

# Art of Illusion: l'art de l'illumination

Merci à Diamond Editions pour son aimable autorisation pour la mise en ligne de cet article, initialement publié dans Linux Pratique N°36

Olivier Saraja - [olivier.saraja@linuxgraphic.org](mailto:olivier.saraja@linuxgraphic.org)

**L'un des points forts d'Art of Illusion réside en son moteur de rendu, capable de résultats photoréalistes, notamment grâce aux modèles d'illumination sur lesquels il repose. Cet article propose de parcourir brièvement ceux-ci.**

Pour faciliter cette présentation, nous calquerons nos expérimentations sur celles de la fameuse boîte de Cornell (Figure 1). Il s'agit d'un terrain d'exploration développé par l'université de Cornell dans le cadre de ses recherches sur le rendu réaliste, à partir de la modélisation de lois physiques. Leur fameuse boîte est devenue une célébrité qui est devenue une référence pour déterminer la pertinence d'une méthode d'illumination. Plus d'infos sur la fameuse boîte de Cornell, en anglais:

<http://www.graphics.cornell.edu/online/box/>.



Figure 1: la véritable boîte de Cornell – ceci est une photo!

## Un peu de vulgarisation

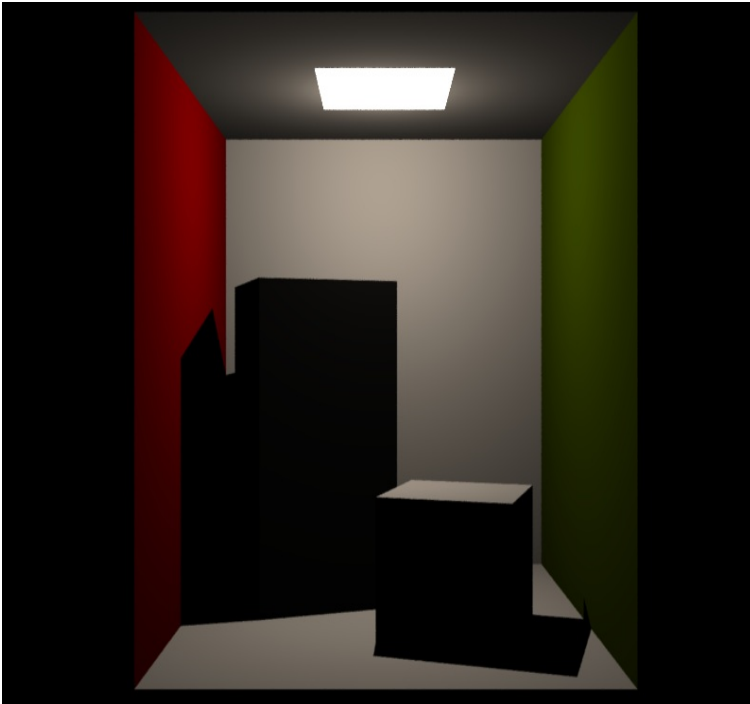
Dans la vie réelle, les sources de lumière émettent des photons (rayons lumineux) qui viennent heurter la surface des objets. En fonction de leurs propriétés surfaciques, une part de l'énergie des photons est absorbée pour éclairer l'objet (éclairage direct), tandis que le reste rebondit sur la surface (l'angle de rebond est déterminé en fonction de l'angle d'émission et de l'angle de la normale à la surface au point d'impact) pour continuer sa course jusqu'au prochain objet. A chaque rebond, le photon éclaire la surface heurtée proportionnellement à l'énergie qui lui reste, se « charge » de la couleur de l'objet heurté (teintant ainsi sa couleur d'origine), et part à la rencontre de l'objet suivant (l'éclairant et le colorant légèrement de sa couleur propre), jusqu'à épuisement de son énergie. On a alors l'impression que la lumière emplie l'environnement et occupe pratiquement tout l'espace. Cela explique aussi que les ombres sont rarement totalement obscures, et parfois légèrement colorées par les objets environnants (conséquence de l'éclairage indirect).

Reproduire ce schéma d'illumination en images de synthèse demande des calculs très lourds, puisqu'il est nécessaire de suivre le parcours de chaque photon sur une série de rebonds; qui plus est, le nombre de

photons « lancés » par chaque lampe a une influence directe sur la qualité d'illumination: plus il y en aura, plus l'illumination de la scène sera satisfaisante, mais plus les calculs s'éterniseront. Mais la plupart des moteurs de rendu acceptent plusieurs méthodes de simulation de ces phénomènes, dits d'illumination globale, et le lancé de photons n'en est qu'une parmi d'autres.

Art of Illusion propose également plusieurs de ces méthodes. Il est possible d'en faire el choix à la préparation du rendu. Dans le menu **Scène**, choisissez **Rendre la scène**, qui affichera les options de rendu. Le bouton **Illumination...** affichera pour sa part les options d'illumination.

Nous avons reconstruit une approximation de la boîte de Cornell avec Art of Illusion. Voici ce à quoi elle ressemble, avec des techniques d'illumination standards par lancé de rayon (Figure 2). Si la ressemblance du point de vue de la géométrie est satisfaisante, au niveau de l'illumination, elle est insuffisante: vous pouvez constater que toutes les ombres sont absolues (caractéristiques des ombres obtenues par lancé de rayons) et que la lumière emplit nullement la scène entière.



*Figure 2: une approximation de la boîte de Cornell. Il faudra travailler dur pour la rendre réaliste!*

## L'occlusion ambiante

Il s'agit d'une méthode d'ombrage des objets qui prend en compte les atténuations de lumière engendrées par l'obstruction d'objets à proximité, lorsque l'illumination provient de l'environnement. A ce titre, il s'agit d'une méthode globale, mais c'est surtout une approximation de l'illumination globale dans le sens où elle ne tient pas compte de la couleur des objets avoisinants. Cette méthode d'illumination est parfaite pour les scène d'extérieur lorsque le ciel est nuageux. Par exemple (Figure 3), les tests ont été réalisés avec une version simplifiée de la boîte de Cornell, essentiellement débarrassée de la « pièce ».

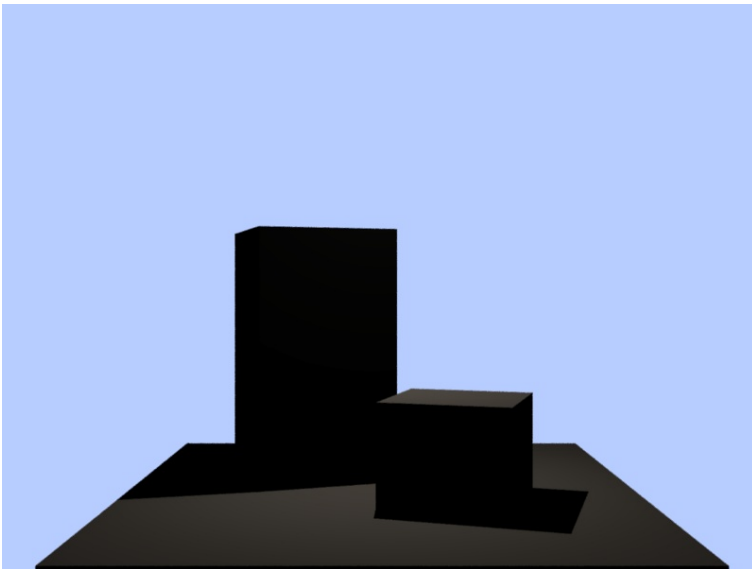


Figure 3: la scène de test de l'occlusion ambiante

L'occlusion ambiante ne fonctionne que peu ou pas du tout avec les scènes d'intérieur, et lorsqu'un pixel est « éclairé », il est teinté par la couleur de l'environnement proportionnellement à son « taux d'occlusion ». La couleur de l'environnement se règle indépendamment: **Scène > Environnement** (Figure 4).

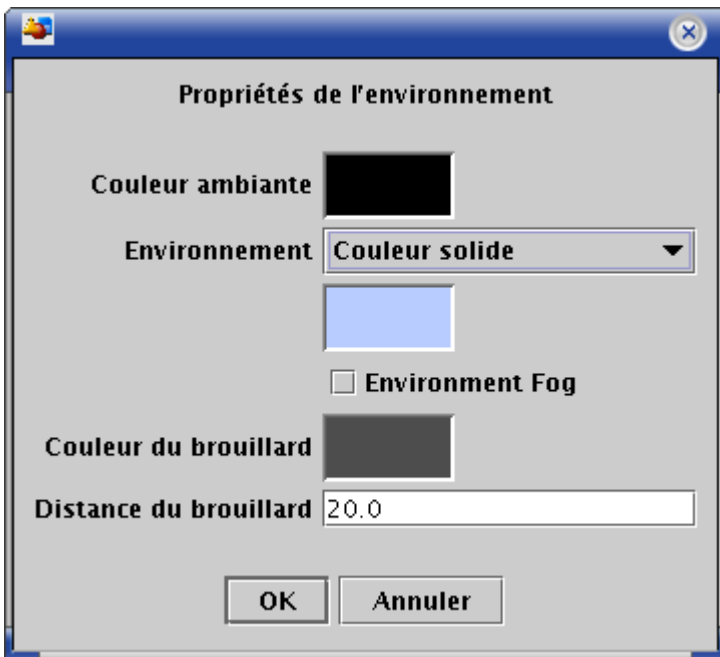


Figure 4: le panneau de réglage de l'environnement

Dans le panneau **Options d'illumination**, choisissez **Occlusion Ambiante** comme méthode d'**Illumination Globale**. Pour chaque pixel d'un objet donné, le moteur de rendu va déterminer s'il y a un obstacle entre ce pixel et l'environnement de la scène 3D. S'il y a un obstacle, le pixel sera obscurci. S'il n'y en a pas, il sera éclairci. Le moteur lancera un certain nombre de rayons (paramètre **Rayons pour échantillonner l'environnement**) dans diverses directions (selon des angles équitablement répartis par rapport à la normale à la surface), et moyennera l'information d'éclaircissement ou d'obscurcissement suivant que le rayon rencontre un obstacle ou parvient jusqu'à l'environnement. Le nombre de rayons lancés a une influence directe sur la qualité de l'occlusion ambiante (Figure 5).

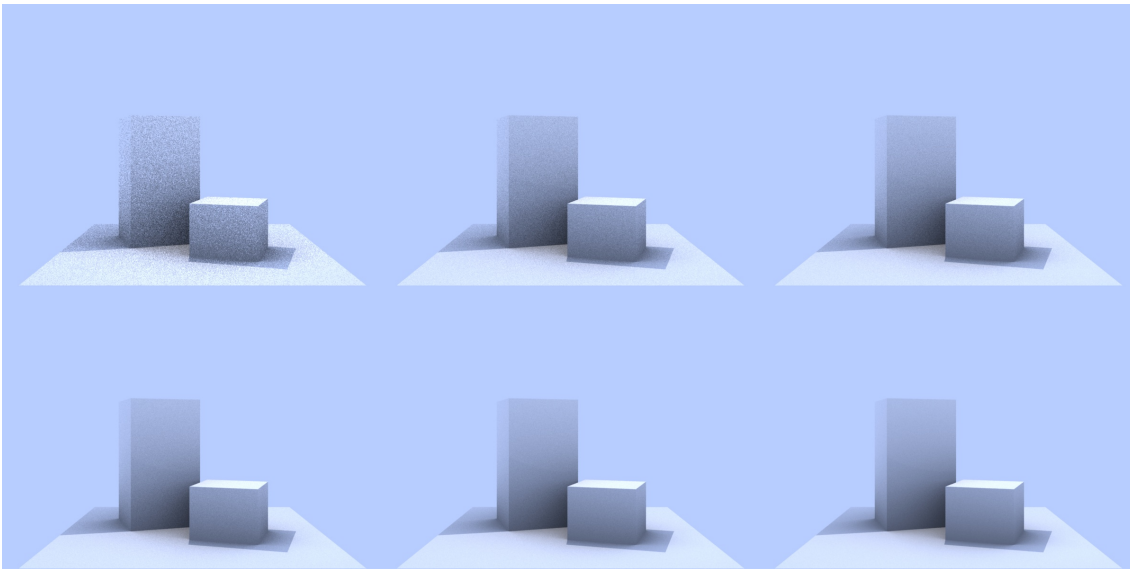


Figure 5: évolution de la finesse de l'illumination par occlusion ambiante lorsque le nombre d'échantillons de l'environnement augmente (resp. 1, 4, 8, 16, 32 et 64 échantillons)

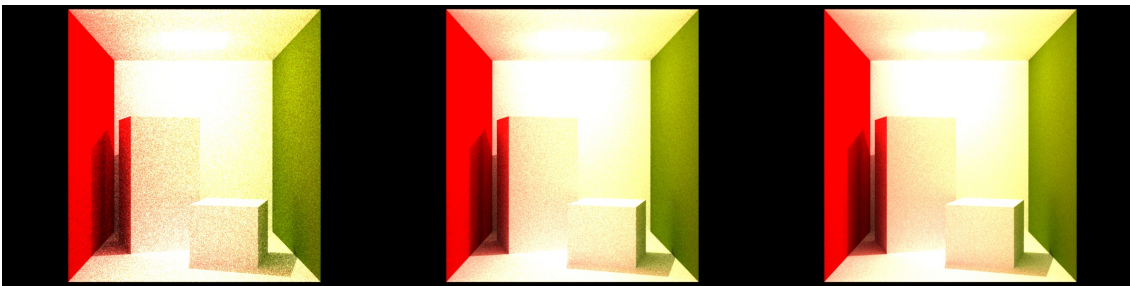
De façon générale, vous noterez que seul l'ombrage des objets est affecté par cette méthode d'illumination. Les objets n'héritent que de la couleur de l'environnement, mais absolument pas de la couleur des objets voisins.

## L'illumination globale par la méthode de Monte-Carlo

Cette méthode d'illumination ne prend pas seulement en compte l'éclairage direct produit par une source de lumière, mais également l'éclairage indirect, c'est à dire les rayons lumineux réfléchis par une surface éclairée. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est qu'il n'y a pas que l'ombrage diffus du matériau qui soit pris en compte: les reflets spéculaires sont également déterminés à partir de l'éclairage indirect, ce qui conduit à une illumination globale riche et physiquement réaliste.

L'algorithme d'illumination globale d'Art of Illusion est basé sur les méthodes de Monte Carlo dont les équations se révèlent très efficaces dans le domaine de l'irradiance. Son usage est particulièrement pertinent dans le cadre de rendu de scènes d'intérieur, et ne diffère guère, en apparence, de la méthode d'Occlusion Ambiante, à ceci prêt que les rayons de lumière pourront rebondir d'une surface à l'autre et que, dans ce cadre d'illumination indirecte, l'éclairage résultant sera influencé la couleur de l'objet voisin ayant réfléchi le rayon lumineux.

Dans le panneau **Options d'illumination**, vous choisirez simplement **Monte-Carlo** comme méthode d'**Illumination Globale**. Le paramètre **Rayons pour échantillonner l'environnement** sera à considérer avec précaution car il déterminera, pour chaque Pixel de l'image, du nombre de rayons lancés pour déterminer la couleur transmise par éclairage indirect (Figure 6); malheureusement, sachant que chacun de ces rayons peut rebondir d'une surface à l'autre, les temps de calculs peuvent rapidement devenir excessifs.



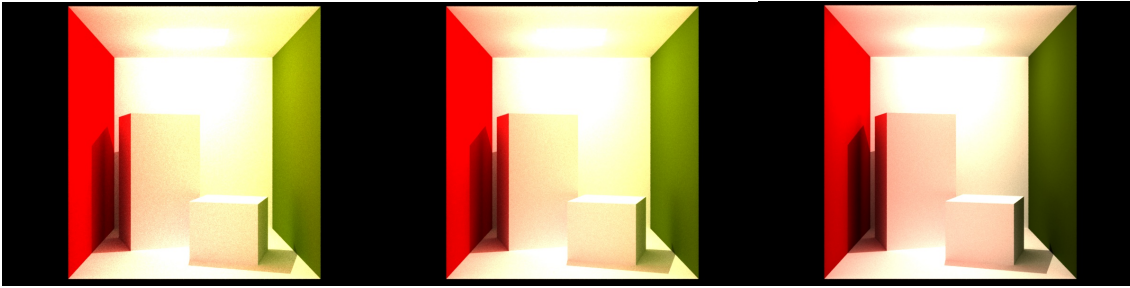


Figure 6: évolution de la finesse de l'illumination par la méthode de Monte-Carlo lorsque le nombre d'échantillons de l'environnement augmente (resp. 1, 4, 8, 16, 32 et 64 échantillons)

L'intensité de l'illumination globale peut être ajusté grâce à la **Couleur ambiante**. Celle-ci se règle indépendamment: **Scène > Environnement** (Figure 4): des couleurs sombres donneront influeront faiblement sur l'illumination globale, tandis que des couleurs claires influenceront fortement sur celle-ci. A noter qu'il est très facile de sur-exposer une scène. Généralement, des valeurs  $R=V=B=0.25$  pour la **Couleur ambiante** aboutissent déjà à une nette surexposition (Figure 7).

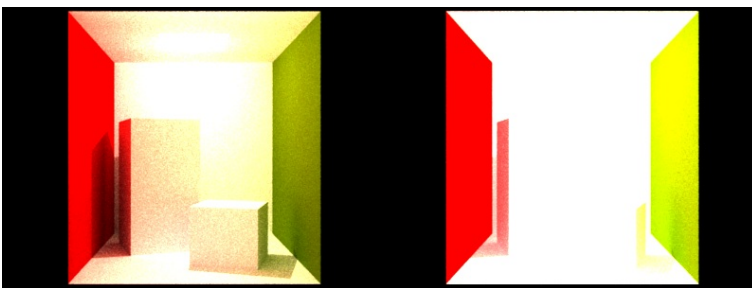


Figure 7: sur ces images de basse qualité, on voit clairement l'influence de la couleur ambiante sur l'illumination globale. Avec  $R=V=B=0.25$ , la seconde image est totalement surexposée

**[Encadré]Astuce:** la couleur ambiante peut influencer la couleur générale de la scène. En conservant des valeurs  $R$ ,  $V$  et  $B$  strictement identiques, vous vous contentez d'influer sur la luminosité de la scène. Mais en spécifiant, par exemple, une composante de couleur supérieure aux autres, cette couleur aura tendance à dominer la scène. Par exemple, dans l'image ci-dessous,  $R = 0.25$  mais  $V = B = 0.00$ , le rouge domine donc l'éclairage (Figure 8).

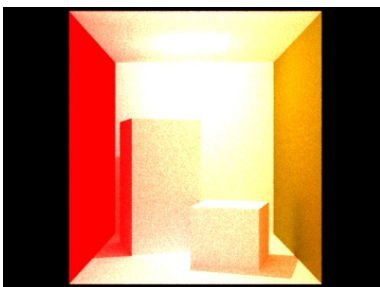


Figure 8: avec  $R=0.25$  mais  $G=B=0$ , la scène est plus lumineuse mais teintée de rouge**[fin encadré]**

## Cartographie de Photons

Lorsque l'on cherche à établir une cartographie de photons, on envoie des rayons de lumière depuis une source de lumière et on enregistre, lorsque le rayon heurte une surface, les coordonnées de son point de chute, sa direction et son énergie, avant de rebondir vers la surface suivante. Ces informations sont stockées dans une zone de la mémoire, permettant ainsi d'établir une « trace » du passage des rayons: la cartographie de photons. C'est une méthode d'illumination d'autant plus réaliste qu'elle tient compte de la réfraction de la lumière au-travers des objets transparents (générant ainsi les fameuses tâches caustiques que l'on peut observer dans l'ombre des verres) ou de la réflexion de celle-ci à la surface des objets réfléchissants (comme un miroir ou un objet en métal poli).

Toutefois, cette méthode nécessite un grand nombre de photons pour obtenir une illumination « lisse » et

progressive. En effet, là où un photon frappe la surface, celle-ci s'illumine. Si trop peu de photons sont lancés, la surface des objets semble mouchetée de tâches plutôt qu'éclairée, produisant un résultat fort peu crédible (Figure 9). Dans le panneau **Options d'illumination**, vous choisirez simplement **Cartographie de Photons** comme méthode d'**Illumination Globale**. Le paramètre **Total des Photons** permet de préciser le nombre de photons à lancer. Bien sûr, plus ce nombre sera élevé, plus la cartographie réalisée sera pertinente, mais nécessitera des temps de calcul supplémentaires.

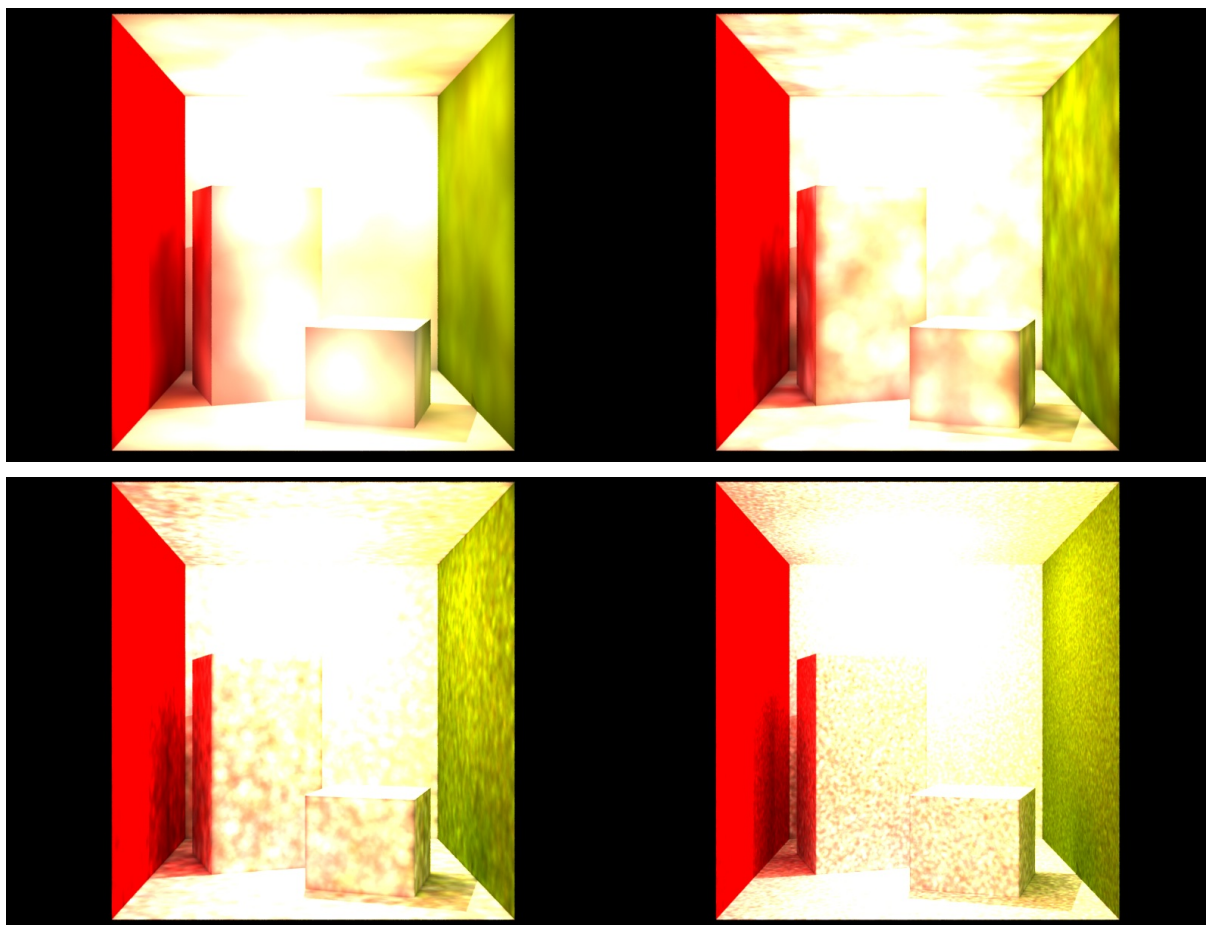


Figure 9: l'impact des photons sur les surfaces laisse une trace nettement visible, ainsi qu'en témoignent ces images réalisées avec respectivement 10 000 photons, 100 000 photons, 1 000 000 photons et 10 000 000 photons

Mais pour gérer des cartographies de photons suffisamment grandes pour que le résultat soit le plus plausible à l'écran, il vous sera sans doute nécessaire d'avoir une forte quantité de mémoire RAM. Par exemple, ces images ont été réalisées avec seulement 512 Mo de mémoire RAM, mais en raison d'un *swapping* important, il a été nécessaire de couper toutes les applications non essentielles.

## Illumination HDRI

Les textures **.hdr** (*high dynamic range*) sont des images spéciales en ce sens qu'elles sont codées sur une plus grande profondeur afin d'enregistrer, en plus des couleurs, l'intensité relative de l'éclairage d'une zone à l'autre de l'image. Si le moteur de rendu le supporte, il est alors possible de prendre en considération ces zones de plus ou moins forte intensité comme source d'éclairage d'une scène, à la place (ou en complément) de textures émissives ou de lampes classiques.

La mise en place d'une texture **.hdr** en guise d'environnement se fait simplement en créant une nouvelle Texture (**Scènes > Textures... > Nouveau**) et en lui conférant le type **Image Mapped**. En cliquant le champ Diffuse, une nouvelle fenêtre apparaît, permettant de charger l'image de son choix (choisissez alors votre image **.hdr**). Ensuite, dans **Scènes > Environnement...**, choisissez **Texture-Diffuse** comme type d'**Environnement**, et choisissez la texture **.hdr** que vous avez créé précédemment. Pensez à **Editer la cartographie** pour modifier les dimensions (généralement, vous fixerez X = 2 et Y = 2) si vous ne voulez pas que des zones noires n'apparaissent dans les reflets, l'arrière-plan ou la source d'éclairage (Figure 10).

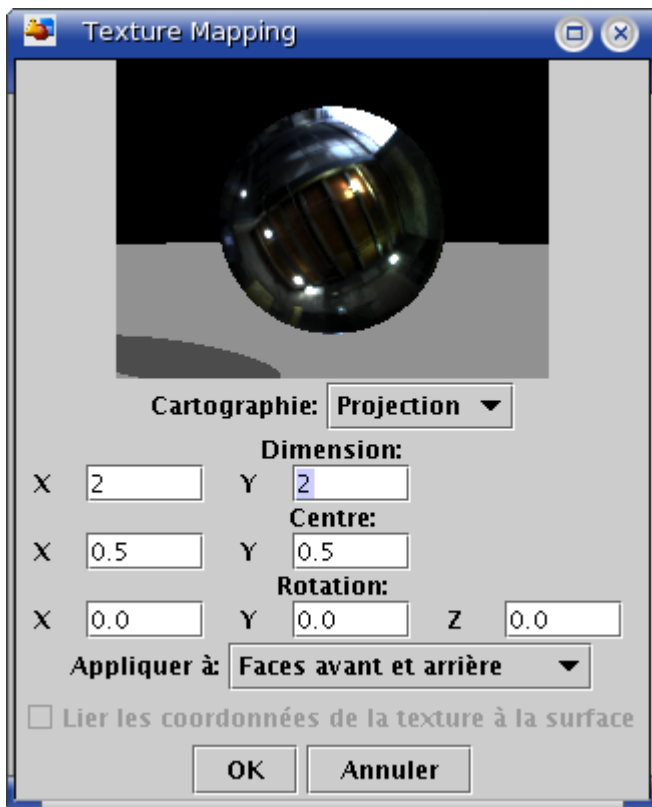


Figure 10: édition de la texture d'environnement

Enfin, de retour dans les propriétés de l'environnement, donnez à **Couleur ambiante** une couleur noire. Enfin, dans les **Options de rendu**, cliquez sur **Illumination...**, et choisissez l'une des méthodes d'illumination, en particulier **Occlusion ambiante** ou **Monte-Carlo.**, très bien adaptés à ce mode mode d'illumination globale (Figure 11).

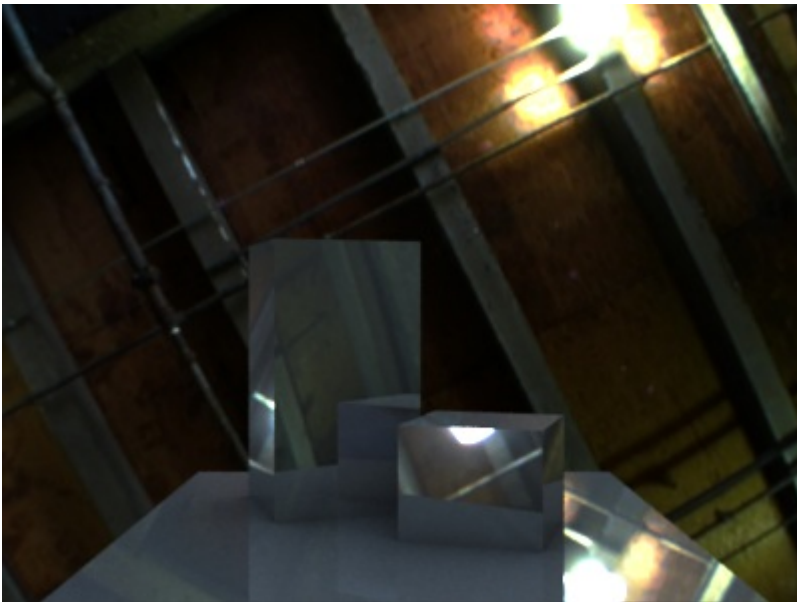


Figure 11: exemple d'illumination hdr par la méthode de l'occlusion ambiante

## Les paramètres pouvant aider les simulations d'illumination globale

Le principal problème rencontré par les différentes méthodes d'illumination globale réside en l'apparition de bruit sur les surfaces éclairées. Si certains artistes aiment bien cet effet secondaire, qui donne du « grain » à leurs images synthétiques, sa présence est généralement malvenue. Nous terminerons donc cet article par

la découverte de paramètres supplémentaires qui aideront à lisser l'éclairage de vos scènes.

**Rayons pour échantillonner l'environnement:** ce paramètre détermine le nombre de rayons qui sont lancés, pour chaque pixel de l'image, afin d'évaluer l'illumination globale. Des valeurs élevées conduisent à une approximation plus fidèle des échanges lumineux, au prix de temps de calculs plus longs. Cette valeur est accessible dans le panneau **Options d'illumination**, et a été mise en évidence dans les figures 5 et 6.

**Rayons/Pixel Min** et **Rayons/Pixel Max:** le moteur de rendu dispose d'un mécanisme d'évaluation automatique du nombre de rayons nécessaires à chaque pixel pour être rendu avec une qualité acceptable. Par exemple, lorsque vous fixez le paramètre **Anti-Crénelage** à la valeur **Maximum**, Art of Illusion fixe automatiquement un minimum de 4 rayons par pixel, et un maximum de 16 rayons par pixel, ce qui est parfait pour lisser le contour des objets dans la plupart des cas. Mais pour lisser la simulation d'illumination globale, il ne faudra pas hésiter à hisser la valeur Min à au moins 32 ou Rayons/Pixel. Ces valeurs sont accessibles dans le panneau **Options de rendu**, et ont été mis en évidence dans la figure 12.

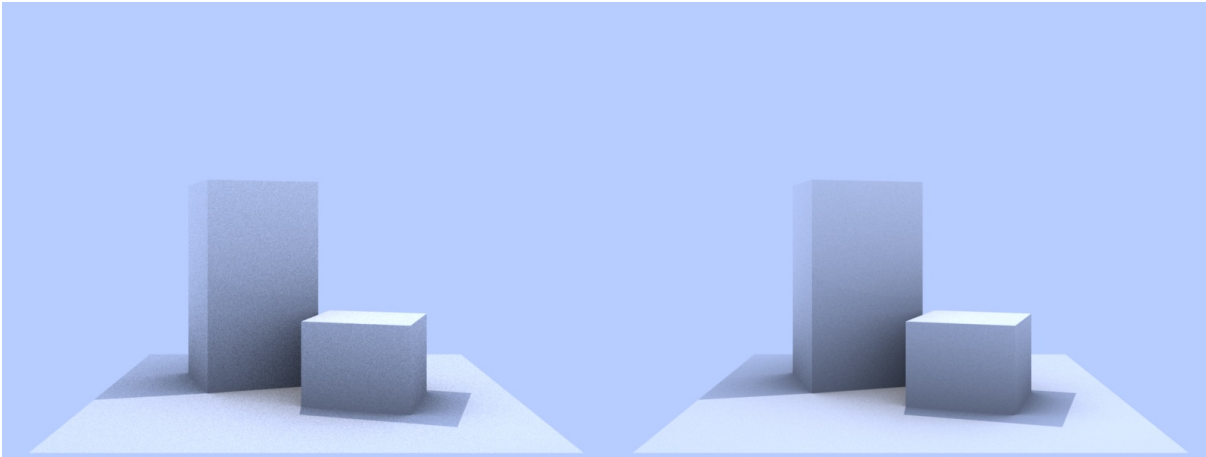


Figure 12: à nombre d'échantillons de l'environnement identique, le nombre de rayons par pixel joue également sur la qualité du résultat

**[encadré]Remarque:** La différence entre les deux paramètres peut ne pas vous paraître claire: **Rayons/Pixel Min**, en déterminant le nombre minimal de rayons lancés pour chaque pixel, détermine la qualité générale du rendu, tandis que **Rayons pour échantillonner l'environnement** détermine seulement le nombre de rayons servant à l'évaluation de l'illumination globale. A qualité d'image finale, augmenter le second conduit à des temps de calcul moindre qu'augmenter le premier.**[fin encadré]**

**#afin d'estimer la lumière:** indique le nombre de photons pris en considération pour « lisser » l'éclairage dans le cadre du calcul d'une cartographie de photons. Plus ce nombre sera élevé, et plus l'éclairage paraîtra homogène. En revanche, l'effet de bruit sera progressivement remplacé par un effet de flou, et les temps de calcul plus élevés. Cette valeur est accessible dans le panneau **Options d'illumination**, et a été mise en évidence dans la figure 13.

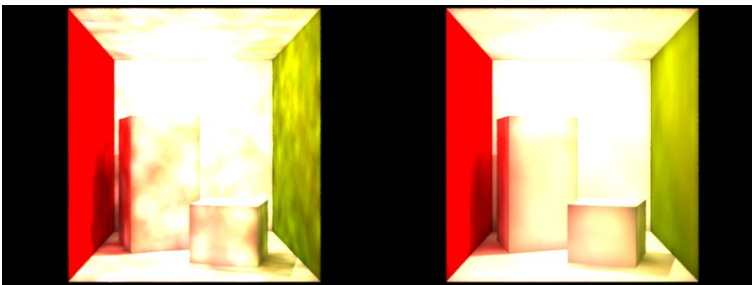
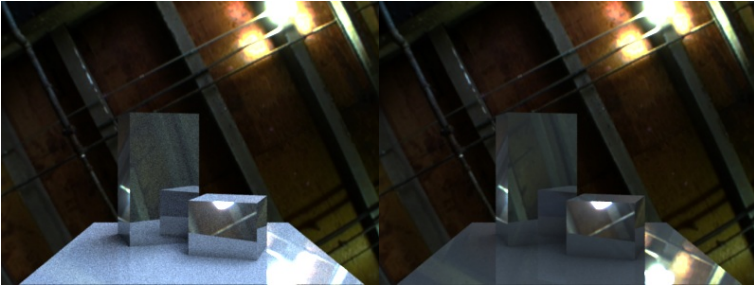


Figure 13: augmenter le nombre de photons permettant d'estimer la lumière revient à diminuer le bruit et à « flouter » les tâches lumineuses sur les surfaces éclairées. Respectivement, 200 photons et 1000 photons servent à l'estimation.

**Lissage additionnel pour l'illumination globale - Environnement:** les techniques d'illumination globale induisent inévitablement plus ou moins de bruit. Ce paramètre permet de lisser un peu plus l'éclairage des surfaces illuminées par cette méthode. En particulier lors d'illumination à partir d'une image HDRI, ne pas hésiter à monter ce paramètre à des valeurs élevées (de l'ordre de 1000) (Figure 14).





*Figure 14: le lissage additionnel de l'illumination globale en provenance de l'environnement est pratiquement indispensable dans le cas d'une illumination à base de texture hdr. A gauche, une valeur de 100 et à droite, une valeur de 1000: sans commentaires!*