

Interférences, ondes stationnaires.

**Exercice 1 : Ecoute musicale et interférences.**

La qualité de l'écoute musicale que l'on obtient avec une chaîne hifi dépend de la manière dont les enceintes sont disposées par rapport à l'auditeur. On déconseille la disposition présentée sur la figure ci-contre où un mur est situé à une distance  $D$ , trop grande derrière l'auditeur.

On notera  $c=342\text{m.s}^{-1}$  la célérité du son dans l'air.

1. Exprimer la différence de parcours  $\delta$  qui existe entre les deux ondes arrivant dans l'oreille de l'auditeur.
2. En déduire le décalage temporel  $\tau$  ainsi que le déphasage  $\Delta\phi$  entre ces deux ondes dans le cas où elles sont sinusoïdales de fréquence  $f$ .

Remarque : la réflexion de l'onde sur le mur n'entraîne aucun déphasage pour la pression acoustique.

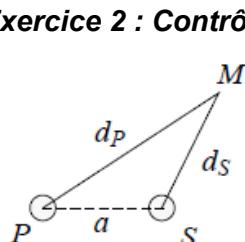
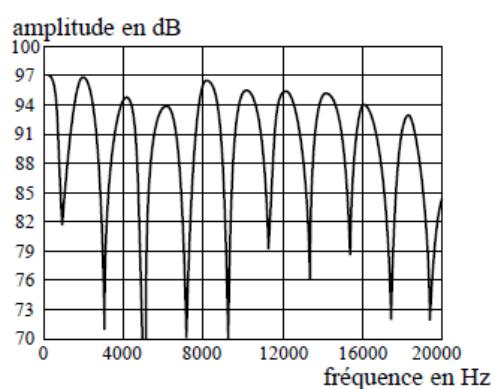
3. Expliquer pourquoi il y a un risque d'atténuation du son perçu par l'auditeur pour certaines fréquences.
4. Exprimer les fréquences pour lesquelles le son sera atténué.
5. A quelle condition sur  $D$  peut-on exclure complètement ces fréquences du domaine audible ? Est-elle réalisable ?

La figure ci-contre donne le résultat d'une expérience dans 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 d'allure très caractéristique est appelée « spectre en peigne ».

La représentation du spectre est faite en décibel. L'échelle utilisée est alors définie par

$$A_{dB} = 20 \log \left( \frac{A}{A_{ref}} \right), \text{ où } A \text{ sera l'amplitude de la surpression mesurée et } A_{ref} \text{ est la surpression de référence habituellement utilisée c'est-à-dire celle du seuil d'audibilité.}$$

6. Déterminer une évaluation numérique de la distance  $D$  entre le mur et l'auditeur.



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 destructive.

Pour modéliser la situation, on envisage que la source sonore primaire P est ponctuelle et qu'elle émet une onde sinusoïdale à la longueur d'onde  $\lambda$

On crée alors une source sonore secondaire ponctuelle S située à une distance  $PS=a$  de la source primaire et qui émet une onde sinusoïdale de même longueur d'onde.

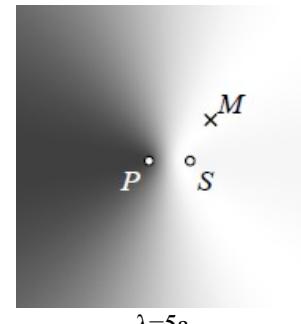
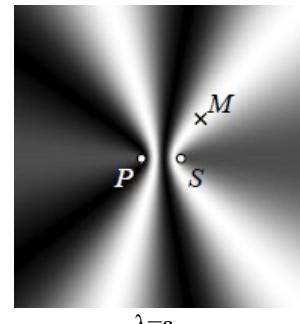
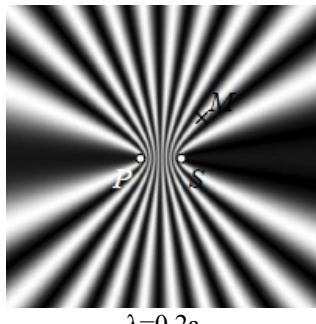
On souhaite réduire le bruit en un point M, on pose alors  $PM=d_p$  et  $SM=d_s$ .

1. Exprimer la phase en M de l'onde primaire  $\varphi_p(M,t)$  et de l'onde secondaire  $\varphi_s(M,t)$ .
2. Quelle condition doit vérifier  $\Delta\phi(M)$  pour que l'onde résultante présente une amplitude minimale ? En déduire l'expression du décalage de phase  $\Delta\phi(S)$  à introduire pour l'onde secondaire par rapport à l'onde primaire lorsqu'elle est produite en S afin d'observer une interférence destructive en M.

L'amplitude de l'onde sonore générée par une source ponctuelle décroît en  $1/d$  où  $d$  est la distance de la source au point de mesure.

3. Quel doit être le rapport des amplitudes des ondes primaire et secondaire en M pour avoir extinction totale du son en M ? En déduire le rapport des amplitudes des ondes à leurs lieux de production.

Les figures ci-dessous obtenues par simulation numérique visualisent l'amplitude de l'onde résultante dans le plan contenant P, S et M lorsqu'on respecte les deux critères précédents. Le gris est d'autant plus foncé que l'amplitude de l'onde sonore est élevée.



## Interférences, ondes stationnaires.

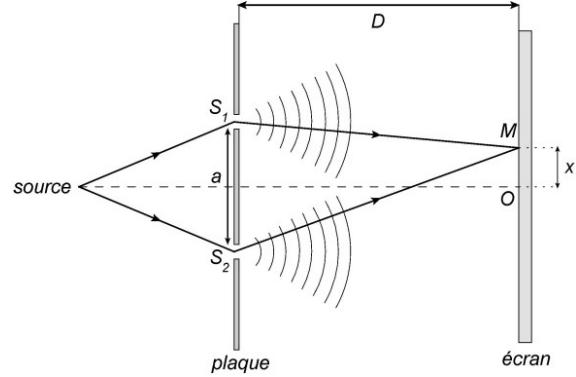
4. Commentez, notamment en fonction de la longueur d'onde, l'intérêt d'un dispositif de contrôle actif du bruit.
5. Quelles autres solutions sont envisageables pour atténuer l'amplitude d'un son ?

**Exercice 3 : Trous ou fentes d'Young.**

On donne le schéma du système des fentes d'Young classique avec une source primaire, monochromatique de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0=532,0\text{nm}$ , située à une distance  $D \gg a$  devant l'écran diffractant contenant les fentes distantes de  $a=200\mu\text{m}$  et de largeur  $b=70\mu\text{m}$ . L'écran où on observe les interférences est situé à une distance  $D=1\text{m}$  derrière les fentes.

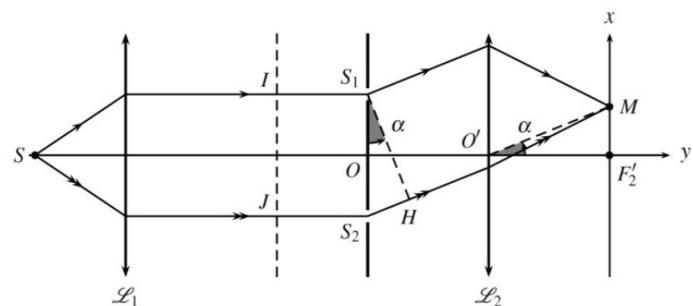
1. Quel phénomène explique que la lumière est déviée par les fentes d'Young ?

Le demi angle au sommet du secteur éclairé derrière les fentes respecte la relation :  $\sin \theta = \frac{\lambda_0}{b}$



2. Déterminer la plage éclairée sur l'écran par l'onde issue de  $S_1$  puis par l'onde issue de  $S_2$ . En déduire le champ d'interférence c'est-à-dire la zone éclairée par les deux ondes sur l'écran d'observation.
3. Déterminer la différence de marche en un point  $M$  de l'écran d'observation. En déduire l'allure de la figure d'interférence.
4. Définir et exprimer la distance caractéristique de cette figure. Déterminer le nombre de franges observables.

On considère maintenant le montage de Fraunhofer pour lequel les fentes sont éclairées en incidence normale et la figure d'interférence à l'infini est observée dans le plan focal image d'une lentille convergente.



Pour étudier cette configuration, on exploite le théorème de Malus qui affirme que les points sur un même front d'onde sont en phase. On en déduit que les chemins optiques  $(SS_1)$  et  $(SS_2)$  sont identiques ainsi que les chemins optiques  $(S_1M)$  et  $(HM)$ .

5. Déterminer la différence de marche de  $S$  en  $M$  en fonction de  $\alpha$  puis en fonction de  $x$  et  $f'$  en supposant que les angles d'inclinaison en sortie sont faibles.

Sur chaque voie de l'interféromètre, on place aux alentours de  $I$  et  $J$  des tubes de longueur  $l=20,0\text{cm}$  initialement remplis d'air.

6. Déterminer la nature de la frange observée en  $F_2'$ .

On vide alors progressivement le tube placé au point  $J$  et grâce à un détecteur lumineux placé en  $F_2'$ , on observe qu'une succession de franges sombres et claires défilent en  $F_2'$ . Lorsqu'on a réalisé un vide quasi parfait, on a vu défilé 112 franges claires.

7. En déduire une évaluation de l'indice optique de l'air.

**Exercice 4 : modes propres de vibration d'une corde.**

On considère une corde horizontale, de longueur  $L=117\text{ cm}$ , tendue à l'aide d'une masse  $M = 25\text{ g}$ . On note

$c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$  la célérité des ondes pouvant se propager le long de la corde ( $\mu$  étant la masse linéique et  $T$  la tension de la corde).

La corde est soumise à une excitation sinusoïdale de fréquence  $f$ . On observe des résonances pour une fréquence de  $19\text{ Hz}$  pour laquelle on observe deux fuseaux, et pour une fréquence de  $28\text{ Hz}$  et on observe alors trois fuseaux.

1. Représenter la corde à un instant donné pour la fréquence de  $19\text{Hz}$  puis pour la fréquence de  $28\text{Hz}$ .
2. Les valeurs de fréquences relevées sont-elles cohérentes ? Quelle est alors la fréquence du fondamental pour cette corde ?
3. Exprimer et évaluer numériquement la célérité  $c$  des ondes se propageant le long de la corde ?
4. En déduire une évaluation de la masse linéique de la corde.

**Exercice 5 : Fréquence propre d'un tuyau sonore.**

La colonne d'air contenue dans un instrument à vent (flûte, clarinette...) vibre selon des modes propres correspondant à des conditions aux limites données.

- ❖ Si l'extrémité du tuyau est ouverte, la surpression acoustique est nulle en cette extrémité.
- ❖ Si l'extrémité est fermée, la surpression acoustique y est d'amplitude maximale.

On considère un tuyau de longueur  $L$  dans lequel la célérité des ondes sonores est  $c=340\text{m.s}^{-1}$ .

Pour un orgue, on considère la section située entre le sommet de la colonne et le biseau. Ces deux extrémités sont alors considérées comme des points d'ouverture du tuyau.

1. Rappeler la forme générale d'une onde stationnaire.
2. Indiquer la nature des conditions aux limites au biseau et en sortie et en déduire l'expression des modes propres de vibration en précisant les fréquences propres.
3. Faire une représentation graphique de l'onde stationnaire pour le fondamental et les deux premières harmoniques non nulles.
4. Quelle est la longueur minimale du tuyau pour un orgue jouant un  $\text{Do}^0$  de fréquence 34Hz.



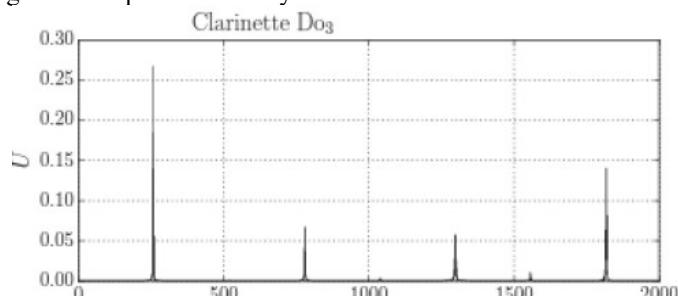
Une clarinette est construite de manière à ce que le tube puisse être considéré comme fermé du côté de l'embouchure et ouvert à l'extrémité de l'instrument.

5. Indiquer la nature des conditions aux limites aux extrémités de la clarinette et en déduire l'expression des modes propres de vibration en précisant les fréquences propres.
6. Expliquer alors pourquoi le son produit par une clarinette ne comporte que des harmoniques impaires.

L'instrument est muni d'une « clé de douzième » qui ouvre un trou situé à la distance  $L/3$  de l'embouchure. Lorsque ce trou est ouvert, la surpression doit rester nulle en ce point.

7. Quelle sélection s'effectue alors sur les modes propres de vibration de la clarinette ? Quel est l'effet de l'ouverture du trou sur la fréquence du son émis par l'instrument ?

Pour vérifier le bon accord de son instrument en jouant un  $\text{Do}_3$  (de fréquence théorique 256Hz), un joueur de clarinette réalise un enregistrement puis fait l'analyse de Fourier de ce dernier. Il obtient alors le spectre suivant.



8. Donner les éléments pertinents dans la description de ce spectre et commenter.

Il est toujours pris d'un doute et réalise alors l'enregistrement du  $\text{Do}_3$  joué sur sa clarinette en même temps que le son produit par un diapason de référence produisant un  $\text{Do}_3$  « parfait ». Il obtient l'enregistrement temporel suivant.

9. Quel phénomène est observé sur cet enregistrement ? En déduire le décalage de fréquence entre le diapason et la clarinette.

