

M2-Images

Matières

J.C. Iehl

November 12, 2009

Résumé des épisodes précédents

introduction aux éléments de base du lancer de rayons :

- ▶ modèles d'objets,
- ▶ transformations,
- ▶ intersections rayon / objet,
- ▶ accélération des calculs d'intersections,
- ▶ notions de sources de lumières,
- ▶ notions d'énergie, de couleur, et de matières.

et alors ?

Lancer de rayon

ne pas confondre :

- ▶ l'algorithme de calcul d'intersections : déterminer la visibilité de 2 points,
- ▶ l'algorithme de calcul d'images (qui utilise le calcul de visibilité).

La suite ...

précisions :

- ▶ énergie,
- ▶ matière,
- ▶ interaction énergie / matière,
- ▶ transport d'énergie (entre 2 points).

Description de matières

forme générale BSSRDF :

$$f_r(\vec{l}, \rho_l, \lambda_l, \vec{o}, \rho_o, \lambda_o)$$

mais, en général, on utilise la forme simplifiée, la BRDF :

$$f_r(R,G,B)(\vec{l}, \rho, \vec{o})$$

pas de polarisation, d'interférences, de fluorescence, l'énergie est réfléchi au point d'incidence.

Description de matières :



Description de matières :



Description de matières

plusieurs types de descriptions :

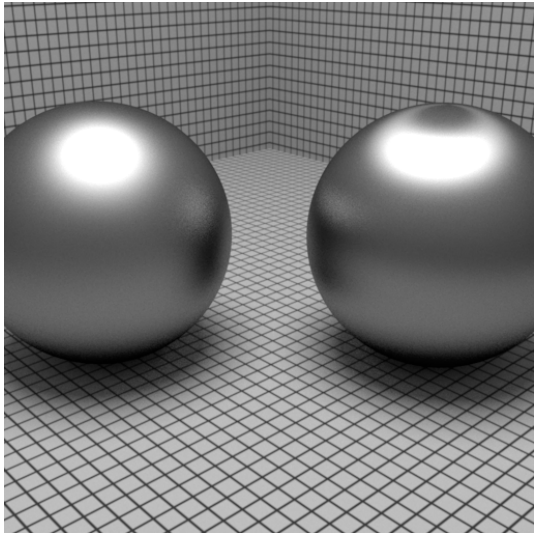
- ▶ basées sur la physique,
- ▶ basées sur l'optique géométrique,
- ▶ basées sur des mesures de matières réelles,
- ▶ empiriques, basées sur les phénomènes observés (cf. notions de matières).

Modèles empiriques

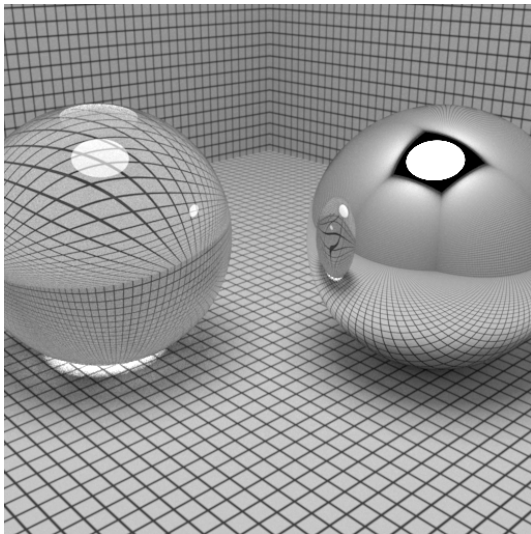
basés sur des phénomènes observés :

- ▶ présence / absence d'un reflet,
- ▶ forme (symétrique ou non) du reflet,
- ▶ position et aspect du reflet ("net" ou "flou"),
- ▶ couleur du reflet,
- ▶ matière opaque ou transparente,
- ▶ ...

Exemples



Exemples



Modèles empiriques

matière = surface optique + volume intérieur :

- ▶ la surface disperse la lumière mais ne l'absorbe pas,
- ▶ elle est réfléchiée et / ou transmise vers l'intérieur,
- ▶ l'intérieur absorbe, transmet et réfléchit la lumière.

en général :

la surface à un comportement spéculaire et l'intérieur est considéré diffus.

Comportement mat / diffus

$$f_{r(R,G,B)}(\vec{l}, p, \vec{o}) = (0 < \text{constante}_{(R,G,B)} < 1)$$

Comportement spéculaire

équations de Fresnel :

- ▶ une partie de l'énergie est réfléchiée par la surface optique,
- ▶ le reste est réfracté (transmis de l'autre coté) vers l'intérieur,
- ▶ la quantité d'énergie réfléchiée dépend de l'angle d'incidence θ_I .

les coefficients de Fresnel sont connus pour beaucoup de matières à incidence normale ($\theta_I = 0^\circ$).

interpolation pour les autres angles, la quantité d'énergie réfléchiée tend vers 1 à incidente rasante ($\theta_I = 90^\circ$)

Comportement spéculaire

$$f_r(R,G,B)(\vec{l}, p, \vec{r}) = R_{Fresnel}(\theta_l)$$

et

$$R_{Fresnel}(\theta) = R_{Fresnel}(0^\circ) + (1 - R_{Fresnel}(0^\circ))(1 - \cos \theta)^5$$

avec $R_{Fresnel}(0^\circ) =$ valeur mesurée.

remarque :

pour les matières transparentes, on connaît souvent l'indice de réfraction n :

$$R_{Fresnel}(0^\circ) = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

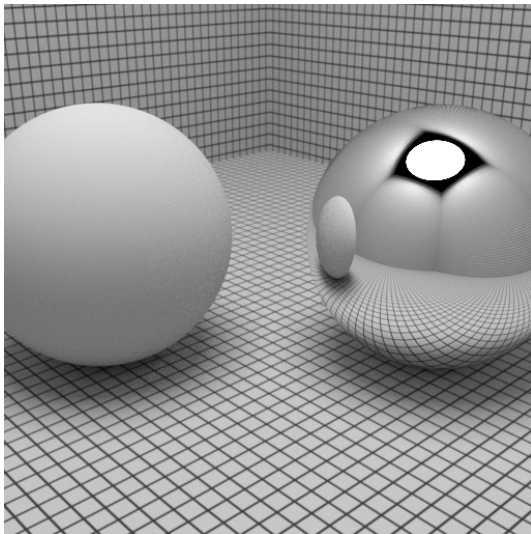
Matières opaques

en utilisant ces 2 comportements :

- ▶ aspect purement diffus / mat,
- ▶ aspect purement spéculaire (miroir, reflet "net"),
- ▶ aspect "verni", plastique, ...

comment représenter un aspect réfléchissant (reflet "flou") ?

Exemples :



Comportement réfléchissant (reflet "flou")

pourquoi ?

- ▶ les matières présentant un reflet "flou" ne sont pas polies / lisses : leurs surfaces sont rugueuses,
- ▶ comment représenter ce type de surfaces ?

2 modèles :

- ▶ un, complètement empirique,
- ▶ l'autre, basé sur un ensemble de micro-facettes orientées et spéculaires.

micro-géométrie / micro-facettes : perturbations de la surface non observables.

Comportement réfléchissant : modèle de Blinn-Phong

$$f_{r(R,G,B)}(\vec{l}, p, \vec{o}) = \frac{m+2}{2} \cos^m \theta_h$$

avec θ_h l'angle entre \vec{n}_p et $\vec{h} = \frac{1}{2}(\vec{l} + \vec{o})$.

pourquoi \vec{h} ?

si $\theta_h = 0$, \vec{n} et \vec{h} sont confondus et \vec{o} est la direction miroir de \vec{l} , l'observateur est dans le reflet.

ou : \vec{h} est la direction que devrait avoir la normale pour que l'observateur soit dans le reflet.

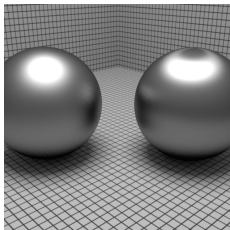
Comportement réfléchissant : modèle de Blinn-Phong

autre interprétation :

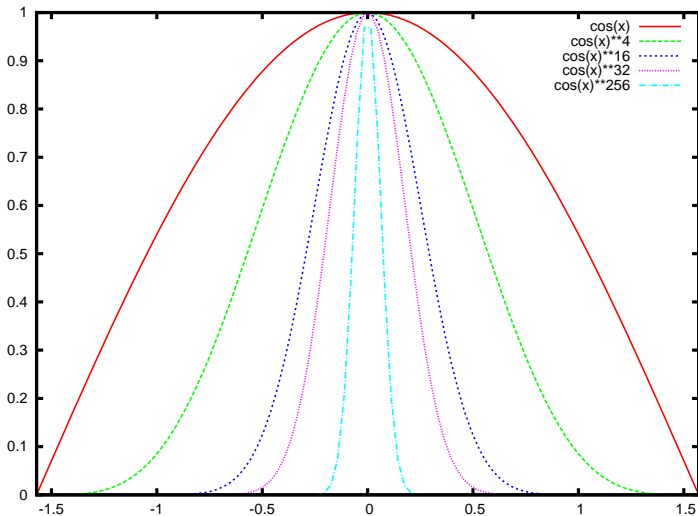
- ▶ $\cos^m \theta_h$ représente la quantité de micro-facettes correctement orientées, pour créer un reflet dans la direction \vec{o} .
- ▶ m décrit la "taille" du reflet.

mais :

le reflet est toujours symétrique (isotrope).



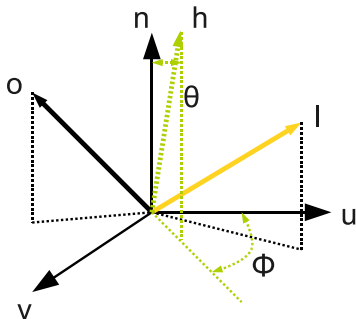
Exemple : $\cos^m(\theta)$



Comportement réfléchissant : modèle anisotrope

comment "déformer" le reflet ?

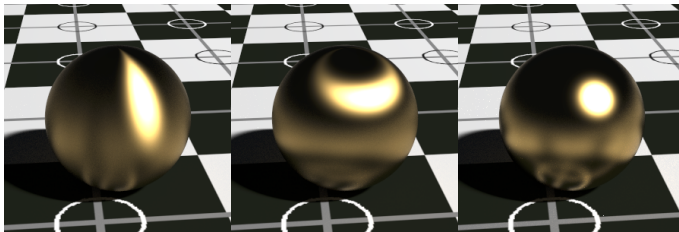
placer un repère local sur le point et utiliser θ_h et ϕ pour paramétrer la forme du reflet.



Comportement réfléchissant : modèle anisotrope

exemple :

- ▶ paramétrer une ellipse : $\cos(n_u \cos^2 \phi + n_v \sin^2 \phi) \theta_h$
- ▶ au lieu d'un cercle : $\cos^m \theta_h$ ou $n_u = n_v$



Comportement réfléchissant : modèle anisotrope

$$f_{r(R,G,B)}(\vec{l}, p, \vec{o}) = \sqrt{(n_u + 1)(n_v + 1)} \cos^{(n_u \cos^2 \phi + n_v \sin^2 \phi)} \theta_h$$

paramètres :

- ▶ n_u et n_v représentent les rayons de l'ellipse,
- ▶ \vec{u} et \vec{v} sur le plan tangent au point p .

Comportement réfléchissant : modèle de Cook-Torrance

surface rugueuse :

- ▶ décrire la micro-géométrie de la surface,
- ▶ déterminer la quantité d'énergie réfléchie dans la direction \vec{o} .

c'est déjà ce que fait le modèle empirique (Blinn-Phong) ...

faire mieux :

- ▶ toutes les facettes ne reçoivent pas de l'énergie (ombres ...),
- ▶ toutes les facettes ne réfléchissent pas de l'énergie dans la direction \vec{o} (masquage ...)

Comportement réfléchissant : modèle de Cook-Torrance

modèles probabilistes de surfaces :

$$D(\cos \theta) = \frac{1}{m^2 \cos^4 \theta} \exp \left(\frac{\cos^2 \theta - 1}{m^2 \cos^2 \theta} \right) \quad (\text{Cook-Torrance})$$

$$D(\cos \theta) = \frac{m + 2}{2} \cos^m \theta \quad (\text{Blinn-Phong})$$

$$D(\vec{h}) = \exp \left(-\tan^2 \theta \left(\cos^2 \phi / \sigma_u^2 + \sin^2 \phi / \sigma_v^2 \right) \right) \quad (\text{Ward})$$

$$D(\vec{h}) = \dots$$

Comportement réfléchissant : modèle de Cook-Torrance

$$f_r(\vec{l}, \mathbf{p}, \vec{o}) = \frac{D(\cos \theta_h) G(\vec{l}, \vec{o}) R_{Fresnel}(\theta_l)}{4 \cos \theta_o \cos \theta_l}$$

mais, toutes les facettes ne contribuent pas au reflet :

$$G(\vec{l}, \vec{o}) = \min \left(1, \frac{2 \cos \theta_h \cos \theta_o}{\cos \theta_{oh}}, \frac{2 \cos \theta_h \cos \theta_l}{\cos \theta_{ol}} \right)$$

Exemples :



Comportement réfléchissant : détails

Cook-Torrance :

[A Reflectance Model for Computer Graphics](#)

Approximations efficaces (et pratiques) :

[An Inexpensive BDRF Model for Physically based Rendering](#)

Autre solution simple et moderne :

[A Microfacet-based BRDF Generator](#)

Empiler plusieurs couches de matières :

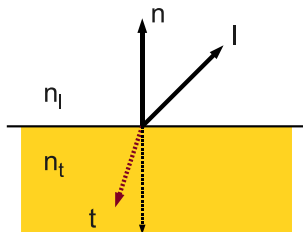
[Arbitrarily Layered Micro-Facet Surfaces](#)

Matières transparentes

équations (de réfraction) de Fresnel :

$$T_{Fresnel}(\theta_l) = 1 - R_{Fresnel}(\theta_l)$$

l'énergie est réfractée avec un angle de θ_t puis absorbée dans l'épaisseur de l'objet.



Matières transparentes

loi de Descarte / Snell :

$$n_t \sin \theta_t = n_l \sin \theta_l$$

$$\sin \theta_t = \frac{n_l}{n_t} \sin \theta_l$$

mais :

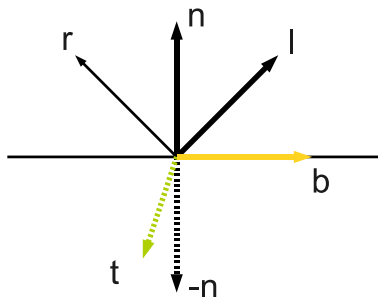
$\sin \theta_t$ n'est pas toujours défini : $\frac{n_l}{n_t} \sin \theta_l > 1$,

il n'y a pas de réfraction dans ce cas : réflexion totale interne.

Matières transparentes

déterminer la direction réfractée \vec{t}

- ▶ $\vec{l} = \cos \theta_i \vec{n} + \sin \theta_i \vec{b}$
- ▶ $\vec{t} = -\cos \theta_t \vec{n} - \sin \theta_t \vec{b}$



Matières transparentes

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\vec{b} = \frac{\vec{l} - \cos \theta_l \vec{n}}{\sin \theta_l} = \frac{\vec{l} - \cos \theta_l \vec{n}}{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_l}}$$

$$\vec{t} = -\sin \theta_t \left(\frac{\vec{l} - \cos \theta_l \vec{n}}{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_l}} \right) - \sqrt{1 - \sin^2 \theta_t} \vec{n}$$

Matières transparentes

absorption dans l'objet :

$$L_{(R,G,B)}(d) = T_{Fresnel}(\theta_I) \exp^{-\log(a_{(R,G,B)})d}$$

avec a : facteur d'atténuation après un parcours d'une unité de distance, et d : distance parcourue dans l'objet.

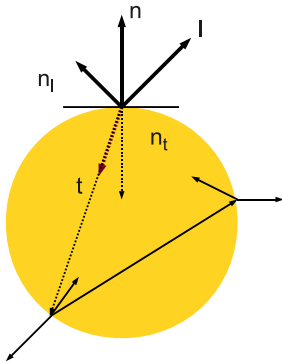
Matières transparentes : résumé

plusieurs paramètres :

- ▶ indice de réfraction n , ou $n_{(R,G,B)}$
- ▶ facteur d'absorption a , ou $a_{(R,G,B)}$.

Matières transparentes : lancer de rayons

- ▶ 1ère réfraction : entrée dans l'objet,
- ▶ 2ième réfraction : sortie de l'objet + absorption sur le trajet.



attention : pour sortir de l'objet, penser à inverser n_i et n_t et la normale (orientée vers l'origine du rayon) !!

Matières transparentes : lancer de rayons

problème :

suivre tous les rayons est récursif !

quel critère d'arrêt ?

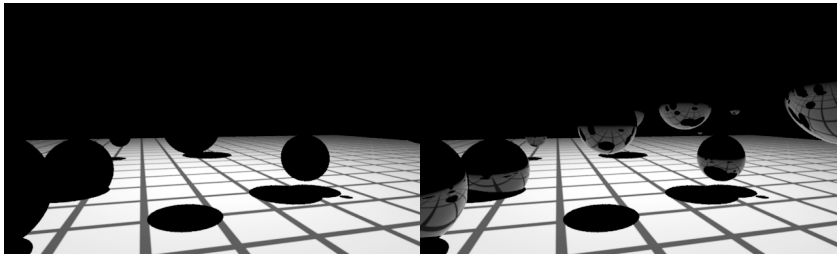
solutions classiques :

- ▶ arreter apres quelques rebonds,
- ▶ estimer la contribution de chaque rayon et arreter lorsqu'elle est trop faible.
- ▶ mais ce n'est pas parfait ...

Exemples :



Exemples :



Exemples :

