

Chapitre 7

Comparaisons et améliorations

Nous avons présenté dans cette thèse deux approches différentes pour ré-éclairer les scènes réelles, ainsi qu'une amélioration de ces méthodes par un meilleur calibrage photométrique.

Les méthodes présentées sont différentes l'une de l'autre. Nous comparons dans une première section 7.1 les avantages et les inconvénients de chacune, ainsi que les résultats obtenus. Nous proposons ensuite des algorithmes pour accélérer et étendre les possibilités d'interaction de la méthode basée sur plusieurs éclairages connus. Enfin, nous proposons une troisième méthode combinant les avantages de chacune des deux méthodes de ré-éclairage.

7.1 Discussion sur les méthodes présentées

Nous récapitulons dans cette section les différences entre les deux méthodes de ré-éclairage présentées dans les chapitres 4 et 5. Les avantages et les limitations de chacune des méthodes sont résumés dans le tableau 7.1.

7.1.1 Différences algorithmiques

Les deux méthodes ont les mêmes besoins au niveau de la reconstruction géométrique de la scène réelle. Par contre, la première méthode utilise une seule photographie dont des textures sont extraites. L'estimation des propriétés radiométriques ne se fait qu'à partir de ces textures, ce qui limite la connaissance à un seul éclairage de la scène réelle et un seul point de vue. L'éclairage utilisé est l'éclairage présent dans la scène réelle. La deuxième méthode utilise plusieurs photographies prises depuis un même point de vue et représentant des éclairages différents. Ces éclairages sont obtenus en déplaçant une lampe unique connue, en différentes positions. L'estimation des propriétés radiométriques se fait en combinant les différentes propriétés estimées pour chacune des images.

L'estimation des propriétés radiométriques est également très différente. Dans la première méthode, l'exploitation des données se fait de façon relative, et une réflectance très approximative est estimée. Les textures sont corrigées pour correspondre à un éclairage

| | Première Méthode | Deuxième Méthode |
|--|--|--|
| Données pour la reconstruction géométrique | identiques | identiques |
| Données pour l'estimation radiométrique | Une seule photographie de la scène réelle, dont l'éclairage n'est pas choisi. | Plusieurs photographies de la scène réelle sont prises depuis le même point de vue, et sous un éclairage connu différent. |
| Estimation des propriétés radiométriques | Estimation d'une réflectance approximative calculée pour chaque élément de subdivision à partir de textures corrigées. | Estimation plus précise d'une réflectance diffuse pixel par pixel. |
| Calcul de l'éclairage | Solution de radiosité hiérarchique optimisée. | Pixel par pixel pour l'éclairage direct, et une solution de radiosité hiérarchique optimisée pour l'indirect. |
| Affichage | Le matériel graphique est utilisé pour afficher chaque élément de radiosité texturé (affichage en multi-passes si nécessaire). | L'affichage pixel par pixel en utilisant l'information stockée par pixel dans une structure de données. |
| Modification de l'intensité des lampes | Algorithme de radiosité sans nouveau raffinement. | Algorithme de radiosité sans nouveau raffinement pour l'éclairage indirect. Mise à jour de l'éclairage direct pixel par pixel, sans nouveau calcul de visibilité. |
| Insertion de lampes virtuelles | Modification de la solution de radiosité hiérarchique par un algorithme de mise à jour. | Modification de la solution de radiosité hiérarchique pour la mise à jour de l'éclairage indirect. Calcul pixel par pixel de l'éclairage direct d  à la lampe insérée. |
| Modification de la géométrie | Insertion et déplacement d'objets virtuels. | Insertion, déplacement et enlèvement d'objets virtuels. Possibilité d'enlèvement d'objets réels. Le déplacement et l'ajout d'objets réels est relativement facile. |
| Qualité visuelle des résultats | Le ré-éclairage et l'insertion d'objets virtuels sont réalistes. | Le ré-éclairage et l'insertion d'objets virtuels sont réalistes. Cependant, les effets spéculaires ne sont pas simulés, ce qui manque au niveau du réalisme. |
| Temps de mise à jour | | |
| R -éclairage | 0.4 à 0.8 secondes | environ 0.4 secondes |
| Ajout d'objets virtuels | environ 1.5 secondes | 1 à 5 secondes |
| Ajout de lampes virtuelles | environ 8 secondes | 7 à 15 secondes |
| Déplacement d'objets virtuels | 0.3 secondes | de 1 à 3 secondes |

FIG. 7.1: Comparaison des deux méthodes de ré-éclairage.

indépendant des occlusions des objets réels entre eux. Cette correction est réalisée sur des éléments de subdivision, déterminés par un algorithme de raffinement qui combine la connaissance de la couleur des textures, et les valeurs de visibilité par rapport aux sources de lumière. Nous nous contentons d'une estimation approximative des réflectances et des valeurs de radiosité car l'affichage de l'éclairage est réalisé de façon relative à l'éclairage original. Les nouveaux éclairages créés sont une correction de l'éclairage original. La deuxième méthode estime au contraire une réflectance diffuse de façon plus précise et moins heuristique, pixel par pixel. L'affichage est ensuite réalisé pixel par pixel en utilisant la réflectance estimée pour simuler un nouvel éclairage. Les solutions d'éclairage sont complètement indépendantes de l'éclairage original. La deuxième méthode s'apparente plus à une méthode d'illumination inverse, où les propriétés de l'éclairage sont complètement retrouvées.

Les algorithmes interactifs sont aussi très différents. Les algorithmes de la première méthode utilisent la radiosité hiérarchique [DS97]. Cette solution permet un rendu quasiment indépendant de la taille de l'image affichée. Le rendu est réalisé polygone par polygone en utilisant le matériel d'affichage graphique. La complexité d'affichage est ainsi réduite aux nombres d'éléments de subdivision de la radiosité. Au contraire, les algorithmes d'affichage et de modification de la deuxième méthode sont dépendants de la taille des images, et du nombre de pixels affectés par les modifications. L'interactivité n'est pas garantie pour une image de haute résolution et pour des modifications importantes dans l'image (insertion de lampes virtuelles, ou déplacement de gros objets).

Malgré les différences évoquées ci-dessus, la qualité des résultats est équivalente. La qualité du ré-éclairage est similaire. L'insertion d'un objet virtuel se fait dans des temps similaires. Par contre, le déplacement des objets virtuels est trois fois plus rapide pour la première méthode. L'insertion des lampes virtuelles peut également être plus rapide pour la première méthode, car l'algorithme crée de nouveaux liens avec la source de lumière et met à jour localement la radiosité. Les calculs de facteurs de forme et de visibilité sont ainsi limités aux éléments subdivisés. Dans la deuxième méthode, tous les pixels de l'image sont affectés par l'insertion d'une lampe virtuelle, et nécessitent une mise à jour individuelle. Pour chacun des pixels, de nouveaux facteurs de forme et de visibilité relatifs à la lampe virtuelle sont calculés.

En revanche, l'acquisition d'une image de réflectance dans la deuxième méthode permet de faire des modifications qui nous paraissent plus difficilement réalisables dans la première méthode, tel que l'enlèvement d'objets réels. La connaissance d'une texture privée des effets d'éclairage permet de générer de nouvelles textures, privées elles aussi des effets d'éclairage. Les zones masquées par les objets réels peuvent être remplies par ces nouvelles textures, et l'éclairage re-simulé à partir de ces nouvelles réflectances. L'effet obtenu est réaliste, et l'objet réel est complètement enlevé de la scène réelle. Nous expliquons dans la section suivante comment exploiter les avantages de cette image de réflectance pour permettre le déplacement des objets réels, ou l'insertion d'objets réels présents dans une autre scène. De plus, la structure de données stockées pixel par pixel, peut servir de base pour utiliser des algorithmes parallèles. La deuxième méthode devrait après ces améliorations obtenir des résultats plus rapides, et permettre une plus grande pos-

sibilité d'interaction.

Les deux méthodes ont l'inconvénient commun de n'estimer que des réflectances diffuses. La qualité des résultats s'en ressent, car les surfaces parfaitement diffuses sont très peu présentes dans les scènes réelles. Pourtant, le rendu par modulation de l'éclairage original dans la première méthode permet de conserver les effets spéculaires dus à l'éclairage originale. Bien que l'éclairage soit modifié, ces specularités accentuent l'effet réaliste des scènes modifiées. Souvent, ces effets sont incohérents par rapport à l'éclairage simulé. Pourtant, l'œil humain ne perçoit pas toujours ces incohérences, et « croit » à ces effets spéculaires, comme le montrent les résultats dans le chapitre 4. Dans la deuxième méthode, les effets spéculaires sont enlevés par le calcul combiné des réflectances diffuses. Comme nous ne simulons pas ces effets spéculaires, l'œil humain perçoit qu'il manque quelque chose pour que le réalisme soit complet. Une estimation grossière de la composante spéculaire pour chaque objet, en utilisant une méthode similaire à Yu *et al.* [YDMH99], pourrait améliorer le réalisme. Les effets spéculaires directs pourraient être affichés pixel par pixel. Le rendu cohérent d'effets spéculaires dans la première méthode serait beaucoup plus compliqué, à cause du rendu polygone par polygone.

7.1.2 Utilisation appropriée de chaque méthode

Un des grands avantages de la première méthode est qu'elle permet de travailler avec des données non ciblées, comme des données vidéos quelconques d'une pièce d'intérieur. Les différents points de vue sur les images peuvent servir à reconstruire un modèle réel, et pour un point de vue choisi, le ré-éclairage peut être réalisé. De plus, l'utilisation d'un algorithme de radiosité permet un affichage polygone par polygone, qui est rapide et quasi-indépendant de la taille de l'image affichée. Cette méthode pourrait très bien être utilisée dans des environnements de réalité virtuelle sur des grands écrans d'immersion (de type CAVE).

La deuxième méthode nécessite une capture plus spécifique, ce qui réduit l'utilisation de données non ciblées. Par contre, la réflectance est mieux estimée, et le contrôle dans le résultat de manipulation est plus fin. L'utilisateur peut manipuler la scène de façon plus précise, et a de plus amples possibilités de manipulations, comme l'enlèvement d'objets réels. Nous pensons aussi que cette méthode se prêtera plus facilement à des extensions comme la prise en compte des effets spéculaires ou le déplacement de point de vue (voir la section 8.2).

7.2 Amélioration de la méthode basée sur la connaissance de plusieurs éclairages

La deuxième méthode de ré-éclairage présentée comporte des avantages significatifs sur certains points. Le premier est la création d'une image de réflectance. Nous pouvons grâce à l'image de réflectance, déplacer des objets réels, en gardant un éclairage réaliste. Le deuxième avantage porte sur l'organisation des structures de données et des algorithmes, à

partir desquels nous pouvons développer des algorithmes de parallélisation, pour accélérer les mises à jour lors de la phase d'interaction.

7.2.1 Déplacement des objets réels

Nous pensons que nous pouvons facilement déplacer les objets réels de la scène. Nous savons déjà les enlever en remplaçant les trous créés par leur suppression par des textures adéquates. Nous savons également localiser de manière efficace les modifications d'éclairage dues au déplacement des objets virtuels. Cet algorithme peut s'appliquer aux objets réels. Cependant, nous ne savons pour l'instant traiter que les objets virtuels sans texture, alors que les objets réels en ont une. À partir de l'image de réflectance, nous extrayons une texture pour chacun des objets réels que nous voulons déplacer. Cette texture est détordue, par rapport au point de vue utilisé, et replaquée à la nouvelle position de l'objet. La structure de données associée à l'éclairage direct est mise à jour avec ces nouvelles valeurs de réflectance, comme pour les objets virtuels. Nous pouvons également étendre l'algorithme à l'insertion d'objets réels pris dans d'autres scènes.

Que ce soit pour le déplacement d'objets réels ou l'insertion d'objets réels, il faut cependant faire attention aux limites dues à la projection des textures. Comme les textures sont extraites depuis un point de vue donné, il ne faut pas trop s'en écarter, pour éviter les distorsions et les incohérences de perspective dans le cas où tous les objets de la scène ne sont pas modélisés. Si nous utilisons des textures indépendantes du point de vue, la qualité visuelle sera inférieure car ces textures ont tendance à être un peu floues à cause de la combinaison des images lors de leur création.

7.2.2 Parallélisme

La parallélisation des systèmes permet de répartir les calculs afin d'accélérer le temps de calcul général. Il n'est malheureusement pas toujours simple d'appliquer des algorithmes parallèles. La deuxième méthode de ré-éclairage présente l'avantage d'avoir des structures de données et des calculs associés à des pixels. Il paraît possible d'accélérer les mises à jour lors de la manipulation d'objets virtuels et réels, ou lors de l'insertion de lampes virtuelles. En effet, les calculs se font pixel par pixel, le résultat du calcul pour un pixel ne dépend pas de celui des autres. Les calculs peuvent être répartis et les résultats sont identiques à un calcul séquentiel.

Cependant, un simple découpage de l'image ne suffirait pas. Lors de la manipulation des objets, les calculs sont localisés dans une région de l'image (voir section 5.5). Avant la répartition des calculs sur plusieurs processeurs, nous devons parcourir la table des pixels afin de déterminer quels sont les pixels affectés par la modification. Les pixels ainsi sélectionnés sont répartis sur chacun des processeurs qui effectuent les calculs de mise à jour de la visibilité, et éventuellement des facteurs de forme. Lors de l'insertion d'une source virtuelle, tous les pixels sont affectés. Il n'y a pas besoin de sélectionner les pixels avant de les répartir. Un simple découpage de l'image suffit.

Nous pouvons en revanche avoir des problèmes de synchronisation des processus. Il

faudra veiller à ce que le lancement des calculs soit bien géré, car il s'agit de boucles interactives de l'ordre d'un dixième de seconde, et la synchronisation peut s'avérer coûteuse.

7.3 Combinaison des avantages des deux méthodes

Nous avons vu que nous pouvons utiliser l'image de réflectance obtenue dans la deuxième méthode pour extraire des textures. Pour la première méthode, des textures de réflectances peuvent donc servir de textures à un modèle. Ceci permet d'avoir une estimation plus juste des échanges d'énergie, tout en conservant les avantages de l'affichage par le matériel graphique, et des algorithmes de mise à jour lors des modifications des propriétés de la scène réelle. L'enlèvement d'objets réels devient possible aussi dans cette méthode, de même que l'insertion d'objets réels appartenant à une autre scène.

Il faut cependant réaliser quelques modifications au niveau de l'affichage (voir section 4.3.3). L'affichage des textures se fait par un facteur de modulation représentant le rapport entre le nouvel éclairage et l'éclairage original sans occlusion. Si nous utilisons des textures de réflectances, il faudra multiplier la texture par l'irradiance accumulée sur un élément de radiosité. Il reste à voir si la qualité de l'éclairage ainsi simulé sera suffisant, car il s'agira d'une approximation. Si cette irradiance est supérieure à un, nous pouvons toujours utiliser un affichage multi-passe.

7.4 Discussion

Nous avons étudié dans ce chapitre les avantages et les inconvénients de chacune des méthodes de ré-éclairage présentées dans cette thèse. Nous pouvons conclure que les méthodes ont des avantages significatifs dans des domaines différents. La seconde méthode semble cependant permettre de plus amples extensions. Son estimation de la réflectance peut servir de base aux algorithmes de la première méthode.

Les améliorations présentées dans ce chapitre ne sont pas encore implantées. Cependant le déplacement des objets réels nous paraît important car il correspond au besoin qu'aurait un designer désirant ré-arranger une pièce existante.