

Modèles de matériaux

Nicolas Holzschuch
iMAGIS-GRAVIR/IMAG

iMAGIS is a joint project of CNRS - INPG - INRIA - UJF



Illumination et ombrage

- Représenter l'apparence d'un objet sous l'influence de la lumière
 - Réflexion
 - Réfraction
 - Transparence
- Modèles de matériaux
 - Heuristiques (hacks) : Phong
 - Basés sur la physique : Torrance-Sparrow, Ward



Plan

- Modèles de matériaux :
 - Réflexion ambiante
 - Réflexion diffuse
 - Réflexion spéculaire
 - Modèle de Phong
- Interpolation :
 - Ombrage de Gouraud, ombrage de Phong
 - Problèmes avec l'interpolation



Illumination

- Les objets sont éclairés
 - On suppose une source ponctuelle
- On exclut toute interaction entre les objets
 - Pas d'ombres, pas de reflets, pas de transfert de couleurs
- Calculer la couleur des objets en tout point



Réflexion ambiante

- La couleur ne dépend pas de la position, uniquement de l'objet :
 $I = I_a k_a$
- I_a : lumière ambiante
- k_a : coefficient de réflexion ambiante
- Modèle très primitif
 - Pas de sens physique possible
 - La forme des objets est invisible
 - Mais néanmoins très utile pour masquer les défauts des autres modèles



Réflexion ambiante



ka augmente



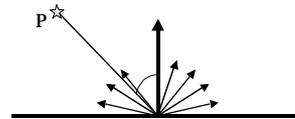
Réflexion diffuse

- Matériaux mats
- La lumière de la source est réfléchiée dans toutes les directions
- L'aspect de l'objet est indépendant de la position de l'observateur
 - Pour ce qui est de la couleur
- Ne dépend que de la position de la source :
 $I = I_p k_d \cos$



Réflexion diffuse

- $I = I_p k_d \cos$
- I_p : source ponctuelle
- k_d : coefficient de réflexion diffuse
- : angle entre la source et la normale





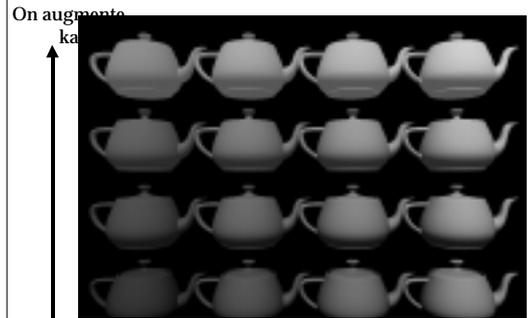
Réflexion diffuse seule



On augmente k_d ($k_a=0$)



Diffuse + ambient

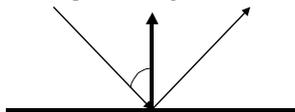


On augmente k_d



Réflexion spéculaire

- Miroirs parfaits
- Loi de Descartes :
 - La lumière qui atteint un objet est réfléchiée dans la direction faisant le même angle avec la normale
 - Loi de Snell pour les anglo-saxons





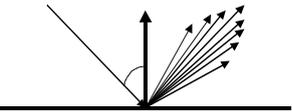
Réflexion spéculaire : problème

- Avec une source ponctuelle et pas de reflets, l'effet n'est visible qu'en un seul point de la surface
- Modèle très pratique pour l'éclairage indirect
 - Reflets, ombres...



Modèle de Phong

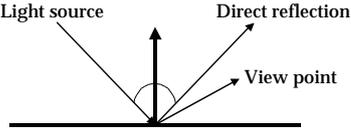
- Réflecteur spéculaire imparfait :



MAGIS

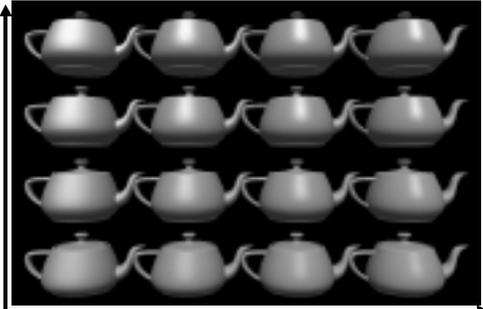
Modèle de Phong

- $I = I_p k_s (\cos \theta)^n$



MAGIS

Modèle de Phong



ks

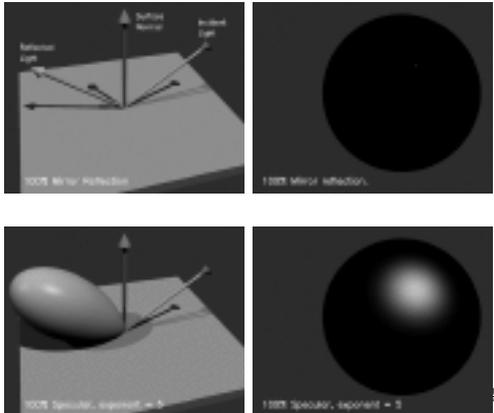
On augmente n

MAGIS

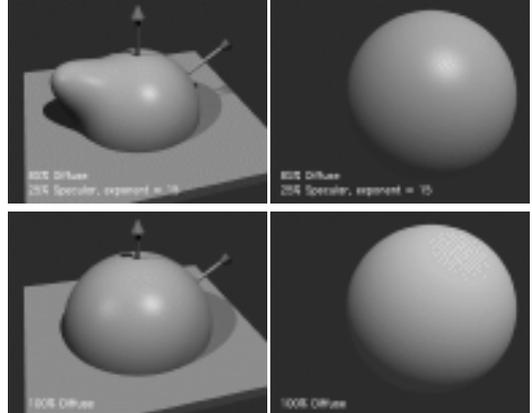
En pratique

- On les mets tous ensemble : $I = I_a k_a + I_p k_d \cos \theta + I_p k_s (\cos \theta)^n$
- Plusieurs sources lumineuses : somme des intensités
- Modèle de matériaux des bibliothèques graphiques

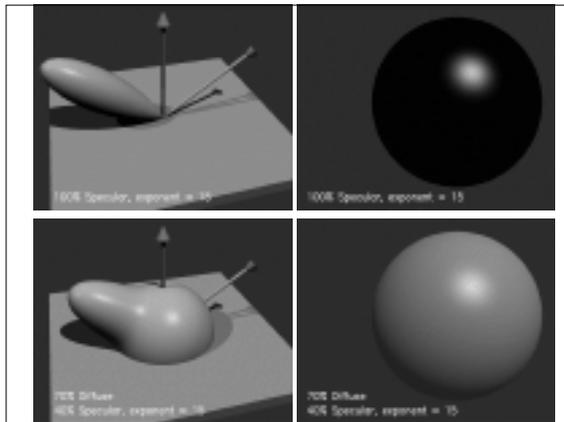
MAGIS



MAGIS



MAGIS



Modèle de Torrance

- Cook-Torrance, Torrance-Sparrow...
- Le modèle de Phong n'a pas de sens physique
 - Très pratique
 - Rapide à calculer
 - Mais pas de lien avec les propriétés du matériau
 - Rugosité
- Modèle physique
 - Lié aux propriétés des objets
 - Mais... plus complexe

MAGIS

Modèle de Cook-Torrance

- Fondements physiques
- La surface est représentée par une distribution de micro-facettes
- Produit de trois termes :
 - coefficient de Fresnel
 - distribution angulaire
 - auto-ombrage

$$R_s = F D G$$

MAGIS

Fresnel

$$F = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta - \theta_t)}{\sin^2(\theta + \theta_t)} + \frac{\tan^2(\theta - \theta_t)}{\tan^2(\theta + \theta_t)} \right]$$

θ = angle d'incidence

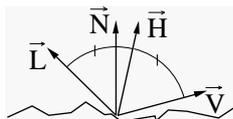
θ_t = arcsin($n_2/n_1 \sin \theta$)

- [n = indice de réfraction]

MAGIS

Distribution des micro-facettes

Probabilité qu'une micro-facette soit orientée dans la direction médiane entre la source et l'observateur.



MAGIS

Distribution des micro-facettes

- Gaussienne
- Beckmann (1963)

$$D = \frac{1}{4m^2 \cos^4 \theta} e^{-\tan^2 \theta / m^2}$$

MAGIS

Auto-ombrage

Auto-ombrage



Masquage de la surface par elle-même



iMAGIS
BRUNO CAUVET / IMAG

Modèle de Ward

- Mesures physiques sur les objets
 - Gonio-réfectomètre
 - Série de données
- Lissées par des gaussiennes
- Modèle anisotrope

iMAGIS
BRUNO CAUVET / IMAG

Ombrage d'un objet entier

- Pour l'instant, calculs d'éclairage ponctuels
- Éviter de calculer l'éclairage pour tous les pixels de l'écran
- Illumination constante pour chaque polygone
 - Éventuellement en augmentant le nombre de polygones
 - Problème : *Mach banding*

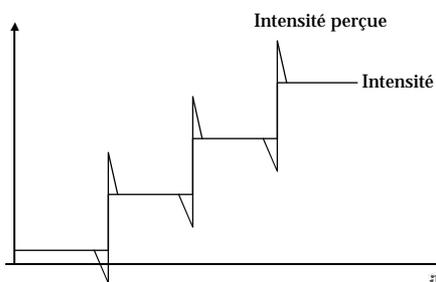
iMAGIS
BRUNO CAUVET / IMAG

Mach Banding

- L'œil est un réflecteur logarithmique
 - cf. plus haut
- L'œil exagère les changements d'intensité et les changements de pente de l'intensité
 - Appelé *Mach banding*
- Ça va poser des problèmes

iMAGIS
BRUNO CAUVET / IMAG

Mach banding



iMAGIS
BRUNO CAUVET / IMAG

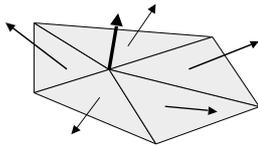
Interpolation de l'illumination

- Interpolation de Gouraud
 - Calculer la couleur pour chaque sommet, puis on interpole
- Quelle est la normale d'un sommet ?
 - Si la surface de départ est analytiquement connue, on extrait les normales
 - Si la donnée de départ est un maillage polygonal ?

iMAGIS
BRUNO CAUVET / IMAG

Interpolation de Gouraud

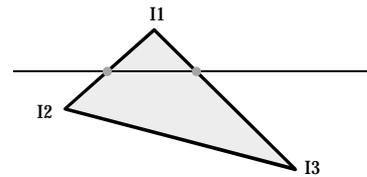
- Normale d'un sommet :
 - Moyenne des normales aux polygones voisins du sommet



MAGIS

Interpolation de Gouraud

- Quand on a la normale à un sommet :
 - On calcule la couleur pour ce sommet
- Puis on interpole suivant chaque scanline :



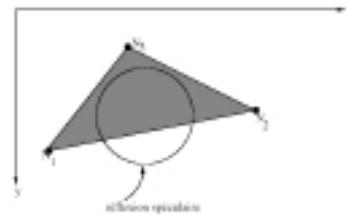
MAGIS

Interpolation de Phong

- Au lieu d'interpoler les couleurs, on interpole les normales
 - Sur chaque arête
 - Sur chaque scanline
- Plus lent que Gouraud, mais nettement plus beau
- Permet de calculer les effets spéculaires contenus dans une facette

MAGIS

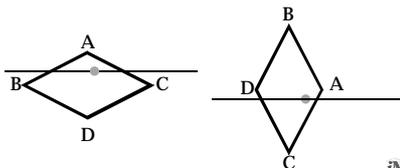
Effets spéculaires dans une facette



MAGIS

Problèmes avec l'interpolation

- La silhouette reste polygonale
 - Il suffit d'ajouter plus de polygones
- Dépend de l'orientation :



MAGIS

Ombrage et interpolation

- Le réalisme se paie
- Échange entre qualité et temps
- La plupart du temps, des hacks qui sont jolis
- La simplicité de l'algorithme est cruciale :
 - Ombrage de Gouraud fait en hardware sur la plupart des cartes
 - Ombrage de Phong faisable sur GeForce 3

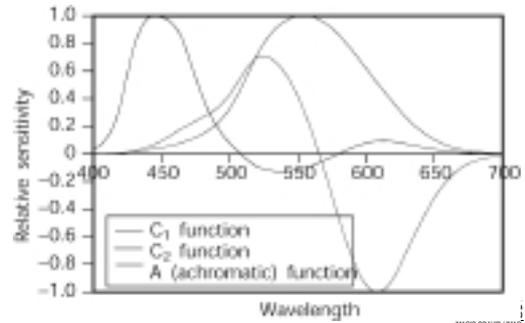
MAGIS

Et le lien avec la couleur ?

- Coefficients de réflexion, sources lumineuses
 - Tous en couleur
 - Quelle représentation ?
- La plupart du temps, RVB
 - Imparfait, mais tellement pratique...
- Quand on est sérieux :
 - Représentation spectrale complète
 - Chère, mais exacte
 - Représentation de Meyer (AC_1C_2)

MAGIS

Fonctions de base de Meyer

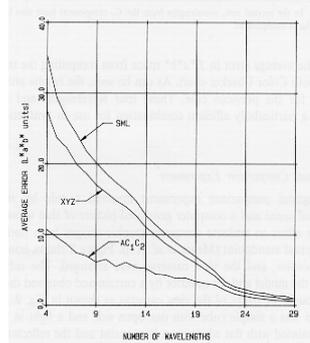


Fonctions de base de Meyer

- Basées sur les fonctions de réception des cônes
- Peu d'échantillons spectraux suffisent
 - 4 échantillons (*bien* choisis)
- Représentation compacte
 - En général suffisante
- Parfois, besoin de précision dans la représentation de la fonction de réflexion
 - Représentation spectrale

MAGIS

Échantillons nécessaires



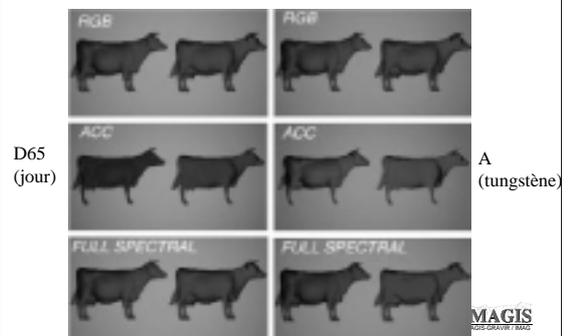
MAGIS

Efficacité de la représentation



MAGIS

...mais pas toujours



Encore un peu plus loin

- Fluorescence :

- La lumière reçue sous une longueur d'onde est réfléchié sous une autre longueur d'onde
- Nouvelle longueur d'onde plus élevée (conservation de l'énergie)
- Phénomène fréquent dans la nature (murs, feuilles d'arbre)
- Faisable uniquement avec un modèle spectral

iMAGIS
IMAGE ANALYSE ET GÉNÉRATION

Fluorescence



A
(tungstène)

D65
(lumière du jour)

Lumière noire

iMAGIS
IMAGE ANALYSE ET GÉNÉRATION