

TD CHAP.OPT.2. : SUPERPOSITION DE DEUX ONDES LUMINEUSES

■ APPLICATIONS DE COURS

Exercice 1. Démonstration simplifiée de la formule de Fresnel | 1 | 2 ou 3

1 - Rappeler les conditions pour que les ondes s_1 et s_2 puissent interférer.

On notera $s_1(M, t) = s_{01} \cdot \cos(\omega_1 t - \varphi_1(M))$ et $s_2(M, t) = s_{02} \cdot \cos(\omega_2 t - \varphi_2(M))$

2 - En supposant ces conditions remplies, établir la formule de Fresnel donnant l'intensité résultant des interférences entre ces deux signaux.

3 - Donner la formule de Fresnel dans le cas usuel de deux signaux de même amplitude $s_{01} = s_{02} = s_0$

Exercice 2. Franges sombres et brillantes | 1 | 1 ou 2

1 - Déterminer en fonction de I_1 et I_2 l'intensité moyenne I_{moy} à l'écran, l'intensité maximale I_{max} , correspondant aux franges dites brillantes, puis l'intensité minimale I_{min} , correspondant aux franges dites sombres.

2 - Donner en justifiant les conditions d'obtention de franges sombres et brillantes sur le déphasage puis sur la différence de marche et l'ordre d'interférence

Exercice 3. Contraste pour des interférences à deux ondes | 1 | 2

Déterminer le contraste dans le cas des interférences à deux ondes

1 - Montrer que l'on peut mettre l'intensité $I(M)$ sous la forme $(I_1 + I_2)(1 + C \cdot \cos(\Delta\varphi_{2/1}(M)))$.

2 - À quelle condition sur I_1 et I_2 a-t-on un contraste maximal, minimal ?

■ EXERCICES

Exercice 4. Eclairage et contraste d'une image (J. Le Berre) 1 ou 2 | 1

1 - Donner la valeur du contraste d'une image parfaitement blanche, celle d'une image constituée d'une alternance de noir et de blanc, ou présentant une modulation d'intensité lumineuse variant entre 9 et 10 en unités arbitraires de niveaux de gris.

2 - Une notice de téléviseur LCD (Liquid Crystal Display) indique une luminance L (intensité lumineuse émise dans une direction donnée, par unité de surface) maximale de $300 \text{ Cd}\cdot\text{m}^{-2}$ et un rapport entre les zones sombres et claires de 1 pour 3000. Calculer le contraste de l'image et la luminance des zones sombres.

Exercice 5. Tâche d'huile (E. Thibierge) | 2 | 1

Une goutte d'huile déposée sur une flaque d'eau s'étale en surface et forme une mince couche d'épaisseur e supposée uniforme. Un observateur regarde un reflet du soleil en incidence normale sur la flaque, et en se plaçant à la quasi-verticale de la flaque, il observe une teinte magenta. On rappelle que le magenta est la couleur complémentaire du vert.

Données :

- $n_{eau} = 1,33$ et $n_{huile} = n_h = 1,5$;
- la réflexion d'une onde sur un milieu plus réfringent induit un déphasage de π .

1 - En considérant uniquement les interférences entre une onde réfléchi sur l'interface air-huile et l'autre sur l'interface huile-eau, établir la condition d'interférences destructives en établissant une relation entre un entier k , la longueur d'onde λ de la lumière dans le vide, l'indice optique n_h et l'épaisseur e .

2 - En déduire pourquoi le reflet est coloré.

3 - Estimer l'épaisseur minimale de la tâche d'huile donnant cette teinte. Peut-on déterminer sans ambiguïté l'épaisseur de la sorte ?

Exercice 6. lame à faces parallèles



Soit une source large S éclairant une lame de mica à face parallèle d'épaisseur e et d'indice n . Il y a réflexion sur chacun des faces de la lame.

1) Expliquer pourquoi on observe des interférences et prévoir la forme de ces interférences. En déduire la surface de localisation des interférences.

2) Considérons deux rayons qui interfèrent à l'infini et qui ressortent donc parallèles entre eux de la lame. Faire un schéma clair de ces deux rayons qui interfèrent puis calculer la différence de marche entre eux.

3) Interpréter la figure ci-contre représentant la photo d'une tâche d'huile.

On considère désormais que la source S est à l'infini (cas classique de la lame à face parallèle).

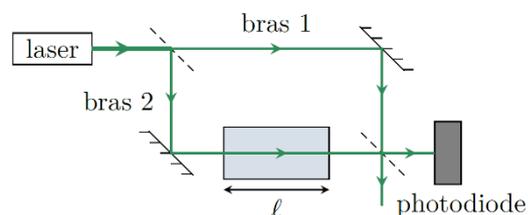
4) Soit un point P d'observation sur la surface de localisation. Faire un schéma clair des rayons qui interfèrent.



Exercice 7. Mesure de l'indice optique du méthane E. Thibierge



Un interféromètre de Mach-Zehnder, schématisé ci-contre, est composé de deux miroirs et de deux lames semi-réfléchissantes, qui transmettent la moitié de l'intensité lumineuse et réfléchissent l'autre moitié. L'interféromètre est éclairé par un laser de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$, et une photodiode mesure l'intensité dans l'une des voies de sortie de l'interféromètre.



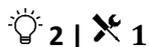
Une cuve fermée de longueur $\ell = 10,0 \text{ cm}$ est placée dans l'un des bras. Cette cuve contient initialement de l'air, d'indice optique n_{air} , progressivement remplacé par du méthane CH_4 d'indice $n_{\text{CH}_4} > n_{air}$. Au cours de l'opération, la photodiode permet d'observer le défilement de 32 franges.

1 - Exprimer l'ordre d'interférence p_{air} lorsque la cuve est remplie d'air en fonction des longueurs géométriques L_1 et L_2 des bras de l'interféromètre.

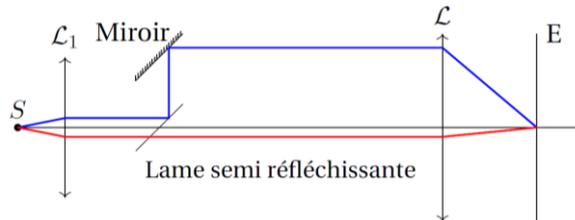
2 - Exprimer de même l'ordre p_{CH_4} lorsque la cuve est remplie de méthane.

3 - En déduire l'indice optique du méthane, sachant que $n_{air} = 1 + 2,78 \cdot 10^{-4}$.

Exercice 8. Interféromètre J. Kieffer



1) On considère le montage interférométrique suivant éclairé sous incidence normale par une source S monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ placée au foyer principal objet d'une lentille (\mathcal{L}_1) :



On place sur le trajet du bas (rouge) une lame mince d'épaisseur e et d'indice de réfraction $n = 1,5$. On observe alors un défilement de quatre franges sur l'écran. Calculer e .

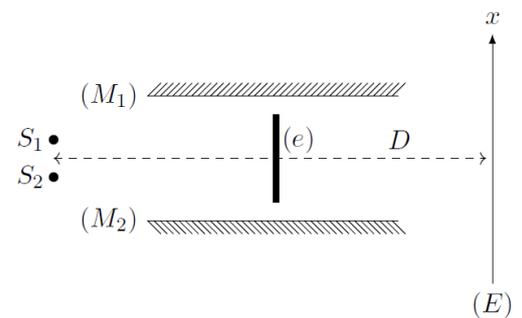
2.a) La source S envoie maintenant un doublet constitué de deux radiations de longueurs d'onde très voisines de λ_0 et distantes de $\Delta\lambda$. On déplace le miroir selon la verticale de la figure et l'on observe un brouillage. Expliquer.

2.b) On fait défiler 1000 franges entre deux brouillages consécutifs. En déduire $\Delta\lambda$.

Exercice 9. Deux sources incohérentes avec deux miroirs *J. Kieffer* 2 | 1

Dans le dispositif ci-contre, on a :

- deux sources ponctuelles S_1 et S_2 incohérentes entre elles, de même intensité et de même longueur d'onde λ , distantes de $2d$,
- deux miroirs plans (M_1) et (M_2) distants de $2a$,
- un petit écran (e) empêchant la lumière des sources de parvenir directement à l'écran d'observation,
- un écran (E) situé à une grande distance D des sources ($D \gg d$ et a).



1 - Étudier l'éclairement $I(M)$ de l'écran, ainsi que la visibilité $V(\delta) = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$.

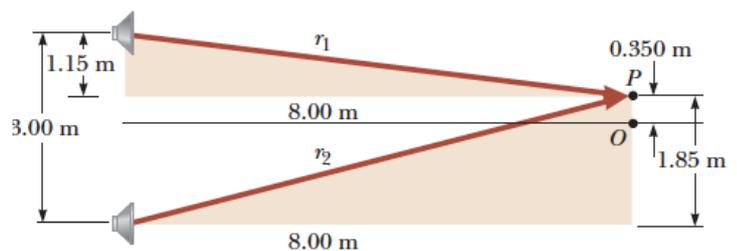
2 - Pour quelles valeurs de a observe-t-on un brouillage des franges ?

EXERCICES COMPLEMENTAIRES

Exercice 10. Interférences sonores 1 ou 2 | 1

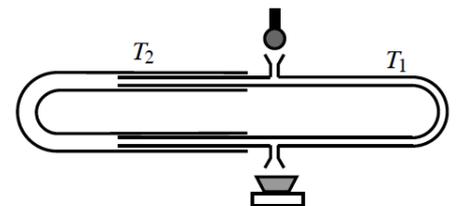
Deux haut-parleurs identiques placés à 3,00 m de distance sont alimentés entraînés par le même générateur basse fréquence (G.B.F). Une auditrice à l'origine au point O se déplace au point P , endroit où elle entend le 1^{er} minimum de l'intensité sonore.

Quelle est la fréquence du G.B.F ? Commenter.



Exercice 11. Trombone de Koenig 2 | 1

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 $f = 1500$ Hz. On mesure le signal à la sortie avec un microphone branché sur un oscilloscope.

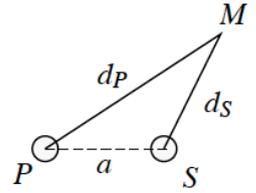


En déplaçant la partie mobile T_2 on fait varier l'amplitude du signal observé. A partir d'une position où l'amplitude est minimale, il faut déplacer T_2 d'une distance $d = 11,5 \pm 0,2$ cm pour retrouver une valeur minimale de l'amplitude.

Déterminer la valeur de la célérité du son dans l'air à 20°C, température à laquelle l'expérience est faite.

Exercice 14. Contrôle actif du bruit en espace libre  2 |  1 ou 2

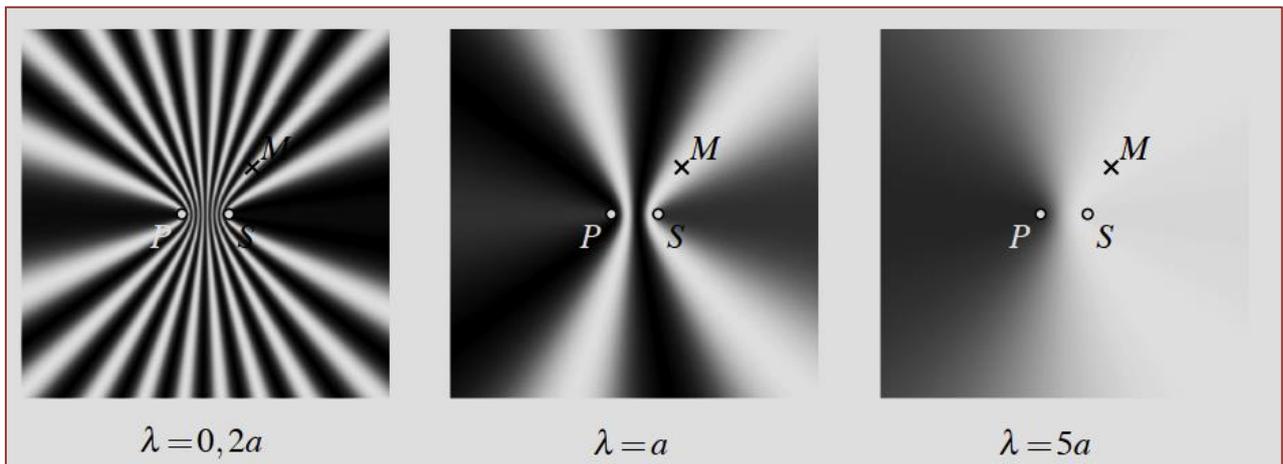
La méthode du contrôle actif du bruit consiste à émettre une onde sonore qui, superposée à l'onde sonore du bruit, l'annule par interférence destructrice. Pour modéliser la méthode on suppose que la source primaire de bruit P est ponctuelle et qu'elle émet une onde sinusoïdale de longueur d'onde λ . On crée une source sonore secondaire ponctuelle S qui est située à distance $PS = a$ de la source primaire et qui émet une onde de même longueur d'onde.



On souhaite annuler le bruit en un point M . On pose $PM = d_P$ et $SM = d_S$.

- 1- Exprimer le déphasage $\Delta\varphi$ (différence des phases à l'origine au niveau de chacune des sources) que la source secondaire doit présenter par rapport à la source primaire en fonction de λ , d_P , d_S et d'un entier m .
- 2- L'amplitude de l'onde d'une source ponctuelle à distance d de la source est $A = \frac{\alpha}{d}$ où α est une constante. Quel doit être le rapport $\frac{\alpha_S}{\alpha_P}$ des constantes d'amplitude relatives aux deux sources ?
- 3- Les figures ci-dessous obtenues par simulation visualisent l'amplitude de l'onde résultante dans le plan contenant P, S et M : le gris est d'autant plus foncé que l'amplitude de l'onde sonore est élevée.

Commenter ce document, notamment l'influence de la longueur d'onde.

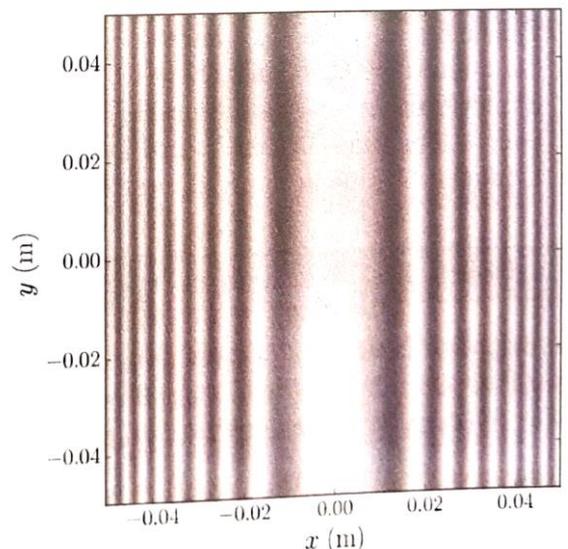


Exercice 15. Différence de marche variable et figure d'interférence  2 |  1 ou 2

La figure ci-contre correspond à une figure d'interférences à deux ondes, obtenue dans l'air assimilé à du vide, figure associée à l'expression suivante de l'intensité, avec $\lambda = 0,600 \mu\text{m}$:

$$I(x) = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi\delta(x)}{\lambda} \right) \right)$$

- 1) Quelle condition doivent satisfaire les intensités des deux ondes interférant pour être compatibles avec la formule de Fresnel de l'intensité fournie ? Cela vous paraît-il cohérent avec l'observation de la figure d'interférences ?
- 2) Nous allons rechercher laquelle des expressions ci-dessous de la différence de marche $\delta(x)$ est associée à cette figure. Pour chacune de ces expressions, déterminer la position des franges



brillantes, puis discuter de l'évolution de l'interfrange avec l'ordre d'interférences. Quelle est par conséquent l'expression correcte ?

a) $\delta(x) = 2ax$ b) $\delta(x) = 2ax^2$ c) $\delta(x) = 2a\sqrt{|x|}$

3) En exploitant la figure fournie, déterminer la valeur de a .