

# O1 : Modèle de l'optique géométrique

## I. La lumière : une onde électromagnétique plane progressive harmonique

### 1) Modèle ondulatoire de la lumière

La lumière a suscité de nombreuses interrogations depuis l'Antiquité, les premières théories ayant été développées en Grèce. Les partisans de la « théorie atomique » y voyaient des minuscules particules d'écorce des objets envoyées vers l'œil à très grande vitesse, mais la notion de **rayon lumineux** avait déjà été introduite par **Euclide** au III<sup>e</sup> siècle avant JC. C'est le médecin et mathématicien arabe **Alhazen** qui le premier pose formellement les **bases de la théorie des rayons lumineux en 1021 dans son Traité d'Optique**. Ces bases seront ensuite reprises et développées, notamment aux XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles avec l'apparition des **premiers instruments d'observation astronomique** sous l'impulsion de **Galilée, Képler et Tycho Brahé**.

La nature même de la lumière a fait débat pendant longtemps, en particulier aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles.

**Newton** défendait l'idée que les objets lumineux émettent des **corpuscules** qui se déplacent selon les lois de la mécanique, alors que **Huygens** affirmait de son côté que la lumière était une **onde**.

Les expériences réalisées par **Fresnel et Young** au début du XIX<sup>e</sup> siècle ont permis (temporairement!) de clore le débat : leur mise en évidence des **interférences lumineuses** leur a permis de conclure à la **nature ondulatoire de la lumière**.

Il ne restait plus qu'à identifier les grandeurs support de l'onde lumineuse, ce qu'a fait **Maxwell** à la fin du XIX<sup>e</sup> en établissant (théoriquement) l'existence des **ondes électromagnétiques**, suivi par la confirmation expérimentale dans les travaux de Hertz.

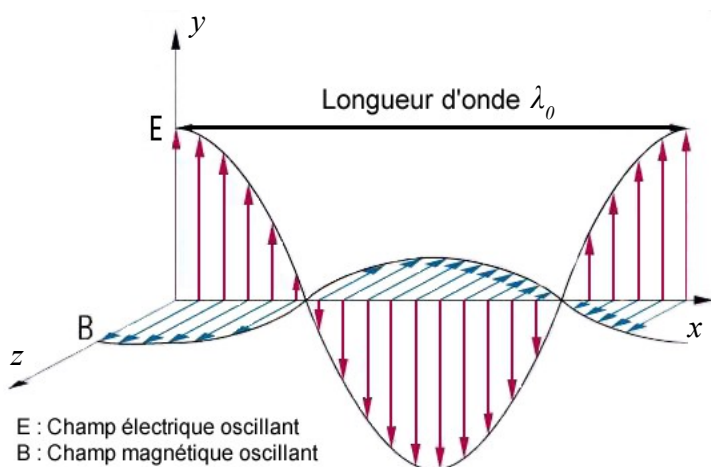
La lumière serait donc une **onde électromagnétique, portée par les variations du champ électrique et du champ magnétique**.

**La théorie quantique unifie ces deux aspects dans la dualité onde-corpuscule.**

**La lumière est modélisée par une onde électro-magnétique plane progressive harmonique (OEMPPH) composée d'un champ électrique  $\vec{E}$  et d'un champ magnétique  $\vec{B}$  qui se propage à la célérité :**

**$c =$**

**dans le vide**



E : Champ électrique oscillant  
B : Champ magnétique oscillant

– L'étude du profil spatial de l'OEMPPH (c'est-à-dire à  $t = t_0$  fixé) fait apparaître la période spatiale  $\lambda_0$  appelée **longueur d'onde dans le vide** telle que :

L'étude du profil temporel de l'OEMPPH (c'est-à-dire à  $x = x_0$  fixé) fait apparaître la **période temporelle T** telle que :

On retrouve alors la **double périodicité spatio-temporelle** de l'OEMPPH :

On remarque que :

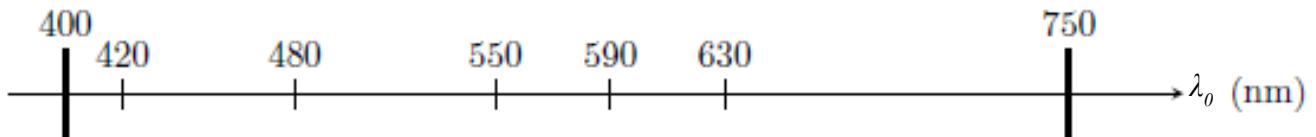
## 2) Spectre des ondes lumineuses

Les ondes lumineuses harmoniques (OEMPPH) sont également appelées ondes **monochromatiques** (une seule couleur) : la **dépendance temporelle du champ électrique**, enregistré en un point fixe de l'espace, est **sinusoïdale du temps**.

**La longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  des ondes monochromatiques visibles est comprise entre 400 et 750 nm.**

**La fréquence associée  $\nu = \frac{c}{\lambda_0}$  est comprise entre  $4.10^{14}$  et  $7.10^{14}$  Hz.**

Les ondes monochromatiques sont caractérisées par une longueur d'onde dans le vide et une couleur :



**Attention** : Cette correspondance entre couleur et longueur d'onde concerne les longueurs d'onde  $\lambda_0$  dans le vide.

Remarque : les phénomènes optiques sont beaucoup plus rapides que les phénomènes associés à des ondes mécaniques.

Raison pour laquelle les photodétecteurs sont sensibles à la **valeur moyenne** de l'éclairement reçu.

## II. Sources de lumière

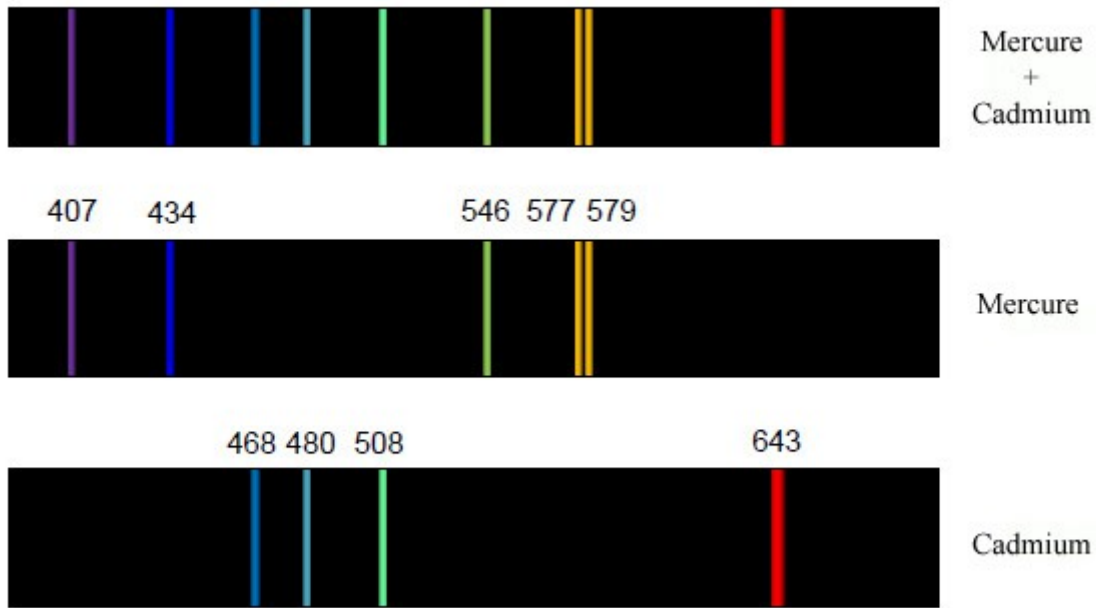
La caractérisation des sources lumineuses se fait par leur **spectre d'émission**, exprimé usuellement en termes de longueur d'onde dans le vide plutôt que de fréquence.

### 1) Lampes spectrales

Une ampoule contient une espèce chimique à l'état gazeux. On y forme une décharge électrique, ce qui a pour effet de porter les atomes du gaz dans un **état excité**. La **désexcitation se fait par émission spontanée de photons**.

L'énergie et donc la fréquence de ces photons est reliée à la différence d'énergie entre niveaux des atomes du gaz :

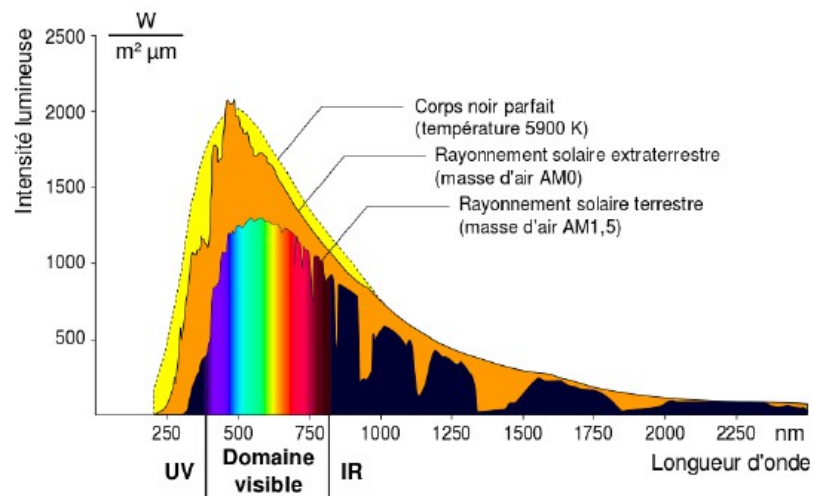
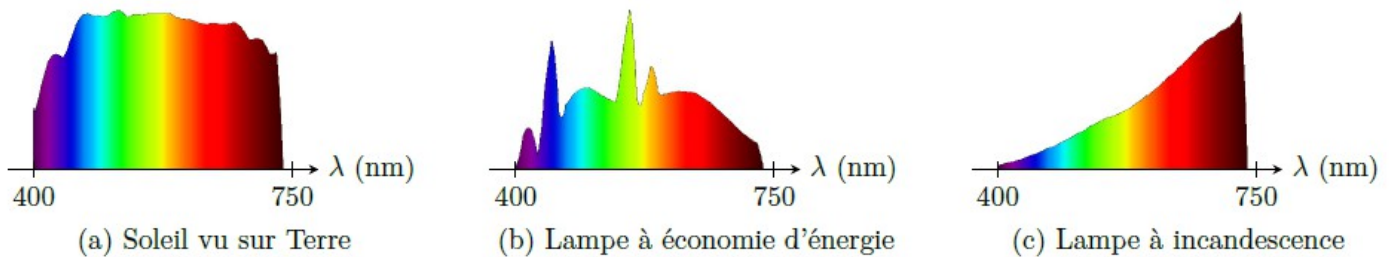
Le caractère discret du spectre d'une lampe à vapeur atomique est la conséquence de la quantification de l'énergie des atomes.



*Spectres de raies d'émission des lampes à vapeur de Cadmium et de Mercure*

## 2) Sources de lumière blanche

Dans le Soleil ou les lampes à filament, la lumière est **émise par un corps chaud**, ce qui produit un spectre **continu et polychromatique**. Au contraire, les lampes à économie d'énergie ou les LED blanches commencent par émettre un spectre discret dont les radiations sont absorbées et réémises par un matériau **lumineux** qui donne un spectre continu.



(d) Spectre solaire complet, vu de l'espace et vu de la Terre.

*Spectres d'émission de sources de lumière blanche*

### 3) Le LASER

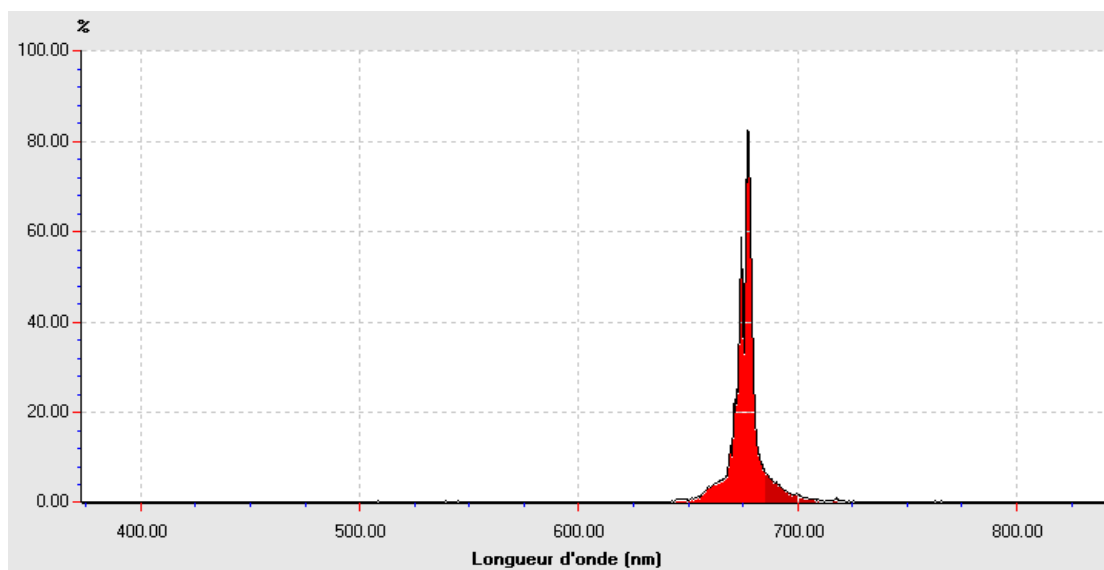
La lumière émise par le LASER repose sur le principe d'**émission stimulée de photons** : la désexcitation n'est plus aléatoire, les photons émis et incident ont même fréquence, même direction et un déphasage nul.

Ceci n'est possible que s'il y a plus d'atomes dans l'état excité que dans l'état fondamental : il faut pour cela réaliser une **inversion de population** via un **pompage optique**.

Schéma de la cavité résonante du Laser :

Propriétés du Laser :

- ✓
- ✓
- ✓



*Spectre d'émission d'un Laser Hélium-Néon illustrant la grande pureté spectrale d'un Laser*

#### 4) Modèle de la source ponctuelle monochromatique

L'objectif est de proposer un outil de décomposition aussi simple que possible d'une source optique, servant de brique élémentaire d'étude d'une source réelle, c'est-à-dire étendue et polychromatique.

**La source de lumière est supposée ponctuelle :**

**monochromatique :**

**On appelle source ponctuelle une source infiniment petite (assimilable à un point) qui émet de la lumière de façon équirépartie dans toutes les directions : on parle d'émission isotrope.**

### III. Propagation de l'OEMPPH dans un MHTI

#### 1) Indice optique d'un MHTI

Le vide, l'air, l'eau, le verre,...sont des Milieux :

- ✓ Homogènes :
- ✓ Transparents :
- ✓ Isotropes :

Un MHTI est alors caractérisé par un nombre sans dimension appelé **indice optique (ou de réfraction)** tel que :

Exemples :

Remarques :

- ✓ plus l'indice optique est élevé, plus le milieu est dit réfringent.
- ✓ en seconde (!!), vous avez étudié des MHTI **dispersifs**, milieu pour lequel des OEMPPH de fréquences différentes ne se propagent pas à la même vitesse c'est-à-dire  $n = f(\lambda_0)$ .

Pour le verre, la formule de Cauchy donne  $n = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$

- ✓ il existe des matériaux à indice de réfraction négatifs : c'est le cas des méta-matériaux et certains cristaux photoniques.

#### 2) Longueurs d'onde d'une OEMPPH

On admet que lors du passage d'un MHTI à un autre, la fréquence (et la période) temporelle ne varie pas.

Dans un MHTI d'indice optique  $n$ , on traduit le fait que la période spatiale  $\lambda$  est la distance parcourue par l'OEMPPH durant une période temporelle  $T$  :

Application :

Un laser rouge émet un rayonnement de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 633 \text{ nm}$ . Déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  si l'onde vient à pénétrer dans l'eau d'indice optique  $n_{\text{eau}} = 1,33$ . La couleur du laser change-t-elle ?

## IV. Modèle de l'optique géométrique

### 1) Hypothèse fondamentale de l'optique géométrique

**Dans un MHTI, l'onde lumineuse se propage en ligne droite.**  
**L'optique géométrique s'intéresse à la marche des rayons lumineux.**

Dans des milieux non homogènes, on observe une courbure des rayons lumineux: c'est le cas des mirages atmosphériques. L'indice de réfraction de l'air dépend de la température par l'intermédiaire de sa densité : **de l'air chaud est moins dense et moins réfringent que de l'air froid.**

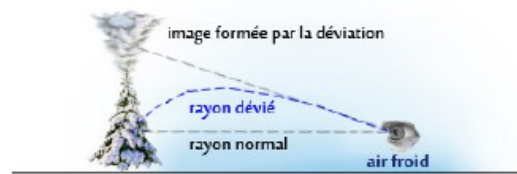
En traversant de l'air de température inhomogène, les rayons lumineux sont déviés progressivement.

Le cerveau interprétant toujours la trajectoire des rayons lumineux comme s'ils se propageaient en ligne droite, cela donne naissance au phénomène de mirage.

Mirage chaud (inférieur)



Mirage froid (supérieur)



### 2) Validité du modèle de l'optique géométrique

Expérience :

Observations :

**La loi de propagation rectiligne de la lumière est une loi limite valable lorsque  
Cela signifie que l'aspect ondulatoire de la lumière est négligé et que les « instruments » utilisés sont de grande  
taille devant la longueur d'onde de l'onde lumineuse.  
On dit également que l'optique géométrique est l'approximation des faibles longueurs d'onde.**

### 3) Modélisation du rayon lumineux

**Un rayon lumineux est la droite que l'on peut imaginer en réduisant le diamètre du diaphragme  
tout en négligeant le phénomène de diffraction.**

On admet alors trois principes :

- ✓ principe d'indépendance des RL :
  
- ✓ principe de retour inverse de la lumière :
  
- ✓ principe de moindre temps :

### 4) Que se passe-t-il à l'interface entre deux MHTI ?

Par linéarité du MHTI, les OEMPPH transmise et réfléchi ont même fréquence que l'onde incidente.

## 5) Lois de Snell-Descartes relatives à la réflexion (1637)

Ne pas confondre la réflexion (l'onde lumineuse est renvoyée dans une direction privilégiée) et la diffusion (l'onde lumineuse est renvoyée dans toutes les directions).

Énoncé :

✓

✓

## 6) Lois de Snell-Descartes relatives à la réfraction (1637)

En seconde (!!), vous avez vu que le rayon lumineux change de direction quand il change de MHTI : c'est la réfraction !!

Énoncé :

✓

✓

Cas limites :



