

7. Modèles d'illumination locale

7.1 Introduction

Définition du modèle d'illumination et d'ombrage : une première étape du rendu réaliste.

Description de quelques modèles régissant les interactions entre une source de lumière (ou plusieurs) et les objets de la scène.

L'objectif est de déterminer la couleur ou l'intensité d'un pixel donné selon:

- la répartition et les propriétés des sources lumineuses
- les propriétés intrinsèques des objets :
 - point dans l'espace
 - orientation du point (surface)
 - caractéristiques de la matière

1

Introduction

Définitions

éclairage (illumination)

- transport de la lumière dans la scène (Phong)

ombrage (shading)

- considère les valeurs de l'illumination en des points d'une surface et interpole ces valeurs d'après le modèle d'ombrage
- flat, Gouraud, Phong

illumination locale

- ne considère que les interactions sources-objets

illumination globale

- considère les interactions sources-objets ainsi que les interactions objets-objets (lumière réfléchie entre les surfaces)


2

Introduction

Les principaux phénomènes qui interviennent dans l'interaction objet-lumière sont :

- l'absorption
- la réflexion
- la réfraction
- l'émission (non traité ici)

Modèle de réflexion locale



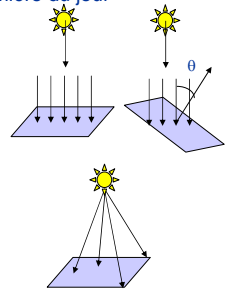
- ambiante
- diffuse
- spéculaire

3

Sources de lumière

Les différents types de sources de lumière sont:

- l'éclairage ambiant
 - éclairage uniforme
 - ex : plafonnier à intensité réglable, lumière du jour
- Lumière directionnelle
 - source supposée à l'infini
 - intensité indépendante de la distance
- Lumière ponctuelle
 - placée en un point précis
 - intensité dépendante de la distance
 - direction dépend du point considéré



4

7.2 Modèles d'éclairage

On appelle modèle d'éclairage (éclairage ou illumination) toute méthode permettant de simuler les effets de la lumière sur les objets de la scène. Ce modèle s'exprime à l'aide d'équations dont les variables sont associées au point de l'objet.

Cas de la lumière ambiante :

Soit une source ambiante déterminée par son intensité I_a

Soit k_a la constante de réflexion ambiante de la lumière ambiante (dépendante de l'objet) ,

$$0 \leq k_a \leq 1.$$

L'intensité I du pixel est égale à :

$$I = I_a \cdot k_a$$

(remarque : aucune indication sur le volume de l'objet)

5

Exemple



6

Réflexion diffuse

Réflexion diffuse :

1- Réflexion Lambertienne.

Soit une source de lumière d'intensité I_p

Soit k_d la constante de réflexion diffuse du matériau de l'objet

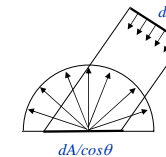
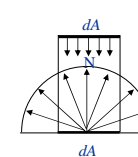
$$0 \leq k_d \leq 1.$$

Le modèle de réflexion diffus est régi par la loi de Lambert: l'intensité de la lumière réfléchie augmente au fur et à mesure que la direction de la source devient colinéaire avec la normale à la surface au point considéré. L'intensité est donc proportionnelle au cosinus de l'angle que fait la normale avec la direction de la source de lumière incidente.

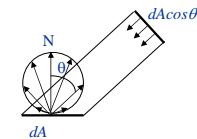
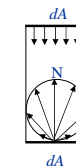
7

Réflexion lambertienne

La surface illuminée s'accroît comme $dA/\cos\theta$



La surface illuminée dépend de l'orientation



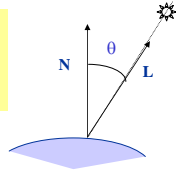
8

Réflexion diffuse

$$I = I_p \cdot k_d \max(\cos \theta, 0) \quad -\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$$

formulation simplifiée

$$I = I_p \cdot k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) \quad \vec{N} \text{ et } \vec{L} \text{ normalisés}$$



Réflexion diffuse

N et L sont des vecteurs normalisés.

Les vecteurs ont leur point d'origine au point considéré.

La réflexion diffuse est associée à la perception des objets de type **mat.**

9

Réflexion diffuse

- La constante k_d varie d'un matériau à l'autre

- Les intensités s'additionnent

- Lumière ambiante et une source ponctuelle

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

- Lumière ambiante et plusieurs sources ponctuelles

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_j I_{pj} \cdot k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}_j)$$

10

Réflexion diffuse

2. Facteur d'atténuation

L'équation donnant l'intensité ne prend pas en compte l'éloignement de l'objet par rapport à la source ponctuelle : on peut donc introduire un facteur d'atténuation f_{att}

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

$$I = I_a \cdot k_a + \sum_j f_{att_j} I_{pj} \cdot k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}_j)$$

11

Réflexion diffuse

soit d la distance objet-source ponctuelle

$$f_{att} = \frac{1}{d^2} \quad \text{mauvais rendu avec ce modèle d'éclairage}$$

$$f_{att} = \min \left(\frac{1}{C_1 + C_2 d + C_3 d^2}, 1 \right) \quad \text{meilleure simulation de l'atténuation}$$

C_i associés à la source

$$f_{att} = \frac{1}{d_o + d} \quad \text{prise en compte de la position de l'observateur}$$

d_o distance de l'objet à l'observateur

12

Exemple (ambient)



13

Exemple (ambient + diffus)



14

Réflexion spéculaire

Réflexion spéculaire

La composante spéculaire permet de prendre en compte la position de l'observateur. Elle intervient de façon importante dans le cas de surfaces réfléchissantes.

La réflexion spéculaire apparaît sous la forme d'une région de haute intensité (*highlight*)

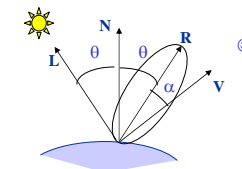
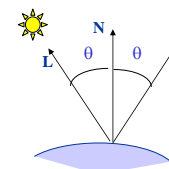
Les surfaces métalliques, brillantes sont généralement imparfaitement réfléchissantes: dans ce cas, la quantité de lumière dépend de la distribution dans l'espace de la lumière réfléchie.

15

Réflexion spéculaire

Vecteur normal à la surface
 Vecteur lié au rayon incident
 Vecteur vision

Modèle de Phong



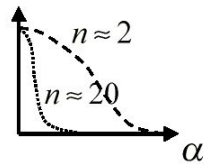
16

Réflexion spéculaire

Le miroir est un exemple de surface parfaitement réfléchissante: dans ce cas pour voir le rayon réfléchi R, il faut $\alpha = 0$

Le modèle spéculaire de Phong fait décroître l'intensité de cette réflexion selon $\cos^n \alpha$ entre les vecteurs R et V

n contrôle la brillance de la surface
(plus n est petit, moins la surface n'a d'éclat)



17

Réflexion spéculaire

Composante spéculaire

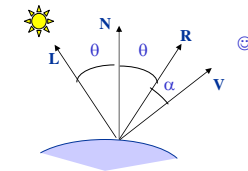
$$I = I_p \cdot k_s \max(0, \cos \alpha)^n \quad n \geq 1$$

notation simplifiée:

$$I = I_p \cdot k_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n \quad \vec{R} \text{ et } \vec{V} \text{ normalisés}$$

k_s est le coefficient de réflexion spéculaire de la matière

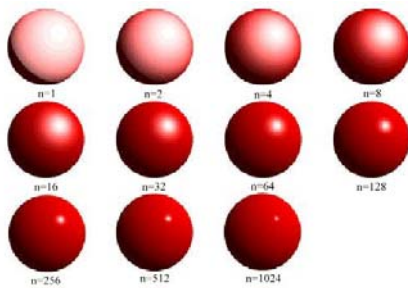
$$0 \leq k_s \leq 1$$



18

Choix de n

n est grand pour des surfaces métalliques et brillantes
n est petit dans les cas de surfaces non métalliques (papier, plastique...)



19

Réflexion spéculaire

Facteur d'atténuation

Comme pour la composante diffuse, on peut appliquer un facteur d'atténuation

Composante spéculaire

$$I = f_{att} I_p \cdot k_s \max(\cos \alpha, 0)^n \quad n \geq 1$$

notation simplifiée

$$I = f_{att} I_p \cdot k_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n \quad \vec{R} \text{ et } \vec{V} \text{ normalisés}$$

20

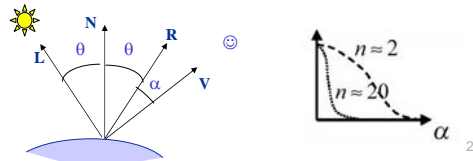
Modèle local d'illumination

Modèle de Phong

$$I = I_a k_a + f_{att} I_p [k_d \cos \theta + k_s \cos^n \alpha] \quad n \geq 1$$

$$I = I_a k_a + f_{att} [I_p k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) + I_p k_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n] \quad \vec{N}, \vec{L}, \vec{R} \text{ et } \vec{V} \text{ normalisés}$$


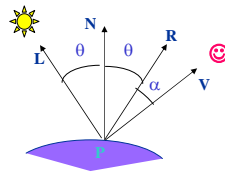
↓ ambient ↓ diffus ↓ spéculaire



21

Modèle local d'illumination

Modèle de Phong

$$I = I_a k_a + f_{att} I_p [k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) + k_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n]$$



22

Exemple (ambient + diffus)

[A. Watt]



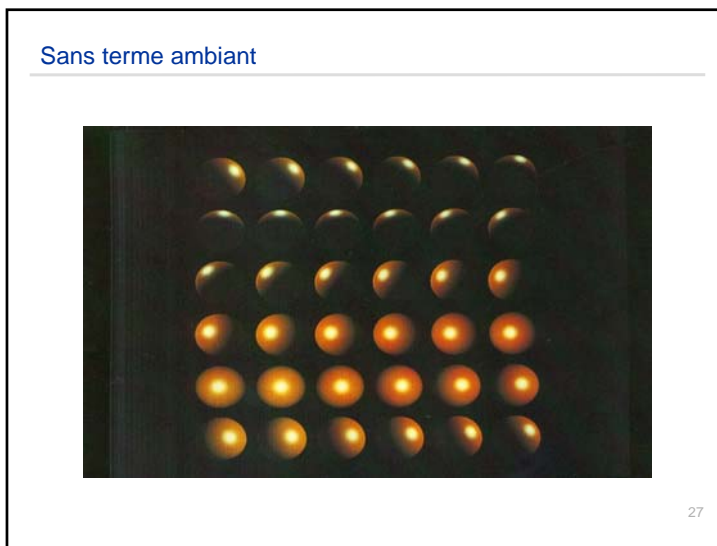
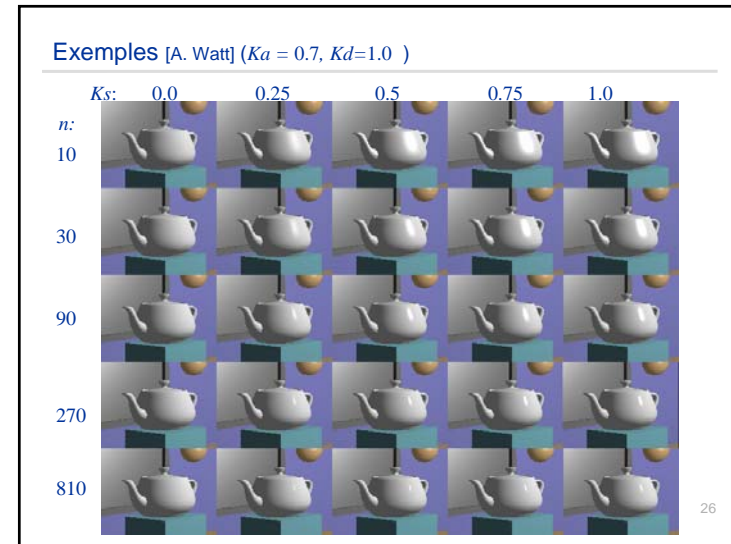
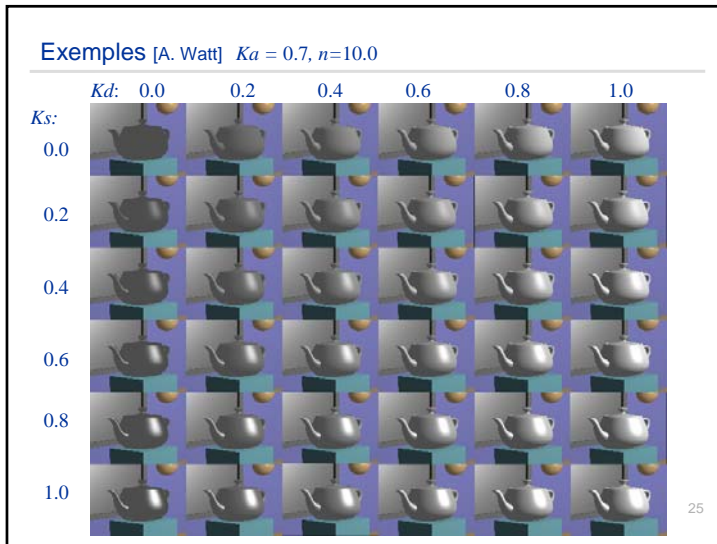
23

Exemple (ambient + diffus + spéculaire)

[A. Watt]



24



Sources colorées

Couleur RGB

Dans la cas de sources colorées,
 I_s, I_p, k_s, k_d sont des vecteurs (1 valeur par composante)

Selon les cas

- k_s est une constante (le rayon réfléchi par spécularité est de la même couleur que la source)
- k_s est un vecteur (valeurs proches)

Attention, il faut fixer de manière judicieuse ces coefficients.
 (une lumière bleue sur une surface rouge donne du noir!)

28

7.3 Méthodes d'ombrages pour surfaces polygonales

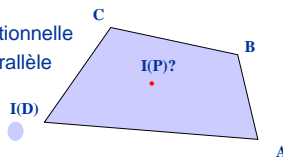
■ Méthode du flat:

ombrage constant

polygones ou maillage polygonal :
calcul pour un seul point
couleur uniforme sur tout l'objet

Valide si

lumière directionnelle
projection parallèle



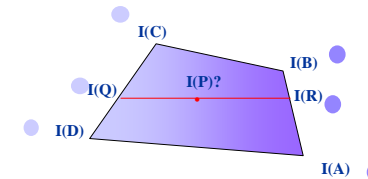
29

Méthodes d'ombrages pour surfaces polygonales

■ Méthode de Gouraud:

polygones ou maillage polygonal : définition par les sommets
basé sur l'interpolation des **intensités** entre les sommets
calcul d'une **intensité** pour chaque sommet (lissage : moyenne des normales)

intensité entre 2 sommets = interpolation linéaire des **intensités**



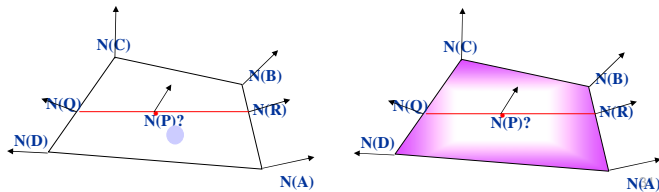
30

Méthodes d'ombrages pour surfaces polygonales

■ Méthode de Phong:

polygones ou maillage polygonal : définition par les sommets
basé sur l'interpolation des **normales** entre les sommets
calcul d'une **normale** moyenne pour chaque sommet (lissage)

intensité entre 2 sommets = interpolation linéaire des **normales** puis
calcul de l'intensité



Méthodes d'ombrages pour surfaces polygonales

Méthode Gouraud :

polygones convexes
simule mal les surfaces brillantes
dépendant de la ligne de balayage
partage des sommets

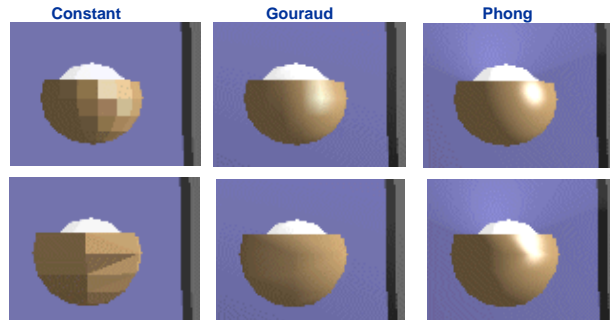
Méthode Phong

résultats plus spectaculaires
plus coûteux que Gouraud
simule bien les surfaces brillantes
dépendant de la ligne de balayage
partage des sommets

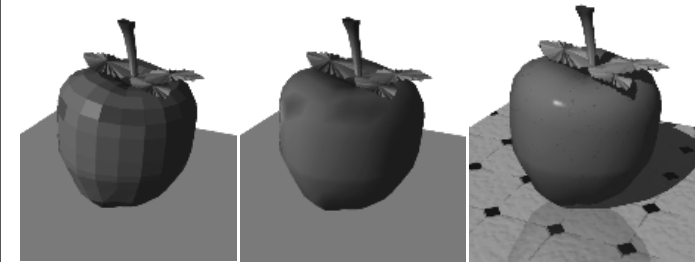
32

Exemples

[A. Watt] : effet des 3 méthodes sur différentes résolutions



33



Flat

Gouraud

Phong (+ texture)

34

7.4 Modèles d'éclairage plus complets

Amélioration de la composante spéculaire

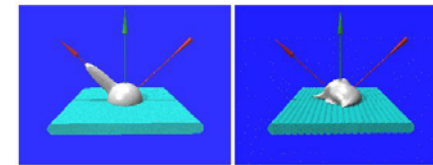
Modèle de **Warn** : introduit une modélisation plus précise de la source lumineuse directionnelle

Modèle de **Torrance et Sparrow** : prend en compte la rugosité réelle des surfaces

35

Modèles de réflexion

Remarque : Il existe d'autres modèles que celui de Phong
Par exemple : Bidirectional Reflectance Distribution Function



Modèle simple
diffus
spéculaire

Modèle plus
complexe

36

7.5 modèle d'éclairage sous OpenGL

- mode conseillé : mode RGBA (A=1 opaque)
- calcul de 2 valeurs : couleur primaire et couleur secondaire (non utilisée ici)

• mode éclairage : `glEnable(GL_LIGHTING);`

• 2 modes de rendu

```
glShadeModel(GL_FLAT);      Constant
glShadeModel(GL_SMOOTH);   Gouraud
```

37

Définition du modèle

Le modèle d'éclairage attribue les propriétés d'éclairage applicable à toute la scène :

- la lumière ambiante globale (RGBA).
- les coefficients des facteurs d'atténuation.
- la position locale ou à l'infini de l'observateur.
- l'option double face.

Exemple

```
glLightModeli(GL_LIGHT_MODEL_LOCAL_VIEWER, GL_TRUE);
```

38

Définition des sources

Chaque source est décrite par :

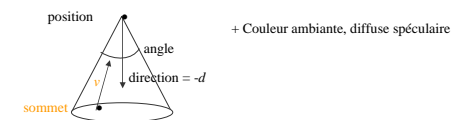
- la couleur de la lumière ambiante associée (RGBA)
- la couleur de la source : composante diffuse (RGBA)
- la couleur de la source : composante spéculaire (RGBA)
- la position de la source en coordonnées homogènes. (si $w = 0$, source à l'infini)
- l'allure du spot (coeff. k et angle)
- la direction du spot

Exemple

```
double v[4];...
glLightfv(source, GL_SPECULAR, v);
glLightfv(source, GL_POSITION, v);
```

39

Description d'une source ponctuelle



si $\text{angle} = 180^\circ$ omnidirectionnelle

si $\text{angle} \in [0, 90^\circ]$: spot

$k \in [0, 128]$ exposant de concentration de la source

40

Définition des matières

Pour chaque matière il faut donner les coefficients RGBA pour chacun des coefficients de réflexion :

- réflexion diffuse
- réflexion spéculaire
- réflexion ambiante
- lumière émise
- brillance

Exemple

`double v[4];...`

`glMaterialfv(GL_FRONT_AND_BACK, GL_SPECULAR, v);`

41

Modèle d'éclairage utilisé par OpenGL (simplifié)

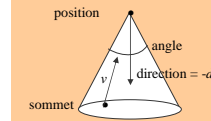
$$I = I_{a-global} \cdot k_a + \sum_{source\ i} contribution\ i$$

$$contribution_i = f_{att\ i} \cdot spoteffect_i \cdot [ambient_i + diffus_i + specular_i]$$

$$f_{att\ i} = \frac{1}{k_0 + d_i k_1 + d_i^2 k_2}$$

$$spoteffect_i = \begin{cases} 1 & \text{si } angle = 180^\circ \text{ (omnidirectionnelle)} \\ 0 & \text{si } angle \in [0,90^\circ] \text{ (spot) et si le sommet n'est pas dans le cône d'éclairage} \\ \max(v, d, 0)^k & \text{si } angle \in [0,90^\circ] \text{ (spot) et si le sommet appartient au cône d'éclairage} \end{cases}$$

$k \in [0,128]$ exposant de concentration de la source



42