

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**

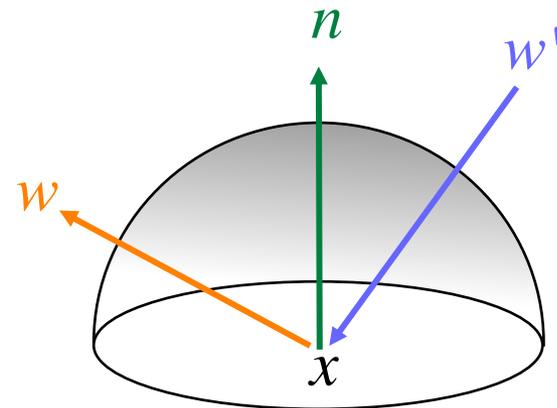
Dépend de :

- **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

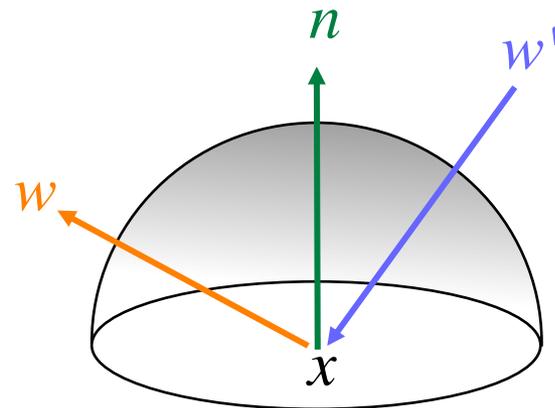


Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

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

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



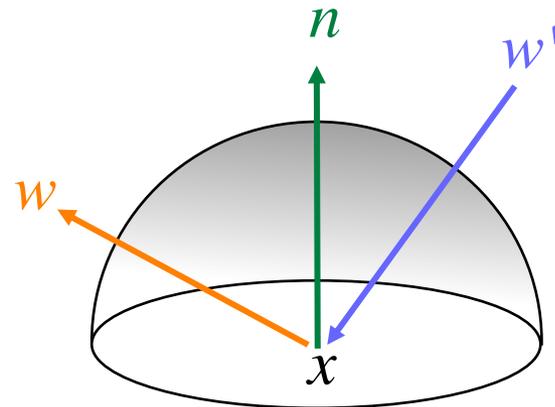
Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

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

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

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



Équation du rendu [Kajiya 1986]

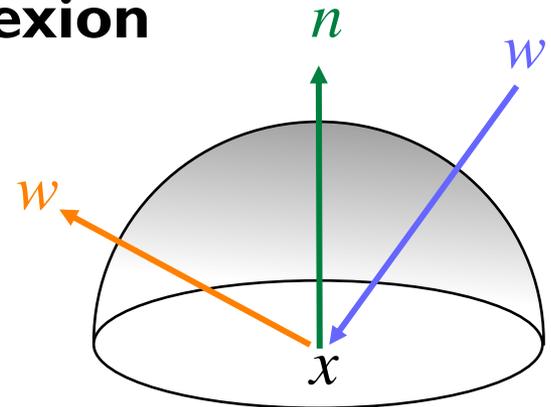
$$L(x, \mathbf{w}) = L_e(x, \mathbf{w}) + \int_{\Omega_n} L(x, \mathbf{w}') \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle \rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w}) d\mathbf{w}'$$

$L(x, \mathbf{w})$ 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}'

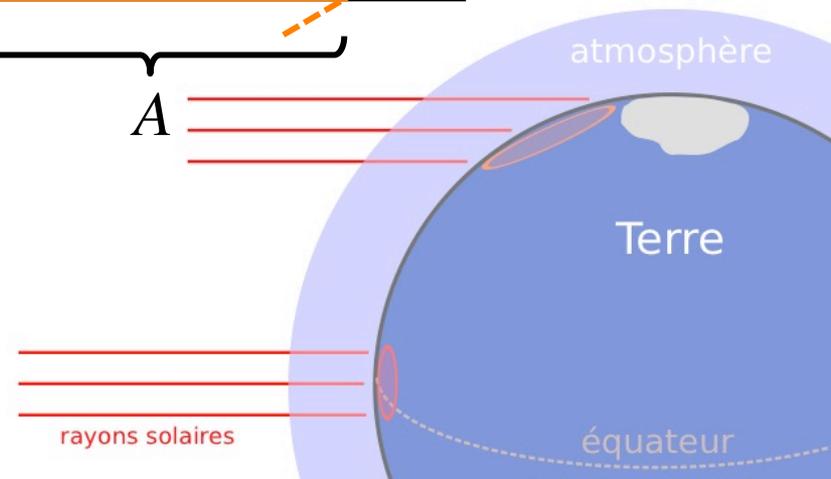
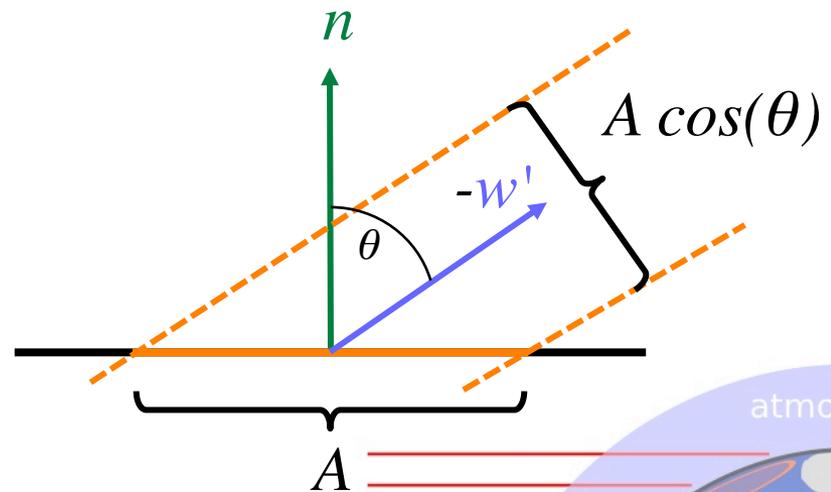
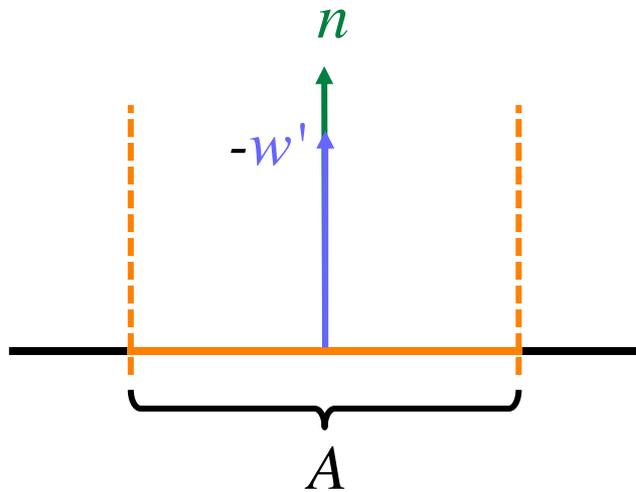
$\langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle$
 $\rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w})$ } propriétés de réflexion
de la surface



Cos-term

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

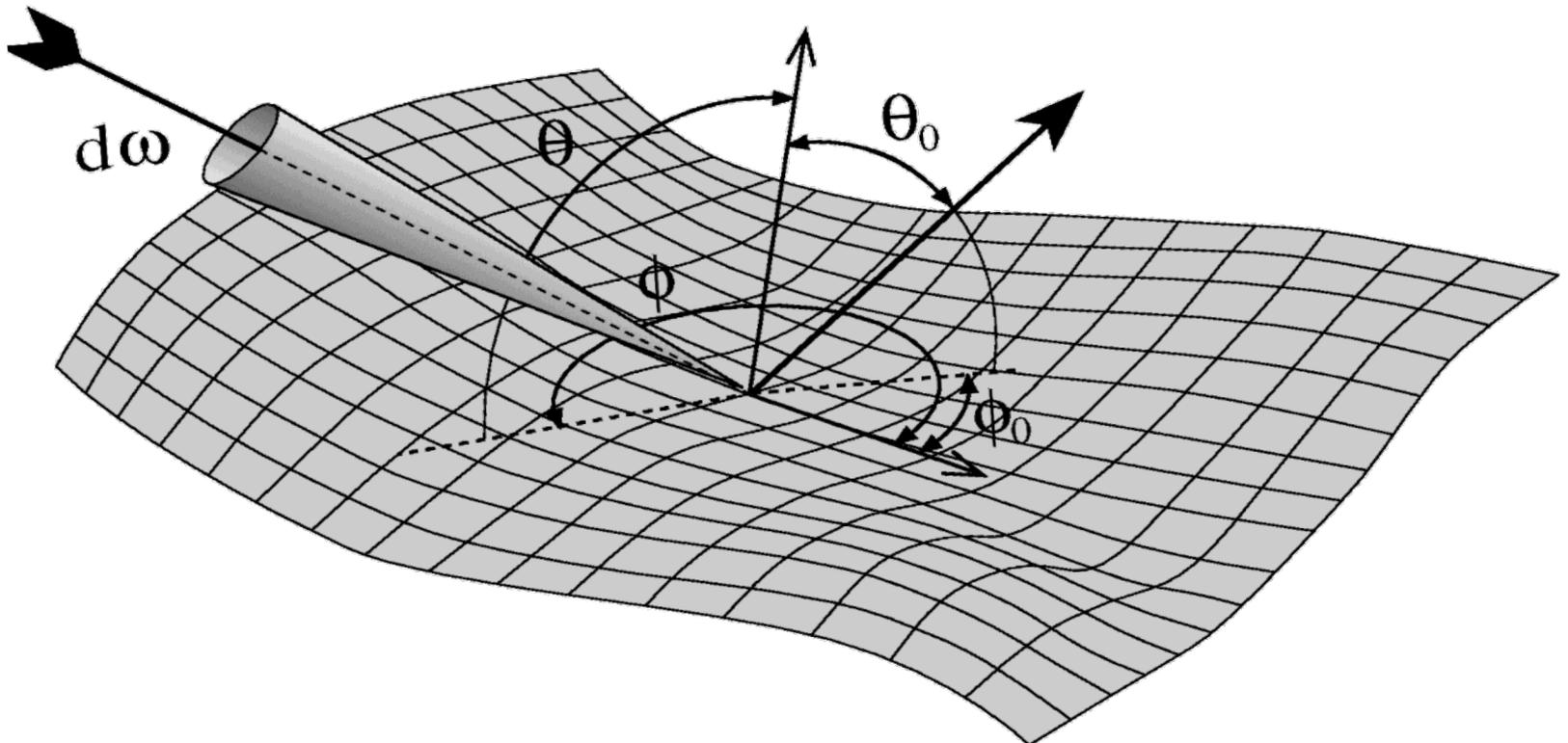
Prise en compte de **l'inclinaison de la surface** par rapport à la source



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]

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

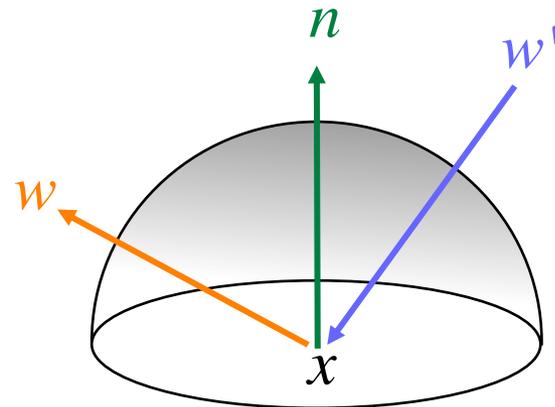
$L(x, \mathbf{w})$ lumière émise par le point x dans la direction \mathbf{w}

$L_e(x, \mathbf{w})$ 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



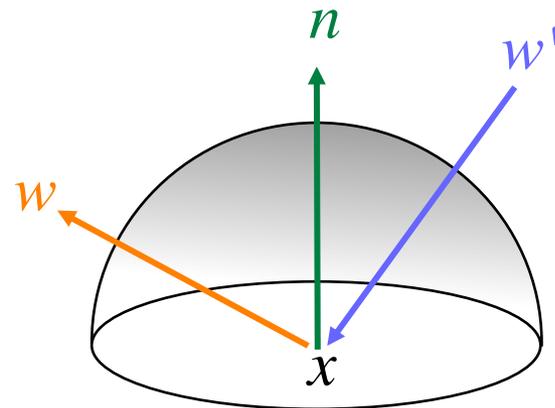
Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

Équation réursive

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

⇒ **approximation : éclairage local**



Équation du rendu simplifiée

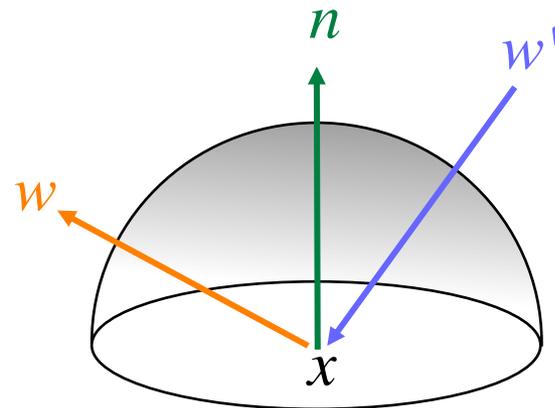
$$L(x, \mathbf{w}) = \sum_l V_l(x) \max(0, \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle) \rho(-\mathbf{w}', \mathbf{w})$$

Équation **récursive**

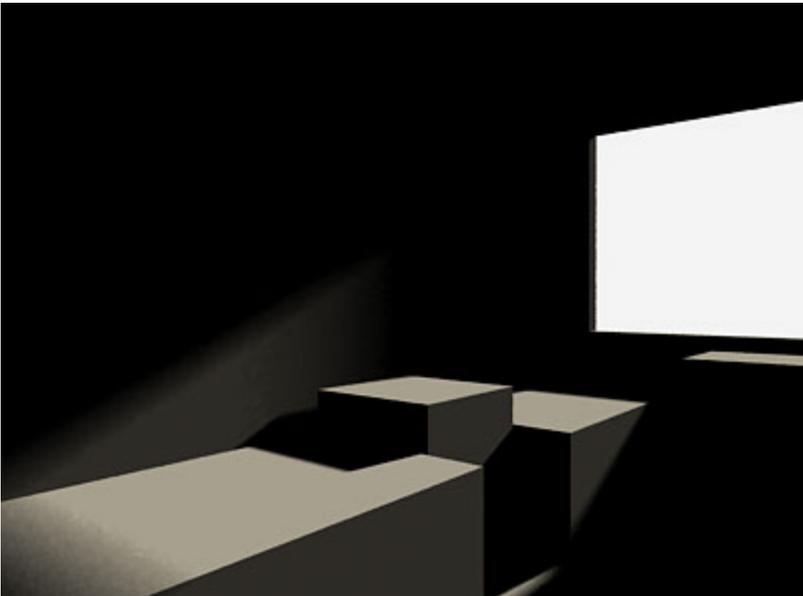
- très coûteuse à évaluer
- cf. UE « Synthèse d'Images Avancée » l'an prochain

⇒ **approximation : éclairage local**

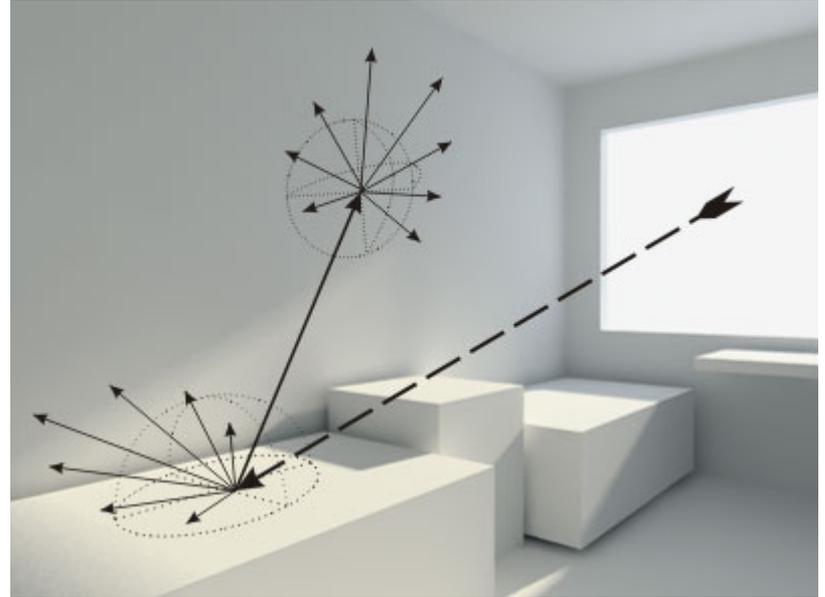
- pas d'émission des surfaces
- ensemble fini de sources discrètes V_l



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** : $w'(x) = p_l - x$

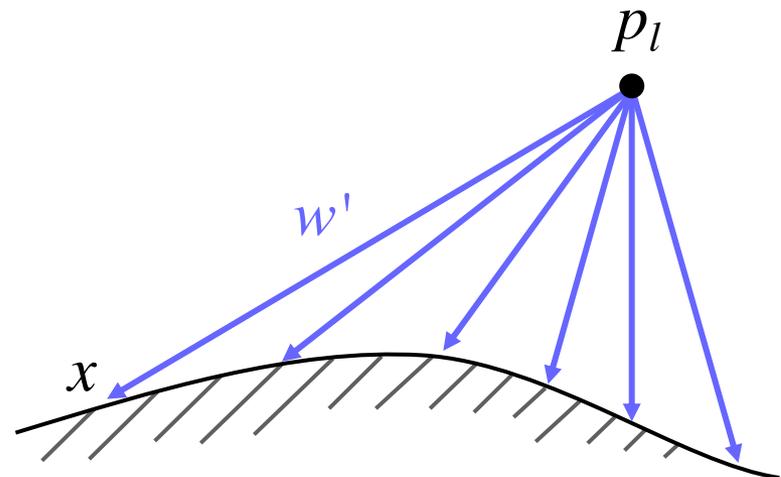
- Couleur

- Atténuation

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

Sources standards

- Ampoule...



Spots

Paramètres

- Position

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

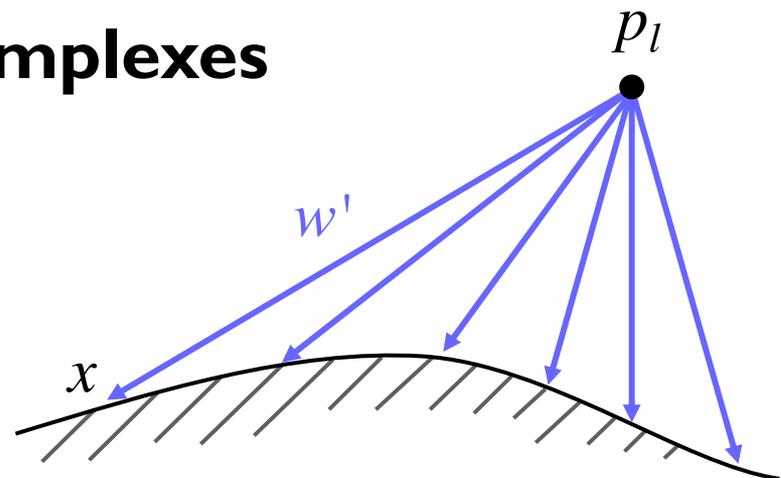
- Couleur

- 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...



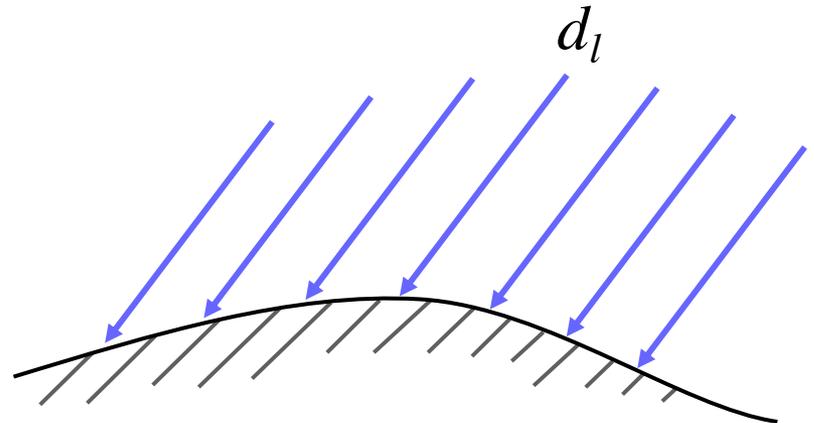
Sources unidirectionnelles

Paramètres

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

Source ponctuelle à l'infini

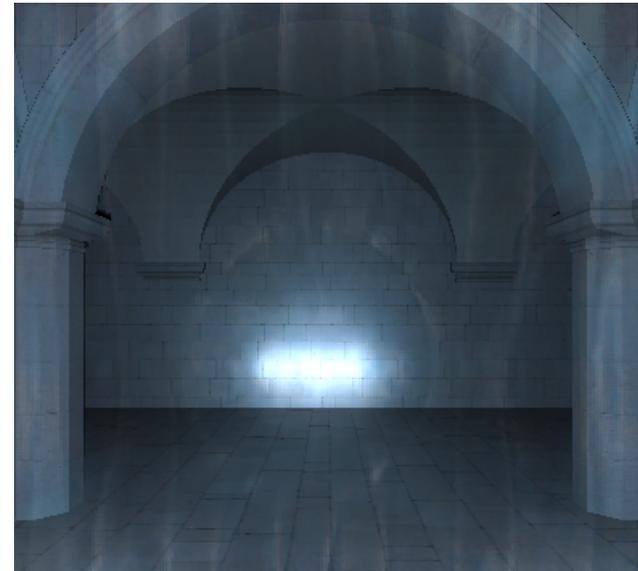
- Soleil



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
- ρ_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

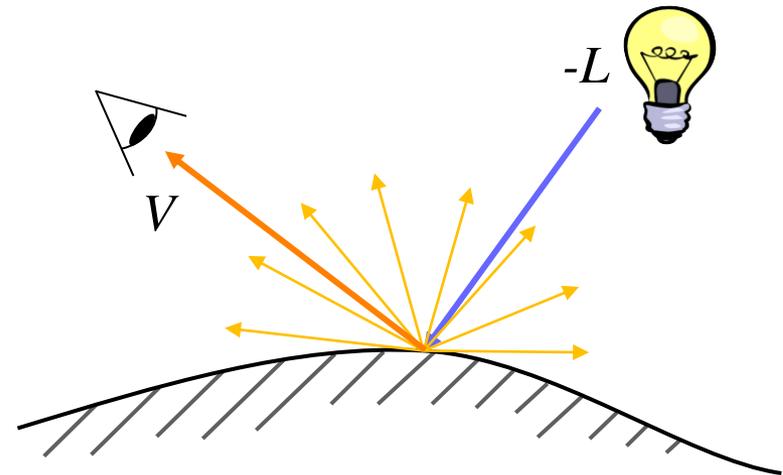
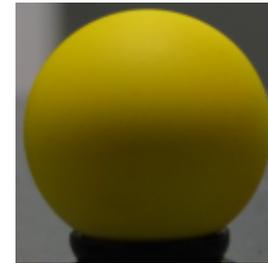
Indépendante du point de vue

Surfaces **lambertiennes**

⇒ mattes : craie, papier

BRDF constante, uniforme :

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

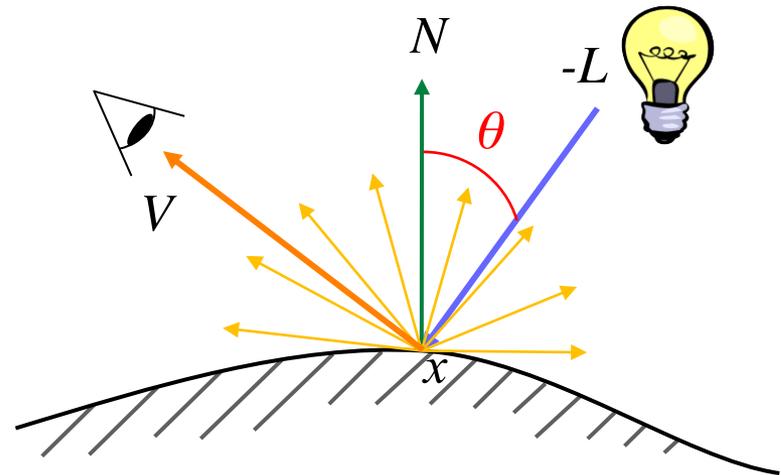


Réflexion diffuse idéale

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

I_d : intensité de la source lumineuse

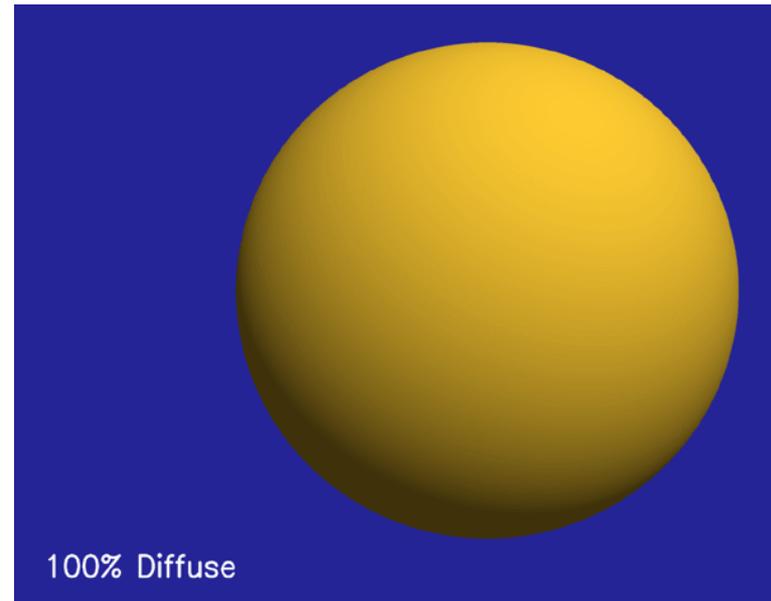
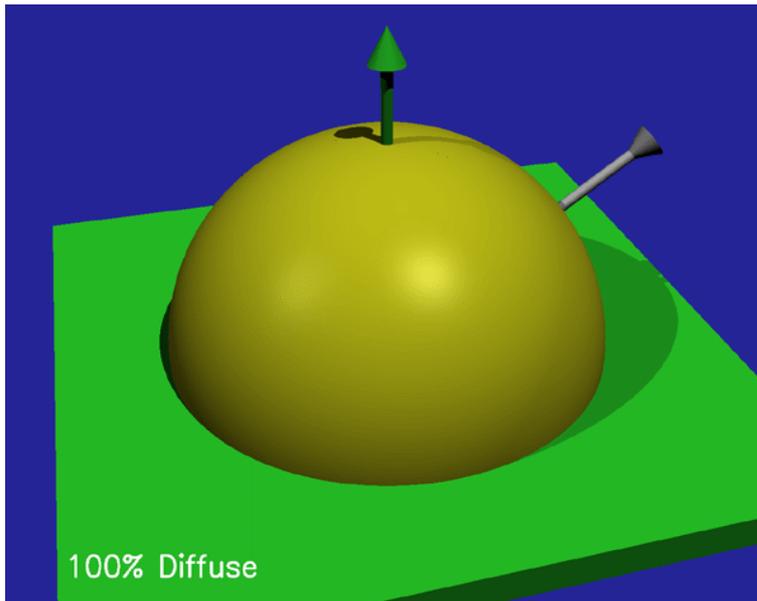
ρ_d : coefficient de réflexion diffuse de la surface
($0 \leq \rho_d \leq 1$)



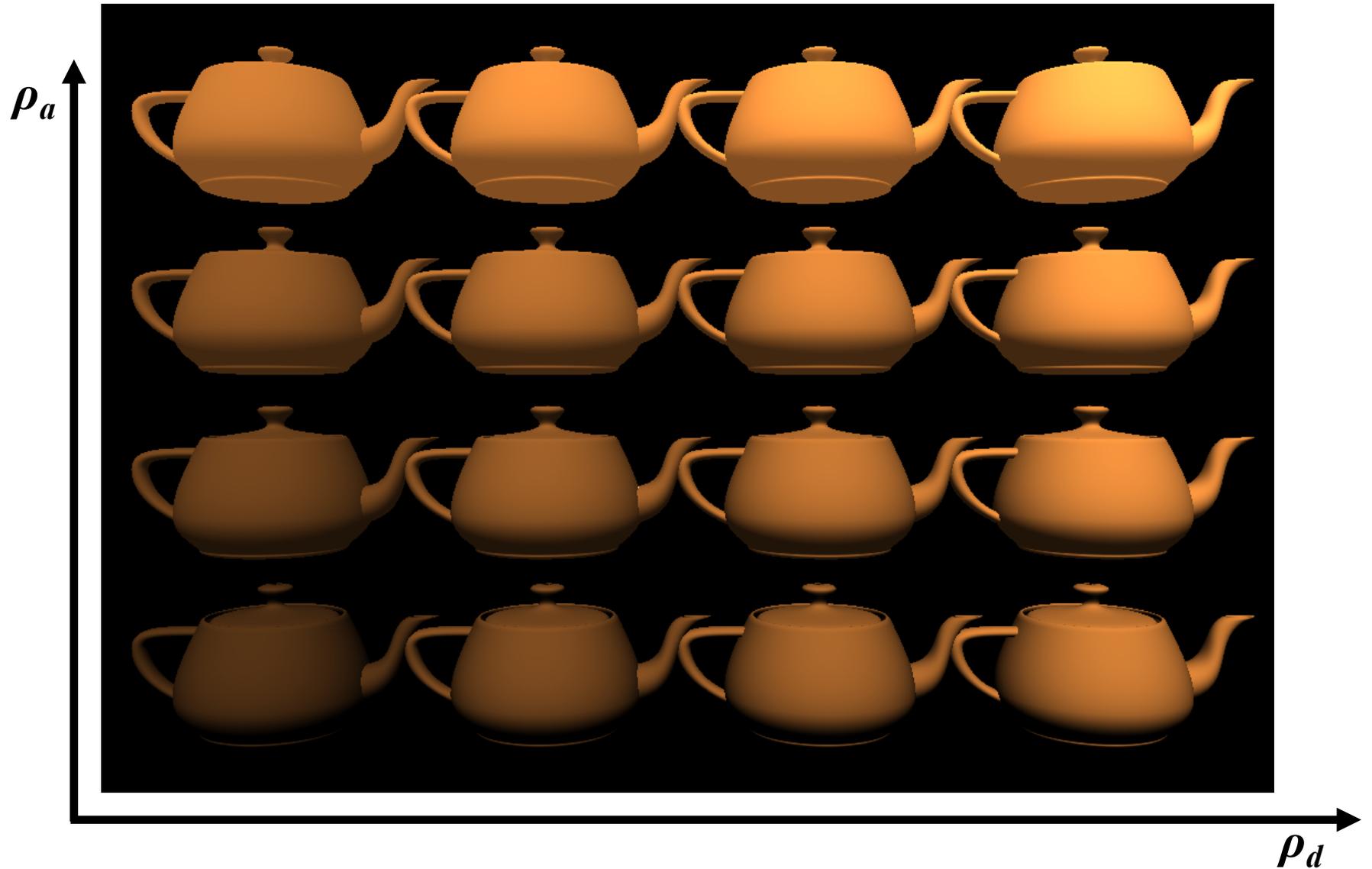
Réflexion diffuse idéale



en augmentant ρ_d ($\rho_a = 0$)



Diffuse + ambiente



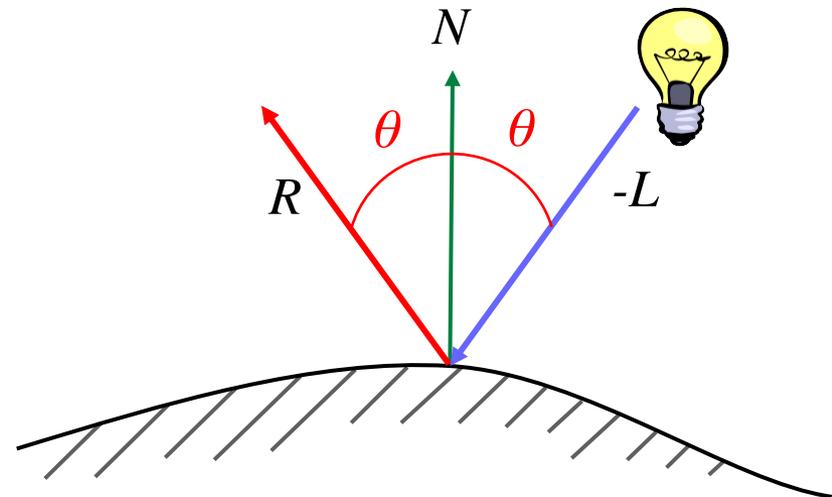
Réflexion spéculaire idéale

Dépendante du point de vue

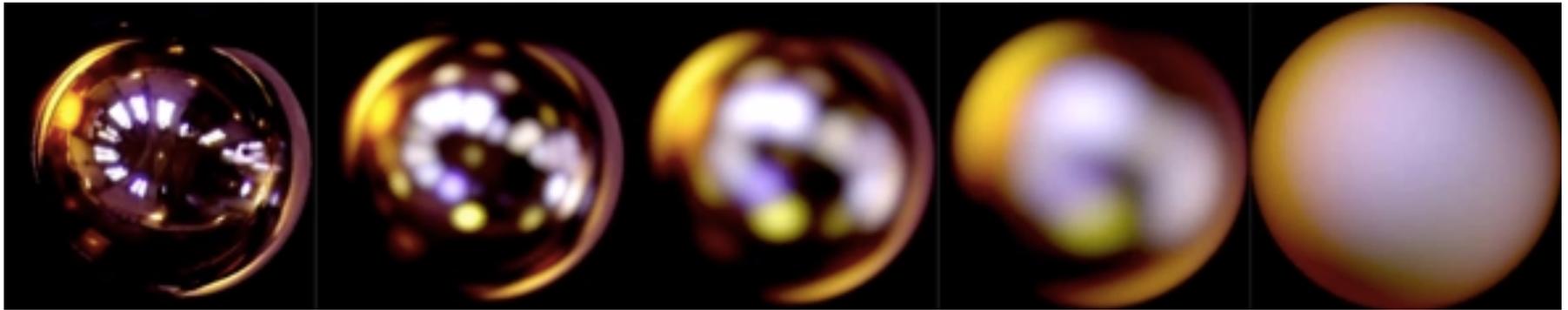
Surfaces brillantes (miroir)

⇒ Loi de Snell-Descartes

BRDF : distribution de Dirac

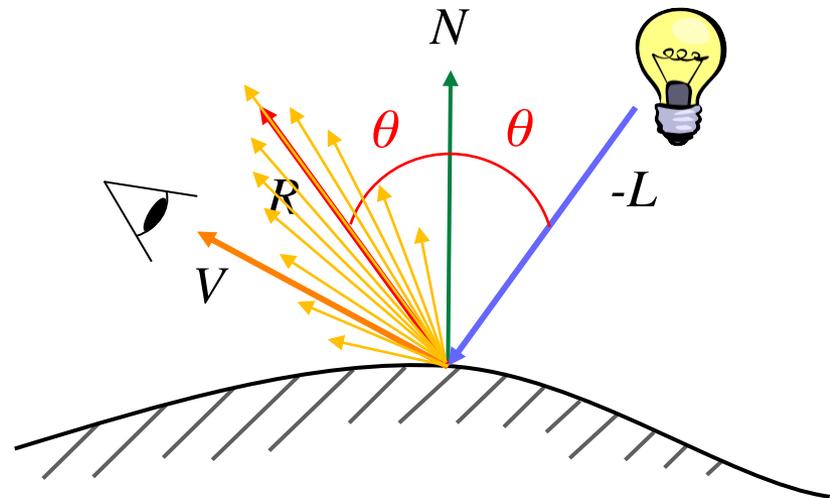


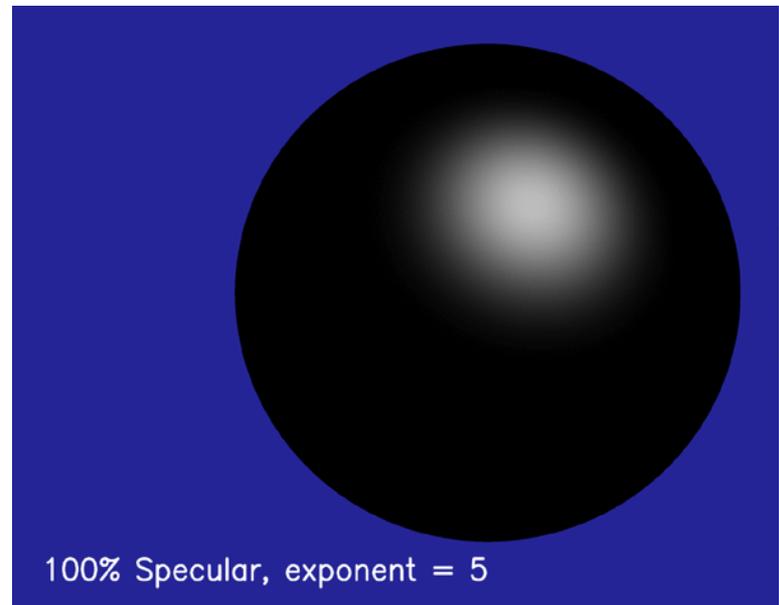
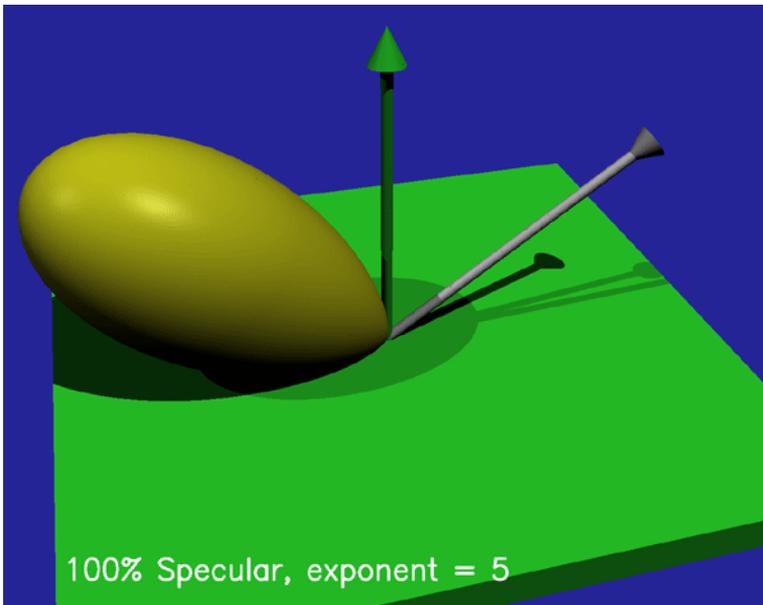
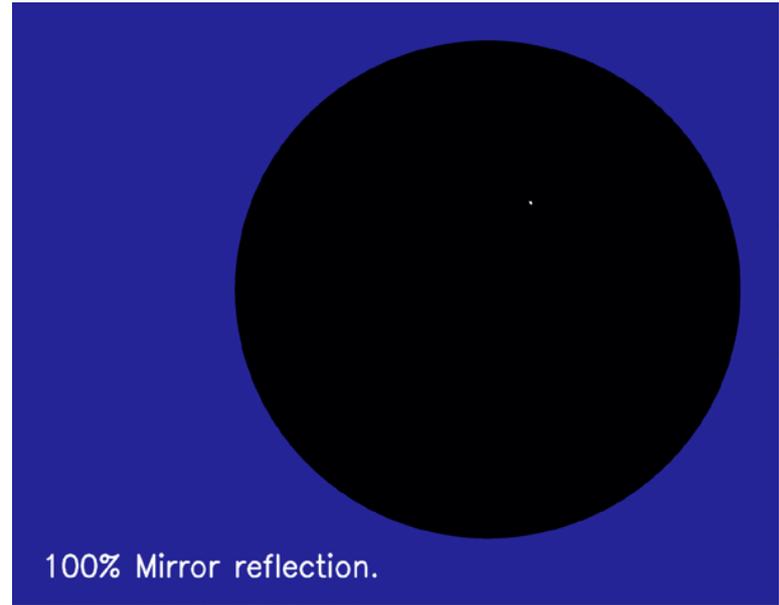
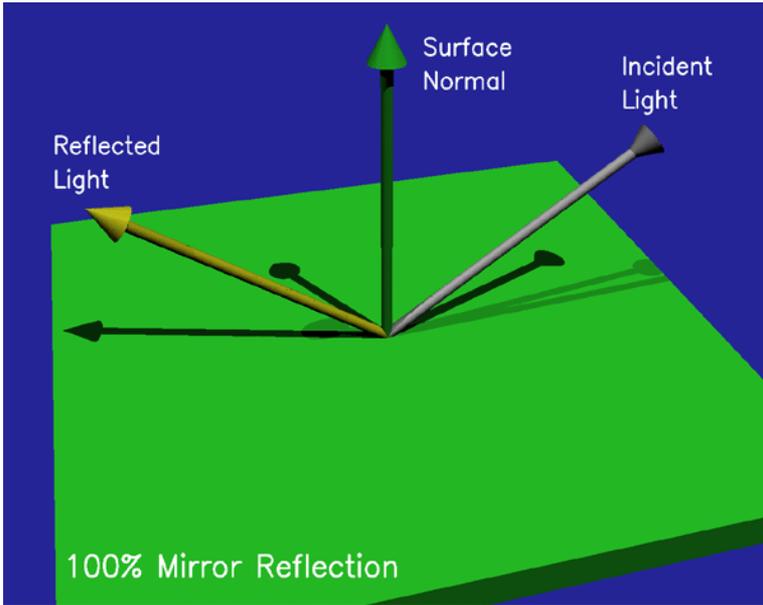
Réflecteurs non-idéaux (glossy)



On suppose que la surface n'est pas parfaitement spéculaire

⇒ **Modèle de Phong**



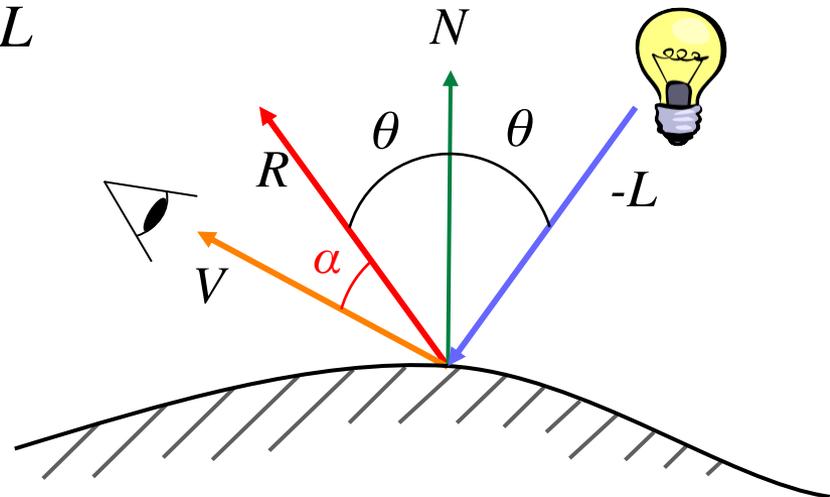


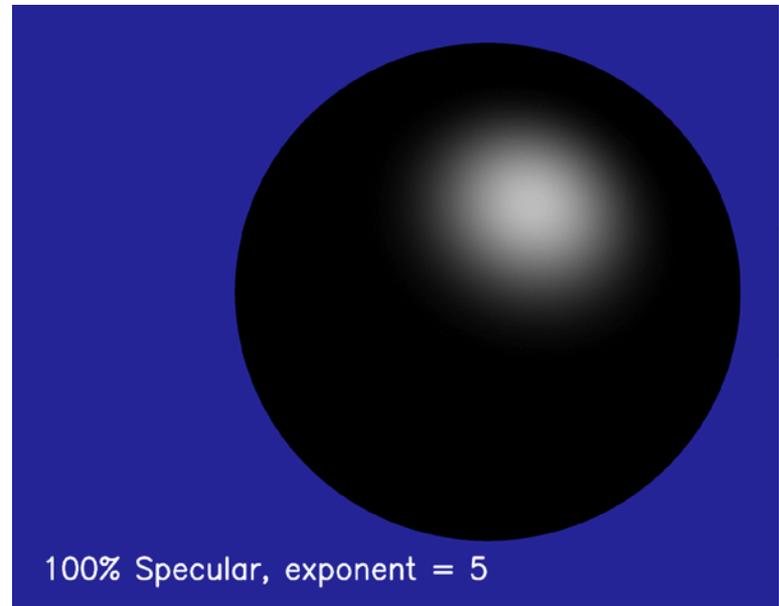
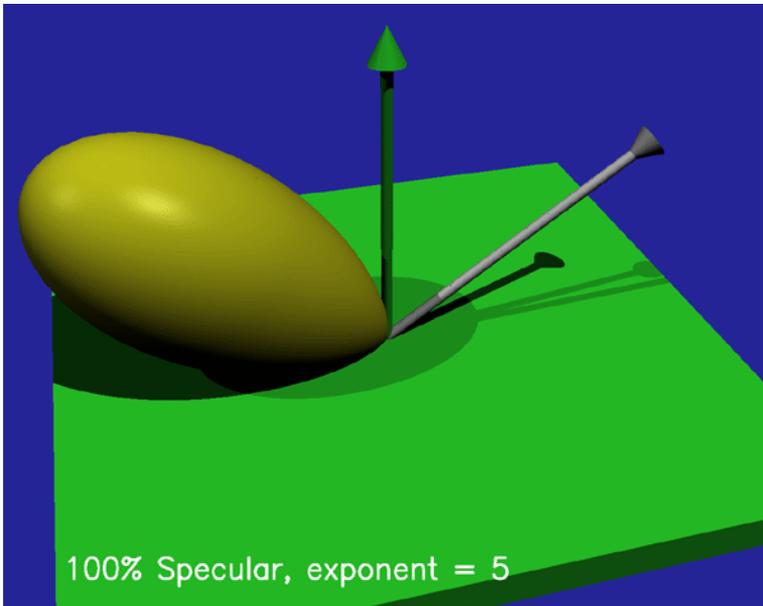
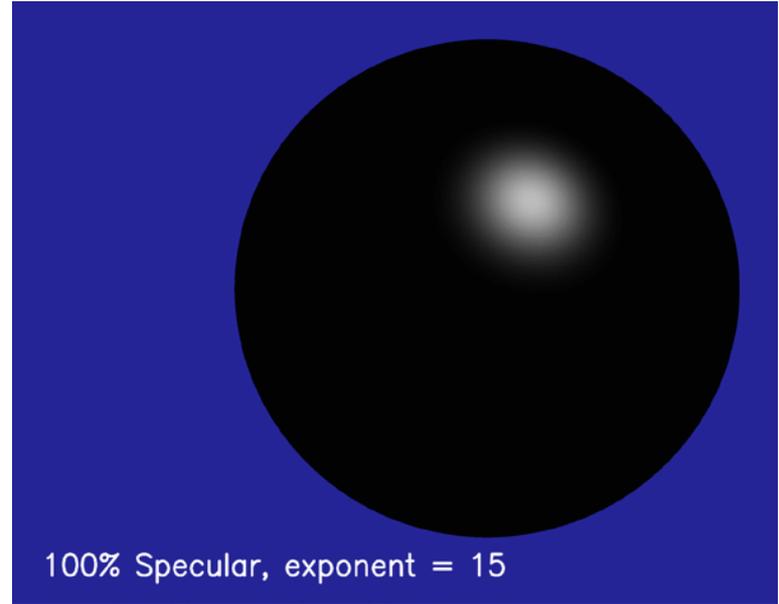
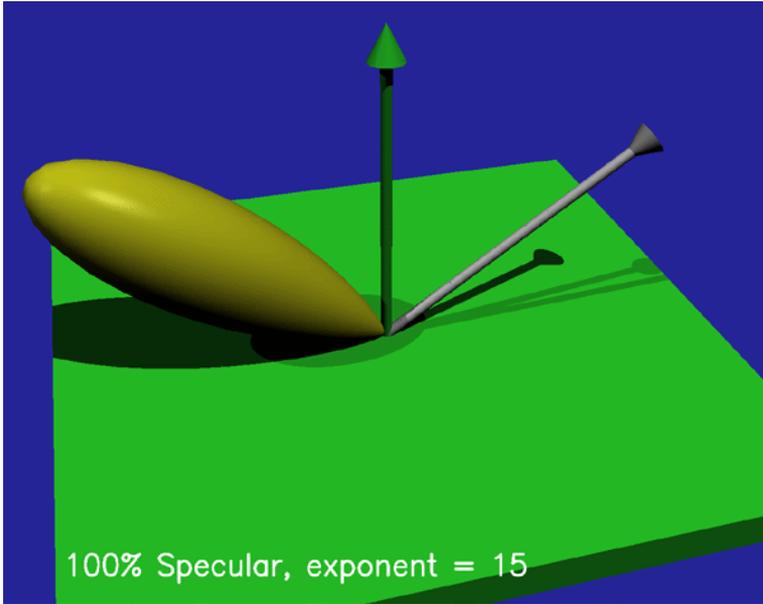
Modèle de Phong [1975]

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

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

- n = rugosité : ∞ 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

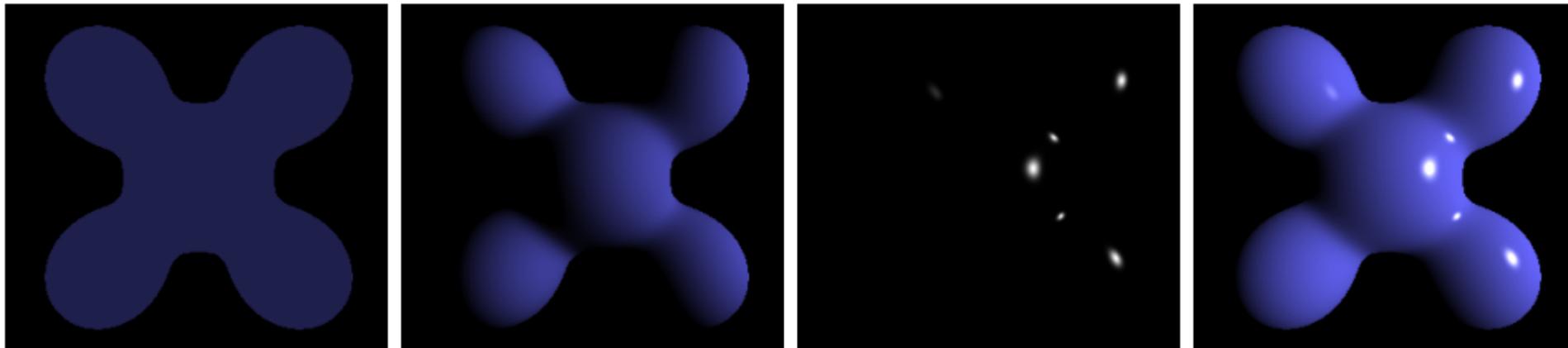
Modèle complet :

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

Modèle coloré :

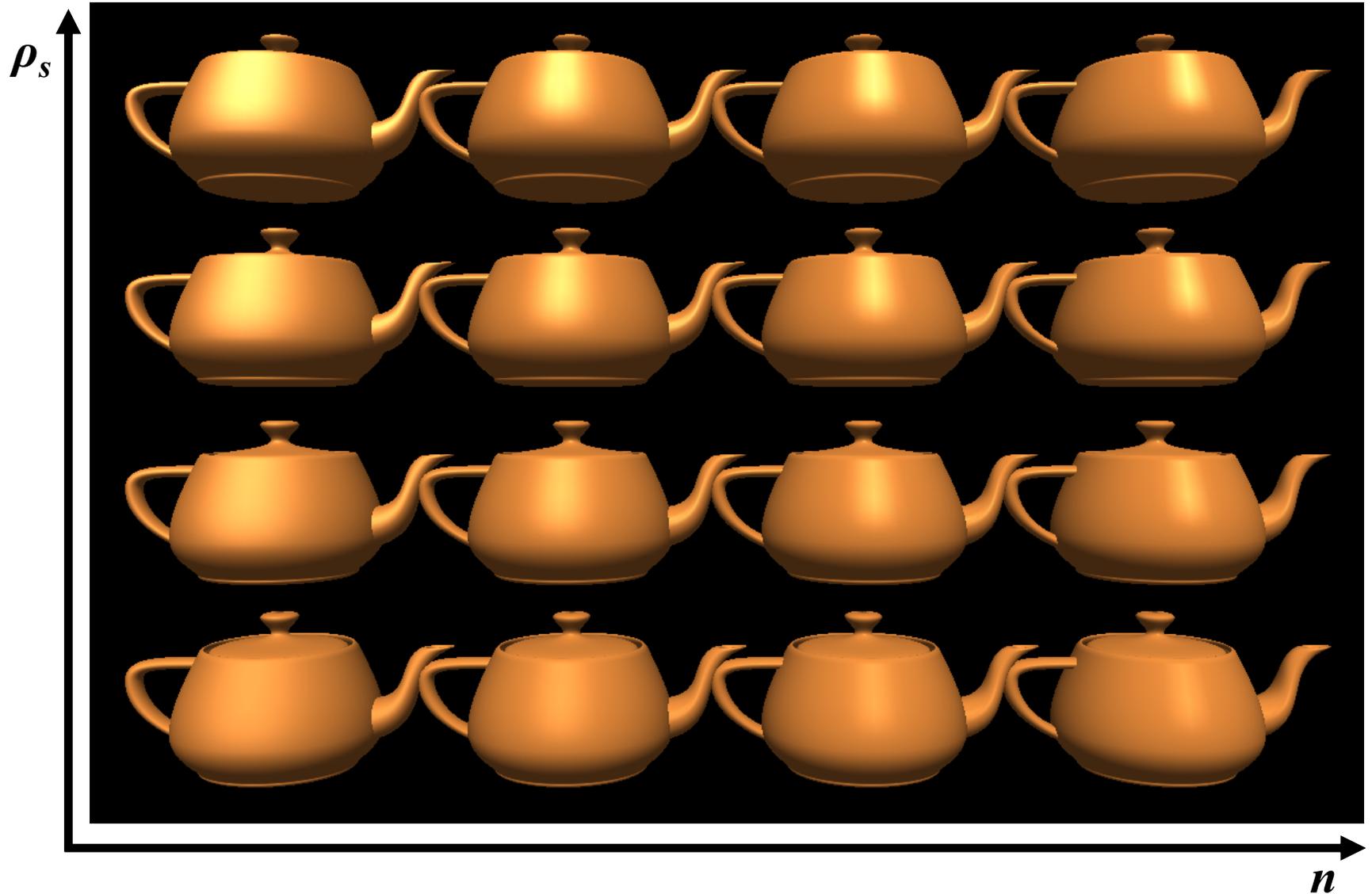
une intensité par composante de couleur

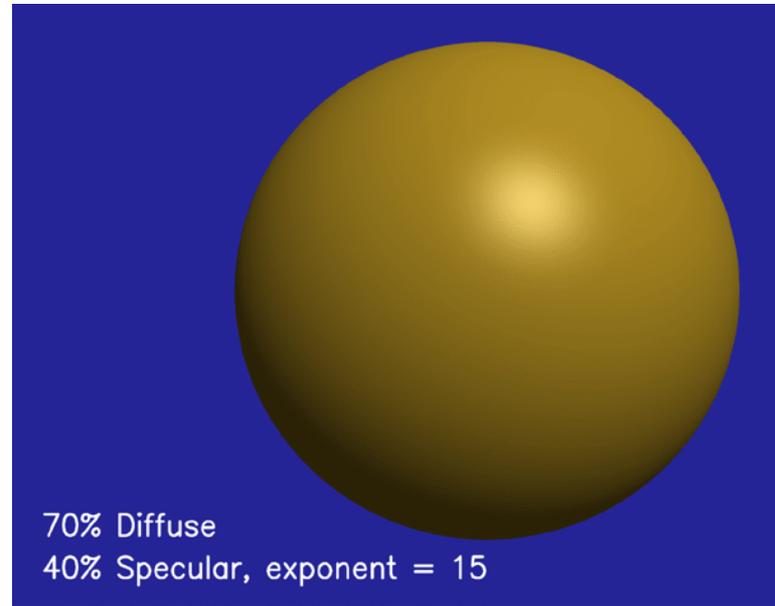
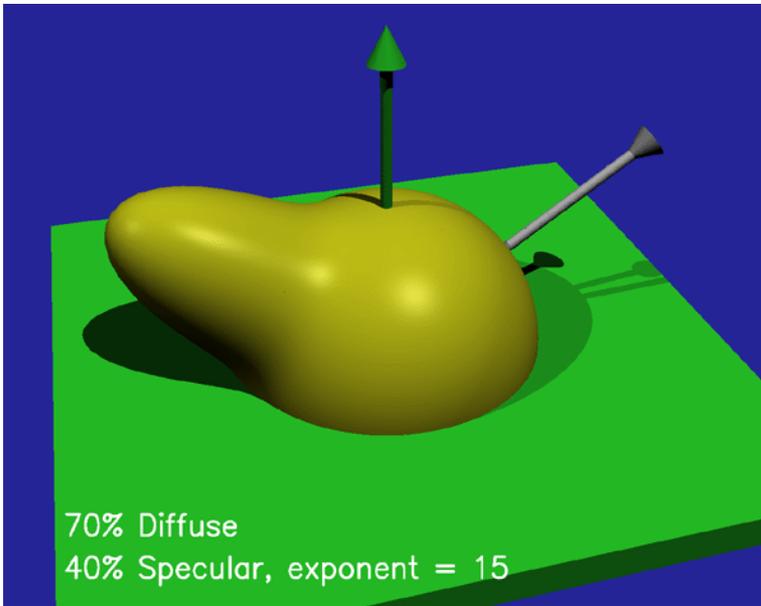
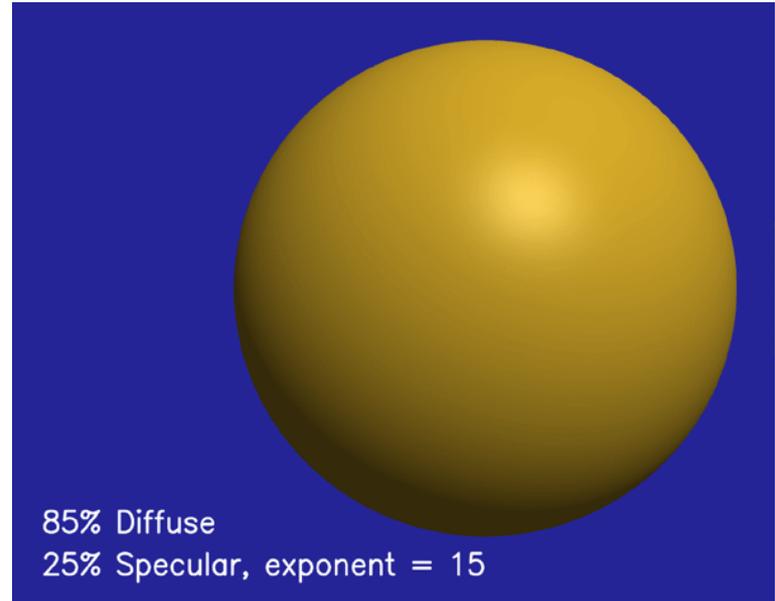
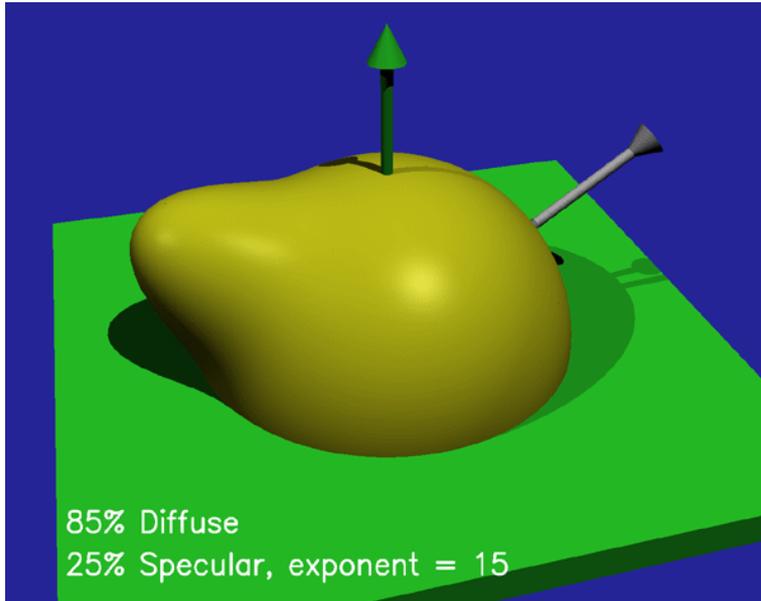
Images : Wikipedia



Ambiant + Diffus + Spéculaire = Phong

Modèle de Phong





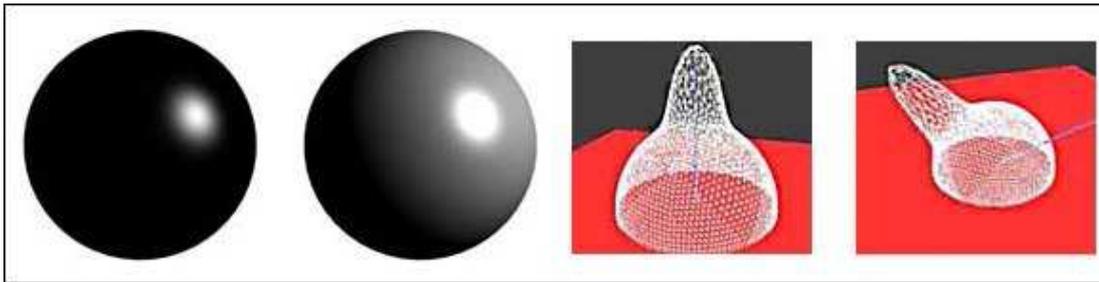
Variation de Blinn-Phong

Simplification utilisant le *halfway vecteur*

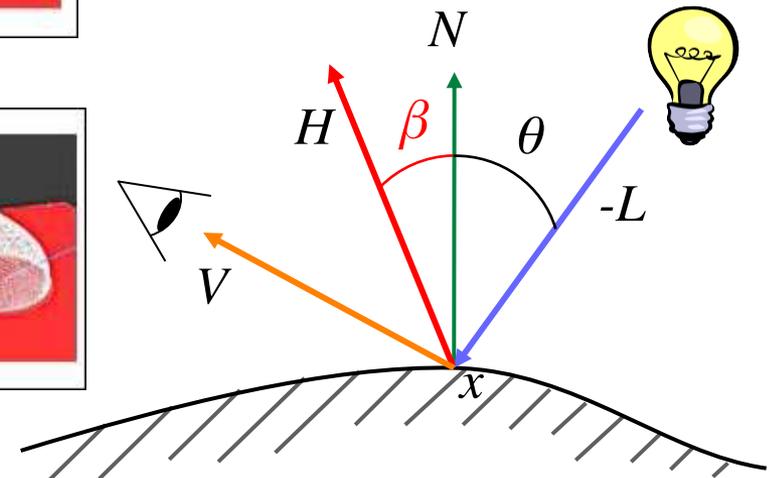
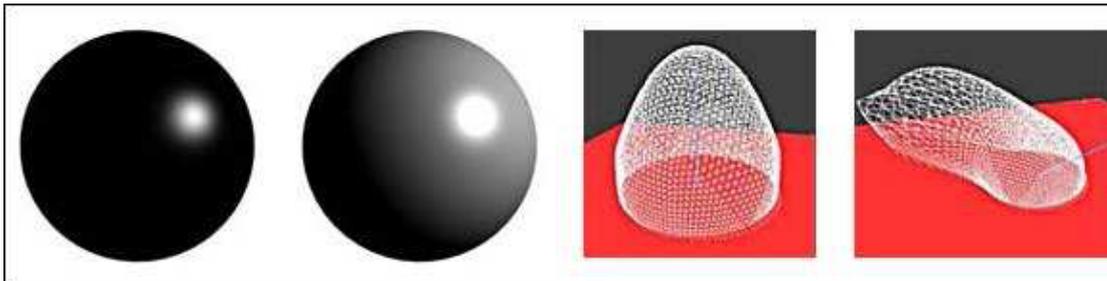
$$H = (L + V) / \|L + V\|$$

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

Modèle de Phong

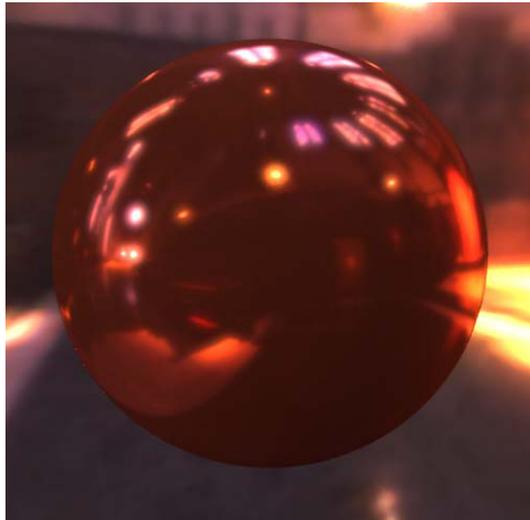


Modèle de Blinn-Phong

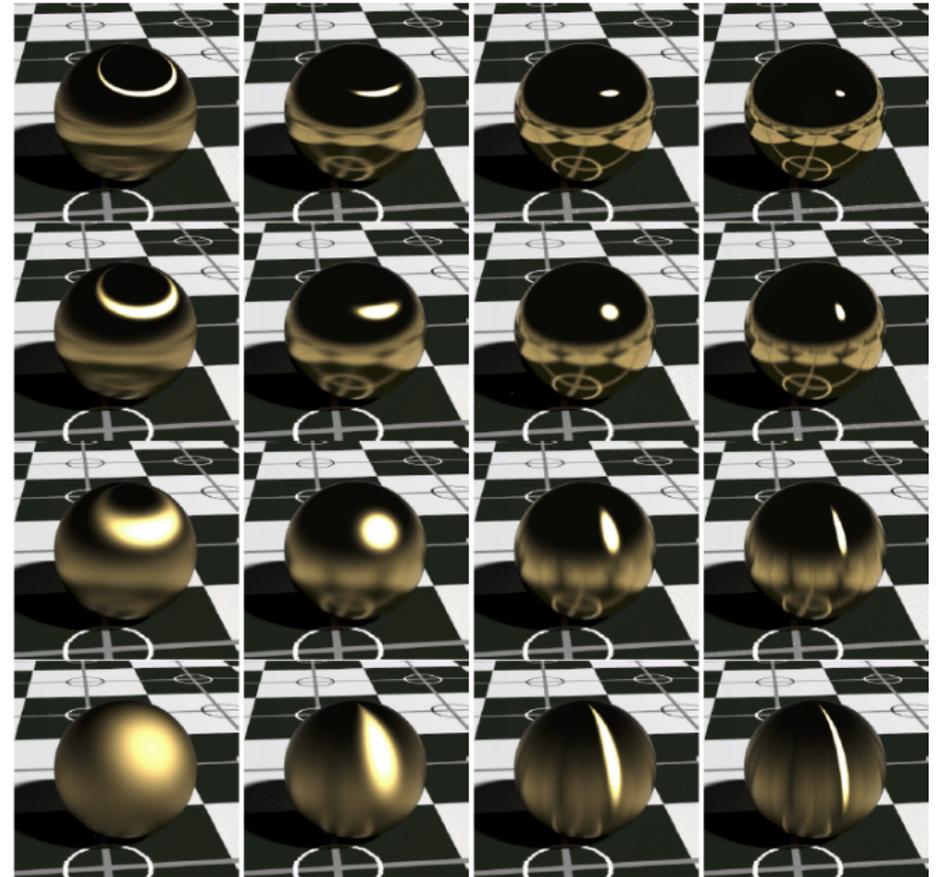


Pour aller plus loin

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



Modèle de Cook-Torrance



Modèle de Ward