

ONDES ACOUSTIQUES : INTERFERENCES, DIFFRACTION.


Le but de ce TP est d'observer et mesurer des phénomènes ondulatoires tels que la formation d'interférences, le caractère directif d'un émetteur et la diffraction par une fente, et de faire des mesures sur les grandeurs physiques qui s'y rattachent. L'étude est conduite sur le cas de sources ultrasonores. Mais les situations décrites peuvent se généraliser à d'autres types d'ondes.

Les ondes acoustiques sont générées à partir d'un transducteur piézo-électrique, délivrant des ultrasons à une fréquence réglable voisine de $f = 40,0$ kHz. Le boîtier générateur doit être alimenté sous une tension continue de 12 V. Il délivre alors le signal acoustique selon deux modes possibles :

- en mode « continu » (signal sinusoïdal permanent),
- en mode « salve » (émission périodique d'un signal sinusoïdal, sur une durée relativement courte).

Un générateur à double tête (support permettant de placer deux émetteurs juxtaposés) sera employé en première partie de TP (Interférences). On dispose de deux récepteurs et des câbles coaxiaux permettant de les relier à un oscilloscope. Ces éléments peuvent être placés sur des supports coulissant sur une règle graduée (banc d'optique) qui permettront une mesure précise de leurs abscisses. Un boîtier permet d'amplifier les signaux reçus avant de les transmettre à un oscilloscope.

1) Préambule

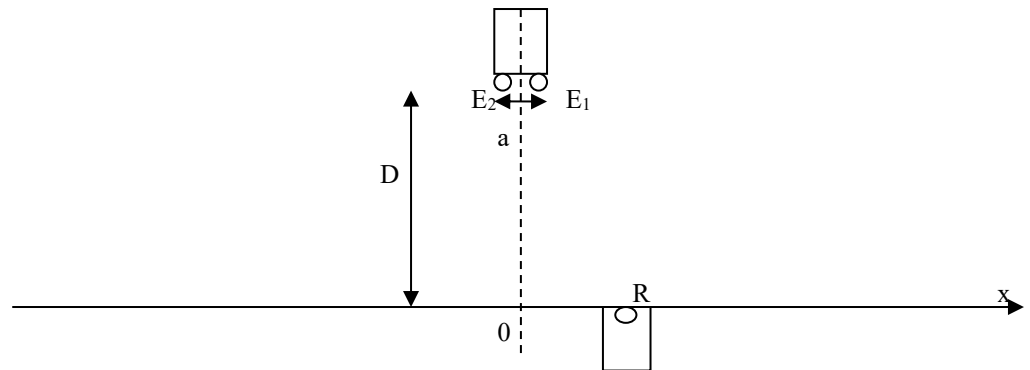
 La célérité du son dans les conditions de la salle (pression, température) est de $c = 344$ m.s⁻¹. Evaluer numériquement par le calcul la longueur d'onde émise par la source pour la fréquence employée.

2) Interférences

Le dispositif employé est constitué d'un générateur à double tête, qui sera disposé sur un support le plaçant dans une position orthogonale au banc de mesure, à une distance D d'environ 40 cm du banc (à mesurer). On pourra utiliser le rapporteur d'angles pour ce positionnement.

Le récepteur est placé sur un support coulissant sur le banc, en l'orientant orthogonalement à la direction du banc.

Activer le générateur en mode « continu », et observer l'évolution de l'amplitude du signal reçu quand on fait varier l'abscisse du récepteur le long du banc de mesure.



Interprétation :

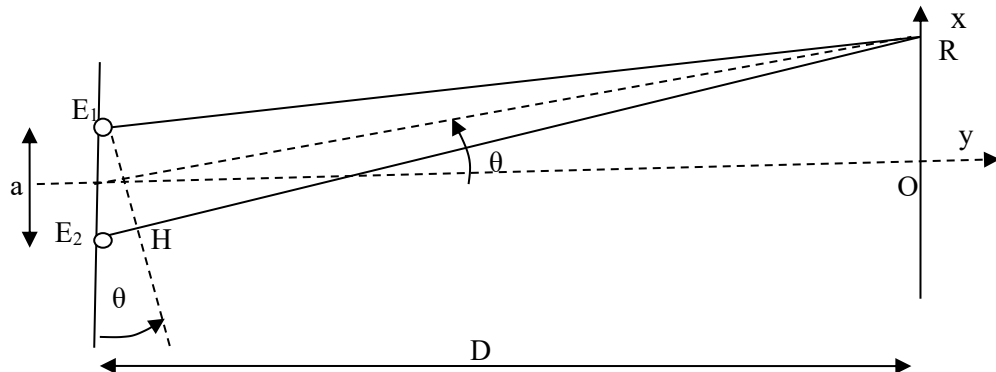
L'onde reçue est la superposition des ondes émises par chacune des sources. Selon la position du récepteur, le déphasage entre ces deux ondes évolue. Si ce déphasage est nul, modulo 2π , les amplitudes s'additionnent selon une interférence constructive. En opposition de phase, l'interférence entre les deux ondes devient destructive. L'état interférentiel est évidemment intermédiaire pour les autres positions.

 *Modélisation :*

Chacune des têtes du générateur est ici considérée comme quasi-ponctuelle, émettant une onde sphérique. Ces deux émetteurs sont synchrones (de même fréquence) et cohérents (différence de phase constante entre ces sources), puisqu'alimentés à partir du même dispositif électronique. Ils sont séparés d'une distance a d'environ 5 cm (à mesurer). Les interférences observées résultent de la superposition des ondes issues de chacun des émetteurs E_1 et E_2 au niveau de la position du récepteur R .

Du fait de la différence de distance $\delta = E_2R - E_1R$ parcourue entre chacun des émetteurs et le récepteur (δ est nommée **différence de marche**), les deux ondes arrivent au niveau du récepteur avec un déphasage φ relié à δ par : $\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda}$, où λ est la longueur d'onde.

La distance D étant grande devant a et l'abscisse x du récepteur, repérée à partir de la position située dans le plan médian des deux récepteurs, l'angle θ , de faible valeur, peut être considéré comme identique pour $((Oy), (E_1R))$ et $((Oy), (E_2R))$.



La différence de marche δ entre les deux ondes peut donc être assimilée à la distance E_2H , où H est le projeté orthogonal de E_1 sur la droite (E_2H) .

Etablir l'expression approchée de δ dans ces conditions : $\delta \approx \frac{ax}{D}$ et en déduire la relation donnant le déphasage φ entre les deux ondes.

Que vaut φ pour $x = 0$? Pour quelles abscisses x_p retrouvera-t-on le même état interférentiel ?

Montrer que la distance i (interfrange) entre deux positions x_p et x_{p+1} consécutives répond à l'expression approchée :

$$i \approx \frac{\lambda D}{a}.$$

Mesures :

Déterminer l'interfrange i à l'aide du banc. En déduire la longueur d'onde λ . Confronter au résultat obtenu en 1).

Relever la courbe montrant l'amplitude du signal reçu en fonction de l'abscisse x du récepteur.

Estimer la valeur d'incertitude-type $u(i)$ sur la mesure de l'interfrange. Cette valeur reflète la variabilité sur la valeur de i dans le contexte expérimental employé.

L'incertitude-type $u(a)$ sur la mesure de la distance a entre les centres des deux émetteurs peut être estimée à $u(a) = 2$ mm ; celle sur la distance D entre les émetteurs et le banc optique est estimée à $u(D) = 5$ mm.

Un fichier annexe disponible sur le serveur du lycée permet d'évaluer l'incertitude $u(\lambda)$ sur la longueur d'onde par la méthode de Monte Carlo, ou par un calcul direct, ainsi que de réaliser un test sur l'écart normalisé.

Le calcul direct se fait à partir de l'expression : $\lambda = a.i/D$ qui conduit à la somme quadratique des incertitudes relatives :

$$u(\lambda)/\lambda = \sqrt{(u(a)/a)^2 + (u(i)/i)^2 + (u(D)/D)^2}$$

La valeur de référence $c_{\text{réf}}$ pour la célérité du son est évaluée par la relation empirique : $c = 331.5 + 0.607 \times t$; avec la température t en °C entre -20°C et +40°C, valide à 0,2% près. La fréquence f est déterminée à 40,0 kHz avec une grande précision, ce qui conduit à $\lambda_{\text{réf}} = c_{\text{réf}}/f$.

L'écart normalisé E_N est évalué ici en ne tenant compte que de la variabilité sur la mesure, celle sur la valeur de référence étant négligeable.

$$E_N = \frac{\sqrt{(\lambda - \lambda_{\text{réf}})^2}}{u(\lambda)}$$

Avec le test : $|E_N| < 2$: Aptitude satisfaisante ; $|E_N| > 2$: Aptitude non satisfaisante

Conclure sur la validité ou non de la mesure.

3) Diagramme d'émission

L'émetteur rayonne-t-il l'onde acoustique de façon isotrope ?

Examiner cette hypothèse au moyen du matériel mis à disposition :

- émetteur et son alimentation,
- récepteur,
- oscilloscope,
- rapporteur d'angles,
- cales prismatiques de repérage, permettant de situer précisément la position de l'émetteur et du récepteur placés sur leurs supports.

Proposer un graphe rendant compte de la répartition angulaire en puissance de la source au moyen du papier polaire fourni en annexe. La puissance est proportionnelle au carré de l'amplitude.

Le diagramme de rayonnement est un concept essentiel pour l'implantation des antennes émissives telles que celles utilisées en téléphonie par exemple. Le caractère directif de certaines antennes doit aussi être pris en compte pour la protection des populations exposées à ces sources ou des personnels amenés à travailler à proximité.

4) Diffraction

Reprendre l'observation de l'amplitude d'émission en fonction de la direction en ayant interposé un système de deux écrans permettant de réaliser une fente de largeur réglable, placée à environ 20 centimètres de la source émettrice.

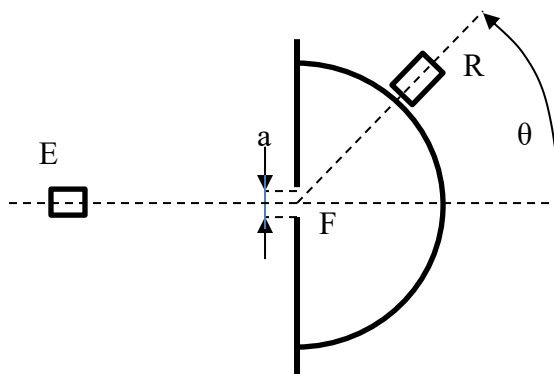
On souhaite étudier le phénomène de diffraction des ondes acoustiques par la fente, et comparer les résultats obtenus pour deux valeurs de largeur de fente : $a = 2,0$ cm et $a = 3,0$ cm.

L'onde incidente arrivant sur la fente sera considérée comme une onde plane, de direction de propagation orthogonale aux deux écrans.

La théorie des ondes prévoit alors en sortie de la fente produisant la diffraction une amplitude maximale dans la direction incidente, et un minimum relatif d'amplitude pour un angle :

$$\theta_{\min} = \arcsin(\lambda/a) \quad \text{où } \lambda \text{ est la longueur d'onde et } a \text{ la largeur de la fente.}$$

Relever précisément les amplitudes $A(\theta)$ enregistrées par le récepteur, en fonction de l'angle θ entre la direction incidente et la direction de positionnement du récepteur, en lui faisant parcourir un demi-cercle le support restant en appui sur le rapporteur.



Dresser le graphe $A(\theta)$ pour chacune des deux largeurs de fente, et comparer aux résultats attendus théoriquement. Observe-t-on d'autres minima relatifs d'amplitude ? Pour quelles valeurs de l'angle θ ?

ANNEXE 2 : papier polaire

NOM :

Prénom :

