LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

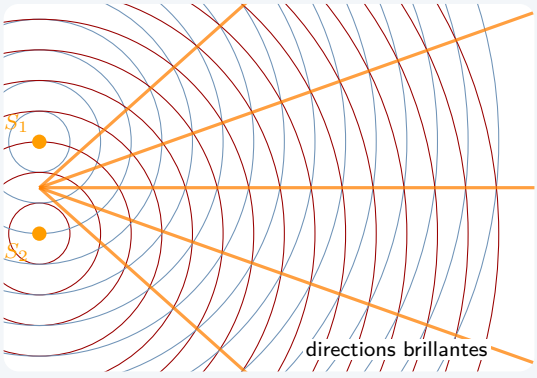
Classes préparatoires aux grandes écoles
MP — Physique-chimie
Année 2026-2027

FICHE RÉSUMÉ

02 OPTIQUE ONDULATOIRE

Superposition d'ondes lumineuses

Superposition de deux ondes — Sources incohérentes — Trains d'ondes et cohérence mutuelle — Formule de Fresnel — Ordre d'interférence et contraste — Division du front d'onde, division d'amplitude



« *Toutes les fois que deux portions de la même lumière arrivent à l'œil par des chemins différents, la lumière est la plus intense lorsque la différence des chemins est un multiple d'une certaine longueur.*

— Thomas Young, *Philosophical Transactions of the Royal Society* (1802), trad.

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Fentes d'Young »

O2 — Fiche résumé

L'essentiel en trois phrases

Deux ondes lumineuses n'interfèrent que si elles ont la même fréquence et un déphasage stable : en pratique, elles doivent provenir d'une **même source primaire ponctuelle**, divisée par un dispositif interférentiel, avec une différence de marche inférieure à la **longueur de cohérence**. L'intensité est alors donnée par la **formule de Fresnel**, qui ne dépend que de l'ordre d'interférence $p = \delta/\lambda_0$. Sinon, les intensités s'ajoutent simplement.

I Superposition et conditions d'interférences

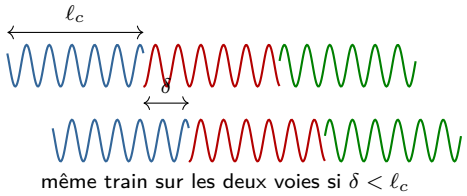
Intensité de deux ondes superposées R D

$$I = I_1 + I_2 + 2K\langle s_1 s_2 \rangle$$

- Fréquences différentes : le terme croisé oscille à $|f_1 - f_2|$, de moyenne nulle sur τ_R : $I = I_1 + I_2$.
- Même fréquence : terme $2\sqrt{I_1 I_2}\langle\cos(\varphi_2 - \varphi_1)\rangle$; pour deux **sources distinctes**, les phases à l'origine changent aléatoirement tous les τ_c, d'où $\langle\cos\rangle = 0$: **intensités additives**.
- Polarisations orthogonales : pas d'interférences (Fresnel-Arago).

☞ Méthode — Cohérence mutuelle : méthode opérationnelle M

1. Une seule source primaire ponctuelle, **divisée** (sources secondaires synchrones, déphasage fixe) ;
2. $|\delta(M)| < \ell_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$ (même train d'ondes sur les deux voies) ;
3. polarisations non orthogonales.



même train sur les deux voies si $\delta < \ell_c$

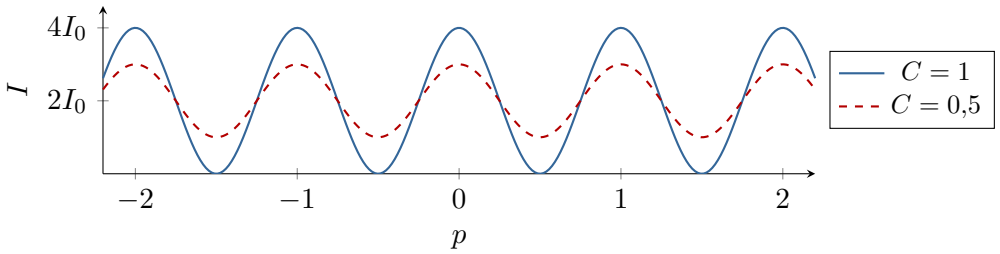
II Formule de Fresnel

Interférences à deux ondes R D

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda_0}\right) = (I_1+I_2)\left[1 + C\cos(2\pi p)\right] \qquad C = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1+I_2}$$

- $\delta(M) = (SM)_2 - (SM)_1$ (chemins optiques depuis la source primaire, $+\frac{\lambda_0}{2}$ par réflexion à déphasage π propre à une voie) ; $p = \frac{\delta}{\lambda_0}$.
- Voies équilibrées : $I = 2I_0(1+\cos\Delta\varphi) = 4I_0\cos^2\frac{\Delta\varphi}{2}$, $C = 1$.

Frange	Ordre p	Différence de marche	Intensité
Brillante (constructive)	entier	$\delta = m\lambda_0$	$I_{\max} = \left(\sqrt{I_1}+\sqrt{I_2}\right)^2$
Sombre (destructive)	demi-entier	$\delta = \left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda_0$	$I_{\min} = \left(\sqrt{I_1}-\sqrt{I_2}\right)^2$
Moyenne sur une frange	–	–	$I_1 + I_2$ (conservation de l'énergie)



III Figure d'interférences et dispositifs

Deux sources ponctuelles synchrones S_1, S_2 distantes de a R

- Surfaces d'égal ordre $S_2M - S_1M = p\frac{\lambda_0}{n}$: **hyperboloïdes** de révolution d'axe S_1S_2, présentes dans tout le champ d'interférences : franges **non localisées** ; $|p| \leq \frac{na}{\lambda_0}$.
- Écran éloigné **parallèle** à S_1S_2 : franges rectilignes $\perp S_1S_2$ ($\delta \approx \frac{nax}{D}$, chapitre O3).
- Écran éloigné **perpendiculaire** à S_1S_2 : anneaux, $\delta \approx a\cos\theta \approx a\left(1-\frac{\rho^2}{2D^2}\right)$, ordre maximal au centre, $\rho_k = D\sqrt{\frac{2k\lambda_0}{a}}$ si le centre est brillant.

	Division du front d'onde	Division d'amplitude
Principe	deux rayons distincts de S (deux portions du front d'onde)	un même rayon partagé par une lame semi-réfléchissante
Source	quasi ponctuelle (sinon brouillage)	peut être étendue
Franges	non localisées	localisées (source étendue)
Exemples	trous d'Young, miroirs de Fresnel, Lloyd, biprisme	Michelson, lames minces, Mach-Zehnder

Ordres de grandeur

ℓ_c : lumière blanche $\approx 1\,\mu\text{m}$ (2 ou 3 franges), lampe spectrale $\approx 1\,\text{cm}$, laser He-Ne $\approx 30\,\text{cm}$. Temps de réponse : œil $0{,}1\,\text{s} \gg \tau_c$ (10^{10} trains moyennés). Contraste : $C = 0,94$ pour $I_2 = \frac{I_1}{2}$, $C = 0,8$ pour $I_2 = \frac{I_1}{4}$.

IV Méthodes et pièges

☞ Méthode — Étudier une figure d'interférences M

1. Vérifier la cohérence : une source primaire, un diviseur, $|\delta| < \ell_c$; sinon $I = I_1 + I_2$.
2. Ramener le dispositif à deux sources secondaires (images par miroirs, prismes, lentilles) et calculer $\delta(M)$ avec les chemins optiques, sans oublier les déphasages de réflexion.
3. Écrire $p(M)$; franges $=$ courbes $p =$ cste ; interfrange : $\Delta p = 1$.
4. Contraste à partir de I_1 et I_2 (ou de $I_{\max}$, $I_{\min}$ mesurés).

✗ Attention, erreurs fréquentes

- On additionne les **vibrations** de deux ondes cohérentes, les **intensités** de deux ondes incohérentes.
- Deux lasers « identiques » ne donnent pas de franges stables.
- Un déphasage π présent sur les deux voies (miroirs de Fresnel) ne change rien ; sur une seule (miroir de Lloyd), il échange franges brillantes et sombres.
- $C = 1$ exige $I_1 = I_2$; un contraste faible ne prouve pas l'incohérence (voies déséquilibrées).

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ Je démontre $I = I_1 + I_2 + 2K\langle s_1 s_2\rangle$ et l'additivité des intensités de deux sources indépendantes.
- ☐ J'explique avec les trains d'ondes pourquoi il faut diviser une source unique et imposer $|\delta| < \ell_c$.
- ☐ J'établis la formule de Fresnel et l'expression du contraste.
- ☐ Je définis différence de marche, ordre, franges, champ d'interférences, non-localisation.
- ☐ Je décris les franges et les anneaux de deux sources ponctuelles.
- ☐ Je classe un dispositif (division du front d'onde ou d'amplitude) et je le ramène à deux sources secondaires.