LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

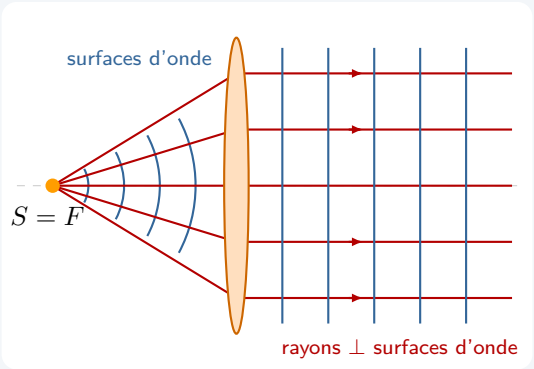
Classes préparatoires aux grandes écoles
MP — Physique-chimie
Année 2026-2027

FICHE RÉSUMÉ

01 OPTIQUE ONDULATOIRE

Modèle scalaire des ondes lumineuses

Vibration lumineuse — Chemin optique et retard de phase — Surfaces d'onde, théorème de Malus-Dupin — Lentille et stigmatisme — Trains d'ondes et cohérence temporelle — Récepteurs et intensité



> *On ne saurait douter que la lumière ne consiste dans le mouvement de certaine matière.*
>
> — Christiaan Huygens, *Traité de la lumière*, chapitre I (1690)

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Chemin optique et retard de phase »

O1 — Fiche résumé

L'essentiel en trois phrases

La lumière est décrite par une **vibration scalaire** qui se propage le long des rayons ; la phase accumulée entre deux points vaut $\frac{2\pi}{\lambda_0}$ fois le **chemin optique**, et les points de même phase forment des **surfaces d'onde**, orthogonales aux rayons (Malus-Dupin). Une source réelle émet des **trains d'ondes** de durée τ_c, dont la largeur spectrale vérifie $\Delta f \cdot \tau_c \approx 1$. Un récepteur ne mesure que l'**intensité** $K\langle s^2\rangle$, moyennée sur un temps de réponse immense devant la période et devant τ_c.

I Vibration lumineuse et chemin optique

Définition — Modèle scalaire R

- Visible : $\lambda_0 \in [400\,\text{nm}; 800\,\text{nm}]$, $f = \frac{c}{\lambda_0} \approx 5 \times 10^{14}\,\text{Hz}$, $T \approx 2\,\text{fs}$. Dans un milieu d'indice n : $v = \frac{c}{n}$, $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$, f inchangée.
- Onde monochromatique : $s(M,t) = s_0(M)\cos(\omega t - \varphi(M))$; les **vibrations** s'additionnent (linéarité des équations de Maxwell).
- Valable sans effet de polarisation et pour des rayons quasi parallèles.

Chemin optique et retard de phase R D

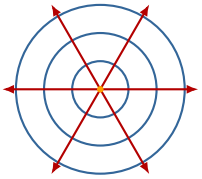
$$(AB) = \int_A^B n\,\mathrm{d}\ell = c\,\tau_{AB} \qquad \varphi(B) - \varphi(A) = \frac{2\pi}{\lambda_0}(AB)$$

- Milieux homogènes successifs : $(AB) = \sum n_i \ell_i$. Lame d'épaisseur e ajoutée dans l'air : $+(n-1)e$.
- Source ponctuelle : $s(M,t) = s_0 \cos\left(\omega t - \varphi_S - \frac{2\pi}{\lambda_0}(SM)\right)$.
- **Déphasage supplémentaire** π (soit $+\frac{\lambda_0}{2}$) : réflexion sur un métal ou sur un milieu plus réfringent. Pas de saut de phase à la réfraction.

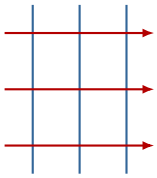
II Surfaces d'onde

Surfaces d'onde et Malus-Dupin R

- Surfaces d'onde relatives à S : $(SM) = \text{cste}$ (surfaces équiphases).
- **Malus-Dupin** (admis) : après réflexions et réfractions, les rayons restent **orthogonaux** aux surfaces d'onde ; le chemin optique entre deux surfaces d'onde est le même pour tous les rayons.



onde sphérique



onde plane

Onde	Vibration	Obtention
Sphérique	$\frac{A}{r}\cos\left(\omega t - \frac{2\pi n}{\lambda_0} r - \varphi_S\right)$, $I \propto \frac{1}{r^2}$	source ponctuelle, milieu homogène
Plane	$s_0 \cos\left(\omega t - \vec{k}\cdot\overrightarrow{OM} - \varphi_O\right)$, $\vec{k} = \frac{2\pi n}{\lambda_0}\vec{u}$	source à l'infini ou au foyer d'une lentille

Stigmatisme et lentille mince R D

- Si A' est l'image de A (stigmatisme), (AA') est le même pour tous les rayons : **une lentille n'introduit pas de différence de marche**.
- Conditions de Gauss : source dans le plan focal objet $\rightarrow$ onde plane ; onde plane d'inclinaison $\alpha \rightarrow$ onde convergeant au foyer secondaire, à $f'\alpha$ de l'axe.
- Deux rayons parallèles qui convergent en M du plan focal : leur différence de marche se lit en amont, entre un plan d'onde et l'autre rayon.

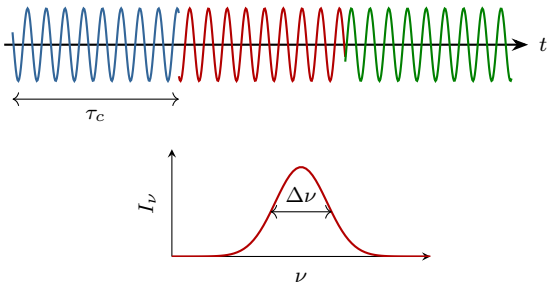
III Émission, cohérence temporelle et réception

Trains d'ondes R

Trains de durée moyenne τ_c (temps de cohérence), de phase aléatoire d'un train à l'autre. Relation admise :

$$\Delta f \cdot \tau_c \approx 1 \qquad \ell_c = c\tau_c \approx \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda} = \frac{1}{\Delta\sigma}$$

Élargissement : Doppler (agitation thermique, profil gaussien), collisions (pression, profil lorentzien).



Définition — Intensité R

$$I(M) = K\langle s^2(M,t)\rangle_{\tau_R} = \frac{K}{2}s_0^2 = \frac{K}{2}|\underline{s}|^2$$

Densité spectrale $I_\nu = \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}\nu}$; radiations de fréquences différentes : intensités additives, $I = \int I_\nu \,\mathrm{d}\nu$. Physiquement $\langle \Pi \rangle = \frac{1}{2}\varepsilon_0 c E_0^2$.

Ordres de grandeur

Lumière blanche : $\ell_c \approx 1\,\mu\mathrm{m}$	Lampe spectrale : $\ell_c \approx 1\,\mathrm{mm}$ à $3\,\mathrm{cm}$	Laser He-Ne : $\ell_c \approx 30\,\mathrm{cm}$
Œil : $\tau_R \approx 0{,}1\,\mathrm{s}$	Capteur CCD : $\approx 1\,\mathrm{ms}$	Photodiode : $1\,\mathrm{ns}$ à $1\,\mu\mathrm{s}$

Période optique $T \approx 2\times10^{-15}\,\mathrm{s}$; τ_c de $10^{-15}\,\mathrm{s}$ à $10^{-9}\,\mathrm{s}$: un récepteur moyenne sur des milliards de trains d'ondes.

IV Méthodes et pièges

☞ Méthode — Calculer un retard de phase ou une différence de marche M

- Découper le trajet en milieux homogènes : $(AB) = \sum n_i \ell_i$; ajouter $\frac{\lambda_0}{2}$ par réflexion métallique ou vitreuse (côté air).
- Utiliser les surfaces d'onde : deux points d'un même plan d'onde (onde plane) sont en phase ; tracer la perpendiculaire commune aux rayons (Malus-Dupin).
- Entre un objet et son image, aucun chemin optique supplémentaire : faire « traverser » la lentille sans calcul.
- Onde plane oblique d'angle θ sur un écran : $\varphi(x) = \varphi(O) + \frac{2\pi}{\lambda_0} x \sin\theta$.

✗ Attention, erreurs fréquentes

- Le retard de phase s'écrit avec λ_0 (vide) et le chemin optique, ou avec $\lambda = \lambda_0/n$ et la distance géométrique, jamais en mélangeant les deux.
- La fréquence ne change pas d'un milieu à l'autre ; la longueur d'onde change.
- τ_c (source) et τ_R (récepteur) sont deux temps différents ; $\Delta f = \frac{c\,\Delta\lambda}{\lambda_0^2}$, pas $\frac{c}{\Delta\lambda}$.
- Une lentille épaisse au centre **retarde** le centre de l'onde : c'est ce qui la fait converger, sans différence de marche entre l'objet et l'image.

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ Je connais les ordres de grandeur du visible (λ_0, f, T) et des indices usuels.
- ☐ Je calcule un chemin optique et le retard de phase associé, avec les déphasages de réflexion.
- ☐ J'énonce le théorème de Malus-Dupin et je trace surfaces d'onde et rayons pour une onde plane ou sphérique.
- ☐ Je décris l'effet d'une lentille sur une onde et j'utilise l'égalité des chemins optiques entre points conjugués.
- ☐ Je relie τ_c, ℓ_c, Δf et $\Delta\lambda$ et je connais les longueurs de cohérence usuelles.
- ☐ Je définis l'intensité et je justifie qu'un récepteur ne mesure qu'une moyenne.