

OPTIQUE 2EME PARTIE

LUMIERE ET COULEUR

I. ORIGINE DE L'EMISSION LUMINEUSE

Origine de l'émission lumineuse	Phénomène physique responsable de la couleur	Exemples
Source primaire	<ul style="list-style-type: none"> - Incandescence - Luminescence 	<ul style="list-style-type: none"> - Bougie, soleil, ampoule - Photo/électro/bioluminescence
Source secondaire	<ul style="list-style-type: none"> - Réfraction - Diffusion - Interférences - Absorption - Emission 	<ul style="list-style-type: none"> - Dispersion par un prisme - Ciel bleu - Réseaux de diffraction - Bulles de savon - Objets fluo/phosphorescents

II. DIFFUSION

A. GENERALITES

Les objets présents sur le trajet d'un REM sont susceptibles de **modifier** la **direction de propagation de ce rayonnement**.

Lorsque l'objet est du **même ordre de grandeur** que la **longueur d'onde** il y a des phénomènes physiques tels qu'il faut prendre en compte la **nature ondulatoire** de la lumière.

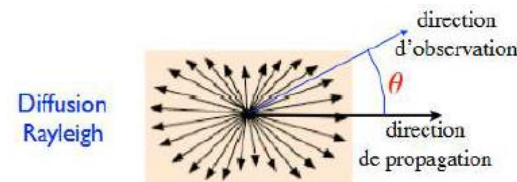
B. DIFFUSION DE RAYLEIGH

La diffusion de la lumière par des **particules plus petites que la longueur d'onde** est d'autant plus importante que la longueur d'onde est petite.

Si la **taille des particules est inférieure** à environ la $\lambda/10$ l'intensité de la lumière diffusée est de la forme :

$$I \propto N \frac{1}{\lambda^4} (1 + \cos^2 \theta)$$

On peut voir ainsi que la longueur d'onde est très importante. Une des conséquences : la **lumière bleue est plus efficacement diffusée** que la lumière rouge d'un facteur égal à 10.



I : intensité de la lumière diffusée
N : nombre de particules /Vol
 λ : longueur d'onde
 θ : angle entre direction d'observation et direction de propagation

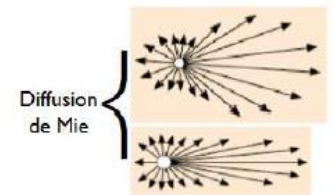
Il est important de noter que la **lumière se diffuse autant vers l'avant que vers l'arrière**.

C. LA DIFFUSION DE MIE

Ce phénomène est observé lorsque la **taille des particules est supérieure à $\frac{\lambda}{10}$** . Il s'agit ainsi de particules de toute taille (ex : gouttelettes d'eau). Lorsque la particule a une **taille similaire ou supérieure à la longueur d'onde**, la **diffusion dépend peu de la longueur d'onde**, ainsi il y a moins de différence entre le rouge et le bleu.

Ici contrairement à la diffusion de Rayleigh on a une **inégalité entre la diffusion vers l'avant et vers l'arrière** : plus la particule est grande plus la **fraction rétrodiffusée est faible**.

Ainsi la diffusion est **dissymétrique**.



D. LES COULEURS DU CIEL

En fonction des objets (gaz ou eau, poussière) on aura de la diffusion de Rayleigh ou de Mie.

Le ciel bleu : dû à la diffusion de **Rayleigh** qui domine car l'atmosphère est essentiellement composée de molécules d'O₂ et de N₂ qui ont une **taille < λ/10**. On ne perçoit que les photons diffusés, et comme le bleu est le plus efficacement diffusé ainsi le ciel est bleu. Il n'est pas perçu violet car la lumière du soleil est moins intense au niveau de ces longueurs d'onde ainsi que l'œil humain est moins sensible au violet.

Les nuages sont blancs : car les **particules en suspensions sont plus grosses** (eau, poussière...) donc c'est la **diffusion de Mie** qui domine qui elle **dépend peu de la longueur d'onde** donc la lumière est blanche.

Le ciel jaune, orangé et rouge : quand le Soleil est bas sur l'horizon, il s'agit des rayons qui n'ont pas été diffusés, comme la lumière bleue est la plus diffusée ce qu'il reste c'est la lumière rouge. Ainsi le ciel rouge orangé est lui aussi dû à la **diffusion de Rayleigh**.

III. ABSORPTION

A. LA COULEUR DES OBJETS

Les pigments à la surface des objets absorbent +/- certaines longueurs d'ondes.

L'objet est coloré selon les **longueurs d'onde qui ne sont pas absorbées** et qui sont **réfléchies ou diffusées** par la surface de l'objet. Si la lumière émise ne contient pas les longueurs d'onde qui ne sont pas absorbées par l'objet, alors il apparaîtra noir.

La réflexion de la lumière peut être de 2 sortes :

- ⇒ **Spéculaire** : si la **surface** de l'objet est **lisse**, elle se comporte comme un miroir
- ⇒ **Diffuse** : si la **surface** est **rugueuse**, la lumière est diffusée dans pleins de directions différentes

Il existe aussi la **diffusion de volume**.

B. LOI DE BEER-LAMBERT

Pour **décrire quantitativement l'absorption** d'un faisceau lumineux par un matériau **en fonction de sa concentration**, on va utiliser la loi de Beer-Lambert :

$$I_{trans} = I_{inc} e^{-K(\lambda).C.l}$$

C : concentration en mol/L
l : épaisseur de la cuve
K : coefficient d'extinction

On voit que **l'intensité décroît exponentiellement** si on **augmente l'épaisseur** traversée et/ou lorsqu'on **augmente la concentration** de la substance absorbante et/ou si on modifie la longueur d'onde.

$K(\lambda).C$ = atténuation
 $K(\lambda).C.l$ = absorbance

L'absorbance peut s'écrire : $A_\lambda = -\ln\left(\frac{I_{trans}}{I_{inc}}\right)$

En spectroscopie elle s'écrit en log(10) : $A_\lambda^s = -\log_{10}\left(\frac{I_{trans}}{I_{inc}}\right) = \frac{A_\lambda}{\ln(10)}$

C. DIFFUSION ET SECTION EFFICACE

Soit un flux lumineux qui arrive sur un objet diffusant, seulement une fraction du flux est diffusée :

$$\Phi_{inc} = I_0 \cdot A$$

$$\Phi_{diff} = I_0 \sigma_s$$

$$\Phi_{trans} = I_0 (A - \sigma_s)$$

	Diffusion	Absorption
Coefficient	$\mu_s = N_s \cdot \sigma_s$ μ_s est l'inverse d'une longueur	$\mu_a = C \cdot K(\lambda)$ μ_a est l'inverse d'une longueur
Libre parcours moyen	$l_s = \frac{1}{\mu_s} = \frac{1}{N_s \cdot \sigma_s}$ Distance moyenne qu'un photon parcourt entre 2 événements de diffusion	$l_a = \frac{1}{\mu_a} = \frac{1}{C \cdot K(\lambda)}$ Distance moyenne qu'un photon peut parcourir avant d'être absorbé

Ces deux phénomènes sont responsables **ensembles** de l'atténuation d'un faisceau **traversant** une **substance absorbante et diffusante**.

La diffusion et l'absorption sont **tous les deux dépendants de la longueur d'onde**.

- La **diffusion** décroit quand la **longueur d'onde augmente**
- **L'absorption** elle est importante dans **l'UV et l'IR**, elle est faible dans le **rouge et le proche IR**

D. ABSORPTION ET DIFFUSION DANS UN TISSU BIOLOGIQUE

La **diffusion** dépend de la **longueur d'onde avec le régime de Rayleigh** et le **régime de Mie**.

La modélisation du **transport de la lumière** dans les tissus **dépend de l'importance** relative des **coefficients d'absorption et de diffusion**, trois cas de figures sont possibles :

- ⇒ $\mu_a \gg \mu_s$: **l'absorption domine** : $\lambda \leq 300 \text{ nm}$; $\lambda \geq 2000 \text{ nm}$
- ⇒ $\mu_s \gg \mu_a$: la **diffusion domine** : $600 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1000 \text{ nm}$
- ⇒ $\mu_s \approx \mu_a$: on a un coefficient d'atténuation global qui vaut : $\mu = \mu_s + \mu_a$

Loi d'atténuation généralisée : $I_{trans} = I_{inc} \cdot \exp(-\mu \cdot l)$

RUDIMENTS DE PHOTOMETRIE

I. INTRODUCTION

La photométrie est tout ce qui mesure la **quantité de lumière** qui est **produite** par une source et qui contribue à **l'éclairement d'un objet** ou la **quantité de lumière émise** par cet objet.

II. ANGLE SOLIDE

Est une généralisation d'un angle plan.

L'angle solide est une région de l'espace limitée par un **cône** dont le sommet est le sommet de l'angle solide. L'unité est en **stéradian**.

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

A : aire incluse
dans le cercle
r : rayon

Si on est dans le cas d'une **sphère** $\Omega = 4\pi \text{ sr}$

Pour un angle solide sous-tendu par un cône circulaire, d'ouverture θ vaut :

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\theta)$$

III. INTENSITE LUMINEUSE

A. INTENSITE

Elle mesure une **puissance fournie** par une **source ponctuelle** par unité d'angle solide dans une **direction donnée**.

Elle mesure **l'éclat d'une source**

B. INTENSITE ENERGETIQUE

En Watt/sr elle mesure la **puissance énergétique par unité d'angle solide** dans une direction donnée.

Unité : W/sr

C. INTENSITE LUMINEUSE

L'intensité lumineuse a pour unité le **candéla** : $I = K_m \times V(\lambda) \times \frac{d\Phi_\lambda}{d\Omega}$

Elle **dépend de la perception humaine**.

IV. FLUX LUMINEUX = PUISSANCE LUMINEUSE

Représente la **puissance visible d'un rayonnement** fournie par une source ponctuelle rayonnant dans un angle donné.

Si **l'intensité est constante** alors : $\Phi = I \times \Omega$

En lumen :
1 cd = 1 lm/sr

Si la source émet **dans tout l'espace** : $\Phi = 4\pi I$

V. RENDEMENT = EFFICACITE LUMINEUSE

C'est le rapport entre la **puissance lumineuse visible** avec la **puissance totale P consommée** :

$$r = \frac{\Phi}{P}$$

En lm/W

VI. ECLAIREMENT

L'**éclairement lumineux** moyen reçu par une surface vaut le rapport du flux lumineux incident sur cette surface : $E_m = \frac{\Phi}{S}$

1 lux c'est l'éclairement produit par une **source d'intensité 1 cd** dans un **angle solide de 1 sr** à 1 m de la source.

L'éclairement en un point : $E_p = \frac{I \cos \alpha}{d^2}$

En lux :
1 lx = 1 lm/m²

VII. LUMINANCE

Caractérise, l'éclat d'une source étendue.

On peut montrer que le **flux lumineux émis** par cette portion de la source, dans un **angle solide** autour d'une direction donnée vaut $d^2\Phi = L \cdot d\Omega \cdot dS \cdot \cos\theta$

C'est **l'intensité lumineuse** dI, due à l'élément de **surface** dS dans la direction donnée, par élément de **surface apparent**, perpendiculaire à la direction donnée :

$$L = \frac{dI}{dA}$$

En cd/m²

VIII. EMISSION

A. DEFINITION

L'émission M d'une source en un point est le **rapport entre le flux lumineux émis** par une **petite surface** dS entourant le point par la surface en question.

$$M = \frac{d\Phi}{dS}$$

En lm/m²

C'est une **puissance lumineuse par unité de surface** (on suppose que le rayonnement est dans toutes les directions à l'extérieur de la source).

B. SOURCE DE LAMBERT

La **surface d'une source de Lambert** diffuse uniformément dans **toutes les directions**. Cette source est dite **orthotrope**

$$M = \pi \cdot L$$

C. LOI DE STEFAN

En photométrie énergétique on peut définir **l'émission énergétique totale** du corps noir par la loi de Stefan : $M^e = \sigma \cdot T^4$

En W.m⁻².K⁴