite plus particulièrement poursuivre trois buts : l'extension à des images multiples en entrée, au domaine temporel et aux dimensions supérieures. Les défis scientifiques incluent la registration spatiale et/ou temporelle des opérations d'édition, l'adaptation des techniques de flot optique dans un contexte interactif et le développement d'outils de haut niveau qui restent contrôlables. L'édition à base d'images requiert aussi des algorithmes de rendu rapide qui puissent travailler en temps-réel sans pré-calcul car les données sont modifiées en permanence.

Les techniques picturales sont liées, puisqu'elles modifient l'image afin de compenser les limitations du médium telles que l'absence de relief ou le contraste limité ou bien visent à obtenir des images plus percutantes, par exemple en focalisant le regard du spectateur. Le problème du contraste limité a été introduit il y a dix ans seulement en synthèse d'images, à travers la reproduction de ton, un processus qui prend comme entrée une image avec une large plage d'intensités et qui en réduit le contraste tout en préservant l'impression perceptive. J'ai par exemple développé un modèle informatique et une technique de rendu pour simuler l'adaptation visuelle, les effets d'éblouissement et d'adaptation chromatique [11,23]. J'ai aussi récemment développé un filtre non-linéaire qui permet de gérer le contraste dans les situations photographiques les plus difficiles. Cependant, les autres techniques picturales demeurent largement inexplorées, bien qu'elles soient des aspects cruciaux de la création d'images. Je pense fermement qu'elles s'avéreront l'une des clefs de la révolution de la photographie numérique. Cela demande le développement d'opérateurs et de techniques interactives qui s'appuient sur les phénomènes perceptifs. Le projet qui me tient spécialement à cœur est le développement de techniques de photographie numérique qui découplent le processus d'enregistrement d'une phase picturale et créative. L'idée clef est de varier les paramètres de prise de vue tandis que l'on enregistre l'image (en particulier polarisation, distance focale, diaphragme) et de développer des techniques de reconstruction qui permettent un contrôle a posteriori d'effets picturaux tels que la profondeur de champ, le flou de mouvement ou la gestion du contraste.

**Rendu non-photoréaliste et style :** Le domaine très récent du rendu non-photoréaliste vise à la création d'images qui s'inspirent de media traditionnels comme le dessin au crayon ou la peinture à l'huile. Cela est motivé par l'efficacité de ces techniques pour représenter de l'information, mais aussi par leurs qualités esthétiques et expressives. Ainsi que je l'ai esquissé dans mon étude sur la création d'images [9], je crois fermement que le domaine a besoin d'un cadre théorique solide qui prenne en compte les acquis de la perception et des arts visuels, afin d'offrir une organisation plus claire et de permettre une meilleure intégration horizontale et verticale de ces techniques. Je me concentre sur le développement d'un tel cadre, à la fois sur le plan théorique et sur le plan du logiciel. C'est une étape fondamentale vers un but à plus long terme : l'étude, la paramétrisation et l'acquisition de la notion ineffable de style.