



Techniques numériques pour l'optique : Cours Magistral 4

Victor COLAS

Master PAIP-POM

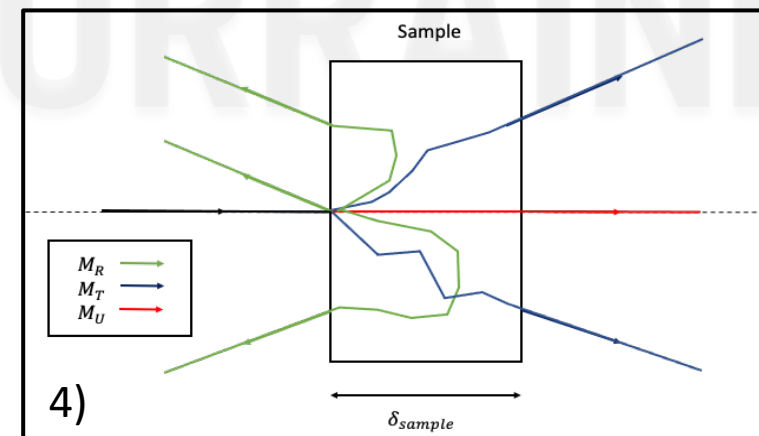
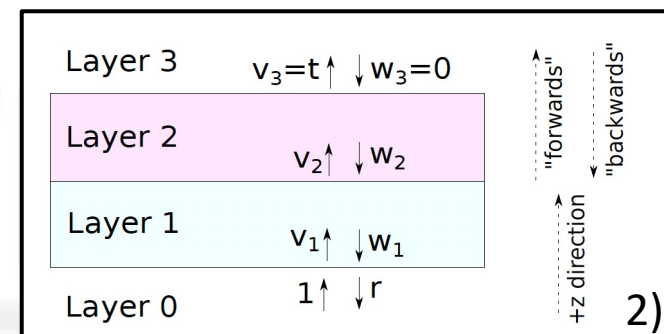
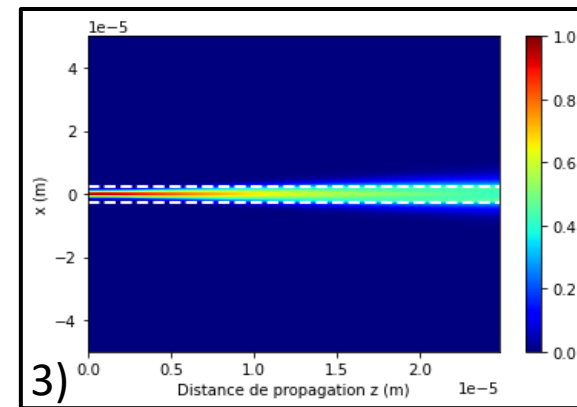
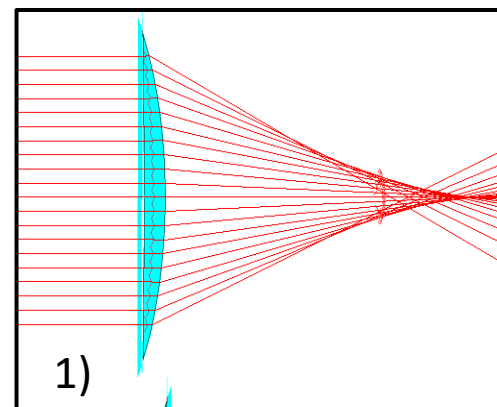


Présentation de l'UE

- **Descriptif :**

Utilisation de l'outil numérique pour étudier la propagation de la lumière au travers 4 exemples :

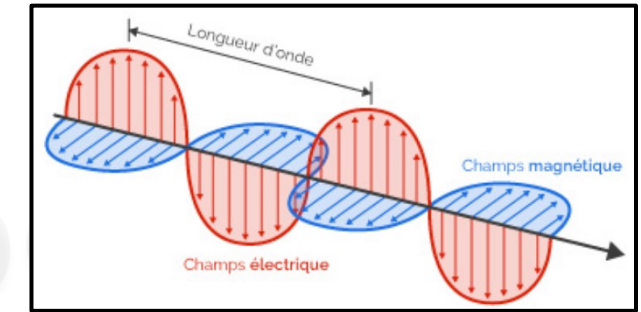
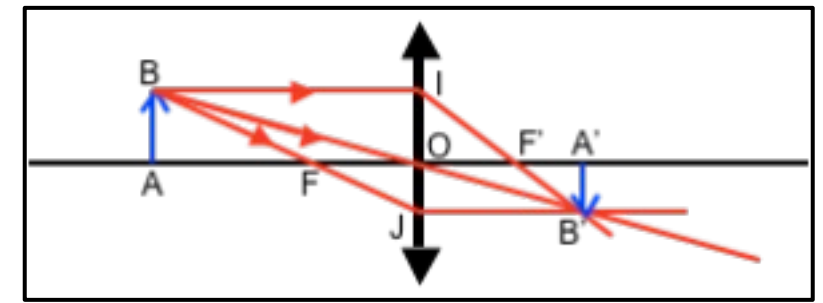
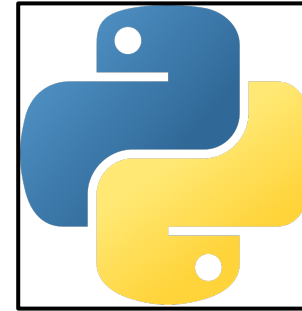
1. le lancer de rayons
2. la propagation de lumière dans des milieux multicouches
3. la propagation de faisceau dans l'espace de Fourier
4. les approches Monte Carlo pour la propagation en milieux diffusants



Présentation de l'UE

- **Prérequis :**

- Algorithmie (Python)
- Optique géométrique
- Optique physique (électromagnétisme)

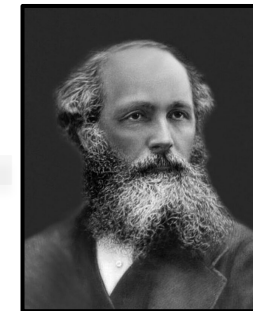


- **Acquis d'apprentissage :**

- Utiliser l'outil numérique pour la propagation de la lumière

- **Compétence visée :**

- « Passage » de la théorie au numérique
- Démarche de recherche (autonomie + article scientifique)



$$\overrightarrow{\text{rot}}(E) = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

Maxwell - Faraday

Composition de l'UE

- **14 h de CM :**

1. CM1 (4h) : Ray-Tracing pour le design de systèmes optiques
2. CM2 (4h) : Propagation d'onde optique dans les milieux multicouches
3. CM3 (4h) : Propagation libre ou guidée de faisceau laser
4. CM4 (2h) : Approche de Monte Carlo pour les milieux diffusants

- **16 h de TP (3x4 h de projet + 4h de soutenance) qui constituent l'évaluation de l'UE :**

1. Définir un projet à traiter (livrable descriptif à rendre ~2 pages) (~15% note)
2. Faire les travaux nécessaires puis rédiger un article scientifique en guise de rapport (~50% note)
3. Faire une présentation orale (15 min) au reste de la promo (~35% note)

CM4 (2h) : Optique en milieu diffusant, approches de Monte Carlo

1. Théorie Monte Carlo : Une approche statistique
2. Pratique : Calcul de PI avec une approche MC
3. Théorie : MC pour l'optique diffuse
4. Pratique : Compléter un code de propagation en milieu diffusant

Rapide présentation

Origine du nom

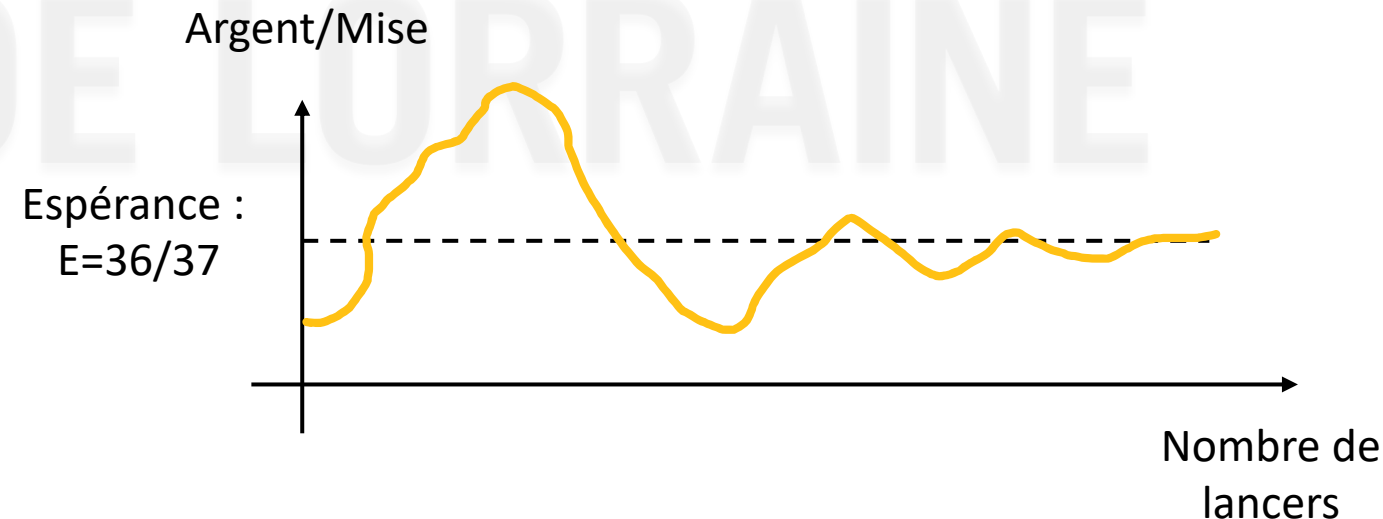
Monte Carlo → Monaco



Je ne joue que rouge
Espérance $E = 2 \times (18/37) = 36/37$

Définition sans maths

« Une méthode de Monte-Carlo, ou méthode Monte-Carlo, est une méthode algorithmique visant à calculer une valeur numérique approchée en utilisant des procédés aléatoires, c'est-à-dire des techniques probabilistes »



Moyen empirique de trouver l'espérance

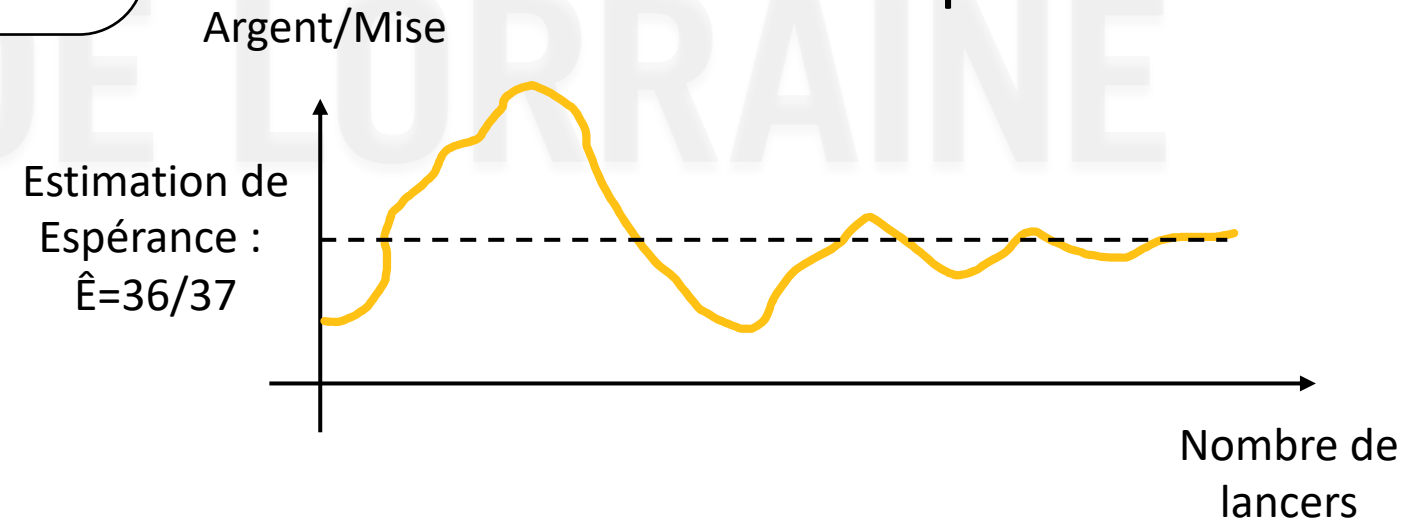
Exemple de situation – le problème à l'envers

J'étais absent le jour du cours de proba, je ne sais pas calculer l'espérance de l'évènement : je mise rouge. Par contre j'ai 1000 jetons sur moi. J'ai peut-être une idée...



En pratique :

- Utilisé quand on ne peut calculer l'espérance
- Utilisation de l'outil numérique

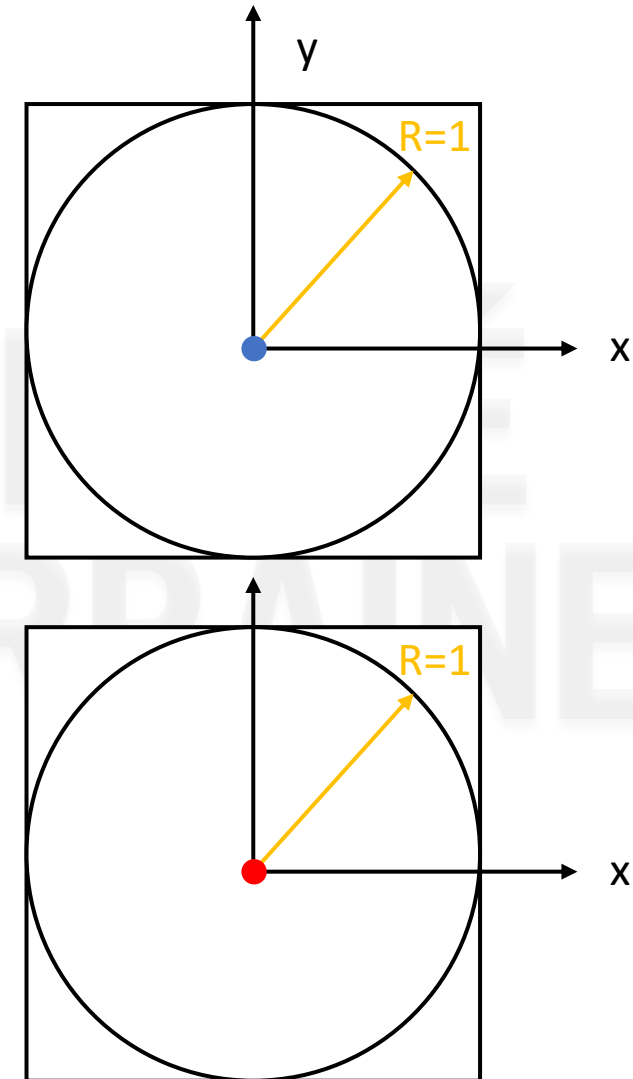


Positionnement problème

Contexte :

Vous étiez présents au cours de géométrie mais pas tout à fait réveillé. Vous vous souvenez que la surface d'un disque vaut $S_{disque} = \pi R^2$, mais impossible de se souvenir de la valeur de π ... Heureusement, vous avez suivi une formation aux approches MC

Méthode :



Positionnement problème

Détermination de pi :

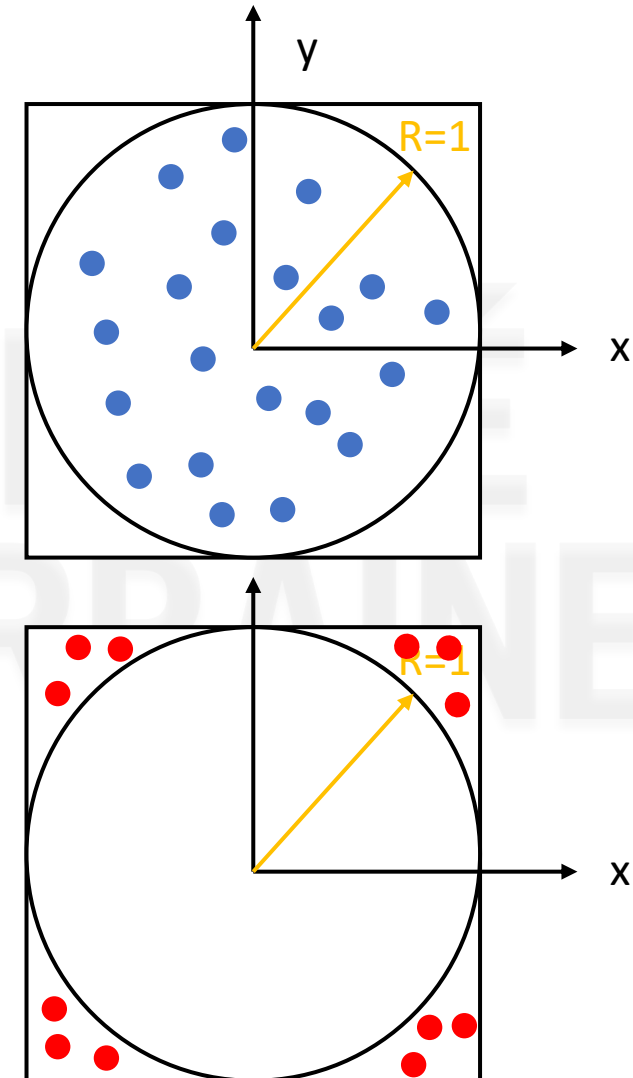
$$(1) \quad \frac{S_{disque}}{S_{carré}} = \frac{\pi R^2}{(2R)^2}$$

$$(2) \quad \frac{S_{disque}}{S_{carré}} = \frac{Nb \text{ } \bullet}{Nb \text{ } \bullet + Nb \text{ } \bullet}$$

(1)=(2)

→ Valeurs de π

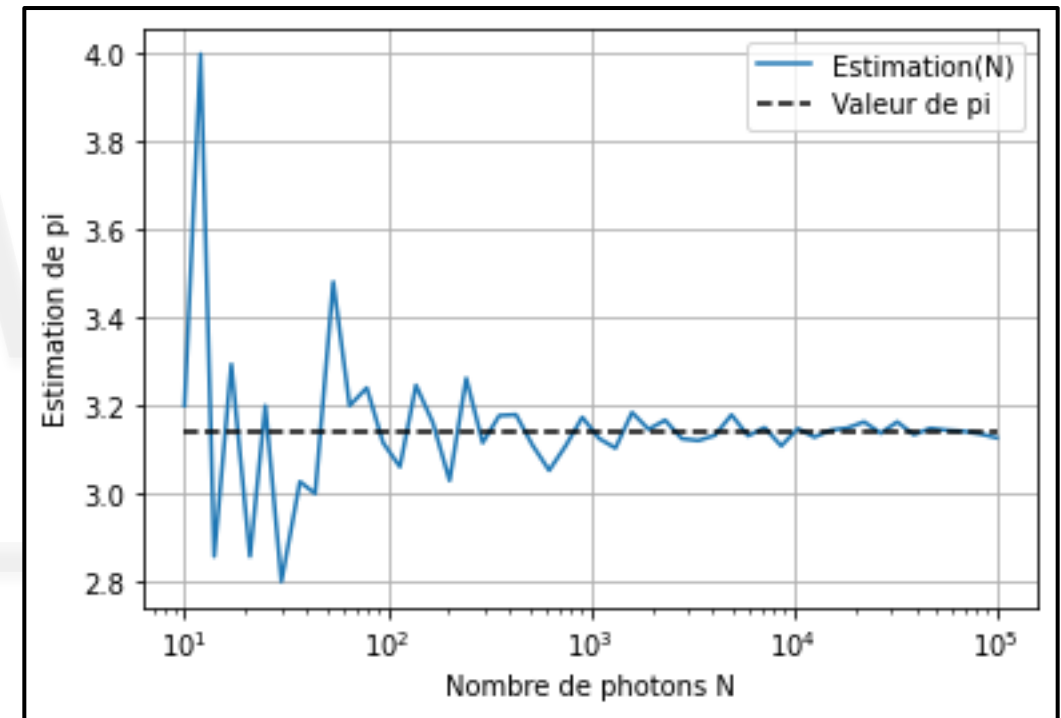
Méthode :



A vous de jouer !

Quelques pistes

- Utiliser `random()` pour les tirages aléatoires
- Vérifier que vos tirages selon x et y sont uniformes
- Condition d'appartenance au disque ?
- Impact de N : le nombre de billes
- Vérification de la convergence vers π



Présentation des sources

Ma thèse :

Modeling and estimation of human skin optical properties using spatially resolved autofluorescence and diffuse reflectance spectroscopy

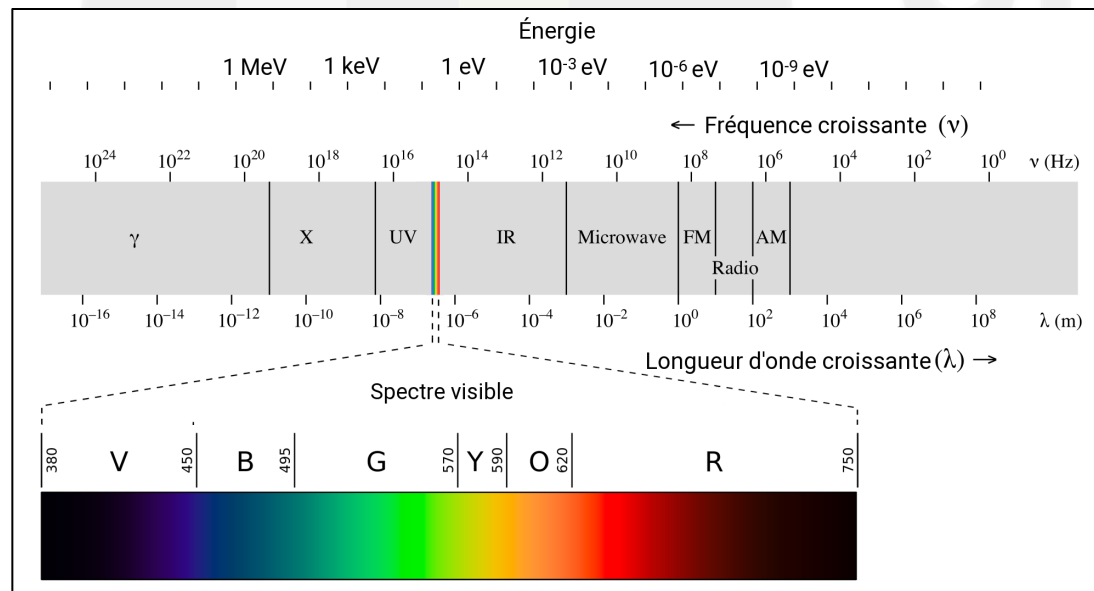
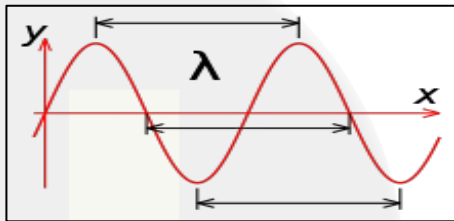
Dr. Victor COLAS

→ Dispo sur Arche

Qu'est-ce que l'optique diffuse ?

Dualité onde corpuscule

Wave model:



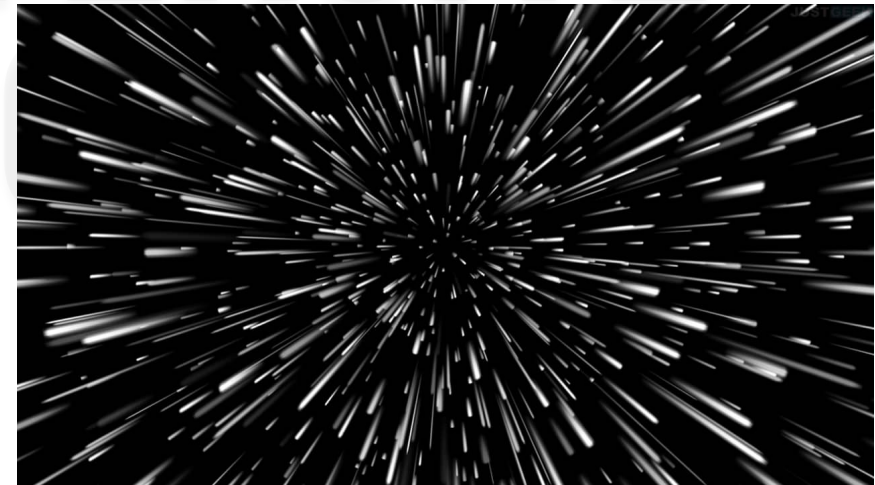
Corpuscular model (photon):

$$E_{\text{photon}} = h \times \frac{c}{\lambda}$$

h : Planck constant

c : Speed of light

λ : Wavelength



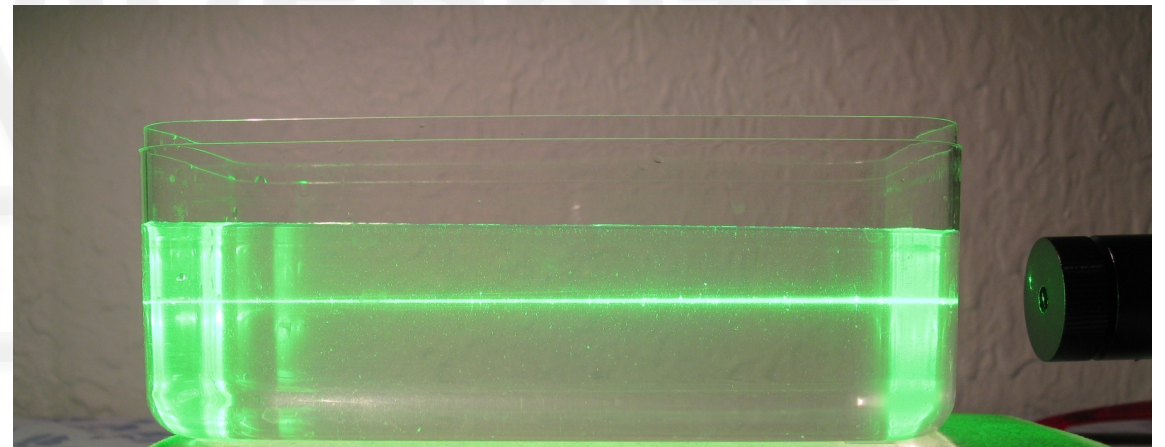
Qu'est-ce que l'optique diffuse ?

Diffusion = déviation de la lumière

Milieu non diffusant :
L'air

→ Exemple pointeur laser

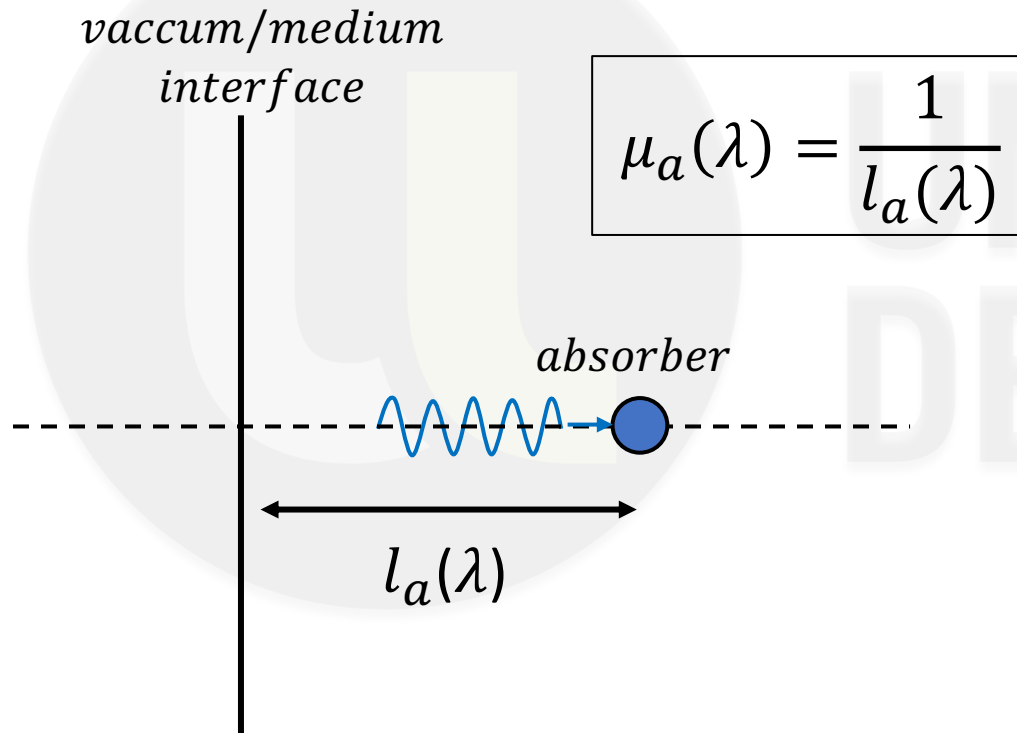
Milieu diffusant : eau + lait



Déviation de photons vers votre œil
→ Faisceau laser visible

Les paramètres optiques statistiques d'un milieu

Le coefficient d'absorption



→ Fin de vie du photon, énergie dissipée sous forme de chaleur ou vibration

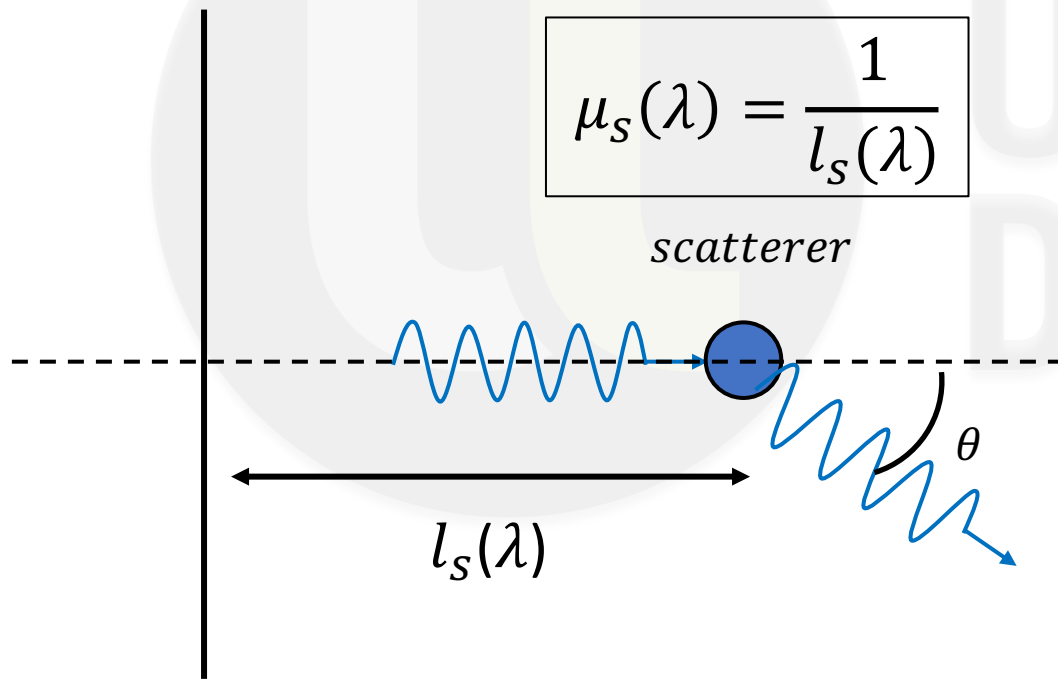
Les paramètres optiques statistiques d'un milieu

Le coefficient de diffusion et le facteur d'anisotropie

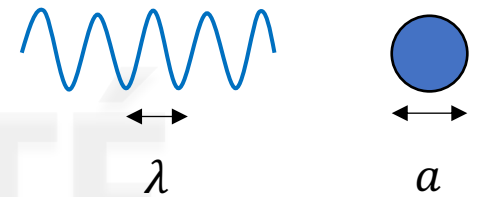
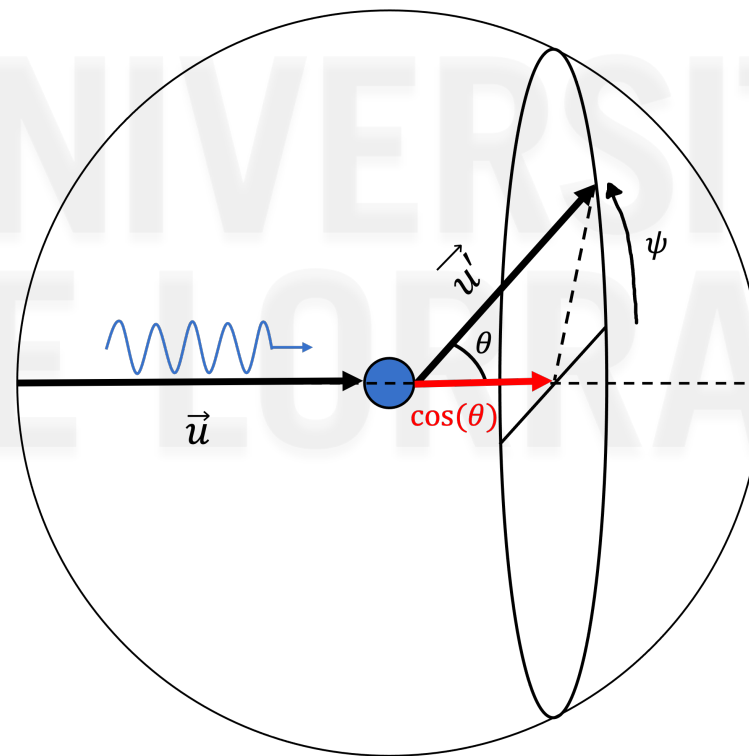
*vacuum/medium
interface*

$$\mu_s(\lambda) = \frac{1}{l_s(\lambda)}$$

scatterer



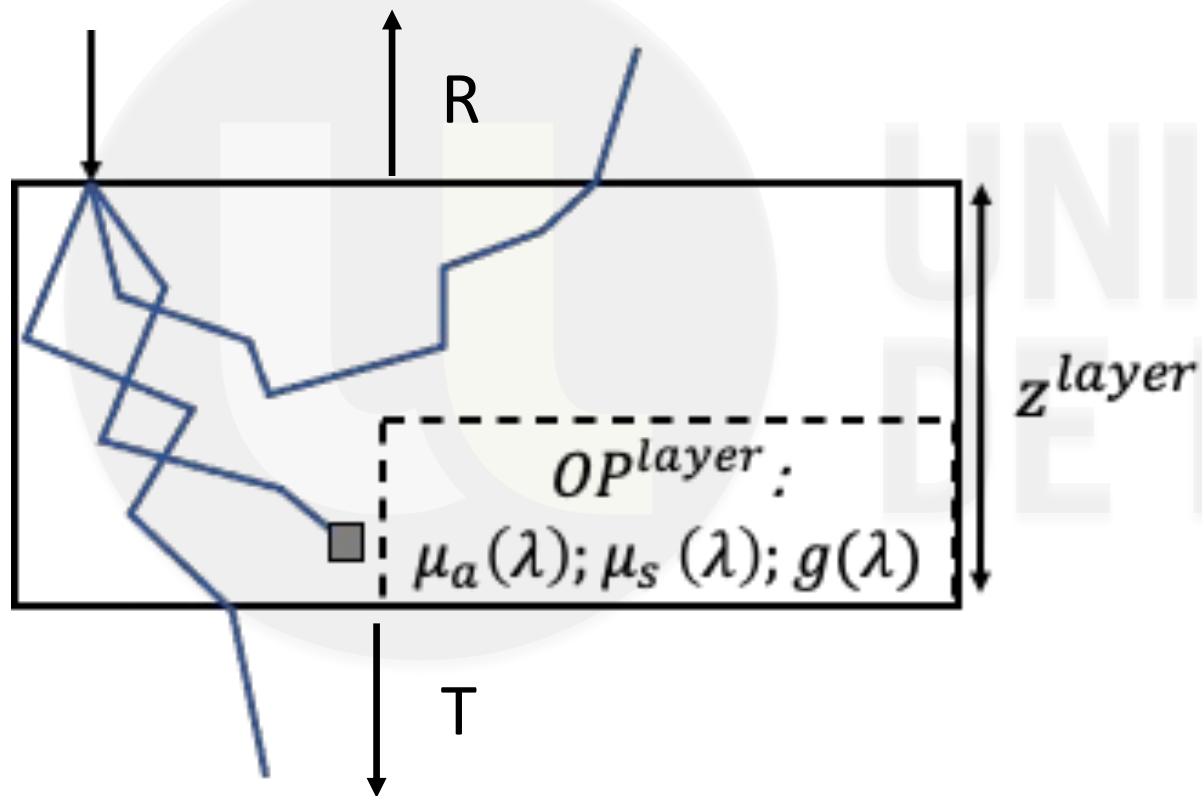
$$g(\lambda) = \langle \cos(\theta) \rangle$$



$g \approx 1 \rightarrow$ avant
 $g \approx -1 \rightarrow$ arrière
 $g \approx 0 \rightarrow$ isotrope

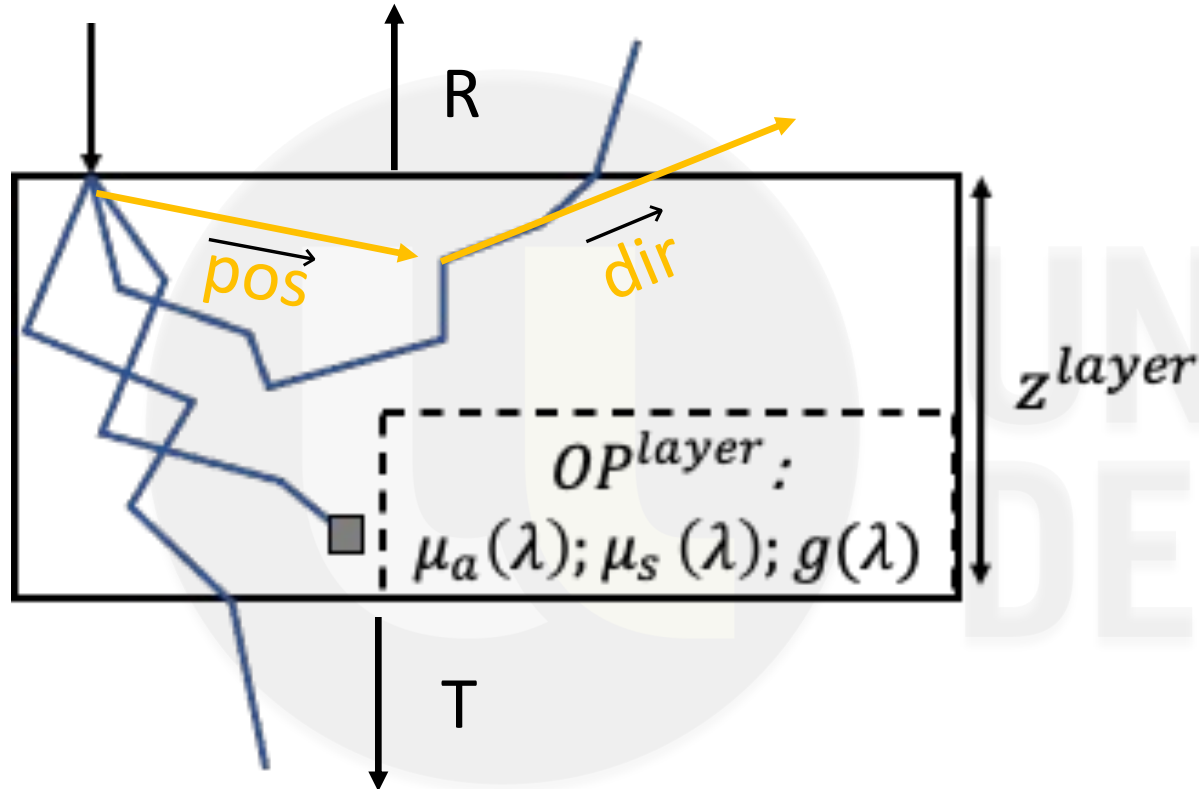
Et Monte Carlo dans tout ça ?

Le trajet du photon déterminé statistiquement



- Pour un très grand nombre de photons
- Déduction de R et T

Présentation des structures existantes

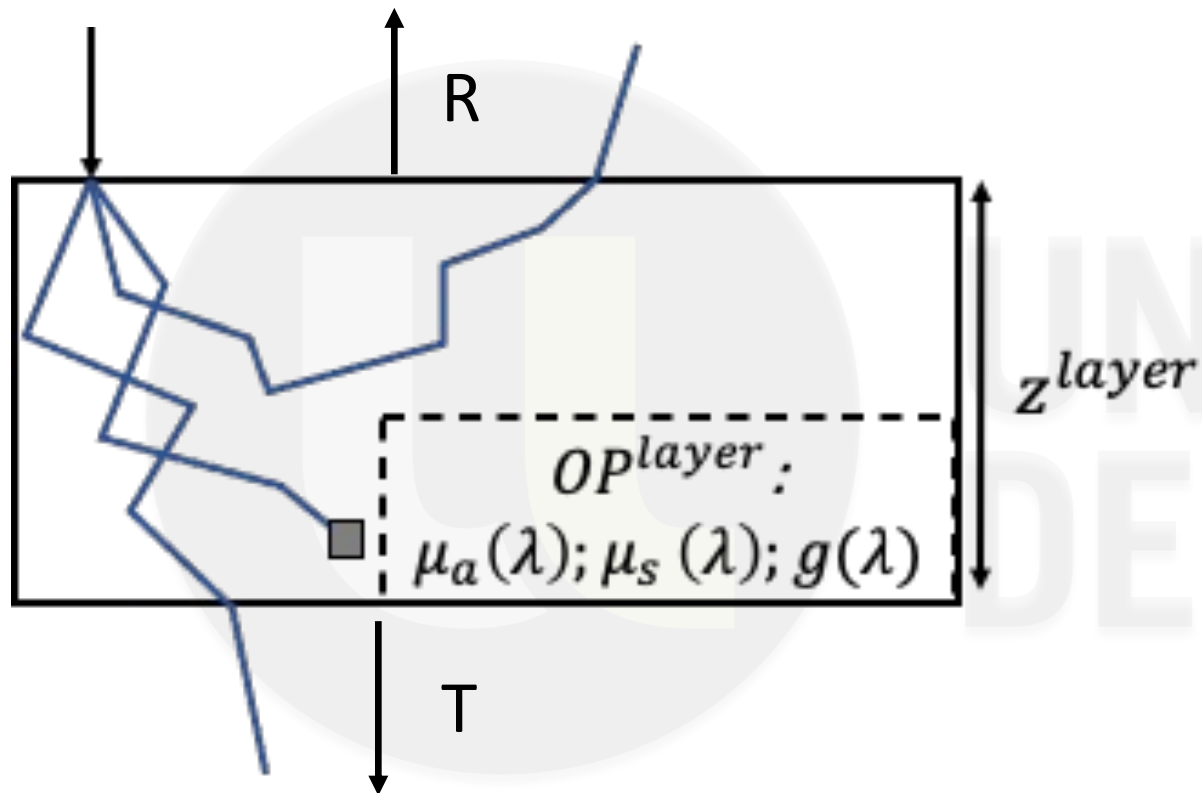


Photon

- Alive : Vrai ou Faux
- Position : (x, z)
- Direction : (dx, dz)
- Poids : $0 < w < 1$

Récupération du code
sur Arche :
Code_a_completer

Présentation des structures existantes



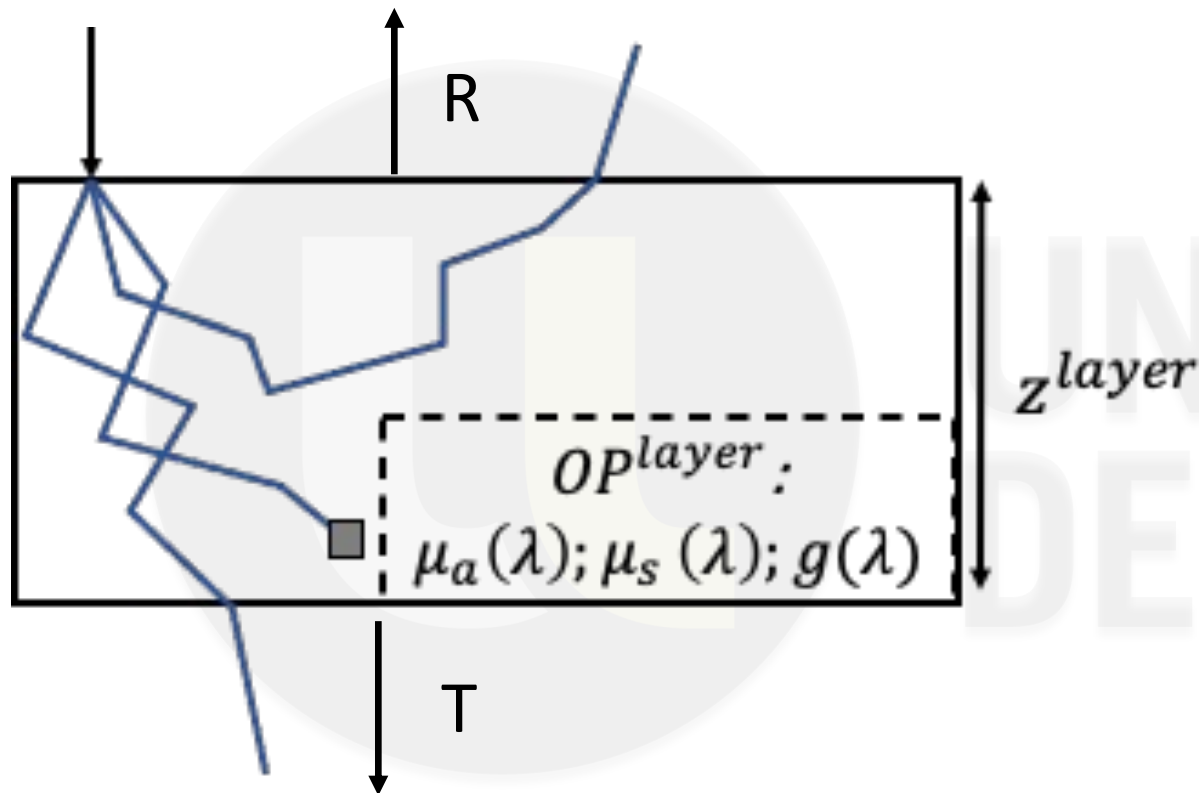
Milieu

- Epaisseur : z
- μ_a : μ_a
- μ_s : μ_s
- G : g

Simu

- NbPhoton : nombre photons
- R : R
- T : T

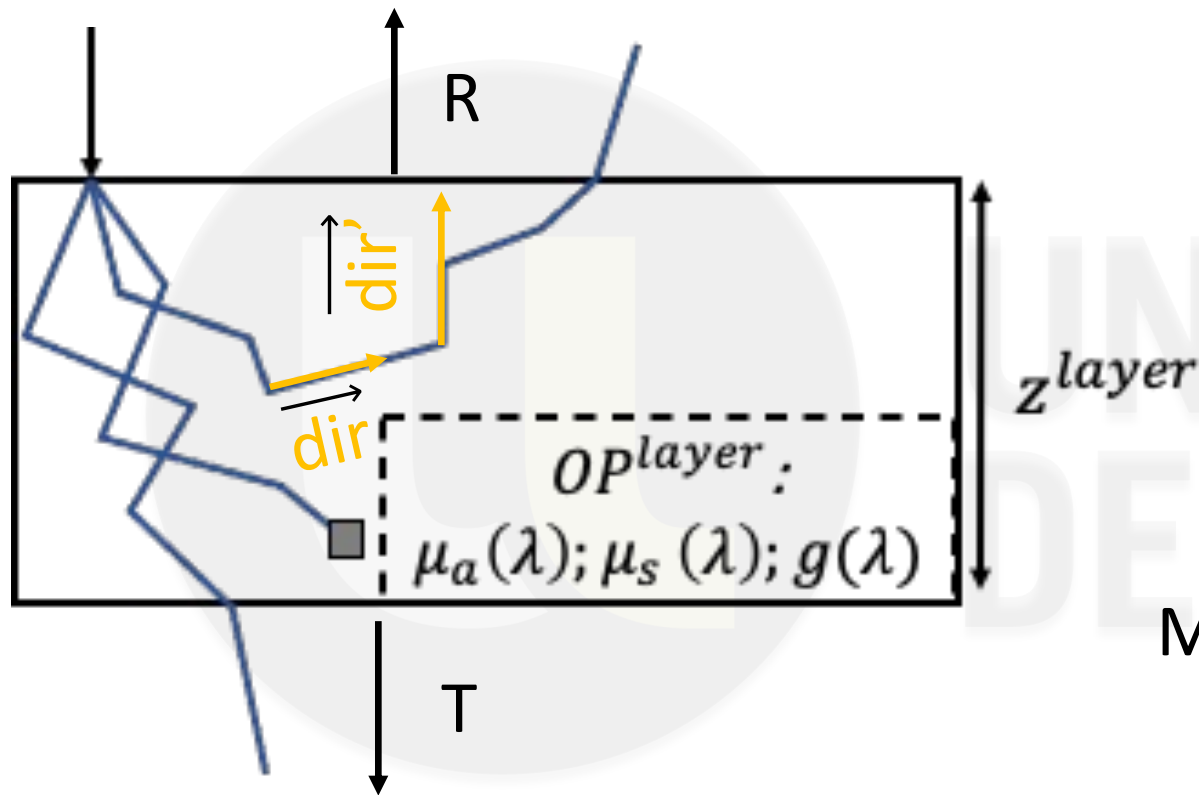
Présentation des fonction existantes



Le fonction init :

- Photon : Poids de $w = 1$ + position initiale $(0,0)$ et direction initiale $(0,1)$
- Milieu : def les propriétés géométriques et optiques
- Simu : def du nombre de photons + init $R = 0$ et $T = 0$

Présentation des fonction existantes



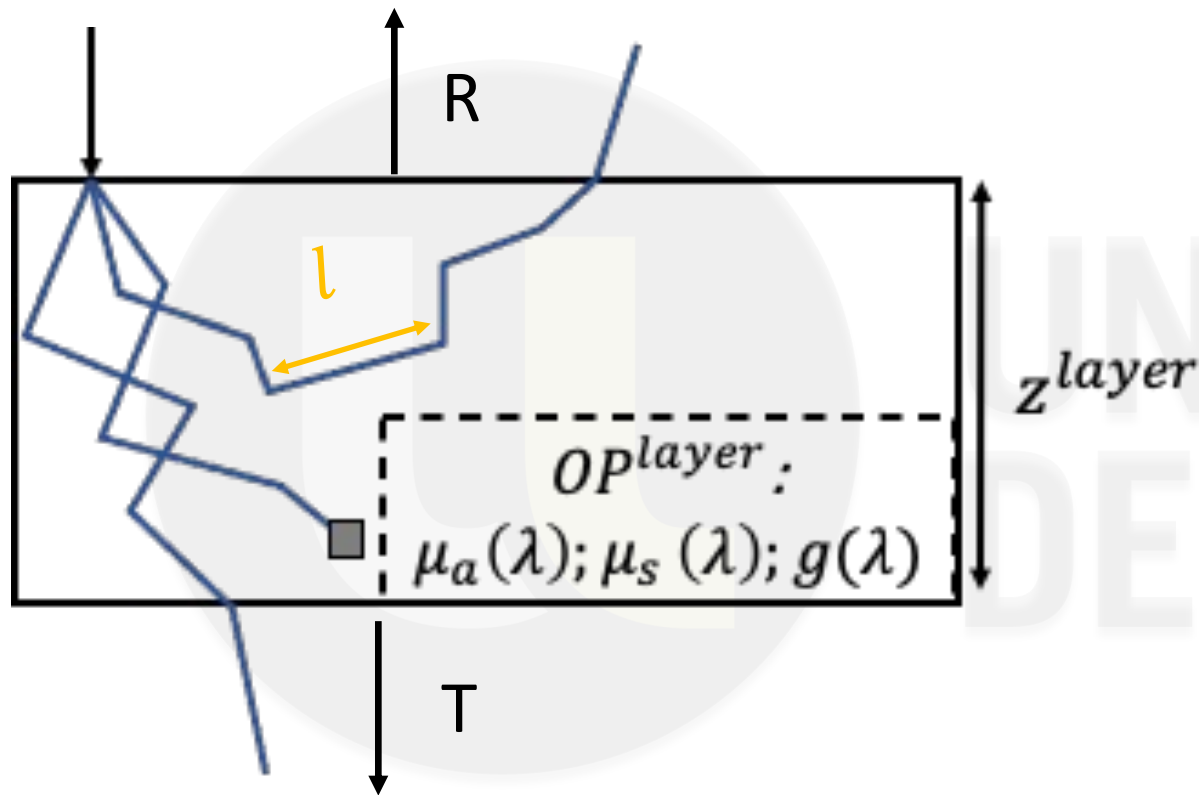
Le fonction fonctionPhase:

En connaissant (dx, dz)
 Tirage aléatoire de (dx', dz') en
 accord avec les propriétés
 optiques du milieu

Le fonction mortPhoton:

Met à jour le statut « Alive » du photon
 après un déplacement
 Photon mort si :
 En dehors du milieu ou poids trop faible

Présentation des fonction existantes



Le fonction diffusion:

- En connaissant (x, z) et (dx, dz) Calcule sa nouvelle position (x', z') en propageant d'une grandeur l tirée aléatoirement (de moyenne $1/\mu_s$)
- Mise à jour du poids du photon pour considérer l'absorption
- Calcul du nouveau (dx', dy') (cf. FonctionPhase)
- Mise à jour du statut « Alive » (cf. mortPhoton)

Réalisation des fonctions restantes

Vie d'un photon + simulation totale pour N photons

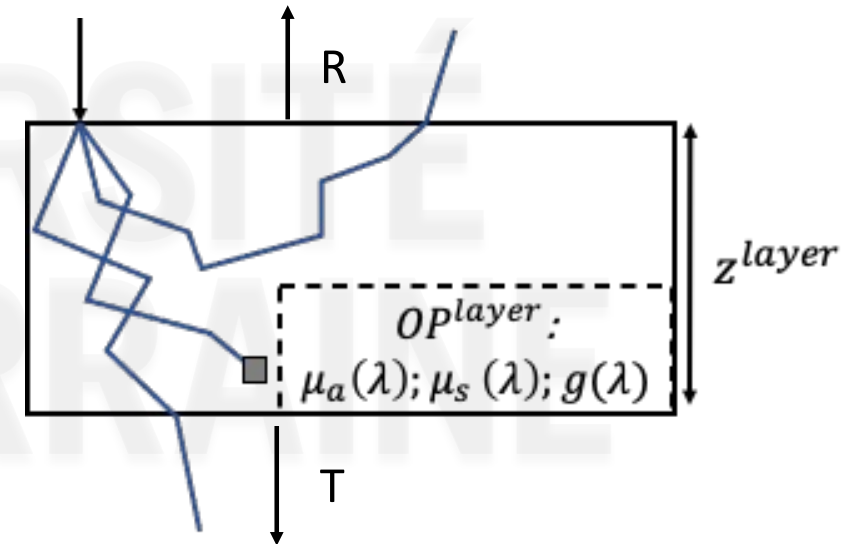
```

95
96 def viePhoton(Structphoton, StructMilieu):
97     TrajX=[] # init liste des positions successives x du photon
98     TrajZ=[] # init liste des positions successives z du photon
99     PoidsListe=[] # init liste des poids w du photon
100     TrajX.append(float(Structphoton['Position'][0,0])) # ajout du x=0 initial
101     TrajZ.append(float(Structphoton['Position'][0,1])) # ajout du z=0 initial
102     PoidsListe.append(Structphoton['Poids'][0]) # ajout du w=1 initial
103     ## compléter ici
104
105     TrajListe=[TrajX, TrajZ]
106     return TrajListe, PoidsListe
107
108 def reflectance_transmittance(StructSimu, StructMilieu):
109     # compléter ici
110     return StructSimu
111

```



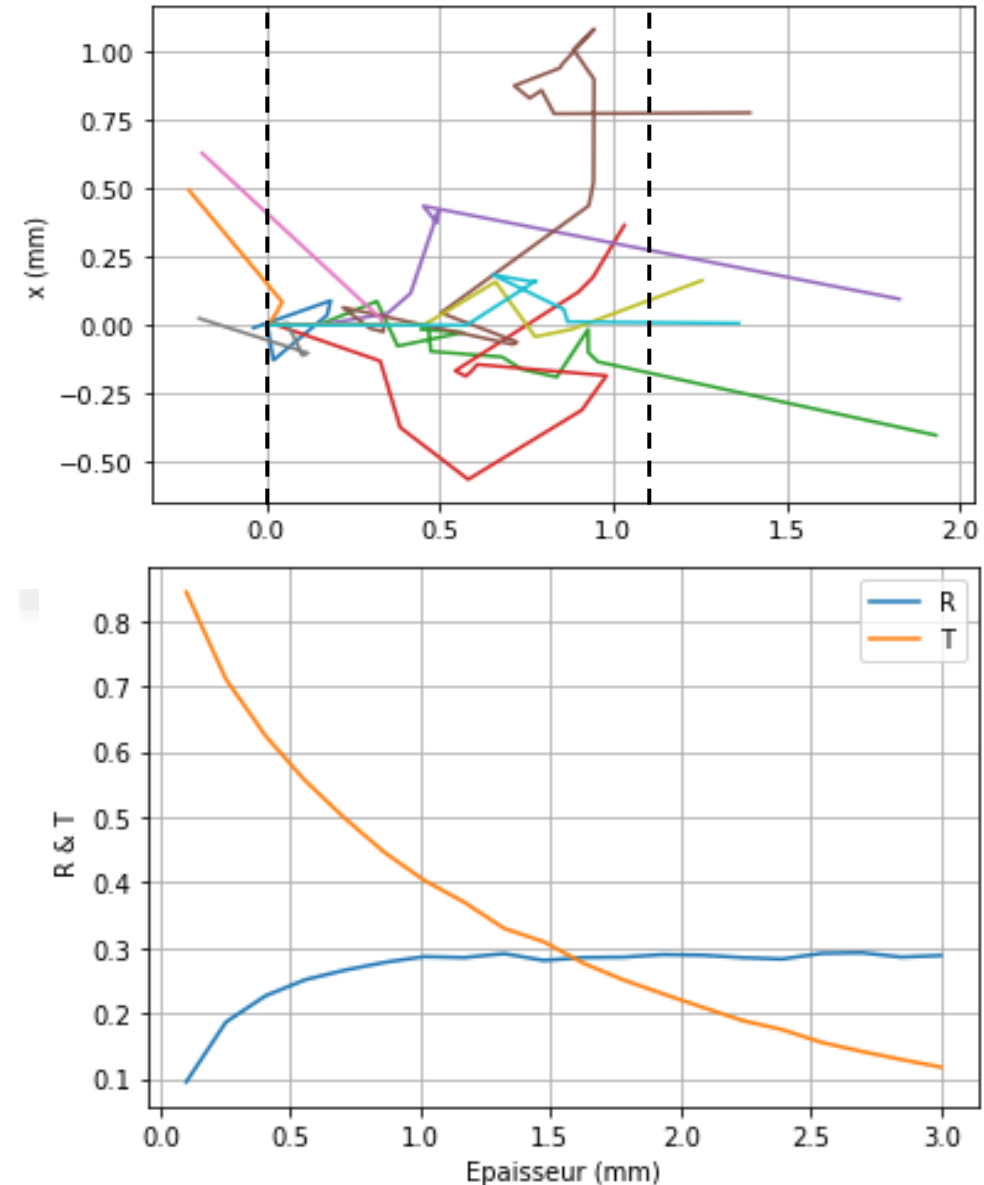
Mise à jour de R et T



A vous de jouer

Quelques pistes

- Vérifier la trajectoire de photons
- Calcul de R et T pour un milieu donné
- Etudier l'évolution pour un paramètre variable : ex l'épaisseur de l'échantillon



Projets sur cette thématique

- Passage à la 3D
- Etude de l'évolution de R et T pour un paramètre donné
- Milieu multicouches diffusants (gestion des interfaces)
- Simulation R et T pour échantillons diffusants réalistes de votre choix (peau, sang ou tout autre milieu biologique)
- Modèle avec fluorescence ou effet Raman
- Tout autre proposition