

# 1 Modèle de Phong (1975)

Phong est un modèle BRDF historique, c'est un modèle très populaire dans les jeux et très souvent utilisé par les API graphiques OpenGL et DirectX.

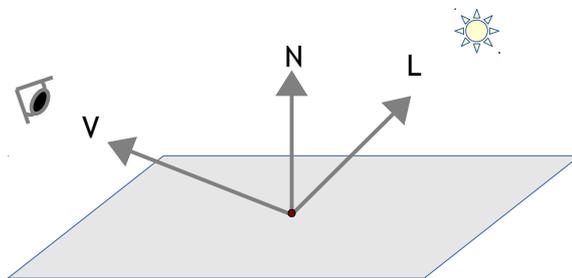
Dans ce modèle, la lumière est décomposée en 3 composantes :

- ✓ Couleur RVB Ambiante
- ✓ Couleur RVB Diffuse
- ✓ Couleur RVB Spéculaire

Nous allons étudier dans les sections suivantes comment calculer chaque composantes. La couleur RVB finale de la lumière sera la somme de ses trois composantes :

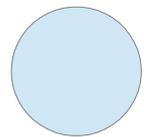
$$f(\vec{L}, \vec{V}) = \text{ambient} + \text{diffus} + \text{speculaire}$$

Dorénavant nous prendrons  $\vec{L}$  pour désigner la direction de la lumière  $\vec{V}$  pour la direction du regard et  $\vec{N}$  pour la normale à la surface :



## 1.1 Illumination ambiante

C'est le modèle le plus simple que l'on puisse imaginer. Chaque objet est colorié uniformément avec une couleur de base. Pas besoin de sources de lumière extérieure et donc pas d'ombrage sur les différentes parties de l'objet. Seul une silhouette apparaît d'une couleur uniforme.



Une sphère en illumination ambiante apparaît comme un disque

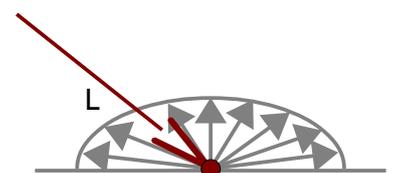
$$I = I_a k_a : \text{intensité intrinsèque de l'objet } i.$$

- ✓  $I_a$  Intensité/couleur de la lumière ambiante identique pour tous les objets (et généralement identique en tout point de l'espace de la scène).
- ✓  $k_a$  Coefficient de réflexion de la lumière ambiante pour l'objet considéré (entre 0 et 100%) : ce coefficient caractérise le matériau ambiant de l'objet.

**N.B :** Ce modèle a de peu d'intérêt mais tente de rendre compte de tous les chemins complexes par lesquels un objet est atteint par la lumière et qui ne sont pas pris en compte dans le modèle d'illumination directe. Par ailleurs,  $k_a$  ne correspond directement à aucune réalité physique de l'objet.

## 1.2 Réflexion Lambertienne ou diffuse

La diffusion est régie dans son approche la plus simple par la loi de Lambert : une surface diffuse de façon uniforme dans tout l'espace. La réflexion diffuse est caractéristique des matériaux tels que le papier, le plâtre, les poudres, les pierres granitiques... Avec ce modèle l'aspect d'un point de la surface :



Diffusion lambertienne : diffusion uniforme selon le point d'impact

- ✓ Dépend de l'angle de la source de lumière.
- ✓ ne dépend pas de la position de l'observateur : réflexion diffuse (la lumière est réfléchiée avec la même intensité dans toutes les directions : surfaces mates).

Modèle de l'équation d'illumination diffuse :

$$I = I * k_d \cos(\theta) = I * k_d (\vec{N} \cdot \vec{L})$$

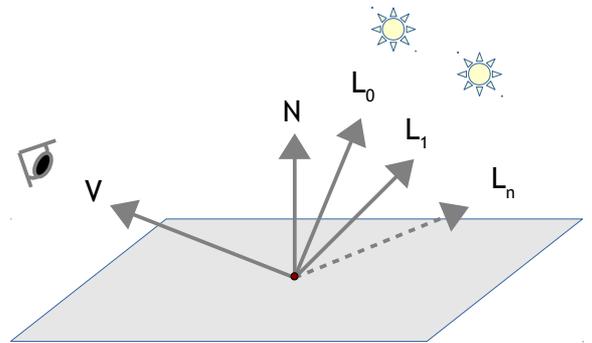
- ✓  $I$  : intensité de la source de lumière.
- ✓  $k_d$  : coefficient (pourcentage) de réflexion diffuse, dépend du matériau.
- ✓  $\theta$  Doit être compris entre 0 et 90° pour être éclairé par la source considérée. On peut le calculer par produit scalaire entre  $\vec{N}$  et  $\vec{L}$

### 1.3 Amélioration du modèle de réflexion Lambertienne

Bien que relativement simple, ce modèle tient compte de l'intensité ambiante et des différentes sources de lumière. On peut améliorer le modèle d'illumination ambiante présentée plus haut avec ce terme de diffusion Lambertienne (pour une source) :

$$I = I_a k_a + I * k_d (\vec{N} \cdot \vec{L})$$

Ce qui nous donne pour plusieurs sources de lumière :  
si  $\vec{N}$  est le vecteur normal au point d'impact,  $\vec{L}_i$  le vecteur partant de ce point d'impact vers la source  $i$ ,  $I_i$  la couleur de cette source.



$$I = I_a k_a + \sum_i^{\text{lumières}} I_i * k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}_i)$$

Les vecteurs sont normés afin d'obtenir  $\cos(\theta)$  pour le produit scalaire

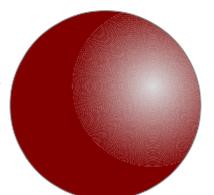
Avec ce modèle, on obtient bien un dégradé de couleur selon l'angle entre  $L_i$  et la normale, on tient compte des différentes sources lumineuses, mais hélas, l'éclaircissement ne change pas en fonction du point de vue de l'observateur ce qui est une restriction importante par rapport à la réalité.

Ce modèle doit encore être détaillé pour tenir compte du fait que nous avons des couleurs sur trois composantes. Dans l'équation :  $I = I_a k_a + I_{source} * k_d (\vec{N} \cdot \vec{L})$

- ✓  $I$  a naturellement trois composantes R, V, B
- ✓  $I_a$ ,  $k_a$ ,  $k_d$  et  $I_{source}$  ont également trois composantes R, V, B.

### 1.4 Modèle d'illumination de Phong : prise en compte de la spécularité

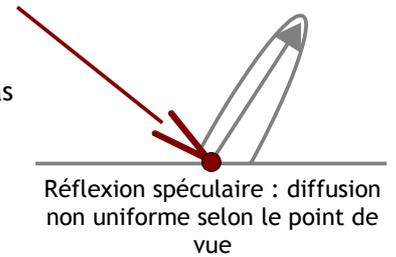
Phong améliora ce modèle en 1975 lorsqu'il introduisit un terme correctif pour tenir compte du fait que, pour certains matériaux, l'illumination change en fonction de la position de l'observateur pour des surfaces "brillantes", comme le plastique, une pomme, la surface de l'eau sous la lune..., qui présentent un aspect non pris en compte dans les modèles précédents lorsqu'elles sont éclairées par



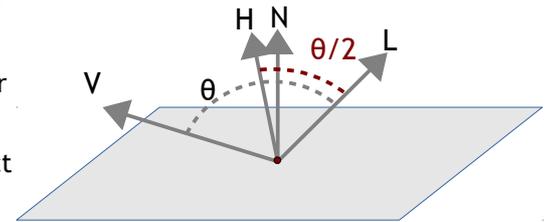
une lumière relativement forte : il s'agit de la réflexion spéculaire de cette source de lumière qui apparaît comme une tache brillante à la surface de l'objet et qui traduit dans, une certaine mesure, le rebond "élastique" des photons sur un atome qui n'a pas pu l'absorber et le réémettre par excitation.

Elle est caractérisée par :

- ✓ le fait qu'elle est de la couleur de la source et non de l'objet,
- ✓ le fait qu'elle se déplace à la surface de l'objet lorsque l'observateur se déplace, c'est la réflexion de la lumière. Une surface spéculaire parfaite est un miroir.



On utilise un vecteur supplémentaire  $\vec{H}$  défini comme la bissectrice du vecteur  $\vec{L}_i$  et d'un vecteur directeur incident (venant de l'œil par exemple). Tous deux sont normés,  $\vec{H}$  marque donc la moitié du secteur angulaire. On considère aussi un coefficient photométrique  $n$  caractéristique du matériau utilisé et qui a une forte influence sur l'aspect général de l'objet.



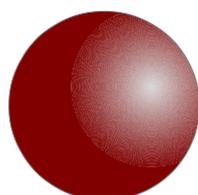
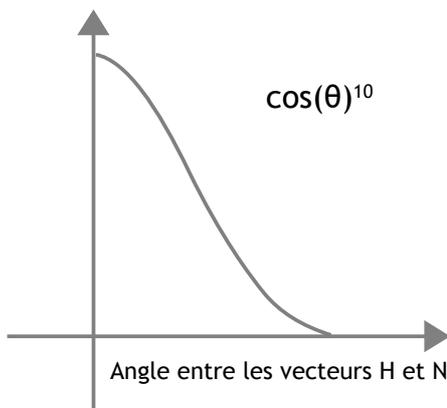
Si  $\vec{H} = \vec{N}$ , cela veut dire que l'œil se trouve exactement sur la trajectoire de la réflexion de la source et donc que l'intensité spéculaire est maximale. Ce qui nous donne le modèle suivant :

$$f(\vec{L}, \vec{V}) = I_a K_a + \sum_i^{\text{lumières}} (\vec{N} \cdot \vec{L}_i) * K_d I_i + \sum_i^{\text{lumières}} (\vec{H} \cdot \vec{N}) * K_s I_i$$

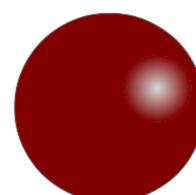
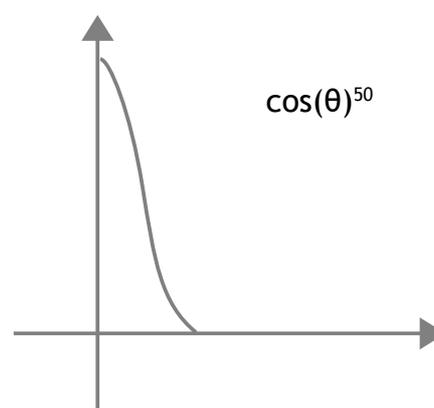
**NB** : la diffusion spéculaire étant de la couleur de la source (en fait du photon incident), il n'est normalement pas possible d'introduire un coefficient  $k_s$  à trois composantes R, V, B différentes.  $k_s$  Est un pourcentage s'appliquant de façon identique sur toutes les composantes de couleur. Dans le cas de ces surfaces réfléchissantes non parfaites, Phong a proposé le modèle suivant :

- ✓ la réflexion spéculaire est maximum lorsque l'angle formé par  $\vec{H}$  et  $\vec{N}$  décroît.
- ✓ la réflexion spéculaire décroît rapidement lorsque l'angle  $\vec{H}$  et  $\vec{N}$  croît.

Cette décroissance rapide est modélisée par  $(\cos\theta)^n$  où  $n$  est l'exposant de réflexion spéculaire du matériau (que nous appellerons parfois coefficient de Phong). Les valeurs de  $n$  vont de 1 à plusieurs centaines, dépendant du matériau simulé. Plus  $n$  est grand, plus la décroissance est rapide.



**N = 10**



**N = 50**

Avec différentes valeurs de  $n$  on voit que plus  $n$  augmente plus le lobe spéculaire diminue (il est plus local). Ici on voit que la tache spéculaire diminue.

## 1.5 Modèle de lissage

Il ne faut pas confondre le modèle de lumière et celui de **lissage**. Une fois la fonction du modèle d'éclairage établie, nous pouvons donc obtenir en tout point d'un objet sa couleur pour une scène donnée (intensité de la lumière diffuse, spéculaire, ambiante direction de même pour l'objet etc.)

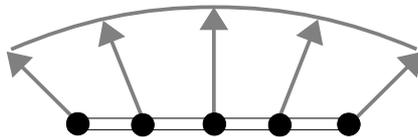
Voici deux méthodes possibles :

Lissage de Gouraud (Gouraud shading) interpolation des couleurs (utilisé par OpenGL et Direct3D) :

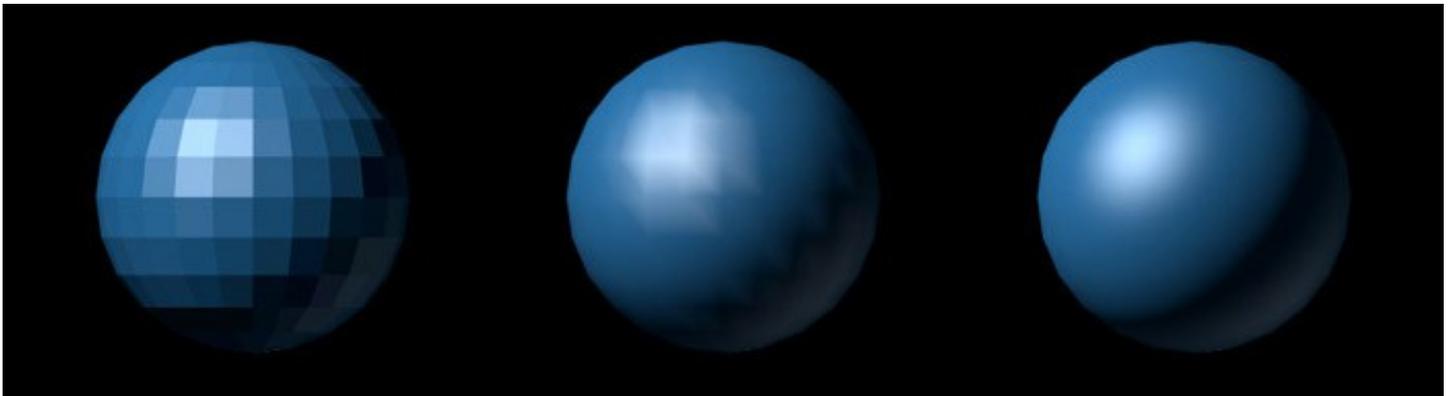


Gouraud se contente de calculer la couleur en deux sommets et interpole linéairement les couleurs. C'est une technique très rapide, qui souffre d'un défaut : si jamais un reflet (le terme spéculaire) devait se trouver pile au milieu de la face sans déborder sur l'un des deux sommets alors il n'apparaît pas. En effet si le terme spéculaire est nul pour les deux sommets l'interpolation de couleur ne reproduira pas la spécularité présente au milieu de la face.

Lissage de Phong (Phong shading) interpolation des normales :



Phong interpole les normales entre deux points et calcul pour chaque pixel l'intensité. C'est évidemment beaucoup plus lent, mais par contre beaucoup plus réaliste. On le voit souvent implémenté au travers des shaders (expliquer).



De droite à gauche : éclairage plat (flat) par face, puis lissage des valeurs aux sommets avec Gouraud et enfin lissage par pixel avec Phong.