Modèles d'illumination

Jean-Baptiste.Yunes@univ-paris-diderot.fr

11/2018

- Comment représenter de façon suffisamment réaliste les effets de lumières sur une surface ?
  - Les modèles réalistes sont généralement très compliqués
    - trop compliqués…
    - on utilise donc de grandes simplifications
      - pas physiquement réaliste mais produisant un effet visuel suffisamment réaliste

- quelles sources ?
  - **ambiante**
    - bain lumineux
    - contribution de la réflexion multiple des objets de la scène ainsi que des particules de l’atmosphère, etc.
    - permet d’obtenir qu’un point ne recevant pas directement de l’énergie lumineuse (face arrière) soit tout de même éclairé
- devrait être combinée avec l’occlusion ambiante (rue large : lumineuse, rue étroite : sombre) quantité de ciel ? distance moyenne des objets proches ?

- quelles sources ?
  - à l’infini (soleil) lumière **directionnelle** définie par un vecteur
    - flux d’énergie dirigé considéré comme constant quelque soit la distance…
  - **ponctuelle** (par réaliste mais simple)
    - quantité d’énergie diffusée décroissante en le carré de la distance (énergie constante toutes les sphères centrées, donc densité décroissante en la surface)

- quelles sources ?
  - **spot**, source ponctuelle diffusant un cône
    - comme pour la source ponctuelle l'énergie diminue en rapport avec la surface croissante de la coupe du cône par un plan
  - **surfacique**
    - une source plus réaliste type dalle lumineuse
  - **volumétrique**
    - une source plus réaliste type néon, ampoule

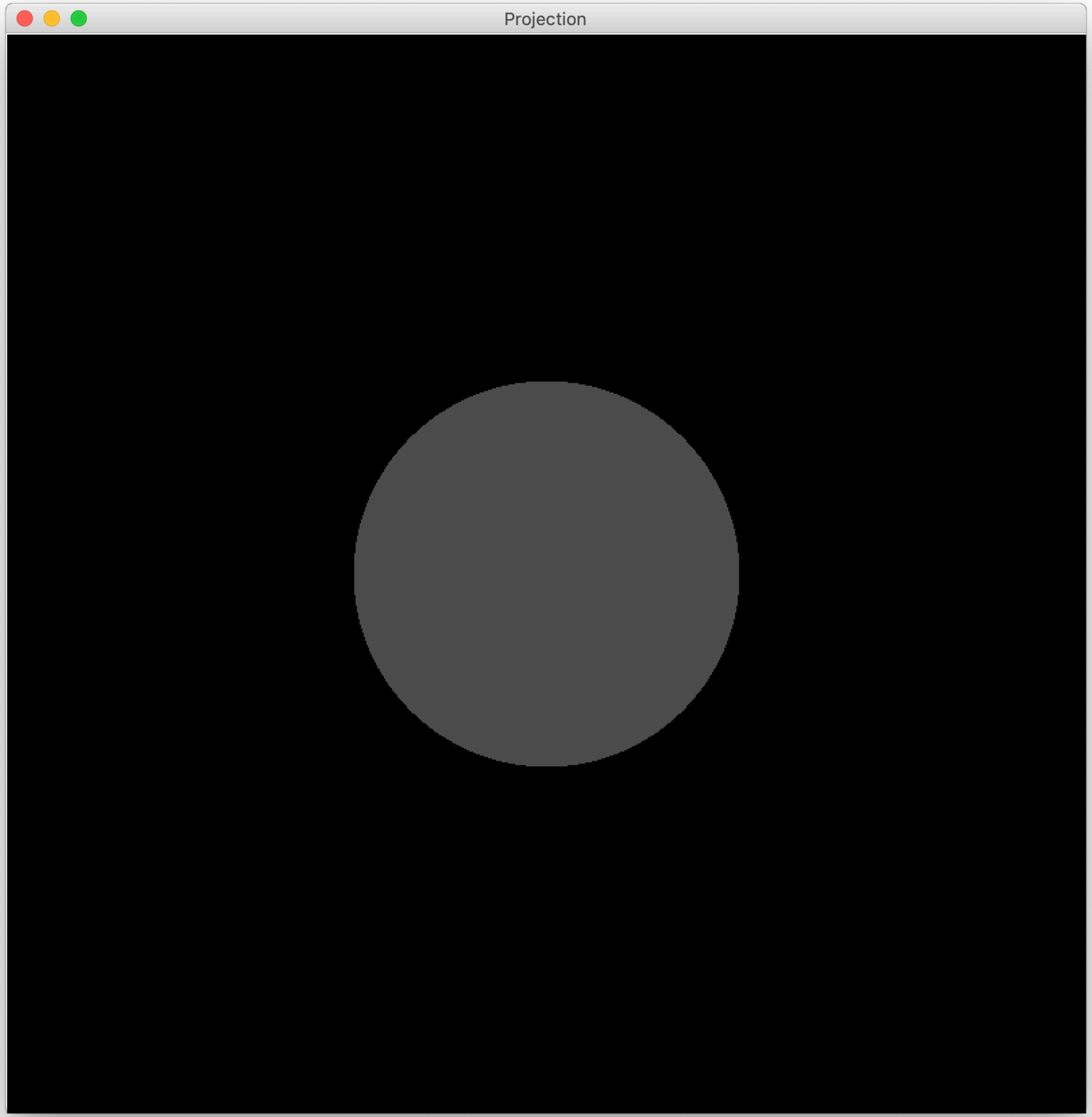
- décroissance du flux en fonction de la distance
  - dans un espace idéal l'énergie décroît en le carré de la distance à la source
    - dans les modélisations utilisées décroît trop rapidement
      - on utilise généralement une décroissance linéaire additionnée d'un facteur constant

$$e(P) = \frac{e(S)}{d(P,S) + D}$$

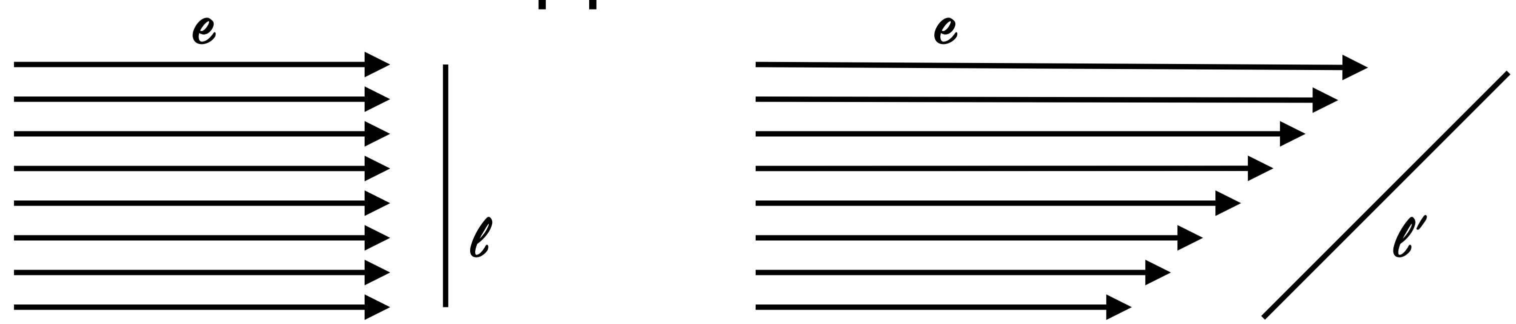
- contribution des sources lumineuses aux effets sur une surface
  - la simplification généralement acceptée (et acceptable) consiste à considérer qu’en un point d’une surface on a
    - une fraction de l’énergie lumineuse ambiante qui est retransmise
    - une fraction de l’énergie lumineuse de chaque source qui est retransmise de façon diffuse
    - une fraction de l’énergie lumineuse de chaque source qui est retransmise de façon spéculaire
- « spéculaire » qui a rapport au miroir (Encyclopædia Universalis)
- chaque surface (chaque point ?) possède une capacité à retransmettre tout ou partie de ces énergies

- contribution ambiante
  - l’énergie lumineuse ambiante est I_a et chaque surface en retransmet la fraction k_a
    - la contribution est alors $I_a \, k_a$

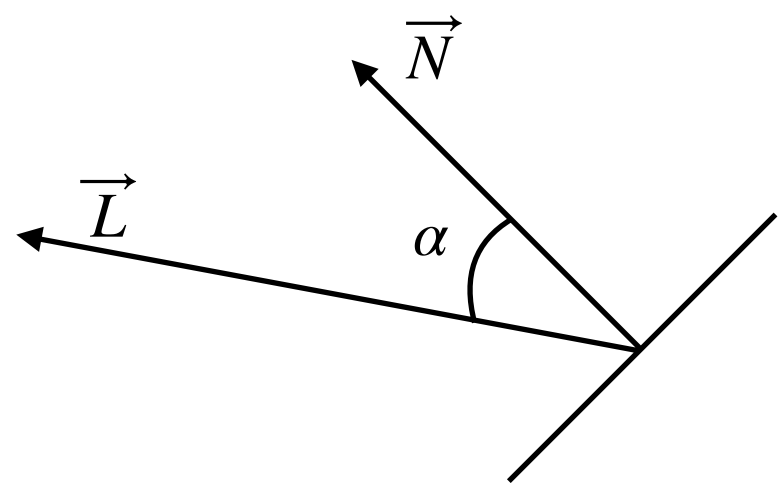
- Exemple : I_a=1 et k_a=0.3
  - aucun effet fonction de la forme de la surface…



- contribution diffuse
  - l’énergie reçue en un point dépend de l’angle selon lequel la lumière frappe la surface

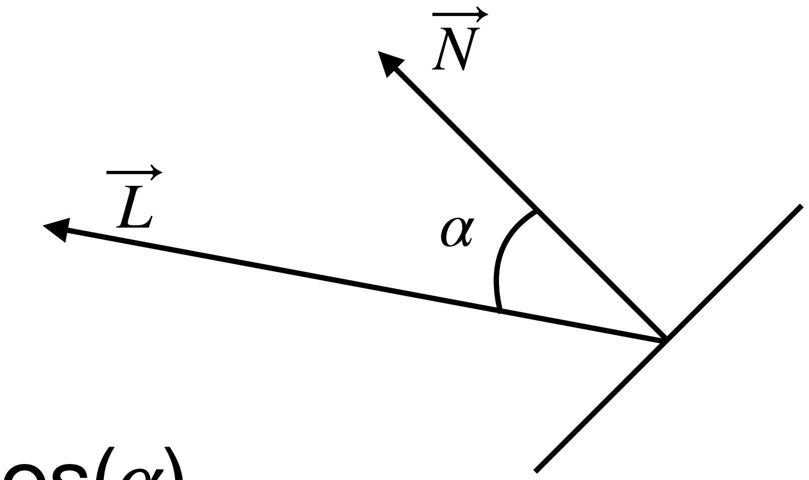


  - surface « matte » et lumière « rasante »

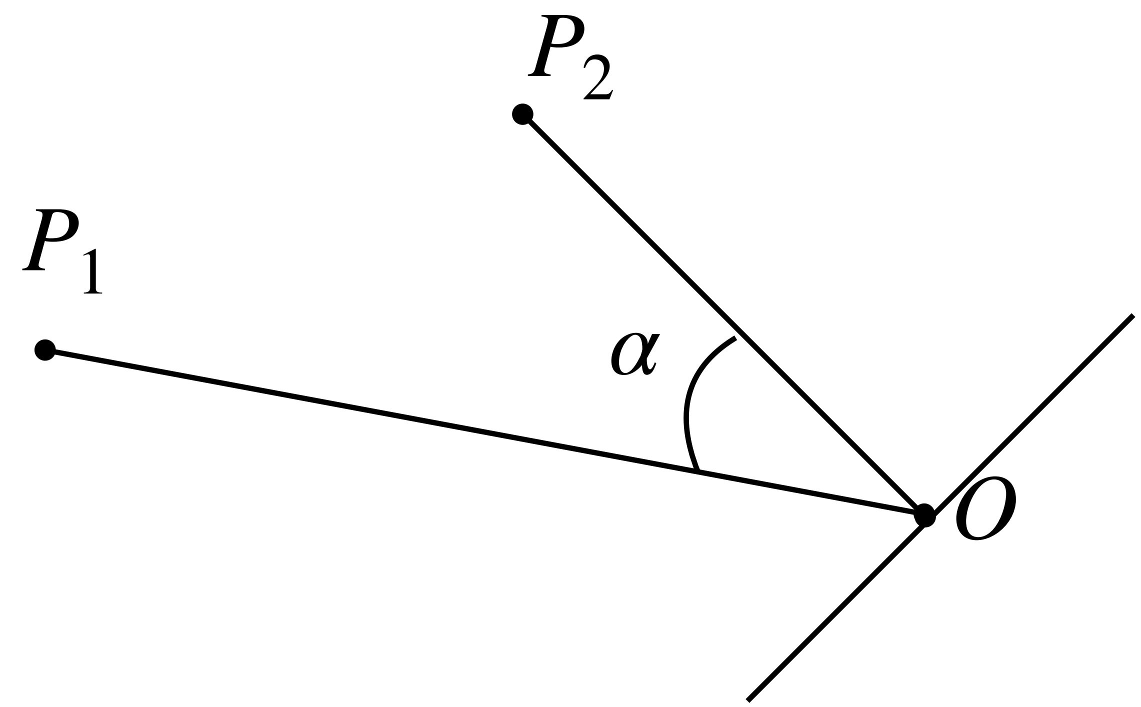


  - énergie retransmise dépendante de $\cos(\alpha)$

- contribution diffuse
    - énergie retransmise dépendante de cos(α)
    - α=0 la lumière frappe directement, elle est éclairée au maximum
    - $\alpha\longrightarrow$90 la lumière « rase », elle est faiblement éclairée
        - cos(α) ?



- Produit scalaire de deux vecteurs



$$\overrightarrow{OP_1} \,.\, \overrightarrow{OP_2} = OP_1\, OP_2 \,\cos(\widehat{P_1 O P_2})$$

- Le produit scalaire permet de calculer la projection orthogonale d'un vecteur sur un vecteur

$$P_{\overrightarrow{OP_2}}(\overrightarrow{OP_1}) = (OP_1\ \cos(\widehat{P_1OP_2}))\ \frac{\overrightarrow{OP_2}}{OP_2}$$

$$P_{\overrightarrow{OP_2}}(\overrightarrow{OP_1}) = (OP_1\ \frac{\overrightarrow{OP_1}\,.\,\overrightarrow{OP_2}}{OP_1\,OP_2})\ \frac{\overrightarrow{OP_2}}{OP_2}$$

$$P_{\overrightarrow{OP_2}}(\overrightarrow{OP_1}) = \frac{\overrightarrow{OP_1}\,.\,\overrightarrow{OP_2}}{(OP_2)^2}\ \overrightarrow{OP_2}$$

- En effet $P_{\overrightarrow{OP_2}}(\overrightarrow{OP_2}) = \frac{\overrightarrow{OP_2}\,.\,\overrightarrow{OP_2}}{(OP_2)^2}\ \overrightarrow{OP_2} = \frac{(OP_2)^2}{(OP_2)^2}\overrightarrow{OP_2} = \overrightarrow{OP_2}$

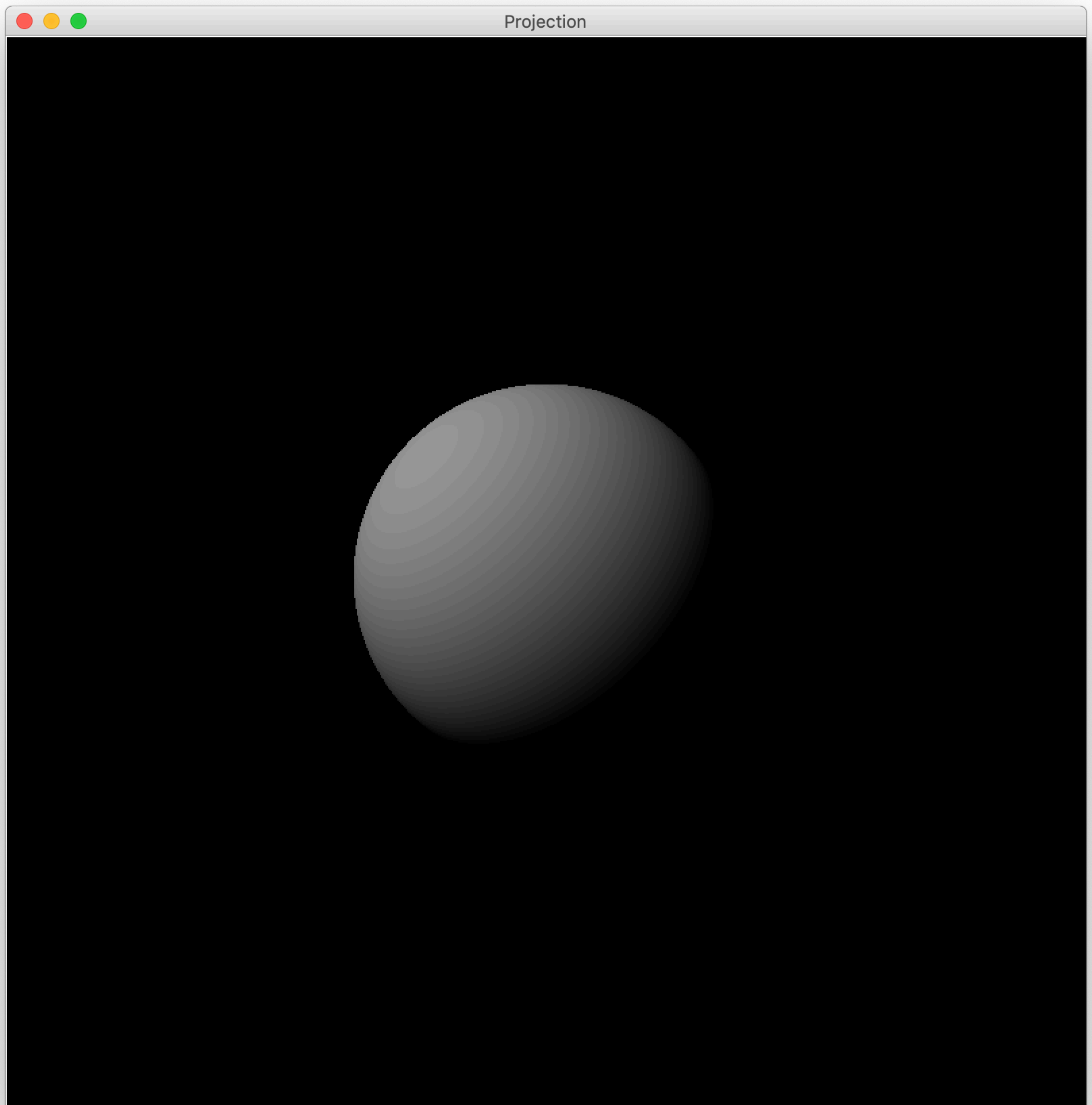
- Et si ils sont orthogonaux, c'est le vecteur nul…

- contribution diffuse pour une source d’énergie I_s et une surface qui en retransmet la fraction k_d

$$I_s\, k_d\, \frac{\overrightarrow{L}\,.\,\overrightarrow{N}}{L\,N}$$

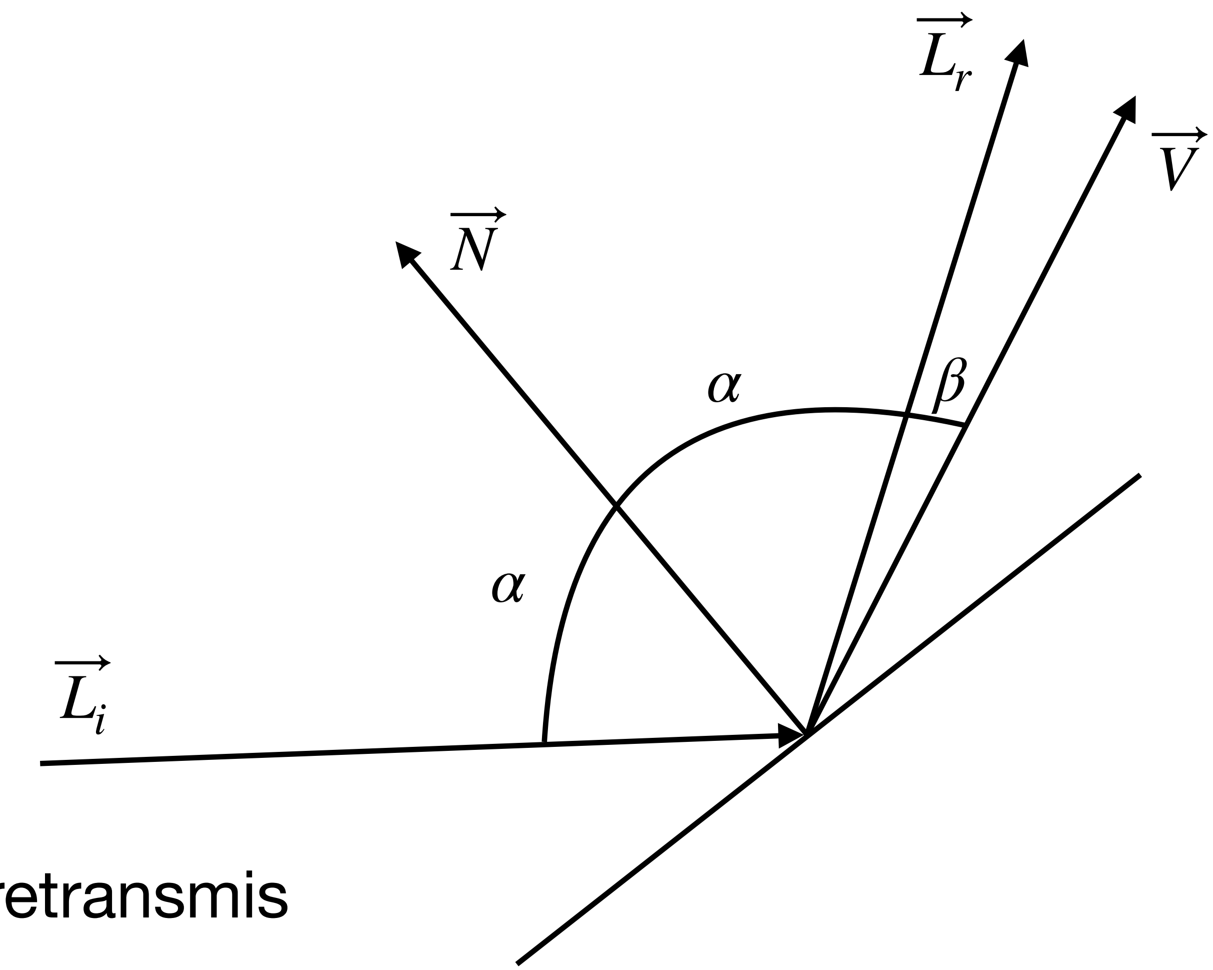
- Attention : dans le calcul le vecteur « lumière » est dirigé du point vers la source!
    - les lumières directionnelles sont parfois définies dans l’autre sens!

- Exemple : lumière directionnelle, $I_s=1$ et $k_d=0.6$



- contribution spéculaire, l’effet miroir
    - la lumière « frappe » la surface, et se diffuse en se réfléchissant principalement autour de la direction de réflexion…
    - miroir parfait : uniquement dans la direction…
    - c’est donc une fonction entre le vecteur lumière réfléchi et la direction de vision

- contribution spéculaire



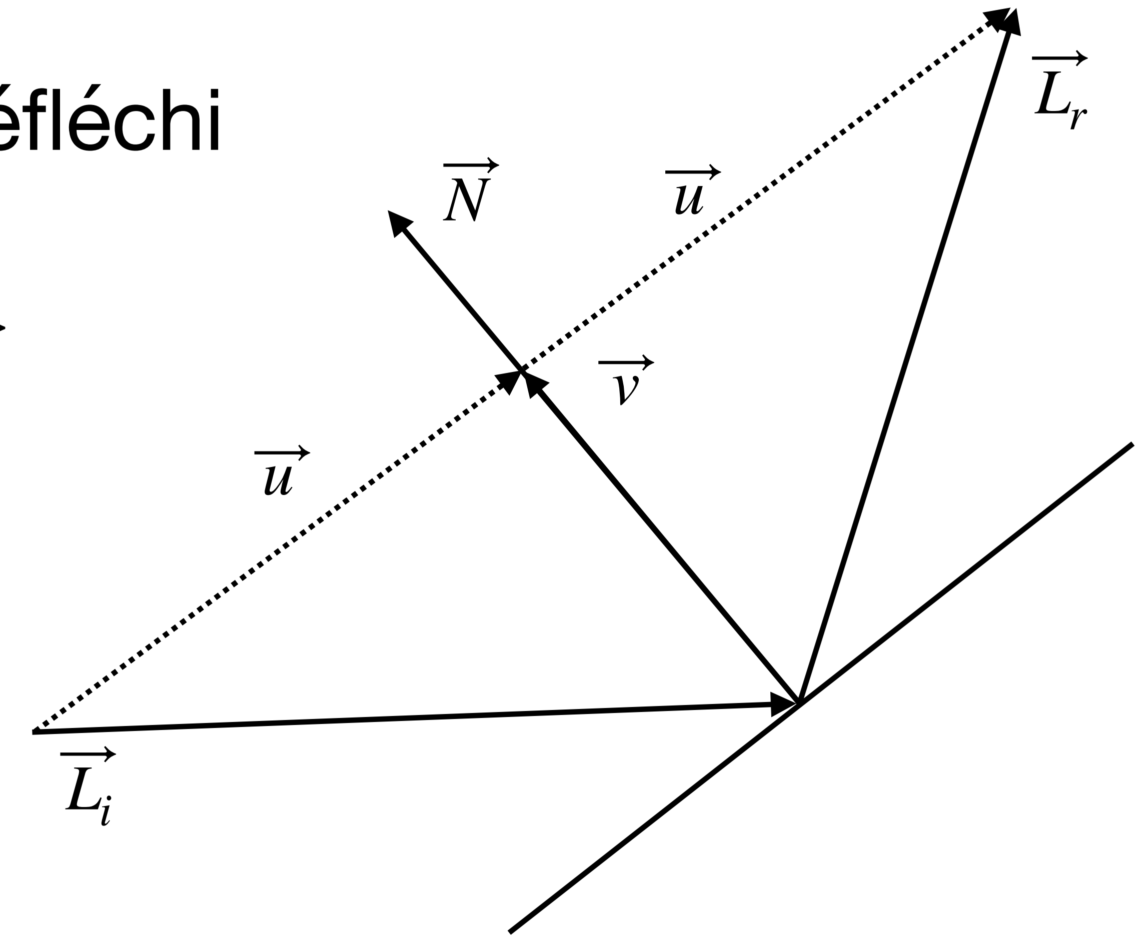
- β=0 maximum retransmis
- $\beta \longrightarrow 90$, retransmission faible
- on prend généralement la fraction $\cos^n(\beta)$, pour un n donnée ($n \longrightarrow \infty$, miroir parfait)

- Problème : calculer le vecteur réfléchi

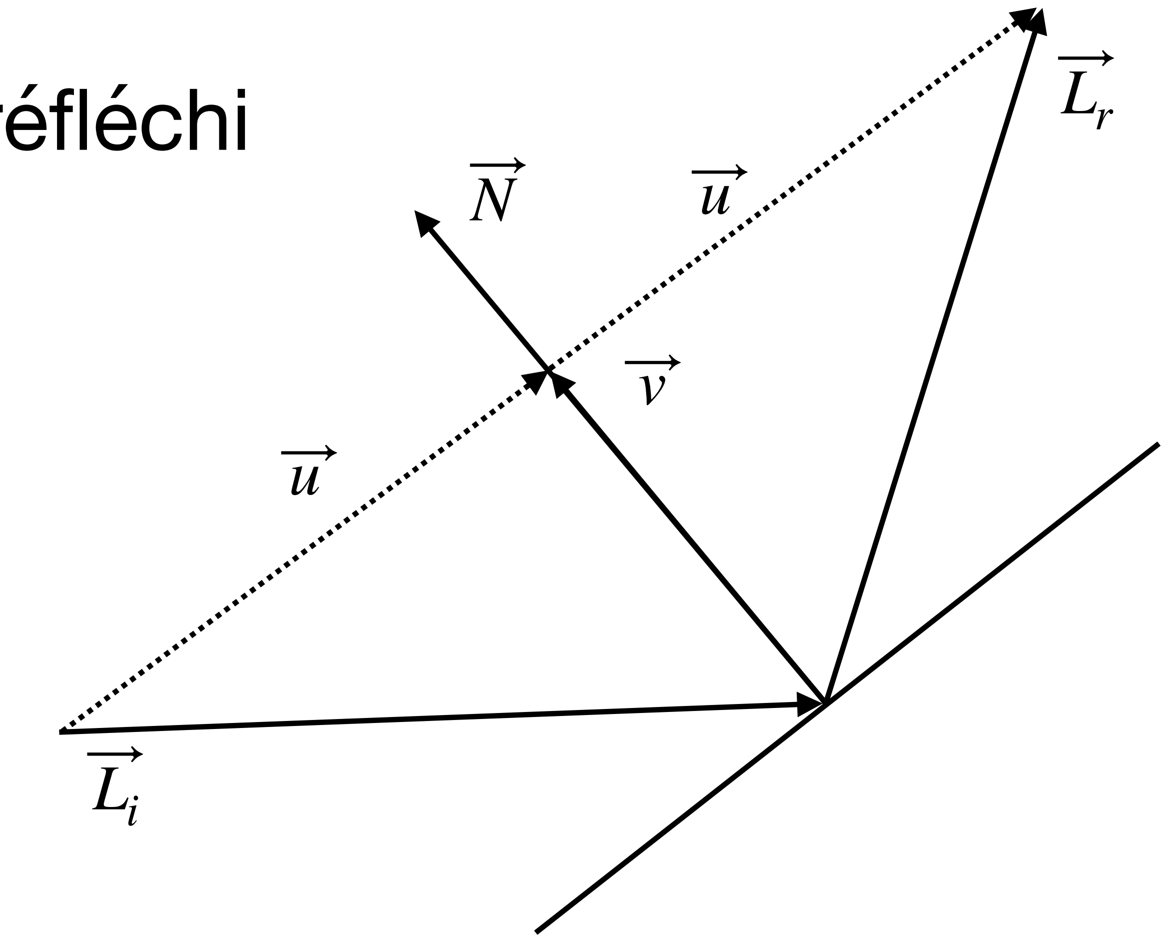
$$\overrightarrow{L_r} = -\overrightarrow{L_i} + 2\overrightarrow{u}$$

$$\overrightarrow{u} = \overrightarrow{L_i} + \overrightarrow{v}$$

$$\overrightarrow{v} = P_{\overrightarrow{N}}(-\overrightarrow{L_i})$$



- Problème : calculer le vecteur réfléchi



$$\overrightarrow{L_r} = -\overrightarrow{L_i} + 2\overrightarrow{u}$$

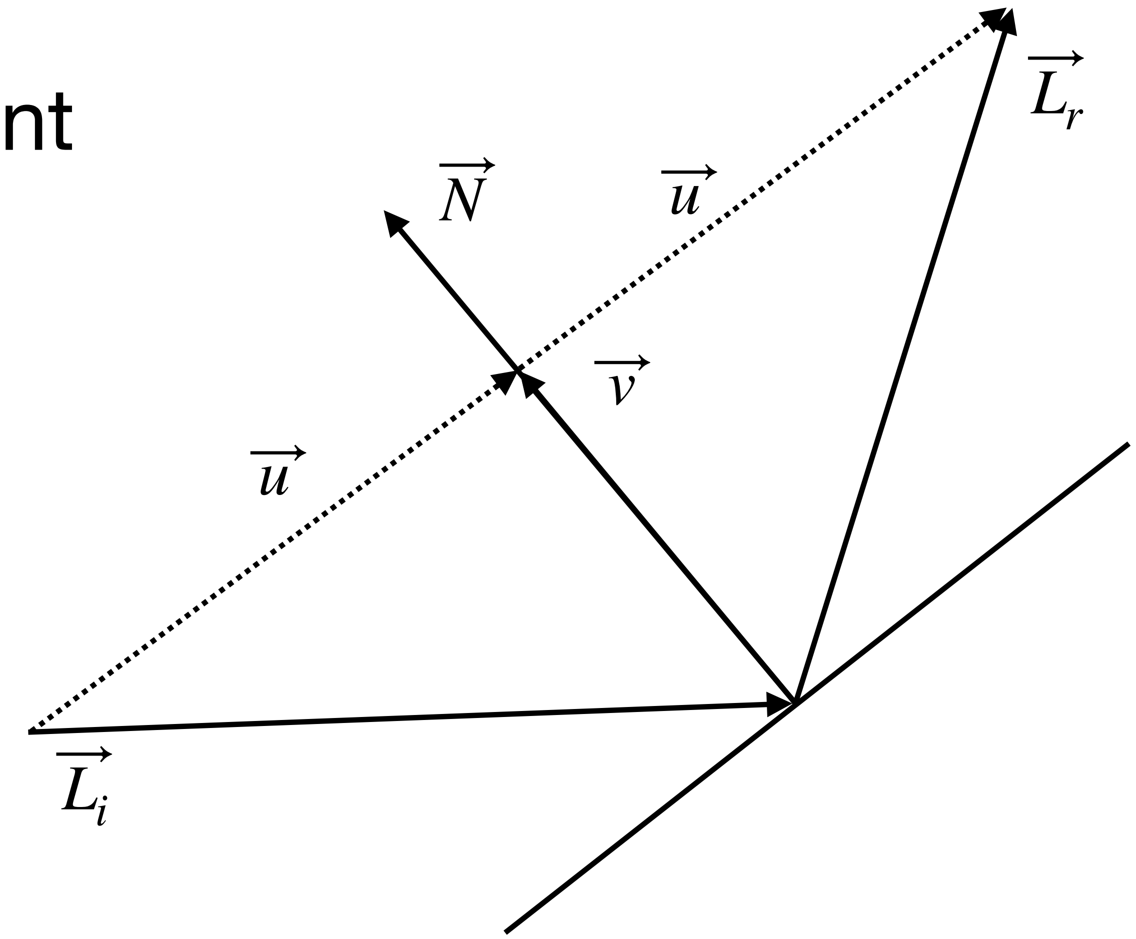
$$\overrightarrow{u} = \overrightarrow{L_i} + \overrightarrow{v}$$

$$\overrightarrow{v} = P_{\overrightarrow{N}}(-\overrightarrow{L_i})$$

$$P_{\overrightarrow{N}}(-\overrightarrow{L_i}) = \frac{-\overrightarrow{L_i} \, . \, \overrightarrow{N}}{(N)^2} \; \overrightarrow{N}$$

$$\overrightarrow{L_r} = -\overrightarrow{L_i} + 2\overrightarrow{u} = L_i + 2\overrightarrow{v} = L_i + 2\,\frac{-\overrightarrow{L_i} \, . \, \overrightarrow{N}}{(N)^2} \; \overrightarrow{N}$$

- Si on normalise N les calculs sont



$$\overrightarrow{L_r} = -\overrightarrow{L_i} + 2\overrightarrow{u}$$

$$\overrightarrow{u} = \overrightarrow{L_i} + \overrightarrow{v}$$

$$\overrightarrow{v} = P_{\overrightarrow{N}}(-\overrightarrow{L_i})$$

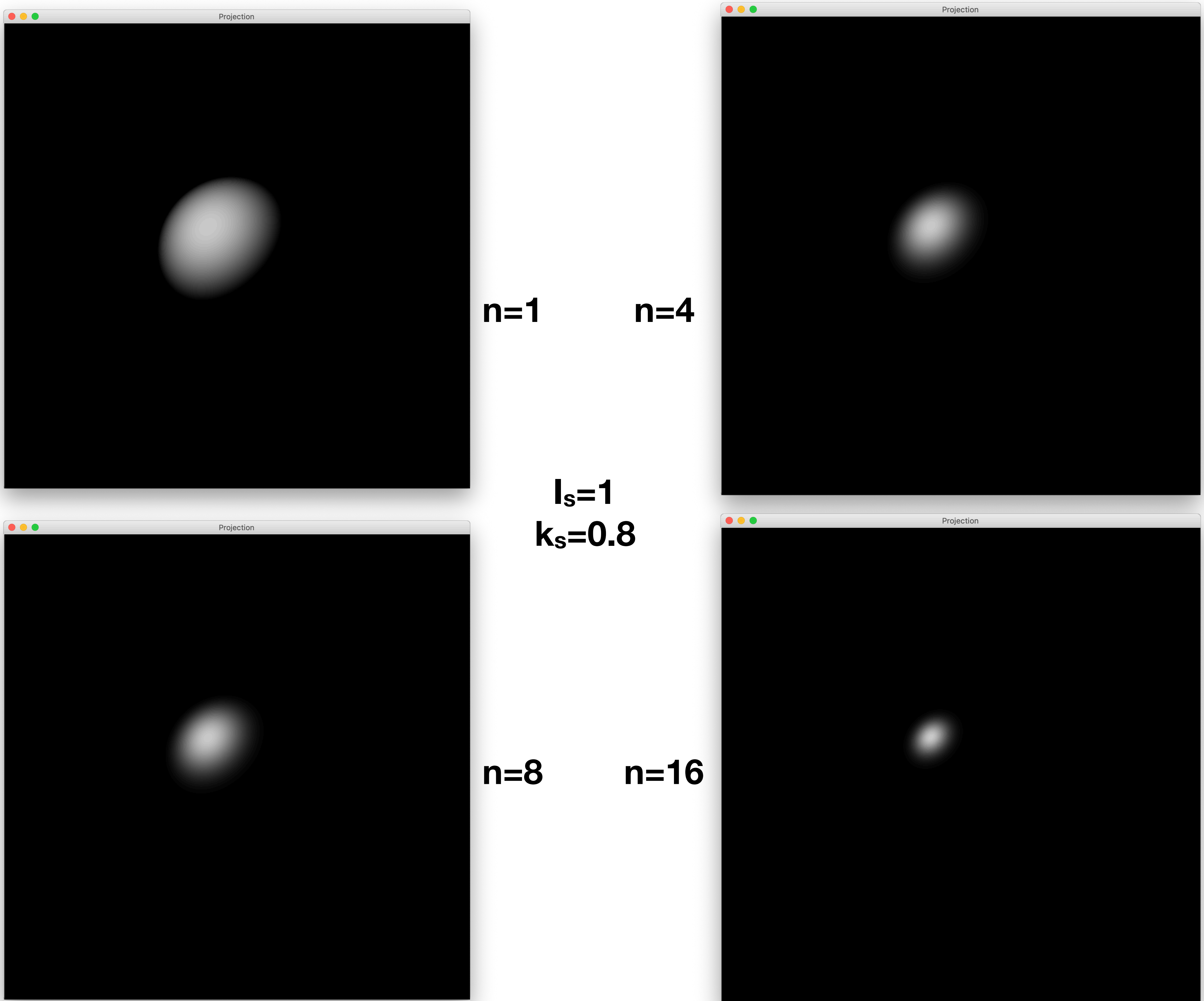
$$P_{\overrightarrow{N}}(-\overrightarrow{L_i}) = (-\overrightarrow{L_i}\,.\,\overrightarrow{N})\ \overrightarrow{N}$$

$$\overrightarrow{L_r} = -\overrightarrow{L_i} + 2\overrightarrow{u} = L_i + 2\overrightarrow{v} = L_i + 2\,(-\overrightarrow{L_i}\,.\,\overrightarrow{N})\ \overrightarrow{N}$$

- contribution spéculaire pour une source d'énergie I_s et une surface de caractéristique de brillance n et qui en retransmet la fraction k_s

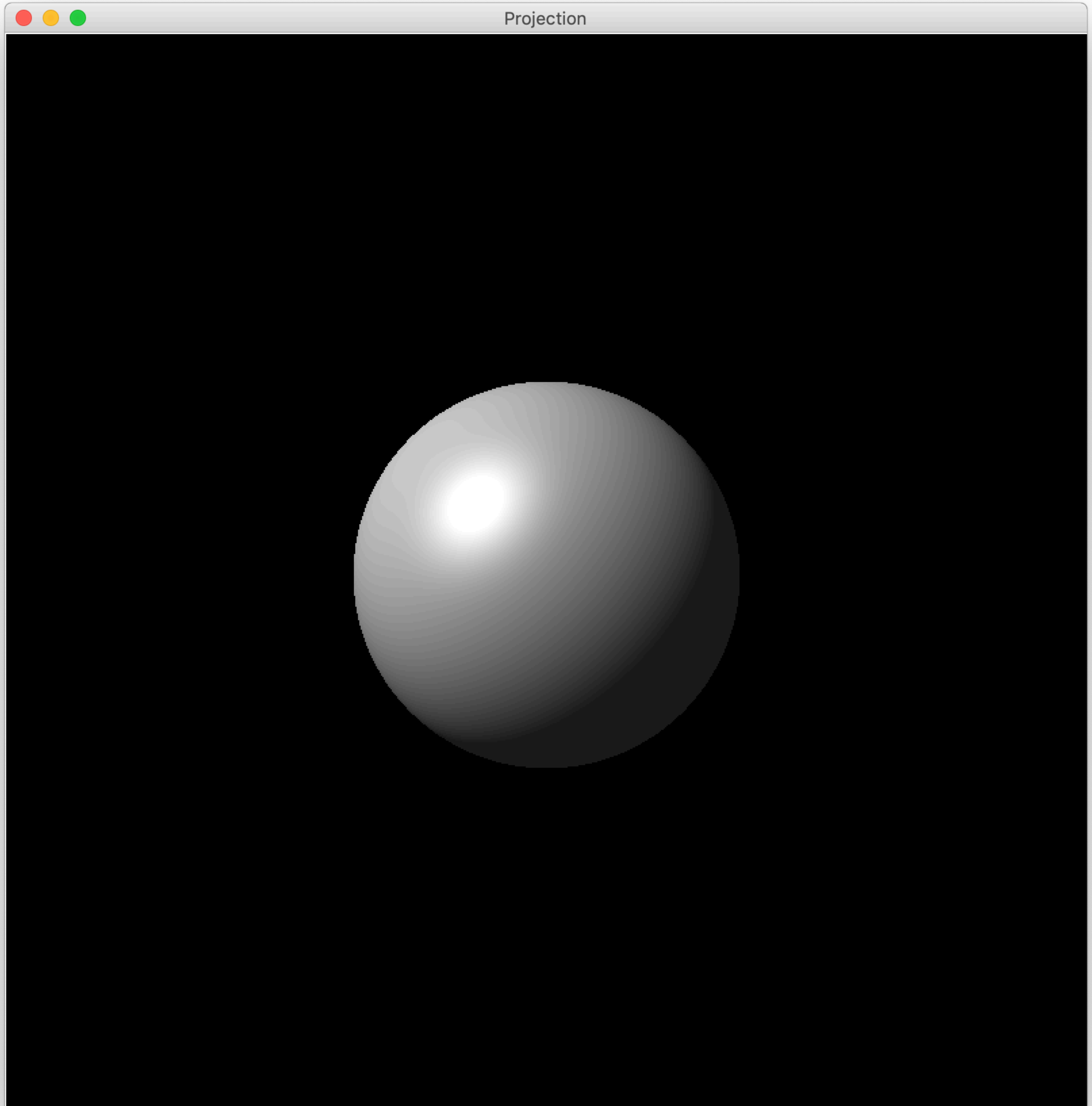
$$I_s \, k_s \left(\frac{\overrightarrow{L_r} \, . \, \overrightarrow{V}}{L_r \, V} \right)^n$$

- Attention le vecteur « vision » est dirigé de la surface à l'œil, alors qu'il est parfois défini de l'œil au point


Projection
Projection
Projection
Projection
n=1
n=4
Is=1
ks=0.8
n=8
n=16

- La contribution totale est la somme des contributions ambiante, diffuse et spéculaire pour toutes les sources!

$$I_t = I_a k_a + \sum_{s \in S} \left(I_s k_d \frac{\overrightarrow{L_s} \, . \, \overrightarrow{N}}{L_s \, N} + I_s k_s \left(\frac{\overrightarrow{L_r} \, . \, \overrightarrow{V}}{L_r \, V} \right)^{n_s} \right)$$


Projection

- Attention à la saturation!
  - les calculs précédents peuvent mener à une contribution totale plus grande que 1…
- Ensuite il faut séparer les énergies
  - rouge, vert, bleu
    - on peut obtenir des surfaces qui réfléchissent le bleu mais pas le rouge, etc

- Ce modèle d’illumination est connu sous le nom de modèle de Phong (voir références)
- La contribution diffuse est aussi connue sous le nom de diffusion de Lambert (Lambertian shading)

- Références

  - Illumination for computer generated pictures
    Bùi Tường Phong
    1975, Communication of the ACM, Vol. 18, No. 6