

IFT3355: Infographie

**Sujet 5:** shading 1

(illumination *locale* 1)

Derek Nowrouzezahrai

Département d'informatique et de recherche opérationnelle

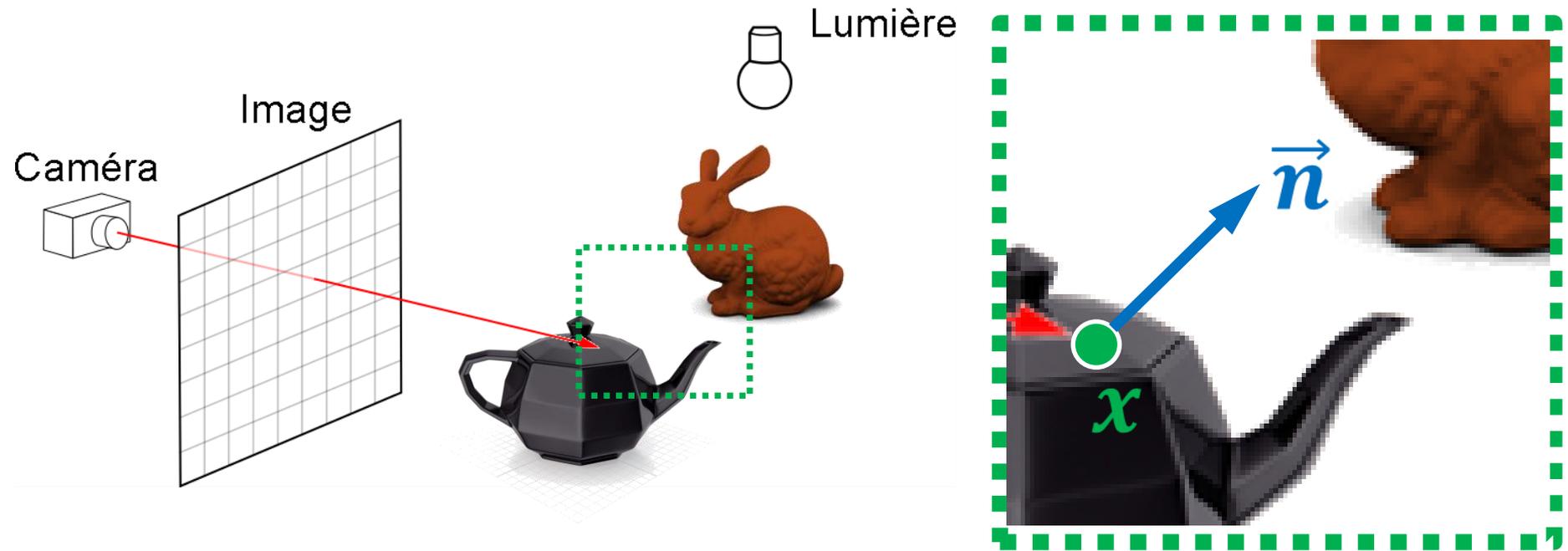
Université de Montréal

# Survol: illumination locale

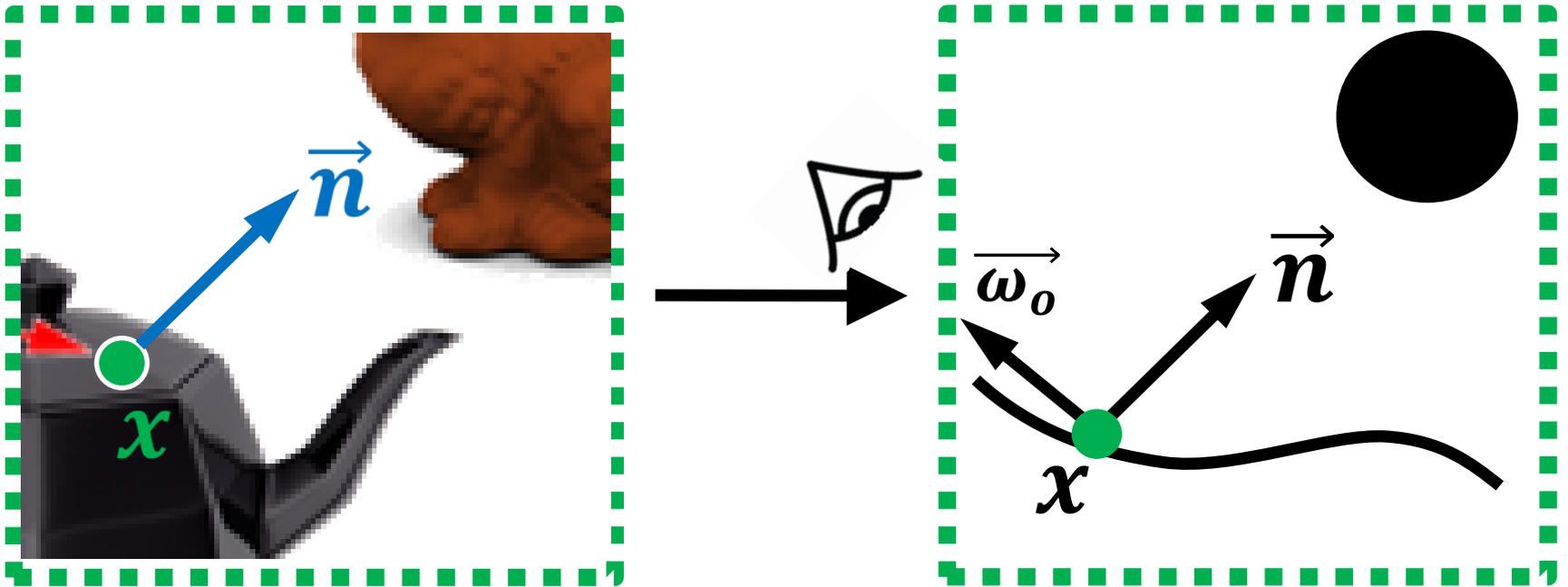
- On vient de voir comment déterminer la visibilité vers l'oeil en utilisant la **rastérisation** ou le **lancer de rayons**
  - Maintenant, on doit calculer la *couleur* à chaque pixel
- 1. Illumination locale 1: Après quelques définitions et motivations, nous présenterons un modèle d'illumination locale pseudo-réaliste qui peut être appliqué dans un contexte de **lancer de rayons** (*ou de rastérisation*)
- 2. Illumination locale 2: Nous discuterons comment utiliser la méthode de **lancer de rayons** pour simuler les ombres ponctuelles, la réflexion et la réfraction
- 3. Illumination locale 3: Nous retournerons brièvement pour discuter le calcul du shading et quelques techniques pour simuler les ombres ponctuelles dans un système de **rastérisation**
- 4. Illumination globale: ces méthodes s'appuieront presque exclusivement dans un contexte de **lancer de rayons**

# Configuration Canonique

- Pour nos discussions de shading nous supposons:
  - qu'on considère chaque pixel d'une manière indépendante
  - que nous avons déjà déterminé la visibilité du caméra
  - nous avons tous les propriétés de l'objet le plus proche
  - nous avons tous les propriétés des lumières dans la scène

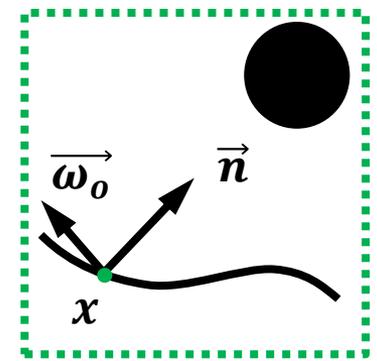


# Configuration Canonique



- Pour plus facilement considérer plusieurs modèles de shading on peut simplifier/remplacer ce diagramme avec:
  - la surface avec le point  $x$  que nous voulons “shader”
  - la normale à  $x$
  - le direction de vue
  - des abstractions des autres objets

# Illumination



Si on considère des modèles d'illumination *réalistes* ou *pseudo-réalistes*, le shading à  $x$  dépend sur:

- les propriétés de la surface de l'objet à  $x$ 
  - géométrie, réflectance/matériaux, etc.
- les propriétés des lumières dans la scène
- et potentiellement les propriétés (et le shading!) sur tous les autres objets

Illumination  
locale

Illumination  
globale

# Locale vs. Globale: autres interpretations

- Illumination locale
  - ne considère que la contribution directe des sources de lumière
- Illumination globale
  - considère la contribution directe des sources de lumière ainsi que la lumière interréfléchie entre les surfaces de la scène

# Lumière

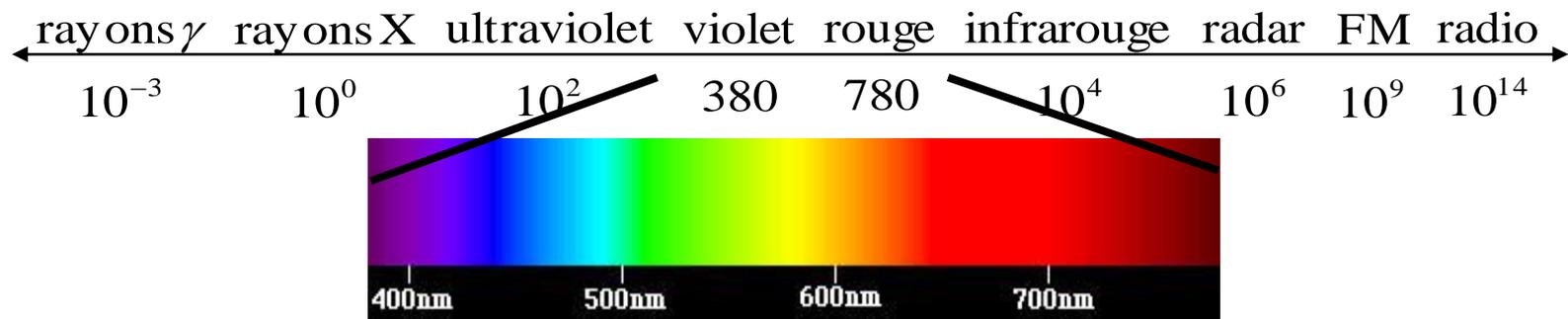
- La lumière est émise par les sources de lumière et interagit dans la scène
- Nature duale
  - onde
  - particule

# Photon

- Un photon transporte une certaine énergie à une longueur d'onde donnée (couleur)
- A chaque interaction (réflexion, réfraction, absorption), un photon peut changer sa direction et/ou sa couleur (changement spatial et spectral)
- Si un photon possède une longueur d'onde entre

$$380 \leq \lambda \leq 770 \text{ nm}$$

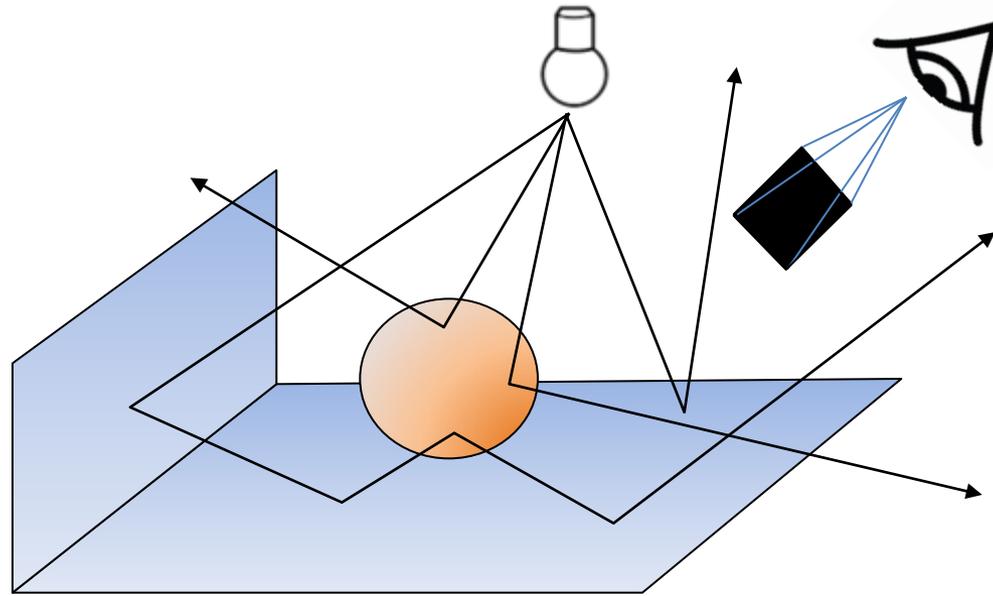
il est alors visible par l'oeil humain



# Photon

- Si un photon passe par la position de l'oeil tout en intersectant la fenêtre graphique, sa couleur contribue au pixel qu'il traverse
- Chaque photon sera donc traité par l'optique géométrique, sauf si mentionné autrement

# Simuler l'illumination



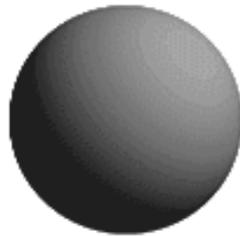
- L'image parfaite demandera de suivre ainsi une infinité de photons
- Il faut donc simplifier le problème

# Modèle simplifié de réflexion locale

- Nous commencerons avec un modèle d'illumination pseudo-réaliste basé sur trois types d'effets:
  - réflexion ambiante
  - réflexion diffuse
  - réflexion spéculaire



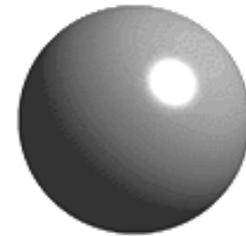
Ambiante



Diffuse



Spéculaire



Combinée

# Réflexion Ambiante

- Sans interrétflexion de la lumière, tout ce qui est dans l'ombre (*umbra*) est **noir**
- Calculer l'interrétflexion entre les surfaces est un problème (d'illumination globale) extrêmement complexe
- On simplifie (à outrance?) son résultat en parlant d'une lumière ambiante qui est partout la même, pour n'importe quelle direction
- Toute surface éclairée seulement par une lumière ambiante aura un éclairage uniforme. Cette surface apparaît sans profondeur.

# La lumière ambiante



$L_a$  Propriété de scène  
Intensité de la lumière ambiante

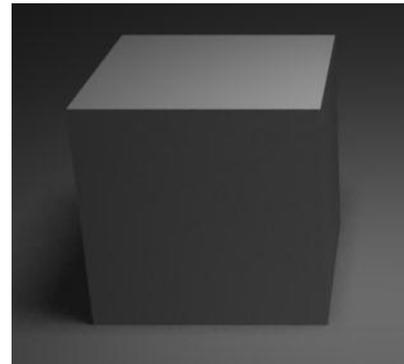
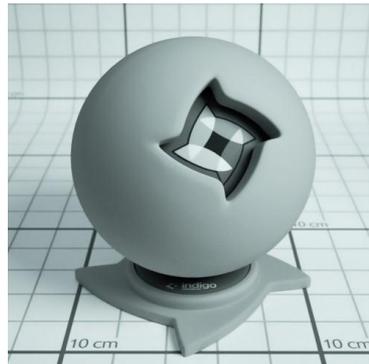
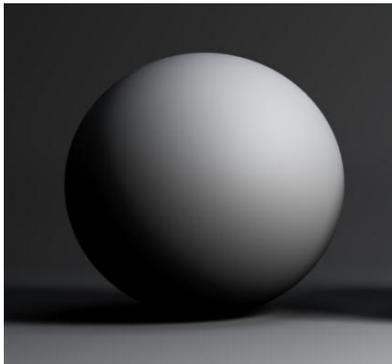
$k_a$  Propriété de surface  
Une surface réfléchit une proportion  $k_a$   
de la lumière ambiante

$S(\lambda)$  “Couleur” de la surface

$$L = L_a k_a S(\lambda)$$

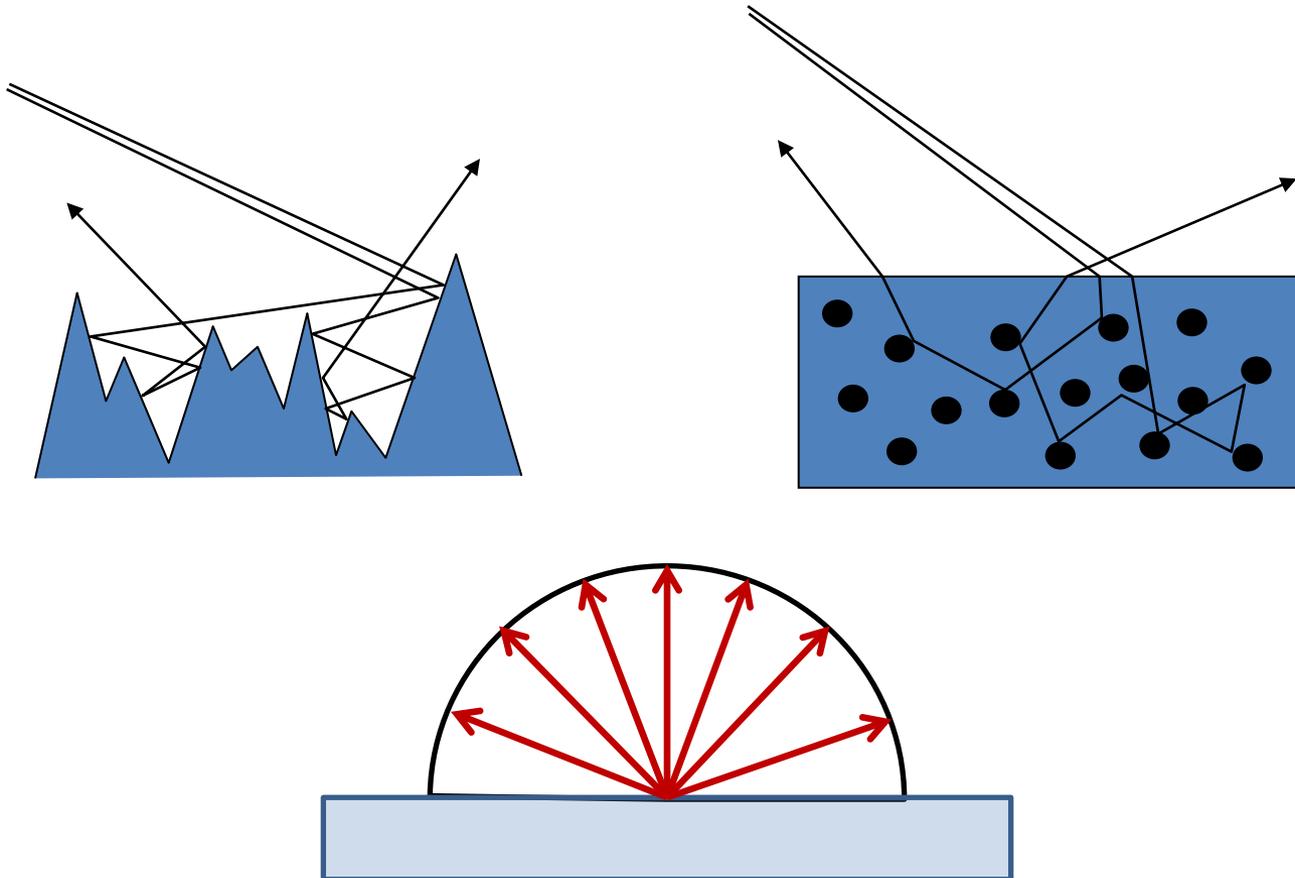
# Réflexion diffuse

- Normalement, l'intensité d'un point sur une surface varie dépendant de sa distance à la lumière et son orientation relative à la lumière
- Réflexion égale en intensité dans toutes les directions
- Ex : peinture matte, papier, bois sablé



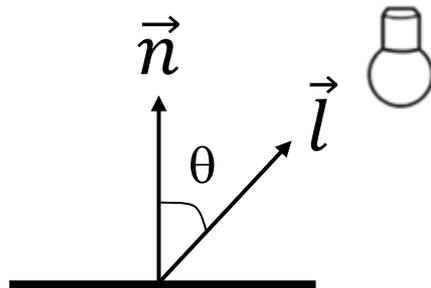
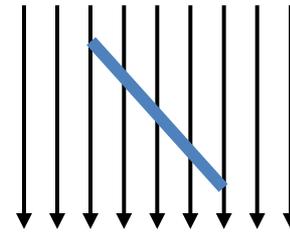
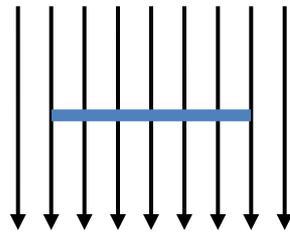
# Réflexion diffuse

- Deux modèles pour expliquer ce type de réflexion



# La réflexion diffuse

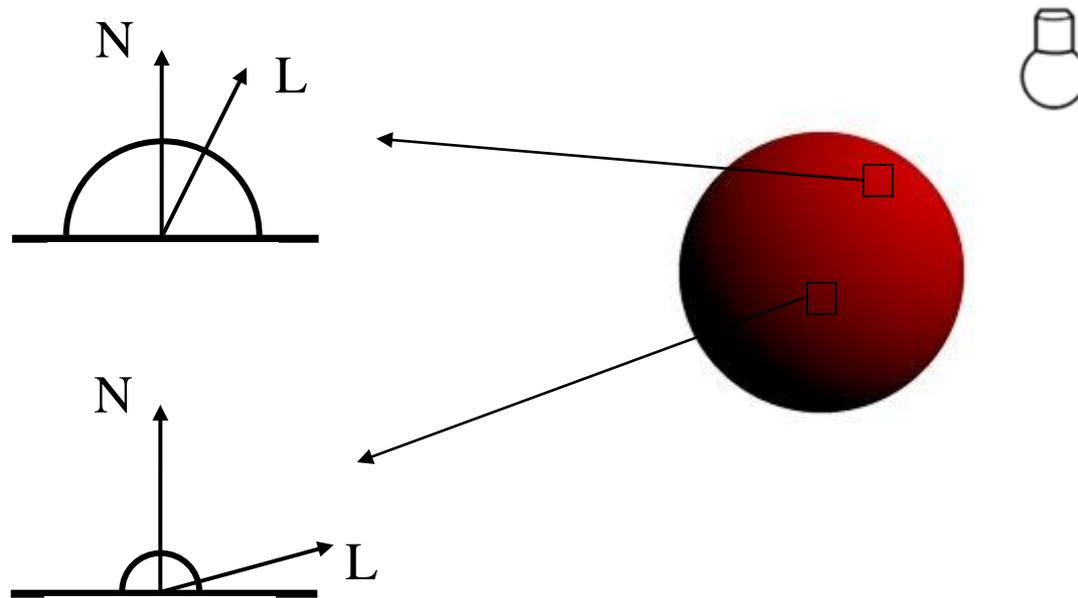
- La réflexion diffuse ou lambertienne est associée à la perception de la *forme* des objets de type *mat*
- Plus la surface fait face à la lumière, plus elle en reçoit



$$\cos \theta = \max(\vec{n} \cdot \vec{l}, 0)$$

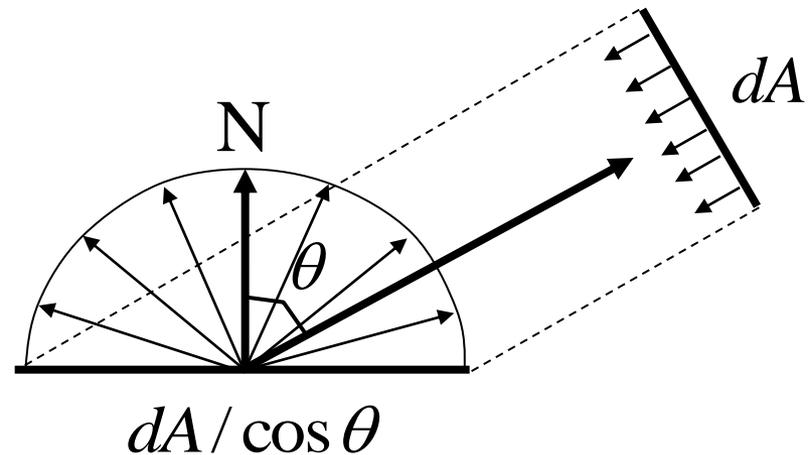
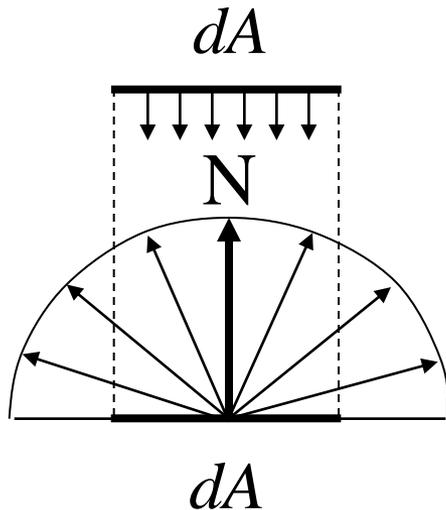
# La réflexion diffuse

- La réflexion diffuse redistribue les photons également (en intensité) au-dessus de la surface



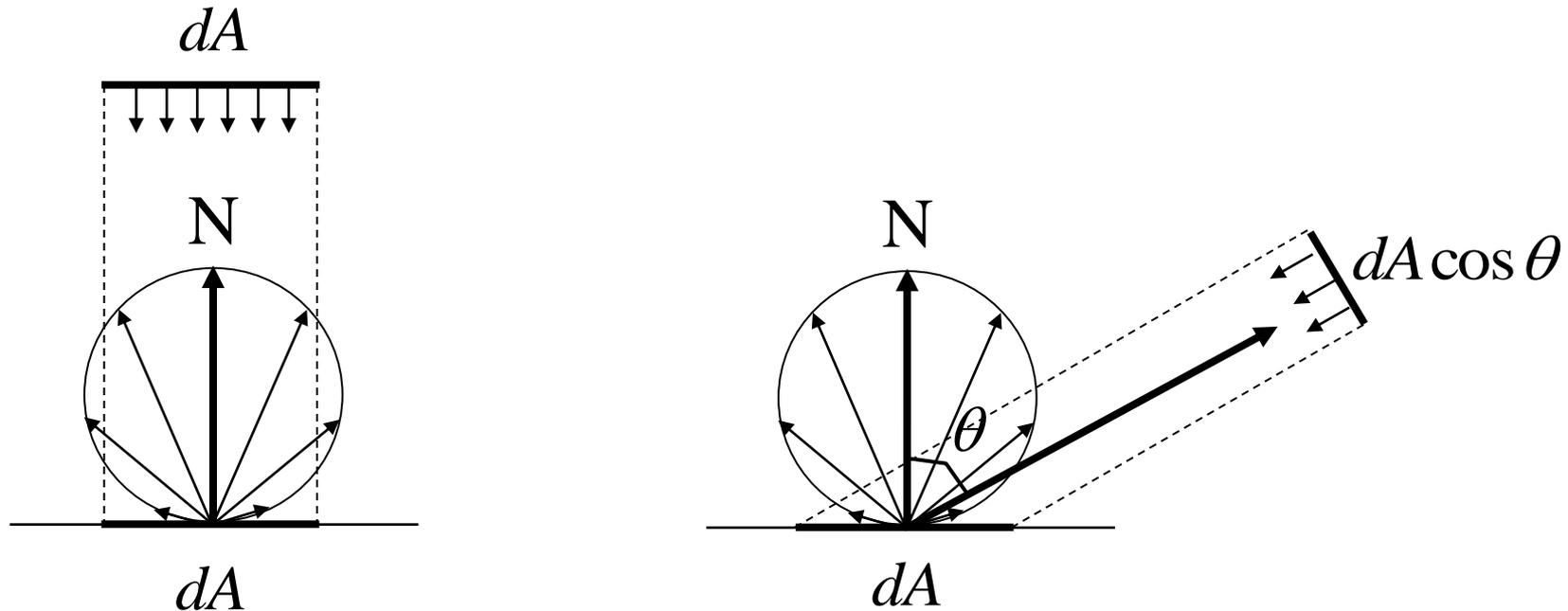
# Réflexion lambertienne

- Une surface est dite lambertienne si la surface apparaît également brillante de n'importe quelle direction au-dessus de cette surface
- La surface illuminée s'accroît comme  $dA / \cos \theta$



# Réflexion lambertienne

- Ceci est équivalent à dire que la lumière est réfléchiée également en intensité dans toutes les directions au-dessus de cette surface



# Réflexion lambertienne

$L_l$  intensité de la lumière  $l$

$k_d$  Propriété de surface

Une surface réfléchit une proportion  $k_d$  de la lumière de façon diffuse

$\vec{n} \cdot \vec{l}$   $\cos \theta_L$  où  $\vec{n}$  et  $\vec{l}$  sont des vecteurs normalisés  
on devrait spécifier pour toute orientation de surface  $\max(\vec{n} \cdot \vec{l})$  mais on allège habituellement la formulation à  $\vec{n} \cdot \vec{l}$

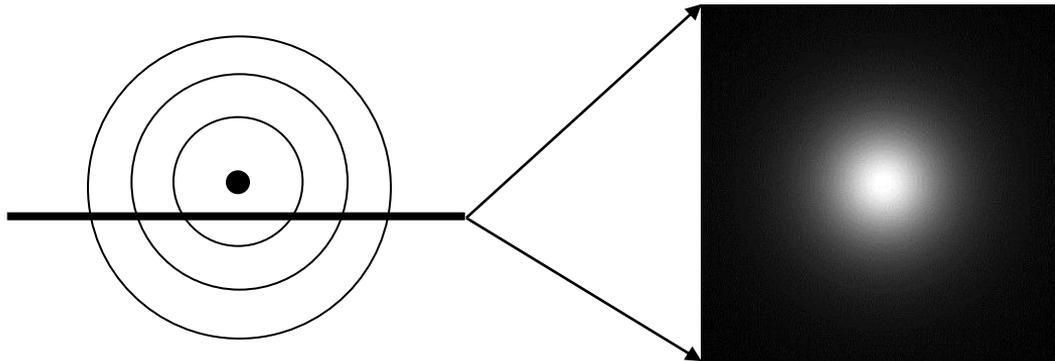
$$L = k_d L_l (\vec{n} \cdot \vec{l}) S(\lambda)$$

# Lumière directionnelle

- Pour une lumière directionnelle (i.e. à l'infini), l'intensité de la lumière qui atteint une surface n'est pas dépendante de la distance à la lumière.
- Tous les rayons issus de la lumière sont considérés parallèles entre eux
- Deux surfaces identiques de même orientation mais à des distances différentes auront le même shading dans ce cas

# Lumière ponctuelle

- L'intensité varie comme  $1/r^2$  où  $r$  est la distance d'un point à la lumière
- L'intensité émise par un point de lumière est égale sur chaque  $dA$  à une distance fixe du point (surface d'une sphère de  $4\pi r^2$ )
- Un élément sur cette surface recevra  $dA/4\pi r^2$  de l'intensité du point de lumière



# Le modèle de réflexion (ou d'illumination) ambient-diffus

- Pour un point de lumière, le modèle de réflexion devient:

$$L_p = S(\lambda) \left( L_a k_a + \frac{L_l k_d \max(\vec{n} \cdot \vec{l}, 0)}{r^2} \right)$$

- Attention: les modèles de réflexion dépendent des distances et des orientations des surfaces. Ils doivent donc être évalués en espace monde, et non pas en espace projectif...

# Couleur - RGB

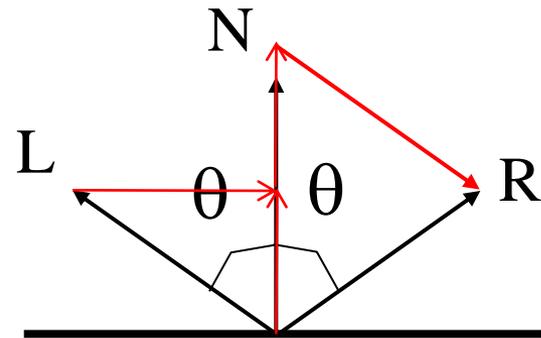
- Il faut pouvoir transférer les intensités en couleurs
- Les formules précédentes se généralisent si on suppose que l'on peut traiter les longueurs d'onde indépendamment
- Chaque coefficient détermine la contribution (intensité) à chaque longueur d'onde
- Le modèle ambient-diffus pour une lumière de couleur  $(L_R, L_G, L_B)$  sur une surface de couleur  $(S_R, S_G, S_B)$ :

$$L_{p\lambda} = L_{a\lambda} k_{a\lambda} S_\lambda + \frac{L_{l\lambda} k_{d\lambda} S_\lambda \max(\vec{n} \cdot \vec{l}, 0)}{r^2} \quad \lambda \in \{R, G, B\}$$

# La réflexion spéculaire (Miroir)

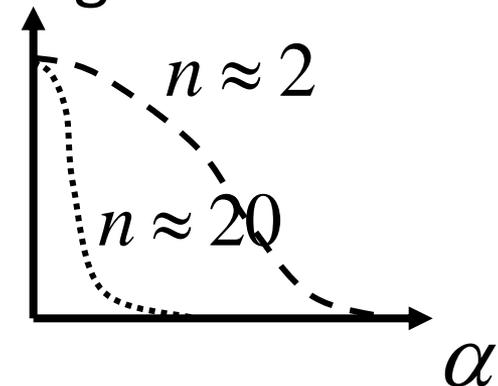
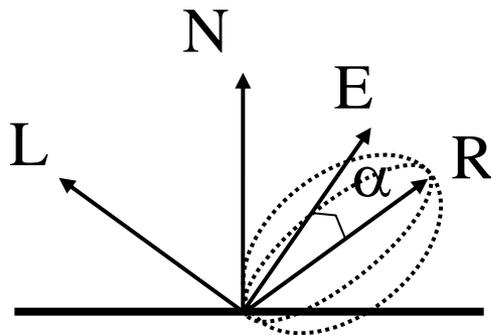
- La réflexion spéculaire apparaît sur des surfaces brillantes sous la forme d'une région de haute intensité (pour chaque lumière) que l'on appelle le *highlight*
- Ce *highlight* se déplace alors qu'on change le point de vue (soleil sur voiture, plancher ciré)
- Pour une surface parfaitement lisse (miroir), la direction de réflexion spéculaire est unique et correspond à

$$\vec{R} = 2(\vec{N} \cdot \vec{L})\vec{N} - \vec{L}$$

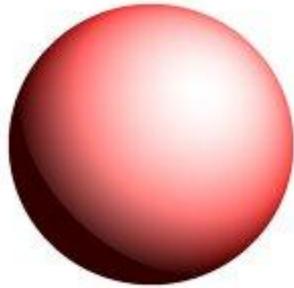


# La réflexion spéculaire (Phong)

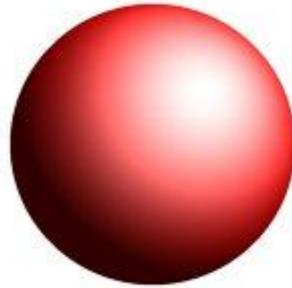
- Si une surface est un peu rugueuse, un peu de lumière sera réfléchié spéculairement autour de  $\vec{R}$
- Le modèle spéculaire de *Phong* fait décroître l'intensité de cette réflexion selon  $\cos^n \alpha$  entre les directions  $\vec{R}$  et  $\vec{E}$  ( $= \vec{\omega}_o$ )
- $n$  contrôle la rugosité de la surface telle que pour un miroir  $n \rightarrow \infty$  et une surface très rugueuse  $n \rightarrow 1$



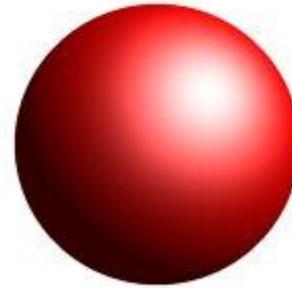
# La réflexion spéculaire (Phong): la rugosité $n$



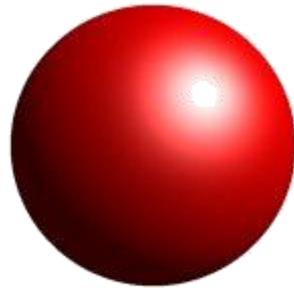
$n=2$



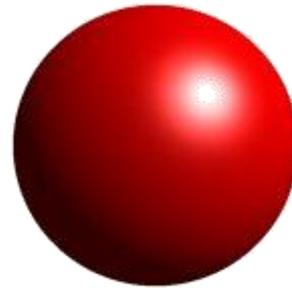
$n=4$



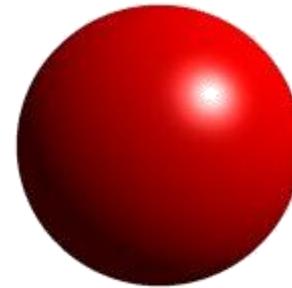
$n=8$



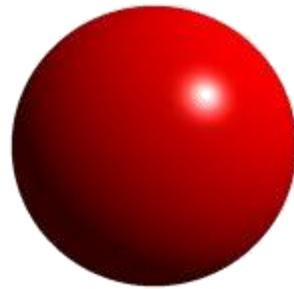
$n=16$



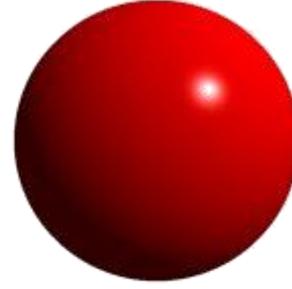
$n=32$



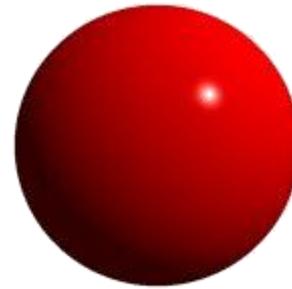
$n=64$



$n=128$



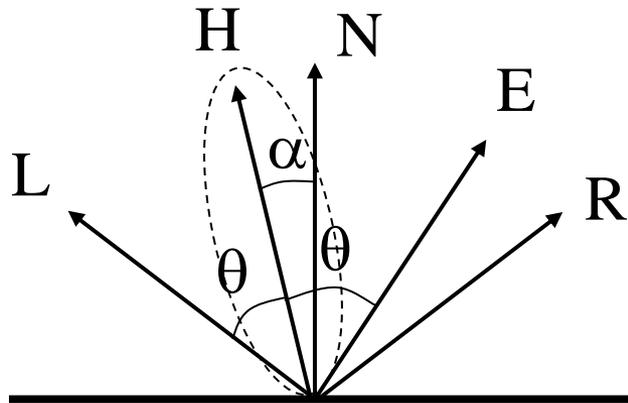
$n=256$



$n=512$

# La réflexion spéculaire (Blinn)

- Le modèle spéculaire de *Blinn* fait lui aussi décroître l'intensité de cette réflexion selon  $\cos^n \alpha$  mais cette fois entre les directions  $\vec{N}$  et  $\vec{H}$
- $\vec{H}$  est le vecteur bisecteur entre  $\vec{L}$  et  $\vec{E}$



$$\vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{E}}{\|\vec{L} + \vec{E}\|}$$

# La réflexion spéculaire (Blinn)

- Ce modèle est basé sur une surface constituée d'une distribution de petits miroirs disposés en  $V$
- Le modèle tient compte de la distribution, du masquage entre facettes et du coefficient de Fresnel
- + Physiquement plus plausible
- +  $(\vec{N} \cdot \vec{H})^n$  ne peut pas être négatif si  $(\vec{N} \cdot \vec{L} > 0)$  et  $(\vec{N} \cdot \vec{E} > 0)$
- + Pour une lumière directionnelle et une projection orthographique,  $\vec{H}$  est constant sur toute la scène

# Réflexion plastique vs. métallique

- Un métal a tendance à réfléchir spéculairement selon la couleur de sa surface
- Un plastique (diélectrique) a tendance à réfléchir spéculairement selon la couleur de la lumière
- Soit  $m$  la proportion de réflexion spéculaire de la surface, le modèle peut s'exprimer comme

$$L_{p\lambda} = [mS_\lambda + (1 - m)] \frac{k_{s\lambda} L_{l\lambda} \max(\vec{N} \cdot \vec{H}, 0)^n}{r^2}$$

# Sources de lumière multiples: la linéarité d'illumination

- Chaque lumière contribue à l'intensité finale
- Si on utilise plusieurs sources de lumière, on n'a qu'à sommer la contribution de chacune
- La contribution ambiante n'est considérée qu'une seule fois
- Le modèle final correspond donc à

$$L_{p\lambda} = L_{a\lambda} k_{a\lambda} S_{\lambda} + \sum_i \frac{L_{l\lambda i}}{r_i^2} \left[ k_{d\lambda} S_{\lambda} \left[ \vec{N} \cdot \vec{L}_i \right] + k_{s\lambda} \left[ m S_{\lambda} + (1 - m) \right] \left[ (\vec{R}_i \cdot \vec{E})^n \right] \right]$$

# Sources de lumière multiples

- + simple et intuitif
- aucune conservation de l'énergie
- Contraintes parfois appliquées à ce modèle

$$k_{d\lambda} + k_{s\lambda} = 1$$

$$k_{*\lambda} \in [0,1]$$

$$L_{*\lambda} \in [0,1]$$

$$S_{\lambda} \in [0,1]$$

- mais puisque le modèle n'est pas entièrement basé sur une théorie précise, ces contraintes sont souvent inutiles, pour ne pas dire nuisibles
- Attention au *clamping* des valeurs supérieures à 1.0 (ou 255)