

## *Projet iMAGIS*

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

*Rhône-Alpes*

THÈME 3B

*R* *apport*  
*d'Activité*

2000



---

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Présentation et objectifs généraux</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Fondements scientifiques</b>	<b>6</b>
3.1	Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage . . . . .	6
3.2	Animation et modélisation . . . . .	8
3.3	Géométrie algorithmique . . . . .	9
3.4	Réalité augmentée et réalité virtuelle . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Domaines d'applications</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>12</b>
5.1	Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage . . . . .	12
5.1.1	Méthodes hiérarchiques pour la simulation de l'éclairage . . . . .	12
5.1.2	Contrôle de la précision et du coût mémoire pour la radiosité hiérarchique . . . . .	14
5.1.3	Application de la simulation d'éclairage à la croissance des plantes . . . . .	15
5.1.4	Rendu haute qualité pour des environnements généraux . . . . .	15
5.1.5	Visualisation interactive de données urbaines . . . . .	16
5.1.6	éclairage interactif pour des environnements généraux . . . . .	17
5.1.7	Acquisition et rendu de cheveux . . . . .	17
5.1.8	Interpolation d'images . . . . .	18
5.1.9	Représentations alternatives . . . . .	19
5.2	Animation et modélisation . . . . .	19
5.2.1	Modélisation par surfaces implicites : Sculpture virtuelle . . . . .	20
5.2.2	Simulation de l'environnement . . . . .	21
5.2.3	Animation de formes organiques . . . . .	22
5.3	Géométrie algorithmique . . . . .	23
5.3.1	Précalcul pour le rendu des scènes complexes . . . . .	24
5.4	Réalité augmentée et réalité virtuelle . . . . .	25
5.4.1	Environnement multi-utilisateurs pour la Réalité Augmentée . . . . .	25
5.4.2	Réalité augmentée . . . . .	25
5.4.3	Sculpture virtuelle . . . . .	26
5.4.4	Simulateur de chirurgie . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)</b>	<b>29</b>
6.1	Végétation animée et interactive pour le jeu vidéo . . . . .	29
6.2	CTI/CNET Telemedia . . . . .	29
6.3	Collaboration avec le BRGM . . . . .	29

<b>7</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>30</b>
7.1	Actions régionales . . . . .	30
7.1.1	Mise en place d'une plate-forme de réalité virtuelle . . . . .	30
7.1.2	Simulation de textiles sur grappes de processeurs . . . . .	31
7.1.3	Simulation de forgeage et de moulage . . . . .	31
7.1.4	Coulées de boue et avalanches virtuelles . . . . .	31
7.1.5	Projet DEREVE . . . . .	32
7.1.6	Collaboration avec le projet Homeric de l'université Stendhal, Grenoble	32
7.2	Actions nationales . . . . .	32
7.2.1	Simulation de croissance de plantes . . . . .	32
7.2.2	Action Incitative inter-GDR-PRC "Cœur Battant" . . . . .	32
7.2.3	Action Incitative Télémédecine "CAESARE" . . . . .	33
7.2.4	COLOR: CAVE2A iMAGIS-CSTB . . . . .	33
7.3	Actions financées par l'Union Européenne . . . . .	33
7.3.1	ARCADE (Reactive LTR 24944) . . . . .	33
7.3.2	SIMULGEN (Open LTR 35772) . . . . .	33
7.3.3	Projet PAVR: animation et réalité virtuelle . . . . .	34
7.4	Relations bilatérales internationales . . . . .	34
7.4.1	Europe . . . . .	34
7.4.2	Collaboration avec la Fondation du Monde Hellénique . . . . .	34
7.4.3	Amérique du Nord . . . . .	34
<b>8</b>	<b>Diffusion de résultats</b>	<b>35</b>
8.1	Animation de la communauté scientifique . . . . .	35
8.2	Enseignement universitaire . . . . .	36
8.3	Participation à des colloques, séminaires, invitations . . . . .	36
8.4	Diffusion auprès du grand public . . . . .	36
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>37</b>

---

*iMAGIS, équipe du Laboratoire GRAVIR-IMAG (UMR 5527), est un projet commun entre le CNRS, l'INRIA, l'Institut National Polytechnique de Grenoble et l'Université Joseph Fourier.*

## 1 Composition de l'équipe

### Responsable scientifique

Claude Puech [professeur, Université Joseph Fourier]

### Personnel ITA (Laboratoire GRAVIR)

Jean-Luc Douvillé [ingénieur de recherche CNRS-GRAVIR]

Ornella Mazzeo [gestionnaire, UJF-GRAVIR]

Patricia Mathieu [assistante de direction, CNRS-GRAVIR]

Sonia Nogueira [gestionnaire, UJF-GRAVIR]

### Personnel INRIA

George Drettakis [CR 1]

Nicolas Holzschuch [CR 2]

François Sillion [DR 2]

Cyril Soler [CR 2]

### Ingénieurs associés

Laurence Boissieux [accueil jeune INRIA]

Marc Pont [accueil jeune INRIA]

### Personnel CNRS

Jean-Dominique Gascuel [CR 1]

Fabrice Neyret [CR 1]

**Personnel Universitaire**

Marie-Paule Cani [professeur, INPG]

François Faure [maître de conférences, Université Joseph Fourier]

Jean-Marc Hasenfratz [maître de conférences, Université Pierre Mendès-France]

Joëlle Thollot [maître de conférences, INPG]

**Chercheurs et professeurs invités**

Laurent Grisoni [doctorant au LABRI, jan 00-fev 00]

Nelson Max [professeur à l'Université de Californie, Davis, avr 00-juin 00]

Jacques Ohayon [professeur à l'Université de Savoie, jan 00-juin 00]

James Stewart [professeur à l'Université de Toronto, sept 99-Juillet 00]

Michael Wimmer [doctorant à TU-Wien, juin 99-janvier 00]

Peter Wonka [doctorant à TU-Wien, juin 99-janvier 00]

**Chercheurs post-doctorants**

Marc Stamminger [boursier Marie Curie]

**Chercheurs doctorants**

David Bourguignon [allocataire MENRT, INPG]

Jean Combaz [allocataire MENRT, UJF]

Cyrille Damez [allocataire MENRT, UJF]

Gilles Debunne [allocataire MENRT, INPG]

Xavier Décoret [AMX, UJF]

Éric Ferley [BDI, CNRS-Renault]

Xavier Granier [allocataire MENRT, UJF]

Raphaël Grasset [allocataire MENRT, UJF]

Alexandre Meyer [allocataire MENRT, UJF]

Éric Paquette [cotutelle Montréal-UJF]

Franck Perbet [allocataire MENRT, INPG]

Dan Stora [boursier MENRT, INPG]

Jérémie Turbet [contrat ESPRIT, UJF]

## Stagiaires

Alexis Angelidis [DEA IVR 00-01]  
Matthieu Anne [Maîtrise UJF 99-00]  
Jean Combaz [DEA IVR 99-00]  
Thomas di Giacomo [Magistère 2 UJF 99-00, DEA IVR 00-01]  
Florent Duguet [DEA ENS/X 00-01]  
Cyril Elbaz [DEA IVR 99-00]  
Sylvain Faisan [DEA IVR 00-01]  
Stéphane Grabli [DEA IVR 00-01]  
Raphaël Grasset [DEA IVR 99-00]  
Damien Hisinger [DEA IVR 00-01]  
Samuel Hornus [Licence ENS Cachan 99-00]  
Stéphane Jaeger [DEA IVR 00-01]  
Vincent Joguin [DEA IVR 99-00]  
Farid Khantache [Magistère 2 UJF 99-00]  
Sylvain Lefebvre [DEA IVR 00-01]  
Sylvain Paris [DEA ENS/X 00-01]  
Franck Perbet [DEA IVR 99-00]  
Nathalie Praizelin [DESS IM]  
Alex Reche [DEA IMAGE Sophia-Antipolis 00-01]  
Franck Sénégas [DEA IVR 99-00]

## 2 Présentation et objectifs généraux

iMAGIS, équipe du Laboratoire GRAVIR-IMAG (UMR 5527), est un projet commun entre le CNRS, l'INRIA, l'Institut National Polytechnique de Grenoble et l'Université Joseph Fourier.

Les recherches menées au sein du projet iMAGIS concernent la visualisation graphique de phénomènes complexes, simulés numériquement. 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 ou ingénieurs, architectes, designers ou chirurgiens, réclament des

environnements interactifs dans lesquels ils puissent concevoir (ou réutiliser) 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 entre réalisme et temps de calcul grâce à des approches novatrices. Dans cette optique, le projet s'attache, d'une part, à résoudre des problèmes "fondamentaux" et, d'autre part, à contribuer à des avancées technologiques dans les différents domaines d'application.

Dans la catégorie des problèmes fondamentaux, on peut citer la création de modèles 3D géométriques ou physiques, et la conception d'algorithmes efficaces. Plusieurs de ces derniers s'appuient sur des techniques multi-échelles ou multi-résolution permettant une éventuelle adaptation "en ligne" du niveau de détail des données traitées. Les principaux thèmes étudiés dans ce cadre sont la modélisation de la lumière et de son interaction avec les objets, la modélisation et la visualisation efficace de formes ou scènes géométriques complexes, la modélisation du comportement physique d'objets déformables ou articulés, et l'étude de problèmes géométriques fondamentaux liés aux notions de visibilité et de cohérence.

Les applications comprennent notamment les études d'impact, les simulateurs, la communication visuelle, l'imagerie médicale, et l'industrie du loisir audiovisuel. La mise en œuvre des techniques dites "de réalité virtuelle" permettant, pour certaines de ces applications, une meilleure interaction entre l'utilisateur et la maquette numérique sur laquelle il travaille, nous développons notre savoir-faire dans ce domaine.

Au cours de l'année 2000, iMAGIS a mené diverses collaborations avec des partenaires académiques et industriels, parmi lesquels on peut citer:

- des laboratoires de recherche universitaire: Cornell, UCLA, Caltech, MIT, Stanford, Université de Montréal, Université de Gironne (Espagne), Université Polytechnique de Catalogne, Université d'Erlangen, Institut Max-Planck de Saarbruck, Fraunhofer-IGD, Université Technique de Vienne;
- des instituts industriels de recherche ou développement: Microsoft Research, CIRAD, LighWork Design, Imagination GmbH;
- des projets européens: ARCADE, SIMULGEN, PAVR;
- de multiples actions nationales ou régionales.

## 3 Fondements scientifiques

### 3.1 Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage

**Participants** : George Drettakis, Jean-Marc Hasenfratz, Fabrice Neyret, Claude Puech, François Sillion, Cyril Soler, Joëlle Thollot, Cyrille Domez, Xavier Granier, Alexandre Meyer, Jérémie Turbet.

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



**Résumé :**

*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 "qualité" des images, notion très dépendante de l'application visée : dans certains cas, l'image la plus satisfaisante sera celle découlant d'une simulation "réaliste" des phénomènes lumineux, qui permet de garantir la fidélité aux phénomènes sous-jacents; d'autres applications mettront l'accent sur la qualité de l'impression visuelle, et l'absence d'artefacts dans l'image, deux aspects importants pour fournir une expérience de réalité virtuelle de qualité. D'autres encore chercheront un rendu de type croquis, dessin, gravure ou peinture, distinct de l'apparence simulée et souvent appelé –par défaut– "non-photoréaliste".*

L'activité d'iMAGIS au sein du thème "rendu" couvre tous ces angles d'attaque, à savoir, d'une part, l'étude de méthodes adaptées pour une utilisation interactive de la simulation, et d'autre part la recherche d'algorithmes de simulation permettant un réalisme accru, une meilleure qualité visuelle ou un style de rendu plus expressif.

Dans la première catégorie, nous avons construit et analysé des solutions à base d'images, dans lesquelles nous remplaçons la géométrie complexe par des "décors", accélérant ainsi la visualisation de grands volumes de données 3D. Nous avons également construit des solutions à base d'"habillage" de surfaces classiques simples par des représentations non polygonales, à base de volumes d'une part (*texels*), de relief procédural d'autre part. Nous étudions actuellement des "shaders", fonctions de réflectance réalisant l'intégration analytique des contributions lumineuses des petits détails, ce qui est bien adapté au cas des scènes naturelles (e.g. végétation).

L'axe de recherche sur la simulation réaliste 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 travaillons dans ce cadre sur la définition des mesures d'erreur (prenant en compte l'application visée), 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. L'"optimalité" visée doit bien sûr être distincte pour des applications en réalité virtuelle, où la continuité et l'impression visuelle dominent, et des applications de type vérification/certification ou design, pour lesquelles la fidélité quantitative est importante. Nous commençons également à explorer l'apport des informations de simulation d'éclairage dans la production d'images "non-photoréalistes".

Certains axes de recherche se situent au carrefour des deux problématiques: c'est le cas de la simulation de l'éclairage pour des scènes (dites "dynamiques") dont on peut déplacer les objets. Nous avons notamment proposé et 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.

Nous travaillons également sur les problèmes posés par la visualisation interactive de maquettes géométriques de très grande taille, ainsi que sur ceux posés par la visualisation de données réparties sur un réseau. D'autre part nous travaillons à enrichir la description des aspects de surfaces tout en restant dans le cadre du temps réel (utile par exemple pour des simulateurs chirurgicaux).

### 3.2 Animation et modélisation

**Participants :** Marie-Paule Cani, François Faure, Jean-Dominique Gascuel, Fabrice Neyret, David Bourguignon, Jean Combaz, Gilles Debunne, Eric Ferley, Frank Perbet, Dan Stora.

**Mots clés :** animation, simulation, déformations, collisions, croissance, modélisation géométrique, niveaux de détail, surfaces implicites, textures animées, phénomènes naturels, environnement, simulation chirurgicale, modelleur, interaction.

#### Résumé :

*La synthèse de séquences animées pose des problèmes difficiles de calcul de mouvements et de déformations réalistes, et conduit naturellement à rechercher une représentation adéquate des objets. Nous explorons trois voies pour permettre la simulation d'objets hétérogènes complexes déformables en des temps raisonnables : la mise au point de représentations multi-couches basées sur des hiérarchies de modèles générateurs simples couplés, la conception de modèles générateurs fondés soit sur des équations physiques locales simplifiées, soit sur des règles phénoménologiques, et le développement d'algorithmes adaptatifs permettant de concentrer à chaque instant la puissance de calcul là où elle est la plus nécessaire.*

Les travaux du projet iMAGIS recouvrent les aspects modélisation, simulation, et contrôle du mouvement d'objets complexes, articulés ou déformables. Les "modèles générateurs" qui se développent depuis quelques années en animation de synthèse constituent un outil privilégié pour atteindre ce but. Contrairement aux approches descriptives traditionnelles, ils sont, en effet, capables d'engendrer mouvements et déformations à partir de descriptions physiques ou phénoménologiques 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, etc).

Disposer d'une bonne représentation de surface peut être déterminant pour l'animation d'objets complexes. En effet, la surface d'un objet intervient lors de la détection et du 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. Nous avons développé depuis quelques années une technique de représentation à base de surfaces implicites (iso-surfaces d'un champ potentiel) qui améliore l'efficacité des détections de collision, offre une modélisation exacte des surfaces de contact, et permet une représentation aisée des changements de topologie (fractures, fusions).

D'autre part, animer des maquettes numériques en des temps raisonnables constitue un véritable défi, dans la mesure où ces maquettes sont le plus souvent destinées à simuler le mouvement et les déformations d'objets hétérogènes complexes du monde réel. C'est le cas par exemple pour la simulation d'organes du corps humain, rendue indispensable par le développement des applications médicales, ou pour celle des phénomènes naturels destinés aux effets spéciaux dans le secteur audiovisuel (coulées de lave, ruisseaux, végétation animée, croissance et déchirures, etc). Le problème de l'efficacité des algorithmes est encore exacerbé pour certaines applications comme les simulateurs interactifs ou les mondes virtuels, pour lesquelles le temps-réel est requis. Notre méthodologie pour aborder ces problèmes s'appuie sur trois axes majeurs :

1. La représentation d'un phénomène complexe grâce à une hiérarchie ou à un graphe de sous-modèles couplés (on parle de "modèle à couches" pour désigner l'ensemble ainsi constitué) : Il s'agit de décomposer, autant qu'il est possible, l'objet ou le phénomène à représenter en une hiérarchie de sous-phénomènes en interaction, pouvant correspondre à des échelles totalement différentes. Le modèle offrant le meilleur compromis entre réalisme et temps de calcul est choisi pour chacun de ces sous-phénomènes, sans hésiter à les simuler à des fréquences différentes, ni à jouer sur la diversité des représentations choisies pour chaque couche. Alors qu'un véritable modèle physique sera utilisé pour certaines d'entre elles, un simple habillage cinématique, géométrique, ou même des textures animées pourront faire gagner en efficacité pour les autres.
2. La mise au point de modèles générateurs adaptés à une échelle et un phénomène donné, les contraintes étant que ceux-ci doivent être efficaces en temps de calcul et facilement contrôlés par un utilisateur. Nous développons d'une part des modèles découlants d'équations physiques locales simplifiées (voire résultant parfois d'analogies), et d'autre part des modèles phénoménologiques (prairies sous le vent, ruisseaux, croissance, textures animées), quand il est plus simple de modéliser et contrôler les effets visibles des phénomènes que leur cause physique.
3. La conception d'algorithmes de simulation adaptatifs, offrant à chaque instant le meilleur compromis entre précision et réalisme. Ces algorithmes permettent d'adapter dynamiquement en cours de simulation, soit la nature des modèles utilisés au sein d'un modèle à couche, soit la précision à laquelle sont effectués les calculs pour un modèle donné. Cette adaptation peut être faite en fonction des contraintes d'efficacité, de précision, et de l'importance de chaque objet dans la scène.

### 3.3 Géométrie algorithmique

**Participants :** George Drettakis, Claude Puech.

**Mots clés :** géométrie algorithmique, visibilité.

**Résumé :**

*Les problèmes de proximité et de 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 classes d'exemples citées ci-dessus.*

Les recherches développées au sein du projet iMAGIS ont en commun de s'intéresser à des problèmes liés à la visualisation d'environnements ou maquettes numériques complexes. Dans bien des cas, même si ce n'est pas le seul élément qui contribue à la complexité de la scène, le nombre de primitives géométriques de base la constituant est très important. Il est alors crucial, surtout lorsque l'on souhaite développer des techniques interactives, de structurer ces données pour pouvoir les traiter efficacement.

Déterminer ce qui est visible dans une direction donnée lors de la visualisation (affichage) d'une scène, ou le faire lors des suivis de "rayons lumineux" (technique du lancer de rayons) ou des calculs d'échanges d'énergie lumineuse (technique de radiosité) en vue de simulation d'éclairage, déterminer s'il y a ou non collision entre objets à un instant donné du déroulement d'une animation, sont autant d'opérations dont l'efficacité est critique du fait qu'elles doivent être répétées des millions de fois avant que le résultat recherché ne soit obtenu.

Deux problèmes jouent un rôle particulièrement important en informatique graphique (ceux évoqués ci-dessus s'y ramènent) et ce sont ceux sur lesquels nous avons jusqu'ici concentré nos efforts : il s'agit du développement de techniques permettant de coder de manière efficace les relations de visibilité entre objets (points, polygones, etc.) dans une scène, et de techniques permettant de regrouper des objets voisins ou de structurer l'espace en prenant en compte la proximité entre objets.

La *géométrie algorithmique* est un domaine de recherche très actif qui a développé au cours des dernières années un grand nombre de structures et d'algorithmes originaux pour traiter efficacement des objets géométriques. Notre approche est tout à la fois d'aller y rechercher des solutions aux problèmes que nous traitons en vue de les adapter à nos besoins et de contribuer au développement du domaine.

### 3.4 Réalité augmentée et réalité virtuelle

**Participants :** Marie-Paule Cani, George Drettakis, Jean-Dominique Gascuel, Gilles Debunne, Raphaël Grasset, Eric Ferley.

**Mots clés :** réalité augmentée, réalité virtuelle, synthèse de sons, interaction.

#### **Résumé :**

*Réalité augmentée et réalité virtuelle constituent des domaines d'activité récents pour le projet iMAGIS qui enrichit son savoir-faire sur ces thèmes. D'autre part, nous cherchons à résoudre des problèmes d'environnement temps-réel pour la réalité virtuelle immersive ou augmentée. Nous nous intéressons en particulier à des systèmes où plusieurs utilisateurs sont physiquement ensemble, dans une interaction*

*avec un même modèle virtuel. Ces applications s'inscrivent notamment dans le cadre du studio de réalité virtuelle en cours de montage à l'INRIA Rhône-Alpes.*

Étudier des techniques efficaces de simulation et de visualisation interactive de scènes complexes conduit tout naturellement à envisager des compromis entre la qualité du résultat et la rapidité de l'interaction offerte à l'utilisateur. A partir d'un niveau d'interactivité suffisant, si la qualité est par ailleurs "raisonnable", il est possible d'envisager de nouvelles applications, dont celles dites "de réalité augmentée" dans lesquelles objets réels et virtuels coexistent, et même des applications "de réalité virtuelle" dans lesquelles l'utilisateur est immergé dans un monde virtuel.

Nous nous intéressons, au sein du projet iMAGIS, à différents aspects de ce nouveau domaine :

- Nous travaillons sur les problèmes liés à l'éclairage commun, c'est-à-dire la prise en compte des effets de lumière (ombres portées, interreflections) entre objets réels et objets virtuels dans des scènes mixtes. Notre objectif étant d'aider la conception et la modélisation de scènes mixtes virtuelles/réelles, nous nous concentrons sur les algorithmes interactifs.
- D'autre part, nous cherchons à résoudre des problèmes de rendu temps-réel pour la réalité virtuelle partiellement immersive. En particulier, nous développons des techniques de configuration automatique de la caméra virtuelle, de manière à ce que les images de synthèse calculées s'adaptent aux mouvements et gestes de l'utilisateur, ou à la position de certains objets réels.
- Enfin, nous développons de nouvelles méthodes de modélisation et d'animation pour créer des maquettes déformables temps-réel, avec lesquelles nous expérimentons de nouveaux modes d'interaction, via un dispositif à retour d'effort destiné à restituer le sens du toucher. Ces expériences ont lieu dans le cadre de deux projets : la mise au point d'un système de sculpture virtuelle d'une part, et celle d'un simulateur chirurgical d'autre part.

## 4 Domaines d'applications

iMAGIS développe des outils permettant de concevoir, puis d'utiliser dans le cadre d'applications de taille significative, et en particulier en vue de simulation, des maquettes numériques 3D. Celles-ci peuvent être purement géométriques ou posséder également des propriétés "physiques" (photométriques ou mécaniques, par exemple, parfois sonores).

Les applications visées incluent toutes les applications audiovisuelles (effets spéciaux, jeux vidéos), mais sont loin de s'y limiter, l'utilisation de techniques "avancées" de visualisation correspondant à un besoin largement répandu. Le projet iMAGIS a ainsi été conduit à s'intéresser à des sujets aussi variés que, par exemple, la simulation de risques naturels (éboulements rocheux), les études d'impact (simulation de l'éclairage d'une crypte archéologique avant son ouverture au public), la visualisation d'environnements urbains (que ce soit pour la simulation de conduite ou pour la visualisation de propagation d'ondes radio-téléphoniques), la simulation

d'environnements naturels animés et interactifs pour les jeux vidéo, la synthèse de paysages réalistes de type forêt pour la production audiovisuelle, la modélisation d'organes pour la simulation de gestes chirurgicaux, la réalisation de logiciels de simulation de l'éclairage, le développement de techniques de visualisation dans un environnement réparti sur réseau rapide, ou la mise au point d'effets visuels (partage d'objets virtuels par ex.) ou sonores en tant que supports à la vidéo-conférence.

Dans certains cas, il s'agit de concevoir les techniques (modélisation et algorithmes graphiques) sur lesquelles reposent les systèmes "de réalité augmentée" (ou "virtuelle") dont certains commencent à être utilisés dans l'industrie. Le défi est de fournir aux applications la puissance nécessaire à l'affichage et à l'interaction "temps réel" qui les caractérisent. Ceci a conduit le projet iMAGIS à se rapprocher de fournisseurs de solutions matérielles graphiques performantes.

## 5 Résultats nouveaux

### 5.1 Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage

**Participants :** George Drettakis, Nicolas Holzschuch, Fabrice Neyret, Claude Puech, François Sillion, Cyril Soler, Joëlle Thollot, Cyrille Damez, Xavier Granier, Jean-Marc Hasenfratz, Alexandre Meyer, Frédéric Perez, Jérémie Turbet.

#### 5.1.1 Méthodes hiérarchiques pour la simulation de l'éclairage

**Participants :** François Sillion, George Drettakis, Cyril Soler, Cyrille Damez, Jean-Marc Hasenfratz, Frédéric Perez, Jérémie Turbet.

Nos travaux portent sur la définition de techniques de calcul hiérarchiques, permettant de réaliser des approximations bien contrôlées et d'accélérer ainsi les simulations. Nous avons en particulier travaillé dans le cadre des projet ESPRIT "ARCADE" (*making radiosity usable*) et "SIMULGEN" sur les aspects suivants :

- Nous avons continué à développer la simulation hiérarchique à base de radiosité intégrant une dimension temporelle. L'objectif est de permettre une simulation de grande qualité pour des animations dans lesquelles les mouvements et évolutions temporelles sont connues à l'avance (cas des effets spéciaux pour le cinéma). Par un raffinement hiérarchique couplé dans les domaines spatial et temporel, on peut réduire très fortement les temps de calcul, tout en assurant une qualité maximale selon des critères de continuité temporelle . Nos premiers résultats avaient mis en évidence le potentiel de cette approche, mais aussi le risque d'introduire des effets visuellement gênants à travers le couplage temporel d'instantants différents. Nous avons donc modifié notre approche pour mieux contrôler l'impact des erreurs dans le domaine temporel, grâce à l'utilisation d'une base d'ondelettes pour cette dimension du problème [10].
- Les techniques de simulation à base d'éléments finis, comme la méthode de radiosité, souffrent de la nécessité de spécifier une base de fonctions pour le calcul de la solution,

qui impose en général un coût minimal lié à la taille de la scène, correspondant à la définition d'un maillage sur les objets. Une approche extrêmement prometteuse consiste à rechercher un découplage entre la complexité géométrique des objets composant la scène et la complexité des fonctions de base utilisées pour représenter l'éclairage. Ce découplage peut être réalisé par la re-paramétrisation d'objets, mais celle-ci est quasi impossible pour des objets composites et arbitrairement complexes. Nous avons développé deux axes de recherche permettant d'envisager des calculs de radiosité sur des scènes de complexité quelconque.

En premier lieu, une technique d'*instanciation hiérarchique* qui identifie des sous-ensembles répétés dans la scène (de façon exacte ou approchée), et permet de mener un calcul multi-échelles en ne considérant à chaque instant qu'une fraction de la complexité globale de la scène [19]. Cette approche donne en particulier d'excellents résultats pour la simulation de l'éclairage de plantes, discutée un peu plus loin, mais elle est également applicable au cas de scènes architecturales dans lesquelles le mobilier est souvent formé d'éléments identiques.

Ensuite, dans le cadre du projet ARCADE nous avons commencé à définir de nouvelles fonctions de base pour représenter le comportement radiométrique d'un ensemble d'objets. En utilisant nos algorithmes de simulation, nous pouvons calculer la fonction de transfert d'un ensemble quelconque, fonction qui exprime comment l'énergie incidente depuis une direction donnée est répartie dans l'espace après diffusion et inter-réflexion. Cette fonction à quatre dimensions peut alors être approchée par une combinaison de fonctions de base très simples, modélisant chacune la réflexion sur un polygone d'orientation donnée. Cette approximation est obtenue par un processus d'optimisation, et fournit une représentation ultra-compacte qui peut être utilisée dans les simulations en lieu et place de l'ensemble d'objets initial.

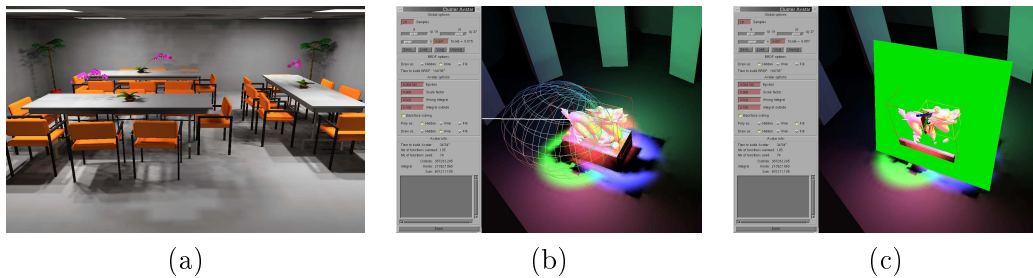


FIG. 1 – (a) Solution d'une simulation par instanciation hiérarchique dans une scène architecturale. (b) Tracé de la fonction de transfert et de la fonction approchée pour une direction incidente fixée (c) Visualisation des plans supports des polygones fournissant une réponse équivalente

- L'utilisation des techniques de simulation d'éclairage en architecture ou pour des applications à l'archéologie impose de savoir traiter correctement l'éclairage naturel, c'est-à-dire par le ciel et le soleil. En effet, ce type d'éclairage est souvent prédominant dès lors qu'il est présent, et le soleil en particulier tend à créer des ombres nettes, facilement

identifiables et ne souffrant aucun défaut visuel.

Dans le cadre du projet ARCADE, nous avons mis au point des algorithmes de calcul efficaces pour l'éclairage naturel. Un premier algorithme permet de calculer précisément (mais rapidement) la contribution reçue depuis un ciel de radiance non-uniforme, grâce à un découpage hiérarchique de l'hémisphère du ciel. La contribution éventuelle du soleil, quant à elle, est calculée à la précision désirée sans nécessiter de subdivision induite du maillage de la scène, grâce à l'utilisation de textures judicieusement choisies. La résolution de ces textures peut être ajustée en fonction des images à produire, et leur calcul est accéléré par l'utilisation des capacités matérielles des cartes graphiques.

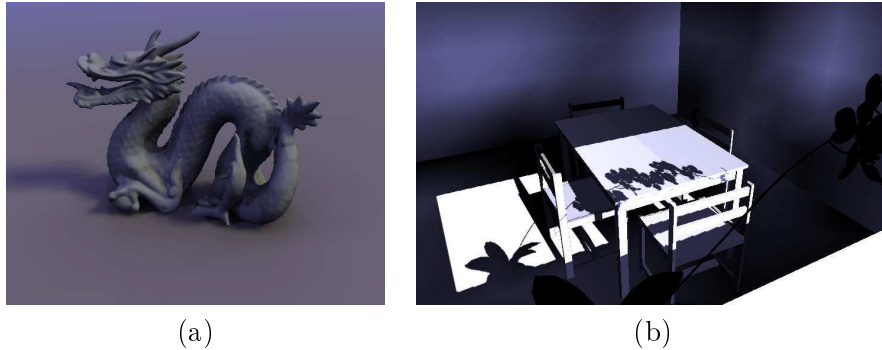


FIG. 2 – (a) Simulation de l'éclairage par un ciel non-uniforme (matin d'été) (b) Ombres dues au soleil, calculées et représentées à l'aide de textures

### 5.1.2 Contrôle de la précision et du coût mémoire pour la radiosité hiérarchique

**Participants :** Georges Drettakis, Jean-Marc Hasenfratz, François Sillion, Xavier Granier, Cyril Soler, Jérémie Turlbet.

Nous avons poursuivi nos expérimentations sur les critères de subdivision pour le contrôle du raffinement hiérarchique. Il s'agit de l'un des problèmes centraux pour le développement d'algorithmes robustes et utilisables sur des scènes de taille "industrielle", ce qui constituait l'objectif principal du projet ARCADE.

En particulier nous avons développé notre architecture de raffinement fondée sur la représentation du processus de décision par un graphe, utilisant des outils de calcul avec des attributions bien définies. Notre effort a porté notamment sur la définition d'outils de calcul de visibilité à la fois précis et facilement paramétrables, et sur l'étude des corrélations entre les approximations encourues lors des calculs de visibilité et des marqueurs de configurations géométriques.

Nous avons également développé un algorithme complet de raffinement parallèle, permettant la distribution des calculs sur un grand nombre de processeurs d'une machine à mémoire partagée telle que l'Origin2000. Ces travaux ont aussi permis d'affiner l'architecture de notre logiciel de simulation BRIGHT, en introduisant un mécanisme explicite de répartition des calculs, qui est utile également dans une utilisation purement séquentielle, pour orienter les calculs en fonction des contraintes de l'application visée [18].



### 5.1.3 Application de la simulation d'éclairage à la croissance des plantes

**Participants :** François Sillion, Cyril Soler.

Dans le cadre de l'application à la simulation de la croissance des plantes, menée en collaboration avec le CIRAD dans le cadre de l'ARC *SOLEIL* (cf. 7.2.1), nous avons associé une simulation des échanges lumineux à un moteur de croissance végétale (AMAP). De telles simulations permettent de prévoir non seulement la forme, mais aussi le fonctionnement interne de l'arbre en fonction des conditions précises d'éclairement, au fil de sa croissance.

La faible cohérence géométrique, caractéristique des modèles de plantes, rend délicat le contrôle du coût des algorithmes de simulation de l'équilibre lumineux. D'autre part, la rapide croissance du nombre de primitives géométriques lorsque l'arbre grandit (plus de 50 000 polygones pour l'exemple montré en Figure 3) limite très rapidement ce type de simulation. Nous avons donc dû développer des techniques performantes de simulation de l'éclairage permettant d'économiser de la mémoire et de la puissance de calcul tout en contrôlant la précision de la simulation. La mise en œuvre d'un algorithme d'instanciation nous a notamment permis d'effectuer des simulations dans des scènes comportant plus d'un million de polygones en des temps raisonnables et sous la contrainte d'une capacité mémoire limitée. L'instanciation est une technique couramment utilisée pour le tracé de rayons, mais sa traduction dans des algorithmes de radiosité est a priori difficile puisque le résultat des calculs est habituellement intimement lié à la représentation géométrique. En nous appuyant sur la structure topologique de la plante fournie par le moteur de croissance pour identifier les éléments géométriques redondants, nous avons créé un système gérant automatiquement dans une base de données les fonctions d'interaction des instances avec leur environnement et nous sommes ainsi affranchis de leur représentation géométrique.

Nous avons également étendu l'algorithme de radiosité pour prendre en compte de façon robuste et efficace la transparence des feuilles, un effet indispensable notamment pour la simulation infrarouge où plus de 80% de l'énergie est ainsi transmise. Le couplage entre notre logiciel de simulation de l'éclairage et le code de simulation de croissance en développement par l'équipe du CIRAD a été effectué, ce qui permet de faire croître des plantes en réponse à leur environnement lumineux (figure 3).

### 5.1.4 Rendu haute qualité pour des environnements généraux

**Participants :** Georges Drettakis, François Sillion, Xavier Granier.

Dans le cadre du projet européen SIMULGEN, nous avons comparé diverses techniques de représentation de distributions directionnelles, utilisées notamment pour exprimer la répartition de la lumière quittant une surface (ou un groupe d'objets) suivant les directions de l'espace. Avec un choix de représentation (une représentation hiérarchique ici) et une stratégie de raffinement appropriés, nous avons calculé une solution prenant en compte les aspects non-diffus. Cette solution permet l'affichage interactif. De plus notre implémentation a été développée pour être portable sur diverses plates-formes de calcul d'illumination.

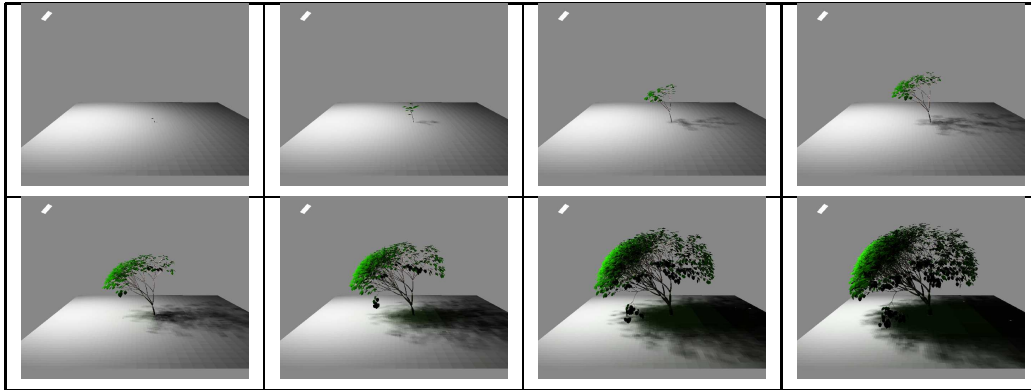


FIG. 3 – Étapes issues de la simulation de la croissance d'une plante virtuelle. On note d'une part direction prédominante de croissance et d'autre part un déséquilibre de la répartition de la matière végétale dans la plante. Ces deux phénomènes sont la conséquence de la non-uniformité de la répartition de lumière dans la plante.

### 5.1.5 Visualisation interactive de données urbaines

**Participants :** François Sillion, Joëlle Thollot, Xavier Décoret, Michael Wimmer, Peter Wonka.

La visualisation de très grands volumes de données est un problème récurrent dans de très nombreuses applications graphiques : en effet, avec l'avènement de techniques de simulation fiables et des techniques de réalité virtuelle, la croissance du volume de données à traiter est largement supérieure à l'augmentation de capacité des matériels graphiques (pourtant déjà impressionnante !). Par ailleurs, le cas particulier des données urbaines est intéressant à un double titre. Tout d'abord, les applications concernées sont nombreuses, allant des simulateurs de conduite au tourisme virtuel en passant par l'éducation, l'évaluation de projets d'aménagement urbains et les jeux. De plus, la morphologie urbaine impose des contraintes fortes sur la structuration des données, et cette structure peut à notre sens être exploitée pour obtenir des algorithmes de visualisation très performants.

Nous avons continué à développer le concept d'*imposteur* pour l'accélération de la visualisation de données urbaines, en insistant sur la création d'un imposteur qui soit valide pour l'ensemble d'une région de visualisation ("view cell"). Pour cela nous avons exploré deux axes de recherche :

Premièrement, nous nous intéressons à la création d'images en couches ("layered depth images"), dans une approche de ré-échantillonnage du modèle. La difficulté réside d'une part dans le choix de la densité d'échantillonnage pour les différents objets du modèle, d'autre part dans la représentation de la richesse d'apparence présente dans chaque échantillon, dès lors que celui-ci "représente" une partie complexe de la scène.

Par ailleurs, nous développons une analyse géométrique des possibilités de simplification d'une partie distante de la scène par reprojection sur un ensemble de plans supports, qui peuvent ensuite constituer un modèle affichable pourvu qu'ils soient munis de textures semi-transparentes appropriées.

### 5.1.6 Éclairage interactif pour des environnements généraux

**Participants :** Georges Drettakis, Xavier Granier.

Nous avons développé une nouvelle méthode qui, en intégrant un tracé de particules (pour les réflexions non diffuses) à l'étape de transfert d'énergie d'un algorithme de radiosité hiérarchique (pour les réflexions diffuses), permet de traiter efficacement tous types de propagation lumineuse. Cette approche permet un calcul rapide et une simulation de bonne qualité visuelle. Les transferts diffus sont ainsi non bruités, grâce à la radiosité hiérarchique, mais l'on peut également obtenir rapidement des effets non diffus comme des caustiques.

Grâce à un tel système, un utilisateur peut visualiser et manipuler interactivement des scènes de petite taille en tenant compte de tous les effets lumineux. Mais cette simulation globale et générale est applicable aussi à des scènes plus complexes, avec bien sûr un temps de calcul plus long. Ce système peut également traiter efficacement la simulation de l'éclairage indirect. Enfin, il permet une transition douce d'une solution rapide mais de faible qualité vers une solution de grande qualité mais plus lente.

Sur la figure 4(a-b) nous montrons deux instantanés d'un exemple d'une scène pour laquelle notre méthode permet le déplacement du verre avec la caustique au sol avec une vitesse de rafraîchissement de 1 image par seconde. Sur la figure 4(c) nous montrons une image d'une scène complexe, où l'éclairage indirect est prédominant, calculée en 9 minutes.

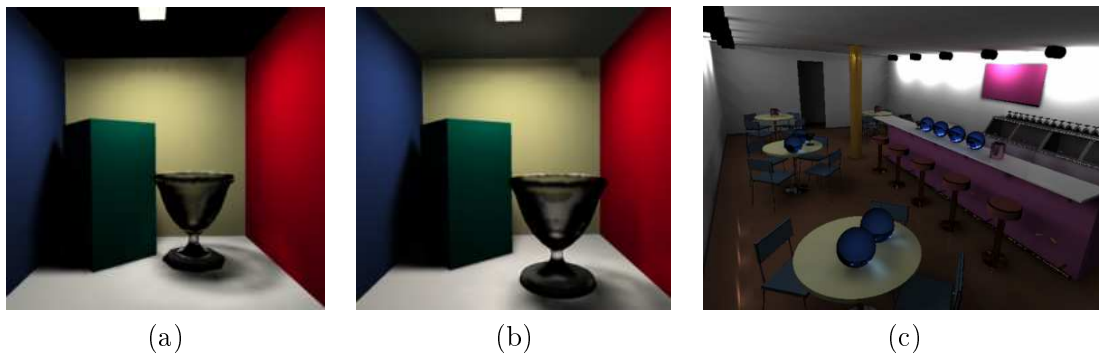


FIG. 4 – (a)-(b) Deux images d'une utilisation interactive : le verre (avec caustiques et éclairage global) se déplace à 1 image/seconde. (c) Simulation d'une scène plus complexe.

Ce travail fait l'objet de la thèse de Xavier Granier et a été publié au workshop Eurographics sur le rendu 2000 [12].

### 5.1.7 Acquisition et rendu de cheveux

**Participant :** François Sillion.

Le développement des jeux vidéo et des systèmes de vidéo-conférence a suscité un intérêt grandissant pour la modélisation d'avatars, ou personnages représentatifs d'un individu particulier. Or, si des systèmes de capture géométrique à base de télémétrie laser ou de correspondance d'images commencent à voir le jour, il n'existe actuellement aucun moyen d'acquérir

ou de reproduire l'apparence des cheveux (ou barbes et moustaches) d'une manière permettant l'identification rapide de la personne représentée.

Nous avons lancé un projet de recherche en coopération avec des chercheurs de Microsoft Research et de Stanford University, visant à construire un système complet de capture, modélisation et rendu de cheveux (et autres pilosités faciales). Notre objectif n'est pas de recréer un modèle physique complet de la chevelure, mais de définir un modèle approprié pour permettre un rendu adapté à une application de jeu ou de vidéo-conférence : il est important de pouvoir reconnaître la forme et le modelé d'une coiffure, et de pouvoir modifier les conditions d'éclairage, mais probablement inutile de rechercher un réalisme objectif parfait.

Nous utilisons une approche inverse, fondée sur l'analyse des variations d'apparence de la chevelure lorsque les conditions d'éclairage sont modifiées : le but est de tirer avantage de la très forte anisotropie de la réflexion lumineuse sur les cheveux pour contraindre un algorithme de recherche d'orientation de mèches en 3D.

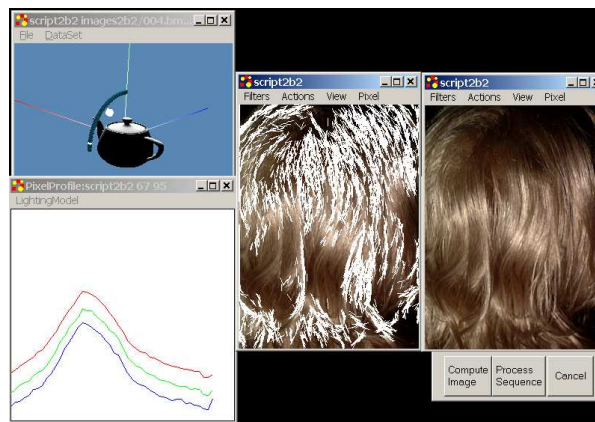


FIG. 5 – Vecteurs d'orientation des cheveux obtenus par l'analyse, dans l'espace image, d'une séquence d'éclairage variable, et exemple de profil de radiance mesuré pour la séquence d'images.

Les premiers résultats sont très encourageants, et ce thème de recherche est appelé à se développer.

### 5.1.8 Interpolation d'images

**Participants** : François Sillion, Nelson Max, Sylvain Paris.

Poursuivant les recherches menées depuis trois ans sur les représentations à base d'images de la géométrie, nous avons lancé cette année une étude sur la reprojexion 3D à partir d'une série d'images obtenues à l'aide d'un ensemble de caméras réparties sur un axe. Ce type de série, acquis par un ensemble de caméras synchronisées, est actuellement utilisé dans les effets spéciaux pour simuler un mouvement de caméra dans un environnement dont le temps "s'est arrêté". Nous avons montré que l'existence d'un axe de prise de vue permet de reconstruire des profils tri-dimensionnels même lorsque l'information de texture dans les images est a priori insuffisante pour effectuer une mise en correspondance au niveau de chaque pixel. Ces travaux

qui ont été le cadre d'un stage de DEA se poursuivent cette année avec un autre stage de DEA, et pourraient déboucher sur un transfert industriel avec la société Digital Air qui construit le système de prise de vue. L'objectif à terme est d'une part de produire de la vidéo 3D, d'autre part de construire des représentations à base d'images réelles pour fournir un haut degré de détail dans des scènes virtuelles (par exemple urbaines).

### 5.1.9 Représentations alternatives

**Participants :** Fabrice Neyret, Alexandre Meyer.

Nous avons poursuivi nos travaux sur les représentations non-polygonales adaptées aux scènes complexes constituées d'un grand nombre de détails pour lesquels on dispose d'une connaissance *a priori* de la répartition. Nous nous intéressons notamment aux scènes naturelles, comme les forêts, dont le calcul du rendu réaliste par les méthodes actuelles est prohibitif et pose des problèmes de qualité visuelle (aliasing).

Notre première étape a porté sur la représentation des conifères, pour lesquels la connaissance *a priori* de la répartition des détails (les aiguilles) est très forte. Nous avons développé un modèle permettant d'obtenir un rendu réaliste (donc non temps-réel) avec ombrage et anti-aliasing d'une forêt de conifères, comportant un grand nombre d'arbres proches ou lointains, avec une accélération d'un facteur 10 par rapport aux méthodes classiques de lancer de rayon, avec une meilleure qualité d'image (figure 6). Cette nouvelle représentation, fondée sur une hiérarchie de *shaders* (ou *fonctions de réflectance*) adaptés à la distance, a fait l'objet d'une publication à la conférence Graphics Interface [16].

D'autre part nous reprenons actuellement des travaux sur le rendu temps-réel de forêts, d'une part par des méthodes basées image, d'autre part par des modèles volumiques.

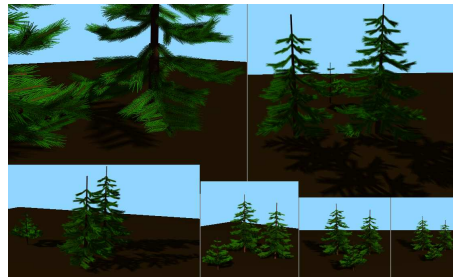


FIG. 6 – Rendu de sapins à diverses distances, en utilisant une hiérarchie de shaders comme représentation géométrique.

## 5.2 Animation et modélisation

**Participants :** Marie-Paule Cani, François Faure, Jean-Dominique Gascuel, Fabrice Neyret, David Bourguignon, Gilles Debunne, Eric Ferley, Dan Stora.

### 5.2.1 Modélisation par surfaces implicites : Sculpture virtuelle

**Participants** : Marie-Paule Cani, Jean-Dominique Gascuel, Eric Ferley.

Nous développons depuis trois ans, dans le cadre d'une thèse cofinancée par *Renault SA*, une méthode de modélisation de formes qui vise à restituer le mode d'interaction qu'un artiste peut avoir avec sa sculpture. La représentation de cette sculpture repose sur les surfaces implicites, puisqu'il s'agit de l'iso-surface d'un champ potentiel scalaire tridimensionnel échantillonné sur une grille. L'application d'un outil se fait par édition directe des échantillons stockés. L'outil possède un potentiel propre définissant sa **forme**, et une **action** définissant la manière de combiner son potentiel au potentiel existant (ajout, soustraction de matière, déformations locales, ...).

Ce travail a déjà fait l'objet d'une publication dans une revue internationale [4]. La poursuite de nos travaux sur ce thème nous a conduit cette année d'une part à la réalisation d'un prototype adaptatif que nous détaillerons ci-après, et d'autre part à l'interfaçage avec un bras articulé à retour d'effort que nous détaillerons dans la partie Réalité Virtuelle (voir 5.4).

Disposer d'une représentation multi-résolution du modèle sculpté est essentiel pour permettre une gestion rapide des déformations à grande échelle, tout en offrant un haut niveau de détail là où c'est utile. Notre solution repose sur le stockage du champ potentiel scalaire dans un octree généralisé, pour lequel un nœud peut se subdiviser en  $n \times n \times n$  nœuds enfants,  $n$  étant fixé à la compilation. Cette représentation limite le nombre de niveaux intermédiaires servant uniquement à stocker la structure. La subdivision est guidée par l'outil, qui peut localement imposer une taille d'échantillonnage maximale à atteindre pour garantir un échantillonnage correct de son potentiel. La mise à jour du champ est réalisée par *profondeur* ce qui permet une mise à jour rapide (et grossière) puis un raffinement progressif. L'affichage de la surface sculptée se fait toujours par *Marching Cubes* incrémental réalisé en même temps que la mise à jour du champ, donc en profondeur d'abord. Nous avons limité le nombre de triangles affichés de manière à conserver l'interactivité du système, grâce à des techniques d'élimination des éléments hors du volume de vue (*frustum culling*) et à une limitation dans la descente dans la hiérarchie guidée par une estimation de la taille projetée à l'écran : il est en effet inutile d'afficher les éléments de surface des enfants d'un nœud si la taille de ce dernier est proche d'un pixel.

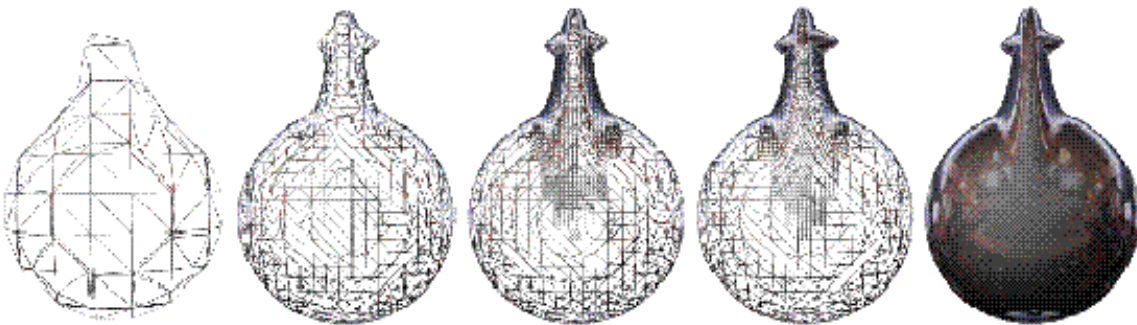


FIG. 7 – Représentation par surface implicite multi-résolution pour la sculpture virtuelle.

Dans un but de gain en interactivité, nous avons également exploré différentes implémentations parallèles pour l'application de l'outil :

- création d'un processus par application d'outil;
- création d'un processus par *profondeur* dans la structure pour éviter les nombreux verrous d'accès aux données nécessaires dans l'approche précédente;
- création d'un seul processus responsable de l'application de l'outil pour limiter le nombre de processus créés, les machines usuelles étant dans le meilleur des cas mono-processeur.

Nous avons finalement retenu la dernière solution, plus réaliste en nombre de processus créés et ne demandant que très peu de synchronisation pour l'accès aux données partagées.

### 5.2.2 Simulation de l'environnement

**Participants :** Marie-Paule Cani, François Faure, Jean-Dominique Gascuel, Fabrice Neyret, Frank Perbet.

La réalisation d'effets spéciaux purement numériques demande de savoir modéliser et animer des phénomènes naturels complexes, tout en offrant à la fois des temps de calcul acceptables et un bon réalisme visuel.

**Simulation de coulées : ruisseaux, boues et avalanches.** Nous travaillons depuis plusieurs années sur la simulation d'effets gravitaires comme les chutes de blocs et les coulées visqueuses, qui avaient débouché en 1999 sur l'animation de coulées de lave visuellement réalistes. Nous avons poursuivi cette thématique en 2000 en entamant un projet de simulation visuellement réaliste de ruisseaux, fondé sur des modèles phénoménologiques: le parti pris est que les attributs visibles du ruisseau en mouvement sont relativement simples à décrire (ondes quasi-stationnaires, reflets, perturbations), tandis qu'une simulation physique réaliste demanderait la résolution d'équations particulièrement complexes (Navier-Stokes non-linéaire, compressible, avec frontière libre et tension superficielle) et une finesse d'échantillonnage déraisonnable. Les premiers travaux ont conduit à un modèle animé sans habillage réaliste, qui reproduit les divers systèmes d'ondes autour des obstacles et du rivage en régime quasi-statique. Des travaux commencent sur l'habillage visuel.

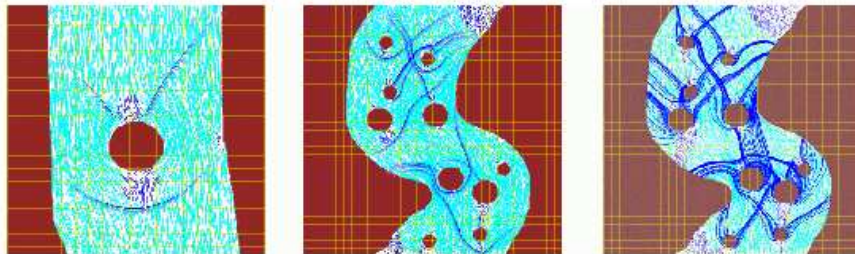


FIG. 8 – Modélisation phénoménologique de l'apparence d'un ruisseau.

D'autre part, nous entamons un travail sur la simulation visuellement réaliste de coulées de boue et d'avalanches dans le cadre d'une Action de Recherche Concertée (ARC locale, en cours de montage) avec le projet IDOPT du LMC et le CEMAGREF, intitulée : "Coulées de boue et avalanches virtuelles : un outil visuel de communication et d'aide à la décision pour les risques en montagne".

**Animation interactive de la végétation.** Le second volet de nos travaux sur la simulation de l'environnement concerne l'animation de la végétation (nous ne reparlons pas ici des travaux sur la représentation et le rendu des forêts, traités dans la partie rendu). Ce travail s'inscrit dans un cadre d'animation interactive, voire temps-réel, dans la mesure où nous visons une application aux jeux vidéo, dans le cadre d'une collaboration avec la société *Infogrames* (voir partie 6.1).

Une première partie, pratiquement achevée en 2000, a concerné l'animation temps-réel de prairies sous le vent. Le modèle, développé dans le cadre du projet de DEA de Frank Perbet, s'est appuyé sur une gestion fine des niveaux de détail, et des transitions entre ces derniers pendant l'animation. Après un pré-calcul par modèle physique des déformations possibles pour un brin d'herbe, la simulation temps-réel a été mise en œuvre en modélisant de manière procédurale les effets de différents types de vent sur des effecteurs correspondant soit à un brin d'herbe 3D, soit à une rangée d'herbe, soit à un carré d'herbe représenté par une texture.

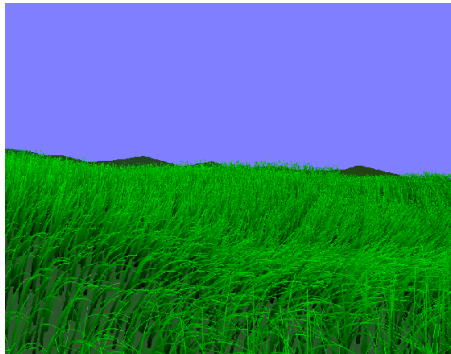


FIG. 9 – *Simulation d'une prairie sous le vent.*

### 5.2.3 Animation de formes organiques

**Participants :** Marie-Paule Cani, David Bourguignon, Gilles Debunne, Francois Faure, Dan Stora.

La modélisation de tout ou partie du corps humain est l'un des défis de l'animation de synthèse. Les applications d'une telle modélisation vont de l'enseignement et de l'aide au diagnostic en médecine à l'animation de modèles sophistiqués de personnages pour les applications à l'audiovisuel.

Dans le premier contexte, nous avons entamé une étude sur la modélisation des tissus musculaires en vue de la simulation pédagogique d'un cœur humain, dans le cadre de la thèse



de David Bourguignon et de l'action incitative inter-GDR-PRC "Cœur Battant", soutenue par le MENRT. Nos travaux précédents portaient sur la simulation de l'activation par automate à états finis. Nous les avons complétés par la mise au point d'un modèle déformable interactif, inspiré des systèmes masses-ressorts, et permettant la modélisation de l'anisotropie des tissus musculaires. Ce travail a été présenté dans un colloque international [9].

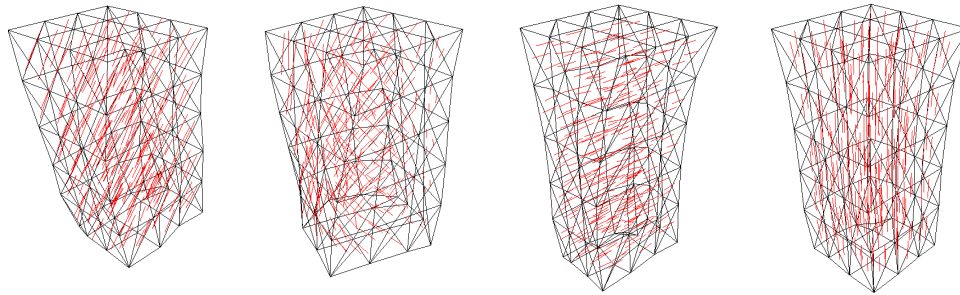


FIG. 10 – Effets obtenus par la simulation de tissus anisotropes sous l'effet de la gravité.

D'autre part, nous avons développé un modèle déformable temps-réel, que nous destinons à la modélisation d'un foie virtuel dans le cadre d'un simulateur de chirurgie (voir la partie 5.4.4). Nous appuyant sur la théorie de l'élasticité et sur une simulation dynamique (par opposition au cas statique), nous atteignons le temps-réel vrai (le temps de simulation est égal au temps simulé pour le modèle virtuel) en adaptant automatiquement l'échantillonnage dans le temps comme dans l'espace de manière à toujours concentrer la puissance de calcul là où elle est la plus nécessaire. Nous nous sommes démarqués en 2000 de l'approche par octree que nous avons développée en 1999 pour la définition des représentations à différents niveaux de détail. Nous utilisons maintenant des maillages tétraédriques indépendants, correspondant à différentes échelles de représentation, et pouvant être localement activés ou désactivés selon la précision nécessaire. Les maillages localement actifs interagissent entre eux par l'intermédiaire de points virtuels. Ce nouveau modèle permet une gestion beaucoup plus fine des opérateurs différentiels en présence, grâce à la bonne qualité des maillages. Ce travail, réalisé en collaboration avec Mathieu Desbrun d'UCLA et Alan Barr de Caltech, a fait l'objet d'une publication à la conférence internationale *Computer Animation* [11], et est décrit dans la thèse de Gilles Debunne [1].

Enfin, nous poursuivons notre travail sur la simulation de chevelures, un point important pour le réalisme visuel des acteurs de synthèse. Nous avons déjà mis au point, dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Montréal, un modèle à couches permettant de structurer une chevelure virtuelle en un ensemble de mèches inter-agissantes. Cette technique permet l'animation de longues chevelures en interaction avec le corps du personnage animé. Nous entamons actuellement un travail sur l'animation dynamique des chevelures à différents niveaux de détail, qui devrait permettre d'importants gains en efficacité.

### 5.3 Géométrie algorithmique

**Participants :** George Drettakis, Claude Puech, François Sillion, Joëlle Thollot, Xavier

Décoret.

Un point commun à des applications aussi diverses que la réalité virtuelle, les systèmes d'information géographique ou encore la 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 polyédriques, lorsqu'elles portent sur un nombre de primitives pouvant atteindre le million, requièrent des structures de données extrêmement performantes.

Faisant suite à une étude sur la conception de structures de données efficaces prenant en compte cohérence spatiale et notions de proximité, les travaux du projet iMAGIS se sont concentrés sur des études portant sur la visibilité.

Notre but est de mettre au point des structures de données et de nouveaux algorithmes de visibilité 3D, et de démontrer leur utilité pour la résolution des problèmes graphiques.

### 5.3.1 Précalcul pour le rendu des scènes complexes

**Participants** : Georges Drettakis, François Sillion, Claude Puech, Joëlle Thollot, Xavier Décoret.

Nous avons développé plusieurs méthodes de précalcul pour l'affichage de scènes très complexes. L'espace dans lequel l'observateur peut se déplacer est subdivisé en cellules. Pour chaque cellule, l'ensemble des objets potentiellement visibles est calculé de manière non exacte mais prudente.

Notre première méthode est basée sur une projection sur des plans, par rapport non pas à un point de vue unique mais à un volume de l'espace. Nous définissons des opérateurs de *projection étendue* qui permettent des calculs prudents: un objet invisible peut être déclaré potentiellement visible, mais aucun objet visible ne doit être déclaré invisible. Notre méthode est la première qui permette dans un précalcul de prendre en compte l'occultation due à la conjonction de plusieurs bloqueurs dans des scènes quelconques. Le principe de la projection étendue est décrit dans la Fig. 11.

Nous avons également présenté un *balayage d'occultation* qui consiste à balayer la scène par des plans qui s'éloignent de la cellule et qui accumulent les occultations dues à de petits objets comme les feuilles d'arbres dans une forêt.

Une autre méthode, développée en collaboration avec le laboratoire d'infographie du M.I.T., utilise une représentation explicite de l'espace (par le biais d'une structure hiérarchique de type octree) pour identifier les portions invisibles depuis une cellule donnée.

Ces méthodes ont été implémentées et tirent profit des cartes graphiques pour une efficacité accrue. Nous pouvons par exemple réaliser des promenades dans une ville de plus de deux millions de polygones contenant des voitures en mouvement à environ 25 images par seconde sur une SGI Onyx2, ou accélérer les calculs de visibilité dans un système de lancer de rayons ou de particules.

Ce travail a fait l'objet de deux publications à SIGGRAPH 2000, dont une en collaboration avec le M.I.T. [3, 6].

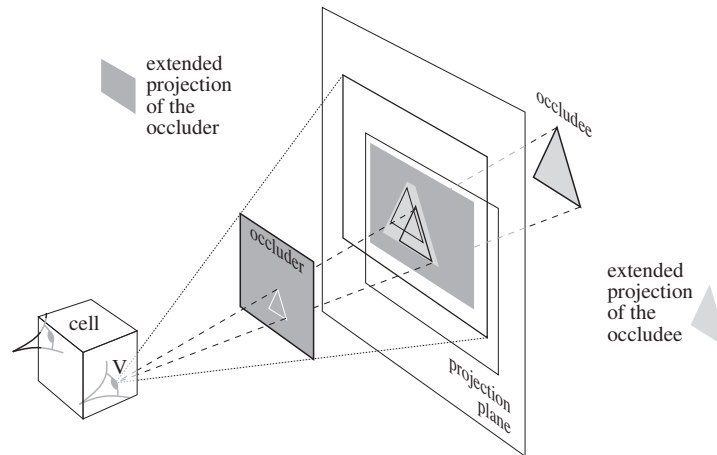


FIG. 11 – *Principe des projections étendues. La projection étendue du bloqueur est l'intersection des projections depuis tous les points de la cellule, et la projection étendue de l'objet potentiellement caché (occluee en anglais) est l'union des projections depuis tous les points de la cellule.*

## 5.4 Réalité augmentée et réalité virtuelle

**Participants :** Laurence Boissieux, Marie-Paule Cani, Gilles Debunne, Jean-Luc Douvillé, George Drettakis, Éric Ferley, Jean-Dominique Gascuel, Xavier Granier, Raphaël Grasset, Fabrice Neyret.

### 5.4.1 Environnement multi-utilisateurs pour la Réalité Augmentée

**Participants :** Jean-Dominique Gascuel, Raphaël Grasset.

Nous étudions des situations de réalité augmentée pour des petits groupes : trois ou quatre personnes, réunies autour d'une table, où la réalité virtuelle sert à ajouter un certain nombre d'objets virtuels sur la table.

Un domaine de prédilection de ce type de systèmes est le jeu : l'aspect social du jeu sur plateau est conservé, mais l'utilisation d'un système informatique permet en complément de nombreuses possibilités : animations de personnages, effets spéciaux, calculs des règles de jeu complexes par la machine, ou accès à des informations nombreuses ou certifiées.

Une pré-étude des moyens techniques de mise en œuvre a été réalisée dans le cadre du rapport de DEA de Raphaël Grasset.

### 5.4.2 Réalité augmentée

**Participants :** George Drettakis, Xavier Granier.

Suite à nos travaux permettant le ré-éclairage, c'est-à-dire la modification virtuelle des propriétés de l'éclairage en utilisant plusieurs images, nous avons développé une méthode basée

sur une seule image. L'approche développée étend la méthode présentée dans le rapport de recherche Inria RT-0225 (nov. 1998) : à partir d'une image, nous identifions les régions dans l'ombre et dans la lumière. Nous essayons d'extraire la couleur intrinsèque de la région dans l'ombre en choisissant un représentant dans la région éclairée. Nous avons apporté plusieurs améliorations, en simplifiant la façon dont nous corrigeons la couleur de la réflectance pour les régions dans l'ombre et en utilisant l'espace couleur LAB pour la comparaison des couleurs. Nous avons également utilisé une méthode fiable de calibration photométrique pour améliorer la qualité de la réflectance extraite. Enfin, nous avons comparé les résultats simulés avec les images réelles (voir Fig. 12). En (a) nous montrons une photo sous les conditions d'éclairage utilisées pour extraire la réflectance, en (b) nous montrons une image avec ré-éclairage simulé (donc la nouvelle position de la lampe est entièrement virtuelle) et en (c) nous comparons avec une nouvelle photo où nous avons placé une lampe réelle dans la même position que la lampe virtuelle pour l'image (b).

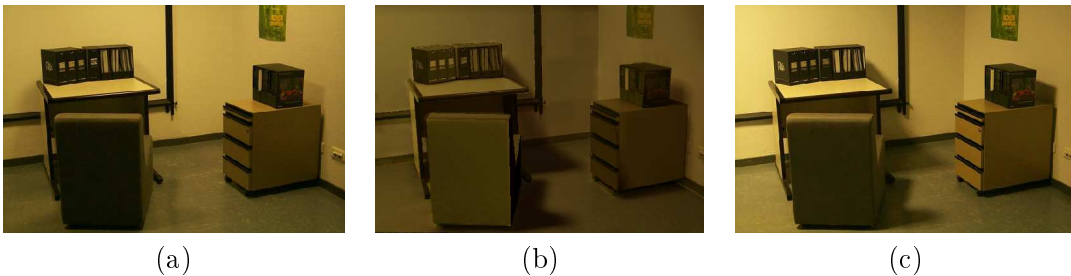


FIG. 12 – (a) Photographie originale d'une scène réelle avec conditions d'origine. (b) Résultat de la simulation avec conditions d'éclairage modifiées (c) Nouvelle photographie avec conditions d'éclairage réel très proches de (b).

Ces travaux ont été publiés dans la revue IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics [5], et dans la partie sur la calibration photométrique dans la 1re rencontre franco-britannique sur la réalité virtuelle [15].

### 5.4.3 Sculpture virtuelle

**Participants** : Marie-Paule Cani, Jean-Dominique Gascuel, Eric Ferley.

La thèse d'Eric Ferley, co-financée par *Renault SA* vise à mettre au point un système de sculpture virtuelle partiellement immersif pour restituer un mode d'interaction proche de celui d'un sculpteur déformant de la glaise, tout en apportant des avantages indéniables par rapport à un modelage réel (possibilité de couper-coller et retour en arrière, suppression des contraintes liées au séchage du matériau réel, etc).

Nous avons interfacé le modèle déformable implicite présenté dans la partie 5.2 (dans sa version uni-résolution) avec un bras articulé à retour d'effort *Phantom*. Plusieurs pistes ont été explorées. Les deux premières exploitaient le rendu de surface livré avec le *kit de développement GHOST* du bras articulé, en lui envoyant soit la totalité des triangles du modèle sculpté, soit ceux proches de l'outil. Ces approches se sont révélées décevantes, sans doute à cause de défauts dans le *toolkit* déjà signalés dans certaines des publications. L'approche finalement retenue évite

au maximum l'utilisation du toolkit. Elle exploite les informations volumiques dont on dispose sur le champ, dont la valeur scalaire est liée à la *quantité de matière* et le gradient à la normale à la surface. Il est ainsi assez aisé, connaissant la position d'un point de déduire la direction et l'intensité de la force de réaction. Nous avons implémenté ce calcul au sein d'un processus asynchrone, mettant aussi vite que possible à jour la force qu'un autre processus envoie au bras à retour d'effort de manière synchrone à 1kHz.

Nous avons également été amenés à traiter des oscillations dues au classique *effet mur*, ceci en gérant une fausse position combinaison d'une position amortie et de la position réelle lue sur le périphérique. Nous avons enfin exploré de manière analogue l'intégration d'une force de réaction sur le volume de l'outil intersectant l'objet (force *volumique*). Mais dans ce dernier cas, la mise à jour est fortement dépendante de la taille de l'outil, ce qui rend son utilisation difficile dans le cas général.

Nous avons aussi ajouté d'autres opérations essentielles à l'utilisabilité du prototype précédent, à savoir la sélection et le copier-couper/coller, comme illustré sur la figure 13. Une idée originale pour éviter les problèmes de bruit (*aliasing*) lors de la sélection/découpe d'une partie du potentiel objet et d'utiliser une sélection également exprimée comme un potentiel scalaire permettant de **pondérer** le potentiel sélectionné. L'implémentation du couper-coller/copier s'est faite à l'aide des outils discrets que notre logiciel fournissait déjà.

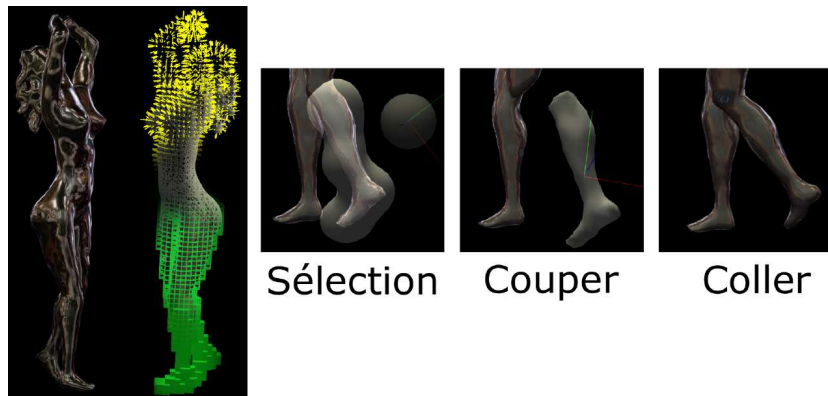


FIG. 13 – *Sculpture virtuelle : un modèle complet, et l'opération de copier-coller.*

#### 5.4.4 Simulateur de chirurgie

**Participants :** Marie-Paule Cani, Fabrice Neyret, Gilles Debunne.

La création de maquettes 3D interactives destinées aux systèmes de réalité virtuelle pose un défi spécifique à l'animation de synthèse: au-delà des exigences habituelles de réalisme visuel des déformations, de simplicité de contrôle, et d'efficacité des calculs, il s'agit maintenant d'assurer une réponse temps-réel de la maquette déformable, quelles que soient l'intensité et la nature des déformations que l'utilisateur lui fait subir. Une partie des problèmes à résoudre au sein de l'Action Incitative Télé médecine *CAESARE*, prolongement de l'ARC INRIA *Simulation de chirurgie AISIM* (voir 7.2), s'inscrit dans ce cadre. Ainsi, nous avons développé un modèle de

foie virtuel qui se déforme en temps réel sous l'action des instruments manipulés par l'utilisateur via une interface à retour d'effort (*Phantom*). Le modèle utilisé est un modèle à couche, qui comprend :

- un **modèle élastique adaptatif**, permettant de calculer en temps réel les déformations de l'organe grâce à une simulation volumique d'élasticité linéaire;
- une peau géométrique, attachée aux points d'échantillonnage du modèle interne. Cette peau est utilisée pour l'affichage, et lors du **traitement temps réel des collisions** avec les instruments chirurgicaux virtuels.
- des couches de texture permettant de restituer un rendu réaliste de l'organe (modifications cellulaires, reflets), et de tenir compte de son **aspect de surface évolutif**. Ceci comprend la simulation des contusions, du blanchiment, et de la cautérisation.

Notre première contribution scientifique réside dans le modèle élastique adaptatif utilisé pour la première couche, qui fait l'objet de la thèse de Gilles Debunne [1], et a été décrit dans le paragraphe 5.2.

La seconde, concernant le rendu des aspects évolutifs à la surface du foie sous l'action des instruments, s'appuie sur des textures animées à l'aide de *sprites*. Elle fait l'objet d'une soumission au journal *The Visual Computer*. La figure 14 illustre ces techniques.

L'intégration de tous ces travaux (animation, détection des collisions basée sur le hardware graphique développé en 1999, rendu visuellement réaliste la surface de l'organe) au sein d'un même simulateur a été réalisée lors du stage d'été d'Antoine Leroy et de Sylvain Trimoreau. Ces étudiants ont également travaillé sur la parallélisation du code pour mieux exploiter l'architecture multi-processeurs disponible sur l'Onyx, et ont intégré au simulateur une interface à retour d'efforts de type *Phantom*.

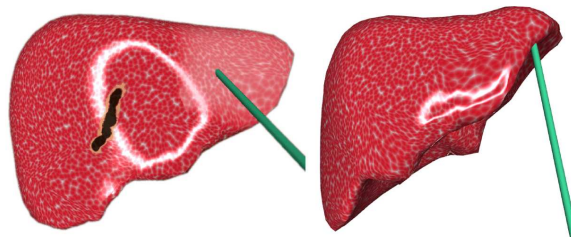


FIG. 14 – Simulation temps-réel des déformations du foie en réponse à la collision avec un instrument.

Ce projet de simulation de chirurgie se poursuivra en 2001 avec l'objectif de simuler les découpes de l'organe.

## 6 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

### 6.1 Végétation animée et interactive pour le jeu vidéo

**Participants :** Marie-Paule Cani, François Faure, Franck Perbet.

Nous avons obtenu un financement PRIAMM pour mettre en place une collaboration avec Infogrames (deuxième entreprise mondiale dans le domaine du jeu vidéo), sur le thème : *végétation animée et interactive pour le jeu vidéo*. A l'heure actuelle, les jeux utilisent encore peu de décors naturels. Lorsqu'ils apparaissent, ces derniers sont presque toujours statiques, en raison du très grand nombre d'éléments à animer. La mise en place d'éléments de végétation dynamiques (prairies, buissons et arbres agités par le vent, ou interagissant avec un personnage) permettrait pourtant d'améliorer considérablement l'immersion du joueur. Notre travail porte sur l'utilisation de représentations à différents niveaux de détail et sur une gestion fine des transitions entre ces représentations pour atteindre le temps-réel malgré la complexité des scènes. Les résultats déjà obtenus pour la simulation de prairies ont été présentés dans le paragraphe 5.2, rubrique simulation de l'environnement.

### 6.2 CTI/CNET Telemedia

**Participants :** George Drettakis, Jean-Dominique Gascuel.

L'objectif du projet Telemedia est d'étudier et d'évaluer des solutions techniques permettant d'établir un espace de communication et d'action multimodale partagé par des participants distants. Nous voulons fournir des éléments pour la conception d'un système où l'interaction est naturelle, concise, directe et complète. Le projet porte sur la situation de type studio (salle dédiée) plutôt que sur les postes de travail individuels. L'accent est mis sur l'interface homme-machine et sur les moyens techniques permettant de renforcer la sensation de co-présence.

Lors de la troisième année de ce projet, nous avons mis au point un nouveau concept, le "puits", permettant de nouveaux modes, plus conviviaux, de téléconférence. Un prototype a été réalisé, et exposé au CNET durant l'été 2000. Un dépôt de brevet CNET est en cours.

### 6.3 Collaboration avec le BRGM

**Participant :** Jean-Dominique Gascuel.

Une collaboration de recherche avec le BRGM (Bureau des Recherches Géologiques et Minières, service de prévention des risques naturels), portant sur la modélisation d'éboulements de falaises se poursuit depuis 1995.

Elle intègre les techniques de modélisation et de traitement des collisions développées au sein du projet iMAGIS dans un logiciel de simulation de trajectographie de blocs rocheux. Celui-ci doit déterminer des périmètres de sécurité et aider au dimensionnement des ouvrages de protection.

Cette année, le travail continue avec des validations en cours dans la vallée de Saint-Christophe en Oisans.

## 7 Actions régionales, nationales et internationales

### 7.1 Actions régionales

#### 7.1.1 Mise en place d'une plate-forme de réalité virtuelle

**Participants** : Laurence Boissieux, Jean-Luc Douvillé, Jean-Dominique Gascuel.

Dans le cadre de la construction de la seconde tranche de bâtiments de l'INRIA Rhône-Alpes, une surface de 130 m<sup>2</sup> a été réservée pour l'installation d'une Plate-forme de Réalité Virtuelle. Ce projet doit permettre de focaliser un certain nombre d'acteurs des nouvelles technologies de l'information de la région Grenobloise. Il se propose d'être un outil très performant, permettant à la fois :

- d'utiliser une avance technologique déterminante afin de finaliser certains travaux des équipes locales engagées dans des travaux de recherche sur la modélisation, la synthèse d'images, l'animation, l'exploration temps-réel de mondes virtuels 3D, notamment celles du laboratoire GRAVIR (unité mixte entre le CNRS, l'INRIA, l'INPG et l'UJF) ;
- d'attaquer des problèmes durs (au sens scientifique du terme) qui restent à traiter : simulation sonore et intégration son/image, ombres portées entre monde virtuel et réel, interfaces aussi bien matérielles (capteurs à 6 degrés de liberté), logicielles (menus, widgets 3D), que mixtes (retour d'effort), simplification de scènes et traitement de données très complexes, etc.) ;
- La mise à la disposition des chercheurs d'autres communautés scientifiques de cette plate-forme d'expérimentation.
- le partage de savoir-faire, l'étude grandeur réelle de problèmes de visualisation graphique distribuée, avec des équipes situées ailleurs dans la région (Saint-Étienne, Lyon), en France (Rennes, Nancy), ou dans le monde (Naples, Vienne, M.I.T.), aussi bien qu'avec des acteurs industriels.

Il faut également noter qu'un laboratoire de parallélisme massif (grappe de 200 PC), sur lequel travaillent les projets APACHE et SIRAC, va être installé à proximité. Une collaboration a commencé sur le thème de la simulation de textiles (voir la partie 7.1.2). Il est certain que d'autres collaborations scientifiques entre calcul intensif et visualisation interactive verront le jour dans ce cadre.

Un certain nombre de dispositifs propres à l'interaction en réalité virtuelle et augmentée ont été acquis ou prévus : capteurs de positions et orientations (de type MotionStar et SAGEIS), lunettes stéréo, bras à retour d'effort (type *Phantom*), casques d'immersion, etc.

Le super ordinateur graphique SGI doit évoluer début 2001 vers une machine Onyx3000 à 16 processeurs et trois canaux graphiques. Ce ordinateur sera capable, avec ses outils logiciels, de calculer et d'afficher des scènes hautement complexes en temps réel (25 à 120 images par seconde sur chaque canal).



### 7.1.2 Simulation de textiles sur grappes de processeurs

**Participant** : François Faure.

Une collaboration avec l'équipe APACHE du laboratoire ID a été entamée en septembre 2000. Elle porte sur la simulation physique de textiles en parallèle sur une grappe de PC. Le but est d'accélérer les calculs dynamiques (matériaux déformables soumis à des forces) et géométriques (détection de collisions) pour parvenir à l'animation en temps réel d'un personnage portant des vêtements réalistes. L'entreprise Yxendis basée à Saint-Chamond (42) est partenaire de l'opération, qui a obtenu un soutien financier de la région Rhône-Alpes dans le cadre du programme "Thématiques Prioritaires 2000".

### 7.1.3 Simulation de forgeage et de moulage

**Participants** : Marie-Paule Cani, Jean-Dominique Gascuel.

Une collaboration avec le Laboratoire Sols Solides Structures (3S) a été entamée au printemps 2000. Elle porte sur la réutilisation des modèles très déformables développés au sein du projet iMAGIS pour la simulation de coulées de boue et de lave (basées en particulier sur un système de particules de type SPH) dans le cadre de la simulation de forgeage et de moulage. Un premier stage de fin d'étude commun entre les deux laboratoires a montré qu'il était nécessaire d'étudier les possibilités d'intégration de nouvelles lois de comportement au sein du système SPH. Nous avons mis pour cela notre logiciel de simulation et d'animation *Fabule* à disposition du Laboratoire 3S, en l'installant en particulier sur les machines de l'AIP. Ce travail se poursuit par un stage de DEA chez 3S en 2000-2001.

### 7.1.4 Coulées de boue et avalanches virtuelles

**Participants** : Marie-Paule Cani, Fabrice Neyret, Jean-Dominique Gascuel.

Nous entamons une collaboration avec d'autres laboratoires Grenoblois, dont le CEMA-GREF et le LMC (projet IDOPT) sur la simulation visuellement réaliste de coulées de boue et d'avalanches, en vue d'obtenir un outil de communication et d'aide à la décision pour les risques en montagne. La prévention des risques passe en effet par des simulations numériques de plus en plus poussées débouchant sur d'importants volumes de données.

Communiquer de tels résultats au grand public, ainsi qu'aux acteurs politiques dont on attend une prise de décision, n'est pas une tâche facile. Le but de notre collaboration est de constituer une chaîne logicielle complète, permettant d'aller de la simulation d'un risque en montagne à sa représentation graphique visuellement réaliste. Les coulées de boue et avalanches virtuelles ainsi produites pourront notamment être visualisées en 3D dans la salle de réalité virtuelle de l'INRIA Rhône-Alpes, où l'immersion pourrait en outre être augmentée par un rendu sonore spatialisé de la coulée. Plusieurs demandes de financement sont en cours de montage pour ce projet, dont en particulier une demande d'ARC locale de l'INRIA Rhône-Alpes.

### 7.1.5 Projet DEREVE

Le projet DEREVE (Développement d'un Environnement Logiciel de Réalité Virtuelle Elaboré) est un projet thématique de la région Rhône-Alpes. Il regroupe 3 laboratoires de la région : le LIGIM (Lyon), ICA (Grenoble) et iMAGIS.

Le but du projet est de trouver des méthodes pour rendre les techniques de réalité virtuelle, à l'heure actuelle très coûteuses en matériel et logiciel, utilisables par le milieu industriel.

Pour cela, trois axes de recherche sont prévus : la représentation des données 3D adaptée à une visualisation rapide, les techniques logicielles propres au temps réel, les aspects interactifs multisensoriels.

François Sillion et Joëlle Thollot, responsables de ce projet pour iMAGIS, participent dans ce cadre à une collaboration avec le laboratoire ARIA de l'école d'architecture de Lyon sur le rendu non-photoréaliste interactif de scènes urbaines complexes.

### 7.1.6 Collaboration avec le projet Homeric de l'université Stendhal, Grenoble

Nous entamons cette année une collaboration sous la responsabilité de Jean-Dominique Gascuel et Joëlle Thollot avec un laboratoire d'histoire de l'université Stendhal à Grenoble. Le but est la modélisation de la ville de Troie à l'époque d'Homère à partir de plans issus de fouilles archéologiques. La modélisation doit permettre de se promener en temps réel dans la ville avec un rendu non-photoréaliste (correspondant aux dessins classiques des archéologues).

## 7.2 Actions nationales

### 7.2.1 Simulation de croissance de plantes

Dans le cadre de l'Action de Recherche Coordonnée "SOLEIL", soutenue par l'INRIA depuis décembre 1998, nous avons développé notre collaboration avec le CIRAD concernant l'étude des 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 sommes en train de réaliser le premier modèle de simulation intégré permettant de suivre les réactions d'un arbre à son environnement lumineux (cf. 5.1.3).

### 7.2.2 Action Incitative inter-GDR-PRC "Cœur Battant"

Cette action menée dans le cadre des GDR-PRC ISIS, ALP, et MSPC, soutenue par le MENRT, voit collaborer sept laboratoires de recherche français. Elle vise à reconstruire et simuler le fonctionnement d'un cœur humain complet, à des fins de formation médicale et d'aide à la compréhension de pathologies. Marie-Paule Cani est responsable du pôle 5 "Modèles physiques générateurs de mouvement", dans lequel des travaux sur la reconstruction de l'orientation des fibres cardiaques, sur l'animation du tissu myocardique et sur la simulation de la conduction ont déjà été effectués. L'action devrait se poursuivre en 2001 par la réponse à un appel d'offre de type RNTS.

### 7.2.3 Action Incitative Télémedecine “CAESARE”

Conduite par six projets de l’INRIA et le groupe ESI, en liaison avec l’IRCAD à Strasbourg (centre de formation médicale), cette action a pour but la réalisation d’un prototype de simulateur chirurgical pour la laparoscopie (chirurgie non-invasive du foie). Ce dispositif est destiné à terme à l’entraînement et à l’évaluation des chirurgiens, l’une des principales difficultés pour ce type d’opération étant l’apprentissage de la coordination des mouvements. Le travail effectué à iMAGIS, sous la responsabilité de Marie-Paule Cani, porte sur trois aspects : les modèles de déformation temps-réel, l’intégration des méthodes de rendu réaliste temps-réel de l’organe (peau, reflets, lésions) développées dans le cadre de l’action INRIA *AISIM*, et la gestion des interactions (découpes, interactions avec les organes voisins).

### 7.2.4 COLOR : CAVE2A iMAGIS-CSTB

Depuis l’implantation de l’antenne iMAGIS à Sophia-Antipolis, une action COLOR (Collaboration Locales de Recherche) entre l’Inria et le CSTB a été lancée sous la responsabilité de T. Vieville (projet ROBOTVIS) et G. Drettakis. Le but de cette action est d’établir une collaboration entre l’équipe Réalité Virtuelle du CSTB et l’Inria, en particulier dans la perspective de la mise en place d’une salle de réalité virtuelle au CSTB à Sophia-Antipolis.

## 7.3 Actions financées par l’Union Européenne

### 7.3.1 ARCADE (Reactive LTR 24944)

Le projet ARCADE a débuté en octobre 1997 et s’est achevé en octobre 2000. Les partenaires ont été une PME britannique, LightWork Design, le centre allemand de recherche appliqué en informatique graphique Fraunhofer-IGD, et iMAGIS/GRAVIR.

ARCADE, dont les responsables était François Sillion et George Drettakis, était un projet européen “Reactive Long Term Research”, ce qui signifie qu’il visait, à la fois, à un avancement et une consolidation de l’état de l’art, et à fournir une réponse à un besoin industriel. ARCADE (Automatic Radiosity simulation for Complex And Dynamic Environments) a comme sous-titre “Making Radiosity Usable”. L’objectif général était de prendre en compte un grand nombre d’algorithmes de simulation d’éclairage (les méthodes de radiosité), et de les rendre utilisables. Le résultat de ce projet est un système qui répond aux besoins réels, permettant une utilisation beaucoup plus répandue de la radiosité dans l’industrie.

### 7.3.2 SIMULGEN (Open LTR 35772)

SIMULGEN, dont les responsables sont G. Drettakis et F. Sillion, est la deuxième phase d’un projet européen “Open Long Term Research”. Les partenaires sont l’Université de Girone (coordonnateur – Espagne), le Max-Planck Institut à Saarbrücken (RFA) et LightWork Design (RU). Nous avons étendu le travail effectué pendant la première phase pour développer des algorithmes plus applicables aux problèmes réels et plus proches d’un niveau “pré-produit”. Trois axes sont en cours : des nouveaux algorithmes de résolution par la radiosité étendue, des nouvelles méthodes de reconstruction et des améliorations pour la production d’animation. N. Holzschuch remplace G. Drettakis depuis son départ à Sophia-Antipolis.

### 7.3.3 Projet PAVR : animation et réalité virtuelle

Le projet européen TMR *Platform for Animation and Virtual Reality (PAVR)*, dont Jean-Dominique Gascuel est responsable pour iMAGIS, regroupe onze équipes universitaires (3 françaises, 2 suisses, 1 espagnole, 2 anglaises, 2 autrichiennes et 1 belge) travaillant dans le domaine de la synthèse d'images et d'animations, ainsi qu'une start-up viennoise, Imagination GesMbh. Le but du projet est d'identifier et de résoudre les problèmes communs des systèmes de réalité virtuelle et d'animation. Il s'agit des problèmes de modélisation, d'implémentation, ainsi que d'utilisation et de contrôle sur réseau. Pour cela, nous menons depuis plusieurs années une tâche d'intégration des outils logiciels développés par les différents partenaires.

Dans ce cadre, nous avons invité cette année deux doctorants autrichiens (Peter Wonka et Michael Wimmer) pour 7 mois : d'une part pour combiner les outils d'iMAGIS et de l'Université Technique de Vienne en une plateforme de visualisation urbaine commune, puis pour utiliser cet outil afin de tester des nouveaux types d'imposteurs, compatibles avec des bases de données dynamiques.

## 7.4 Relations bilatérales internationales

### 7.4.1 Europe

iMAGIS a développé des liens étroits avec l'Université Polytechnique de Catalogne (Barcelone) et l'Université de Girone, 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.

Nous accueillons régulièrement des étudiants de l'Université d'Erlangen en Allemagne pour des périodes de six mois.

Nous entretenons également des relations suivies avec l'Université Technique de Vienne (Autriche). François Faure s'y rend périodiquement à des fins d'enseignement et de collaboration scientifique. Deux doctorants autrichiens, Peter Wonka et Michael Wimmer, sont venus travailler avec François Sillion Juin 2000 à Janvier 2001.

### 7.4.2 Collaboration avec la Fondation du Monde Hellénique

Depuis le début de l'année nous avons entamé une collaboration sous la responsabilité de G. Drettakis, avec la Fondation du Monde Hellénique (Athènes, Grèce) sur deux axes principaux : l'éclairage des sites antiques reconstruits utilisés dans le centre de réalité virtuelle à Athènes (<http://www.fhw.org> "Kivotos") et l'utilisation de la réalité augmentée pour l'affichage mixte de sites et édifices archéologiques reconstruits.

### 7.4.3 Amérique du Nord

Une coopération suivie avec Pierre Poulin, professeur à l'Université de Montréal permet d'échanger des étudiants sur des projets de recherche communs au niveau de la maîtrise au Québec (équivalent du DEA français), et d'assurer la cotutelle de thèses. Certaines de ces collaborations ont reçu un soutien financier du centre Jacques Cartier en 1999.

Une collaboration a eu lieu avec Alan Barr, Professeur à l'Institut Californien de Technologie *Caltech*, et Mathieu Desbrun, professeur à l'UCLA, sur le thème *Niveau de détail adaptatif en animation d'objets déformables*. Dans ce cadre, un étudiant en thèse d'iMAGIS a effectué des séjours annuels de plusieurs mois à Caltech, grâce à un soutien du programme régional *Eurodoc*. Cette collaboration s'achève en décembre 2000 par la soutenance de sa thèse.

Par ailleurs, dans le cadre de l'accord NSF-INRIA, nous travaillons avec l'équipe "Computer Graphics" du laboratoire d'informatique du M.I.T. sur la prise en compte des caractéristiques morphologiques des scènes urbaines, dans le but de fournir des outils de visualisation et de navigation parfaitement adaptés à ces données. Nous avons réalisé depuis 1997 plusieurs prototypes logiciels permettant de créer des données urbaines en fonction de paramètres morphologiques, correspondant à des classifications proposées en architecture urbaine. En particulier les résultats présentés en 5.1.5 et 5.3.1 ont permis une nouvelle avancée dans le compromis réalisme/complexité des visualisations. Notre but à moyen terme reste d'optimiser l'utilisation des "imposteurs" lors de la visualisation, en proposant aussi bien des techniques de calcul d'imposteurs différenciés que des stratégies d'utilisation et de mise à jour, pour minimiser l'erreur visuelle.

Nous collaborons également avec l'Université Cornell dans le cadre d'un projet sur le photoréalisme interactif dont est responsable Bruce Walter (ex post-doc à iMAGIS).

Nous avons démarré une collaboration scientifique avec le laboratoire de recherche de la société Microsoft (Microsoft Research, Redmond) et l'université de Stanford sur l'acquisition et le rendu de cheveux.

Enfin, nous avons bénéficié d'une donation du système *Maya* développé par Alias-Wavefront dans le cadre de leur programme de soutien à la recherche.

## 8 Diffusion de résultats

### 8.1 Animation de la communauté scientifique

Des membres du projet ont été membres des comités de programme des conférences Eurographics workshop on rendering, EUROGRAPHICS 2000, Symposium on Interactive 3D Graphics 2001, GRAPHICON 2000, Pacific Graphics 2000, Eurographics workshop on rendering 2000, de la *Winter School of Computer Graphics 2000* (République Tchèque) et de la *Spring Conference of Computer Graphics 2000* (République Slovaque).

F. Sillion est membre des comités éditoriaux des revues *ACM Transactions on Graphics* et *Computer Graphics Forum*, président du groupe de travail EUROGRAPHICS sur le rendu, membre du comité éditorial de la collection EUROGRAPHICS-Springer Wien, et membre du conseil d'administration d'EUROGRAPHICS. Marie-Paule Cani est membre du comité éditorial de la revue américaine *Graphical Models*, publiée par Academic Press.

Fabrice Neyret et Joëlle Thollot ont organisé la conférence "AFIG'2000" à Grenoble (3 jours, 170 participants), avec l'aide des membres d'iMAGIS et du LMC.

Marie-Paule Cani et Joëlle Thollot sont co-éditrices du numéro spécial de la *Revue Internationale de CFAO et d'Infographie* qui sera consacrée aux journées *AFIG'2000* de l'Association Française d'Informatique Graphique. Elles sont également membres du conseil d'administration de l'AFIG.

Marie-Paule Cani est co-responsable du groupe de travail français sur l'animation et la simulation de l'AFIG et du GDR-PRC ALP depuis mars 2000. Les membres du projet participent aux groupes de travail d'Eurographics et de l'AFIG sur les thèmes "rendu", "animation et simulation" et "modélisation".

Marie-Paule Cani est membre du jury décernant le prix de thèse de *SPECIF*.

Les membres du projet ont effectué des reviews d'articles scientifiques pour les revues et conférences suivantes: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, The Visual Computer, Pacific Graphics, ACM Transactions on Graphics, Computer Graphics Forum, Eurographics conference, Eurographics Workshop on Rendering, ACM Siggraph, Graphics Interface, IEEE Computer Graphics and Applications, Siggraph Symposium on Interactive 3D, Traitement du Signal.

## 8.2 Enseignement universitaire

En plus des activités normales d'enseignement des personnels universitaires (à l'Université Joseph Fourier, à l'INPG et à l'Université Pierre Mendès-France), les membres du projet interviennent dans l'enseignement du DEA Imagerie, Vision, Robotique de Grenoble, en DESS Ingénierie Mathématique à Grenoble, et à l'École Polytechnique.

François Faure a donné un cours de 22 heures sur la synthèse d'animation à l'Université Technique de Vienne (Autriche).

## 8.3 Participation à des colloques, séminaires, invitations

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

Marie-Paule Cani a donné deux conférences invitées, l'une devant les membres de l'IUF de Grenoble en janvier 2000, l'autre au sein de l'école doctorale d'informatique de Toulouse, en septembre 2000.

Fabrice Neyret a donné un séminaire à l'IRISA de Rennes et au LIFL de Lille.

François Faure a présenté une conférence invitée au Groupe de Travail Animation et Simulation de l'AFIG, en Mars 2000 à Grenoble.

## 8.4 Diffusion auprès du grand public

Les membres d'iMAGIS ont participé de façon importante aux journées "Sciences en Fête" sur le stand de l'INRIA.

Marie-paule Cani et Fabrice Neyret ont accueilli une classe de première scientifique d'un Lycée d'Annecy dans le cadre des journées de l'Académie de Sciences, en novembre 2000.

Fabrice Neyret participe à l'animation de diverses opérations grand public (hors INRIA) dont les Cafés Science et Citoyens, et le projet Cité de l'Innovation et de la Découverte.

## 9 Bibliographie

### Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] G. DEBUNNE, *Animation multirésolution d'objets déformables en temps-réel, Application à la simulation chirurgicale*, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Dec 2000, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Gilles.Debunne/These/>.

### Articles et chapitres de livre

- [2] F. CUNY, L. ALONSO, N. HOLZSCHUCH, «A novel approach makes higher order wavelets really efficient for radiosity», *Computer Graphics Forum* 19, 3, septembre 2000, p. C99–C108, (Eurographics 2000 proceedings), <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-057/A00-R-057.ps>.
- [3] F. DURAND, G. DRETTAKIS, J. THOLLOT, C. PUECH, «Conservative Visibility Preprocessing Using Extended Projections», *Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH '00)*, 2000, p. 239–248, <http://visinfo.zib.de/EVlib/Show?EVL-2000-60>.
- [4] E. FERLEY, M.-P. CANI, J.-D. GASCUEL, «Practical Volumetric Sculpting», *The Visual Computer*, 2000, à paraître.
- [5] C. LOSCOS, G. DRETTAKIS, L. ROBERT, «Interactive Virtual Relighting of Real Scenes», *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 6, 3, July-September 2000.
- [6] G. SCHAUFLER, J. DORSEY, X. DÉCORET, F. X. SILLION, «Conservative Volumetric Visibility with Occluder Fusion», *Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH '00)*, 2000, p. 229–238, <http://visinfo.zib.de/EVlib/Show?EVL-2000-59>.
- [7] C. SOLER, F. X. SILLION, «Texture-Based Visibility for Efficient Lighting Simulation», *ACM Transactions on Graphics* 19, 4, octobre 2000.
- [8] M. STAMMINGER, A. SCHEEL, X. GRANIER, F. PEREZ-CAZORLA, G. DRETTAKIS, F. SILLION, «Efficient Glossy Global Illumination with Interactive Viewing», *Computer Graphics Forum* 19, 1, mars 2000, p. 13–25, <http://www.blackwellpublishers.co.uk/asp/journal.asp?ref=0167-7055&src=ard&aid=385&iid=1&vid=19>.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [9] D. BOURGUIGNON, M.-P. CANI, «Controlling Anisotropy in Mass-Spring Systems», in : *Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation (CAS'00, Interlaken, Switzerland)*, août 2000.
- [10] C. DAMEZ, F. SILLION, «Radiosité hiérarchique spatiale et temporelle», in : *AFIG '00(Actes des 13èmes journées de l'AFIG)*, p. 211–221, décembre 2000, [http://www-imagis.imag.fr/Membres/Cyrille.Damez/Papers/SpaceTimeRad\\_fr.pdf](http://www-imagis.imag.fr/Membres/Cyrille.Damez/Papers/SpaceTimeRad_fr.pdf).
- [11] G. DEBUNNE, M. DESBRUN, M.-P. CANI, A. BARR, «Adaptive Simulation of Soft Bodies in Real-Time», in : *Computer Animation 2000, Philadelphia, USA*, mai 2000.
- [12] X. GRANIER, G. DRETTAKIS, B. WALTER, «Fast Global Illumination Including Specular Effects», in : *Rendering Techniques 2000 (Proceedings of the Eleventh Eurographics Workshop on Rendering)*, B. Peroche, H. Rushmeier (éditeurs), Springer Wien, p. 47 – 59, New York, NY, 2000.

- 
- [13] X. GRANIER, G. DRETTAKIS, B. WALTER, « Simulation rapide de l'éclairage global », *in* : *Association Française d'Informatique Graphique, 2000*, J. Thollot, F. Neyret (éditeurs), 2000.
- [14] N. HOLZSCHUCH, F. CUNY, L. ALONSO, « Wavelet Radiosity on Arbitrary Planar Surfaces », *in* : *11th Eurographics Workshop on Rendering, Brno, République Tchèque*, B. Péroche, H. Rushmeier (éditeurs), *Rendering Techniques '00*, Springer-Verlag, p. 161–172, Wien, juin 2000.
- [15] C. LOSCOS, G. DRETTAKIS, « Low-Cost Photometric Calibration for Interactive Relighting », *in* : *Proceedings of the First French-British International Workshop on Virtual Reality*, Brest, France, juillet 2000.
- [16] A. MEYER, F. NEYRET, « Multiscale Shaders for the Efficient Realistic Rendering of Pine-Trees », *in* : *Graphics Interface*, Canadian Information Processing Society, Canadian Human-Computer Communications Society, mai 2000, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Alexandre.Meyer/research/gi00/gi00.fr.html>.
- [17] F. PEREZ, I. MARTIN, F. X. SILLION, X. PUEYO, « Acceleration of Monte Carlo Path Tracing in General Environments », *in* : *Proceedings of Pacific Graphics 2000*, Hong Kong, PRC, October 2000. To appear.
- [18] F. SILLION, J.-M. HASENFRATZ, « Efficient Parallel Refinement for Hierarchical Radiosity on a DSM computer », *in* : *Third Eurographics Workshop on Parallel Graphics and Visualisation, Girona*, septembre 2000.
- [19] C. SOLER, F. SILLION, « Hierarchical Instantiation for Radiosity », *in* : *Rendering Techniques '00*, B. Péroche, H. Rushmeier (éditeurs), Springer Wien, p. 173–184, New York, NY, 2000.