

# Illumination photo-réaliste interactive en environnement distant

T. Muller, O. Prat, J. Roger, JM. Sanchez...

Institut Image-ENSAM  
2, rue Thomas DUMOREY  
71100 Chalon sur Saône  
33 (0)3 85 90 98 60 / 33 (0)3 85 90 98 61  
[thomas.muller@cluny.ensam.fr](mailto:thomas.muller@cluny.ensam.fr) [roger@cluny.ensam.fr](mailto:roger@cluny.ensam.fr) [sanchez@cluny.ensam.fr](mailto:sanchez@cluny.ensam.fr)

**Résumé:** Dans le cadre d'un projet de réalité augmentée nous nous proposons de réaliser des images confondantes d'édifices disparus ou probables. Afin d'avoir une corrélation parfaite entre le réel et le virtuel, nous développons des méthodes permettant de capturer en permanence un éclairage à haute dynamique. Nous montrons comment à partir de champs de réflectances pré-calculés nous illuminons interactivement une scène virtuelle pour enfin la replacer dans son contexte original.

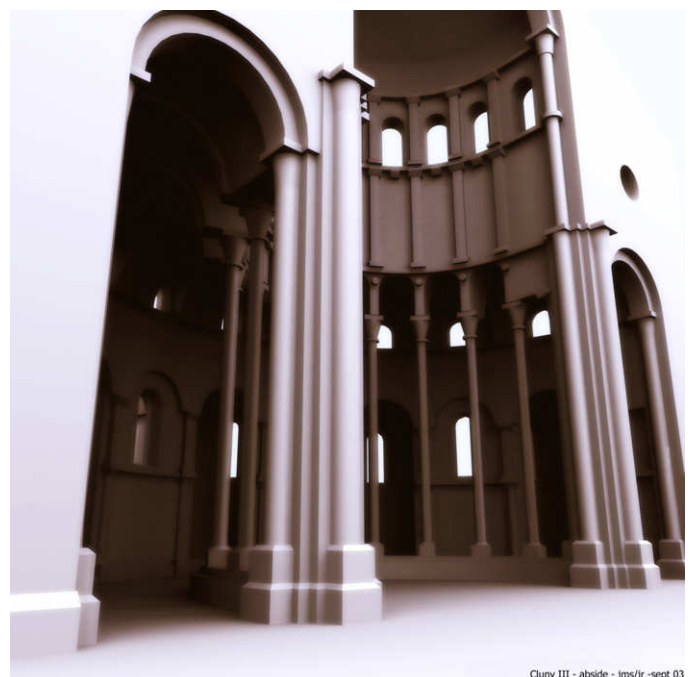
*In the frame of an augmented reality project we propose to realize realistically confusing images of once or supposedly existing buildings. To have a perfect correlation between virtual and real, we develop methods enabling the constant capture of high dynamic lighting. We show how, from pre-computed reflectance fields, we interactively light a virtual scene to finally replace it in its original context.*

**Keywords :** *Augmented reality, global illumination, interactive lighting.*

**Mots clés :** *Réalité augmentée, illumination globale, lumière interactive.*

## 1. Introduction

Les avancées, récentes, de la recherche en simulation d'éclairage [1][2] permettent de produire des images de très hautes qualité. Les algorithmes rendent de façon satisfaisante des illuminations locales ou globales pour une grande variété de matériaux. Bien que les calculs ne soient pas encore



**Figure 1:** *La lumière modélise l'espace*

physico-réalistes, il est dorénavant possible de confronter une simulation à une photographie du réel. Aujourd'hui, si certains acteurs virtuels sont confondants de réalisme c'est en grande partie grâce la correspondance de l'éclairage entre réel et virtuel.

Sur ce constat, il semble logique d'adapter ces résultats au domaine de la réalité augmentée. En effet, on constate dans ce domaine que l'intégration lumineuse est primordiale si l'on veut juger de l'apparence d'un élément virtuel positionné dans le réel. Quelque soit le domaine d'application - Urbanisme, architecture, reconstitution, automobile, artistique ... si l'on souhaite juger de l'apparence d'un élément ajouté au réel on doit prendre en compte son intégration lumineuse. La lumière modélise l'espace. Dans le cas particulier de l'architecture - qu'il s'agisse de patrimoine ou de projets - la lumière du jour, la lumière changeante, est un élément essentiel à la perception du lieu.

Bien que les puissances de calcul augmentent toujours en suivant la loi de Moore il n'est pas encore possible de rendre de telles images inter-activement. Dans certains cas il est possible de changer le point de vue sans effectuer de nouvelle simulation [3]. Par contre, une modification de l'éclairage ou de la géométrie oblige à une réévaluation, au moins partielle, de la solution d'illumination globale. Les cartes graphiques actuelles permettent une réévaluation d'une solution globale de façon dynamique mais uniquement sur des scènes simples[4].

## 2. Capture de l'éclairage.

Nous souhaitons développer une méthode permettant d'augmenter la réalité dans le domaine du patrimoine. Nous allons tout d'abord traiter de la capture de l'illumination en temps réel. Puis nous exposerons une première approche de lumière interactive. Notre objectif étant la production d'images confondantes éclairées en temps réel.

Nous nous plaçons ici dans le cas d'un objet virtuel à intégrer dans un environnement réel distant. C'est à dire que la distance géométrique entre l'objet virtuel et son environnement est suffisamment grande pour être considérée infinie. C'est le cas d'un petit objet dans une pièce sur une grande table ou d'un bâtiment indépendant éclairé uniquement par le ciel.

La luminance réelle incidente à l'élément virtuel doit être simulée ou mesurée en continue à l'emplacement souhaité. La luminance en un point est le résultat d'interactions complexes entre la lumière provenant de sources (lampes, soleil...) et l'environnement. Il n'est pas envisageable actuellement de simuler ces interactions en temps interactif, de plus cela nécessiterai de connaître et de modéliser l'environnement. Des appareils de mesures - Spectro-goniophotomètre - plus ou moins complexes permettent de mesurer la distribution de la luminance incidente. Mais, l'information visuelle la plus significative contenue dans ces mesures est la dynamique de l'éclairage. Paul Debevec[5], propose une méthode permettant de retrouver cette dynamique à partir d'une série d'images photographiques échantillonnées en exposition. Cette méthode permet de construire des images HDRI (Images à Hautes Plages de Dynamique) au format de G.J Ward, qui serviront de

source d'éclairage pour la simulation.

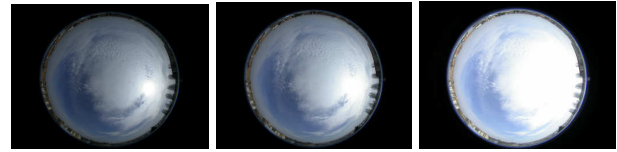


Figure 2 : Dynamique d'un ciel de printemps

Dans un premier temps nous avons utilisé pour les expérimentations un appareil photo numérique. Mais dans un souci d'efficacité, nous avons opté pour une capture vidéo.

## 3. Lumière interactive:

Le calcul de l'équilibre lumineux dans une scène implique la résolution de l'équation du rendu [6].

$$L_r(x, \vec{\omega}_r) = L_e(x, \vec{\omega}_r) + \int_S \rho_{bd}(x, \vec{\omega}_l, \vec{\omega}_r) L_r(x', \vec{\omega}_l') G(x, x') dx dx'$$

$L_e(x, \vec{\omega}_r)$  Est la radiance propre émise au point x dans la direction  $\vec{\omega}_r$ .

$G(x, x')$  Est appelé facteur de forme différentiel.

$\rho_{bd}(x, \vec{\omega}_l, \vec{\omega}_r)$  Est la fonction de distribution de la réflectance bidirectionnelle

Cette équation ne peut être qu'approchée par un calcul numérique. Plus la résolution est réaliste (physique) plus les temps de calcul sont importants. Actuellement, pour obtenir une image physico-réaliste d'une scène quelconque, plusieurs heures de calcul peuvent être nécessaires, sans que ce temps de calcul soit prévisible. Dans le cadre de la réalité augmentée il est nécessaire de réévaluer la solution de façon interactive (de l'ordre du dixième de seconde).

Afin de résoudre ce système dans le temps imparti et sans faire de compromis sur la qualité de la simulation nous utilisons une observation de Paul Haeberli [7]. Il montre comment l'on peut évaluer la contribution d'une source lumineuse à l'éclairage d'une scène réelle et comment, en pondérant ces contributions, il est possible de produire une image ré-éclairée de la scène. Paul Debevec [8] reprend cette étude afin de capturer des champs de réflectance d'un visage humain. Ces champs rendent compte de la proportion d'énergie réfléchi vers l'observateur pour une direction d'illumination donnée. Concrètement les champs sont des images produites à partir d'une source normalisée et pondérées par la valeur de l'angle solide d'influence.

Notre approche propose de capturer les champs de réflectance d'une scène virtuelle. Nous utilisons un moteur de rendu en illumination globale, qui pour un point de vue fixe va produire une série d'images correspondant à une direction discrète d'illumination. L'ensemble de ces directions discrètes forme une base échantillonnée dans l'espace. A partir de la carte de luminance (HDRI) produite en temps réel, il devient alors possible de ré-éclairer la scène virtuelle. Pour cela nous échantillonnons la carte de luminance suivant les mêmes

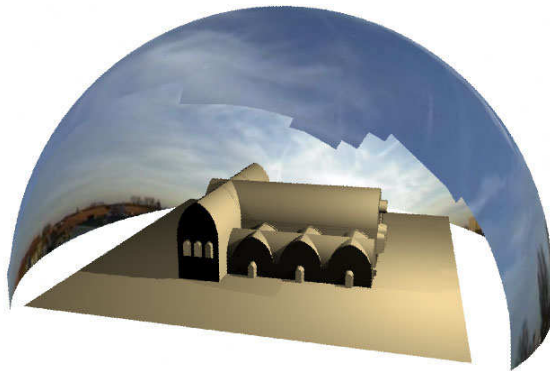
directions que pour les champs de radiance. A chaque direction de la carte de luminance correspond un poids: la luminance émise depuis la direction donnée incidente au point de capture. Si l'on applique ce poids au champ de radiance correspondant, on obtient une image de la scène virtuelle éclairée depuis cette direction. En sommant ces contributions on obtient une image réaliste de la scène virtuelle dans l'environnement lumineux capturé:

$$\widehat{L}(x, y) = \sum_{\theta, \phi} R_{x,y}(\theta, \phi) L_i(\theta, \phi)$$

$\widehat{L}(x, y)$  Est la luminance du pixel  $x, y$

$R_{x,y}(\theta, \phi)$  Est la réflectance en  $x, y$  pour en angle d'incidence en coordonnées polaires  $\theta, \phi$

$L_i(\theta, \phi)$  Est la luminance incidente à la scène.



**Figure 3: Eclairage d'une scène virtuelle par un environnement réel.**

Le nombre de directions d'échantillonnage est fonction de la dynamique de l'éclairage et de sa répartition fréquentielle. De manière générale avec un échantillonnage uniforme en environnement extérieur, 200 échantillons donnent un résultat satisfaisant visuellement.

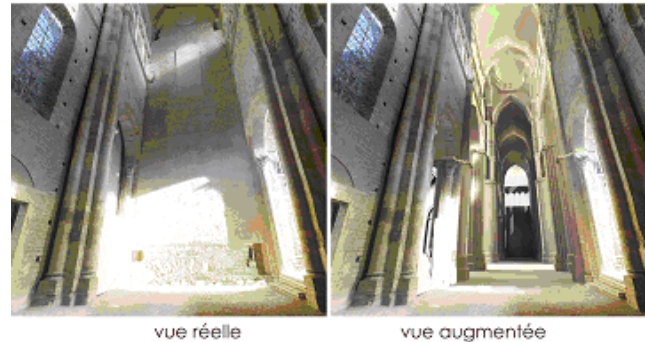
Les temps de calcul de la somme pondérée telle qu'elle est présentée ci-dessus ont l'avantage de pouvoir être prédit et d'être indépendants de la complexité de la scène. Toutefois à ce stade l'efficacité reste insuffisante. Plusieurs secondes de calcul pour une image de 512x512.

Deux améliorations sont envisageables pour parvenir à un temps de calcul inférieur à la seconde.

- Optimisations Hardware: En utilisant les nouvelles capacités de calculs en virgule flottante des dernières cartes graphiques.
- Réduire le nombre de directions d'échantillonnage: Il est possible de réaliser un échantillonnage non uniforme et adaptatif de la carte de luminance. On obtient ici un nombre limité de directions privilégiées fonction de l'environnement.

## 4. Conclusion

Grâce à ces travaux, nous espérons rapidement pouvoir situer dans un espace réel -en réalité augmentée- des éléments virtuels tels des bâtiments disparus ou futurs. La lumière interactive permet d'obtenir des images confondantes où réel et virtuel sont indissociables.



**Figure 4: Réalité augmentée.**

Nous travaillons actuellement sur l'optimisation des méthodes de calcul. Nous envisageons dans un avenir proche d'appliquer ces travaux à l'espace texture au lieu de l'espace image. Cela permettrait une interactivité en position comme en lumière.

- [1] [1] "Global Illumination using Photon Maps" Henrik Wann Jensen In "Rendering Techniques '96". Eds. X. Pueyo and P. Schröder. Springer-Verlag, pages 21-30, 1996
- [2] [2] Realistic Image Synthesis using Photon Mapping Henrik Wann Jensen ISBN: 1-56881-140-7. AK Peters, 2001
- [3] [3] Cindy M. Goral, Kenneth E. Torrance, Donald P. Greenberg, and Bennett Battaile. Modelling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces. In Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '84 Proceedings), volume 18, pages 212-222, July 1984. 6
- [4] [4] Real Time Global Illumination on GPU. M. Nijasure, S. Pattanaik - U. Central Florida, Orlando, FL- V. Goel ATI Research, Orlando, FL
- [5] Paul Debevec Jitendra Malik : "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs" SIGGRAPH 1997
- [6] J.T. Kajiya. The rendering equation. ACM Computer Graphics, SIGGRAPH'86 Proceedings, 20(4), 1986
- [7] Synthetic Lighting for Photography. Paul Haeberli. Jan 1992. <http://www.sgi.com/grafica/synth/index.html>
- [8] Paul Debevec" Acquiring the Reflectance Field of a Human Face" SIGGRAPH 2000 Conference Proceedings