

## **RESUME**

« Understanding, Acquiring and Rendering Translucent Appearance »

- GAUTHIER Silvère -

### **Contexte (relation avec un sujet du cours ou de la formation)**

Dans une époque où la modélisation se rapproche de plus en plus de la réalité, il devient important de comprendre les mécanismes de la vision humaine afin de reproduire avec fidélité les perceptions des objets. Ainsi, un large champs de recherches s'est développé autour de ce sujet.

**Quelle est la problématique (par exemple, *le rendu réaliste de cheveux*) ?**

**Quel est l'objectif (par exemple, *améliorer la performance, proposer une nouvelle méthode*) ?**

Dans cet étude, nous nous intéressons aux objets translucides et à leur rendu. L'objectif ici est de proposer de nouvelles méthodes permettant un rendu plus rapide sans pour autant perdre en qualité visuelle. En effet, modéliser un objet translucide fait entrer en jeu énormément de paramètres et le rendu d'un tel objet dans une scène est souvent très long, nécessitant beaucoup plus de calculs que pour un objet opaque. Les scientifiques cherchent à trouver une manière d'améliorer les performances sans modifier les algorithmes au coeur du rendu.

### **Bref résumé de la méthode/application présentée**

Les « Radiative transfer equations » (RTEs), avec différents paramètres de dispersion, peuvent mener à une même simulation de rayonnement. La théorie des similitudes étudie ce phénomène grâce à une hiérarchie de relations d'équivalence appelées relations de similitude. Malheureusement, pour un ensemble de paramètres donnés, il devient compliqué de trouver comment obtenir un ensemble de paramètres altérés satisfaisant ces relations, limitant alors significativement l'expérimentation de la théorie.

Cet article présente la théorie des similitudes, qui fournit les idées fondamentales de la structure de l'espace contenant les paramètres des RTEs. Pour utiliser la théorie dans sa forme générale, les chercheurs introduisent une nouvelle approche afin de trouver les paramètres altérés incluant l'absorption et les coefficients de dispersion de la même manière que le fait une fonction de phase en tableau. Ils démontrent l'utilité pratique de leur travail grâce à deux applications :

« Forward Rendering » et « Inverse Rendering » des objets translucides.

Le rendu vers l'avant est leur application principale, et ils développent un algorithme exploitant les relations de similitude afin d'offrir une accélération du rendu de Monte Carlo. Pour le rendu inverse, les scientifiques proposent une approche « proof-of-concept » qui induit des distorsions de l'espace des paramètres et améliore grandement l'efficacité des algorithmes basés sur les gradients. Ils pensent que la théorie des similitudes est importante pour simuler et acquérir une apparence volumique, et leur approche détient le potentiel pour bénéficier à une large gamme d'applications futures dans ce domaine.

Le rendu vers l'avant consiste en une simple procédure prenant un ensemble de paramètres de dispersion pour renvoyer un ensemble altéré en quelques secondes. En remplaçant les paramètres initiaux par le second ensemble, le rendu de Monte Carlo peut être accéléré jusqu'à trois fois. Un bénéfice non négligeable sachant que cette méthode ne nécessite aucun changement dans l'algorithme au cœur du rendu : seuls les paramètres de dispersion des matériaux, donnés initialement à l'algorithme de rendu, sont modifiés.

A cause de l'ampleur de la recherche sur la modélisation, l'article contient une vue d'ensemble des différents principes à la base de ces recherches. Ici ne seront introduites que les cinq principales catégories : le « radiative transfer », les méthodes de Monte Carlo, les méthodes de diffusion, la théorie des similitudes et le rendu inverse.

**Radiative transfer** : il est utilisé dans plusieurs domaines incluant l'astrophysique, les échanges de neutrons et l'infographie. Récemment, un framework généralisé a été créé pour manipuler plus facilement les objets contenant des structures orientées (voir les références de l'article), comme les structures volumiques (intérieur / extérieur). Dans cet article, les scientifiques se servent de la forme classique des RTEs.

**Monte Carlo** : ces méthodes peuvent résoudre entièrement et directement les RTEs. Le « volumetric path tracing » et ses variations permettent d'obtenir des estimations non biaisées pour la simulation de rayonnement en lançant aléatoirement des rayons lumineux et en évaluant leur contribution au résultat visuel. De plus, des techniques variées comme le « volumetric photon mapping » ou les « many-lights methods » ont été développées (voir les références de l'article), lesquelles offrent une convergence plus rapide que les « path tracing » mais souvent au prix de déviations des rayons dans les résultats finaux.

**Diffusion** : ces méthodes remplacent les RTEs avec les équations de diffusion (DEs) en appliquant une approximation de premier ordre du rayonnement directionnel. Plusieurs approches

ont été proposées pour résoudre les DEs, telles que des approximations analytiques ou des méthodes basées sur les éléments finis (voir les références de l'article). L'approximation de la diffusion implique un rayonnement lissé, règle souvent violée autour des bords des matériaux et dans les régions très étroites. Par conséquent, des méthodes hybrides combinent Monte Carlo et équations de diffusion pour une meilleure précision.

**Théorie des similitudes** : elle fut introduite en 1989 dans la physique appliquée (voir les références de l'article). Les auteurs ont dérivé un ensemble de relations entre deux ensembles de paramètres de dispersion et ont obtenu des RTEs résultantes ayant des champs de rayonnement identiques lorsque leurs fréquences directionnelles sont bornées. Une forme d'ordre 1 très simplifiée de cette théorie est utilisée pour étendre les méthodes de diffusion et accélérer la simulation de lumière de Monte Carlo. Cependant, très peu de recherches ont été effectuées, en infographie comme en physique appliquée, afin d'utiliser ces relations à des ordres supérieurs.

**Inverse rendering** : cette méthode permet de calculer les paramètres initiaux des matériaux à partir de l'apparence finale voulue pour une scène. De nombreuses méthodes ont été développées afin de retrouver les paramètres de dispersion d'une surface. Les scientifiques montrent ici que la théorie des similitudes peut être d'une grande aide pour résoudre le problème du rendu inverse.

### **Forward Rendering**

Les difficultés du rendu vers l'avant viennent du fait que pour modéliser un objet de taille normale fait d'un matériau dense, comme par exemple du lait ou du marbre, des centaines voire des milliers de surfaces différentes doivent être simulées pour chaque exposition de lumière, impliquant alors de très faibles performances. Pour des objets avec de tels matériaux, les rendus d'ordre supérieurs sont particulièrement difficiles à appliquer. En effet, ils comprennent des fonctions de phase envoyant des rayons de lumière vers des régions très concentrées, ce qui produit beaucoup de bruit pour les algorithmes de traçages des rayons et de nombreux calculs supplémentaires pour les méthodes basées sur les cartes photoniques ou les multiples sources lumineuses.

Les scientifiques abordent le challenge du rendu des objets faits de matériaux denses en utilisant la théorie des similitudes. En particulier, ils cherchent des paramètres équivalents sachant qu'une plus petite atténuation signifie moins d'événements à simuler et donc moins de calculs. La version la plus basique de cette idée est utilisée en infographie mais peut donner des résultats avec une précision moindre par rapport à la version complexe.

### **Inverse Rendering**

En connaissant la complexité et la relation non-linéaire entre les paramètres de dispersion et l'apparence finale, le rendu inverse est communément utilisé comme un problème d'optimisation où l'espace des paramètres a besoin d'être exploré localement. Ce procédé, cependant, peut être

extrêmement coûteux puisque cet espace est souvent multi-dimensionnel, et l'explorer requiert de résoudre itérativement le problème du rendu vers l'avant, lequel pose déjà quelques problèmes en soit. La présence de classes d'équivalence rend le problème du rendu inverse beaucoup plus difficile à résoudre, puisqu'elle crée des ambiguïtés entre différents ensembles de paramètres, ce qui peut fausser l'optimisation.

La théorie des similitudes propose des positions de l'espace des paramètres où les ambiguïtés apparaissent. En se basant sur ces observations, les scientifiques développent une méthode induisant des distorsions de cet espace suivant un comportement non linéaire. Il devient alors plus aisé pour les méthodes basées sur les gradients de trouver de bonnes solutions.

### **Discussion sur les résultats obtenus**

Le but de cette démarche est en quelque sorte de ramener l'espace de choix des paramètres à un ensemble réduit de valeurs, ce qui permet de réduire le nombre de calculs et donc augmenter la performance de l'algorithme de rendu.

Le problème est que cette réduction de l'espace ne se fait pas totalement sans perte, ce qui implique une diminution de la précision du nouveau modèle. Un nouvel objectif apparaît donc ici : trouver un compromis entre performance et précision.

Après de nombreux essais avec différentes modifications des paramètres initiaux, les scientifiques ont pu mieux comprendre l'implication de chaque paramètre dans les différences notables entre la modélisation de référence (très précise mais rendu très long) et celle donnée par leur méthode. Ainsi, ils proposent différents exemples de valeurs ainsi qu'une carte de différence et le ratio d'amélioration de la vitesse de calcul entre les deux rendus afin de pouvoir juger de l'efficacité de leur méthode.

Il s'avère qu'avec leur algorithme d'ordre 1, ils peuvent avoir une très bonne qualité visuelle (presque imperceptible à l'oeil nu) avec un gain de vitesse entre 3X et 5X. Ce qui donne donc de très bons résultats. Malheureusement, les résultats sont moins concluant avec les fonctions de phases plus complexes, car l'algorithme d'ordre 1 n'est pas assez puissant pour calculer efficacement toutes les variations des paramètres.

Ils ont donc développé d'autres algorithmes d'ordre supérieur (présentés ici jusqu'à l'ordre 5), permettant alors les rendus d'objets avec des fonctions de phase plus complexes. La difficulté ici est donc de trouver le bon ordre à utiliser selon la fonction de phase, car chaque catégorie de complexité correspond à un ordre qui s'adaptera le mieux à la fonction et à l'espace des paramètres.

## **Vos impressions**

Après avoir lu cet article, je me rends un peu mieux compte de toute la complexité de chaque détail que l'on pourrait croire simple et évident mais qui s'avère très difficile à réaliser lorsqu'il s'agit de le modéliser. J'ai choisi ce sujet justement pour cela, car j'avais l'intuition que la modélisation d'objets translucides pouvait être bien plus complexe que ce que je pouvais croire.

J'ai donc appris qu'il existait beaucoup de méthodes différentes pour traiter le sujet, en plus de celles que je connaissais de part mes cours et mes connaissances personnelles. Chacune d'entre elle a une approche plus ou moins différente des autres, certaines sont plus efficaces que d'autre dans certains cas mais moins dans d'autres...

Le problème de modélisation d'objets complexes se rapporte alors toujours à un compromis entre les performance et la précision, nous devons donc adapter nos modèles suivant la qualité visuelle que nous voulons et les ressources dont nous disposons.

Les techniques présentées ici reposent sur plusieurs principes que l'on peut appliquer à différents domaines, ce qui est donc très instructif et donne beaucoup d'idées pour le futur et la résolution d'autres problèmes. De plus, les résultats sont très satisfaisant, ce qui donne envie de s'inspirer du travail de ces scientifiques.