

<http://tiny.cc/ift3355>

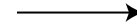
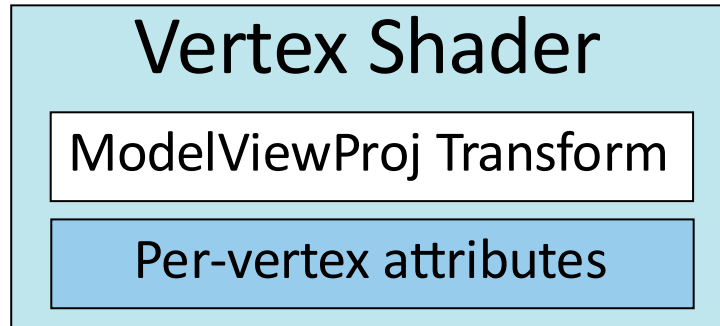
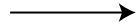
IFT 3355: INFOGRAPHIE L'ÉCLAIRAGE ET LE *SHADING*

Livre de référence: G:14; S: 9

Mikhail Bessmeltsev

PIPELINE: PLUS DE DÉTAILS

Sommets
et attributs

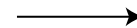
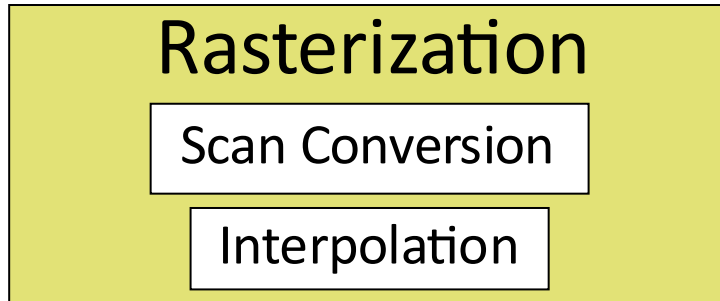
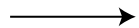
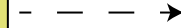


Traitement de sommets

Vertex Post-Processing

Viewport Transform

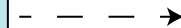
Clipping



Fragment Shader

Texturing/...

Lighting/shading

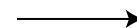


Opérations par échantillon

Per-Sample Operations

Depth Test

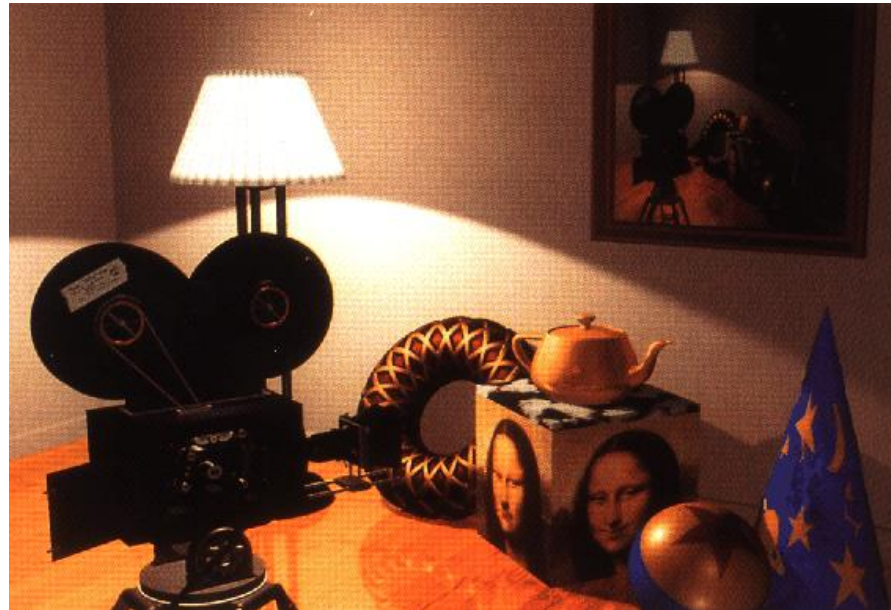
Blending



Framebuffer

L'ÉCLAIRAGE/*SHADING*

- Le but
 - Modéliser l'interaction entre la lumière et les surfaces afin de rendre des images plus réalistes
 - Générer de la couleur pour chaque fragment/sommet



LES FACTEURS

- Les lumières
 - Leurs positions, types et couleurs
- Les matériaux des surfaces
 - Comment les surfaces réfléchissent la lumière
- Le transport de lumière
 - Comment la lumière se déplace dans la scène
- La position de l'œil



LES FACTEURS

- Les lumières
 - Leurs positions, types et couleurs
- Les matériaux des surfaces
 - Comment les surfaces réfléchissent la lumière
- Le transport de lumière
 - Comment la lumière se déplace dans la scène
- La position de l'œil
- Comment le faire dans le pipeline?



LES MODÈLES ET ALGORITHMES D'ÉCLAIRAGE

L'éclairage local - rapide

- Plus loin de la physique
- Approximer l'apparence

L'interaction de chaque objet avec la lumière



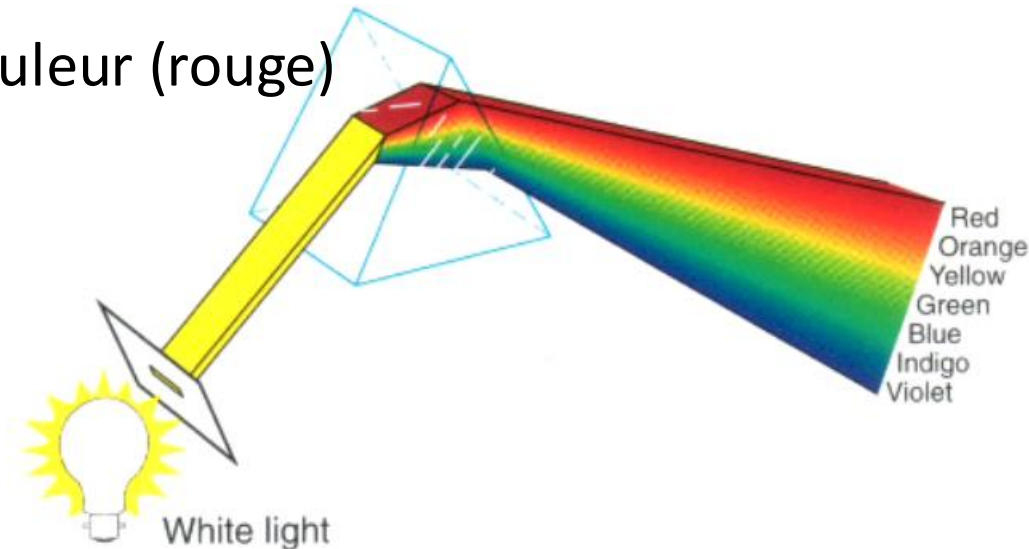
L'éclairage global – lent

- Plus proche de la physique
- Les interactions entre les objets



L'IDÉE GÉNÉRALE

- La lumière: les ondes électromagnétiques des longueurs visibles
 - La couleur dépend du mélange de longueurs d'onde
- La couleur de la surface dépend des longueurs d'onde réfléchies
 - Les matériaux blancs réfléchissent tout
 - Noirs – absorbent tout
 - Colorés (e.g., rouges) absorbent tout SAUF sa couleur (rouge)
- La lumière est additif: plusieurs sources de lumière sont ajoutées



LES MATÉRIAUX

- La réflectance de surface:
 - Éclairer un point de la surface par un rayon de chaque direction
 - Combien de lumière est réfléchié dans chaque direction?



LES TYPES DE BASE



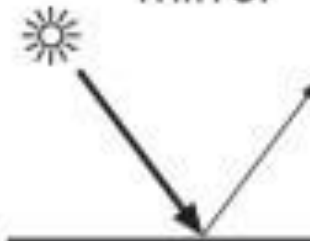
diffuse



glossy



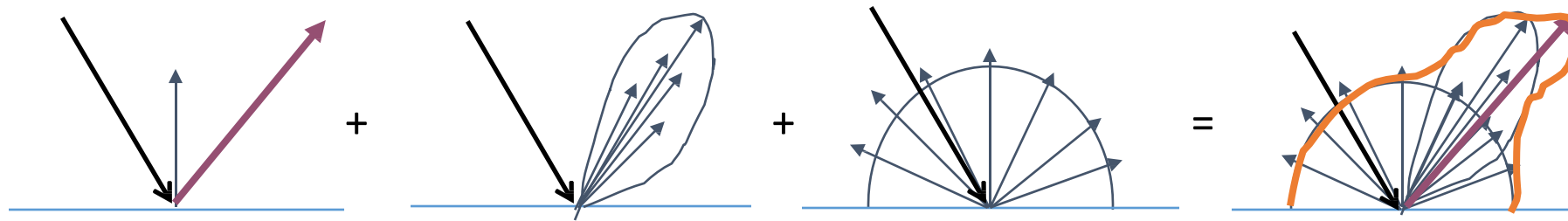
mirror



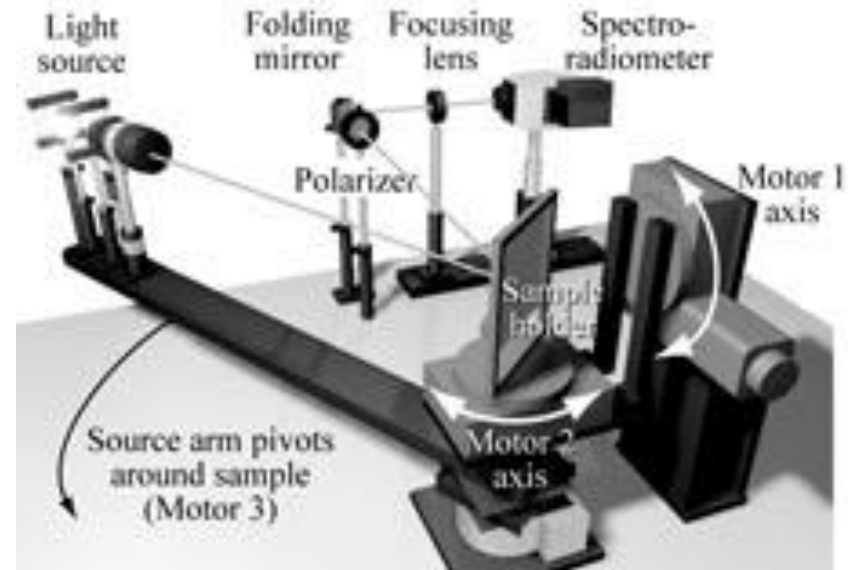
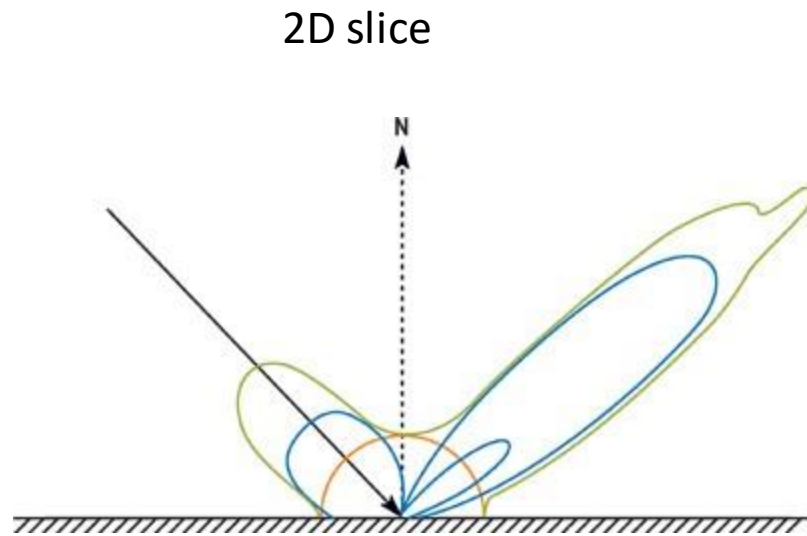
LA MODÈLE DE DISTRIBUTION DE RÉFLECTANCE

La plupart des surfaces montrent des réflectances complexes

- Elles changent avec la direction
- Représentées par une fonction appelée BRDF
 - BRDF: *Bidirectional Reflectance Distribution Function*



COMMENT VISUALISER OU MESURER UNE BRDF

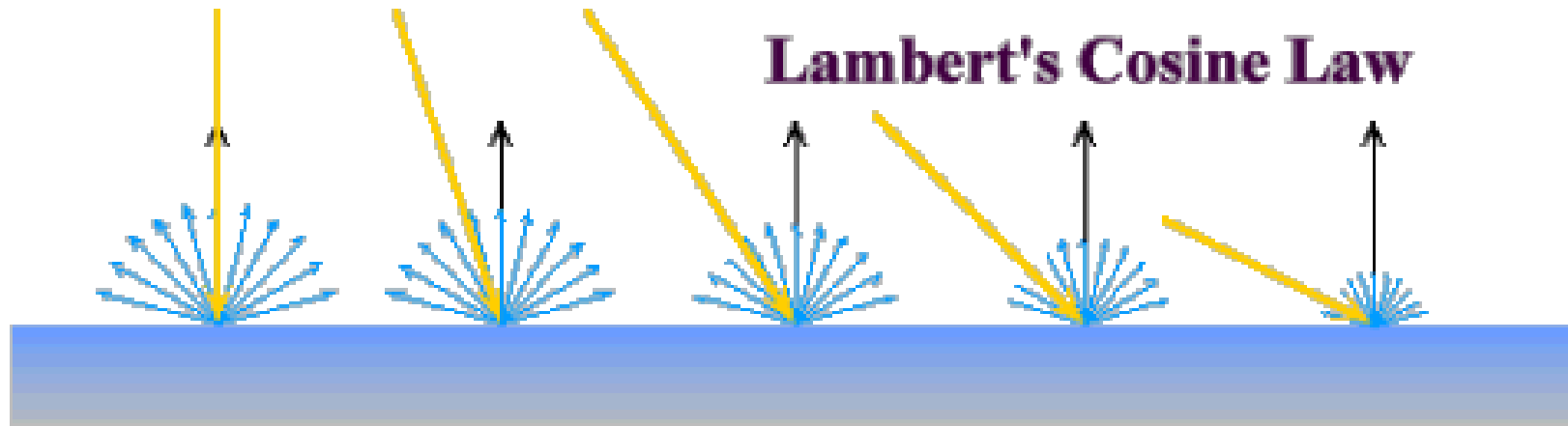


LA LUMIÈRE AMBIANTE

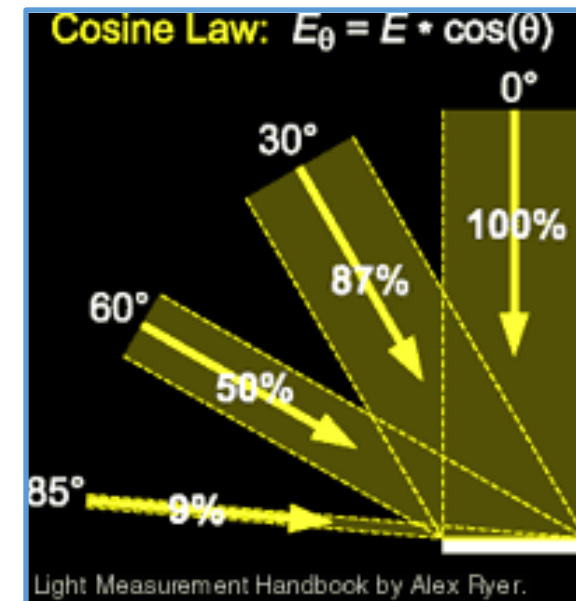
- Aucune direction
- L'objet est éclairé de partout
 - Apparaît comme une silhouette
- L'équation de l'éclairage ambiant: $I = I_a k_a$
 - I_a - l'intensité de la lumière (propriété de scène)
 - k_a - la fraction de la lumière ambiante réfléchie de la surface (propriété de la surface)



DIFFUSE (LAMBERT)



Intuitivement: l'aire d'une section transversale du rayon qui intersecte l'élément de surface est plus petite pour les angles rasants avec la normale



CALCULER LA RÉFLEXION DIFFUSE

Elle dépende de l'**angle d'incidence**: l'angle entre la normale est la direction de la lumière

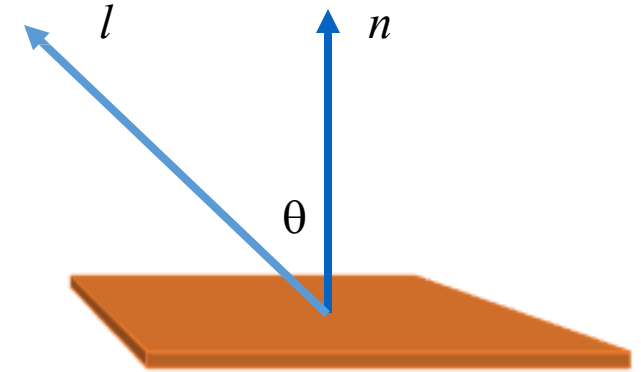
$$I_{diffuse} = k_d I_{light} \cos \theta = k_d I_{light} (n \cdot l)$$

Les variables suivantes sont de scalaires (pour les niveaux de gris) ou des triplés (la couleur)

- k_d : un coefficient diffus, la couleur de surface
- I_{light} : l'intensité lumineuse entrante
- $I_{diffuse}$: l'intensité lumineuse sortante

NB: Il faut toujours normaliser les vecteurs en *shading*

- n, l doivent avoir une longueur 1



LES EXEMPLES DU *SHADING* DIFFUSE

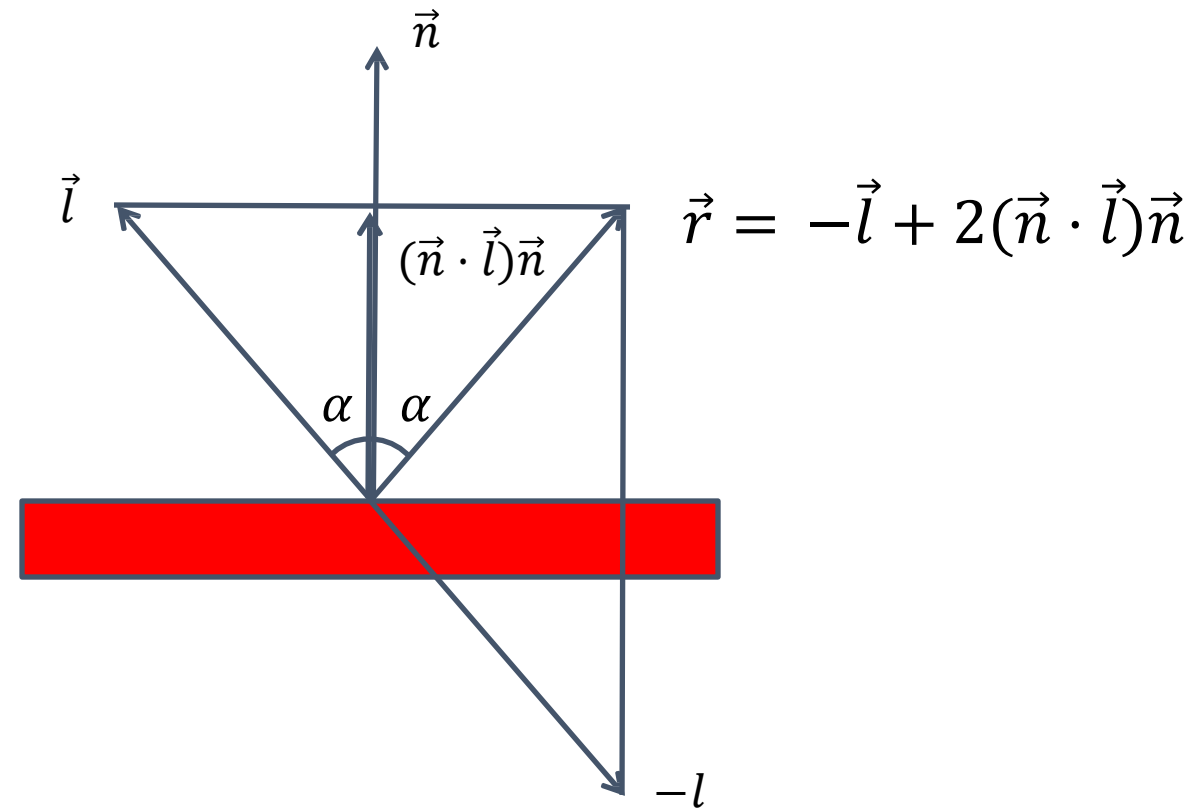
- Une sphère lambertienne sous plusieurs angles d'éclairage



- Il faut seulement considérer les angles entre 0° et 90°

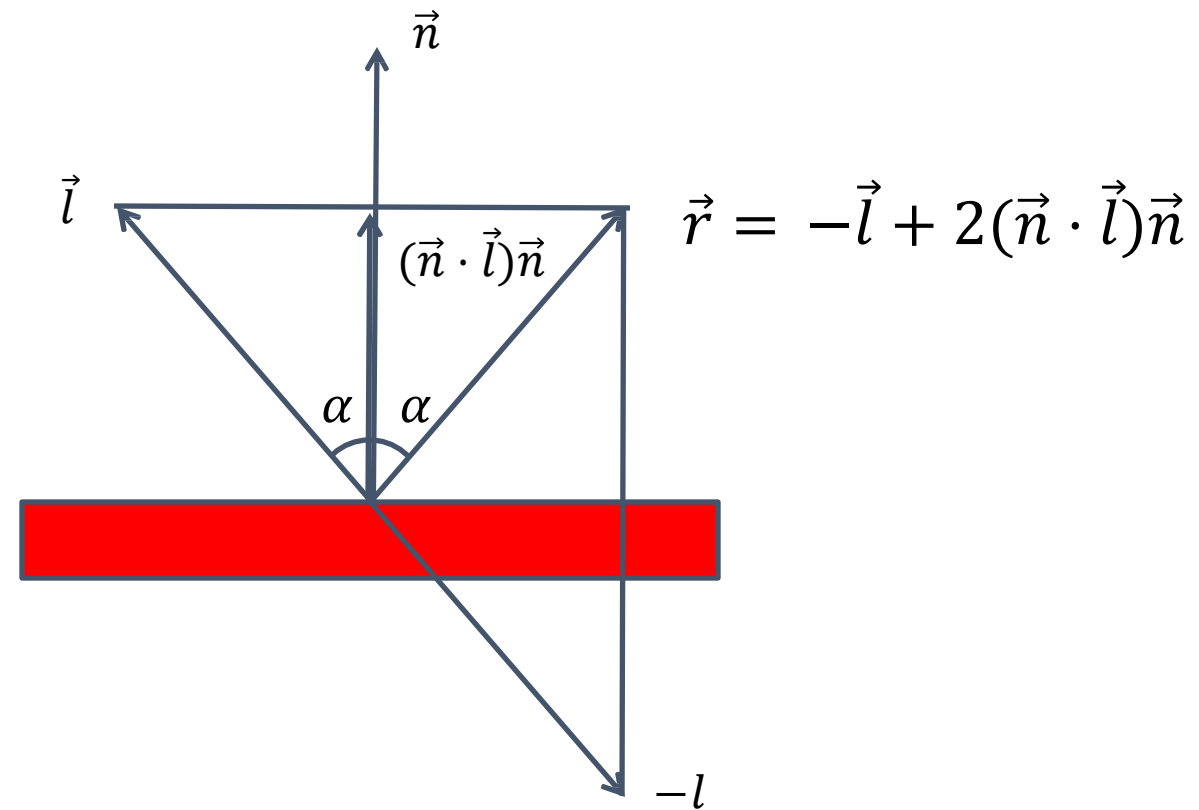
LA PHYSIQUE DE LA RÉFLEXION SPÉCULAIRE

- La géométrie de la réflexion parfaite (spéculaire)
 - La loi de Snell-Descartes



LA PHYSIQUE DE LA RÉFLEXION SPÉCULAIRE

- La géométrie de la réflexion parfaite (spéculaire)
 - La loi de Snell-Descartes
 - Dans GLSL: utiliser *reflect(-l,n)*



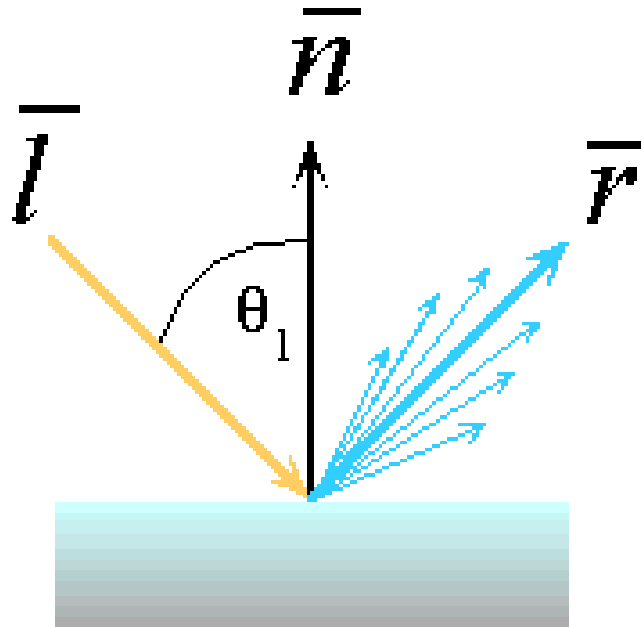
UNE APPROXIMATION EMPIRIQUE

- La loi de Snell-Descartes est pour les miroirs parfaits
 - Mais...
 - Peu de surfaces sont des miroirs parfaits
- On peut s'attendre que la plupart de la lumière soit réfléchié dans la direction de la loi de Snell-Descartes
- Certains rayons seront réfléchis dans des directions similaires, mais différentes
- Moins de lumière est réfléchié dans des directions plus loin de l'idéal



UNE APPROXIMATION EMPIRIQUE

- Une diminution angulaire



- Comment modéliser cette diminution?

SHADING DE PHONG

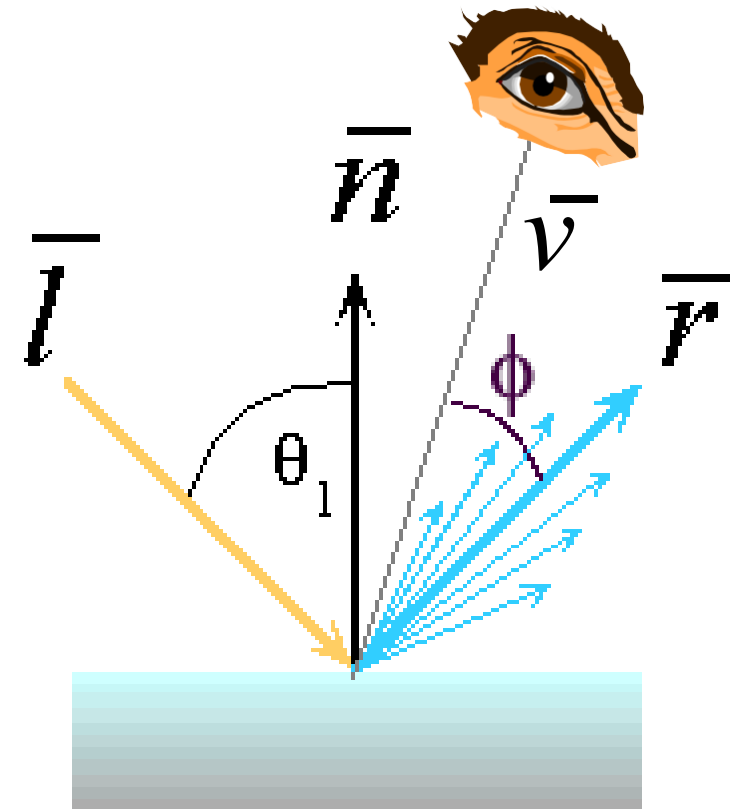
L'un des modèles les plus utilisés en l'infographie (Phong Bui-Tuong, 1975)

$$\begin{aligned} I_{\text{specular}} &= k_s I_{\text{light}} (\cos \phi)^{n_s} = \\ &= k_s I_{\text{light}} (\vec{v} \cdot \vec{r})^{n_s} \end{aligned}$$

ϕ : l'angle entre $\vec{r}$ et la direction de la vue $\vec{v}$

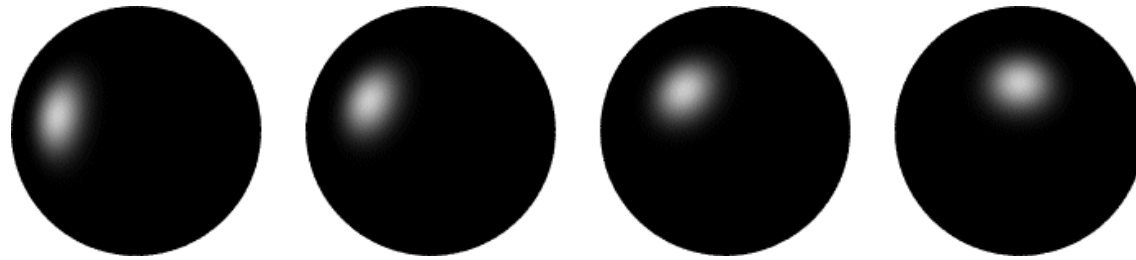
n_s - une constante, purement empirique, change un taux de la diminution

- Associée à la rugosité de la surface

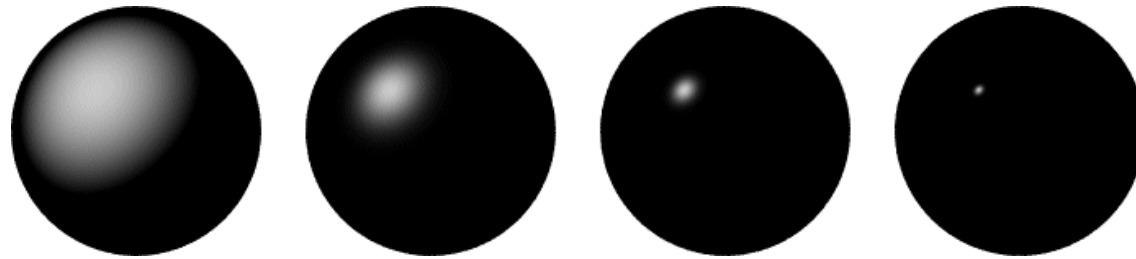


PHONG: LES EXEMPLES

Changer la position de la lumière



Changer n_s



SHADING DE PHONG

$$I_{specular} = k_s I_{light} (\cos \phi)^{n_s} = k_s I_{light} (\vec{v} \cdot \vec{r})^{n_s}$$

Si n_s est petit, on peut voir ça:



SHADING DE PHONG

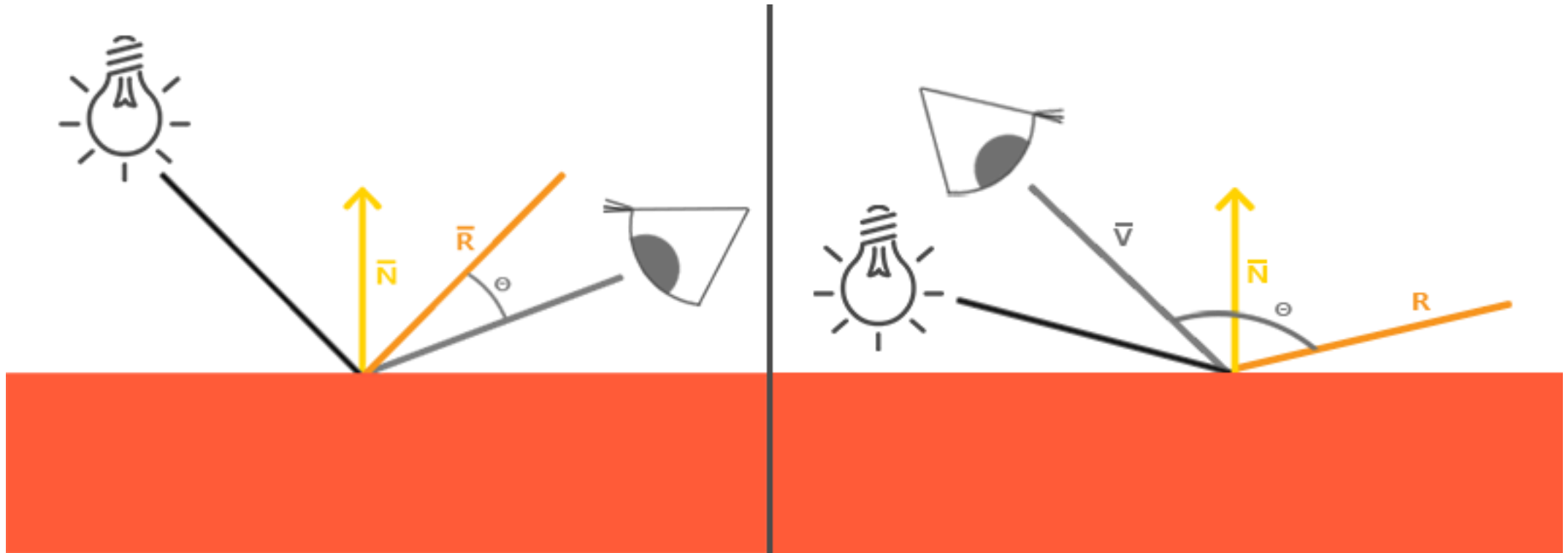
$$I_{\text{specular}} = k_s I_{\text{light}} (\cos \phi)^{n_s} = k_s I_{\text{light}} (\vec{v} \cdot \vec{r})^{n_s}$$

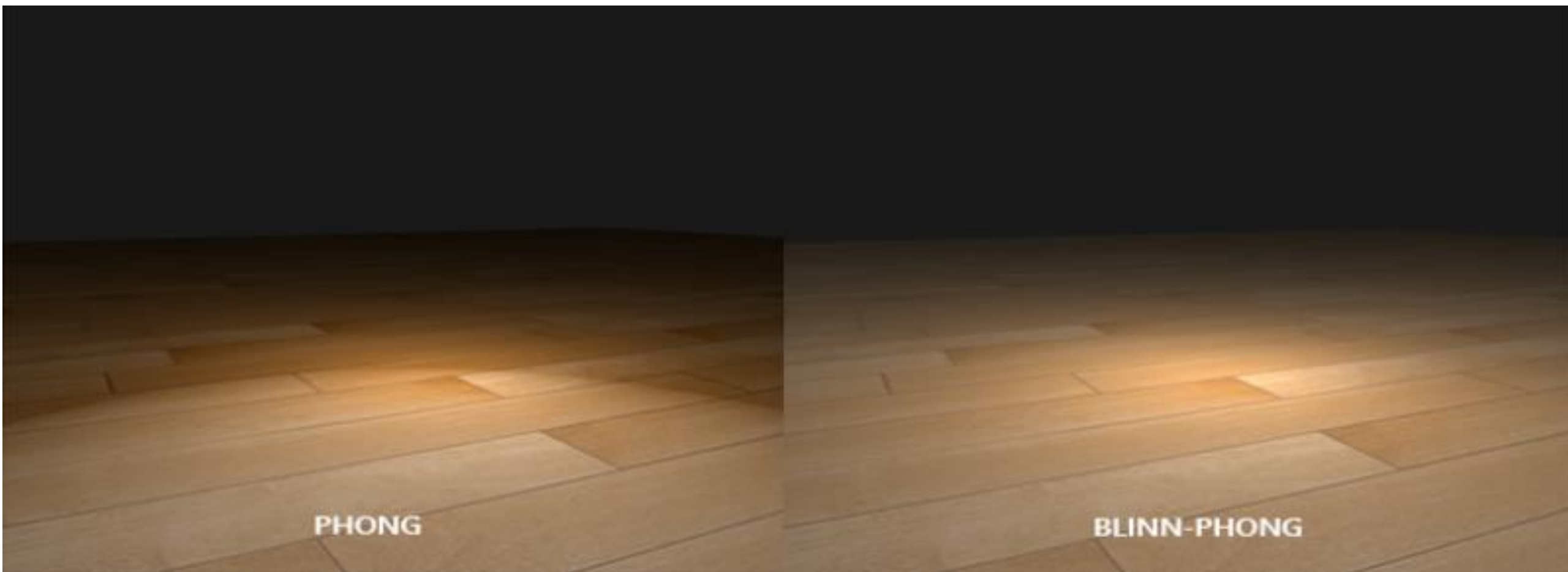
Si n_s est petit, on peut voir ça:



SHADING DE PHONG

$$I_{\text{specular}} = k_s I_{\text{light}} (\cos \phi)^{n_s} = k_s I_{\text{light}} (\vec{v} \cdot \vec{r})^{n_s}$$





<https://learnopengl.com/Advanced-Lighting/Advanced-Lighting>

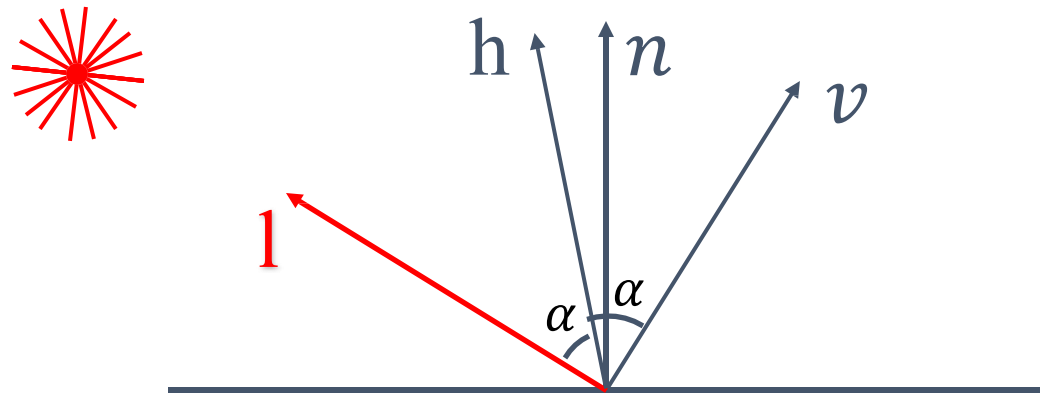
BLINN-PHONG

Un peu plus près de la physique

- Encore incorrecte
- h : un vecteur à mi-chemin; r : la rugosité

$$I_{\text{specular}} = k_s I_{\text{light}} (h \cdot n)^r$$

$$h = \frac{l+v}{\|l+v\|}$$



LES MATERIAUX

- Les contributions des lumières peuvent être ajoutées
 - Si un point est éclairé par plusieurs rayons, le résultat est une somme des contributions

$$\sum_p I_p (k_d (n \cdot l) + k_s (r_p \cdot v)^n)$$

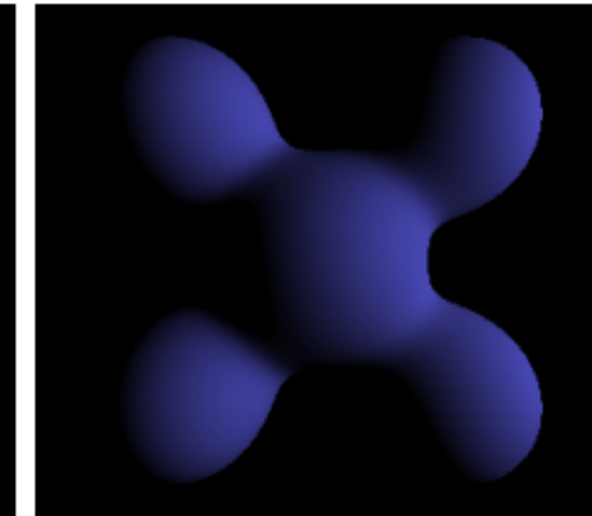
L'ÉQUATION D'ÉCLAIRAGE (PHONG)

- Si on ajoute la composante de la lumière ambiante:

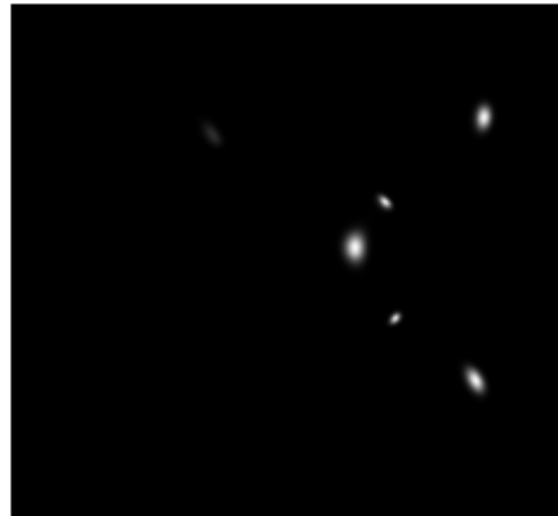
$$I_a k_a + \sum_p I_p (k_d (n \cdot l_p) + k_s (r_p \cdot v)^n)$$



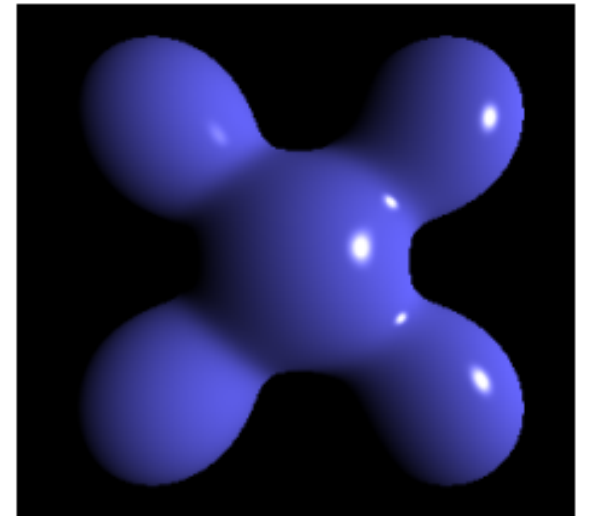
Ambient



Diffuse



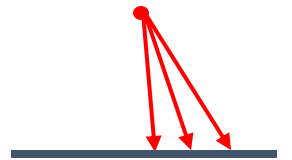
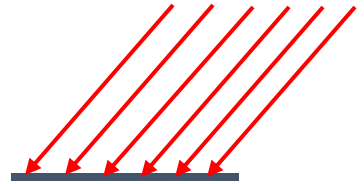
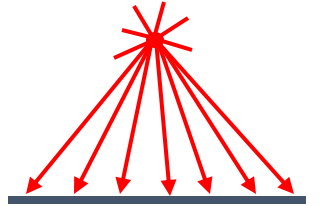
Specular



= Phong Reflection

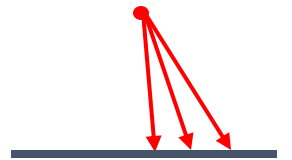
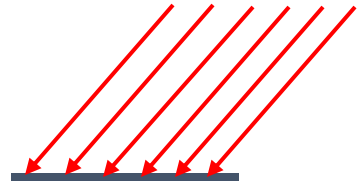
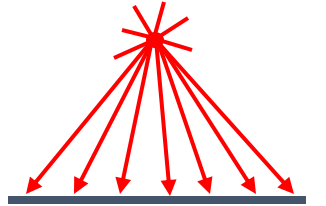
LES TYPES DE SOURCES DE LUMIÈRE

- Lumière ponctuelle
 - La lumière provient d'un point
- Lumière directionnelle (=la lumière ponctuelle à l'infinité)
 - Les rayons sont parallèles
 - Les rayons frappent la surface au même angle
- Lumière ponctuelle de type *spotlight*
 - Une lumière ponctuelle mais avec des angles limités



LES TYPES DE SOURCES DE LUMIÈRE

- Lumière ponctuelle
 - La lumière provient d'un point
 - définie par la position seulement
- Lumière directionnelle (=la lumière ponctuelle à l'infinité)
 - Les rayons sont parallèles
 - Les rayons frappent la surface au même angle
 - définie par la direction seulement
- Lumière ponctuelle de type *spotlight*
 - Une lumière ponctuelle mais avec des angles limités
 - définie par la position, la direction et l'intervalle des angles

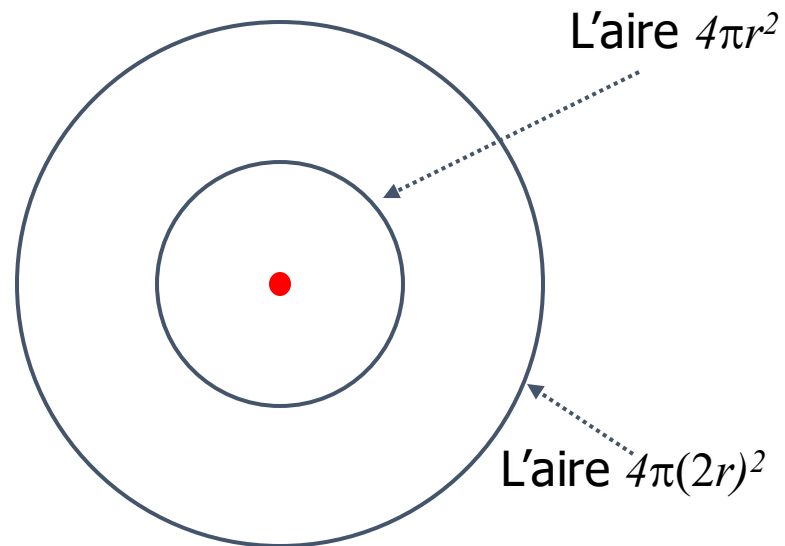


QUELS LUMIÈRES ET MATERIAUX SONT UTILISÉS ICI?



LUMIÈRE PONCTUELLE

- L'intensité émise par un point de lumière est égale sur chaque dA perpendiculaire
 - À une distance fixe du point
- Un élément sur cette surface recevra $\frac{dA}{4\pi r^2}$ de l'intensité du point de lumière



L'ÉQUATION DE L'ÉCLAIRAGE AVEC L'ATTÉNUATION

- Pour plusieurs sources de lumière:

$$I = I_a k_a + \sum_p \frac{I_p}{A(d_p)} (k_d (n \cdot l_p) + k_s (r_p \cdot v)^n)$$

- d_p est la distance de la surface à la source de lumière, A est la fonction de l'atténuation



LUMIÈRES

- La lumière a une couleur
- Elle interagit avec la couleur de la surface (r, g, b)

$$I = I_a \odot k_a$$

- La lumière bleue sur la surface blanche?
- La lumière bleue sur la surface rouge?

LUMIÈRES

- La lumière a une couleur
- Elle interagit avec la couleur de la surface (r, g, b)

$$I = I_a \odot k_a$$

Produit de Hadamard

$$I_a = (I_{ar}, I_{ag}, I_{ab})$$

$$k_a = (k_{ar}, k_{ag}, k_{ab})$$

$$I = (I_r, I_g, I_b) = (I_{ar}k_{ar}, I_{ag}k_{ag}, I_{ab}k_{ab})$$

- La lumière bleue sur la surface blanche?
- La lumière bleue sur la surface rouge?

DÉFINIR LES COULEURS

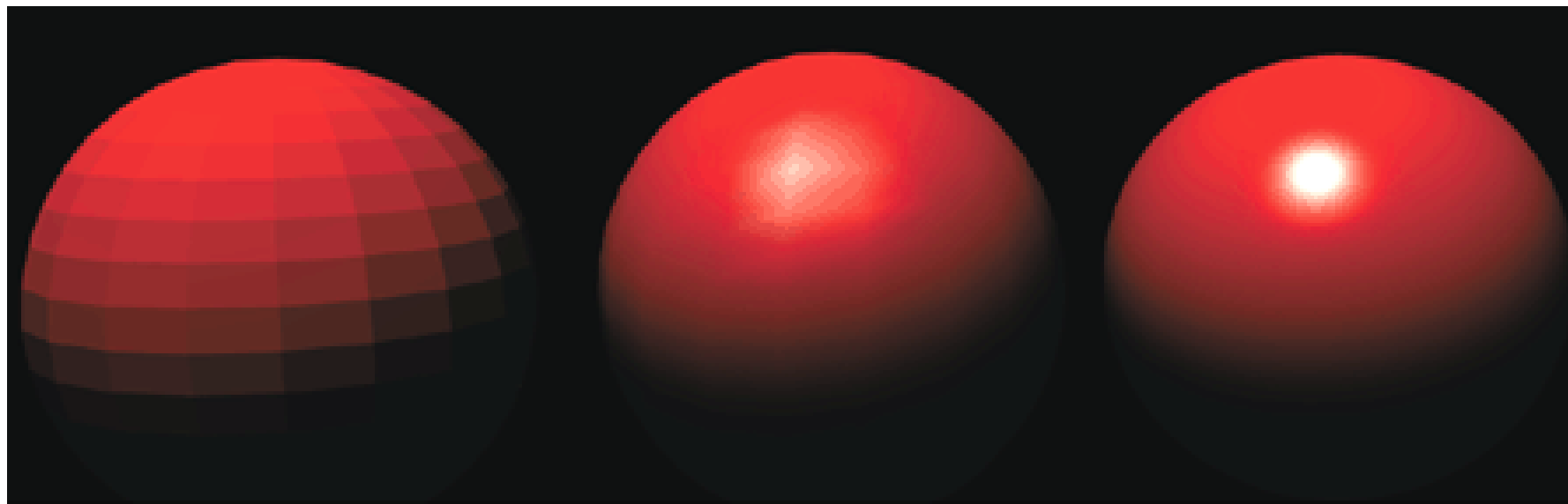
- La lumière: une quantité de la lumière émise
Chaque valeur est l'intensité pour un canal, e.g., (1.0,0.5,0.5)
- Les matériaux: une quantité de la lumière réfléchie
Chaque valeur est un pourcentage de la lumière réfléchie, e.g., (0.0,1.0,0.5)
- L'interaction: multiplier les composants
Lumière **rouge** (1,0,0) $\odot$ la surface **verte** (0,1,0) = noir (0,0,0)

QUAND UTILISER UN MODÈLE D'ÉCLAIRAGE?

Par polygone
“l’ombrage plat”

Par sommet
“l’ombrage de
Gouraud”

Par pixel/fragment
“per pixel lighting”
“l’ombrage de Phong”



Flat

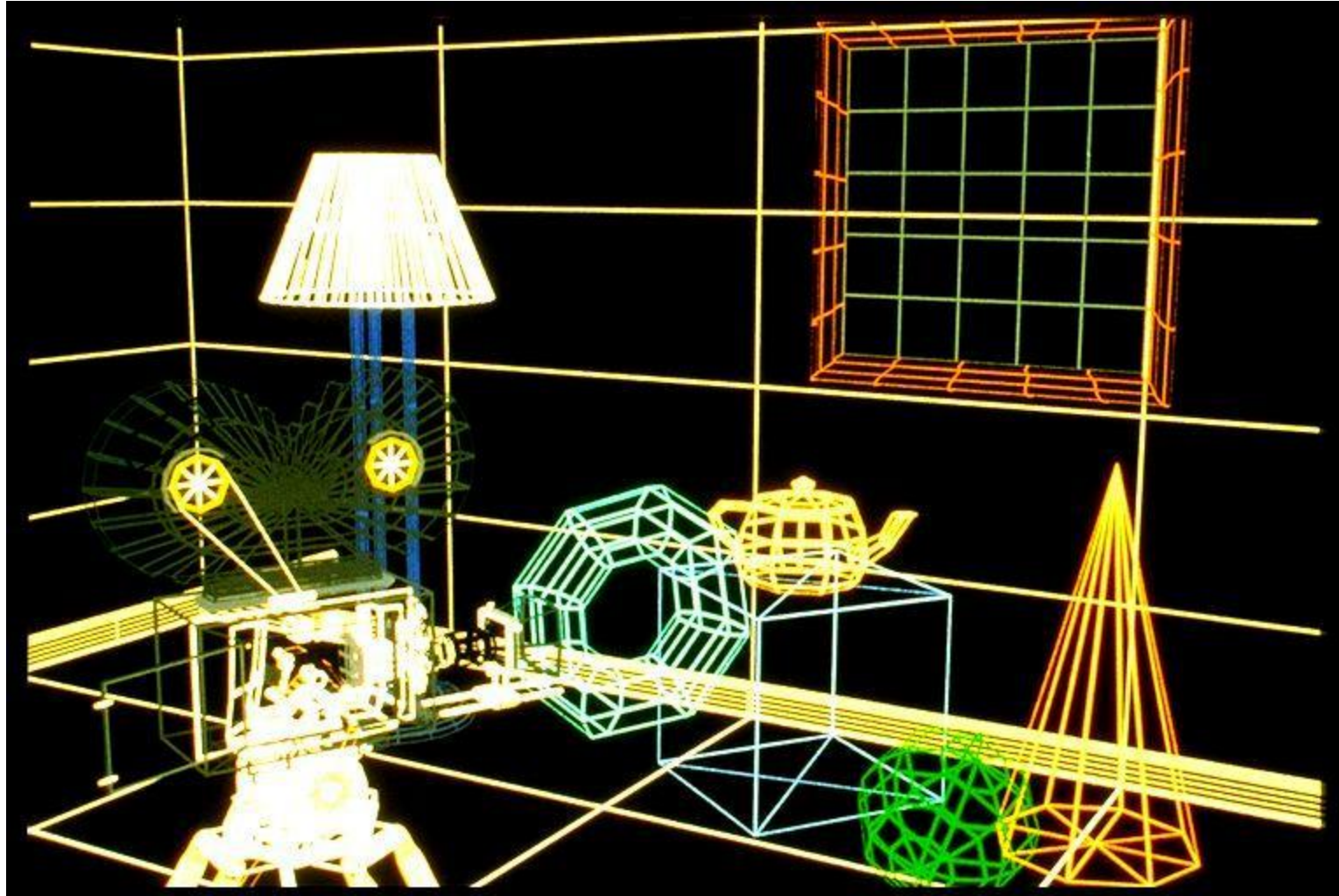
Gouraud

Phong

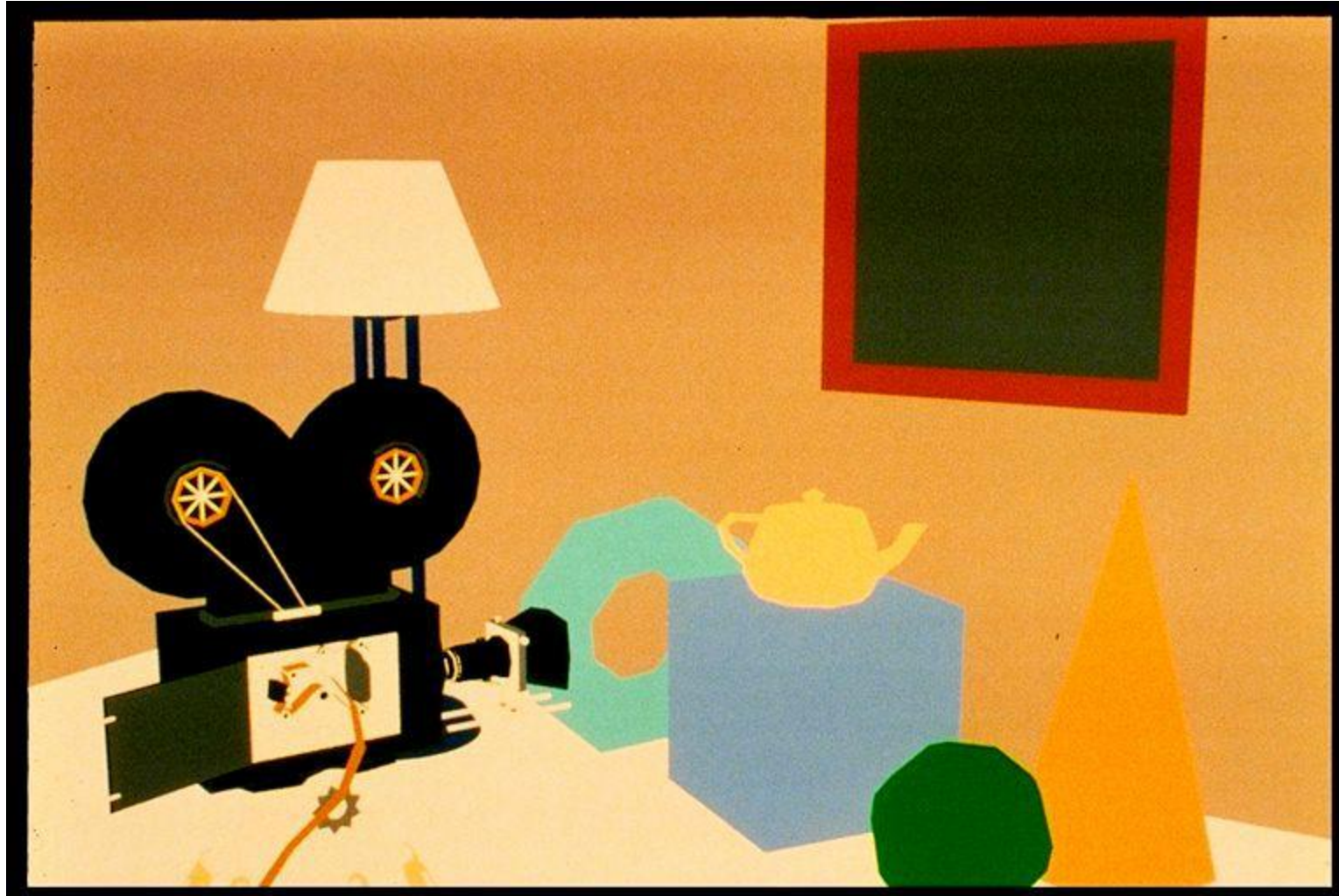
REMARQUES SUR *SHADING*

- Pour calculer, nous avons besoin du système des coordonnées
- Souvent c'est le système des coordonnées de la vue (*View Coordinate System*)
- On doit avoir
 - Les coordonnées des sommets
 - Les normales
 - Les positions et direction des lumières

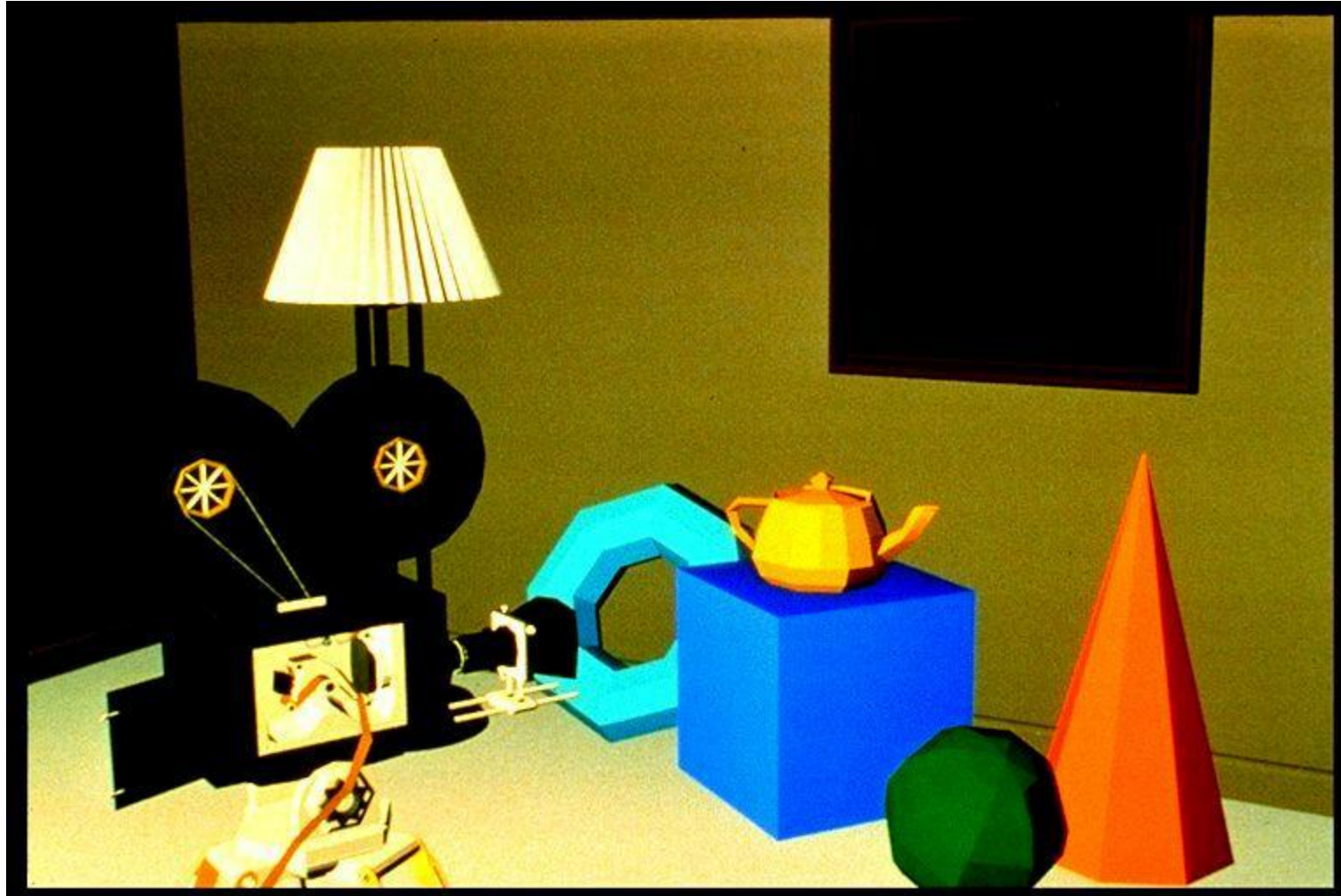
EN FILS DE FER COLORÉS



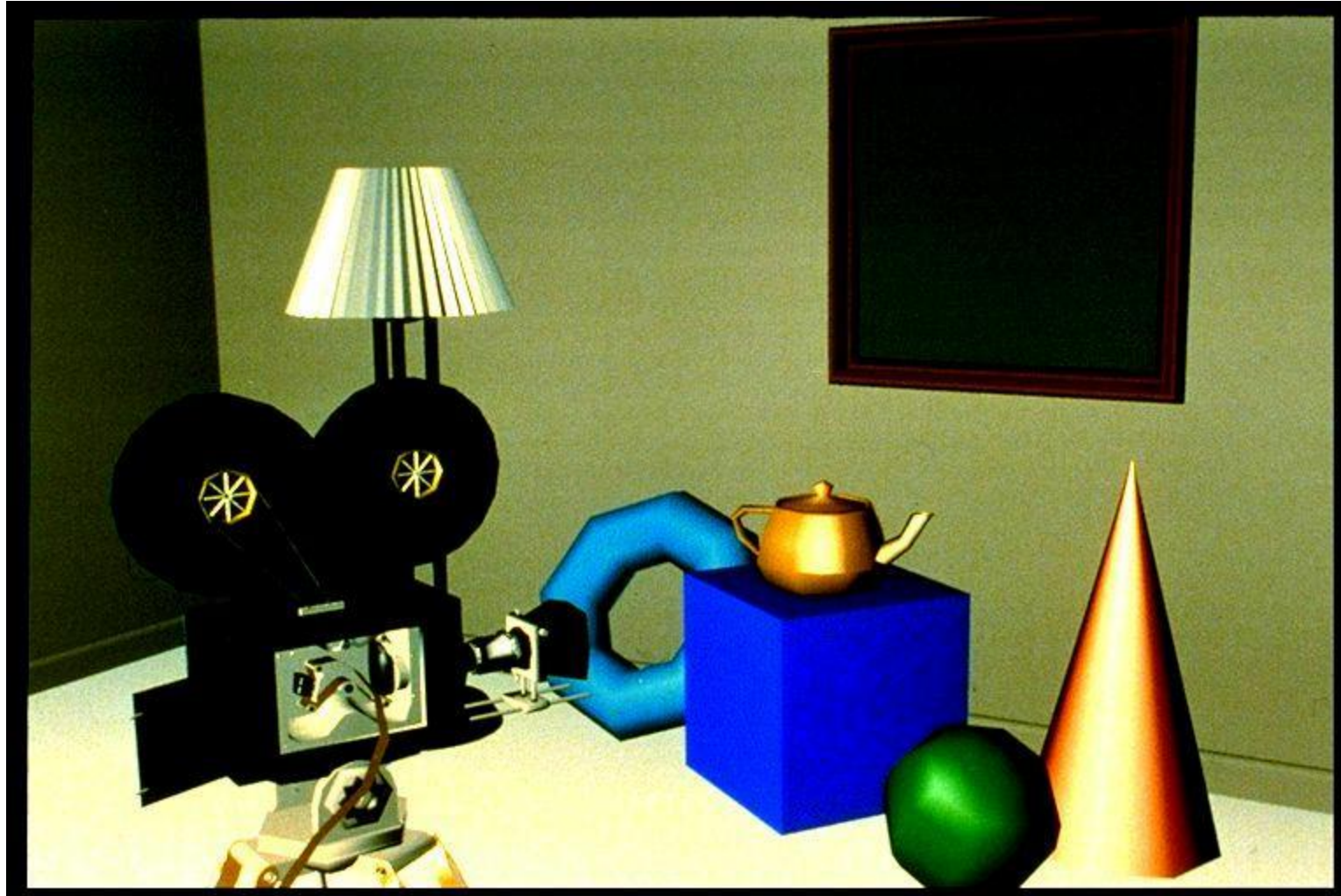
L'ÉCLAIRAGE AMBIANT



L'OMBRAJE PAR POLYGONE



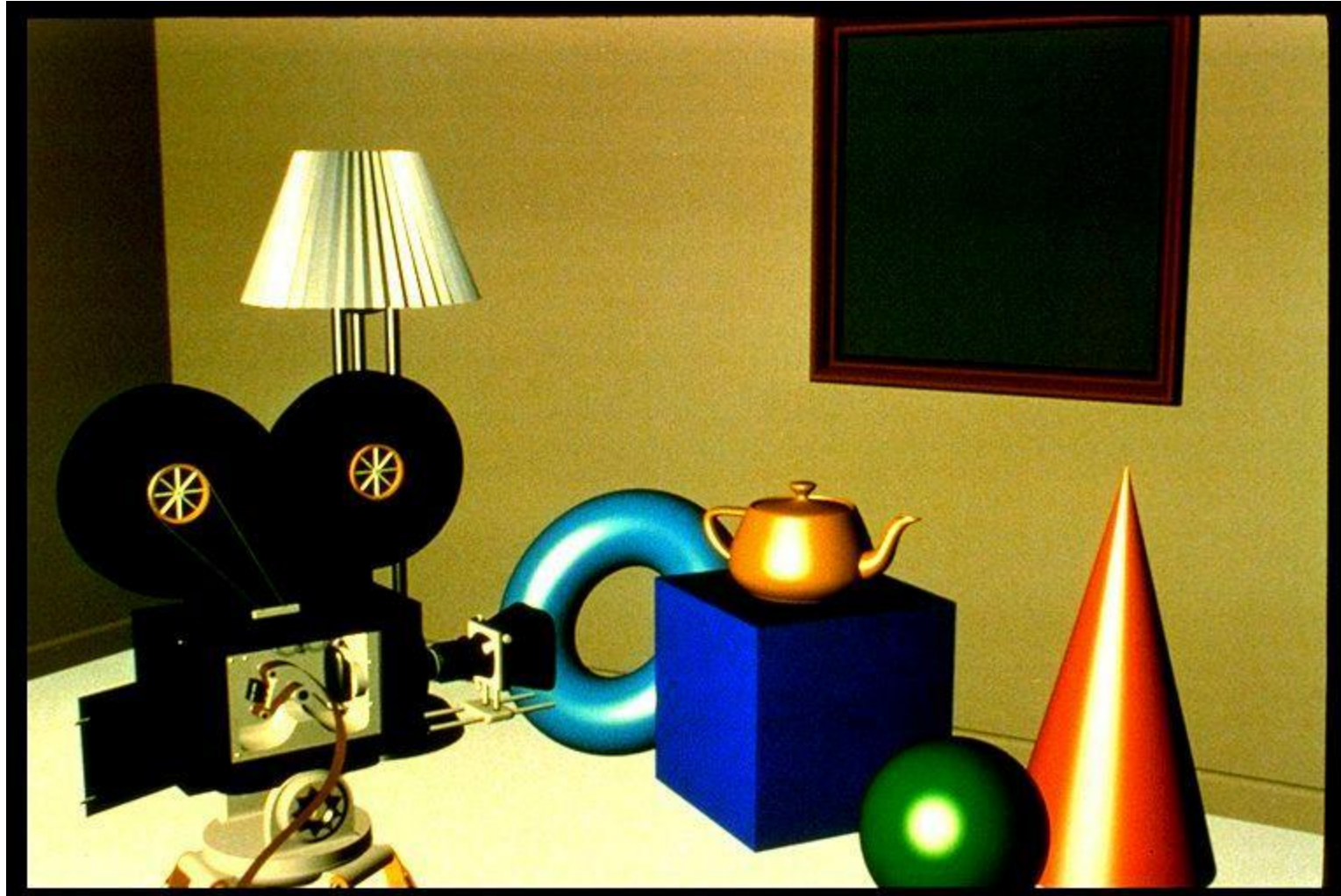
L'OMBRAJE PAR SOMMET



L'OMBRAJE PAR PIXEL



PLUS DE POLYGONES



L'ÉCLAIRAGE PLUS COMPLEXE



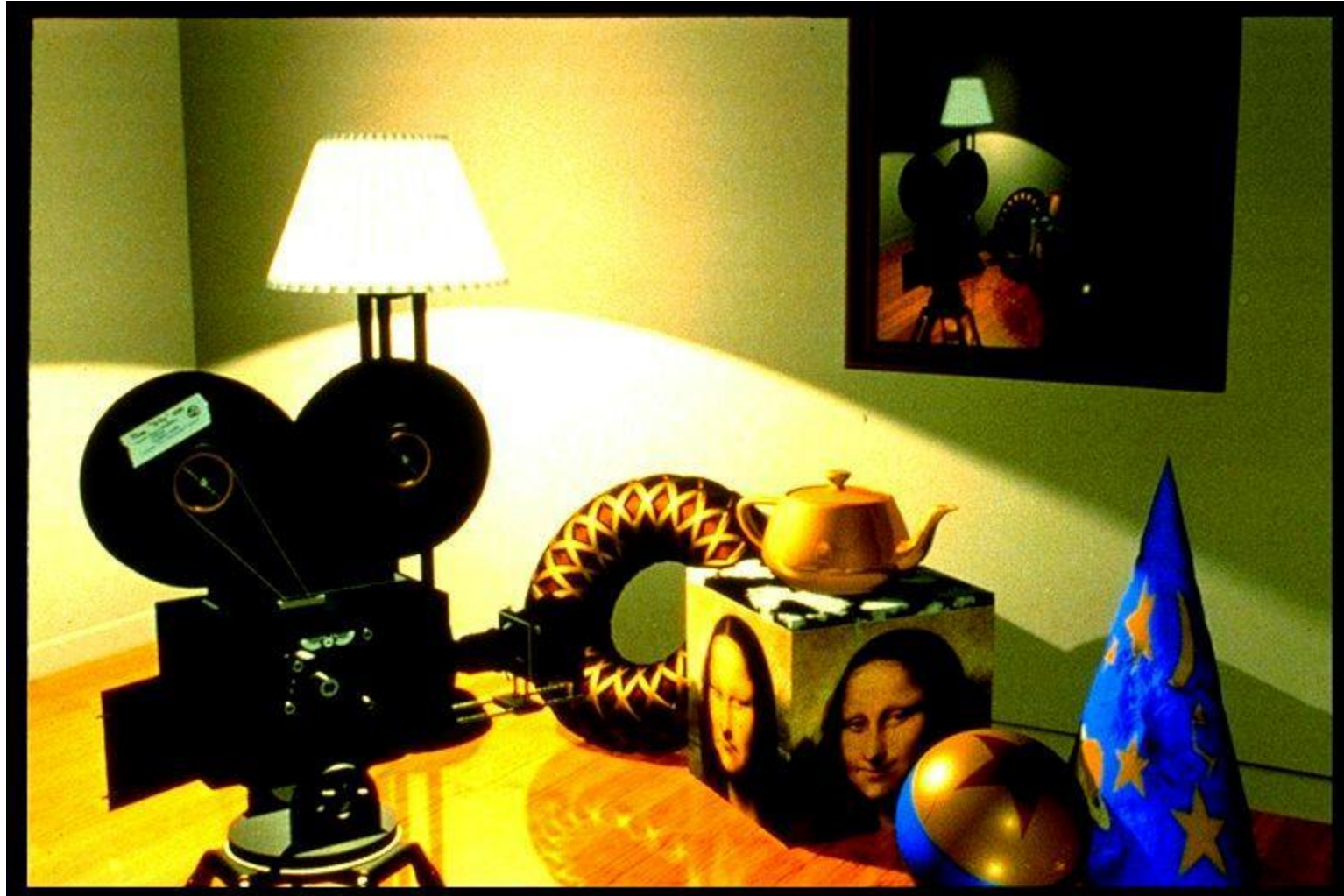
TEXTURE MAPPING



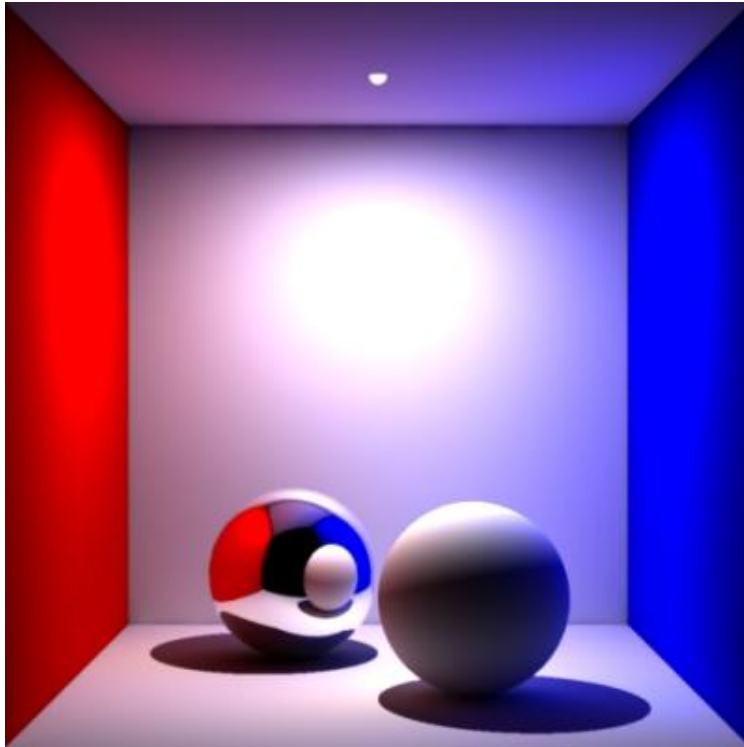
DISPLACEMENT MAPPING



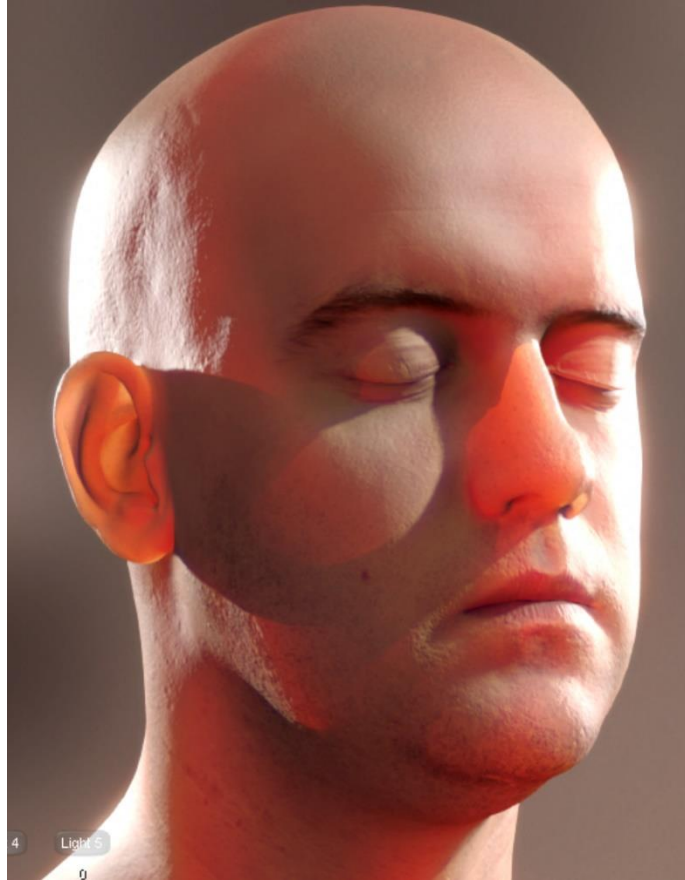
MAPPING DE RÉFLÉXION



L'ÉCLAIRAGE GLOBAL



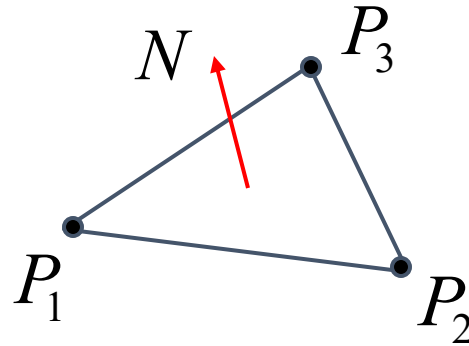
LA DIFFUSION SOUS-SURFACIQUE



TRANSFORMER
LES NORMALES

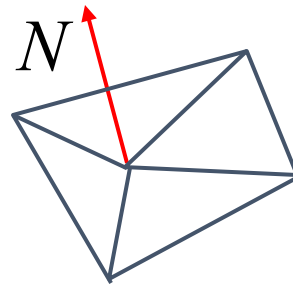
CALCULER LES NORMALES

Un polygone:

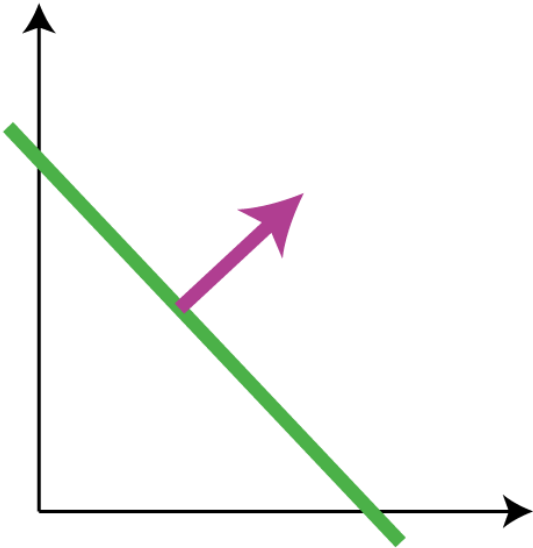


$$N = \frac{(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)}{\|(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)\|}$$

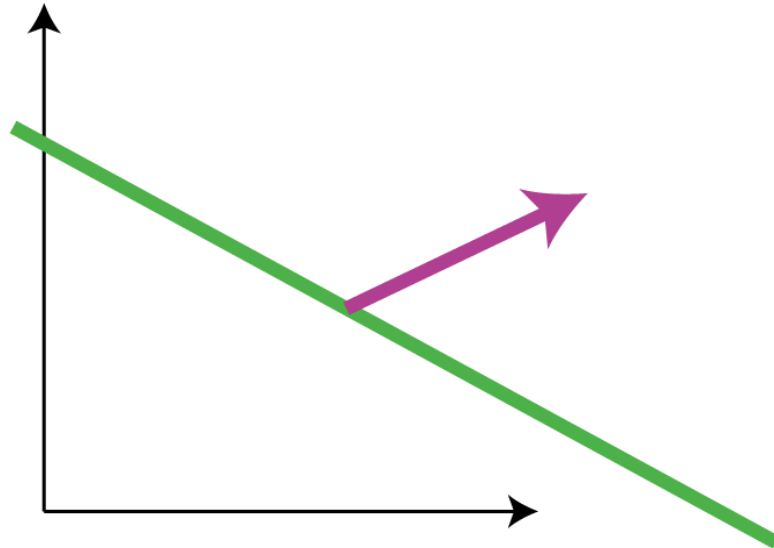
Présumer que les sommets sont triés dans le sens antihoraire vu du côté visible



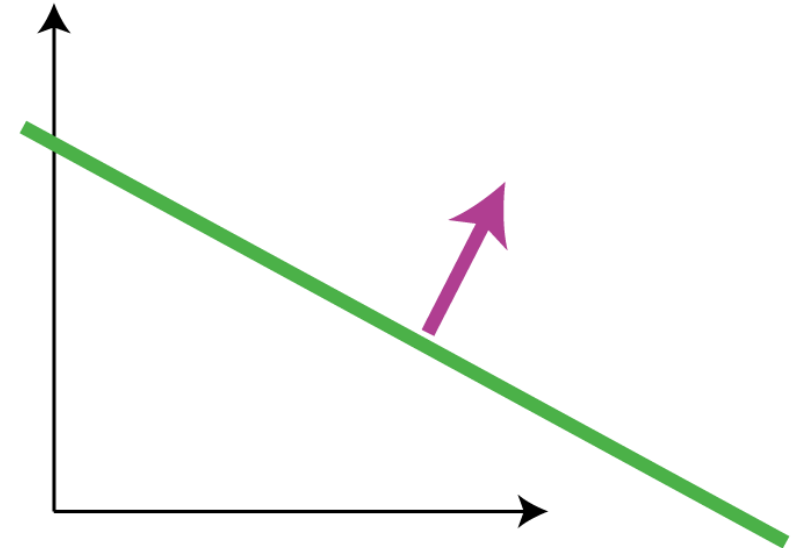
TRANSFORMER LES NORMALES



Une ligne + une normale



Les deux transformées par la même
matrice



La ligne transformée
+ la bonne normale

TRANSFORMER LES NORMALES

- Il faut utiliser les différentes matrices pour les positions et les normales
- Qu'est-ce qu'une normale?
 - **Un vecteur perpendiculaire à la surface**
- Mais est-ce que les transformations affines préservent l'orthogonalité?
 - Ou les angles en général?

PREMIÈREMENT

- Le produit scalaire: $a \cdot b$
- La notation matricielle: $a^T b$
 - Tous les deux ***a*** et ***b*** sont colonnes

LES PLANS ET LES NORMALES

Un plan avec la normale $\mathbf{n}$ et deux points sur le plan: P_1, P_2

$$\mathbf{n} \cdot (P_1 - P_2) = 0$$

LES PLANS ET LES NORMALES

Un plan avec la normale $\mathbf{n}$ et deux points sur le plan: P_1, P_2

$$\mathbf{n} \cdot (P_1 - P_2) = 0$$

De manière équivalente:

$$\mathbf{n}^T M^{-1} M (P_1 - P_2) = 0$$

LES PLANS ET LES NORMALES

Un plan avec la normale $\mathbf{n}$ et deux points sur le plan: P_1, P_2

$$\mathbf{n} \cdot (P_1 - P_2) = 0$$

De manière équivalente:

$$\mathbf{n}^T M^{-1} M (P_1 - P_2) = 0$$

Après la transformation M :

$$(\mathbf{n}')^T (MP_1 - MP_2) = 0$$

LES PLANS ET LES NORMALES

Un plan avec la normale $\mathbf{n}$ et deux points sur le plan: P_1, P_2

$$\mathbf{n} \cdot (P_1 - P_2) = 0$$

De manière équivalente:

$$\mathbf{n}^T M^{-1} M(P_1 - P_2) = 0$$

Après la transformation M :

$$(\mathbf{n}')^T (MP_1 - MP_2) = 0$$

Enfin,

$$\begin{aligned} \mathbf{n}^T M^{-1} &= (\mathbf{n}')^T \\ \mathbf{n}' &= (M^{-1})^T \mathbf{n} \end{aligned}$$

TRANSFORMER LES NORMALES

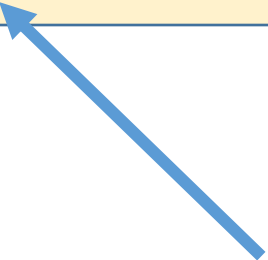
$$n' = (M^{-1})^T n$$

Les normales sont
transformées par **l'inverse**
transposée

EN THREE.JS

- Dans le *vertex shader*:

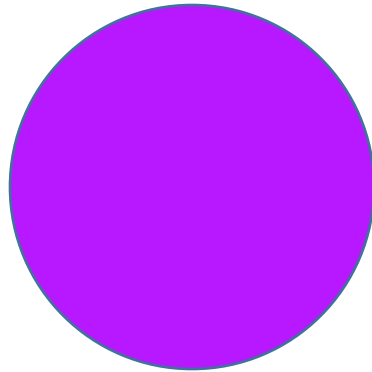
```
pointInVCS = modelViewMatrix * vec4(position, 1.0);  
normalInVCS = normalMatrix * normal;
```



L'inverse transposée
de la modelViewMatrix

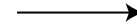
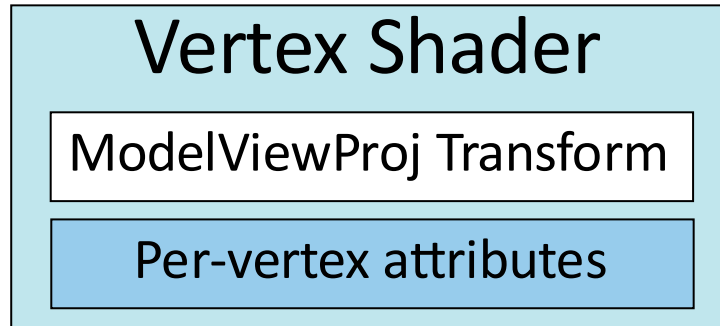
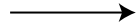
PROBLÈMES

(tableau noir ou blanc)



PIPELINE: PLUS DE DÉTAILS

Sommets
et attributs

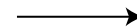
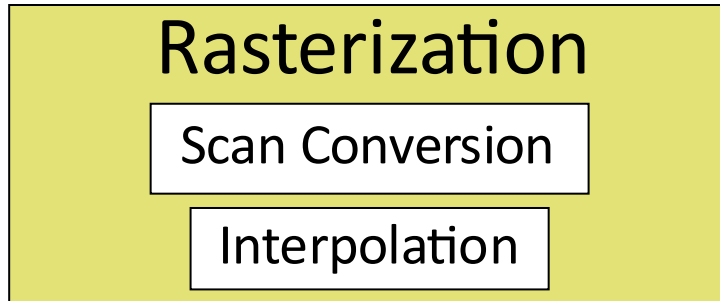
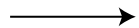
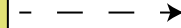


Traitement de sommets

Vertex Post-Processing

Viewport Transform

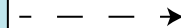
Clipping



Fragment Shader

Texturing/...

Lighting/shading

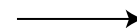


Opérations par échantillon

Per-Sample Operations

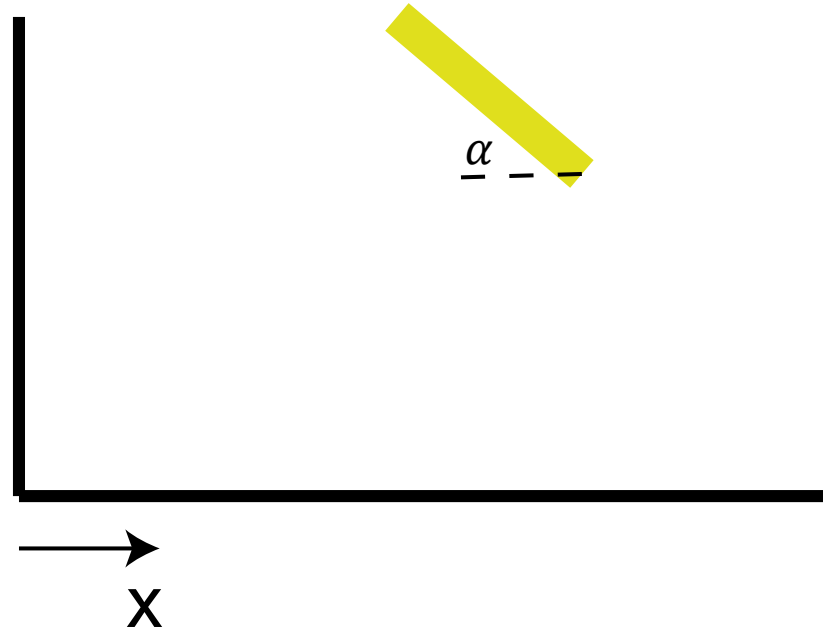
Depth Test

Blending



Framebuffer

BONUS 2



Jaune: lumière mince (de zone), de l'intensité 1, longueur L , $x(\text{centre}) = A$.

Noir: deux plans infinis, lambertiens, blancs.

Exprimez la couleur de chaque point sur le plan horizontal tant que la fonction de x (le plan vertical est $x=0$).