

*Projet iMAGIS**Modèles, Algorithmes, Géométrie pour le  
Graphique et l'Image de Synthèse**Rhône-Alpes*

THÈME 3B



*R*apport  
*d'**A*ctivité

2002



# Table des matières

<b>1. Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2. Présentation et objectifs généraux</b>	<b>2</b>
<b>3. Fondements scientifiques</b>	<b>2</b>
3.1. Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage	2
3.2. Animation et modélisation	3
3.3. Géométrie algorithmique	5
3.4. Réalité augmentée et réalité virtuelle	5
<b>4. Domaines d'application</b>	<b>6</b>
<b>6. Résultats nouveaux</b>	<b>6</b>
6.1. Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage	6
6.1.1. Méthodes hiérarchiques pour la simulation de l'éclairage	6
6.1.2. Application de la simulation de l'éclairage à la croissance des plantes	7
6.1.3. Synthèse surfacique de texture	7
6.1.4. Rendu en temps réel de pierres taillées	9
6.1.5. Visualisation interactive de grands volumes de données	9
6.1.6. Approche procédurale du rendu NPR pour le dessin au trait	10
6.1.7. Rendu non photo-réaliste et balade virtuelle	11
6.1.8. Modélisation à partir d'images	11
6.1.9. Textures procédurales en temps-réel	12
6.2. Animation et modélisation	13
6.2.1. Modélisation intuitive	13
6.2.1.1. Sculpture virtuelle.	13
6.2.1.2. Surfaces Implicites Multirésolution.	14
6.2.2. Simulation de l'environnement	14
6.2.2.1. Animation adaptative de la surface de la mer.	15
6.2.2.2. Animation interactive de la végétation.	15
6.2.2.3. Simulation d'écorces.	15
6.2.3. Animation de formes organiques	16
6.2.3.1. Simulation d'objets déformables.	16
6.2.3.2. Animation de visages	17
6.2.3.3. Animation de chevelure	17
6.2.4. Textures d'animation	17
6.2.4.1. Textures de dilatation	17
6.2.4.2. Simulation d'écorces	18
6.2.4.3. Textures animées	18
6.3. Géométrie algorithmique	18
6.3.1. Précalcul pour le rendu des scènes complexes	18
6.3.2. Décomposition automatique de scènes architecturales en graphe de cellules et portails	18
6.3.3. Calculs de visibilité pour des scènes en mouvement	18
6.4. Réalité augmentée et réalité virtuelle	20
6.4.1. Mise en place d'une plate-forme de réalité virtuelle	20
6.4.2. Environnement multi-utilisateurs pour la Réalité Augmentée	20
6.4.3. Sculpture virtuelle	21
6.4.4. Illustration et annotation en 3D	22
6.4.5. Simulateur de chirurgie	22
6.4.6. Capture 3D de mouvements par la vidéo	23
6.4.7. NeuroRV : Neurosciences motrices et réalité virtuelle	23

<b>7. Contrats industriels</b>	<b>23</b>
7.1. Végétation animée et interactive pour le jeu vidéo	23
7.2. Visualisation d'ensemble de données volumiques de très grande taille	24
<b>8. Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>24</b>
8.1. Actions régionales	24
8.1.1. Plate-forme de réalité virtuelle	24
8.1.2. Projet DEREVE	25
8.1.3. Simulation de textiles sur grappes de processeurs	25
8.1.4. Coulées de boue et avalanches virtuelles	25
8.1.5. ARC ARCHEOS	25
8.1.6. NeuroRV : Neurosciences motrices et réalité virtuelle	26
8.1.7. Digisens	26
8.2. Actions nationales	26
8.2.1. CYBER : fusion temps réel d'un animateur réel dans un monde virtuel	26
8.2.2. Collaboration avec Noveltis	28
8.2.3. ARC Simulation de Chirurgie Intestinale	28
8.3. Actions financées par l'Union Européenne	28
8.3.1. SIMULGEN (Open LTR 35772)	28
8.3.2. RealReflect	28
8.3.3. Réseau d'Excellence "Computer Graphics and Virtual Environments"	29
8.4. Relations bilatérales internationales	29
8.4.1. Europe	29
8.4.2. Amérique du Nord	29
<b>9. Diffusion des résultats</b>	<b>30</b>
9.1. Animation de la communauté scientifique	30
9.2. Enseignement universitaire	30
9.3. Participation à des colloques, séminaires, invitations	31
9.4. Diffusion auprès du grand public	31
<b>10. Bibliographie</b>	<b>31</b>

# 1. Composition de l'équipe

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

## **Responsable scientifique**

Claude Puech [professeur, UJF]

## **Personnel ITA (Laboratoire GRAVIR)**

Isabelle Delas [gestionnaire INPG (en congé parental depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2001)]

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

Pascal Di Giacomo [ingénieur de recherche INPG-GRAVIR]

Ornella Mazzeo [gestionnaire, UJF-GRAVIR]

Patricia Mathieu [assistante de direction, CNRS-GRAVIR]

Sonia Nogueira [gestionnaire, INPG-GRAVIR]

## **Personnel INRIA**

Nicolas Holzschuch [CR 1]

Lionel Reveret [CR2]

François Sillion [DR 2]

Cyril Soler [CR 2]

Laurence Boissieux [Ingénieur]

## **Ingénieurs associés**

Stéphane Gobron [ingénieur UJF (jusqu'en Avril 2002)]

Marc Lapierre [ingénieur UJF]

Yannick Legoc [ingénieur INRIA (depuis le 1<sup>er</sup> Septembre 2002)]

Jean-Christophe Roche [ingénieur INRIA (depuis le 1<sup>er</sup> Septembre 2002)]

## **Personnel CNRS**

Gilles Debunne [CR2]

Jean-Dominique Gascuel [CR 1]

Fabrice Neyret [CR 1]

## **Personnel Universitaire**

George-Pierre Bonneau [professeur, UJF]

Marie-Paule Cani [professeur, INPG]

François Faure [maître de conférences, UJF]

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

Joëlle Thollot [maître de conférences, INPG]

## **Chercheurs doctorants**

Florence Bertails [allocataire MENRT, INPG]

David Bourguignon [allocataire MENRT, INPG]

Jean Combaz [allocataire MENRT, UJF]

Xavier Décoret [AMX, UJF]

Guillaume Dewaele [AMN, INPG, MOVI/iMAGIS]

Éric Ferley [BDI, CNRS-Renault]

Olivier Galizzi [allocataire MENRT, INPG]

Stéphane Grabli [allocataire MENRT, UJF]

Raphaël Grasset [allocataire MENRT, UJF]

Samuel Hornus [élève ENS Cachan]

Caroline Larboulette [allocataire MENRT, INSA, SIAMES/iMAGIS]

Sylvain Lefebvre [allocataire MENRT, UJF]

Sylvain Paris [AMX, UJF]

Franck Perbet [allocataire MENRT, INPG]  
Basile Sauvage [doctorant MENRT, INPG, LMC/iMAGIS]  
Jérémie Turbet [doctorant, UJF (jusqu'en Mars 2002)]  
Fabien Vivodtzev [allocataire CEA, UJF]  
Alex Yvart [doctorant BDI-CNRS, INPG, LMC/iMAGIS]

#### Doctorant invité

Denis Haumont [doctorant Université libre de Bruxelles (à partir de Novembre 2002)]

## 2. Présentation et objectifs généraux

iMAGIS est un projet INRIA et une équipe de l'unité mixte de recherche (UMR) GRAVIR entre le CNRS, l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), l'INRIA et l'Université Joseph Fourier (UJF). Le laboratoire GRAVIR est membre de la fédération IMAG (Institut d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble).

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.

## 3. Fondements scientifiques

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

**Participants :** George-Pierre Bonneau, Sylvain Lefebvre, Jean-Marc Hasenfratz, Nicolas Holzschuch, Alexandre Meyer, Fabrice Neyret, Claude Puech, François Sillion, Cyril Soler, Joëlle Thollot, Fabien Vivodtzev.

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

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'artéfacts 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 (par exemple la 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 explorons également l'apport des informations de simulation d'éclairage dans la production d'images « non-photoréalistes ».

Une part de notre recherche concerne enfin la simulation de l'éclairage à des fins non nécessairement visuelles. La maîtrise des techniques de radiosité acquise par notre équipe dans le contexte de l'image de synthèse lui permet en effet d'appliquer ces méthodes à des problèmes de nature physique, comme la simulation de la diffusion de la lumière dans le couvert végétal ou le transfert thermique.

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, Alexis Angelidis, Guillaume Dewaele, George-Pierre Bonneau, Alex Yvart, Basile Sauvage, Lionel Reveret, Sylvain Lefebvre.

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

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 :** Claude Puech, Samuel Hornus.

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

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, Jean-Dominique Gascuel, Raphaël Grasset, Jean-Marc Hasenfratz, Marc Lapierre, Eric Ferley, Lionel Reveret.

**Mots clés :** *réalité augmentée, réalité virtuelle, interaction.*

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 de l'INRIA Rhône-Alpes.

 tudier 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,   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, inter-réflexions) 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'application

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.

## 6. Résultats nouveaux

### 6.1. Visualisation, rendu et simulation de l'éclairage

**Participants :** Nicolas Holzschuch, Fabrice Neyret, Claude Puech, François Sillion, Cyril Soler, Joëlle Thollot, Jean-Marc Hasenfratz, Marie-Paule Cani, Franck Perbet, Sylvain Lefebvre, George-Pierre Bonneau, Fabien Vivodtzev.

#### 6.1.1. Méthodes hiérarchiques pour la simulation de l'éclairage

**Participants :** François Sillion, Cyril Soler, Jean-Marc Hasenfratz, Nicolas Holzschuch.

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 sur les aspects suivants :

- 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 c t 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. 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. Nous travaillons actuellement sur l'automatisation de la détermination des éléments semblables dans une scène.

### 6.1.2. Application de la simulation de l'éclairage à la croissance des plantes

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

Dans le cadre d'une collaboration avec le LIAMA (Laboratoire Franco-Chinois d'Informatique d'Automatique et de Mathématiques Appliquées) nous travaillons au transfert de la technologie mise au point au cours de la collaboration entre iMAGIS et le CIRAD (ARC Soleil, <http://www-imagis.imag.fr/SOLEIL>)   la nouvelle version du logiciel AMAPsim, basé sur le paradigme du calcul de la production végétale par *structures*, introduit par Philippe Dereffye.

La forte complexité géométrique des scènes végétales, associée au manque de cohérence topologique observé dans ce type de modèles, pousse les algorithmes classiquement efficaces (radiosité hiérarchique avec *clustering*) au delà de leurs limites. Nous avons donc développé des techniques spécialement adaptées à ce cas difficile, en utilisant le principe de l'*instanciation*, qui consiste à économiser de la mémoire en partageant les attributs de la scène (géométrie, fonctions de réflectance,...) qui peuvent être confondus selon un critère de précision fixé par l'utilisateur. Gr ce à l'autosimilarité qui existe dans les modèles de végétaux à plusieurs niveaux d'échelle (feuilles, branches, arbres entiers,...), il est en effet possible d'ordonnancer les calculs de façon à ne conserver qu'une petite partie de la totalité de la géométrie de la scène en mémoire, tout en calculant un équilibre global de l'énergie lumineuse, c'est à dire faisant intervenir chaque partie de la scène.

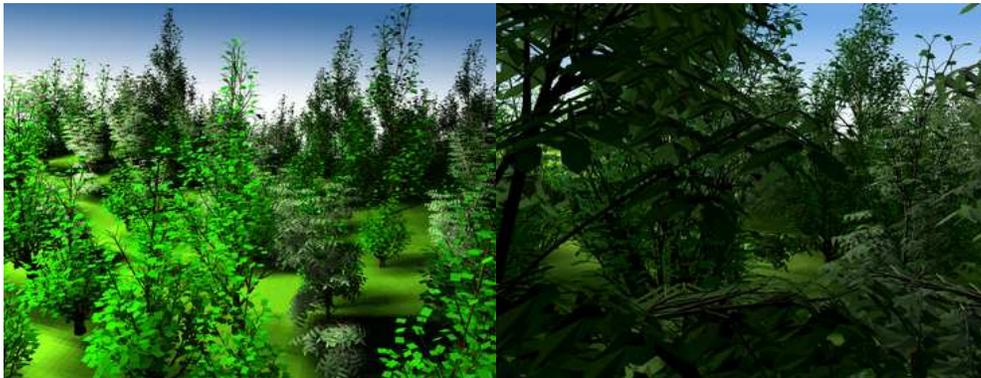
Couplé à un modèle d'interaction local de la lumière avec les feuilles, notre algorithme nous permet de calculer rapidement des solutions au problème de l'éclairage global dans des scènes comportant plusieurs milliers d'arbres (*i.e* plusieurs dizaines de millions de polygones), comme le montre la figure 1. D'autre part, utilisé pour fournir à chaque pas de temps au simulateur de croissance l'énergie lumineuse reçue par les feuilles, il permet de faire pousser des plantes qui se comportent de manière naturelle, comme le montre la figure 2.

Une partie importante de cette collaboration est, outre la mise au point du système de croissance, dans le nouveau cadre logiciel et algorithmique, l'essentielle étape de calibration et de validation de l'interaction entre AMAPsim et le simulateur de l'éclairage, en comparant des mesures statistiques sur des plantations effectuées en serre à des plantes virtuelles cultivées dans les mêmes conditions.

### 6.1.3. Synthèse surfacique de texture

**Participants :** Cyril Soler, Alexis Angelidis, Marie-Paule Cani.

On se pose le problème de texturer une surface de topologie quelconque à partir d'un échantillon bidimensionnel, tout en contournant les habituels difficultés liées à la déformation de la texture, à l'incompatibilité de topologie entre la surface et l'échantillon, et à sa faible quantité d'information contenue dans l'échantillon. La



*Figure 1. Scène végétale virtuelle comportant plusieurs centaines d'arbres (2 millions de polygones) dans laquelle une solution d'éclairage global a été calculée grâce à l'algorithme que nous avons développé.*



*Figure 2. Exemple de croissance suivie d'une plante virtuelle influencée par une unique source de lumière. La déformation progressive de la plante ainsi que la non uniformité de son feuillage sont apparents.*

solution que nous avons proposée consiste à recouvrir progressivement la surface par des bouts de la texture de départ, en assurant la continuité du motif au niveau de la surface tout en autorisant les morceaux de texture choisis à ne pas être voisins. Cela est possible lorsque l'échantillon de texture est suffisamment auto-similaire. La taille des morceaux de texture est adaptée de manière à satisfaire les contraintes de voisinage sur la surface et minimiser les déformations.

Au final, le résultat est exportable sous une forme particulièrement compacte et portable, puisqu'il consiste en un couple de coordonnées de textures par sommet de chaque face du maillage original, dont la géométrie est conservée. Ce travail a fait l'objet d'une publication à SIGGRAPH 2002 [25].

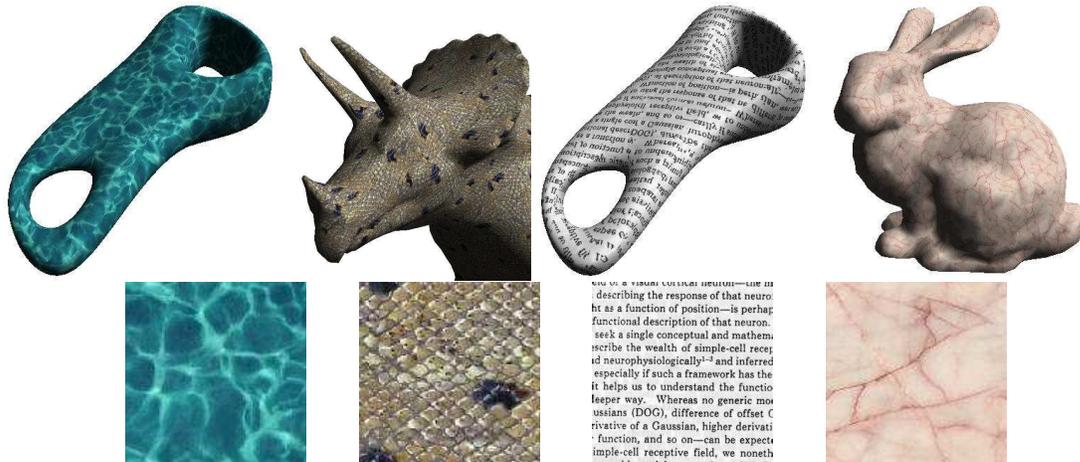


Figure 3. Texturage automatique de surfaces à partir d'échantillons.

#### 6.1.4. Rendu en temps réel de pierres taillées

**Participants :** Stéphane Guy, Cyril Soler.

Le cheminement de la lumière dans les pierres taillées (Diamants, Saphirs, etc.) obéit à des phénomènes variés (réfraction, réflexion, dispersion, bi-réfringence,...) modélisés par les lois de l'optique. Les techniques existantes pour permettre d'obtenir des images de ces objets sont généralement basées sur le lancer de rayon, suivant le cheminement inverse de la lumière dans la pierre à partir de l'œil. Ces techniques sont très coûteuses et ne permettent pas d'obtenir des images de pierres taillées en des temps interactifs.

Les cartes graphiques de dernière génération (ATI, Nvidia) permettent néanmoins d'effectuer une grande partie des opérations nécessaire au rendu des phénomènes lumineux intervenant dans les pierres et ce de façon implicitement parallèle, c'est à dire en traitant en même temps les rayons lumineux qui suivent le même chemin dans la pierre.

L'implémentation de Stéphane Guy durant son stage de DEA a permis d'obtenir un rendu interactif, voire temps-réel, et dont les applications sont directes dans le domaine du prototypage virtuel en joaillerie, le rendu temps-réel permettant d'agir non seulement sur le point de vue, mais aussi sur les propriétés optiques (indice de réfraction) de la pierre.

#### 6.1.5. Visualisation interactive de grands volumes de données

**Participants :** François Sillion, Joëlle Thollot, Xavier Décoret, Gilles Debunne.

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

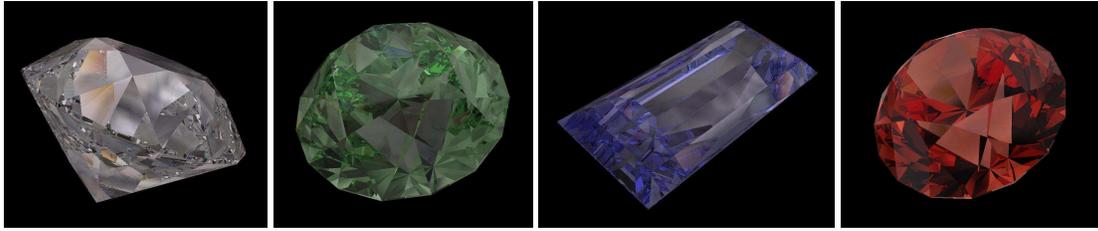


Figure 4. Rendu en temps réel de pierres taillées. De gauche à droite : diamant, émeraude, saphir, rubis.

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 travaillé au développement d'un outil de simplification flexible et général, à partir du concept de "billboard cloud" (ensemble de panneaux) que nous avons développé [26]. A partir d'un modèle 3D, éventuellement texturé, nous calculons automatiquement un ensemble de billboards (panneaux 3D munis d'une texture adéquate) qui permet de reproduire l'apparence de la scène avec une approximation contrôlée. Le degré de simplification dépend naturellement de la borne d'erreur utilisée, et cette technique permet d'obtenir plusieurs versions simplifiées, allant jusqu'au cas extrême d'un unique billboard (voir Fig. 5).

Plusieurs types de contraintes ou de fonctions d'erreur peuvent être spécifiés, par exemple selon que l'on souhaite une mesure de l'approximation en termes de distance dans l'espace objet, ou en termes de déplacement dans une image (view-dependent error).

Nous poursuivons l'analyse des performances et des capacités de cette technique, qui apparaît comme extrêmement prometteuse.

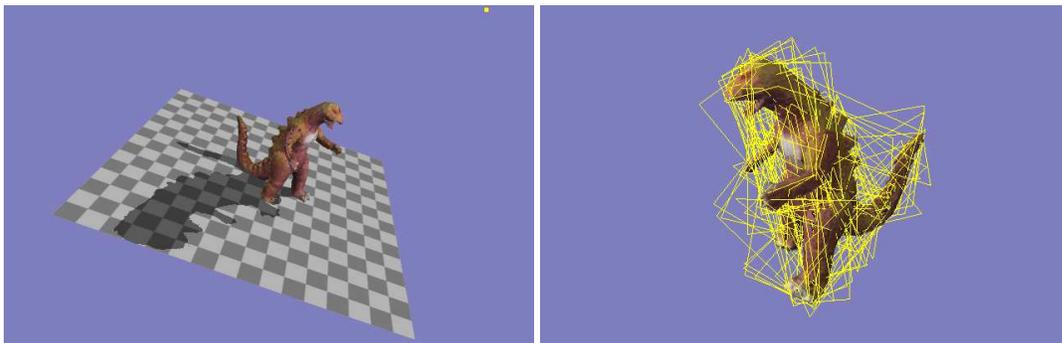


Figure 5. Exemple de rendu obtenu avec un ensemble de panneaux (billboards), indiqués en jaune sur l'image de droite. Dans ce cas on utilise 86 billboards pour remplacer un modèle de 4300 polygones.

### 6.1.6. Approche procédurale du rendu NPR pour le dessin au trait

**Participants :** Stéphane Grabli, François Sillion.

Dans le cadre de la réflexion sur l'évolution des thématiques de recherche en rendu, nous souhaitons développer une formulation plus générale et complète du processus de rendu, en particulier pour permettre une plus grande variété de styles et d'expressivité.

Nous avons commencé par étudier le cas du dessin au trait, pour lequel nous développons une approche procédurale fondée sur un découpage en opérations largement indépendantes. A partir d'un modèle 3D, nous construisons un ensemble de traits en commençant par sélectionner des éléments 3D, qu'il faut ensuite chaîner,

puis transformer en traits (2D). Chacun de ces traits se voit enfin appliquer un *shader* particulier. La sélection peut utiliser des informations de visibilité, de courbure ou la notion de silhouette par rapport à l'observateur, et le chaînage peut utiliser des ensembles de règles pour obtenir différents résultats.

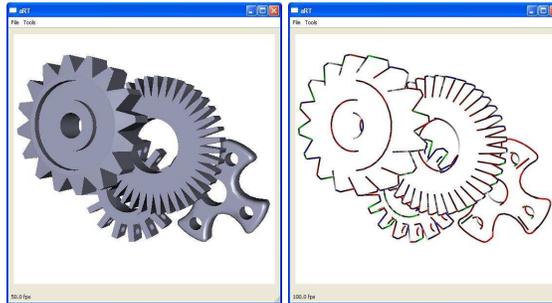


Figure 6. Exemple de sélection des arêtes de silhouette visibles, en vue de l'application d'un style de trait particulier

Les premiers résultats sont prometteurs, un premier prototype permettant de tester des combinaisons d'opérations et de shaders a été développé.

### 6.1.7. Rendu non photo-réaliste et balade virtuelle

**Participants :** Joëlle Thollot, Jean-Dominique Gascuel, Sylvain Paris, Gilles Debunne.

Nous avons démarré cette année un projet de restitution 3D de cités antiques visualisées en style non-photoréaliste. Ce projet est issu d'une collaboration avec l'équipe ERGA (recherche sur la Grèce antique) de l'université Stendahl et est intégré dans l'ARC ARCHEOS et le projet région DEREVE (voir la section 8.1).

Deux aspects ont été abordés, d'une part une visualisation dans le style aquarelle et d'autre part l'animation de foule pour peupler la scène. L'objectif est de permettre une ballade virtuelle sur l'agora d'Argos visualisée sous forme de dessin et sur laquelle un grand nombre de personnages sont animés.

Le rendu non-photoréaliste dans le cas d'une promenade virtuelle pose un certain nombre de problèmes. La contrainte de temps-réel en est une mais la question majeure est plutôt la notion même de dessin en 3D. Il faut assurer d'une part une cohérence temporelle lors de l'évolution du dessin (éviter la disparition ou la vibration des primitives de dessin tels que les traits) et d'autre part conserver une impression 2D (assurer une taille de trait ou de papier constante tout en donnant un mouvement cohérent à l'ensemble). Nous avons exploré le cas du papier sur lequel serait effectué le dessin et obtenu des résultats en cours de publication : nous proposons une méthode qui conserve l'effet 2D du papier tout en offrant un déplacement cohérent avec le mouvement : avancer (translation horizontale) tourner la tête (rotations) (voir Figure 7).

L'animation de foule a été réalisée en collaboration avec l'équipe ICA de l'INPG. La foule est animée par un modèle de particules basé sur des lois physiques très simples : interaction élastiques (viscosité, raideur). Le comportement typique de la foule : files, agglomérats émerge alors naturellement de la simulation. Cela permet une modélisation très simple tout en obtenant des comportements complexes. Les personnages sont ensuite affichés avec un rendu à base d'images qui autorise un rendu temps-réel. Ces travaux sont en cours de publication.

### 6.1.8. Modélisation à partir d'images

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

Nous avons poursuivi nos travaux sur la reconstruction d'informations 3D à partir d'un ensemble d'images, dans le but de construire du détail pour peupler des scènes virtuelles à partir d'images d'une scène réelle. L'accent est mis ici sur l'utilisation d'images brutes, sans information de calibration préalable, et avec une grande quantité d'imperfections (bruit...).

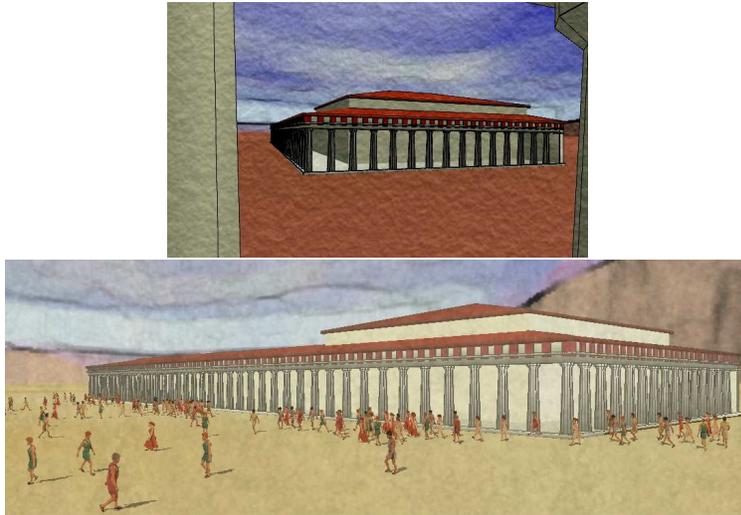


Figure 7. À gauche, affichage d'une scène sur un support papier évoluant en fonction des déplacements de la caméra. À droite, population d'une scène virtuelle de l'agora d'Argos.

Nous avons proposé un algorithme original de reconstruction d'une surface à partir de lignes reconstruites dans des plans parallèles au trajet de la caméra, dans le cas d'une courte séquence d'images [24]. Nous étudions maintenant l'utilisation d'algorithmes de "graph cuts" pour améliorer la qualité des modèles reconstruits et permettre une meilleure prise en compte des contraintes de régularité de la surface.



Figure 8. Reconstruction d'un des personnages de la scène de gauche. Un objet synthétique a été ajouté dans la scène, pour illustrer la robustesse de la reconstruction en présence d'occlusion

### 6.1.9. Textures procédurales en temps-réel

**Participants :** Fabrice Neyret, Sylvain Lefebvre.

Nous poursuivons plus particulièrement la mise au point de modèles tirant partie des possibilités ouvertes par la révolution que connaît actuellement le monde des cartes graphiques 3D.

Nous avons notamment entamés des travaux sur la représentation de textures virtuellement immenses, particulièrement utiles dans le cas des scènes naturelles où il faut simultanément offrir une bonne résolution au premier plan et couvrir un champ de vision très large. Le principe consiste à partir d'une série d'échantillons, et à décrire la façon de les répartir et de les combiner dans l'espace textuel : tiling aperiodique, distribution poissonnienne à disque, distribution de probabilité, contrôle de la répartition spatiale, etc... (voir figure 9). Un *fragment program* (ou *shader*) tournant sur la carte graphique détermine alors en tout pixel, pour des

coordonnées texturales  $(u, v)$  données, quelle couleur (ou transparence, ou normale) appliquer en fonction des spécifications. Un article est en cours de soumission.

Ceci permet d'encoder une large part de l'aspect dans l'espace texturel, sans toucher à la géométrie (dont le raffinement peut ainsi être exclusivement contrôlé par des critères propres). Nous avons également commencé à appliquer cette approche à la représentation améliorée des *textures volumiques* (cf travaux des années précédentes). En outre, notre modèle permet également de gérer l'animation (voir section 6.2.4.3).

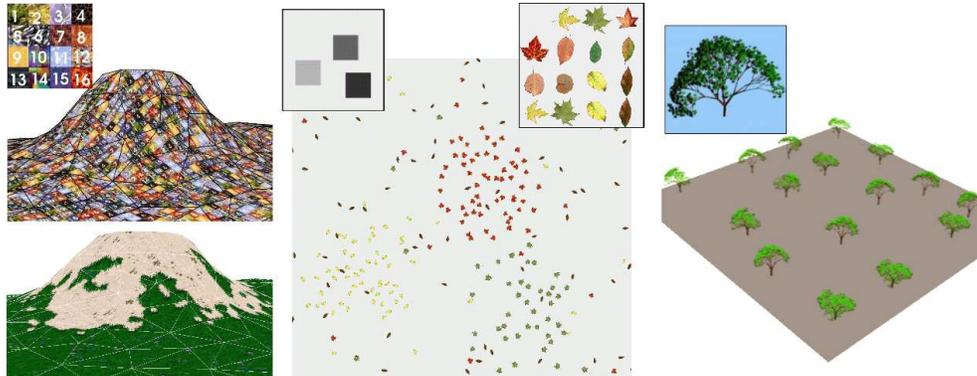


Figure 9. De gauche à droite : tiling aperiodique (en haut) et gestion des frontières (en bas) ; distribution poissonnienne avec contrôle des probabilités et de l'hétérogénéité ; application aux textures volumiques.

## 6.2. Animation et modélisation

**Participants :** Marie-Paule Cani, Fabrice Neyret, François Faure, Gilles Debunne, Jean-Dominique Gascuel, Alexis Angelidis, David Bourguignon, Eric Ferley, Frank Perbet, Jean Combaz, Sylvain Lefebvre, Lionel Reveret, Alexis Angelidis, Guillaume Dewaele.

### 6.2.1. Modélisation intuitive

#### 6.2.1.1. Sculpture virtuelle.

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

Nous développons depuis quelques années des méthodes de modélisation de formes qui visent à restituer le mode d'interaction qu'un artiste peut avoir avec sa sculpture. La représentation de cette dernière se fait sous forme de surface implicite, la surface étant définie comme iso-surface d'un champ potentiel scalaire, représentant la densité de matière, stocké dans une grille. Des outils manipulés par l'utilisateur viennent à chaque instant modifier ce champ potentiel.

La poursuite de nos travaux sur ce thème nous a conduit en premier lieu à la réalisation d'un logiciel de sculpture multi-résolution, pour lequel le potentiel est stocké dans une grille hiérarchique, qui permet de rajouter des détails fins là où c'est nécessaire sans perdre en efficacité. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans la revue *Graphical Models* [7], (voir Figure 10).

La thèse d'Eric Ferley, soutenue en septembre 2002, englobe ces travaux et ceux qui l'ont précédé sur cette approche purement géométrique pour la sculpture. Ces travaux sont également utilisés pour la réalisation d'un prototype industriel de simulation dentaire (voir les sections 3.4 et 8.1).

D'autre part, nous avons entamé, en collaboration avec le projet MOVI, un travail sur la sculpture visant à donner à l'utilisateur la sensation d'interagir avec une argile véritable : un modèle à couche est utilisé pour simuler une argile virtuelle capable de subir des déformations globales (courbure, torsion) et locales (déplacement de matière). En parallèle, nous mettons au point une interface de type vision (suivi de la main de l'utilisateur) qui devrait permettre une interaction beaucoup plus naturelle.



Figure 10. Exemple de sculpture complexe, créée en complétant un objet existant (une tête) convertie à partir d'une représentation polygonale. Le caractère multi-résolution de la représentation a permis d'ajouter des détails à des échelles totalement différentes.

#### 6.2.1.2. Surfaces Implicites Multirésolution.

**Participants :** Marie-Paule Cani, Alexis Angelidis, Samuel Hornus.

Nous avons d'autre part entamé l'exploration de représentations multi-résolution dans le cadre des surfaces implicites engendrées par des squelettes. Ces surfaces sont des iso-surfaces d'un champs potentiel engendré par un ensemble de primitives géométriques (points, segments de courbes, ou éléments de surfaces).

Après un premier travail sur les squelettes linéiques, qui a fait l'objet d'un article journal [9], nos contributions les plus récentes ont porté sur le contrôle du mélange et la modélisation du contact pour ces modèles [13], ainsi que sur la généralisation de la méthode aux squelettes comportant des portions de courbes et de surfaces [12], (voir figure 11).

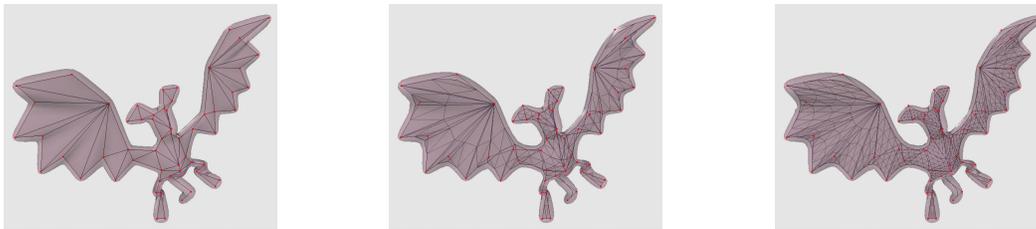


Figure 11. Surfaces Implicites Multirésolution

#### 6.2.2. Simulation de l'environnement

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

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.

### 6.2.2.1. Animation adaptative de la surface de la mer.

Les travaux de l'an dernier, basés sur l'échantillonnage adaptatif de la surface et des primitives d'animation, ont donné lieu à une publication au *Symposium on Computer Animation* [20]. Damien Hinsinger travaille maintenant sur ce sujet dans une entreprise de jeux vidéos en Angleterre.

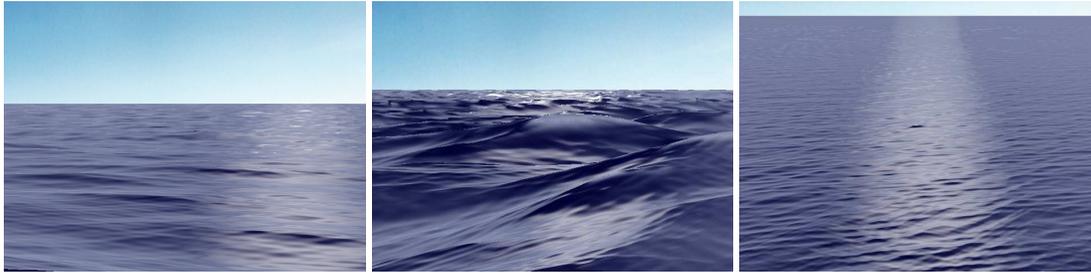


Figure 12. Simulation adaptative de la surface de la mer.

### 6.2.2.2. 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'un contrat PRIAMM avec la société *Infogrames* (voir partie 7.1).

### 6.2.2.3. Simulation d'écorces.

Nous avons poursuivi le développement de notre modèle semi-empirique de croissance d'écorces fracturées (voir figure 13). Le principe consiste d'une part à utiliser un modèle physique très simple (propagation des fractures, ouverture des failles), dont l'effet est contrôlé par des paramètres de haut niveau par l'utilisateur, et d'autre part à simplifier la résolution en découplant les directions : notre primitive de base est la bandelette d'écorce, découpée en élément pleins (écorce) et vides (faille), les fractures se propageant transversalement de bande en bande et réalisant ainsi le couplage. En outre, cette représentation permet de s'affranchir des problèmes de mapping (distorsions, embranchements) que l'on rencontre inévitablement si l'on tente (comme c'est usuellement le cas) de paramétrer la surface de l'arbre : une bandelette est une forme de texture 1D, et la communication entre bandelettes se fait via l'espace géométrique. Ainsi, une faille peut se propager automatiquement aux embranchements. Nous avons traité le cas où l'on dispose effectivement de l'information de croissance de la géométrie de l'arbre, ainsi que le cas où l'on simule l'effet de cette croissance en rétrécissant l'écorce appliquée sur la géométrie finale de l'arbre. Nous avons également exploré divers types de contrôle (déclenchement de fractures à des endroits choisis, contrôle de la densité de fracture ou de la conservation de la surface, etc). Ce travail a fait l'objet d'une publication à *Eurographics Workshop on Rendering* [22].



Figure 13. Croissance et habillage d'écorces sur des segments, puis sur des arbres (avec variation de diamètre et embranchements).

### 6.2.3. Animation de formes organiques

**Participants :** Marie-Paule Cani, Gilles Debunne, Francois Faure, Lionel Reveret.

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.

#### 6.2.3.1. Simulation d'objets déformables.

Nous avons développé et enrichi un modèle déformable temps-réel, que nous destinons à la modélisation d'un foie virtuel dans le cadre d'un simulateur de chirurgie (voir les parties 6.4 et 8.2).

Dans ce cadre, nous avons implémenté un modèle de collision multi-résolution entre objets déformables. L'originalité de l'approche est son côté stochastique. Tout au long de la simulation, les collisions entre deux nouvelles régions tirées au hasard sont testées pour découvrir de nouvelles zones de collision potentielles. Les zones ainsi trouvées sont ensuite mise à jour et testées tant qu'une collision est probable. Ce modèle utilise les principes de la multi-résolution pour traiter les collisions entre objets, et garantir que les zones de collisions seront discrétisées aussi finement que possible lors du contact, ce qui assure une grande précision. L'originalité du modèle est également de proposer une re-simplification des zones après contact afin d'alléger la charge de calcul dans cette région qui n'en a plus besoin. Une soumission d'article a été faite sur ce sujet.

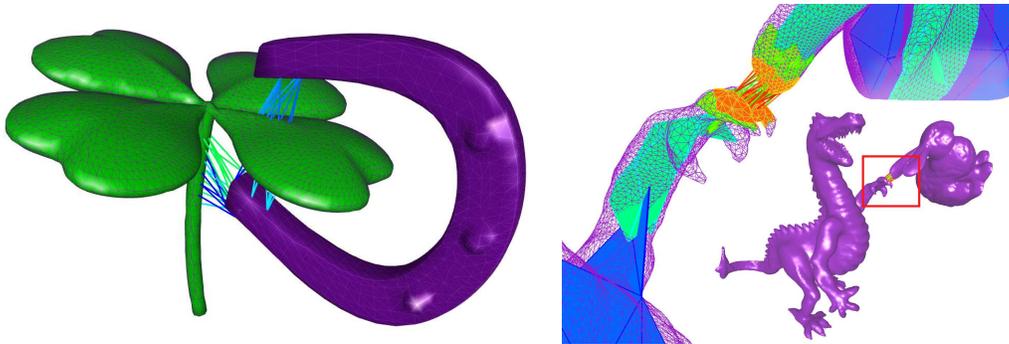


Figure 14. Gestion multirésolution des collisions entre deux objets (possiblement) déformables. À gauche, les lignes relient les zones de collision potentielles, tandis qu'à droite, la couleur représente le niveau de discrétisation utilisé.

Nous avons également commencé à explorer l'usage des surfaces implicites multirésolution décrites au paragraphe 6.2 pour l'animation efficace d'un intestin, en vue, à nouveau, d'une application à la simulation de chirurgie (voir la partie 8.2). Très déformables et susceptibles de subir des déplacements importants lorsque le chirurgien les manipule pour dégager la zone à opérer, les viscères ne peuvent être simulés de manière isolée : ils reposent et s'enroulent les uns sur les autres, rendant primordiale une modélisation extrêmement rapide des collisions et des contacts, avec en particulier la prise en compte des inter-collisions. D'autre part, leur structure tubulaire permet d'exploiter une représentation multi-couches pour les animer. Nous avons ainsi opté pour une chaîne masses-ressorts constituant leur squelette, et dont le nombre d'éléments sera adaptatif, habillée par une surface implicite de subdivision, gérant les déformations géométriques locales et pouvant elle aussi être calculée à différents niveaux de détail.

D'autre part, nous avons avancé sur notre projet de simulation de chirurgie intestinale (ARC SCI) en proposant un modèle dynamique complet pour l'intestin grêle ainsi que pour le mésentère (la membrane qui le relie au système veineux). Les auto-collisions de ces organes sont détectées en temps-réel grâce à une adaptation aux cas linéique et surfacique de la méthode stochastique décrite ci-dessus.

### 6.2.3.2. Animation de visages

Des travaux précédents ont permis de définir une modélisation des mouvements du visage liés à la production de la parole. Ces travaux ont été étendus pour intégrer la modélisation des expressions en superposant un modèle de type pseudo-muscle linéaire au modèle initial de déformation de la surface de la peau. Par ailleurs des premiers tests ont été effectués pour vérifier la compatibilité de ces modélisations avec de larges déformations morphologiques, ayant en vue une application dans le domaine des personnages de jeu-vidéo. Ces travaux seront continués dans le cadre d'un projet RIAM et d'une thèse CIFRE avec une société grenobloise de jeu-vidéo Galiléa.

### 6.2.3.3. Animation de chevelure

Enfin, nous avons poursuivi 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.

Cette technique, qui permet l'animation de longues chevelures en interaction avec le corps du personnage, a fait l'objet d'une publication dans la revue *Graphical Models* [11].

D'autre part, nous travaillons actuellement sur une méthode de simulation de chevelures à différents niveaux de détail : la décomposition des mèches en sous-mèche ainsi que le regroupement éventuel de ces dernières sont gérés automatiquement en cours de calcul, en fonction de la complexité courante du mouvement. Cette méthode, qui a fait l'objet d'un projet de DEA en 2002, permet des gains importants en efficacité.

## 6.2.4. Textures d'animation

**Participants :** Fabrice Neyret, Jean Combaz, Sylvain Lefebvre.

### 6.2.4.1. Textures de dilatation

Les travaux sur les textures de dilatation se poursuivent : il s'agit d'offrir un outil de modélisation des surfaces complexes dont la forme résulte d'un mouvement de croissance (e.g. surfaces biologiques ou géologiques), en permettant à l'utilisateur de contrôler la croissance plutôt que la forme elle-même. Le contrôle s'effectue via une texture encodant la nature, l'intensité et l'orientation des déformations, soit explicitement (e.g. carte des rifts et subductions), soit de manière générative (e.g. réticulation, points chauds...). En outre le contrôle peut également être interactif en 'peignant' les effets directement à la surface. Cette année nous avons notamment étudié l'application à la simulation de plis, qui apportent une complexité visuelle importante pour le réalisme, mais que le graphiste souhaite contrôler sans devoir explicitement décrire la forme locale (voir figure 15). Ce travail a fait l'objet d'une publication à *Pacific Graphics* [14].

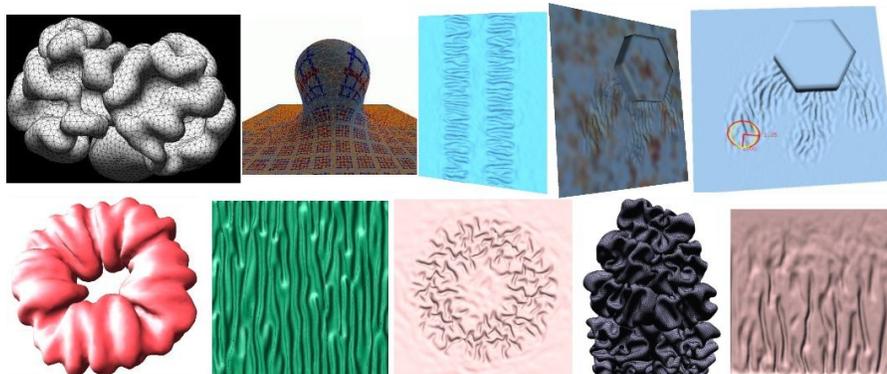


Figure 15. Surfaces complexes obtenues à l'aide de textures de dilatation pré-dessinées ou contrôlées interactivement.

#### 6.2.4.2. Simulation d'écorces

À noter que le modèle de croissance d'écorce décrit en section 6.2.2.3 est animé, en ce sens qu'il reproduit continuellement la propagation des fractures lors de la croissance de l'arbre.

#### 6.2.4.3. Textures animées

Notre modèle de textures virtuelles présenté en section gère également les textures animées, selon diverses modalités :

1. disposant d'une séquence d'échantillons, on peut indexer l'instance à utiliser en un lieu en fonction de paramètres externes (e.g. distance d'une cible) ;
2. une telle séquence peut être utilisée comme animation cyclique d'un motif, dont la vitesse et le temps de repos peuvent être modulés localement et globalement ;
3. le placement des instances peut-être modifié interactivement de manière à suivre une trajectoire.

Ce volet fait également partie de la soumission en cours.

### 6.3. Géométrie algorithmique

**Participants :** Claude Puech, François Sillion, Samuel Hornus, 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.

#### 6.3.1. Précalcul pour le rendu des scènes complexes

**Participants :** Xavier Décoret, François Sillion, Gilles Debunne.

Nous avons développé une formulation générale de la technique de réduction des obstacles pour le précalcul de visibilité, qui permet d'une part d'envisager un calcul des ensembles d'objets potentiellement visibles depuis une région (PVS) en une seule étape, et d'autre part de s'adapter à des régions (view cells) de forme plus générale.

Un algorithme de réduction (érosion) d'un objet représenté sous forme volumique a été développé, qui permet d'utiliser la technique précédente pour une grande variété de modèles [3].

#### 6.3.2. Décomposition automatique de scènes architecturales en graphe de cellules et portails

**Participants :** Samuel Hornus, Sylvain Lefebvre.

La décomposition d'une scène architecturale en cellules et portails (intuitivement : pièces et portes) permet d'effectuer des calculs efficaces d'occlusion pour des balades interactives dans la scène. Nous avons mis au point une méthode relativement simple pour décomposer une scène automatiquement, produisant un graphe directement utilisable pour le rendu interactif (cf figure 17). C'est la première méthode (à notre connaissance) qui travaille directement en 3D et n'utilise pas de règles préconçues (ex : une pièce fait à peu près 4m sur 3m et les murs opposés sont parallèles) pour résoudre le problème. Un papier a été soumis pour publication.

#### 6.3.3. Calculs de visibilité pour des scènes en mouvement

**Participants :** Samuel Hornus, Frédo Durand, Claude Puech.

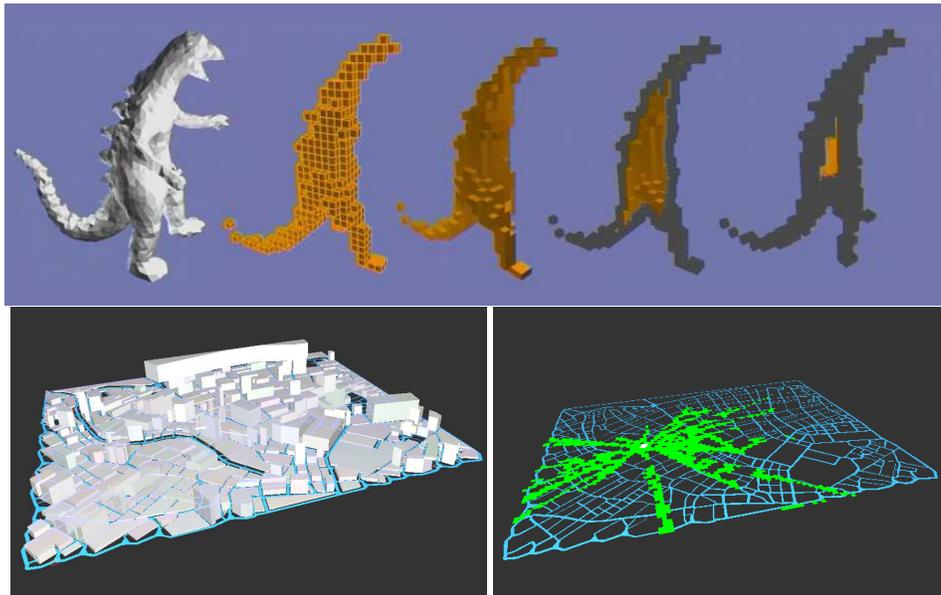


Figure 16. Le calcul de l'érosion approchée d'un objet est illustré sur la figure du haut. Appliqué aux objets d'une scène urbaine (à gauche), cette méthode permet de calculer la visibilité étendue. Les cellules depuis lesquelles un bâtiment est visible peuvent alors être déterminées (à droite).

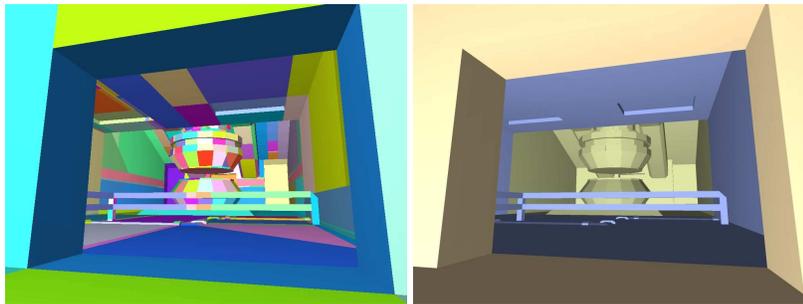


Figure 17. A gauche : BSP d'un scène : le nombre de cellules (feuilles du BSP) est beaucoup trop important pour l'« online occlusion culling ». A droite : Notre méthode fusionne efficacement les cellules du BSP. Les nouvelles cellules ont une taille adaptée pour le rendu temps-réel de scènes architecturales.

Le cadre des kinetic data structures (KDS) (1996) introduit des techniques pour la mise au point et l'analyse d'algorithmes géométriques incluant la notion de mouvement (ex : maintenance continue de l'enveloppe convexe d'un ensemble de points en mouvement). Nous travaillons à la création de structures de données permettant le calcul et la mise à jour (en continue) efficaces d'informations de visibilité dans des scènes tridimensionnelles. Quelques résultats préliminaires, dans le cas 2D, ont déjà été présentés [21].

## 6.4. Réalité augmentée et réalité virtuelle

**Participants :** Jean-Dominique Gascuel, Marie-Paule Cani, François Faure, Gilles Debunne, David Bourguignon, Fabrice Neyret, Franck Perbet, Jean-Luc Douvillé, Laurence Boissieux, Raphaël Grasset, Stéphane Gobron, Thomas di Giacomo, Xavier Granier, Éric Ferley, Lionel Reveret.

### 6.4.1. 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.) ;
- 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.

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

La plate-forme est équipée d'un super ordinateur Onyx 3400 à 12 processeurs et trois canaux graphiques. Ce ordinateur est 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).

Fin 2002, la plate-forme s'est agrandie de 32 mètres carrés pour accueillir un WorkBench : matériel qui permet une immersion stéréo et un retour d'effort pour une discussion "autour d'une table". Le plateau éclairage-capture vidéo a également été agrandi dans le cadre du développement du projet CYBER (voir section 8.2).

### 6.4.2. Environnement multi-utilisateurs pour la Réalité Augmentée

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

Nous étudions des situations de Réalité Augmentée (RA) collaboratives : plusieurs personnes placées autour d'une table, équipées de périphériques peuvent visualiser et interagir avec des éléments virtuels placés dans l'environnement réel. L'utilisation de casques semi-transparent et d'un stylo d'interaction permet de voir (et de manipuler) dans un même espace éléments réels et éléments virtuels.

La RA permet alors de conserver les métaphores naturelles de communications (verbales, gestuelles, expressions) nécessaires à un travail collaboratif (perdu avec les systèmes immersifs). De plus l'interaction

est grandement favorisée par la réunion de l'espace d'action et de perception (contrairement à un système écran-souris-clavier).

L'interaction avec des objets virtuels permet d'apporter un grand nombre de possibilités par rapport à une situation réelle : animation d'objets, simulation complexe, possibilité d'immersion dans la scène, accès à un grand nombre d'informations (Internet, base de données).

Les principales difficultés sont :

- la définition d'une architecture logicielle et matériel modulaire et souple.
- le suivi des objets et des mouvements des utilisateurs (tête, main).
- l'erreur d'alignement entre objets réels et virtuels : problème de calibrage, bruits des capteurs et de temps de latence.
- la réalisation de techniques d'interactions spécifiques à la réalité augmentée : tangible user interface.
- l'intégration réaliste entre objets réels et virtuels : occultation, éclairage (voir figure 18 gauche).
- la gestion du multi-utilisateurs : vue privée, vue publique.

L'utilisation du capteur haute précision OptoTrack de la plate-forme de réalité virtuelle a permis de faire un pas significatif dans la précision du système, et donc dans son utilisabilité. Un article court présentant l'environnement complet a été présenté lors du congrès SIGGRAPH 2002 ([18]).

Le système peut être utilisé dans de nombreux domaines basés sur une collaboration : visualisation scientifique, planification urbaine et architecturale (voir figure 18 droite), ingénierie, jeu, etc.

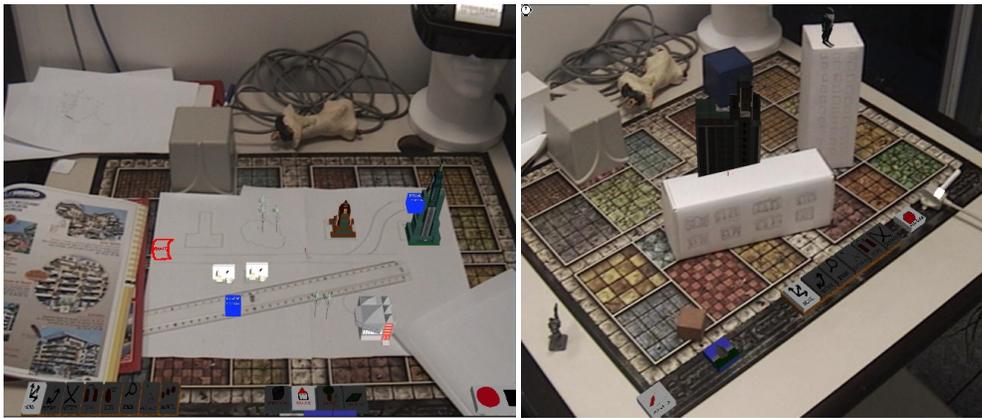


Figure 18. Vision d'un utilisateur du système. À gauche, dans une application de planification urbaine, l'utilisateur peut interagir avec les éléments réels (brochure, stylo) mais aussi virtuels (bâtiments 3D, menus). À droite, objets réels et virtuels se combinent en s'occultant mutuellement et en pouvant être placés l'un par rapport à l'autre.

### 6.4.3. Sculpture virtuelle

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

La technologie de sculpture virtuelle, issue d'une thèse CIFRE entre iMAGIS et Renault SA, est en train d'être reprise et spécialisée pour créer un simulateur de chirurgie dentaire (voir figure 19). Dans la pratique, on utilise un bras à retour d'effort éprouvé (PHANTOM de SenSable), un PC graphique standard, et un logiciel optimisé afin de simuler le fraisage des dents, avec une visualisation et un touché acceptable pour l'opérateur. Ce type de simulateur s'adresse aussi bien à la formation initiale des chirurgiens dentistes qu'à la formation continue des praticiens. Une forte demande existe de la part des universités pour remplacer l'apprentissage sur dents extraites qui n'est plus souhaitable sur le plan éthique et en terme de risque sanitaire.

La jeune pousse (startup) Digisens a été créée au 15 septembre 2002 (voir la section 8.1). Soutenu par l'Université Joseph Fourier, le G-R-A-IN et la région Rhône-alpes, elle a gagné le concours innovation 2002 de l'ANVAR pour ce projet de valorisation.

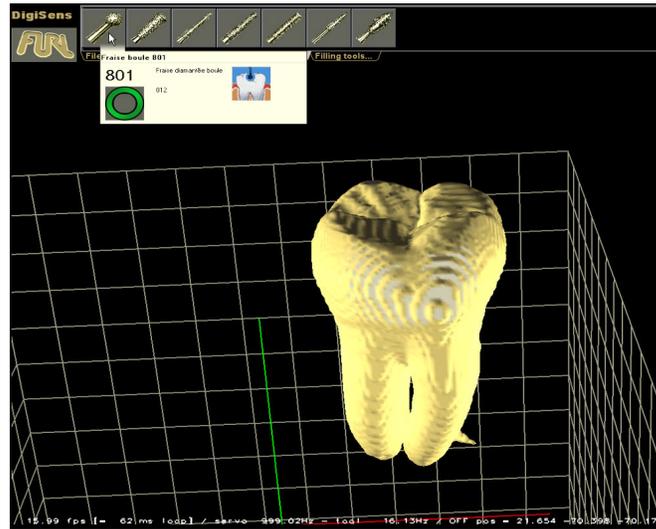


Figure 19. Utilisation de la technologie de sculpture virtuelle pour un simulateur de chirurgie dentaire.

#### 6.4.4. Illustration et annotation en 3D

**Participants :** Marie-Paule Cani, David Bourguignon.

Même en tenant compte des possibilités offertes par la sculpture virtuelle, l'interaction 3D n'offre pas, jusqu'à présent, la simplicité et la richesse en termes de possibilités expressives inhérentes au dessin 2D. Nous avons travaillé en 2001 sur des systèmes interactifs innovants, destinés à permettre l'illustration directement en 3D. Cependant ces techniques ne permettaient pas de créer la géométrie des objets représentés. Notre contribution de cette année a porté sur la mise au point d'une méthode de sculpture à base de dessin" s'inspirant de la technique du bas-relief, pour sculpter des modèles 3D grâce à des dessins effectués sous plusieurs points de vue.

Après un premier système basé sur une inférence locale de la forme autour de chaque « trait » tracé par l'utilisateur, dans un plan lui faisant face, ce nouveau travail, qui doit prochainement faire l'objet d'une soumission, sera présenté dans le cadre de la thèse de David Bourguignon, qui sera soutenue début janvier 2003.

#### 6.4.5. Simulateur de chirurgie

**Participants :** Marie-Paule Cani, Francois Faure.

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 Télémedecine CAESARE (voir 8.2), 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.

Nous avons avancé sur notre projet de simulation de chirurgie intestinale (ARC SCI) en proposant un modèle dynamique complet pour l'intestin grêle ainsi que pour le mésentère (la membrane qui le relie au système veineux). Les auto-collisions de ces organes sont détectées en temps-réel grâce à une adaptation aux cas linéique et surfacique de la méthode stochastique décrite ci-dessus.

#### 6.4.6. Capture 3D de mouvements par la vidéo

**Participants :** Nicolas Borel, Lionel Reveret, Edmond Boyer [(MOVI)].

Un premier travail a été effectué pour mettre en place dans la salle de réalité virtuelle un système d'acquisition de mouvements, basé sur un réseau de plusieurs caméras synchronisées à la cadence vidéo. En assurant une synchronisation précise à la trame près entre toutes les caméras, ce système vise à permettre le développement d'algorithmes pour la capture tridimensionnelle de mouvements avec une bonne résolution spatio-temporelle. Ce travail a été mené en collaboration avec le projet MOVI.

#### 6.4.7. NeuroRV : Neurosciences motrices et réalité virtuelle

**Participants :** Jean-Dominique Gascuel, Laurence Boissieux, Olivier Martin [(UFRAPS-SPM, Grenoble)], Claude Prablanc [(INSERM, Lyon)], Benjamin Julian.

Une ARC locale INRIA a été créée fin 2001, afin d'aider au démarrage d'un projet de coopération entre le projet iMAGIS, l'équipe SPM de l'UFRAPS de Grenoble, et l'équipe Espace & Action 534 de l'INSERM de Lyon. Le but est d'étudier l'apport que peut avoir la réalité virtuelle dans les problématiques de perception, d'équilibre et de déclenchement qui intéressent les spécialistes des neurosciences motrices.

Un environnement « scriptable » de simulation virtuelle a donc été mis en place par Laurence Boissieux, pour permettre de créer simplement divers scénarios expérimentaux. La complexité d'un tel travail tient aux diverses contraintes imposées par une exécution temps réel, une immersion 3D stéréo, et l'utilisation de divers capteurs : *Optotrack* pour la posture du patient, plate-forme de force pour son équilibre, sondes électriques pour son activation musculaire (voir Fig. 20).

Le stage de DEA de Benjamin Julian, co-encadré par Olivier Martin [UFRAPS-SPM], et Jean-Dominique Gascuel, a permis de faire une première évaluation expérimentale de l'environnement virtuel. Les résultats, très encourageants, ont fait l'objet d'une présentation dans un colloque international [23].

## 7. Contrats industriels

### 7.1. Végétation animée et interactive pour le jeu vidéo

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

Dans le cadre d'un financement PRIAMM nous travaillons 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 ont été présentés dans le paragraphe 6.2, rubrique simulation de l'environnement.

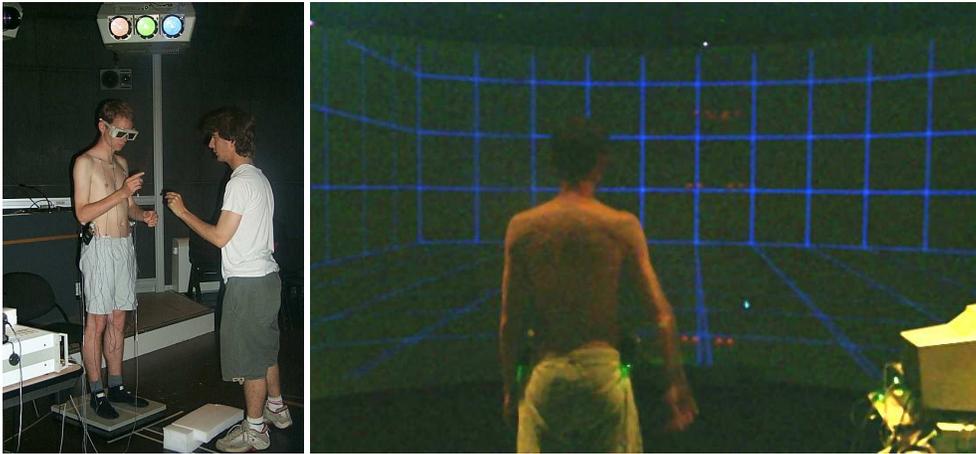


Figure 20. A gauche : mise en place des différents capteurs, et explications pré-opératoires. A droite : en cours d'expérience, le sujet doit pointer les cibles (boules rouges) qui apparaissent en stéréo sur l'écran.

## 7.2. Visualisation d'ensemble de données volumiques de très grande taille

**Participants :** Georges-Pierre Bonneau, Fabien Vivodtzev.

Dans le cadre d'un contrat avec le CEA, Fabien Vivodtzev a obtenu un financement CFR (Contrat de Formation Recherche) du CEA/CESTA pour effectuer une thèse UJF, sous la direction de Georges-Pierre Bonneau, sur le problème de la visualisation d'ensemble de données volumiques de très grande taille. Les tailles visées sont de 50 millions d'éléments. Des techniques d'origines diverses (aussi bien maths appliquées qu'informatique) devront être mises en oeuvre pour permettre des temps de réponse raisonnables à la visualisation de ces données.

# 8. Actions régionales, nationales et internationales

## 8.1. Actions régionales

### 8.1.1. Plate-forme de réalité virtuelle

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

La plate-forme de Réalité Virtuelle, décrite à la section 6.4 et située dans le bâtiment de l'INRIA Rhône-Alpes à Montbonnot, a l'ambition et la potentialité de s'appuyer sur les compétences 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 UFRAPS et INSERM).
- Le partage de savoir-faire, l'étude grandeur réelle de problèmes de visualisation graphique distribuée, avec des équipes situées ailleurs dans la région (Lyon), en France (Sophia), ou dans le monde (Vienne).
- La mise à la disposition des chercheurs d'autres communautés scientifiques de cette plate-forme 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'une plate-forme de parallélisme massif (grappe de 200 PC), sur laquelle travaillent les projets **APACHE** et SIRAC et le laboratoire ID, est en cours d'installation à l'étage du dessus. Divers projets alliant réseau de caméras, grappe de PCs et mur d'images sont en gestation (entre autre l'ARC PC-RC), et devraient amener dans les prochaines années de nouvelles collaborations régionales, y compris avec iMAGIS.

### 8.1.2. *Projet DEREVE*

**Participants :** Joëlle Thollot, François Sillion, Jean-Dominique Gascuel, Nicolas Holzschuch, Xavier Décoret.

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 ainsi qu'à une restitution 3D de l'agora d'Argos en vue d'une promenade virtuelle et dans un style aquarelle en collaboration avec ICA et l'équipe ERGA (Grenoble).

### 8.1.3. *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 ».

### 8.1.4. *Coulées de boue et avalanches virtuelles*

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

Nous avons entamé une collaboration avec d'autres laboratoires Grenoblois : le CEMAGREF, le LMC (projet INRIA IDOPT) et le LEGI 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. Nous avons obtenu un financement d'ARC locale de l'INRIA Rhône-Alpes ainsi qu'un Bonus Qualité Recherche de l'INPG pour ce projet.

### 8.1.5. *ARC ARCHEOS*

**Participants :** Joëlle Thollot, Jean-Dominique Gascuel, Matthieu Cunzi, Laure Heigeas.

Une ARC nationale INRIA a démarré en février 2001 en collaboration avec le projet REVES de l'INRIA Sophia, l'équipe ERGA des universités de Grenoble III - Stendhal et de Grenoble II - Pierre Mendès-France, l'École Française d'Archéologie d'Athènes, l'ENS ULM et la fondation du monde hellénique à Athènes.

Notre but est la reconstitution et la visualisation interactive de sites archéologiques et l'étude des différents styles de rendus adaptés.

L'équipe ERGA apporte une expertise en histoire et en archéologie, ainsi que les données connues sur la ville d'Argos. Les données archéologiques sont fragmentaires, et un premier travail a permis la modélisation d'un modèle du site. Nous avons ensuite étudié les styles de rendu appropriés et obtenu des résultats en ce qui concerne l'aquarelle. Nous travaillons aussi sur l'aspect scénario en collaboration avec la fondation du monde hellénique afin de trouver des moyens de présenter la notion d'hypothèse en archéologie à travers une visualisation et une mise en scène adaptée.

### 8.1.6. *NeuroRV : Neurosciences motrices et réalité virtuelle*

**Participants :** Jean-Dominique Gascuel, Laurence Boissieux, Olivier Martin [UFRAPS-SPM, Grenoble], Claude Prablanc [INSERM, Lyon].

Ce projet a pour but d'étudier les principes d'adaptation de la motricité humaine aux contraintes de l'environnement visuel, en se concentrant sur un double objectif. Pour les spécialistes de neurosciences motrices qui s'intéressent à l'adaptation de la motricité, il s'agit de profiter des avancées technologiques en modélisation et simulation graphique appliquée à la réalité virtuelle (RV) pour étudier l'adaptabilité des fonctions motrices aux contraintes sensorielles et perceptives de l'environnement visuel (voir la partie 6.4).

Pour iMAGIS, il s'agit d'intégrer des connaissances sur les interactions fonctionnelles entre la vision et le mouvement observées en environnement réel et virtuel afin d'améliorer l'ergonomie et l'interactivité des environnements d'immersion. Avec pour objectifs la réduction des conflits inter-sensoriels, l'augmentation du confort de l'utilisateur et de l'ergonomie des systèmes.

Ce projet est financé par une ARC locale de l'INRIA Rhône-Alpes et le PRA-SC (pôle Rhône-Alpes Science Cognitive).

### 8.1.7. *Digisens*

**Participants :** Jean-Dominique Gascuel, François Curnier, Laurent Pouchoy.

La valorisation des recherches menées par iMAGIS se poursuit. Nous avons été lauréats au concours de l'innovation 2002 de l'ANVAR, et une startup a été créée le 15 septembre 2002, avec le soutien de l'incubateur G-R-A-IN de l'Université Joseph Fourier et de la région Rhône-Alpes.

Fondée par François Curnier, chirurgien dentiste et enseignant à la faculté de Genève, elle va commercialiser prochainement des simulateurs permettant à des élèves chirurgiens dentistes de s'entraîner en 3D sur des patients virtuels. Laurent Pouchoy est embauché par la société, et hébergé dans le projet iMAGIS pour développer le logiciel.

## 8.2. Actions nationales

### 8.2.1. *CYBER : fusion temps réel d'un animateur réel dans un monde virtuel*

**Participants :** Jean-Marc Hasenfratz, Jean-Dominique Gascuel, Edmond Boyer, Marc Lapierre.

iMAGIS a lancé l'Action Concertée Incitative « Jeunes Chercheurs » CYBER, avec la participation de MOVI. Le projet CYBER se propose de fusionner l'image vidéo d'une personne réelle avec un décor virtuel. Le défi est d'assurer une homogénéité visuelle, notamment la cohérence des éclairages et des ombres, à la fois réelles et virtuelles, en temps réel.

On se place dans le contexte d'une présentation devant un public, où un animateur réel évolue dans un décor virtuel. On souhaite que l'animateur interagisse de manière forte aussi bien avec son public, réel, qu'avec son environnement virtuel. Les techniques actuelles sont limitées à des décors sommaires, et l'incrustation de l'animateur est d'un réalisme limité, en particulier sans ombres portées convaincantes, l'éclairage des décors n'est pas cohérent avec celui de l'animateur...

La première étape du projet CYBER a consisté à développer des outils robustes de calibration de l'ensemble de nos caméras. Cette calibration est basée sur un ensemble d'images d'un même damier prises par les différentes caméras (voir figure 21).



La deuxième étape a permis de concevoir des algorithmes robustes permettant la "soustraction" d'un fond quelconque et la construction des contours (voir figure 22).

Actuellement, nous terminons la phase de construction d'un modèle 3D de l'animateur à partir des différents contours. Nous travaillons aussi sur la génération temps réel d'ombres douces de l'animateur.

La suite du projet concerne le ré-éclairage de l'animateur et de la scène virtuelle : on veut que l'animateur influe sur l'éclairage de la scène virtuelle notamment en projetant son ombre, mais aussi en recevant et en réfléchissant l'éclairage qui provient de la scène virtuelle. De plus, nous voulons étudier les possibilités de nouvelles scénarisations profitant du fait que la caméra soit virtuelle. Par exemple, nous nous intéressons à des *traveling* impossibles dans la réalité, comme traverser un mur ou effectuer des changements d'échelle dans une séquence, par exemple pour passer d'un monde macroscopique à un monde microscopique.

### 8.2.2. *Collaboration avec Noveltis*

La société Noveltis, basée à Toulouse, réalise des études pour des partenaires industriels (CNES, CEA, ...) en mettant à leur disposition leur technologie et celle de ses partenaires (laboratoires de recherche, universités,...). Dans ce cadre iMAGIS participe à la mise en œuvre d'une plateforme de simulation de l'éclairage en environnement urbain et végétal, sous la forme de transfert de la technologie développée au cours des années précédentes (Voire *Application de la simulation de l'éclairage à la croissance des plantes*) vers un domaine d'application particulier : la simulation d'images satellitaires.

La collaboration entre Noveltis et iMAGIS s'effectue sous la forme d'un contrat permettant le développement de code commun, et vise à valider et mettre au point les algorithmes de simulation de l'éclairage, ainsi qu'à les adapter à des scènes d'une très grande complexité.

### 8.2.3. *ARC Simulation de Chirurgie Intestinale*

Cette action portée par iMAGIS, et qui a débutée en janvier 2001, est menée en collaboration avec deux laboratoires Lillois, le LIFL et ITM, ainsi qu'avec l'IRCAD (centre de formation des chirurgiens à Strasbourg), et la société SIMEDGE, qui commercialise des simulateurs chirurgicaux pédagogiques. Le but de cette action est de concevoir des modèles d'organes virtuels pouvant être utilisés pour la simulation temps-réel des viscères, en vue de la conception d'un simulateur chirurgical pédagogique dédiés aux cancers de l'appareil intestinal. Cette recherche, déjà évoquée au paragraphe 6.2, est rendue particulièrement ardue par la complexité des contacts et inter-collisions entre les viscères. iMAGIS explore dans ce cadre des modèles multi-couches ainsi que des techniques de simulation adaptatives.

## 8.3. Actions financées par l'Union Européenne

### 8.3.1. *SIMULGEN (Open LTR 35772)*

**SIMULGEN**, dont les responsables sont N. Holzschuch et F. Sillion, est la deuxième phase d'un projet européen « Open Long Term Research ». Les partenaires sont l'**Université de Gironne** (coordonnateur - Espagne), le **Max-Planck-Institut für Informatik** à Saarbrücken (Allemagne) 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.

### 8.3.2. *RealReflect*

Le projet de recherche et développement **RealReflect**, planifié sur trois ans, est une partie du programme européen de recherche IST-2001-34744 (<http://www.cordis.lu/ist/>). Les objectifs de *RealReflect* sont multiples : d'une part, le développement de nouvelles méthodes de simulation et de visualisation pour la réalité virtuelle, en particulier, dans le contexte industriel de l'automobile ; d'autre part, les nouvelles techniques, standards et interfaces d'échange de données développés dans ce projet doivent constituer une base pour un développement économique.

Les principaux aspects techniques du projet sont l'acquisition de données concernant les matériaux, la simulation des échanges lumineux et une visualisation dans un environnement de réalité virtuelle conforme aux données physiques. Les partenaires académiques du projet sont le VUT (*Vienna University of Technology, l'Institute of Computer Graphics and Algorithms*, Autriche), l'UBO (*University of Bonn, Institut für Informatik II*, Allemagne), le MPI (*Max Planck Institut, Computer Graphics Group*, Allemagne), l'UTIA (*Czech Academy of Sciences, Institute of Information Theory and Automation*, Tchéquie) et l'INRIA (projet iMAGIS, France). Les partenaires industriels sont DC (*Daimler Chrysler*, Allemagne), ICIDO (intégration dans des environnements de réalité virtuelle, Allemagne), BARCO, FAURECIA (fournisseur d'intérieur de voitures, France) et VRA (cabinet d'architectes, Autriche).

Le rôle d'iMAGIS dans ce projet est de transférer son savoir faire dans le domaine de la simulation des échanges lumineux dans des environnements complexes et de développer de nouvelles méthodes pour obtenir une solution réaliste et conforme aux données physiques. Les travaux issus de ce projet donneront un logiciel de simulation. Les modules développés devront être réutilisables pour d'autres besoins. Actuellement, un cahier des charges a été défini, les premières spécifications logicielles ont été rédigées (interfaces avec les autres partenaires) et le code (C++, Qt) est en cours de développement. Une méthode à deux passes basée sur le photon mapping sera mise en place. Un des problèmes cruciaux est la reconstruction de la solution à partir d'un échantillon de photons (généralisé lors de la première passe). Des recherches sont entreprises sur ce sujet.

### 8.3.3. Réseau d'Excellence "Computer Graphics and Virtual Environments"

Dans le cadre de la préparation du 6<sup>ème</sup> PCRD, George-Pierre Bonneau a été responsable du dépôt d'une Expression d'Intérêt pour un Réseau d'Excellence intitulé "Computer Graphics and Virtual Environments", et regroupant 229 chercheurs permanents en France, Allemagne, Italie, Angleterre, Espagne. L'ensemble des "projets graphiques" de l'INRIA est concerné par ce projet de Réseau d'Excellence (Evasion, Artis, Reves, Isa, Siames, Iparla, I3d, Alcove, Mirages, soit 42 chercheurs/enseignants-chercheurs).

## 8.4. Relations bilatérales internationales

### 8.4.1. Europe

iMAGIS a développé des liens étroits avec l'Université Polytechnique de Catalogne (Barcelone) et l'Université de Gérone, 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 entretenons également des liens étroits avec le **Max-Planck-Institut für Informatik** à Saarbrücken, en Allemagne, concrétisés par des échanges d'étudiants, des travaux communs, et des projets européens en commun.

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. Raphaël Grasset est allé y travailler pendant 3 mois de Septembre à Novembre 2002.

### 8.4.2. 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 du DEA français), et d'assurer la cotutelle de thèses.

Franck Perbet a bénéficié d'une bourse EURODOC de la région Rhône-Alpes pour aller travailler avec Przemyslaw Prusinkiewicz de l'université de Calgary. Ses travaux traitent de la représentation multirésolution de végétaux. Sylvain Paris bénéficie d'une bourse identique et a été passé 3 mois dans le laboratoire de Vision et Graphique à l'Université de Science et Technologie de Hong Kong de Septembre à Décembre.

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.

Victor Ostromoukhov, de l'Université de Montréal, a été invité par iMAGIS d'avril à juillet 2002.

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.

## 9. Diffusion des résultats

### 9.1. Animation de la communauté scientifique

Des membres du projet ont été membres des comités de programme des conférences SIGGRAPH 2002, ACM Symposium on Computer Animation 2002, Eurographics workshop on rendering, Eurographics 2002, Pacific Graphics 2002, WSCG 2002, SCCG 2002.

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.

Francois Sillion préside le comité des projets de l'UR Rhône-Alpes, JM Hasenfratz préside le comité des utilisateurs de moyens informatiques (CUMI) de l'UR, Joëlle Thollot représente les chercheurs au comité d'UR. Nicolas Holzschuch est co-responsable de l'Action Spécifique du CNRS "Rendu Temps Réel". François Faure est co-responsable de l'Action Spécifique du CNRS "Collisions Temps-Réel".

Marie-Paule Cani est membre du comité éditorial de la revue *Graphical Models*, publiée par Academic Press.

Marie-Paule Cani et Joëlle Thollot sont 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. Nicolas Holzschuch est co-responsable du groupe de travail français sur le rendu et la visualisation de l'AFIG et du GDR-PRC ALP depuis novembre 2000.

Georges-Pierre Bonneau co-organisera avec G. Nielson (ASU) et T. Ertl (Uni. Erlangen) l'édition 2003 du "Scientific Visualization Seminar", à Dagstuhl, Allemagne (<http://www.dagstuhl.de/03231/>).

Georges-Pierre Bonneau est Co-Chair et organisateur de l'édition 2003 du "Visualization Symposium", parrainée par Eurographics et le IEEE Technical Committee on Visualization and Graphics, qui aura lieu les 26, 27 et 28 mai 2003 à Grenoble (<http://www.inrialpes.fr/VisSym03/>).

Georges-Pierre Bonneau a été Poster co-Chair de la conférence IEEE Visualization'02 à Boston, du 27/10/2002 au 01/11/2002 (<http://vis.computer.org/vis2002>).

Georges-Pierre Bonneau est membre du Comité Editorial de la revue IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (<http://www.computer.org/tvcg/TVCGEdBoard.htm>).

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*.

Plusieurs membres du projet sont impliqués dans des comités de l'INRIA Rhône-Alpes (CUR, CUMI).

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, Traitement du Signal, International Journal of Shape Modeling.

### 9.2. Enseignement universitaire

En plus des activités normales d'enseignement des personnels universitaires (à l'Université Joseph Fourier, à l'Institut National Polytechnique de Grenoble 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, dans l'option de 3ème année image et réalité virtuelle de l'ENSIMAG 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).

Joëlle Thollot est responsable de l'atelier de réalité virtuelle de l'ENSIMAG.

### 9.3. 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 participe au colloque de Mathématiques appliquées a la mémoire de Jacques-Louis Lions (collège de France, Juillet 2002) et aux manifestations pour le cinquantenaire de l'informatique a Grenoble (novembre 2002).

### 9.4. 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.

Fabrice Neyret a participé à un échange avec une classe de troisième du collège Jules Flandrin à Corenc (Isère) dans le cadre d'une action « Passion Recherche ». Il participe au montage de café-science dans ce collège.

Fabrice Neyret participe à l'animation de diverses opérations grand public (hors INRIA) dont l'organisation (mensuelle) de Cafés Sciences et Citoyens à Grenoble, de Soirées Sciences et Citoyen au collège Jules Flandrin (trimestrielles, dans le cadre d'un action « Passion Recherche »), ainsi que comme intervenant dans divers cafés (Grenoble, Chambéry, Ardèche).

## 10. Bibliographie

### Livres et monographies

- [1] G.-P. BONNEAU, G. NIELSON, F. POST. *Data Visualization : a State of the Art*. Kluwer, 2002, <http://kapis.www.wkap.nl/prod/b/1-4020-7259-7>, ISBN 1-4020-7259-7.
- [2] J.-M. HASENFRATZ. *Access 2002 - Gérer ses bases de données*. Presse Universitaire de Grenoble, Grenoble, novembre, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/Has02>, ISBN : 2 7061 1102 X.

### Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [3] X. DÉCORET. *Pré-traitement de grosses bases de données pour la visualisation interactive*. thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, octobre, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/Dec02>.
- [4] E. FERLEY. *Sculpture Virtuelle*. thèse de doctorat, INPG, septembre, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/Fer02>.
- [5] J. TURBET. *De l'analyse à la conception d'algorithmes pour une radiosité hiérarchique efficace*. thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, Mars, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/Tur02>.

### Articles et chapitres de livre

- [6] P. BADIN, G. BAILLY, L. REVERET, M. BACIU, C. SEGEBARTH, C. SAVARIAUX. *Three-dimentional linear articulatory modeling of tongue, lips and face based on mri and video images*. in « Journal of Phonetics », volume 30(3), July, 2002, pages 533-553.

- [7] E. FERLEY, M.-P. CANI, J.-D. GASCUEL. *Resolution Adaptive Volume Sculpting*. in « Graphical Models (GMOD) », march, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/FCG02>, Special Issue on Volume Modelling.
- [8] S. HAHMANN, G.-P. BONNEAU. *Polynomial Surfaces Interpolating Arbitrary triangulations*. in « IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics », 2002.
- [9] S. HORNUS, A. ANGELIDIS, M.-P. CANI. *Implicit Modelling Using Subdivision-curves*. in « The Visual Computer », 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/HAC02>.
- [10] F. NEYRET, R. HEISS, F. SENEGAS. *Realistic Rendering of an Organ Surface in Real-Time for Laparoscopic Surgery Simulation*. in « the Visual Computer », numéro 3, volume 18, may, 2002, pages 135-149, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/NHS02>.
- [11] E. PLANTE, M.-P. CANI, P. POULIN. *Capturing the Complexity of Hair Motion*. in « GMOD », 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/PCP02>, submitted Nov. 2001, accepted, June 2002.

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

- [12] A. ANGELIDIS, M.-P. CANI. *Adaptive Implicit Modeling using Subdivision Curves and Surfaces as Skeletons*. in « Solid Modelling and Applications », ACM, june, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/AC02>, Saarbrucken, Germany.
- [13] A. ANGELIDIS, P. JEPPE, M.-P. CANI. *Implicit Modeling with Skeleton Curves : Controlled Blending in Contact Situations*. in « Shape Modeling International », ACM, IEEE Computer Society Press, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/AJC02>, Banff, Alberta, Canada.
- [14] J. COMBAZ, F. NEYRET. *Painting Folds using Expansion Textures*. in « Pacific Graphics », october, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/CN02>.
- [15] X. DÉCORET, F. SILLION. *Street Generation for City Modelling*. in « Architectural and Urban Ambient Environment », 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/DS02>.
- [16] L. FRANCE, A. ANGELIDIS, P. MESEURE, M.-P. CANI, J. LENOIR, F. FAURE, C. CHAILLOU. *Implicit Representations of the Human Intestines for Surgery Simulation*. in « Modelling and Simulation for Computer-aided Medicine and Surgery », INRIA, november, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/FAMCLFC02>.
- [17] S. GRABLI, F. SILLION, S. R. MARSCHNER, J. E. LENGYEL. *Image-Based Hair Capture by Inverse Lighting*. in « Proc. Graphics Interface », pages 51-58, May, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/GSML02>.
- [18] R. GRASSET, J.-D. GASCUEL. *MARE : Multiuser Augmented Reality Environment on real table setup*. in « ACM SIGGRAPH Conference Abstracts and Applications », 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/GG02>.
- [19] L. GRISONI, S. DEGRANDE, C. CHAILLOU, E. FERLEY, M.-P. CANI, J.-D. GASCUEL. *SpinCAS : a step*

*towards Virtual Collaborative Sculpting*. in « Virtual Reality International Conference », 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/GDCFCG02>, Laval, France.

- [20] D. HINSINGER, F. NEYRET, M.-P. CANI. *Interactive Animation of Ocean Waves*. in « Symposium on Computer Animation », july, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/HNC02>.
- [21] S. HORNUS, C. PUECH. *A Simple Kinetic Visibility Polygon*. in « 18th EWCG'02 proceedings », pages 27-30, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/HP02>, Warsaw University.
- [22] S. LEFEBVRE, F. NEYRET. *Synthesizing Bark*. in « 13th Eurographics Workshop on Rendering », 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/LN02>.
- [23] O. MARTIN, B. JULIAN, L. BOISSIEUX, J.-D. GASCUEL, C. PRABLANC. *Evaluating on-line control of goal-directed arm movement while standing in virtual visual environment*. in « 1st International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation », éditeurs D. THALMANN, G. BURDEA., pages 249-259, november, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/MJBG02>.
- [24] S. PARIS, F. SILLION. *Robust Acquisition of 3D Informations from Short Image Sequences*. in « Pacific Graphics », IEEE Computer Society, october, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/PS02>.
- [25] C. SOLER, M.-P. CANI, A. ANGELIDIS. *Hierarchical Pattern Mapping*. in « Siggraph'02 », July, 2002, <http://www-imagis.imag.fr/Publications/2002/SCA02>.

## Rapports de recherche et publications internes

- [26] X. DÉCORET, F. SILLION, F. DURAND, J. DORSEY. *Billboard Clouds*. rapport technique, numéro RR-4485, INRIA, Grenoble, June, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4485.html>.