

Rapport INRIA 1994 — Programme 4

Synthèse d'Image

ACTION GRAPH'IS

3 mai 1995

ACTION GRAPH'IS

Synthèse d'Image

Localisation : *Nancy*¹

Mots-clés : analyse numérique (1), colorimétrie (1), géométrie algorithmique (1), modélisation géométrique (1), photométrie (1), synthèse d'image (1).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Jean-Claude Paul, professeur

Personnel Université

Dominique Benmouffek-Antoine, Maître de Conférences

Chercheurs 3ème cycle

Dorothe Schulz-Cazier, AMN

Pascal Deville, Allocataire MESR

Isabelle Fasse, Allocataire MESR

Christine Chevrier, Boursière CNRS

David Chamont, Boursier CIFRE

Slimane Merzouk, Allocataire MESR

Christophe Winkler, Allocataire MESR

Ingénieurs contractuels CNRS

Jean-Philippe Jacquet, avant le 15/08/94

Hervé Dumortier, jusqu'au 31/01/94

¹Action commune à l'INRIA-Lorraine et au Centre de Recherche en Informatique de Nancy (Université de Nancy I et II, INPL, CNRS URA 262)

2 Présentation de l'Action

L'objectif scientifique de Graph'IS est de concevoir des modèles et algorithmes, permettant de simuler des phénomènes lumineux : propriétés radiatives des sources et des matériaux, et propagation de la lumière entre surfaces dans des environnements géométriques très complexes.

Les domaines d'application de nos travaux sont principalement :

- l'architecture et le génie urbain, domaines où l'image de synthèse prend une place de plus en plus grande, pour assister à la conception de projets, aider à la décision d'aménagement, ou encore préparer des interventions,
- l'ingénierie de l'éclairage, dans la mesure où les méthodes mises en oeuvre aujourd'hui permettent d'obtenir des simulations numériques et graphiques, avec une précision physique de plus en plus grande, qui permettent d'éviter le prototypage et les essais vraie grandeur.

Pour développer ces applications, les recherches que nous avons menées en 1994, dans le cadre de thèses de doctorat, ont visé à augmenter nos performances dans trois directions :

- la complexité des modèles géométriques et physiques utilisés,
- l'efficacité des méthodes de résolution, des algorithmes et des structures de données,
- l'interactivité du système de simulation.

Plus précisément, ces recherches ont porté sur :

- modélisation des propriétés radiatives des sources lumineuses et des matériaux (modélisation physique),
- résolution de l'équation de radiosité (calcul numérique),
- calcul de visibilité (algorithmique géométrique),
- rendering (algorithmique graphique),
- développement d'une librairie de synthèse en C++.

L'année 1994 a été également consacrée à la préparation d'un nouveau projet scientifique commun au CRIN et à l'INRIA. Ce projet, qui regroupe notre équipe et la composante nancéenne de MOVI, a pour objectif scientifique d'intégrer des modèles et des techniques d'analyse et

de synthèse d'image, dans des applications de réalité virtuelle et de vision virtuelle (réalité augmentée). Le contexte de ces applications serait l'ingénierie assistée en architecture et en urbanisme.

Ce projet, intitulé ISA (Image, Synthèse & Analyse), devrait conduire la composante synthèse du projet à :

- augmenter ses compétences en synthèse dans le domaine de la visualisation rapide, et de l'interactivité (en particulier dans le cadre du programme de coopération qu'a signé l'équipe avec Hewlett Packard sur ce thème),
- coopérer activement avec la composante analyse dans les domaines de la modélisation géométrique, et du re-rendering (reconstruction numérique d'images de synthèse et d'images vidéo), et de la visualisation de phénomènes physiques non visibles.

Il sera proposé à la commission d'évaluation de l'INRIA début 1995.

3 Actions de recherche

3.1 Modélisation des sources lumineuses

Participants : Pascal Deville, Jean-Claude Paul

En synthèse d'image, les spectres d'émission des sources lumineuses, et de réflectance des matériaux, sont exprimés à l'aide de trois composantes (rouge, vert, bleu). Cette approximation n'est pas toujours satisfaisante pour prendre en compte les spectres réels d'émission des sources artificielles et de réflectance de certains matériaux. Des méthodes ont été récemment proposées pour effectuer des simulations à partir d'une analyse spectrale, sur la base d'un échantillon raisonnable de longueurs d'onde. Mais ces méthodes, qui supposent que les spectres sont continus, donc sans raie d'émission, ne sont pas adaptées à la simulation d'un grand nombre de sources utilisées aujourd'hui en éclairage. Nous avons proposé dans [9] une méthode permettant de modéliser des sources réelles ayant une distribution spectrale d'énergie quelconque. Nous nous sommes également intéressés à des méthodes permettant de gérer ces sources en réseau, et de modifier leurs caractéristiques photométriques, sans recalculer complètement la solution de l'équation de radiosité. Ces méthodes ont été testées sur des projets d'éclairage

de voies express urbaines, et dans le cadre de projets d'illumination d'édifices architecturaux. Nos résultats ont été publiés dans [10].

Enfin, les sources utilisées actuellement dans nos simulations sont des sources ponctuelles. Des méthodes ont été récemment proposées dans la littérature pour modéliser des sources étendues (linéaires et surfaciques). Il s'agit cependant de modèles théoriques, inadaptés aux mesures fournies par les fabricants. Des méthodes permettant de modéliser des sources complexes, à partir de données mesurées ont également été proposées, mais elles supposent que la distribution spatiale du flux d'émission est identique en tout point de la source. La méthode que nous avons mise au point permet d'exploiter des données mesurées tout en prenant en compte des distributions variées. Elle consiste à simuler les transferts lumineux à l'intérieur du réflecteur, en résolvant l'équation de transfert dans ce (sous) domaine, puis en calculant les distributions d'énergie collectées sur l'interface virtuelle de sortie (ou sur l'interface réelle, si nous disposons des caractéristiques physiques de la vasque du projecteur). Les résultats obtenus par cette méthode sont prometteurs, et notre travail sera soumis pour publication en janvier 1995 à la prochaine conférence internationale Eurographics.

3.2 Modélisation des propriétés de réflectance des matériaux

Participants : Dorothee Schulz-Cazier, Jean-Claude Paul

Lorsqu'un flux d'énergie lumineuse arrive sur une surface, une partie de cette énergie est absorbée tandis que l'autre est réfléchi (et/ou transmise), avec des distributions spatiales et spectrales qui dépendent à la fois de la direction incidente du flux lumineux et de son spectre d'émission, et des caractéristiques physiques de cette surface. Ces distributions sont exprimées sous forme de fonctions très compliquées, et un certain nombre de modèles plus ou moins sophistiqués ont été proposés dans la littérature. Nous implémentons peu à peu ces modèles dans notre librairie, tout en gardant à l'esprit que ces modèles théoriques sont mal adaptés pour effectuer des simulations "conformes au réel". Pour effectuer de telles simulations, il est en effet souhaitable de disposer de mesures précises sur la rugosité et la réflectance des matériaux qui caractérisent l'environnement à simuler. Dans cette perspective, G. Ward, du Lawrence Berkeley Laboratory, a ainsi récemment proposé un sys-

tème permettant de mesurer des réflectances pour un ensemble discret de directions d'incidence et de réflexion, et reformulé un modèle de fonction de réflectance adapté à la prise en compte de ces mesures. Malheureusement, ce système ne permet pas d'effectuer des mesures en site réel. Nous travaillons avec le laboratoire de photométrie d'Electricité de France, pour mettre au point un système de mesure qui permette d'exploiter différents modèles selon le degré de précision et la richesse des mesures effectuées.

Pour l'instant, nous n'avons pu exploiter que des mesures de spectre de réflectance sur des surfaces diffuses. Ces mesures ont servi à effectuer nos simulations de l'illumination. Le résultat de nos travaux a été publié dans [8]. Parallèlement, nous avons commencé à implémenter une technique de mapping adaptatif de textures, afin de pouvoir représenter des surfaces décorées ou composées d'éléments architecturaux de très petites tailles.

3.3 Résolution de l'équation de radiosité

Participants : Slimane Merzouk, Jean-Claude Paul

Ce travail est effectué en coopération avec le projet Numath (Bruno Salque, Michel Pierre)

Le calcul des transferts lumineux entre surfaces, sous certaines hypothèses restrictives, consiste à résoudre l'équation suivante :

$$B(x') = B^e(x') + \rho(x') \int_s B(x)K(x, x')dx$$

où :

$K(x, x')$: noyau de l'integrale ($K(x, x') = (\frac{\cos\theta_x \cos\theta_{x'}}{|x-x'|^2} * vis(x, x'))$)

$B(x)$: radiosité au point x

$\rho(x')$: fonction de réflectance au point x'

Pour résoudre cette équation, connue sous le nom d'équation de radiosité, nous décomposons l'espace géométrique en éléments (surfaces)   l'aide d'une technique de maillage, puis nous projetons l'inconnue (la fonction de radiosité) en utilisant une méthode de projection. Quelque soit la méthode d'approximation retenue (Point Collocation, Galerkin, ...), le problème revient dès lors à résoudre un système linéaire de n équations à n inconnues, n étant le nombre d'éléments. Diverses méthodes itératives peuvent être utilisées pour résoudre ce système. Mais

comme chaque itération prend $O(n)$ opérations, une itération complète du système est $O(n^2)$. En outre, chaque coefficient de la matrice d'interactions est obtenu à partir d'une fonction de visibilité et d'une fonction géométrique très coûteuses à calculer. Les solutions pour réduire la complexité de cet algorithme font aujourd'hui l'objet de travaux actifs. D'un autre côté, un certain nombre de recherches ont été entreprises, ces dernières années, pour résoudre le système linéaire dans un environnement de calcul parallèle.

Nous avons entrepris, pour notre part, de résoudre l'équation intégrale de radiosité à l'aide d'une méthode de décomposition de domaine (DDM). Cette méthode permet de réduire la complexité de l'algorithme en calculant la solution à l'intérieur de chaque sous domaine et pour chaque interface entre ces sous domaines. Elle permet également de mieux tirer partie du parallélisme que les méthodes connues (chaque processeur n'ayant à connaître qu'une description partielle du modèle). Les aspects théoriques de cette méthode ont été soumis pour publication [3]. Les résultats attendus de ce travail sont la réduction du temps de calcul et de l'espace mémoire pour calculer des simulations au sein d'environnements géométriques très complexes. En outre, nous pensons pouvoir tirer avantage de la décomposition du domaine, pour effectuer des changements, au niveau des données géométriques ou photométriques, sans propager l'effet de ces modifications sur tout le domaine. Ceci devrait permettre d'augmenter l'interactivité du système de simulation.

3.4 Précalculs de visibilité

Participants : Christophe Winkler, Jean-Claude Paul

Nous essayons de concevoir une méthode de pré-calcul de la visibilité, exploitable pendant la phase de calcul d'une solution de radiosité, et lors de la visualisation interactive de cette solution. Ce travail a commencé en octobre 1994.

3.5 Rendering

Participants : Christine Chevrier, Dominique Benmouffek, Jean-Claude Paul

Les environnements sur lesquels nous travaillons sont parfois trop complexes pour être entièrement modélisés. Dans ce cas, nous utilisons une

technique permettant d'intégrer les images de synthèse calculées à des images de la réalité numérisées. Cette technique exploite des modèles issus de la vision. Nous avons implémenté cette technique, en développant notamment un logiciel de gestion de vues (images vidéo et de synthèse) nécessaire à la composition d'images et au calcul de séquences d'images. Ceci a permis de produire des images simulant l'éclairage des ponts de Paris dans leur environnement.

Nous travaillons actuellement à accroître les performances de cette technique dans deux directions :

- **Intégration dynamique** : Nos simulations s'appuient sur une méthode qui calcule la solution indépendamment du point de vue. Ceci permet de visualiser des séquences d'images sans recalculer la solution. Aussi, nous générons nos images composées (synthèse et vidéo) grâce à des méthodes d'interpolation, sachant que le mouvement de la caméra fictive est contraint par la caméra qui a filmé la séquence d'images vidéo.
- **Re-rendering** : Pour donner plus de réalisme à l'intégration des deux types d'images, il faut tenir compte de l'impact de l'objet virtuel (simulé par image de synthèse) sur les objets réels (représentés sur l'image vidéo), et de l'impact des objets réels sur l'objet virtuel : masquage, ombres portées, flux lumineux directs ou indirects. Nos premiers résultats dans ce domaine ont été soumis pour publication à [2].

3.6 Développement d'une librairie synthèse en C++

Participants : David Chamont, Isabelle Fasse, Jean-Claude Paul

Les travaux de recherche de l'équipe sont fédérés et organisés dans une structure logicielle. Celle-ci sert de banc d'essais pour les algorithmes et les structures de données conçus et développés par chacun. Elle sert également d'environnement de programmation, et de librairie de programmes pour la recherche et le transfert industriel. Enfin, elle constitue la plateforme à partir de laquelle sont effectuées nos simulations et générées nos images.

Cette structure logicielle est fondée sur les méthodologies orientées objet, car les principales qualités attendues de cet environnement sont la modularité et la réutilisabilité. Elle repose sur trois points clés :

- une répartition pertinente des fonctionnalités au sein des programmes,
- un ensemble de formats de données évolutifs,
- une librairie orientée objet.

Ce travail pose un certain nombre de difficultés. L'aspect évolutif des structures logicielles proposées n'est pas suffisant. Nous souhaitons en particulier reconsidérer le concept de sous-système (groupes d'objets), et mieux l'intégrer dans l'ossature objet. C'est sur cet environnement qu'ont été mises en œuvre les simulations de l'illumination du Grand Louvre, de la Place Stanislas à Nancy, des Ponts de Paris, etc., et demain celles de la Cité Interdite à Pékin. Ces expériences ont été à chaque fois pour l'équipe l'occasion de mettre en œuvre des méthodes nouvelles. Il faut souligner également le rôle joué par la simulation informatique dans ces projets. Celle-ci a en effet permis de visualiser des hypothèses qu'il n'aurait pas été possible de mettre en œuvre en vraie grandeur, et ainsi de renouveler les concepts de l'éclairage en architecture et plus généralement de l'éclairage public en France, et peut être demain dans le monde. Nos résultats ont été publiés dans [11] et dans [6].

4 Actions industrielles

4.1 Partenariat avec EDF

- Direction Etudes et Recherches - IMA (1993-1995) : Coopération scientifique sur la synthèse d'image et développement d'un prototype de logiciel pour la simulation de projets d'éclairage.

4.2 Partenariat avec Hewlett Packard

- Intégration de notre programme de simulation dans un environnement de Réalité Virtuelle (depuis novembre 1994).

4.3 Conventions de Recherche et Développement

- Eclatec S.A. (1994) : Développement d'un prototype destiné à la conception de systèmes (lampes et réflecteurs) pour l'éclairage

routier et urbain. L'intérêt du programme est de simuler numériquement et visuellement l'impact de divers dispositifs ayant des caractéristiques spectrales particulières.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

- CRAI (Ecole d'Architecture de Nancy) : coopération pour toutes les *applications* concernant l'architecture de la ville.
- MOVI (CRIN-CNRS/INRIA Lorraine) : La réflexion entamée avec le projet MOVI sur la complémentarité des modèles développés en Analyse et en Synthèse a conduit à présenter un nouveau projet commun au CRIN (CNRS) et à l'INRIA, ISA (*Image, Synthèse & Analyse*). Une première application intégrant des techniques d'Analyse et de Synthèse, axée sur la *modélisation par la vision des environnements urbains et leur visualisation* est développée depuis février 94 dans le cadre du Programme de Recherche sur la ville du CNRS.
- IMAGIS (INRIA Rhône-Alpes) & SIAMES (INRIA Rennes) : Les équipes sont associées dans le cadre du projet "Cités Lumières" soutenu par le CNRS.
- NUMATH (Laboratoire de Mathématiques/INRIA Lorraine) : Deux thèses sont menées en commun depuis octobre 93 sur le calcul de la fonction de radiosité.

5.2 Actions internationales

- Université TSINGHUA (Beijing) : L'équipe participe au projet CADMIS, dans le cadre du Programme de Recherches Avancées Franco-Chinois.

6 Diffusion des résultats

6.1 Enseignement

- DEA en Architecture - Ecole d'Architecture de Nancy, Université de Nancy 1, Institut National Polytechnique de Lorraine - Responsable scientifique : J. C. Paul.
- Filière Doctorale "Sciences pour l'Architecture" - Institut National Polytechnique de Lorraine - Responsable scientifique : J. C. Paul.
- Axe Image - Ecole des Mines de Nancy, Institut National Polytechnique de Lorraine - Responsable : D. Benmouffek-Antoine.

6.2 Diffusion de produits

- Prototype de logiciel dans le domaine de la simulation numérique et de la visualisation graphique des phénomènes physiques de la lumière. L'industrialisation du logiciel est assurée par la Direction des Etudes et Recherches d'EDF.
- Logiciel de simulation de l'impact de sources lumineuses ayant des spectres arbitraires. L'industrialisation du logiciel est assurée par Eclatec S.A.

7 Publications

Articles et chapitres de livre

- [1] J. C. ANDRI, S. CORBEL, J. C. PAUL, «La photographie 3D», *Dossier Scientifique - Courrier du CNRS*, 1994.
- [2] C. CHEVRIER, S. BELBLIDIA, J. PAUL, «Visual Assessment in Urban Environments», *Proceeding of the International Conference Computer Graphics International '95*, juin 1995, (en soumission).
- [3] S. MERZOUK, B. SALQUE, J. C. PAUL, «Domaine Decomposition Method for Radiosity», *Proceeding of the International Conference Computer Graphics International '95*, juin 1995, (en soumission).
- [4] J. C. PAUL, D. BUR, G. COOC, «A Behavioural Model for Visual Simulation and Animation», *Graphics, Design and Visualization. IFIP, North-Holland, 1993*, 1993.
- [5] J. C. PAUL, J. P. PERRIN, «Visualisation des projets urbains dans leur environnement», *Dossier Scientifique - Courrier du CNRS*, 1994.

- [6] J. C. PAUL, «Lighting the Louvre Museum», *The Visual Computer, International Journal of Computer Graphics*, 1994, Springer Verlag. (A parantre).

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [7] D. BUR, G. COOC, J. C. PAUL, «A Hierarchical System for Visual Simulation and Animation», *in: IFIP International Conference on Computer Graphics '93*, Bombay, fev 1993.
- [8] D. CAZIER, D. CHAMONT, P. DEVILLE, J. C. PAUL, «Modeling Characteristics of Light: a Method Based on Measure Data», *in: Proceedings of the Second Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, Pacific Graphics'94*, p. 113–128, 1994. Beijing (China).
- [9] P. DEVILLE, S. MERZOUK, D. CAZIER, J. C. PAUL, «Spectral Data Modeling for Lighting Engineering Applications», *in: Proceeding of the International Conference Eurographics'94*, 1994. Oslo (Norway).
- [10] P. DEVILLE, S. MERZOUK, J. C. PAUL, «Modeling Light Source for Accurate Simulations», *in: Proceeding of the International Conference Computer Graphics International '94*, S. Verlag (réd.), 1994. Melbourne (Australia).
- [11] I. FASSE, S. S. PAULO, J. P. PERRIN, J. C. PAUL, «Accurate Synthetic Images for Architectural Design», *in: Proceedings of Conference Multimedia for Architecture and Urban Design*, p. 229–243, mai 1994.
- [12] K. TOMBRE, J. C. PAUL, «Document Analysis: A way to Integrate Existing Paper Information in Architectural Databases», *in: Second International Conference on Design and Decision Support Systems*, aug 1994.

Rapports de recherche et publications internes

- [13] J. C. PAUL, F. SILLION, «CNRS PIR Villes - Rapport sur l'Etat de l'Art, en France et en Europe des Recherches en Informatique Graphique et Imagerie Appliquée au domaine de la ville», *Rapport n°93-R-090*, Centre de Recherche en Informatique de Nancy, Vandoeuvre-lhs-Nancy, 1993.
- [14] J. C. PAUL, «Phostere: prototype de logiciel d'assistance à l'ingénierie de l'éclairage», *Rapport technique*, CNRS-EDF, 1993.

8 Abstract

The Graph'IS scientific action is concerned with *lighting simulation phenomena* within geometrically complex environments. Our research is

keeping in with the general fields of scientific visualization, simulation, and image synthesis. In order to simulate light propagation phenomena within a real environment, there is a need of very sophisticated physical illumination based models as well as algorithms and efficient mathematical methods. Actually, to deal with the former we are investigating physical models which take into account the real behavior of light sources and general reflectance of materials. We are also investigating the algorithmic aspect of the problem, that is, new algorithms to handle visibility problem and refinement process. This research is also oriented toward using efficient numerical methods to handle the growing complexity of both models and geometry. Moreover, simulating real scene implies that the final computed image have to be *composed* with a digital image of its near environment. Such process involves among other things, virtual scene and *dynamic* environment interaction computation. As a result of our research we build industrial applications in lighting engineering.

Table des matières

1	Composition de l'équipe	1
2	Présentation de l'Action	2
3	Actions de recherche	3
3.1	Modélisation des sources lumineuses	3
3.2	Modélisation des propriétés de réflectance des matériaux .	4
3.3	Résolution de l'équation de radiosité	5
3.4	Précalculs de visibilité	6
3.5	Rendering	6
3.6	Développement d'une librairie synthèse en C++	7
4	Actions industrielles	8
4.1	Partenariat avec EDF	8
4.2	Partenariat avec Hewlett Packard	8
4.3	Conventions de Recherche et Développement	8
5	Actions nationales et internationales	9
5.1	Actions nationales	9
5.2	Actions internationales	9
6	Diffusion des résultats	10
6.1	Enseignement	10
6.2	Diffusion de produits	10
7	Publications	10
8	Abstract	11