Chapitre P24

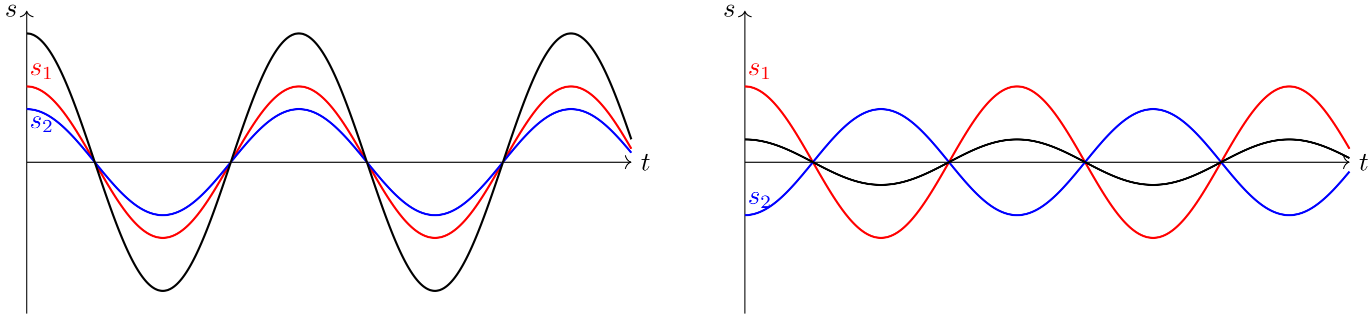
Interférences

Notions et contenus	Capacités exigibles
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives. Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.
Interférences entre deux ondes lumineuses de même fréquence. Exemple du dispositif des trous d'Young éclairé par une source monochromatique. Différence de chemin optique. Conditions d'interférences constructives ou destructives. Formule de Fresnel.	Relier le déphasage entre les deux ondes à la différence de chemin optique. Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique entre les deux ondes. Exploiter la formule de Fresnel fournie pour décrire la répartition d'intensité lumineuse. *Capacité expérimentale : mettre en uvre un dispositif expérimental pour visualiser et caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes.*

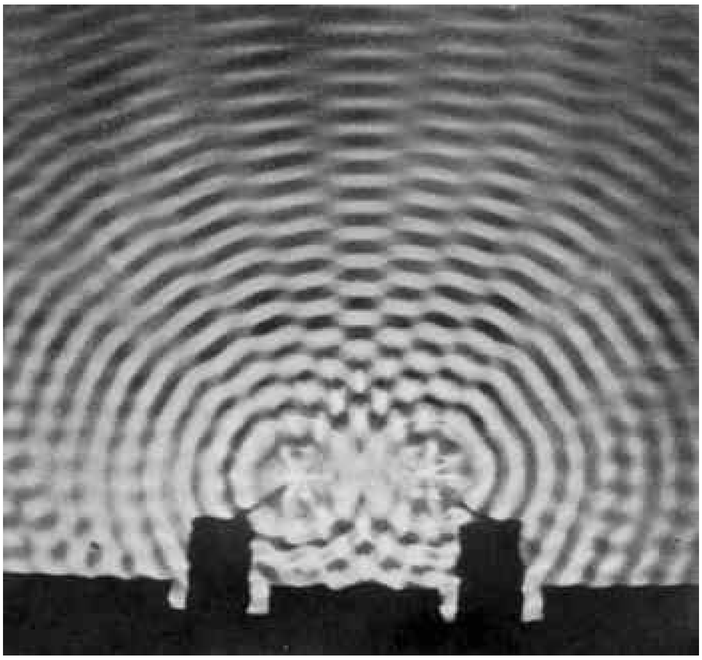
Questions de cours

- Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.
- Définir le chemin optique et relier le déphasage entre deux ondes lumineuses à la différence de chemin optique.
- Énoncer la loi de Fresnel.

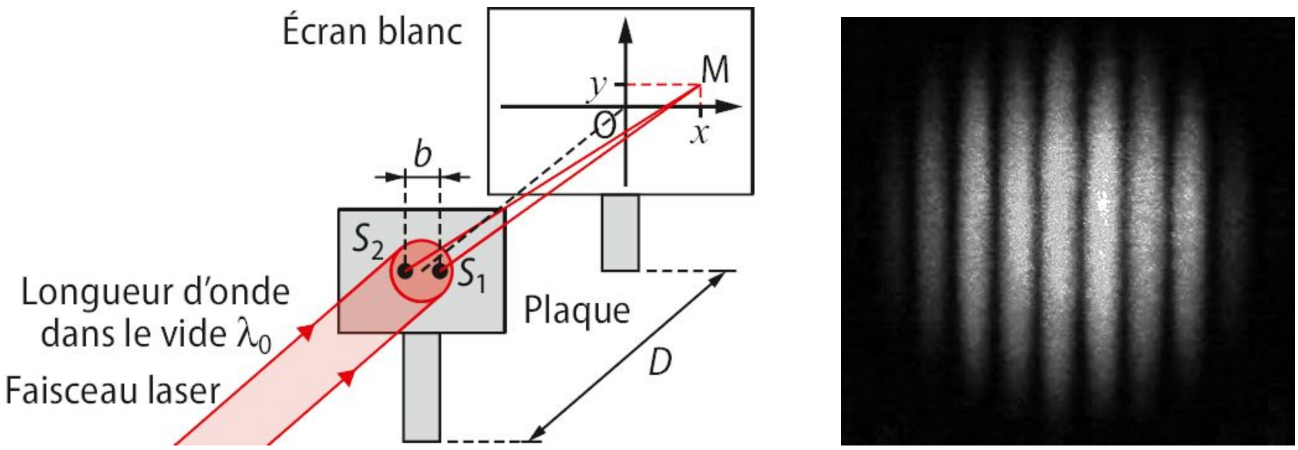
Document 1. Interférences constructives et destructives



Document 2. Champ d'interférence sur une cuve à onde



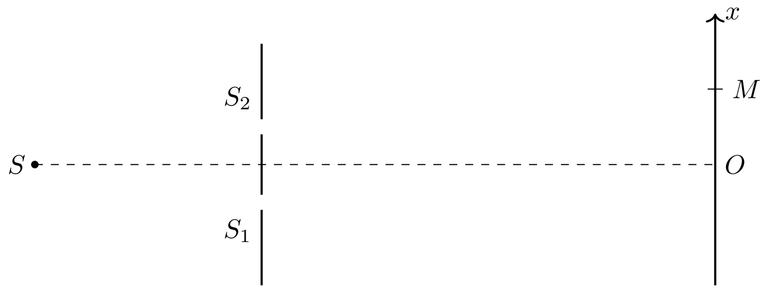
Document 3. Expérience des trous d'Young



Exercice de cours A. Expérience des trous d'Young

Soit une source lumineuse monochromatique S de longueur d'onde dans le vide λ, située face à un écran opaque dans lequel sont percés deux petits trous S_1 et S_2 distants de a. La source est à égale distance des deux trous.

On observe les interférences sur un écran situé à la distance d du plan des trous. On se place en point M d'abscisse x sur l'axe (Ox) parallèle à (S_1S_2), O étant sur la médiatrice de $[S_1S_2]$.

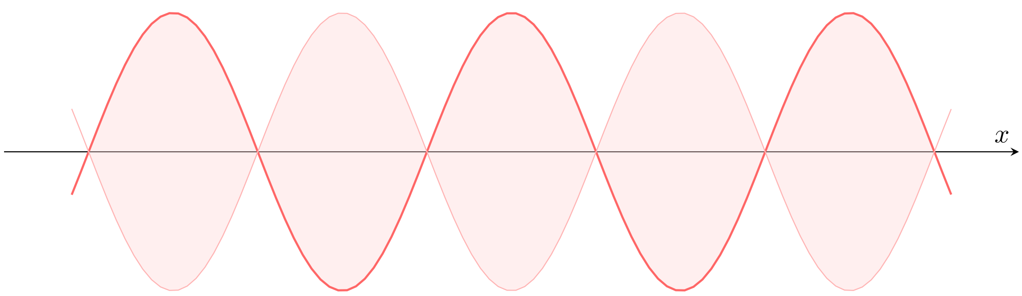


1. Exprimer les chemins optiques pour les deux ondes se superposant en M en fonction de x, d et a. On prendra $n = 1$ pour l'indice de l'air.
2. En pratique, $x \ll d$ et $a \ll d$. En utilisant l'approximation $\sqrt{1+\varepsilon} \approx 1 + \frac{1}{2}\varepsilon$ pour $\varepsilon \ll 1$, exprimer les chemins optiques de façon approchée.
3. En déduire la différence différence de marche.
4. Donner l'expression de l'intensité lumineuse en fonction de x à l'aide de la formule de Fresnel. Quel aspect a la figure d'interférence sur l'écran ?
5. En déduire l'expression de l'interfrange, distance sur l'écran entre deux franges successives de même nature. Calculer sa valeur pour $d = 1{,}00\,\text{m}$, $a = 0{,}2\,\text{mm}$ et $\lambda = 632{,}8\,\text{nm}$.

Exercice de cours B. Superposition de deux ondes contrapropageantes

Soient deux ondes s_1 et s_2 de même nature, de même pulsation ω, de même amplitude s_0, se propageant à la célérité c de façon unidimensionnelle selon $\pm\vec{e}_x$.

1. Proposer une expression la plus générale possible pour $s_1(x,t)$ et $s_2(t)$.
2. Exprimer leur déphasage en fonction de x.
3. En quelles positions les interférences entre ces ondes sont-elles destructives ? Exprimer la distance qui sépare deux de ces positions successives, en fonction de la longueur d'onde. Que vaut l'amplitude résultante en ces points ?
4. Montrer que la superposition $s = s_1 + s_2$ se met sous la forme $s(x,t) = A\cos(\omega t + \varphi)\cos(kx + \psi)$.
5. On représente ci-dessous la trace de cette fonction lorsque le temps s'écoule. Décrire cette vibration ondulatoire. Faire le lien avec l'étude des interférences.



Exercice de cours C. Modes propres d'une corde fixée à ses deux extrémités

Soit une corde de longueur L fixée à ses deux extrémités. Deux ondes transverses peuvent s'y propager à la célérité $c = \sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$ où T est la tension du fil et μ sa masse linéique (masse par unité de longueur).

On cherche un mode propre de la forme $y(x,t) = A\cos(\omega t + \varphi)\cos(kx + \psi)$.

1. Appliquer les conditions aux bords, et en déduire que k prend des valeurs discrètes en faisant intervenir un entier naturel n. Écrire cette condition de quantitfication en fonction de λ et interpéter.
2. Exprimer la fréquence propre f_n du mode n.
3. Une excitation quelconque peut sécrire comme une superposition de ces modes propres. La vibration de la corde se transmettant à l'air, représenter l'allure du spectre du son produit.

Exercice 1. Interférences dans un théâtre antique (★)

Dans les théâtres de l'Antiquité, un mur était érigé derrière la scène pour réfléchir le son de la voix des acteurs et ainsi doubler le volume sonore. Cependant, le son émis directement et son écho sur le mur interférent ce qui peut affecter la bonne restitution sonore.

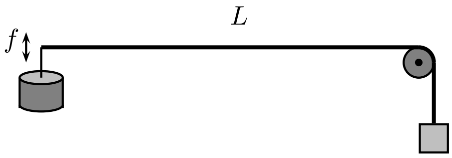
Soit un acteur situé à une distance d d'un mur vertical, qui émet dans l'air un son monochromatique de fréquence f. On considère la propagation dans la direction perpendiculaire au mur de deux ondes : l'onde directe et l'écho.

Donnée : célérérité des ondes acoustiques dans l'air $c = 340\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

1. Représenter la situation sur un schéma.
2. Exprimer la différence des distances parcourues par les deux ondes lorsqu'elles atteignent un auditeur.
3. Pour quelle(s) valeur(s) de d les interférences destructives ont-elles lieu ?
4. Application numérique pour $f = 100\,\mathrm{Hz}$. Commenter.
5. En pratique, ces interférences destructives ne se font pas ressentir. Pourquoi ?

Exercice 2. Expérience de Melde (★★)

L'expérience de Melde consiste en une corde tendue horizontalement entre un vibreur situé en O et une poulie, grâce à une masse suspendue.



Le vibreur est mis en mouvement vertical d'amplitude y_0 par un générateur délivrant un signal sinusoïdal de fréquence f réglable. La longueur L de corde comprise entre le vibreur et la poulie se met alors à vibrer, l'extrémité droite étant plaquée sur la poulie.

On considère une onde stationnaire sur la corde, d'expression générale :

$$y(x,t) = A\sin(\omega t)\sin(kx+\phi)$$

1. Exprimer ω et k en fonction de f et c la célérité des ondes sur la corde.
2. Déterminer les constantes A et ϕ en imposant les conditions aux bords.
3. Pour quelles valeurs de k l'amplitude de la vibration devient-elle infinie ? En réalité elle reste finie, mais très grande, pourquoi ?
4. Décrire l'aspect de la corde pour ces valeurs de k.

Exercice 3. Deux haut-parleurs (★★)

Un auditeur fait face à deux hauts-parleurs distants de $d = 2{,}0\,\mathrm{m}$ placés dans une salle anéchoíque (sans écho). Ces hauts-parleurs produisent des ondes acoustiques sinusoïdales identiques de fréquence $f = 1{,}4\,\mathrm{kHz}$.

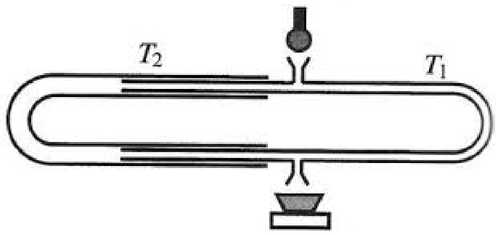
L'oreille gauche de l'auditeur se trouve sur la médiatrice du segment joignant les deux hauts-parleurs, à une distance $D = 2{,}4\,\mathrm{m}$ de ce segment. La tête de cet auditeur a une largeur $\ell = 16\,\mathrm{cm}$.

Donnée : célérité des ondes sonores dans l'air $c = 343\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

1. Quelle est déphasage entre les deux ondes acoustiques reçues par son oreille gauche ? Que peut-on en conclure sur l'amplitude de l'onde résultante ?
2. Même question pour son oreille droite.
3. L'amplitude des ondes décroît comme l'inverse de la distance parcourue. Déterminer le rapport des amplitude des ondes acoustiques reçues par les deux oreilles de l'auditeur.

Exercice 4. Trombone de Kœnig (★★)

Le trombone de Koenig est un dispositif de laboratoire permettant de faire interférer deux ondes sonores ayant suivi des chemins différents. Le haut-parleur, alimenté par un générateur de basses fréquences, émet un son de fréquence $f = 1500\,\text{Hz}$. On mesure le signal à la sortie avec un microphone branché sur un oscilloscope.

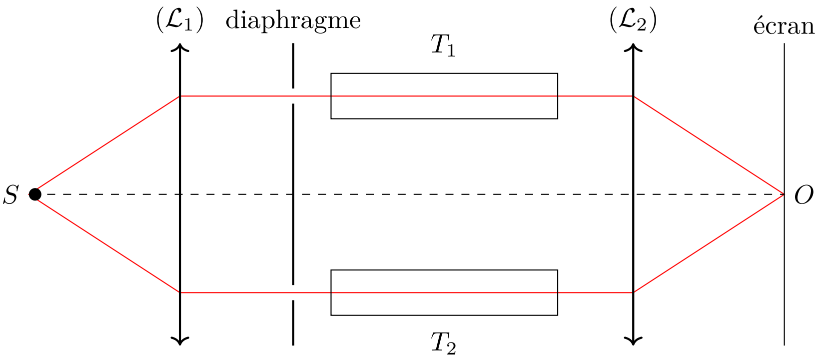


En déplaçant la partie mobile T_2 on fait varier l'amplitude du signal observé. Elle passe deux fois de suite par une valeur minimale lorsqu'on déplace T_2 de $d = 11{,}5\,\text{cm}$.

En déduire la valeur de la célérité du son dans l'air.

Exercice 5. Mesure de l'indice de l'air (★★)

L'interféromètre de Rayleigh est constitué d'une source lumineuse ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 577\,\text{nm}$ placée au foyer objet d'une première lentille convergente, d'un diaphragme percé de deux trous faisant face à deux tubes parallèles T_1 et T_2 de longueur $L = 20\,\text{cm}$ et d'un écran situé dans le plan focal image d'une seconde lentille convergente (voir schéma).



Initialement, les tubes et sont remplis d'air d'indice n.

1. Qu'observe-t-on sur l'écran ? Le point O est-il lumineux ou sombre ?
2. On fait progressivement le vide dans T_1.Comment se déplacent les franges ?
3. Exprimer la différence de marche en O une fois le vide fait dans T_1.
4. Pendant le pompage, $N = 101$ franges défilent en O. À la fin du pompage, une frange sombre est visible en O. Déterminer l'indice de l'air.

Réponses

Exercice 1 : 3.$(2n+1)\dfrac{c}{4f}$.

Exercice 2 : 2. $A = \left|\dfrac{y_0}{\sin(kL)}\right|$.

Exercice 3 : 3. $A_d/A_g = 2{,}4 \times 10^{-2}$.

Exercice 4 : $c = 345\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Exercice 5 : 4. $n = 1{,}000\,29$.