

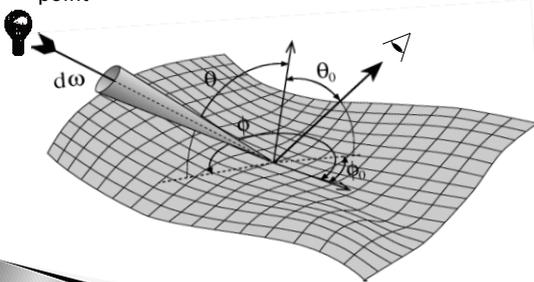
## Matériaux

## 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**

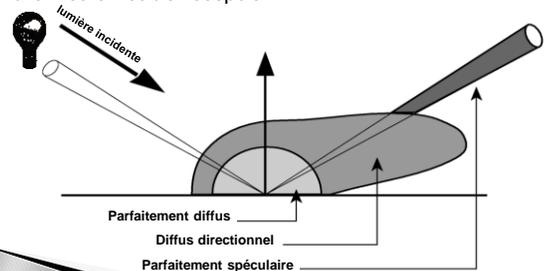
## BRDF : Bi-directional Reflectance Distribution Function

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



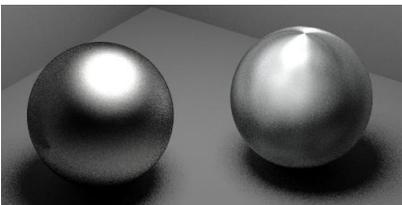
## BRDF

- **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 – Isotrope vs. Anisotrope

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ <b>Isotrope</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Invariant par rotation (3D)</li> <li>▪ Vrai pour de nombreuses surfaces</li> <li>▪ Une dimension de moins</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ <b>Anisotrope</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propriétés variables selon l'angle de rotation de la surface autour de la normale</li> </ul> </li> </ul> |
|--|--|

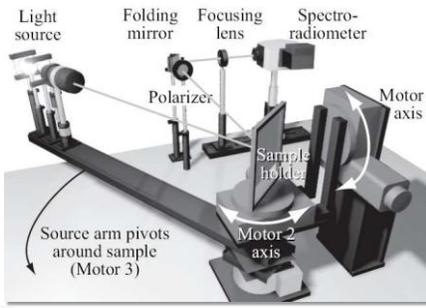


## BRDF – Représentation

- **Contraintes** :
  - Espace de stockage
  - Fidélité à capturer les caractéristiques clés d'un matériau
  - Echantillonnage rapide et simple
- **2 solutions** :
  - **Stockage explicite** des données tabulées
  - Approximation par un **modèle analytique**

## BRDF – Acquisition

- › Systèmes d'acquisition : goniorelectromètre



## BRDF – Base de données

- › MERL dataset
  - 100 matériaux mesurés

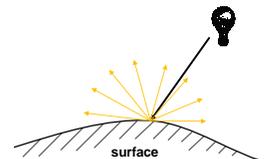


## BRDF– Modèles analytiques

- › **Empiriques**
  - Lambert, Phong, Blinn, Ward, Lafortune
  - Peuvent être combinés pour augmenter le réalisme
  - Simple à utiliser
- › **Modèles physiques**
  - Torrance–Sparrow, Cook–Torrance, Kajiya...
  - Des constantes propres au matériau sont nécessaires

## 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



en augmentant  $pd$

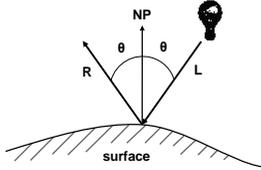
## Modèle d'Oren–Nayar [1993]

- › Surfaces **diffuses rugueuses**



## Réflexion spéculaire idéale

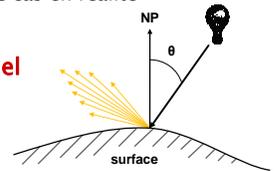
- ▶ **Réflexion spéculaire**
  - Surfaces brillantes (miroir)
- ▶ **Loi de Snell / Descartes**
  - la lumière qui atteint l'objet est réfléchié dans la direction ayant le même angle
- ▶ **BRDF : distribution de Dirac**



14

## 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, ce qui est le cas en réalité
- ▶ **Modèle de Phong**
- ▶ **Coefficients de Fresnel**



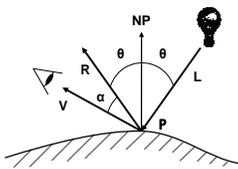
15

## Modèle de Phong [1975]

- ▶ la réflexion est importante lorsque l'angle  $\alpha$  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.

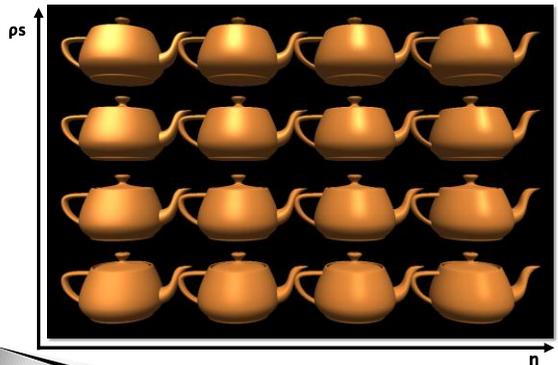
$$I(P) = \rho_s L \cos^n \alpha$$

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

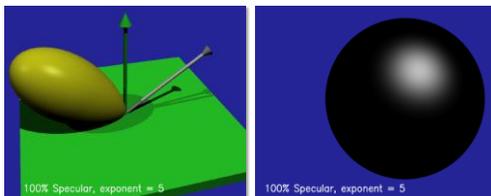
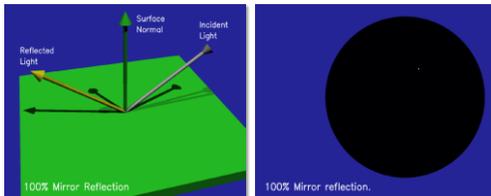


16

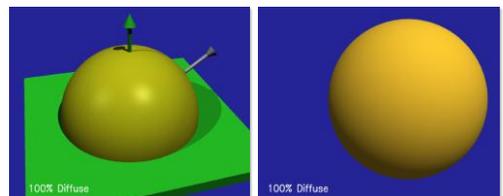
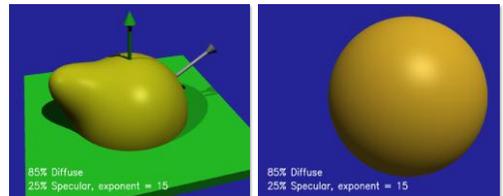
## Modèle de Phong



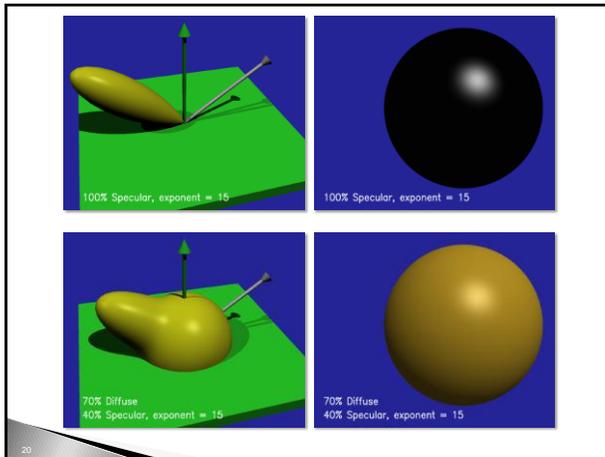
17



18



19



## Coefficients de Fresnel



Expérience de Lafortune, Foo, Torrance et Greenberg (Siggraph 1998)

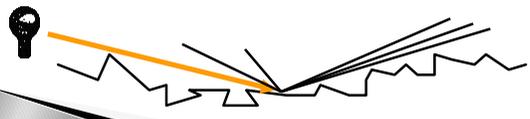
## Coefficients de Fresnel

- Variation du coefficient de réflexion en fonction de l'angle
- Interface entre deux matériaux d'indices différents :
  - complexes (conducteurs)
  - réels (diélectriques)



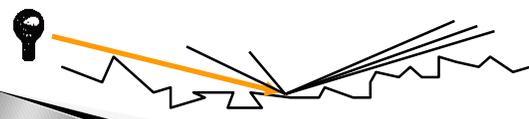
## Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

- 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
  - Pas de formule simple mais ce modèle approxime très bien les effets physiques des matériaux



## Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

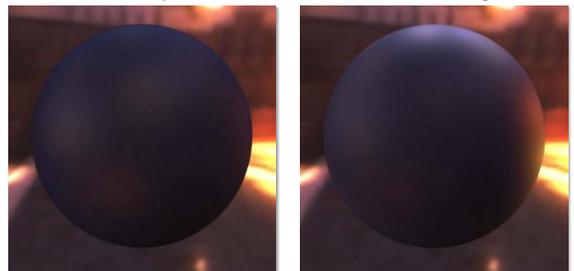
- Produit de 3 termes
  - Coefficient de Fresnel
  - Distribution des orientations des facettes
  - Masquage /Auto-ombrage



## Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises

Modèle de Phong



## Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises



Modèle de Cook-Torrance



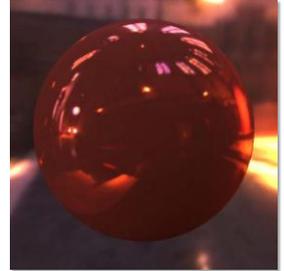
26

## Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises



Modèle de Cook-Torrance



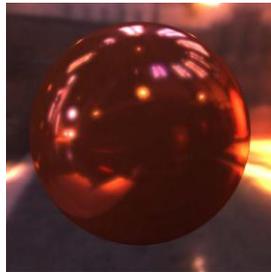
27

## Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

Données acquises



Cook-Torrance avec 2 lobes



28

## Variations spatiales

- Plaquer une image à la surface des objets  
= changer les paramètres de la BRDF en tout point
- Placage de texture



BRDF seule



Texturé

29

## Variations spatiales

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



Texture



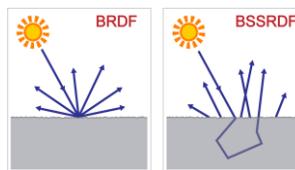
BTF

Jean Kautz et al. 2007

30

## Variations volumiques

- **BSSRDF** : *Bidirectional surface scattering reflectance distribution function*
  - Fonction 8D
  - Translucence (*Subsurface Scattering*)
  - Coûteux à évaluer



Ravi Ramamoorthi

31

## Variations volumiques

- **BSSRDF** : *Bidirectional surface scattering reflectance distribution function*



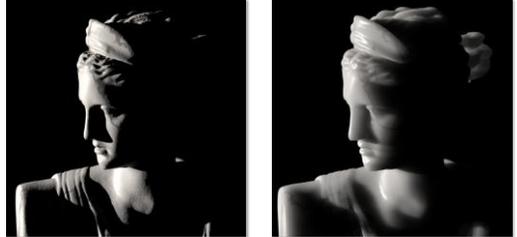
BRDF

BSSRDF

Henrik Wann Jensen, 2001

## Variations volumiques

- **BSSRDF** : *Bidirectional surface scattering reflectance distribution function*



BRDF

BSSRDF

Henrik Wann Jensen, 2001