

## *Projet iMAGIS*

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

*Grenoble*

THÈME 3B

*R* *apport*  
*d'Activité*

1999



## 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>5</b>
3.1	Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage . . . . .	5
3.2	Animation et modélisation . . . . .	6
3.3	Géométrie algorithmique . . . . .	8
3.4	Réalité augmentée et réalité virtuelle . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Domaines d'applications</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>10</b>
5.1	Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage . . . . .	10
5.1.1	Méthodes hiérarchiques pour la simulation de l'éclairage . . . . .	11
5.1.2	Contrôle de la précision et du coût mémoire pour la radiosité hiérarchique	11
5.1.3	Application de la simulation d'éclairage à la croissance des plantes . . . .	12
5.1.4	Rendu haute qualité pour des environnements généraux . . . . .	13
5.1.5	Rendu interactif de haute qualité . . . . .	13
5.1.6	Visualisation interactive de données urbaines . . . . .	14
5.1.7	Représentations alternatives . . . . .	15
5.2	Animation et modélisation . . . . .	16
5.2.1	Plaquage de texture . . . . .	16
5.2.2	Modélisation à l'aide de surfaces implicites . . . . .	18
5.2.3	Animation de coulées de lave . . . . .	18
5.2.4	Animation de structures articulées . . . . .	18
5.2.5	Animation de formes organiques . . . . .	19
5.3	Géométrie algorithmique . . . . .	20
5.4	Réalité augmentée et réalité virtuelle . . . . .	21
5.4.1	Mise en place d'une plateforme de réalité virtuelle . . . . .	21
5.4.2	Réalité augmentée . . . . .	22
5.4.3	Sculpture virtuelle . . . . .	23
5.4.4	Simulateur de chirurgie . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)</b>	<b>25</b>
6.1	Partenariat avec Hewlett Packard . . . . .	25
6.2	CTI/CNET Telemedia . . . . .	26
6.3	Collaboration avec le BRGM . . . . .	26
6.4	Simulation de la propagation d'ondes radio (Alcatel "Corporate Research Center") . . . . .	27

<b>7</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>27</b>
7.1	Plate-forme de réalité virtuelle . . . . .	27
7.2	Actions nationales . . . . .	28
7.2.1	Simulation de croissance de plantes . . . . .	28
7.2.2	Action Incitative inter-GDR-PRC "Cœur Battant" . . . . .	28
7.2.3	Action Incitative INRIA Simulateur Médical "AISIM" . . . . .	29
7.3	Actions financées par l'Union Européenne . . . . .	29
7.3.1	ARCADE (Reactive LTR 24944) . . . . .	29
7.3.2	SIMULGEN (Open LTR 35772/25774) . . . . .	29
7.3.3	Projet PAVR: animation et réalité virtuelle . . . . .	30
7.4	Relations bilatérales internationales . . . . .	30
7.4.1	Europe . . . . .	30
7.4.2	Amérique du Nord . . . . .	30
<b>8</b>	<b>Diffusion de résultats</b>	<b>31</b>
8.1	Animation de la communauté scientifique . . . . .	31
8.2	Enseignement universitaire . . . . .	31
8.3	Participation à des colloques, séminaires, invitations . . . . .	31
8.4	Diffusion auprès du grand public . . . . .	32
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>32</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]

Rosine At-Tchou [gestionnaire, UJF-GRAVIR]

Patricia Mathieu [secrétaire, CNRS-GRAVIR]

Hélène Emin [gestionnaire, INPG-GRAVIR]

### Personnel INRIA

George Drettakis [CR 1]

François Sillion [DR 2]

### Personnel CNRS

Jean-Dominique Gascuel [CR 1]

Fabrice Neyret [CR 2]

### Personnel Universitaire

Marie-Paule Cani [professeur, INPG]

François Faure [maître de Conférences, Université Joseph Fourier]

Joëlle Thollot [maître de Conférences, INPG]

### Chercheurs et professeurs invités

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

Brian Wyvill [professeur à l'Université de Calgary, janv-mai 99]

**Chercheurs post-doctorants**

Jean-Marc Hasenfratz [contrat ESPRIT]

Eugenia Montiel [contrat Alcatel]

Cyril Soler [contrat CIRAD]

Bruce Walter [boursier CIES-INRIA]

**Chercheurs doctorants**

David Bourguignon [allocataire MENRT, INPG]

Pierre-François Clerc [ENS]

Cyrille Damez [allocataire MENRT, UJF]

Gilles Debunne [allocataire MENRT, INPG]

Xavier Decoret [AMX, UJF]

Frédo Durand [AMN, UJF]

Éric Ferley [BDI, CNRS-Renault]

Laure France [ATER UJF, à mi-temps dans le projet BIP]

Xavier Granier [allocataire MENRT, UJF]

Céline Loscos [allocataire MENRT, UJF]

Alexandre Meyer [allocataire MENRT, UJF]

Éric Paquette [cotutelle Montréal-UJF]

Dan Stora [boursier MENRT, INPG]

Jérémie Turbet [contrat ESPRIT, UJF]

**Stagiaires**

Pierre-Olivier Agliati [ENSIMAG INPG]

Marie-Claude Frasson [Université de Montréal]

Raphaël Grasset [magistère UJF]

Eric Plante [Université de Montréal]

Sylvain Poquet [magistère UJF]

Alex Reche Martinez [ERASMUS Barcelone - INPG]

Franck Sénégas [magistère UJF]

## 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 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 innovatrices. 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 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, et l'étude de problèmes géométriques fondamentaux liés aux notions de visibilité et de cohérence.

Les applications comprennent les études d'impact, les simulateurs, la communication visuelle, l'imagerie médicale, et l'industrie du loisir audiovisuel entre autres. 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.

## 3 Fondements scientifiques

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

**Participants :** George Drettakis, Fabrice Neyret, Claude Puech, François Sillion, Joëlle Thollot, Pierre-François Clerc, Cyrille Damez, Frédo Durand, Xavier Granier, Jean-Marc Hasenfratz, Céline Loscos, Alexandre Meyer, Cyril Soler, Jérémie Turbet, Bruce Walter.

**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 simulation "réaliste" des phénomènes lumineux, qui permet de garantir la validité des images obtenues.*

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

Le premier axe de recherche s'intéresse à la définition et à la mise en œuvre de techniques multi-échelles ou progressives pour la simulation de l'éclairage. Le but recherché est de permettre une gradation *continue* entre une image grossière (mais quasi-instantanée) et une image de haute qualité, très coûteuse. Nous travaillons dans ce cadre sur la définition des mesures d'erreur, le calcul de gradient de la fonction d'éclairage et aussi le calcul du maillage "de discontinuités". L'étude du contrôle de l'erreur dans les algorithmes hiérarchiques de simulation participe également de la recherche d'une qualité optimale pour un effort donné.

Dans la seconde 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*), à base de relief procédural d'autre part. Nous étudions actuellement des solutions à base de "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).

Dans le même esprit, nous nous attaquons au problème de la simulation de l'éclairage pour des scènes (dites "dynamiques") dont on peut déplacer les objets. Nous avons notamment 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, Francois Faure, Jean-Dominique Gascuel, Fabrice Neyret, David Bourguignon, Gilles Debunne, Eric Ferley, Dan Stora.

**Mots clés :** mouvements, déformations, simulation interactive, niveaux de détail, textures animées, modeleur, surface implicites, animation.



**Résumé :**

*La synthèse de séquences animées pose des problèmes difficiles de calcul de mouvements et de déformations réalistes, et conduit naturellement à rechercher une modélisation des objets adaptée. Nos efforts se concentrent sur la définition de nouveaux modèles générateurs, comme ceux destinés à la simulation d'objets très déformables pour lesquels nous avons développé une représentation adaptée et originale s'appuyant sur les surfaces implicites. Plus généralement, nous explorons deux voies pour permettre la simulation d'objets hétérogènes complexes en des temps raisonnables : la mise au point, d'une part, de représentations multi-couches basées sur des hiérarchies de modèles simples couplés, et le développement, d'autre part, 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 simplifiées des objets, de conditions initiales, et de contraintes éventuelles à respecter au cours du mouvement. De plus, ces modèles sont capables de réagir à des stimuli extérieurs (manipulation interactive, collisions, etc).

Disposer d'un bon modèle de surface peut être déterminant pour l'animation d'objets déformables. 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, simuler des maquettes numériques en des temps raisonnables constitue un véritable défi, dans la mesure où ces maquettes sont le plus souvent destinées à capturer 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 indispensables par le développement des applications médicales, ou pour celle des phénomènes naturels destinés aux effets spéciaux dans le secteur audiovisuel (coulées de lave, végétation animée, etc). Le problème de l'efficacité des algorithmes est encore exacerbé pour certaines applications comme les simulateurs ou les mondes virtuels interactifs, pour lesquelles le temps-réel est requis. Notre méthodologie pour aborder ces problèmes s'appuie sur deux 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 couplés entre eux, 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 couches. Tandis 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 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, Frédo Durand, Céline Loscos.

**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, Eric Ferley, Céline Loscos, Bruce Walter.

**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 d'une part enrichit son savoir-faire sur ces thèmes, d'autre part développe des techniques originales de simulation, de rendu, et d'interaction avec des scènes contenant objets réels et virtuels. Ces applications s'inscrivent notamment dans le cadre du studio de réalité virtuelle en cours de montage à l'INRIA Montbonnot.*

Etudier 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, interréflexions) 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 d'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 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-téléphone), 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, Fabrice Neyret, Claude Puech, François Sillion, Joelle Thollot,

Pierre-François Clerc, Cyrille Damez, Frédo Durand, Xavier Granier, Jean-Marc Hasenfratz, Céline Loscos, Alexandre Meyer, Frédéric Perez, Cyril Soler, Jérémie Turbet, Bruce Walter.

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

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

- Développement des techniques de *clustering*, ou regroupement d'objets. Les techniques existantes sont en effet limitées, soit parce qu'elles nécessitent des temps de construction trop important, soit parce qu'elles ne permettent pas une exploitation optimale dans le cadre de la radiosity hiérarchique : on souhaite disposer d'une hiérarchie de *clusters* telle que le choix d'un niveau hiérarchique pour conduire un calcul se traduise directement par un niveau d'approximation cohérent. Nous avons poursuivi notre étude complète des algorithmes de clustering, avec des tests sur plusieurs scènes de grande complexité, ce qui nous a conduit proposer de nouveaux algorithmes de regroupement utilisant une analyse de connexité [27] comme illustré avec la figure 1.



FIG. 1 – clustering dans une scène complexe: (a) ensemble de triangles composant la scène (b) regroupement topologique (c) résultat de la simulation par radiosity.

- Nous avons développé la simulation hiérarchique à base de radiosity 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 [14].

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

**Participants** : Georges Drettakis, François Sillion, Xavier Granier, Cyril Soler, Jérémie Turbet.

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 est l'objectif du projet ARCADE.

Ayant mis en évidence les demandes très différentes placées sur le raffinement hiérarchique par des applications aussi diverses que la simulation numérique et la promenade en réalité virtuelle, nous avons mis en place une architecture très flexible permettant une expérimentation rapide et contrôlée. Cette architecture est fondée sur la représentation du processus de raffinement par un graphe de décision, utilisant des outils de calcul avec des attributions bien définies [37].

Afin d'accroître la complexité des simulations, nous nous sommes attachés à réduire la consommation en place mémoire actuelle des algorithmes de radiosité hiérarchiques avec regroupement. Nous avons alors développé un nouvel algorithme basé sur un stockage du résultat différent, permettant de réduire et de contrôler ce coût. Le principe de la méthode est d'utiliser la structure de la hiérarchie de liens pour réduire la mémoire utilisée à la fois par les liens et les éléments de la hiérarchie. Ce travail a été présenté au congrès Graphics Interface'99 [25].

### 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 associons 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'éclairage, au fil de sa croissance.

Malheureusement, 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 2) limite très rapidement ce type de simulation. Nous nous sommes intéressés à la question de l'*instanciation* (c'est-à-dire l'utilisation d'un même ensemble géométrique en plusieurs points d'une scène). Cette technique est 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 très lié à la représentation géométrique. L'instanciation, que nous recherchons en accord avec la structure topologique de la plante fournie par le moteur de croissance, conduira rapidement à des simulations botaniques à plus grande échelle, permettant par exemple d'étudier l'influence des plantes sur leurs voisines.

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 2).



FIG. 2 – *Simulation de la croissance d'un albizia âgé de quelques années. On note une déformation due à la direction prédominante d'éclaircement.*

#### 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 toutes les directions. 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 un l'affichage interactif. De plus notre implémentation a été développée pour être portable sur diverses plate-forme de calcul d'illumination. Ce travail a été présenté au congrès Graphics Interface'99 [34].

#### 5.1.5 Rendu interactif de haute qualité

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

Nous avons développé une nouvelle méthode pour le rendu interactif par lancer de rayons. Nous supposons que le système de rendu ne peut fournir qu'un très faible nombre d'échantillons par rapport au nombre de pixels de l'image. Pour donner à l'utilisateur un rendu interactive, nous stockons un certain nombre de points dans le "render cache" ; ces points sont ensuite re-projetés à chaque pas de temps sur l'image. Après une étape de correction des erreurs d'occultation et un lissage, nous arrivons à rendre une image d'assez bonne qualité. En parallèle, nous calculons une image de "priorité", qui permet l'identification des échantillons que nous

demandons au système de rendu. La figure 3 (gauche) illustre l'image générée par la projection "brute", (milieu) montre la correction de profondeur et (droite) le lissage.

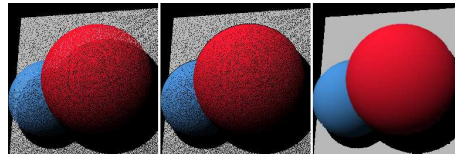


FIG. 3 – (gauche) Illustre l'image générée par la projection "brute" des échantillons, (milieu) montre la correction de profondeur et (droite) le lissage.

Les résultats montrent que pour des résolutions allant de  $256 \times 256$  jusqu'à  $320 \times 320$  nous arrivons à atteindre 10 à 15 images par seconde avec une qualité satisfaisante, en utilisant 1 à 4 processeurs R10000 pour le rendu. En utilisant un 60 processeurs, nous arrivons à avoir un rendu fluide pour le tracer de chemin, avec les effets de caustiques etc.

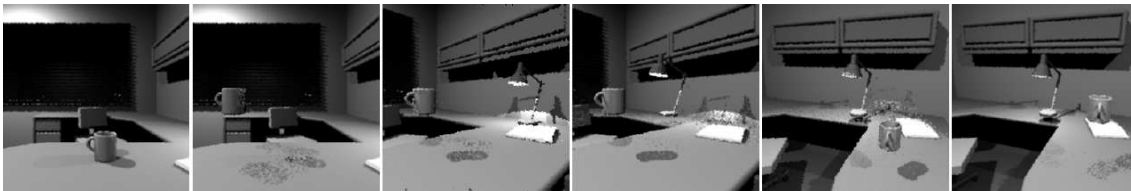


FIG. 4 – Des images d'une session interactive en utilisant le "render cache". L'utilisateur reçoit une réponse immédiate à un changement de point de vue ou à un déplacement d'un objet (la tasse). Certains artefacts restent visibles, mais le système, avec un taux de rafraîchissement de 5 images par seconde permet à l'utilisateur une véritable interaction avec la scène, tout en gardant une grande qualité de rendu.

Dans la Figure 4(a) nous montrons un exemple d'une scène de complexité modérée, où nous atteignons autour de 5 images par seconde de rafraîchissement. Ce travail a été présenté au workshop Eurographics sur le rendu [38].

### 5.1.6 Visualisation interactive de données urbaines

**Participants :** François Sillion, Joëlle Thollot, Xavier Decoret.

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 recherchant l'élimination de certains artefacts visuels (tels que la disparition d'objets ou la déformation des immeubles). Pour cela, nous avons mis au point une technique de construction d'imposteurs *multi-couches* à partir d'images synthétiques [17] (figure 5).

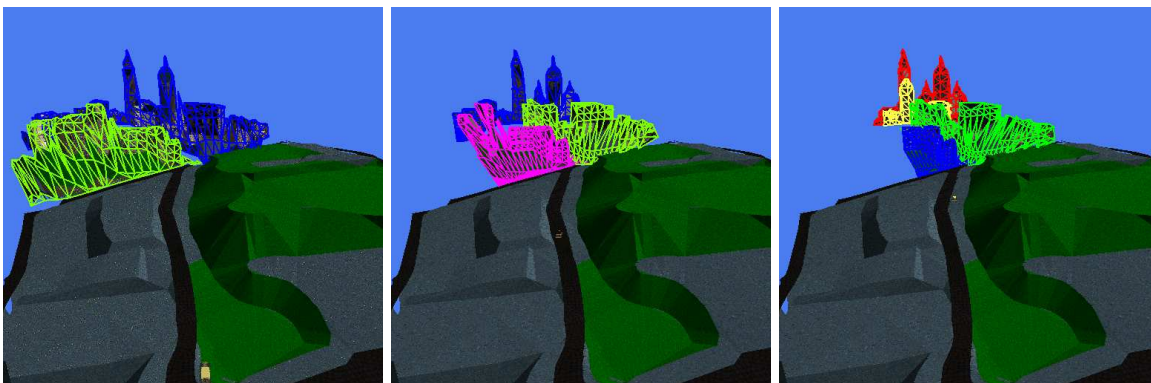


FIG. 5 – Principe des imposteurs “multi-couches” : suivant la position de l’observateur, la partie lointaine des données est simplifiée en un ensemble de couches plus ou moins nombreuses.

Nous travaillons d’autre part sur le problème de la visibilité et des niveaux de détail. Le but est de ne prendre en compte que les objets visibles depuis un point de vue donné. Pour cela nous développons un pré-calcul de l’ensemble des objets potentiellement visibles depuis un volume de l’espace. D’autre part nous calculons des niveaux de détail pour les principaux objets de la scène. Une fois que l’on connaît les objets potentiellement visibles depuis le point de vue, nous choisissons les niveaux de détail de ces objets en fonction de leur distance au point de vue et du temps de calcul disponible pour assurer un affichage temps-réel.

### 5.1.7 Représentations alternatives

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

Nous avons démarré cette année l’étude d’un nouveau type de représentation non-polygonale adapté aux scènes complexes constituées d’un grand nombre de détails pour lesquels on dispose d’une connaissance a priori de la répartition. C’est typiquement le cas des scènes naturelles, comme les forêts, dont le calcul du rendu réaliste par les méthodes actuelles est prohibitif. Notre première étape porte sur la représentation des conifères, pour lesquels la connaissance a priori de la répartition des détails (les aiguilles) est très forte.

L’objectif est d’obtenir un rendu réaliste (donc non temps-réel) avec ombrage et antialiasing d’une forêt de conifères, comportant un grand nombre d’arbres proches ou lointains, aussi rapidement que possible.

Notre nouvelle représentation est constituée d’une hiérarchie de *shaders*, chaque shader (ou *fonction de réflectance*) réalisant l’intégration analytique des effets lumineux des détails plus

fins qu'une résolution donnée. Ceci permet en une seule évaluation lors du rendu de prendre en compte les contributions des échelles inférieures au pixel sans aucun suréchantillonnage. Pour le modèle de conifère, le shader associé à la résolution la plus fine intègre la lumière réfléchie par une seule aiguille, tandis que le shader associé à la résolution la plus grossière intègre les effets de la réflexion, de la transparence anisotrope et de l'ombrage d'une touffe d'aiguilles le long d'une branche (cf figure 6). L'implémentation actuelle (peu optimisée) tourne environ 8 fois plus vite que le ray-tracer *Rayshade*. Ce premier travail fait l'objet d'une soumission à publication.

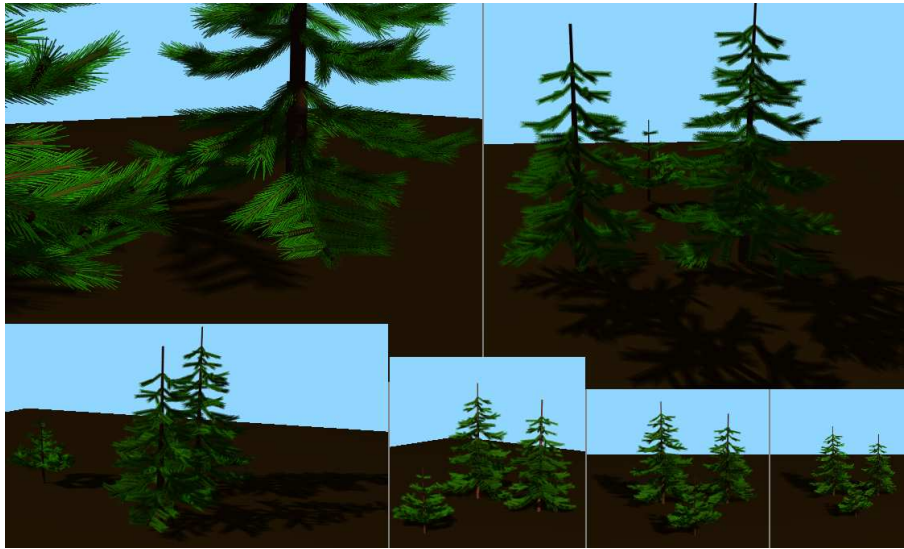


FIG. 6 – Rendu de sapins à diverses distances, en utilisant une hiérarchie de shaders comme représentation géométrique.

## 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 Plaquage de texture

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

La mise au point de l'aspect des surfaces par le biais de textures constitue une phase importante du travail de modélisation par les utilisateurs de la synthèse d'image (pour les effets spéciaux comme pour les jeux vidéo). La méthode usuelle de texturation comporte deux stades: la conception d'une *carte de texture* (i.e. l'image) et la mise en place d'un *mapping* (spécification du plaquage de cette carte sur la surface). L'image peut couvrir en une fois toute la surface, ou bien constituer un *échantillon* de texture à répéter pour couvrir la surface. Cependant le

*mapping* comporte fatalement des distortions d'autant plus graves que la surface est courbe ou topologiquement complexe (car seules les surfaces développables sont paramétrables sans distortion ni discontinuité). Les utilisateurs contournent ce problème en distordant leurs images et en plaçant les défauts aux endroits les moins visibles.

Nous avons introduit une nouvelle approche permettant de texturer toute surface à l'aide d'échantillons de texture sans distortion ni discontinuité, sans périodicité apparente, et offrant à l'utilisateur un contrôle de l'hétérogénéité (par contre l'approche s'applique essentiellement aux textures isotropes). L'idée consiste à remplacer la paramétrisation globale de la surface (intrinsèquement problématique) par une suite de paramétrisations locales et de contraintes de continu-dérivabilité portant le contenu des échantillons. Notre méthode consiste d'une part à créer automatiquement un maillage triangulaire régulier dont les triangles sont projetés sur la surface afin d'obtenir des domaines triangulaires courbes (définissant les paramétrisations locales), et d'autre part à créer (interactivement ou automatiquement) une série d'échantillons triangulaires mutuellement compatibles (en général quatre). Pour la génération des échantillons, nous avons adapté deux méthodes procédurales (textures de Perlin et textures de Worley) et testé deux méthodes interactives (images réelles et dessins). Les échantillons sont alors associés aux domaines triangulaires de manière à respecter la compatibilité des valeurs sur les frontières par tirage aléatoire contraint, incorporant éventuellement des contraintes de l'utilisateur. Ces travaux, illustré sur la Figure 7, on fait l'objet d'une publication à Siggraph [10].

On peut noter que cette méthode de texturation est compatible avec la plupart des techniques associées aux textures (synthèse de Fourier, bump-mapping, textures volumiques), et est utilisable tant dans le cadre du rendu réaliste que de la réalité virtuelle. En particulier, nous l'avons utilisée pour plaquer un pattern de cellules sur un foie virtuel dans le cadre d'un simulateur de chirurgie (voir 5.4).

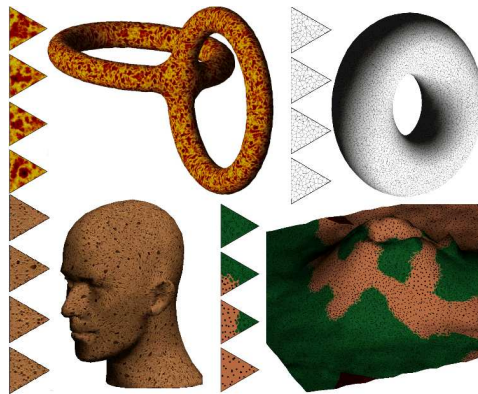


FIG. 7 – Texturation de diverses surfaces avec différents types d'échantillons (de gauche à droite et de haut en bas: textures procédurales de Perlin et de Worley, édition d'image réelle, tracé manuel). On peut constater l'absence de distortion, de discontinuité et de périodicité.

### 5.2.2 Modélisation à l'aide de surfaces implicites

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

Nos travaux de modélisation géométrique ont porté pour cette année sur l'utilisation des surfaces implicites dans le cadre d'un logiciel de **sculpture virtuelle**. Le modèle de surface utilisé est liso-surface d'un potentiel discrétisé sur une grille. Ce travail est décrit en détail dans la partie réalité virtuelle du rapport (voir 5.4).

### 5.2.3 Animation de coulées de lave

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

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. L'animation de coulées de lave donne un exemple intéressant de cette complexité: la lave est en effet un liquide visqueux dont la viscosité et l'aspect de surface changent en fonction de la température, cette dernière pouvant être calculée en simulant les transferts de chaleur. De plus, le modèle proposé doit être capable de rendre compte de phénomènes d'échelles très différentes, du calcul de la trajectoire de la coulée sur un modèle numérique de terrain à la modélisation des aspérités de la croûte qui se solidifie progressivement.

La solution que nous avons développée s'appuie sur l'utilisation d'un "modèle à couches": les mouvements à grande échelle dus aux interactions au sein de la coulée et avec le terrain sont calculés grâce à un système de particules lissées. Le flot de particules obtenu est ensuite habillé par une surface en mouvement dont la texture et la rugosité évoluent avec la température sous-jacente. Ce travail a fait l'objet d'une publication à la conférence Graphics Interface'99 [35].

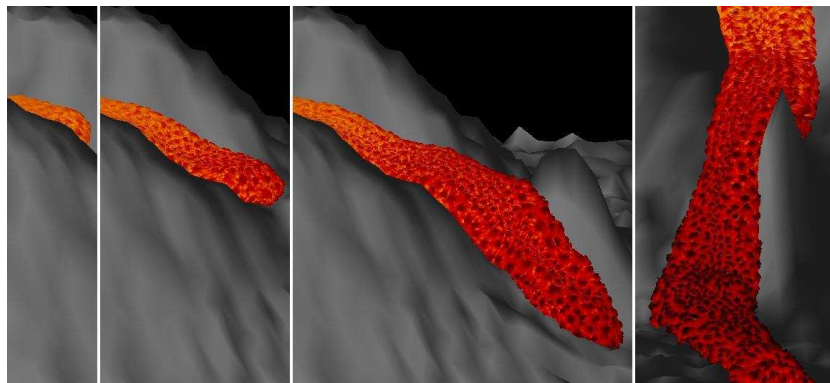


FIG. 8 – *Simulation de coulée de lave.*

### 5.2.4 Animation de structures articulées

**Participants** : Francois Faure, Jean-Dominique Gascuel, Laure France.

L'ensemble des fonctionnalités déjà développées à iMAGIS pour simuler efficacement le mouvement et les interactions d'objets rigides articulés (animation par positions clés, cinématique inverse, dynamique directe, dynamique inverse, calcul des forces de réaction et de frottement lors de collisions ou de contacts entre solides) a été mis à profit dans le cadre de la thèse de Laure France [3], portant sur la simulation graphique d'un robot bipède. Les capacités sensorielles de ce robot ont été modélisées grâce à la simulation, exploitant le hardware graphique, de capteurs proximétriques. Ces derniers rendent le robot réactif à son environnement [24].

D'autre part, Francois Faure, qui vient d'être recruté en octobre 99, va reprendre l'activité du projet sur le thème des structures articulées et des interactions entre objets rigides.

### 5.2.5 Animation de formes organiques

**Participants :** Marie-Paule Cani, David Bourguignon, Gilles Debunne, 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 myocardiques en vue de la simulation pédagogique d'un cœur humain, dans le cadre du projet de DEA de David Bourguignon. De premiers résultats ont été obtenus sur la modélisation de l'activation électrique et celle du processus de contraction (voir Figure 9). Ce travail, qui se poursuit actuellement par une thèse, s'inscrit de l'action incitative inter-GDR-PRC "Cœur Battant", soutenue par le MENRT.

D'autre part, nous développons un modèle à couche temps-réel pour un foie virtuel, dont les déformations à grande échelle s'appuient sur un modèle élastique adaptatif original. Ce modèle, destiné à un simulateur de chirurgie, est décrit en détail dans la section réalité virtuelle (voir la partie 5.4).

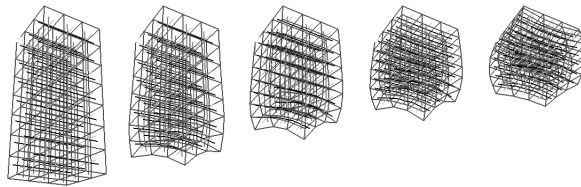


FIG. 9 – *Simulation de la contraction du muscle papillaire, dans le cadre de la modélisation d'un coeur animé.*

En ce qui concerne l'animation de personnages dans leur ensemble, le projet de DEA de Dan Stora a permis de mettre en route une étude sur l'animation interactive des couches muscle/chair/peau d'un personnage animé dont le mouvement du squelette est donné. Les déformations dues à l'inertie de la chair sous l'effet de l'accélération du squelette sont restituées de manière simplifiée sans nuire à l'interactivité de l'animation, comme on le voit sur la figure 10.

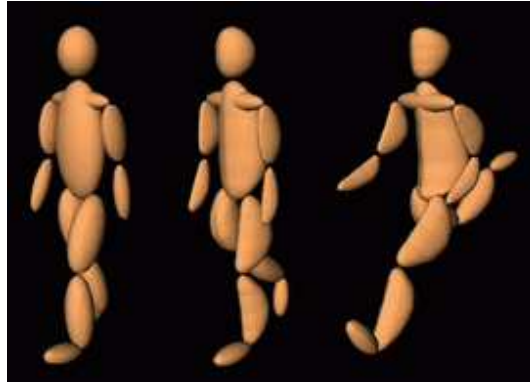


FIG. 10 – *Déformations automatiques de la chair d'un personnage en fonction de l'accélération de son squelette, à partir de la forme du personnage au repos données à gauche.*

Enfin, nous poursuivons notre travail sur la simulation de chevelures, un point important pour le réalisme visuel des acteurs de synthèse, dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Montréal. Nous avons déjà mis au point 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.

### 5.3 Géométrie algorithmique

**Participants :** George Drettakis, Claude Puech, Frédo Durand, Céline Loscos.

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.

Nous avons développé une nouvelle structure de données, appelée "Squelette de Visibilité", qui est une représentation relativement compacte de toutes les relations de visibilité dans l'espace. Apparenté à la structure 2D "Complexe de Visibilité", le Squelette ne code que les événements visuels (EV) de dimensions 0 et 1 dans un graphe. Les nœuds sont les EV de dimension 0, correspondant à l'interaction de quatre arêtes de la scène, et les arcs sont les événements de dimension 1, liant les nœuds (par exemple, l'interaction d'une arête et d'un sommet). En ajoutant un tableau permettant un accès efficace, nous avons démontré l'utilité de

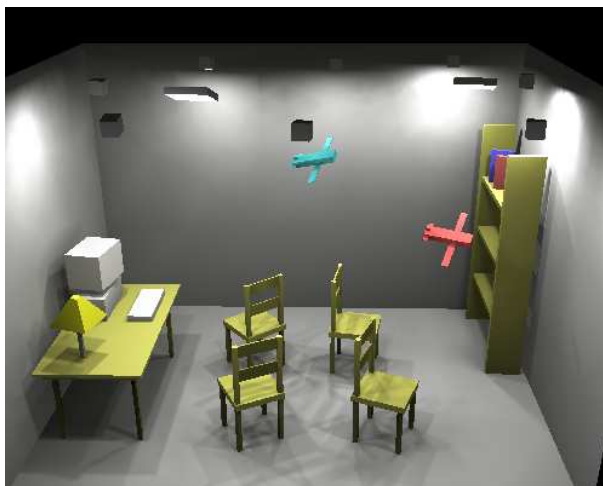


FIG. 11 – Le maillage de discontinuité dû à la source se trouvant au plafond dans le coin, tel qu’il a été calculé grâce au squelette de visibilité.

la structure construite pour différentes applications graphiques. Nous avons ensuite développé un nouvel algorithme de radiosité hiérarchique en utilisant le squelette en introduisant un nouveau modèle de maillage irrégulier et en utilisant des méthodes de perception [7].

## 5.4 Réalité augmentée et réalité virtuelle

**Participants :** George Drettakis, Jean-Luc Douvillé, Jean-Dominique Gascuel, Xavier Granier, Céline Loscos, Bruce Walter.

### 5.4.1 Mise en place d’une plateforme de réalité virtuelle

**Participants :** 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 130m<sup>2</sup> a été consacrée à l’installation d’une Plate-forme de Réalité Virtuelle. Ce projet devrait permettre de focaliser un certain nombre d’acteurs “*nouvelles technologies de l’information*” de la région Grenobloise.

Cette plate-forme se doit de répondre à une double attente :

**Plate-forme graphique haute performance :** Le côté plate-forme graphique haute performance permet de tester en “vraie grandeur” des solutions techniques et algorithmiques qui ont certes peut-être vocation à passer à terme sur des machines plus petites, mais avec une avance technologique déterminante qui nous placera à la pointe pour la recherche et le transfert technologique. Cet aspect s’entend donc aussi pour des domaines de recherche et d’applications “classiques” de l’infographie, comme la simulation de l’éclairage, l’animation et la simulation de mouvement, etc.

**Studio de réalité virtuelle et augmentée :** Ce dernier répond plutôt aux besoins d'applications plus récentes, voir émergentes. Si une bonne simulation de l'éclairage est sans doute nécessaire pour ces applications (design, maquettage virtuel, téléconférence, mélange d'images réelles et virtuelles, etc), elle ne saurait être suffisante : des problèmes durs (au sens scientifique du terme) doivent être traités : simulation sonore et intégration son/image, ombres portées entre monde virtuel et réel, interfaces -aussi bien "hard" (capteurs 6DOF), "soft" (menus, widgets 3D), que mixte (retour d'efforts)- simplification de scènes et traitement de données très complexes, etc.).

La plateforme en cours de montage tente de répondre à ces besoins, en combinant une machine graphique de forte puissance et un système de visualisation semi-immersif type grand écran. L'espace de 130m<sup>2</sup> a été découpé afin de permettre l'installation d'une salle de projection (60m<sup>2</sup>) équipée pour l'image et le son, d'une régie audio-vidéo qui hébergera les serveurs informatiques, et de trois salles annexes (manips à retour d'effort, studio "bleu" (20m<sup>2</sup>), montage vidéo, etc.) pouvant être re-découpées afin d'avoir un deuxième grand équipement (WorkBench, CAVE) dans le même espace.

La salle de projection est prévue pour qu'une dizaine de participants puissent être accueillis. L'ensemble est spécialement étudié quant à l'isolation phonique (cloisons, surfaces horizontales), aux revêtements (son, lumière), à la climatisation, à l'éloignement maximal de toutes sources de champs électromagnétiques pouvant influencer des expériences utilisant la capture de mouvements. L'écran cylindrique (rayon 4m, hauteur 3m, 150° d'ouverture) permet une visualisation 3D, confortable pour un petit groupe. Pour alimenter ce système de projection, trois vidéo projecteurs stéréoscopiques avec un raccordement bien géré des images sont nécessaires. Des sources d'éclairage auxiliaires, des haut-parleurs complétés par des possibilités de son 3D, des lunettes permettant la vision du relief et des distances permettront de créer une ambiance autour de l'image projetée.

Un studio "bleu" (éclairage de scène, deux caméras instrumentées, boîtiers de connections, une machine PSYset de GETRIS SA de traitement vidéo, écran bleu) permettra de filmer un ou deux personnages, et de les intégrer dans la scène virtuel 3D.

Il est bien sûr indispensable de prévoir une palette minimale de dispositifs propres à l'interaction en réalité virtuelle et augmentée : capteurs de positions/orientations (type Flock Of Bird), lunettes stéréos, bras à retour d'effort (type Phantom), casques (type Sony GlassTron), etc. Le serveur informatique prévu est du type SGI Onyx à 3 sorties graphiques, alimentant les trois vidéo projecteurs. Ce calculateur est capable, avec ses outils logiciels, de calculer et d'afficher des scènes hautement complexes en temps réel (25 à 120 images/s sur chaque canal). Cet ensemble offrira un champ d'applications et d'investigations suffisamment vaste qui nous fait repousser à un second temps (3/5 ans) la solution de type purement "immersif".

#### 5.4.2 Réalité augmentée

**Participants :** George Drettakis, Xavier Granier, Céline Loscos, Bruce Walter.

Nous avons développé une méthode permettant le ré-éclairage, c'est-à-dire la modification virtuelle des propriétés l'éclairage, la *remodélisation* des scènes réelles d'intérieur, de façon interactive et en conservant les effets réalistes de l'éclairage mixte (réel et virtuel). Pour cette



méthode, nous utilisons une procédure de capture simple (données non exhaustives, matériel peu coûteux et facilement contrôlable). La scène réelle est connue depuis plusieurs photographies prises sous des éclairages différents mais contrôlés. Une réflectance diffuse est estimée pour chaque pixel de l'image d'origine. L'éclairage est ensuite simulé en combinant une méthode de lancer de rayon pour l'éclairage direct, et une méthode de radiosité hiérarchique optimis e pour l'éclairage indirect. Cette méthode permet à la fois le r -éclairage et la remodelisation interactive (suppression d'objets réels). Un exemple de résultat est montré sur la figure 12.

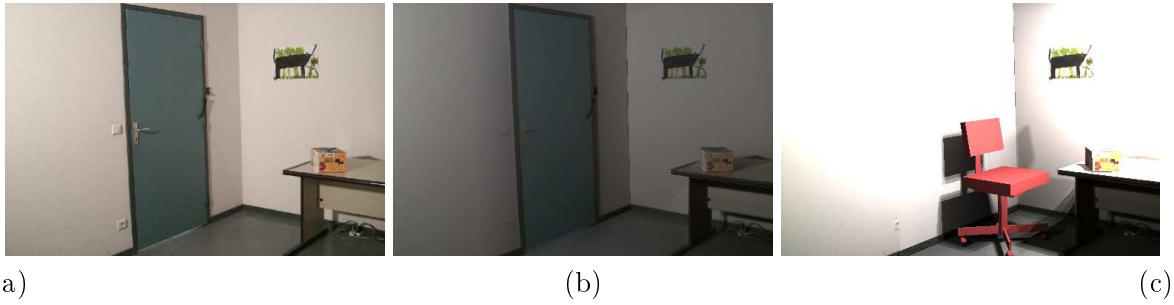


FIG. 12 – (a) Photographie originale d'une scène réelle. (b) Simulation de l'éclairage originale avec la réflectance estim e. L'image simul e est très ressemblante à la photographie. (c) Modification de la scène réelle en temps interactif en conservant des effets d'éclairage réalistes : suppression de la porte (objet réel) en 3 secondes, ajout d'une chaise virtuelle en 2 secondes, ajout d'une lampe virtuelle en 7 secondes.

Ce travail a été présenté au workshop Eurographics sur le rendu [29], et a fait l'objet de la thèse de Céline Loscos [4].

### 5.4.3 Sculpture virtuelle

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

La modélisation de formes très complexes, des modèles de visage utilisés pour les applications audiovisuelles aux carrosseries de voitures de l'industrie automobile, passe le plus souvent par le modelage de maquettes en terre glaise qui sont ensuite digitalis es. Une thèse co-financ e par *Renault SA* vise à mettre au point un système de sculpture virtuelle partiellement immersif (casque de vision 3D et interface à retour d'effort). Dans la mesure où le mode d'interaction habituel de l'artiste est restitué, le modelage d'une glaise virtuelle apporte des avantages indéniables comme la possibilité d'opérations de couper-coller, la suppression des contraintes et déconvenues li es au séchage du matériau réel, et le fait de pouvoir remonter dans l'historique des déformations si les dernières modifications n'ont pas été satisfaisantes.

Le modèle déformable que nous utilisons est une isosurface d'un champ de potentiel (surface implicite) dont des valeurs discrètes, stoquées sur une grille spatiale, sont  dit es au cours du temps par les outils manipulés par l'utilisateur. Ce modèle permet de concevoir facilement des formes de topologie et de géométrie arbitraires. Le prototype d j  velopp  [20], permet l'ajout et la suppression de matière, ainsi que l'application de déformations locales par déplacement de matière sous l'effet du contact avec un outil. La surface sculpt e est visualis e en temps

réel grâce à un “marching cube” incrémental. Enfin, le couplage de ce système avec un bras *Phantom* à retour d'effort est en cours.



FIG. 13 – Exemple de sculpture réalisée à l'aide de notre système de sculpture virtuelle.

#### 5.4.4 Simulateur de chirurgie

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

La création de maquettes 3D interactives destinées aux systèmes de réalité virtuelle pose un nouveau défi 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, quelle que soit 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 de l'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. 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, et en particulier de tenir compte de son **aspect de surface évolutif**.

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 et est développé en collaboration avec Mathieu Desbrun et Alan Barr de l'Université Caltech. Il s'agit d'un modèle de déformation par différences finies *dont l'échantillonnage s'adapte automatiquement dans le temps comme dans l'espace*, de manière à toujours concentrer la puissance de calcul là où elle est la plus nécessaire. Ce modèle repose sur une structure hiérarchique permettant de raffiner/regrouper de manière très efficace les points échantillonnant un sous-volume donné de

l'objet. Ce travail a fait l'objet d'une publication au workshop d'Eurographics sur l'animation [16].

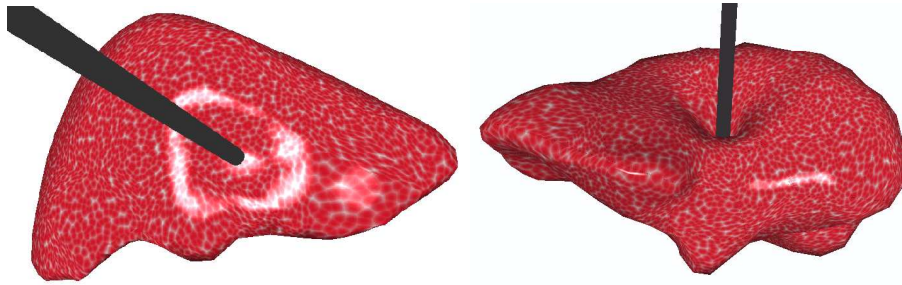


FIG. 14 – *Simulation temps-réel des déformations du foie en réponse à la collision avec un instrument.*

D'autre part, nous avons mis au point, en collaboration avec Jean-Christophe Lombardo du projet EPIDAURE, une nouvelle technique de détection de collisions qui offre des performances temps-réel dans le cadre des interactions entre le foie et un instrument manipulé par l'utilisateur lors d'une simulation de chirurgie. Cette méthode, qui ne requière aucun pré-calcul, s'appuie sur la fonction de "picking" du hardware graphique pour renvoyer la liste des facettes de la scène (ici, la peau recouvrant le foie) intersectant un objet de forme simple (l'instrument de chirurgie virtuelle), qui est assimilé au "volume de vision" d'une caméra. Ce travail a fait l'objet d'une publication à la conférence Computer Animation'99 [28].

En ce qui concerne l'aspect de surface du foie, outre le plaquage sans distorsion de motifs de cellules (voir la partie 5.2), nous avons travaillé cette année sur l'aspect évolutif de cette surface en réaction aux actions des instruments manipulés par le chirurgien (contusions, blanchiment, cautérisation). Nous avons introduit une technique de *sprites texturels* contrôlés par automate, permettant de simuler efficacement des phénomènes qui 'vivent' à la surface. Nous avons utilisé cette technique pour simuler des épanchements de gouttes de sang capables de rouler à la surface sous l'action de la gravité puis de fusionner, en consommant une faible fraction de temps de calcul et de tracé afin de garantir le temps réel. Nous avons simulé les brûlures de manière similaire, en prenant en compte le caractère évolutif de l'aspect de surface (d'une simple marque jaune à la carbonisation). Nous avons également simulé le blanchiment consécutif à une pression locale sur la surface, qui disparaît progressivement après le relâchement de la contrainte.

Ce projet de simulation de chirurgie se poursuit avec l'objectif de simuler maintenant les découpes de l'organe.

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

### 6.1 Partenariat avec Hewlett Packard

**Participants :** Jean-Dominique Gascuel, Claude Puech.

Nous avons démarré une relation de partenariat avec la division "Performance Desktop



FIG. 15 – A gauche: les trois types d'aspect évolutif simulés (cautérisation, contusion, blanchiment). A droite: vue d'ensemble sur le foie.

Computing” de HP, dans laquelle nous apportons notre expérience des applications graphiques “performantes”. Le but de ce partenariat est de déterminer quelles sont les difficultés particulières rencontrées avec ce type d'applications sur les plateformes développées par HP.

En 1999, nous avons développé pour HP un outil permettant d'évaluer la qualité visuelle des cartes graphiques OpenGL. Cet outil compare les images obtenues par les différentes cartes testées à des images *de référence*, selon des critères psycho-visuels.

## 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 “puit”, permettant de nouveaux modes, plus conviviaux, de téléconférence. Un prototype a été réalisé. 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'éboulement 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, un travail important a été fait sur l'interface, et sur les sorties graphiques. De plus, les géo-physiciens du BRGM ont validé les modèles de simulation sur les données réelles,

en filmant des chutes artificielles de roches dans la vallées de Saint-Christophe en Oisant, puis en simulant les mêmes chutes sur un modèle numérique du terrain de cette vallée.

#### 6.4 Simulation de la propagation d’ondes radio (Alcatel “Corporate Research Center”)

**Participants :** François Sillion, Claude Puech, Eugenia Montiel.

Nous avons conclu avec le Centre de Recherche d’Alcatel (anciennement “Alcatel Alsthom Recherche”) un contrat de collaboration portant sur la simulation de la propagation des ondes porteuses de téléphone cellulaire par des méthodes de radiosité.

La complexité des phénomènes mis en jeu (grande quantité de chemins possibles pour les ondes entre une antenne et un récepteur, présence de la diffraction) rend très coûteuses les simulations à base de suivi de chemins. L’utilisation de techniques hiérarchiques a permis de gagner en rapidité, et surtout d’offrir un outil flexible et paramétrable, avec la possibilité de se placer dans un continuum entre un calcul rapide et approximatif, et un calcul précis mais plus lent. L’outil développé permet ainsi de calculer en quelques minutes des cartes de couverture représentant a puissance reçue en chaque point d’une “mini-cellule” en environnement urbain, et en tenant compte de multiples réflexions et diffractions (cf Figure 16).

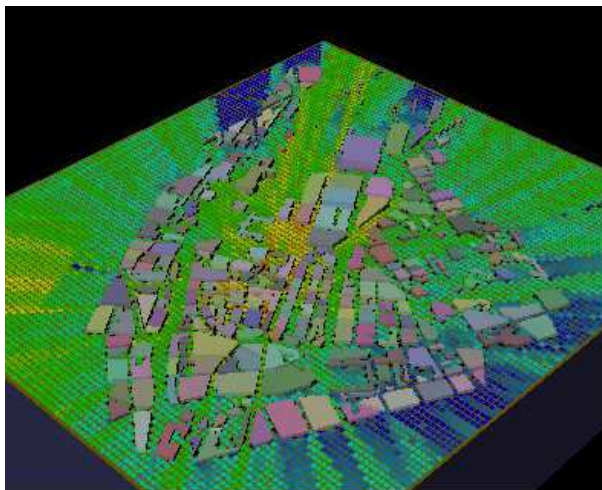


FIG. 16 – *Résultat de la simulation de la propagation d’ondes radio pour le support de téléphone mobile, avec prise en compte de la diffraction et des réflexions multiples.*

## 7 Actions régionales, nationales et internationales

### 7.1 Plate-forme de réalité virtuelle

La plate-forme de Réalité Virtuelle, décrite à la section 5.4 et située dans le bâtiment de l’INRIA Rhône-Alpes à Montbonnot, a l’ambition et la potentialité de s’appuyer sur les com-

pétences en infographie et simulation, robotique, vision, présentes au sein de la communauté de recherche grenobloise en général, et du laboratoire GRAVIR en particulier.

Elle se propose d'être un outil très performant permettant à la fois :

- La finalisation des travaux des équipes locales engagées dans des travaux de recherche sur la modélisation, le rendu, l'animation, l'exploration temps réel de mondes virtuels 3D (par exemple, dans le cadre de collaborations avec les laboratoires ICP ou TIMC).
- Le partage de savoir-faire, l'étude grandeur réelle de problèmes de visualisation graphique distribuée, avec des équipes situées ailleurs dans la région (Saint-Etienne, Lyon), en France (Rennes, Nancy), ou dans le monde (Naples, Vienne).
- La mise à la disposition des chercheurs d'autres communautés scientifiques de cette plateforme d'expérimentation.
- La jonction de ces travaux avec les buts poursuivis par l'industrie. La plate-forme réalisée pourra permettre de réaliser des études finalisées permettant de juger et de comparer l'intérêt de solutions de type "réalité virtuelle" dans le cadre de contextes applicatifs précis.

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. Il est certain que des collaborations scientifiques entre calcul intensif et visualisation interactive verront le jour dans ce cadre.

## 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 4 "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 1999 par la réponse à un appel d'offre de type "Télémédecine".

### 7.2.3 Action Incitative INRIA Simulateur Médical “AISIM”

Conduite par six projets de l'INRIA, en liaison avec l'IRCAD à Strasbourg (centre de formation médicale), cette action qui vient de s'achever en novembre 1999 a permis 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, a porté sur trois aspects : les modèles de déformation temps-réel, le rendu réaliste temps-réel de l'organe (peau, reflets, lésions), la détection en temps-réel des collisions entre les outils et l'organe (voir la partie “résultats récents”).

Les bons résultats de cette action ont permis l'obtention d'un financement sur appel d'offre “Télé-médecine”, qui va permettre la poursuite de ce travail très novateur pour une durée supplémentaire de deux ans.

## 7.3 Actions financées par l'Union Européenne

### 7.3.1 ARCADE (Reactive LTR 24944)

ARCADE, dont les responsables sont François Sillion et George Drettakis, est un projet européen “Reactive Long Term Research”, ce qui signifie qu'il vise, 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 est de prendre en compte un grand nombre d'algorithmes de simulation d'éclairage (les méthodes de radiosity), et de les rendre utilisables. Le résultat de ce projet devrait être un système qui réponde aux besoins réels, permettant une utilisation beaucoup plus répandue de la radiosity dans l'industrie.

Le projet ARCADE a débuté en octobre 1997 et a une durée de trois ans. Les partenaires sont une PME britannique, LightWork Design, le centre allemand de recherche appliqué en informatique graphique Fraunhofer-IGD, et iMAGIS/GRAVIR.

### 7.3.2 SIMULGEN (Open LTR 35772/25774)

SIMULGEN, dont les responsables sont George Drettakis et François Sillion, est un projet européen “Open Long Term Research” qui a une orientation plus “recherche fondamentale”, et se déroule en deux phases. La première phase vient de se terminer, et nous nous sommes attaqués à deux limites actuelles des algorithmes de radiosity : le traitement des surfaces reflétant d'une façon non-lambertienne et le traitement des milieux participatifs. La première phase de SIMULGEN (Open LTR 25772) avait comme partenaires les universités de Erlangen (Allemagne) et Girone (Espagne), et nous avons prouvé à l'aide de démonstrateurs “prototypes”, la faisabilité de deux approches permettant ces traitements dans le contexte d'un système de radiosity. La deuxième phase (LTR 35772) a démarré en avril 1999 avec un nouveau partenaire industriel, LightWork Design (RU). Nous allons étendre le travail effectué pendant la première phase pour développer des algorithmes plus applicables aux problèmes réels et plus proche d'un niveau “pré-produit”. Trois axes sont prévus : des nouveaux algorithmes de résolution par

la radiosité étendue, des nouvelles méthodes de reconstruction et des améliorations pour la production d'animation.

### 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 une douzaine d'équipes (3 françaises, 2 suisses, 1 allemande, 1 espagnole, 2 anglaises, 1 autrichienne et 1 belge) travaillant dans le domaine de la synthèse d'images et l'animation. 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.

## 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.

### 7.4.2 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 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 est en cours avec Alan Barr, Professeur à l'Institut Californien de Technologie *Caltech*, sur le thème *Niveau de détail adaptatif en animation d'objets déformables*. Dans ce cadre, un étudiant en thèse d'iMAGIS effectue des séjours annuels de plusieurs mois à Caltech, grâce à un soutien du programme *Eurodoc*.

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 5.1.6 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 de Cornell dans le cadre d'un projet sur le photoréalisme interactif dont est responsable Bruce Walter (ex post-doc à iMAGIS).

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 SIGGRAPH'99, EUROGRAPHICS'99, Shape Modeling International'99, GRAPHICON'99 (Russie), de la "ACM Conference on Computational Geometry", des ateliers EUROGRAPHICS sur le rendu, sur l'animation, et sur les surfaces implicites, de la *Winter School of Computer Graphics* (République Tchèque) et de la *Spring Conference of Computer Graphics* (République Slovaque), et de la conférence IHM99 (Montpellier, France).

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 présidente du groupe de travail EUROGRAPHICS sur les surfaces implicites.

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

### 8.2 Enseignement universitaire

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

### 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.

Francois Sillion a présenté des conférences invitées à Graphics Interface (Canada), au "workshop on rendering, perception and measurement" (Cornell University, USA) et aux 12<sup>emes</sup> journées de l'AFIG (Reims).

Marie-Paule Cani a donné deux conférences invitées dans le cadre du séminaire international de l'Université de Aizu au Japon. Elle a donné des séminaires invités aux journées "Perspectives pour le calcul scientifique" de l'INRIA, et au "Colloquium de mathématiques appliquées" de l'IMAG.

Fabrice Neyret et Marie-Paule Cani ont donné des conférences invitées à l'atelier franco-canadien "Computer Graphics and Applications" organisé à Kingston (Ontario, Canada) par la Conférence des Grandes Ecoles, dans le but de favoriser les collaborations recherche/industrie franco-canadiennes.

## 8.4 Diffusion auprès du grand public

Marie-Paule Cani a donné une conférence à la Cité des Sciences et de l'Industrie à la Villette dans le cadre d'un cycle sur les nouvelles technologies de l'image et leurs applications.

Marie-Paule Cani et Fabrice Neyret ont donné des conférences dans le cadre des journées "Déambulation'99", organisées par le centre d'animation scientifique "La Rotonde" (Saint Etienne) et co-financées par le centre Jacques Cartier (échanges Franco-Canadiens).

Les travaux sur la simulation d'environnement urbain, d'une part, et ceux sur la détection de collision en temps réel pour la simulation de chirurgie, d'autre part, ont fait l'objet d'articles ou d'interviews parus dans la revue "Computer Graphics World".

## 9 Bibliographie

### Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] G. DRETTAKIS, *Du Rendu de Haute Qualité à l'interactivité*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble), septembre 1999.
- [2] F. DURAND, *Visibilité tridimensionnelle : Etude analytique et applications*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble), juillet 1999, <http://graphics.lcs.mit.edu/~fredo/THESE/>.
- [3] L. FRANCE, *Simulation graphique d'un robot bipède dans un environnement structuré*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble), novembre 1999.
- [4] C. LOSCOS, *Ré-éclairage et remodelisation interactifs des scènes réelles pour la Réalité Augmentée*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble), décembre 1999.
- [5] C. SOLER, *Représentations hiérarchiques de la visibilité pour le contrôle de l'erreur en simulation de l'éclairage*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble), décembre 1998, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Cyril.Soler/THESE/>.
- [6] N. TSINGOS, *Simulation de champs sonores de haute qualité pour des applications graphiques interactives*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble), décembre 1998, <http://www.bell-labs.com/user/tsingos/publis/thesis.html>.

### Articles et chapitres de livre

- [7] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH, « Fast and Accurate Hierarchical Radiosity Using Global Visibility », *ACM Transactions on Graphics*, avril 1999, <http://graphics.lcs.mit.edu/~fredo/>.
- [8] N. HOLZSCHUCH, F. SILLION, « An Exhaustive Error-Bounding Algorithm for Hierarchical Radiosity », *Computer Graphics Forum 17*, 4, 1998.
- [9] F. MULTON, L. FRANCE, M.-P. CANI-GASCUEL, G. DEBUNNE, « Computer Animation of Human Walking: a Survey », *The Journal of Visualization and Computer Animation 10*, 1999, p. 39-54, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Laure.France/stuff/survey.ps.gz>.
- [10] F. NEYRET, M.-P. CANI, « Pattern-Based Texturing Revisited », *Computer Graphics SIGGRAPH'99 Conference Proceedings, ACM SIGGRAPH*, août 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Fabrice.Neyret/publis/SIG99/SIG99-fra.html>.

- [11] F. NEYRET, «Modeling Animating and Rendering Complex Scenes using Volumetric Textures», *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 4, 1, janvier–mars 1998, ISSN 1077-2626, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Fabrice.Neyret/publis/tvcg98-fra.html>.

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

- [12] M.-P. CANI, «Implicit Representations in Computer Animation: a Compared Study», *in: Proceedings of Implicit Surface '99*, septembre 1999. Invited paper.
- [13] M.-P. CANI-GASCUEL, «Layered Models with Implicit Surfaces», *in: Graphics Interface (GI'98) Proceedings*, Vancouver, Canada, juin 1998. Invited paper.
- [14] C. DAMEZ, F. SILLION, «Space-Time Hierarchical Radiosity», *in: Rendering techniques '99 (Proceedings of the 10th Eurographics Workshop on Rendering)*, D. Lischinski, G. Larson (éditeurs), 10, Springer-Verlag/Wien, p. 235–246, New York, NY, juin 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Cyrille.Damez/Papers/SpaceTimeRad.pdf>.
- [15] G. DEBUNNE, M.-P. CANI, «Animation multirésolution interactive d'objets déformable», *in: Journées AFIG*, novembre 1999.
- [16] G. DEBUNNE, M. DESBRUN, A. BARR, M.-P. CANI, «Interactive multiresolution animation of deformable models», *in: Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation*, septembre 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/debunne/Multi/multi.html>.
- [17] X. DECORET, G. SCHAUFLE, F. SILLION, J. DORSEY, «Multi-layered Impostors for Accelerated Rendering», *in: Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '99)*, septembre 1999, <http://www-imagis.imag.fr/VILLE/>.
- [18] M. DESBRUN, M.-P. CANI-GASCUEL, «Active Implicit Surface for Animation», *in: Graphics Interface*, p. 143–150, juin 1998, <http://www.dgp.toronto.edu/gi/gi98/papers/129/129.html>.
- [19] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH, «The Visibility Skeleton», *in: 14th European Workshop on Computational Geometry*, Mar 1998.
- [20] E. FERLEY, M.-P. CANI, J.-D. GASCUEL, «Practical Volumetric Sculpting», *in: Proceedings of Implicit Surface '99*, septembre 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Eric.Ferley/index.fr.html>.
- [21] E. FERLEY, M.-P. CANI, J.-D. GASCUEL, «Sculpture virtuelle», *in: Journées AFIG*, novembre 1999.
- [22] E. FERLEY, M.-P. CANI, J.-D. GASCUEL, «Virtual Sculpture», *in: Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '99)*, septembre 1999. Short paper, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Eric.Ferley/index.fr.html>.
- [23] L. FRANCE, A. GIRAULT, B. ESPIAU, «Generation of Walk Transient Trajectories for a Biped Robot», *in: International Conference on Advanced Robotics*, novembre 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Laure.France/stuff/icar99.ps.gz>.
- [24] L. FRANCE, A. GIRAULT, J.-D. GASCUEL, B. ESPIAU, «Sensor Modeling for a Walking Robot Simulation», *in: Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation*, septembre 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Laure.France/stuff/cas99.ps.gz>.

- 
- [25] X. GRANIER, G. DRETTAKIS, «Controlling Memory Consumption of Hierarchical Radiosity with Clustering», in : *Graphics Interface (GI'99) Proceedings*, juin 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Xavier.Granier/index.fr.html>.
- [26] J. GRASSET, O. TERRAZ, J.-M. HASENFRATZ, D. PLEMENOS, «Accurate Scene Display by Using Visibility Maps», in : *Spring Conference on Computer Graphics and its Applications*, 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Jean-Marc.Hasenfratz/PUBLI/SCCG99.html>.
- [27] J.-M. HASENFRATZ, C. DAMEZ, F. SILLION, G. DRETTAKIS, «A Practical Analysis of Clustering Strategies for Hierarchical Radiosity», in : *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '99)*, septembre 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Jean-Marc.Hasenfratz/PUBLI/EG99.html>.
- [28] J.-C. LOMBARDO, M.-P. CANI, F. NEYRET, «Real-time Collision Detection for Virtual Surgery», in : *Computer Animation'99*, mai 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/mpc/ca99.ps.gz>.
- [29] C. LOSCOS, M.-C. FRASSON, G. DRETTAKIS, B. WALTER, X. GRANIER, P. POULIN, «Interactive Virtual Relighting and Remodeling of Real Scenes», in : *Rendering techniques '99 (Proceedings of the 10th Eurographics Workshop on Rendering)*, D. Lischinski, G. Larson (éditeurs), 10, Springer-Verlag/Wien, p. 235–246, New York, NY, juin 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Celine.Loscos/relight.html>.
- [30] C. LOSCOS, M.-C. FRASSON, G. DRETTAKIS, «Interactive Virtual Relighting and Remodeling of Real Scenes», in : *Poster Session, Second IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR)'99*, octobre 1999.
- [31] A. MEYER, F. NEYRET, «Textures volumiques interactives», in : *AFIG'98*, p. 261–270, décembre 1998, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Alexandre.Meyer/afig98.ps.gz>.
- [32] A. MINÉ, F. NEYRET, «Perlin Textures in Real Time Using OpenGL», in : *RR-3713 INRIA*, juin 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Fabrice.Neyret/publis/RR-3713-fra.html>.
- [33] F. SILLION, «Will Anyone Really Use Radiosity?», in : *Graphics Interface (GI'99) Proceedings*, juin 1999. Invited paper.
- [34] M. STAMMINGER, A. SCHEEL, X. GRANIER, F. PEREZ-CAZORLA, G. DRETTAKIS, F. SILLION, «Efficient Glossy Global Illumination with Interactive Viewing», in : *Graphics Interface (GI'99) Proceedings*, juin 1999, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Xavier.Granier/index.fr.html>.
- [35] D. STORA, P.-O. AGLIATI, M.-P. CANI, F. NEYRET, J.-D. GASCUEL, «Animating Lava Flows», in : *Graphics Interface (GI'99) Proceedings*, juin 1999, <http://www-imagis.imag.fr/LAVA/index-fra.html>.
- [36] N. TSINGOS, J.-D. GASCUEL, «Fast rendering of sound occlusion and diffraction effects for virtual acoustic environments», in : *104th AES convention, Amsterdam, The Netherlands*, May 1997, <http://www-imagis.imag.fr/Membres/Nicolas.Tsingos/Publis/AES104/aes104.html>.
- [37] J. TURBET, F. SILLION, «Structure arborescente pour le raffinement progressif en radiosité hiérarchique», in : *Journées AFIG*, novembre 1999.

- 
- [38] B. WALTER, G. DRETTAKIS, S. PARKER, « Interactive Rendering using the Render Cache », *in: Rendering techniques '99 (Proceedings of the 10th Eurographics Workshop on Rendering)*, D. Lischinski, G. Larson (éditeurs), 10, Springer-Verlag/Wien, p. 235–246, New York, NY, juin 1999.