
Projet iMAGIS

Modèles, Algorithmes, Géométrie pour le Graphique et l'Image de Synthèse

Localisation : *Grenoble*

Mots-clés : animation par positions-clef, déformation, déformation élastique, déformation géométrique, déformation non linéaire, géométrie algorithmique, imagerie médicale, images de synthèse, intégration de logiciel, logiciel d'animation, logiciel de rendu, maillage, mécanique des solides, modéleur, plaquage de texture, réutilisation de logiciel, rendu réaliste, simulation de l'éclairage, simulation de système mécanique, simulation dynamique, simulation interactive, surface déformable, surface implicite, système articulé rigide, systèmes de particules, temps interactif.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Claude Puech, Professeur, université Joseph Fourier

Secrétaire

Rosine Ah Tchou, vacataire

Personnel Inria

George Drettakis, CR2

Personnel des établissements partenaires (UMR Gravir-Imag)

Jean-Dominique Gascuel, CR1 CNRS

François Sillion, CR1 CNRS

Marie-Paule Gascuel, MC, Institut National Polytechnique de Grenoble

Chercheur invité

Andrew Hanson, Prof. University of Indiana, É.U., 3/08/96

Chercheurs post-doctorants

Agata Opalach, boursier MAE

Chercheurs doctorants

Frédéric Cazals, boursier MENESR
Mathieu Desbrun, boursier MENESR
Frédéric Durand, ENS
François Faure, AMN
Nicolas Holzschuch, AMN
Jean-Christophe Lombardo, boursier MENESR
Céline Loscos, boursier MENESR
Rachel Orti, boursier MENESR
Stéphane Rivière, AMX
Nicolas Tsingos, boursier MENESR
Cyril Soler, boursier MENESR
Jean-Paul Smets-Solanes, ENS

2 Présentation du projet

Le projet iMAGIS est un projet commun entre le CNRS, l'Institut National Polytechnique de Grenoble, l'université Joseph Fourier et l'Inria, localisé dans les locaux du laboratoire GRAVIR de la fédération Imag.

Les recherches menées dans le projet iMAGIS concernent la simulation de phénomènes complexes. On assiste en effet au développement de systèmes graphiques qui permettent de réaliser de véritables “maquettes informatiques”, dont la complexité approche celle des problèmes réels. Les utilisateurs de ces “prototypes virtuels”, qu'ils soient scientifiques, ingénieurs ou architectes, réclament des environnements interactifs dans lesquels ils puissent concevoir des modèles réalistes et effectuer des simulations efficaces. Ces deux aspirations contradictoires ne sont pas conciliables dans les systèmes actuels. Nos recherches visent donc à trouver des compromis acceptables grâce à des approches innovatrices. Dans cette optique, le projet tente d'une part de résoudre des problèmes “fondamentaux” et d'autre part de contribuer à des avancées technologiques dans les différents domaines d'applications. Dans la catégorie des problèmes fondamentaux on peut citer la conception d'algorithmes efficaces, et la création de modèles géométriques ou physiques. Les applications comprennent les études d'impact, les simulateurs, l'imagerie médicale et la visualisation scientifique.

Les principaux thèmes étudiés dans les recherches récentes d'iMAGIS sont la modélisation de la lumière et de son interaction avec les objets, la modélisation de formes géométriques complexes, la modélisation du comportement physique d'objets déformables, et l'étude de problèmes géométriques fondamentaux liés aux notions de visibilité et de cohérence.

Par ailleurs la mise en œuvre des techniques dites “de réalité virtuelle” permettant, pour certaines applications, une meilleure interaction entre l'utilisateur et la maquette numérique sur laquelle il travaille, nous développons notre savoir-faire dans ce domaine. Réalité virtuelle ou augmentée pourraient devenir rapidement un des axes de recherche du projet.

3 Actions de recherche

3.1 Thème “rendu et simulation de l'éclairage”

Participants : Georges Drettakis, Nicolas Holzschuch, Céline Loscos, Claude Puech, François Sillion, Cyril Soler

Mots-clés : images de synthèse, logiciel de rendu, plaquage de texture, rendu réaliste, simulation de l'éclairage, simulation interactive.

La création d'images synthétiques impose de définir et de mettre en œuvre un modèle de “rendu”, qui spécifie de quelle façon les objets visibles doivent apparaître dans l'image. Deux tendances distinctes

se dessinent dans les recherches sur ce sujet, qui sont à première vue antagonistes mais non nécessairement contradictoires. La première vise à permettre un rendu ultra-rapide favorisant l'interactivité, soit en simplifiant les modèles mathématiques, soit en utilisant une stratégie de raffinement progressif ou hiérarchique. La seconde approche concerne la simulation "réaliste" des phénomènes lumineux, qui permet de garantir la validité des images résultantes.

3.1.1 Principales directions étudiées

L'activité d'iMAGIS au sein du thème "rendu" utilise les deux angles d'attaque déjà mentionnés, à savoir d'une part la recherche d'algorithmes de simulation permettant un réalisme accru, et d'autre part l'étude de méthodes adaptées pour une utilisation interactive de la simulation.

Le premier axe de recherche s'intéresse à la définition et à la mise en œuvre de techniques multi-échelles ou progressives pour la simulation de l'éclairage. Le but recherché est de permettre une gradation *continue* entre une image grossière (mais quasi-instantanée) et une image de haute qualité, très coûteuse. Nous avons étudié des solutions à la base d'images, dans lesquelles nous remplaçons la géométrie complexe par des "décors", accélérant ainsi la visualisation de grands volumes de données 3D.

Dans le même esprit, nous nous attaquons au problème de la simulation de l'éclairage pour des scènes (dites "dynamiques") dont on peut déplacer les objets. Nous avons notamment étudié des solutions pour le cas de l'éclairage direct, et l'étude du problème de l'éclairage global, bien plus complexe, est en cours.

Dans la deuxième catégorie, on trouve des travaux sur la définition des mesures d'erreur, le calcul de gradient de la fonction d'éclairage et aussi le calcul du maillage "de discontinuités". L'étude du contrôle de l'erreur dans les algorithmes hiérarchiques de simulation participe également de la recherche d'une qualité optimale pour un effort donné.

3.1.2 Résultats obtenus

3.1.3 Visualisation de données très complexes à base d'images

Participants : François Sillion

Mots-clés : images de synthèse, logiciel de rendu, plaquage de texture, simulation interactive.

Nous avons commencé à étudier des modèles de navigation dans des scènes complexes utilisant une représentation mixte 2D-3D ; pour cela on maintient dynamiquement au cours du déplacement de l'observateur un partitionnement de la scène avec d'une part un ensemble d'objets 3D représentant le champ proche, d'autre part un ensemble d'images, ou "décors", représentant le champ lointain. Les décors peuvent être visualisés très rapidement en utilisant des textures, et l'on obtient ainsi un affichage rapide prenant néanmoins en compte l'ensemble de la scène [513].

Dans la Fig. 3.1.3(a), nous montrons l'image totale, calculée en utilisant toute la base de données. Par contre, Fig. 3.1.3(b) montre le décor seul, et Fig. 3.1.3(c) l'image composée du décor et la partie de la base de donnée "proche".

Les résultats obtenus montrent que l'on peut atteindre des facteurs d'accélération très importants, car le coût d'affichage d'un décor est indépendant de la complexité visuelle de l'image sous-jacente. De nombreuses applications sont envisagées pour ce procédé, allant de la visualisation de modèles CAO complexes en réalité virtuelle à l'assistance à la navigation urbaine.

Nous travaillons maintenant à l'extension de cette technique prometteuse, en recherchant notamment une meilleure continuité entre les décors au fur et à mesure du déplacement de l'observateur.

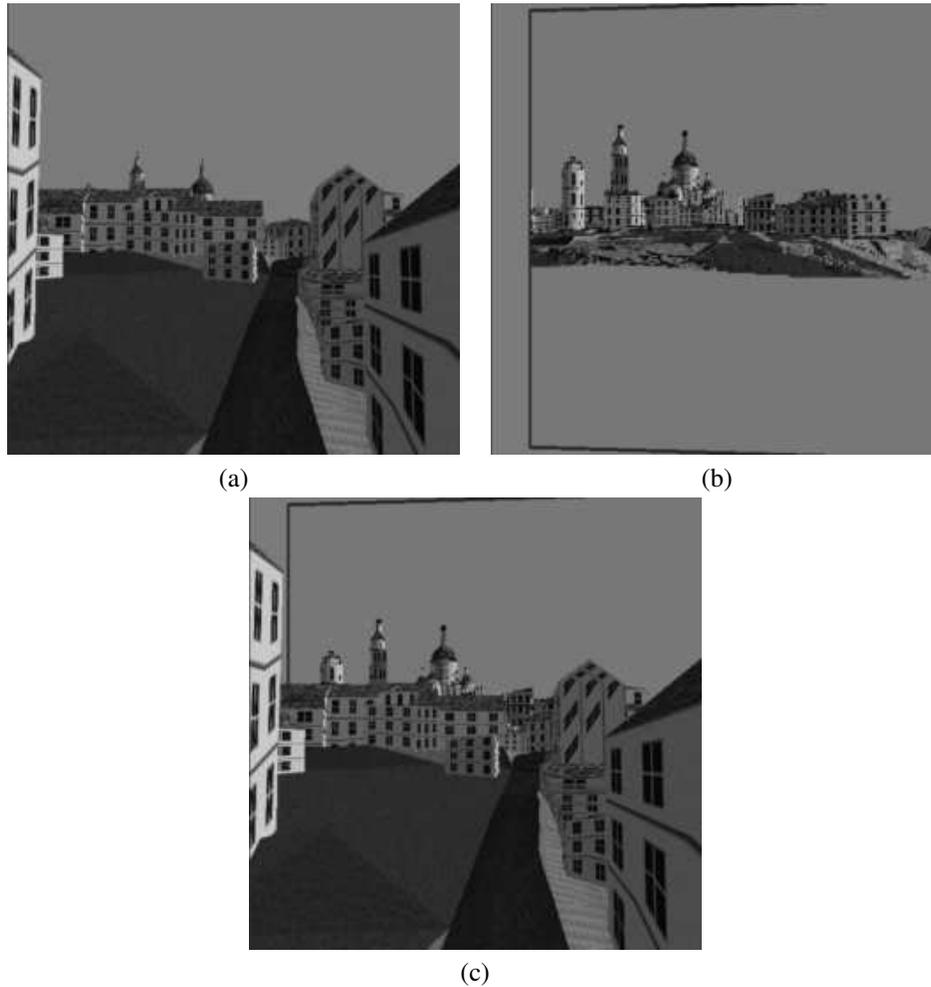


Figure 1: (a) image totale (b) décors seul (c) décors et champ proche

3.1.4 Éclairage pour les environnements dynamiques

Participants : George Drettakis, Céline Loscos, Claude Puech

Mots-clés : maillage, simulation interactive, rendu réaliste, simulation de l'éclairage, temps interactif, logiciel de rendu.

Le maillage de discontinuité et les “projections inverses” sont des structures qui décrivent d’une façon exacte la visibilité par rapport à une source étendue. Si nous déplaçons un objet dans une telle scène, la région de l’espace modifié où les ombres et l’éclairage doivent être recalculés est généralement très limitée. Pour identifier cette région, nous avons tiré profit de la cohérence spatiale en utilisant des informations fournies par le maillage, ainsi qu’une structure de données complémentaire qui nous permet d’accéder rapidement aux surfaces de discontinuité modifiées. Cette méthode nous a permis d’accélérer, d’une façon très importante, le temps de calcul nécessaire pour la mise à jour de l’éclairage [516]. Nous avons également amélioré le temps de calcul en observant que les seules modifications de visibilité qui peuvent intervenir sont liées à l’objet qui se déplace, et en tenant compte de ce fait avec des structures de données adaptées. Ce travail a ouvert des voies de recherche sur un suivi efficace des changements de visibilité, ce qui permettra une mise à jour restreinte exclusivement là où ceci est nécessaire [515].

3.1.5 Étude de l'erreur de visibilité pour les calculs d'éclairage

Participants : George Drettakis, François Sillion

Mots-clés : rendu réaliste, simulation de l'éclairage, logiciel de rendu, images de synthèse.

La quantification de l'erreur commise pendant le calcul de radiosité hiérarchique est très importante pour déterminer la précision et la qualité d'une simulation d'éclairage. Nous avons développé un algorithme de radiosité hiérarchique, utilisant la "projection inverse", ce qui permet le calcul exact de visibilité par rapport à une source étendue. Ce nouvel algorithme offre la possibilité d'analyser les sources d'erreur dans ce calcul. Les résultats de cette étude ont montrés que l'erreur de calcul de visibilité est souvent plus importante que l'erreur due à un maillage inadapté. Il a été également démontré que l'utilisation du calcul exact de visibilité avec les projections inverses, ainsi que du maillage de discontinuité, permet un calcul moins coûteux et plus fidèle à la solution exacte que les méthodes précédentes [502].

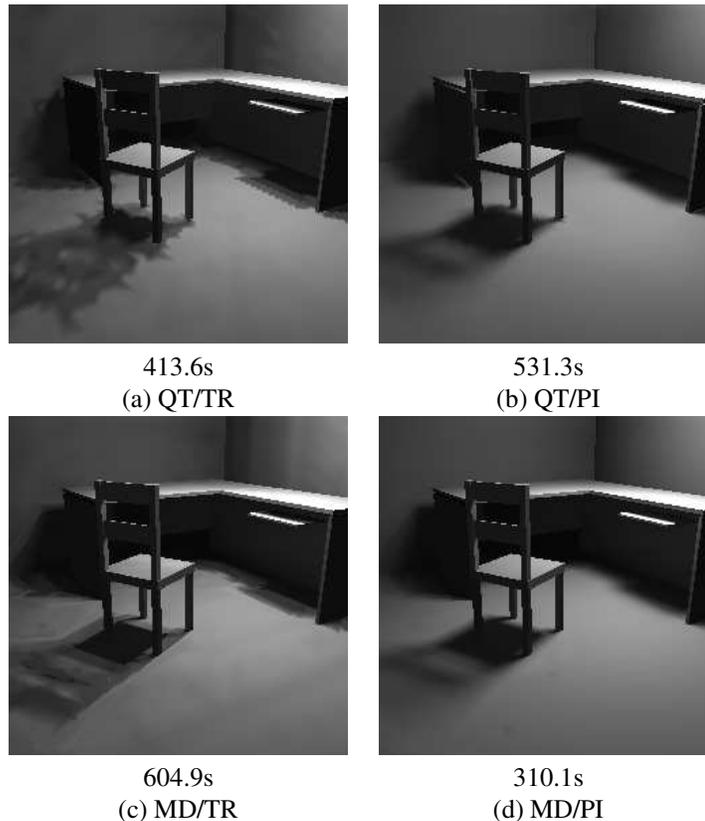


Figure 2: (a) Méthode antérieure (quadtree (QT) et tracé de rayons (RT)) (b) Méthode antérieure avec projections-inverses (PI) pour la visibilité (c) Maillages de discontinuité (MD) et tracé de rayons (d) Nouvelle méthode (maillage et projections-inverses); nous montrons aussi les temps de calcul.

Les résultats de cette approche sont montrés dans la Fig. 3.1.5.

Une autre approche a été également développée, comportant deux volets. Nous avons d'abord étudié empiriquement le comportement de la lumière dans la pénombre, en utilisant le maillage de discontinuité pour des scènes de complexité moyenne. Nous avons proposé deux algorithmes de simplification : d'abord de la taille du maillage utilisé pour la reconstruction de l'éclairage, puis du degré de la fonction d'interpolation utilisé [497]. Ces deux algorithmes donnent des résultats satisfaisants.

3.1.6 Contrôle de la précision du calcul de l'éclairage

Participants : Nicolas Holzschuch, François Sillion, Cyril Soler

Mots-clés : rendu réaliste, simulation de l'éclairage, logiciel de rendu, images de synthèse.

Les techniques hiérarchiques de simulation que nous avons contribué à développer ces dernières années offrent l'intérêt indéniable de permettre une variation quasi continue de la qualité du résultat, et donc d'adapter l'effort consenti pour réaliser une simulation aux moyens disponibles.

Ces techniques souffrent pourtant du manque de moyens de contrôle de la précision des calculs. Or l'évaluation de cette précision est importante non seulement *a posteriori*, pour valider un résultat et mesurer la fiabilité de la simulation, mais aussi pendant le calcul, pour orienter l'algorithme hiérarchique et optimiser l'utilisation des ressources.

Nous avons travaillé sur des estimateurs de bornes d'erreur permettant un encadrement de la fonction de radiosité sur une surface, à partir du calcul des dérivées de cette fonction en un certain nombre de points. En particulier, le calcul simultané de la radiosité, de son gradient et de son Hessien permet d'une part de garantir un encadrement de la fonction sur les mailles de calcul, et d'autre part de limiter la subdivision hiérarchique du maillage dans les zones où la fonction est reconnue convexe [494].

Par ailleurs, nous étudions le comportement de la fonction de visibilité à travers des groupes d'objets (*clusters*), dans le but de fournir là aussi des bornes d'erreur lorsque la visibilité est approximée dans une optique de calcul multi-échelles. Les résultats obtenus en 2D ont permis de valider l'approche, et nous nous tournons actuellement vers les problèmes spécifiques posés par le 3D [512, 500].

3.2 Thème "Animation et modélisation"

Participants : Mathieu Desbrun, François Faure, Jean-Dominique Gascuel, Marie-Paule Gascuel, Jean-Christophe Lombardo, Agata Opalach, Claude Puech, Nicolas Tsingos

Mots-clés : images de synthèse, logiciel d'animation, mod leur, simulation interactive, surface implicite.

Les "modèles générateurs" qui se développent depuis quelques années en animation de synthèse sont particulièrement bien adaptés à l'animation d'objets complexes. Contrairement aux approches descriptives traditionnelles, ils sont capables d'engendrer mouvements et déformations à partir de descriptions physiques simplifiées des objets, de conditions initiales, et de contraintes éventuelles à respecter au cours du mouvement. De plus, ces modèles sont capables de réagir à des stimuli extérieurs (manipulation interactive, collisions ...).

Les travaux du projet iMAGIS dans ce domaine recouvrent les aspects modélisation, simulation et contrôle d'objets articulés ou déformables, rendu visuel et sonore des animations, et applications à la réalité virtuelle.

3.2.1 Simulation et contrôle de structures articulées

Participants : François Faure, Jean-Dominique Gascuel, Marie-Paule Gascuel, Nicolas Tsingos

Mots-clés : animation par positions-clef, contrainte, images de synthèse, intégration de logiciel, logiciel d'animation, mécanique des solides, simulation interactive, système articulé rigide.

La possibilité de simuler efficacement des structures rigides articulées pouvant comporter des boucles fermées, et de traiter leurs interactions avec d'autres objets de la scène, est un problème essentiel dans le domaine de l'animation par modèles physiques. Dans ce cadre nous avons récemment intégré un ensemble d'outils permettant de combiner les techniques d'animation par position clé, de cinématique inverse, de dynamique directe et de dynamique inverse au sein d'une même animation [517]. Un travail de recherche novateur a été réalisé en ce qui concerne le calcul des forces de réaction et de frottement lors de collisions ou de contacts entre solides rigides [498, 504].

Flexible et très complet, l'environnement de simulation qui en résulte (plate-forme "Fabule") est actuellement utilisé dans le cadre de collaborations avec le projet BIP de l'Inria Rhône-Alpes d'une part (simulation du contact au sol pour un robot bipède), et avec le projet SIAMES de l'Irisa d'autre part (étude des forces mises en jeu lors de différents mouvements de marche engendrés cinématiquement).

3.2.2 Systèmes de particules

Participants : Mathieu Desbrun, Marie-Paule Gascuel, Jean-Christophe Lombardo, Claude Puech

Mots-clés : déformation, multiéchelle, simulation interactive, systèmes de particules.

L'animation à l'aide de systèmes de particules est l'une des bases de la simulation de matériaux, ou d'objets, pouvant subir de très grosses déformations, ainsi que des changements de topologie (fractures, fusion) [520]. Voir les exemples de Fig. 3.2.3(a) et (b).

Nous avons en premier lieu développé un système de particules orientées permettant de reconstruire et simuler des objets revenant à leur forme de départ après de petites déformations, mais pouvant également subir des déformations irréversibles, voire des fractures. La méthode est originale et économique, dans la mesure où elle utilise uniquement un échantillonnage de la surface des objets [495].

Nous utilisons d'autre part des systèmes de particules plus conventionnels pour l'animation de substances hautement déformables. En vue de garantir la convergence et la stabilité de ces simulations, nous avons récemment mis au point un nouveau type de système de particules [501], inspiré du modèle SPH (*Smooth Particles Hydrodynamics*) utilisé par exemple en astrophysique. Cette méthode nous permet en particulier de calculer l'intervalle de temps d'intégration optimal pour chacune des particules, en fonction de la vitesse locale de déformation dans la zone où elle se situe.

Nous étudions actuellement l'application de ce modèle à l'animation multi-échelles d'une substance hautement déformable, le système de particules se raffinant automatiquement dans les zones de forte déformation, et se simplifiant automatiquement dans les zones stables (techniques d'éclatement d'une particule, et de fusion d'un groupe de particules dont le mouvement relatif est faible).

3.2.3 Représentation implicite des objets déformables

Participants : Mathieu Desbrun, Marie-Paule Gascuel, Agata Opalach, Jean-Paul Smets, Nicolas Tsingos

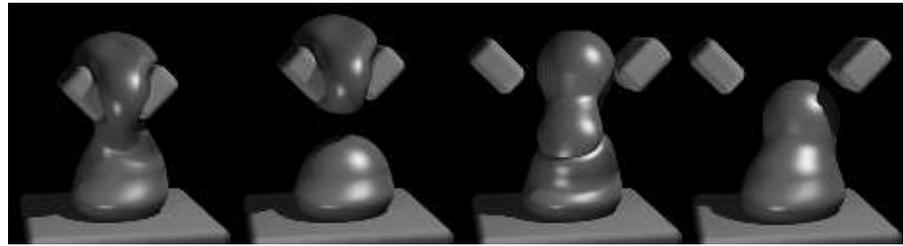
Mots-clés : images de synthèse, logiciel d'animation, modéleur, surface implicite, simulation interactive.

Disposer d'un bon modèle de surface est essentiel pour l'animation de matériaux ou d'objets déformables. En effet, la surface d'un objet intervient pour la détection et le traitement des interactions (collisions, contacts) avec d'autres objets de la scène. De plus, c'est cette surface et elle seule qui sera visualisée lors du rendu d'une animation.

Depuis quelques années, nous nous sommes tournés vers l'utilisation de surfaces implicites, qui offrent le double avantage de réduire le coût des calculs d'intersection (ce qui s'applique aussi bien au lancer de rayons qu'à la détection de collisions), et de pouvoir se combiner avec toute méthode d'animation du "squelette" qui l'engendre. Ainsi, une surface implicite contrôlée par un squelette rigide articulé pourra conduire à l'animation de personnages enrobés de chair déformable, tandis que l'utilisation d'un système de particules pour animer le squelette permettra de synthétiser des substances visqueuses à l'aspect lisse, pouvant changer de topologie (fractures, fusions).

Parmi les résultats ayant donné lieu à une publication récente sur ces thèmes, on peut citer la mise au point d'une technique d'échantillonnage efficace, bien adaptée aux sessions de modélisation ou d'animation interactives [496], ainsi que le développement d'une méthode d'animation de textures plaquées sur une surface implicite, et capables de suivre les déformations de cette dernière [511]. Ces techniques ont été appliquées, en collaboration avec l'Institut de la Communication Parlée (ICP), à la

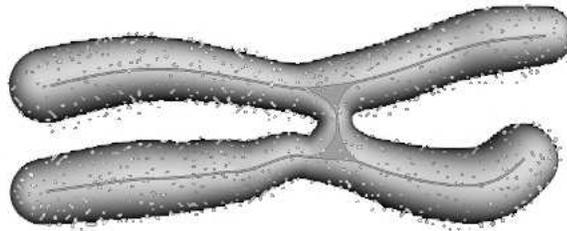
modélisation des déformations de lèvres parlantes [506], capables d'interagir avec d'autres objets de la scène (dents, cigarette, etc.).



(a)



(b)



(c)

Figure 3: (a) Une substance saisie par des pinces, puis relâchée (b) Fusion progressive par compression de deux substances (c) Superposition des points de données d'un chromosome avec la surface implicite reconstruite et le squelette utilisé.

Enfin, nous nous intéressons à la reconstruction semi-automatique des surfaces à animer à partir de points de données 3D non structurés. Dans ce cadre, nous avons élaboré une approche basée sur le calcul du squelette géométrique des données, qui est ensuite simplifié et modifié de manière à pouvoir engendrer une surface implicite lisse [514, 505]. Nous montrons dans la Fig. 3.2.3(c) l'exemple d'un chromosome avec la surface implicite reconstruite et le squelette utilisé. Contrairement aux méthodes de reconstruction que nous avons développées par le passé, cette nouvelle approche a l'avantage de calculer et de maintenir une représentation structurée de l'objet reconstruit, dont le squelette consiste en un graphe de courbes, dont on connaît les points de branchement. Ceci facilite la modification et l'animation ultérieure de la forme.

3.2.4 Simulation du son 3D pour la réalité virtuelle

Participants : Jean-Dominique Gascuel, Nicolas Tsingos

Mots-clés : animation par positions-clef, modèle physique, images de synthèse, intégration de logiciel, logiciel d'animation, simulation interactive, temps interactif.

Nous développons une boîte à outils permettant de faire intervenir des objets virtuels manipulables en temps réel, au sein d'un système de réalité virtuelle. Ces outils seront utilisées dans le cadre du

projet Européen *Platform for Animation and Virtual Reality (PAVR)* ainsi que dans le cadre du contrat TELEMEDIA avec le CNET.

L'interaction 3D s'appuiera sur les mesures fournies par un capteur de position à 6 degrés de liberté. La partie simulation du son, en cours de développement, utilise des algorithmes de spatialisation 3D et de composition d'une ambiance sonore. La spatialisation permet à un auditeur de "localiser à l'oreille" un bruit, et renforce donc considérablement la crédibilité d'une scène virtuelle.

3.3 Thème "Géométrie algorithmique"

Mots-clés : géométrie algorithmique, visibilité.

Participants : Frédéric Cazals, Georges Drettakis, Frédéric Durand, Rachel Orti, Claude Puech, Stéphane Rivière

Les problèmes de proximité et visibilité jouent un rôle fondamental dans de nombreux algorithmes de rendu réaliste et d'animation : calculer une vue depuis un point dans l'espace, trouver les objets intersectés par un rayon lumineux pour le lancer de rayons, détecter les objets voisins pour la gestion des collisions en animation, ou encore déterminer les couples d'objets visibles pour le calcul des facteurs de forme en radiosité. Ces problèmes, de nature algorithmique fondamentale, font l'objet de recherches dans le cadre de leur application aux problèmes sus-cités.

3.3.1 Cohérence spatiale et problèmes de proximité

Participants : Frédéric Cazals, Claude Puech

Un point commun à des applications aussi diverses que réalité virtuelle, systèmes d'information géographique ou encore conception assistée par ordinateur, est la complexité des environnements manipulés et des opérations exécutées. Ainsi, des opérations telles que le calcul d'une vue pour une image de synthèse ou la détection de l'intersection de deux surfaces polyhédriques, lorsqu'elles portent sur un nombre de primitives pouvant atteindre le million, requièrent des structures de données extrêmement performantes.

L'originalité de notre travail a consisté à mettre en œuvre de telles structures de données en tenant compte à la fois de la densité d'occupation de l'espace en éléments primitifs et des différences de taille entre ces éléments. Des analogies avec les algorithmes de tri de type "*bucket sort*" en dimension un nous ont permis de montrer qu'il était possible d'atteindre les mêmes performances que celles de structures de données hiérarchiques récursives en ôtant la récursivité, et étant donc moins dispendieux en termes de taille mémoire requise. Des tests probants ont été réalisés en utilisant ces structures pour un lancer de rayons, et d'autres sont en cours pour le problème de la détection d'intersections entre surfaces polyhédriques.

3.3.2 Structures de données pour la visibilité 2D et applications

Participants : Frédéric Durand, Rachel Orti, Claude Puech, Stéphane Rivière

La méthode de radiosité, qui simule les échanges d'énergie lumineuse entre les objets constituant une scène, exige la connaissance des relations de visibilité entre toutes les paires d'objets. Les méthodes standard, quadratiques, sont peu adaptées d'une part aux scènes très complexes et d'autre part aux environnements dynamiques. Parmi les structures de données permettant de stocker ces relations de visibilité, l'une d'entre elles, le complexe de visibilité, présente plusieurs avantages que nous avons cherché à exploiter.

Une partie de nos travaux a porté sur le complexe lui-même : définition des transformations duales les plus appropriées à la construction du complexe, à son balayage et sa mise à jour dans un environnement dynamique, adaptation au cas de scènes polygonales, etc. En utilisant le complexe dans une phase de prétraitement, plusieurs calculs ont été accélérés et des algorithmes dont l'efficacité dépend de la taille

des résultats ont été conçus. L'implémentation de ces algorithmes a démontré les habituels problèmes de dégénérescence et d'imprécision des calculs numériques lors de l'exécution des programmes. Un travail de recherche a été mené qui a permis de résoudre la plupart de ces problèmes de robustesse [510].

Nous avons par ailleurs développé et implémenté un algorithme qui utilise le complexe pour calculer le maillage de discontinuité (les limites d'ombre et de pénombre), et pour calculer les facteurs de formes pour une scène 2D statique [507]. Seuls les facteurs de forme entre objets mutuellement visibles sont calculés, et de plus ils sont calculés de manière analytique et efficace. Nous avons également conçu un algorithme qui permet la détection et la mise à jour des seuls facteurs de forme modifiés lors du mouvement d'un objet [508, 499]. Ce travail constitue une première étape vers un calcul de radiosité efficace en environnement dynamique.

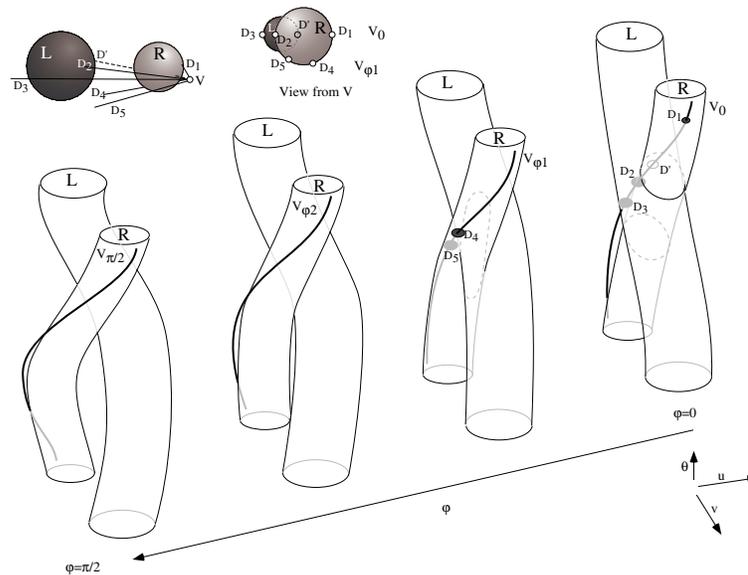


Figure 4: Une vue autour d'un point interprétée dans le complexe de visibilité 3D. Les contours de la vue correspondent aux intersections de la surface décrite dans l'espace dual 4D par l'ensemble des segments passant par le point de vue V et les 3-faces du complexe.

3.3.3 Visibilité 3D

Participants : Georges Drettakis, Frédéric Durand, Claude Puech

Pour résoudre des problèmes de visibilité en 3D les structures de données de subdivision spatiale sont souvent utilisées. Depuis l'apparition des approches analytiques 2D (complexe de visibilité) et des solutions pour des cas limités (maillage de discontinuité), une solution analytique en 3D paraît très intéressante et prometteuse. Nous avons développé une nouvelle structure de données qui peut s'interpréter comme un partitionnement de l'espace dual de droites qui décrit tous les événements de visibilité dans l'espace 3D [503]. Cette structure est globale et complète. Elle tient compte de la cohérence spatiale, permet l'extraction de vue, le calcul du graphe d'aspects, du maillage de discontinuité et des facteurs de forme d'une façon efficace. L'implémentation de cette structure, ainsi que des premières applications pour le calcul de vue (voir Fig.3.3.2) et le calcul de facteurs de forme est actuellement en cours.

4 Actions industrielles

4.1 Modélisation d'éboulement de falaises

Participants : Jean-Dominique Gascuel, Marie-Paule Gascuel

Mots-clés : géophysique.

L'utilisation des acquis d'iMAGIS en simulation a permis de démarrer début 1995 une collaboration avec le BRGM –Bureau des Recherches Géologiques et Minières–, service de prévention des risques naturels. Dans le cadre du contrat, le développement d'un module de simulation d'éboulement de falaise a été effectué dans le système *Fabule*. Le contrat a été reconduit en 1996, avec un stage sur la validation du modèle utilisé et un stage d'analyse et de documentation. La collaboration avec le BRGM doit se poursuivre sur des modèles de fracture et leur visualisation graphique.

4.2 Projet TELEMEDIA (CTI/CNET) : télévirtualité, son et image

Participants : Jean-Dominique Gascuel , George Drettakis , Nicolas Tsingos

Nous avons été retenus dans le cadre d'un appel d'offres du CNET, sur le thème "Présentation et manipulation de l'image et du son pour la communication face à un groupe", en partenariat avec le Laboratoire de Recherche en Informatique de l'université de Paris-Sud et le CSTB (Grenoble). Le but de ce contrat sera le développement d'un système de téléconférences utilisant la vidéo et un espace informatique partagé. Nous développerons des outils qui permettront la spatialisation du son 3D et une modélisation de l'espace 3D permettant le partage des objets virtuels pendant la téléconférence. L'utilisation de l'image et du son 3D augmenteront la sensation d'immersion dans l'espace virtuel partagé. Ce contrat débutera en novembre 96.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

J.-D. Gascuel est élu au conseil d'administration de l'*AFIG*, Association Française d'Informatique Graphique.

Les membres du projet participent aux groupes de travail de l'*AFIG* sur les thèmes "rendu", "animation et simulation" et "modélisation".

F. Sillion est intervenu comme conférencier invité au festival du film de la construction et du BTP, tenu au Palais des congrès de Paris, en octobre 96.

Collaborations

- L'application de la modélisation implicite d'objets au domaine médical est très prometteuse, dans la mesure où elle offre une représentation particulièrement compacte d'objets de topologie et géométrie arbitraires (trous, embranchements). Nous avons étudié, dans le cadre d'une collaboration le laboratoire TIMC, la reconstruction semi-automatique d'organes à l'aide de surfaces implicites[505].
- Les chercheurs de l'ICP (Institut de la Communication Parlée), qui s'attachent à mettre au point des modèles réalistes de lèvres de synthèse, ont besoin de modèles déformables offrant une bonne gestion des collisions et des contacts entre objets. L'utilisation du modèle déformable implicite a été étudié pour cette application [506].

- Nous avons lancé cette année une collaboration avec le CIRAD (Montpellier) pour étudier les transferts énergétiques dans un couvert végétal. En couplant les techniques de simulation hiérarchiques de l'éclairage développées au sein d'iMAGIS et les modèles de croissance végétale du CIRAD, nous obtiendrons le premier modèle de simulation intégré permettant de suivre les réactions d'un arbre à son environnement lumineux.
- Nous travaillons, avec le groupe "Conception Intégrée" du laboratoire 3S de Grenoble, sur la création et l'utilisation de maillages hiérarchiques de surfaces quelconques, pour application à la simulation de l'éclairage. À ce titre, une thèse est co-dirigée par F. Sillion, et un financement a été obtenu au titre du BQR de l'université Joseph Fourier.
- Nous avons initié et nous coordonnons un projet de recherche commun avec l'École des Mines de Saint-Etienne et l'université de Toronto, soutenu par la région Rhône-Alpes dans le cadre de l'appel d'offres EMERGENCE, sur le thème "Création d'images de synthèse réalistes pour la visualisation rapide de scènes 3D complexes".
- Des collaborations sont en cours avec d'autres projets Inria (SIAMES : simulation de marche, MOVI : rendu à la base d'images, BIP : simulation du contact du sol) avec des codirections de thèses et de stages DEA. Des collaborations de même nature se poursuivent avec l'équipe GMCAO (Geste Médical et Chirurgical Assisté par Ordinateur) du laboratoire TIMC de l'Imag (modélisation d'objets déformables, simulation de la respiration) [509].

5.2 Actions internationales

Projet PAVR : animation et réalité virtuelle

M.-P. Gascuel, A. Opalach, J.-D. Gascuel et C. Puech participent au projet européen TMR *Platform for Animation and Virtual Reality (PAVR)*. Le but de ce projet est d'identifier et résoudre les problèmes communs des systèmes de réalité virtuelle et d'animation. Il s'agit des problèmes de modélisation, implémentation, utilisation par réseau et contrôle. Dans un premier temps, le travail de recherche se concentrera sur la capture du mouvement et la reproduction du mouvement par image de synthèse, ainsi que par la modélisation du mouvement par des lois de physique, biologie ou en utilisant des règles de comportement.

Projets de recherche et échanges

iMAGIS a développé des liens étroits avec l'université Polytechnique de Catalogne (Barcelone) et l'université de Gironne, concrétisés par de fréquents échanges impliquant aussi bien les membres permanents que les étudiants financés par le programme ERASMUS et par le *Computer Graphics Network* d'ERCIM.

Une coopération suivie avec l'université de Montréal permet d'échanger des étudiants sur des projets de recherche communs au niveau de la maîtrise au Québec (équivalent DEA français).

Des liens se développent avec l'université d'Erlangen en Allemagne. Deux étudiants d'Erlangen ont été accueillis pour 6 mois en 1996, et un projet ESPRIT LTR est en cours de montage avec cette université.

Comités de programme

Des membres du projet participent aux comités de programmes de la conférence EUROGRAPHICS, des ateliers EUROGRAPHICS sur le rendu, sur l'animation, et sur les surfaces implicites, et de la *Winter School of Computer Graphics* (Plzen, république Tchèque).

C. Puech a été président du comité de programme de la conférence STACS'96, et organisateur de cette conférence qui s'est tenue à Grenoble en février 96. Il a également été (avec P. Hanrahan de l'université

de Stanford et H. Müller de l'université de Dortmund) l'un des organisateurs de *1996 Dagstuhl on Rendering* à Dagstuhl en Allemagne.

F. Sillion a été co-président du comité de programme de la conférence EUROGRAPHICS'96, membre du comité de programme de la conférence SIGGRAPH'96 et est membre du comité éditorial de la revue *Computer Graphics Forum*.

C. Puech a été de 1994 à 1996 membre du conseil d'administration de l'association Eurographics.

Collaborations

- Plusieurs projets de collaboration ont été préparés en 96, et sont actuellement en phase d'évaluation, au niveau européen ou par des instances bilatérales. Ces projets associent notamment iMAGIS au MIT (projet NSF-Inria), à l'institut Fraunhofer d'infographie de Darmstadt en Allemagne, et aux universités de Tel-Aviv et Jérusalem (Israël).

5.3 Enseignement

En plus des activités normales d'enseignement des personnels universitaires (à l'université Joseph Fourier et à l'INPG), les membres du projet interviennent dans l'enseignement du DEA Imagerie, Vision, Robotique de Grenoble et à l'École Polytechnique.

Les membres du projet ont organisé, ou sont intervenus, dans des cours (en général d'une journée) dans les conférences SIGGRAPH, EUROGRAPHICS, CGI ainsi que dans un cours ERASMUS sur l'image de synthèse à Barcelone (septembre 96).

5.4 Participation à des conférences et colloques

Les membres du projet ont participé à de nombreuses conférences et *workshops* ; on se reportera à la bibliographie pour en avoir la liste.

6 Publications

Livres et monographies

- [492] C. PUECH, R. REISCHUK (réd.), *STACS '96 Lecture Notes in Computer Science 1046 (13th Annual Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science)*, Wien, Springer Verlag, février 1996.
- [493] J. ROSSIGNAC, F. SILLION (réd.), *Proceedings of Eurographics '96, Computer Graphics Forum, 16, 3*, Oxford, UK, Blackwell, septembre 1996.

Thèses

- [494] N. HOLZSCHUCH, *Le Contrôle de l'Erreur dans la Méthode de Radiosité Hiérarchique*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble-I), mars 1996.
- [495] J.-C. LOMBARDO, *Modélisation d'objets déformables avec un système de particules orientées*, thèse de doctorat, université Joseph Fourier, janvier 1996.

Articles et chapitres de livre

- [496] M. DESBRUN, N. TSINGOS, M.-P. GASCUEL, «Adaptive Sampling of Implicit Surfaces for Interactive Modeling and Animation», *Computer Graphics Forum*, 1996, à paraître.
- [497] G. DRETTAKIS, E. FIUME, «Structured Penumbral Irradiance Computation», *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 2, 4, décembre 1996, sous presse.
- [498] F. FAURE, «Modélisation cinématique du contact pour la dynamique inverse (in French)», *Revue Internationale de CFAO et d'Informatique Graphique*, 1996.
- [499] R. ORTI, C. PUECH, «Calcul efficace de facteurs de forme 2D applicable aux environnements dynamiques», *Revue Internationale de CFAO*, novembre 1996.
- [500] C. SOLER, F. SILLION, «Caractérisation Multi-échelles de la Visibilité pour les Calculs de Radiosité», *Revue Internationale de CFAO*, novembre 1996.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [501] M. DESBRUN, M.-P. GASCUEL, «Smoothed Particles: A new paradigm for animating highly deformable bodies», in: *Computer Animation and Simulation '96 (Proceedings of Eurographics Workshop on Animation and Simulation, Poitiers)*, R. Boulic, G. Hegron (éd.), Springer-Verlag, p. 61–76, août 1996.
- [502] G. DRETTAKIS, F. SILLION, «Accurate Visibility and Meshing Calculations for Hierarchical Radiosity», in: *Proceedings of 7th Eurographics Workshop on Rendering in Porto, Portugal (Rendering Techniques '96)*, X. Pueyo, P. Schröder (éd.), Springer Verlag, p. 269–279, juin 1996.
- [503] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH, «The 3D Visibility Complex, a new approach to the problems of accurate visibility», in: *Proceedings of 7th Eurographics Workshop on Rendering in Porto, Portugal (Rendering Techniques '96)*, X. Pueyo, P. Schröder (éd.), Springer Verlag, p. 245–257, juin 1996.
- [504] F. FAURE, «An Energy-Based Approach for Contact Force Computation», in: *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '96)*, J. Rossignac, F. Sillion (éd.), 16, 3, p. 357–366, Poitiers, France, septembre 1996.
- [505] E. FERLEY, M.-P. GASCUEL, D. ATTALI, «Skeletal Reconstruction of Branching Shapes», in: *Implicit Surfaces '96, The Second International Workshop on Implicit Surfaces*, J. C. Hart, K. van Overveld (éd.), p. 127–142, Eindhoven, The Netherlands, octobre 1996.
- [506] T. GUIARD-MARIGNY, N. TSINGOS, A. ADJODANI, C. BENOIT, M.-P. GASCUEL, «3D Models of the Lips for Realistic Speech Animation», in: *Proceedings of Computer Animation '96*, juin 1996.
- [507] R. ORTI, F. DURAND, S. RIVIÈRE, C. PUECH, «Using the visibility complex for radiosity computation», in: *Applied Computational Geometry (ACM Workshop on Applied Computational Geometry, Philadelphia)*, M. C. Lin, D. Manocha (éd.), p. 177–190, Philadelphia, US, mai 1996.
- [508] R. ORTI, S. RIVIÈRE, F. DURAND, C. PUECH, «Radiosity for dynamic scenes in flatland with the visibility complex», in: *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '96)*, J. Rossignac, F. Sillion (éd.), 16, 3, p. 237–249, Poitiers, France, septembre 1996.
- [509] E. PROMAYON, P. BACONNIER, C. PUECH, «Physically Based Deformations Constrained in Displacements and Volume», in: *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '96)*, J. Rossignac, F. Sillion (éd.), 16, 3, p. 155–164, Poitiers, France, septembre 1996.
- [510] S. RIVIÈRE, «Dealing with degeneracies and numerical imprecisions when computing visibility graphs», in: *Proceedings of European Workshop on Computational Geometry (CG'96)*, avril 1996.
- [511] J.-P. SMETS-SOLANES, «Vector Field Based Texture Mapping of Animated Implicit Objects», in: *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '96)*, J. Rossignac, F. Sillion (éd.), 16, 3, p. 289–300, Poitiers, France, septembre 1996.
- [512] C. SOLER, F. SILLION, «Accurate Error Bounds for Multi-Resolution Visibility», in: *Proceedings of 7th Eurographics Workshop on Rendering in Porto, Portugal (Rendering Techniques '96)*, X. Pueyo, P. Schröder (éd.), Springer Verlag, p. 133–143, juin 1996.

Rapports de recherche et publications internes

- [513] B. BODELET, *Accélération de la navigation dans un modèle 3D à l'aide d'images 2D*, Mémoire, INPG, Grenoble, France, juin 1996, mémoire de DEA.
- [514] E. FERLEY, *Reconstruction de données tri-dimensionnelles : Utilisation combinée de squelettes et de surfaces implicites*, Mémoire, INPG, Grenoble, France, juin 1996, mémoire de DEA.
- [515] C. LOSCOS, *Cohérence de Visibilité pour les Maillage de Discontinuité des Scènes Dynamiques*, Mémoire, UJF, Grenoble, France, septembre 1996, mémoire de magistère 3^e année.
- [516] C. LOSCOS, *Cohérence Spatiale pour les Maillage de Discontinuité des Scènes Dynamiques*, Mémoire, INPG, Grenoble, France, juin 1996, mémoire de DEA.
- [517] M. VIDAL, *Animation de systèmes articulés au sein de Fabule*, Mémoire, UJF, Grenoble, France, septembre 1996, mémoire de magistère 3^e année.

Œuvres audiovisuelles

- [518] F. DURAND, R. ORTI, S. RIVIÈRE, C. PUECH, *Flatland made Visibly Simple*, Philadelphia (US), mai 1996, Symposium on Computational Geometry.
- [519] M.-P. GASCUEL, M. DESBRUN, J.-D. GASCUEL, S. RÉHEL, *Kitchen Fiction*, août 1996.

Divers

- [520] M. DESBRUN, M.-P. GASCUEL, « Animation d'objets déformables à l'aide de surfaces implicites », janvier 1996, Actes du 4^{ème} séminaire du groupe de travail *Animation et Simulation* du GDR-PRC AML, Strasbourg (éd. D. Bechmann and A. Luciani).

7 Abstract

The research at iMAGIS is driven by the simulation of complex phenomena. Users of virtual prototypes, such as scientists, engineers and architects, demand interactive environments where they can create realistic models and run efficient simulations. Using current graphics systems, these competing requirements cannot be mutually satisfied. Therefore, our research focuses on finding acceptable compromises using innovative approaches. To this end we are both investigating fundamental problems and applying this new technology to practical systems. Fundamental issues include the development of efficient algorithms and the creation of geometric or physical models. Some application domains are site evaluation, training simulators, medical imaging, and scientific visualization.

iMAGIS' recent research efforts have been focused on the following subjects:

- Modeling light and its interaction with objects: use of complex reflectance models (diffuse and specular reflection), global illumination and interactive simulation.
- Modeling the shape of complex objects: procedural techniques, constraint systems, high-level primitives, construction by deformation of simple shapes...
- Modeling the physical behavior of deformable objects: construction, simulation of movement, interactive manipulation, collision detection and response.
- Study of fundamental geometric problems linked to the notions of visibility and coherence.

Several of iMAGIS' projects have evolved into industrial collaborations.

