Cours d'optique ondulatoire

Pr. Ech-chamikh

Présentation du cours

- **Chapitre I: Généralités sur les ondes lumineuses**
- **Chapitre II: Les interférences lumineuses**
- **Chapitre III: La diffraction de la lumière**
- **Chapitre IV: La polarisation de la lumière**

Introduction

Optique géométrique :

Lumière = Rayons lumineux
(aspect géométrique)

Optique physique (ou ondulatoire) :

Lumière = Ondes électromagnétiques
(aspect ondulatoire)

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ONDES LUMINEUSES

✓ Interférences lumineuses :

Superposition de faisceaux lumineux

↳ Eclairement variable sur l'écran d'observation

✓ Diffraction de la lumière :

Interception de la lumière par un petit objet

↳ Eclairement variable sur l'écran d'observation

✓ La lumière présente différents états de polarisation

Explication : Aspect ondulatoire de la lumière

(La lumière est une onde électromagnétique :

onde sinusoïdale transverse)

1. Les vibrations sinusoïdales

Phase à l'origine

$$\vec{A} = a\cos(\omega t + \varphi)\,\vec{u}$$

Direction de vibration

Pulsation

Amplitude

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$ **Période de la vibration**

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$ **Fréquence de vibration**

$$I \propto a^2$$ **Intensité de la vibration**

$$\xi \propto I$$ **Eclairement pour une vibration lumineuse**

2. Composition de vibrations sinusoïdales

$$\vec{A}_i = a_i \cos(\omega t + \varphi_i)\vec{u}$$ **Vibrations composantes**

$$\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2 + \ldots + \vec{A}_N = \sum_{i=1}^{N} \vec{A}_i = a\cos(\omega t + \varphi)\vec{u}$$

Vibration résultante

Problème : a et φ en fonction des a_i et φ_i

2.1. Méthode directe (ou trigonométrique)

$$\vec{A} = a\cos(\omega t + \varphi)\vec{u} = \sum_{i=1}^{N} a_i \cos(\omega t + \varphi_i)\vec{u}$$

$$\Leftrightarrow \left(a\cos\varphi - \sum_{i=1}^{N} a_i \cos\varphi_i \right)\cos\omega t + \left(-a\sin\varphi + \sum_{i=1}^{N} a_i \sin\varphi_i \right)\sin\omega t = 0 \qquad (\forall\, t)$$

$$t = 0 \Rightarrow a\cos\varphi = \sum_{i=1}^{N} a_i \cos\varphi_i \qquad (1)$$

$$t = \frac{\pi}{2\omega} \Rightarrow a\sin\varphi = \sum_{i=1}^{N} a_i \sin\varphi_i \qquad (2)$$

$$\boxed{a^2 = \left(\sum_{i=1}^{N} a_i \sin\varphi_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{N} a_i \cos\varphi_i \right)^2}$$

$$\boxed{tg\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{N} a_i \sin\varphi_i}{\sum_{i=1}^{N} a_i \cos\varphi_i}}$$

2.2. Représentation complexe

$$A(t) = a\cos(\omega t + \varphi) \longrightarrow \begin{cases} \overline{A}(t) = a e^{j(\omega t + \varphi)} = \overline{A} e^{j\omega t} \\ ou \;\; \overline{A} = a e^{j\varphi} \end{cases}$$

Amplitude complexe

$$\overline{A} = a e^{j\varphi} = \sum_{i=1}^{N} a_i e^{j\varphi_i} = \sum_{i=1}^{N} a_i \left(\cos\varphi_i + j\sin\varphi_i\right) = \sum_{i=1}^{N} a_i \cos\varphi_i + j\sum_{i=1}^{N} a_i \sin\varphi_i$$

$$\boxed{a^2 = \left|\overline{A}\right|^2 = \left(\sum_{i=1}^{N} a_i \cos\varphi_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{N} a_i \sin\varphi_i\right)^2}$$

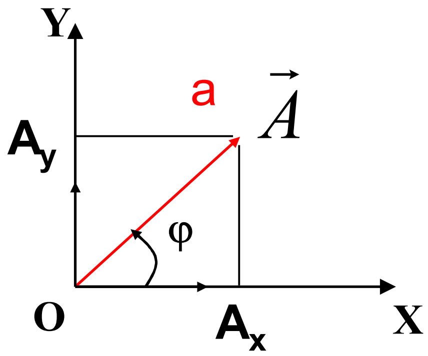
$$\boxed{tg\varphi = \frac{\mathrm{Im}(\overline{A})}{\mathrm{Re}(\overline{A})} = \frac{\sum_{i=1}^{N} a_i \sin\varphi_i}{\sum_{i=1}^{N} a_i \cos\varphi_i}}$$

Même résultat que la méthode directe

2.3. Représentation de Fresnel

$$A(t) = a\cos(\omega t + \varphi) \Rightarrow \begin{cases} \vec{A}(t) = a\cos(\omega t + \varphi)\vec{i} + a\sin(\omega t + \varphi)\vec{j} \\ ou \quad \vec{A} = a\cos\varphi\,\vec{i} + a\sin\varphi\,\vec{j} \end{cases}$$

$$a^2 = A_x^2 + A_y^2 \quad \text{et} \quad tg\varphi = \frac{A_y}{A_x}$$



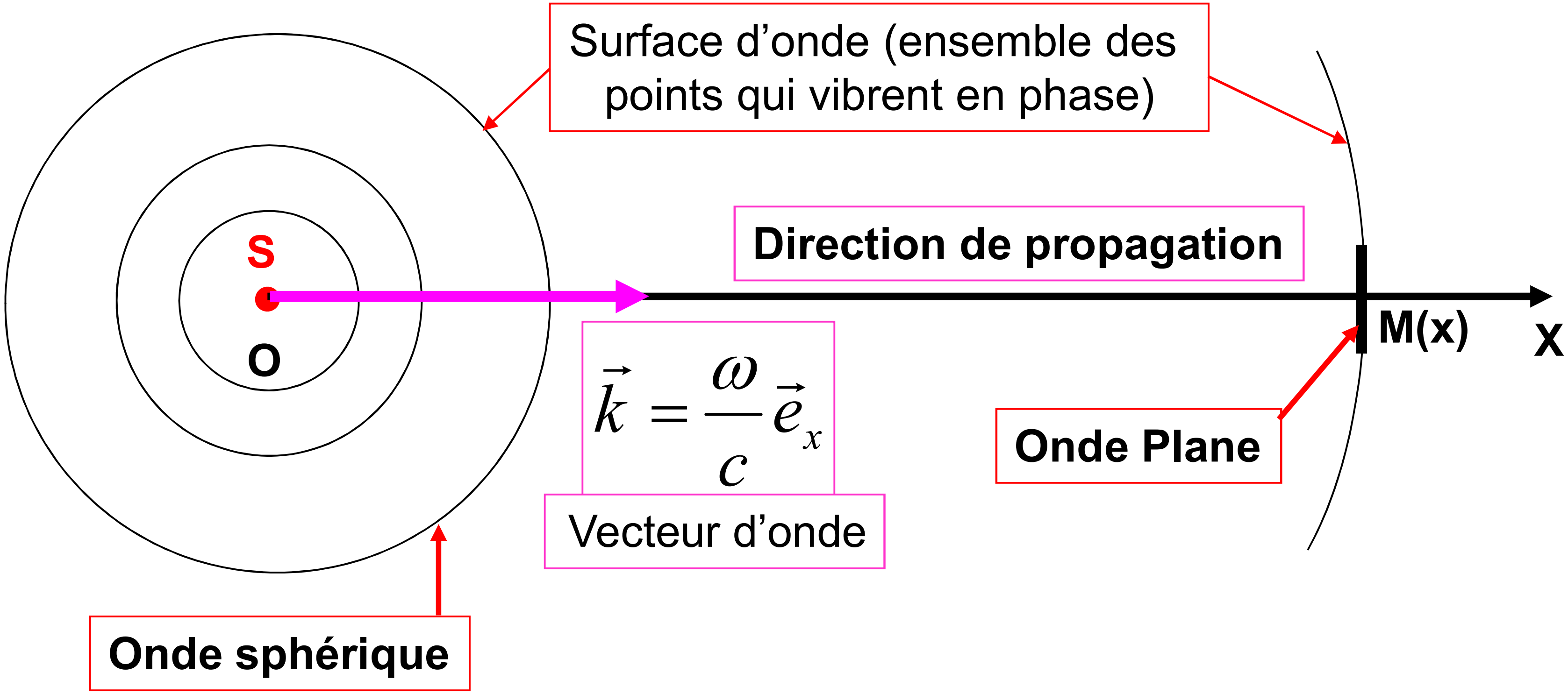
$$\vec{A} = \sum_{i=1}^{N} \vec{A}_i = \sum_{i=1}^{N} (a_i \cos\varphi_i \vec{i} + a_i \sin\varphi_i \vec{j})$$

$$= \sum_{i=1}^{N} (a_i \cos\varphi_i)\,\vec{i} + \sum_{i=1}^{N} (a_i \sin\varphi_i)\,\vec{j} = A_x\vec{i} + A_y\vec{j}$$

$$\left\{\begin{aligned} a^2 &= A_x^2 + A_y^2 = \left(\sum_{i=1}^{N}(a_i\cos\varphi_i)\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{N}(a_i\sin\varphi_i)\right)^2 \\ tg\varphi &= \frac{A_y}{A_x} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(a_i\sin\varphi_i)}{\sum_{i=1}^{N}(a_i\cos\varphi_i)} \end{aligned}\right.$$

Même résultat que les méthodes directe et complexe

3. Aspect ondulatoire de la lumière



$$\boxed{\vec{E}_S = \vec{E}(0,t) = \vec{E}_0 \cos \omega\, t}$$

L'onde source (en O)

Temps mis par l'onde pour atteindre M

$$\vec{E}_M(x,t)=\vec{E}_0\cos[\omega\,(t-t_M)]=\vec{E}_0\cos(\omega t-\omega\frac{x}{c})$$
$$=\vec{E}_0\cos(\omega t-kx)=\vec{E}_0\cos(\omega t-\varphi)$$

L'onde en M(x)

Remarque : E(x,t) est solution de l'équation générale des Ondes

$$\Delta E-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}=0$$

Vitesse de l'onde

Période spatiale

$$\lambda=\frac{2\pi}{k}=\frac{2\pi\,c}{\omega}=cT=\frac{c}{f}$$

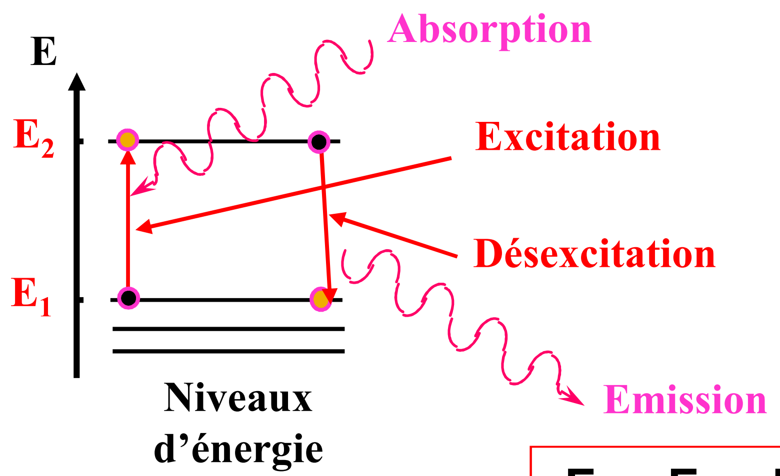
Dans un milieu d'indice n :

$$\varphi=\frac{\omega}{v}x=k_m x=\frac{\omega}{c}\frac{c}{v}x=knx=k(OM)$$

Retard de phase par rapport à l'onde source

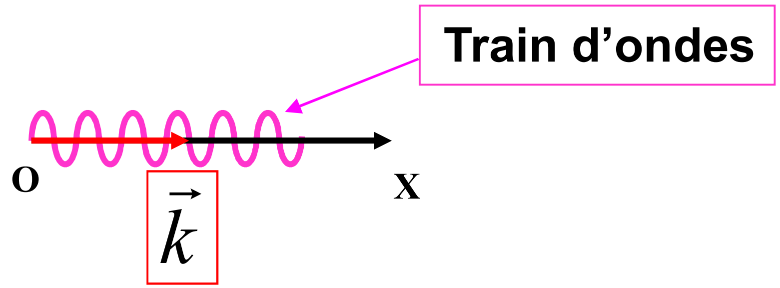
4. Les sources de lumière

- **Electron**
- **Lacune**

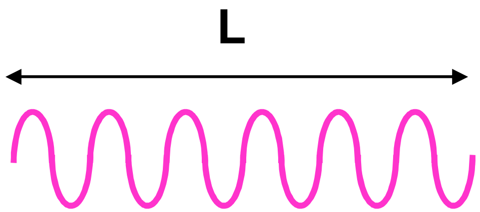


$$\boxed{E_2 - E_1 = h\,\nu}$$

h = 6,62 10^{-34} Js est <u>la constante de Planck</u>



4.1. Définitions



Train d'ondes

Longueur de cohérence

$$\tau = \frac{L}{c}$$

Temps de cohérence

$$\Delta \nu = \frac{1}{\tau}$$

Largeur de raie (en fréquence)

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \Rightarrow \Delta\lambda = \lambda \frac{\Delta \nu}{\nu}$$

Largeur de raie (en longueur d'onde)

4.2. Les sources conventionnelles

- **Sources à émission (désexcitation) spontanée**
- τ faible (10^{-10} à 10^{-15} s)
- L faible (10^{-2} à 10^{-7} m)
- $\Delta\nu$ grand (10^{10} à 10^{15} Hz)
- $\Delta\lambda$ grand (10^{-3} à 10^{2} nm)

Exemples :

- Les lampes à incandescence
- Les lampes spectrales (à gaz)
- Le soleil et les étoiles

Light

Stimulated

4.3. Les sources LASER

Radiations

Amplification

Emission

- **Sources à émission (désexcitation) stimulée**
- τ **grand** **(10^{-3} à 10^{-6} s)**
- **L grand** **(10^{5} à 10^{2} m)**
- $\Delta\nu$ **faible** **(10^{3} à 10^{6} Hz)**
- $\Delta\lambda$ **faible** **(10^{-10} à 10^{-7} nm)**

5. Les récepteurs quadratiques

- Sensibles <u>au carré de l'amplitude</u> du champ électrique (donc à l'intensité et à l'éclairement)

- <u>Temps de réponse</u> t_r très supérieur à la période T

  t_r de l'ordre de 0.1 s pour l'œil humain

  t_r de l'ordre de 10^{-3} s pour une plaque photographique

  T est de l'ordre de 10^{-15} s (lumière visible)

$\Downarrow$

Pas possible de détecter $I(t)$ mais on détecte sa valeur moyenne dans le temps : $\langle I(t) \rangle$