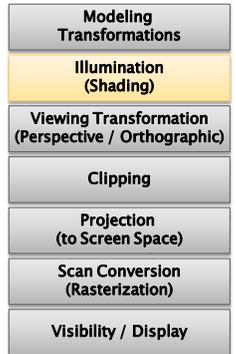
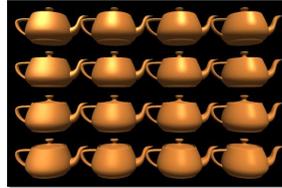


Illumination et matériaux

Illumination

- Les primitives sont **éclairées** selon leur **matériau**, le **type de surface** et les **sources de lumière**.



Illumination

- Quelle couleur doit-on afficher pour ce pixel ?
 - Interaction de la lumière avec la scène et l'œil
- Dépend de :



Illumination

- Quelle couleur doit-on afficher pour ce pixel ?
 - Interaction de la lumière avec la scène et l'œil
- Dépend de :
 - **position** du point dans l'espace
 - **orientation** du point (élément de surface)
 - **caractéristiques de la surface** (diffusion, réflexion, transparence...)
 - **sources de lumière** (surfaciques, ponctuelles...)
 - position et orientation de la "caméra"

La lumière

- Onde et corpuscule \Rightarrow propagation et transport
 - Un photon transporte une énergie à une longueur d'onde donnée
- A chaque interaction il peut changer sa direction et sa couleur (spatial et spectral)
 - **réflexion, transmission, réfraction, absorption, diffraction et interférence**
- Si un photon passe par la position de l'œil tout en intersectant la fenêtre graphique, alors sa couleur contribue au pixel qu'il traverse
- Comment suivre une infinité de photons ?
 - **Illumination locale, ombrage, illumination globale**

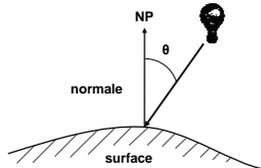
Modèles d'illumination locale

- Une seule source de lumière **ponctuelle**
- Si plusieurs lumières, hypothèse de **linéarité** :
 - $I(a+b) = I(a)+I(b)$
 - $I(s \cdot a) = s \cdot I(a)$
- Pas d'interactions entre objets
 - pas d'ombres, pas d'effet miroir...
- Calcul de la couleur en **chaque point**

Irradiance

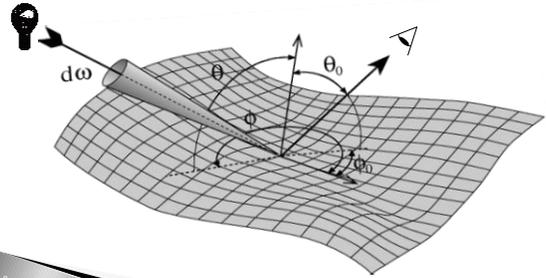
Éclairage énergétique

- Puissance d'un rayonnement électromagnétique (lumière) par unité de surface
- Dépend de l'angle d'incidence



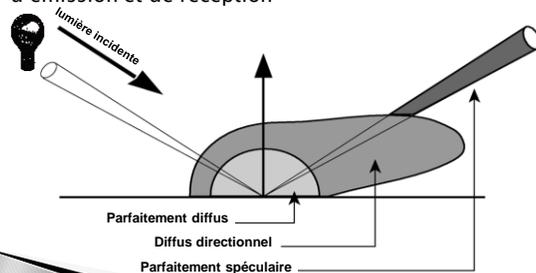
BRDF : Bi-directional Reflectance Distribution Function

- Fonction 4D : $f(\theta, \phi, \theta_0, \phi_0)$ indiquant comment la lumière incidente en un point est réfléchiée en ce point



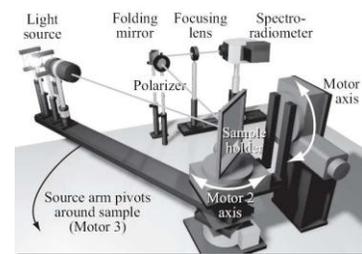
BRDF

- Rapport entre la quantité de lumière reçue et émise
- Décrit complètement le comportement de la surface en chaque point et pour chaque direction d'émission et de réception



BRDF - Acquisition

- Modèle complexe et difficile à obtenir
- Il existe des systèmes d'acquisition (Gonioreflectomètre)



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

Modèles simplifiés

Lumière ambiante

- source lumineuse non ponctuelle qui émet de manière constante dans toutes les directions et sur toutes les surfaces une lumière d'intensité I_a

Pour un point P de la surface, intensité lumineuse : $I(P) = p_a I_a$

- Constante en tous points de la surface
- p_a facteur qui détermine la quantité de lumière ambiante réfléchiée par la surface
- fonction des propriétés matérielles de la surface ($0 \leq p_a \leq 1$).

Lumière ambiante

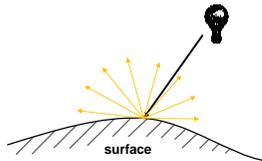
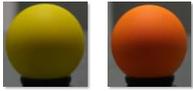


en augmentant p_a

- On ne voit pas la 3D
- Modélise simplement l'inter-réflexion entre toutes les surfaces d'une scène
- Evite qu'un objet dans l'ombre soit complètement noir

Réflexion diffuse idéale

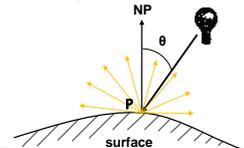
- ▶ **Réflexion diffuse**
 - source lumineuse ponctuelle qui émet de manière constante dans toutes les directions
- ▶ **Surfaces Lambertiennes** (mates : craie, papier)
 - l'intensité en un point de la surface dépend uniquement de l'angle entre la normale à la surface et la direction du point à la source lumineuse
- ▶ **BRDF uniforme**



Réflexion diffuse idéale

$$I(P) = \rho_d \cdot I \cdot \cos \theta = \rho_d \cdot |NP \cdot LP|$$

- ▶ I : intensité de la source lumineuse ponctuelle
- ▶ ρ_d : coefficient de réflexion diffuse de la surface (propriété matérielle : $0 \leq \rho_d \leq 1$)
- ▶ NP : normale à la surface au point P
- ▶ LP : direction du point P à la source lumineuse

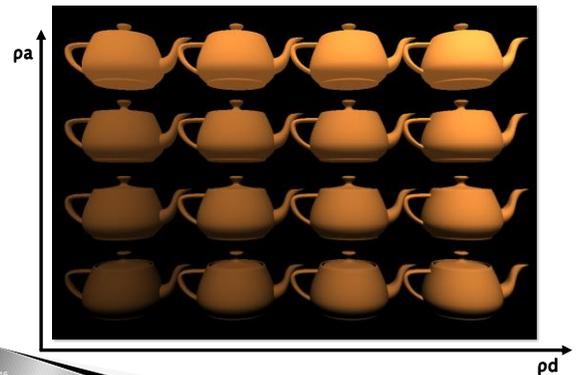


Réflexion diffuse idéale



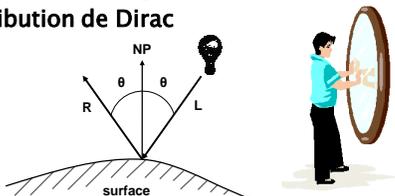
en augmentant ρ_d , $\rho_a = 0$

Diffuse + ambiante



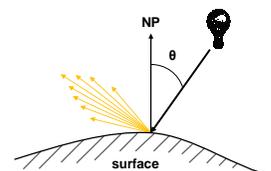
Réflexion spéculaire idéale

- ▶ **Réflexion spéculaire**
 - Surfaces brillantes (miroir)
- ▶ **Loi de Snell / Descartes**
 - la lumière qui atteint l'objet est réfléchié dans la direction ayant le même angle
- ▶ **BRDF : distribution de Dirac**



Réflecteurs non-idéaux

- ▶ **Problème** : avec une source de lumière ponctuelle, l'effet n'est visible que dans une direction
 - Utile pour l'illumination indirecte (ombres, miroirs) mais inutilisable pour calculer la couleur des pixels
 - On suppose que la surface n'est pas parfaitement spéculaire
- ▶ **Modèle de Phong**

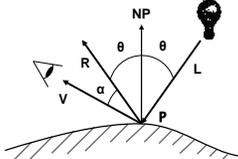


Modèle de Phong [1975]

› la réflexion est importante lorsque l'angle α entre la direction d'observation du point de la surface V et la direction de réflexion R (symétrique de la direction L par rapport à NP) est faible. Cette réflexion diminue de façon importante lorsque l'angle augmente.

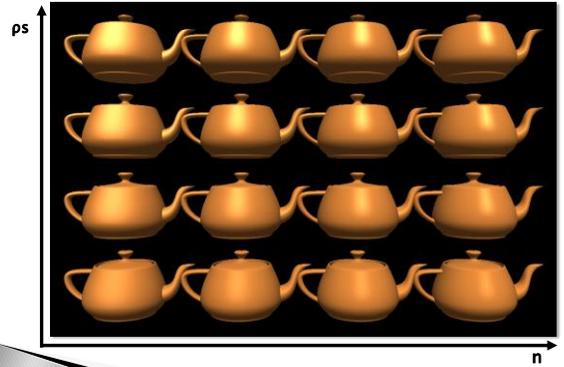
$$I(P) = \rho_s L \cos^n \alpha$$

- n = rugosité : ∞ (1024) pour un miroir, 1 pour une surface très rugueuse.
- $\cos \alpha = V \cdot R$
- $R = 2(\cos\theta) N-L$
 $= 2(N \cdot L) N-L$



19

Modèle de Phong



20

Modèle de Phong

› **Modèle complet** : on ajoute tout, on pondère avec un coefficient d'atténuation F_d

$$I(P) = \rho_a I_a + F_d I(\rho_d NP \cdot LP + \rho_s \cos^n \alpha)$$

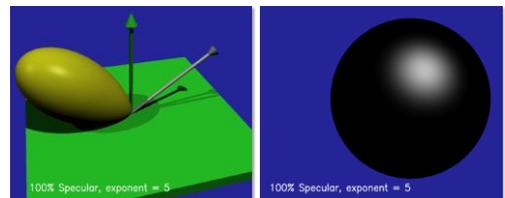
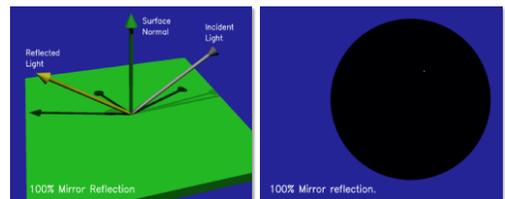
› **Modèle coloré** : une intensité par composante de couleur

› **Transparence** : combiner couleur de fond et couleur de l'objet. Un paramètre de transparence t .

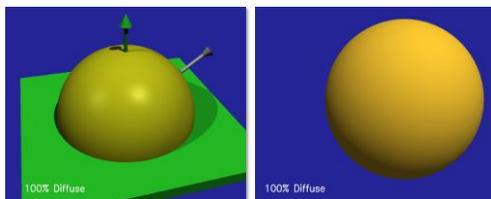
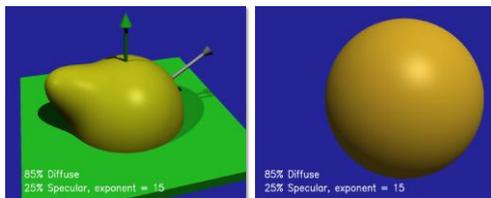
$$I = t \cdot I(P) + (1-t) \cdot I(\text{derrière } P)$$

› **Halo** : la couleur dépend de l'épaisseur traversée

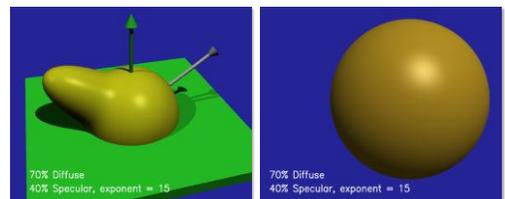
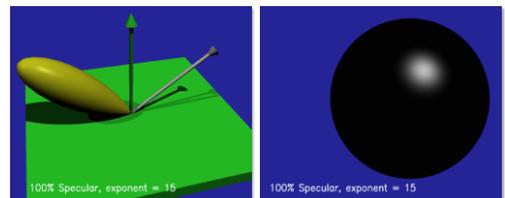
21



22



23



24

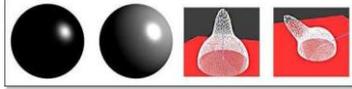
Variation de Blinn-Phong

- › Simplification utilisant le *halfway* vecteur

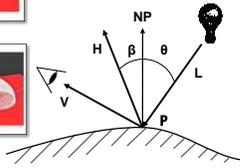
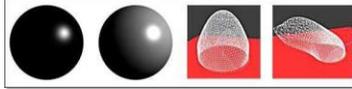
$$H = \frac{L+V}{\|L+V\|}$$

$$I(P) = \rho_s L \cos^n \beta = \rho_s L (NP.H)^n$$

Modèle de Phong



Modèle de Blinn-Phong



25

Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

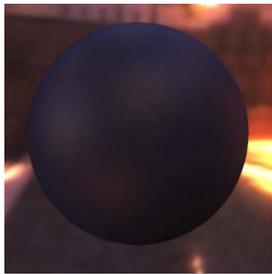
- › Une surface est constituée de **microfacettes** : petits miroirs parfait
- › La lumière arrivant sur une facette subit toutes les interactions possibles
 - Etude statistique qui dépend de la répartition des micro-facettes pour obtenir une BRDF valable sur toute la surface
 - Pas de formule simple mais ce modèle approxime très bien les effets physiques des matériaux



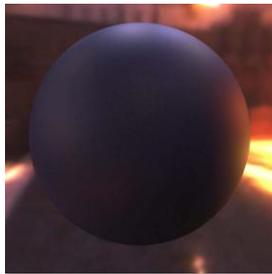
26

Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises



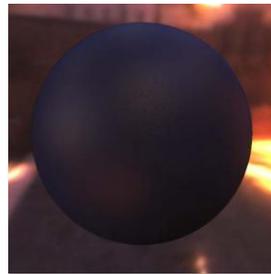
Modèle de Phong



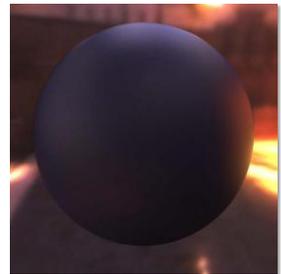
27

Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises



Modèle de Cook-Torrance



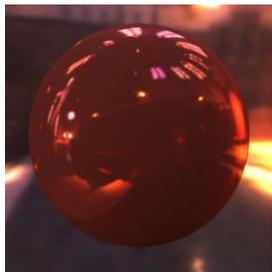
28

Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises



Modèle de Cook-Torrance



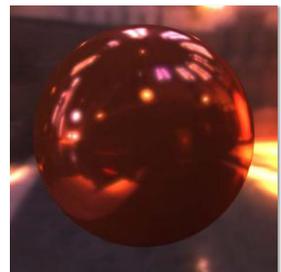
29

Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises



Cook-Torrance avec 2 lobes



30

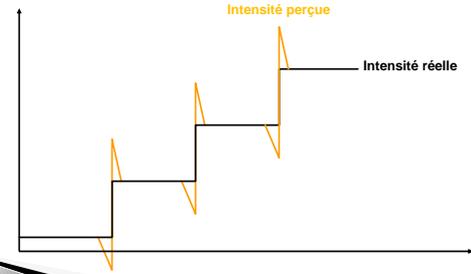
Modèles d'interpolation (shading)

- ▶ **Flat shading** : pour les facettes polygonales.
 - Calculer une seule valeur d'illumination pour l'ensemble de la facette
 - Ex. point milieu de la facette en prenant pour normale à la surface celle du plan contenant la facette
- ▶ Cette approche est valide par rapport aux modèles d'illumination vus précédemment lorsque
 - la source lumineuse est à l'infini
 - la projection est orthographique
 - la surface est composée de facettes polygonales uniquement

31

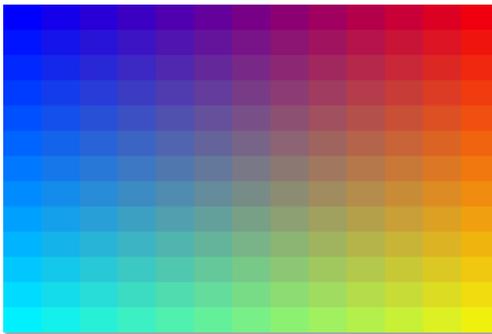
Modèles d'interpolation (shading)

- ▶ **Problème** : discontinuités le long des facettes
- ▶ L'oeil les voit très bien : **effet Mach Banding**
⇒ **Interpolation**.



32

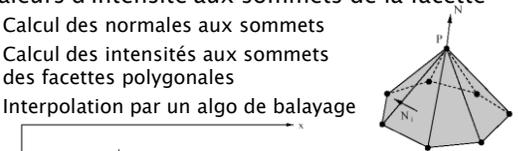
Mach Banding



33

Gouraud shading

- ▶ Elimine les discontinuités d'intensité sur une facette polygonale par interpolation des valeurs d'intensité aux sommets de la facette
1. Calcul des normales aux sommets
 2. Calcul des intensités aux sommets des facettes polygonales
 3. Interpolation par un algo de balayage



$$N_p = \sum N_i / |\sum N_i|$$

$$I_a = I_3 - (I_3 - I_1)(y_s - y_a) / (y_s - y_1)$$

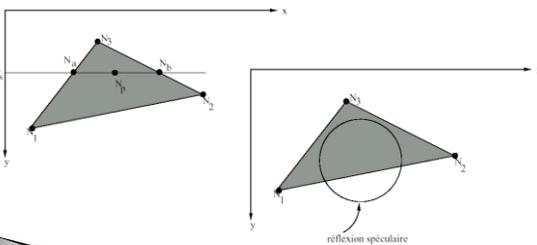
$$I_b = I_3 - (I_3 - I_2)(y_s - y_b) / (y_s - y_2)$$

$$I_p = I_b - (I_b - I_a)(x_b - x_p) / (x_b - x_a)$$

34

Phong shading

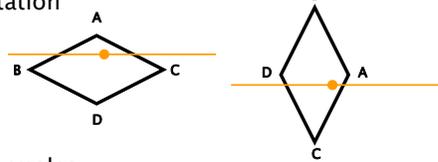
- ▶ Calcul des **normales** par interpolation
⇒ permet de traiter les effets spéculaires contenus dans une facette



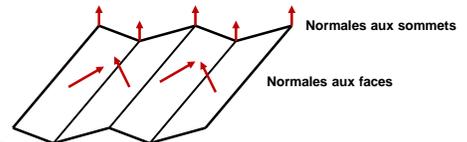
35

Problèmes

- ▶ Interpolation par balayage : perspective, rotation

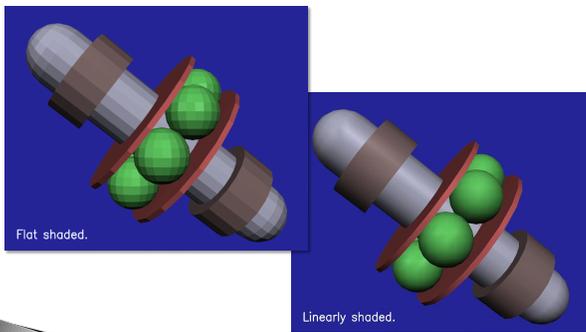


- ▶ Normales :



36

Flat vs. Interpolation linéaire



37

Variations spatiales

- « Coller » une image à la surface des objet
= changer les paramètres de la BRDF en tout point
- Placage de texture



BRDF seule



Texturé

38

Variations spatiales

- **BTF** : *Bidirectional Texture Function*
 - 6D : 2D pour l'espace + 4D de la BRDF
 - Acquisition et compression complexe



Texture



BTF

39