

# Éclairage et matériaux

# Éclairage

Quelle couleur doit-on afficher pour ce pixel ?

⇒ **Interaction de la lumière avec la scène et l'œil**

Dépend de :



# Éclairage

Quelle couleur doit-on afficher pour ce pixel ?

⇒ **Interaction de la lumière avec la scène et l'œil**

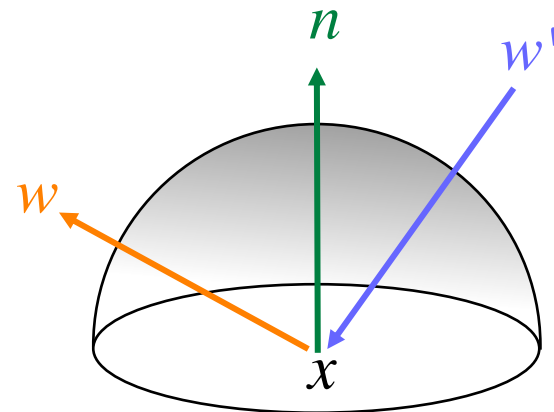
Dépend de :

- **position** du point dans l'espace
- **orientation** du « point » (élément de surface)
- **caractéristiques de la surface**  
(diffusion, réflexion, transparence...)
- **sources de lumière** (surfaciques, directionnelles, ponctuelles...)
- position et orientation de la **caméra**

# Équation du rendu [Kajiya 1986]

$$L(x, w) =$$

$L(x, w)$       **lumière émise** par le point  $x$  dans la direction  $w$

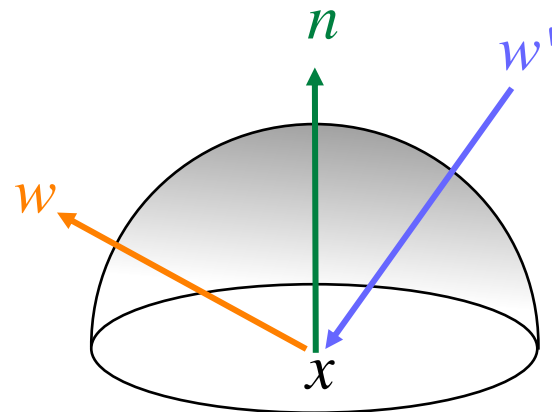


# Équation du rendu [Kajiya 1986]

$$L(x, w) = L_e(x, w)$$

$L(x, w)$  lumière émise par le point  $x$  dans la direction  $w$

$L_e(x, w)$  **lumière propre** émise par l'objet (si source)



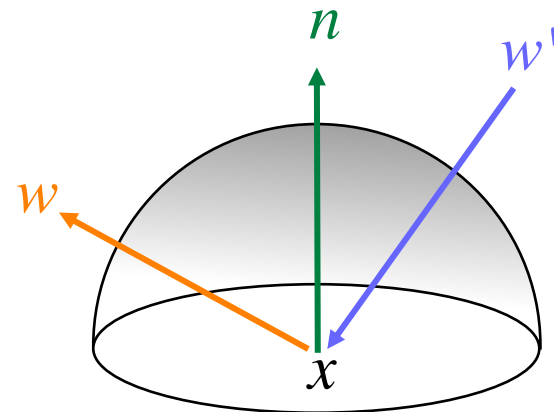
# Équation du rendu [Kajiya 1986]

$$L(x, \mathbf{w}) = L_e(x, \mathbf{w}) + \int_{\Omega_n} L(x, \mathbf{w}') \quad d\mathbf{w}'$$

$L(x, \mathbf{w})$  lumière émise par le point  $x$  dans la direction  $\mathbf{w}$

$L_e(x, \mathbf{w})$  lumière propre émise par l'objet (si source)

$L(x, \mathbf{w}')$  **lumière arrivant** au point  $x$  depuis la direction  $\mathbf{w}'$



# Équation du rendu [Kajiya 1986]

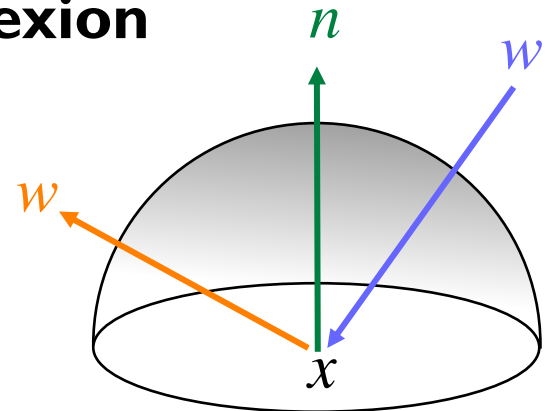
$$L(x, \mathbf{w}) = L_e(x, \mathbf{w}) + \int_{\Omega_n} L(x, \mathbf{w}') \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle \rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w}) d\mathbf{w}'$$

$L(x, \mathbf{w})$  lumière émise par le point  $x$  dans la direction  $\mathbf{w}$

$L_e(x, \mathbf{w})$  lumière propre émise par l'objet (si source)

$L(x, \mathbf{w}')$  lumière arrivant au point  $x$  depuis la direction  $\mathbf{w}'$

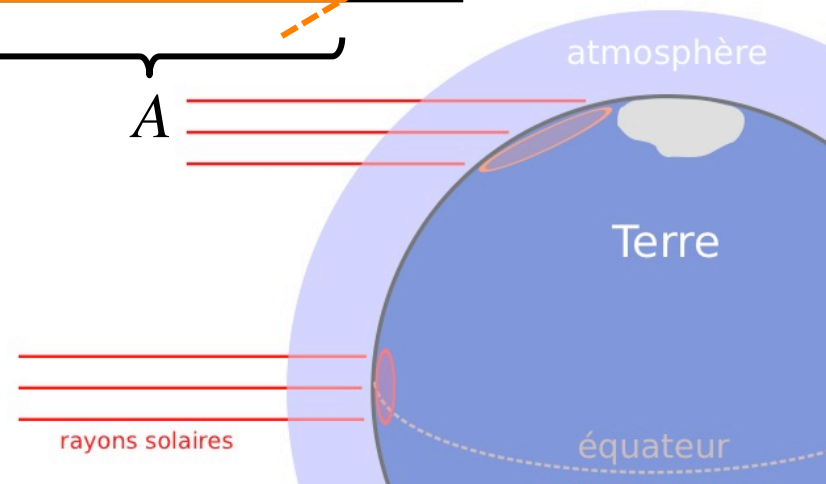
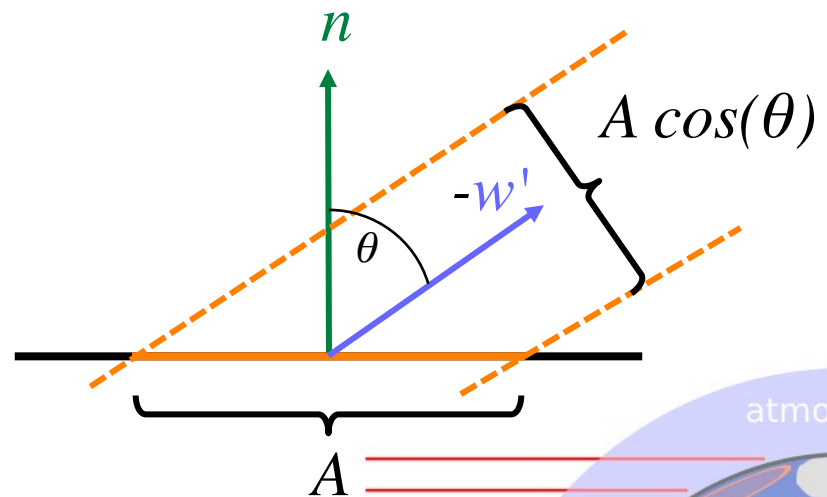
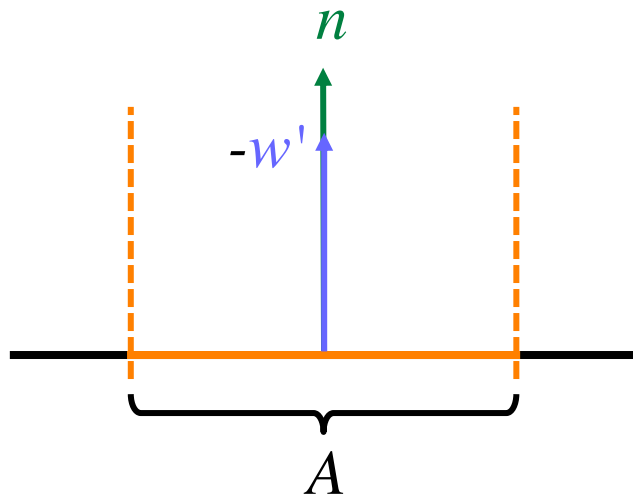
$\langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle$   
 $\rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w})$  } propriétés de réflexion  
de la surface



# Cos-term

$$\langle n \cdot -w' \rangle = \cos(\theta)$$

Prise en compte de **l'inclinaison de la surface** par rapport à la source

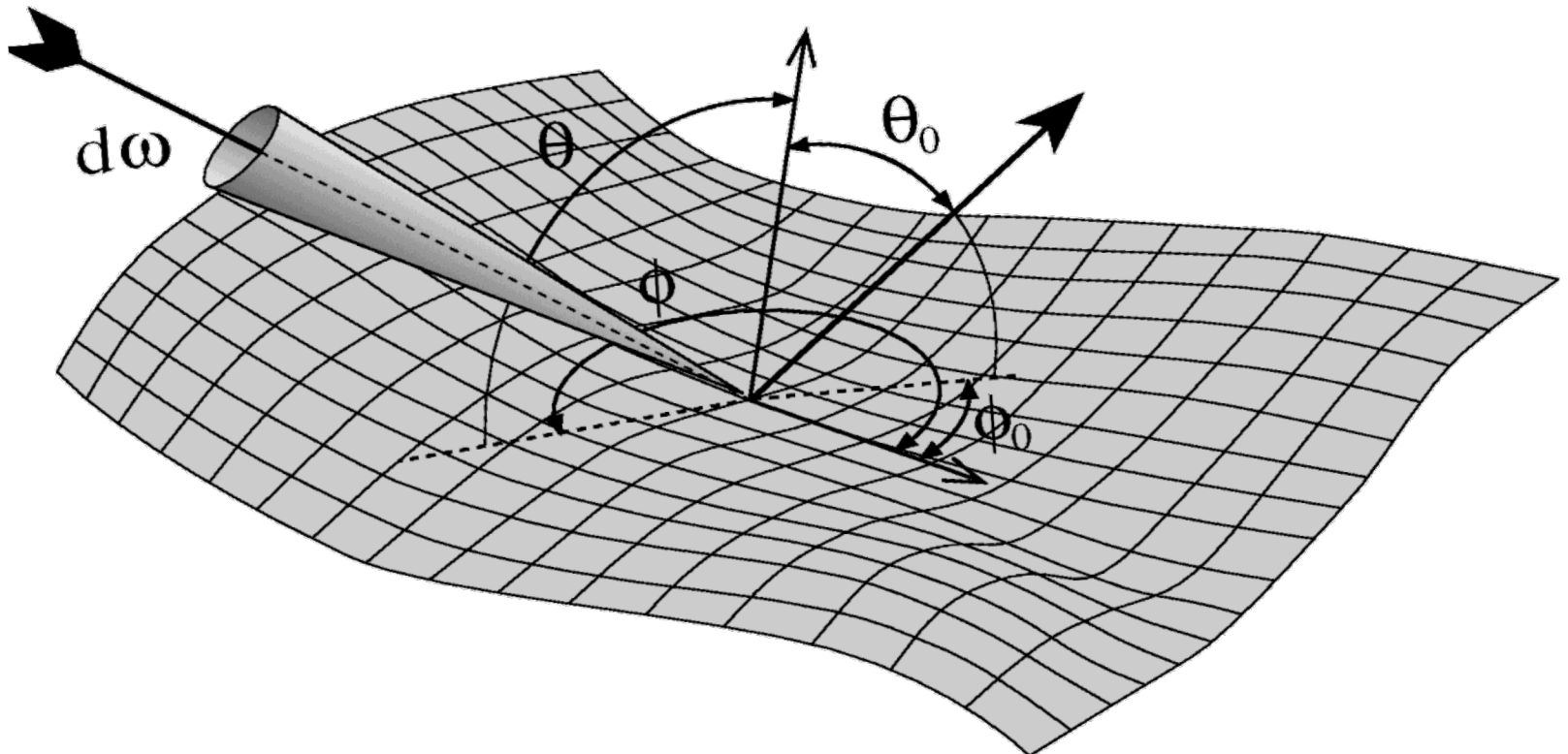




# BRDF : *Bi-directional Reflectance Distribution Function*

$$\rho(-\omega', \omega) = \rho(\theta, \phi, \theta_0, \phi_0)$$

**Fonction 4D** indiquant comment la lumière incidente en un point est réfléchi en ce point (indépendant de la position  $x$ )



# Équation du rendu [Kajiya 1986]

$$L(x, \mathbf{w}) = L_e(x, \mathbf{w}) + \int_{\Omega_n} L(x, \mathbf{w}') \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle \rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w}) d\mathbf{w}'$$

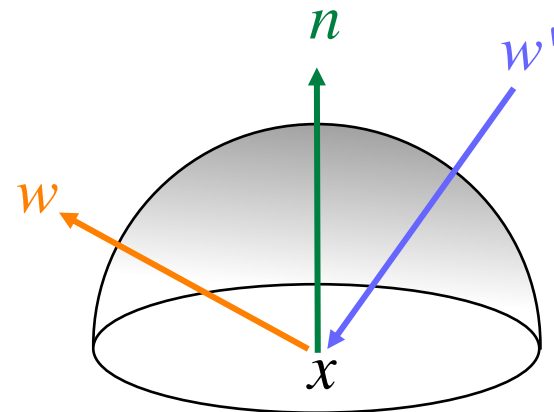
$L(x, \mathbf{w})$  lumière émise par le point  $x$  dans la direction  $\mathbf{w}$

$L_e(x, \mathbf{w})$  lumière propre émise par l'objet (si source)

$L(x, \mathbf{w}')$  lumière arrivant au point  $x$  depuis la direction  $\mathbf{w}'$

$\langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle$  *cos-term*

$\rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w})$  BRDF



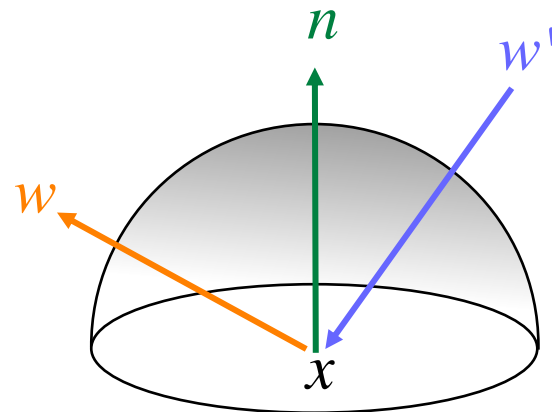
# Équation du rendu [Kajiya 1986]

$$L(x, w) = L_e(x, w) + \int_{\Omega_n} L(x, w') \langle n \cdot -w' \rangle \rho(x, -w', w) dw'$$

## Équation réursive

- très coûteuse à évaluer
- cf. UE « Synthèse d'Images Avancée » l'an prochain

⇒ **approximation : éclairage local**



# Équation du rendu simplifiée

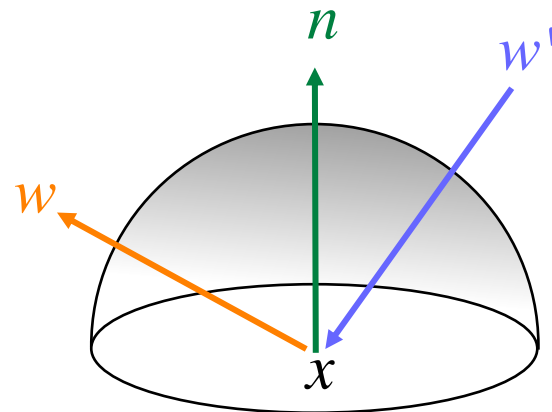
$$L(x, \mathbf{w}) = \sum_l V_l(x) \max(0, \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle) \rho(-\mathbf{w}', \mathbf{w})$$

## Équation **récursive**

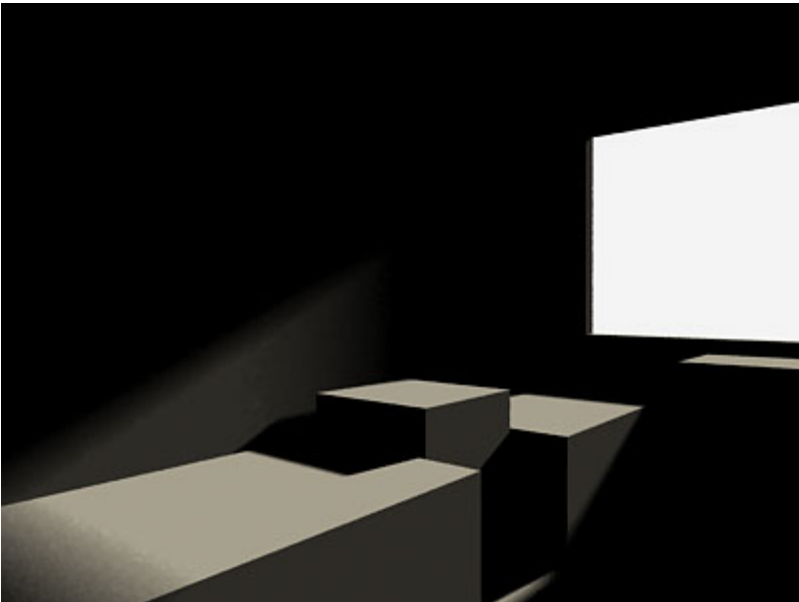
- très coûteuse à évaluer
- cf. UE « Synthèse d'Images Avancée » l'an prochain

## ⇒ **approximation : éclairage local**

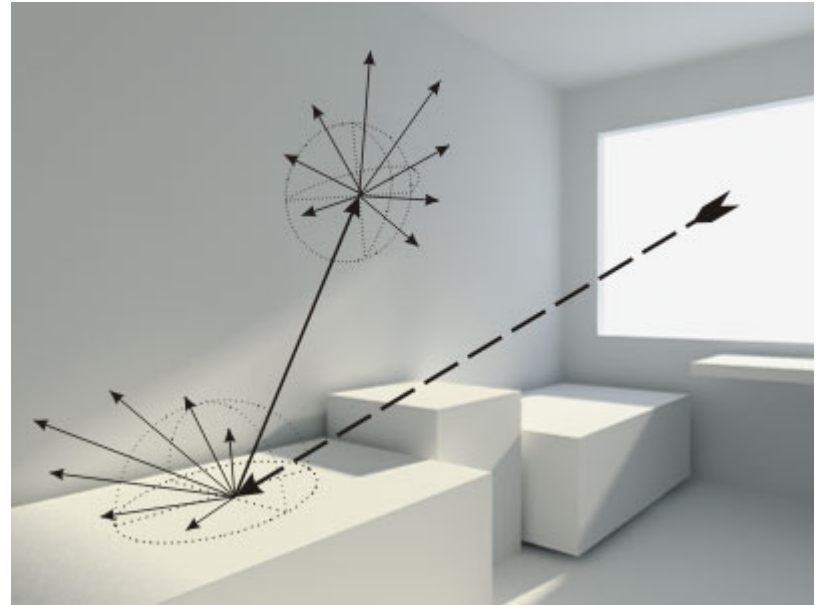
- pas d'émission des surfaces
- ensemble fini de sources discrètes  $V_l$



# Comparaison



Local + ombres



Global

# Éclairage local

**Une seule** source de lumière à la fois

Si plusieurs sources, hypothèse de **linéarité** :

- $I(a+b) = I(a)+I(b)$
- $I(s \cdot a) = s \cdot I(a)$

Calcul de la couleur en **chaque point**

# Sources ponctuelles

## Paramètres

- Position

⇒ **direction variable** :  $w'(x) = p_l - x$

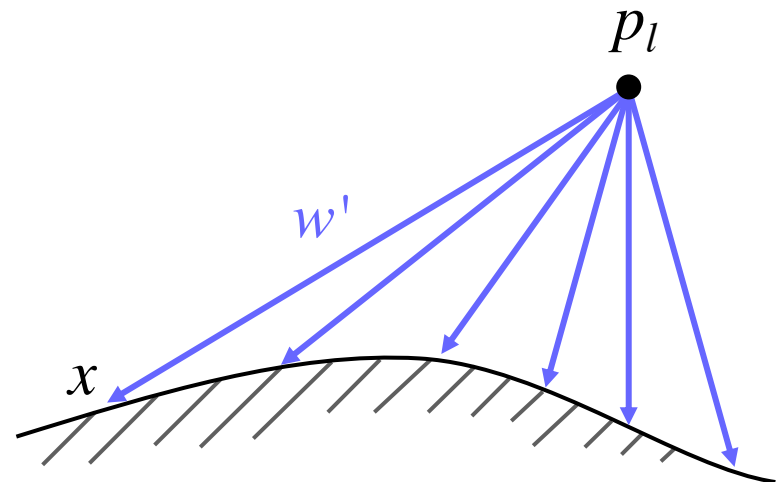
- Couleur

- Atténuation

⇒ **intensité variable** :  $V_l(x) = \frac{i_l}{\|w'(x)\|^2}$   
(modèle quadratique)

## Sources standards

- Ampoule...



# Spots

## Paramètres

- Position

⇒ **direction variable** :  $w'(x) = p_l - x$

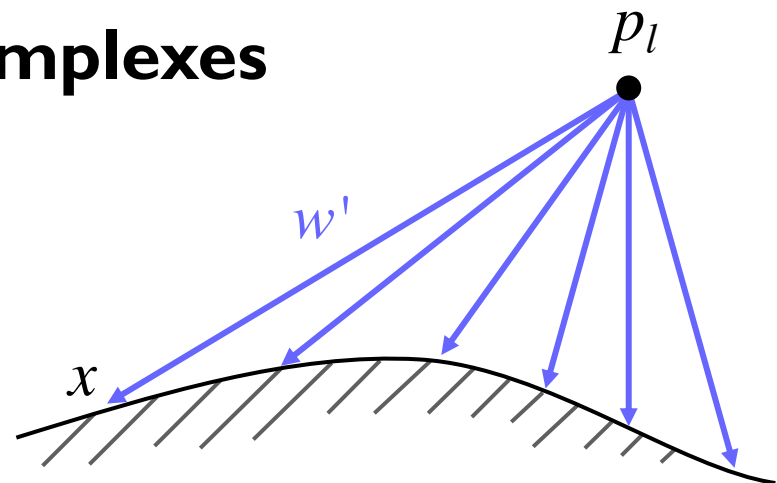
- Couleur

- Atténuation **directionnelle**

⇒ **intensité variable** :  $V_l(x) = f(w'(x)) \frac{i_l}{\|w'(x)\|^2}$   
 $f(w')$  peut être arbitrairement complexe

## Sources **directionnelles complexes**

- Phare, lampe torche...





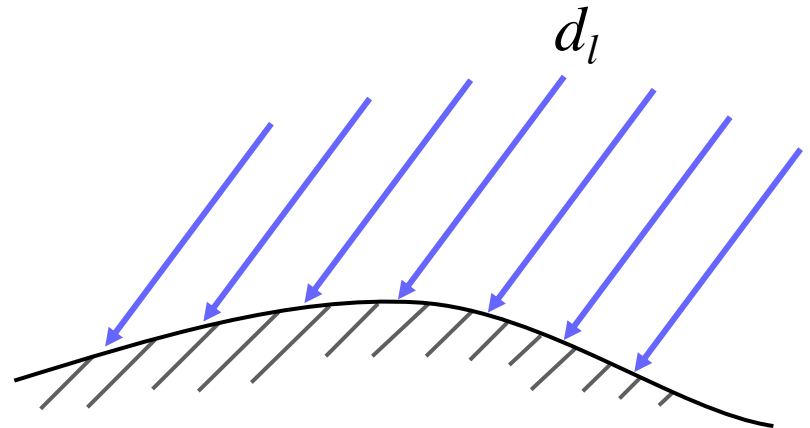
# Sources unidirectionnelles

## Paramètres

- **Direction constante** :  $w'(x) = d_l$
- Couleur
- **Intensité constante** :  $V_l(x) = i_l$

## Source ponctuelle à l'infini

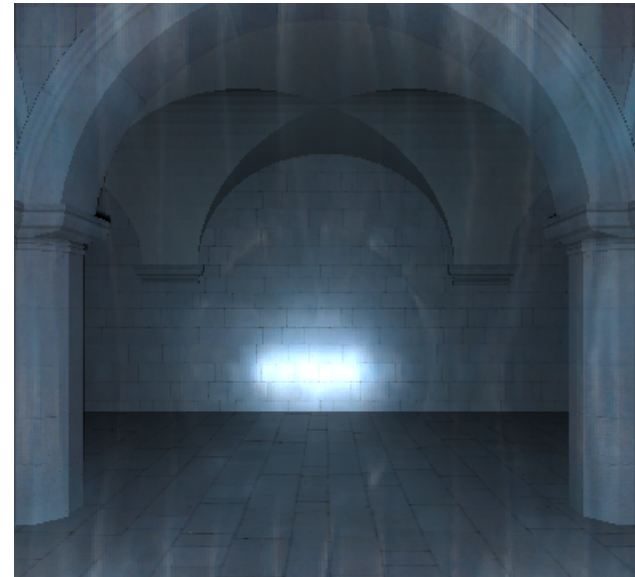
- Soleil



# Pour aller plus loin

## Sources étendues

- Champ lointain (*environment map*)  
⇒ distribution directionnelle
- Champ proche (*light field lighting*)  
⇒ distribution spatiale et directionnelle (4D)



# Lumière ambiante

« Hack » pour simuler l'éclairage global

Source lumineuse **non ponctuelle**, **constante** et **omnidirectionnelle**

Pour un point  $x$  de la surface, intensité lumineuse :

$$I(x) = \rho_a I_a$$

- constante en tout point de la surface
- $\rho_a$  facteur déterminant la quantité de lumière ambiante réfléchi par la surface ( $0 \leq \rho_a \leq 1$ )

# Lumière ambiante



On ne voit pas la « 3D »

Modélisation simple des **inter-réflexions** entre toutes les surfaces d'une scène

⇒ évite qu'un objet dans l'ombre soit complètement noir

# Réflexion diffuse idéale

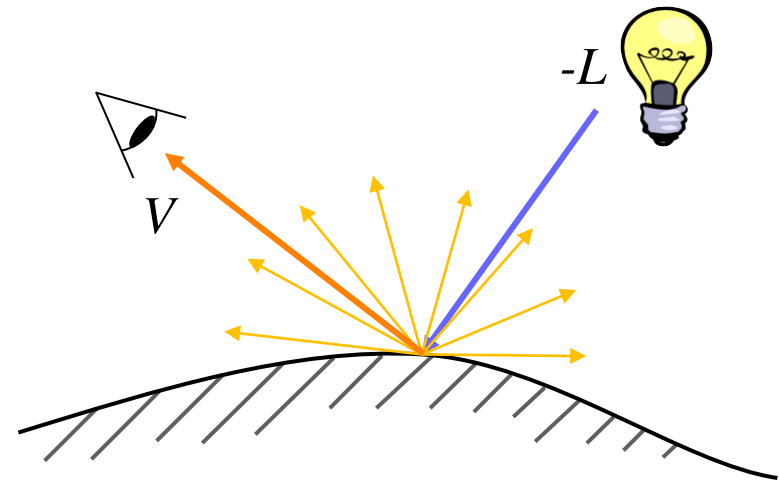
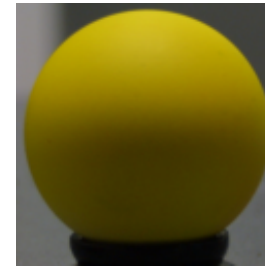
Indépendante du point de vue

Surfaces **lambertiennes**

⇒ mattes : craie, papier

**BRDF constante, uniforme :**

$$\rho(V,L) = \rho_d$$

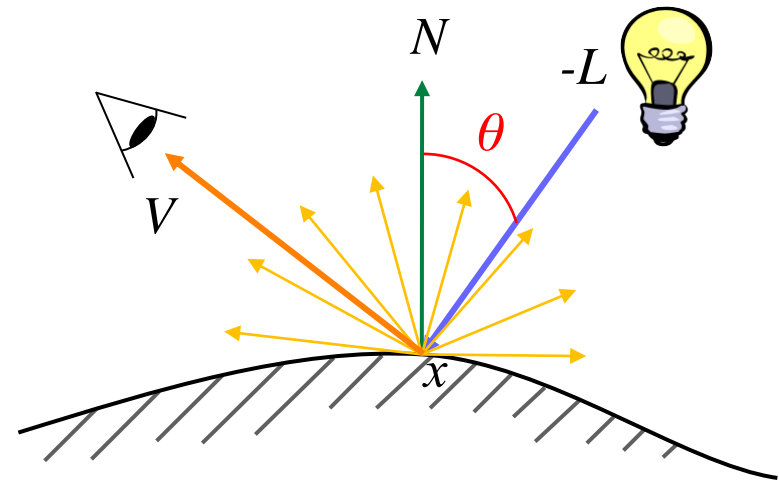


# Réflexion diffuse idéale

$$I(x) = \rho_d I_d \cos(\theta) = \rho_d I_d \langle N \cdot L \rangle$$

$I_d$  : intensité de la source lumineuse

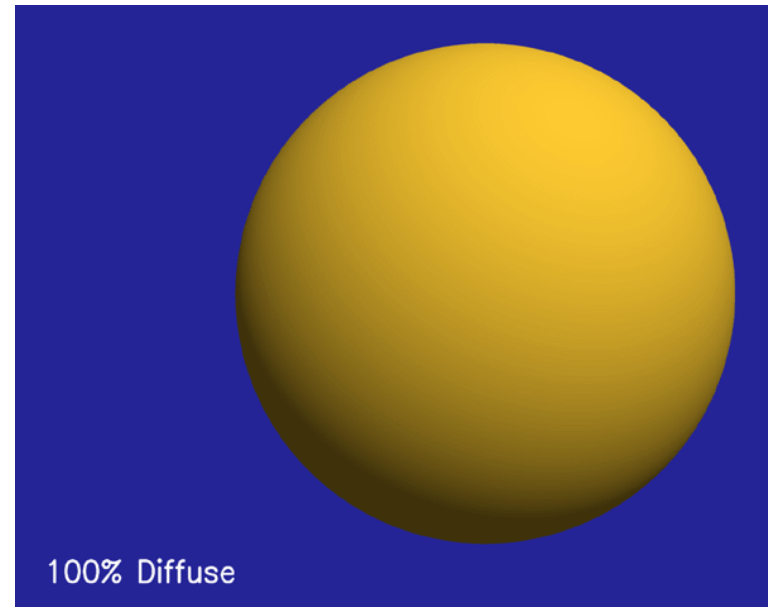
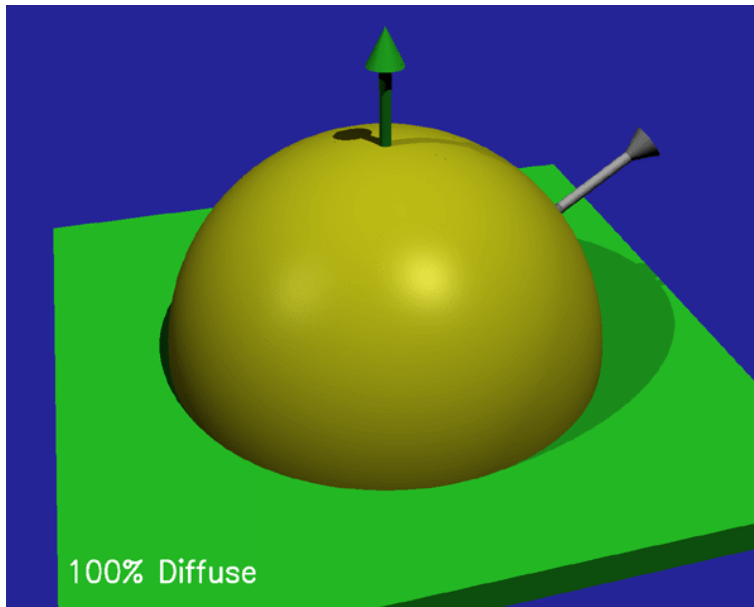
$\rho_d$  : coefficient de réflexion diffuse de la surface  
( $0 \leq \rho_d \leq 1$ )



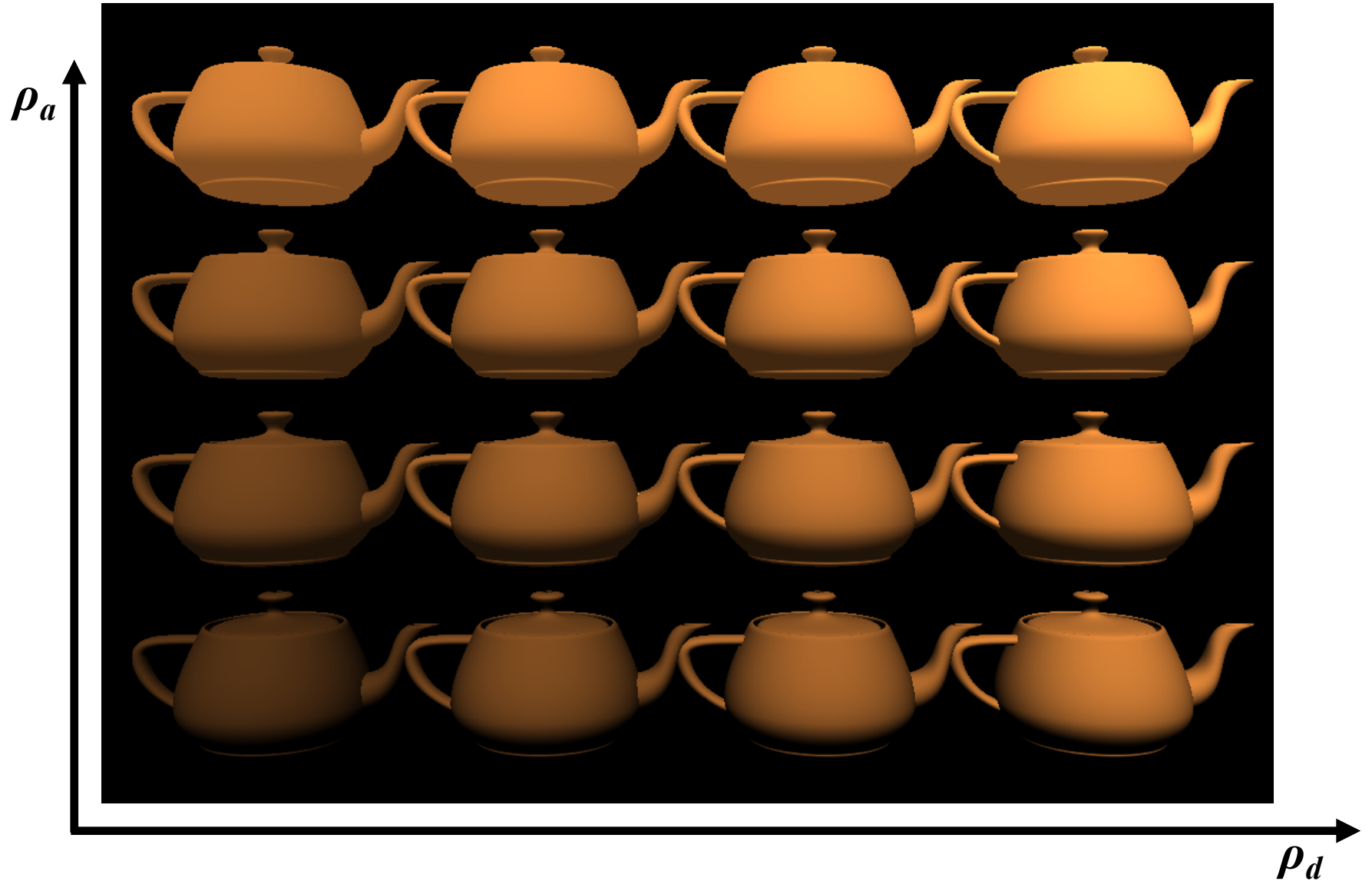
# Réflexion diffuse idéale



en augmentant  $\rho_d$  ( $\rho_a = 0$ )



# Diffuse + ambiente





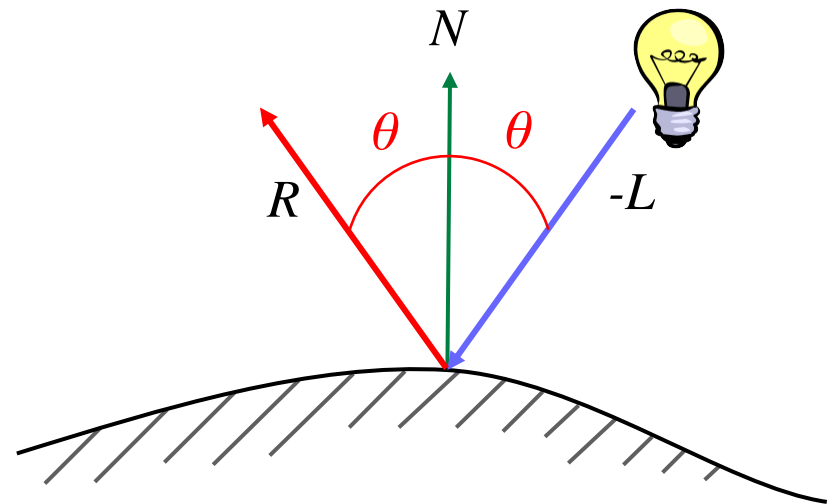
# Réflexion spéculaire idéale

Dépendante du point de vue

Surfaces brillantes (miroir)

⇒ Loi de Snell-Descartes

**BRDF** : distribution de Dirac

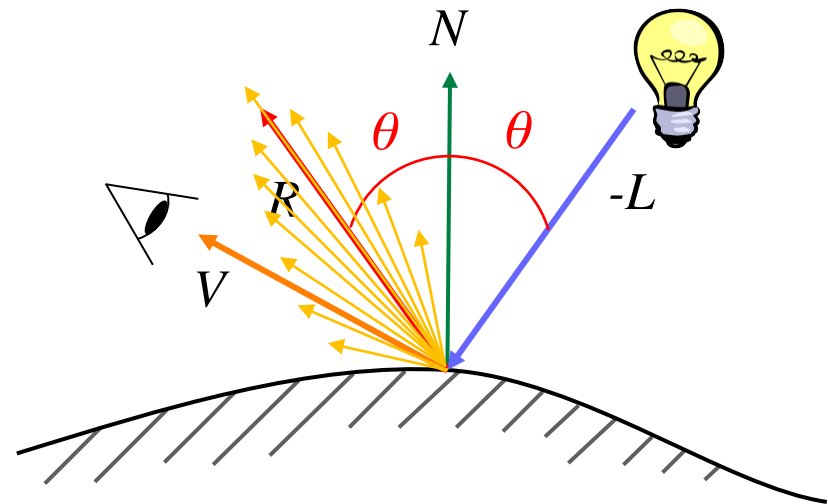


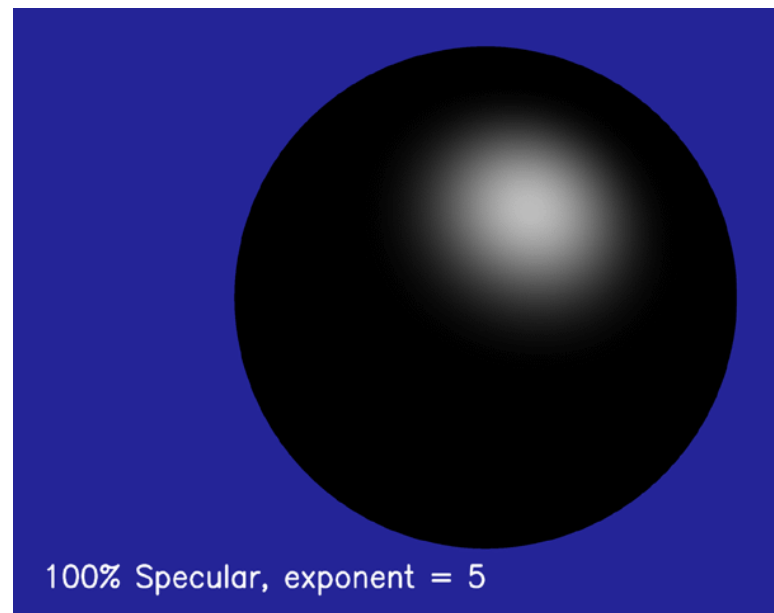
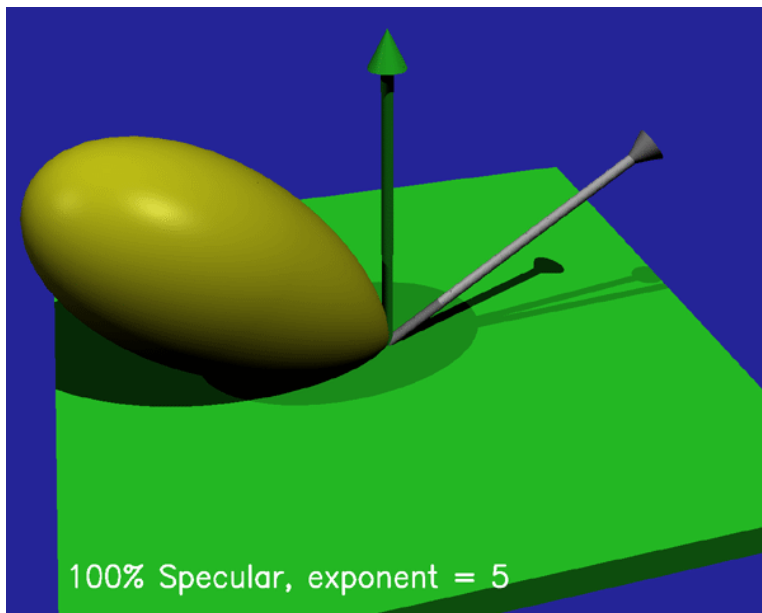
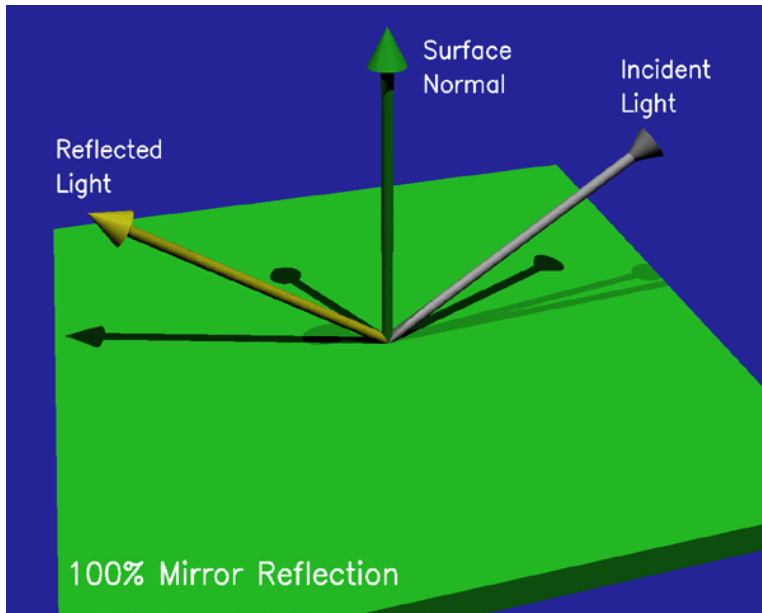
# Réflecteurs non-idéaux (glossy)



On suppose que la surface n'est pas parfaitement spéculaire

⇒ **Modèle de Phong**



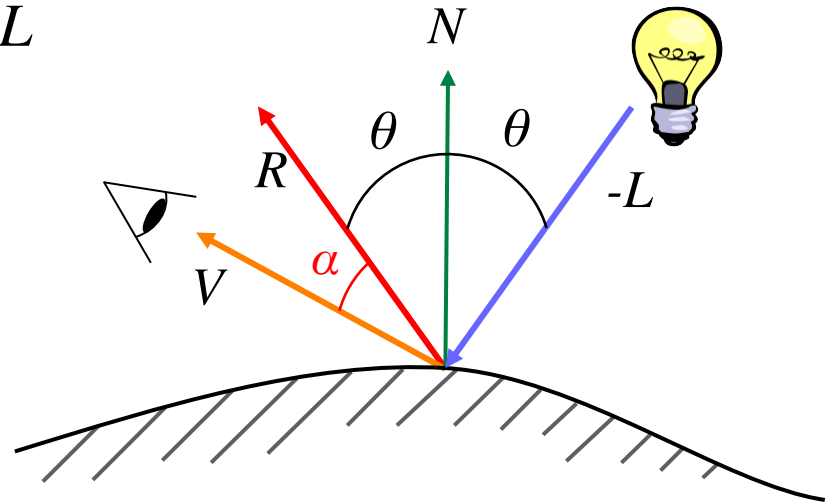


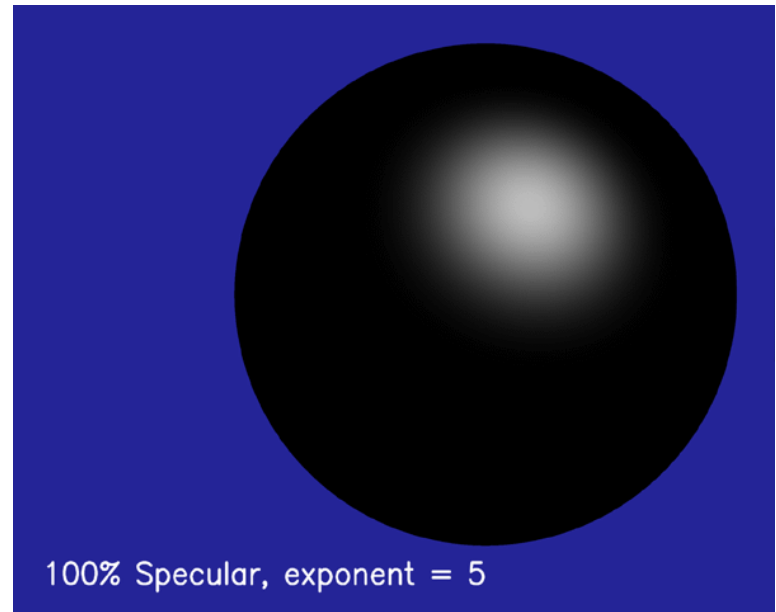
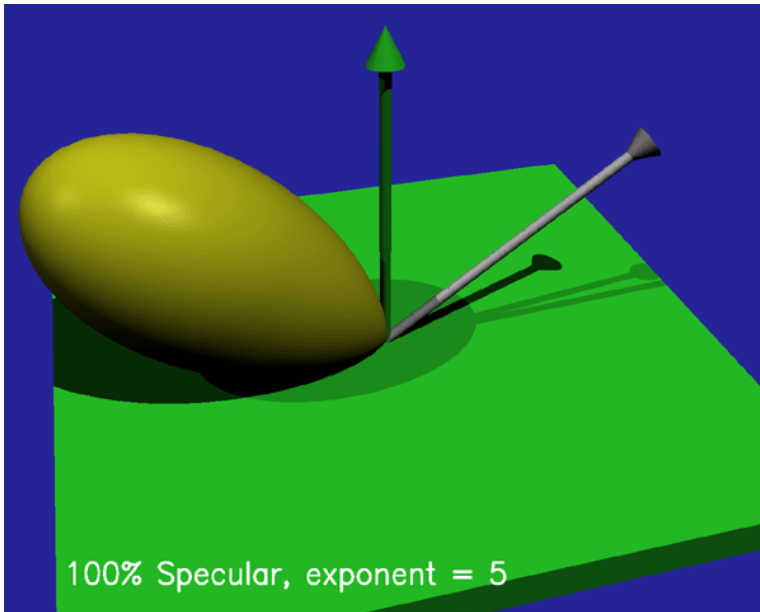
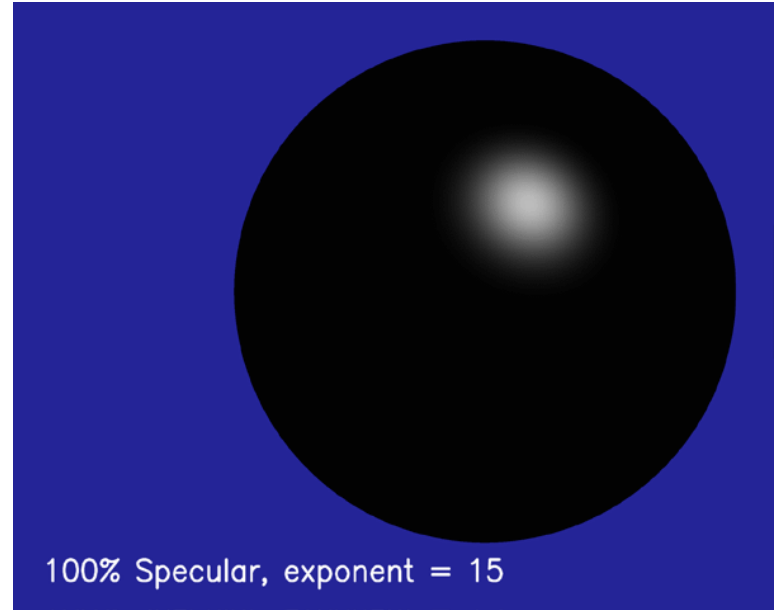
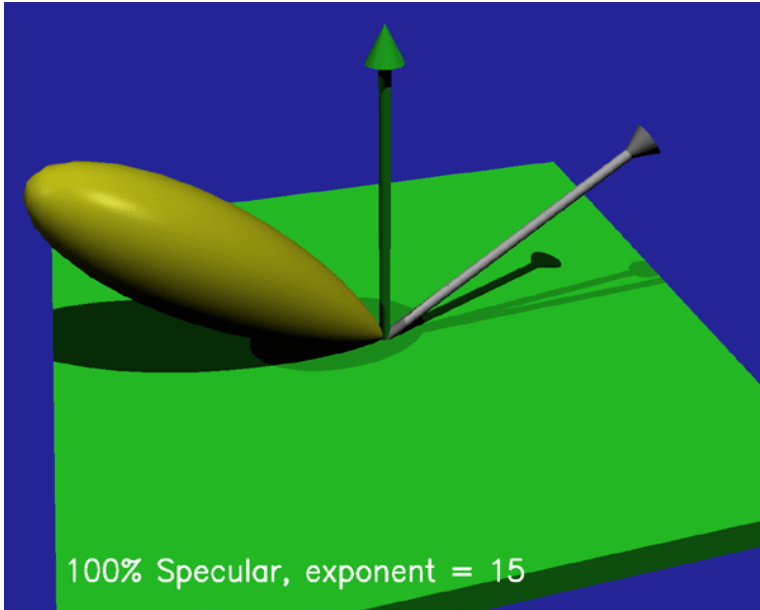
# Modèle de Phong [1975]

La réflexion est importante lorsque l'angle  $\alpha$  entre la direction d'observation et la direction de réflexion  $R$  est faible

$$\rho(V,L) = \rho_s L \cos^n \alpha$$

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





# Modèle de Phong

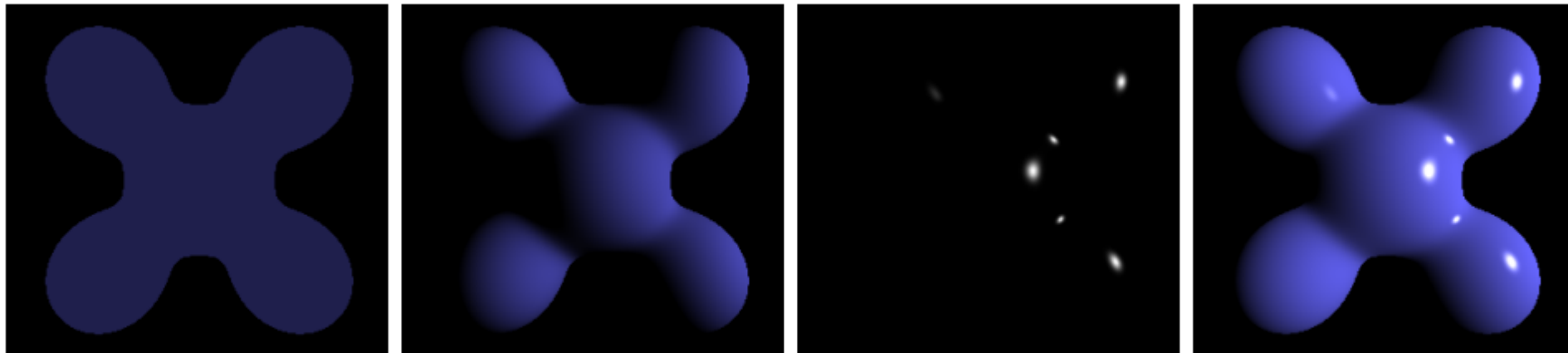
**Modèle complet :**

$$I(x) = \rho_a I_a + \langle N \cdot L \rangle (\rho_d I_d + \rho_s \cos^n \alpha I_s)$$

**Modèle coloré :**

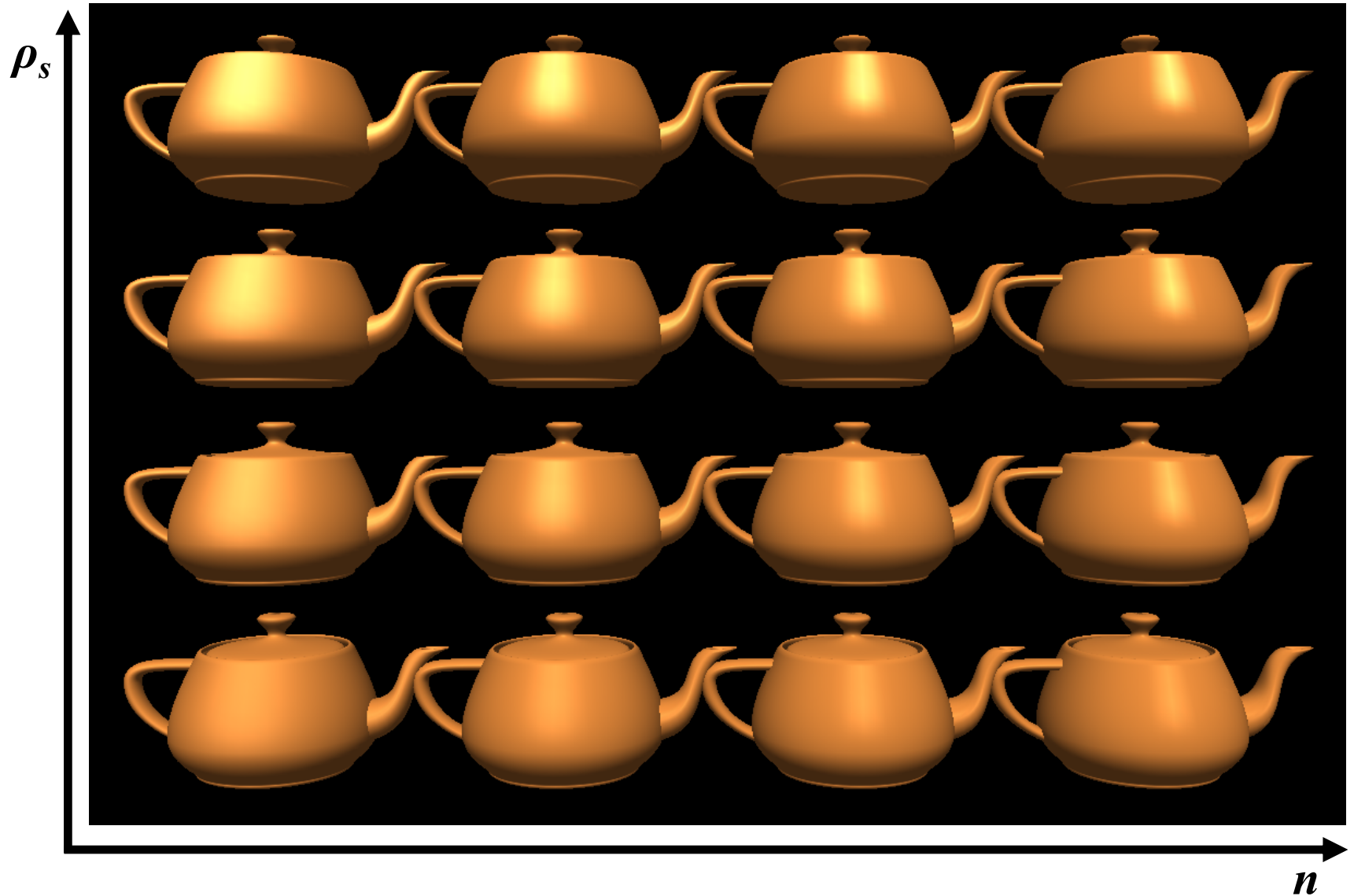
une intensité par composante de couleur

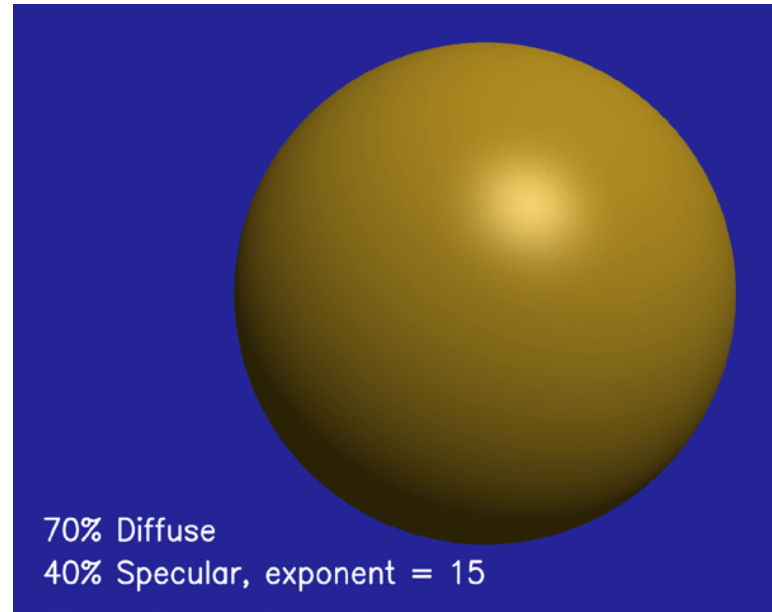
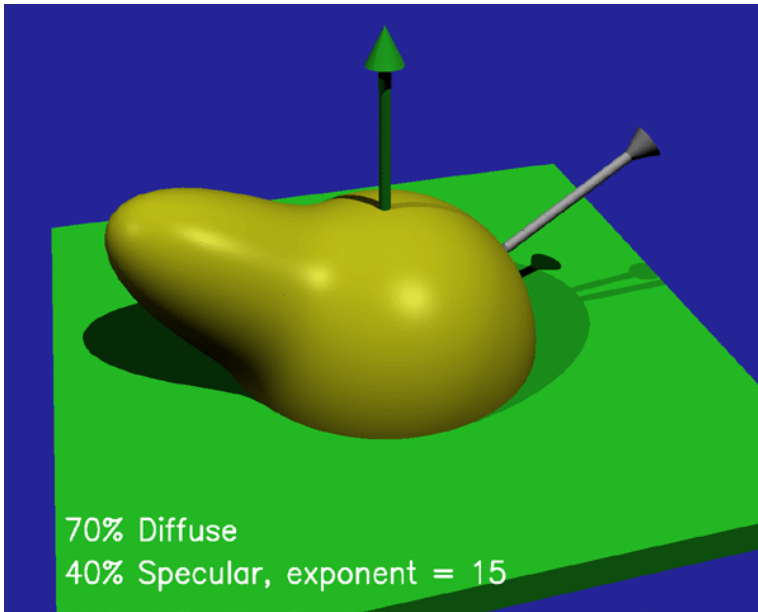
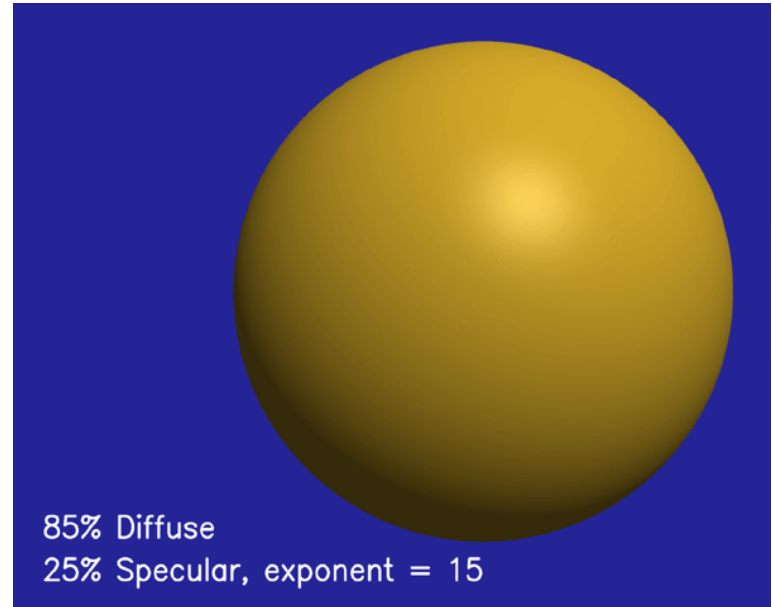
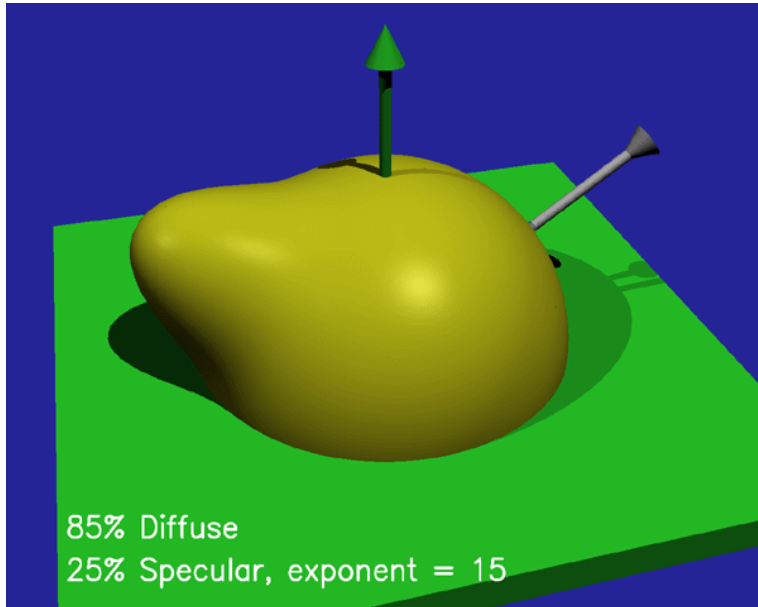
*Images : Wikipedia*



**Ambiant + Diffus + Spéculaire = Phong**

# Modèle de Phong







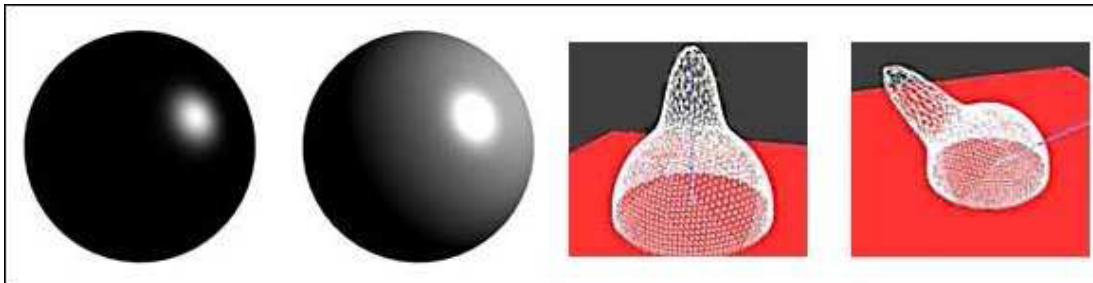
# Variation de Blinn-Phong

Simplification utilisant le *halfway vecteur*

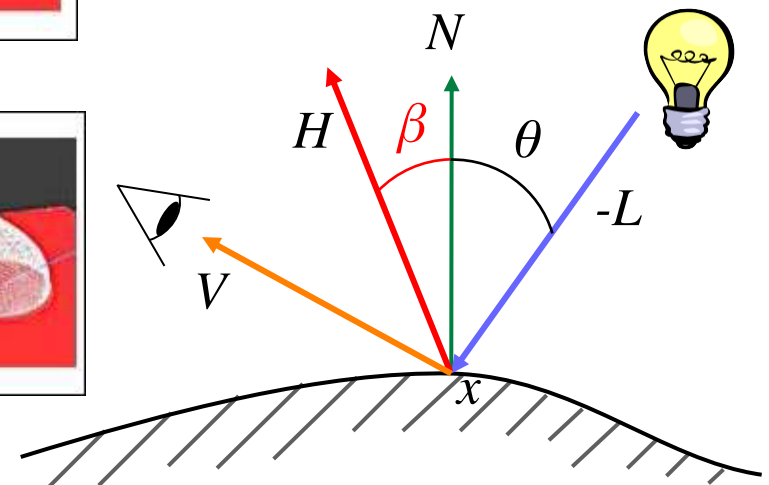
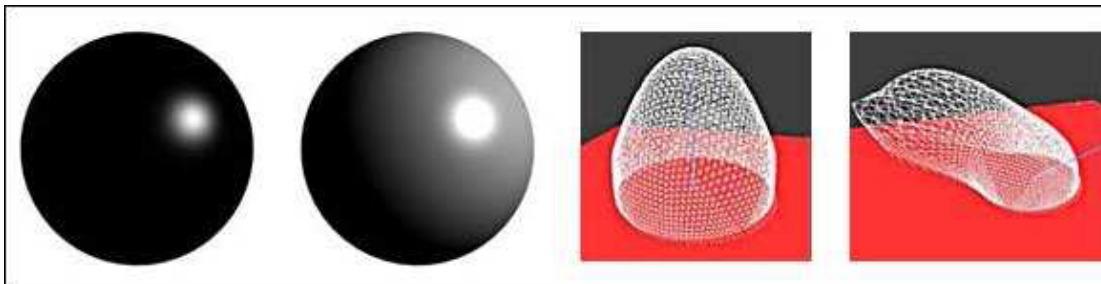
$$H = (L + V) / \|L + V\|$$

$$\rho(V, L) = \rho_s L \cos^n \beta = \rho_s L (N \cdot H)^n$$

Modèle de Phong

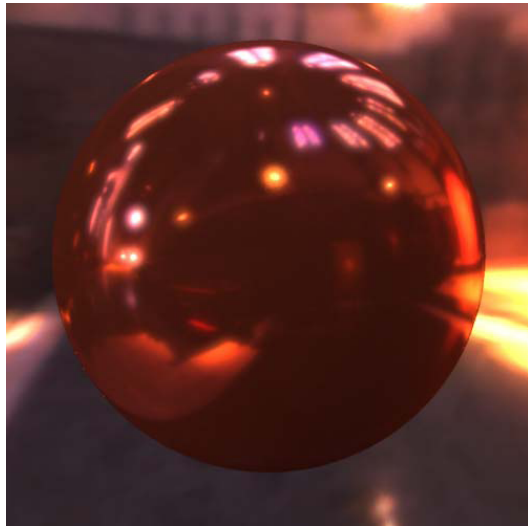


Modèle de Blinn-Phong

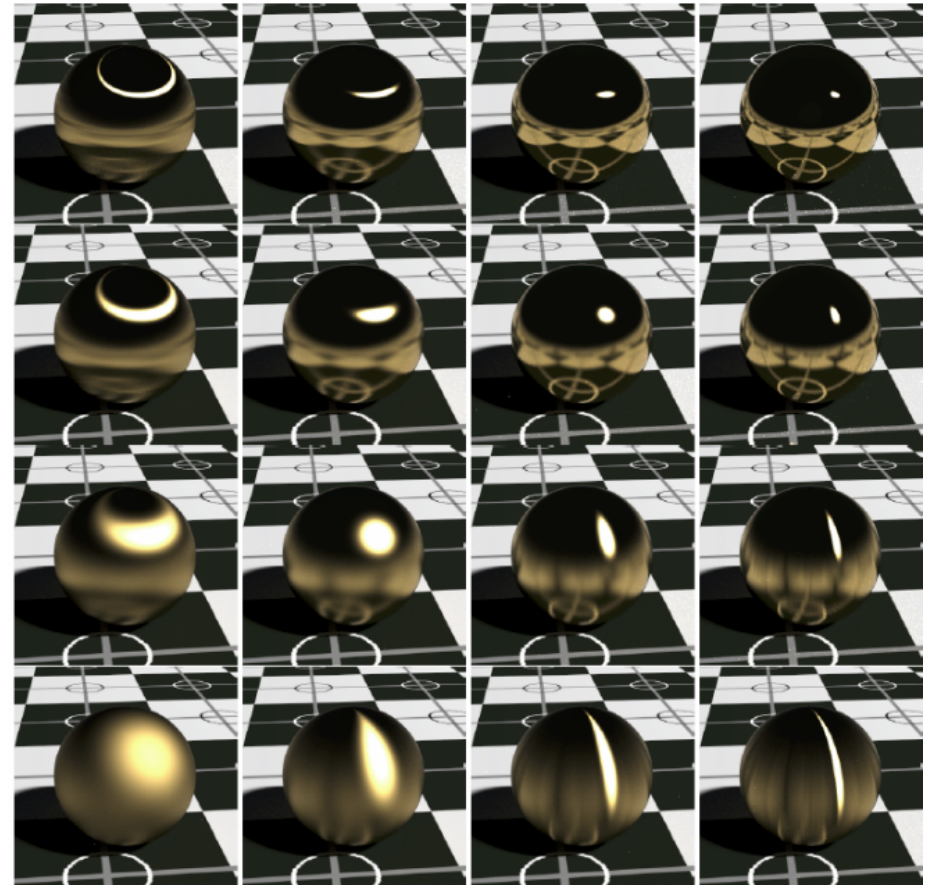


# Pour aller plus loin

- Matériaux **anisotropes**
  - Modèles « **physiques** »  
(e.g., micro-facettes)
  - Matériaux **mesurés**
- ⇒ cf. UE SIA l'an prochain



Modèle de Cook-Torrance



Modèle de Ward