

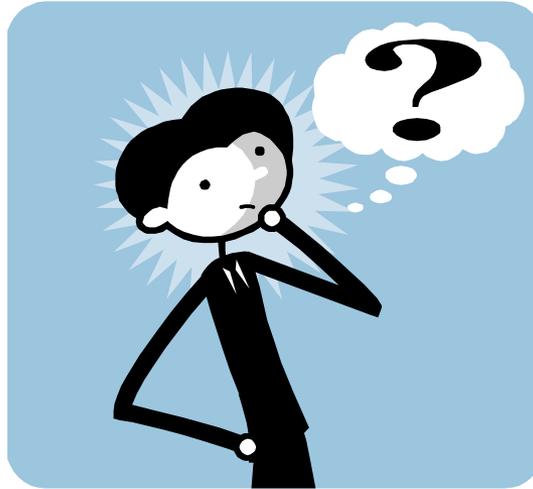
Illumination et matériaux

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**

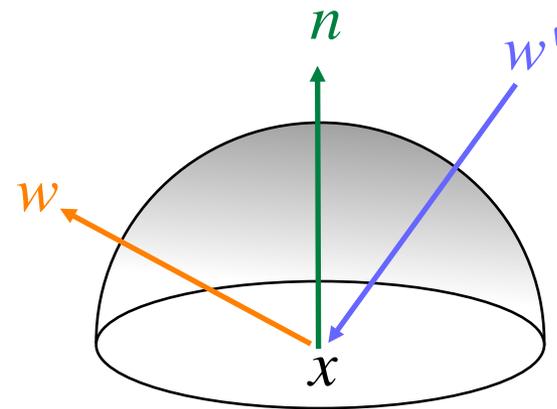
Dépend de :

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

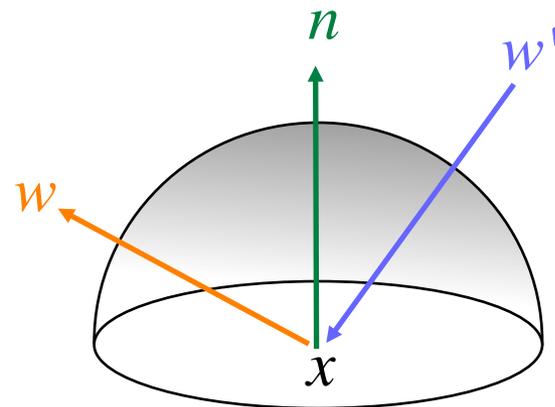


Équation du rendu [Kajiya 1986]

$$L(x, \boldsymbol{w}) = L_e(x, \boldsymbol{w})$$

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

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



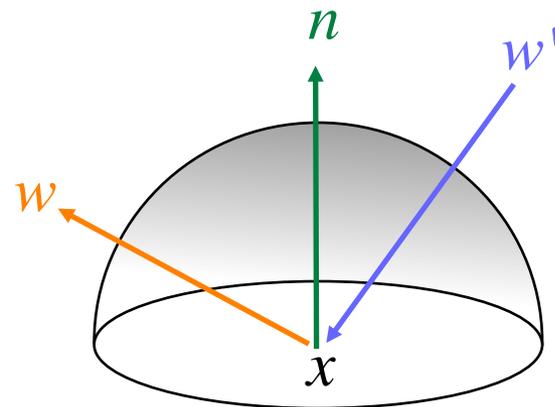
Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

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

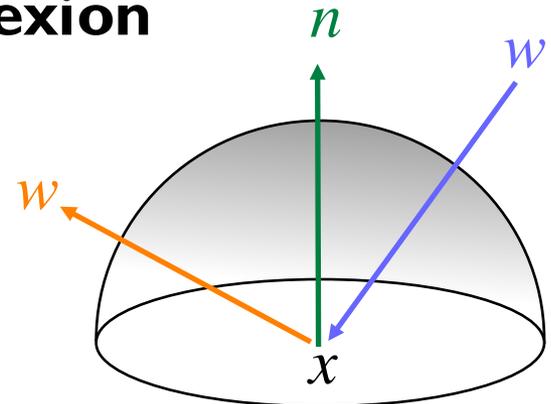
$$L(x, \mathbf{w}) = L_e(x, \mathbf{w}) + \int_{\Omega_n} L(x, \mathbf{w}') \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle \rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w}) d\mathbf{w}'$$

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

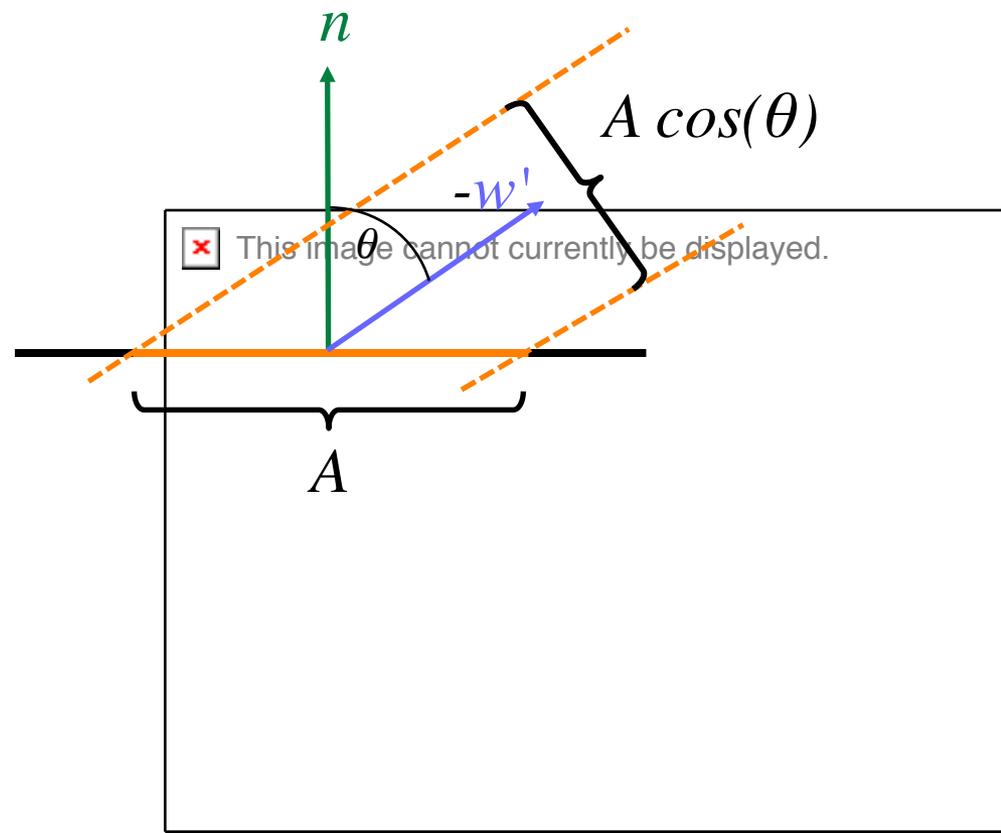
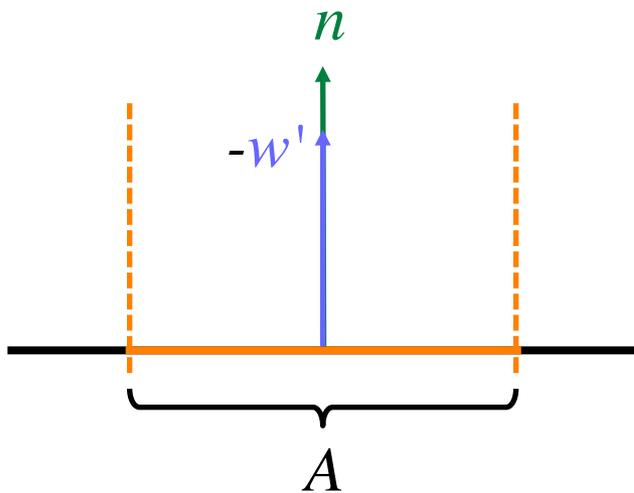
$\langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle$
 $\rho(x, -\mathbf{w}', \mathbf{w})$ } propriétés de réflexion
de la surface



Cos-term

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

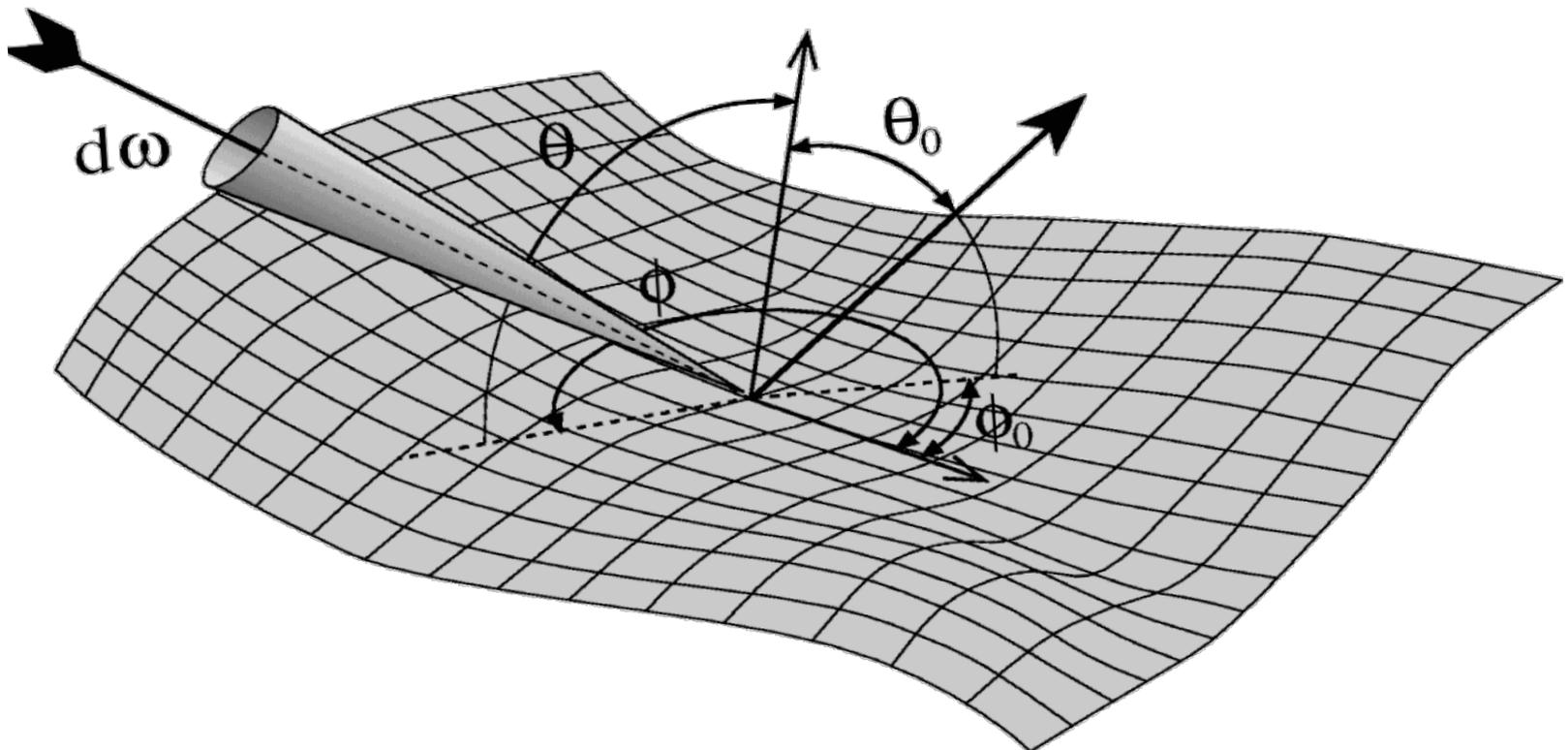
Prise en compte de **l'inclinaison de la surface** par rapport à la source



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]

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

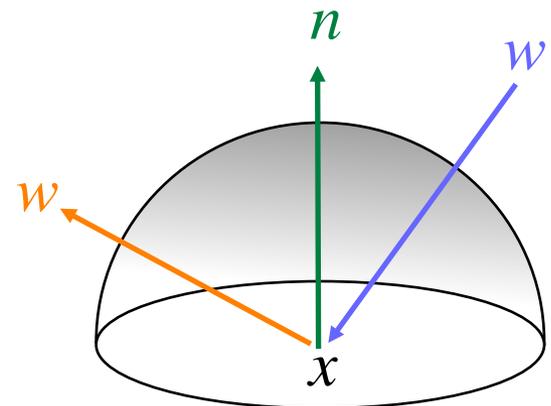
$L(x, \mathbf{w})$ lumière émise par le point x dans la direction \mathbf{w}

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



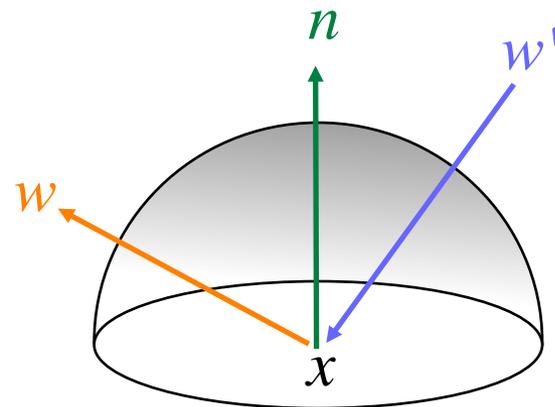
Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

Équation **ré**ursive

- trop coûteuse à évaluer en temps réel
- cf. UE « Synthèse d'Images Avancée » l'an prochain

⇒ **approximation : éclairage local**



Équation du rendu simplifiée

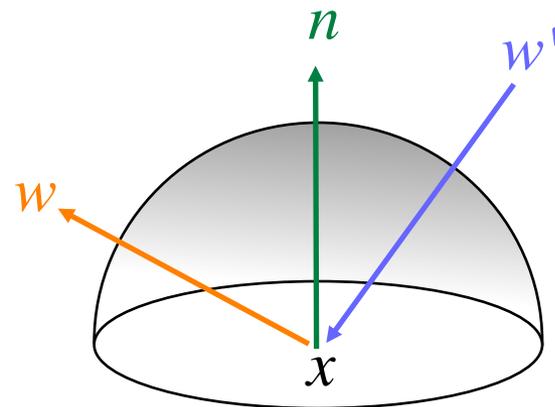
$$L(x, \mathbf{w}) = \sum_l V_l(x) \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle \rho(-\mathbf{w}', \mathbf{w})$$

Équation **récurive**

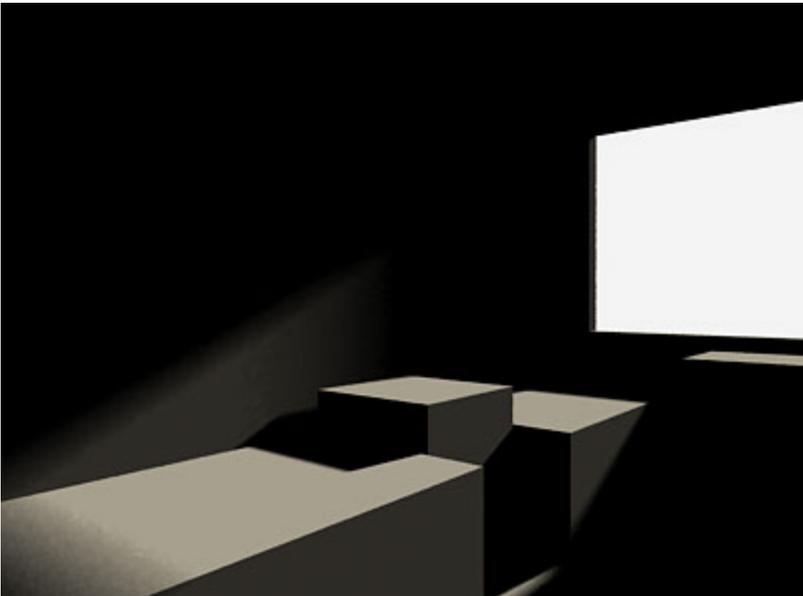
- trop coûteuse à évaluer en temps réel
- cf. UE « Synthèse d'Images Avancée » l'an prochain

⇒ **approximation : éclairage local**

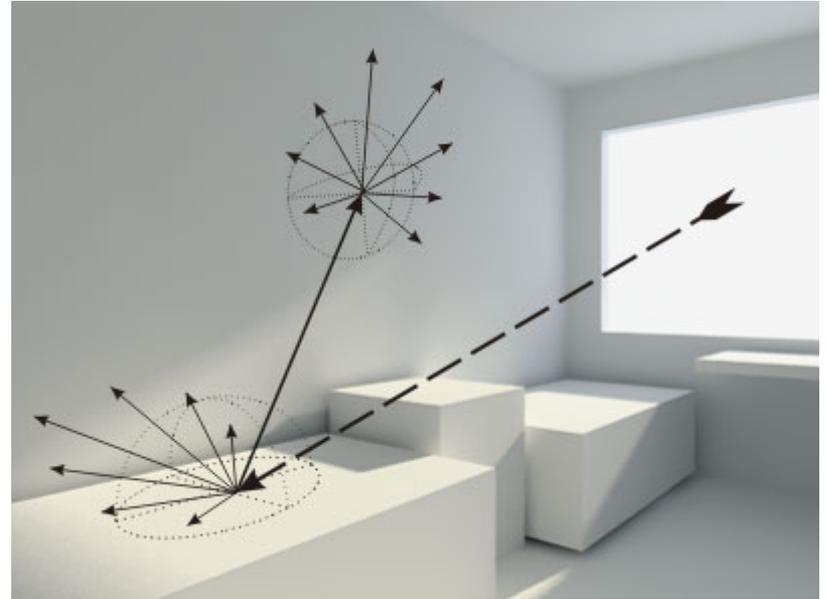
- pas d'émission des surfaces
- ensemble fini de sources discrètes V_l



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

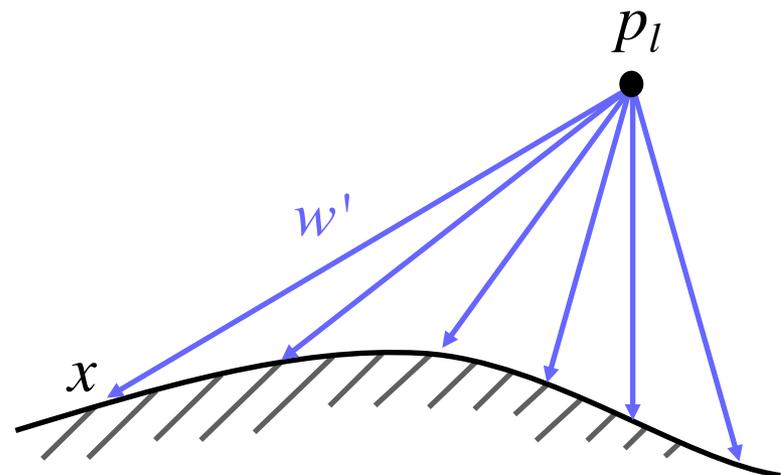
- Couleur

- Atténuation

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

Sources standards

- Ampoule...



Spots

Paramètres

- Position

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

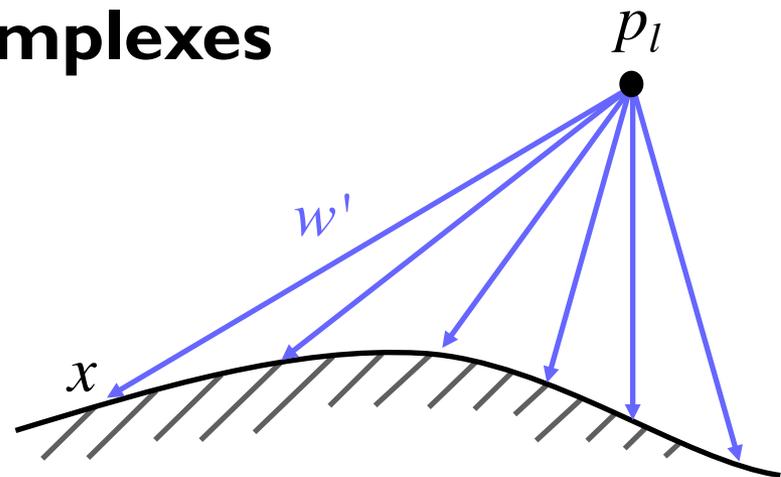
- Couleur

- Atténuation **directionnelle**

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

Sources **directionnelles complexes**

- Phare, lampe torche...



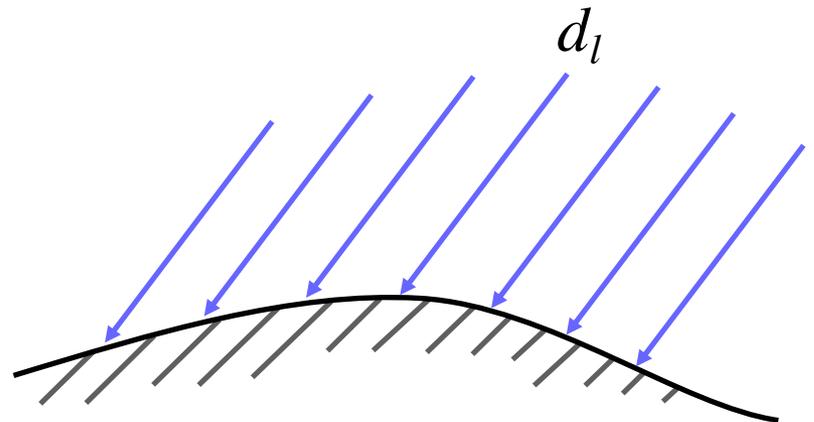
Sources unidirectionnelles

Paramètres

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

Source ponctuelle à l'infini

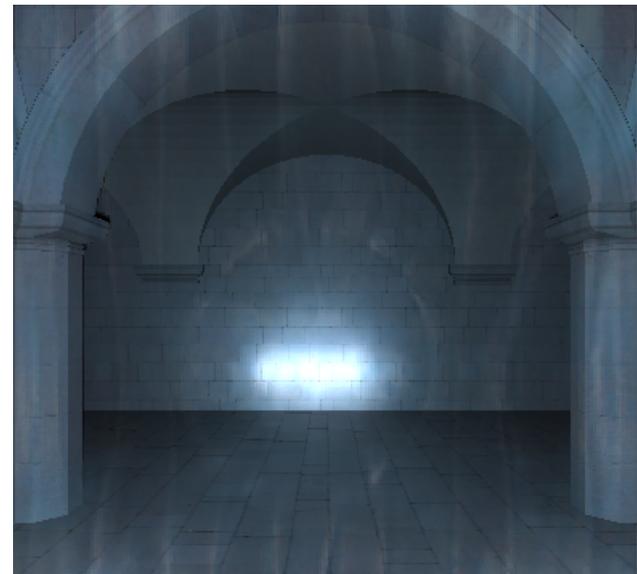
- Soleil



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 de **l'inter-réflexion** entre toutes les surfaces d'une scène

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

Réflexion diffuse idéale

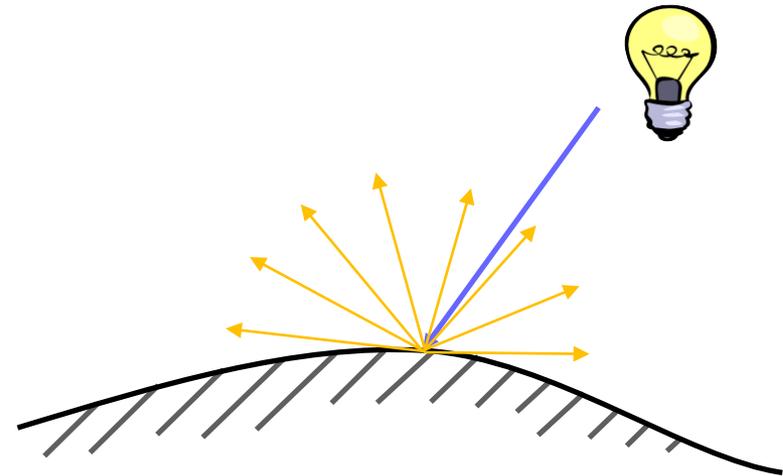
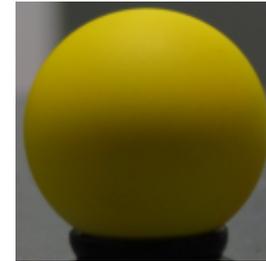
Indépendante du point de vue

Surfaces **lambertiennes**

⇒ mattes : craie, papier

BRDF uniforme

$$\rho(-w', w) = \rho_d$$



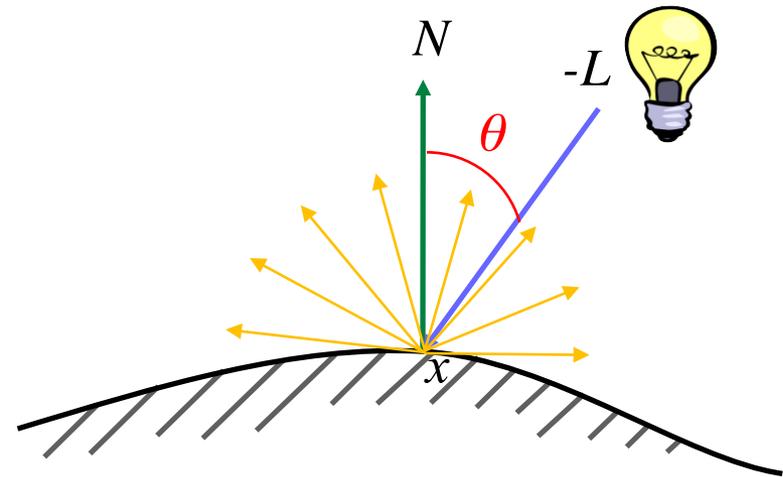
Réflexion diffuse idéale

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

I : intensité de la source lumineuse ponctuelle

ρ_d : coefficient de réflexion diffuse de la surface

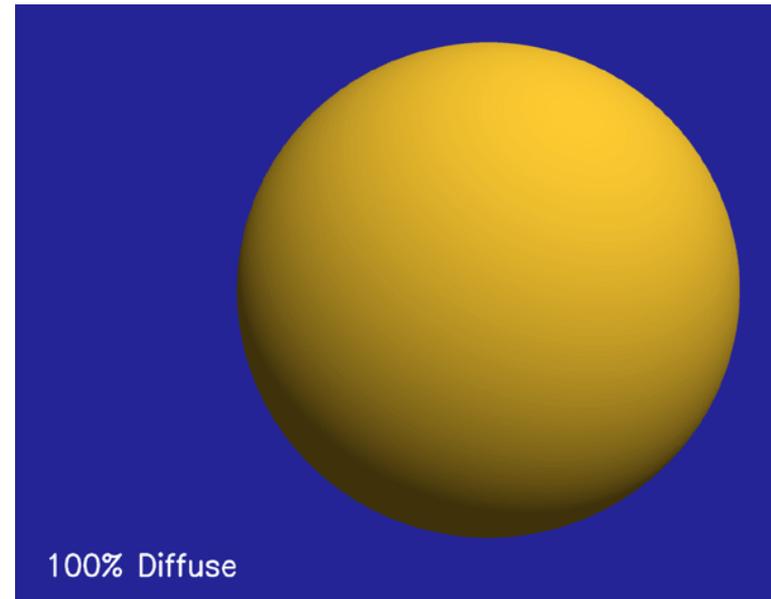
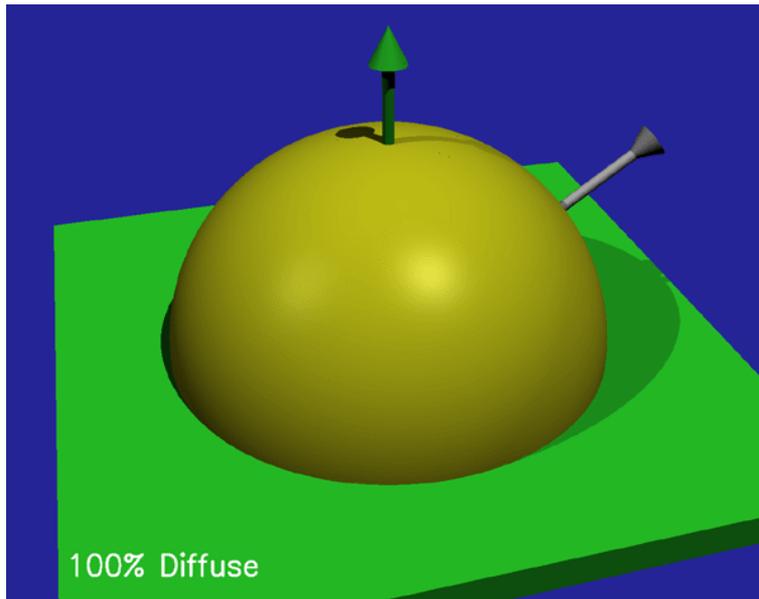
$$(0 \leq \rho_d \leq 1)$$



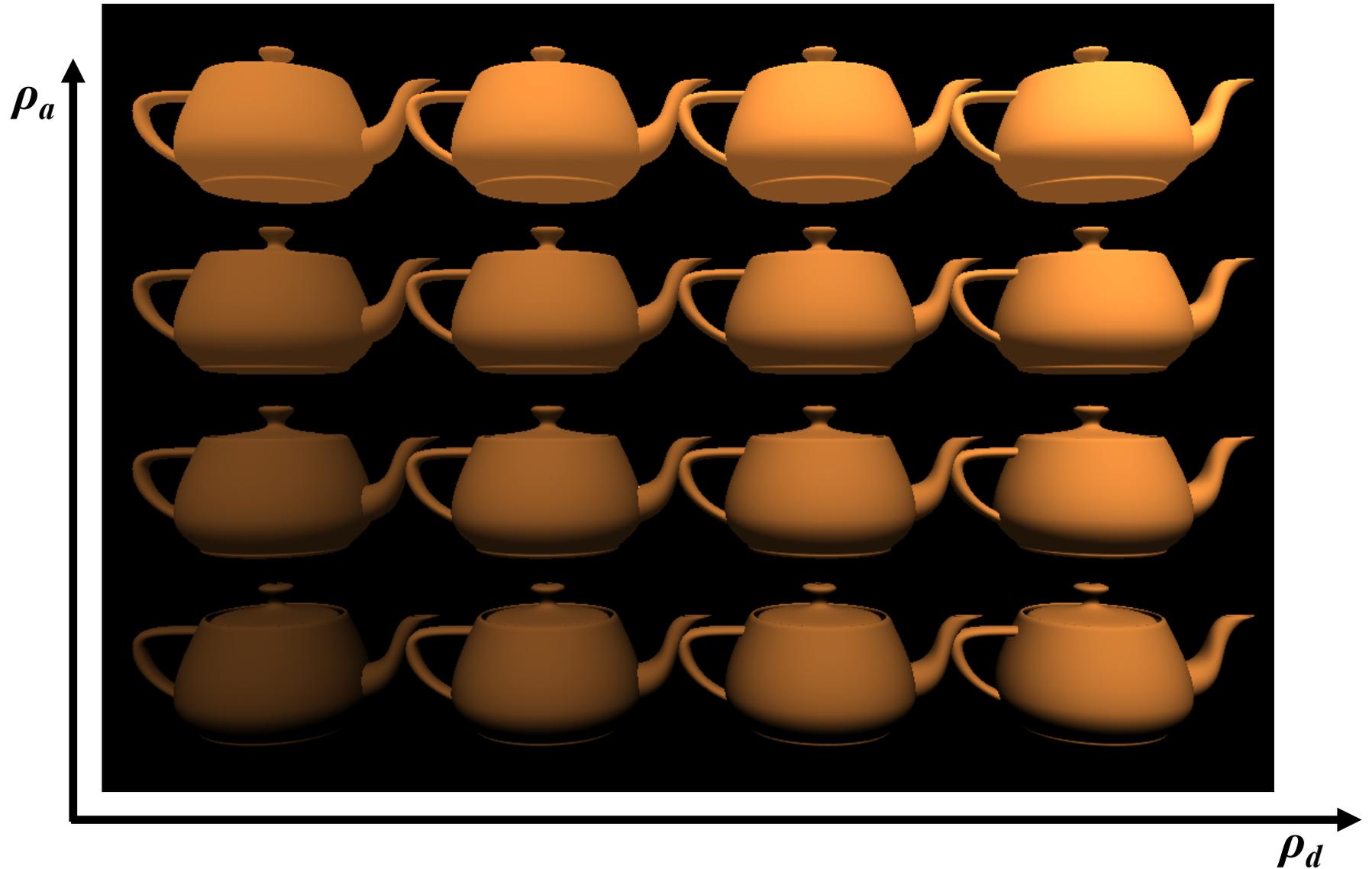
Réflexion diffuse idéale



en augmentant ρ_d ($\rho_a = 0$)



Diffuse + ambiente



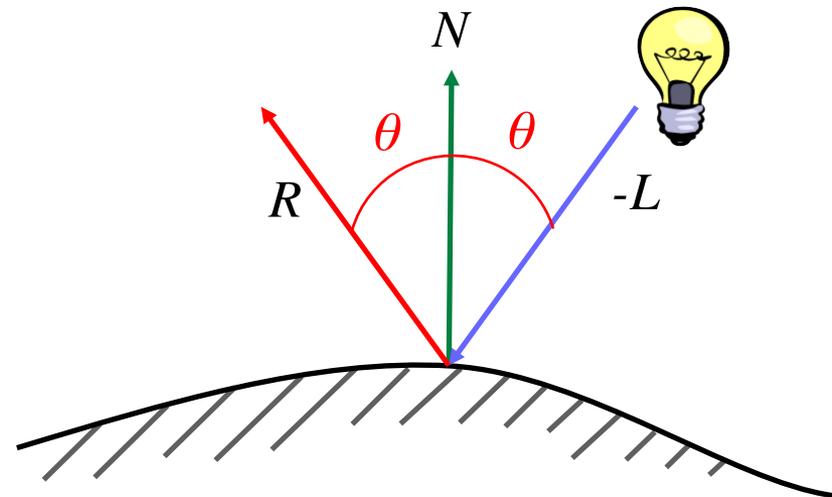
Réflexion spéculaire idéale

Dépendante du point de vue

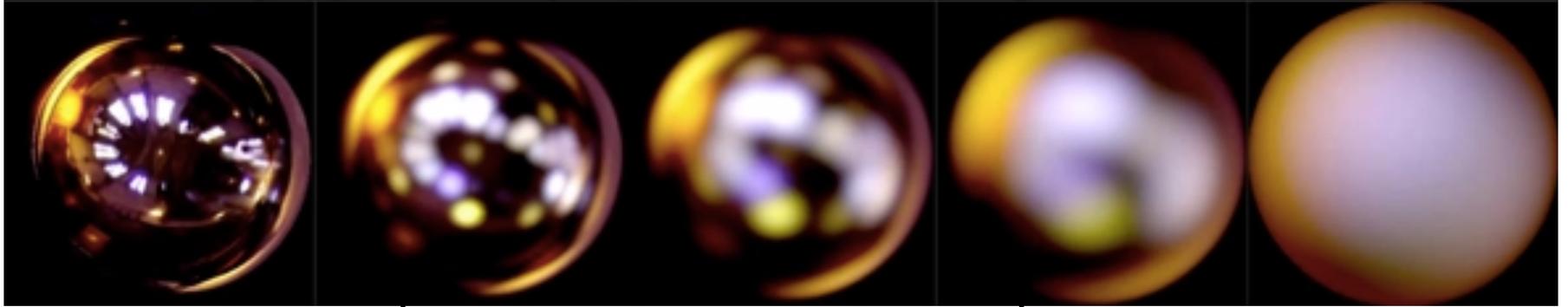
Surfaces brillantes (miroir)

⇒ Loi de Snell-Descartes

BRDF : distribution de Dirac

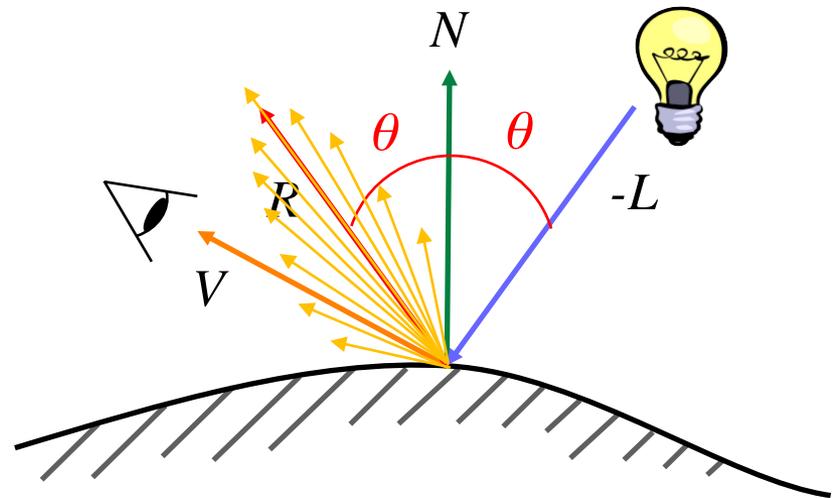


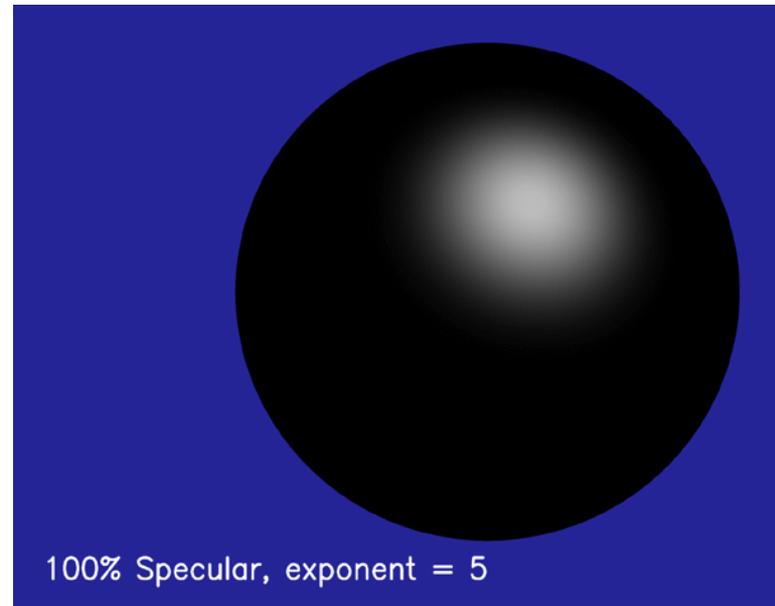
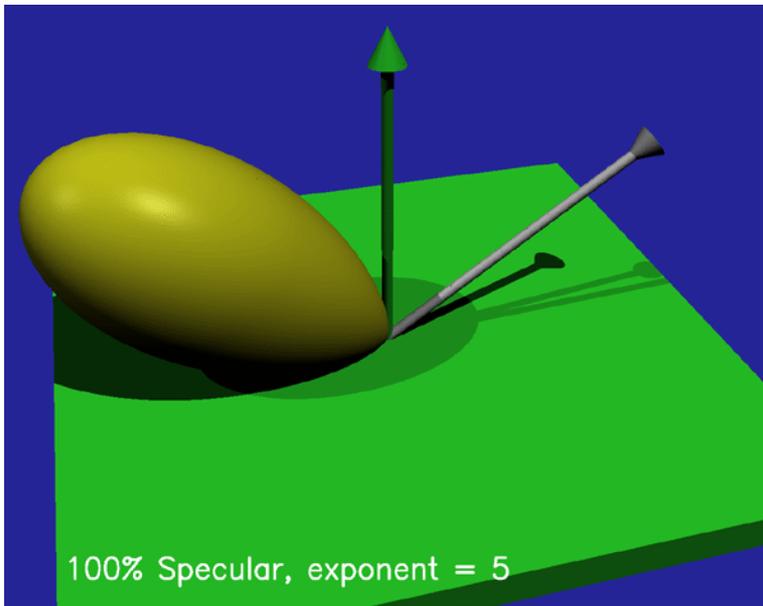
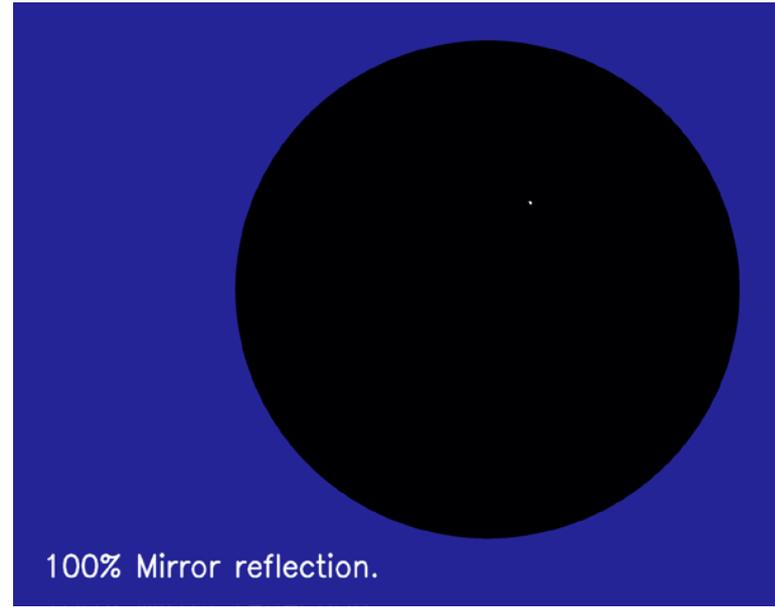
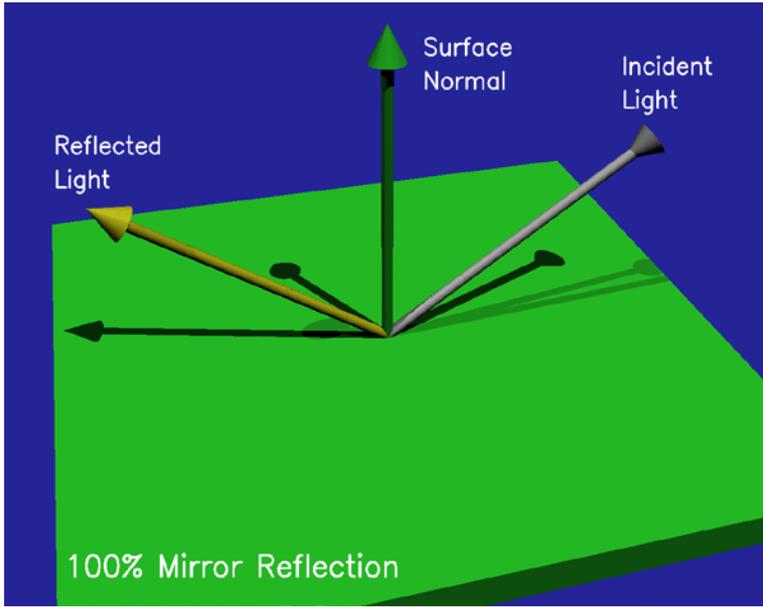
Réflecteurs non-idéaux (glossy)



On suppose que la surface n'est pas parfaitement spéculaire

⇒ **Modèle de Phong**



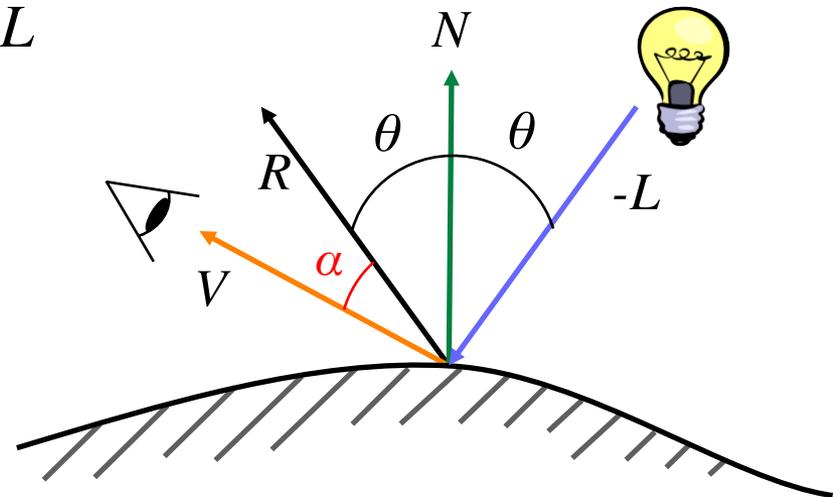


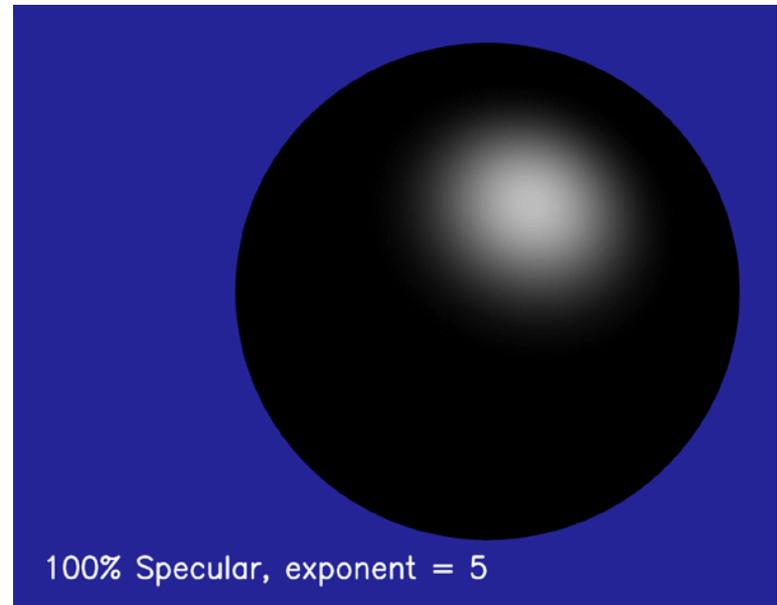
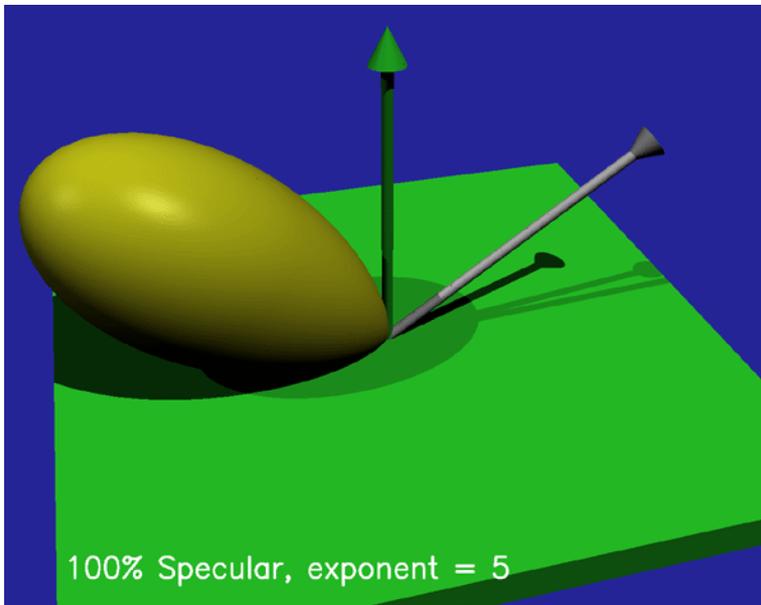
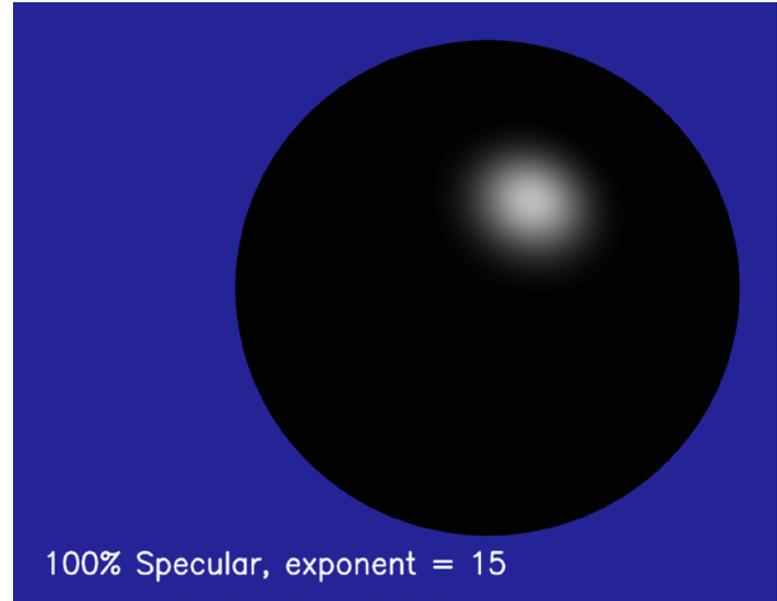
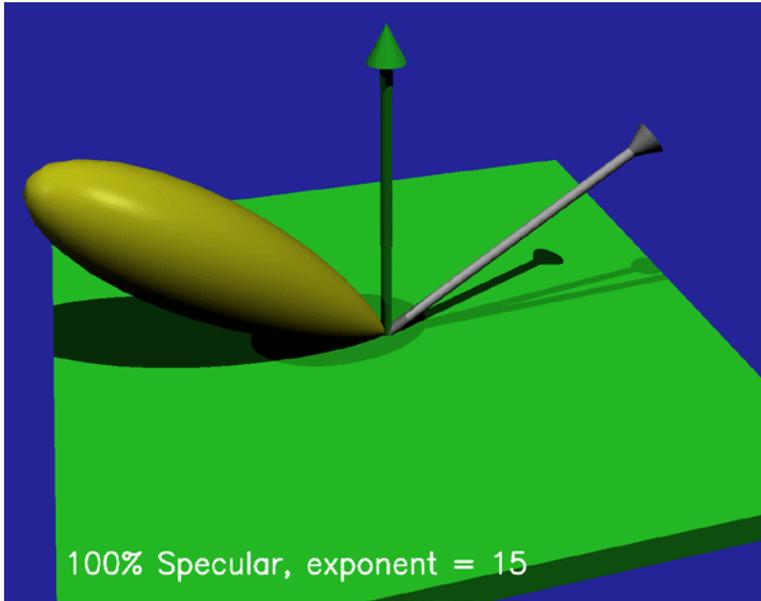
Modèle de Phong [1975]

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

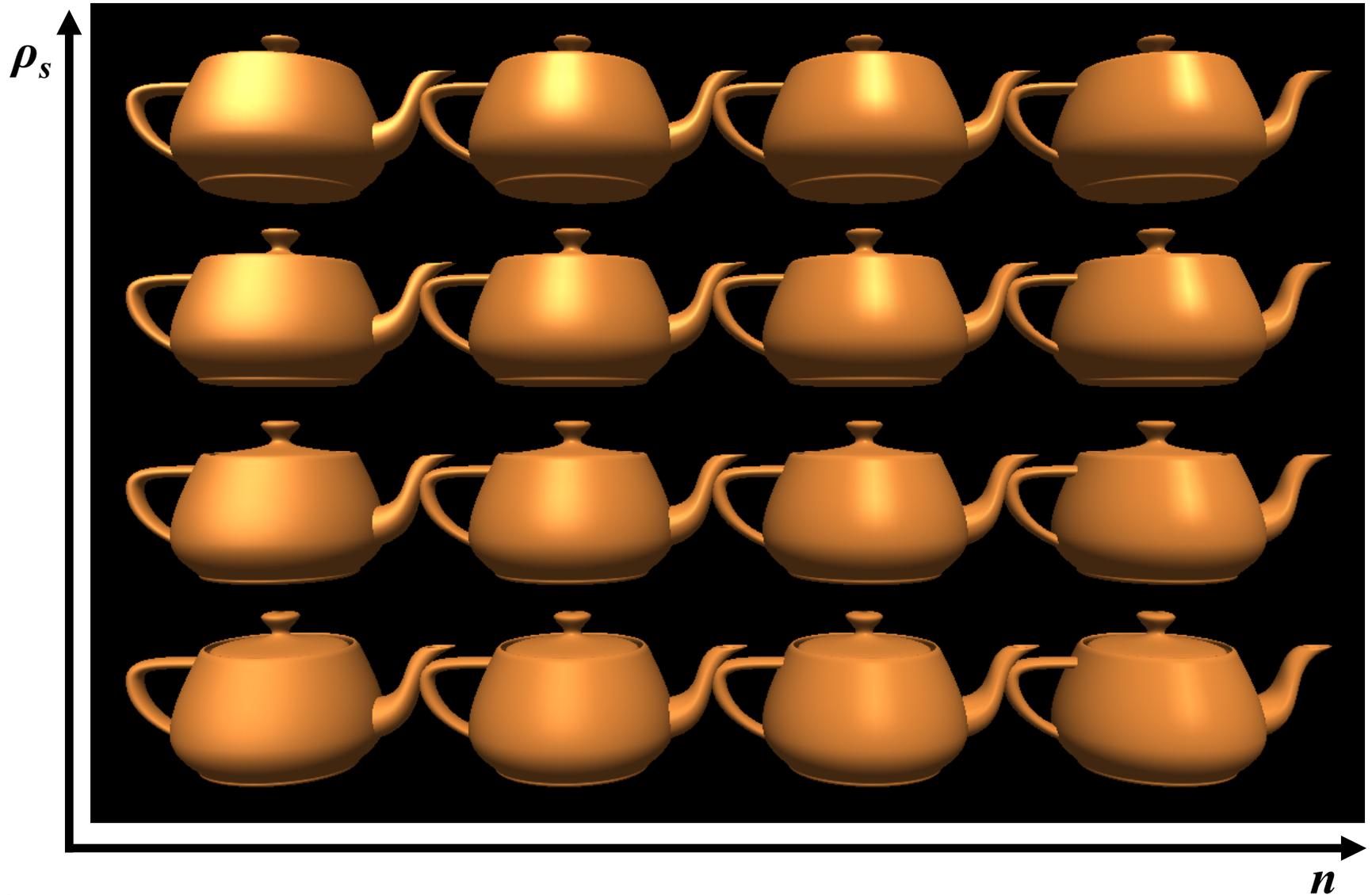
$$I(x) = \rho_s L \cos^n \alpha$$

- 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 de Phong

Modèle complet :

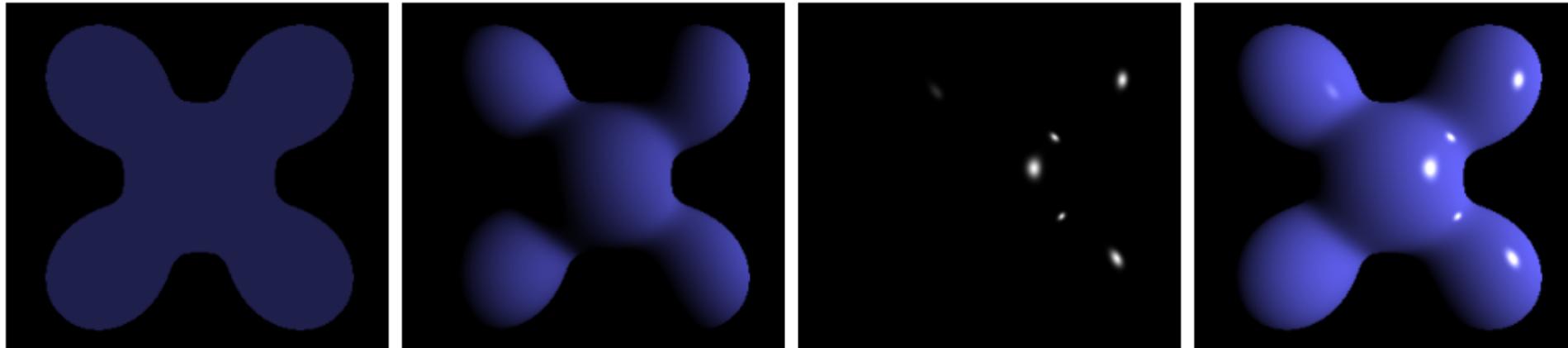
Pondération par un coefficient d'atténuation F_d

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

Modèle coloré :

une intensité par composante de couleur

Images : Wikipedia



Ambiant

+

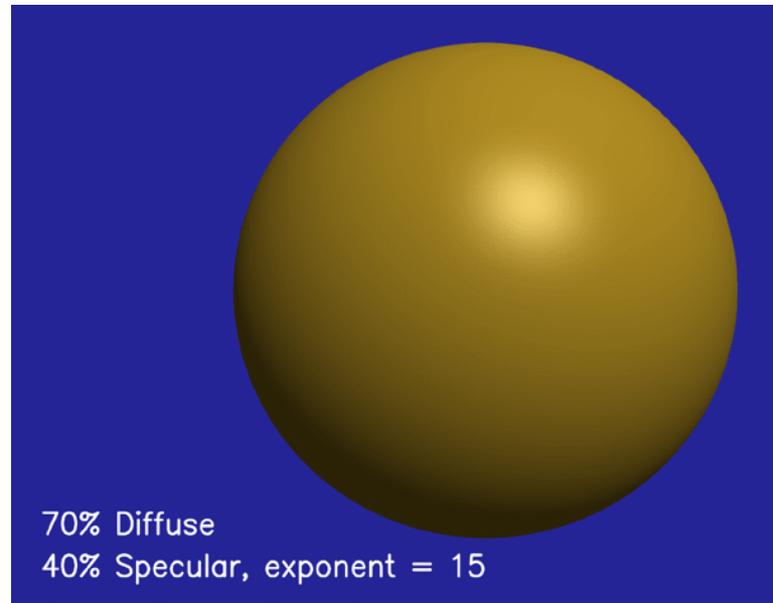
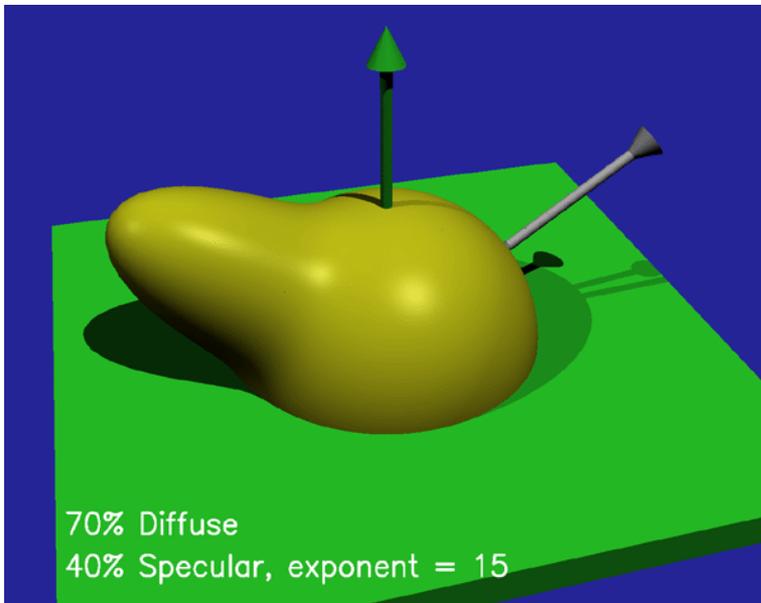
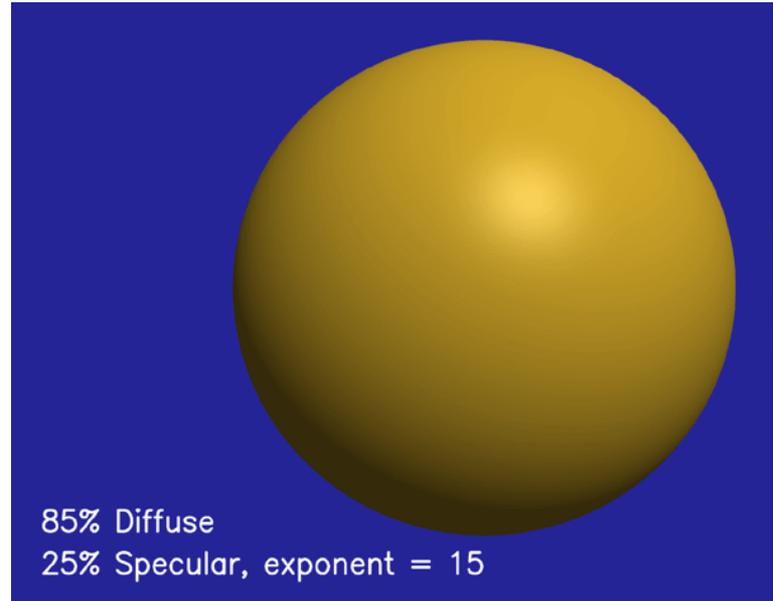
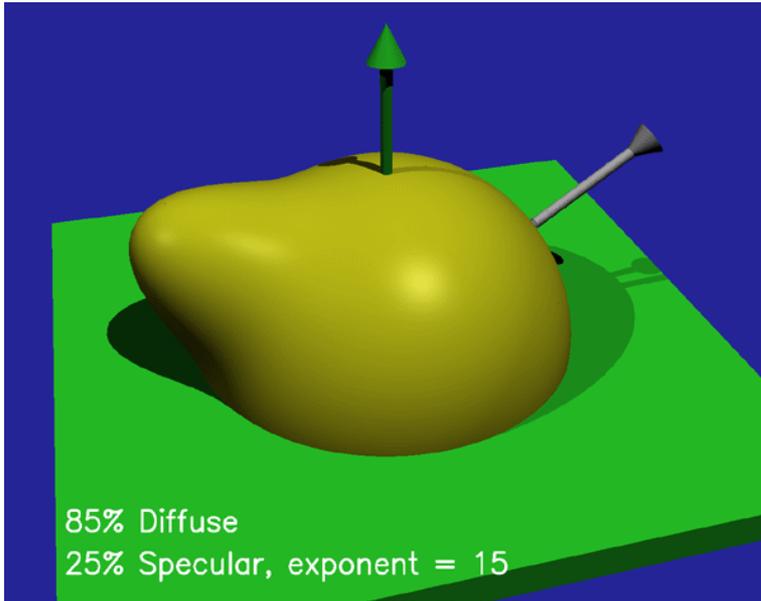
Diffus

+

Spéculaire

=

Phong



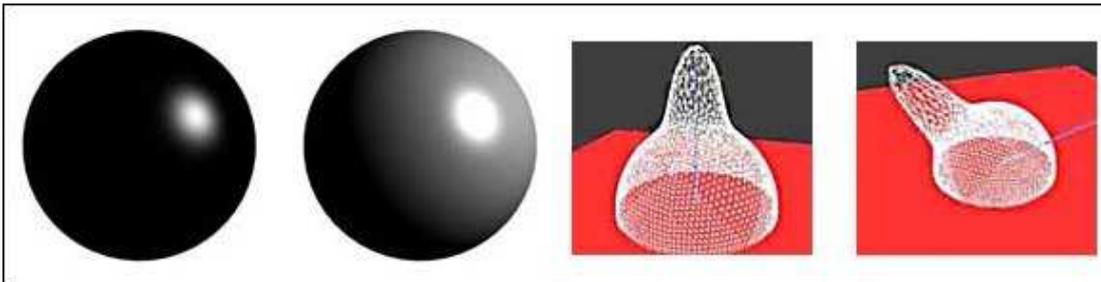
Variation de Blinn-Phong

Simplification utilisant le *halfway vecteur*

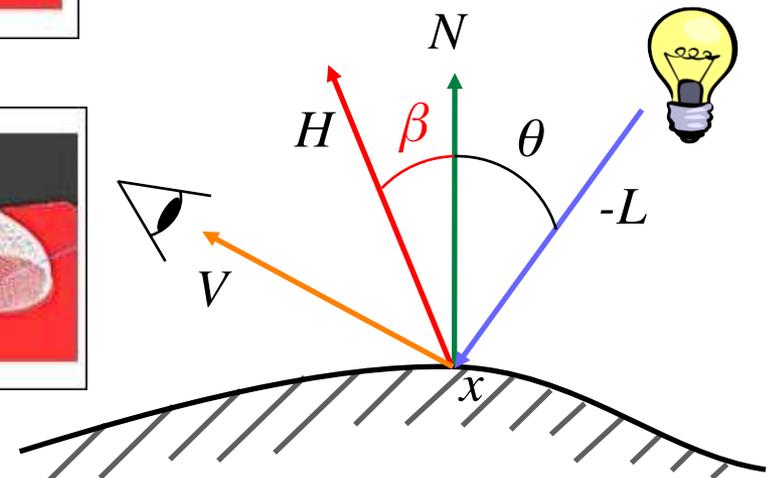
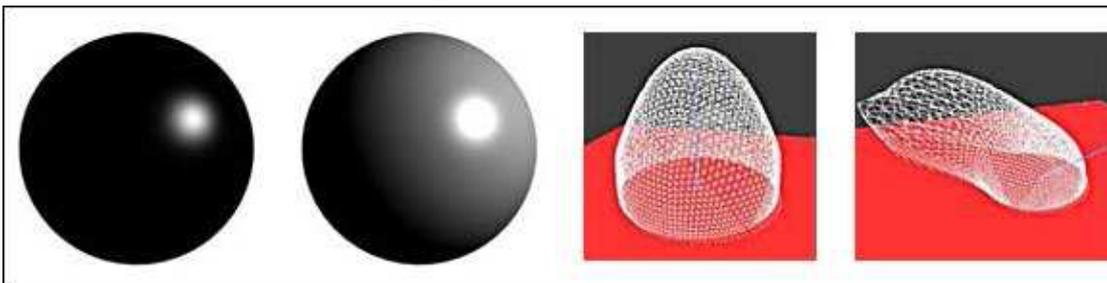
$$H = (L + V) / \|L + V\|$$

$$I(x) = \rho_s L \cos^n \beta = \rho_s L (N \cdot H)^n$$

Modèle de Phong



Modèle de Blinn-Phong



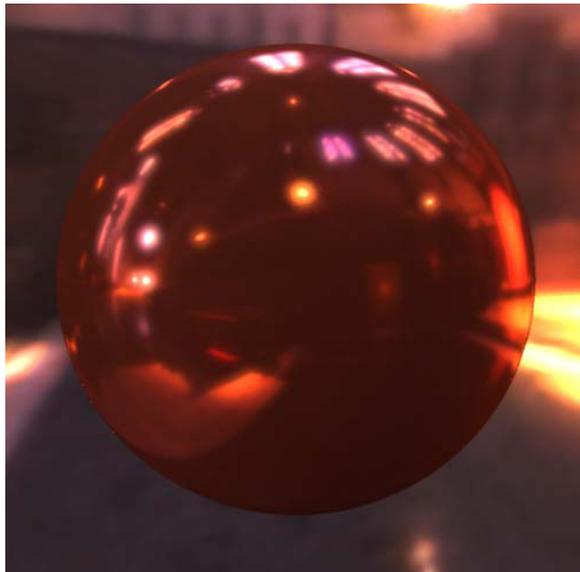
Pour aller plus loin

Matériaux **anisotropes**

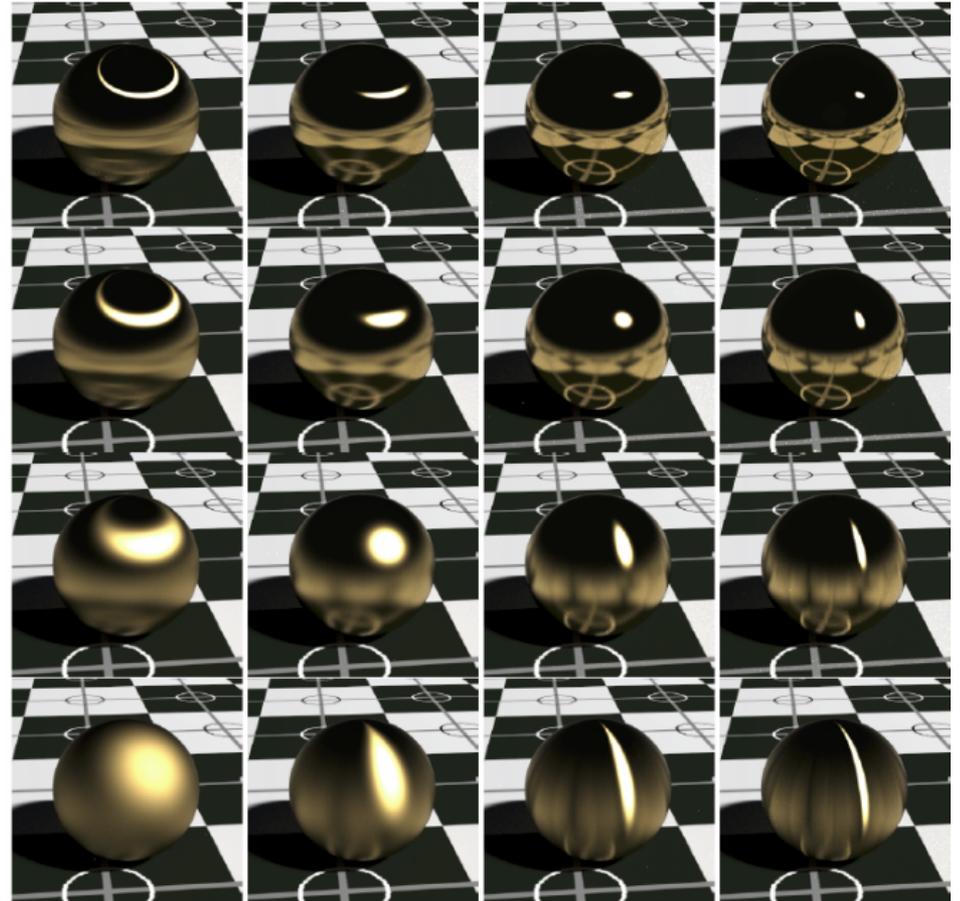
Modèles « **physiques** »
(micro-facettes)

Matériaux **mesurés**

⇒ cf. UE SIA l'an prochain



Modèle de Cook-Torrance

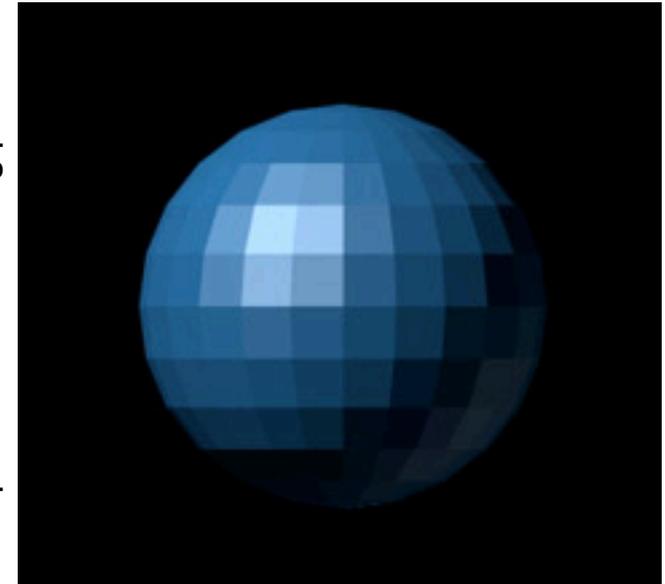
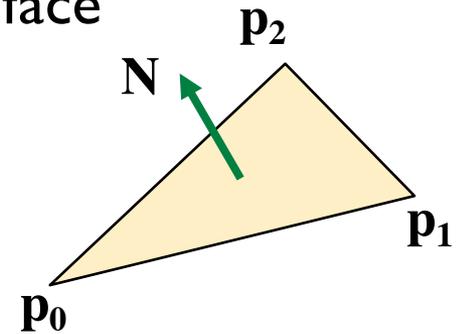


Modèle de Ward

Flat shading

Calcul des valeurs d'intensité **par face**

- Calculer une seule valeur d'illumination pour la face
- Ex.: milieu de la face, normale est celle du plan contenant la face $N =$

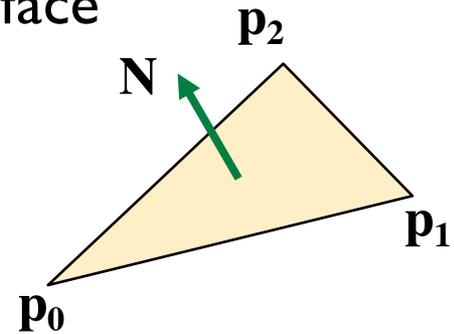


<http://unit20alistair2.blogspot.fr/>

Flat shading

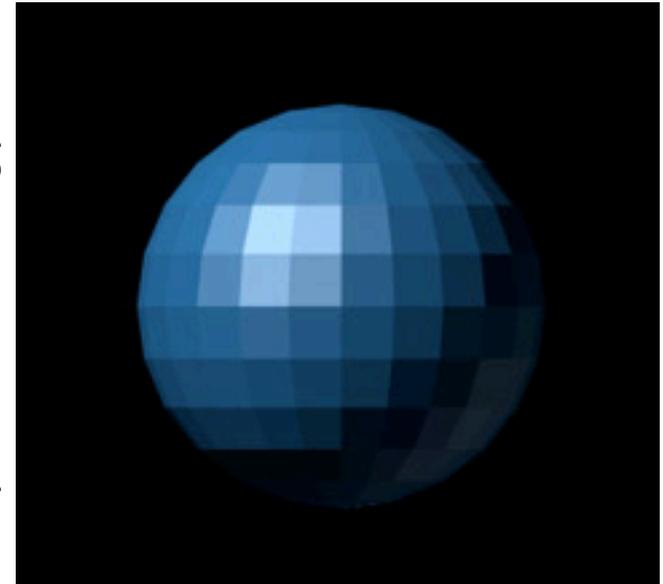
Calcul des valeurs d'intensité **par face**

- Calculer une seule valeur d'illumination pour la face
- Ex.: milieu de la face, normale est celle du plan contenant la face $\mathbf{N} = (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0) \times (\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_0)$



Approche **valide quand** :

- la source lumineuse est à l'infini
- la projection est orthographique
- la surface est composée de faces polygonales uniquement



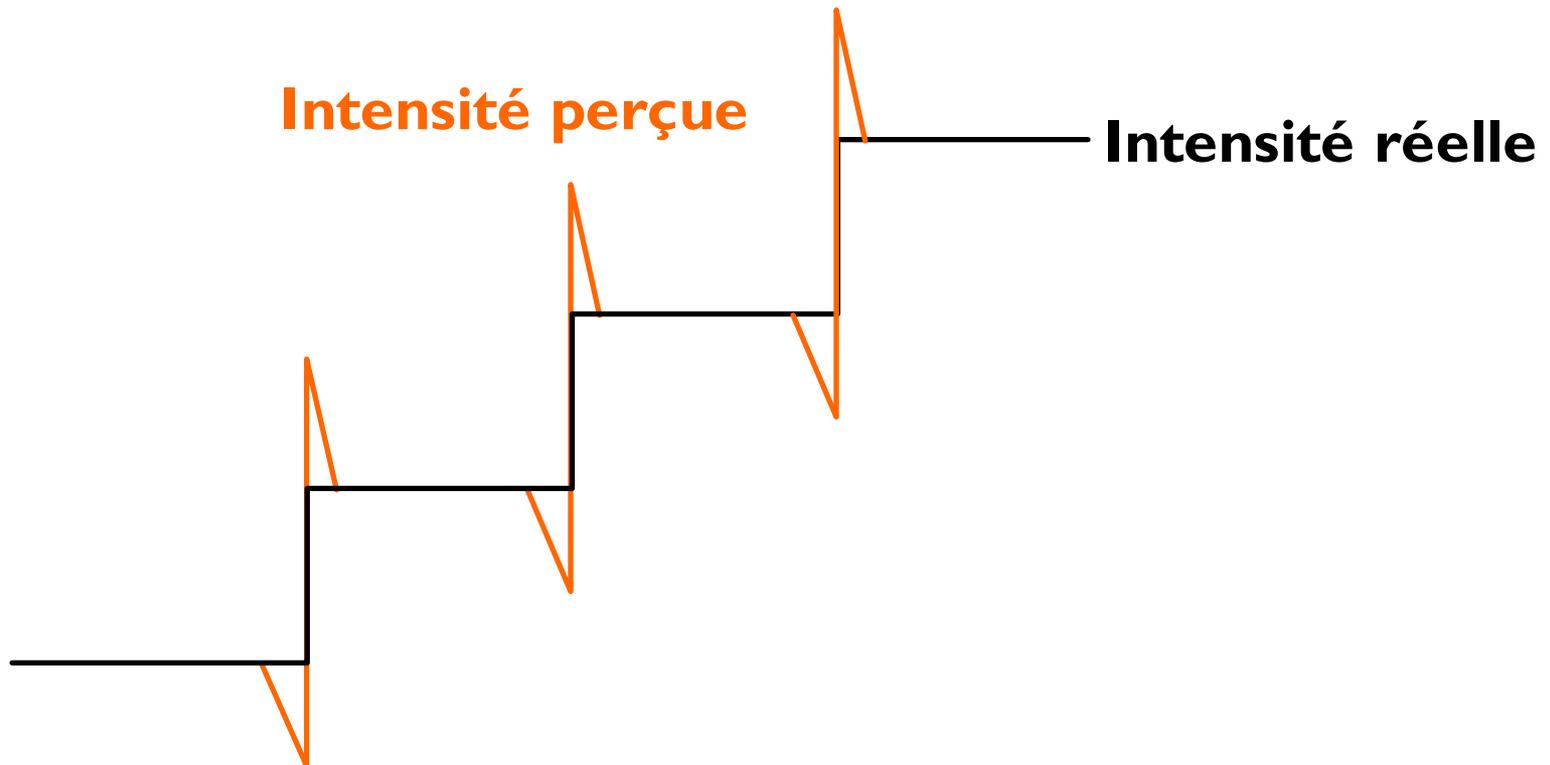
<http://unit20alistair2.blogspot.fr/>

Flat shading

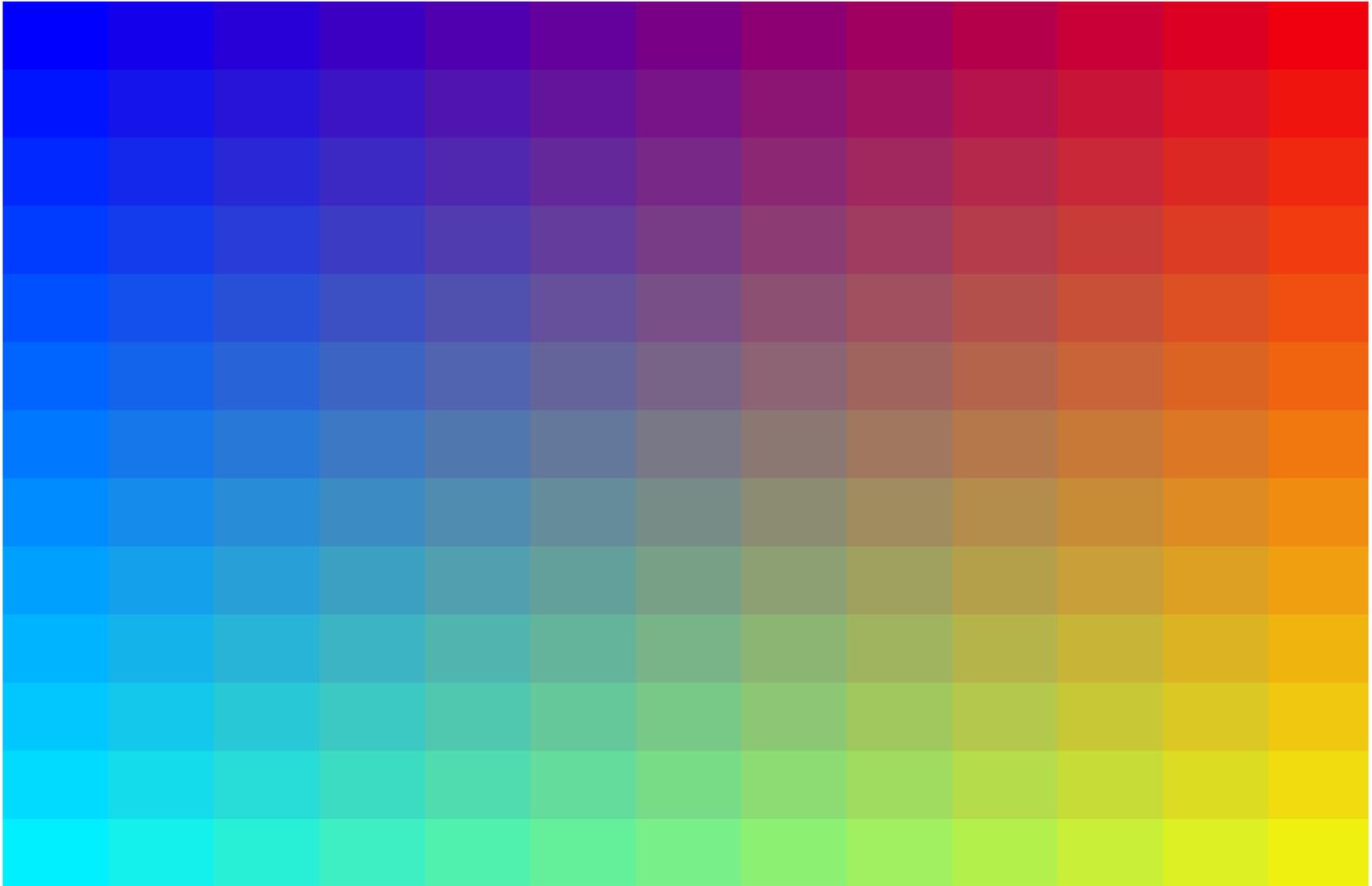
Problème : discontinuités entre les faces

L'œil les perçoit très bien

⇒ effet de « **Mach Banding** »



Mach Banding

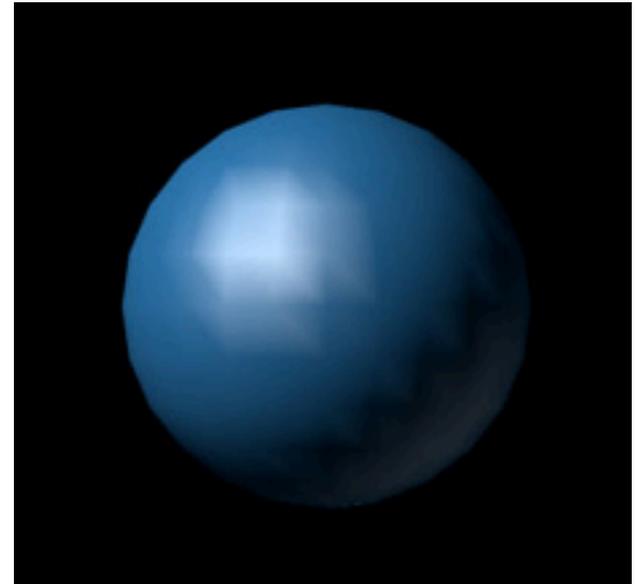


Gouraud shading

Interpolation des valeurs d'intensité calculées **aux sommets** de la face

1. Calcul des normales aux sommets
2. Calcul des intensités (couleurs) aux sommets
3. Interpolation des intensité avec les coordonnées barycentriques

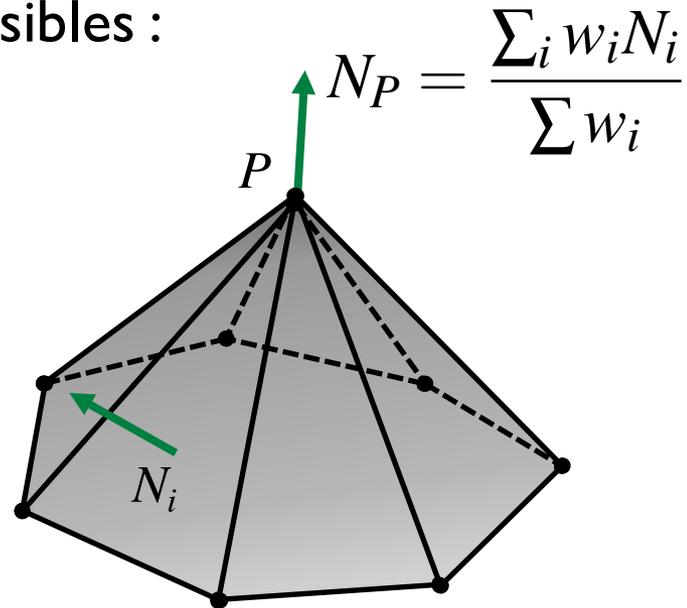
<http://unit20alistair2.blogspot.fr/>



Normales aux sommets

Moyenne (pondérée) des **normales des faces** adjacentes à ce sommet

- Normales unitaires
- Différentes pondérations w_i possibles :
 - Unité
 - Aire de la face
 - Angle entre faces adjacentes



c.f. <http://www.bytehazard.com/articles/vertnorm.html>

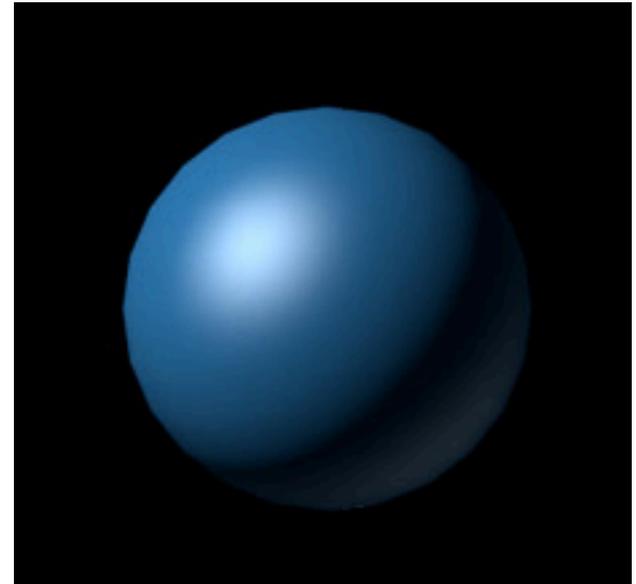
Phong shading

...à ne pas confondre avec la BRDF de Phong !

Interpolation des normales calculées aux sommets de la face

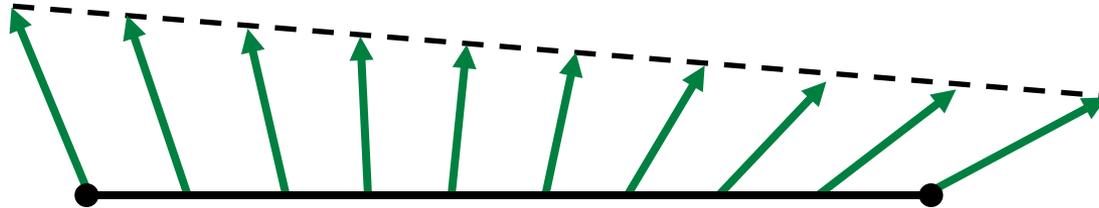
1. Calcul des normales aux sommets
2. Interpolation des normales avec les coordonnées barycentriques
3. Calcul des intensités par fragment

<http://unit20alistair2.blogspot.fr/>

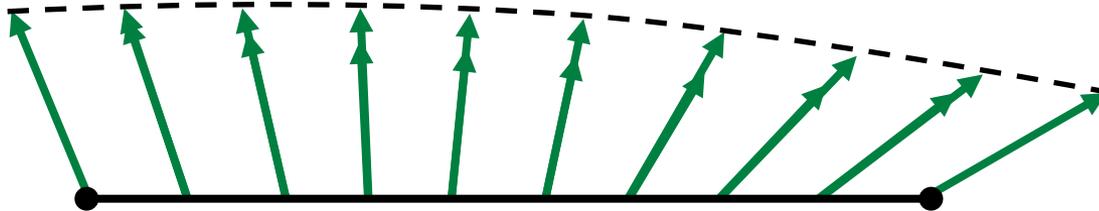


Interpolation des normales

Interpolation naïve



Interpolation avec normalisation



Phong shading

Interpolation des normales calculées aux sommets de la face

1. Calcul des normales aux sommets
2. Interpolation des normales lors de la rasterisation
3. **Normalisation des normales**
4. Calcul des intensités par fragment

<http://unit20alistair2.blogspot.fr/>

