



TD 10 - Interférences et diffraction

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

- Exprimer un déphasage.
- Etablir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles.
- Utiliser la relation entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.
- Etablir la relation entre période ou fréquence, longueur d'onde et vitesse de phase.

J'apprends mon cours : Questions de cours, Exercices 1, 2, 5

Questions de cours

- Q1.** Décrire une expérience mettant en évidence un phénomène d'interférence.
- Q2.** A quelle(s) conditions peut-on observer un phénomène d'interférences ?
- Q3.** Exprimer le déphasage lié à la propagation en fonction de la différence de marche.
- Q4.** Etablir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase.
- Q5.** Décrire le phénomène de diffraction et exprimer l'angle caractéristique en fonction de la taille caractéristique de l'obstacle.

Exercices

Exercice 1 : Interférences dans une cuve à onde

★★★

Ref. 0079

| ✓ *Interférences constructives et destructives*

On produit des ondes progressives circulaires de fréquence $f = 20 \text{ Hz}$ à la surface de l'eau en utilisant une cuve à ondes. La célérité v de l'onde est $v = 40 \text{ cm/s}$. Deux points sources, notés S_1 et S_2 , vibrant à la même fréquence et en phase avec la même amplitude $A = 2 \text{ mm}$, émettent chacun une onde progressive. On néglige l'atténuation de l'onde.

- 1) Déterminer la nature de l'interférence en un point noté M_1 de la surface de l'eau situé à 8,0 cm de S_1 et à 17,0 cm de S_2 et en déduire l'amplitude de la vibration.
- 2) Déterminer la nature de l'interférence en un point noté M_2 de la surface de l'eau situé à 20,0 cm de S_1 et à 4,0 cm de S_2 et en déduire l'amplitude de la vibration.

Exercice 2 : Interférences d'ondes radio ♥

★★★

Ref. 0080

✓ *Interférences constructives et destructives*

Deux sources en phase génèrent des ondes radio sinusoïdales de longueur d'onde $\lambda = 50 \text{ cm}$. La première source est placée à l'origine de l'axe x et la seconde peut être placée n'importe où sur l'axe horizontal à un mètre au plus de la première source.

- 1) Déterminer à quel(s) endroit(s) placer la seconde source pour qu'il y ait interférence constructive en $x = 10 \text{ cm}$.
- 2) Même question avec des interférences destructives en $x = 10 \text{ cm}$.
- 3) Que se passe-t-il si les ondes sont émises en opposition de phase ?

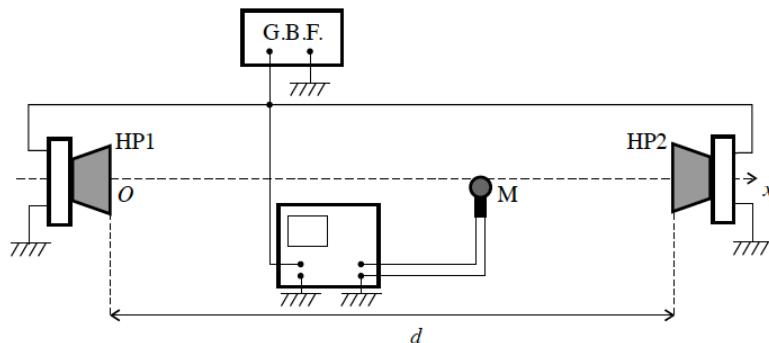
Exercice 3 : Superpositions de deux ondes se propageant en sens inverse

★★★

Ref. 0081

✓ *Interférences constructives ou destructives*
✓ *Onde stationnaire*

On s'intéresse aux interférences d'ondes sonores produites par deux haut-parleurs identiques, HP1 et HP2, placés face à face, à distance d l'un de l'autre, et alimentés par la même tension sinusoïdale de fréquence $f = 1250 \text{ Hz}$. L'axe ($0x$) passe par les centres des haut-parleurs ; le centre de HP1 est en $x = 0$ et le centre de HP2 en $x = d$. Un microphone M de petite dimension peut être déplacé le long de ($0x$).



On observe sur un oscilloscope le signal du générateur alimentant les haut-parleurs et la tension u délivrée par le micro, le premier signal servant de source de déclenchement.

Lorsqu'on déplace le micro autour de la position médiane entre le haut-parleur, soit $x = d/2$, on observe que l'amplitude de la tension u varie et passe successivement par des maxima et minima quasiment nuls, l'écart entre deux positions successives pour lesquelles l'amplitude est minimale étant constant et valant : $e = 13,8 \text{ cm}$.

On suppose que les surpressions acoustiques $p_1(x, t)$ et $p_2(x, t)$ ont des amplitudes constantes le long de l'axe ($0x$), toutes les deux égales à P_0 , et qu'elles ont toutes les deux la même phase initiale φ au niveau des haut-parleurs.

- 1) Écrire les expressions de $p_1(x, t)$ et $p_2(x, t)$ en fonction de P_0 , f , c célérité du son, φ , x et t .
- 2) Etablir l'expression de la surpression $p(x, t)$ résultant de la superposition de ces deux ondes, la mettre sous la forme d'un produit d'une fonction du temps par une fonction de la position, les deux termes étant indépendants. **L'onde résultante est alors dite stationnaire.**
- 3) Déduire de l'expérience une estimation de la vitesse du son.

- 4) Lorsqu'on éloigne le micro de la position médiane entre les haut-parleurs les observations sont différentes. L'amplitude de la tension u augmente et diminue périodiquement mais ne passe plus par zéro. Elle devient de plus en plus grande au fur et à mesure que le micro s'approche d'un haut-parleur. Expliquer.
- 5) En appelant $P_1(x)$ et $P_2(x)$ leurs amplitudes, exprimer l'amplitude $P(x)$ de l'onde résultante. On introduira un déphasage $\Delta\varphi$.
- 6) Montrer que si on approche le micro près du haut-parleur HP1 : $P(x) \approx P_1(x) + P_2(x) \cos \Delta\varphi$ (on suppose que $P_1(0) \gg P_2(0)$) et on rappelle que pour ε très proche de zéro $\sqrt{1 + \varepsilon} \approx 1 + \frac{\varepsilon}{2}$.

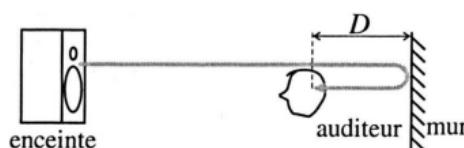
Exercice 4 : Problème d'écoute musicale ♥

★★★

Ref. 0082

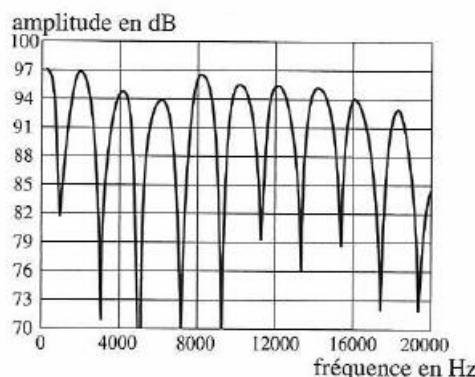
- ✓ *Interférences constructives ou destructives*
- ✓ *Diffraction*

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 représentée sur la figure : présence d'un mur à distance D , trop courte derrière l'auditeur. On note $c = 343 \text{ m/s}$ la célérité du son dans l'air.

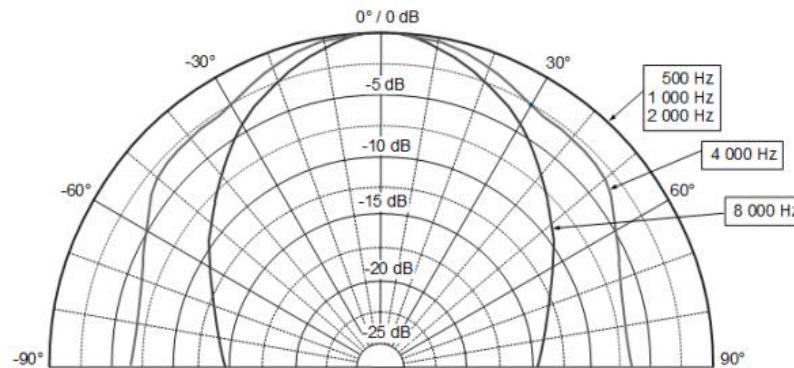


On se place en un point M atteint par deux ondes issues de la source sonore : l'onde directe et l'onde réfléchie. On note f la fréquence émise.

- 1) Exprimer le déphasage $\Delta\varphi$ de l'onde réfléchie par rapport à l'onde directe en fonction de la distance D et de la fréquence f .
- 2) Expliquer pourquoi, pour une distance D donnée, il y a atténuation de l'amplitude de l'onde pour certaines fréquences.
- 3) Exprimer ces fréquences f_p en fonction d'un entier positif p .
- 4) Quelle condition devrait vérifier D pour qu'aucune de ces fréquences ne soient pas dans le domaine audible ? Commenter.
- 5) Expliquer brièvement pourquoi on évite l'effet nuisible en éloignant l'auditeur du mur.
- 6) La figure ci-après donne le résultat d'une expérience dans laquelle on a placé un micro à une certaine distance D du mur, puis envoyé un signal de fréquence variable et d'amplitude constante A_0 . Calculer numériquement la distance D .



- 7) Une enceinte est constituée d'un caisson dans lequel est placé un haut-parleur. Le son sort de l'enceinte par une ouverture de diamètre de l'ordre de 20 cm.
- En justifiant, préciser si une personne placée sur le côté d'une enceinte entendra davantage les sons graves ou les sons aigus.
 - On fournit ci-dessous un diagramme de directivité du haut-parleur. Il représente l'atténuation du niveau d'intensité sonore reçu en fonction de la direction par rapport à une direction de référence, pour différentes fréquences. L'axe du haut-parleur $\theta = 0^\circ$ étant pris comme direction de référence, l'atténuation du niveau sonore dans cette direction est nulle (0 dB). Par convention, le cône de rayonnement définit la portion d'espace dans laquelle le haut-parleur émet une intensité sonore qui n'est pas inférieure à son intensité maximale de plus de 3 dB.
- Retrouver l'ordre de grandeur du diamètre du haut-parleur.



Exercice 5 : Diffraction par de la poudre de lycopode ❤

★★★

Ref. 0083

✓ Diffraction

Le lycopode est une fougère à tige rampante hautement inflammable qui était utilisé autrefois en pyrotechnie, pour créer des effets spéciaux. Afin de déterminer le diamètre a des grains de poudre de lycopode, on en enduit une plaque de verre. Parallèlement à cette lame, on place un écran à une distance $d = 50 \text{ cm}$. On éclaire la lame par un faisceau laser étroit de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$. On obtient alors la figure de diffraction ci-dessous, identique à celle résultant de la diffraction par un unique grain mais plus intense.



Le diamètre de la tâche centrale mesurant 8 mm, déterminer le diamètre moyen d'un grain de poudre de lycopode.

Résolution de problème

Exercice 6 : Couche anti reflet

★★★

Ref. 0084

Lorsque l'on prend une photographie avec flash de quelqu'un portant des lunettes, un reflet lumineux est souvent observé. Cet effet peut être supprimé en déposant une couche de polymère transparent (milieu d'indice optique $n = 1.4$) sur le verre. Une partie de la lumière issue du flash va ainsi se réfléchir sur cette couche. Une autre partie va traverser la couche et se réfléchir quand elle atteindra la surface du verre de la lunette. Quel ordre de grandeur d'épaisseur doit-on choisir pour cette fine couche afin de supprimer le reflet lumineux ?