

## Synthèse d'Images

Elmar Eisemann

[Elmar.Eisemann@inrialpes.fr](mailto:Elmar.Eisemann@inrialpes.fr)

Basé sur les cours de  
E. Boyer, H. Briceno, N. Holzschuch

## Aujourd'hui

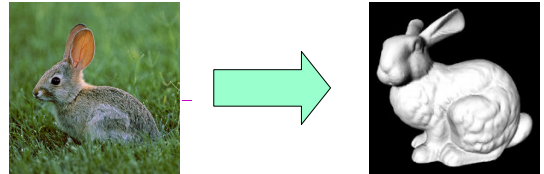
- Comment créer un modèle sur l'ordi?
- Qu'est-ce l'éclairage?
- Comment simuler les matériaux?
- Et comment simuler les effets d'éclairage?

## De la réalité à l'ordinateur



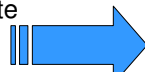
[http://pinker.wjh.harvard.edu/photos/american\\_west/images/bunny.jpg](http://pinker.wjh.harvard.edu/photos/american_west/images/bunny.jpg)

## De la réalité à l'ordinateur

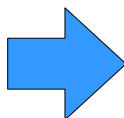


## Possibilités:

- À la main
- Création implicite
- Procédural
- ...
- 3D scanner

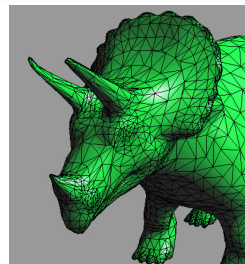


[www.manchester.com/~a/business/computer.gif](http://www.manchester.com/~a/business/computer.gif)



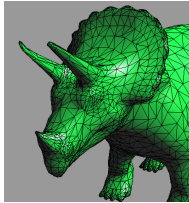
Cours plus tard

## Triangle Mesh:



## Pourquoi triangles?

- Min points pour surface
- N'importe quel polygone peut être triangulé
- Simple, car localement linéaire
- Transformation simple



## Propriétés:

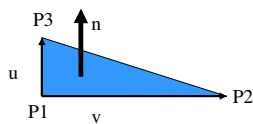
- Affichage facile avec OpenGL
- Bon pour les surfaces „planes“
- Mauvais pour les surfaces courbes

## Exemple: Calcul simple

$$u = P_2 - P_1$$

$$v = P_3 - P_1$$

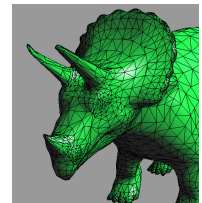
$$n = \frac{u \times v}{\|u \times v\|}$$



$$\text{Aire} = \frac{\|u \times v\|}{2}$$

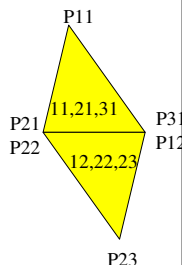
## Représentation:

- Liste de triangles:  
P11,P21,P31,  
P12,P22,P32,...
- Problèmes:
  - Gaspillage de mémoire
  - Pas d'info d'adjacences
  - Beaucoup de transferts de données



## Représentation:

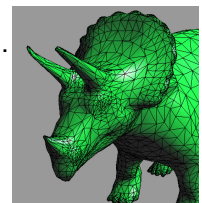
- Liste de triangles:  
P11,P21,P31,  
P12,P22,P32,...
- Problèmes:
  - Gaspillage de mémoire
  - Pas d'info d'adjacences
  - Beaucoup de transferts de données



Idée comment faire mieux?

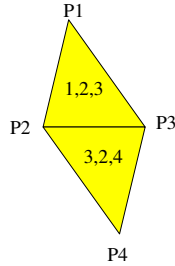
## Représentation:

- Liste de sommets:  
P1, P2, P3, P4, P5, P6...
- Liste de faces:  
F(1,2,3), F(1,2,4)...
- Avantages:
  - Plus compacte
- Problèmes:
  - Pas d'info d'adjacences
  - transferts de données pourrait être mieux (plus tard...)



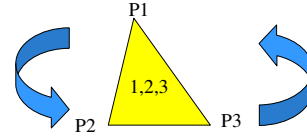
## Représentation:

- Liste de sommets:  
P1, P2, P3, P4, P5, P6...
- Liste de faces:  
F(1,2,3), F(1,2,4)...
- Avantages:
  - Plus compacte
- Problèmes:
  - Pas d'info d'adjacences
  - transferts de données pourrait être mieux (plus tard...)



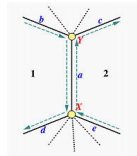
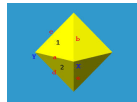
## Face:

- Ordre anti-horaire → orientation



## Adjacences:

- Représentation par graphe d'adjacence
  - Décrit la topologie
  - Représentation compacte
- Winged Edge Structure
  - Représentation par demi-arêtes
  - Notion d'orientation
  - Ne marche que pour les manifold (avec frontières)



## Adjacences:

- Winged Edge Structure
  - Représentation par demi-arêtes
  - Notion d'orientation
  - Ne marche que pour les manifold (avec frontières)

Exemples:

-Parcourir les demi-arêtes autour d'un sommet

-Trouver les faces contenant un sommet

```
struct HE_edge
{
    HE_vert* next; // vertex at the end of the half-edge
    HE_edge* pair; // oppositely oriented adjacent half-edge
    HE_face* face; // face the half-edge borders
    HE_edge* next; // next half-edge around the face
};

struct HE_vert
{
    float x;
    float y;
    float z;
    HE_edge* edge; // one of the half-edges emanating from the vertex
};
```

## Adjacences:

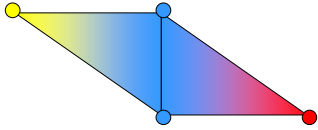
- Structure globale supplémentaire:
  - Liste de sommets
  - Liste de faces
  - Liste d'arêtes
  - Liste de demi-arêtes

## Sommets:

- Dans un sommet on peut mettre plus que sa position:
  - Couleur
  - Normale
  - Coordonnées de texture (plus tard)
  - ...

## Sommets

- interpoler les valeurs de sommets



## Sommets

- À l'époque: Interpolation sur l'écran
- Aujourd'hui: **Interpolation sur le triangle**

## Illumination

Basée sur le cours de N. Holzschuch

## 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

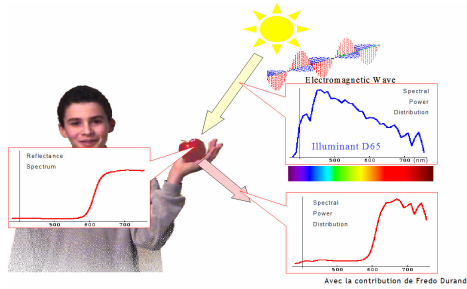
## Illumination

- 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

## Illumination

- On s'intéresse aux réflexions
  - **Pourquoi réflexion?**

## Illumination

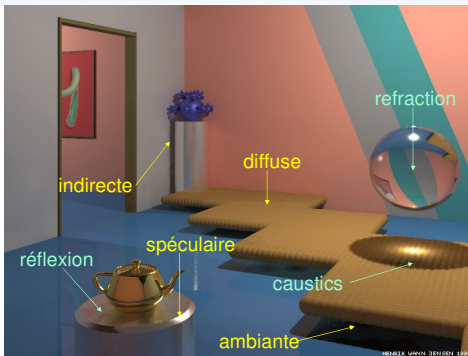


Est-ce que l'illumination pourrait être intéressante aussi?

## Illumination



## Illumination



## Plan

- Modèles de matériaux :
  - Réflexion ambiante
  - Réflexion diffuse
  - Réflexion spéculaire
  - Modèle de Phong
- Interpolation :
  - Ombrage de Gouraud, ombrage de Phong

## 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
  - Approximation de la lumière indirecte

## Réflexion ambiante



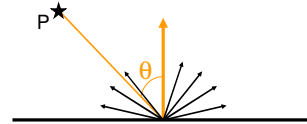
## Réflexion diffuse

- Matériaux mats
- La lumière de la source est réfléchié 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 :

$$I = I_p k_d \cos\theta$$

## Réflexion diffuse

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



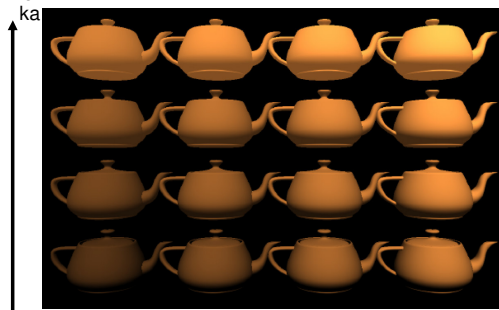
## Réflexion diffuse seule



On augmente  $k_d$  ( $k_a=0$ )

## Diffuse + ambient

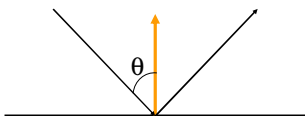
On augmente



On augmente  $k_d$

## Réflexion spéculaire

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

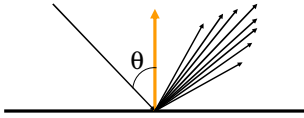


## Réflexion spéculaire : problème

- Avec une source ponctuelle et pas de reflets, l'effet n'est visible qu'en un seul point de la surface

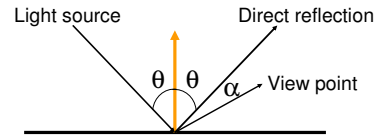
## Modèle de Phong

- Réflecteur spéculaire imparfait :



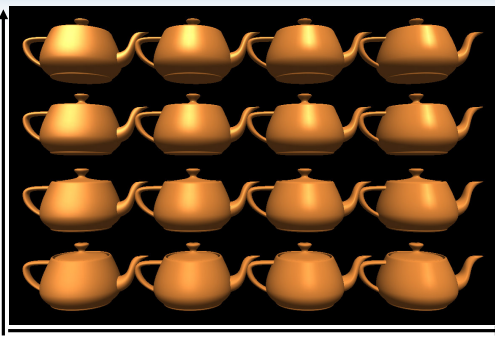
## Modèle de Phong

$$I = I_p k_s (\cos \alpha)^n$$



## Modèle de Phong

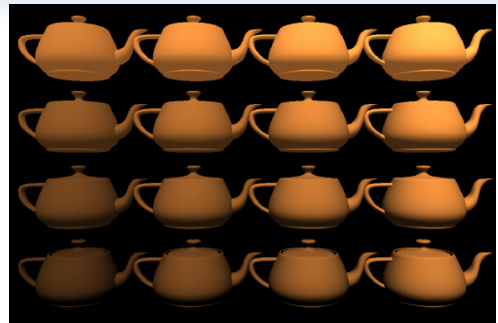
$k_s$



On augmente  $n$

## Diffuse + ambient

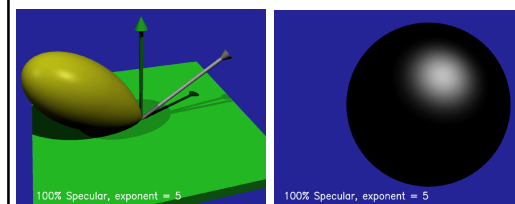
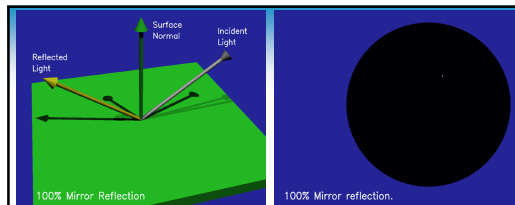
$k_a$

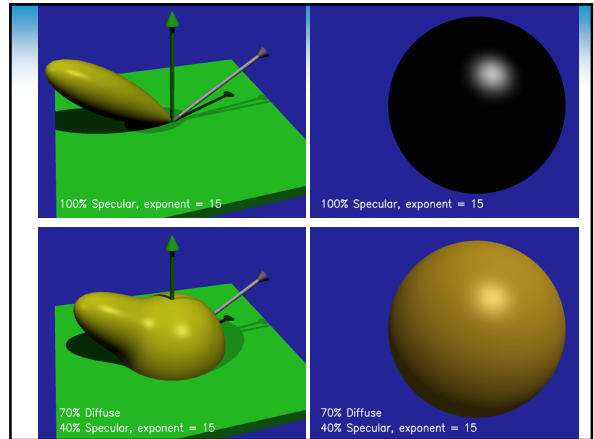
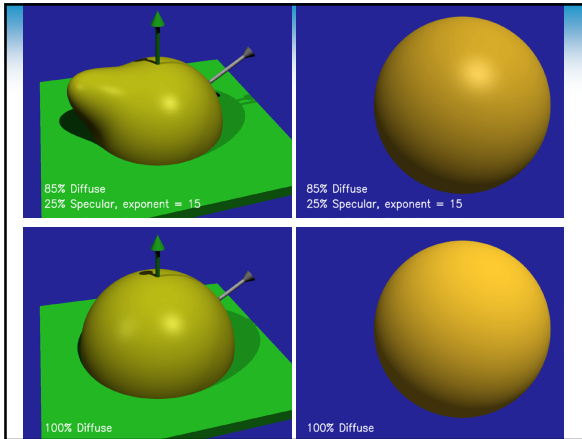


$k_d$

## En pratique

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





### 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
- Modèle physique
  - Lié aux propriétés des objets
  - Mais... plus complexe

### 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

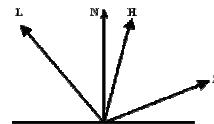
$$R=FDG$$

### Fresnel

Absorbtion ↔ Réflexion

### Distribution des micro-facettes

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





## Auto-ombrage

Auto-ombrage



Masquage de la surface par elle-même



## Phong dans Cook-Torrance

- Produit de trois termes :
  - coefficient de Fresnel
  - distribution angulaire
  - auto-ombrage

$$R = FDG$$

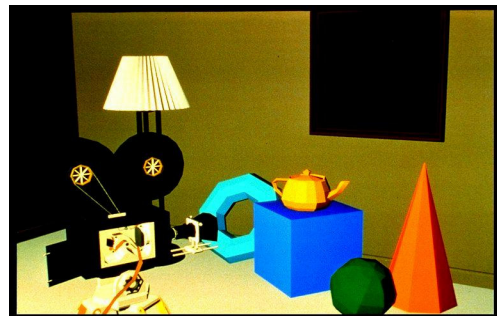
$$F = 1, D = \cos \alpha, G = 1$$

## Autres approches:

- Mesurer



## Ombrage d'un objet entier



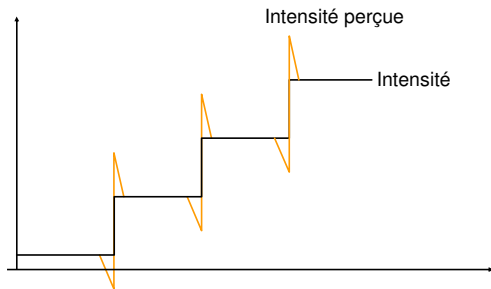
## Ombrage d'un objet entier

- Pour l'instant, calculs d'éclairage ponctuels
- Éviter de calculer l'éclairage pour tous les pixels de l'écran
- Illumination constante pour chaque triangle (normale)
  - Éventuellement en augmentant le nombre de polygones?

## Discontinuités – Mach Banding

- L'œil exagère les changements d'intensité et les changements de pente de l'intensité
  - Appelé *Mach banding*
- Ça va poser des problèmes

## Mach banding

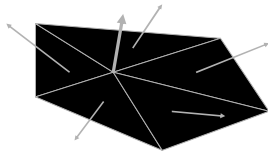


## Interpolation de l'illumination

- Interpolation de Gouraud
  - Calculer la couleur pour chaque sommet, puis interpolate couleurs
- 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 ?

## Interpolation de Gouraud

- Normale d'un sommet :



Idées pour une méthode?

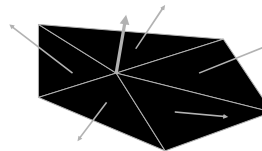
## Interpolation de Gouraud

- Normale d'un sommet :

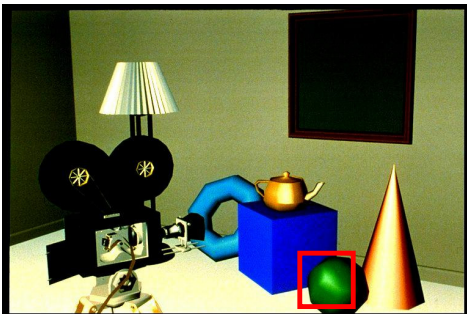
Moyenne

Moyenne pondérée par aire

Moyenne pondérée par l'angle → surface locale



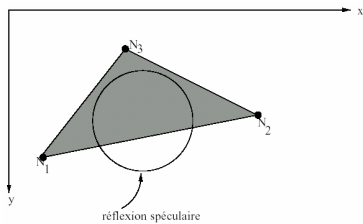
## Interpolation de Gouraud



## Interpolation de Phong

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

## Effets spéculaires dans une facette



## Phong Shading



## 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 à partir de GeForce 3

Pourquoi c'est plus compliqué?

## 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 (plus au moins) complète
    - Chère, mais exacte
  - Représentation de Meyer ( $AC_1C_2$ )

## Exemple en RVB:

- Reflectance diffuse: (0.9,0,0)
- Lumière diffuse: (0.9,0.5,1.0)
- Reflectance ambiante: (0,0,0.1)
- Lumière ambiante: (1,1,0.1)
- Normale: (0,0,1)
- Position de la lumière relative: (0,0,10)
- Couleur résultant: (0.81,0,0.01)

## 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

## Fluorescence



A  
(tungstène)

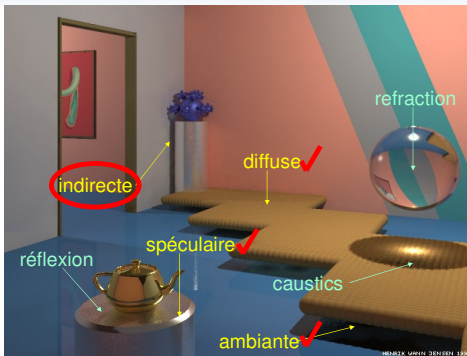
D65  
(lumière du jour)

Lumière noire

## Illumination



## Illumination



## Slides

- Contributions de:
  - Briceno, H., Notes du cours SI, UFRIMA
  - Boyer, E., Notes du cours SI, UFRIMA
  - Holzschuch, N., « Notes du cours DEA-IVR, ENSIMAG, Création d'Images Virtuelles ». 2005-2006
  - Frédo Durand and Barbara Cottler, SI, MIT

- Images taken from various sources:  
**IF ANY IMAGE IN THIS PRESENTATION IS NOT ALLOWED TO BE USED, PLEASE CONTACT ME AND I WILL DELETE IT!**  
TO MY BEST KNOWLEDGE ALL IMAGES CAN BE USED FOR UNIVERSITY COURSES.