

DOSSIER DE QUALIFICATION AUX
FONCTIONS DE MAÎTRE DE CONFÉRENCES

Section 27

Xavier Granier

Table des matières

I Curriculum Vitae	1
1 Situation actuelle	2
2 Formation et titres universitaires français	2
3 Synthèse des activités d’enseignement	4
4 Synthèse des activités de recherche	5
5 Publications et communications	7
6 Synthèse des charges collectives et autres	9
II Enseignement	11
1 Enseignements effectués	11
1.1 Initiation à Unix et à la programmation (Pascal)	11
1.2 Initiation à la théorie des langages et aux bases de données	12
1.3 Langages et programmation	13
2 Propositions de cours	14
3 Conclusion	15
III Recherche	17
1 Introduction	17
1.1 Contexte	17
1.2 Chaîne de production	19
1.3 Axes de recherches	20
2 Algorithmes efficaces pour l’éclairage global	21

2.1	Travaux effectuées	21
2.2	Travaux en cours et futurs	22
3	Modélisation et Acquisition de matériaux	24
4	Rendu interactif réaliste	25
5	Conclusion	26

I

Curriculum Vitae

Xavier Granier

Âge : 27 ans
Date de naissance : 17 Mars 1975
Lieu de naissance : Carpentras - Vaucluse (84)
Nationalité : Française

Adresses

professionnelle : Department of Computer Science
The University of British Columbia
201-2366 Main Mall
Vancouver, B.C. V6T 1Z4 - Canada

personnelle (Canada) : 2908 W 20th Ave
: Vancouver, B.C. V6L 1H6 - Canada

personnelle (France) : 172, Route de la buissonne
: 84210 Pernes les fontaines

Numéros de téléphone

Canada : +1 (604) 328 5018
France : +33 (0)4 90 88 50 38 56

Adresse électronique : xgranier@cs.ubc.ca

Page web : <http://www.cs.ubc.ca/~xgranier>

1 Situation actuelle

Poste de recherche post-doctorale à l'Université de Colombie Britannique (Vancouver - Canada)

Membre du PIMS¹ post-doctoral fellowship

2 Formation et titres universitaires français

2001 :

Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier (Grenoble I)

soutenue le 9 Novembre 2001

École doctorale : Mathématiques, Sciences et Technologies de l'Information (Informatique)

Formation doctorale : Imagerie, Vision et Robotique

Mention : Très Honorable

Directeurs de thèse : M. George Drettakis - M. Claude Puech

Titre : **Contrôle Automatique de Qualité pour l'Illumination Globale**

Composition du jury :

- Présidente du Jury :
Mme Joelle Coutaz - professeur à l'UJF (Grenoble I)
- Rapporteurs :
M. Bernard Peroche - professeur à l'Université Claude Bernard (Lyon I)
M. Peter Shirley - professeur à l'Université de l'Utah (États-Unis)
- Examineurs :
M. Christophe Schlick - professeur à l'Université de Bordeaux I
- Directeurs de thèse :
M. George Drettakis - chargé de recherche à l'INRIA-Sophia Antipolis
M. Claude Puech - professeur à l'UJF (Grenoble I)

1998 :

Diplôme d'Études Approfondies de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)

Spécialité : Imagerie, Vision et Robotique

¹Pacific Institut for the Mathematical Sciences - <http://www.pims.math.ca/>

Titre : **Simulation d'Illumination Globale par Méthode de Radio-sité avec Mémoire Limitée**

Mention : Assez-bien.

Diplôme d'Ingénieur de l'École Nationale Supérieure d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble (ENSIMAG)

Spécialité : Calcul Scientifique

Mention : Assez-bien.

1993-1995 : Classes préparatoires aux concours d'entrée des Grandes Écoles

1994-1995 : lycée des Chartreux à Lyon

1993-1994 : lycée Saint-Joseph à Avignon

1993 : **Baccalauréat** obtenu en juin 1993

Spécialité : C

Mention : Assez-bien

3 Synthèse des activités d'enseignement

Ma formation à l'ENSIMAG, bien qu'abordant l'informatique sous un grand nombre de ses aspects, s'est surtout spécialisée vers les mathématiques appliqués et par la suite vers la synthèse d'image. Cependant, dans le cadre d'un **monitorat** à l'Université Joseph Fourier (Grenoble I) de 1998 à 2001, j'ai eu l'opportunité d'enseigner des domaines hors-spécialités comme la programmation, l'algorithmique, les bases de données, me permettant ainsi de conserver la plupart des connaissances acquises et de les renouveler. J'ai aussi eu l'occasion d'effectuer un remplacement à l'Université de Colombie Britannique (Vancouver - Canada) sur le thème de l'imagerie numérique.

Le détail horaire de ces enseignements est donné ci-dessous. Les services sont donnés en heures "équivalent TD" cumulées sur les différentes années. De plus, 2A signifie que l'enseignement a été donné à des étudiants de niveau Bac+2. Enfin, le nombre d'étudiants a été en moyenne d'un vingtaine par groupe. Le détail par année est donné dans la partie consacrée à l'enseignement (cf. section II).

Intitulé	Niveau	Année	Heures
Everything on Global Illumination Cours	4A	2001-2002	2
Langages et programmation Cours - TD - TP - Projet	3A	2000-2001	64
Initiation à la théorie des langages et aux bases de données TD - TP	2A	1999-2000	64
Initiation à la théorie des langages et aux bases de données TD - TP	2A	1998-1999	18
Initiation à Unix et à la programmation (Pascal) Cours - TD - TP	1A	1998-1999	46
		Total	194

4 Synthèse des activités de recherche

Cette section a pour but de présenter un bref descriptif de mon expérience de recherche ainsi que du contexte de ces recherches. Le contenu sera développé plus en détail dans la partie consacrée à la recherche (cf. section III)

Recherches post-doctorales

Dates : Décembre 2001 - Juin 2003

Lieu : laboratoire IMAGER¹ - Département d'Informatique à l'Université de Colombie Britannique (Vancouver - Canada)

Thèmes :

Modélisation de propriétés matérielles - acquisition de sources lumineuses - Bases de projections

Illumination Globale - Reconstruction finale pour un algorithme unifié d'illumination global - Combiner approches stochastiques et par ondelettes

Couleur - Effets spectraux dans une base de couleur

Thèse de doctorat

Dates : Septembre 1998 - Novembre 2003

Lieux :

équipe iMAGIS-GRAVIR/IMAG-INRIA² (Grenoble - France)

projet REVES-INRIA³ (Sophia Antipolis - France)

Titre : Contrôle Automatique de Qualité pour l'Illumination Globale

Thèmes :

Illumination Globale - Algorithmes de radiosité hiérarchiques avec regroupement - Approches stochastiques (lancer de particules - de rayons) - Unification des approches pour automatiser et simplifier l'intégration des effets lumineux - Représentations alternatives de l'éclairage - Algorithmes dynamiques - Reconstruction finale

Collaboration : Projet ESPRIT Européen Simulgen - deuxième phase ⁴

Graphics Group of Girona - Universitat de Girona - Girona - Espagne
iMAGIS-GRAVIR/IMAG-INRIA

¹<http://www.cs.ubc.ca/labs/imager/imager.html>

²<http://www-imagis.imag.fr/>

³<http://www-sop.inria.fr/reves>

⁴<http://iiaa.udg.es/Simulgen/>

Max-Planck-Institut für Informatik - Saarbrücken - Allemagne
LightWork Design Ltd - Manchester - Royaume-Uni

Stage de recherche

Dates : Juillet 1998 - Août 1998

Lieu : équipe iMAGIS-GRAVIR/IMAG-INRIA (Grenoble - France)

Thèmes :

Illumination Globale - Algorithmes de radiosité hiérarchiques avec regroupement - Bases de représentation de distributions directionnelles

Collaboration : Projet ESPRIT Européen Simulgen - première phase ¹

Graphics Group of Girona - Universitat de Girona - Girona - Espagne

iMAGIS-GRAVIR/IMAG-INRIA

Institut f ur Informatik - Erlangen - Allemagne

LightWork Design Ltd - Manchester - Royaume-Uni

Diplôme d'études Approfondies

Dates : Novembre 1997 - Juin 1998

Lieu :  quipe iMAGIS-GRAVIR/IMAG-INRIA (Grenoble - France)

Titre : Simulation d'Illumination Globale par Méthode de Radiosité avec Mémoire Limitée

Thèmes :

Illumination Globale - Algorithmes de radiosité hiérarchiques avec regroupement - Réduction de la consommation en place mémoire - Représentation alternative de l'éclairage et de la scène 3D

¹<http://iia.udg.es/Simulgen/1stphase.htm>

5 Publications et communications

Les articles cités ici sont référencés plus en détail dans la bibliographie jointe au dossier.

En tant que premier auteur

Une sélection d'articles et de dissertations est jointe au dossier.

Conférence internationale avec publication des actes et comité de sélection

[GH02] : A Simple Layered RGB BRDF Model

Xavier Granier et Wolfgang Heidrich

Proceedings of Pacific Graphics 2002

[GD01] : Incremental Updates for Rapid Glossy Global Illumination

Xavier Granier et George Drettakis

Proceedings of Eurographics 2001 conference

[GDW00a] : Fast Global Illumination Including Specular Effects

Xavier Granier, George Drettakis et Bruce Walter

Rendering Techniques 2000 (Proceedings of the Eleventh Eurographics Workshop on Rendering)

[GD99] : Controlling Memory Consumption of Hierarchical Radiosity with Clustering

Xavier Granier et George Drettakis

Graphics Interface (GI'99) Proceedings

Communications à des Journées nationales sans comité de sélection

[GDW00b] : Simulation rapide de l'éclairage global

Xavier Granier, George Drettakis et Bruce Walter

Journées de l'AFIG 2000

Dissertations

[Gra01] : Contrôle Automatique de Qualité pour l'Illumination Globale

Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier - Grenoble

[Gra98] : Simulation d'éclairage global par méthode de radiosité avec mémoire limitée

Dissertation de DEA de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

En tant que collaborateur

Conférence internationale avec publication des actes et comité de sélection

[SSG⁺99] : Efficient Glossy Global Illumination with Interactive Viewing

Marc Stamminger, Annette Scheel, Xavier Granier, Frederic Perez-Cazorla, George Drettakis et François Sillion
Graphics Interface (GI'99) Proceedings

[LFD⁺99a] : Interactive Virtual Relighting and Remodeling of Real Scenes

Céline Loscos, Marie-Claude Frasson, George Drettakis, Bruce Walter, Xavier Granier et Pierre Poulin
Rendering techniques '99 (Proceedings of the 10th Eurographics Workshop on Rendering)

Revue internationale avec comité de sélection

[SSG⁺00] : Efficient Glossy Global Illumination with Interactive Viewing

Marc Stamminger, Annette Scheel, Xavier Granier, Frederic Perez-Cazorla, George Drettakis et François Sillion
Computer Graphics Forum - 2000

Rapport de recherche

[LFD⁺99b] : Interactive Virtual Relighting and Remodeling of Real Scenes

Céline Loscos, Marie-Claude Frasson, George Drettakis, Bruce Walter, Xavier Granier et Pierre Poulin
Rapport de recherche de l'INRIA-1999

Séminaire

2002 :

“Fast Global Illumination including Specular Effects”

or

“Toward Unification”

Séminaire du laboratoire GrUVi/Simon Fraser University - Vancouver (Canada)

Comité de lecture

ACM

SIGGRAPH / Journal of Graphic Tools

Eurographics

Conférence annuelle / Computer Graphics Forum / Workshop on Rendering

Autres

Graphic Interface / Pacific Graphics

6 Synthèse des charges collectives et autres

Responsable d'un Groupe de Discussion : AMoRe ¹

Année : 2002-2003
Lieu : laboratoire IMAGER
: The University of British Columbia
Thèmes : Animation, Modélisation et Rendu
Fréquence : hebdomadaire

Le but de ces rencontres est de pouvoir lire, approfondir, et discuter un article récemment publié, dans les domaines de l'animation, de la modélisation et du rendu d'images.

Administrateur système

Année : 2000-2001
Lieux : équipe iMAGIS-GRAVIR/IMAG-INRIA
: projet REVES/INRIA Sophia-Antipolis
Systèmes : IRIX(SGI)-LINUX(PC)

Responsable des séminaires

Année : 1999-2000
Lieu : équipe iMAGIS-GRAVIR/IMAG-INRIA

¹<http://www.cs.ubc.ca/labs/imager/imager-web/Meetings/core.html>

II

Enseignement

Cette section a pour principal but de décrire plus en détail mon expérience en tant qu'enseignant, d'en présenter mes compétences et mon approche, mais aussi, d'introduire des suggestions de cours, plus ancrées sur ma spécialité. En effet, celle-ci est plus orientée vers les mathématiques appliquées que vers l'informatique, mais ma formation à l'ENSIMAG me permet de pouvoir aborder les notions en algorithmiques, en bases de données, en théorie des langages, que j'ai enseignées au cours du monitorat. Cette dualité est nécessaire pour le domaine particulier de l'image de synthèse.

mots clefs :

Synthèse d'images / Algorithmes de calcul de l'illumination / Algorithmes de rendu ...

Mathématiques appliquées / Éléments finis / Minimisation / Statistiques ...

Informatiques / Théorie des langages / Bases de données / Algorithmique / Programmation ...

1 Enseignements effectués

1.1 Initiation à Unix et à la programmation (Pascal)

Niveau : DEUG première année (premier semestre)

Responsable : Michel Burlet

Nombre d'étudiants : 20-25

Organisation : Cours/TD + TP

Charge : Cours/TD et TP

Le but de cet enseignement est de fournir une première découverte de la programmation, et de l'environnement informatique à l'Université Joseph Fourier de Grenoble. Il est ainsi séparé en deux grandes parties.

La première partie est donc la découverte de l'environnement UNIX, de la notion de répertoire, de fichier, d'arborescence des fichiers et des diverses manipulations (copie, déplacement, édition), de compte utilisateur et de la notion de droits. Cette étape est fondamentale pour pouvoir aborder sereinement la découverte de la programmation. Cette partie se déroule sur 3 semaines.

Une fois ces notions acquises, cet enseignement a pour vocation l'apprentissage des notions fondamentales de la programmation, telles que celle de variable (type, déclaration, portée, affectation, ...), celle de constante, de branchement conditionnel, de boucle, de tableau, ... Le choix c'est porté sur le langage Pascal, de part la simplicité et la rigueur qui lui sont propres, permettant de se concentrer sur les notions plus que sur la syntaxe. Cet enseignement est la première approche de l'informatique à l'Université Joseph Fourier. Le tour d'horizon des différentes méthodes informatiques se poursuit le semestre suivant par les notions de récursion et de programmation fonctionnelle (à l'aide du langage Scheme), puis l'année suivante par l'étude des automates et des expressions régulières (à l'aide du langage C) et des bases de données et de l'algèbre relationnelle (à l'aide du langage SQL).

L'enseignement est effectué à l'aide de Cours/TD et de TP, pour des groupes d'au moins 20 étudiants. Un enseignant avec la charge d'un groupe pour les Cours/TD a la responsabilité complète de son organisation (cours et exercices). Les TP sont communs à tous les groupes et suivent une trame fixe.

1.2 Initiation à la théorie des langages et aux bases de données

Niveau : DEUG deuxième année (second semestre)

Responsable : Florence Maraninichi

Nombre d'étudiants : 20-25

Organisation : Cours + TD + TP

Charge : TD et TP

Cet enseignement est la fin du tour d'horizon des diverses approches informatiques à l'Université Joseph Fourier de Grenoble (voir la description de l'enseignement précédent).

La première partie est consacrée à une introduction sur la théorie des langages. Les notions d'expression régulière, d'analyse lexicale et syntaxique y sont abordées. L'ensemble des TP constitue un mini-projet dans lequel l'étudiant devra implanter un logiciel de dessin, basé sur la description d'un motif par une expression régulière. Il sera donc confronté à la création d'un analyseur lexical et d'un analyseur syntaxique.

La deuxième partie de l'enseignement (environ 1/3 du second semestre), est pour sa part consacré à l'apprentissage des bases de données, par une approche théorique (algèbre relationnelle) et pratique (application au langage SQL).

1.3 Langages et programmation

Niveau : Licence (second semestre)

Responsable : Philippe Bizard

Nombre d'étudiants : 20-25

Organisation : Cours + TD + TDa + TP + Projet

Charge : TDa, TP et encadrement de projet

Cet enseignement a pour but la mise en œuvre de méthode de spécification et de programmation, la découverte du fait que des problèmes apparemment différents peuvent être modélisés de manière semblable, et résolus par l'utilisation de paradigmes connus (diviser pour régner, retour arrière, automates, chaînes de Markov, etc.). Son contenu peut être décrit en plusieurs points :

- Complexité :
Définition du coût, notion de taille des données. Complexité exacte et asymptotique. Complexité pratique et complexité théorique. Complexité de problèmes. Codage de l'information. Compression de données.
- Spécification et modélisation :
Expression des problèmes en termes d'ensembles munis de lois et de propriétés. Modélisation en termes de relations. Graphes. Recherche de chemins dans les graphes.
- Paradigmes de la programmation (et applications en géométrie algorithmique) :
Diviser pour régner (induction et récursivité). Construction d'une solution structurée (retour arrière, algorithmes gloutons). Généralisations et restrictions d'un problème.
- Modélisation probabiliste :
Génération aléatoire. Analyse probabiliste. Chaînes de Markov.

La mise en oeuvre de cet enseignement est articulée autour d'un cours magistral, avec des mises en applications lors de TD/TDa/TP et un projet de fin d'année effectué en groupe. Les TP sont effectués sans encadrement, en libre-service. Les

TDa (TD d'application) sont un mélange de cours et de TD. Leurs buts sont d'introduire des notions annexes au cours principal, notions qui devront être mises en place pendant des TP. Les TDa sont aussi le lieu de présentation des sujets de TP et de suivi de la progression des étudiants dans leur réalisation. Chaque TP donne lieu à un compte-rendu (et à une présentation volontaire) qui aboutie à une note. L'enseignant en charge de TDa a pour responsabilité leurs préparations complètes, suivant la trame des notions à acquérir, mais aussi celle de la notation des comptes-rendus.

Le projet de fin d'année quant à lui, est le moment privilégié pour la mise en application de l'ensemble des connaissances acquises dans cet enseignement, pour l'apprentissage de la gestion du travail en équipe et pour l'expérience d'une soutenance, ceci autour du développement d'un jeu de stratégie.

2 Propositions de cours

Dans cette section, je vais développer trois propositions de cours, qui constituent une progression de la découverte, vers la spécialisation en synthèse d'images. Ces cours sont soit une re-proposition de cours existant (et rencontré en tant qu'enseignant ou chercheur), soit le résultat de constatations faites dégagées de mon expérience personnelle et de celles des divers étudiants rencontrés. Ceci est surtout le cas de la troisième proposition.

Le premier type de cours que je propose pourrait s'intituler "**Introduction à l'Informatique Graphique**". Cet enseignement, de style option, situé au niveau DEUG, serait principalement constitué de brefs cours et de mini-projets, dans le but de découvrir des notions en "Informatique graphique". Celles abordées seraient : pipeline graphique, matrice de projection, trichromie (RGB,XYZ,...), librairie graphique (OpenGL) et tracé de rayon.

Le deuxième cours, effectué à niveau supérieur, tel la licence, pourrait s'intituler "**Images et Informations**". Le but de celui-ci serait d'aborder les modes de représentations d'une image (les différents espaces de couleurs, la quantisation, la compression), de transformation (filtrages, tone-mapping) et d'extraction d'information (détection de contours, analyse de Fourier et par ondelettes).

La troisième proposition de cours serait effectué à niveau DESS/DEA. Son but, serait l'acquisition de notions nécessaires que cela soit à la synthèse d'image ou à l'animation : "**Méthodes Numériques pour l'Informatique Graphique et l'Animation**". Le principe serait d'introduire et de développer les méthodes d'intégration couramment utilisées dans les deux disciplines, par exemple : éléments finis, méthodes stochastiques, multi-resolutions, méthodes implicites (souvent utilisées en animation pour les systèmes masses-ressort). Le but de cet enseignement

serait aussi de pouvoir créer des liens entre les diverses techniques afin d'autoriser les interactions et les combinaisons.

3 Conclusion

En conclusion de cette partie consacrée à l'enseignement, j'aimerais aborder deux thèmes qui me sont chers. Le premier est la profonde nécessité d'une réelle présence de l'équipe pédagogique dans un enseignement. En effet, il est à mon sens essentiel d'intégrer tout enseignement ou partie d'enseignement dans un cadre plus généralisé. Cela est particulièrement vrai pour les divers aspects d'un enseignement (Cours, TD, TP, etc...), où la communication entre les différents membres de l'équipe pédagogique est l'une des clefs de la réussite de l'enseignement, de par la cohérence et la structure que cela apporte à l'enseignement. Je ne remerciais en ce sens jamais assez les équipes pédagogiques qui m'ont accueilli, et qui m'ont permis de m'en sentir partie intégrante. Mais il faut aussi créer des liens entre les enseignements. Cela est d'autant plus vrai pour l'informatique, qui reste une science appliquée.

Le second point que je souhaite aborder, est ce que Michel Legrand appelle "le contrat didactique", entre l'enseignant et l'enseigné. Dans ce contrat, l'enseignant a une grande responsabilité, celle "susciter l'intérêt". Ce que je sous-entend dans cette expression, c'est la nécessité de faire en sorte que l'étudiant soit un participant de l'enseignement. Cela demande de notre part, une grande préparation des cours, mais encore plus des TD et des TP. C'est en effet dans l'étape de préparation que l'on peut prévenir les questions, et trouver comment les susciter, que l'on peut trouver les points sur lesquels on peut amener les étudiant à aller plus loin.

III

Recherche

Le but de cette partie du dossier est de présenter principalement les orientations des travaux de recherches que je souhaiterais pouvoir conduire dans le futur. Cette présentation s'articulera autour de deux points principaux, la présentation des axes de recherche et de leur contexte (cf section 1), les travaux réalisés (cf sections 2.1,3), en cours et futurs (cf sections 2.2,3,4). Les travaux réalisés ne seront que brièvement introduits. Pour plus de détails, la thèse et deux articles sont joints en annexes ¹.

mots clefs : Synthèse d'images / Algorithmes de calcul de l'illumination - Contrôle sur le résultat - Méthodes intégrées et interactives - Simplification de modèles et de solutions - Réalisme - Précision / Représentation et acquisition des propriétés de réflexions et des sources lumineuse - Calculs dans l'espace des couleurs / Rendu interactif

1 Introduction

1.1 Contexte

Le cadre général de mes travaux de recherches est celui du réalisme dans la simulation et/ou la création d'univers virtuels, que cela soit pour des images, des animations, ou une solution 3D complète. Cette quête du réalisme est l'un des sujets de recherche qui a mobilisé le plus de ressources en informatique graphique, et

¹Des informations complémentaires peuvent être obtenues sur ma page web ou en me les demandant par courrier électronique

ce depuis le début. Et dans ce but, une grande partie de la recherche a été orientée vers la résolution des phénomènes d'éclairage global. Le calcul de la juste répartition de la lumière dans l'environnement accroît de manière significative le réalisme de l'univers généré, ceci grâce à la cohérence de l'aspect des objets ainsi obtenue, mais aussi grâce à l'ambiance lumineuse qui en résulte. C'est principalement sur cet aspect que je souhaite poursuivre mes travaux.

Il y a deux buts sous-jacents à cette quête de réalisme. Le premier de ces buts est la possibilité de simuler le réel. Cela permet par exemple la certification de projets conformément à des normes existantes, mais aussi d'avoir une garantie sur la conformité au réel de ce que l'on visualise, pour des réalisations en devenir (architecture,...), ou pour la simulation rigoureuse du passé (archéologie,...). Cela permet aussi de résoudre des problèmes inverses où, connaissant la répartition lumineuse, on souhaite pouvoir retrouver les propriétés du milieu. Par une telle approche, il est possible d'augmenter un environnement virtuel avec des objets réels et réciproquement. Les premiers travaux abordant cette approche, tout d'abord dans un cadre simplifié d'environnements diffus seuls [GTGB84], et donc celui du calcul de la radiosité émise par une surface, ou par la suite dans un cadre plus général [Kaj86], et donc celui du calcul de la radiance (luminance), permirent de faire un grand bond en avant dans la cohérence du calcul de la répartition lumineuse. De nombreuses solutions proposées reposent sur la résolution de l'équation de propagation de la lumière. Les méthodes numériques qui en résultent (déterministes ou probabilistes) permettent ainsi la simulation des effets d'éclairage global. Il est possible aujourd'hui de faire une simulation sur la plupart des modèles, en prenant le temps et les ressources nécessaires. Mais malgré tous les progrès algorithmiques effectués depuis, ces méthodes restent très coûteuses en terme de temps de calcul et/ou de place mémoire, et pour certaines, le contrôle sur l'erreur quantitative finale est difficile, alors qu'elle reste le principal critère de qualité dans cette approche.

L'autre but est celui de la création d'univers virtuels, que cela soit pour les effets spéciaux, les jeux, les films d'animation, ou des environnements virtuels purs. Ici, l'erreur que l'on souhaite contrôler n'est plus quantitative, mais qualitative. Le but est de générer un résultat le plus crédible afin de faciliter l'immersion. Grâce à l'approche simulation, à l'heure actuelle, la plupart des problèmes ont été identifiés (phénomènes de diffusion, reflets lumineux, caustiques, modifications interactives, gestion de la complexité, et bien d'autres), et la plupart ont déjà reçu une solution dans certains cadres particuliers. Il est alors possible de générer tous les effets lumineux souhaités. Ainsi, de nos jours, part les résultats visibles principalement dans la production cinématographique, il pourrait sembler que la quête de la création d'images et d'univers réalistes semble aboutie. Mais cette réussite actuelle est principalement due, bien sûr aux outils qui ont été développés, mais encore et surtout au travail des graphistes, passant des journées entières à dompter les al-

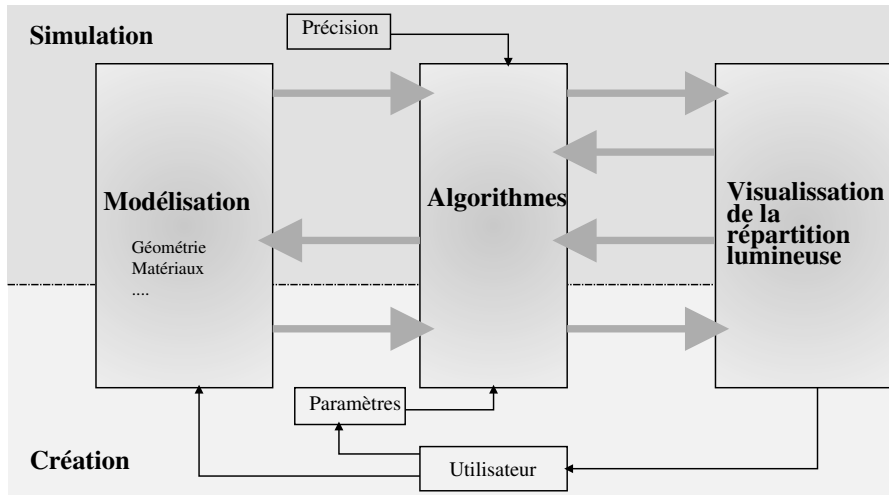


FIG. III.1: Organigramme pour un rendu réaliste

algorithmes existants et à les combiner au mieux pour obtenir le résultat souhaité.

Ces deux approches ne sont pas complètement dissociées. Chaque problème résolu par l'une permet d'améliorer l'autre. Ainsi, l'approche simulation a permis de mieux cerner et de différencier les problèmes. L'approche création a fourni des modèles et des algorithmes plus efficaces.

1.2 Chaîne de production

Afin de cerner les problèmes, il faut d'abord regarder la chaîne de calcul de la répartition lumineuse dans une scène 3D donnée (cf FIG. III.1). On retrouve dans ce schéma les deux approches, simulation et création. Dans la première, le contrôle se fait principalement par la précision souhaitée, alors que dans le second cas, le contrôle se fait principalement par le retour donné à l'utilisateur, afin que celui-ci puisse ajuster l'ensemble de la chaîne pour obtenir l'effet souhaité. Cette chaîne de production peut être divisée en trois parties principales, chacune comportant ses propres sources d'imprécision [ATS94].

La première étape consiste en la modélisation de la scène 3D et des propriétés matérielles telles que les propriétés de réflexions (BRDF, cf. par exemple [TS67, Pho75, LW94, Sch94, LFTG97, War91, GH02]) et propriétés d'émission lumineuse (cf. par exemple [VG84, Ash93a, HKSS98]).

La deuxième étape est celle du calcul en lui-même, se basant sur la descrip-

tion de la scène 3D pour fournir la répartition lumineuse correspondante. De nombreux algorithmes ont été développés, de la simulation pour un environnement diffus [GTGB84, CCWG88, HSA91, Sil95] ou plus général [Kaj86, ICG86, AK90, LW96, VG97], à des algorithmes se concentrant sur un effet particulier [Hei98, SS98, Jen00]. Ces 20 dernières années ont été extrêmement productives en méthodes, chacune tentant de résoudre un problème particulier. Dans le cadre de la simulation, certains algorithmes peuvent aussi être inversés afin de fournir une description de la scène, étant donnée une répartition lumineuse [LDR00, GM00, GHH01].

La dernière partie, et but de la chaîne de production, est la visualisation de la représentation d'une répartition lumineuse cohérente, soit sous la forme classique fixe d'une image (ou séquence d'images), soit de manière interactive. Chaque mode de visualisation fait appel à différents types de représentation de la lumière, soit par une quantité surfacique, comme l'énergie émise par les surfaces, uniformément (Radiosité - $W.m^{-2}$ - [GTGB84, HSA91]) ou avec une influence de la direction (Radiance - $W.m^{-2}.sr^{-1}$ - [ICG86, SDS95, SSG⁺99, SSG⁺00]), par une quantité volumique [GSHG98], soit par une densité d'impacts (particules - rayons).

1.3 Axes de recherches

Les axes de la recherche que je souhaite continuer prennent place dans ces trois étapes, dans le but d'une part, de permettre l'amélioration du comportement des algorithmes face au changement de complexité, d'autre part de permettre une meilleure interaction entre ceux-ci et l'utilisateur à la fois pour la visualisation et pour le contrôle.

Le coeur de cette recherche est donc algorithmique et mathématique. Je crois en effet, au vu des évolutions actuelles et au vu de mes travaux de thèse, qu'il est nécessaire de développer des méthodes permettant aux divers algorithmes de communiquer, dans le but de créer des algorithmes plus généraux et efficaces, mais aussi d'étudier les erreurs générées par ces communications, afin de mieux cerner les problèmes, et d'offrir un moyen de contrôle sur le résultat final. De telles études doivent aussi être menées pour valider des algorithmes existants, comme les techniques de regroupements [HDS99].

Un autre axe est celui de la représentation de la répartition lumineuse. De nombreuses représentations aujourd'hui, notamment pour le cas non-diffus, sont souvent très coûteuses en place mémoire [SSG⁺00]. Aujourd'hui, dans le cadre de la création, de nouvelles représentations alternatives apparaissent [Hei98, SS98, SKS02], moins coûteuses, mais surtout plus adaptées à un rendu interactif. Il faudrait étudier la possibilité de développement de telles techniques dans un véritable cadre d'illumination globale, notamment pour permettre une visualisation inter-

active de solutions réelles nécessaires dans le contexte de la réalité virtuelle ou augmentée.

Enfin le dernier axe est lié à l'étape de modélisation. En effet, une modélisation plus adaptée, que cela soit pour la géométrie, pour les propriétés matérielles, ou avec des représentation mixtes, permettrait d'augmenter la complexité des phénomènes générés sans pour autant augmenter le coût de calcul des algorithmes. De plus, dans le contexte créatif, où la solution finale est visualisée sous la forme de couleurs, je pense nécessaire d'améliorer la précision des calculs dans un tel espace, afin d'éviter les conversions entre espace spectral et espace couleur. Des modèles plus précis de réflexions en espace couleur doivent être développés.

2 Algorithmes efficaces pour l'éclairage global

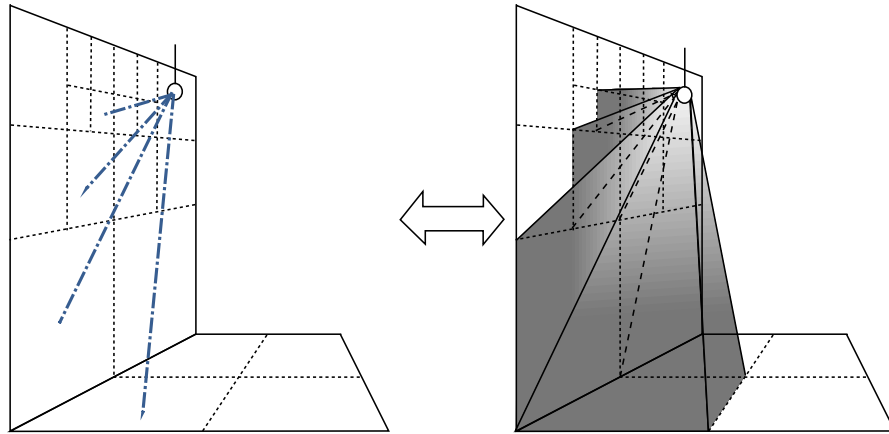
2.1 Travaux effectués

Le principe sous-jacent de mes travaux de thèse était celui de la communication entre diverse méthodes existantes, ce que nous avons appelé par la suite une méthode unifiée.

En effet, si les approches par éléments finis ou de radiosité peuvent permettre une simulation rapide pour les scènes diffuses, les méthodes probabilistes sont actuellement trop lentes ou trop bruitées, même si elles ont plus efficaces dans le cas de réflexions très directionnelles.

Nous avons alors développé au cours de ma thèse un nouvel algorithme, qui, en intégrant un lancer de particules pour les réflexions à caractère directionnel, dans l'étape de transfert d'énergie d'un algorithme de radiosité hiérarchique qui lui, prend en compte les réflexions diffuses, permet de traiter efficacement tous les types de propagation lumineuse. Cette approche permet un calcul rapide et une simulation de bonne qualité visuelle. Les transferts diffus sont ainsi non bruités, grâce à la radiosité hiérarchique [HSA91], mais il est aussi possible d'obtenir rapidement des effets spéculaires comme des caustiques. Cet algorithme peut aussi efficacement traiter le problème de l'éclairage indirect et permet une transition progressive d'une solution rapide mais de faible qualité vers une solution de grande qualité mais plus lente, permettant ainsi un contrôle de la qualité.

La méthode de radiosité hiérarchique est basé sur l'utilisation d'une structure particulière, nommée lien (cf. FIG. III.2), qui représente un échange lumineux entre deux éléments hiérarchiques. L'ensemble des liens forme ainsi une partition des échanges lumineux possibles dans une scène 3D. La communication vers la méthode de lancer de particules se fait par le biais de cette structure [GDW00a, GDW00b]. Elle permet de détecter automatiquement les échanges



Les liens montrés ici représentent les interactions entre la source lumineuse et divers niveaux de la subdivision hiérarchique des surfaces. Ils sont l'équivalent d'un partitionnement des échanges lumineux de la sources vers les surfaces.

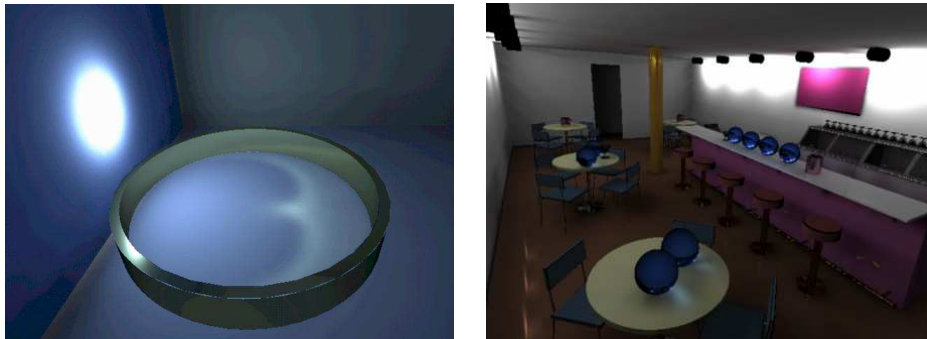
FIG. III.2: Liens et partition des échanges lumineux

“non-purement-diffus”, candidats à une émission de particules, mais aussi de fournir les quantités nécessaires au choix de l'énergie de ces particules. En ajoutant la contribution des particules à la solution diffuse, on assure aussi la communication d'informations vers la méthode de radiosité hiérarchique.

La méthode ainsi engendrée simplifie le contrôle en automatisant le choix de la technique à employer pour un type de transfert donné. Le contrôle est ainsi simplement basé sur la précision souhaitée pour chacune des méthodes. Elle montre aussi son efficacité dans le traitement des chemins complexes, comme les cas d'éclairage indirect (cf FIG. III.3). Nous avons aussi étendu cette méthode aux cas dynamiques, en se basant ici aussi sur la structure de liens [GD01].

2.2 Travaux en cours et futurs

Vers la fin de ma thèse, et au cours de ce post-doc, je me suis aussi intéressé aux techniques de reconstruction finale. Ces méthodes ont pour objectif de calculer une image de très grande qualité à partir des informations fournies par les algorithmes précédents [Jen01, SSS01, PMP02, SSS02]. Or notre algorithme nous fournit un grand nombre de données, que cela soit les liens, la subdivision de la scène, mais aussi l'ensemble des particules avec leur direction d'impact, représentant la fonction d'énergie lumineuse incidente. La méthode que nous avons alors développée essaie de tirer au mieux parti de ces informations pour limiter les cas où un coûteux



Dans l'exemple de gauche, une source de lumière est dirigée vers le mur de droite. La cardioïde ainsi générée est un phénomène d'éclairage indirect. De même, dans la scène de droite, les sources de lumières étant dirigées vers les murs, l'ensemble de l'éclairage est indirect. On peut tout de même noter des caustiques sur les tables dues à la présence des sphères transparentes

FIG. III.3: Solution d'éclairage indirect

recalcul peut s'avérer nécessaire pour obtenir la qualité souhaitée (cf. FIG. III.4). Ces travaux ont été soumis (et pas encore publiés). Une première version se trouve dans le dernier chapitre de ma thèse jointe au dossier.

Cette approche est prometteuse, car elle permet d'avoir une pré-visualisation rapide de ce que sera la solution finale, mais aussi, elle permet la création d'images de grande qualité. Certaines voies restent à explorer, notamment la possibilité de reconstruire les reflets à partir de l'information seule des particules (et en particulier, leur direction d'impact). Je pense que cela peut se faire sous deux approches, l'une reconstruisant une fonction d'énergie incidente dépendante de la direction, l'autre utilisant cette même information pour guider l'émission de rayons réfléchis afin de réduire le nombre de rayons nécessaire à l'obtention d'un résultat sans bruit.

Enfin, pour conclure cette section sur les algorithmes de calcul de solution d'éclairage global, je me suis intéressé à des techniques multi-résolution de réduction de bruit pour les méthodes probabilistes. Les premiers résultats m'incitent à poursuivre un peu plus dans cette voie. En effet, en augmentant la cohérence entre les échantillons stochastiques [KK02], ces techniques permettraient une meilleure qualité d'image pour un même nombre d'échantillons. Ici, le mot qualité est utilisé pour désigner la qualité visuelle, et non pas la précision.



FIG. III.4: Solution de reconstruction finale sur un modèle de salle de bain

3 Modélisation et Acquisition de matériaux

A l'heure actuelle, dans le contexte de la création d'images, la plupart des descriptions des propriétés lumineuses sont données dans des bases de couleur, et le résultat souhaité est aussi exprimé dans ces mêmes bases. Cependant, les modèles de réflexions utilisés ne sont valides que dans une discrétisation du spectre lumineux. De plus, l'obtention de phénomènes lumineux tels que la dispersion des couleurs, les diffractions, ne peuvent s'obtenir que par une forte discrétisation. Il est donc souvent nécessaire d'effectuer des projections d'une représentation par couleur vers une représentation spectrale, et réciproquement [Smi99]. Et de chaque transformation résulte une perte de précision. De même, le calcul en espace des couleurs ne permet pas à l'heure actuelle de créer de tels effets lumineux, et les corrections effectuées sur le résultat final [WEV02] ne permettent que de corriger partiellement cette absence. Il est pour moi donc essentiel de développer des modèles de réflexions, qui tout en permettant de travailler uniquement en espace des couleurs, offrent la possibilité de création de tels effets lumineux, mais aussi plus de réalisme dans la réflexion. J'ai étudié cette possibilité en développant en premier lieu un modèle empirique permettant de créer des effets de dispersion des couleurs et de diffraction [GH02] tout en conservant les calculs dans un espace RGB. Ce modèle est pour moi une validation du concept. A l'heure actuelle, ce modèle est en cours de développement pour une application interactive utilisant le matériel graphique actuel.

Mais je développe un modèle plus générique et plus précis, adapté aux calculs de réflexions en espace de couleurs. Des études préliminaires m'ont montré que 18 coefficients, invariants pour une base de couleur, permettent de calculer la réflexion d'une lumière incidente, définie par sa couleur et son intensité, par une série de combinaisons linéaires, tout en gardant la description de la propriété de réflexion

elle aussi dans l'espace des couleurs. La validation d'un tel modèle passe par le calcul de ces coefficients (calculs en cours) ou par des mesures expérimentales.

Un autre travail en cours, est celui de l'acquisition et de la représentation des sources de lumières étendues. Pour l'instant, celles-ci sont décrites soit par une géométrie et une propriété matérielle (en générale diffuse, mais pouvant être aussi une donnée goniométrique), soit par une représentation 4D (Light-Field [HKSS98], Near-Field [Ash93b]). Ce mode de représentation a l'avantage de décrire dans un seul modèle les variations spatiales et directionnelles. Elles restent cependant souvent difficilement utilisable dans le cadre de calcul de solutions réalistes. L'approche en cours de développement permet d'étendre cette méthode, en offrant un cadre théorique (définition des bases 4D de descriptions), une manière de mesurer ces champs lumineux (projections dans ces bases 4D par l'emploi d'appareils photos munis de filtres représentant le dual des bases de description), mais aussi et surtout, permettent une émission de particules simplifiée pour les algorithmes tels que lancer de particules et Photon-Map. Les travaux sont en cours et un article sera soumis d'ici la fin du mois de janvier. Le futur de ces travaux réside dans la capacité d'obtenir une représentation qui soit multi-résolution, afin d'augmenter l'efficacité, mais surtout la taille mémoire nécessaire au stockage.

4 Rendu interactif réaliste

A mon sens, dans le contexte créatif, une des clefs pour parvenir à offrir à l'utilisateur le moyen d'avoir un plein contrôle sur le résultat final, c'est de lui offrir une visualisation rapide, voire même interactive, de la solution finale.

Au cours de ma thèse, l'approche développée (cf. FIG. III.5) est une combinaison de pré-calcul (pour tout ce qui est illumination indépendante du point de vue, rendu avec le matériel graphique courant) et de tracé de rayons interactif (Render-Cache, pour ajouter les reflets). Afin d'améliorer le rendu des reflets, je souhaiterais développer des techniques moins coûteuses que celle d'un tracé de rayons interactif. Avec le développement courant des cartes graphiques, et leur programmabilité croissante, des techniques d'accélération basées sur un tel matériel permettrait par exemple, le calcul de plusieurs étapes du Render-Cache ou la construction interactive d'un "environment map" interactive étant donnée une distribution de particules avec leurs directions d'impact.

Je pense qu'il est important d'explorer ces directions afin d'aboutir à de véritables solutions pour un rendu interactif.

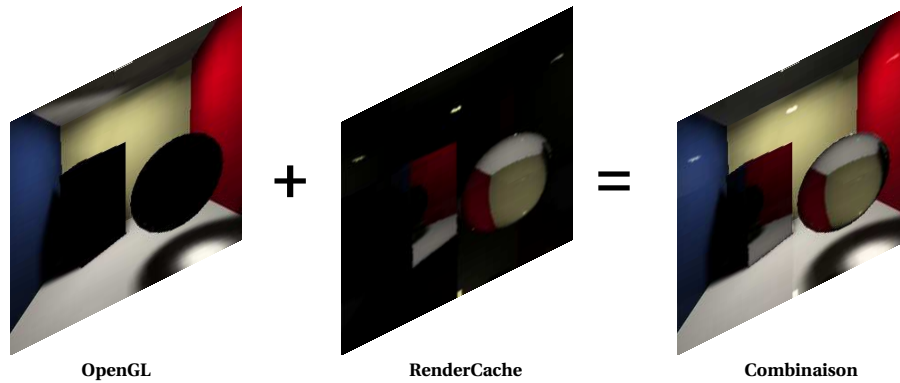


FIG. III.5: Combinaison de types de rendus pour un affichage interactif

5 Conclusion

En guise de conclusion sur cette partie recherche, je souhaite préciser la manière dont je souhaiterais mener ces projets recherche. En effet, l'informatique, et surtout l'informatique graphique, reste une science appliquée. Et à mon sens, nombreux sont les travaux qui, surtout en illumination globale, ont perdus de vue que tout cela était en général développé pour un utilisateur final. La complexité de certains algorithmes, tel les algorithmes de radiosité hiérarchique, sont responsables du fait qu'on les trouve très peu dans les logiciels actuels. Ils restent du domaine des experts.

Ainsi, dans le but d'un retour vers l'application, je souhaiterais poursuivre mes recherches par des collaborations interdisciplinaires (architecture, médecine, ...). Les universités, par la proximité des différents domaines, sont pour moi un des lieux privilégiés pour permettre ces collaborations.

Bibliographie

- [AK90] James R. Arvo et David B. Kirk. Particle Transport and Image Synthesis. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '90 Proceedings)*, volume 24, pages 63–66, August 1990.
- [Ash93a] Ian Ashdown. Near-field photometric method and apparatus. United State Patent 5,253,036, October 12 1993. Ledalite Architectural Products Inc.
- [Ash93b] Ian Ashdown. Near-Field Photometry : A New Approach. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 22(1) :163–180, Winter 1993.
- [ATS94] James Arvo, Kenneth Torrance, et Brian Smits. A Framework for the Analysis of Error in Global Illumination Algorithms. Dans *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1994 (ACM SIGGRAPH '94 Proceedings)*, pages 75–84, 1994.
- [CCWG88] Michael Cohen, Shenchang Eric Chen, John R. Wallace, et Donald P. Greenberg. A Progressive Refinement Approach to Fast Radiosity Image Generation. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '88 Proceedings)*, volume 22, pages 75–84, August 1988.
- [GD99] Xavier Granier et George Drettakis. Controlling memory consumption of hierarchical radiosity with clustering. Dans *Graphics Interface (GI'99) Proceedings*, pages 58–65, Juin 1999.

- [GD01] Xavier Granier et George Drettakis. Incremental updates for rapid glossy global illumination. Dans *Proceedings of Eurographics 2001 conference*. Eurographics, Septembre 2001.
- [GDW00a] Xavier Granier, George Drettakis, et Bruce Walter. Fast global illumination including specular effects. Dans *Rendering Techniques 2000 (Proceedings of the Eleventh Eurographics Workshop on Rendering)*, B. Peroche et H. Rushmeier, éditeurs , pages 47 – 59, New York, NY, Juin 2000. Eurographics, Springer-Verlag/Wien.
- [GDW00b] Xavier Granier, George Drettakis, et Bruce Walter. Simulation rapide de l'éclairage global. Dans *Journées de l'AFIG 2000*, J. Thollot et F. Neyret, éditeurs . Association Française d'Informatique Graphique, Décembre 2000.
- [GH02] Xavier Granier et Wolfgang Heidrich. A simple layered rgb brdf model. Dans *Proceedings of Pacific Graphics 2002*, Octobre 2002.
- [GHH01] Simon Gibson, Toby Howard, et Roger Hubbard. Flexible image-based photometric reconstruction using virtual light sources. Dans *Computer Graphics Forum (Proceedings of Eurographics 2001)*, volume 20, pages C–203–C–214, September 2001.
- [GM00] Simon Gibson et Alan Murta. Interactive rendering with real world illumination. Dans *Rendering Techniques 2000 (Proceedings of the Eleventh Eurographics Workshop on Rendering)*, B. Peroche et H. Rushmeier, éditeurs , New York, NY, 2000. Springer Wien. 365–376.
- [Gra98] Xavier Granier. Simulation d'éclairage global par méthode de radioactivité avec mémoire limitée. Mémoire de DEA, Institut National Polytechnique de Grenoble, Juin 1998.
- [Gra01] Xavier Granier. *Contrôle Automatique de Qualité pour l'Illumination Globale*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble, Novembre 2001.
- [GSHG98] Gene Greger, Peter Shirley, Philip M. Hubbard, et Donald P. Greenberg. The irradiance volume. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18(2) :32–43, March/April 1998.
- [GTGB84] Cindy M. Goral, Kenneth E. Torrance, Donald P. Greenberg, et Bennett Battaile. Modelling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '84 Proceedings)*, volume 18, pages 212–222, July 1984.
- [HDS99] Jean-Marc Hasenfratz, Cyrille Domez, François Sillion, et George Drettakis. A practical analysis of clustering strategies for hierarchical

- radiosity. Dans *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '99)*, number 18(3), pages 221–232. P. Brunet and R. Scopigno, Sep 1999.
- [Hei98] Wolfgang Heidrich. View-independent environment maps. Dans *Proceedings of Eurographics/SIGGRAPH Workshop on Graphics Hardware '98*, 1998.
- [HKSS98] Wolfgang Heidrich, Jan Kautz, Philipp Slusallek, et Hans-Peter Seidel. Canned light fields. Dans *Rendering Techniques '98 (Proceedings of Eurographics Rendering Workshop '98)*, G. Drettakis et N. Max, éditeurs, pages 293–300, New York, NY, 1998. Springer Wien.
- [HSA91] Pat Hanrahan, David Salzman, et Larry Aupperle. A Rapid Hierarchical Radiosity Algorithm. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '91 Proceedings)*, volume 25, pages 197–206, July 1991.
- [ICG86] Dave S. Immel, Michael Cohen, et Donald P. Greenberg. A Radiosity Method for Non-Diffuse Environments. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '86 Proceedings)*, volume 20, pages 133–142, August 1986.
- [Jen00] Henrik Wann Jensen. A practical guide to global illumination using photon maps. Dans *SIGGRAPH 2000 Course Notes CD-ROM*. Association for Computing Machinery, ACM SIGGRAPH, August 2000. Course 8.
- [Jen01] Henrik Wann Jensen. *Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping*. A. K. Peters, Natick, MA, 2001.
- [Kaj86] James T. Kajiya. The Rendering Equation. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '86 Proceedings)*, volume 20, pages 143–150, August 1986.
- [KK02] Thomas Kollig et Alexander Keller. Efficient multidimensional sampling. *Computer Graphics Forum (Proceedings of Eurographics 2002)*, 21(3), September 2002. To appear.
- [LDR00] Celine Loscos, George Drettakis, et Luc Robert. Interactive virtual relighting of real scenes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2000. To appear.
- [LFD⁺99a] Céline Loscos, Marie-Claude Frasson, George Drettakis, Bruce Walter, Xavier Granier, et Pierre Poulin. Interactive virtual relighting and remodeling of real scenes. Dans *Rendering techniques '99 (Proceedings of the 10th Eurographics Workshop on Rendering)*, D. Lischinski et G.W. Larson, éditeurs, pages 329–340, New York, NY, Juin 1999. Eurographics, Springer-Verlag/Wien.

- [LFD⁺99b] Céline Loscos, Marie-Claude Frasson, George Drettakis, Bruce Walter, Xavier Granier, et Pierre Poulin. Interactive virtual relighting and remodeling of real scenes. Available from www.imagis.imag.fr/Publications RT-230, Institut National de Recherche en Informatique en Automatique (INRIA), Grenoble, France, Avril 1999.
- [LFTG97] Eric P. F. Lafortune, Sing-Choong Foo, Kenneth E. Torrance, et Donald P. Greenberg. Non-linear approximation of reflectance function. Dans *Proceedings of SIGGRAPH '97*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pages 117–126. ACM SIGGRAPH, ACM Press, August 1997.
- [LW94] Eric P. Lafortune et Yves D. Willems. Using the modified phong reflectance model for physically based rendering. Technical Report CW 197, Departement of Computing Science, K.U. Leuven, Novembre 1994.
- [LW96] Eric P. Lafortune et Yves D. Willems. Rendering Participating Media with Bidirectional Path Tracing. Dans *Rendering Techniques '96 (Proceedings of the Seventh Eurographics Workshop on Rendering)*, pages 91–100, New York, NY, 1996. Springer-Verlag/Wien.
- [Pho75] Bui-Tuong Phong. Illumination for computer generated pictures. *CACM June 1975*, 18(6) :311–317, 1975.
- [PMP02] F. Perez, I. Martin, et X. Pueyo. High quality final gathering for hierarchical monte carlo radiosity for general environments. Dans *Proceedings of Computer Graphics International 2002*, July 2002.
- [Sch94] Christophe Schlick. An inexpensive brdf model for physically-based rendering. Dans *Proc. Eurographics'94*, volume 13, pages 233–246. Eurographics, Eurographics, september 1994.
- [SDS95] Francois Sillion, George Drettakis, et Cyril Soler. A Clustering Algorithm for Radiance Calculation in General Environments. Dans *Rendering Techniques '95 (Proceedings of the Sixth Eurographics Workshop on Rendering)*, P. M. Hanrahan et W. Purgathofer, éditeurs, pages 196–205, New York, NY, 1995. Springer-Verlag.
- [Sil95] Francois Sillion. A Unified Hierarchical Algorithm for Global Illumination with Scattering Volumes and Object Clusters. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1(3), September 1995.

- [SKS02] P.-P. Sloan, J. Kautz, et J. Snyder. Precomputed radiance transfer for real-time rendering in dynamic, low-frequency lighting environments. Dans *Proceedings SIGGRAPH 2002*, pages 527–536, Juillet 2002.
- [Smi99] Brian Smits. An rgb-to-spectrum conversion for reflectances. *Journal of Graphics Tools*, 4(4) :11–22, 1999.
- [SS98] Cyril Soler et Francois X. Sillion. Fast calculation of soft shadow textures using convolution. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '98 Proceedings)*, pages 321–332, 1998.
- [SSG⁺99] Marc Stamminger, Annette Scheel, Xavier Granier, Frederic Perez-Cazorla, George Drettakis, et François Sillion. Efficient glossy global illumination with interactive viewing. Dans *Graphics Interface (GI'99) Proceedings*, pages 50–57, Juin 1999.
- [SSG⁺00] Marc Stamminger, Annette Scheel, Xavier Granier, Frederic Perez-Cazorla, George Drettakis, et François Sillion. Efficient glossy global illumination with interactive viewing. *Computer Graphics Forum*, 19(1) :13–25, Mars 2000.
- [SSS01] Annette Scheel, Marc Stamminger, et Hans-Peter Seidel. *Thrifty Final Gather Radiosity*. Springer Wien, New York, NY, 2001. To appear.
- [SSS02] Annette Scheel, Marc Stamminger, et Hans-Peter Seidel. Grid based final gather for radiosity in complex environments. *Computer Graphics Forum (Proceedings of Eurographics 2002)*, 21(3), September 2002. To appear.
- [TS67] K. E. Torrance et E. M. Sparrow. Theory for off-specular reflection from roughened surfaces. *Journal of Optical Society of America*, 59(9), 1967.
- [VG84] C. P. Verbeck et D. P. Greenberg. A Comprehensive Light Source Description for Computer Graphics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4(7) :66–75, July 1984.
- [VG97] Eric Veach et Leonidas J. Guibas. Metropolis light transport. Dans *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '97 Proceedings)*, volume 31, pages 65–76, 1997.
- [War91] Gregory J. Ward. Measuring and modeling anisotropic reflection. Dans *Computer Graphics (SIGGRAPH '92 Proceedings)*, Edwin E. Catmull, éditeur, volume 26, pages 265–272, Juillet 1991.
- [WEV02] Greg Ward et Elena Eydelberg-Vileshin. Picture perfect rgb rendering using spectral prefiltering and sharp color primarie. Dans *Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering (2002)*, P. Debevec et S. Gibson, éditeurs, Juin 2002.