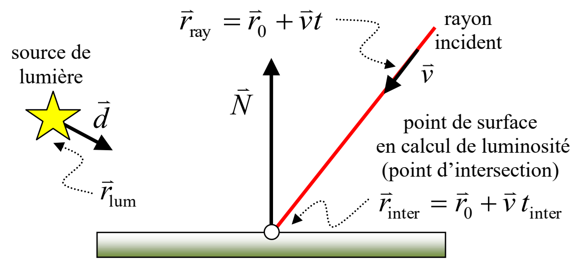
Chapitre 7.4a – L'illumination direct dans un *ray tracer*

Informations nécessaires au calcul d'illumination

Afin de réaliser un calcul d'illumination pour un rayon ayant réalisé une intersection à un temps t_{inter} sur une géométrie de la scène, il nous faut les informations géométriques suivantes :



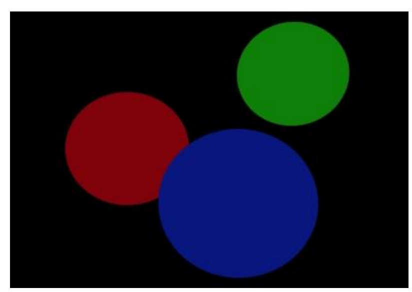
L'orientation du rayon	Point d'intersection	Position de la source de lumière	Orientation de la source de lumière	Normale à la surface	Couleur de la source de lumière
$\vec{v}$	$\vec{r}_{\text{inter}} = \vec{r}_0 + \vec{v}\,t_{\text{inter}}$	$\vec{r}_{\text{lum}}$	$\vec{d}$	$\vec{N}$	$\dddot{L}$

À l'aide du matériel appliqué sur la géométrie, nous avons accès aux informations suivantes :

Couleur de base	Constantes de réflexion	Plasticité[1]	Indice de réfraction	Transparence	Réflectivité
$\dddot{S}$	k_{a}, k_{d}, k_{s}	p	n	k_t	k_r

Luminosité par réflexion ambiante

La réflexion ambiante permet de simuler l'inter réflexion de la lumière entre toutes les différentes surfaces d'une scène. Cette luminosité habituellement faible se retrouve sur toutes les surfaces.



http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/ucacajs/book_tmp/CGVE/chapter_6.htm
Luminosité ambiante sur trois sphères.

La contribution à la luminosité par réflexion ambiante pour chaque canal λ de couleur est obtenue par l'équation suivante :

$$L_{\text{amb}\,\lambda} = L_{\text{a}\lambda} k_{\text{a}\lambda} S_\lambda$$

où $L_{\text{amb}\,\lambda}$: Luminosité ambiante de couleur λ.

$L_{\text{a}\lambda}$: Intensité de la lumière ambiante de couleur λ ($L_{\text{a}\lambda} \in [0..1]$).

$k_{\text{a}\lambda}$: Constante de réflexion ambiante de la surface pour la couleur λ ($k_{\text{a}\lambda} \in [0..1]$).

S_λ : Couleur de base de la surface de canal λ ($S_\lambda \in [0..1]$).

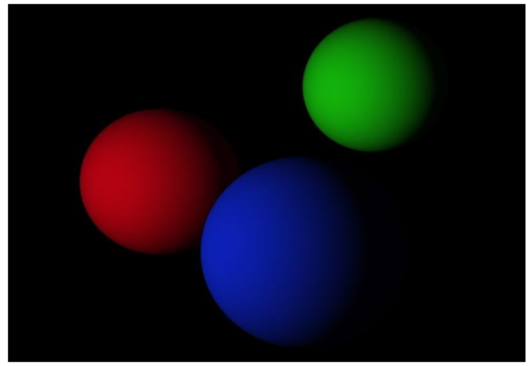
Si l'on utilise la **notation en triplet** avec une constante de réflexion ambiante k_{a} unique pour les trois canaux de couleur λ (k_{a} est un scalaire et non un triplet), nous avons

$$\dddot{L}_{\text{amb}} = \dddot{L}_{\text{a}}\,\dddot{S}_{\text{a}} \quad \text{où} \quad \dddot{S}_{\text{a}} = k_{\text{a}}\dddot{S}\,.$$

[1] Un matériel « plastique » aura tendance à réfléchir la couleur de la source de lumière $\dddot{L}$ et non la couleur du matériel $\dddot{S}$.

Luminosité par réflexion diffuse (réflexion lambertienne)

La réflexion diffuse permet de simuler la dispersion de la lumière par une surface. La lumière perçue par un observateur va dépendre de **l'angle** entre la **normale à la surface** et **l'orientation de la source de lumière** (plus la normale à la surface fait face à la lumière, plus il y aura de réflexion). Cette luminosité donne la forme à la surface.



http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/ucacajs/book_tmp/CGVE/chapter_6.htm
Luminosité ambiante et diffuse sur trois sphère.

La contribution à la luminosité par réflexion diffuse pour chaque canal λ de couleur est obtenue par l'équation suivante :

$$L_{\mathrm{dif}\,\lambda} = L_{\mathrm{d}\lambda} k_{\mathrm{d}\lambda} \left(\vec{N} \cdot \vec{L}\right) S_\lambda$$

où $L_{\mathrm{dif}\,\lambda}$: Luminosité diffuse de couleur λ.

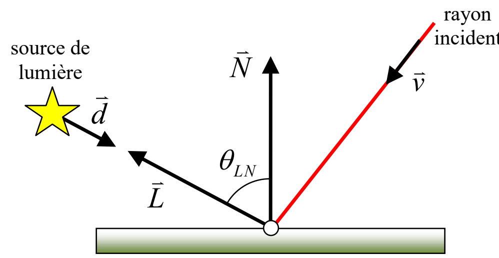
$L_{\mathrm{d}\lambda}$: Intensité de la lumière diffuse de couleur λ ($L_{\mathrm{d}\lambda} \in [0..1]$).

$k_{\mathrm{d}\lambda}$: Constante de réflexion diffuse de la surface pour la couleur λ ($k_{\mathrm{d}\lambda} \in [0..1]$).

$\vec{N}$: Normale à la surface du point de réflexion diffuse ($\|\vec{N}\| = 1$).

$\vec{L}$: Vecteur lumière orienté du point de diffusion vers la source de lumière ($\|\vec{L}\| = 1, \vec{L} = -\vec{d}$).

S_λ : Couleur de base de la surface de canal λ ($S_\lambda \in [0..1]$).



Il est important de préciser que la **luminosité diffuse** L_{dif} ne peut **pas être négative** (une source de lumière ne retire pas d'éclairage). Ainsi, il faut satisfaire la contrainte suivante :

$$\vec{N} \cdot \vec{L} < 0 \qquad \Rightarrow \qquad L_{\mathrm{dif}} = 0$$

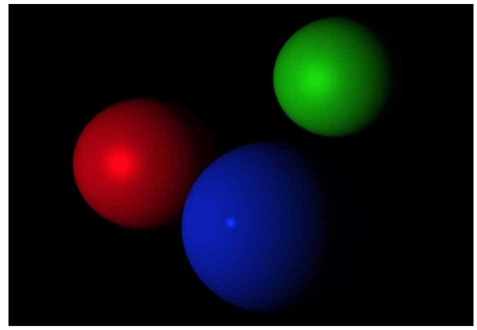
Si l'on utilise la **notation en triplet** avec une constante de réflexion diffuse k_{d} unique pour les trois canaux de couleur λ, nous avons

$$\dddot{L}_{\mathrm{dif}} = \begin{Bmatrix} \dddot{L}_{\mathrm{d}} \left(\vec{N} \cdot \vec{L}\right) \dddot{S}_{\mathrm{d}} & \text{si } \vec{N} \cdot \vec{L} > 0 \\ 0 & \text{si } \vec{N} \cdot \vec{L} < 0 \end{Bmatrix} \quad \text{où} \quad \dddot{S}_{\mathrm{d}} = k_{\mathrm{d}} \dddot{S} .$$

Luminosité par réflexion spéculaire

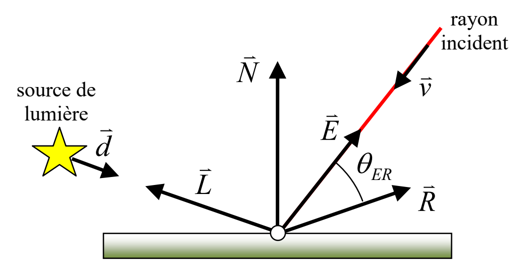
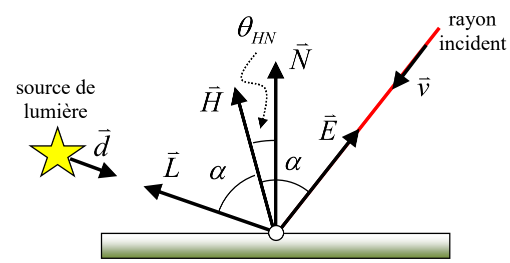
La réflexion spéculaire simule la réflexion de la lumière sur la surface polie produisant des régions à haute intensité qui porte le nom de *highlight*. Une surface **métallique** aura tendance à réfléchir spéculairement la couleur de la surface $\ddot{S}$ et une surface **plastique** aura tendance à réfléchir spéculairement la couleur de la lumière $\ddot{L}$.

La contribution spéculaire sera forte lorsque le rayon réfléchi $\vec{R}$ est fortement orienté vers l'œil $\vec{E}$.



http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/ucacajs/book_tmp/CGVE/chapter_6.htm
Luminosité ambiante, diffuse et spéculaire sur trois sphère.

La contribution à la luminosité par réflexion spéculaire pour chaque canal λ de couleur est obtenue à l'aide des deux modèles suivants : <u>Avec :</u> $S_{\lambda(\text{plas})} = (1-p)S_\lambda + p$

Modèle spéculaire de *Phong*	Modèle spéculaire de *Blinn*
$L_{\text{spé}\lambda} = L_{s\lambda} k_{s\lambda} \left(\vec{R} \cdot \vec{E}\right)^n S_{\lambda(\text{plas})}$	$L_{\text{spé}\lambda} = L_{s\lambda} k_{s\lambda} \left(\vec{N} \cdot \vec{H}\right)^n S_{\lambda(\text{plas})}$
 où $\vec{R} = \vec{d} + 2\left(\vec{L} \cdot \vec{N}\right)\vec{N}$ (loi de la réflexion)	 où $\vec{H} = \dfrac{\vec{E} + \vec{L}}{\left\Vert \vec{E} + \vec{L} \right\Vert}$ (vecteur milieu à *E* et *L*)

où $L_{\text{spé}\lambda}$: Luminosité spéculaire de couleur λ.

$L_{s\lambda}$: Intensité de la lumière spéculaire de couleur λ ($L_{s\lambda} \in [0..1]$).

$k_{s\lambda}$: Constante de réflexion spéculaire de la surface de couleur λ ($k_{s\lambda} \in [0..1]$).

$\vec{L}$: Vecteur lumière orienté du point de diffusion vers la source de lumière ($\left\Vert \vec{N} \right\Vert = 1$, $\vec{L} = -\vec{d}$).

$\vec{E}$: Orientation de la lumière se dirigeant vers l'œil ($\left\Vert \vec{E} \right\Vert = 1$, $\vec{E} = -\vec{v}$).

$\vec{R}$: Orientation de la lumière réfléchie par la surface selon la loi de la réflexion ($\left\Vert \vec{R} \right\Vert = 1$).

$\vec{N}$: Normale à la surface du point de diffusion ($\left\Vert \vec{N} \right\Vert = 1$).

$\vec{H}$: Vecteur bissecteur entre $\vec{L}$ et $\vec{E}$ ($\left\Vert \vec{H} \right\Vert = 1$).

p : Portion de la réflexion plastique de la surface ($p \in [0..1]$).

n : Rugosité de la surface ($n = 1$: surface rugueuse, $n \to \infty$: miroir) ($n \in [1...\infty]$).

S_λ : Couleur de base de la surface de canal λ ($S_\lambda \in [0..1]$).

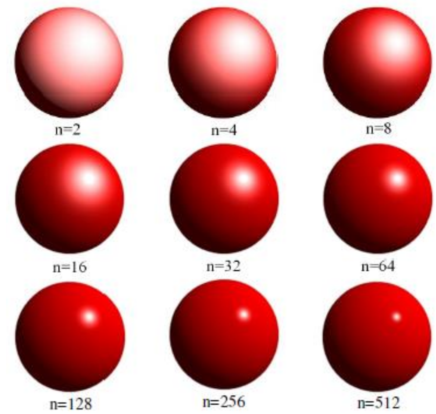
$S_{\lambda(\text{plas})}$: Couleur spéculaire sous l'effet plastique du matériel ($S_{\lambda(\text{plas})} = (1-p)S_\lambda + p$).

Au niveau de la rugosité de la surface, plus n est élevée, moins le *highlight* sera diffus (voir image ci-contre).

Il est important de préciser que la **luminosité spéculaire** $L_{\text{spé}}$ ne peut **pas être négative** (une source de lumière ne retire pas d'éclairage). Ainsi, il faut satisfaire la contrainte suivante :

$$\vec{R} \cdot \vec{E} < 0 \quad \text{ou} \quad \vec{N} \cdot \vec{H} < 0$$

$$\Rightarrow \qquad L_{\text{dif}} = 0$$



http://www.iro.umontreal.ca/~dift3355/notes/05_illumination.pdf
Réflexion spéculaire de *Phong* sur un plastique
(réflexion dont la couleur est celle de la lumière).

Si l'on utilise la **notation en triplet** avec une constante de réflexion spéculaire k_{s} unique pour les trois canaux de couleur λ, nous avons (pour la réflexion spéculaire de *Blinn*)

$$\dddot{L}_{\text{spé}} = \begin{cases} \dddot{L}_{\text{s}} \left(\vec{N} \cdot \vec{H}\right)^n \dddot{S}_{\text{s}} & \text{si } \vec{N} \cdot \vec{H} > 0 \\ 0 & \text{si } \vec{N} \cdot \vec{H} < 0 \end{cases} \quad \text{où} \quad \dddot{S}_{\text{s}} = k_{\text{s}}\left((1-p)\dddot{S} + p\,\dddot{1}\right) \quad \text{avec} \quad \dddot{1} = (1.0,\ 1.0,\ 1.0)$$

Équation de la luminosité directe à plusieurs sources de lumière

Lorsqu'il faut considérer la présence de plusieurs sources de lumière dans une scène, il faut additionner la luminosité de celles-ci. Traditionnellement, il n'y a qu'une seule source de luminosité ambiante dans une scène. Avec cette particularité, nous obtenons l'équation

$$\begin{aligned} \dddot{L} &= \dddot{L}_{\text{amb}} + \sum_{i=1}^{N} \dddot{L}_i \\ &= \dddot{L}_{\text{amb}} + \sum_{i=1}^{N} \left(\dddot{L}_{\text{dif}\,i} + \dddot{L}_{\text{spé}\,i} \right) \end{aligned}$$

réalisant l'addition de toutes les luminosités de type ambiante, diffuse et spéculaire provenant de toutes les source de lumière dont l'identification est réalisée par l'usage de d'indice i ($i \in [1, N]$).