

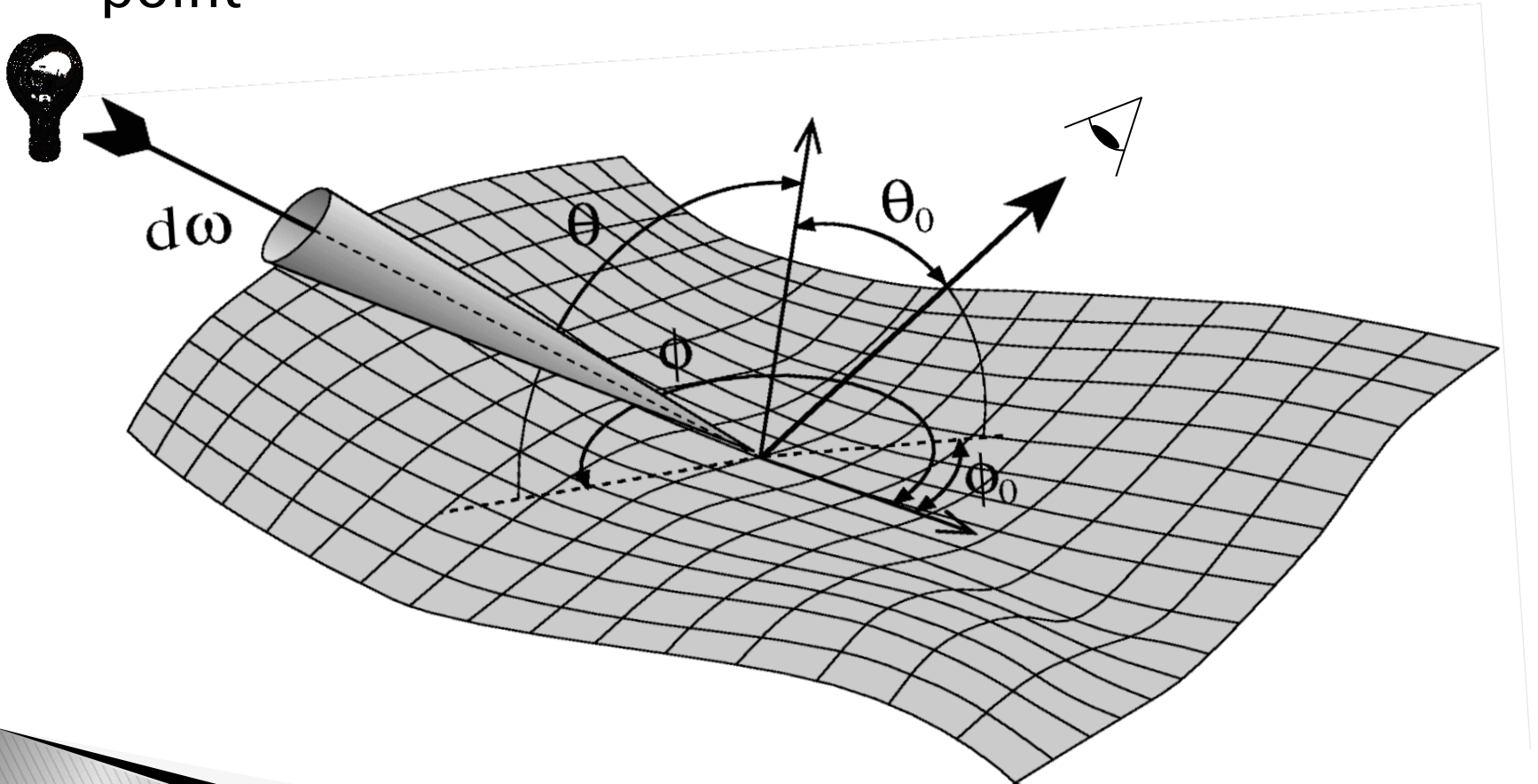
# Matériaux

# 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**

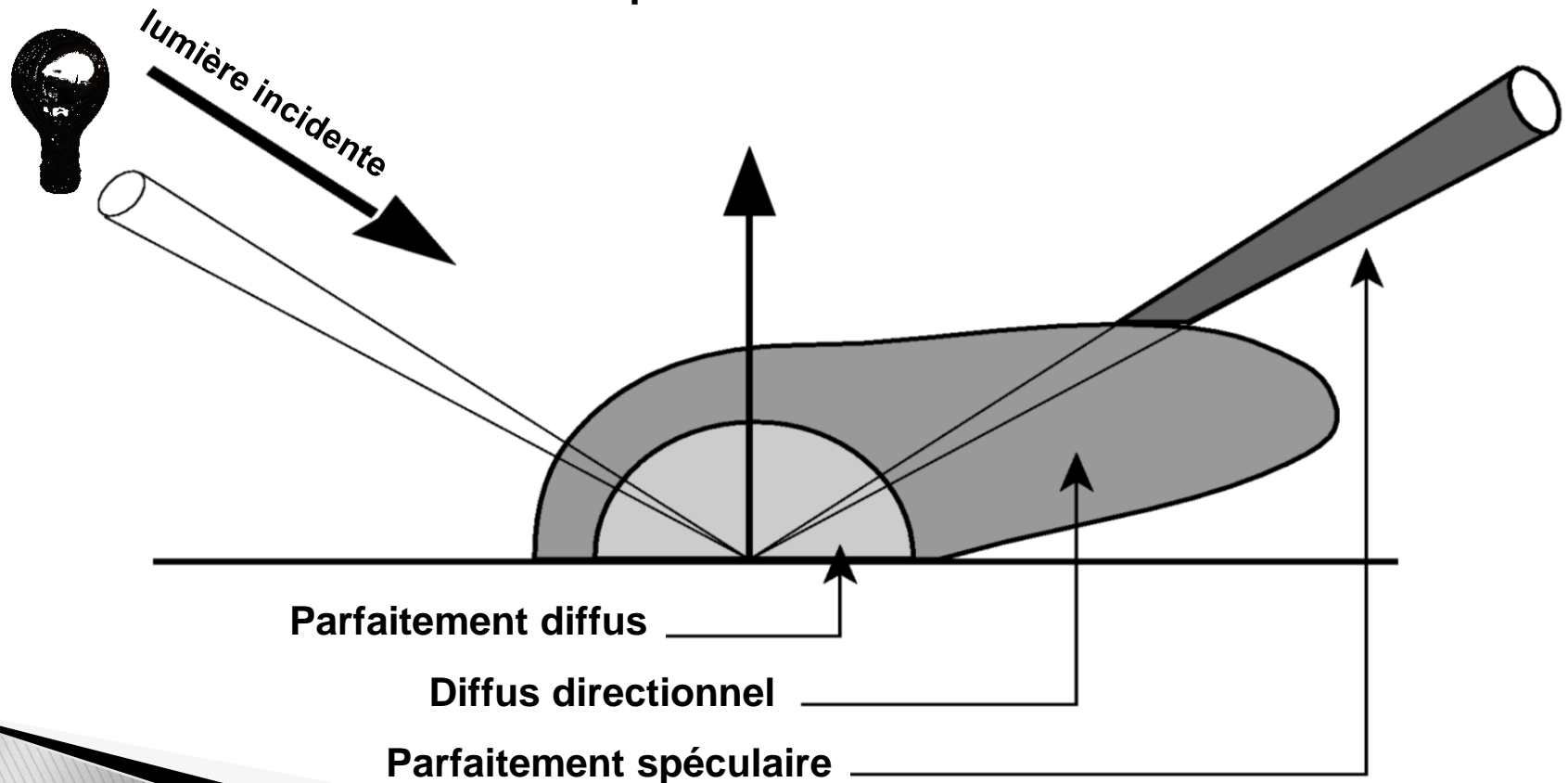
# BRDF : *Bi-directional Reflectance Distribution Function*

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



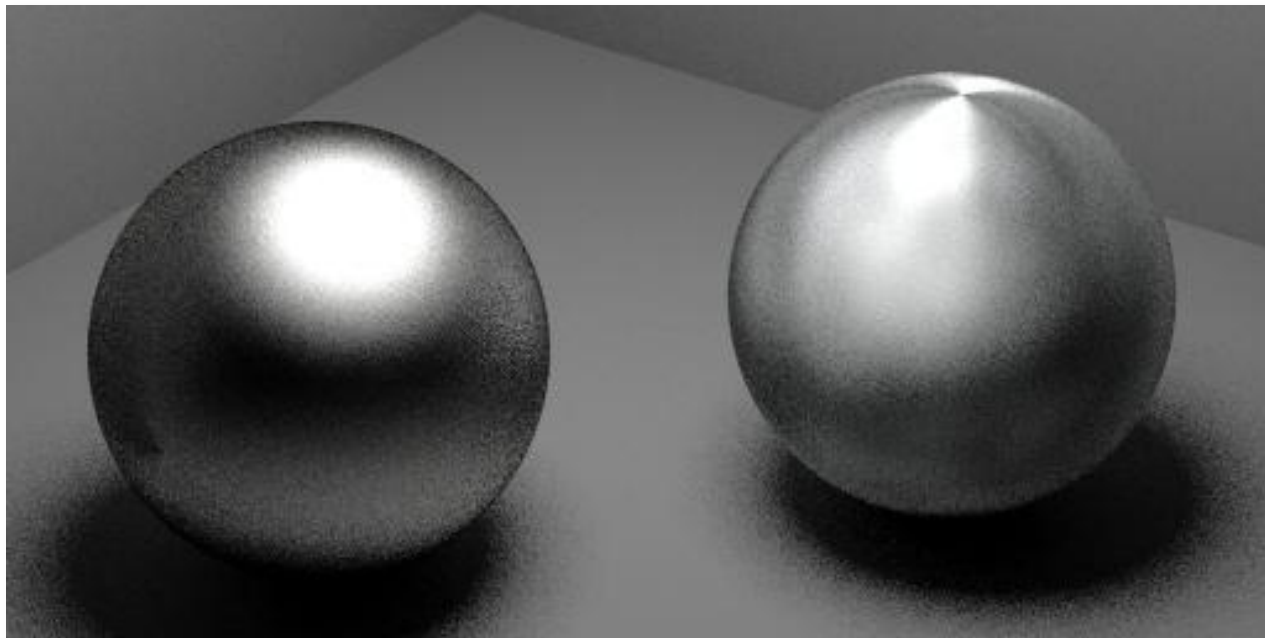
# BRDF – Isotrope vs. Anisotrope

## ▶ **Isotrope**

- Invariant par rotation (3D)
- Vrai pour de nombreuses surfaces
- Une dimension de moins

## ▶ **Anisotrope**

- Propriétés variables selon l'angle de rotation de la surface autour de la normale



# BRDF – Représentation

## ▶ Contraintes :

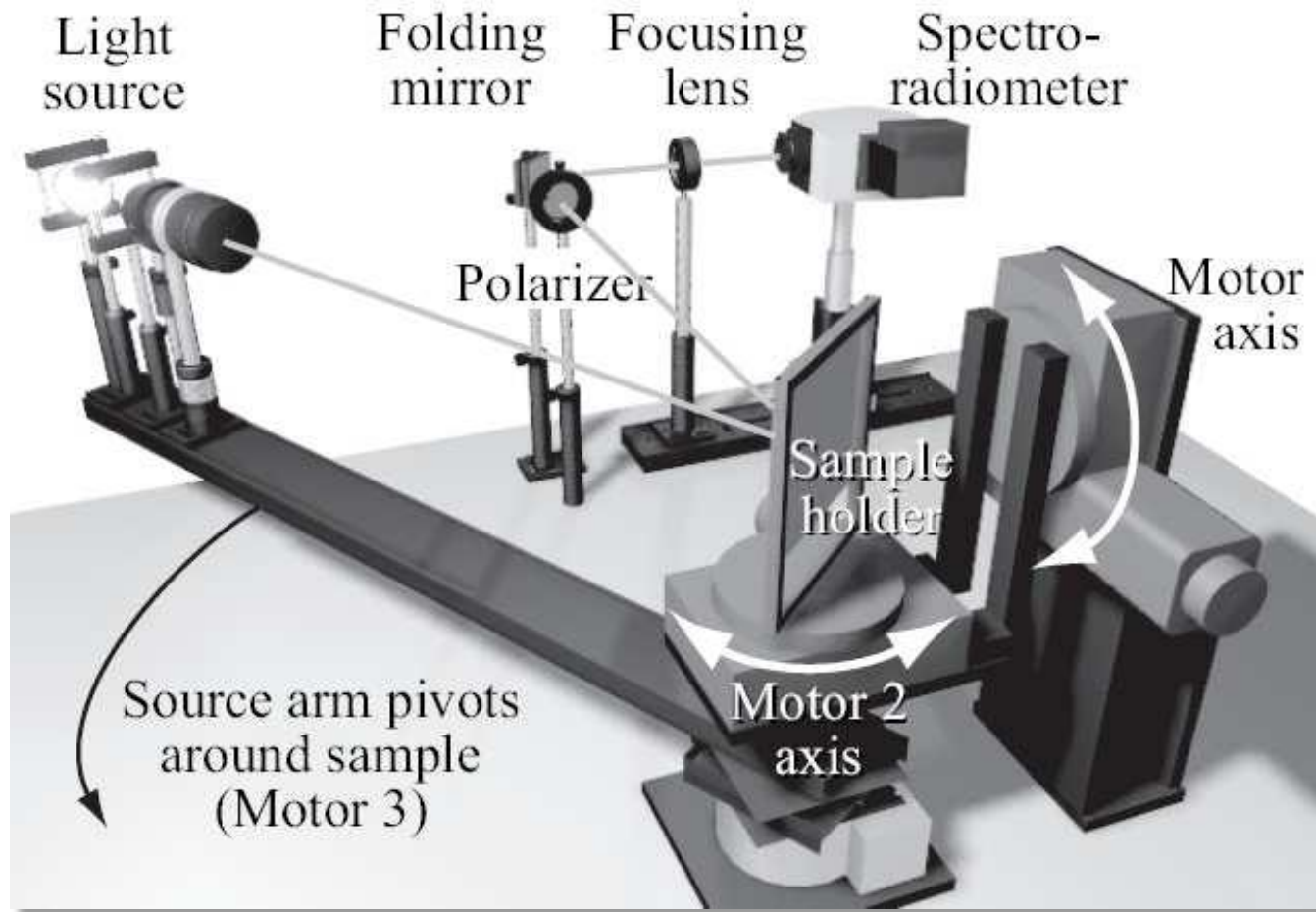
- Espace de stockage
- Fidélité à capturer les caractéristiques clés d'un matériau
- Echantillonnage rapide et simple

## ▶ 2 solutions :

- **Stockage explicite** des données tabulées
- Approximation par un **modèle analytique**

# BRDF – Acquisition

- ▶ Systèmes d'acquisition : gonioreflectomètre



# 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

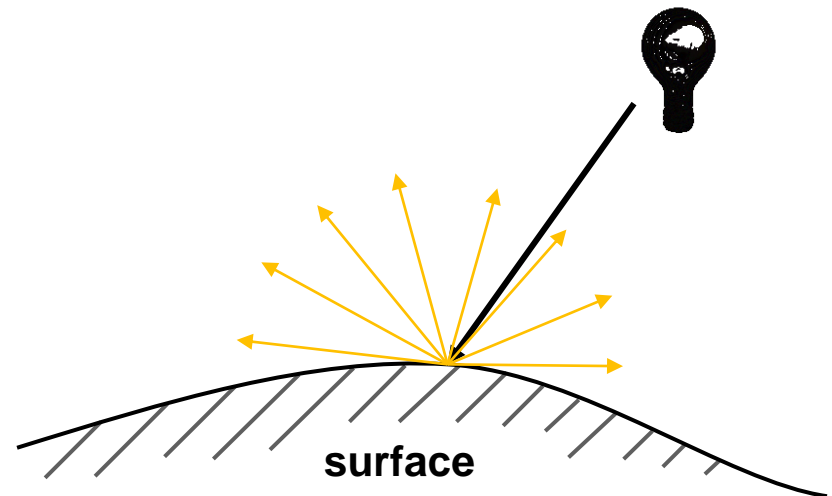
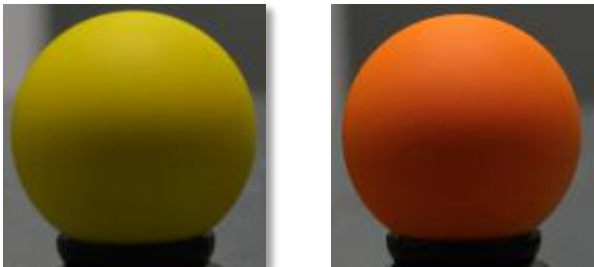
## ▶ Réflexion diffuse

- 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  $\rho_d$

# Modèle d'Oren-Nayar [1993]

- ▶ Surfaces **diffuses rugueuses**



**Surface réelle**



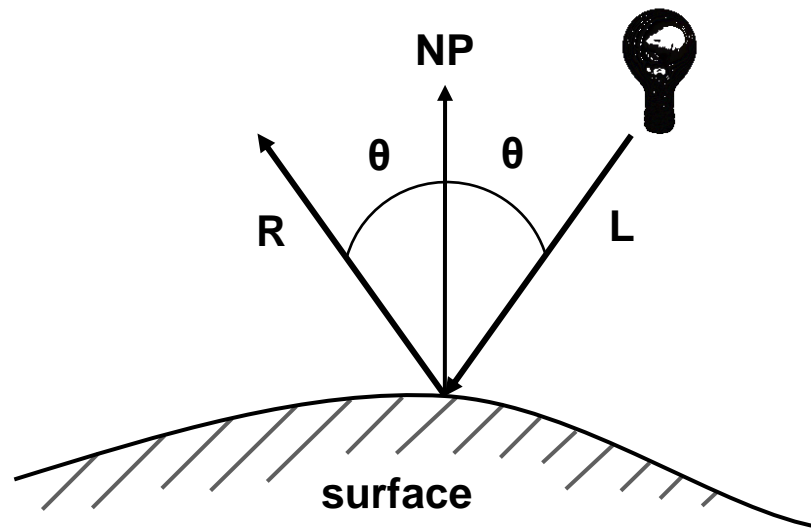
**Modèle lambertien**



**Oren-Nayar**

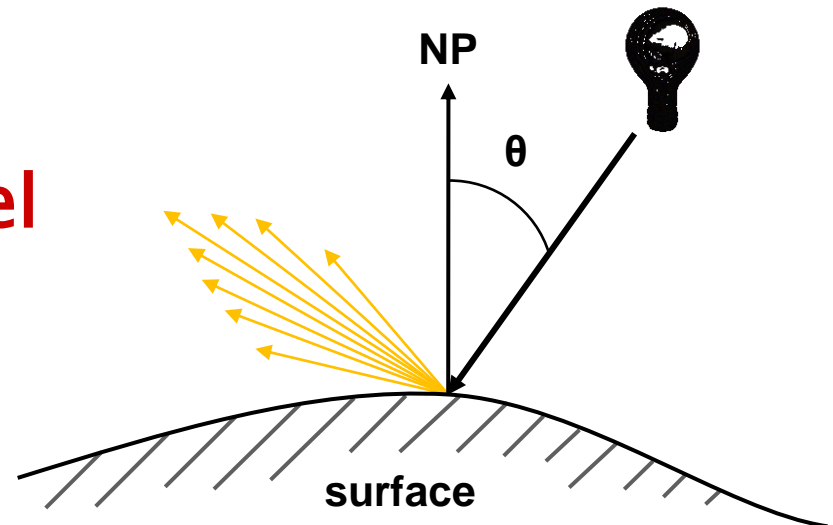
# Réflexion spéculaire idéale

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

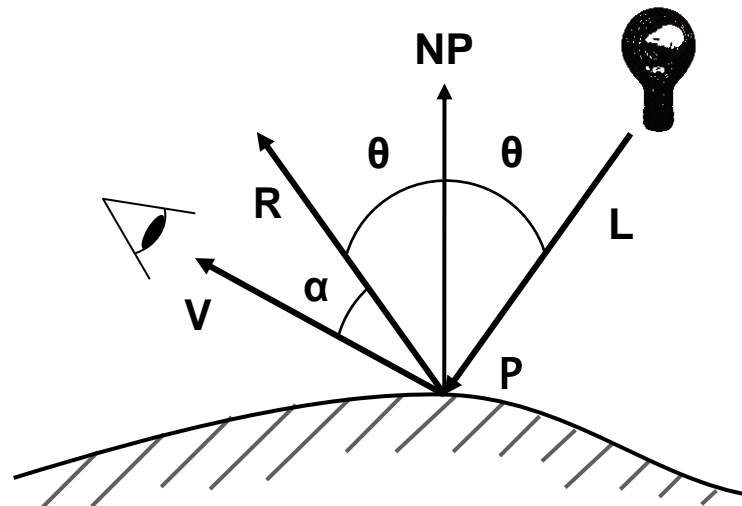


# Modèle de Phong [1975]

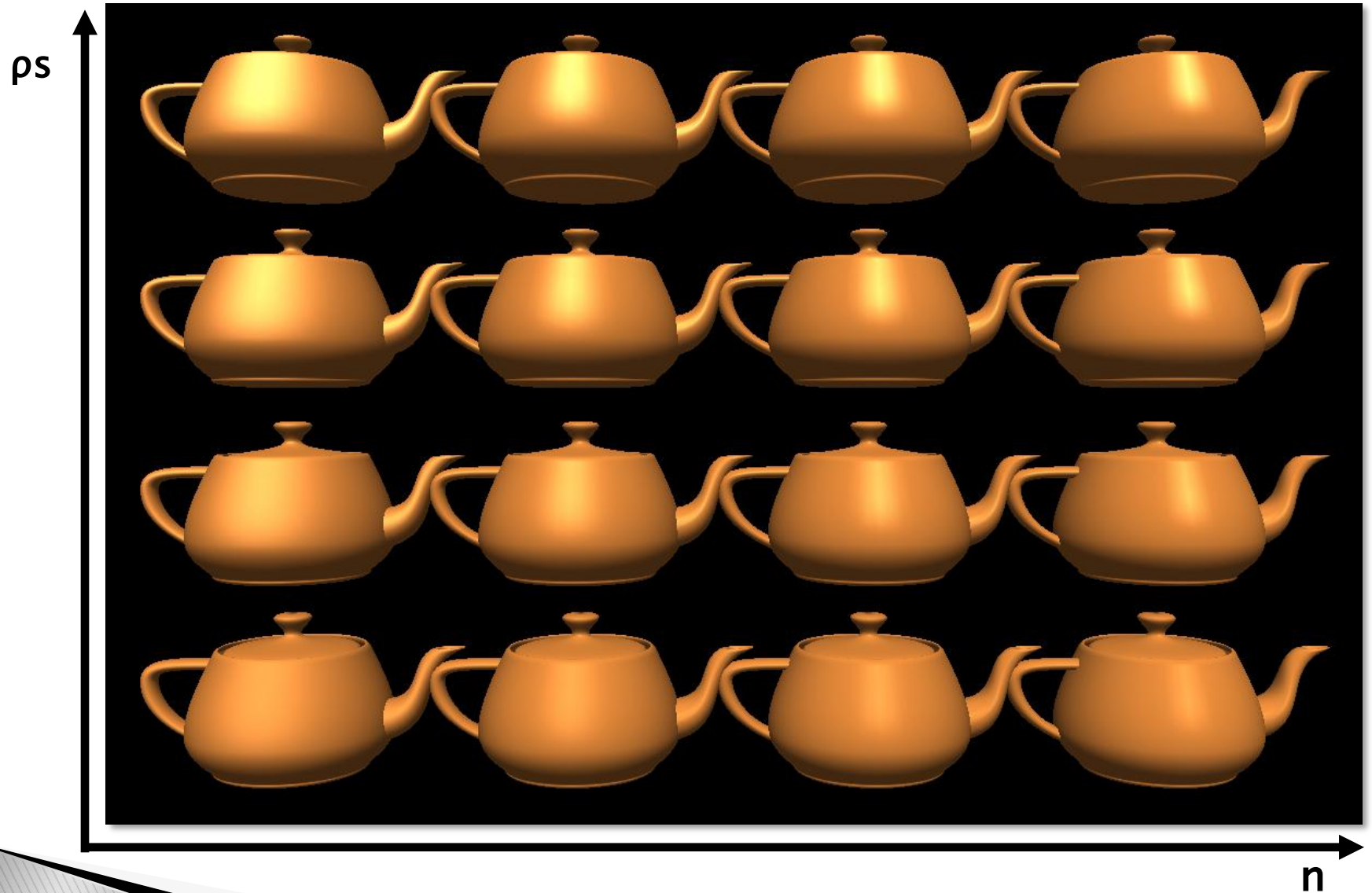
- ▶ la réflexion est importante lorsque l'angle  $\alpha$  entre la direction d'observation du point de la surface  $V$  et la direction de réflexion  $R$  (symétrique de la direction  $L$  par rapport à  $NP$ ) est faible. Cette réflexion diminue de façon importante lorsque l'angle augmente.

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

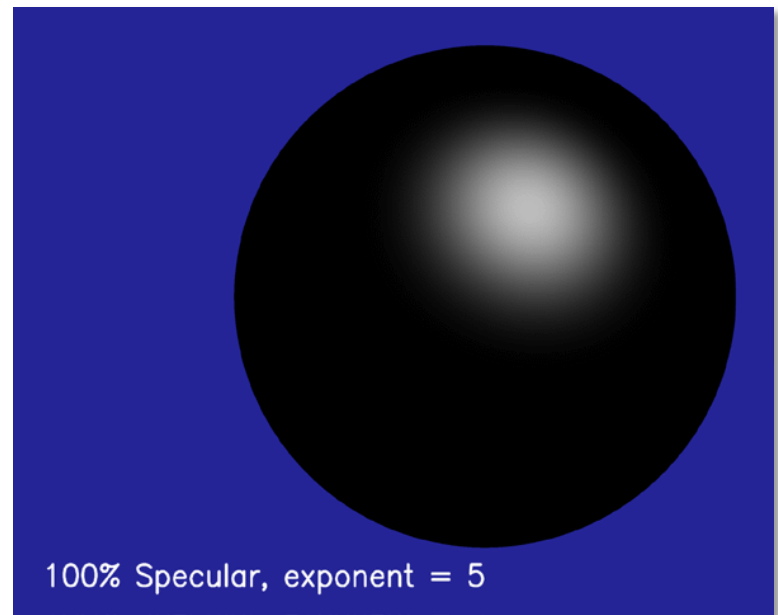
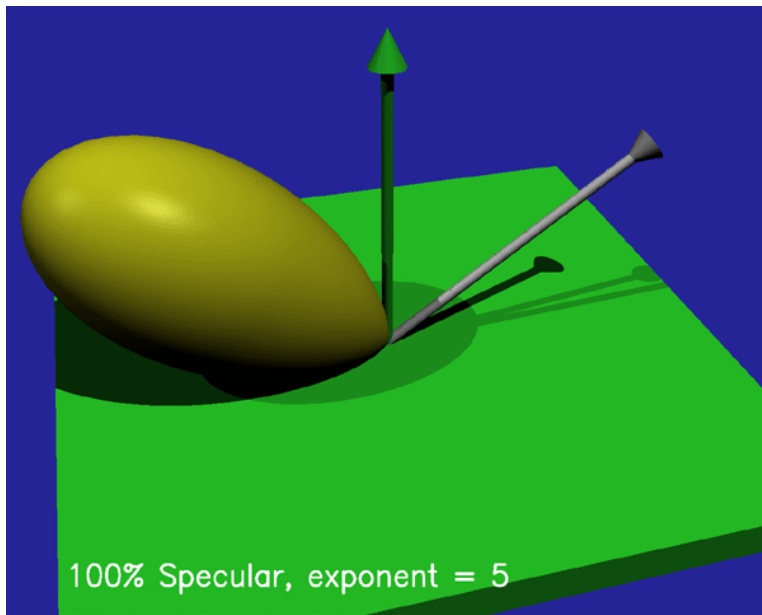
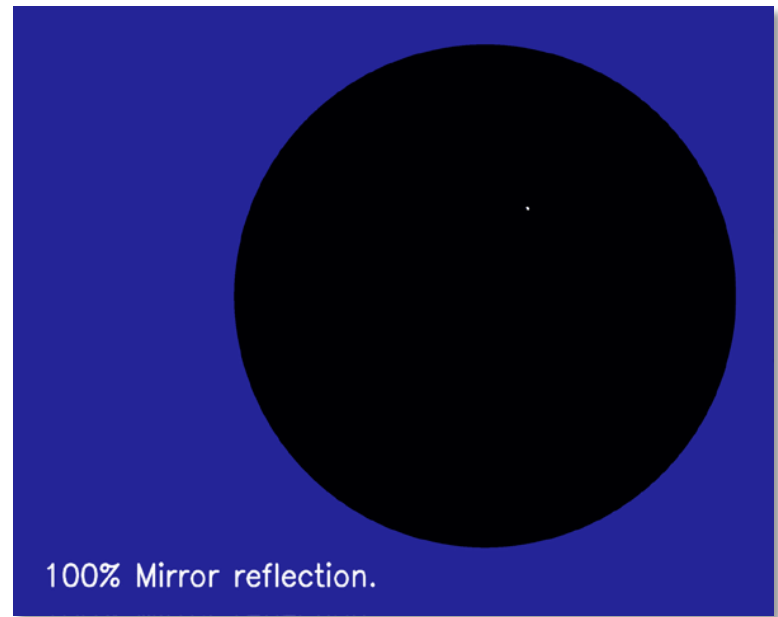
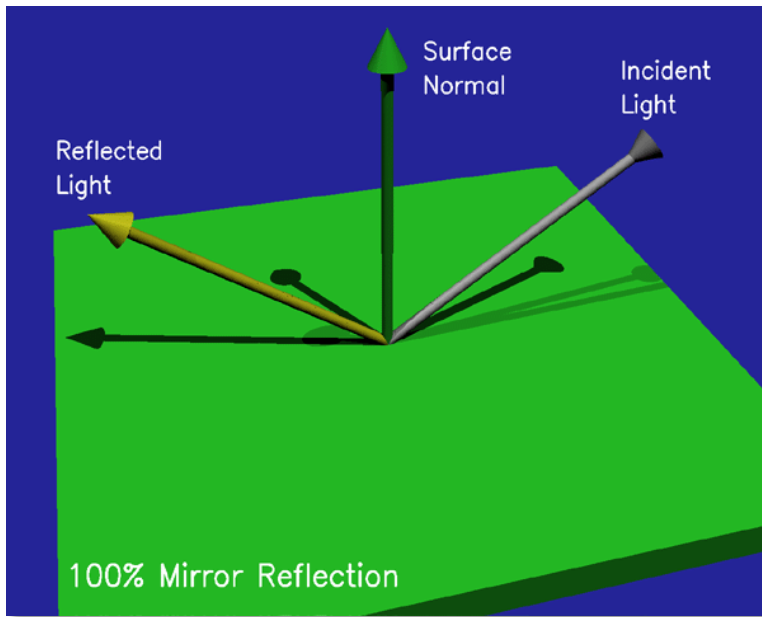
- $n$  = rugosité :  $\infty$  (1024) pour un miroir, 1 pour une surface très rugueuse.
- $\cos \alpha = V \cdot R$
- $R = 2(\cos\theta) N-L$   
 $= 2(N \cdot L) N-L$

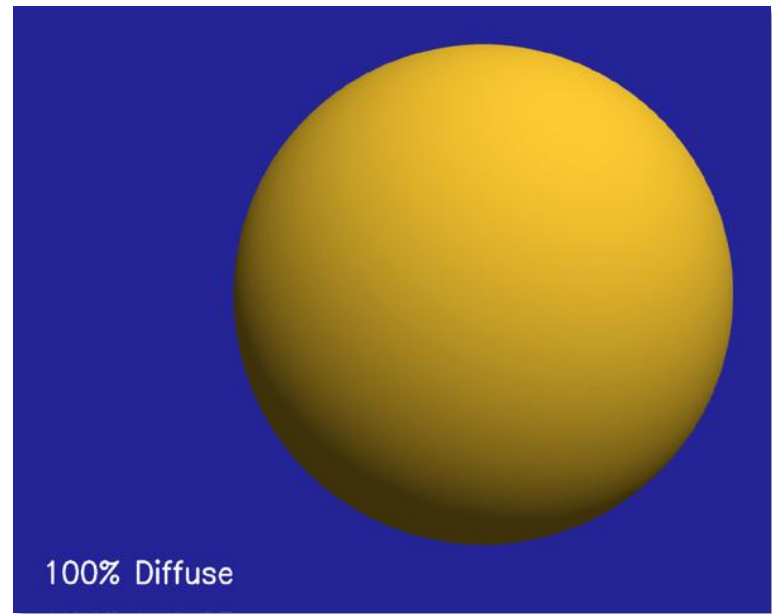
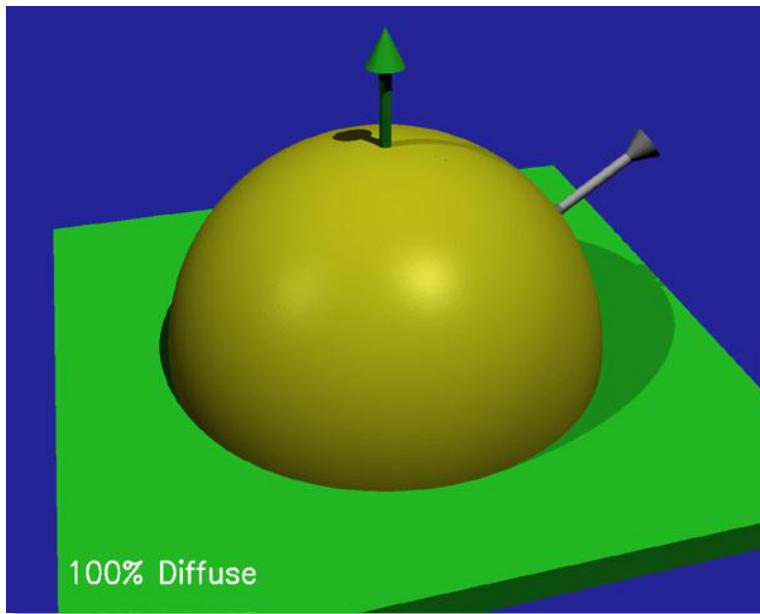
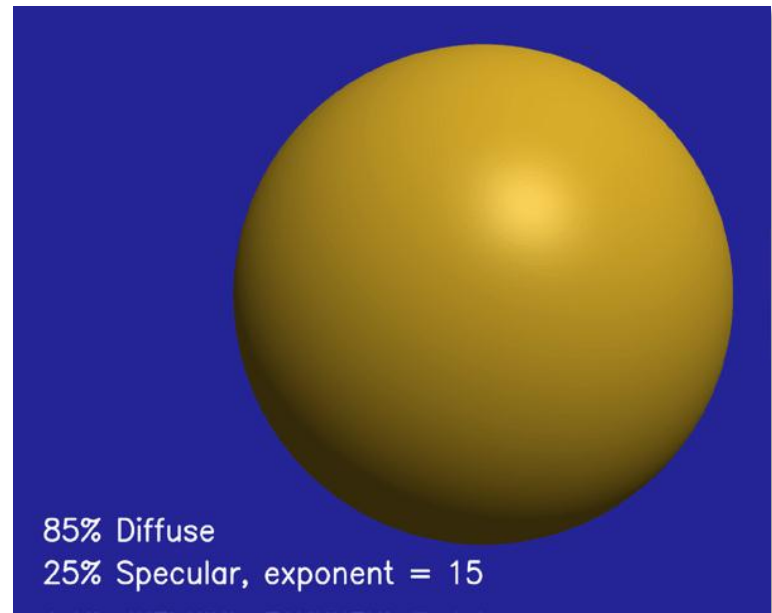
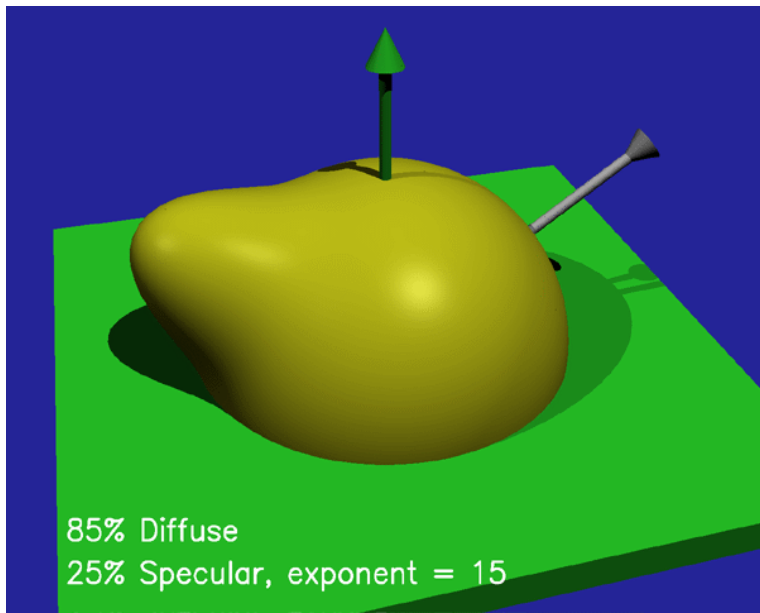


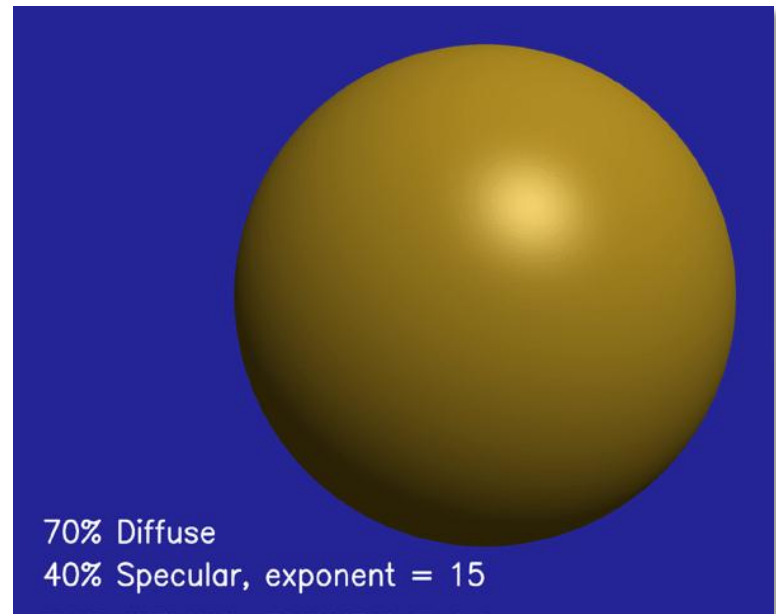
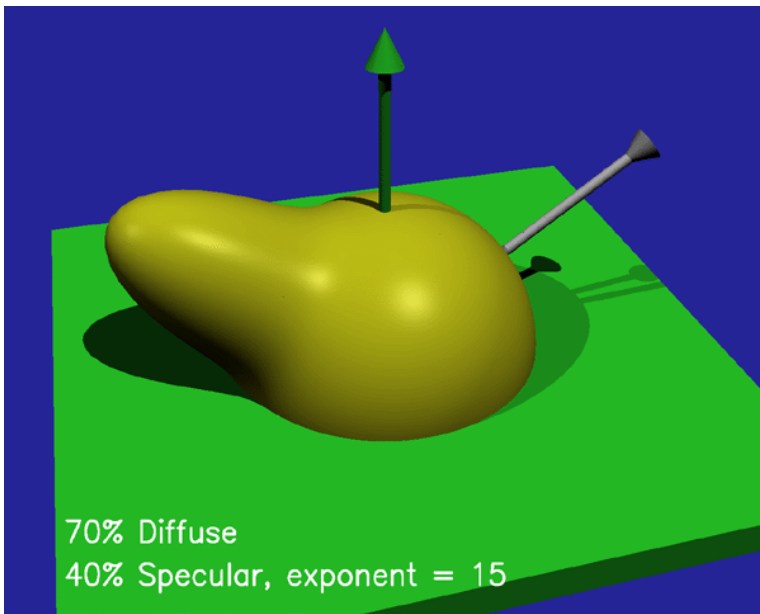
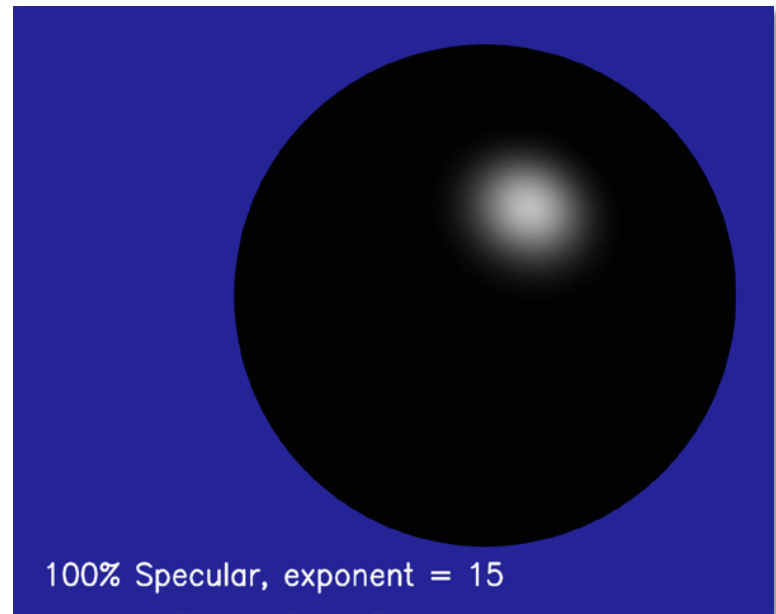
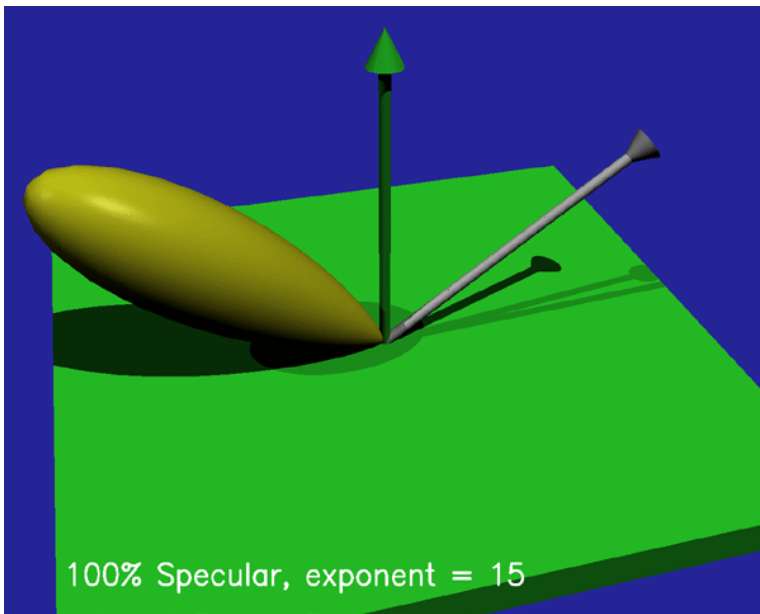
# Modèle de Phong











# Coefficients de Fresnel



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

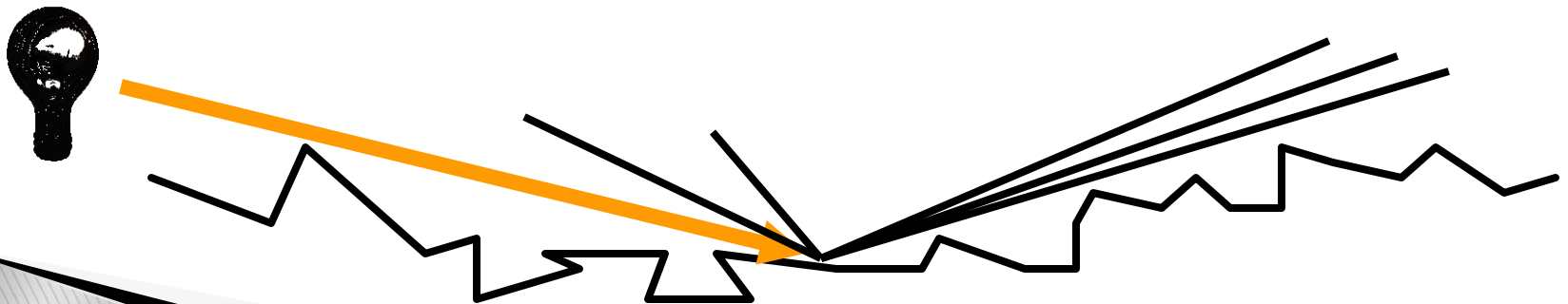
# Coefficients de Fresnel

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



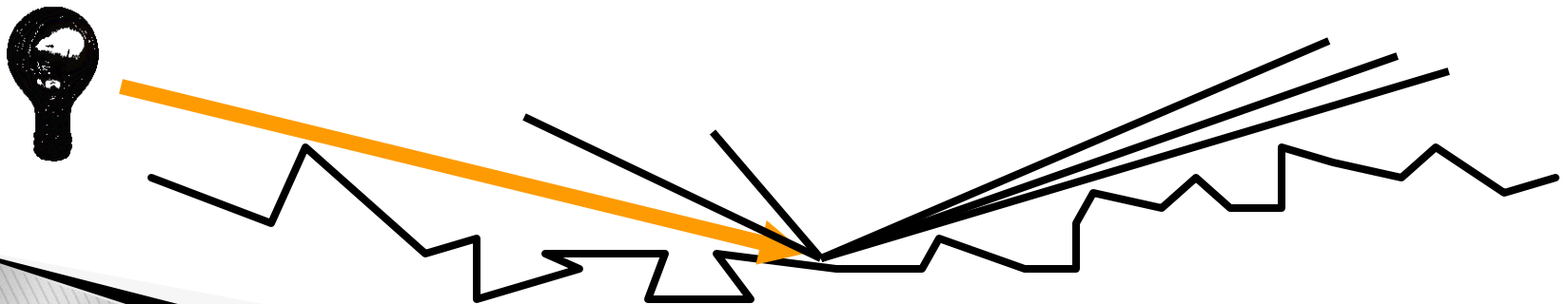
# Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

- ▶ 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



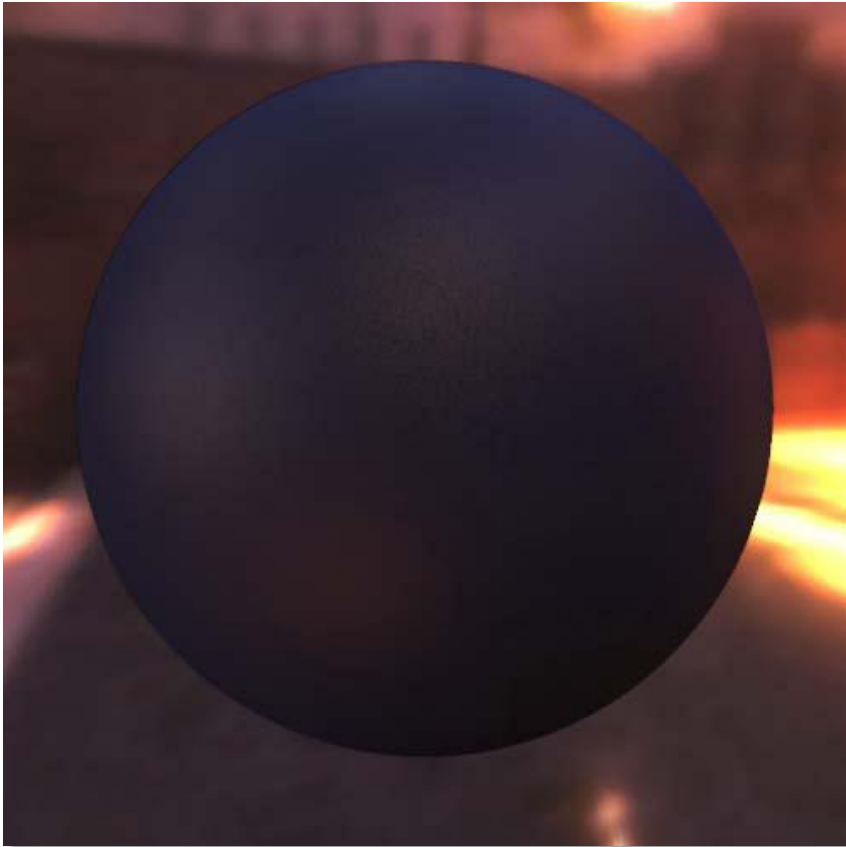
# Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

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

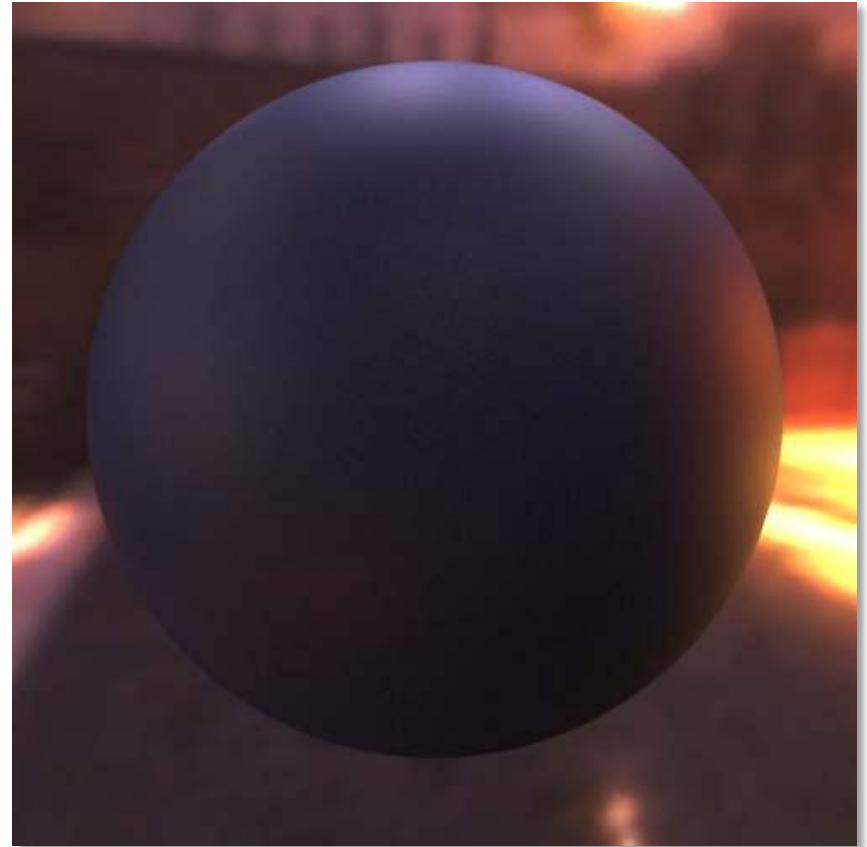


# Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

**Données acquises**



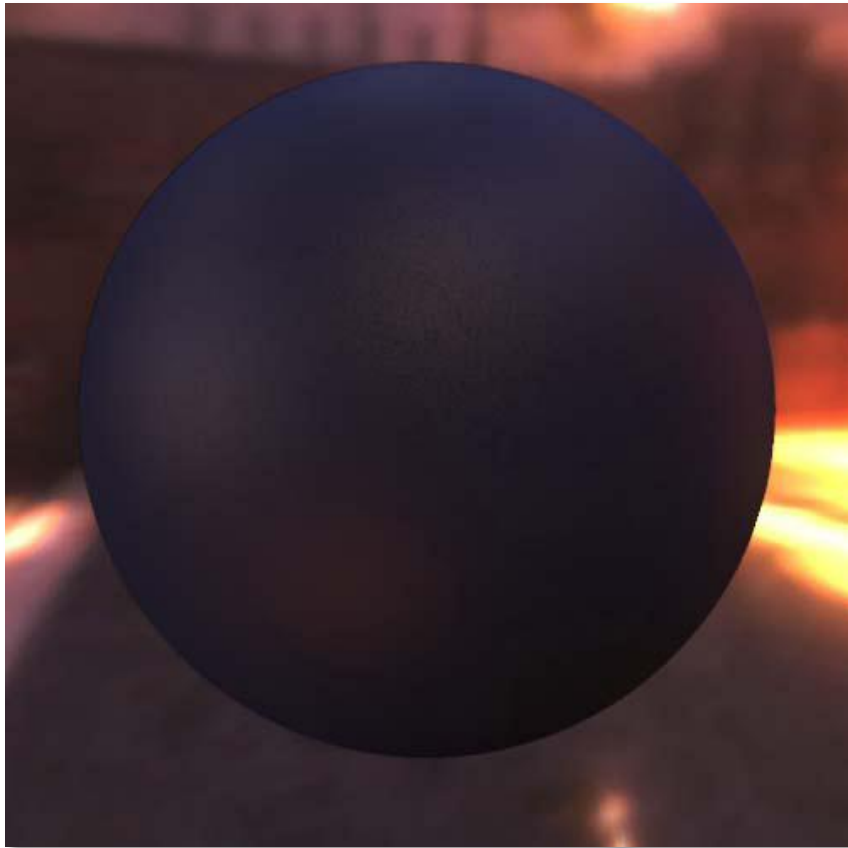
**Modèle de Phong**



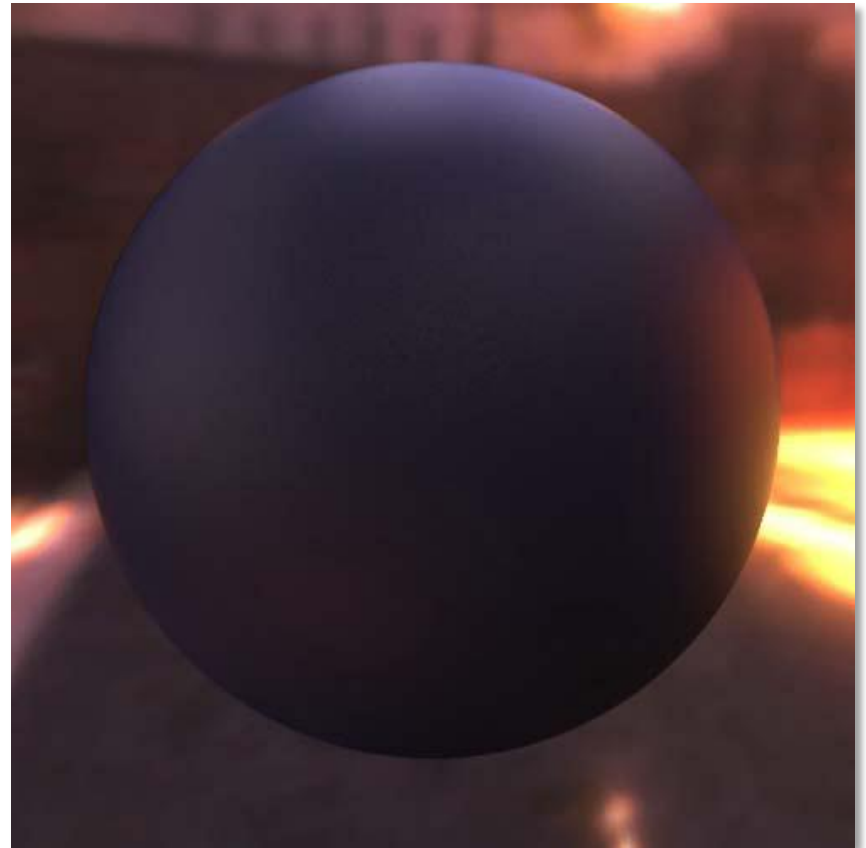


# Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

**Données acquises**

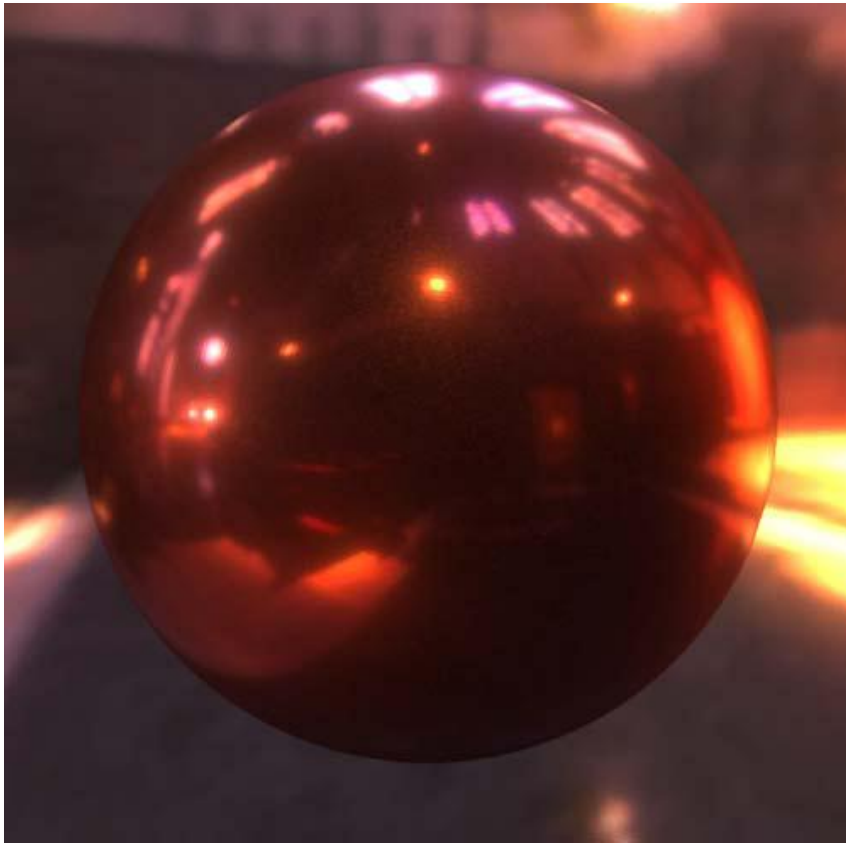


**Modèle de Cook-Torrance**

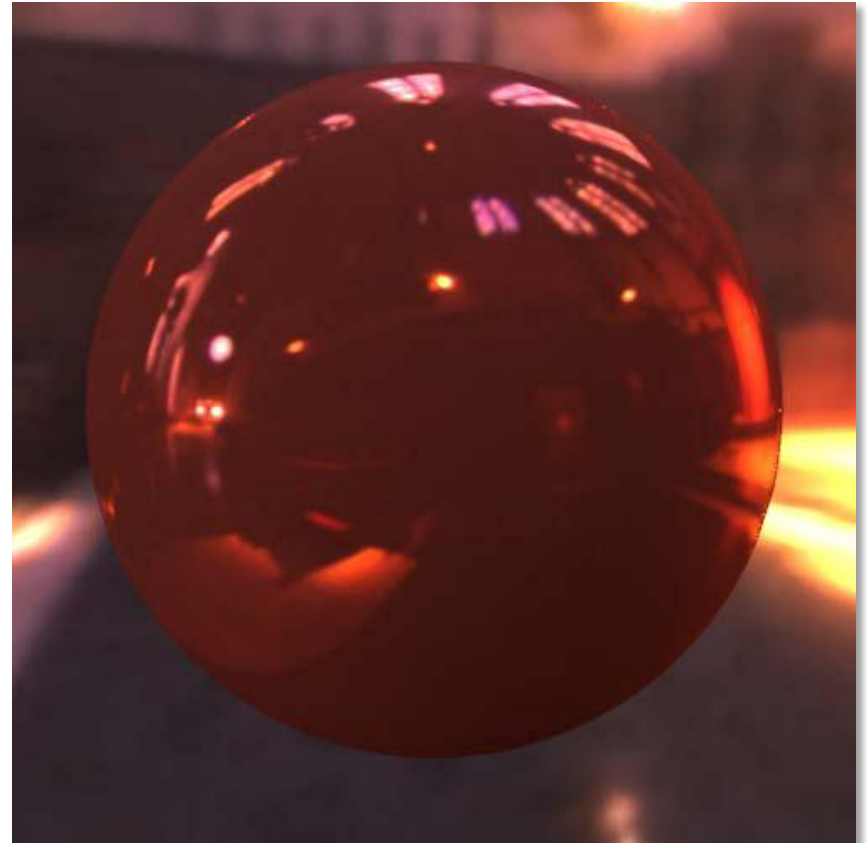


# Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

**Données acquises**

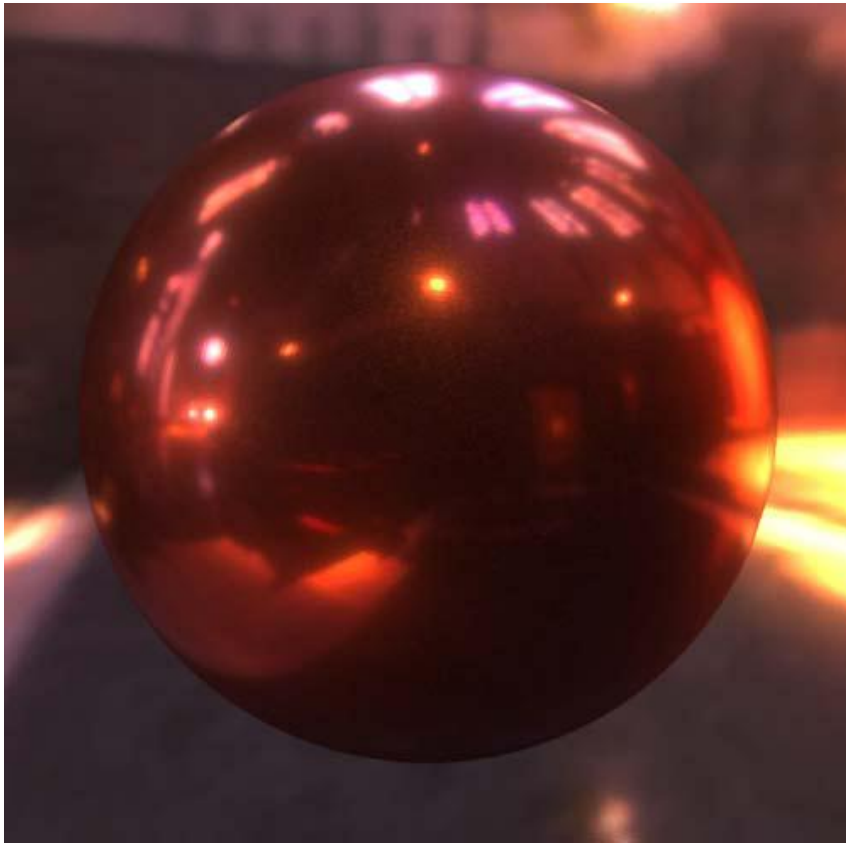


**Modèle de Cook-Torrance**

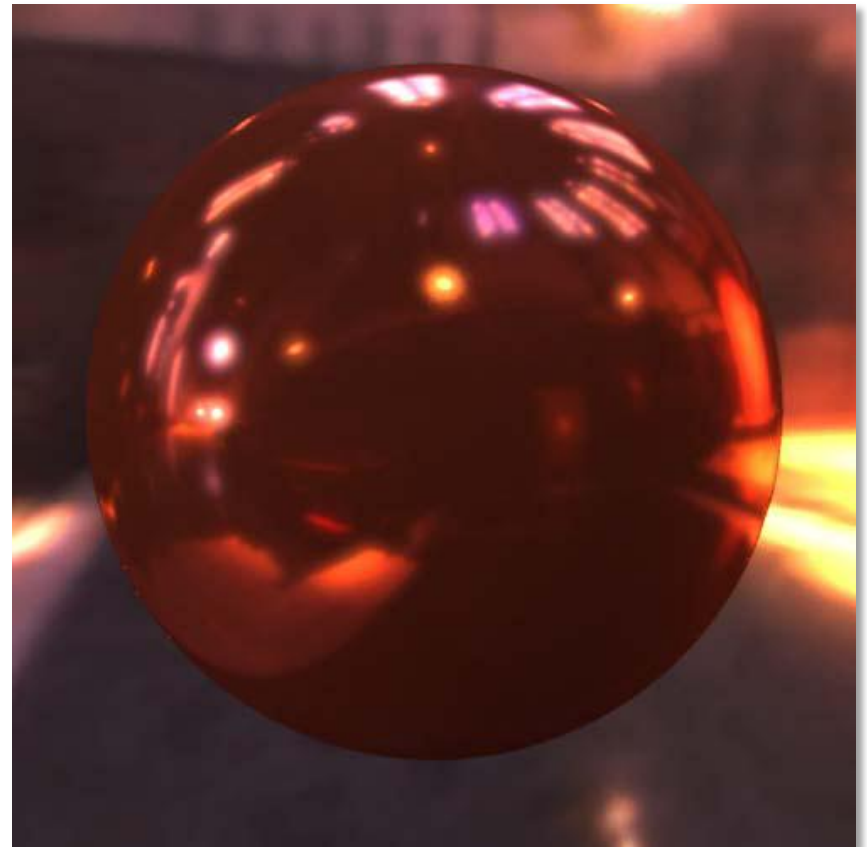


# Cook-Torrance-Sparrow Model [1967]

**Données acquises**



**Cook-Torrance avec 2 lobes**



# 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**

# Variations spatiales

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



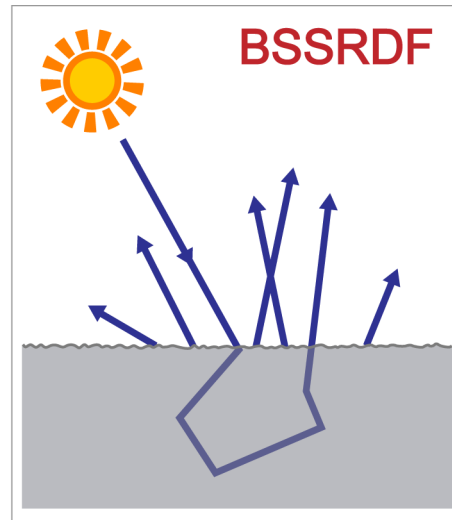
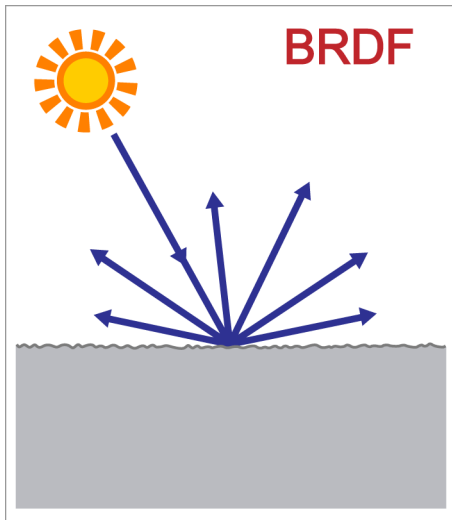
Texture



BTF

# Variations volumiques

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



Ravi Ramamoorthi

# Variations volumiques

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



**BRDF**



**BSSRDF**

# Variations volumiques

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



**BRDF**



**BSSRDF**