

Propagation et interférences

- **Classification élémentaire :**

- Ondes mécaniques (propagation dans un milieu matériel) vs. électromagnétiques (dans le vide aussi);
- Ondes transverses (perturbation \perp direction de propagation) vs. longitudinales (perturbation parallèle).

I - Ondes progressives

- **Qualitativement :** se propage sans déformation dans une direction bien définie.

- **Représentations graphiques :**

- spatiale = toute l'onde à un instant t_0 fixé \simeq photo;
- temporelle = position d'un point x_0 fixé au cours du temps \simeq signal enregistré par un capteur;
- les deux représentations peuvent être symétriques selon le sens de propagation.

- **Expressions mathématiques :** le signe renseigne sur le sens de propagation

- dans le sens des x croissants : $\xi_{\rightarrow}(x, t) = f(x - ct) = F\left(t - \frac{x}{c}\right)$;
- dans le sens des x décroissants : $\xi_{\leftarrow}(x, t) = g(x + ct) = G\left(t + \frac{x}{c}\right)$.

- **Onde plane progressive harmonique = sinusoidale = monochromatique :**

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t \pm kx + \varphi)$$

amplitude \rightarrow A

$T = \frac{2\pi}{\omega}$

$\lambda = \frac{2\pi}{k}$

phase $\phi(M)$
= déphasage p/r la source

représentation complexe :

$$\underline{\xi}(x, t) = A e^{j(\omega t \pm kx + \varphi)}$$

$$\vec{k} = \pm k \vec{e}_x \quad \text{vecteur d'onde}$$

- **Dispersion :** relation de dispersion non-linéaire, célérité non définie, pas d'OPP car étalement des paquets d'ondes.

- **Chemin optique :**

- indice optique : $n = \frac{c}{c'} > 1$ avec c célérité dans le vide et c' dans le milieu.
- chemin optique le long d'un rayon : $(AB) = [AB] = \int_{AB} n(M) d\ell = n AB$ si milieu homogène
- lien avec la phase : $\phi(M) = \frac{2\pi}{\lambda}(SM)$ avec S point source.

II - Interférences à deux ondes

- **Critères de cohérence** = conditions nécessaires pour qu'il y ait interférences
 - ▷ ondes synchrones = de même fréquence ;
 - ▷ différence de phase indépendante du temps.

~ en optique : possible uniquement si une seule source primaire mais deux chemins différents pour atteindre le point d'observation.

- **Principe de superposition** : $\xi(M, t) = \xi_1(M, t) + \xi_2(M, t)$ dans un milieu linéaire.
- **Intensité d'une onde** : $I(M) = \alpha \langle \xi(M, t)^2 \rangle = \frac{1}{2} \alpha |\underline{\xi}(M, t)|^2$ (α cte de proportionnalité)
- **Formule de Fresnel** : intensité résultant de la superposition de deux ondes

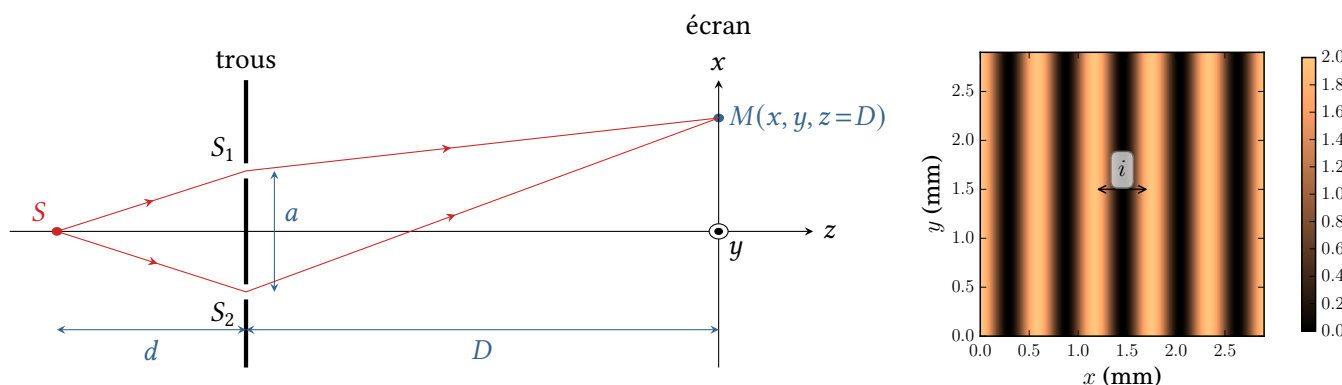
$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi(M).$$

- **Conditions d'interférences** :

	Déphasage $\Delta\phi$	Différence de marche δ	Ordre d'interférence p
Définition	$\Delta\phi = \phi_2(M) - \phi_1(M)$	$\delta = (S_2M) - (S_1M)$	$p = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\Delta\phi}{2\pi}$
Formule de Fresnel	$I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\phi)$	$I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\delta\right)$	$I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(2\pi p)$
Interférences constructives	$\Delta\phi = 2m\pi, m \in \mathbb{Z}$	$\delta = m\lambda, m \in \mathbb{Z}$	$p = m \in \mathbb{Z}$ (ordre entier)
Interférences destructives	$\Delta\phi = (2m + 1)\pi, m \in \mathbb{Z}$	$\delta = \frac{\lambda}{2} + m\lambda, m \in \mathbb{Z}$	$p = m + \frac{1}{2} \in \mathbb{Z}$ (ordre demi-entier)

III - Expérience des trous d'Young

- **Dispositif** :



- **Différence de marche à grande distance** :

- 1 **Simplification du calcul** par symétrie : $SS_1 = SS_2$
- 2 Calcul des **longueurs géométriques** SS_1 et SS_2 :
 - ou bien exprimer les coordonnées 3d ;
 - ou bien supposer le problème plan (invariance par translation) et appliquer le théorème de Pythagore.
- 3 **Développement limité** : factoriser par $D \gg a, x$ puis utiliser $(1 + \epsilon)^\alpha = 1 + \alpha\epsilon$.
- 4 Conclure : $\delta = \frac{ax}{D}$.

- **Interfrange** : période spatiale de l'intensité : $i = \lambda D/a$ pour trous d'Young.

$$I(x + i) = I(x) \qquad p(x + i) = p(x) + 1 \qquad \delta(x + i) = \delta(x) + \lambda.$$