

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**

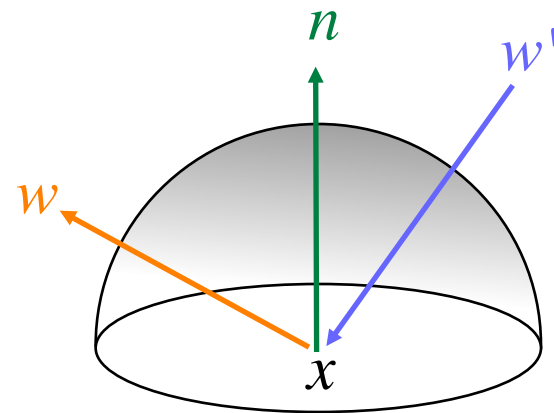
Dépend de :

- **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

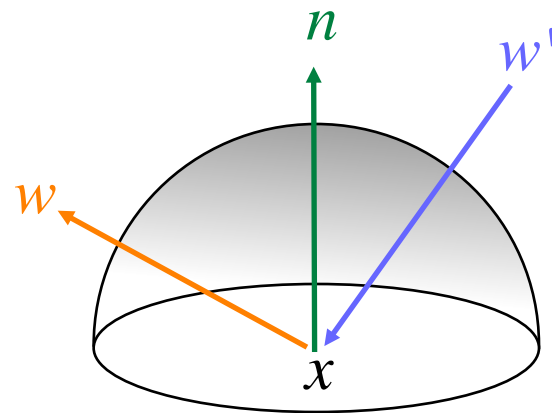


Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

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

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



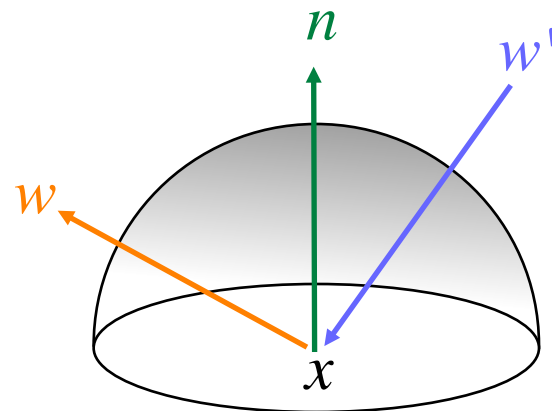
Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

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

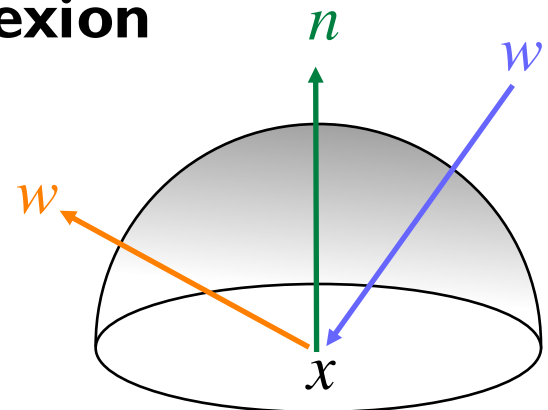
$$L(x, \omega) = L_e(x, \omega) + \int_{\Omega_n} L(x, \omega') \langle n \cdot -\omega' \rangle \rho(x, -\omega', \omega) d\omega'$$

$L(x, \omega)$ lumière émise par le point x dans la direction ω

$L_e(x, \omega)$ lumière propre émise par l'objet (si source)

$L(x, \omega')$ lumière arrivant au point x depuis la direction ω'

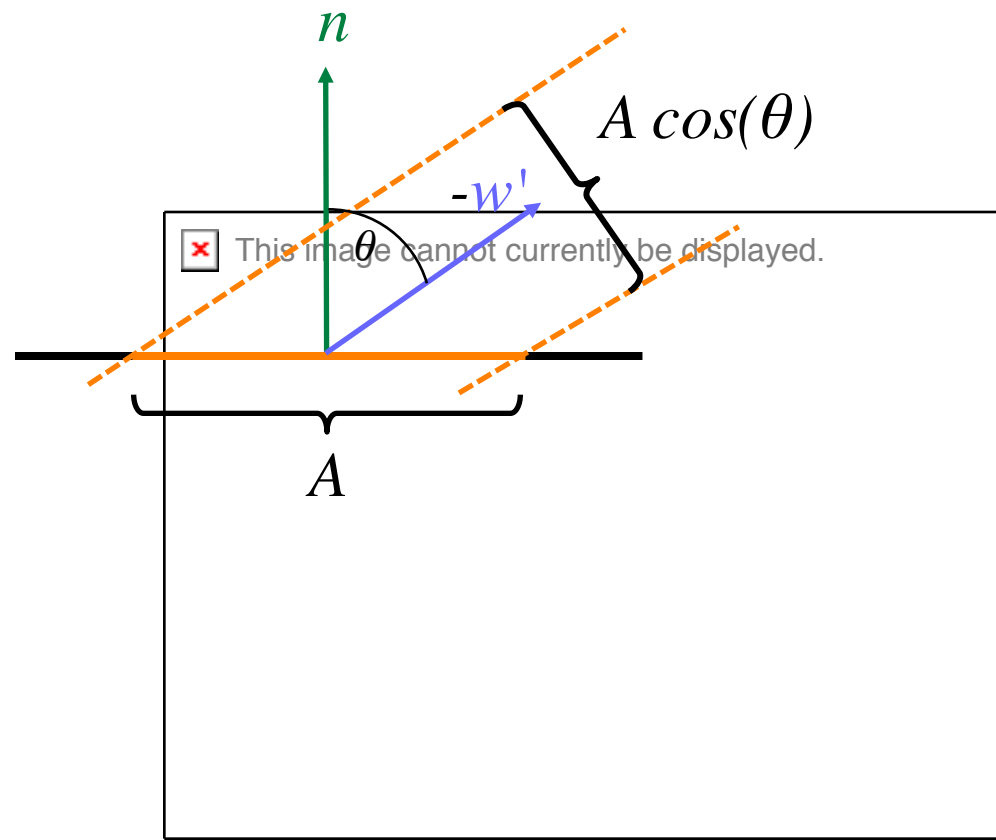
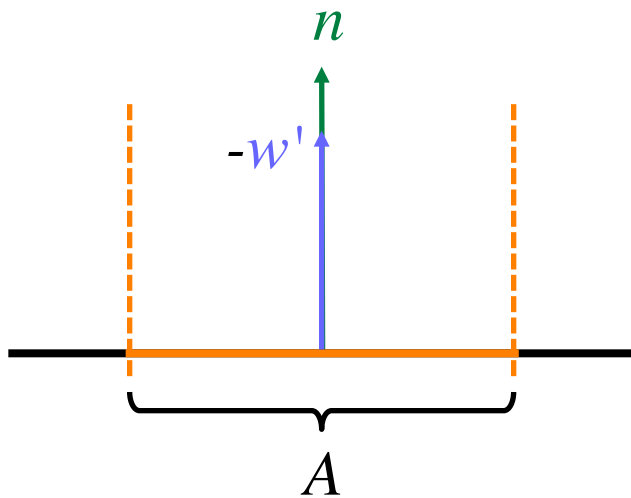
$\langle n \cdot -\omega' \rangle$
 $\rho(x, -\omega', \omega)$ } propriétés de réflexion
de la surface



Cos-term

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

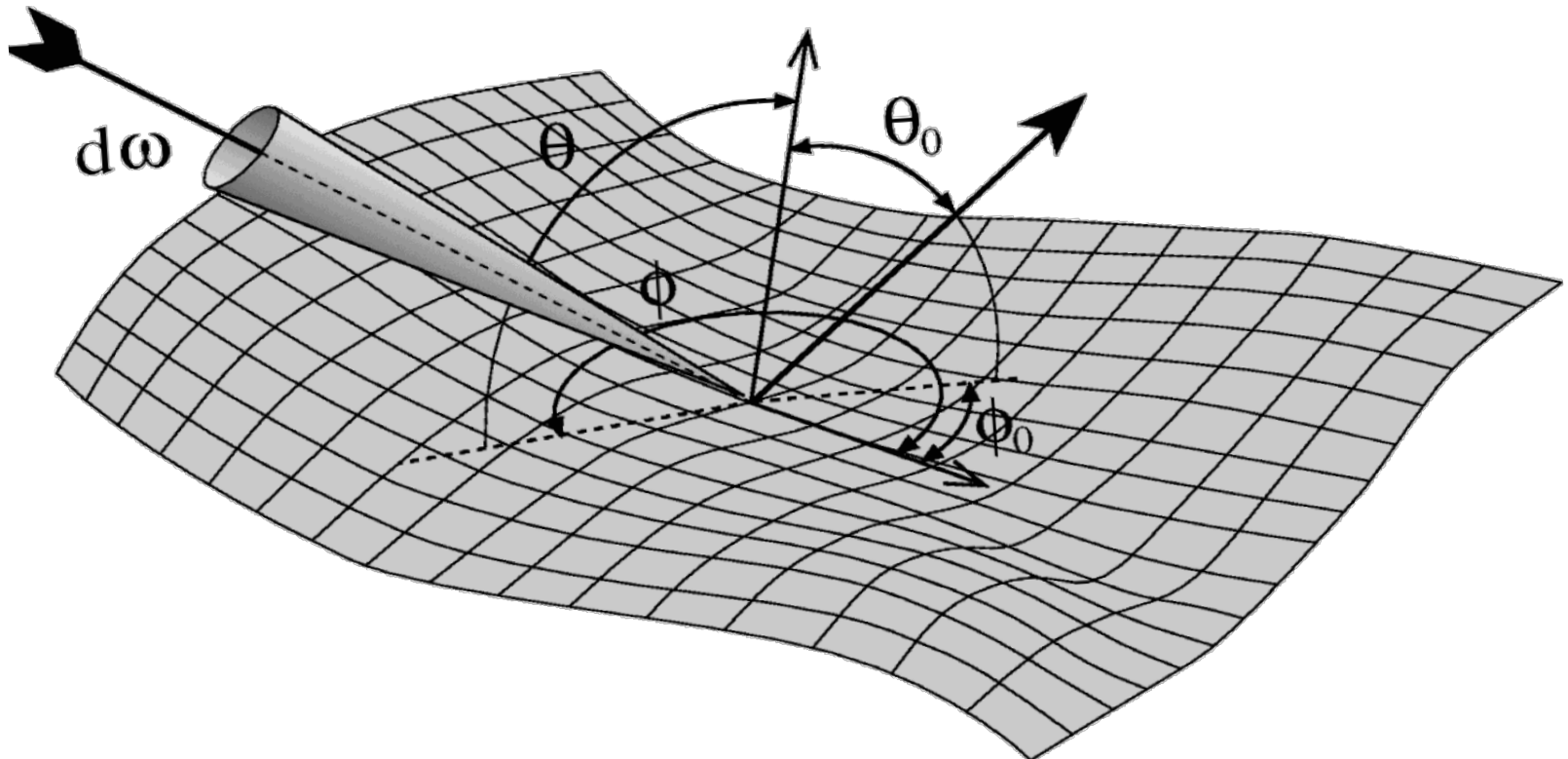
Prise en compte de **l'inclinaison de la surface** par rapport à la source



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]

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

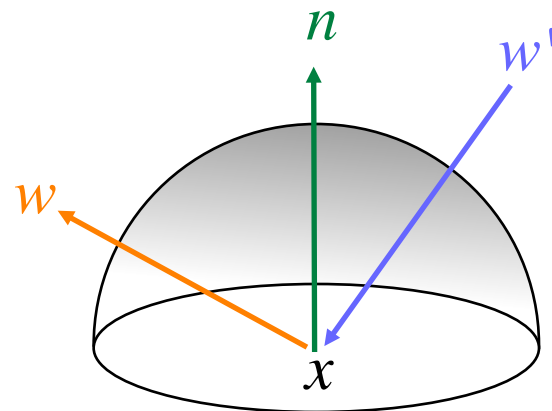
$L(x, \mathbf{w})$ lumière émise par le point x dans la direction \mathbf{w}

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



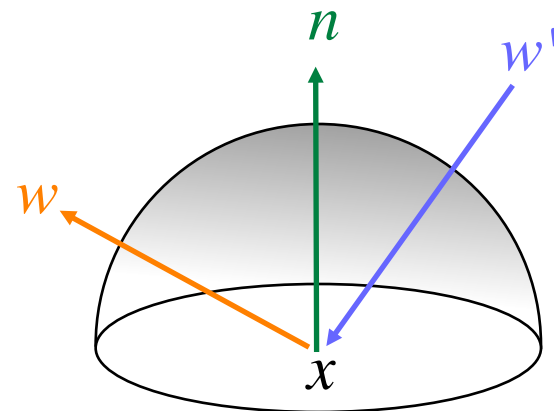
Équation du rendu [Kajiya 1986]

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

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

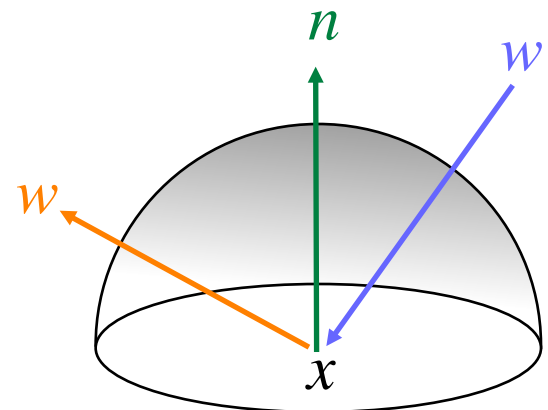
$$L(x, \mathbf{w}) = \sum_l V_l(x) \langle \mathbf{n} \cdot -\mathbf{w}' \rangle \rho(-\mathbf{w}', \mathbf{w})$$

Équation **récurive**

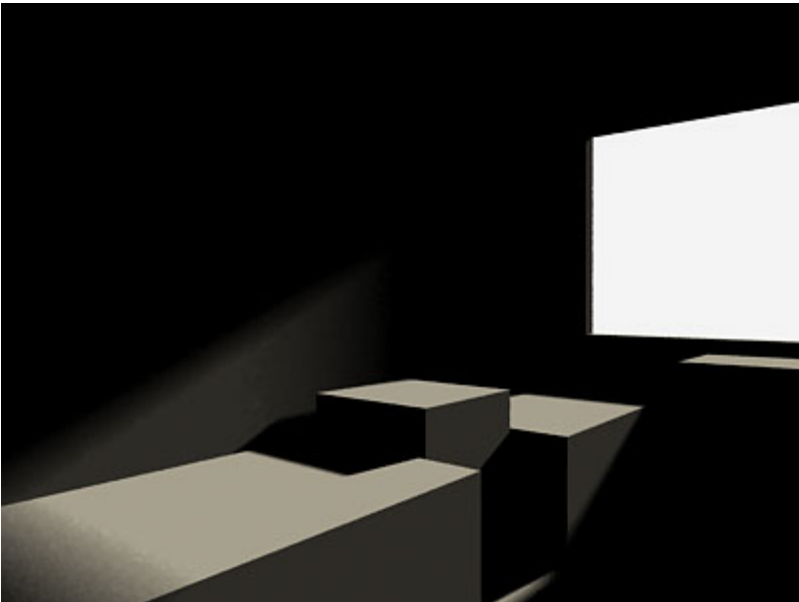
- trop coûteuse à évaluer en temps réel
- cf. UE « Synthèse d'Images Avancée » l'an prochain

⇒ **approximation : éclairage local**

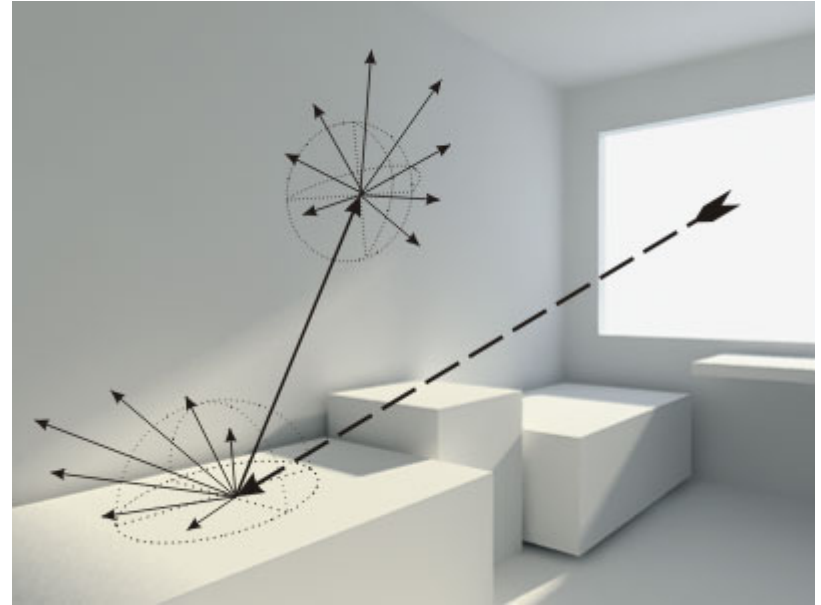
- pas d'émission des surfaces
- ensemble fini de sources discrètes V_l



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

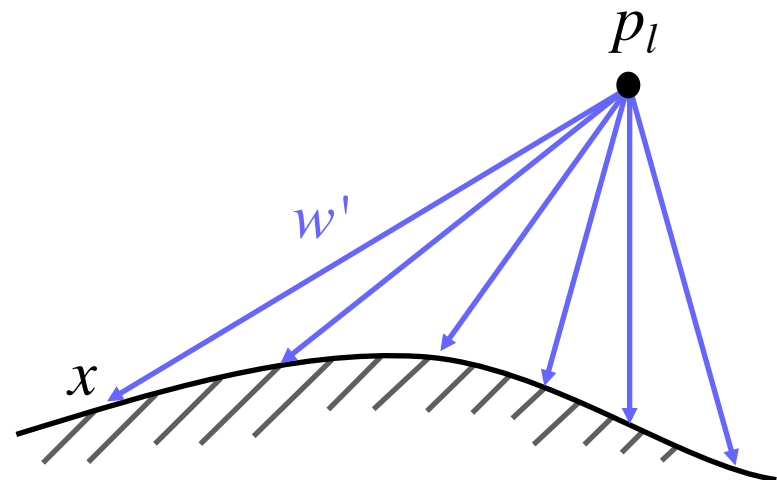
- Couleur

- Atténuation

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

Sources standards

- Ampoule...



Spots

Paramètres

- Position

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

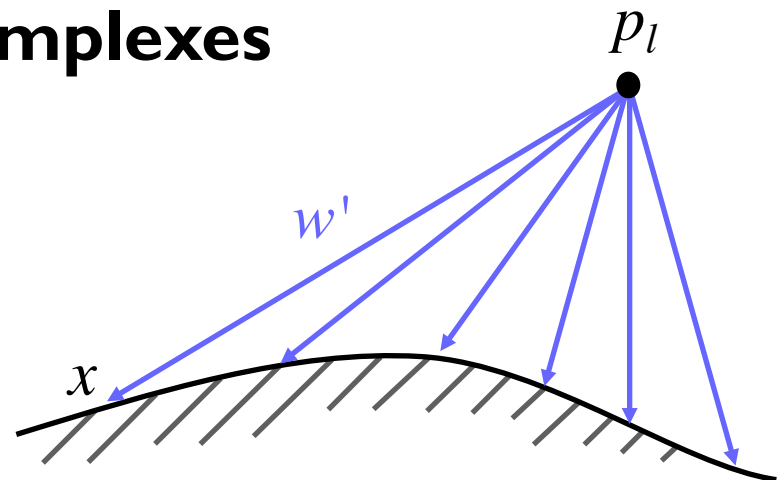
- Couleur

- 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...



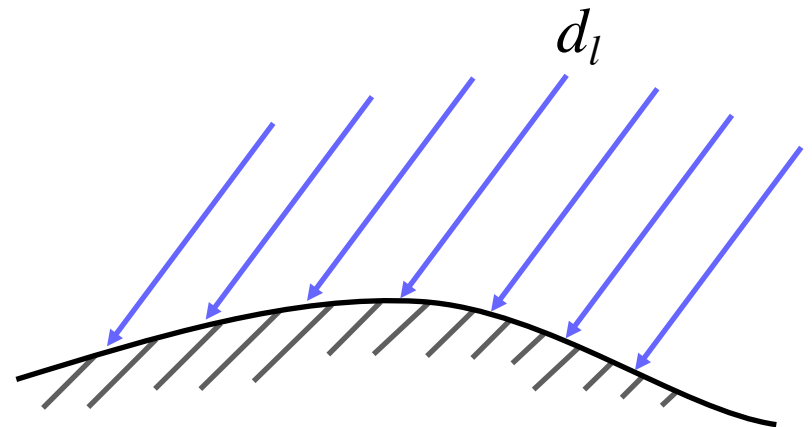
Sources unidirectionnelles

Paramètres

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

Source ponctuelle à l'infini

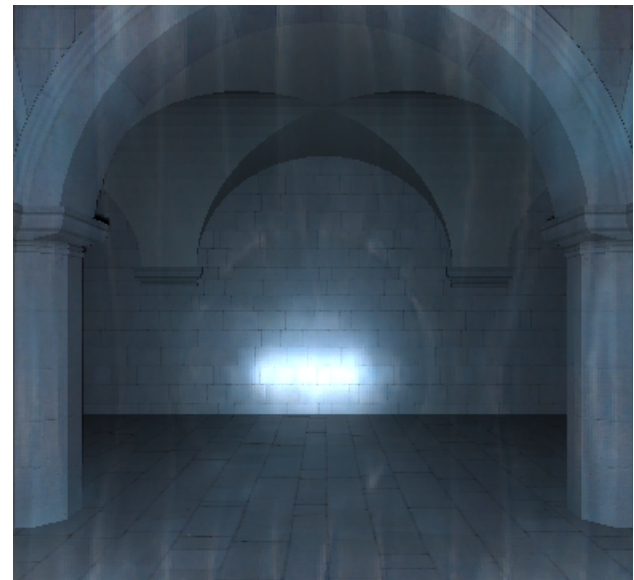
- Soleil



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

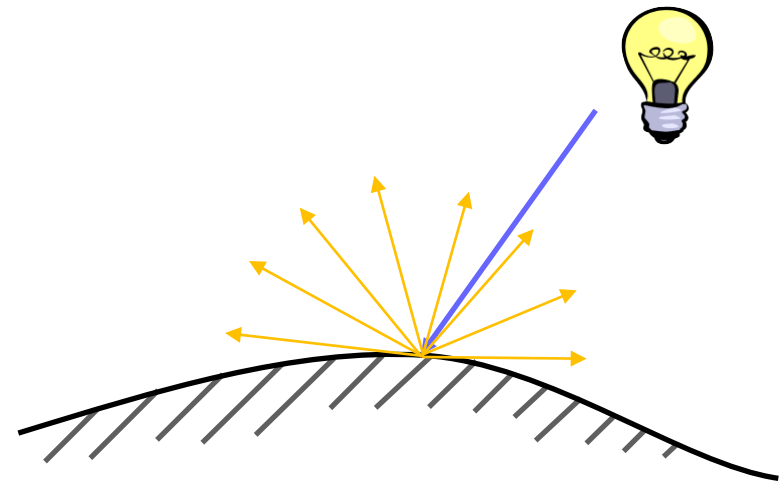
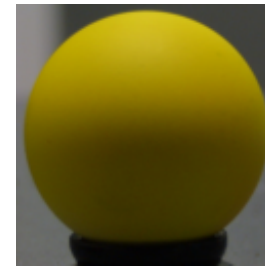
Indépendante du point de vue

Surfaces **lambertiennes**

⇒ mattes : craie, papier

BRDF uniforme

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



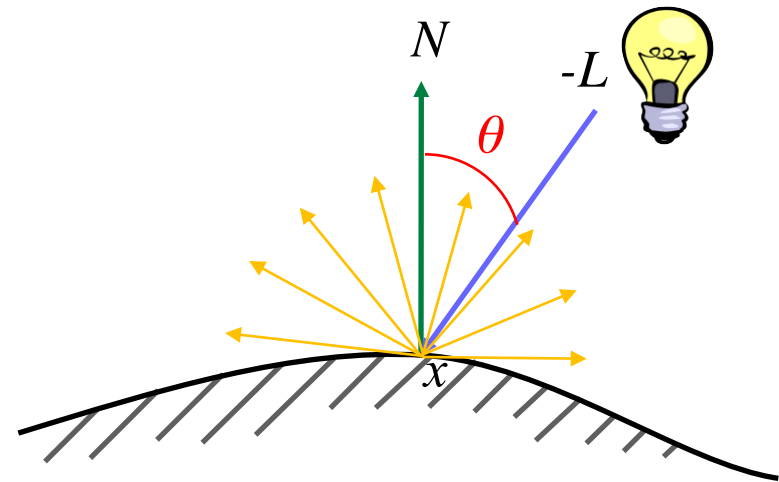
Réflexion diffuse idéale

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

I : intensité de la source lumineuse ponctuelle

ρ_d : coefficient de réflexion diffuse de la surface

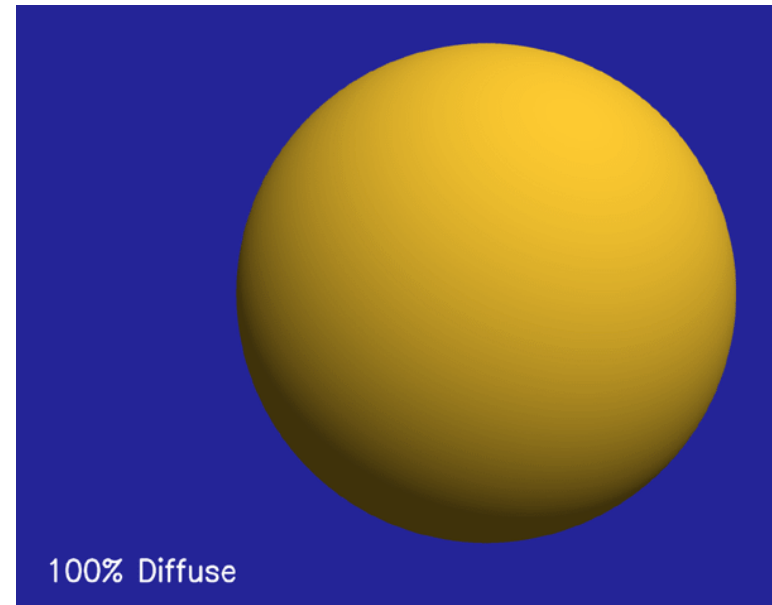
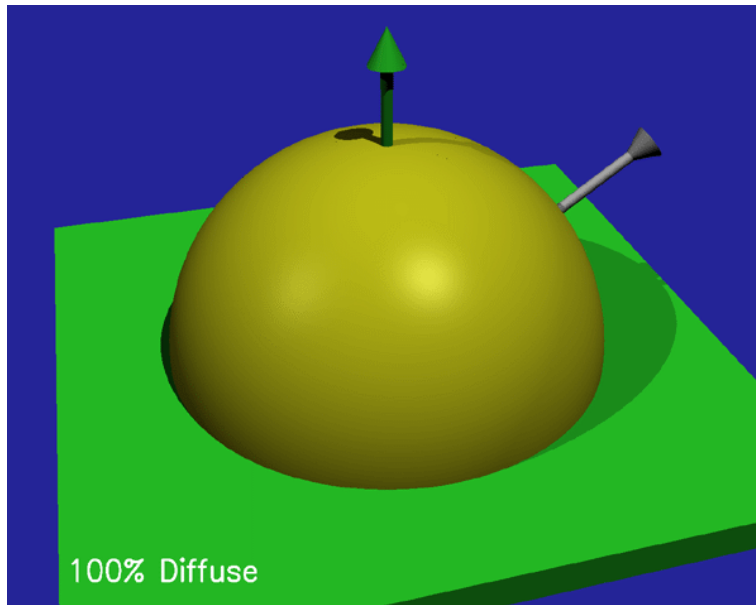
$$(0 \leq \rho_d \leq 1)$$



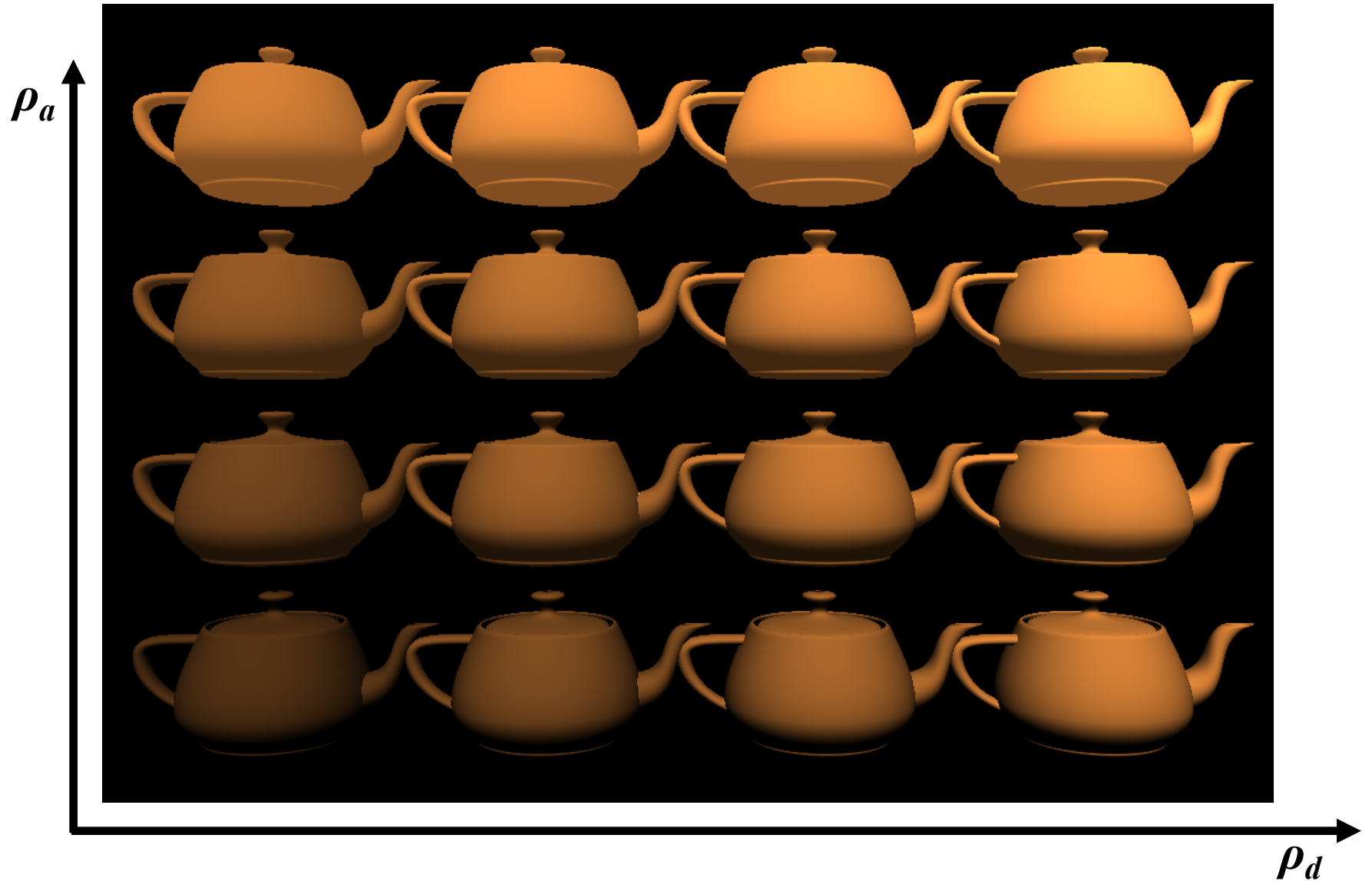
Réflexion diffuse idéale



en augmentant ρ_d ($\rho_a = 0$)



Diffuse + ambiente



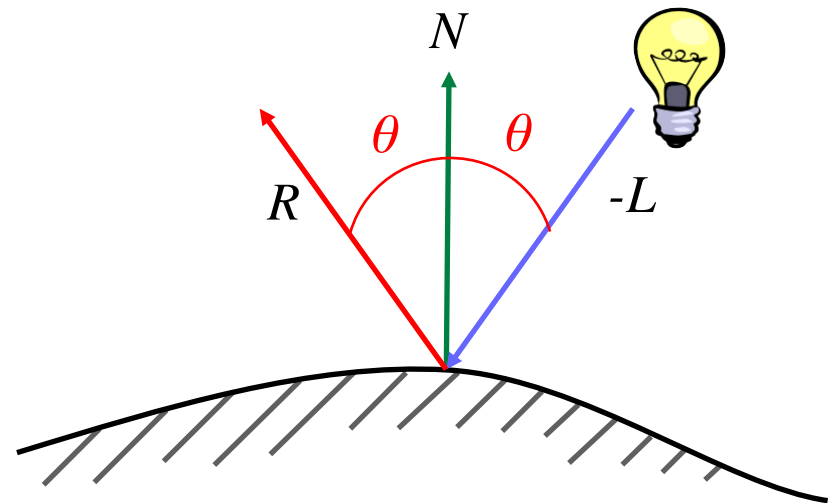
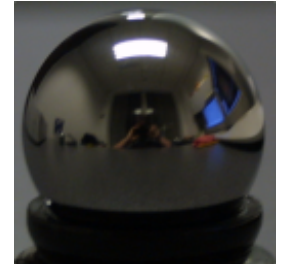
Réflexion spéculaire idéale

Dépendante du point de vue

Surfaces brillantes (miroir)

⇒ Loi de Snell-Descartes

BRDF : distribution de Dirac

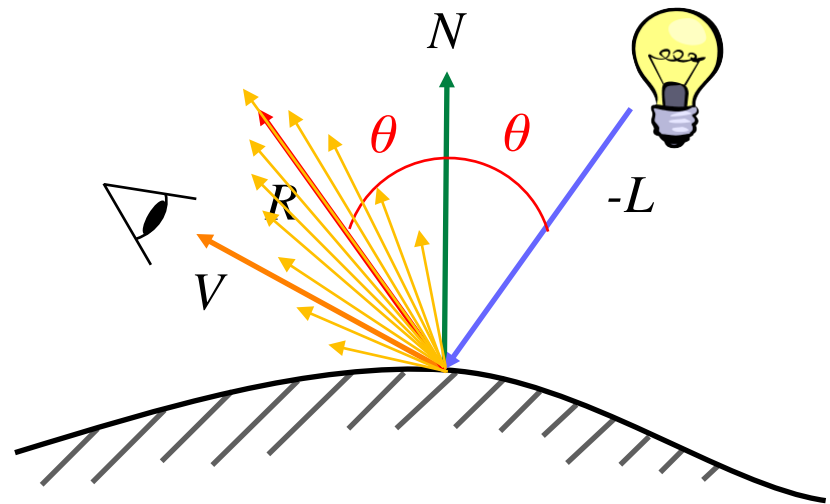


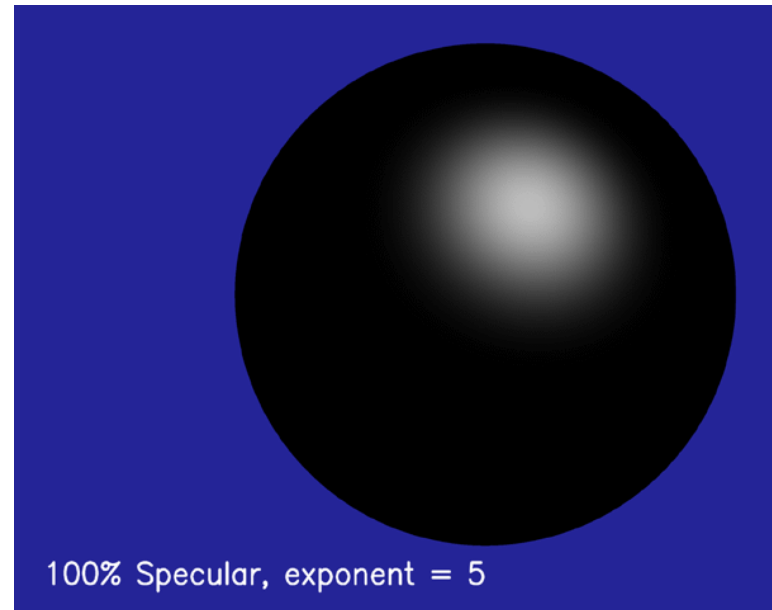
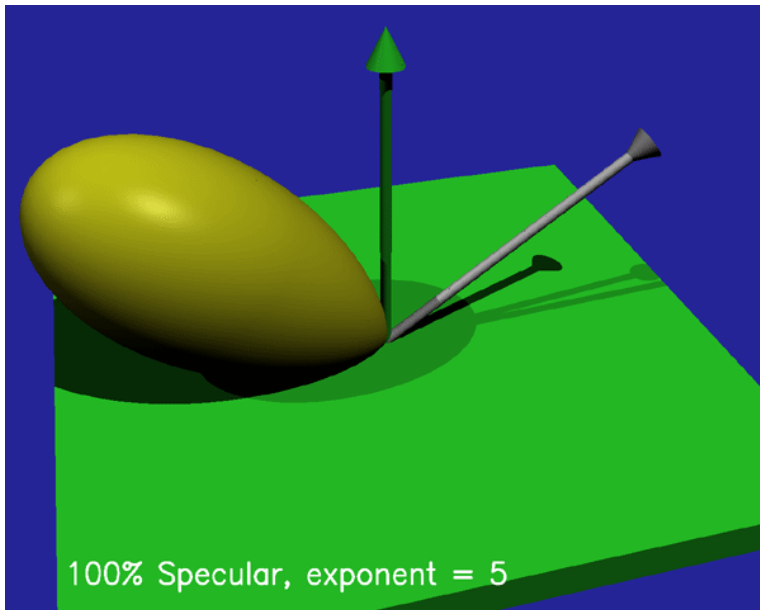
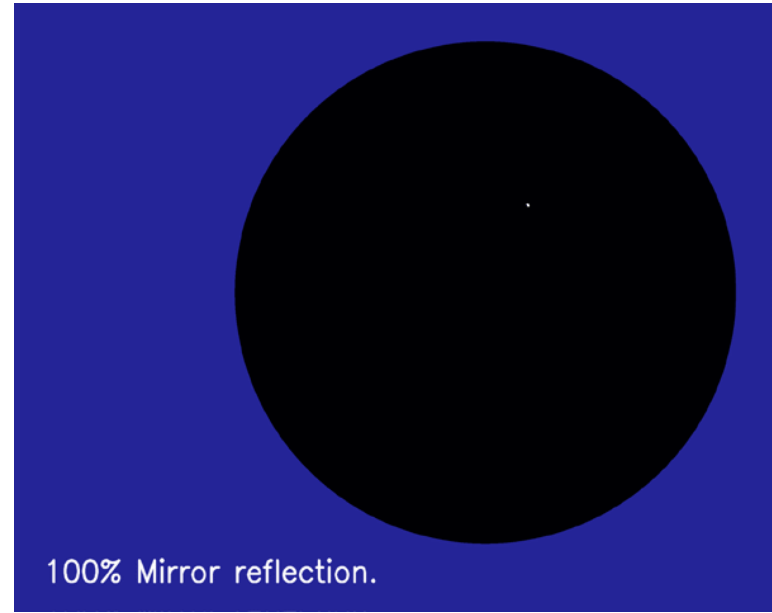
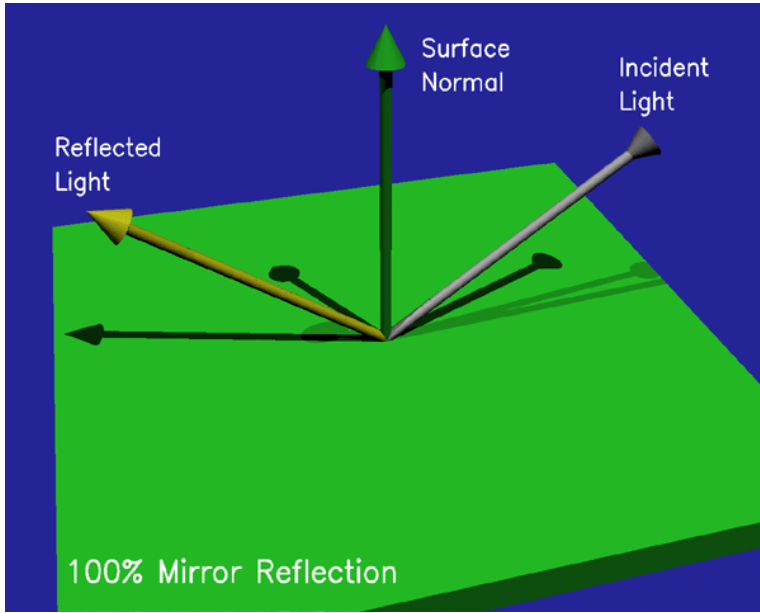
Réflecteurs non-idéaux (glossy)



On suppose que la surface n'est pas parfaitement spéculaire

⇒ **Modèle de Phong**



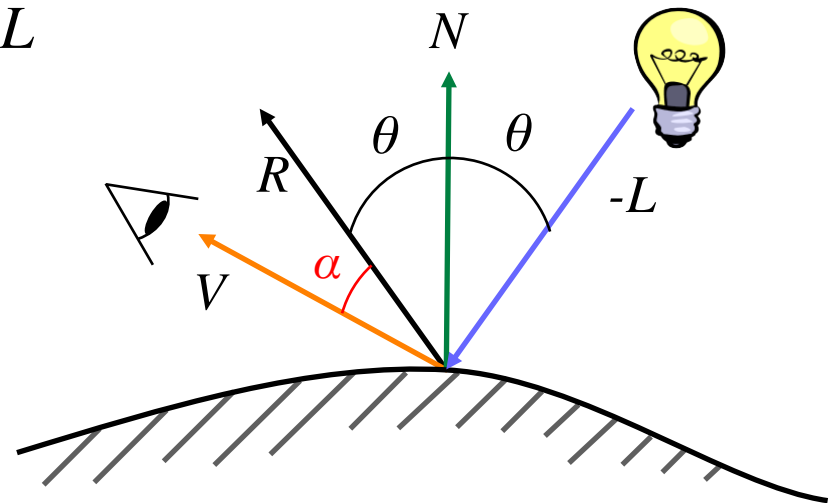


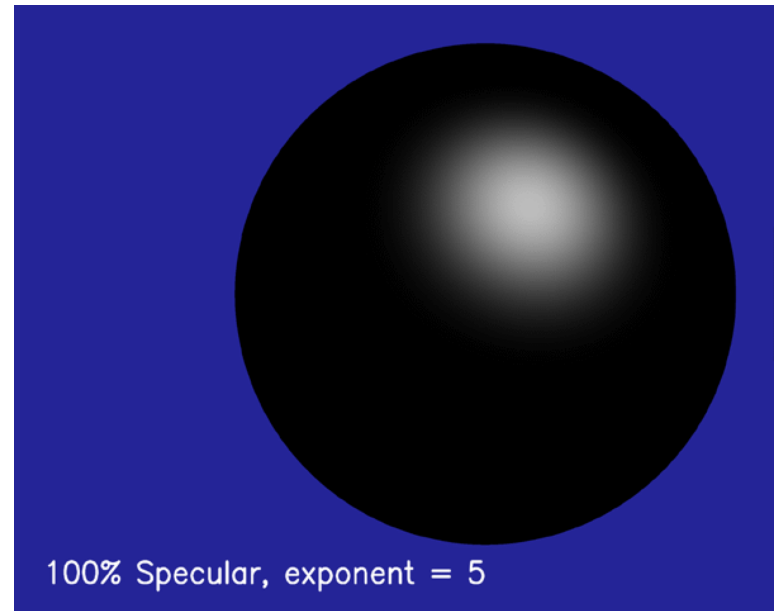
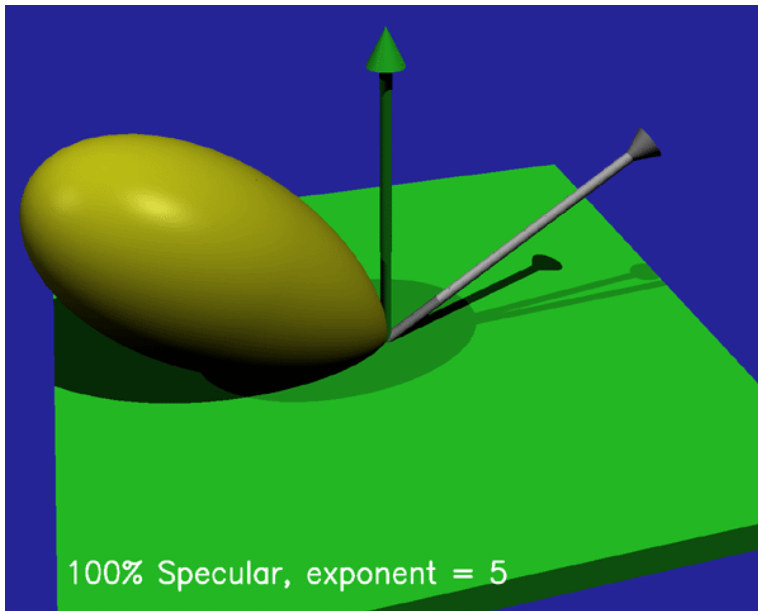
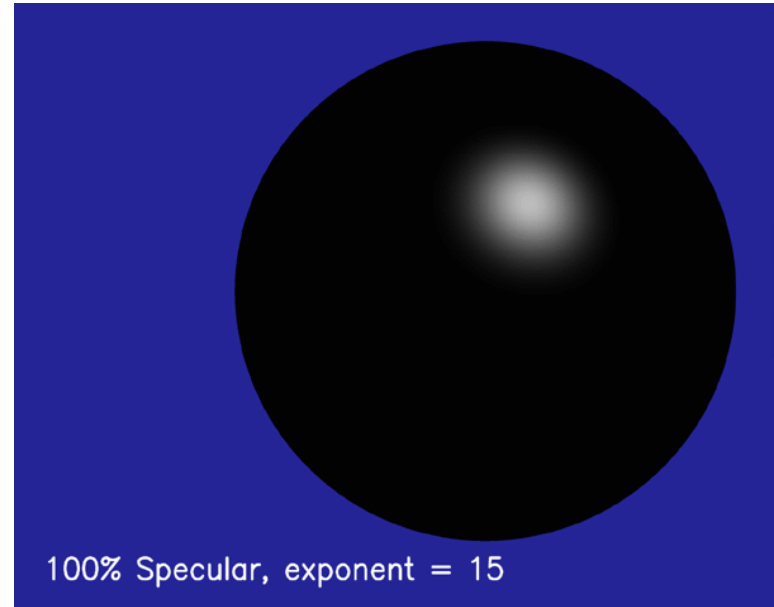
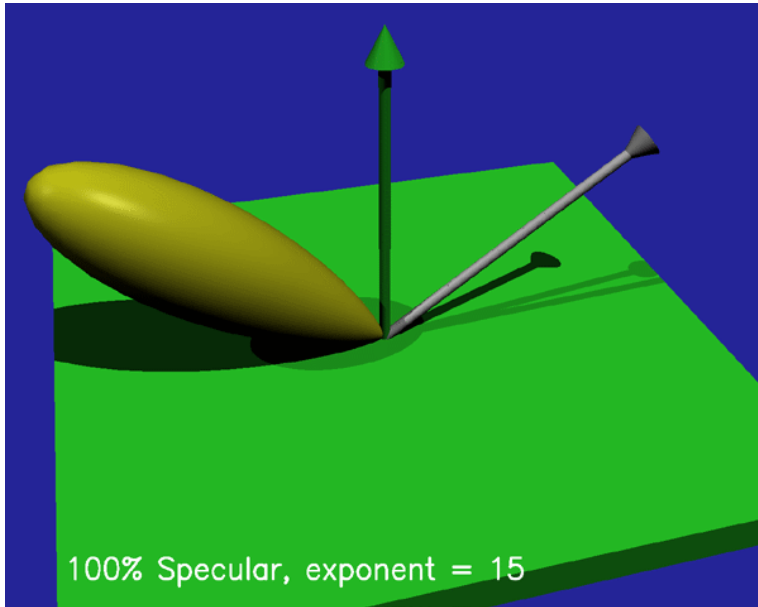
Modèle de Phong [1975]

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

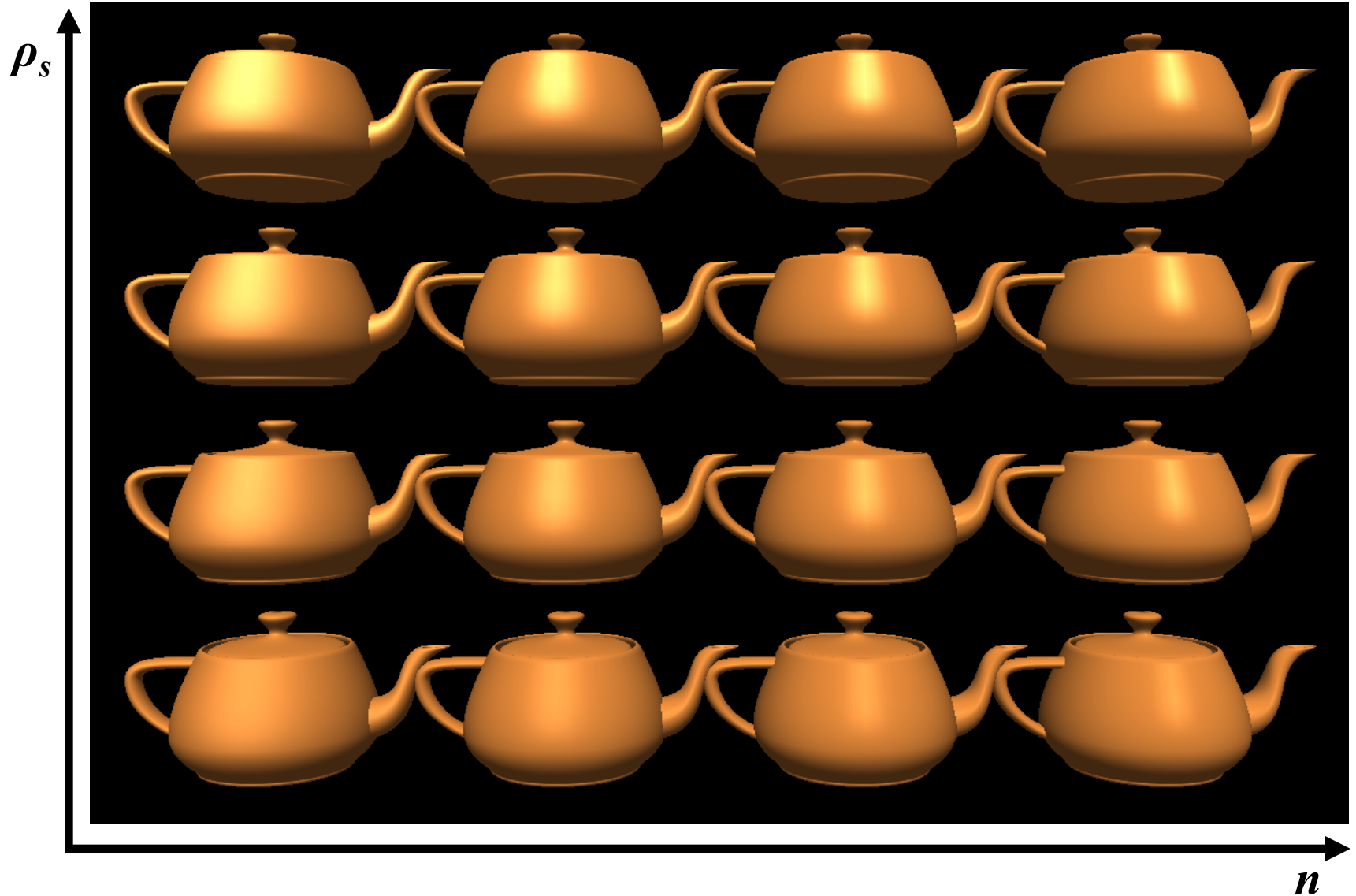
$$I(x) = \rho_s L \cos^n \alpha$$

- 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 :

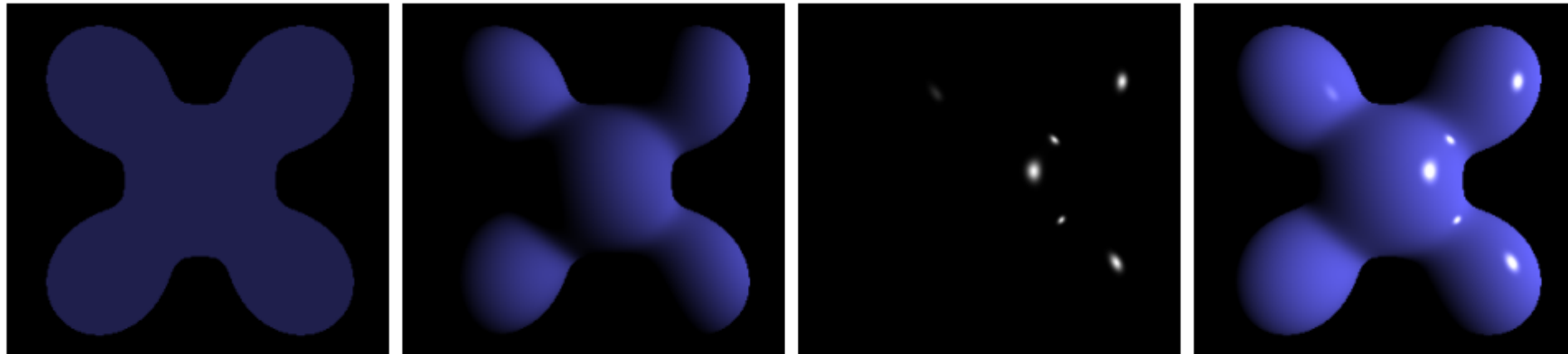
Pondération par un coefficient d'atténuation F_d

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

Modèle coloré :

une intensité par composante de couleur

Images : Wikipedia



Ambiant

+

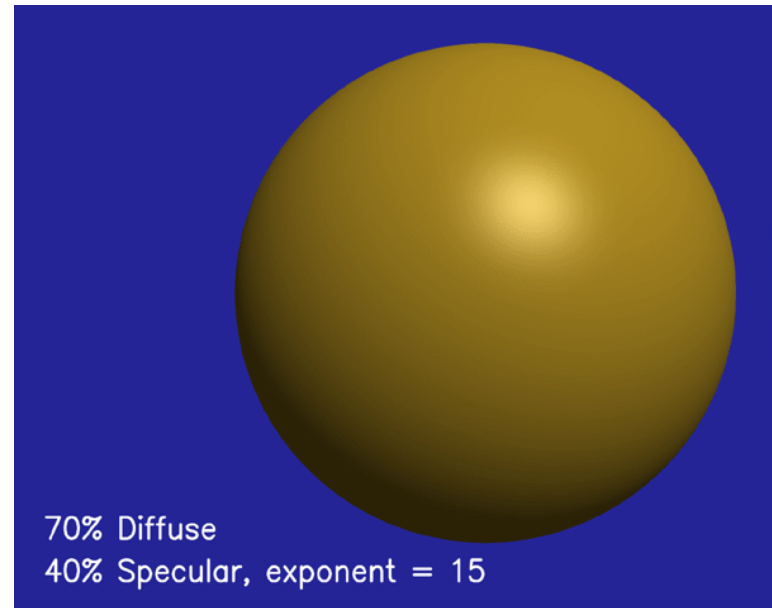
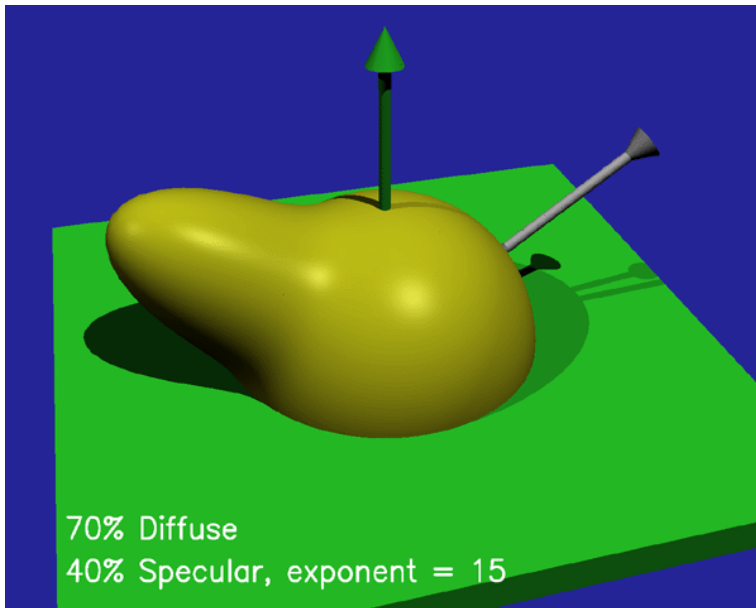
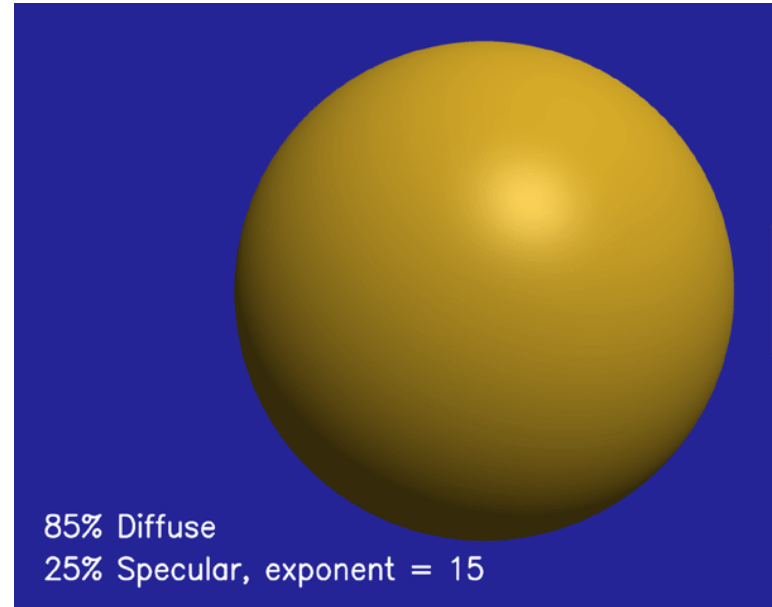
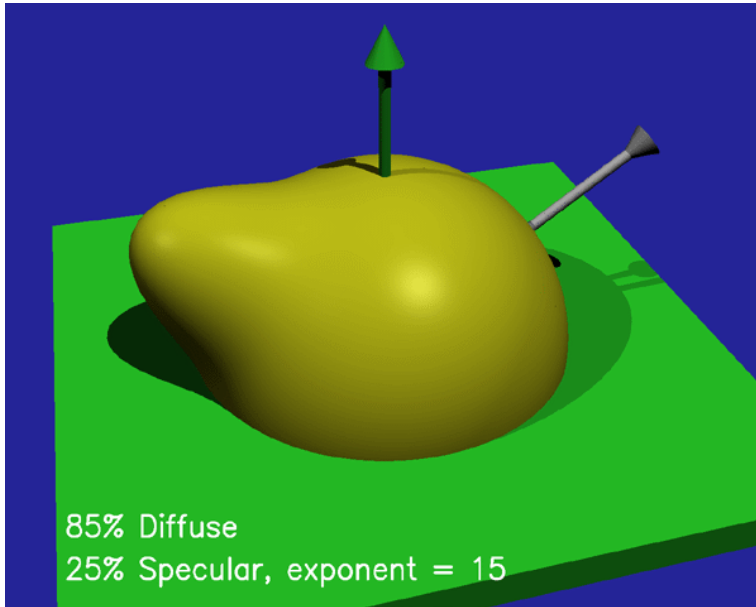
Diffus

+

Spéculaire

=

Phong



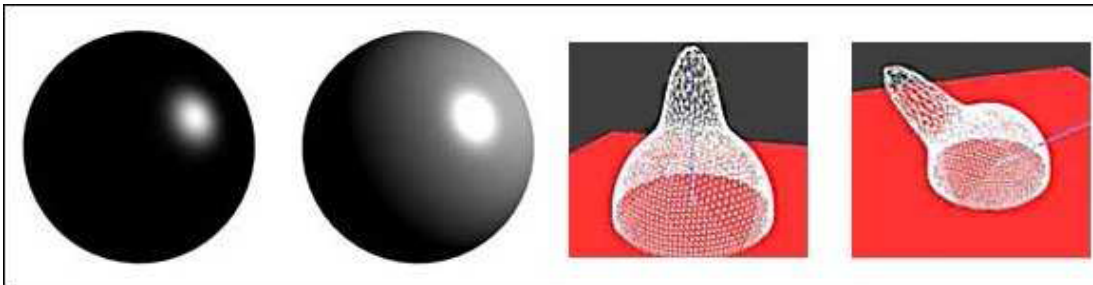
Variation de Blinn-Phong

Simplification utilisant le *halfway vecteur*

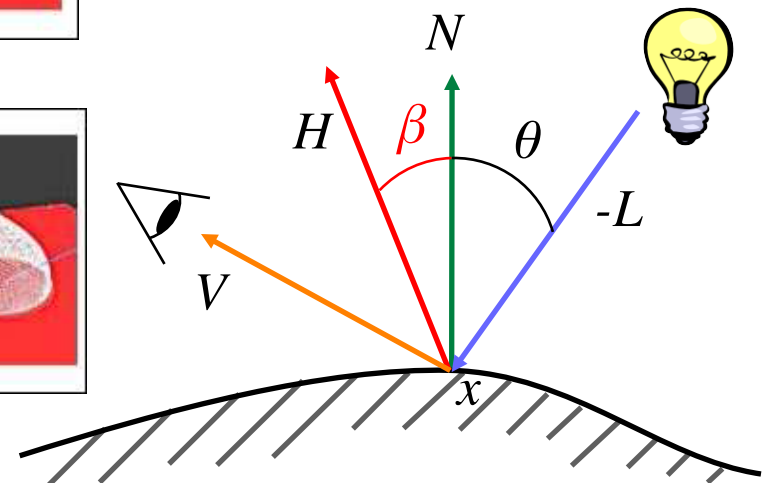
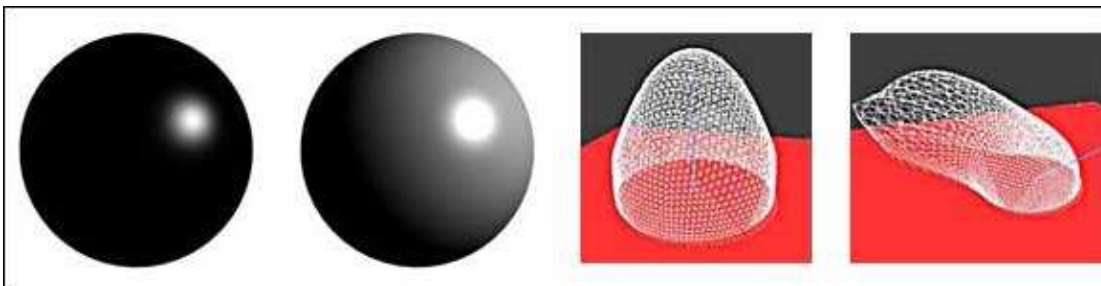
$$H = (L + V) / \|L + V\|$$

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

Modèle de Phong



Modèle de Blinn-Phong



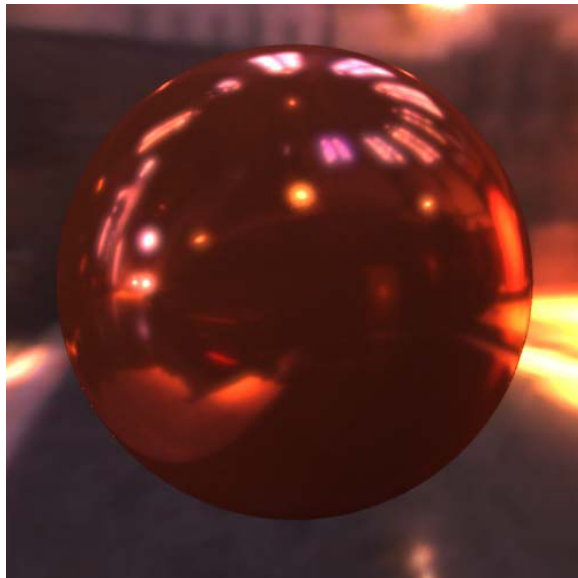
Pour aller plus loin

Matériaux **anisotropes**

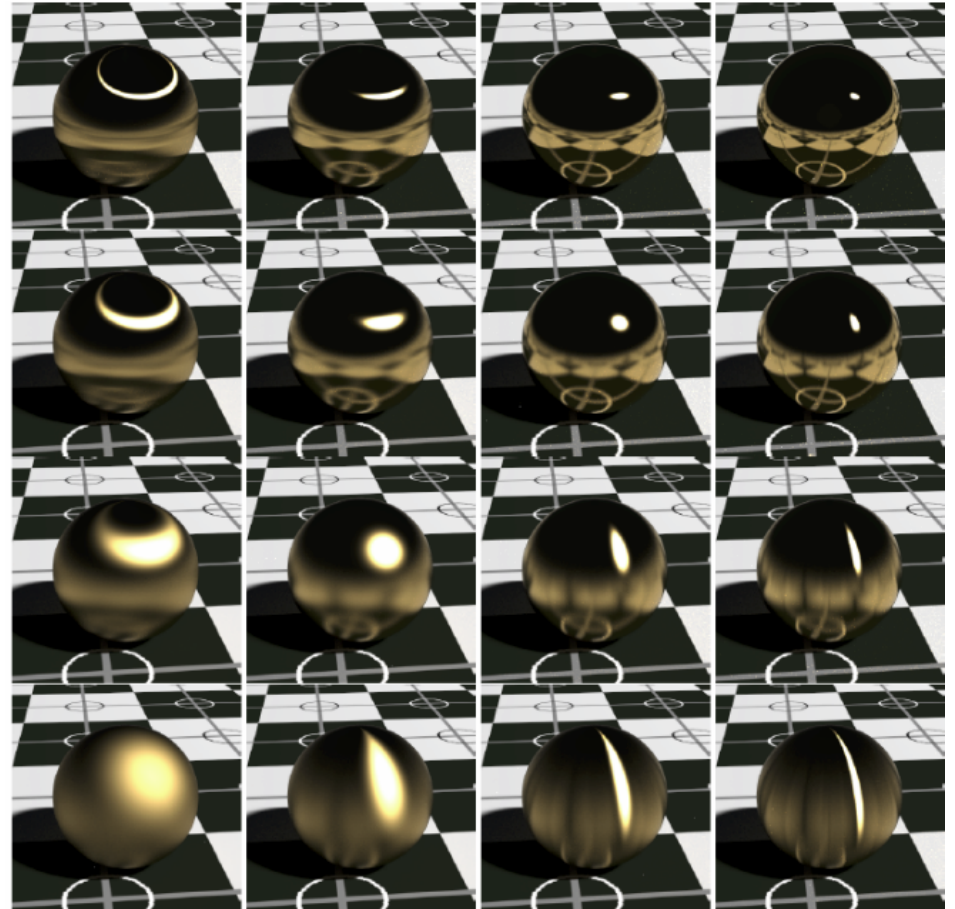
Modèles « **physiques** »
(micro-facettes)

Matériaux **mesurés**

⇒ cf. UE SIA l'an prochain



Modèle de Cook-Torrance

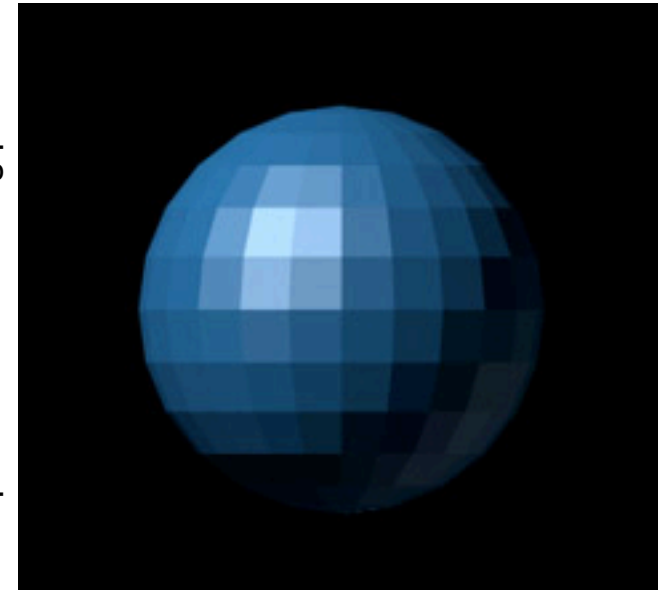
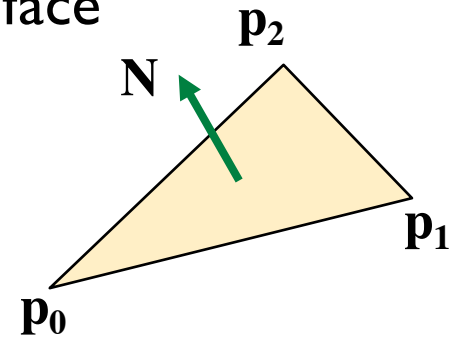


Modèle de Ward

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 $N =$

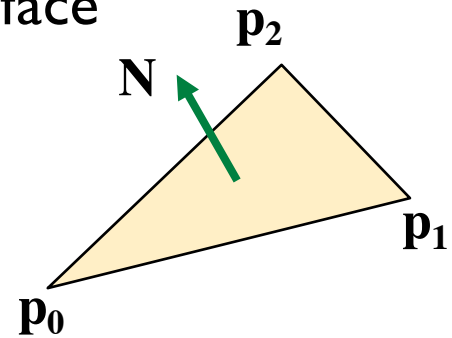


<http://unit20alistair2.blogspot.fr/>

Flat shading

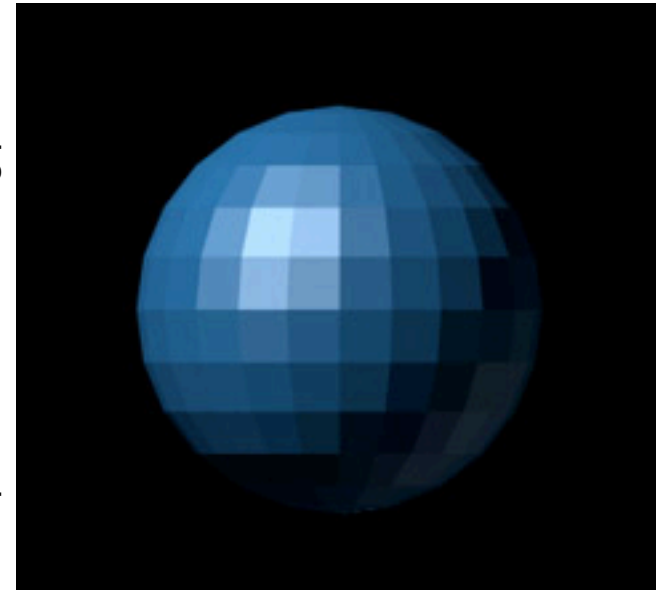
Calcul des valeurs d'intensité **par face**

- 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



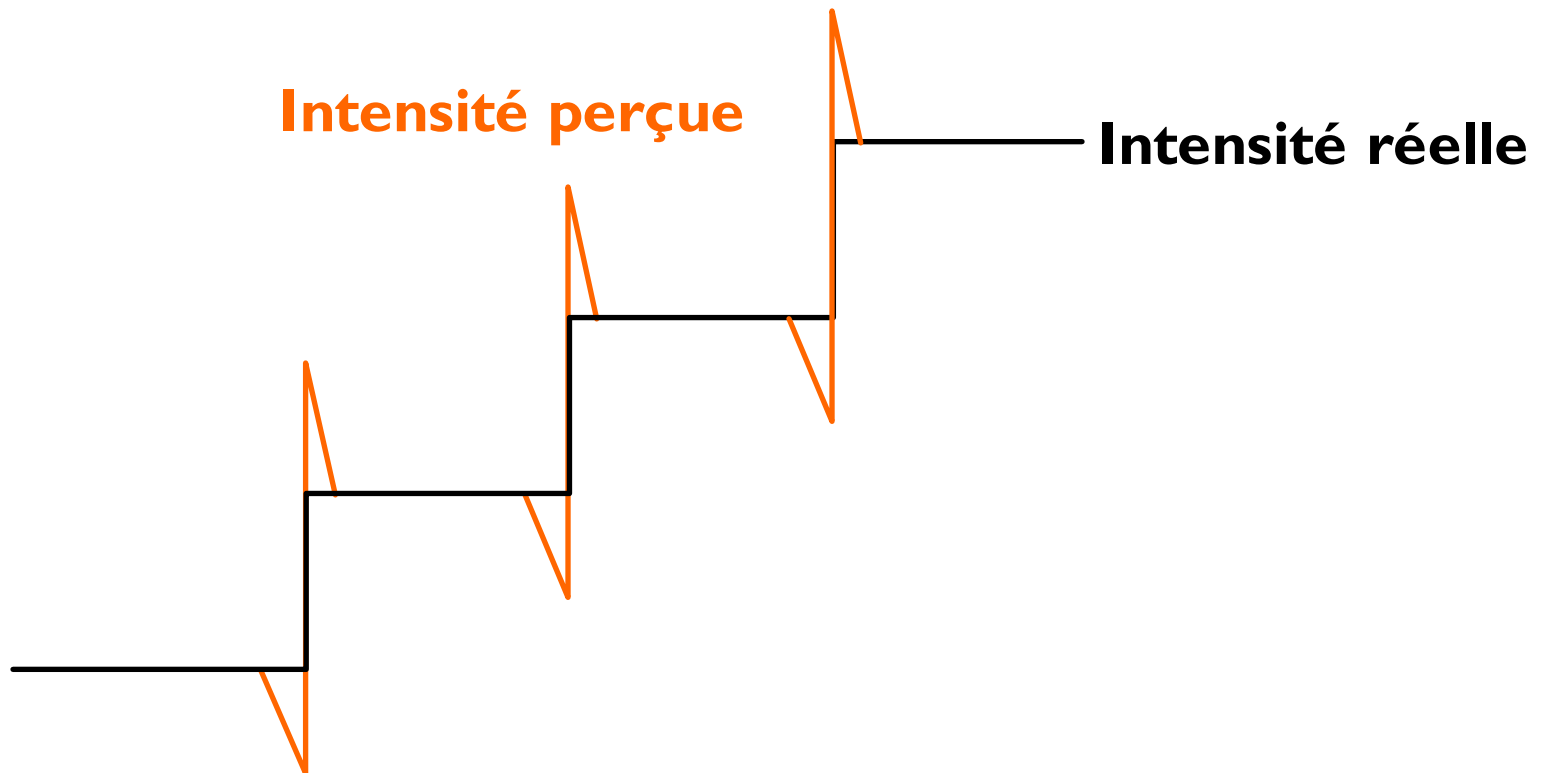
<http://unit20al stair2.blogspot.fr/>

Flat shading

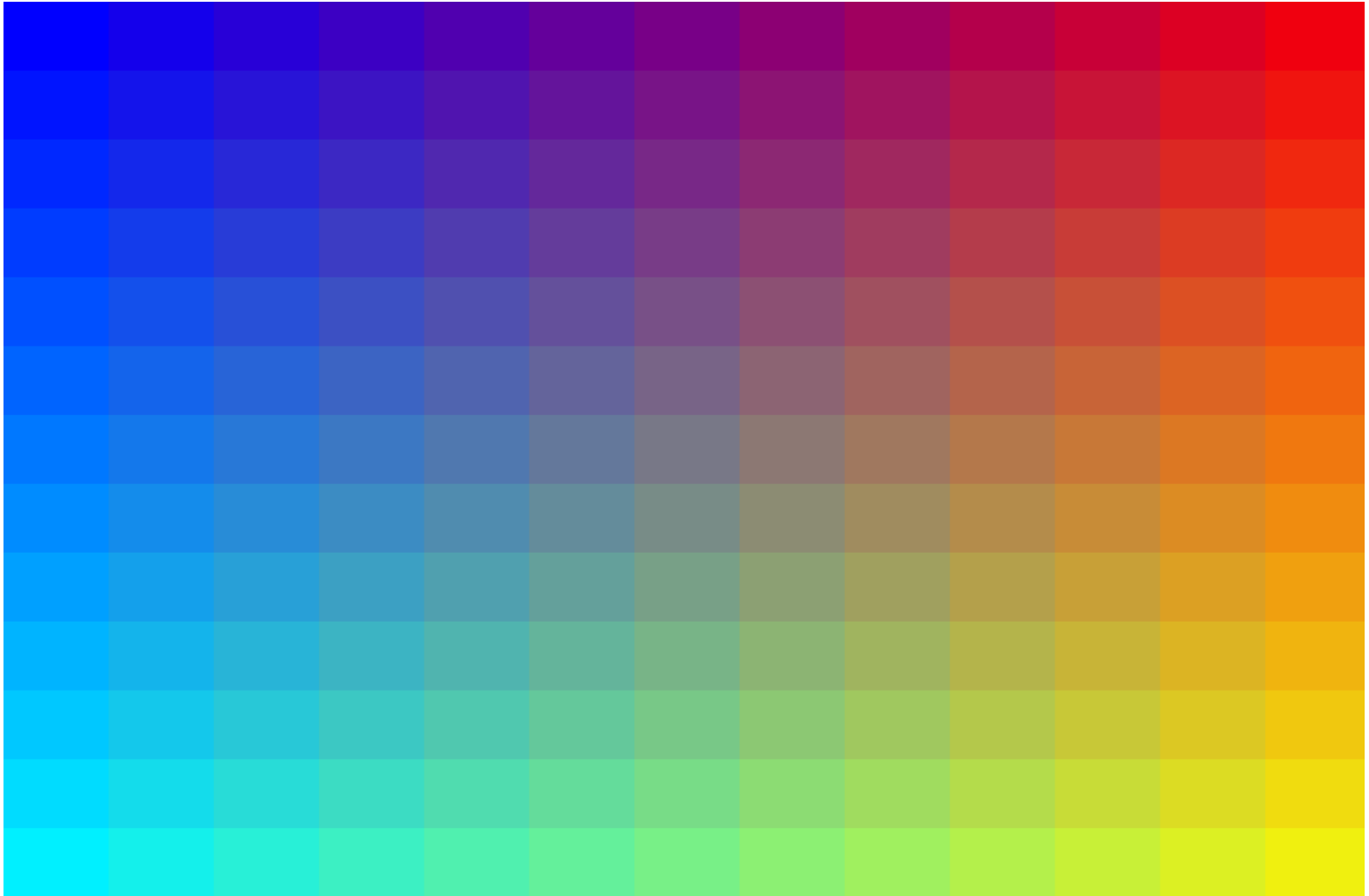
Problème : discontinuités entre les faces

L'œil les perçoit très bien

⇒ effet de « **Mach Banding** »



Mach Banding

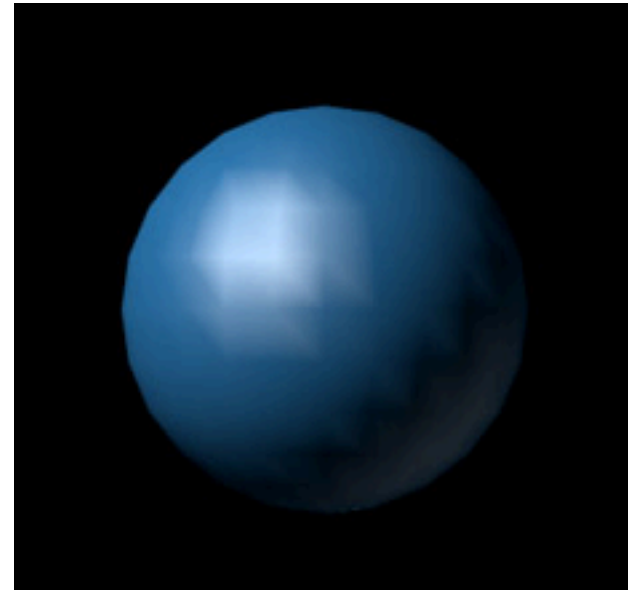


Gouraud shading

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

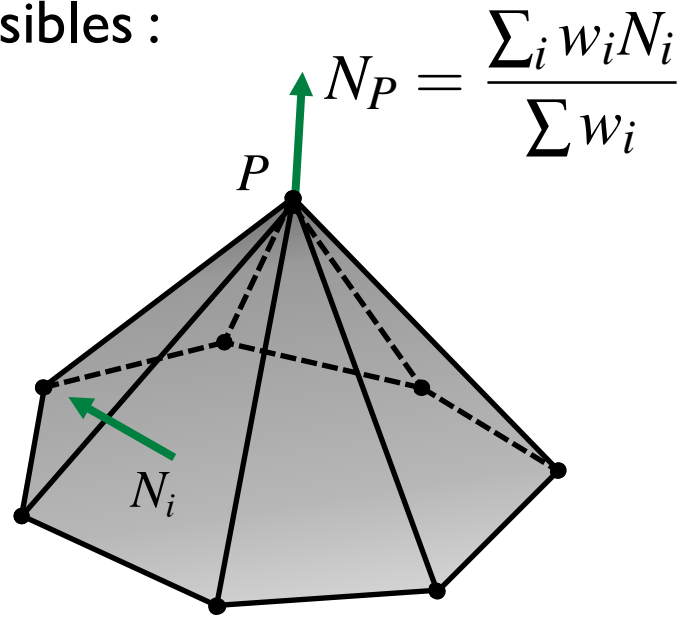
<http://unit20alistair2.blogspot.fr/>



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>

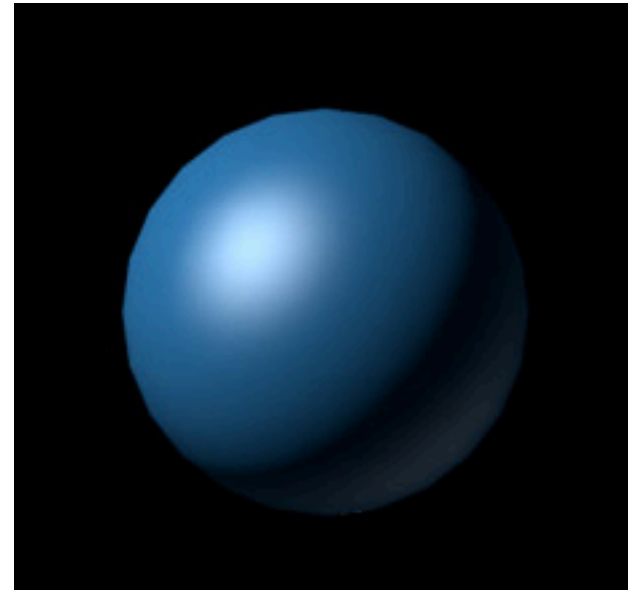
Phong shading

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

Interpolation des normales calculées aux sommets de la face

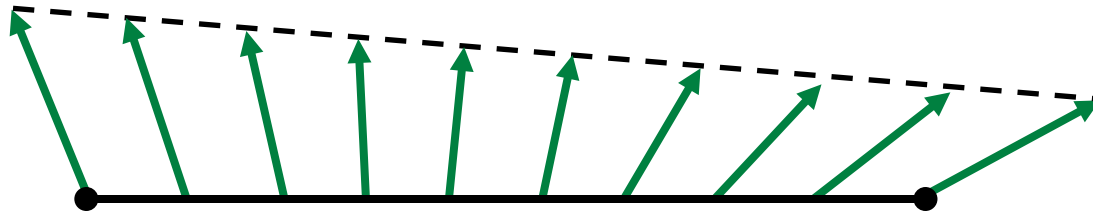
1. Calcul des normales aux sommets
2. Interpolation des normales avec les coordonnées barycentriques
3. Calcul des intensités par fragment

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

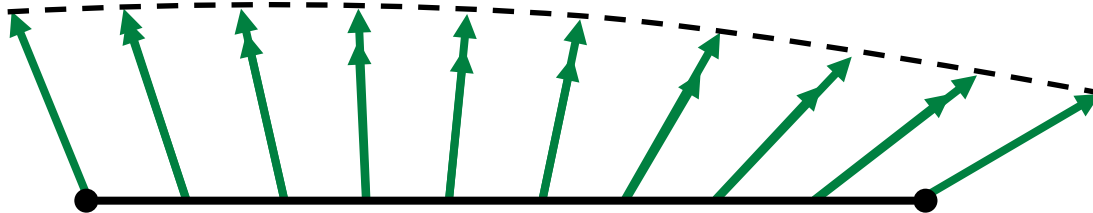


Interpolation des normales

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/>

