SURFACES DE LAMBERT, TROLANDS

AUTEUR

Thomas Salmon: Northeastern State University, États-Unis

RÉVISION PAR LES PAIRS

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, États-Unis

CE CHAPITRE INCLUT UNE RÉVISION DE :

- Luminance et éclairement lumineux
- Surfaces de Lambert
- Éclairement rétinien
- Radiateurs à corps noir et température de la couleur

LUMINANCE ET ÉCLAIREMENT LUMINEUX

Les unités photométriques que nous utiliserons le plus souvent sont celles de la luminance et l'éclairement lumineux. Ces deux unités s'appliquent pour des sources étendues et des surfaces. L'unité métrique de base pour la luminance est le nit.

1 nit = 1 candela/m^2

La luminance décrit la quantité d'intensité lumineuse émise par une source étendue ou une surface (en termes de surface projetée) ayant une corrélation avec la brillance perçue. Une propriété intéressante de la luminance est qu'elle ne change pas selon la distance d'observation.

Q. Pouvez-vous expliquer pourquoi la luminance d'un objet ne change pas avec la distance?

A. _____

L'éclairement lumineux décrit la quantité de lumière qui atteint une surface. L'unité métrique de base est le lux. L'éclairement lumineux diminue avec l'inverse du carré de la distance (*loi de l'inverse du carré*). Par exemple, si on double la distance d'une surface par rapport à une source lumineuse, l'éclairement lumineux diminue d'un facteur de 1/4. De plus, une surface aura un éclairement lumineux maximal si la surface est perpendiculaire à la source lumineuse. Si la surface est inclinée, l'éclairement lumineux diminue proportionnellement au cosinus de l'angle d'inclinaison par rapport à la normale de la surface.

1 lux = 1 lumen/m^2

SURFACES DE LAMBERT

La plupart des objets que nous voyons ne sont pas autolumineux mais sont plutôt illuminés par une source lumineuse quelconque – nous voyons donc la lumière réfléchie sur l'objet. Des surfaces extrêmement polies causent des réflexions **spéculaires**. Dans le cas de réflexions spéculaires, une grande partie de la lumière est réfléchie uniquement dans une direction. Les miroirs ou les objets métalliques qui semblent brillants en sont des exemples. D'autres objets ne semblent pas briller; ils ont une apparence matte, car la lumière est réfléchie dans toutes les directions. Ces surfaces sont connues comme étant des **réflecteurs diffus**, **surfaces de Lambert** ou **diffuseur avec réponse en cosinus**. La **loi Cosinus de Lambert** indique que l'intensité lumineuse dans n'importe quelle direction est directement proportionnelle au cosinus de l'angle entre cette direction et la direction d'incidence (angle θ dans la Figure 6-1).

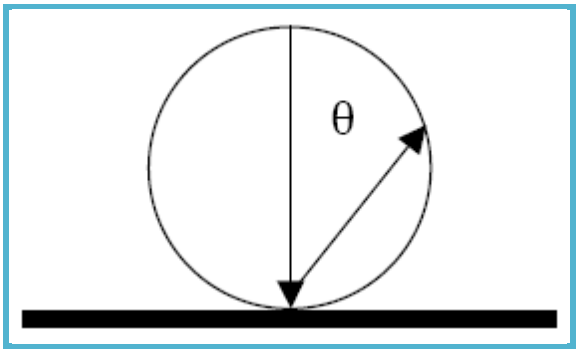

Figure 6-1: *La loi Cosinus de Lambert pour réflecteurs diffus*

Lorsqu'on regarde une surface à réflexion diffuse telle qu'une feuille de papier, son intensité lumineuse diminue avec le cosinus de l'angle d'observation, mais la surface projetée (grandeur) de la feuille diminue aussi avec le cosinus de l'angle d'observation. Ceci mène à une propriété intéressante des surfaces de Lambert : *La luminance (brillance) d'une surface de Lambert demeure constante, peu importe l'angle d'observation.*

RELATION ENTRE ÉCLAIREMENT LUMINEUX ET LUMINANCE

Pour une surface de Lambert qui réfléchit 100% de la lumière incidente (c.-à-d. une feuille de papier pure et blanche), la relation entre l'éclairement lumineux en lux et la luminance en nits est illustrée dans la Figure 6-2.

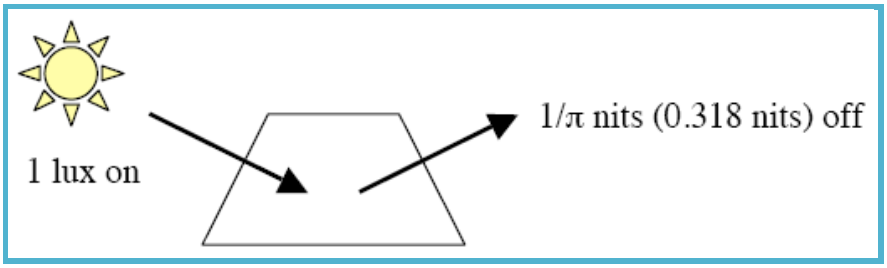

Figure 6-2: *Pour une surface de Lambert qui réfléchit à 100%, 1 lux d'éclairement lumineux produit 1/ nits de luminance.*

Afin de simplifier les calculs avec les surfaces de Lambert, une autre unité pour la luminance a été créée : l'apostilbs. Un apostilb est égal à 1/π nits, alors lorsqu'on mesure la luminance en apostilbs, la relation entre l'éclairement lumineux et la luminance est montrée dans la Figure 6-3.

1 apostilb = 1/π candelas/m^2 = 1/π nits

SURFACES DE LAMBERT (SUITE)

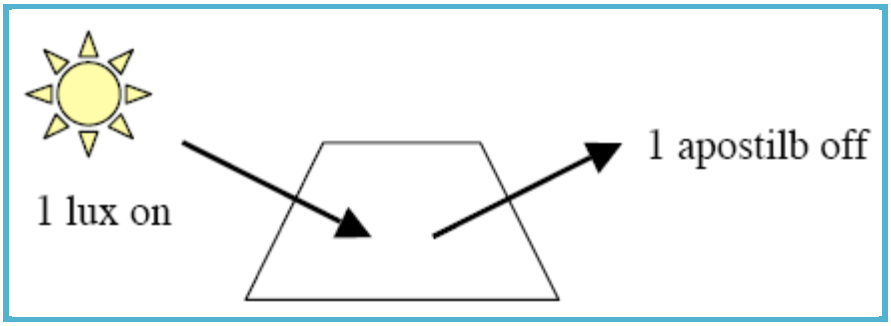

Figure 6-3: *La relation entre l'éclairement lumineux et la luminance lorsqu'on utilise les apostilbs pour la luminance. La relation 1 : 1 entre lux et apostilbs s'applique uniquement pour une surface de Lambert réfléchissante à 100%. Pour une surface qui réfléchit 50%, la relation est directe, mais le ratio lux : apostilb serait 2 : 1, comme c'est illustré sur la Figure 6-4.*

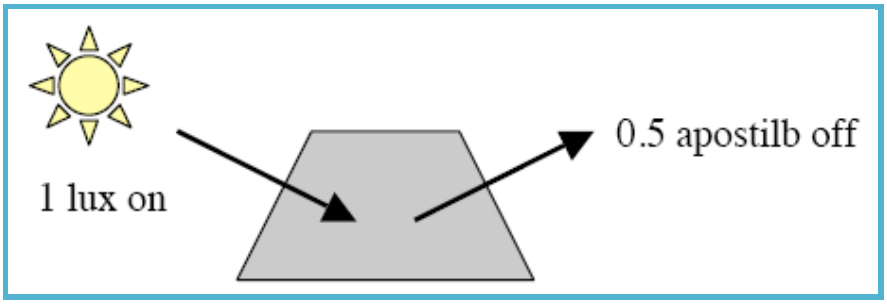

Figure 6-4: *Illustration d'une surface de Lambert qui réfléchit 50% de la lumière incidente*

Les unités anglaises pour l'éclairement lumineux et la luminance (pour les surfaces de Lambert) sont résumées dans le Tableau 6-1 ci-dessous. Remarquez le parallèle avec les unités métriques. Lorsque les unités anglaises sont utilisées, la relation entre les pieds-bougies d'éclairement lumineux et les pieds-lambert de luminance est la même que celle de la Figure 6-3, sauf que les unités sont en pieds-bougies (éclairement lumineux) et pieds-lambert (luminance); c'est-à-dire, 1 pied-bougie « *on* » produit 1 pied-lambert « *off* ».

Tableau 6-1: *Unités anglaises et métriques pour l'éclairement lumineux et la luminance.*

QUANTITÉ PHOTOMÉTRIQUE	UNITÉ ANGLAISE	UNITÉ MÉTRIQUE
Éclairement lumineux	Pied-bougie 1 lumen/ft^2	Lux 1 lumen/m^2
Luminance (surfaces de Lambert)	Pied-lambert 1/π candelas/ft^2	Apostilb 1/π candelas/m^2

Notez: *ces exemples supposent que la surface de Lambert réfléchit 100% de la lumière. Ce n'est pas le cas pour toutes les surfaces de Lambert. Par exemple, une surface de Lambert grise pourrait réfléchir 50% de la lumière et la luminance résultante serait réduite de 50%.*

SURFACES DE LAMBERT (SUITE)

ÉCLAIREMENT RÉTINIEN

L'éclairement rétinien fait référence à la quantité de lumière qui atteint la rétine, comme pour l'image rétinienne d'un objet. Elle demeure constant pour toutes distances objet – si on regarde un objet, il ne devient pas plus sombre lorsqu'il s'éloigne. Par contre, selon la loi de l'inverse du carré, l'éclairement lumineux qui atteint un œil diminue selon le carré de la distance. La superficie de l'image rétinienne diminue aussi selon le carré de la distance, donc l'éclairement rétinien demeure constant.

L'éclairement rétinien est directement proportionnel à la luminance de l'objet et à l'aire de la pupille et il est calculé avec une formule simple :

Troland = (luminance de l'objet en nits) x (aire de la pupille en mm^2)

Une erreur courante dans le calcul de l'éclairement rétinien est d'utiliser le diamètre de la pupille au lieu du rayon pour trouver l'aire. Les exemples suivants montrent comment calculer l'éclairement rétinien.

Exemple 1

Supposons que vous regardez une feuille de papier en plein soleil. Quel serait l'éclairement rétinien pour l'image de la feuille sur votre rétine, en supposant que la luminance d'une feuille de papier en plein soleil est d'environ 10 000 nits (référez-vous au Tableau 3-1 de Schwartz, 2004) et que le diamètre de la pupille est de 2.0mm?

Aire de la pupille = $\pi r^2 = (\pi 1^2) = 3.14$ mm^2

Éclairement rétinien = (10,000 nits) $\times$ (3.14 mm^2) = 31,400 trolands

Exemple 2

Quel serait l'éclairement rétinien si vous regardez une feuille blanche à la lumière stellaire (luminance = 0.0001 nits; référez-vous au Tableau 3-1 de Schwartz, 2004) et que le diamètre pupillaire est de 8 mm?

Aire de la pupille = $\pi r^2 = (\pi 4^2) = 50$ mm^2

Éclairement rétinien = (0.0001 nits) $\times$ (50 mm^2) = 0.005 trolands

RADIATEURS À CORPS NOIR ET TEMPÉRATURE DE LA COULEUR

Les ampoules incandescentes produisent de la lumière lorsqu'un courant électrique passe à travers le filament pour le chauffer et ainsi le faire rougeoyer. Vous supposez peut-être qu'une lumière blanche contient autant de puissance rayonnée pour toutes les longueurs d'onde, mais ce n'est pas nécessairement vrai. Il y a des lumières 'blanches' qui produisent relativement davantage de puissance pour les longues longueurs d'onde, alors que d'autres en produisent davantage pour de courtes longueurs d'onde. Un graphique pour l'énergie relative produite par une source lumineuse dans le spectre visible complet peut être dessiné pour montrer les trois sources de lumière blanche standards. Des illuminations standards A, B et C sont illustrées. L'illumination A représente la lumière d'une ampoule incandescente d'une maison typique. Cette ampoule produit davantage d'énergie à des longues longueurs d'onde, donc il y a des nuances de rouges subtiles. **L'illumination standard C** est recommandée pour plusieurs tests de vision des couleurs, car elle reste relativement égale (plate) au milieu du spectre visible. Le spectre énergétique produit par une source lumineuse peut être spécifié par les graphiques mentionnés plus haut, ou par la **température de sa couleur**. Chaque illumination standard a sa propre température de couleur. Il y a un spectre énergétique associé à chaque température de couleur, basé sur le concept d'un **radiateur à corps noir**.

Un radiateur à corps noir est un objet hypothétique qui rougeoie lorsqu'il est chauffé et émet de la radiation électromagnétique. Le spectre énergétique exact qui est produit dépend de la température du radiateur à corps noir. Pour de basses températures, il aura davantage de longues longueurs d'onde; alors qu'on augmente la température, le pic (longueur d'onde ayant la plus grande énergie) est graduellement décalé vers les courtes longueurs d'onde. Imaginez si vous chauffez un morceau d'acier. Au début, il s'illumine en rouge mais au fur et à mesure que sa température augmente, il devient orange, puis jaune et puis bleu.

RADIATEURS À CORPS NOIR ET TEMPÉRATURE DE LA COULEUR

Ceci est exprimé dans la **loi du déplacement de Wien**, qui affirme que la longueur d'onde pic est inversement proportionnelle à la température. La **loi de Stefan-Boltzmann** dit que la puissance totale contenue dans une source est proportionnelle à la température élevée à la puissance 4. Le pic du spectre énergétique pour un radiateur à corps noir avec différentes températures change avec l'augmentation de température, et l'aire sous les courbes (puissance totale) augmente aussi avec la température. Il y a des sources de lumière incandescentes qui produisent un spectre énergétique similaire à un radiateur à corps noir à une certaine température et c'est ce qu'on appelle la température de la couleur d'une source lumineuse. Ceci est une façon pratique de spécifier la production spectrale d'une source lumineuse.

Notre système visuel ne compense pas bien les différences de couleurs pour des sources de lumière blanche différentes, mais les caméras ont parfois encore plus de difficulté. Afin de bien équilibrer les couleurs pour des sources de lumière « blanche », il est parfois nécessaire d'ajuster la configuration 'équilibre blanc' (white setting). La Figure 6.5 montre quatre photos d'une même scène prise avec différentes configurations d'équilibre blanc. La salle était illuminée par des lumières fluorescentes, mais reçoit aussi beaucoup de lumière des fenêtres. C'était une journée nuageuse à ciel couvert à environ 11h00 dans l'est du Oklahoma. Essayez d'expliquer pourquoi les différentes configurations donnent des teintes particulières à la photo.

FIGURE 6-5

Figure 6-5 (a): *Incandescent*

Figure 6-5 (b): *Fluorescent*

Figure 6-5 (c): *Nuageux*

Figure 6-5 (d): *Lumière du jour*

FILTRES (COLORÉS ET DE DENSITÉ NEUTRE)

Les pages 79-85 de Schwartz, 2004 Chapitre 4, résument les filtres colorés et de densité neutre.
Étudiez ces sections par vous-mêmes.

LECTURES RECOMMANDÉES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004