

*Projet REVES**Rendu et Environnements VirtuEls  
Sonorisés**Sophia Antipolis*

THÈME 3B



*R*apport  
*d'Activité*

2002



# Table des matières

<b>1. Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2. Présentation et objectifs généraux</b>	<b>1</b>
2.1. Présentation générale	1
<b>3. Fondements scientifiques</b>	<b>2</b>
3.1. Rendu	2
3.1.1. Rendu Plausible	2
3.1.1.1. Représentations alternatives pour la géométrie complexe	2
3.1.1.2. Apparence naturelle, usure et « usure inverse »	3
3.1.1.3. Rendu plausible pour le son	3
3.1.2. Rendu haute qualité par simulation	3
3.1.2.1. Eclairage non-diffus	3
3.1.2.2. Visibilité	4
3.1.2.3. Radiosité	4
3.1.2.4. Rendu « Haute Qualité » pour le Son	5
3.2. Environnements Virtuels et Augmentés Sonorisés	5
3.2.1. Ré-éclairage efficace et simple	6
3.2.2. Enrichissement des environnements par le son	7
3.2.3. Représentations adaptées pour l'interaction 3D	7
<b>4. Domaines d'application</b>	<b>8</b>
4.1. Patrimoine virtuel	8
4.2. Evaluation, formation, bâtiment et urbanisme	8
4.3. Jeux Vidéo	9
4.4. Audiovisuel	9
<b>5. Logiciels</b>	<b>9</b>
5.1. Eclairage	9
5.2. Rendu par Points	10
5.3. API graphique commune du projet	10
5.4. AURELI	10
<b>6. Résultats nouveaux</b>	<b>10</b>
6.1. Rendu Plausible	10
6.1.1. Simulation de l'effet de l'écaillage	10
6.1.2. Cartes d'ombres prenant en compte la perspective	11
6.1.3. Rendu d'écosystèmes	12
6.1.4. Modélisation par points à base d'images	12
6.1.5. Rendu Sonore Interactif	13
6.2. Rendu Haute Qualité	13
6.2.1. Visibilité	13
6.2.2. Grid Based Final Gather	14
6.2.3. Rendu non-diffus	15
6.2.4. Render Cache	15
6.2.5. Simulations acoustiques et rendu audio de haute qualité	15
<b>7. Contrats industriels</b>	<b>16</b>
7.1. CSTB	16
7.2. Alias Wavefront	17
<b>8. Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>17</b>
8.1. Actions régionales	17
8.1.1. Collaboration avec le CSTB Sophia-Antipolis	17

---

8.1.2.	Mise en place de la plateforme Workbench	17
8.2.	Actions nationales	17
8.3.	Accueil de chercheurs	18
8.4.	Actions européennes	18
8.4.1.	CREATE	18
8.5.	Relations bilatérales	19
8.5.1.	France-Québec	19
8.5.2.	France-Grèce	19
8.5.3.	France-Allemagne	19
8.5.4.	France-Etats Unis	19
<b>9.</b>	<b>Diffusion des résultats</b>	<b>20</b>
9.1.	Animation de la communauté scientifique	20
9.1.1.	Comités de programme de conférences	20
9.1.2.	Serveur WWW	20
9.2.	Formation	20
9.2.1.	Enseignement universitaire	20
9.2.2.	Autre enseignement	20
9.2.3.	Thèses en cours	20
9.2.4.	Thèses soutenues	20
9.3.	Participation à des colloques, séminaires, invitations	20
9.3.1.	Exposés à des colloques et séminaires	20
9.3.2.	Participation à des colloques et séminaires	20
<b>10.</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>21</b>

# 1. Composition de l'équipe

**Responsable scientifique**

George Drettakis [CR Inria]

**Responsable permanent**

Nicolas Tsingos [CR Inria]

**Assistante de projet**

Agnès Clément-Bessière [TR, assistante des projets PRISME, REVES et du comité des projets]

**Collaborateur extérieur**

David Bourguignon [doctorant Institut National Polytechnique de Grenoble/iMAGIS ]

**Ingénieur de recherche**

David Geldreich [IR, SEMIR, dans le cadre de l'activité workbench]

**Ingénieur expert**

Emmanuel Gallo [à partir d'octobre 2002]

**Ingénieur associé**

Gaël Braconier [IE à partir de mars 2002, IA à partir de septembre 2002]

**Chercheurs doctorants**

Florent Duguet [Boursier AMX à partir du 1er octobre]

Marie-Claude Frasson [bourse Québécoise FQAR]

Alex Reche [bourse CIFRE avec le CSTB]

**Chercheur post-doctorant**

Marc Stamminger [bourse Marie-Curie, jusqu'à fin février 2002]

**Stagiaires**

Pascal Barla [ESSI, janvier, juin-septembre 2002]

Julien Chanois [ESSI, janvier 2002]

Nicolas Damm [ESRA, juillet-septembre 2002]

Christophe Damiano [ESRA, juillet-décembre 2002]

Emmanuel Gallo [DEA SIC filière image-vision, avril-septembre 2002]

Mathieu Negrel [ESRA, août-décembre 2002]

Cedric Peigné [Université Joseph Fourier Grenoble, mars-septembre 2002]

Thomas Parle [ESSI, avril-septembre 2002]

Benjamin Ruiz [ESRA août-septembre 2002]

## 2. Présentation et objectifs généraux

### 2.1. Présentation générale

Les images, souvent accompagnées d'effets sonores, deviennent de plus en plus présentes dans notre vie quotidienne, ce qui engendre un besoin important de création de contenu. Plusieurs moyens traditionnels existent comme la photographie, les arts plastiques, le mixage audio, mais ils impliquent un effort important en temps et une grande expertise.

Notre centre d'intérêt est la synthèse d'images et du son par ordinateur, si possible générés par des méthodes automatiques. Nous nous employons à simplifier les tâches nécessaires dans la production d'images et du son, et à inventer de nouvelles techniques pour les générer. Notre but est de développer des nouveaux algorithmes donnant les moyens de mieux *synthétiser* les images et le son.

Le champ d'applications est très large. Il va de la production ou la post-production audiovisuelle, qui nécessitent le plus souvent un calcul long et « offline » pour obtenir des résultats de très haute qualité, jusqu'aux applications temps-réel, comme les jeux vidéos ou la réalité virtuelle, pour lesquels la principale

considération est de garantir le taux de rafraîchissement de 60 images par seconde et de manière générale un faible temps de latence aux réactions de l'utilisateur.

Le processus de génération des images et du son, appelé couramment « rendu » est la première de nos préoccupations ; la deuxième se concentre sur les environnements virtuels (EV) et « augmentés » (EA) ou « mixtes » (EM), c'est à dire ceux qui contiennent à la fois des objets réels (souvent sous forme numérisée) et des objets purement synthétiques, leur génération, et l'interaction avec eux. Nous entendons par environnements virtuels, des environnements comprenant un certain degré d'interactivité, éventuellement dans un contexte semi-immersif (écran et stéréo, workbench) ou immersif (CAVE, RealityCentre).

## 3. Fondements scientifiques

### 3.1. Rendu

**Mots clés :** *rendu, rendu image, rendu sonore, rendu plausible, rendu haute qualité.*

Le premier domaine que nous considérons comme très prometteur est celui du rendu « plausible », à la fois pour l'image et pour le son. Entre le rendu par points, le IBMR (image-base modeling and rendering), et les travaux sur la simulation de l'usure des matériaux, nous pensons que le potentiel est énorme, et que beaucoup reste à faire. En particulier, ces approches vont sans doute aider d'une façon très importante l'affichage efficace des scènes complexes (et en particulier d'extérieurs), à la fois d'un point de vue géométrique et d'un point de vue visuel et sonore. Dans le cas de l'imagerie, ces aspects sont naturellement liés aux méthodes de modélisation par images ou à base de points. Il est important de noter que ce type d'approche prend une importance particulière du fait du développement croissant des applications graphiques en réseaux, où le modèle « classique » polygonal atteint rapidement ses limites.

Une partie de nos compétences se concentrent autour du thème de rendu réaliste par simulation, à la fois pour l'image et le son. Pour certains aspects, ces domaines sont arrivés à maturité, comme par exemple pour l'éclairage, qui permet plutôt des transferts technologiques. Cependant, il reste certains aspects techniquement difficiles (visibilité, son) qui méritent d'être poursuivis sur le plan de la recherche.

#### 3.1.1. Rendu Plausible

##### 3.1.1.1. Représentations alternatives pour la géométrie complexe

Pour obtenir des simulations visuelles riches, il est nécessaire d'avoir suffisamment de détails géométriques, de textures et des effets d'éclairage. Plusieurs techniques existent pour y arriver, par exemple le « displacement mapping », c'est à dire le déplacement de la surface par une fonction ou une série de fonctions (souvent stochastiques). Avec des méthodes de ce type, il est possible de représenter d'une façon convaincante des terrains ou des montagnes, ou des objets rugueux comme des rochers. La méthode traditionnelle pour représenter ce type d'objet nécessite un nombre trop élevé de polygones, ce qui rend l'affichage beaucoup trop long. Une façon de résoudre ce problème est d'utiliser des méthodes de rendu par points ou à base d'images, où le nombre d'éléments utilisés pour l'affichage dépend du point de vue : la complexité géométrique est donc fortement diminuée.

Le potentiel de ce type d'approche est particulièrement intéressant. Si tous les objets peuvent être rendus par des points, il est alors envisageable de colorer ou calculer l'éclairage local (« shading ») de ces points par des algorithmes bien plus sophistiqués que ceux des systèmes actuels, basés exclusivement sur les polygones. Cette nouvelle technique pourrait alors à terme remplacer ou compléter le rendu à base de polygones. Bien entendu, une série de défis techniques restent à relever pour atteindre ce but, depuis l'échantillonnage adapté pour des calculs d'éclairage/ombrage, jusqu'au développement d'algorithmes et structures de données suffisamment rapides pour permettre un rendu interactif, voir temps réel.

Les approches de ce type sont clairement un bon choix pour le rendu sur réseau, pour les jeux ou la modélisation des phénomènes naturels. D'autres représentations seront également étudiées, comme les méthodes à base d'images, des méthodes de codage d'images et de la vidéo, des méthodes similaires au « render cache » [27] que nous avons développé antérieurement, et des méthodes plutôt volumiques. Nous prêtons une

attention particulière aux questions liées au rendu sur réseau, en ce qui concerne l'adaptation des algorithmes de rendu, et le choix de la représentation appropriée, pour différents débits, et différentes applications.

La représentation par points peut également amener à des solutions novatrices pour la capture de modèles réels. En combinant les informations fournies par des images réelles, et les techniques d'échantillonnage, nous espérons développer un moyen simple de créer des représentations d'objets naturels complexes appropriées pour un affichage rapide. De telles approches sont fortement liées à la génération de texture et aux méthodes de modélisation à base d'images. Une telle approche ne se substituera pas à des méthodes plus précises comme le scan 3D, mais pourrait s'avérer très intéressantes pour de nombreuses applications (par exemple archéologie, urbanisme etc.). A plus long terme, l'extraction automatique de ce type d'information à partir de séquences vidéos serait très intéressante, et fera partie de nos préoccupations en recherche.

#### 3.1.1.2. Apparence naturelle, usure et « usure inverse »

Un problème récurrent dans les scènes d'images de synthèse est que les objets sont « trop parfaits », car leur interaction avec l'environnement n'est pas modélisée. Nous souhaitons pouvoir disposer de plusieurs types d'usure dans un système intégré et facile à utiliser. Ceci nécessitera le développement de méthodes pour d'autres phénomènes, y compris ceux pour lesquels les méthodes existantes demandent des simulations coûteuses. Le traitement de phénomènes comme l'accumulation et le rendu de la poussière peut être fait d'une façon approximative comme les cartes d'accessibilité [23] plutôt qu'une simulation physique à base de particules [16][15]. Nous souhaitons traiter le plus grand nombre de phénomènes de ce type (poussière, salissure, rouille, etc.) à la fois pour leur modélisation et leur rendu, en conservant toujours le souci de rapidité et la simplicité d'usage, y compris pour des dégradations géographiques par phénomènes naturels (vent, pluie, glace, etc.). Nos soucis principaux sont (i) de donner des moyens simples de simuler un effet désiré, avec une simulation aussi facile à contrôler et rapide que possible et (ii) de permettre l'utilisation combinée de tous ces effets sans surcoût ou difficulté d'utilisation supplémentaire.

Un autre axe de ces travaux peut être la modélisation du processus inverse : à partir d'un objet réel usé, retrouver le modèle original à l'état « neuf ». L'importance d'une telle approche est évidente pour des applications archéologiques (reconstruction de monuments), mais également pour tout système de modélisation à partir de photos. Tout objet reconstruit à partir de photos contient les effets d'usure qu'il a subit. Pour l'utilisation de tels modèles dans des environnements virtuels, il est souvent souhaitable de les avoir à l'état « neuf ». Pour ceci, nous envisageons des méthodes automatiques, en inversant le processus d'usure développé précédemment, ainsi que des méthodes semi-automatiques, qui permettront à l'utilisateur de fournir de l'information supplémentaire, par exemple quand une partie de géométrie manquante est trop importante. Tout ceci peut également être développé de façon naturelle dans le cadre d'un système de réalité virtuelle.

#### 3.1.1.3. Rendu plausible pour le son

De la même façon que pour l'image, nous pouvons envisager des approches « plausibles » pour le rendu du son. Par exemple, la structure temporelle complexe des réflexions d'ordre élevé, rend les approches géométriques rapidement inutilisables. Or, les réflexions multiples correspondent à l'impression intuitive de « réverbération » perçue par l'auditeur et sont donc essentielles à modéliser. Dans les environnements complexes, comme par exemple des villes avec un nombre important de primitives géométriques, et des milliers de piétons et véhicules, le champ acoustique est très riche. Pour des environnements de ce type, les simulations géométriques classiques sont inutilisables à cause du nombre exorbitant de chemins de propagation sonore à créer et traiter. Nous étudierons des approches de modélisation statistiques de scènes pour traiter cette complexité de manière efficace. Par ailleurs, les méthodes perceptuelles « classiques » (par exemple les réverbérations artificielles avec contrôle perceptif) ne pourraient pas facilement garantir la cohérence entre l'image et le son. Pour rendre ce type de champ sonore, il est indispensable de les modéliser d'un point de vue psychoacoustique, ce qui est un problème ouvert actuellement.

### 3.1.2. Rendu haute qualité par simulation

#### 3.1.2.1. Eclairage non-diffus

Les méthodes qui combinent les éléments finis (pour le diffus) et les approches stochastiques pour les phénomènes spéculaires (non-diffus) sont très prometteuses. Des voies de recherche intéressantes demeurent,



Figure 1. Rendu par une méthode combinant points, lignes et polygones [6] d'une scène d'extérieur contenant des arbres et des fleurs. Nous arrivons à un taux d'affichage de plusieurs (7-8) images par seconde en utilisant le rendu par point par rapport à des dizaines de secondes par image avec un rendu « classique ».

notamment liées aux problèmes des maillages adaptés, et les approximations utilisées pour le calcul de facteur de formes. Plus intéressant encore, l'analyse de l'erreur, différente pour les méthodes déterministes et stochastiques est un élément clef que nous allons étudier. Enfin, l'affichage efficace, qui est un atout majeur des méthodes de radiosité (car indépendantes du point de vue), reste un but qui n'est pas encore atteint pour les méthodes combinées.

Dans certain cas, les méthodes stochastiques peuvent être efficaces pour tous les types de transferts lumineux, notamment si l'on ne souhaite pas une solution globale valable en tout point de la scène mais l'on se contente d'une solution dépendante du point de vue. Nous étudions des méthodes stochastiques « pures » (c'est-à-dire sans utilisation de techniques par éléments finis). Une direction intéressante dans ce contexte consiste à appliquer des filtres pour améliorer la qualité de l'image finale. Les méthodes de tracé de faisceaux [24], récemment développées pour le son, peuvent également être utiles dans ce contexte.

### 3.1.2.2. Visibilité

Les calculs de visibilité sont centraux dans toute simulation d'éclairage global, mais aussi pour tout algorithme de rendu y compris pour le son. Nous développons une structure de visibilité globale, qui sera suffisamment robuste pour être construite sur toute scène typique utilisée en graphique. Les approches précédentes [19][18][17] comportent également des problèmes de robustesse et nécessitent beaucoup de mémoire ce qui rend le passage à l'échelle difficile pour les scènes complexes.

Pour résoudre ces problèmes nous développons de nouvelles structures de données basée sur un formalisme général et flexible pour décrire tous les événements de visibilité à base d'ensembles de générateurs (sommets, arêtes). Nous envisageons ensuite une construction paresseuse pour traiter le problème de consommation mémoire. Des travaux ont déjà été publiés sur ce sujet [2]. Une autre approche pour résoudre le problème du passage à l'échelle pour des scènes très complexes, est de développer une structure de visibilité hiérarchique, qui sera sans doute liée à l'application ciblée (ombres, occlusion culling, etc.)

### 3.1.2.3. Radiosité

Pour les scènes purement diffuses, la méthode de radiosité reste l'approche la plus appropriée. En ce qui concerne cette méthode, il reste certains problèmes plutôt « technologiques » (voir aussi les paragraphes 4.1, 4.2 sur les applications). Nous allons notamment travailler sur le problème de l'affichage interactif, voire



temps réel, du résultat des simulations d'éclairage, qui résultent typiquement en un grand nombre de primitives géométriques supplémentaires. Ceci nécessite d'explorer les représentations mixtes polygones/textures et la gestion de ces représentations. D'autres problèmes se concentrent autour du raffinement des liens, représentant d'une façon multi-échelle les échanges énergétiques, et le « nettoyage » des données d'entrée qui comportent souvent des incohérences.

La radiosité hiérarchique peut également être appliquée au son [25], et des approches récentes comme le clustering pourraient permettre de traiter de manière efficace la réflexion du son sur des groupes de petits objets. Ces travaux sont également menés dans le cadre de l'activité workbench.

#### 3.1.2.4. Rendu « Haute Qualité » pour le Son

Nos travaux sur le rendu « haute qualité » du son sont concentrés dans un premier temps sur le développement d'algorithmes efficaces pour l'acoustique géométrique. Il est nécessaire de développer des techniques capables de traiter des scènes de complexité réaliste, en introduisant des algorithmes et des structures de données (par exemple les arbres de faisceaux [20][24]), en particulier pour les premières réflexions ou diffractions du son sur des objets de l'environnement proche.

La validation des algorithmes de simulation sonore est également un aspect clé pour caractériser les phénomènes acoustiques nécessaires à un rendu de haute qualité. Des travaux récents réalisés par Nicolas Tsingos aux Bell Laboratories [7] montrent que les techniques géométriques peuvent permettre une modélisation de très haute qualité du champ sonore dans un environnement reverberant avec diffraction (Figure 2). La poursuite de ces travaux pour des environnements plus complexes (salles de concert par exemple) est un point que nous souhaitons développer dans l'avenir.

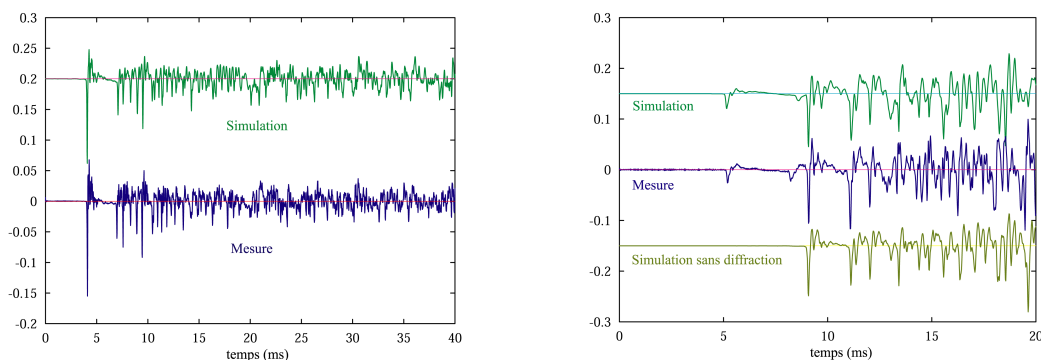


Figure 2. Comparaison entre une mesure du champ de pression acoustique en un point de la « Bell Labs Box », un environnement de test simple construit aux Bell Labs et une simulation de haute qualité basée sur du lancer de faisceaux. La simulation dans la figure de droite inclut les effets de la diffraction par un panneau introduit dans la pièce. Celle de gauche ne comprend que des réflexions spéculaires sur les parois.

Enfin, subsistent des questions de traitement du signal pour la restitution du son 3D sur une large gamme de systèmes (enceintes, casques). Nous souhaitons également développer une librairie ouverte et générale pour le son, proche de OpenGL pour le graphique, qui sera un outil indispensable pour tout développement dans un contexte multi-modal. Des travaux dans ce sens ont déjà été entrepris [26].

## 3.2. Environnements Virtuels et Augmentés Sonorisés

**Mots clés :** environnements virtuels, environnements augmentés, réalité augmentée, réalité virtuelle, ré-éclairage, rendu inverse, auralisation (rendu sonore), ambiance sonore.

Le deuxième axe que nous allons développer se concentre sur les aspects de réalité augmentée (réelle/virtuelle, également appelée « mixte », si elle contient des objets réels « interactifs ») dans un contexte image et son.

Le but est de permettre à l'utilisateur de créer et d'utiliser facilement une scène contenant des objets réels et virtuels.

Notre premier souci sera d'appliquer et d'adapter nos compétences en rendu, présentés précédemment, aux environnements virtuels et augmentés. Par la suite nous tâcherons de maintenir une cohérence d'éclairage entre les lumières réelles et virtuelles. Cette cohérence doit inclure les ombres et les réflexions. La cohérence son et image est également au centre de nos intérêts. Enfin, nous souhaitons trouver des solutions pour faciliter l'interaction avec les environnements virtuels et augmentés.

### 3.2.1. Ré-éclairage efficace et simple

Nous souhaitons développer des méthodes de ré-éclairage et éclairage cohérent réel/virtuel qui ne nécessitent ni beaucoup d'images en entrée, ni des conditions particulières d'éclairage, et qui fournissent des résultats de haute qualité à la fois en intérieur et en extérieur. Pour y arriver, nous étudierons les problèmes de représentation géométrique approximative, éventuellement basée sur des statistiques de la scène, de la génération des textures pour extraire une représentation équivalente à une réflectance de la scène, et des méthodes rapides pour régénérer de nouvelles conditions d'éclairage (et de géométrie), en utilisant entre autres les nouvelles capacités des cartes graphiques (multi-textures, opérations complexes sur la combinaison des textures, *etc.*).



Figure 3. (a) Conditions originales (b) Porte enlevée virtuellement avec ajout d'un objet virtuel et d'une lampe virtuelle (méthode de [22])

Nos travaux précédents sur le ré-éclairage ont permis le développement de plusieurs solutions pour les environnements d'intérieur, souvent avec des contraintes assez importantes sur les conditions d'éclairage de la scène réelle [21][22]. Les résultats de ces approches permettent de plus l'ajout d'objets virtuels avec des effets d'éclairage cohérents ainsi que la modification des conditions d'éclairage réelles et virtuelles. Ces méthodes sont basées soit sur la création de texture « sans ombres » par des méthodes heuristiques, soit sur l'estimation de la réflectance de la scène en prenant plusieurs images de la même scène avec des éclairages différents.

Pour les scènes d'extérieur, plusieurs particularités existent, notamment à cause de la complexité géométrique induite, mais aussi du fait qu'il est difficile de contrôler les conditions d'éclairage. Il faudra utiliser des représentations approximatives pour la géométrie complexe, et des méthodes heuristiques, comme la génération de texture pour enlever les effets d'ombrage et pour les régénérer sous des conditions d'éclairage différents.

Le but à long terme est de pouvoir allumer une caméra vidéo pour capturer une scène (éventuellement pré-modélisée ou scannée au moins en partie) et pouvoir immédiatement et en temps réel ajouter des objets virtuels en maintenant un éclairage cohérent. On pourrait également faire du ré-éclairage soit à travers des lunettes avec projection ou à travers un système de projection vidéo. Les applications d'une telle approche sont très nombreuses, par exemple l'archéologie, les effets spéciaux et le cinéma, ou les études environnementales ou d'aménagement (intérieur ou extérieur), *etc.*

Pour ceci, il faudra également permettre de passer d'une façon lisse entre méthodes rapides mais de qualité moyenne [21][22] à des méthodes de haute qualité où le coup du calcul est plus important [28]. Il faudra

adapter à la fois la méthode de capture et les algorithmes de rendu pour pouvoir obtenir une méthode cohérente permettant une telle variation de qualité.

### 3.2.2. *Enrichissement des environnements par le son*

Le traitement cohérent entre images et son pour la réalité virtuelle est particulièrement important. Une fois le problème résolu, il est possible de mixer du son 3D virtuel sur le son réel, par exemple dans des scènes d'extérieur. Cela pourrait être utilisé pour enrichir le « paysage sonore » naturel avec des informations complémentaires dans le cadre de sites historiques ou de musées. Une telle application serait également bénéfique du seul point de vu auditif pour aider les personnes malvoyantes à s'orienter ou réagir dans des situations délicates (traverser un carrefour par exemple) tout en préservant leurs facultés d'audition naturelle.

Une autre direction est le contrôle actif de pièces et d'espaces. Ceci peut être fait par des microphones et des haut parleurs couplés, permettant la modification des propriétés acoustiques d'un espace réel (par exemple ajouter de la réverbération dans une « pièce morte ») en temps réel. Ces technologies ont notamment été utilisées pour l'amélioration des propriétés acoustiques de salles de concerts (système CARMEN du CSTB). Les algorithmes existants doivent cependant être étendus pour s'appliquer dans des contextes différents : petite salle, configuration « desktop », ou environnements comportant plusieurs salles adjacentes.

### 3.2.3. *Représentations adaptées pour l'interaction 3D*

L'utilisation de systèmes immersifs ou semi-immersifs offre une nouvelle gamme de possibilités pour l'interaction avec les mondes virtuels et augmentés. La question de déterminer quelle est la meilleure façon d'interagir avec ces mondes est un sujet de recherche à part entière, et, au moins dans un premier temps, ne sera pas centrale dans nos recherches. Par contre nous allons nous attaquer à certains problèmes spécifiques d'interface que nous rencontrons dans nos recherches et pour nos applications. Quand ceci sera nécessaire, nous allons nous allier à des partenaires compétents dans le domaine de l'interface homme-machine pour les environnements virtuels.

Les techniques de rendu non-photoréaliste peuvent être très importantes pour certaines applications, car elles permettent l'abstraction des détails inutiles, et une communication plus efficace de certains concepts. Il est intéressant d'étudier si ce type d'approche peut s'adapter en 3D, à la fois dans un contexte interactif (« dessin 3D ») mais également dans un contexte d'affichage de modèles 3D pour des applications comme l'archéologie ou le « virtual storytelling » (utilisation des techniques de réalité virtuelle pour raconter des histoires aux enfants, souvent dans un but éducatif) *etc.*

Une autre question à laquelle nous sommes confrontés, est de remplacer les interfaces à base de menus et boutons que nous avons l'habitude d'utiliser dans nos applications en deux dimensions. Pour tous les domaines de nos recherches, éclairage, rendu interactif, modélisation à base de points, il faudra étudier la problématique posée par les environnements (semi-)immersifs, et concevoir des modes d'interaction appropriés. Nous envisageons des collaborations avec des spécialistes dans ces domaines pour nous aider à résoudre ces problèmes.

L'utilisation de représentations alternatives comme les points ou les images, en particulier pour les phénomènes comme les déplacement maps, ouvre la voie pour une modélisation interactive d'objets complexes (terrains, rochers, structures naturelles), impossible jusqu'alors. D'une façon similaire, les méthodes rapides pour le vieillissement sans simulation physique, permettent à l'utilisateur d'interagir véritablement avec le modèle, là où plusieurs heures étaient nécessaires précédemment. Contrairement à la modélisation pour des objets « classiques », très peu de méthodes existent pour contrôler et créer des objets avec ce type d'approche. Nous pensons que l'utilisation de méthodes 3D permettra de mieux utiliser ces solutions. Pour ceci, il faudra d'abord définir des transformations de paramètres souvent peu intuitifs (fonctions de bruit) en des quantités compréhensibles par l'utilisateur, et ensuite définir des modèles d'interaction adaptés à ces fonctions de contrôle. L'installation du workbench à Sophia aidera sensiblement l'avancement de ces activités.

Enfin l'utilisation du son dans toute interface 3D ne peut qu'être bénéfique. Le son peut renforcer l'impression de présence spatiale, peut aider à l'identification d'occultation entre objets, et permet de générer une réponse aux actions de l'utilisateur, l'aidant à accomplir sa tâche.

## 4. Domaines d'application

### 4.1. Patrimoine virtuel

**Mots clés :** *patrimoine virtuel, archéologie virtuelle.*

Nos travaux sur l'archéologie virtuelle porteront à la fois sur la présentation du patrimoine au grand public, souvent sous un angle éducatif, et sur le travail des archéologues.

Pour le premier aspect, nous avons établi des contacts avec le département de réalité virtuelle de la fondation du monde hellénique (FHW). Nous sommes actuellement en train de créer des solutions d'éclairage de sites antiques en collaboration avec le FHW pour un affichage temps-réel dans leur salle réalité virtuelle (RV). Nous envisageons par la suite des applications de réalité augmentée en combinant des images de sites réels et les reconstructions des sites antiques. Cette collaboration s'intègre également au projet européen IST, « CREATE », qui marie les approches modernes d'éducation et du design à l'aide de la technologie, et les techniques de pointe pour les environnements virtuels/augmentés. La première application est le patrimoine virtuel. La contribution de REVES s'étale sur une grande partie de nos activités : l'éclairage par simulation, le rendu par points, la simulation du son (en particulier multi-échelle), le rendu par points, et le ré-éclairage.

Pour la collaboration avec les archéologues, nous avons monté cette année une action de recherche coopérative "ARCHEOS" (voir paragraphe 8.2) pour l'utilisation du rendu non-photoréaliste pour la présentation de sites antiques aux archéologues, mais également pour le grand public. Nous travaillons sur des questions de visualisation appropriée pour la validation et la présentation des hypothèses, souvent contradictoires, des archéologues/historiens (ENS Ulm, Université de Grenoble - Stendhal).

Les aspects acoustiques sont également extrêmement importants pour l'archéologie virtuelle. De nombreux sites ont en effet des propriétés acoustiques très particulières (par construction ou par accident) qu'il serait essentiel de reproduire pour une expérience convaincante (songer à la fameuse acoustique des théâtres grecs).

### 4.2. Evaluation, formation, bâtiment et urbanisme

**Mots clés :** *évaluation, formation, bâtiment, urbanisme.*

Une application évidente de la réalité virtuelle concerne l'évaluation et les tests. Notre partenaire privilégié pour cette activité est le CSTB, qui a une responsabilité de certification pour la construction, nécessitant l'image et le son. Deux axes d'application directement sont liés aux activités d'évaluation bâtiment/urbanisme. Nous avons effectué les premiers tests d'éclairage de bâtiments sur des modèles fournis par le CSTB avec notre système d'éclairage.

Nous avons également travaillé, dans le cadre d'un contrat de sous-traitance sur le projet PREDIT "EVE-Visit", à travailler sur des aspects de réalité augmentée et de d'affichage interactif pour l'urbanisme, selon les besoins définis par les partenaires du projet PREDIT (et notamment l'INRETS).

Dans le cadre du projet IST/CREATE, la deuxième application est sur l'urbanisme et l'évaluation par des outils des environnements virtuels/environnements augmentés (EV/EA). Le CSTB est également partenaire associé de ce projet.

La formation est peut-être l'application la plus importante pour les environnements virtuels. Imaginez un scénario ou un utilisateur porte des lunettes LCD et un casque et se déplace dans une zone à risque d'incendie (centrale nucléaire par exemple). Nous ajoutons à l'environnement réel des images de la fumée et de flammes, et les sons des alarmes et de l'incendie. Ceci permet au personnel de s'entraîner dans des conditions proches de la réalité à moindre coût et sans risque.

La société GENESIS, spécialiste de la simulation sonore à Aix-en-Provence s'est montré très intéressée par les aspects de simulation sonore multi-échelles pour les sources multiples.

Les travaux sur le rendu des écosystèmes ont un grand intérêt pour toute activité de visualisation de scènes d'extérieur, ce qui pourrait intéresser des sociétés comme Bionatics ou IWI.

### 4.3. Jeux Vidéo

**Mots clés :** *jeux vidéo.*

Les jeux sur ordinateur sont l'application par excellence pour le rendu et les approches EV/EA. Le rendu interactif de scènes plus complexes autant pour la géométrie que pour l'éclairage, intéressent toujours les industriels des jeux. Nous avons déjà entamé une collaboration avec Electronic Arts pour l'utilisation de nos travaux sur la visibilité dans les jeux, dans le but de calculer des ombres.

L'intégration des techniques de spatialisation sonore, géométrique ou statistique, est évidente et ces techniques sont encore peu présentes ou seulement de façon rudimentaire dans les jeux. Il est important de noter que la présence industrielle française dans ce domaine est particulièrement importante, et que de financements existent.

L'utilisation de techniques de réalité augmentée avec images et son cohérents ouvre aussi la porte au développement de jeux « totalement immersifs » dans des environnements réels mais augmentés avec des sons et des images de synthèse. Dans un premier temps ça sera plutôt une application pour des parcs d'attraction, mais le développement de systèmes de type « immersive desk » bon marché pourrait rendre cette technologie accessible au grand public, au prix par exemple d'une installation « home cinéma ».

### 4.4. Audiovisuel

**Mots clés :** *audiovisuel.*

Les outils informatiques pour la production audiovisuelle pourraient être améliorés d'une façon importante à la fois avec nos approches ré-éclairage/environnements augmentés/environnements augmentés et avec nos approches de rendu sonore. Un ré-éclairage de haute qualité peut être extrêmement intéressant car il évite des prises multiples ou même le déplacement des acteurs. Des solutions de ce type n'existent pas aujourd'hui. Un rendu de ce type pourrait être effectué « offline », permettant avec plus de temps de calcul de faire un rendu de meilleure qualité.

Pour le son, nous envisageons des techniques à base de vision ou de tracking pour faire un rendu sonore convaincant et automatisé, à partir d'une séquence vidéo. On peut également mélanger de manière cohérente du rendu sonore avec de « vraies » bandes-son enregistrées, grâce à des techniques de « match moving » (reconstruction des paramètres de la caméra au cours du temps à partir d'une séquence vidéo).

## 5. Logiciels

### 5.1. Eclairage

**Participants :** George Drettakis, Gaël Braconier, Alex Reche.

Nous développons un système d'éclairage global, ECLAIRES, basé sur les travaux effectués par Xavier Granier lors de sa thèse (soutenue fin 2001). Cet outil permet de calculer la radiosité sur des scènes découpées en groupes hiérarchiques. Il dispose aussi de la possibilité de faire un rendu final de haute qualité sur les éclairages diffus et spéculaires. Cet outil dispose d'un portage sur Linux, Windows et Irix et est basé sur une série de bibliothèques ouvertes permettant le développement de différents outils graphiques.

Le but de ce développement, soutenu par un financement INRIA national "ingénieur associé" (G. Braconier) est de fournir une librairie stable pour le calcul de l'éclairage pour les environnements réalistes. Les deux applications visées sont le bâtiment et l'archéologie. Pour l'urbanisme, nous collaborons étroitement avec le CSTB, qui nous fournit des modèles réels de bâtiments pour tester nos algorithmes. Notre différence par rapport aux autres développements de ce type sont la capacité de traiter les phénomènes spéculaires avec le tracé de particules intégré, l'utilisation des maillages robustes avec la méthode développées dans l'équipe, et l'utilisation de l'information sémantique (Industry Foundation Classes).

## 5.2. Rendu par Points

**Participants :** George Drettakis, Emmanuel Gallo, Marc Stamminger.

Dans le cadre d'un stage d'été (T. Parle) et du travail pour le projet européen CREATE, nous avons mis en place une librairie pour le rendu par points de la végétation. Il existe actuellement une implémentation OpenGL et une implémentation OpenGL Performer<sup>TM</sup>. Nous avons été contactés par une société qui fournit des visualisations de systèmes informatiques géographiques, qui s'intéresse à l'utilisation de cette librairie dans leurs produits.

## 5.3. API graphique commune du projet

**Participant :** Toute l'équipe.

Toute l'équipe a entrepris cet automne la spécification et le développement d'une plateforme commune pour l'intégration de tous les résultats de recherche. La plateforme est organisée en bibliothèques et modules indépendants, permettant le développement modulaire pour chaque projet, et une réutilisation du code développé par un membre de l'équipe. Cet investissement est important car il permet d'éviter la réécriture de modules de base pour le graphique (fenêtres, interaction souris, affichage, graphe de scène etc.). Ce système donne une base de code pour un démarrage rapide pour des nouveaux projets, et sur plusieurs plateformes (Linux, Windows, IRIX).

## 5.4. AURELI

**Participants :** Nicolas Tsingos, Emmanuel Gallo.

Aux travers de stages d'Emmanuel Gallo et Cedric Peigne, la librairie de rendu sonore de l'équipe REVES, AURELI, à été étendue pour prendre en compte différents effets comme la spatialisation au casque, la réverbération tardive ainsi que des possibilités d'entrées-sorties audio étendues par un système de « plug-ins ». Cette librairie C++ permet d'effectuer simplement des opérations géométriques et de traitement du signal, en particulier liées à la spatialisation du son. Elle est entièrement multi-plateforme (Linux/Windows/IRIX) et supporte un système de gestion de plateformes multi-processeurs et de communication réseau. Elle permet la spatialisation des sons sur une variété de systèmes de restitution (casque, enceintes).

# 6. Résultats nouveaux

## 6.1. Rendu Plausible

### 6.1.1. Simulation de l'effet de l'écaillage

**Participants :** Eric Paquette, George Drettakis.

En collaboration avec l'université de Montréal, dans le cadre de la cotutelle co-encadrée avec Pierre Poulin.

L'usure du temps, provoque des fissures et l'écaillage des matériaux à couches comme par exemple la peinture. Pour inclure ces phénomènes en images de synthèse, il est nécessaire de simuler le développement de fissure, la perte d'adhésion, et l'effet de retroussement de l'écaillage. Nous avons développé une nouvelle méthode qui calcule ces phénomènes sur des surfaces. La simulation est inspirée par les phénomènes physiques sous-jacents, sans être une véritable simulation précise, toujours dans l'esprit du rendu "plausible". Nous modélisons les propriétés de la peinture, notamment la force et le stress de la surface pour déterminer où les fissures vont apparaître. Ces fissures sont ensuite propagées dans une grille 2D superposée sur la surface d'origine, et nous utilisons l'élasticité pour calculer la réduction du stress autour des fissures. La simulation de l'adhésion entre la peinture et le matériau se trouvant en dessous détermine finalement comment la peinture se retousse.

Le résultat de la simulation est rendu par la génération explicite de microgéométrie par le système de rendu. Nous permettons à l'utilisateur de contrôler les propriétés de la surface pour influencer la création et la





Figure 4. Gauche : image réelle, centre : image synthétique avec écaillage simulée, droite :, zoom sur la simulation.

propagation des fissures. Les résultats de la simulation et du rendu montre que nous arrivons à produire des images convaincantes des fissures et de l'écaillage. Des exemples de ces résultats sont présentés dans la Figure 4. Ces travaux ont été publiés à la conférence Graphics Interface 2002 au Canada [8].

Dans le cadre de la thèse d'Eric Paquette, nous avons également développé une méthode qui permet de combiner plusieurs phénomènes d'usure comme la salissure, la poussière et les égratinures dans un même système.

### 6.1.2. Cartes d'ombres prenant en compte la perspective

**Participants :** Marc Stamminger, George Drettakis.

La carte d'ombre est une technique extrêmement efficace pour générer des ombres portées dans des applications graphiques interactives. Elle nécessite seulement un minimum de précalcul, notamment une passe de rendu depuis la source lumineuse, pour déterminer une carte de profondeur. Cette carte de profondeur sert à comparer la profondeur de chaque pixel de l'image avec la profondeur dans cette carte, pour déterminer si ce point est dans l'ombre. Grâce à sa simplicité, la méthode est également applicable à des scènes dynamiques, où les ombres doivent être continuellement modifiées, à cause du déplacement des objets.

Néanmoins, la technique de carte d'ombre standard, souffre d'artefacts dus à l'aliassage, en particulier pour des scènes étendues (scènes d'extérieur par exemple). Les cartes d'ombres prenant en compte la perspective sont similaires mais utilisent une paramétrisation non uniforme, dépendant du point de vue courant, ce qui permet de réduire considérablement l'aliassage.

L'idée principale de notre nouvelle méthode est d'effectuer le rendu depuis la source lumineuse *après* le calcul de la perspective. En faisant ainsi, la résolution de la carte d'ombre est concentrée dans la région plus proche de l'observateur, ce qui donne un meilleur résultat visuel par rapport à des cartes standards. Ceci est illustré dans la Figure 5.



Figure 5. (Gauche) Carte d'ombre uniforme 512x512 et l'image correspondante. (Droite) Résultat avec les nouvelles cartes d'ombres perspectives à la même résolution

Nous avons finalisé le développement des cartes d'ombre prenant en compte la perspective en 2002. Les derniers problèmes techniques concernant l'intersection de volumes 3D, furent résolus en collaboration avec

le projet PRISME. Une version de démonstration de la technique a été fournie à nVIDIA, le leader mondial de la production de chips graphiques, et intéresse d'autres industriels également. Ces résultats ont été publiés au journal ACM Transaction on Graphics, éditant les actes de la conférence Siggraph 2002 [4].

### 6.1.3. Rendu d'écosystèmes

**Participants :** Marc Stamminger, George Drettakis.

*Travaux en collaboration avec Oliver Deussen de l'université de Dresden.*

Le rendu par points s'est avéré très efficace pour le rendu de scènes d'une très grande complexité géométrique. Nous avons étendu notre système pour le rendu d'éco-systèmes complets, comportant des centaines de millions de polygones. Malgré cette complexité géométrique énorme, nous avons la capacité de rendre ces scènes interactivement y compris avec des ombres (voir Fig. 6).

Notre nouvel algorithme utilise des bases de données pour écosystèmes, modélisés comme polygones. Nous avons développé une nouvelle méthode qui choisit automatiquement entre une représentation polygonale, une représentation par lignes (pour l'herbe ou des troncs) et une représentation par points. Par une structure de données efficace et l'utilisation des nouvelles capacités des cartes graphique, cette technique de niveaux de détails permet l'affichage interactif de ces environnements, sur des PC standards.

Un papier sur ce système a été écrit en collaboration avec l'université de Dresde et présenté à la conférence IEEE Visualization 2001 à Boston, USA [6].



Figure 6. Un éco-système complexe rendu à des taux de rafraichissement interactifs par des points, de lignes et de polygones.

### 6.1.4. Modélisation par points à base d'images

**Participants :** Marc Stamminger, Marie-Claude Frasson, George Drettakis.

*Travaux en collaboration avec Pierre Poulin de l'université de Montreal.*

Dans le cadre de l'activité de rendu à base de points, nous avons développé une technique de modélisation par points d'objets complexes à partir d'images. Comme nous l'avons vu 6.1.3, les objets complexes peuvent être plus facilement affichés interactivement lorsqu'ils sont représentés par des points plutôt que par des polygones. En se basant sur cette idée, nous avons bâti un système interactif qui permet de reconstruire automatiquement des objets géométriques complexes tels que des plantes, des matières organiques, des objets aux formes non rectilignes. Le système utilise un petit nombre d'images d'objets pris de positions diverses, sans contrainte sur la pose de la caméra utilisée.

Après une étape de calibration des caméras, et une fois précisé un volume approximatif contenant l'objet dans l'espace, le système génère un grand nombre de points au sein de ce volume. Il emploie ensuite une méthode stochastique afin d'éliminer les points ne faisant probablement pas partie de la surface de l'objet



à modéliser. Une combinaison de techniques connues et/ou améliorées est utilisée pour tester les points (comparaison de couleur par exemple). Un aspect important du système est son interactivité. En tout temps, l'utilisateur peut raffiner la reconstruction en indiquant des parties où générer plus de points, en utilisant un des algorithmes fournis pour tenter de " boucher " les endroits de la surface où il manque des points ou pour réduire le nombre de points déjà acceptés en ne gardant que les plus probables. L'utilisateur est à même de juger de sa satisfaction du modèle et de décider d'arrêter ou de continuer les divers processus de raffinement. Une fois le modèle accepté, le système peut en générer des images de nouveaux points de vue en utilisant les images originales et une technique de rendu dépendant du point de vue (View-dependant rendering). Les résultats obtenus sont très satisfaisants et montrent l'avantage de l'utilisation de modèles par points en reconstruction d'objets complexes, la plupart des méthodes existantes utilisant des polygones donnant des résultats très moyens sur de tels objets. La méthode développée fait actuellement l'objet d'une soumission à congrès international. Une partie de ces travaux ont été effectués dans le cadre de la Maîtrise de François Duranleau à l'université de Montréal, sous la direction de P. Poulin.

### 6.1.5. Rendu Sonore Interactif

**Participants :** Emmanuel Gallo, Cedric Peigné, Nicolas Tsingos.

Dans le cadre du DEA d'Emmanuel Gallo [12], nous avons développé plusieurs méthodes d'accélération du traitement audio d'une scène sonore complexe, comprenant un grand nombre de sources ponctuelles. La première méthode regroupe les sources sonores de manière géométrique et trouve un représentant localement optimal pour chaque groupe. Cette méthode s'adapte à la scène et au nombre de représentants demandés, ce qui la rend particulièrement utile dans le cadre d'un système d'allocation dynamique des ressources. Cette méthode peut également utiliser les ressources des cartes video pour effectuer le calcul du traitement sonore.

Une seconde méthode s'appuie sur des critères psycho-acoustiques afin de supprimer les sources perceptivement masquées dans la scène. Cette méthode estime les critères perceptifs de masquage de la combinaison des signaux en présence et ne calcule que les parties audibles de la scène sonore.

Dans le cadre du stage ingénieur de Cédric Peigné [14], nous avons exploré une technique de contrôle interactif de la réverbération dans un environnement virtuel. A partir d'un modèle géométrique et de technique de lancer de rayons, nous nous sommes intéressés à identifier interactivement les paramètres de contrôle d'un modèle perceptif de la réverbération tardive. L'avantage de tels modèles est qu'ils sont efficaces du point de vue du temps de calcul et supportés par les cartes sonores grand-public.

## 6.2. Rendu Haute Qualité

### 6.2.1. Visibilité

**Participants :** Florent Duguet, George Drettakis.

Dans le cadre du DEA de Florent Duguet nous avons développé une nouvelle structure de données basée sur un formalisme général et flexible pour décrire tous les événements de visibilité à base d'ensembles de générateurs (sommets, arêtes). Ceci nous permet de traiter des scènes complexes, ce qui était impossible précédemment. Deux exemples de son utilisation se trouvent dans l'image Figure 7. Notre méthode repose sur l'utilisation de primitives « épaisses », comme par exemple des "droites épaisses", qui sont des droites dotées d'une épaisseur  $\epsilon$ , et un traitement cohérent des intersections entre droites épaisses et la scène.

Les travaux initiés pendant le stage de DEA de Florent Duguet ont été poursuivis cette année. Nous avons développé les algorithmes des prédicats robustes, notamment la « multiface » permettant le traitement des interactions multiples entre droites épaisses et la scène. Le développement de ces algorithmes a permis le calcul des ombres projetées par des sources étendues.

De nouveaux résultats ont été obtenus, comme le calcul des limites d'ombres d'une source étendue sur un modèle de rose (voir figure 7). Des résultats permettant de mettre en avant les techniques de visibilité hiérarchique ont aussi été obtenus. Ces résultats ont été publiés au journal ACM Transaction on Graphics, éditant les actes de la conférence Siggraph 2002 [2]. Ces travaux sont aujourd'hui poursuivis vers d'autres applications, et notamment dans un contexte d'éclairage global.

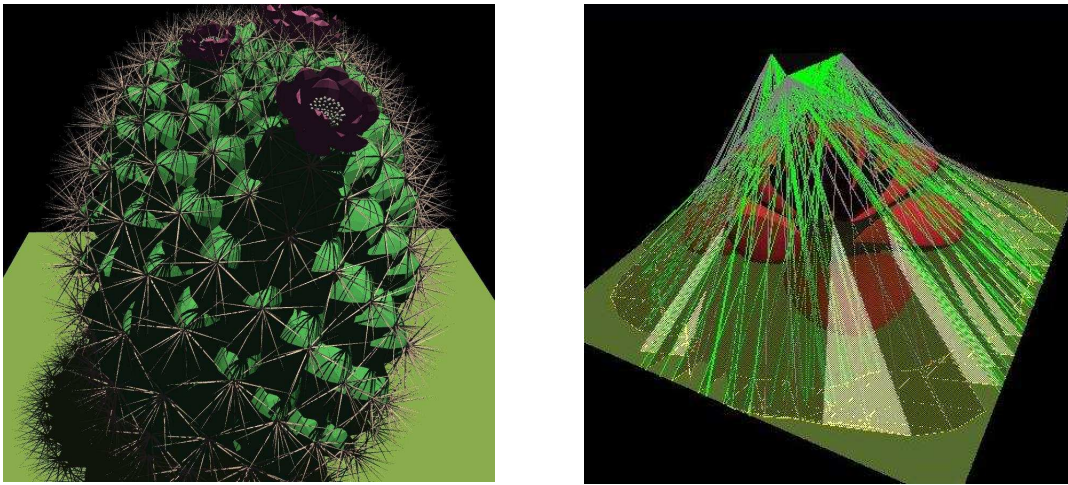


Figure 7. Images générées par notre nouvelle méthode pour le calcul d'une structure de visibilité globale.

### 6.2.2. Grid Based Final Gather

**Participant :** Marc Stamminger.

*Travaux en collaboration avec le Max-Planck-Institute de Saarbruecken.*



Figure 8. Une image obtenue par notre technique de « final gather »

La radiosité hiérarchique est une technique efficace pour obtenir une solution de moyenne qualité pour l'illumination diffuse d'une scène 3D. Pour obtenir une image de haute qualité un ré-échantillonnage par pixel, ou "final gather", de solutions de radiosité doit être effectué mais reste excessivement coûteux.

Nous avons développé une technique qui restreint l'échantillonnage aux régions identifiées comme critiques durant le calcul de la solution de radiosité. Notre technique permet de réduire de manière significative le temps de calcul nécessaire à l'obtention d'une image de haute qualité. De plus, elle est basée sur l'utilisation d'une structure spatiale volumique, indépendante de la géométrie d'entrée et s'applique donc également à des scènes

comportant de nombreuses surfaces non-connexes. Ces résultats ont été présentés à la conférence Eurographics 2002 à Saarbruecken [9].

### 6.2.3. Rendu non-diffus

**Participant :** George Drettakis.

*Travaux en collaboration avec X. Granier à UBC.*

Nous avons continué les travaux de X. Granier sur le « final gather » pour les scènes non-diffuses, à partir des travaux de sa thèse. Les nouveaux résultats permettent une meilleure qualité de reconstruction de l'image tracé par rayons. Ces travaux ont été soumis pour publication à une revue internationale.

### 6.2.4. Render Cache

**Participant :** George Drettakis.

*Travaux en collaboration avec Bruce Walter au Cornell University.*

Le « render cache » est une technique permettant de combler le manque entre algorithmes de haute qualité mais non interactifs et rendu interactif basse fidélité. Elle permet à des algorithmes normalement trop lents pour l'utilisation interactive, comme le lancer de rayons, d'être utilisés dans des contextes interactifs en permettant l'interpolation automatique d'échantillons, la ré-utilisation d'échantillons d'une image à l'autre et de l'échantillonnage adaptatif. Nous avons proposé plusieurs extensions à la technique originale du render cache dont l'échantillonnage prédictif, la réorganisation des calculs pour optimiser l'utilisation de la mémoire, le support d'instructions SIMD et un nouveau filtre d'interpolation permettant de traiter de faibles densités d'échantillons. Ces améliorations permettent au "render cache" de pouvoir traiter des résolutions d'image plus importantes avec moins d'artefacts et permettent de mieux traiter les cas où la vitesse de rafraichissement est faible. Ces résultats ont été présentés au Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering 2002 [10].

Deux stagiaires ESSI, J. Chanois et P. Barla ont [11] également implementé une version du Render Cache sur le cluster PC de l'UR en utilisant le système de parallélisation de programmes MPI.

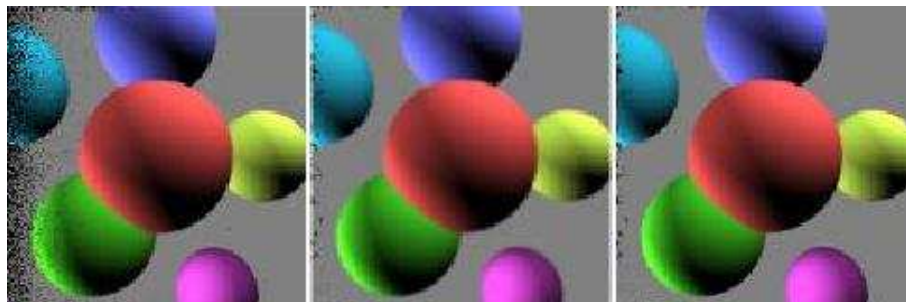


Figure 9. Comparaison entre le render cache avec et sans interpolation d'échantillons et échantillonnage prédictif.

### 6.2.5. Simulations acoustiques et rendu audio de haute qualité

**Participant :** Nicolas Tsingos.

*Travaux en collaboration avec Bell Laboratories et Princeton University*

Les travaux commencés aux Bell Laboratories concernant la validation de modèles de propagation (diffraction en particulier) ont été publiés dans le journal IEEE Computer Graphics et Application, numéro spécial sur l'acoustique virtuelle (Figure 2) [5]. Dans ce cadre une pièce-test a été construite aux Bell Labs et de nombreuses expériences comparant mesures et simulations acoustiques ont été réalisées démontrant que la théorie géométrique de la diffraction combinée avec des réflexions spéculaires permet de modéliser finement la réponse impulsionnelle d'un environnement. Parallèlement les résultats de nos techniques géométriques à base de lancer de faisceaux ont été présentés en papier invité à Forum Acusticum, la conférence de l'association



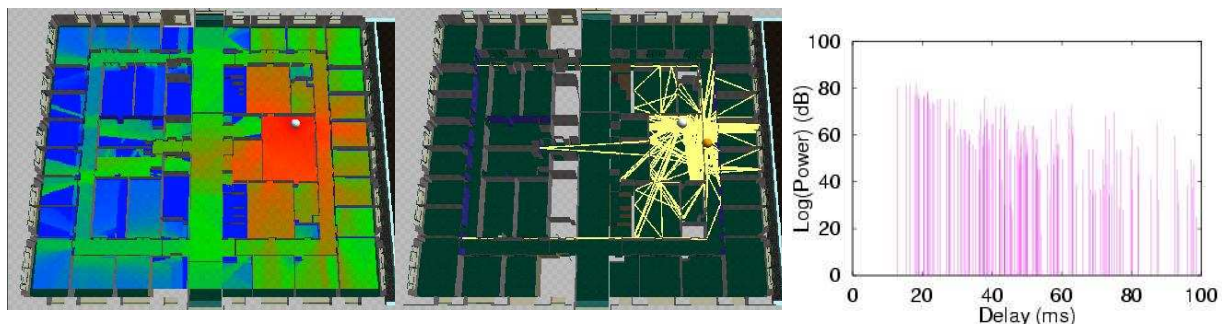


Figure 10. Carte de niveaux sonore, chemins de propagation et réponse impulsionnelle correspondante générée par notre technique de lancer de faisceaux dans un environnement architectural.

européenne d'acoustique, à Séville (Figure 10) [7]. Notre technique de lancer de faisceaux permet de construire les chemins de réflexion et diffraction du son de manière interactive et sans aliassage. Elle est particulièrement adaptée aux environnements architecturaux.

## 7. Contrats industriels

### 7.1. CSTB

**Participants :** George Drettakis, Alex Reche.



Figure 11. A gauche, l'image utilisée pour l'insertion de l'autoroute. A droite, zoom sur une partie de l'image à droite où on voit passer un véhicule.

Le projet PREDIT, EVE-Visit a pour but le développement d'un système de « fenêtre virtuelle » insérée dans une pièce réelle. Ce dispositif est mis en oeuvre par l'INRETS à Lyon, avec le but d'effectuer des tests de nuisances sonores et visuelles causées par la construction d'une autoroute. Les autres partenaires de ce projets sont les industriels de construction autoroutière et des murs anti-bruits.

Notre tâche a été de développer un système d'affichage interactif d'environnements augmentés et de fournir une capture et des modèles de cet environnement. Le site choisi est montré dans l'image 11. Nous avons adopté une solution qui consiste à séparer l'image en différentes couches de profondeurs, permettant ainsi l'ajout d'objets virtuels en mouvement, comme les voitures et les camions. Nous illustrons une image d'une séquence animé de passage de camions dans la figure 11.

La partie modélisation (véhicules, découpage en couches etc.) a été effectuée par les stagiaires de l'école de réalisation et modélisation (spécialisation infographie) ESRA, C. Damiano et N. Damm. La partie programmation pour l'affichage interactif a été effectuée en partie dans le cadre du stage de fin d'études de l'ESSI de P. Barla.

## 7.2. Alias|Wavefront

Nous avons un accord de don de logiciel Maya de Alias|Wavefront. Ce logiciel a été utilisé pour les travaux sur la simulation de l'usure, pour les travaux dans le cadre de l'ARC ARCHEOS et le contrat PREDIT par les stagiaires ESRA.

# 8. Actions régionales, nationales et internationales

## 8.1. Actions régionales

### 8.1.1. Collaboration avec le CSTB Sophia-Antipolis

**Participants :** George Drettakis, Alex Reche, Gaël Braconier.

Notre collaboration avec le CSTB Sophia-Antipolis s'est renforcée d'une façon très importante cette année. Nous collaborons d'une manière très étroite dans le cadre du projet européen CREATE, ainsi que le contrat PREDIT avec l'INRETS. A part ces deux collaborations, nous avons entamé également une collaboration sur le sujet de la simulation de l'éclairage pour le domaine du bâtiment qui se poursuit, et notamment dans le cadre du projet du logiciel ECLAIRES mené par l'ingénieur associé G. Braconier. Nous avons effectué plusieurs tests sur des jeux de données fournis par le CSTB, ce qui permet la validation de nos algorithmes de simulation d'éclairage.

### 8.1.2. Mise en place de la plateforme Workbench

**Participants :** David Geldreich, George Drettakis.

La région PACA a cofinancé avec l'unité de Recherche INRIA Sophia-Antipolis une plateforme semi-immersive pour la réalité virtuelle. David Geldreich, a été chargé de la définition du cahier de charges et de la mise en place du système.

La plateforme est composée d'un écran Barco Baron de 1,5m de diamètre pouvant être orienté de la position horizontale (table) à la position verticale. Il est équipé d'un projecteur BarcoReality 908. Le système est piloté par un PC bi-processeur Intel Pentium III 1Ghz équipé d'une carte graphique GeForce 4 Ti 4600 sous Linux. La stéréo est assurée par un doubleur de fréquence StereoGraphics EPC-2 et de lunettes à obturateur à cristaux liquides (CrystalEyes de StereoGraphics et 60GX de NuVision). Enfin, pour capter la position 3D, nous utilisons un système de capture 3D Fastrak de Polhemus à 6 degrés de liberté équipé d'un stylo et d'un capteur permettant à l'utilisateur une observation de la scène sous différents angles en fonction de ses déplacements.

D. Geldreich a installé le système, et a écrit une série de bibliothèques et d'utilitaires permettant d'intégrer facilement la stéréo et les capteurs de mouvement dans des applications basées sur la bibliothèque Performer et VTK. Une bibliothèque équivalente pour OpenGL a été écrite par le stagiaire T. Parle de l'ESSI [13]. D. Geldreich a également installé la bibliothèque commerciale CAVELib, utilisée dans le cadre du projet européen CREATE. Plusieurs membres du projet ont porté leurs logiciels sur la plateforme.

## 8.2. Actions nationales

**Participant :** George Drettakis.

*Action de recherche coopérative ARCHEOS : <http://www-sop.inria.fr/reves/Archeos>*

REVES est coordinateur de l'action de recherche coopérative ARCHEOS, qui a pour but d'utiliser le rendu non-photoréaliste dans un contexte immersif pour l'archéologie. Les partenaires de l'action sont ARTIS (ex-iMAGIS) à Grenoble, l'équipe des études homériques ERGA à Grenoble, l'école d'architecture de Lyon,

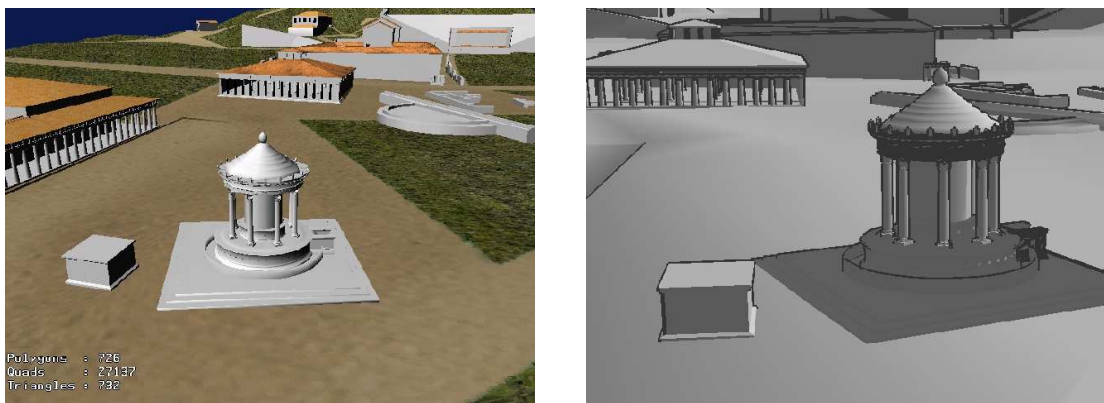


Figure 12. Deux vues du modèle d'Agora d'Argos, fait par les stagiaires de l'ESRA. A gauche un rendu classique, à droite un rendu non-photoréaliste.

l'école Normale Supérieure et la Fondation du Monde Hellénique. Un des buts principaux de ce projet est d'initier le dialogue entre les archéologues et les chercheurs en image de synthèse.

Nous avons organisé plusieurs réunions réunissant les différents partenaires, ce qui a abouti à l'identification des souhaits et des besoins des archéologues. Nous avons entrepris la modélisation complète de l'Agora d'Argos, qui est un site d'intérêt particulier pour les archéologues impliqués dans le projet. Cette modélisation s'est faite dans le cadre du stage des stagiaires ESRA B. Ruiz et M. Negrel. Dans le cadre d'ARCHEOS, M. Cunzi a effectué son DEA à ARTIS à Grenoble, sur le problème de la cohérence de la texture du papier pour un rendu "non-photoréaliste". Ce travail a été étendu dans le cadre d'ARCHEOS, et soumis pour publication. M. Cunzi continue à travailler pour l'ARC pour mettre en place le système d'affichage interactif.

### 8.3. Accueil de chercheurs

Nous avons accueilli les chercheurs suivants : Victor Ostromoukhov, Sébastien Roy (Université de Montréal), Ronen Barzel (Pixar), et Gopal Pingaly, IBM T.J. Watson Research Center.

### 8.4. Actions européennes

**Participants :** George Drettakis, Alex Reche, Emmanuel Gallo, Nicolas Tsingos.

#### 8.4.1. CREATE

Comme mentionné précédemment, nous sommes partenaires d'un contrat IST, CREATE, « Constructivist Mixed Reality for Design, Education, and Cultural Heritage ». Cette action, pilotée par l'University College London, porte sur l'utilisation des théories d'éducation qui se basent sur la façon de « construire » la connaissance, ce qui est particulièrement intéressant dans un contexte de réalité virtuelle immersive. Pour obtenir un meilleur résultat il est indispensable d'avoir une meilleure sensation de réalisme, tout en gardant l'aspect interactif de l'affichage.

Nous mettons en place des nouvelles techniques, qui prennent comme entrée des scènes réelles, capturées par des méthodes de modélisation à base d'images ou par la stéréo et la vidéo (qui se fait en collaboration avec le partenaire industriel RealViz). Ensuite, les modèles sont traités pour pouvoir les afficher d'une manière dépendante du point de vue, et pour pouvoir changer l'éclairage d'origine. Des méthodes seront développées pour réussir à afficher des ombres et d'autres éléments d'affichage réaliste, tout en gardant l'interactivité. Le projet inclura la population virtuelle (UCL et Université de Chypre), et la spatialisation sonore (REVES et UCL) des foules pour améliorer la sensation d'immersion.

Deux scénarios applicatifs sont envisagés, d'abord un scénario d'éducation dans un contexte de patrimoine virtuel. La démonstration se fera dans le centre de réalité virtuelle de la Fondation du Monde Hellénique à

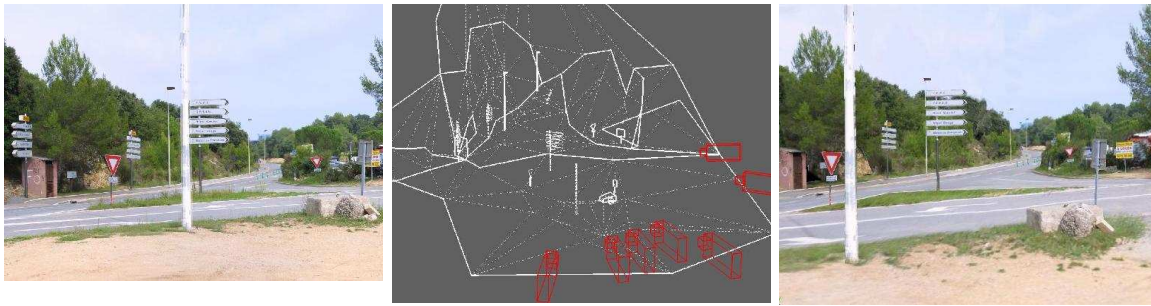


Figure 13. A gauche la photo originale. Au centre, le modèle utilisé pour la simulation. A droite le résultat de la simulation, où l'observateur s'est déplacé vers la droite.

Athènes, et sera une partie du site antique de Messine, avec le but d'aider la compréhension des utilisateurs (surtout des enfants) sur l'architecture, le style de construction, l'utilisation du site etc. D'une façon similaire, le deuxième scénario se basera sur l'approche « constructiviste » pour permettre l'évaluation d'un projet d'urbanisme (construction du Tramway de Nice à la place Massena), en permettant aux acteurs impliqués d'évaluer l'impact à la fois visuel et sonore du projet. Pour le deuxième scénario nous travaillons en collaboration avec le CSTB partenaire du projet.

Dans ce cadre et dans le cadre de la thèse de A. Reche, nous développons des nouvelles méthodes et algorithmes pour la réalité augmentée dans des environnements immersives et semi-immersives, comme une CAVE<sup>[TM]</sup>, un RealityCenter ou encore un workbench. En collaboration avec RealViz nous avons défini une méthodologie de capture d'image et une spécification de la structure de données adaptée à ces captures. Les premiers résultats des captures-pilotes pour le projet sont visibles sur la Fig. 13. Par rapport aux méthodes existantes, ces données doivent inclure des textures qui sont dépendantes de point de vue permettant un rendu interactif dans un système immersif. Nos travaux se concentrent sur la façon de structurer les données et ensuite des algorithmes de rendu à la fois efficace et de haute qualité visuelle. Dans le cadre du projet, le développement logiciel se fait sur une plateforme commune développé par le département de réalité virtuelle de la FHW, appelé XP, qui est une sur-couche de CAVElib (une librairie de gestion de plateformes immersives) et Performer (une librairie d'affichage rapide de graphe de scène).

## 8.5. Relations bilatérales

### 8.5.1. France-Québec

Nous avons une collaboration étroite et active avec l'université de Montréal (P. Poulin, V. Ostromoukhov) dans le cadre de la cotutelle pour la thèse de E. Paquette, ainsi que le projet sur la modélisation à partir d'images à l'aide des points.

### 8.5.2. France-Grèce

Nous avons un accord-cadre avec le département de réalité virtuelle de la Fondation du Monde Hellénique à Athènes. Cet accord nous a permis d'établir une relation de travail, qui a conduit à la soumission commune du projet européen IST, et des discussions sur plusieurs thèmes de recherche, comprenant l'éclairage et le ré-éclairage de sites antiques, et éventuellement la simulation sonore dans les environnements virtuels.

### 8.5.3. France-Allemagne

M. Stamminger collabore d'une façon régulière avec A. Scheel et H.-P. Seidel, sur l'éclairage global. Nous collaborons également avec l'université de Dresden avec O. Deussen sur le rendu d'éco-systèmes.

### 8.5.4. France-Etats Unis

Nous travaillons avec l'université de Cornell sur les questions de rendu interactif (B. Walter) et avec le MIT sur les questions de rendu non-photoréaliste (F. Durand).



## 9. Diffusion des résultats

### 9.1. Animation de la communauté scientifique

#### 9.1.1. Comités de programme de conférences

G. Drettakis a fait partie du comité de sélection du workshop Eurographics sur le rendu 2002, et est co-président du comité de sélection de papiers du congrès Eurographics 2002. N. Tsingos a fait partie du comité de sélection du workshop ACM sur Immersive TelePresence 2002 (relié à la conférence ACM Multimedia 2002).

#### 9.1.2. Serveur WWW

**Participants :** Agnès Clément-Bessière, George Drettakis.

<http://www-sop.inria.fr/rees/> <http://www-sop.inria.fr/rees/Archeos>

Le serveur web du projet a été complètement repensé, et sera mis en service très prochainement avec un nouveau style. A. Clément-Bessière a également construit le serveur web de l'ARC ARCHEOS.

### 9.2. Formation

#### 9.2.1. Enseignement universitaire

ESSI, 2ème et 3ème année, G. Drettakis. Florent Duguet est moniteur à l'UNSA dans le cadre de sa bourse AMX.

#### 9.2.2. Autre enseignement

- Cours « Advanced Lighting for Interactive Applications » de Marc Stamminger au congrès GTEC, Hong Kong.
- Cours « Sounds Good to Me ! Computational Sound for Graphics, VR, and Interactive Systems » de N. Tsingos à la conférence SIGGRAPH 2002.
- Cours « Acquiring Material Models Using Inverse Rendering » de G. Drettakis à la conférence SIGGRAPH 2002.

#### 9.2.3. Thèses en cours

Marie-Claude Frasson et Alex Reche se sont inscrits à l'université de Nice Sophia-Antipolis en octobre, en deuxième année de thèse, et Florent Duguet a commencé sa première année également à l'UNSA.

#### 9.2.4. Thèses soutenues

- E. Paquette a soutenu sa thèse [1] intitulée "Simulation des effets de détérioration de surfaces rigides pour un rendu réaliste" le 29 juillet 2002 à l'université de Montréal. G. Drettakis a fait partie du jury de thèse.

### 9.3. Participation à des colloques, séminaires, invitations

#### 9.3.1. Exposés à des colloques et séminaires

M. Stamminger a présenté nos travaux [9] à la conférence Eurographics à Saarbrücke, et à SIGGRAPH à San Antonio aux EU [4]. F. Duguet a présenté nos travaux à SIGGRAPH également [2]. E. Paquette a présenté nos travaux [8] à Graphics Interface 2002 à Calgary, Canada. G. Drettakis a ouvert la session des papiers à Eurographics à Saarbrücke, dans sa qualité de co-président du comité de sélection des papiers. N. Tsingos a participé au workshop "Acoustic Ecology" à Vancouver.

#### 9.3.2. Participation à des colloques et séminaires

En plus des présentations dans les cours et les papiers décrits avant, A. Reche, M-C. Frasson ont participé à San Antonio à SIGGRAPH 2002. G. Drettakis et A. Reche ont participé au workshop Eurographics sur les



environnements virtuels à Barcelone en mai. Presque toute l'équipe a assisté au workshop Eurographics sur le rendu à Pise en juin.

## 10. Bibliographie

### Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [1] E. PAQUETTE. *Simulation des effets de détérioration de surfaces rigides pour un rendu réaliste*. thèse de doctorat, Université de Montréal, juillet, 2002.

### Articles et chapitres de livre

- [2] F. DUGUET, G. DRETTAKIS. *Robust Epsilon Visibility*. in « ACM Transactions on Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002) », July, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/DD02>.
- [3] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH. *The 3D Visibility Complex*. in « ACM Transactions on Graphics », numéro 2, volume 21, April, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/DDP02>.
- [4] M. STAMMINGER, G. DRETTAKIS. *Perspective Shadow Maps*. in « ACM Transactions on Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002) », July, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/SD02>.
- [5] N. TSINGOS, I. CARLBOM, G. ELKO, T. FUNKHOUSER, R. KUBLI. *Validation of Acoustical Simulations in the 'Bell Labs Box'*. in « IEEE Computer Graphics and Applications », 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/TCEF02>.

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

- [6] O. DEUSSEN, C. COLDITZ, M. STAMMINGER, G. DRETTAKIS. *Interactive visualization of complex plant ecosystems*. in « Proceedings of the IEEE Visualization Conference », IEEE, October, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/DCSD02>.
- [7] T. FUNKHOUSER, N. TSINGOS, I. CARLBOM, G. ELKO, M. SONDHI, J. WEST. *Modeling Sound Reflection and Diffraction in Architectural Environments with Beam Tracing*. in « Forum Acusticum », September, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/FTCESW02>.
- [8] E. PAQUETTE, P. POULIN, G. DRETTAKIS. *The Simulation of Paint Cracking and Peeling*. in « Proceedings of Graphics Interface 2002 », éditeurs W. STUERZLINGER, M. MCCOOL., May, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/PPD02>.
- [9] A. SCHEEL, M. STAMMINGER, H.-P. SEIDEL. *Grid Based Final Gather for Radiosity on Complex Clustered Scenes*. in « Computer Graphics Forum, Proceedings of Eurographics 2002 », volume 21, Blackwell, éditeurs G. DRETTAKIS, H.-P. SEIDEL., September, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/SSS02>.
- [10] B. WALTER, G. DRETTAKIS, D. GREENBERG. *Enhancing and Optimizing the Render Cache*. in « Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering (2002) », Eurographics, ACM Press, éditeurs P. DEBEVEC, S. GIBSON., June, 2002, <http://www-sop.inria.fr/rees/publications/data/2002/WDG02>.

## Rapports de recherche et publications internes

- [11] J. CHANOIS, P. BARLA. *Render Cache Parallèle sous MPI*. rapport technique, juin, 2002, Rapport de Stage ESSI.
- [12] E. GALLO. *Modélisation et rendu de scènes sonores complexes*. rapport technique, septembre, 2002, Rapport de Stage DEA SIC filière image-vision.
- [13] T. PARLE. *Detailed Design of a Stereo Library*. rapport technique, septembre, 2002, Rapport de Stage ESSI.
- [14] C. PEIGNÉ. *Rendu et traitement audio multi-plateforme*. rapport technique, septembre, 2002, Rapport de Stage 3eme année RISM.

## Bibliographie générale

- [15] J. DORSEY, P. HANRAHAN. *Modeling and Rendering of Metallic Patinas*. in « ACM Computer Graphics (SIGGRAPH'96 Proceedings) », pages 387-396, Aout, 1996.
- [16] J. DORSEY, H. K. O. H. PEDERSEN, P. HANRAHAN. *Flow and Changes in Appearance*. in « ACM Computer Graphics (SIGGRAPH'96 Proceedings) », pages 411-420, Aout, 1996.
- [17] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH. *The 3D Visibility Complex, a new approach to the problems of accurate visibility*. in « Rendering Techniques'96 (7th Eurographics Workshop on Rendering) », Springer Verlag, pages 245-257, Juin, 1996.
- [18] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH. *The Visibility Skeleton : A Powerful and Efficient Multi-Purpose Global Visibility Tool*. in « ACM Computer Graphics (SIGGRAPH'97 Conference Proceedings) », Aout, 1997.
- [19] F. DURAND, G. DRETTAKIS, C. PUECH. *Fast and Accurate Hierarchical Radiosity Using Global Visibility*. in « ACM Transactions on Graphics », volume 18, Avril, 1999, pages 128-170.
- [20] T. FUNKHOUSER, I. CARLBOM, G. ELKO, G. PINGALI, M. SONDEHI, J. WEST. *A Beam Tracing Approach to Acoustic Modeling for Interactive Virtual Environments*. in « ACM Computer Graphics (SIGGRAPH'98 Proceedings) », Juillet, 1998.
- [21] C. LOSCOS, G. DRETTAKIS, L. ROBERT. *Interactive Virtual Relighting of Real Scenes*. in « IEEE Transaction of Visualization and Computer Graphics », volume 6, Octobre, 2000, pages 289-305.
- [22] C. LOSCOS, M.-C. FRASSON, G. DRETTAKIS, B. WALTER, X. GRANIER, P. POULIN. *Interactive Virtual Relighting and Remodeling of Real Scenes*. in « Rendering Techniques'99 (10th Eurographics Workshop on Rendering) », Springer Verlag, pages 329-340, Juin, 1999.
- [23] G. MILLER. *Efficient Algorithms for Local and Global Accessibility Shading*. in « ACM Computer Graphics (SIGGRAPH'94 Proceedings) », pages 319-326, Juillet, 1994.
- [24] N. TSINGOS, T. FUNKHOUSER, I. CARLBOM. *Modeling Acoustics in Virtual Environments Using the*

*Uniform Theory of Diffraction.* in « ACM Computer Graphics (SIGGRAPH 2001 Proceedings) », Juillet, 2001.

- [25] N. TSINGOS, J.-D. GASCUEL. *A general model for the simulation of room acoustics based on hierarchical radiosity.* in « Visual Proceedings of SIGGRAPH'97 », Aout, 1997, technical sketch.
- [26] N. TSINGOS. *Artifact-free asynchronous geometry-based audio rendering.* in « ICASSP'2001 », Mai, 2001.
- [27] B. WALTER, G. DRETTAKIS, S. PARKER. *Interactive Rendering using the Render Cache.* in « Rendering Techniques'99 (10th Eurographics Workshop on Rendering) », Springer Verlag, Juin, 1999.
- [28] Y. YU, P. E. DEBEVEC, J. MALIK, T. HAWKINS. *Inverse Global Illumination : Recovering Reflectance Models of Real Scenes from Photographs.* in « ACM Computer Graphics (SIGGRAPH'99 Proceedings) », 1999.