



MASTÈRE HPC-AI

PROJET VISUALISATION SCIENTIFIQUE

Etat de l'art Raytracing

Élèves :

Eduardo VITAL

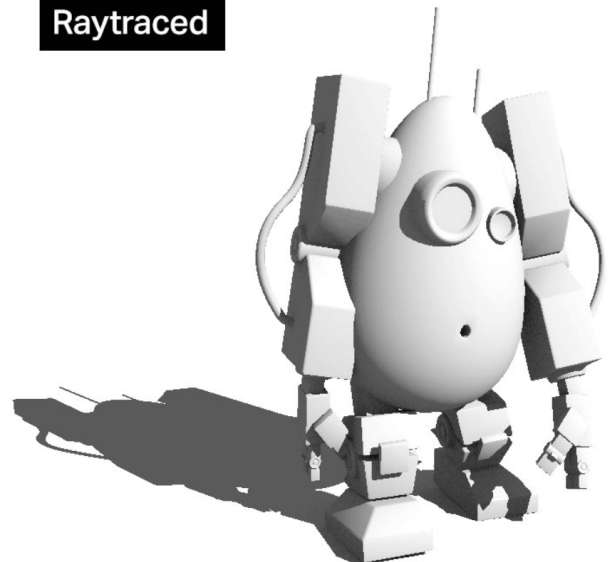
Manon TOURBIER

Abdeljelil MAADI

Professeur :

Julien WINTZ

Raytraced



11 mars 2022

1 Présentation

L'ors de ce projet : "Visualisation scientifique à l'aide de l'approche du RayTracing", Nous nous prposons d'élaborer une scène qui inclu :

- Un environnement de type cube box
- Des solides avec matériaux
- Un volume décrit par un pipeline VTK implémenté dans le langage Python

On se propose d'adopter la démarche de spécification des points suivants :

- un bref et rapide état de l'art du raytracing (sera explicité dans ce rapport)
- L'algorithme choisi
- les choix théoriques dimplémentation
- les choix techniques dimplémentation
- une démonstration du logiciel implémenté

Ces 4 dernières Items seront explicités l'ors de la soutenance et au niveau de la présentation Powerpoint.

2 Etat de l'art du Raytracing

2.1 Un ray tracer en quelques mots

Un ray tracer est un logiciel permettant de visualiser une scène modélisée en 3D fondé sur la théorie de loptique géométrique inversée. L'objectif est de lancer des rayons depuis un point d'observation (une caméra) et de suivre la trajectoire optique inverse¹ de ce rayon. Lorsqu'il y a une intersection entre le rayon et un objet de l'environnement, un calcul d'illumination (shading) détermine si l'objet intersecté est éclairé par une source de lumière et évalue la couleur que celui-ci va réfléchir et transmettre vers le point d'observation.

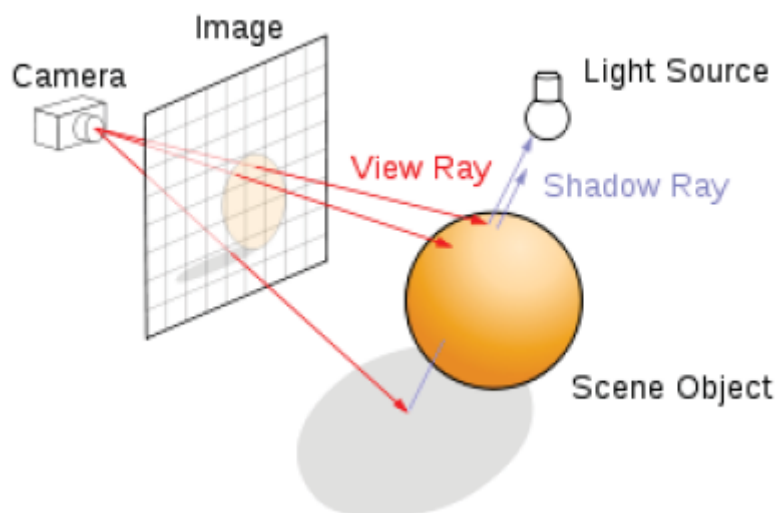


FIGURE 1 – Description visuelle du fonctionnement dun ray tracer.

Les résultats dépendent de la qualité de l'algorithme et du détail de la scène :

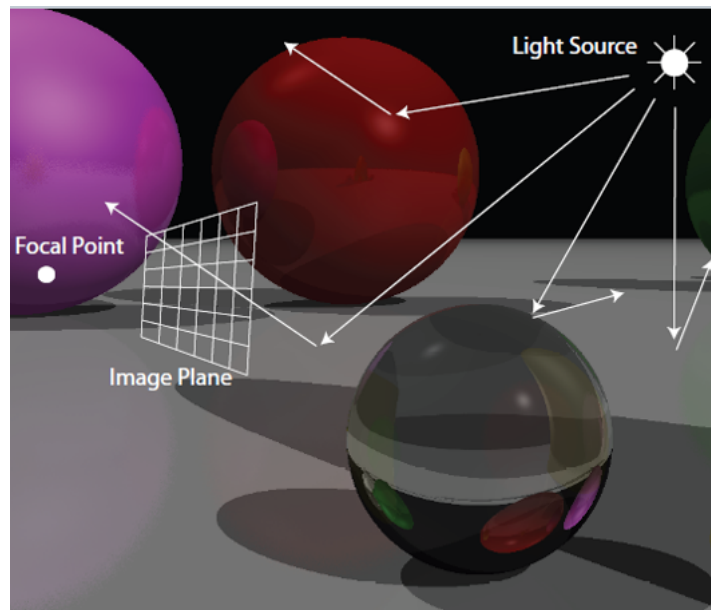


FIGURE 2 – Illumination directe seulement avec source de lumière blanche à droite dessphère.

2.2 Termes techniques dun ray tracer

Scène

Une scène représente un environnement en trois dimensions où lon retrouve des objets (primitives) que lon désire visualiser à laide dune image en deux dimensions.

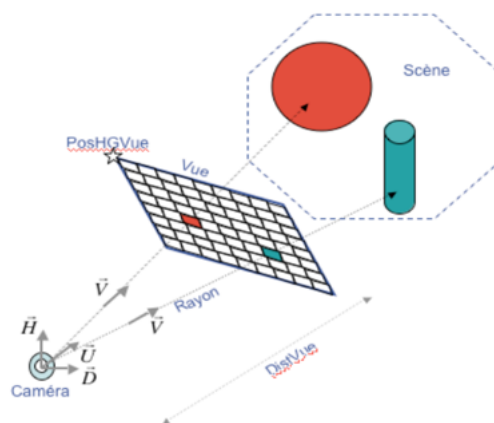


FIGURE 3 – Illustration de plusieurs rayons lancés depuis la caméra par un ray tracer.

Caméra

La caméra représente le point de référence par rapport auquel on effectue la visualisation de la scène.

Rayon

Un rayon correspond à la trajectoire inverse de la lumière initialement partant de la caméra. L'intersection de ce rayon avec un objet de la scène permettra de déterminer la couleur de l'image à générer.

Géométrie

Une géométrie représente la forme d'un objet (plan, sphère, triangle, cube, etc).

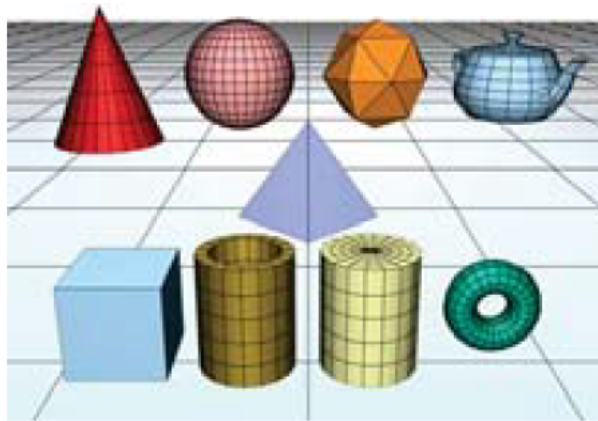


FIGURE 4 – Illustration de géométries typiques.

Matériel

Un matériel représente les caractéristiques physiques et visuelles d'un objet (couleur, indice de réfraction, transparence, etc).

Primitive (objet de la scène)

Une primitive est un objet de la scène que l'on caractérise par une géométrie et un matériel.

Source de lumière

Une source de lumière permet d'illuminer une scène afin de rendre visible les matériaux des primitives dont la géométrie a été intersectée par un rayon. Une source de lumière peut être bloquée par des géométries ce qui reproduit l'effet d'ombrage.

Pyramide de vue (view frustum)

Une pyramide de vue correspond à la région de la scène qui sera vue par la caméra. Elle est délimitée par un écran de face (near clipping plane) et un écran de fond (far clipping plane).

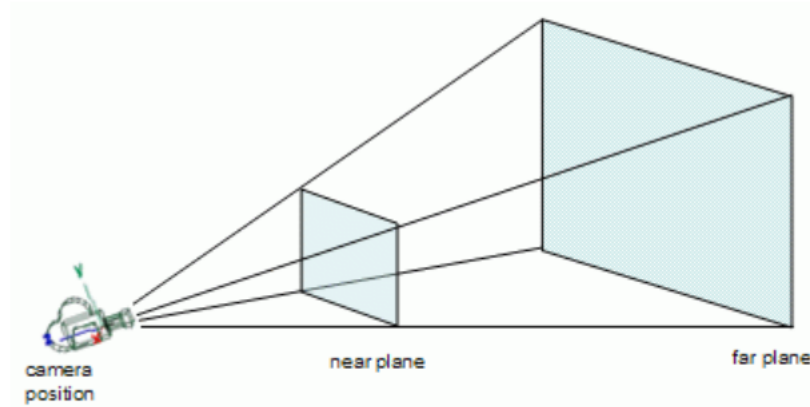


FIGURE 5 – Pyramide de vue associée à une caméra.

Algorithme d'illumination (shader)

Un algorithme d'illumination est un calcul évaluant la réflexion et la transmission d'une source de lumière sur une primitive. Ce calcul dépend de plusieurs facteurs comme la géométrie et le matériel de la primitive éclairée.

2.3 Equation du rayon

Un rayon \vec{r}_{ray} est une structure ayant une origine \vec{r}_0 et une orientation \vec{v} . Il permet de faire des calculs d'intersection avec des formes géométriques d'une scène. On utilise un paramètre de temps t pour ordonner chronologiquement les intersections du rayon avec les objets de la scène.

Un rayon paramétré dans le temps aura la forme suivante :

$$\vec{r}_{\text{ray}} = \vec{r}_0 + \vec{v}t$$

où

- \vec{r}_{ray} : Coordonnée touchée par le rayon après un temps t
- \vec{r}_0 : Origine du rayon.
- \vec{v} : Orientation du rayon ($\|\vec{v}\| = 1$, vecteur unitaire).
- t : Temps écoulé dans le déplacement du rayon.

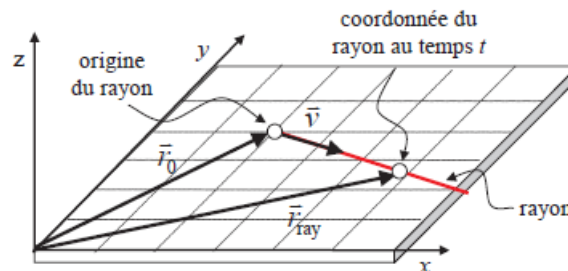


FIGURE 6 – Equation du Rayon.

En informatique, la définition d'un rayon aura besoin des variables suivantes :

Géométrie du rayon	Information sur la géométrie intersectée
<ul style="list-style-type: none"> Position d'origine du rayon (\vec{r}_0) Orientation du rayon (\vec{v}) 	<ul style="list-style-type: none"> Le temps t pour intercepter la géométrie. La normale à la surface \vec{n} au site de l'intersection. Une coordonnée de texture uv (s'il y en a une). Référence vers le matériel appliqué sur la géométrie (ex : pour obtenir la couleur de la géométrie).

2.4 Intersection dans le Raytracer

Le calcul de l'intersection consiste à vérifier si un rayon

$$\vec{r}_{\text{ray}} = \vec{r}_0 + \vec{v}t$$

partant de la caméra et traversant un pixel de l'écran de projection peut effectuer une intersection avec une géométrie de la scène. Si plusieurs géométries réalisent une intersection avec le rayon, il faut identifier la géométrie la plus près en utilisant le temps t pour ordonner les intersections réalisées.

Il y aura intersection si une coordonnée du rayon \vec{r}_{ray} à un temps t est égale à une coordonnée $\vec{r}_{\text{géo}} = \vec{r}_{\text{géo}}(x, y, z)$ d'une géométrie. Habituellement, nous exprimons la forme des géométries sous forme canonique (surface quadrique ¹) ce qui représente une contrainte aux valeurs admissibles du rayon \vec{r}_{ray} pour qu'il y ait intersection. Si aucune valeur ne permet de satisfaire la contrainte, alors il n'y a pas d'intersection avec le rayon \vec{r}_{ray} .

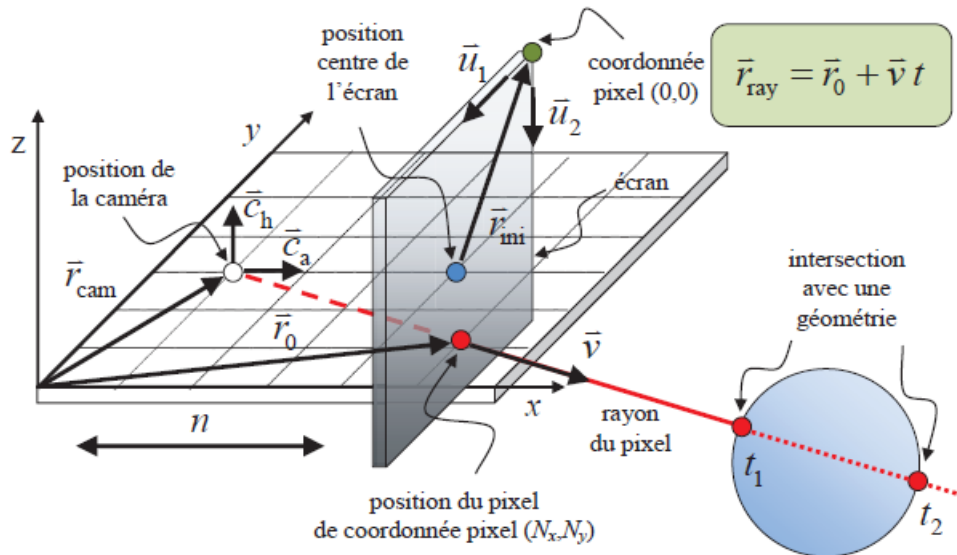


FIGURE 7 – Equation du Rayon.

Voici quelques exemples de forme géométriques sous forme implicite $G(x, y, z)=0$:

Plan	Triangle	Sphère
$ax + by + cz + d = 0$	$ax + by + cz + d = 0$ (avec contraintes sur x, y et z)	$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = R^2$

2.5 Les couleurs dans un ray tracer

Une couleur \ddot{S} est un triplet représentant les trois canaux de couleur élémentaire rouge (red), vert (green) et bleu (blue). Un canal doit idéalement avoir une valeur entre 0 et 1 afin d'éviter la saturation ¹ :

$$\ddot{S} = (S_R, S_G, S_B)$$

où

- S_R : Niveau de rouge dans la couleur de la surface ($S_R \in [0..1]$).
- S_G : Niveau de vert dans la couleur de la surface ($S_G \in [0..1]$).
- S_B : Niveau de bleu dans la couleur de la surface ($S_B \in [0 \dots 1]$).

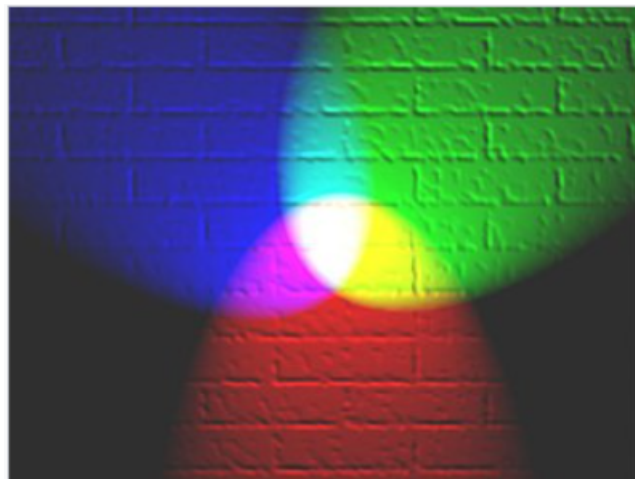
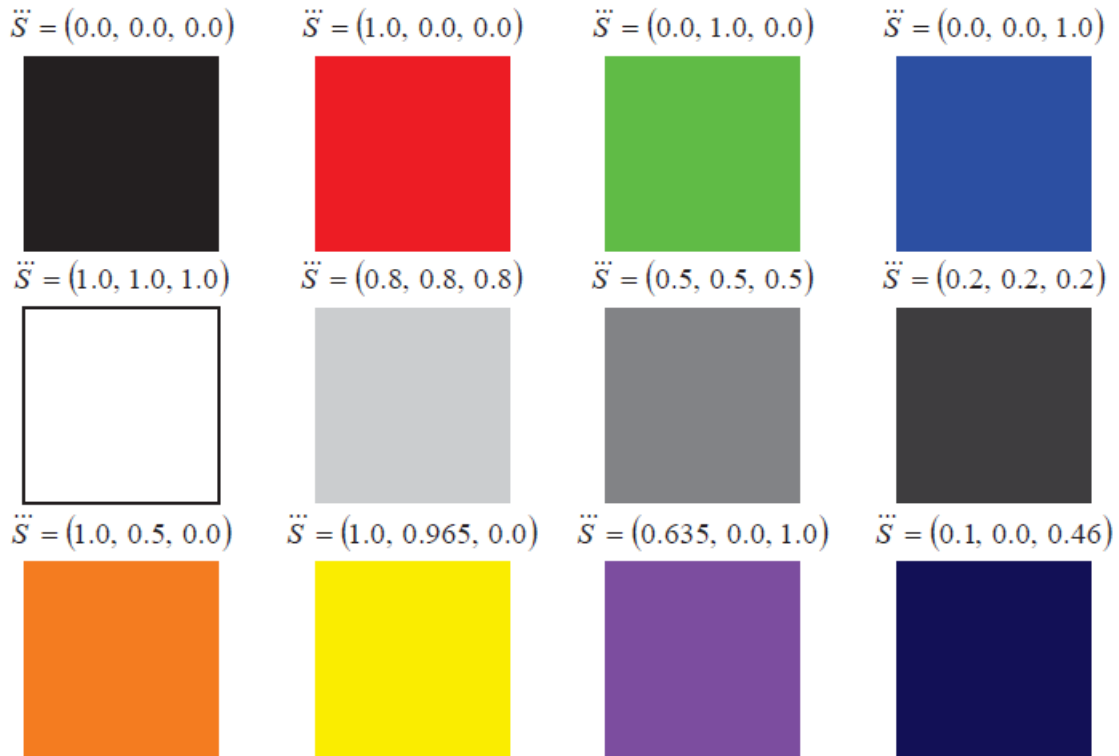


FIGURE 8 – Modele de couleur.

On utilise la notation S_λ pour désigner un canal quelconque d'une couleur \ddot{S} dans une équation mathématique utilisant des couleurs :

$$S_\lambda \text{ tel que } \lambda \in \{R, G, B\} \text{ et } S_\lambda \in [0..1]$$

Voici différentes représentations de couleur en fonction du vecteur couleur \vec{S} :



2.6 Illumination direct dans un ray tracer

Informations nécessaires au calcul d'illumination)

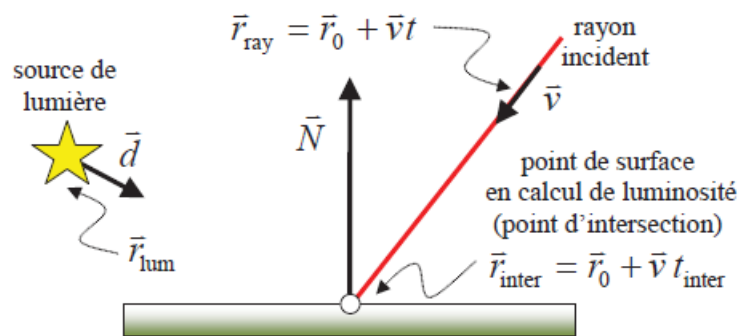


FIGURE 9 – Modele de couleur.

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}_{lum}	\vec{d}	\vec{N}	\vec{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	Réfectivité
\ddot{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.

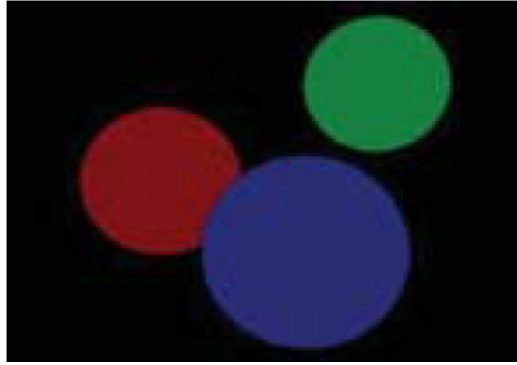


FIGURE 10 – Luminosité ambiante sur trois sphères.

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

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

où

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

$$\ddot{L}_{\text{amb}} = \ddot{L}_a \ddot{S}_a \text{ où } \ddot{S}_a = k_a \ddot{S}$$

Luminosité par réflexion diffuse (réflexion lambertienne)

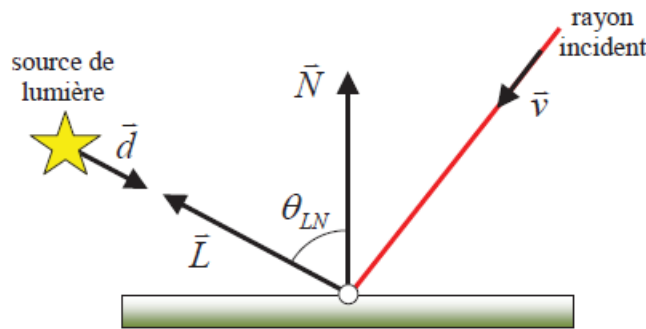
La réflexion diffuse permet de simuler la dispersion de la lumière par une surface. La lumière perçue par un observateur va dépendre de l'angle entre la normale à la surface et l'orientation de la source de lumière (plus la normale à la surface fait face à la lumière, plus il y aura de réflexion). Cette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



FIGURE 11 – 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 :

$$L_{\text{dif}\lambda} = L_{\text{d}\lambda} k_{\text{d}\lambda} (\vec{N} \cdot \vec{L}) S_{\lambda}$$



où

- $L_{\text{dif}\lambda}$: Luminosité diffuse de couleur λ .
- $L_{\text{d}\lambda}$: Intensité de la lumière diffuse de couleur λ ($L_{\text{d}\lambda} \in [0..1]$).
- $k_{\text{d}\lambda}$: Constante de réflexion diffuse de la surface pour la couleur λ ($k_{\text{d}\lambda} \in [0..1]$).
- \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 :

$$\vec{N} \cdot \vec{L} < 0 \quad \Rightarrow \quad L_{\text{dif}} = 0$$

Luminosité par réflexion spéculaire

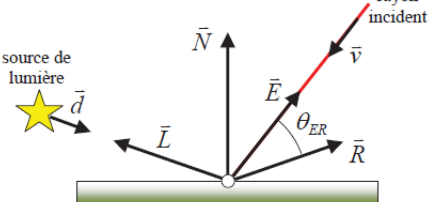
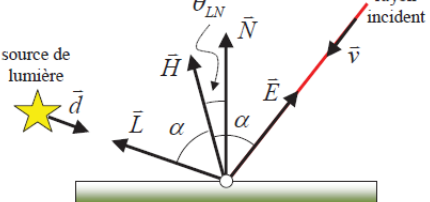
La réflexion spéculaire simule la réflexion de la lumière sur la surface polie produisant des régions à haute intensité qui porte le nom de highlight. Une surface métallique aura tendance à réfléchir spéculairement la couleur de la surface \ddot{S} et une surface plastique aura tendance à réfléchir spéculairement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



FIGURE 12 – Luminosité ambiante, diffuse et spéculaire sur trois sphère.

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

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

Modèle spéculaire de Phong	Modèle spéculaire de Blinn
$L_{\text{spé}\lambda} = L_{s\lambda} k_{s\lambda} (\vec{R} \cdot \vec{E})^n S_{\lambda(\text{plas})}$	$L_{\text{spé}\lambda} = L_{s\lambda} k_{s\lambda} (\vec{N} \cdot \vec{H})^n S_{\lambda(\text{plas})}$
 <p>où $\vec{R} = \vec{d} + 2(\vec{L} \cdot \vec{N})\vec{N}$ (selon la loi de la réflexion)</p>	 <p>où $\vec{H} = \frac{\vec{E} + \vec{L}}{ \vec{E} + \vec{L} }$</p>

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 ($|\vec{L}| = 1, \vec{L} = -\vec{d}$).
- \vec{E} : Orientation de la lumière se dirigeant vers l'il ($|\vec{E}| = 1, \vec{E} = -\vec{v}$).
- \vec{R} : Orientation de la lumière réfléchiée par la surface selon la loi de la réflexion ($|\vec{R}| = 1$).

- \vec{N} : Normale à la surface du point de diffusion ($|\vec{N}| = 1$).
- \vec{H} : Vecteur bissecteur entre \vec{L} et \vec{E} ($|\vec{H}| = 1$).
- p : Portion de la réflexion plastique de la surface ($p \in [0..1]$).
- n : Rugosité de la surface ($n = 1$: surface rugueuse, $n \rightarrow \infty$: miroir) ($n \in [1 \dots \infty]$).
- 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 ($S_{\lambda(\text{plas})} = (1 - p)S_\lambda + p$).

3 Bibliographie

http://https://pjreddie.com/media/files/Redmon_Thesis.pdf
https://en.wikipedia.org/wiki/File:CIE_1931_XYZ_Color_Matching_Functions.svg
https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/svezina/nyc/note_nyc/NYC_CHAP_6_IMPRIMABLE_4.pdf