

# Chapitre 1

## Introduction

La *réalité augmentée assistée par ordinateur* est un domaine émergent, qui progresse rapidement. Son principe est de mélanger le monde réel et le monde virtuel. De nombreuses applications utilisent déjà la réalité augmentée, notamment dans le domaine du jeu vidéo, du cinéma, de la télévision, ou encore dans des systèmes d'aide et d'apprentissage. Il existe deux façons distinctes pour visualiser des environnements en réalité augmentée. Dans la première, la réalité est perçue au travers de lunettes semi-transparentes sur laquelle se superposent des informations virtuelles. Dans la deuxième, il existe une représentation synthétique de la réalité à laquelle sont mélangées les informations virtuelles. Le mélange est affiché sur ordinateur ou sur des lunettes d'immersion. Cette représentation synthétique de la scène réelle est souvent un modèle géométrique simplifié et texturé. Dans la suite du document, nous appellerons *scènes réelles* une telle représentation de la réalité.

Utiliser des scènes réelles ou des images réelles présente de nombreux avantages par rapport à l'utilisation d'environnements purement virtuels, modélisés à la main. En effet, la modélisation demande des efforts importants pour obtenir une géométrie complexe des scènes virtuelles nécessaire au réalisme. L'utilisation de scènes réelles permet de réduire considérablement ces efforts, car même représentées par un modèle texturé très simple, les « scènes » réelles sont très réalistes. En effet, les scènes reconstruites comportent moins de polygones que les scènes virtuelles du même type, et sont ainsi plus faciles à traiter. L'utilisateur est alors confronté à un environnement familier, dans lequel il s'adapte facilement, ce qui permet une immersion plus rapide et plus naturelle. Leur utilisation présente donc un avantage à la fois algorithmique et visuel.

L'objectif des recherches menées jusqu'à présent en réalité augmentée a principalement porté sur le calibrage en *temps réel* des scènes réelles et le placement en temps réel des objets virtuels dans la scène réelle, comme le décrit l'étude d'Azuma [Azu97]. En réalité augmentée, on entend par *temps réel* un taux de rafraîchissement de moins de trente images par seconde pour des algorithmes de calibrage et d'alignement, afin d'éviter un délai qui provoquerait des incohérences visuelles.

Notre intérêt concerne plutôt l'*éclairage commun* entre les objets réels et les objets virtuels. L'éclairage commun consiste à prendre en compte les interactions lumineuses (ombres, réflexions) entre les lampes réelles et virtuelles et les objets réels et virtuels. La prise en compte de ces effets aide à obtenir des images plus réalistes, ainsi qu'une cohérence

visuelle de l'éclairage. Lorsqu'un objet virtuel ne projette pas d'ombre dans la scène où il est inséré, il est visuellement très difficile à localiser. L'information de l'ombre permet alors de connaître les distances entre les objets, et leurs positions relatives. Pour simuler ces effets d'ombre, il est courant d'utiliser des méthodes de simulation d'éclairage. Cependant, la simulation d'éclairage en synthèse d'images requiert des calculs complexes, non réalisables en temps réel. La plupart des travaux précédents [JNP<sup>+</sup>95, NHIN86, YM98, SSI99, Deb98, FGR93, DRB97] traitant l'éclairage commun se sont focalisés sur la qualité des images produites, en ignorant l'aspect temps de calcul.

## 1.1 Motivations

Contrairement aux approches existantes, nous désirons dans cette thèse nous rapprocher du temps réel pour permettre l'interaction de l'utilisateur avec la scène réelle. Nous aimerions fournir des outils pour produire des montages photographiques réalistes dans des temps interactifs (une à trois images par seconde). Nous nous intéressons plus particulièrement au ré-éclairage d'intérieur pour fournir des outils utilisables par des professionnels du design d'intérieur. Actuellement, dans le design d'intérieur, la plupart des décorateurs réalisent leur conception sur dessin ou maquette réelle. Pour de gros travaux, comme dans le cas des musées par exemple, l'intérieur est entièrement modélisé sur ordinateur, et l'environnement est traité de façon complètement virtuelle. Une autre solution est la construction de maquettes, de taille réelle ou réduite, ce qui implique un coût financier très élevé et un investissement de temps très important.

Un exemple typique est montré sur les photographies présentées dans la figure 1.1. Ces images ont été extraites d'une publicité illustrant différents types d'éclairage possibles. Le concepteur d'intérieur a présenté différents types d'éclairage (ampoules, halogènes, néons) sur différents supports. Pour mettre en évidence ces différents éclairages et le style associé, le concepteur d'intérieur a pris le soin de changer les tableaux fixés au mur. De plus, pour la photographie (d), il a déplacé le canapé pour ajouter une table, sur laquelle il a posé une nouvelle lampe. Pour obtenir ces quatre photographies, le concepteur d'intérieur a dû déplacer et ajouter des objets, enlever des lampes et en ajouter des nouvelles, et finalement choisir une bonne intensité lumineuse pour chacune des lampes. Le concepteur d'intérieur a réalisé un travail manuel important, tant au niveau du placement des meubles, qu'au niveau de l'installation électrique. On peut également imaginer que de nombreux essais lui ont été nécessaires avant d'obtenir les résultats présentés sur ces photographies.

Dans cette thèse, nous souhaitons apporter de nouveaux outils pour assister les tâches de la décoration et du design. Plutôt que de travailler soit entièrement dans la réalité, soit sur dessin, soit sur une scène exclusivement virtuelle, le travail est réalisé sur ordinateur, en utilisant une représentation de la scène réelle obtenue à partir de quelques photographies de l'environnement existant. Le système d'interaction avec la scène réelle doit permettre de tester différents éclairages et de changer (jusqu'à un certain degré) la géométrie de la scène. Il est important que cette nouvelle méthode de travail soit le moins fastidieuse possible, et plus rapide que celle que le concepteur avait l'habitude d'utiliser ; il nous a donc paru indispensable que la phase de capture de l'environnement réel soit rapide et simple.

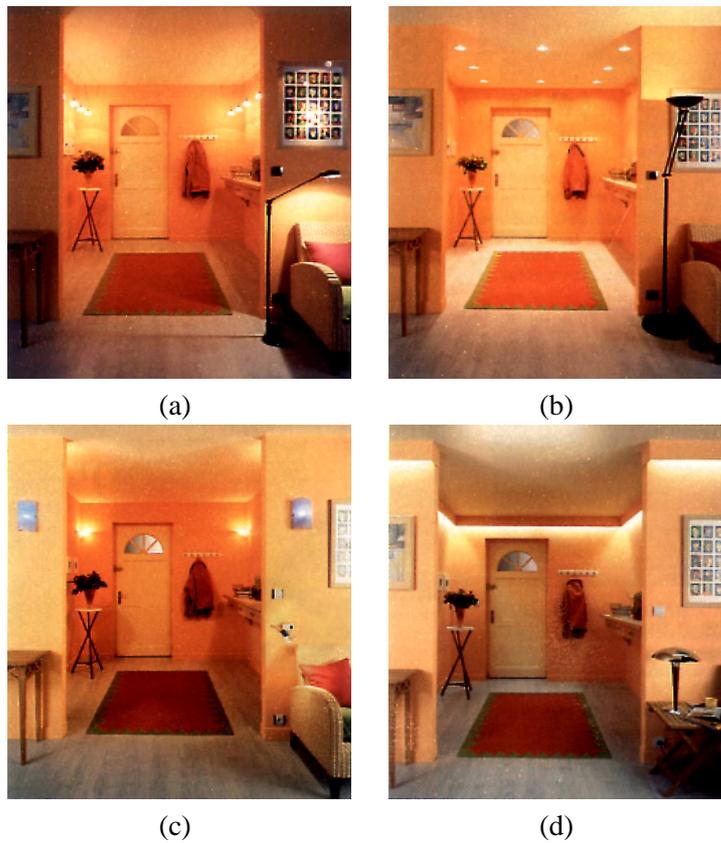


FIG. 1.1: Photographies montrant la même pièce, prise depuis le même point de vue, mais sous un éclairage différent. Pour obtenir ces photographies, le concepteur d'intérieur a changé les lampes, et le style de la pièce, en changeant les tableaux accrochés aux murs et en déplaçant quelques meubles, comme le canapé dans l'image (d). Ceci lui a permis d'ajouter une table sur laquelle il a posé une nouvelle lampe.



FIG. 1.2: Ces images ont été simulées à partir d'un des systèmes développés dans cette thèse (voir le chapitre 5). L'image (a) représente la scène réelle originale. Dans l'image (b), nous avons virtuellement enlevé la porte (en 1.2 secondes), de façon convaincante. Cette manipulation nécessiterait dans la réalité des travaux importants et fastidieux.

De plus, les systèmes utilisés sur ordinateur doivent produire des résultats réalistes dans des temps interactifs, et permettre certaines modifications que nous n'aurions pas pu faire aisément dans la réalité. Par exemple, avec une des méthodes que nous avons développées, nous pouvons interactivement enlever des objets, tels qu'une porte comme le montre la figure 1.2, ce qui serait fastidieux dans la réalité.

## 1.2 Contributions

Dans cette thèse, nous présentons les différentes méthodes que nous avons développées pour atteindre l'objectif du ré-éclairage et de la remodelisation dans des temps interactifs. Pour chacune de ces méthodes, nous nous sommes efforcés de n'utiliser que des données d'entrée simples (non exhaustives), et un matériel non spécifique, facilement accessible. Pour les deux méthodes de ré-éclairage, nous considérons que les scènes réelles ont un éclairage diffus, et qu'elles sont visualisables depuis un point de vue fixe.

Nous avons développé une première méthode [LDR98, LDR99] qui permet le ré-éclairage interactif des scènes réelles, en modifiant l'intensité lumineuse des lampes réelles, et en insérant de nouvelles sources de lumière dans la scène. Elle permet également d'insérer et de déplacer des objets virtuels en temps interactif. Dans cette méthode, notre connaissance de la scène réelle est limitée à une photographie, depuis laquelle nous extrayons des textures à appliquer au modèle géométrique simple de la scène réelle. L'éclairage original est déjà inclus dans les textures, et resterait donc perceptible si on le modifiait d'une façon naïve. Pour permettre le ré-éclairage, nous transformons les textures d'origine pour qu'elles représentent un éclairage sans ombre. Depuis ces nouvelles textures, des propriétés radiométriques sont estimées et un nouvel éclairage est simulé. L'affichage est accéléré par l'utilisation du matériel graphique. Après cette phase de pré-traitement, l'utilisateur peut modifier l'éclairage réel et virtuel, et déplacer les objets d'une façon interactive grâce à des méthodes incrémentales.

Cette méthode comporte cependant quelques limitations. Premièrement, la qualité des textures transformées n'est pas garantie. À la fin du traitement, les textures peuvent contenir des artefacts. Deuxièmement, les propriétés radiométriques ne sont pas toujours correctement estimées, car nous ne connaissons la scène réelle que sous un seul éclairage. De plus, l'utilisation du rendu par polygone, assisté par le matériel d'affichage graphique, nécessite l'utilisation de textures, ce qui limite notre contrôle sur les valeurs exactes de chaque pixel affecté. Nous avons développé une deuxième méthode [LFD<sup>+</sup>99b, LFD99a] basée sur une approche différente, qui utilise plusieurs photographies de la scène réelle sous des éclairages différents. Elle autorise des modifications interactives comme le ré-éclairage, l'insertion d'objets virtuels, ainsi que l'enlèvement d'objets réels (non permis par la première méthode), ce qui était l'un de nos objectifs (voir figure 1.2). Dans cette approche, nous travaillons pixel par pixel pour estimer les propriétés radiométriques, plutôt que sur des polygones texturés comme c'est le cas dans la première méthode. Ceci permet un contrôle plus fin de l'estimation des valeurs. Les propriétés radiométriques sont estimées à partir de plusieurs photographies de la même scène, prises sous différents éclairages contrôlés. Ceci nous permet d'avoir une connaissance indépendante de l'éclairage

original de la scène. Les modifications sont localisées et mises à jour dans des temps interactifs, comme par exemple en 1.5 secondes pour supprimer la porte sur la figure 1.2.

Nous avons utilisé pour ces deux méthodes des images générées par tout appareil photographique numérique. Malgré l'utilisation de ces données brutes, nous montrons plusieurs exemples pour lesquels les résultats de ré-éclairage correspondent à nos attentes. Nous avons cependant développé une nouvelle méthode de calibrage de données simples, pour lever les limitations possibles. Nous perdons notamment de l'information lorsqu'il y a une saturation soit vers des couleurs trop sombres, soit vers des couleurs trop claires. De plus, la caméra modifie les couleurs en appliquant sur la photographie une fonction de transfert liée à ses caractéristiques. Le traitement pour estimer l'information radiométrique peut donc aboutir à un résultat erroné. Pour éviter ces problèmes, nous avons utilisé une méthode de calibrage des données photographiques, avec des photographies prises à différents temps d'exposition pour avoir une information plus complète. Cette méthode a été adaptée à l'appareil photographique que nous avons utilisé, pour lequel le contrôle manuel est limité, notamment pour le temps d'exposition. Nous avons réduit les artefacts de la première méthode de ré-éclairage en utilisant les images ainsi calibrées. Pour la deuxième méthode, nous avons appliqué un deuxième algorithme de calibrage, pour assurer une cohérence des images pour toutes les différentes conditions d'éclairage. De plus, nous avons amélioré le processus d'estimation des propriétés de l'éclairage en utilisant un algorithme basé sur une mise à jour itérative de l'éclairage indirect et des valeurs de réflectance. La qualité de la réflectance estimée est sensiblement meilleure après cette méthode itérative.

Nous avons enfin comparé les deux méthodes présentées, en tenant compte de l'amélioration obtenue après traitement des données photographiques. Nous avons fait ressortir les avantages et les inconvénients de chacune. Notamment, la deuxième méthode est plus propice à des extensions. Nous montrons que déplacer des objets réels est possible grâce à l'utilisation d'une texture dépendante du point de vue extraite de l'image de réflectance (ne contenant plus d'effets lumineux). L'interactivité nous apparaissant comme très importante, nous montrons également que l'algorithme peut être modifié pour permettre le calcul sur une machine parallèle.

### 1.3 Structure du document

Le ré-éclairage et la remodelisation de scènes réelles est un problème très difficile, qui recouvre plusieurs domaines, et différents types de recherches telles que :

- la reconstruction de scènes réelles à partir d'images pour transformer des informations dans le repère image en informations géométriques dans l'espace,
- la simulation d'éclairage réaliste en synthèse d'images,
- l'*illumination inverse* qui permet de retrouver les propriétés radiométriques des scènes réelles,
- et enfin l'*éclairage commun* pour la réalité augmentée, qui prend en compte les interactions lumineuses entre les objets réels et virtuels.

Nous nous appliquons dans le chapitre 2 à donner les éléments nécessaires pour la compréhension du document. Nous détaillons les travaux précédents dans les domaines de l'illumination inverse et de l'éclairage commun sans pour autant rentrer dans les détails de chaque domaine de recherche.

Travailler avec les scènes réelles n'est pas quelque chose de simple, car les inconnues sont beaucoup plus nombreuses que dans la synthèse d'images purement virtuelles. Nous présentons dans le chapitre 3 un résumé du travail de préparation et d'acquisition nécessaire avant de travailler sur les méthodes de ré-éclairage des scènes réelles. Nous expliquons les difficultés rencontrées et les solutions choisies, ce qui fournit ainsi une information pour les personnes désirant travailler dans ce domaine. Dans ce travail de mise en place préliminaire, il faut choisir le matériel servant à l'acquisition des scènes réelles, tel que les caméras, les lampes, et les outils de reconstruction. Ensuite, il faut transformer les données pour qu'elles soient utilisables dans nos systèmes.

Nous décrivons ensuite les différentes méthodes de recherche que nous avons développées.

La première méthode de ré-éclairage s'appuie sur la connaissance d'un seul éclairage pré-existant. Nous présentons dans le chapitre 4, les différents algorithmes que nous avons développés pour permettre le ré-éclairage d'une scène réelle représentée par un modèle texturé à partir de cette unique photographie. Avec des algorithmes incrémentaux, l'éclairage original peut être modifié, et des lampes et des objets virtuels peuvent être ajoutés à la scène réelle dans des temps interactifs.

Nous présentons ensuite dans le chapitre 5 la deuxième méthode de ré-éclairage, basée sur une connaissance plus étendue de la scène réelle, éclairée différemment sur plusieurs photographies. Les propriétés radiométriques peuvent être estimées de façon plus précise. La simulation du ré-éclairage et de l'éclairage commun est réalisée dans des temps interactifs, en combinant une localisation des informations à modifier dans l'espace 3D et dans l'espace image. Nous pouvons interactivement manipuler les intensités des lampes, ajouter des objets virtuels et des lampes virtuelles, ainsi que supprimer des objets réels de la scène.

Ces deux méthodes de ré-éclairage ont été développées pour donner de bons résultats avec des données simples, nécessitant une capture facile et rapide. Elles peuvent néanmoins être améliorées avec des données mieux calibrées. Nous présentons dans le chapitre 6, une nouvelle méthode de calibrage de données photographiques, adaptée à un appareil photographique dont le contrôle manuel est limité. Grâce à un meilleur calibrage des données, nous pouvons ainsi améliorer la qualité des résultats.

Enfin, dans le chapitre 7, nous comparons les algorithmes, les résultats et les applications possibles des deux méthodes de ré-éclairage. Nous proposons ensuite quelques améliorations, comme le déplacement d'objets réels et la parallélisation de l'algorithme pour accélérer les calculs.

La conclusion et les perspectives sont présentées dans le chapitre 8.