



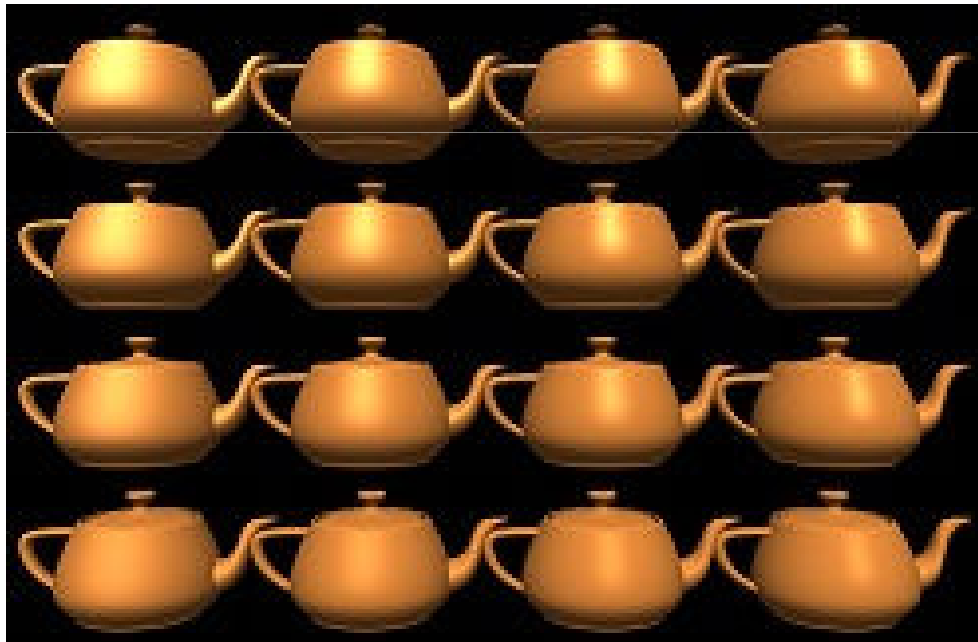
Chapitre 4



illumination et réflexion

Illumination et ombrage?

- ▶ Comment calculer la couleur exacte de chaque pixel à afficher?



Modeling
Transformations

**Illumination
(Shading)**

Viewing Transformation
(Perspective / Orthographic)

Clipping

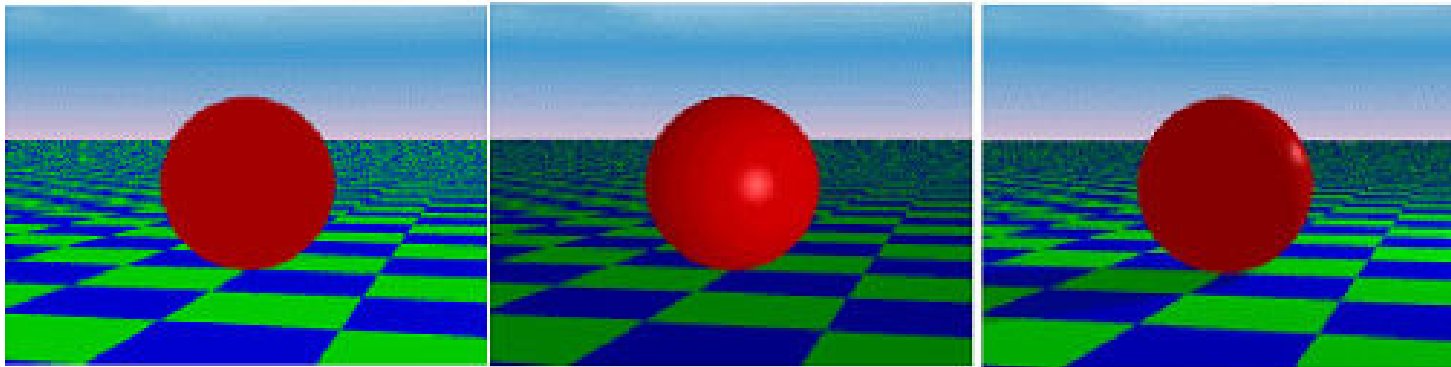
Projection
(to Screen Space)

Scan Conversion
(Rasterization)

Visibility / Display

Illumination

- ▶ L'intensité et la couleur d'une surface dépend :
 - ▶ des sources de lumière,
 - ▶ de l'orientation vis-à-vis de ces sources,
 - ▶ de la position de l'observateur
 - ▶ du type de surface



Ambient

Directionnel

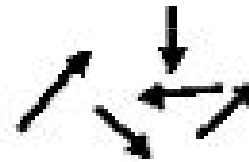
Source ponctuelle



Lumière ambiante

- ▶ La lumière ambiante, c'est une lumière qui éclaire toute la scène uniformément et qui est uniquement caractérisée par son intensité

$$\mathbf{I}_a = \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{ag} \\ I_{ab} \end{bmatrix}$$



Lumière provenant de toutes les directions

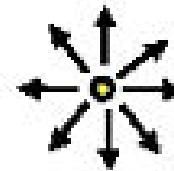


Sources ponctuelles

- ▶ Les sources ponctuelles, ce sont des sources de lumière, supposées placées en un point précis et qui rayonnent la lumière radialement. Elles sont caractérisées par leur intensité et leur position.

$$\mathbf{I}(\mathbf{p}_0) = \begin{bmatrix} I_r(\mathbf{p}_0) \\ I_g(\mathbf{p}_0) \\ I_b(\mathbf{p}_0) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}(\mathbf{p}, \mathbf{p}_0) = \frac{1}{|\mathbf{p} - \mathbf{p}_0|^2} \mathbf{I}(\mathbf{p}_0)$$



*Lumière provenant
d'un point précis*



Sources directionnelles

- ▶ Les sources directionnelles, ce sont des sources de lumière, supposées à l'infini et qui éclairent la scène avec des rayons parallèles à une direction donnée
 - ▶ elles sont caractérisées par leur *intensité* et leur *direction*
 - ▶ calcul comme les sources ponctuelles, mais que pour les objets dans la direction de la source
 - ▶ source à l'infini : position spécifiée par une coordonnée homogène égale à zéro

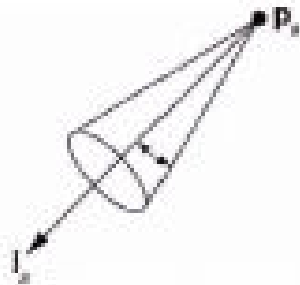


*Lumière provenant
d'une direction donnée*

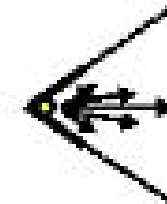


Projecteurs

- ▶ Les *projecteurs* ou *spots*, sont des sources de lumière caractérisées par leur position, leur direction et une fonction d'éclairage
 - ▶ Lumière éclaire dans un cône
 - ▶ Fonction d'atténuation de l'intensité en fonction de l'angle (intensité forte au centre, faible au bord du cône)

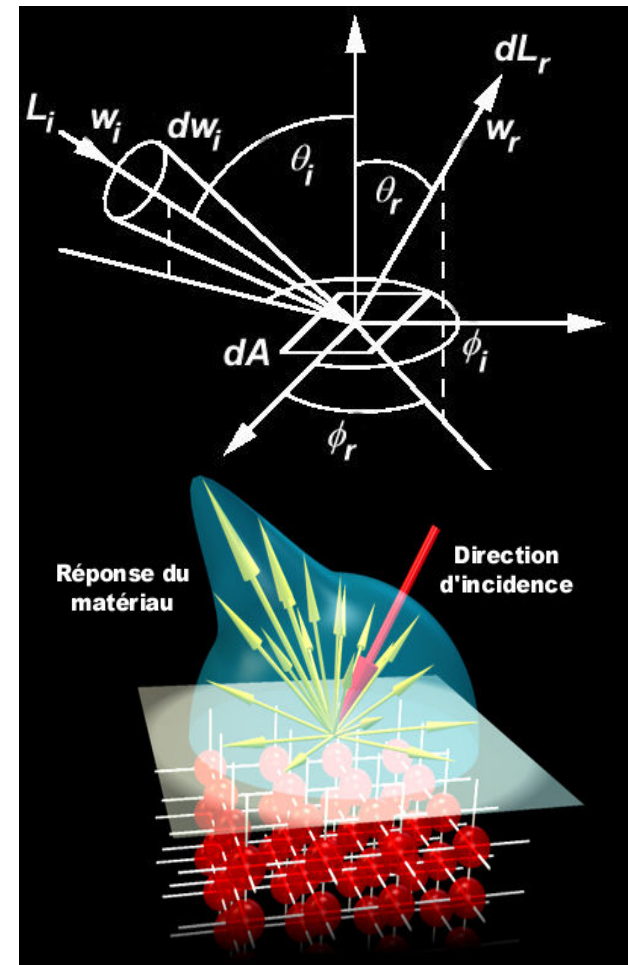
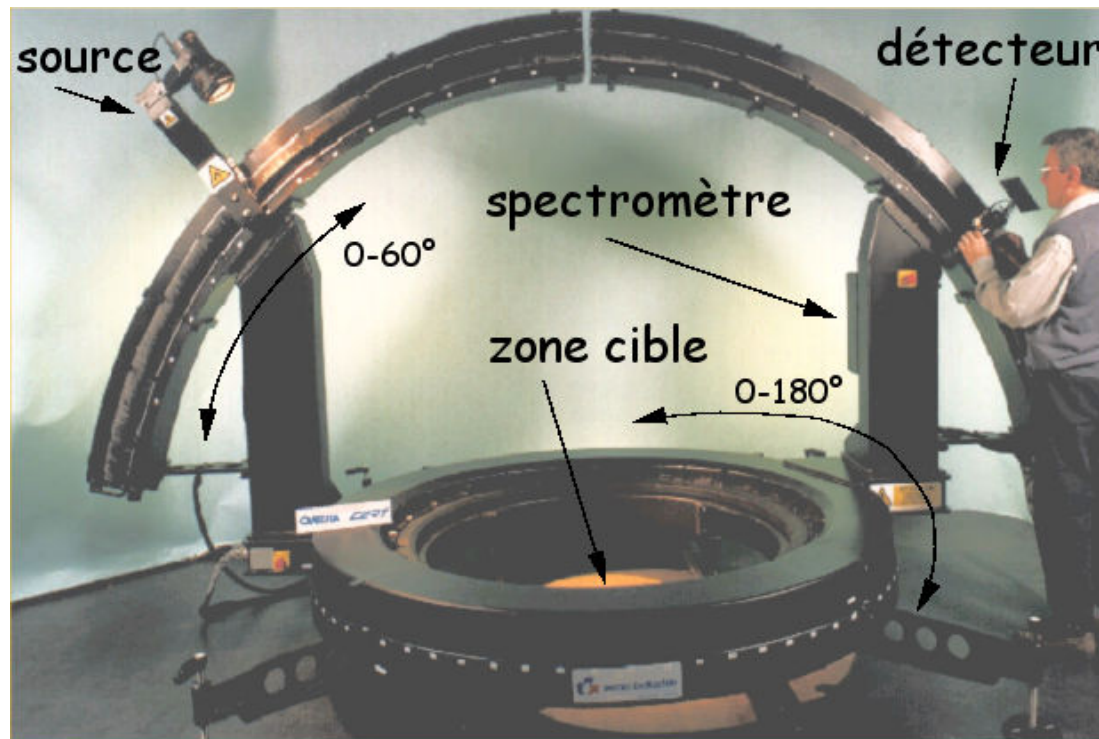


Lumière provenant d'un point précis et éclairant selon un cône



FBDR: Fonction de Distribution de la Réflectance Bidirectionnelle

- ▶ Aussi connu sous BRDF : *Bi-directional Reflectance Distribution Function*



Réflexion: Réflexion ambiante

- ▶ Ce qui nous intéresse, c'est de calculer la quantité de lumière que reçoit un observateur en provenance d'une surface (cela détermine la couleur de la surface).

- ▶ La *lumière ambiante* éclaire toute la scène

- ▶ L'éclairage ambiant d'un point p d'une surface est :

$$I(p) = k_a I_a \quad (0 \leq k_a \leq 1)$$

- ▶ où k_a est un coefficient qui détermine la quantité de lumière ambiante réfléchiée par la surface et est fonction des propriétés matérielles de la surface



▶ Résultats:

- ▶ On ne voit pas la 3D
- ▶ Modélise simplement l'inter-réflexion entre toutes les surfaces d'une scène
- ▶ Evite qu'un objet dans l'ombre soit complètement noir



On augmente k_a



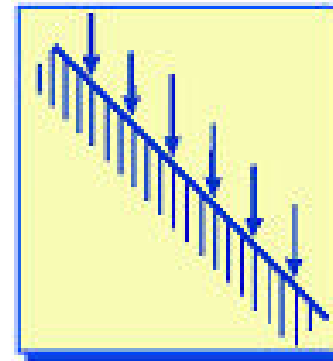
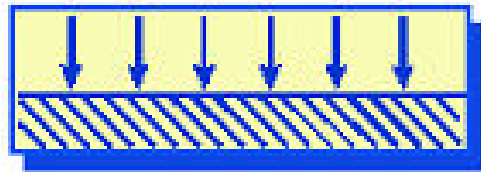
Réflexion diffuse

- ▶ Matériaux mats
- ▶ La lumière de la source est réfléchiée dans toutes les directions
- ▶ Calculée à partir d'une source lumineuse ponctuelle qui émet de manière constante dans toutes les directions
 - ▶ Ne dépend pas de la position de l'observateur
 - ▶ Dépend de l'orientation/position de la surface par rapport à la lumière

$$I = I_p k_d \cos\theta$$

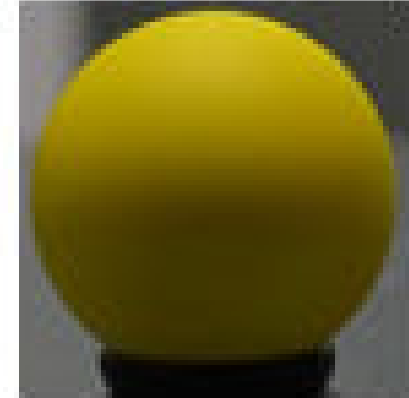
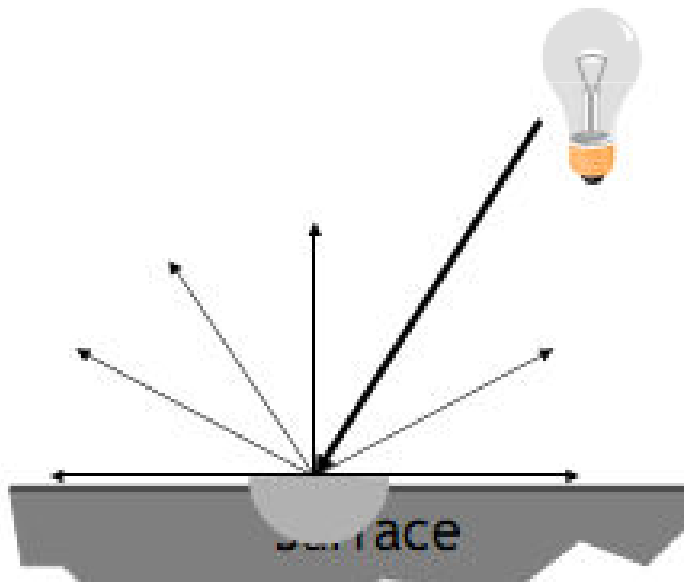


-
- ▶ Une surface perpendiculaire à la source de lumière émet plus intensément que lorsque placée dans le sens du rayonnement .
 - ▶ Ceci suppose que les rayons sont parallèles, ce qui n'est pas le cas pour une source à une distance finie



Surfaces lambertiennes

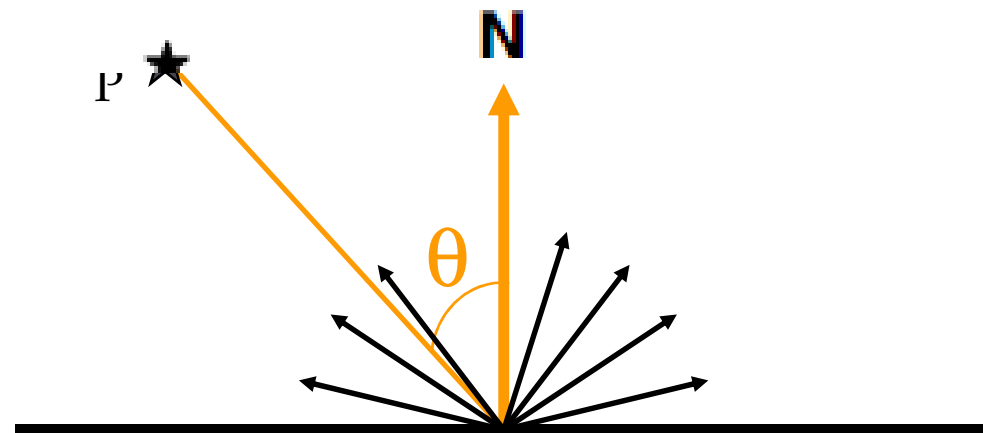
- ▶ surfaces mates (craie, papier), où l'intensité en un point de la surface dépend uniquement de l'angle entre la normale à la surface et la direction du point à la source lumineuse



La loi de Lambert en optique relie l'intensité avec l'angle entre la normale et la direction des rayons incidents :

$$I(p) = k_d I_p \cos \theta$$

- I_p : intensité de la source lumineuse ponctuelle
- k_d : coefficient de réflexion diffuse de la surface ($0 \leq k_d \leq 1$)
- θ : angle entre la normale et la direction de la source



Pour diminuer le temps de calcul, on remplace le cosinus par un produit scalaire :

$$I(p) = k_d I_p N \cdot L$$

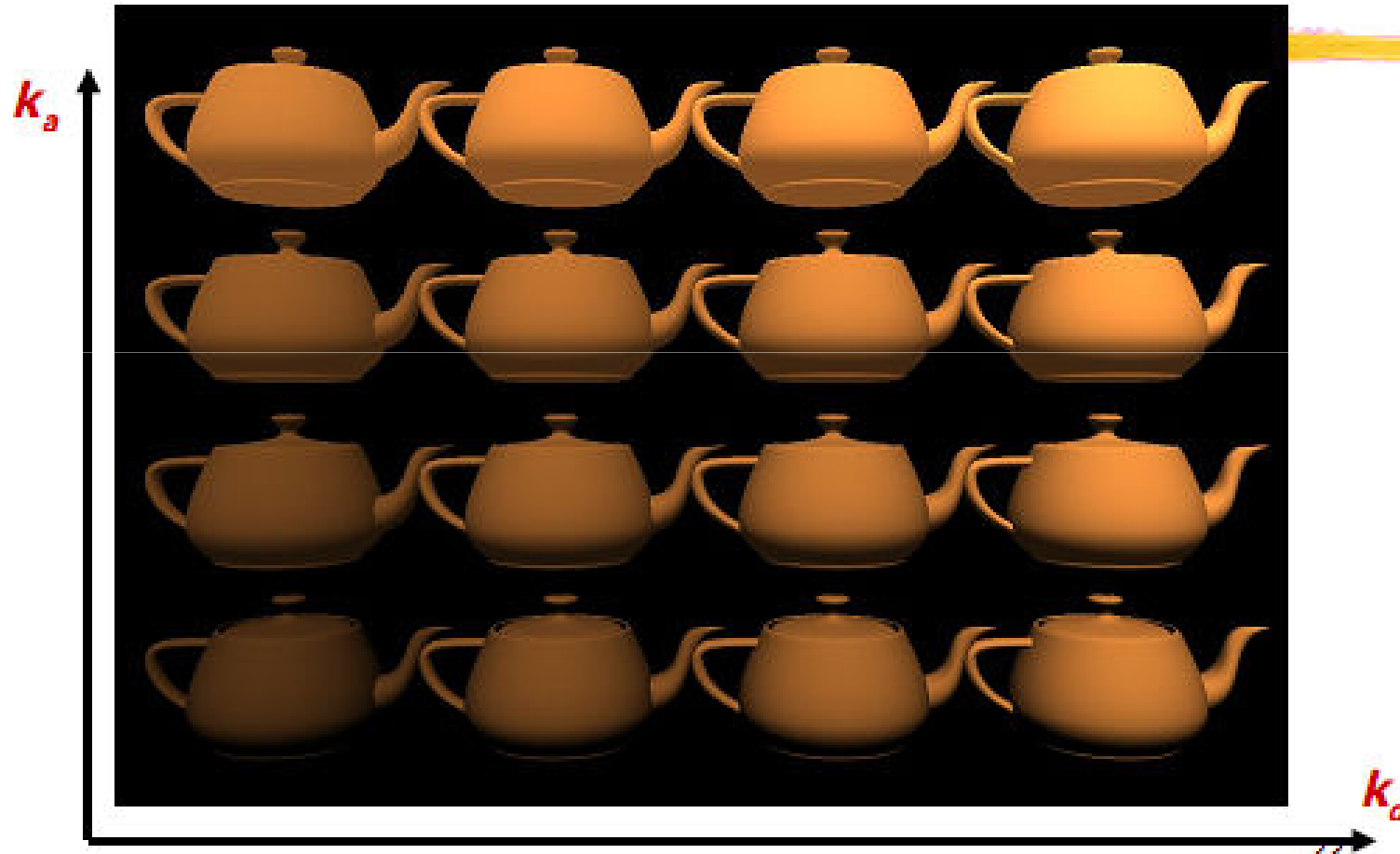
- N : vecteur normal de la surface au point p
- L : vecteur entre la source lumineuse et le point p



On augmente k_d avec $k_a = 0$

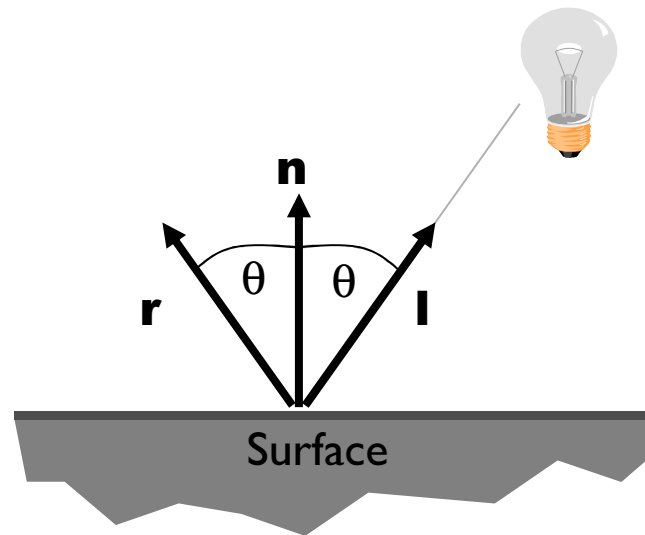


Réflexion diffuse + ambiante



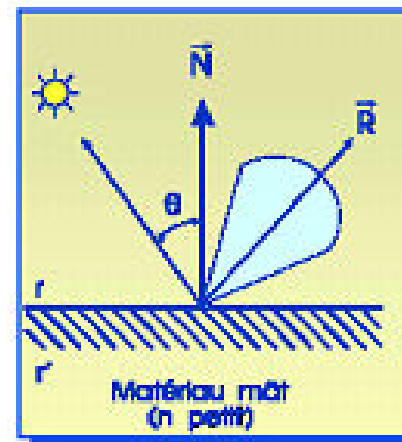
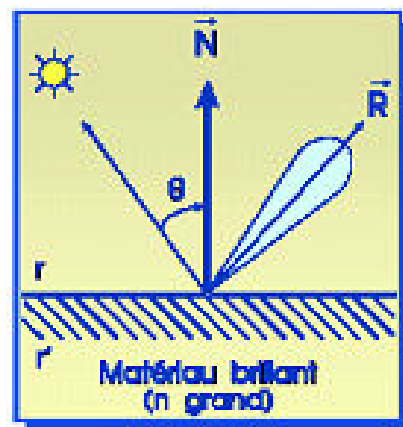
Réflexion spéculaire

- ▶ Représente les surfaces brillantes (comme un miroir)
- ▶ Loi de Snell / Descartes : la lumière qui atteint l'objet est réfléchie dans la direction ayant le même angle.

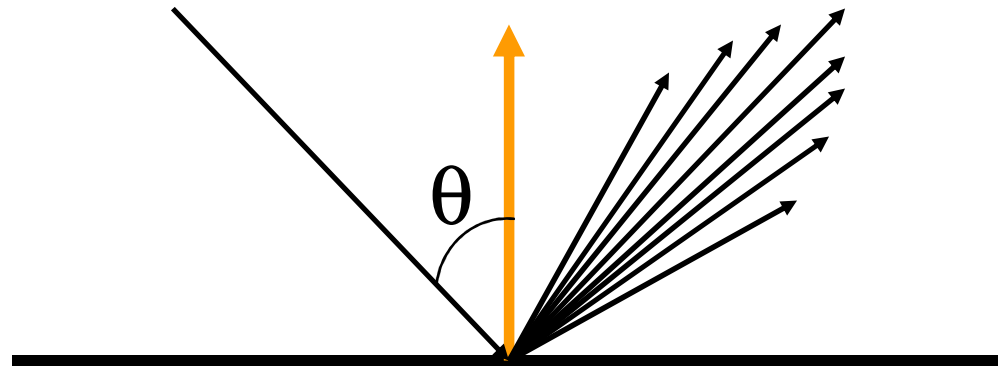


Réflexion spéculaire

- ▶ La réflexion spéculaire est obtenue sur une plage d'angle ou un cône autour de cette valeur
- ▶ Pour des matériaux brillants, ce cône est petit tandis que pour des matériaux mats, il est plus grand
- ▶ La réflexion parfaite (miroir) est le cas où le cône se réduit à une ligne (angle incident = angle réfléchi)



-
- ▶ **Problème** : avec une source de lumière ponctuelle, l'effet n'est visible que dans une direction.
 - ▶ C'est 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.
- ⇒ Modèle de Phong.

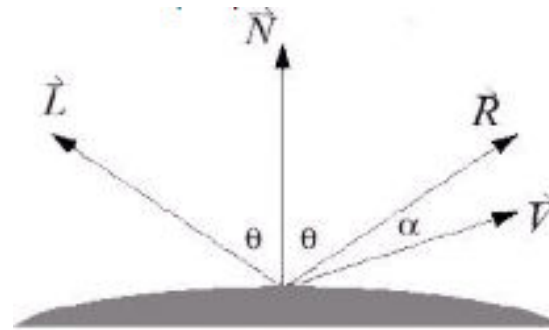


Réflexion spéculaire – modèle de Phong

- ▶ Pour calculer la réflexion spéculaire, nous utiliserons des approximations. La plus utilisée est le modèle de Phong :

$$I = k_s I_p (\cos \alpha)^n$$

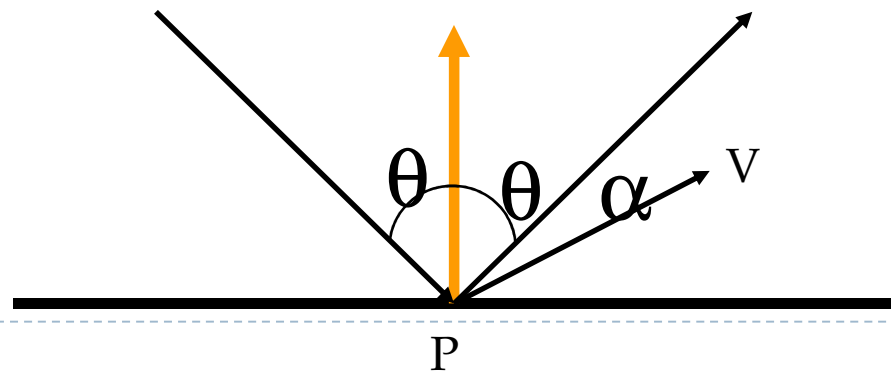
- ▶ I_p : intensité de la source ponctuelle
- ▶ α : angle entre directions d'observation V et rayon réfléchi idéal R
- ▶ k_s : coefficient de réflectivité spéculaire du matériau de la surface
- ▶ n : rugosité : ∞ (e.g. 1024) pour un miroir, 1 pour une surface très rugueuse

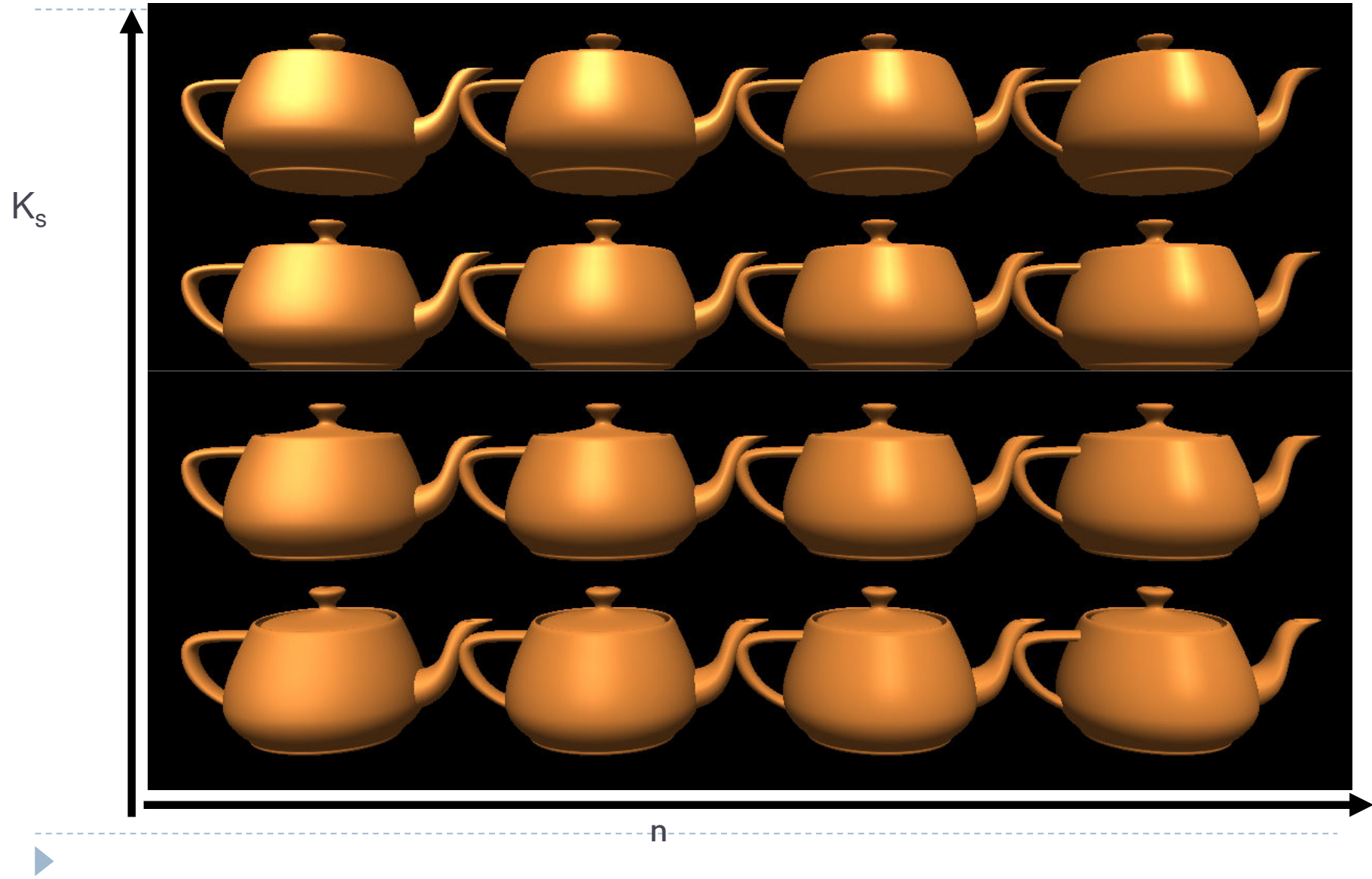


-
- ▶ **Modèle de Phong [1975]** : la réflexion est importante lorsque l'angle α entre la direction d'observation du point de la surface V et la direction de réflexion R (symétrique de la direction LP par rapport à NP) est faible. Cette réflexion diminue de façon importante lorsque l'angle augmente.

$$I = k_s I_p (\cos \alpha)^n$$

- ▶ I_p : intensité de la source ponctuelle
- ▶ α : angle entre directions d'observation V et rayon réfléchi idéal R
- ▶ k_s : coefficient de réflectivité spéculaire du matériau de la surface
- ▶ n : rugosité : ∞ (e.g. 1024) pour un miroir, 1 pour une surface très rugueuse





Modèle d'illumination global de Phong

- Modèle d'illumination global de Phong :

$$I = k_a I_a + \sum [k_d I_p \cos \theta + k_s I_p (\cos \alpha)^n]$$

- **Modèle en couleur** : une intensité par composante de couleur, *i.e.* une équation et des coefficients pour chaque composante couleur (rouge, vert, bleu)
- **Plusieurs sources lumineuses** : somme des intensités de chaque source lumineuse

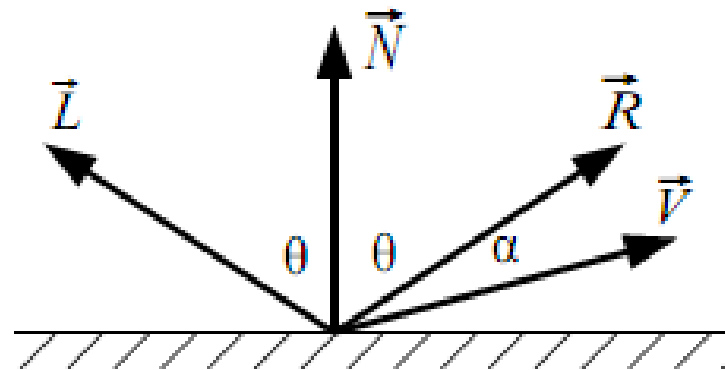


Approx. des cosinus en produit scalaire






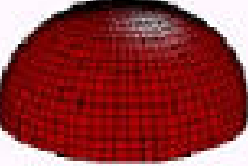






Pour diminuer le temps de calcul, on remplace les cosinus par des produits scalaires :

- $\cos \theta = \mathbf{N} \cdot \mathbf{L}$ (vecteur normal de la surface \cdot vecteur direction de la lumière)
- $\cos \alpha = \mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$ (vecteur direction d'observation \cdot vecteur du rayon réfléchi idéal)

$$\Rightarrow I = k_a I_a + \sum [k_d I_p (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) + k_s I_p (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})^n]$$



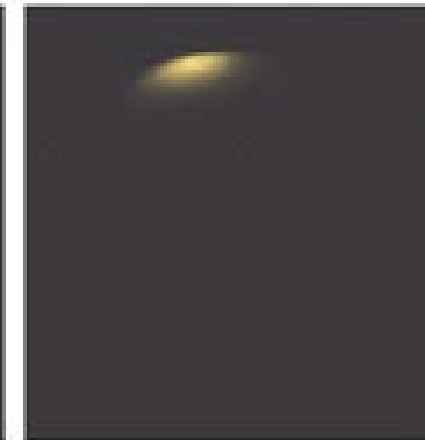
Fonction d'illumination globale

Phong	ρ_{ambient}	ρ_{diffuse}	ρ_{specular}	ρ_{total}
$\phi_i = 60^\circ$				
$\phi_i = 25^\circ$				
$\phi_i = 0^\circ$				

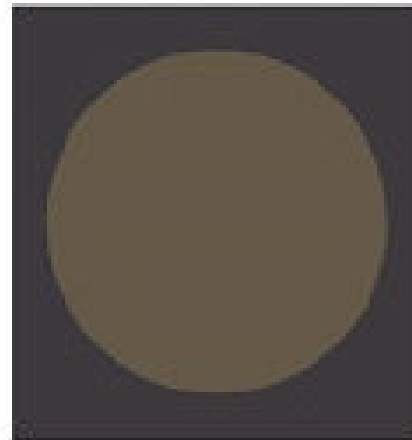




Diffus



Spéculaire



Ambient

= Image finale

