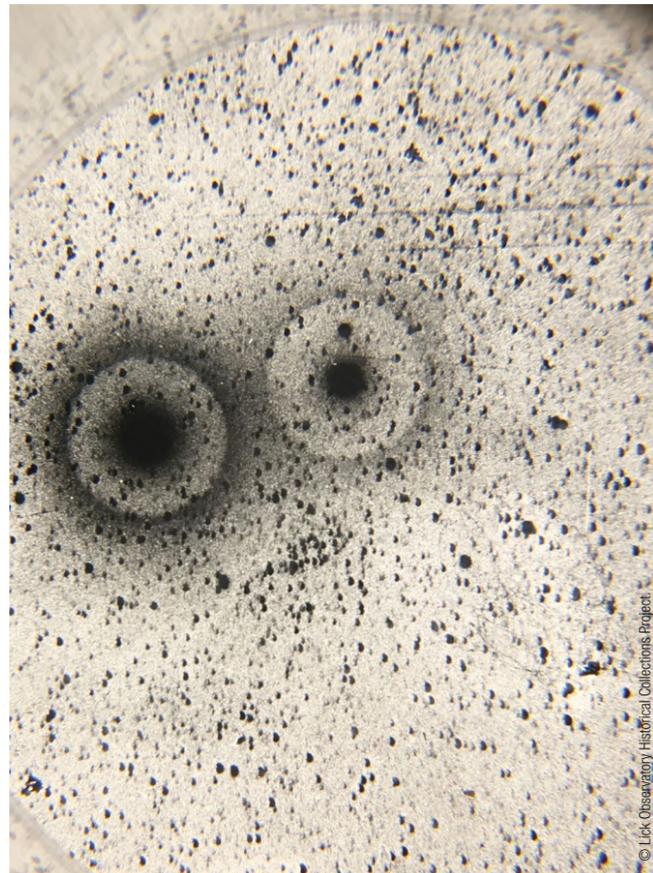


Un étonnant halo lumineux

En éclairant avec un faisceau très fin une surface diffusante vernie, vitrifiée ou plastifiée, la diffusion de la lumière fait apparaître un anneau lumineux autour du point d'impact. Si ce halo n'est pas perceptible dans des configurations usuelles d'éclairage, la compréhension de cet effet permet une description plus précise de la propagation de la lumière dans les matériaux avec un revêtement transparent, et donc de leur apparence.



Photographie sur plaque de verre de la voie lactée (en négatif). E.E. Barnard, vers 1892-1895 - Illustration de halos photographiques autour des deux points les plus lumineux.

Dans les premiers temps de la photographie, une couche d'émulsion était placée sur une plaque de verre. Lorsque les photographes prenaient l'image d'un point lumineux très brillant, la couche photosensible était impressionnée sur une couronne autour de ce point. Scientifique reconnu, Alfred Cornu expliqua dans un article publié en 1890 ce phénomène qu'il nomma halo photographique en raison de son aspect similaire aux halos lumineux que l'on observe parfois autour de la lune, bien que les origines de ces deux phénomènes soient très différents. Il présenta également un moyen d'éliminer efficacement ces effets particulièrement gênants. Les Frères Lumière s'appuyèrent sur cette étude pour commercialiser des plaques photographiques recouvertes d'une couche anti-halo.

Une fois ce défaut réglé, et avec l'évolution des dispositifs photographiques, l'intérêt pour cet effet lumineux cessa rapidement. Le phénomène a été redécouvert dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Pprime, le laboratoire Hubert Curien de Saint-Etienne et l'Institut d'Op-

tique Graduate School. L'objectif était au départ très différent de celui des « lames épaisses » utilisées pour la photographie au XIX^{ème} siècle. Il s'agissait de décrire de la façon la plus complète possible la lumière diffusée par une couche transparente sur un fond diffusant, typiquement une couche de vernis sur une peinture.

INTERFACE ET DIFFUSION

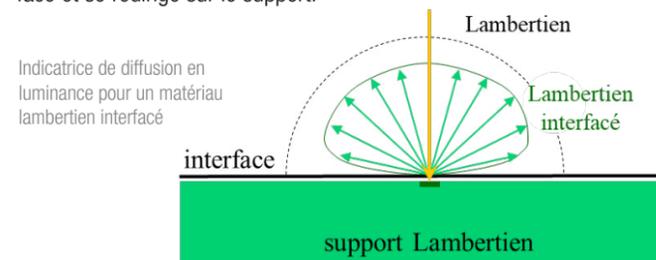
La manière la plus simple pour décrire un matériau fortement diffusant est de considérer que la lumière est diffusée de manière égale dans toutes les directions. Un tel comportement est dit lambertien en référence à Johann Heinrich Lambert qui, au XVIII^{ème} siècle formalisa la photométrie, la science de la mesure de la lumière. Un matériau lambertien a une apparence mate. Il est possible de modéliser un aspect brillant en superposant une interface plane à un support lambertien. Si le matériau devient alors effectivement brillant, il est aussi plus sombre et d'autant plus sombre que l'angle d'illumination est important. C'est encore une fois à partir d'une problématique de photographie que les chercheurs Williams et Clapper du laboratoire de recherche de Kodak à Rochester aux États-Unis proposaient une première description de ce modèle en 1953. Il s'agissait cette fois d'étudier l'influence d'une couche de gélatine sur la réflectance d'un papier photo.

Mais que ce soit un support mat (le modèle lambertien) ou un support mat avec une interface transparente (le modèle « lambertien interfacé »), la lumière est supposée y être diffusée strictement au point d'illumination. Autrement dit, ces modèles ne tiennent pas compte de l'épaisseur d'une couche transparente et des diffusions latérales qui peuvent s'y produire.

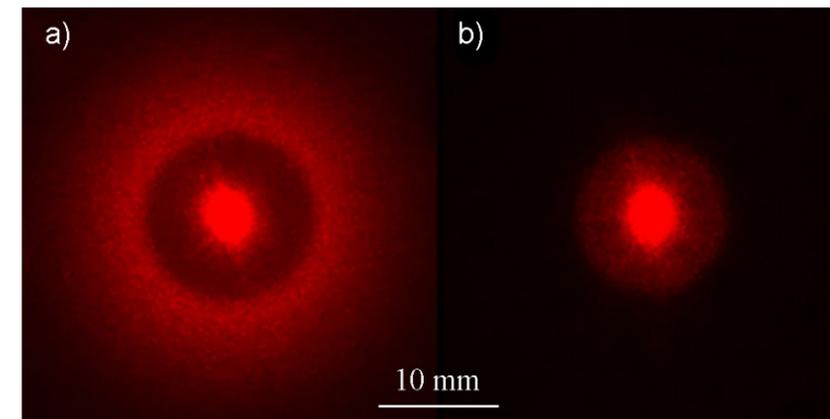
«... la lumière frappe une deuxième fois le support diffusant en formant cet anneau lumineux...»

DES RÉFLEXIONS MULTIPLES

Considérons un faisceau lumineux fin (par exemple un pointeur laser) éclairant un support diffusant avec un revêtement transparent. Il va d'abord traverser l'interface puis frapper le support en un point. La lumière est alors diffusée dans toutes les directions. Une partie de cette lumière va ressortir à l'aplomb de ce point, mais une autre partie, au-delà d'une certaine inclinaison, est totalement réfléchi par l'interface et se redirige sur le support.



Indicatrice de diffusion en luminance pour un matériau lambertien interfacé



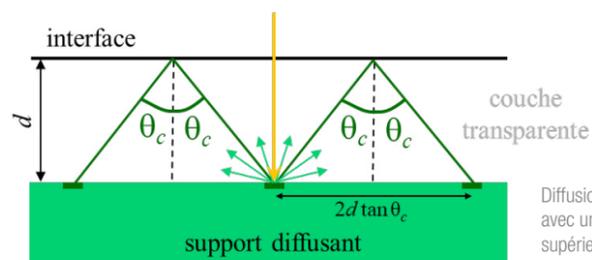
Plaque de verre de 4 mm d'épaisseur sur un papier photographique blanc éclairée par un pointeur laser. (a) Contact optique : la plaque est « collée » au support diffusant à l'aide d'une huile d'indice de réfraction proche de celui du verre, (b) sans contact optique : la plaque est simplement posée sur le support diffusant.

C'est cette propriété de réflexion interne totale qui est utilisée pour transmettre la lumière par fibre optique. Dans cette étude, il n'y a pas de guidage de l'onde car le processus s'arrête dès que la lumière frappe une deuxième fois le support diffusant en formant cet anneau lumineux centré sur le point d'impact. Dans le cas, par exemple d'une couche de verre ou de polymère (indice de réfraction 1.5), le rayon du halo vaut environ 1.8 fois l'épaisseur. Les réflexions multiples ultérieures sans être complètement négligeables, ne participent pas directement à la luminosité de l'anneau. Plus fortes au centre, ces contributions d'ordre supérieur diminuent progressivement en s'en écartant

UN NÉCESSAIRE « CONTACT OPTIQUE »

Si l'on revient au cas d'une plaque de verre photographique, c'est la couche d'émulsion qui joue le rôle de diffuseur et qui est éclairée en premier. Hormis cela, la géométrie est identique et la couche photosensible va être impressionnée sur une couronne autour du point d'impact. Pour éliminer ce halo, il est possible de noircir la face arrière de la plaque photographique. Mais comme l'indiquait Alfred Cornu, ce n'est pas suffisant : il faut en outre que la couche anti-halo ait le même indice de réfraction que la plaque en verre.

Le halo disparaît également lorsqu'il n'y a plus de contact optique, c'est-à-dire en présence d'une couche d'air même très fine entre le support diffusant et le revêtement transparent. En effet, le contact optique est la condition pour que des rayons suffisamment rasants soient diffusés par le support et puissent être réfléchis totalement par l'interface de la couche transparente.



Diffusion latérale et formation du halo sur un support diffusant avec un revêtement transparent. Les rayons diffusés avec un angle supérieur à l'angle critique θ_c sont totalement réfléchis.

L'APPARENCE VISUELLE DES MATÉRIAUX VERNIS

Dans leur étude, les chercheurs proposent une description photométrique complète de la lumière diffusée par une surface vernie. L'application la plus directe de ces travaux est de pouvoir détecter la présence ou l'absence de contact optique et d'estimer l'épaisseur de la couche transparente. Ce comportement photométrique particulier sous forme d'halo n'est pas directement visible sous un éclairage étendu, comme c'est le cas dans les situations courantes. Il est néanmoins probable que cela influence l'apparence visuelle des matériaux vernis. Cela ouvre des perspectives pour la synthèse d'images.

Le renvoi de la lumière par l'interface supérieure a aussi une conséquence bien connue des imprimeurs. En plastifiant une impression en demi-ton, les couleurs obtenues sont plus sombres et plus saturées. Il est ainsi possible d'obtenir les mêmes couleurs en consommant moins d'encre !

Lionel SIMONOT < PPRIME
lionel.simonot@univ-poitiers.fr

Mathieu HEBERT < Laboratoire Hubert Curien
mathieu.hebert@institutoptique.fr

www.pprime.fr

https://laboratoirehubertcurien.univ-st-etienne.fr

www.institutoptique.fr