

Introduction à l'optique géométrique

Introduction

- La nature de la lumière est complexe, cf histoire et confrontation des visions **ondulatoire** et **corpusculaire** :
 - corpusculaire (Newton, XVII-XVIII) Versus Ondulatoire (Hooke - Britanique - microscope ; Huygens - néerlandais ; XVIIè).
 - Alternance Corpusculaire (XVIIIè) - Ondulatoire XIXè (Fresnel, Young, puis nature électromagnétique¹ par Maxwell) - Corpusculaire XXè (Einstein) - Dualité (Physique Quantique)
- On sait aujourd'hui que la lumière ne peut être parfaitement décrite ni par une vision corpusculaire, ni par une vision ondulatoire. La lumière est (comme la matière) QUANTIQUE...
- Point-de-vue ondulatoire : la *lumière (visible)* correspond en fait (vocabulaire) à une partie restreinte du spectre des ondes EMAG (partie visible par l'oeil, et proche IR/ UV).
- On montre que dans un certain cadre expérimental, les ondes lumineuses peuvent être décomposées en *rayons lumineux*, ce qui est la base de l'*Optique Géométrique*.
- Lois de Descartes concernant *Réflexion* et *Réfraction* : ce sont en fait des phénomènes ondulatoires, mais qui seront traités à ce stade d'un point-de-vue purement géométrique, comme des déviations de rayons.

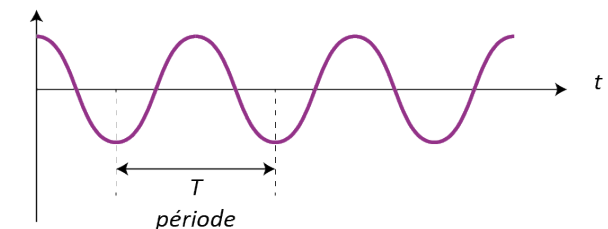
1. abbréviation « EMAG ».

I. Caractéristiques des ondes lumineuses

I.1. Ondes EMAG sinusoïdales / monochromatiques (OEMS/OEMM)

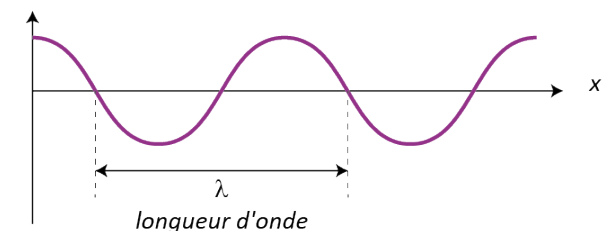
- La lumière est une OEM. Les champ électrique \vec{E} et \vec{B} sont couplés, c'est-à-dire que les variations spatio-temporelles de l'un engendrent celles de l'autre et vice versa.
- On se place en un endroit donné (x_0, y_0, z_0) , on observe les **variations temporelles** d'une composante quelconque du champ électrique $E(t)$:

grandeur vibratoire en **un point du milieu**



- On se place maintenant à un instant donné $t = t_0$, et en y_0, z_0 . On observe les variations de $E(x)$ en fonction de la position x (comme une photographie à l'instant t_0) :

grandeur vibratoire **à un instant donné**



DÉFINITIONS : Une OEMS est caractérisée par une

- **Période** (temporelle) T (dimension T, unité s) = durée au bout de laquelle les variations du champ EMAG se reproduisent de façon identique en un endroit donné.
- **Longueur d'onde** (ou période spatiale) λ (dimension L, unité m) = distance au bout de laquelle les variations du champ EMAG se reproduisent de façon identique à un instant donné.

DÉFINITION : **Fréquence** (Hz) : $\nu = \frac{1}{T}$

C'est le nombre de période par unité de temps... plus souvent utilisé que T pour caractériser l'onde.

PROPRIÉTÉ : Soit v la *célérité* (vitesse de propagation) de l'onde dans un milieu ².

Pendant la période T au bout de laquelle l'onde se reproduit de façon identique localement, la perturbation électromagnétique se propage dans l'espace à la *vitesse* v et parcourt

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

I.2. Propagation dans le vide

a. Célérité dans le vide

Mesures historiques :

- Römer (danois, XVII^e 1676, après Galilée..., durée eclipses satellite Io de Jupiter, variant de 30s. selon éloignement ou rapprochement de la Terre selon la saison...!!!)
- XIX^e : roue dentée de Fizeau (1849), Miroir tournant de Foucault (1850).
- XX^e : Michelson (1929, interférométrie pour la mise en évidence de l'éther).

$$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

valeur considérée comme **exacte** aujourd'hui (cf déf du mètre SI).

Applications numériques (val. pratique) : $c \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

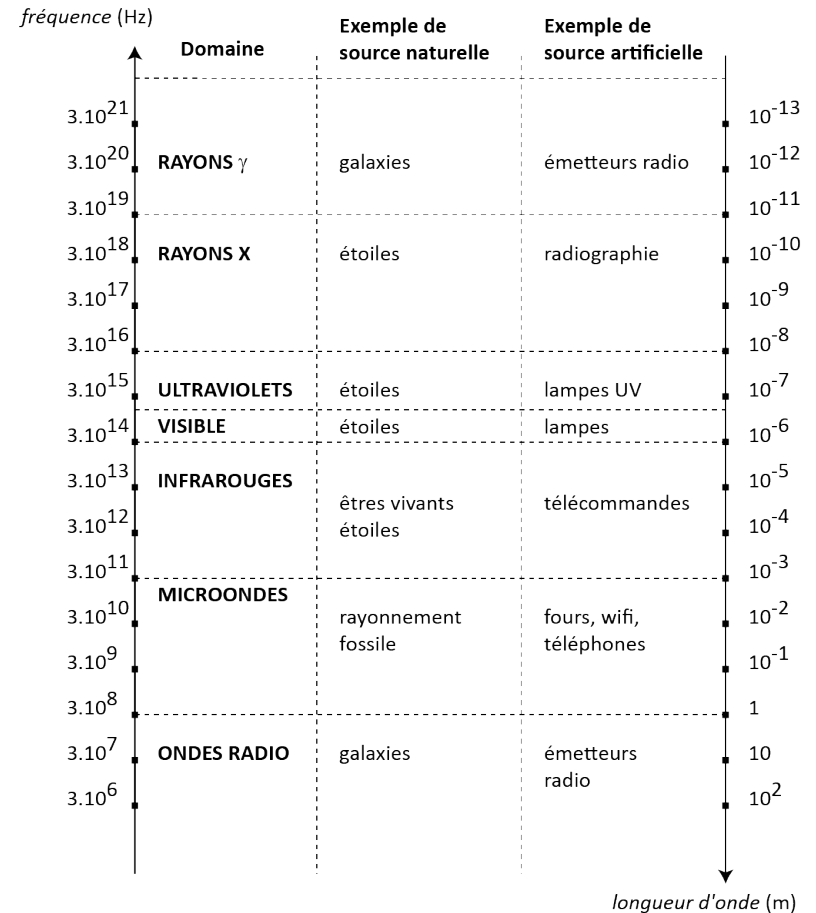
b. Spectre des OEM

DÉFINITION : **Spectre** = représentation de la répartition de l'énergie en fonction de la fréquence ν dans un signal lumineux.

DÉFINITION : *Longueur d'onde dans le vide* : $\lambda_0 = cT = \frac{c}{\nu}$

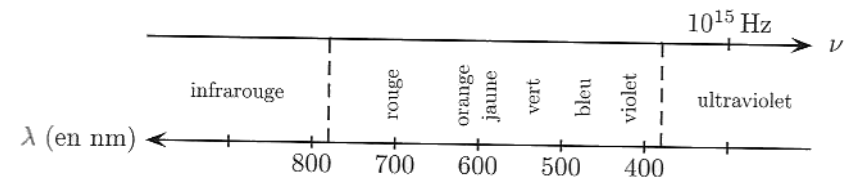
REMARQUE : La longueur d'onde **dans le vide** λ_0 joue le même rôle que la fréquence ν pour décrire le spectre. Ce n'est pas le cas de la longueur d'onde λ dans un milieu quelconque... cf dispersion plus loin.

2. Cette célérité est supposée la même en tout point du milieu, considéré *homogène*... cf plus loin.



Source : <http://sciences-physiques-et-chimiques-de-laboratoire.org>

La notion de « Lumière » correspond en fait dans le langage courant à une partie étroite du spectre des OEM, zone de **sensibilité de l'oeil** humain : $\nu \in [4; 7,9] \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ($\sim 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$) ou $\lambda_0 \in [400; 750] \text{ nm}$.



Source : Physique MPSI-PCSI-PTSI, J. Perez et al, ed. Pearson.

1.3. Propagation dans un milieu matériel transparent

a. Propagation dans un milieu matériel - milieu LHI

La lumière peut se propager dans un milieu matériel, avec lequel elle interagit (les particules élémentaires sont chargées...). La célérité des ondes est affectée, mais aussi peuvent l'être : l'amplitude des ondes (*atténuation* ou *absorption*, la *polarisation*³ (rotation du plan, modification du déphasage des composantes)... cf la suite du cours.

DÉFINITIONS : Un milieu où la lumière se propage peut être :

- **Transparent** : l'onde lumineuse traverse le milieu sans être absorbée (jamais totalement en pratique). Contraire : milieu *absorbant*.
- **Linéaire (L)** : Une OEM sinusoidale (ou monochr) se propage ds le milieu sans changer de fréquence. Contraire de *nonlinéaire* : doublement de fréquence, triplement, fréquences fractionnaires...
- **Homogène (H)** : La célérité des OEMS est la même en tout point du milieu (invariance du milieu par translation).
- **Isotrope (I)** : La célérité est indépendante de la direction de propagation⁴ (invariance du milieu par rotation).

b. Indice (de réfraction) d'un milieu

DÉFINITION : Soit v (c) la célérité des OEM dans le milieu (vide), on appelle *indice de réfraction* du milieu

$$n = \frac{c}{v}.$$

REMARQUES :

- On a toujours $n \geq 1$ (!!!) (cf exp de Foucault miroir tournant, ds l'eau).
- Si n est le même en tout point et \forall la direction de polarisation, alors le milieu est HI (pour $n...$). Cas le plus courant (mm si les milieux à gradient d'indice, ou anisotropes ont des propriétés intéressantes).
- L'indice (v) dépend en général de la fréquence ν (donc/ou de λ_0), cf ci-après DISPERSION.

Exemples :

Milieu	Air	Eau	Verre	Diamant
Indice n	1,0003	1,33	1,5 – 1,8	2,4

$$n_{\text{air}} \approx 1,000 \quad " = 1".$$

3. cf définition plus loin dans le cours.

4. et donc de la direction de *polarisation*...

c. Dispersion

La vitesse de propagation de la lumière dans un milieu matériel dépend :

- du type de particules chargées qui la constituent (taille, masse, charge...);
- du type d'interaction (liaisons) entre ces particules;

Ainsi les particules chargées ont des **temps caractéristiques de réponse aux excitations** qui dépendent du matériau \Rightarrow **la réponse dépend de la fréquence**.

DÉFINITION : **Dispersion** : un milieu est dit *dispersif* si la célérité des OEMS dépend de leur fréquence ν (et donc de λ_0) :

$$v = v(\nu) = v(\lambda_0) \quad \text{ou} \quad n = n(\nu) = n(\lambda_0)$$

Loi de Cauchy (1836)⁵, vérifiée par de nombreux matériaux transparents pour le domaine du visible (et n'absorbant que dans l'UV) :

$$n = A + \frac{B}{\lambda_0^2} \quad \text{où } A \text{ et } B \text{ sont des constantes qui dépendent du matériau.}$$

d. Longueur d'onde dans un milieu LHI

PROPRIÉTÉS :

- La période / fréquence / pulsation d'une OEMS n'est pas modifiée quand celle-ci change de milieu LHI (L).
- La longueur d'onde λ d'une OEMS dépend du milieu LHI considéré, plus précisément de son indice de réfraction.
- La sensation de couleur est associée à la fréquence des OEMM (ou à λ_0), pas directement à leur longueur d'onde λ , qui dépend du milieu.
- La longueur d'onde λ d'une OEMS donnée est toujours **plus petite** dans un milieu matériel (LHI) que dans le vide :

$$\lambda < \lambda_0$$

DÉMONSTRATION : Dans un matériau LHI, la fréquence ν est fixée (L), la célérité v est la même dans tout l'espace (H) et \forall la direction (propagation ou

5. Peut être démontré pour un milieu dont les bandes d'absorption sont toutes dans l'UV (pas le cas de l'eau). C'est une approx d'un développement de la forme : $n = A + \frac{B}{\lambda_0^2} + \frac{C}{\lambda_0^4} + \dots$

polarisation) (I). Alors par définition de l'indice :

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu} = \frac{\lambda_0}{n} < \lambda_0.$$

II. Sources lumineuses - spectres (Traité en TP cours...)

II.1. Sources thermiques

II.2. Lampes spectrales (à décharges) - lampes fluorescentes

II.3. Lampes à LED

II.4. Laser

III. Approximation de l'optique géométrique

III.1. Expérience : le faisceau/pinceau lumineux

III.2. Approximation de l'OG

a. *Notion de rayon lumineux*

b. *Les principes l'OG*

IV. Lois de Descartes

IV.1. Dioptries et miroirs

IV.2. Lois de Descartes

IV.3. Réflexion totale et réfraction limite

IV.4. Applications

a. *Lame à faces parallèles*

b. *Milieu stratifié (mirages...)*

c. *Prisme - angle de déviation minimale - dispersion*