

Cours 2: *Shading*

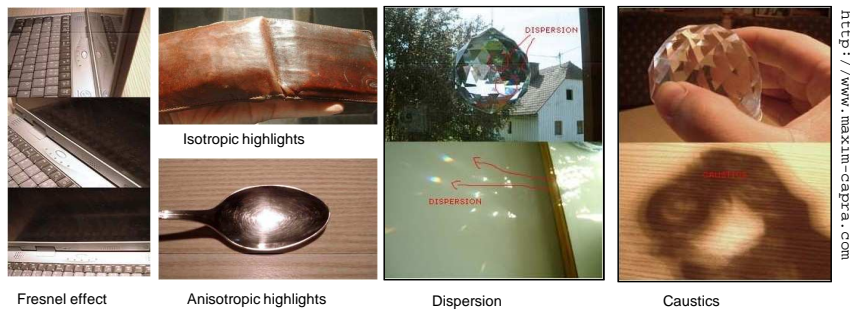
Xavier Décoret – INF 683 - École Polytechnique

Overview

- ▶ **Aspect des objects**
 - ▶ Qu'est ce qui l'influence?
 - ▶ Comment le modéliser?
 - ▶ Comment le calculer efficacement?
- ▶ **Textures**
 - ▶ À quoi ça sert?
 - ▶ Comment ça s'utilise?
 - ▶ Qu'est ce que ça implique?

Qu'est ce qui influence l'aspect?

- ▶ Les matériaux constituant les objets
 - ▶ Comment ils "transmettent" la lumière incidente
- ▶ Les interactions lumineuses entre objets
 - ▶ Comment la lumière voyage des sources jusqu'à l'oeil



▶ 3

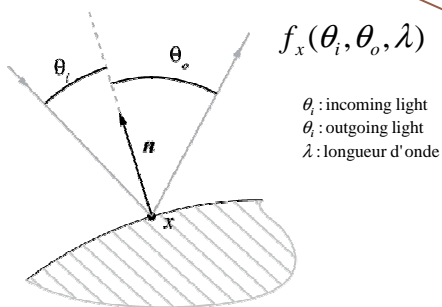
Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Matériau & transmission de la lumière

Jensen, H. W et al. A practical model for subsurface light transport. 2001

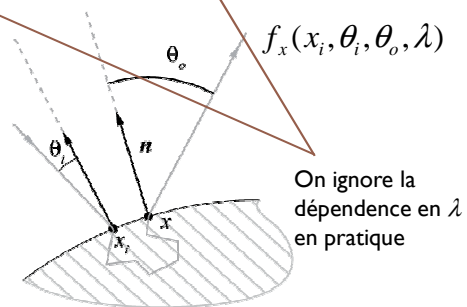
BRDF (Bidirectional Reflectance Function)

Fonction de IR^4 dans IR indiquant comment la lumière incidente en un point est réfléchié en ce point



BSSRDF (Subsurface Scattering)

Fonction de IR^7 dans IR indiquant comment la lumière incidente en un autre point est réfléchié en un point



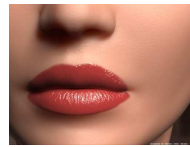
▶ 4

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Matériau & transmission de la lumière

BRDF (*Bidirectional Reflectance Function*)

BSSRDF (*Subsurface Scattering*)



<http://graphics.ucsd.edu/~henrik/images/subsurf.html>



Pas de BSSRDF dans ce cours

▶ 5

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Interactions lumineuses

Illumination globale

- ▶ Le shading en un point prend en compte toutes les interactions lumineuses dans la scène

Illumination locale

- ▶ Le shading en un point ne dépend que de la source de lumière, de l'observateur, et du matériau en ce point

▶ 6

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique
2008

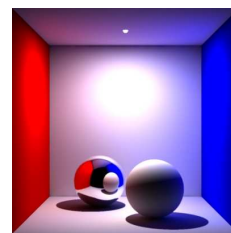
Illumination Globale (1/5)

▶ Clé du réalisme

- ▶ Ombres, réflexions
- ▶ Color bleeding



<http://www.cg-cars.com/forum/gallery/>



¹ Laine et al. Soft Shadow Volumes for Ray Tracing, SIGGRAPH 2005
² <http://www.seanet.com/~myan/dper/abstracts/g03c09.htm>

▶ 7

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Illumination Globale (2/5)

▶ Complicé et coûteux

- ▶ *Rendering Equation* Kajiya, James T., The rendering equation, SIGGRAPH 1986

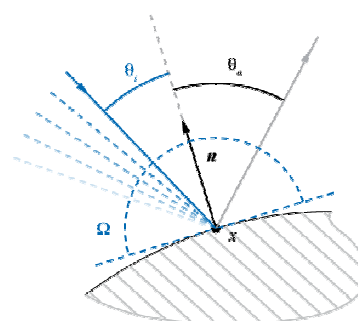
$$L_o(x, \theta_o) = L_e(x, \theta_o) + \int_{\Omega} f_x(\theta_i, \theta_o) L_i(x, \theta_i) \cos \theta_i d\theta_i$$

Lumière quittant x dans la direction θ_o

Lumière propre émise par x dans la direction θ_o

Bidirectional Reflectance Function en x

Lumière arrivant en x dans la direction θ_i



▶ 8

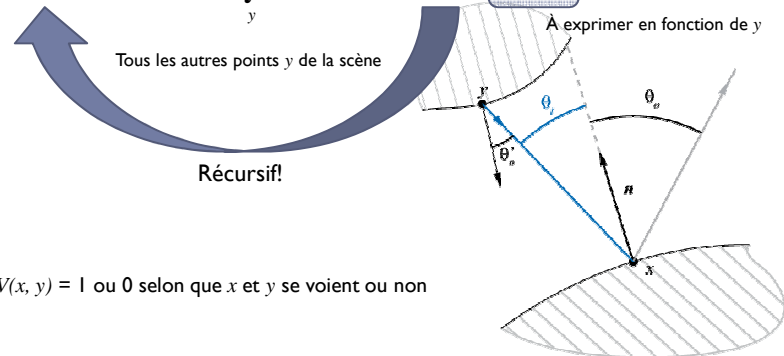
Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Illumination Globale (3/5)

► Complicé et coûteux

► Rendering Equation Kajiya, James T., The rendering equation, SIGGRAPH 1986

$$L_o(x, \theta_o) = L_e(x, \theta_o) + \int_y f(x, \theta_i, \theta_o) L_o(y, \theta_o') V(x, y) \cos \theta_i d\theta_i$$



► 9

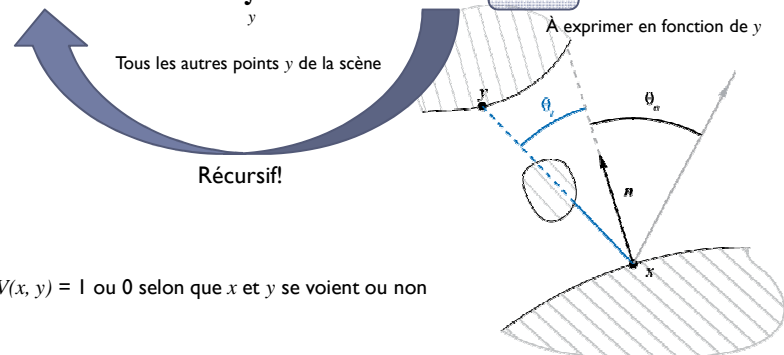
Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Illumination Globale (4/5)

► Complicé et coûteux

► Rendering Equation Kajiya, James T., The rendering equation, SIGGRAPH 1986

$$L_o(x, \theta_o) = L_e(x, \theta_o) + \int_y f(x, \theta_i, \theta_o) L_o(y, \theta_o') V(x, y) \cos \theta_i d\theta_i$$



► 10

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Illumination Globale (5/5)

- ▶ **Complicé et coûteux**
 - ▶ Récursivité
 - ▶ Calcul de visibilité (cf. facteur de forme)
- ▶ **Comment s'en sortir?**
 - ▶ Récursivité limitée (sources virtuelles, un seul rebond)
 - ▶ Approche hiérarchique
- ▶ **Qu'est ce qui est utilisé actuellement?**
 - ▶ Radiosité (notamment temps-réel)
 - ▶ Photon mapping
 - ▶ Precomputed Radiance Transfer

Pas dans ce cours

▶ 11

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Illumination locale

- ▶ **Est beaucoup plus simple et rapide à évaluer**
 - ▶ Calcul efficace par les cartes graphiques
- ▶ **Rate la plupart des effets visuels importants**
 - ▶ Notamment, ne gère pas les occlusions
 - ▶ Pleins de "hacks" pour émuler les effets manquants

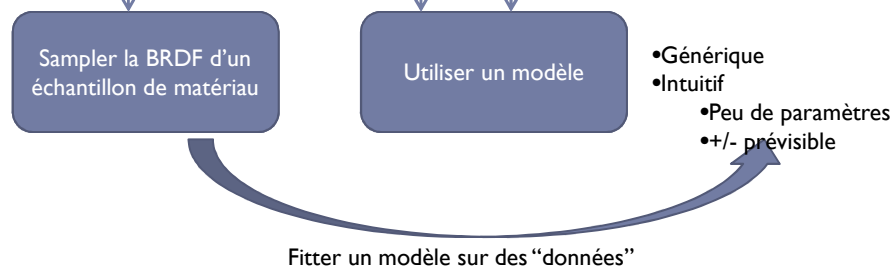
Dans ce cours, on ne considère que l'illumination locale.

▶ 12

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

De la théorie à la pratique

- ▶ **Comment spécifier les matériaux?**
 - ▶ Un matériau précis du monde réel
 - ▶ Un matériau auquel pense un artiste/graphiste
- ▶ **Comment évaluer une BRDF efficacement?**

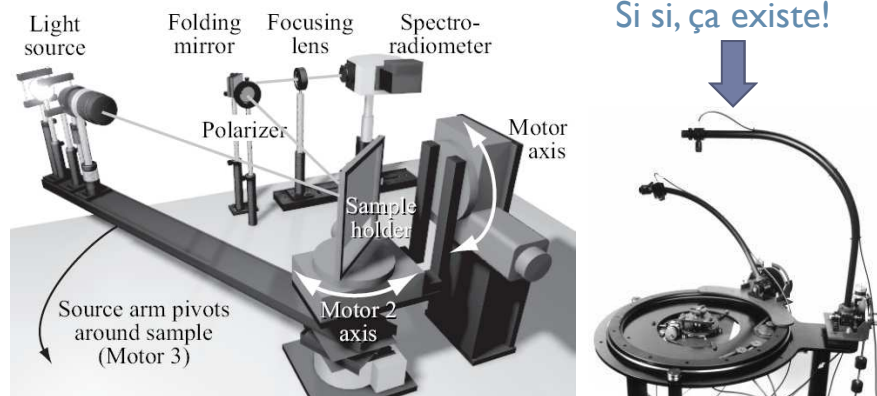


▶ 13

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Samplers une BRDF

- ▶ **On peut utiliser un goniorelectomètre**



<http://www.graphics.cornell.edu/~westin/>

▶ 14

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Modèles de BRDF

▶ Modèles simplifiés

- ▶ Gouraud
- ▶ Phong
- ▶ Blinn-Phong

▶ Modèles complexes

- ▶ Un exemple pour le cours
 - ▶ Cook-Torrance
- ▶ D'autres pour la culture
 - ▶ Ward, Torrance-Sparrow, Kubelka-Munk, ...

http://en.wikipedia.org/wiki/Specular_highlight

▶ 15

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Modèles simplifiés

▶ Somme de 3 termes

- ▶ Ambient
 - ▶ Diffus
 - ▶ Spéculaire
- Pour chaque terme, il y a:
- une intensité de source
 - un coefficient d'absorption
 - une fonction de transfert

▶ Deux formules pour le spéculaire

- ▶ Phong
- ▶ Blinn-Phong

▶ Trois façons de les évaluer

- ▶ Par face
- ▶ Par sommet
- ▶ Par fragment

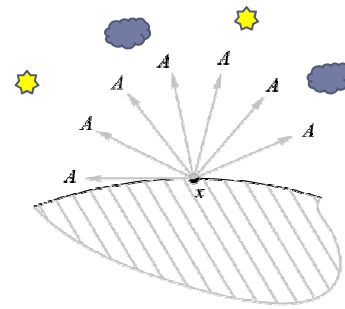
▶ 16

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Terme ambient (1/2)

- ▶ Représenter la lumière “dans la scène” i.e. “l’ambiance”
 - ▶ Lumière provenant du dôme céleste
 - ▶ Lumière que la scène réfléchit sur elle-même
- ▶ Modélisation
 - ▶ Ne dépend pas des angles d’incidence et de réflexion

$$A = I_a K_a$$



▶ 17

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Terme ambient (2/2)

- ▶ Très simpliste
 - ▶ N’a pas vraiment d’interprétation physique
 - ▶ Ne donne pas d’indications sur la forme des objets



K_a croissant

- ▶ Mais bien pratique
 - ▶ Émulation bon marché de l’illumination globale

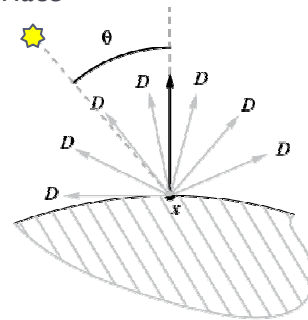
▶ 18

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Terme diffus (1/2)

- ▶ Représenter un transfert isotrope d'énergie
 - ▶ Réflexion égale dans toutes les directions
 - ▶ Conservation de l'énergie
- ▶ Modélisation
 - ▶ Fait intervenir l'orientation locale de la surface

$$D = I_d K_d \cos \theta$$



▶ 19

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Terme diffus (2/2)

- ▶ Hypothèse isotrope *a.k.a* de matériau lambertien
- ▶ Le shading varie le long de la surface
 - ▶ Renseigne sur la courbure (donc la forme) de l'objet



K_d croissant

- ▶ Mais ne dépend pas de la position de l'observateur

▶ 20

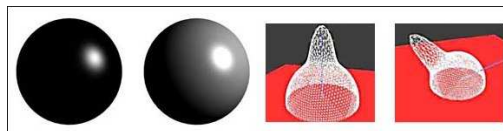
Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Terme spéculaire (1/2)

- ▶ Représenter les surfaces “brillantes” (*glossy*)
 - ▶ Cas idéal des miroirs
- ▶ Modélisation
 - ▶ Autour de la réflexion miroir
 - ▶ Avec une décroissance exponentielle

$$S(\phi) = I_s K_s (\cos \phi)^n$$

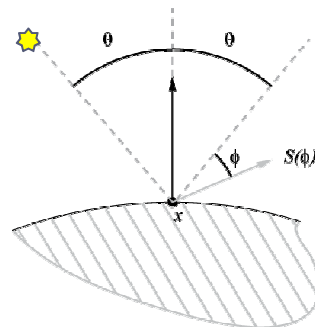
n : shininess



spéculaire

spéculaire+diffus

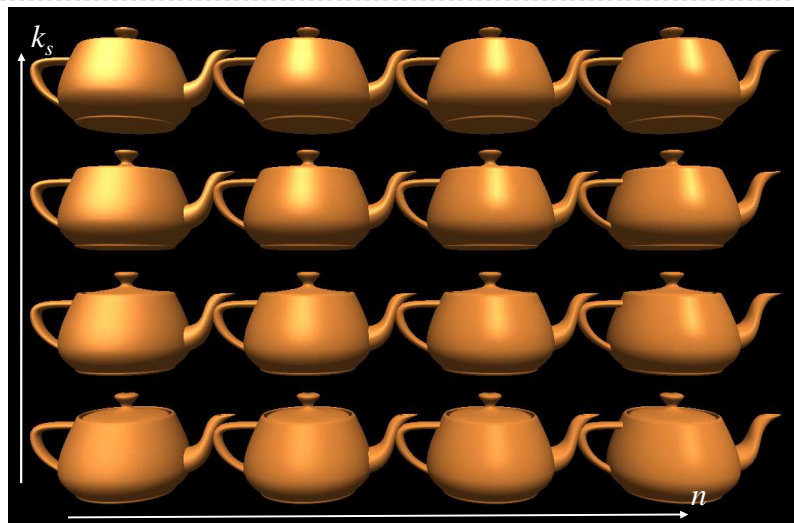
Visualisation de $S(\theta)$ a.k.a lobes spéculaires



▶ 21

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Terme spéculaire (2/2)

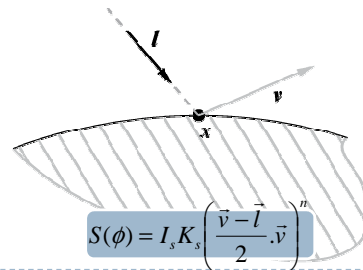
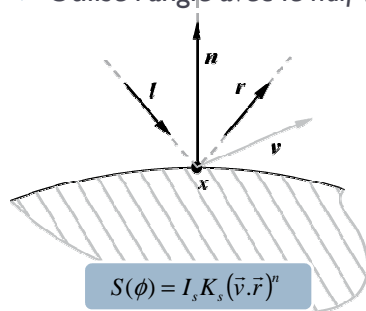


▶ 22

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Phong & Blinn-phong (1/2)

- ▶ La formule précédente = modèle de Phong
 - ▶ Il n'est pas physiquement correct
 - ▶ Il "rend" bien en pratique et est simple à évaluer
- ▶ Une simplification possible = modèle de Blinn-Phong
 - ▶ Utilise l'angle avec le half-vector pour simplifier le calcul



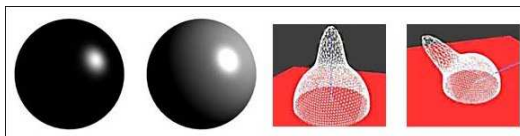
▶ 23

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Phong & Blinn-phong (2/2)

- ▶ La différence est une question de goût!
- ▶ Blinn-phong a tendance à être plus prévisible

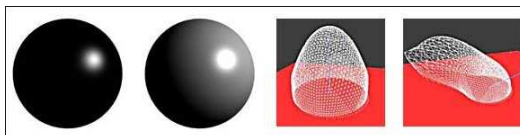
Phong model



spéculaire

spéculaire+diffus

Blinn-Phong model



▶ 24

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Remarques

- ▶ Pourquoi trois coefficients d'absorption?
 - ▶ Après tout la lumière est la même?!?!
- ▶ C'est juste un modèle
 - ▶ Le but c'est d'offrir généralité et simplicité

- ▶ On peut faire plus compliqué comme le montre le transparent suivant...

▶ 25

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Cook-Torrance

Cook L. and Torrance K. A Reflectance Model For Computer Graphics. 1981

Facet slope distribution function

$$D = \frac{e^{-\left(\frac{\tan \alpha}{m}\right)^2}}{4m^2 \cos^4 \alpha}$$

- D est la fraction des facettes orientées dans la direction de H
- Il y a plusieurs modèles (formules) possibles
- Le plus général est celui de Beckmann (un paramètre: la pente m)

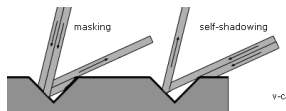
Fresnel term

$$F = (1 + E.N)^2$$

- F indique comment une micro-facette réfléchit la lumière
- Ça dépend de la longueur d'onde
- Je ne suis pas sûr de la formule!

Geometrical attenuation factor

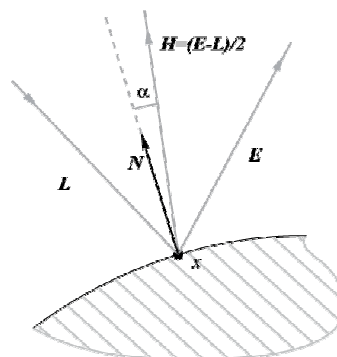
- G modélise comment les facettes se masquent et s'ombrent mutuellement



$$G = \min\left(1, \frac{2(H.N)(E.N)}{E.H}, \frac{2(H.N)(L.N)}{E.H}\right)$$

Specular term

$$R = \frac{F D G}{\pi N.L N.V}$$



▶ 26

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Shading en OpenGL (1/2)

► Comment les pixels sont-ils produits?

► CPU : appel à des fonctions de l'API pour

► spécifier les attributs de(s) la(les) lampe(s)

► spécifier les attributs du maillage

K_a , K_d , K_s , n } par "maillage" i.e. par `glBegin()/glEnd()`

Normale } par sommet

Position 3D } par face si on spécifie la même normale aux sommets
(en exploitant le fait que OpenGL est une machine à états)

► 27

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Un exemple...

```

const float Lw[4] = { 0.0f,0.0f,8.0f,1.0f };
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, Lw);

const float red[3]   = { 1.0f,0.0f,0.0f };
const float blue[3]  = { 0.0f,0.0f,0.5f };
const float green[3] = { 0.0f,1.0f,0.0f };
const float yellow[3] = { 1.0f,1.0f,0.0f };
const float black[3] = { 0.0f,0.0f,0.0f };
glMaterialfv(GL_FRONT_AND_BACK, GL_AMBIENT, blue);
glMaterialfv(GL_FRONT_AND_BACK, GL_SPECULAR, yellow);
glMaterialfv(GL_FRONT_AND_BACK, GL_EMISSION, black);
glMaterialf(GL_FRONT_AND_BACK, GL_SHININESS, 20.0f);

glBegin(GL_TRIANGLES);
// A normal per face
glNormal3f(0,0,1);
glVertex2f(0,0);
glVertex2f(2,0);
glVertex2f(1,1);

// A normal per vertex
glNormal3fv(-1, 0,1);glVertex2f(0, 0);
glNormal3fv( 1, 0,1);glVertex2f(2, 0);
glNormal3fv( 0,-1,1);glVertex2f(1,-1);
glEnd();

```

► 28

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Shading en OpenGL (1/2)

- ▶ Comment les pixels sont-ils produits?
 - ▶ CPU : appel à des fonctions de l'API pour
 - ▶ spécifier les attributs de(s) la(les) lampe(s)
 - ▶ spécifier les attributs du maillage
 - K_a, K_d, K_s, n
 - Normale
 - Position 3D
 - ▶ GPU : *hardware* spécialisé qui
 - ▶ projette les sommets
 - ▶ rasterize l'intérieur de la projection
 - ▶ calcule une couleur pour chaque fragment
 - ▶ combine les fragments pour obtenir les pixels

▶ 29

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Shading en OpenGL (2/2)

- ▶ Comment les pixels sont-ils *shaded*?
 - ▶ Flat shading
 - ▶ Applique Phong pour produire une couleur par face
 - ▶ Gouraud shading
 - ▶ Applique Phong pour produire une couleur par sommet
 - ▶ Interpole la couleur pour les fragments intérieurs
 - ▶ Phong shading
 - ▶ Interpole les paramètres du modèle de Phong
 - Normale
 - Vecteur vers la source (*light vector*)
 - ▶ Applique Phong pour produire une couleur par fragment

▶ 30

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Flat vs. Gouraud shading

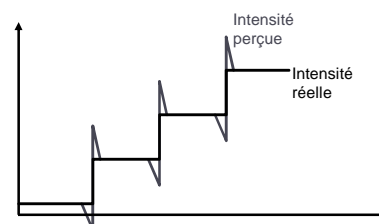
- ▶ Le *Flat shading* produit des objets “facettisés”

- ▶ Il faut fortement tesseler les surfaces



- ▶ Le *Flat shading* produit des *Mach bands*

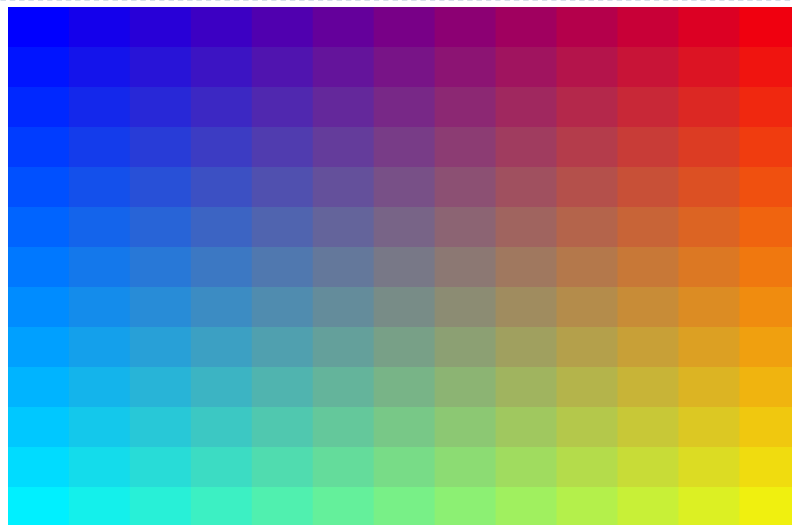
- ▶ L'oeil humain “perçoit” les discontinuités d'intensité



▶ 31

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Mach Banding



▶ 32

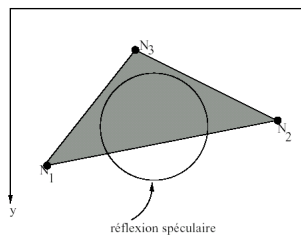
Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Gouraud vs. Phong shading

Per vertex

Per pixel

- ▶ Phong est plus coûteux
 - ▶ En général, il y a plus de pixels que de sommets
- ▶ Phong est plus joli
 - ▶ Capture les spécularités inter-face ratées par Gouraud
 - ▶ N'est cependant pas exact
 - ▶ L'interpolation du *light vector* est une approximation

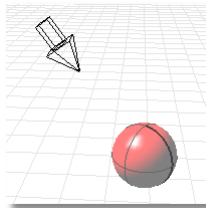


▶ 33

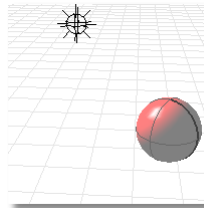
Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Les modèles de lampes

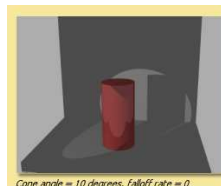
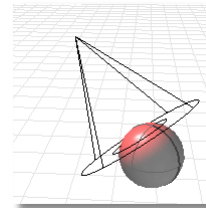
Directionnelle



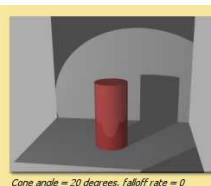
Ponctuelle



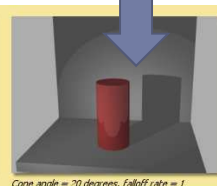
Spot



Cone angle = 10 degrees, Falloff rate = 0



Cone angle = 20 degrees, Falloff rate = 0



Cone angle = 20 degrees, Falloff rate = 1

▶ 34

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Les paramètres OpenGL

```

Form1
GLfloat a[4]= ( 0.0f ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, a);
GLfloat d[4]= ( 1.1, 1.1 ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE, d);
GLfloat s[4]= ( 1.1, 1.1 ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_SPECULAR, s);
GLfloat p[4]= ( ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_POSITION, p);
GLfloat d[4]= ( ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_SPOT_DIRECTION, s);
GLfloat c= 0.0f; glEnable(GL_LIGHT0, GL_SPOT_CUTOFF, c);
GLfloat ca= 0.5f; glEnable(GL_LIGHT0, GL_CONSTANT_ATTENUATION, ca);
GLfloat la= 0; glEnable(GL_LIGHT0, GL_LINEAR_ATTENUATION, la);
GLfloat qa= U; glEnable(GL_LIGHT0, GL_QUADRATIC_ATTENUATION, qa);

Form2
GLenum e= GL_FRONT; glBackMode(e);
GLfloat a[4]= ( 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f ); glEnable(GL_LIGHT_MODEL_TWO_SIDE, a);
GLfloat d[4]= ( 0.5, 0.5, 0.5, 0.0 ); glEnable(GL_LIGHT_MODEL_SPECULAR_DIRECTIONAL, d);
GLfloat s[4]= ( 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 ); glEnable(GL_LIGHT_MODEL_LOCAL_VIEWER, s);
GLfloat sh= 0.0f; glEnable(GL_LIGHT_MODEL_SPECULAR_DIRECTIONAL, sh);

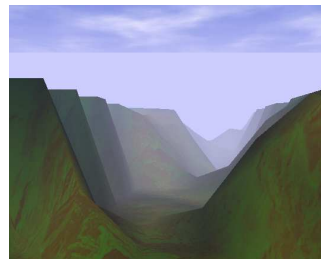
Form3
GLfloat a[4]= ( 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, a);
GLfloat d[4]= ( 0.5, 0.5, 0.5, 0.0 ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE, d);
GLfloat s[4]= ( 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_SPECULAR, s);
GLfloat p[4]= ( 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 ); glEnable(GL_LIGHT0, GL_POSITION, p);
GLfloat ca= 0.0f; glEnable(GL_LIGHT0, GL_CONSTANT_ATTENUATION, ca);
  
```

▶ 35

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Hacks pour émuler des effets complexes

- ▶ Le terme ambient simule (sic) l'illumination globale
- ▶ Effets Atmosphériques
 - ▶ La couleur du fragment est mélangée avec le fond en fonction:
 - ▶ de la distance à l'oeil (z)
 - ▶ du modèle d'atténuation choisie
 - ▶ Ça sert d'autres buts
 - ▶ cf. cours visibilité
 - ▶ cf. cours niveaux de détails
- ▶ Textures

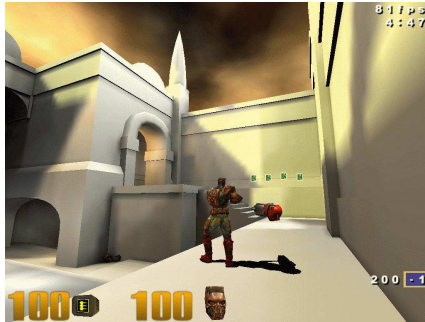


▶ 36

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Textures (1/3)

Sans



Avec



▶ 37

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique
2008

Textures (2/3)

- ▶ Souvent présentées par analogie avec du papier peint que l'on peut coller sur une surface
- ▶ C'est une vision historique
- ▶ Aujourd'hui, il vaut mieux voir les textures autrement...

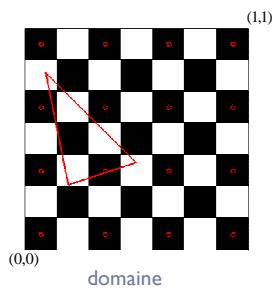
▶ 38

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

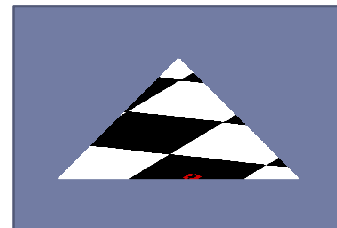
Textures (3/3)

-----Lookup-table-----

- ▶ Une texture est un champ scalaire discret sur la surface
 - ▶ Défini sur un domaine linéaire/rectangulaire/cubique
 - ▶ Mappé sur la surface par des coordonnées textures^{1D} ^{2D} ^{3D}
 - ▶ Spécifiées en chaque sommet `glTexCoord{123}{fi}`
 - ▶ Interpolées pour chaque fragment



```
glBegin(GL_TRIANGLES);
glTexCoord2f(0.2f, 0.3f);
glVertex2f(-1.0f, 0.0f);
glTexCoord2f(0.5f, 0.4f);
glVertex2f(+1.0f, 0.0f);
glTexCoord2f(0.1f, 0.8f);
glVertex2f( 0.0f, 1.0f);
glEnd();
```

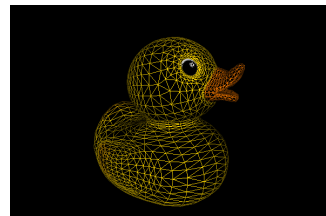
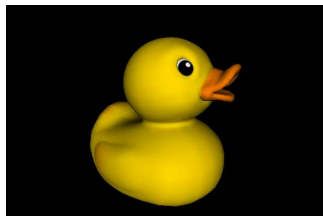


▶ 39

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Textures (3/3)

- ▶ On peut l'utiliser pour spécifier:
 - ▶ La couleur ambient/diffuse

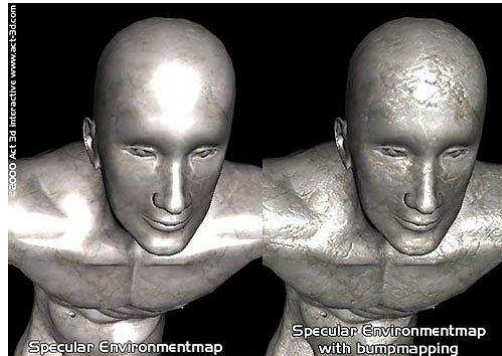


▶ 40

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Textures (3/3)

- ▶ On peut l'utiliser pour spécifier:
 - ▶ La couleur ambient/diffuse
 - ▶ La normale (*bump mapping*)

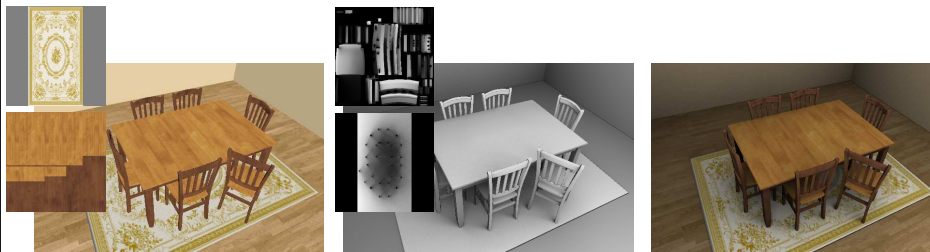


▶ 41

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Textures (3/3)

- ▶ On peut l'utiliser pour spécifier:
 - ▶ La couleur ambient/diffuse
 - ▶ La normale (*bump mapping*)
 - ▶ Un illumination précalculée (*light map*)



Diffuse mappée sur la scène

Lightmap mappées sur la scène

Combinées

▶ 42

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Textures (3/3)

- ▶ On peut l'utiliser pour spécifier:
 - ▶ La couleur ambient/diffuse
 - ▶ La normale (*bump mapping*)
 - ▶ Un illumination précalculée (*light map*)
 - ▶ Ce qu'on veut en fait (cf. cours sur les *shaders*)

▶ 43

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Texture mapping & Aliasing

- ▶ **Undersampling** *magnification*
 - ▶ Prendre le plus proche ou interpoler les voisins
- ▶ **Supersampling** *minification*
 - ▶ Solution idéale
 - ▶ Intégration des échantillons samples → coûteux
 - ▶ Solution pratique
 - ▶ Pré-filtrer les textures → *mipmaps*
 - ▶ Interpoler entre les niveaux (les voisins)

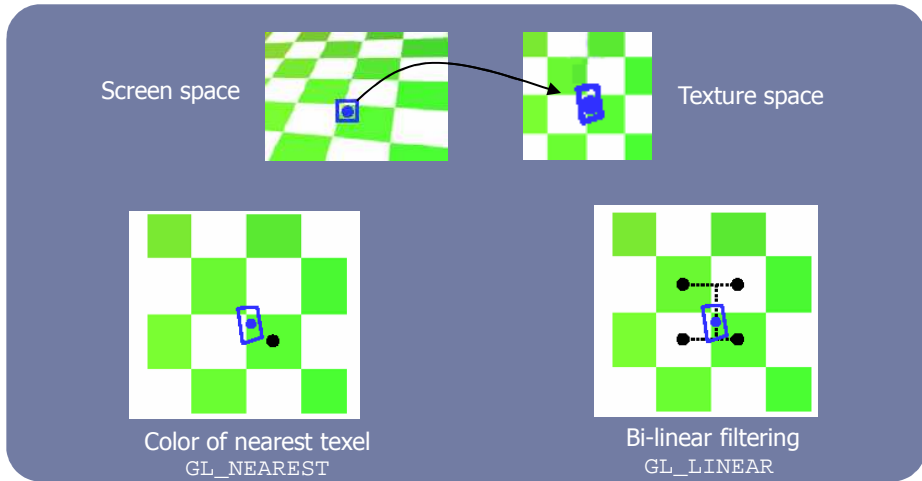
▶ 44

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Undersampling

--picture element-----texture element--

- ▶ Pixel "plus petit" qu'un texel

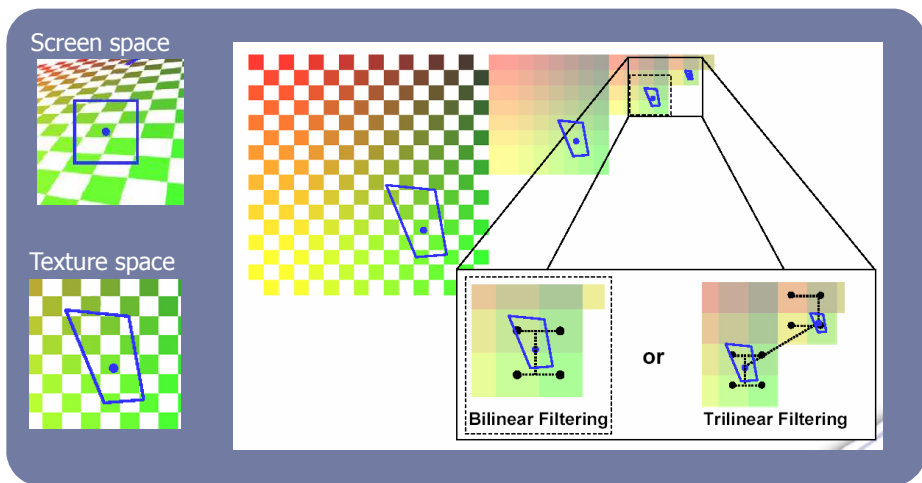


▶ 45

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

Supersampling

- ▶ Pixel "plus grand" qu'un texel



▶ 46

Xavier Décoret - INF 583 - Polytechnique 2008

C'est fini pour aujourd'hui



C'est l'heure de la pause