

Modélisation de l'éclairage

USTHB - M2 IV

Dr A. DAHMANE

Modèle d'éclairement

Un affichage réaliste d'une scène nécessite d'y appliquer un effet de lumière sur les surfaces visibles.

- Modèle d'éclairement : permet le calcul de l'intensité lumineuse à chaque point d'une surface.

Le photoréalisme dans l'infographie implique deux éléments:

- Une représentation précise de l'objet
- Une bonne description de l'effet de la lumière (transparence, texture, réflexion et ombrage).

Sources de lumière

Deux principales sources:

- Source émettrice de lumière.
- Surface réfléchissante de lumière.

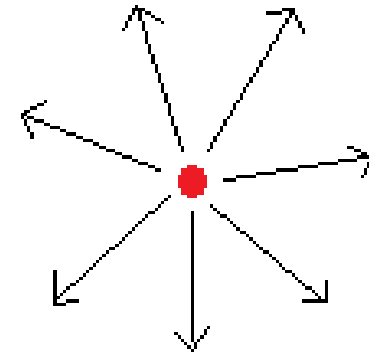
La lumière incidente :

- Représente la somme des lumières incidentes depuis différentes sources.
- Une partie d'elle est réfléchiée, une autre absorbée par la surface et, des fois, une partie est transmise.

Sources émettrice de lumière

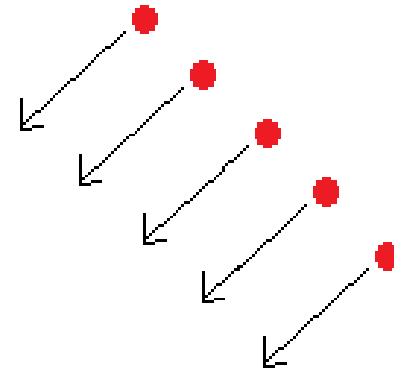
- Source ponctuelle

Approximation de sources dont la dimension est petite par rapport à l'objet ou dont la position est très éloigné de celle de l'objet.



- Source distribuée

Accumulation d'éclairement de plusieurs sources ponctuelles.



Modèle d'éclairement

Le calcul de l'éclairement est basé sur:

- Les propriétés optiques de la surface (opaque, transparent, brillant,)
- Les conditions d'éclairement de l'arrière plan
- Les spécifications de la source de lumière

Il en résulte:

- Coordonnées de sa position
- Valeur de son intensité (couleur)

Lumière ambiante

- C'est un éclairage uniforme, appelé aussi lumière d'arrière plan.
- Elle n'a pas de caractéristiques spatiales ou directionnelles.
- La quantité de lumière ambiante incidente sur chaque surface est une constante I_a .



Réflexion diffuse

- La réflexion de la lumière ambiante est une approximation d'effets de lumière diffuse globale.
- La réflexion diffuse est constante pour chaque surface de la scène, quelque soit la direction de la visualisation.
- La quantité fractionnelle de la lumière incidente qui est réfléchie de manière diffuse, peut être fixée pour chaque surface avec le paramètre k_d qui est le coefficient de réflectivité.

Réflexion diffuse

Les valeurs assignées à k_d sont dans l'intervalle $[0,1]$:

- Pour une surface à grande réflexion, k_d est proche de 1, ce qui donne une intensité de lumière réfléchie proche de l'intensité de la lumière incidente.
- Pour une surface qui absorbe la lumière incidente, k_d est proche de 0.

$$I_{diff,amb} = k_d I_a$$

Réflexion diffuse

La lumière ambiante produit un ombrage plat et pas intéressant. Au moins une source de lumière doit être incluse dans la scène.

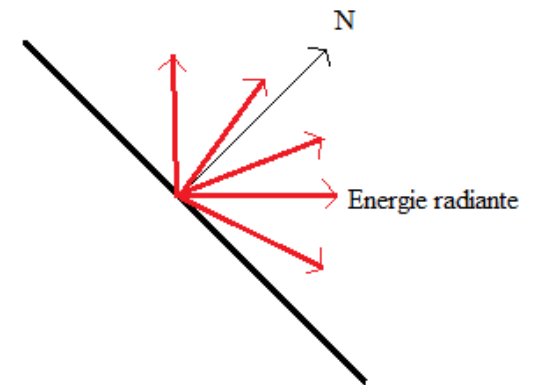


Réflexion diffuse

On peut modéliser la réflexion diffuse d'un éclairage à partir d'une source ponctuelle, de la même manière.

Réflecteur Lambertien:

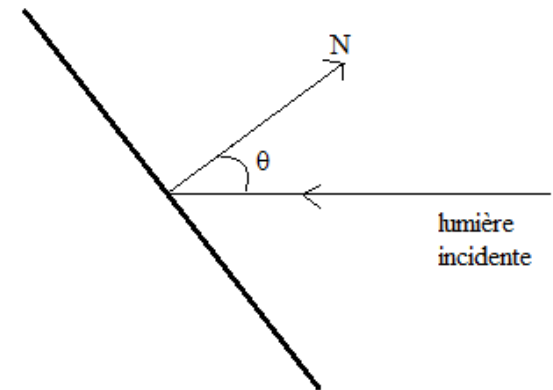
C'est les surfaces à partir desquelles, la réflexion diffuse est dispersée dans toutes les directions, avec des intensités égales.



Réflexion diffuse

La luminosité de la surface dépend de l'orientation de cette dernière par rapport à la source de lumière.

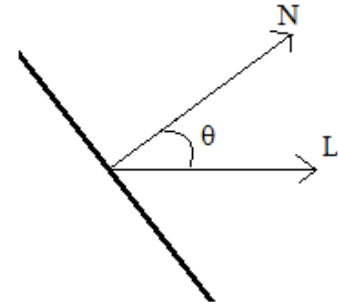
θ est l'angle d'incidence entre la direction de la lumière et le vecteur normal à la surface, alors $I_{diff,l} = k_d I_l \cos\theta$



Réflexion diffuse

Si N est le vecteur normal et L est le vecteur de direction vers le point de lumière, alors $\cos\theta = N \cdot L$

donc: $I_{diff,l} = k_d I_l (N \cdot L)$



On combine la réflexion de la lumière ambiante et celle de la source ponctuelle:

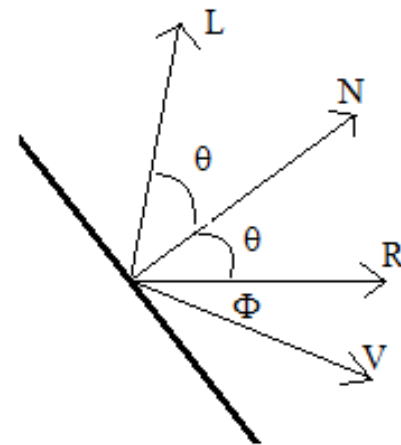
$$I_{diff} = k_a I_a + k_d I_l (N \cdot L)$$



Réflexion spéculaire et modèle de phong

Certains effets de brillance dépendent de la direction de la visualisation, par exemple une pomme. C'est la *réflexion spéculaire*.

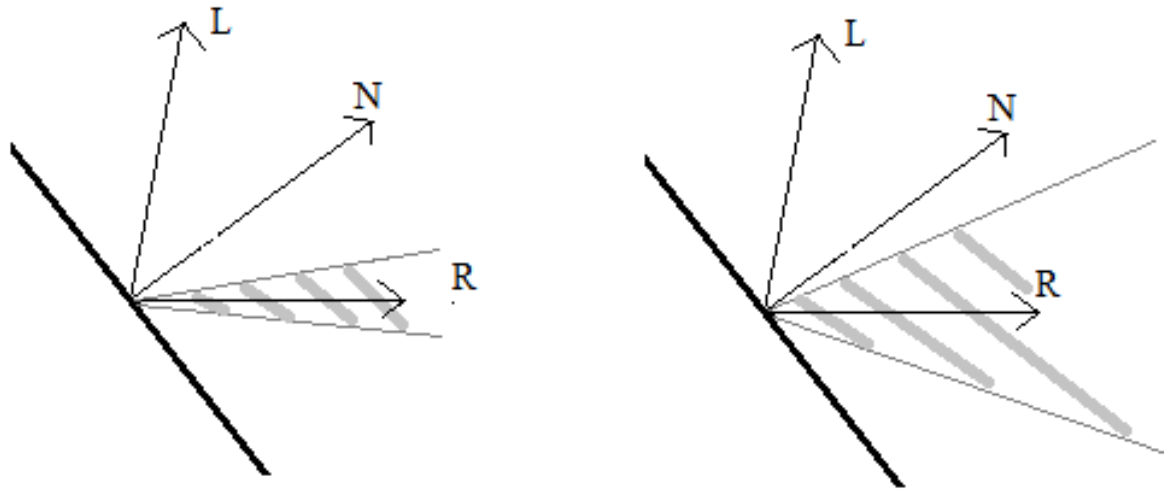
La réflexion de la lumière incidente est concentrée dans une direction qui dépend de l'angle de réflexion spéculaire.



Réflexion spéculaire

On ne peut voir la lumière réfléchi que si notre V se trouve dans un intervalle fini autour de R.

- Les surfaces brillantes ont un intervalle de réflexion spéculaire étroit.
- Les surfaces ternes en ont un plus grand.



Modèle de Phong

C'est un modèle empirique pour calculer l'intervalle de réflexion spéculaire. Il fixe l'intensité de réflexion spéculaire proportionnellement à $\cos^n \Phi$.

- Avec Φ entre 0° et 90° , $\cos \Phi$ prend des valeurs entre 0 et 1.
- La valeur de n dépend du type du matériau. Pour un objet terne, comme la craie, n est proche de 1.

Plus le paramètre de réflexion spéculaire n est grand, plus l'intervalle de Φ diminue et l'objet est brillant.

Modèle de Phong

En plus du type du matériau, l'intensité de la réflexion spéculaire dépend de l'angle d'incidence de la lumière.

On peut modéliser sa variation en utilisant un coefficient de réflexion spéculaire $W(\theta)$ pour chaque type de surface.

Lorsque $\theta = 90^\circ$, $W(\theta) = 1$, puis lorsque θ diminue, $W(\theta)$ tend à diminuer selon le type du matériau.

Modèle de Phong

On obtient:

$$\begin{aligned} I_{spec} &= W(\theta) I_l \cos^n \Phi \\ &= W(\theta) I_l (V \cdot R)^n \end{aligned}$$

On peut remplacer $W(\theta)$ par un coefficient de réflexion spéculaire constant:

$$I_{spec} = k_s I_l (V \cdot R)^n$$



Modèle d'éclairage

Combinaison:

Pour une source de lumière ponctuelle, on peut modéliser les réflexions combinées, diffuse et spéculaire, telle que:

$$I = I_{diff} + I_{spec}$$
$$I = k_a I_a + k_d I_l (N \cdot L) + k_s I_l (V \cdot R)^n$$

Avec plusieurs sources de lumière:

$$I = k_a I_a + \sum_{i=1}^n I_{l_i} (k_d (N \cdot L_i) + k_s (V \cdot R_i)^n)$$

Atténuation de l'intensité

Lorsque l'énergie radiante se déplace à partir d'une source de lumière ponctuelle à travers l'espace, son amplitude est atténuée par $1/d^2$, où d est la distance parcourue.

Ce modèle est trop simple pour décrire des effets de réel éclairage. Il ne donne pas toujours de bons résultats car la variation est trop grande lorsque d est petit et elle est trop petite lorsque d est grand.

Atténuation de l'intensité

On peut utiliser la fonction d'atténuation:

$$f(d) = \frac{1}{a_0 + a_1 d + a_2 d^2}$$

a_0 : constante d'atténuation

a_1 : constante d'atténuation linéaire

a_2 : constante d'atténuation quadratique

Le modèle d'éclairement devient:

$$I = k_a I_a + \sum_{i=1}^n f(d_i) I_{l_i} (k_d (N \cdot L_i) + k_s (V \cdot R_i)^n)$$

Les couleurs

Dans une scène on a besoin de définir les composantes RGB de la lumière réfléchie.

- Fixer un coefficient de réflectivité pour chaque couleur (k_{dR}, k_{dG}, k_{dB}) .
- Fixer un coefficient de réflexion spéculaire pour chaque couleur (k_{sR}, k_{sG}, k_{sB}) .
- Laisser les coefficients constants et définir des vecteurs de couleur diffuse et spéculaire (S_{dR}, S_{dG}, S_{dB}) et (S_{sR}, S_{sG}, S_{sB}) . La composante bleue de la lumière réfléchie devient:

$$I_B = k_a S_{dB} I_{aB} + \sum_{i=1}^n f(d_i) I_{lB_i} (k_d S_{dB} (N \cdot L_i) + k_s S_{sB} (V \cdot R_i)^n)$$

La transparence

Une partie de la lumière incidente sur une surface transparente est réfléchiée et une autre est réfractée.

Le chemin de la lumière réfractée est différent de celui de la lumière incidente à cause de l'effet du matériau sur le changement de la vitesse de la lumière.

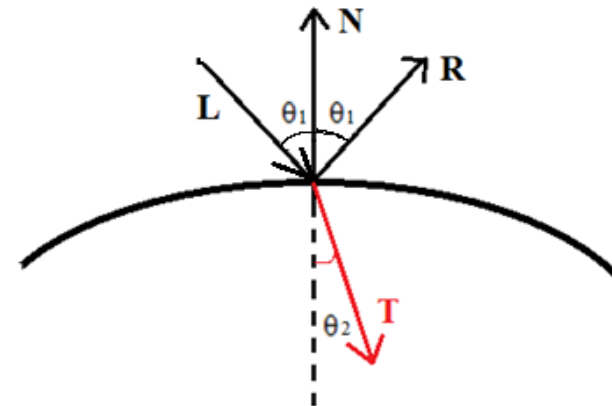
La transparence

Lois de *Shnell*:

$$\sin(\theta_2) = \frac{n_1}{n_2} \sin(\theta_1)$$

n_1 et n_2 sont les indices de réfraction.

θ_1 est l'angle d'incidence et θ_2 est l'angle de réfraction.



La transparence

Nous pouvons combiner l'intensité transmise et celle réfléchie par une surface transparente en utilisant un coefficient de transparence k_t avec une valeur entre 0 et 1:

$$I = (1 - k_t)I_{refl} + k_t I_{trans}$$

$(1 - k_t)$ est alors le facteur d'opacité

Ombrage

Les méthodes d'élimination des parties cachées sont appliquées relativement à la source de lumière.

Si elle n'est pas visible, la surface serait dans l'ombre de cette lumière

Tracé de rayon

Principe:

Un observateur voit un point sur une surface comme un résultat de l'interaction de ce point de la surface avec les rayons émanant de partout dans la scène.

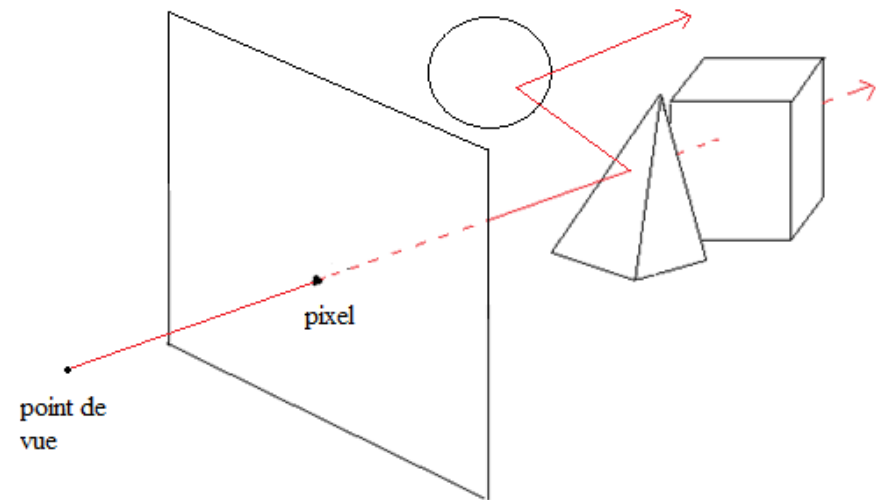
Combine en un seul modèle:

- Elimination des parties cachées
- Ombrage du à l'éclairage directe ou globale

Tracé de rayon

Soit un système de coordonnées pour positionner les pixels.

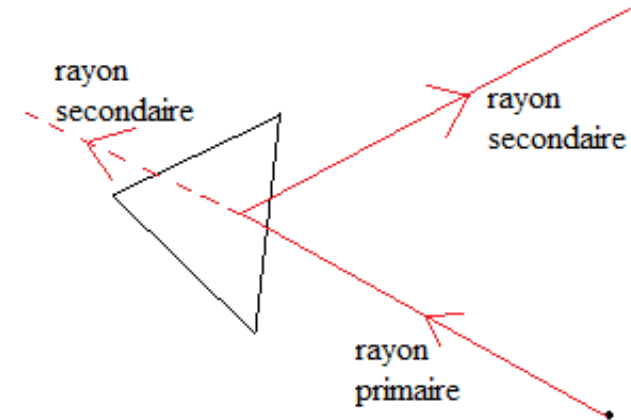
On détermine un rayon qui passe depuis le point de vue à travers le centre de chaque pixel. L'effet d'éclairement accumulé, le long de son chemin, est affecté au pixel.



On trace une ligne de visée à l'envers.

Tracé de rayon

- Pour chaque pixel, on vérifie s'il y a intersection avec chaque surface.
- Si c'est le cas, on calcule la distance entre le pixel et les points d'intersection. La plus petite distance identifie la surface visible pour ce pixel.
- Le *rayon primaire* est réfléchi sur la surface visible selon un chemin spéculaire.
- Si la surface est transparente, alors le *rayon primaire* est réfracté.

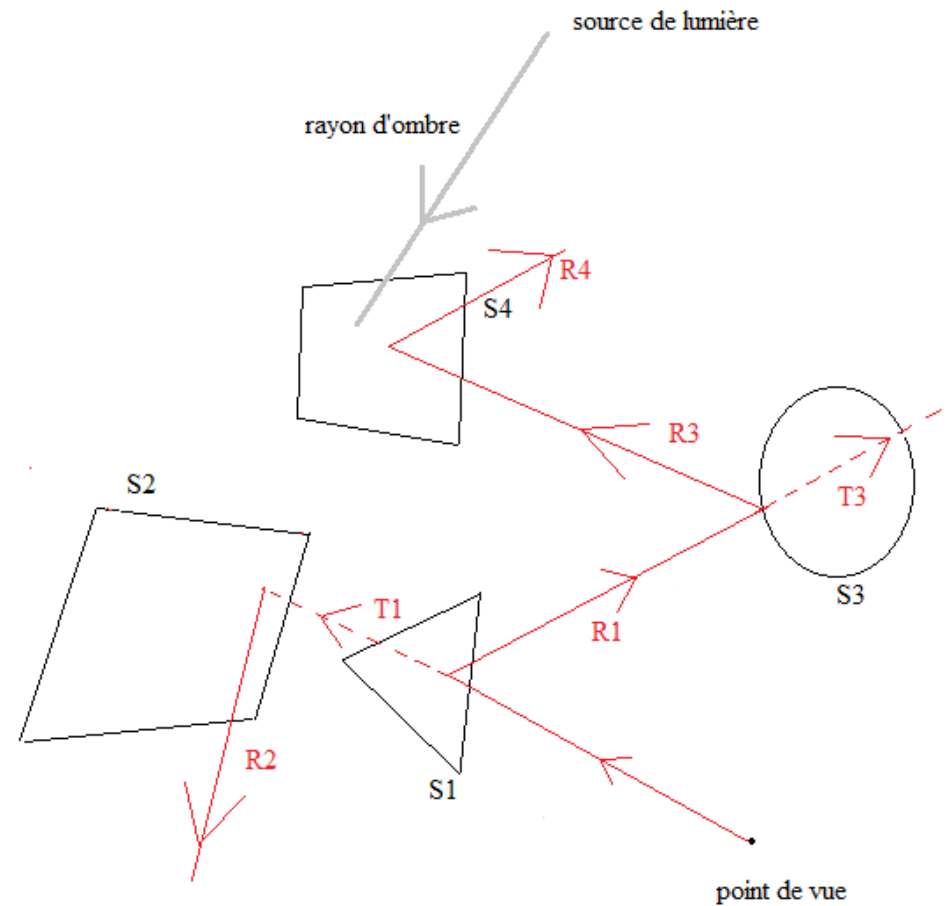
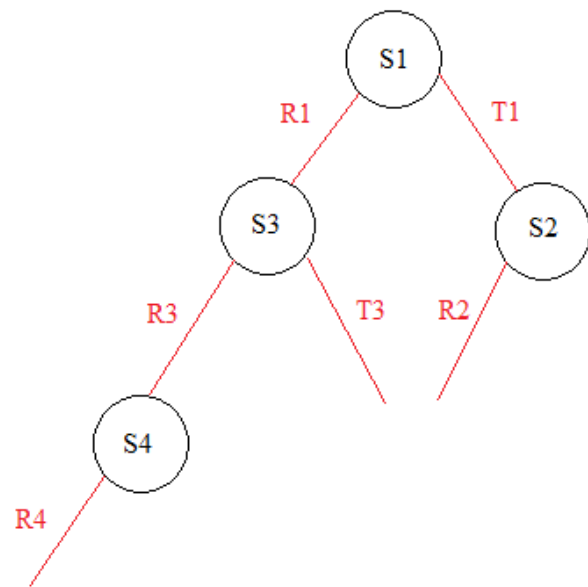


Tracé de rayon

Le processus est répété pour chaque rayon secondaire:

- Les objets sont testés pour une intersection
- La surface la plus proche est utilisée pour produire, de manière réursive, la génération suivante de rayons secondaires
- Chaque surface avec laquelle il y a intersection, est ajoutée à un arbre binaire
- La profondeur maximum peut être fixée
- Si un rayon touche une source de lumière, il est terminé

Arbre de tracé de rayon



Arbre de tracé de rayon

- L'intensité assignée à un pixel est celle accumulée dans l'arbre
- L'intensité de chaque nœud est atténuée par la distance à la surface mère
- On commence par les feuilles, l'intensité de chaque nœud est ajoutée à l'intensité de la surface mère
- L'intensité du pixel est alors, la somme des intensités atténuées
- S'il n'y a aucune intersection, l'arbre est vide et l'intensité du pixel sera celle de l'arrière plan.
- S'il y a une intersection avec un objet, entre la surface et le rayon d'ombre, la surface serait dans l'ombre de cette lumière.

Antialiasing

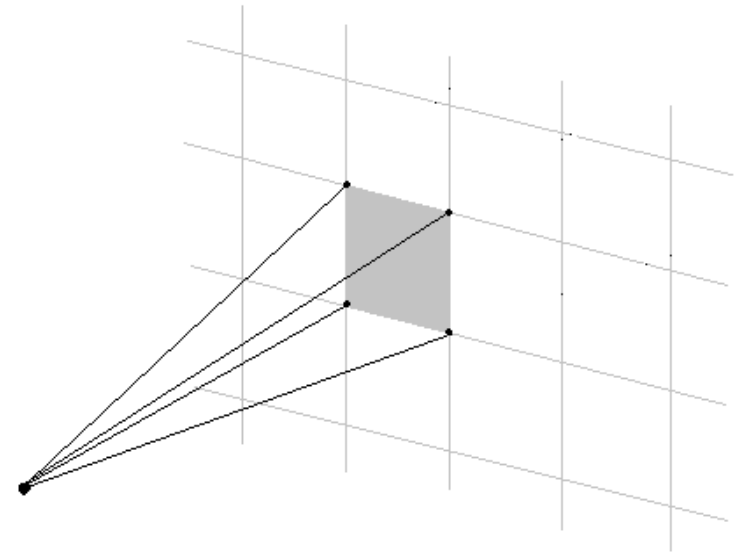
Deux techniques de base:

- Sur-échantillonnage

Utilise uniformément, plusieurs rayons pour chaque pixel

- Echantillonnage adaptatif

Utilise de manière non uniforme,
plusieurs rayons sur certains pixels



Intersection rayon-surface

Soit

P_0 la position initiale

u le vecteur de direction

P est un point à une distance s de P_0

Alors

$$P = P_0 + su$$

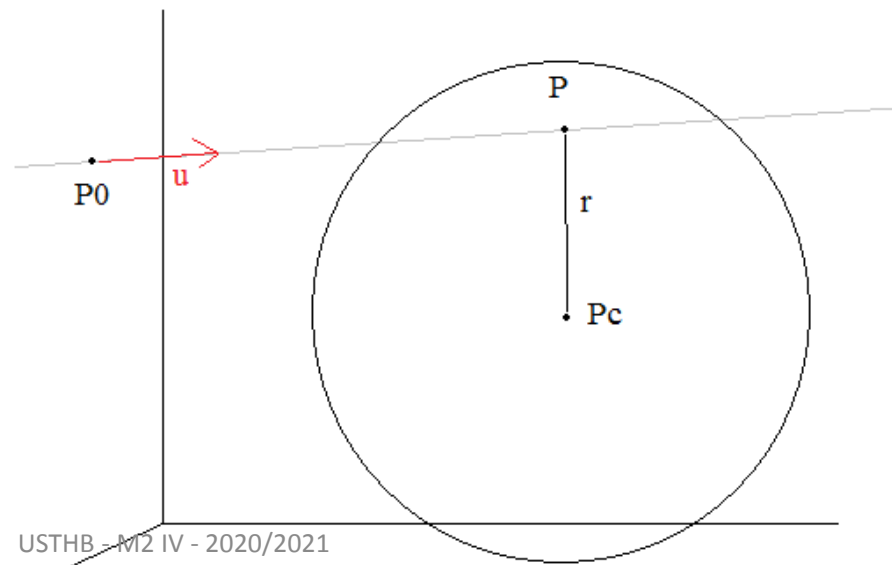
A chaque intersection avec une surface, P_0 et u sont mis à jour pour les rayons secondaires. Pour calculer l'intersection, on résout simultanément l'équation du rayon et celle de la surface.

Intersection rayon-surface

La sphère:

$$\begin{aligned} |P - P_c|^2 - r^2 &= 0 \\ |P_0 + su - P_c|^2 - r^2 &= 0 \end{aligned}$$

Équation du 2nd degré



Temps de calcul

Problème:

Le calcul de l'intersection rayon-surface est trop coûteuse.

Solutions:

- Hiérarchie de volumes englobants,
- subdivision spatiale (octree, BSP)