

L'exercice 1 est constitué de questions de cours et d'applications directes du cours : pensez au cahier d'entraînement !. L'exercice 2 permet de consolider ses connaissances dans le tracé de surfaces d'ondes et l'utilisation du chemin optique. Les exercices suivants se concentrent sur le phénomène d'interférences et nécessitent une mobilisation importante des acquis.

Exercice 1 : Vrai ou Faux

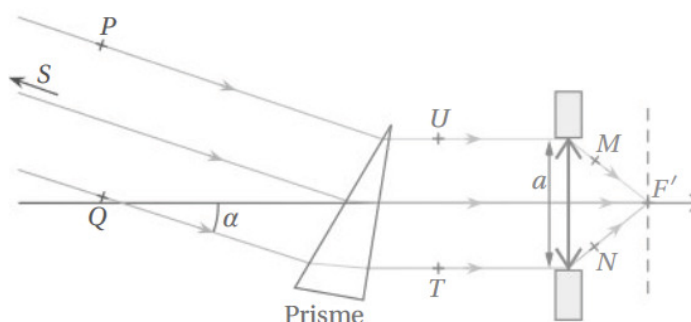
1. Une source émettant de la lumière sous forme de train d'ondes est monochromatique.
2. La formule de Fresnel ne s'utilise que dans le cas de la superposition de deux ondes monochromatiques cohérentes.
3. Lorsque deux ondes se superposent en un point M, la vibration lumineuse s'écrit $a(M, t) = a_1(M, t) + a_2(M, t)$ seulement dans le cas où les ondes sont cohérentes.
4. Deux ondes émises par la même source polychromatique sont cohérentes.
5. Le contraste des interférences est d'autant meilleur que les intensités des ondes se superposant sont grandes.

Exercice 2 : Calculs de différence de marche

Considérons une étoile S supposée ponctuelle et située à l'infini hors de l'axe optique. L'observation de cette étoile est réalisée par le dispositif schématisé ci dessous où un prisme tournant est utilisé pour rediriger les rayons lumineux provenant de l'astre vers un capteur situé dans le plan focal image d'une lentille mince convergente de diamètre a . Dans tout l'exercice, on considère que l'indice de l'air est $n_a = 1$.

Déterminer les différences de marche suivantes :

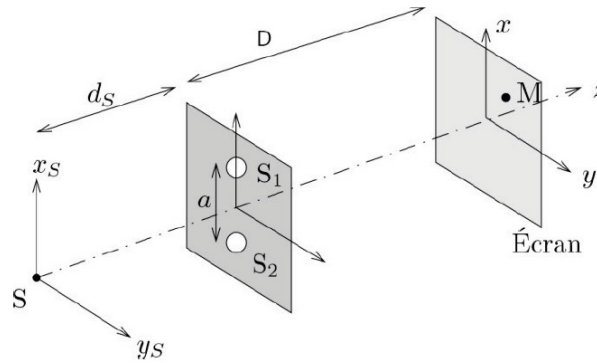
- (a) $\mathcal{L}(SP) - \mathcal{L}(SQ)$
- (b) $\mathcal{L}(SU) - \mathcal{L}(ST)$
- (c) $\mathcal{L}(PM) - \mathcal{L}(QN)$



Exercice 3 : Interférences †

Le signal lumineux est modélisé par $s(x, t) = a \cos(\omega t - kx)$ ou en notation complexe $\underline{s}(x, t) = ae^{j(\omega t - kx)} = ae^{j(\omega t - \varphi(x))}$. L'intensité $I(M)$ au point $M(x)$ est proportionnel à $\underline{s} \cdot \underline{s}^*$. L'étude se fait dans l'air d'indice $n = 1$.

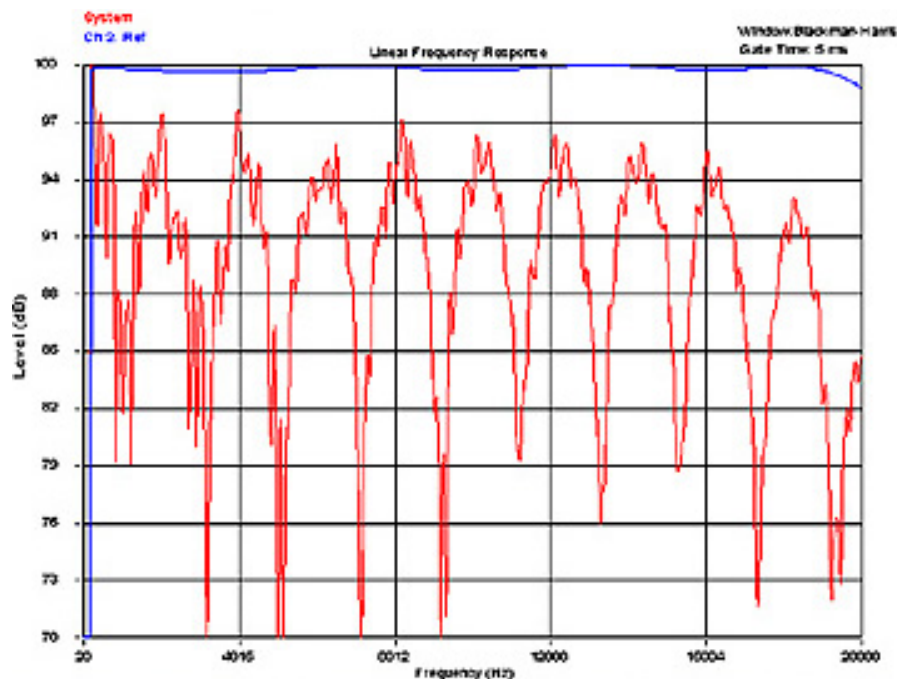
1. Déterminer l'éclairement résultant de la superposition de deux ondes $s_1(x, t) = a_1 \cos(\omega t - \varphi_1(x))$ et $s_2(x, t) = a_2 \cos(\omega t - \varphi_2(x))$ en fonction de I_1 et I_2 éclaircissements associés à s_1 et s_2 et de $\Delta\varphi(x) = \varphi_2(x) - \varphi_1(x)$.
2. Tracer $I(M)$ en fonction de $\Delta\varphi(x)$. On précisera I_{max} et I_{min} en fonction de I_1 et I_2 .
3. Exprimer le contraste en fonction de I_1 et I_2 . Pour quelle relation est-il maximum ?
4. Exprimer au point M, le déphasage $\Delta\varphi(x)$ entre les ondes en fonction de la différence de marche et de la longueur d'onde.
5. Calculer la différence de marche $\delta = (S_1M) - (S_2M)$ Démontrer que $\delta = \frac{ax}{D}$ dans le cas où $D \gg x$ et $D \gg y$. En déduire le déphasage $\Delta\varphi(M)$ puis l'intensité en M.



Exercice 4 : Ecoute musicale et interférences †

La qualité de l'écoute musicale que l'on obtient avec une chaîne HI-FI dépend de la manière dont les enceintes sont disposées par-rapport à l'auditeur. On dit qu'il faut absolument éviter la configuration suivante : présence d'un mur à une distance D trop courte derrière l'auditeur. On va donc supposer ici une enceinte émettrice d'onde acoustique, un auditeur situé à une distance D_0 devant l'enceinte, puis, derrière, un mur situé à une distance D de l'auditeur (l'homme est donc entre l'enceinte et le mur).

1. L'onde issue de l'enceinte peut donc se réfléchir sur le mur avant de parvenir au niveau de l'auditeur. On note $c = 342 \text{ m.s}^{-1}$ la célérité du son dans l'air.
 - (a) Exprimer le décalage temporel τ qui existe entre les deux ondes arrivant dans l'oreille de l'auditeur : celle arrivant directement, et celle réfléchie.
 - (b) En déduire le déphasage $\Delta\varphi$ de ces deux ondes supposées sinusoïdales de fréquence f . La réflexion sur le mur ne s'accompagne d'aucun déphasage pour la surpression acoustique, grandeur à laquelle est sensible l'oreille de l'auditeur.
 - (c) Rappeler la condition d'interférences destructives entre deux ondes progressives sinusoïdales déphasées de $\Delta\varphi$, en fonction d'un nombre entier n .
 - (d) Expliciter pourquoi il y a un risque d'atténuation de l'amplitude de l'onde résultante pour certaines fréquences. Exprimer ces fréquences en fonction de l'entier n . Quelle condition devrait vérifier D pour qu'aucune de ces fréquences ne soit dans le domaine audible? Est-elle réalisable?
 - (e) Expliquer qualitativement pourquoi on évite l'effet nuisible en éloignant l'auditeur du mur.
2. La figure ci-dessous donne le résultat d'une expérience au cours de laquelle on a placé un micro, sensible à la surpression, à une certaine distance D du mur, puis envoyé un signal de fréquence variable et d'amplitude constante A_0 . La courbe, très caractéristique, est appelée "courbe en peigne".



L'amplitude en décibels se définit par la relation

$$A_{\text{dB}} = 20 \log \left(\frac{A}{A_{\text{ref}}} \right),$$

où A_{ref} est une amplitude de référence.

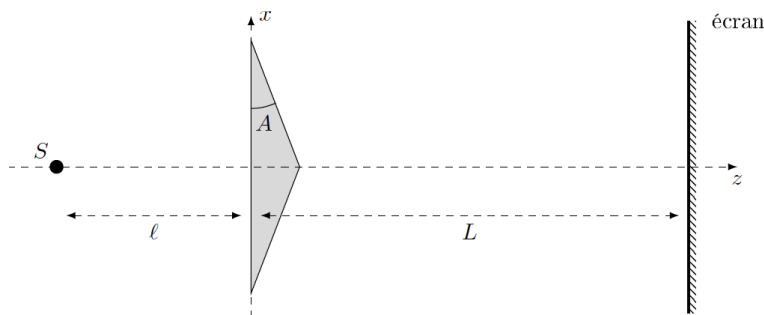
- (a) Lorsqu'il y a superposition de deux ondes de même amplitude A_0 , quelle est en décibels l'augmentation maximale de l'amplitude (*Indication : calculer l'amplitude en décibels de la superposition et comparer à l'amplitude en décibels d'une onde seule d'amplitude A_0*) ?

Que peut-on dire de $A_{0,\text{dB}}$ au vu de la courbe ?

- (b) Calculer numériquement la distance D .

Exercice 5 : Biprisme de Fresnel ††

On considère le biprisme d'indice n représenté sur la figure ci-dessous. L'angle A est supposé petit ($A \ll 1$ rad). Ce biprisme est éclairé par source ponctuelle monochromatique située à une distance ℓ du biprisme. L'écran est orthogonal à l'axe (Oz) et situé à une distance L du biprisme. On supposera que l'épaisseur du biprisme est négligeable devant les autres distances.

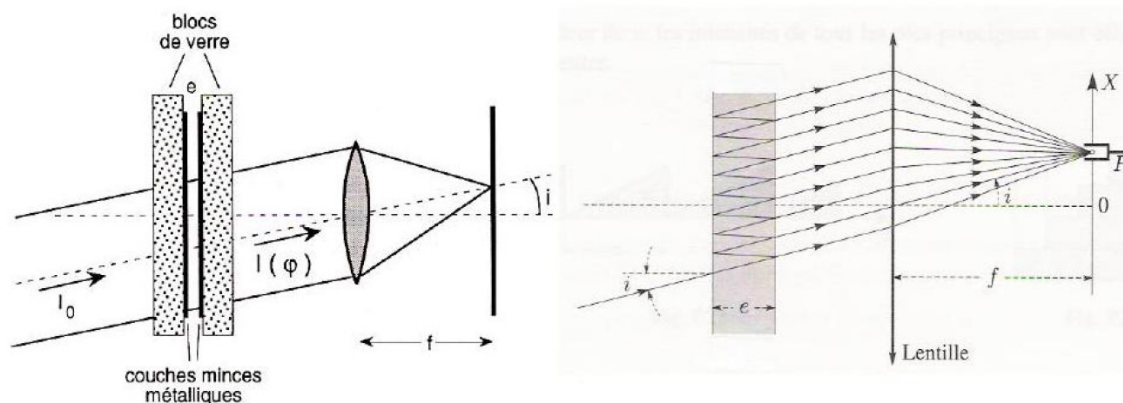


1. En ne considérant que le prisme du haut, calculer l'angle de déviation D d'un rayon lumineux (on se placera dans l'approximation des petits angles).
2. Toujours sur le prisme du haut, tracer les rayons passant par la pointe du prisme et par sa base. En déduire que tout se passe comme si les rayons lumineux arrivant sur l'écran provenaient d'une source secondaire S_1 .
3. En considérant le prisme du bas, montrer de même que tout se passe comme si les rayons provenaient d'une source secondaire S_2 .
4. Déterminer alors la figure d'interférence à l'écran.

Exercice 6 : Interféromètre de Fabry-Pérot ††

On considère un interféromètre (de Fabry-Pérot) constitué d'une "lame d'air" d'épaisseur e comprise entre 2 lames de verre rigoureusement parallèles (toute la difficulté des réglages vient de cette obligation), parfaitement planes et très réfléchissantes sur leur face interne (typiquement, le coefficient de réflexion en énergie est supérieur à 0,95 en incidence normale ; i.e plus de 95% de l'énergie est réfléchi et moins de 5% transmise). On éclaire l'interféromètre en lumière parallèle et en incidence quasi-normale (cf schéma). On admet que l'on peut considérer les lames de verre comme infiniment minces, et ne se préoccuper des réflexions que sur les faces internes.

On note r le coefficient de réflexion en amplitude, et R le coefficient de réflexion en énergie ($R = r^2$). On ne tient pas compte des coefficients de transmission.



1. Exprimer le déphasage ϕ entre 2 rayons consécutifs.
2. Exprimer l'amplitude complexe du n^{ieme} rayon en fonction de celle, notée E_0 , du rayon incident.
3. On considère qu'une infinité de rayons vont interférer à l'infini. En utilisant la notation complexe, exprimer l'amplitude complexe résultante en fonction de ϕ , E_0 et R .
4. En déduire l'intensité lumineuse pour une direction caractérisée par l'angle i . Que vaut l'intensité maximum ? Exprimer I en fonction de I_{max} et mettre sous la forme :

$$I = \frac{I_{max}}{1 + M \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)}$$

5. On place un écran dans le plan focal d'une lentille convergente pour observer ces interférences. Quelle est la forme des franges obtenues ?
6. On donne ci-dessous l'allure de I en fonction de ϕ : Donner l'expression de la finesse, que l'on peut définir comme l'écart entre deux pics divisé par la largeur à mi-hauteur. Faire les applications numériques pour : $R = 0,9$; $R = 0,95$ et $R = 0,99$.

